

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-11 改 01
提出年月日	2022年11月2日

地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料

2022年11月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 地下水流入量の評価.....	2
2.1 検討方針	2
2.2 再現解析による解析モデルの妥当性確認.....	5
2.2.1 評価条件	5
2.2.2 評価結果.....	8
2.3 予測解析	9
2.3.1 評価条件.....	9
2.3.2 評価結果.....	11
3. 揚水ポンプ及びドレーンの排水能力.....	12
3.1 揚水ポンプの排水能力.....	12
3.2 ドレーンの排水能力.....	13
4. 屋外排水路に係る補足事項.....	15
4.1 屋外排水路に係る補足事項.....	15

参考資料 1 屋外排水路の耐震性に係る設計方針について

参考資料 2 設計方針に係る影響確認について

参考資料 3 仮設ホースの接続について

参考資料 4 屋外排水の自主的な対策について

1. 概要

本資料は、VI-2-1-1-別添1「地下水位低下設備の設計方針」に記載している揚水ポンプ能力の設定のために実施した地下水流入量の算出を目的とした3次元浸透流解析結果、並びに、揚水ポンプ及びドレーンの排水能力の妥当性を補足するものである。また、地下水位低下設備（新設）にて集水された地下水は、屋外排水路を経由して海へ排水するため、地震後に確実に地下水を排水するための屋外排水路の設計方針について説明するものである。

2. 地下水流入量の評価

2.1 検討方針

耐震評価における設計揚圧力及び設計地下水位の設定の際に実施する3次元浸透流解析の詳細については、補足-023-01「地盤の支持性能について」に示しており、再現解析（定常解析）による解析水位と観測水位の比較による妥当性を確認した解析モデルにより、降雨条件等に保守性を持たせた予測解析（定常解析）を実施し、設計地下水位を設定している。

今回の地下水流入量を算出する3次元浸透流解析においては、保守的な条件（地下水流入量が多めに算出される条件）を設定した再現解析（定常解析）を実施し、浸透流解析のアウトプットとなる解析流量が既設揚水ポンプの排水実績流量を上回ることにより、モデルの妥当性確認を行う。

その後、降雨条件等に保守性を持たせた条件を設定し、地下水流入量の算出を目的とした予測解析（流量評価モデル）を実施する。

浸透流解析による設計揚圧力・設計地下水位・揚水ポンプ容量の設定フローを図2-1に、浸透流解析の目的別の評価モデル及び主な解析条件を表2-1に示す。

表 2-1 浸透流解析の目的別の評価モデル及び主な解析条件

□ : 今回説明範囲

解析の種類	解析の目的	地下水位 低下設備	降雨条件	物性値 (透水係数)	境界条件	アウトプット
再現解析 (定常)	解析モデルの妥当性確認 (揚水ポンプ排水能力設定用)	既設：期待する 新設：期待しない	構内観測所における 年平均降水量： 1540mm/年	透水係数の最大値 より保守的に設定	実態に則した設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*2 (EL 0.46m) に水位 固定 ・ドレーン (既設)：管路としてモデル化	・解析地下水流入量
	解析モデルの妥当性確認*1 (設計揚圧力、設計地下水位設定用)			標準物性		
予測解析 (定常)	排水能力の設定 (揚水ポンプ)	既設：期待しない 新設：期待する	保守的な降水量： 2400mm/年	透水試験の最大値 より保守的に設定	保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*2 (EL 0.58m) に水位 固定 ・ドレーン (新設)：施工高*3 に水位固定	・解析地下水流入量
	設計揚圧力の設定*1 (建物・構築物)	既設：期待しない 新設：期待する		保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*2 (EL 0.58m) に水位 固定 ・ドレーン (新設)： 施工計画高*3 に水位固定	・解析水位	
	設計地下水位の設定*1 (屋外重要土木構築物等)	既設：期待しない 新設：期待しない		標準物性	更なる保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*2 (EL 0.58m) に水位 固定	・解析水位 (自然水位)

注記*1：詳細は「補足-023-01 地盤の支持性能について」にて説明

*2：再現解析 (定常・非定常) においては朔望平均満潮位 EL 0.46m を用い、予測解析においては、保守的に近年の潮位の上昇量を考慮した朔望平均満潮位 EL 0.58m を用いる。

*3：ドレーン (新設) の中心高さにてモデル化する。

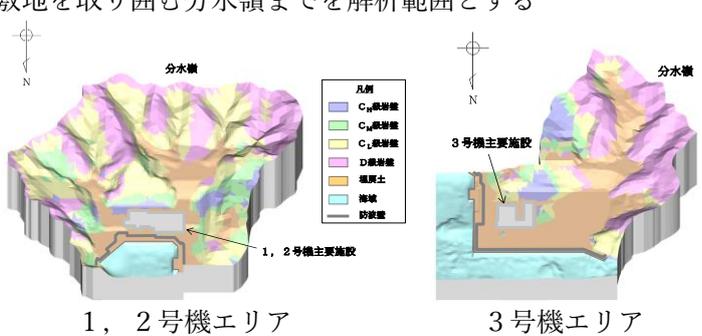
2.2 再現解析による解析モデルの妥当性確認

2.2.1 評価条件

解析モデルの妥当性確認は、地下水位低下設備（新設）の設置工事前の期間における、既設の揚水ポンプの排水実績（2016年4月～2018年8月）を参照する。また、透水係数については、高くなるほど地下への浸透量が多く、揚水井戸への地下水の流入量も大きく算出されることから、敷地内に広く分布している埋戻土の透水係数について、透水試験の最大値より保守的な値を設定する。

妥当性確認において用いる再現解析モデルの概要を表2-2に、透水係数の設定値及び設定根拠を表2-3に示す。

表 2-2 再現解析モデルの概要

項目	再現解析（流量評価）モデル
目的	モデル化の妥当性を確認（観測記録の再現性を確保）
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする 
格子数	<ul style="list-style-type: none"> ・平面格子数：1, 2号機エリア：約 2.1 万 3号機エリア：約 2.4 万 ・総格子数：1, 2号機エリア：約 121 万 3号機エリア：約 138 万 ・格子寸法：1~40m 程度（構造物近傍は最小 1m 程度, 山側領域は 40m 程度）
解析種別	定常解析
検証期間	2016 年 4 月~2018 年 8 月
気象条件	降水量：構内観測所における年平均降水量 1540mm/年
モデル（地形）	検証期間に対応した状態
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態
モデル（構造物）	検証期間に対応した状態
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮
境界条件	実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L. (EL 0.46m) に水位固定 ・ドレーン：管路としてモデル化
透水係数	透水試験により高めに設定*1, 粒度試験*2及び文献値*3
有効間隙率	物理試験及び文献値*4

注記*1：埋戻土の透水係数について高めに設定

*2：土質試験の方法と解説に基づき設定

*3：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

*4：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

表 2-3 透水係数の設定値及び設定根拠

区分		透水係数 (cm/s)	設定根拠
構造物, 改良地盤		1×10^{-5}	管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル(改訂版)* ¹ に基づき設定
岩盤	C _H 級	5×10^{-5}	現場透水試験結果に基づき設定
	C _M 級	6×10^{-4}	
	C _L 級	1×10^{-3}	
	D級	2×10^{-3}	粒度試験結果を踏まえ, 土質試験の方法と解説* ² に基づきクレーガーの方法* ³ により設定
砂礫層		4×10^{-3}	現場透水試験結果に基づき設定
埋戻土		2×10^0	設計揚圧力及び設計地下水位の設定に係る 3次元浸透流解析の際に適用した透水係数 (2×10^{-1}) より, 1 オーダー大きな値を設定 なお, 現場透水試験結果の平均値は 1.7×10^{-1} cm/s, 最大値は 6×10^{-1} cm/s

注記*1: H20.8 (財) 港湾空間高度化環境研究センター

*2: H12.3 (社) 地盤工学会

*3: 粒径加積曲線から求まる 20%粒径D₂₀を用いて透水係数の概略値を推定する方法

2.2.2 評価結果

再現解析による解析流量と既設ポンプの実績排水量を比較した結果、解析流量が実績排水量を上回る結果が得られたことから、揚水ポンプ排水能力設定に用いる解析モデルの妥当性を確認することができた。なお、揚水ポンプの設定のための予測解析（流量評価）においては、さらに降雨条件に保守性を持たせた設定を行う。

再現解析による解析流量と実績排水量の比較結果を表 2-4 に示す。

表 2-4 解析流量と実績排水量の比較結果

再現解析による解析流量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	実績排水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)
1116	969

2.3 予測解析

2.3.1 評価条件

2.2 にて排水実績に対する比較により、解析モデルの妥当性を確認したモデル条件に対し、予測解析においては、更に流入量を安全側に算出するような解析条件とする。

気象条件については、松江地方気象台における過去 78 年間（1941～2018 年）の年間降水量の平均値（1,880mm/年）を算出し、ばらつきを考慮した値（平均値 + 1 σ ）に今後の気候変動予測による降水量の変化を加味し、2,400mm/年を設定する。また、新設のドレーンについては、設計揚圧力設定の際の解析モデルの条件「施工計画高」より位置が低い施工後の計測高さ「施工高」に水位固定する。

予測解析の解析条件について表 2-5 に示す。

表 2-5 予測解析の解析条件

項目	再現解析（流量評価）モデル	予測解析（流量評価）モデル
目的	モデル化の妥当性を確認 (観測記録の再現性を確保)	保守的な揚水ポンプ容量を設定
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン: ver.2af90MP	
解析領域	<p>敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする</p>	
格子数	<ul style="list-style-type: none"> 平面格子数: 1, 2号機エリア: 約 2.1 万 3号機エリア: 約 2.4 万 総格子数: 1, 2号機エリア: 約 121 万 3号機エリア: 約 138 万 格子寸法: 1~40m 程度 (構造物近傍は最小 1m 程度, 山側領域は 40m 程度) 	
解析種別	定常解析	
検証期間	2016 年 4 月~2018 年 8 月	—
気象条件	降水量: 1540mm/年	保守的な降水量として, 2400mm/年を考慮
モデル (地形)	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態
モデル (地盤)	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態 (防波壁周辺の改良地盤等を考慮)
モデル (構造物)	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態
モデル (ドレーン)	ドレーン (既設) を管路として考慮する ドレーン (新設) を管路として考慮しない	ドレーン (既設) を管路として考慮しない ドレーン (新設) を管路として考慮する
境界条件	実態に則した設定 ・山側: 閉境界 ・海側: H.W.L.*1 (EL 0.46m) に水位固定 ・ドレーン: 管路としてモデル化	実態に則した設定 ・山側: 閉境界 ・海側: H.W.L.*1 (EL 0.58m) に水位固定 ・ドレーン: 施工高に水位固定しモデル化
透水係数	透水試験より高めに設定*2, 粒度試験*3及び文献値*4	
有効間隙率	物理試験及び文献値*5	

注記*1: 再現解析 (定常・非定常) においては朔望平均満潮位 EL 0.46m を用い, 予測解析においては, 保守的に近年の潮位の上昇量を考慮した朔望平均満潮位 EL 0.58m を用いる。

*2: 埋戻土の透水係数について高めに設定

*3: 土質試験の方法と解説に基づき設定

*4: 管理型廃棄物物理立護岸 設計・施工・管理マニュアル (改訂版) に基づき設定

*5: 河川堤防の構造検討の手引き (改訂版) に基づき設定

2.3.2 評価結果

揚水井戸への地下水流入量は7969m³/日となり、揚水ポンプの排水能力の設定及びドレーンの排水能力の確認において参照する。

また、予測解析による揚水井戸への地下水流入量（7969m³/日）は、地下水位低下設備（新設）の設置工事前の期間における、既設の揚水ポンプの排水実績（2016年4月～2018年8月）の日最大の実績排水量（5387m³/日）を上回っていることを確認した。

予測解析（定常解析）の解析条件、地下水流入量の算出結果及び日最大の実績排水量を表2-6に、示す。

表2-6 予測解析（定常解析）の解析条件、地下水流入量の算出結果及び日最大の実績排水量

予測解析	解析条件	ドレーン	施工高に水位固定
		透水係数	埋戻土の透水試験より安全側に設定
	揚水井戸への地下水流入量		7969m ³ /日
実績排水量	日最大の実績排水量 (2016年4月～2018年8月)		5387m ³ /日

3. 揚水ポンプ及びドレーンの排水能力

3.1 揚水ポンプの排水能力

揚水系統は揚水ポンプ 2 台で 1 系統を構成し、2 系統設置する。揚水ポンプ 1 台あたりの定格吐出量は 5184m³/日 (0.06m³/s) であり、1 系統の吐出量は 10368 m³/日 (0.12m³/s) となることから、予測解析による地下水流入量を包絡する。

揚水井戸内に設置する揚水ポンプの諸元を表 3-1 に示す。

表 3-1 地下水流入量と排水能力 (揚水ポンプ)

地下水流入量 (m ³ /日)	吐出量 (m ³ /日)	全揚程 (m)	井戸深さ (m)
7969	10368	35	30.2

3.2 ドレーンの排水能力

ドレーン（内径φ194mm）を対象に，自由水面を有する管路流れとして排水能力を評価し，浸透流解析により算出された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，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。

ドレーンの断面諸元及び排水可能量を表 3-2 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（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 3-2 ドレーンの断面諸元及び排水可能量

材質	仕様 (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)*3	
							[m ³ /s]	[m ³ /日]
硬質ポリ塩化 ビニル管	φ 200mm (φ 194mm)	0.024	0.059	0.01	0.3 以上	0.83 以上	0.117	10108

注記*1：有効水深を 3/4 水深（水深 H=0.75×内径 D）として計算

*2：水理公式集 平成 11 年版（（公）土木学会）参照

*3：排水可能量はドレーン 3 本分の排水可能量を示す。

地下水流入量及びドレーンの排水可能量の比較結果を表 3-3 に示す。ドレーンは地下水流入量に対して排水可能量が十分大きいことを確認した。

表 3-3 地下水流入量及びと排水可能量（ドレーン）

名 称	仕様 (内径)	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
ドレーン	φ 200mm (φ 194mm)	7969	10108	1.27

注記*：排水可能量はドレーン 3 本分の排水可能量を示す。

4. 屋外排水路に係る補足事項

4.1 屋外排水路に係る補足事項

地下水位低下設備（新設）から汲み上げた地下水は、敷地内の屋外排水路を通じて防波壁の下部を横断し海域に排水する。

このために必要な対応として、屋外排水路の流末部の一部の耐震性の確保及び地震時における排水経路の確保方法等を整理しており、その詳細について参考資料1「屋外排水路の耐震性に係る設計方針について」に示す。

(参考資料 1) 屋外排水路の耐震性に係る設計方針について

1. 概要

本資料は、地下水位低下設備（新設）により原子炉建物等の周辺の地下水位を保持し技術基準規則第 5 条，50 条（地震）に適合した状態を維持することに対する屋外排水路の耐震性に係る設計方針について整理するものである。

2. 地下水の排水量及び排水経路

2.1 地下水位低下設備（新設）からの排水量

地下水位低下設備（新設）に流入する地下水流入量は、保守的な解析条件（流入量が多くなる透水係数の設定等）を与えた浸透流解析により算出した 7969m³/日（332m³/h）であり、揚水ポンプの排水能力はこれを包絡するよう、216m³/h/個を 2 個/系統×2 系統（432 m³/h/系統（0.12m³/s/系統））設置する。

地下水流入量の算出及び揚水ポンプの排水能力の詳細については、本章「2. 地下水流入量の評価」及び「3. 地下水流入量及び排水能力」に示す。

2.2 屋外排水路の設備構成及び排水能力

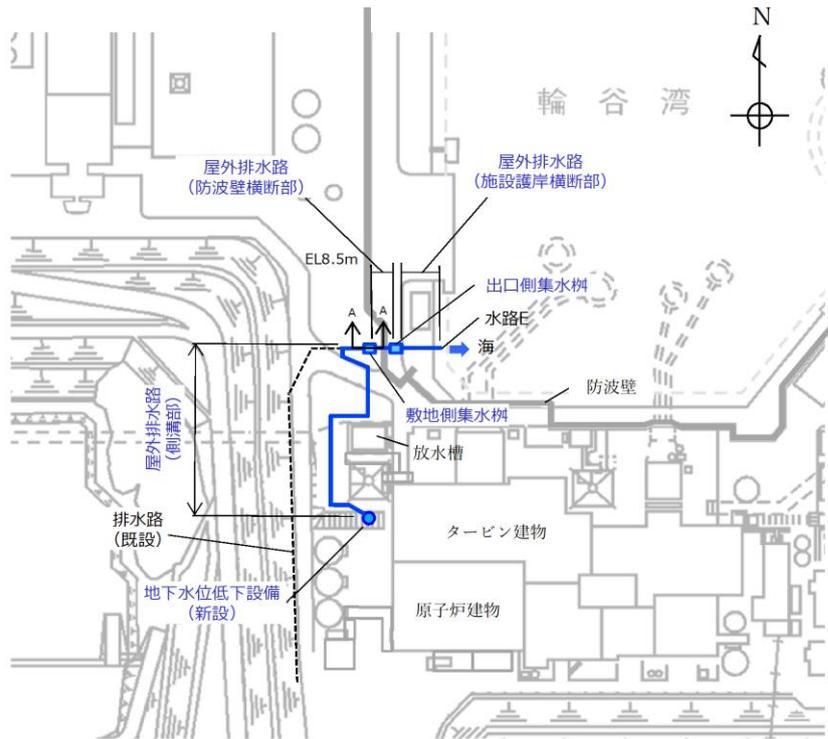
(1) 設備構成

地下水位低下設備（新設）から地下水を海まで排水する屋外排水路は、屋外排水路（側溝部），敷地側集水桝，防波壁（逆 T 擁壁）下部を横断する屋外排水路（防波壁横断部），浸水防止設備である屋外排水路逆止弁が設置される出口側集水桝及び出口側集水桝から海側の屋外排水路（施設護岸横断部）より構成する。屋外排水路の概要及び設置状況を表 2-1 に，地下水の排水経路を図 2-1 に，屋外排水路の縦断イメージを図 2-2 に示す。

表 2-1 屋外排水路の概要及び設置状況

名称	区間	設備概要	設置状況
屋外排水路 （側溝部）	地下水位低下設備（新設）～敷地側集水桝	側溝 （コンクリート）	埋戻コンクリート及び埋戻土により支持
敷地側集水桝	—	集水桝 （鉄筋コンクリート）	改良地盤により支持
屋外排水路 （防波壁横断部）	敷地側集水桝～出口側集水桝	ボックスカルバート （鉄筋コンクリート）	改良地盤により支持
出口側集水桝	—	集水桝 （鉄筋コンクリート）	改良地盤により支持
屋外排水路 （施設護岸横断部）	出口側集水桝～海	ボックスカルバート （鉄筋コンクリート）	埋戻土により支持

(参考) 1-1



注：敷地内（地下水位低下設備（新設）～防波壁）の排水経路は変更可能性有

平面図

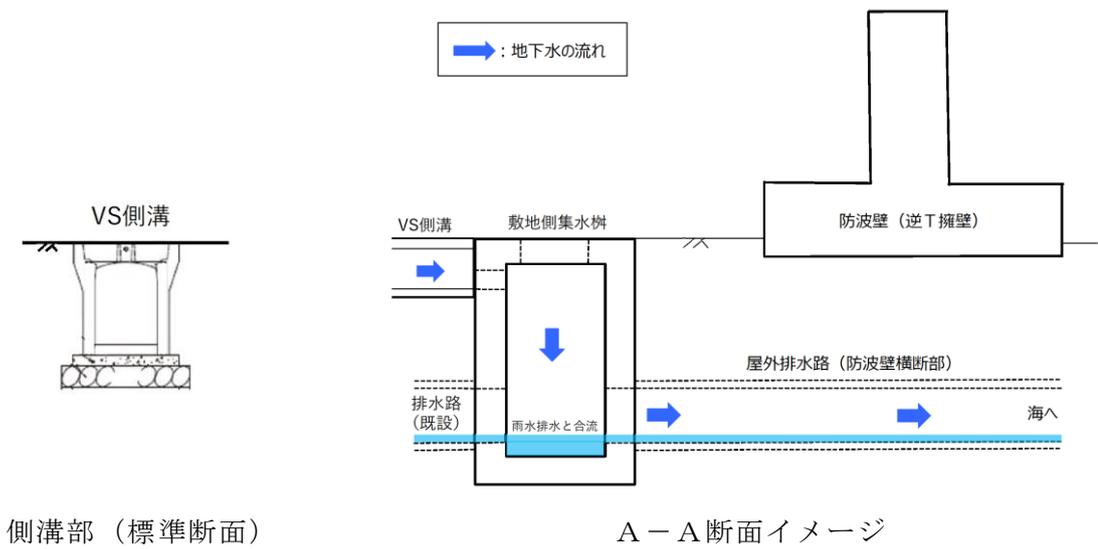


図 2-1 地下水の排水経路

(参考) 1-2

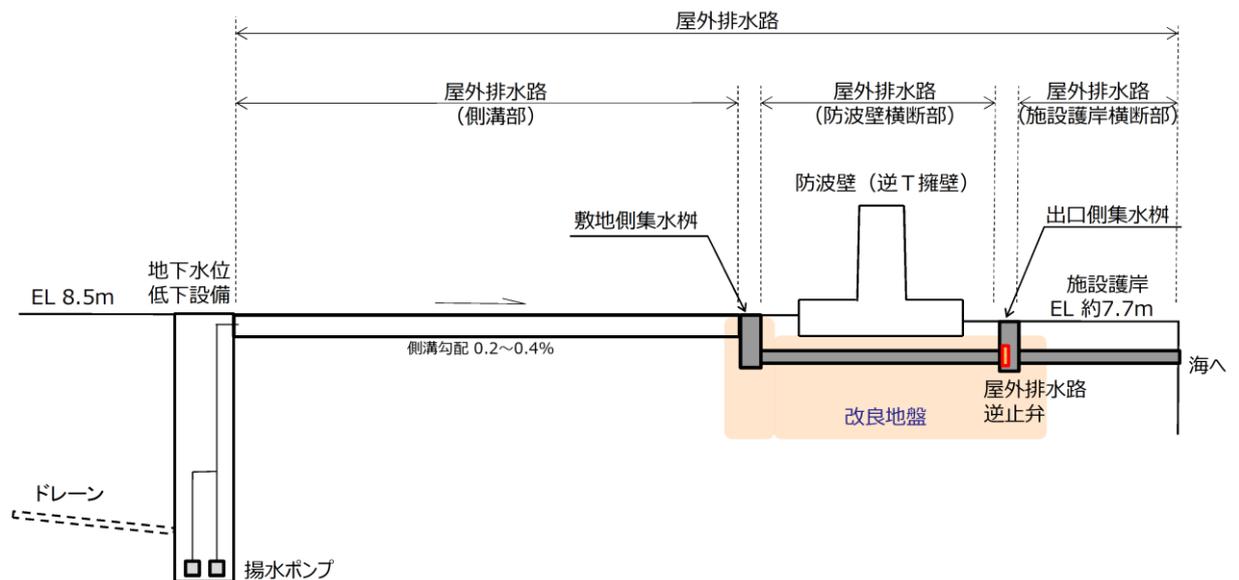


図 2-2 屋外排水路の縦断イメージ

(2) 排水能力

地下水水位低下設備（新設）から海までの排水経路となる屋外排水路（水路 E）の排水能力は、松江市の日最大 1 時間降水量（77.9mm/h）での雨水流出量

（7.55m³/s）及び地下水水位低下設備（新設）の排水量を包絡する揚水ポンプの排水能力（0.12m³/s/系統）を十分排出可能な構造となっている。屋外排水路の排水能力を表 2-2 に示す。

表 2-2 屋外排水路 E の排水能力（降雨強度 77.9mm/h）

水路	雨水流出量 (m ³ /s)	排水量 (m ³ /s)
E	7.55	16.44

島根原子力発電所 2 号炉設置変更許可申請書 EP-043 改 44

外部からの衝撃による損傷の防止 別添 1-1 外部事象の考慮について 添付資料 9 表 2-2 表より引用

3. 屋外排水路の地震時の対応方針

地下水位低下設備（新設）から海までの地下水の排水について、地震時においても排水可能であることを3区間に分けて示す。

地下水位低下設備（新設）から汲み上げた地下水は、既設排水路とは別ルートとして支障物を避けた最短ルートとして新設する屋外排水路（側溝部）を通じて敷地側集水桝へ流下し、屋外排水路（防波壁横断部）、出口側集水桝及び屋外排水路（施設護岸部）を排水経路として海に排水する。

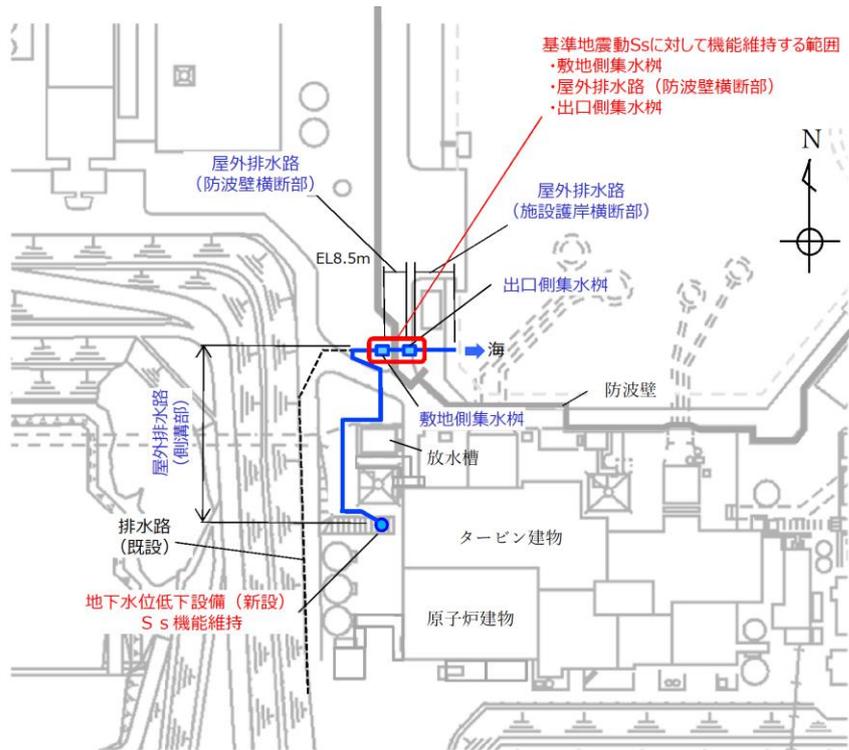
3.1 屋外排水路の耐震性を確保する区間（1区間）

地震時において、排水経路を確実に確保するため、耐震性を確保する範囲として、敷地側集水桝、屋外排水路（防波壁横断部）及び出口側集水桝については、基準地震動 S_s による地震力に対して排水機能を維持する設計とする。

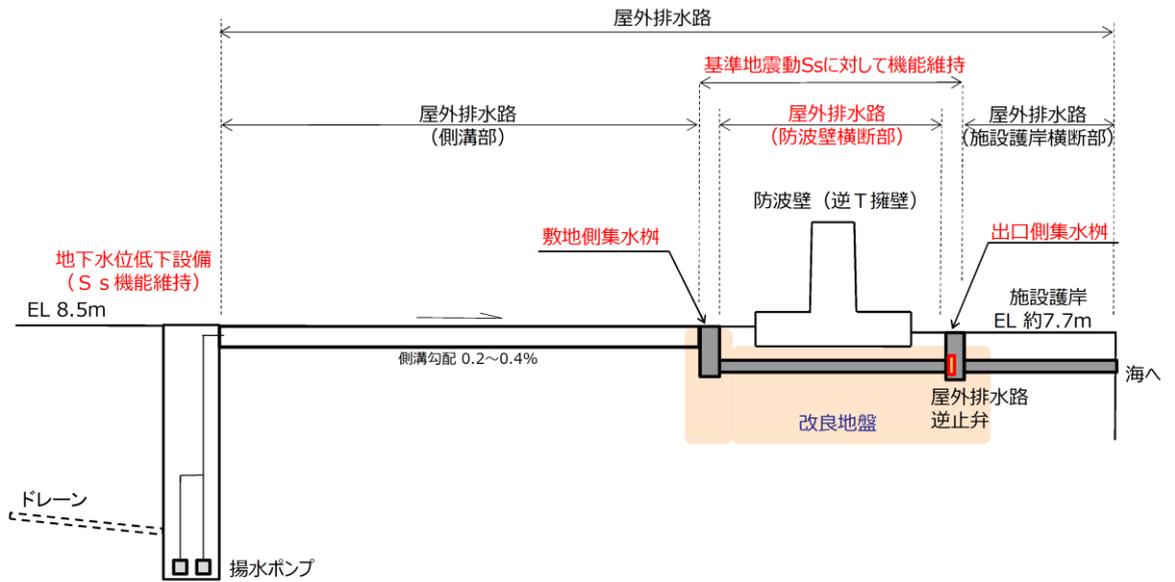
屋外排水路の耐震評価結果の記載箇所を表3-1に、屋外排水路の耐震性を確保する範囲を図3-1に示す。

表 3-1 屋外排水路の耐震評価結果の記載箇所

対象構造物	記載箇所
・敷地側集水桝	VI-2-別添 4-3-5 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書（別紙）
・屋外排水路（防波壁横断部）	
・出口側集水桝	VI-2-10-2-7 屋外排水路逆止弁の耐震性についての計算書



注：敷地内（地下水位低下設備～防波壁）の排水経路は変更可能性有
（平面）



（断面イメージ）

図 3-1 屋外排水路の耐震性を確保する範囲

（参考） 1-5

(1) 設備上の取扱いについて

地下水位低下設備から汲み上げた地下水を確実に海に排水し、原子炉建物等の技術基準規則第5条、50条（地震）に適合した状態を維持することを鑑み、耐震性を確保する屋外排水路（敷地側集水桝、排水路（防波壁横断部）及び出口側集水桝）については、設計基準対象施設の耐震重要度分類Cクラス*とする。

屋外排水路の耐震重要度分類を表3-2に示す。

注記*：設計基準対象施設の耐震重要度分類は、その重要度に応じたクラス分類（S、B、C）を、それらに該当した設備を整理するものであり、屋外排水路はSクラス、Bクラス設備に該当しないため、Cクラスに分類した。

表3-2 屋外排水路の耐震重要度分類

技術基準規則（別記2）の記載		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、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及び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	—	○

3.2 屋外排水路の耐震性が確保されていない区間（2区間）

屋外排水路の耐震性を確保されていない区間における地震時の排水経路の確保について示す。

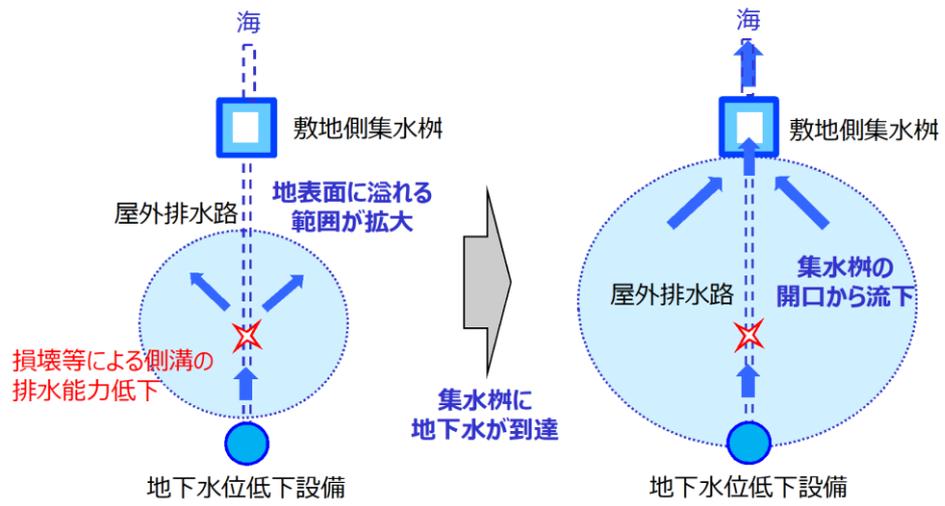
3.2.1 屋外排水路（側溝部）から敷地側集水桝までの区間

屋外排水路（側溝部）は、埋戻コンクリート及び埋戻土により支持されており、地震時においては、側溝の損壊及び変位・不等沈下の発生により排水能力が低下し、地下水が地表面（EL 8.5m）に溢れる状態になることが想定される。

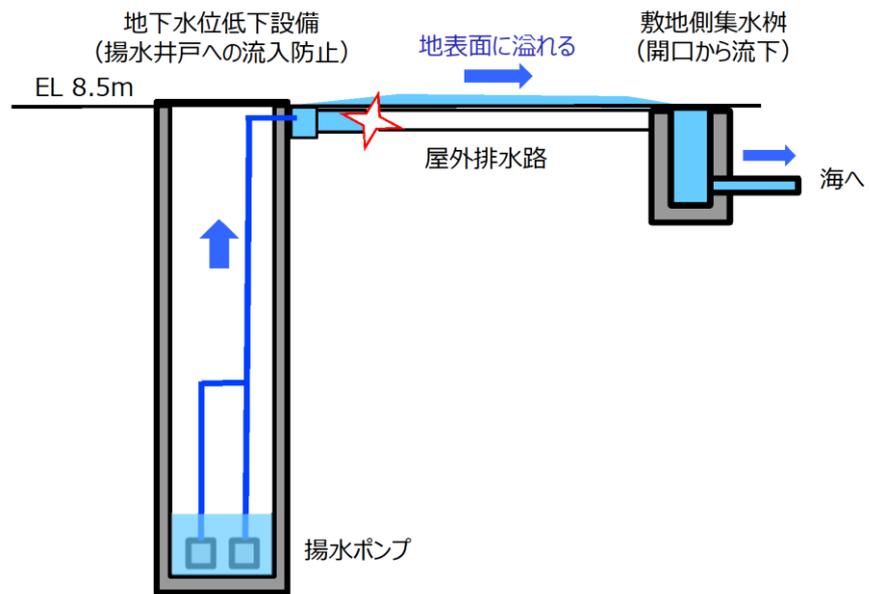
側溝から地表面に溢れ出した地下水については、揚水ポンプにより徐々に押し出され、屋外排水路（側溝部）の周辺の敷地に広がることが想定されるが、耐震性が確保された敷地側集水桝に到達し、敷地側集水桝の上部の開口から流下することで海への排水経路は確保可能である。なお、屋外排水路（側溝部）周辺に耐震性の低い放水槽が存在するが、それに期待しなくても地下水は敷地側集水桝から流下し、海へ排水される。

なお、敷地内に地下水が溢れた状態を継続させない対応として、地下水位低下設備（新設）の揚水井戸内の配管に仮設ホースを接続し、耐震性が確保された敷地側集水桝までの流路を形成する。（参考資料2参照）

地表面を通じた地下水の排水イメージを図3-2に示す。



(平面イメージ)



(断面イメージ)

図 3-2 地表面を通じた排水イメージ

(参考) 1-8

3.2.2 出口側集水桝から海までの区間

出口側集水桝より下流側となる屋外排水路（施設護岸横断部）については、地震時の損壊等による通水断面の閉塞を想定しても、敷地標高がEL約7.7mと低く、地下水は、屋外排水路逆止弁を設置している出口側集水桝の上部の開口から海に排水される。

地震時における出口側集水桝からの排水イメージを図3-3に示す。

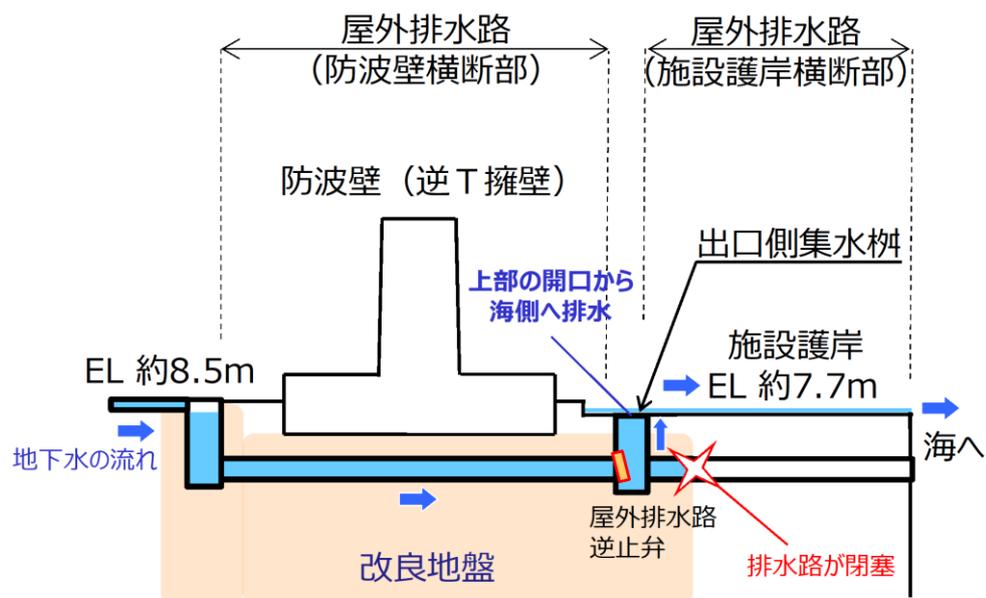


図3-3 地震時における出口側集水桝の排水イメージ

(1) 出口側集水桝からの排水確認

地表面に溢れた地下水が敷地側集水桝の上部の開口（EL 8.5m）から流下し、出口側集水桝の上部の開口（EL 7.7m）から流れる排水経路について、排水経路における損失水頭と集水桝の高低差を比較することにより、出口側集水桝の上部の開口から地下水が流れることを確認する。

(2) 損失水頭の計算モデル

耐震性が確保されていない既設排水路が地震時に閉塞した状態を仮定し、敷地側集水桝から出口側集水桝までの排水経路をモデル化した。

計算モデルを図 3-4 に示す。

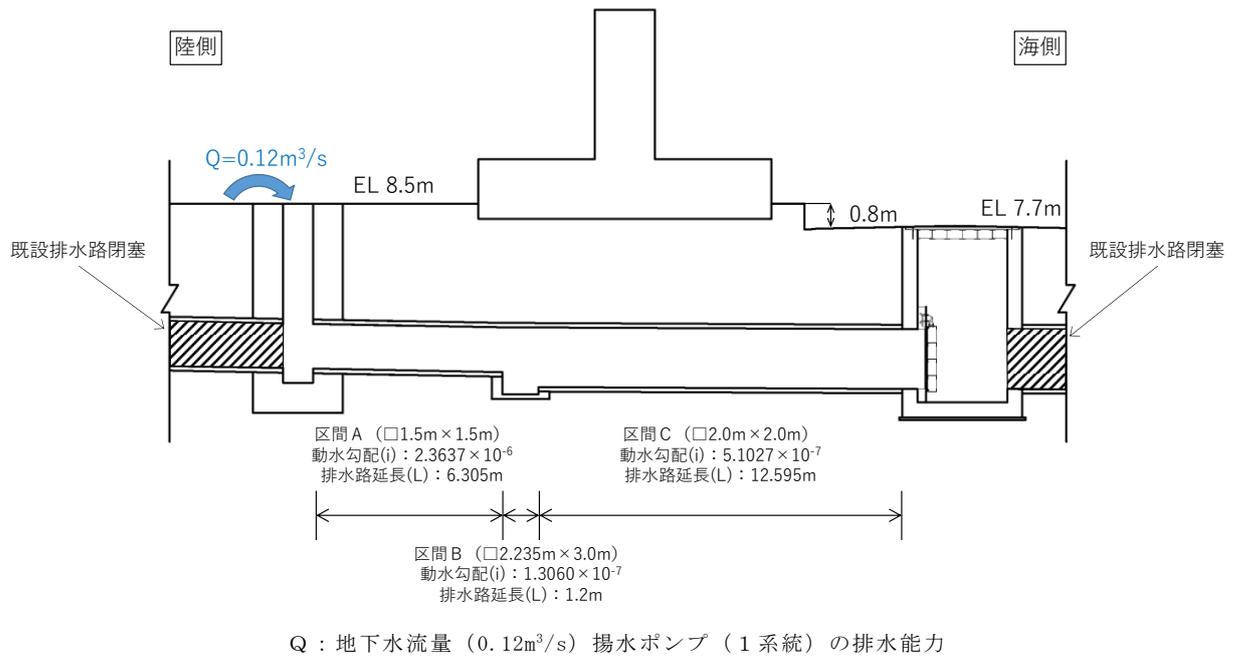


図 3-4 損失水頭の計算モデル

(3) 損失水頭の計算方法

計算モデルから、伏越しの損失水頭の式*を用いて算出する。

$$H = i \cdot L + \beta \cdot (V^2 / 2g) + \alpha$$

ここで、

H : 損失水頭 (m)

i : 動水勾配

$$i_A = h_{fA} / L_A = 1.4903 \times 10^{-5} / 6.305 = 2.3637 \times 10^{-6}$$

$$i_B = h_{fB} / L_B = 1.5673 \times 10^{-7} / 1.2 = 1.3060 \times 10^{-7}$$

$$i_C = h_{fC} / L_C = 6.4268 \times 10^{-6} / 12.595 = 5.1027 \times 10^{-7}$$

h_f : 摩擦損失水頭 (各区間の計算結果より算出)

$$h_{fA} = 1.4903 \times 10^{-5} \text{ (m)}$$

$$h_{fB} = 1.5672 \times 10^{-7} \text{ (m)}$$

$$h_{fC} = 6.4268 \times 10^{-6} \text{ (m)}$$

L : 排水路の長さ (中心線延長)

$$L_A = 6.305 \text{ (m)}$$

$$L_B = 1.2 \text{ (m)}$$

$$L_C = 12.595 \text{ (m)}$$

V : 排水路の流速

$$V_A = Q / A_A = 0.12 / 2.25 = 0.0533 \text{ (m/s)}$$

$$V_B = Q / A_B = 0.12 / 6.705 = 0.0179 \text{ (m/s)}$$

$$V_C = Q / A_C = 0.12 / 4.0 = 0.03 \text{ (m/s)}$$

g : 重力加速度 9.80665 (m/s²)

α : 余裕量 0.03~0.05m*より 0.05m を採用

β : 急拡及び急縮を考慮した 1.5*より 1.5 を採用

注記* : 下水道施設計画・設計指針と解説 前編 (2019年版) 日本下水道協会

(4) 損失水頭の計算結果

排水経路における損失水頭は、約 0.0503m となり、敷地側集水桝の上部の開口 (EL 8.5m) と出口側集水桝の上部の開口 (EL 7.7m) の高低差である 0.8m よりも小さいことから、敷地側集水桝に流入する地下水は、屋外排水路逆止弁を設置している出口側集水桝の上部の開口から海に排水されることを確認した。

(参考) 1-11

4. まとめ

屋外排水路の地震時の影響及び排水経路の確保方法について表 5-1 に示す。

表 4-1 屋外排水路の地震時の影響及び排水経路の確保方法

海への排水経路となる 屋外排水路の区間	地震時の影響	排水経路の確保方法
地下水位低下設備～ 敷地側集水桝	屋外排水路(側溝部)は地震時の損壊、不等沈下等により排水能力が低下し、地下水が地表面に溢れる。	地表面に溢れた地下水は、地表面を通じて敷地側集水桝の上部の開口から流下することで排水経路を確保する。
敷地側集水桝～ 屋外排水路(防波壁横断部)～ 出口側集水桝	屋外排水路(防波壁横断部)の損壊により排水能力が低下する。	基準地震動 S_s の地震力に対して排水機能を維持することで、排水経路を確保する。
出口側集水桝～ 屋外排水路(施設護岸横断部) ～海	屋外排水路(施設護岸横断部)の損壊により排水能力が低下する。	施設護岸側の敷地が EL 約 7.7m と低く、地下水は出口側集水桝の上部の開口から海に排水することで排水経路を確保する。

(参考資料 2) 設計方針に係る影響確認について

1. 概要

本資料は、参考資料 1「屋外排水路の耐震性に係る設計方針」に示した設計方針に係る技術基準規則の適合への影響及び地下水が地表面に溢れた場合の影響確認の結果を示すものである。

2. 各条文への影響確認

屋外排水路の一部について耐震性を確保することによる技術基準規則の適合への影響について整理した結果、表 2-1 及び表 2-2 に示すとおり影響がないことを確認した。

表2-1 屋外排水路の耐震性確保（技術基準規則第5条，50条）を踏まえた各技術基準規則要求への影響

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，50条 (地震)	— (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)	・屋外排水路の一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EL8.5m 盤から海へ排水される状態が確実に維持される。 (設定した設計揚圧力・設計地下水位への影響はない。)
第6条，51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への影響がないことを確認。)	・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，屋外排水路の一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EL8.5m 盤の溢水は地震随伴事象により発生するものであり，屋外排水路の一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。2.2(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4-2参照。)	・考慮する自然現象は降水であり，屋外排水路の一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4-2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，屋外排水路の一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，溢水防護対象設備に対して影響がないことを確認。)	・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，屋外排水路の一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EL8.5m 盤の溢水は地震随伴事象により発生するものであり，屋外排水路の一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 (重大事故等対処設備(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屋外排水路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。
第70条 (工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備)	・防波壁内側の雨水排水路集水桝3箇所(No.3排水路，2号機放水槽南，2号機廃棄物処理建物南)に放射性物質吸着材を設置することにより，汚染水の海洋への拡散抑制を行う。	・雨水排水路集水桝2箇所(No.3排水路，2号機放水槽南)の下流側への敷地側集水桝の設置及び排水経路の変更に伴い，放射性物質吸着材の設置箇所を雨水排水路集水桝1箇所(敷地側集水桝)に集約し，汚染水の海洋への拡散抑制を行う。

(参考) 2-2

表2-2 島根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確認結果（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	確認結果	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、構内排水設備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。	島根原子力発電所2号炉設置変更許可申請書EP-043改44 外部からの衝撃による損傷の防止 別添1-1 外部事象の考慮について 第6-3表より引用
	（風（台風）×降水）×凍結×積雪	降水と凍結、降水と積雪は同時に発生するとは考えられない又は個々の影響より緩和されることから本事象の組合せは評価不要である。	
	（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、構内排水設備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、構内排水設備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）及び落雷による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）×地滑り・土石流	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水施設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）及び地滑り・土石流による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）による影響を組み合わせたとしても、降水による浸水影響の評価と変わらない。	
	（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、構内排水設備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）及び生物学的事象による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、構内排水設備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）及び森林火災による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）×地震	降水による敷地の浸水の可能性が考えられるが、構内排水設備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	基準津波による遡上波が地上部から敷地に到達することなく浸水に至る可能性はない。また、風（台風）及び降水による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。	

（参考）2-3

3. 地下水が地表面に溢れた場合の影響確認

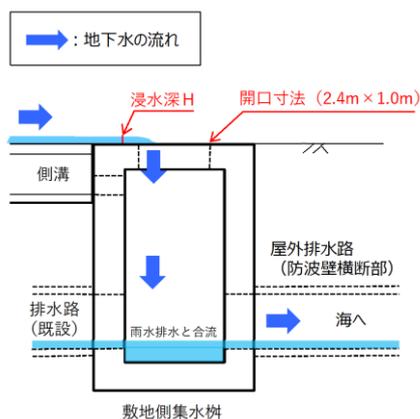
屋外排水路（側溝部）の排水能力の低下により，一時的に地下水が地表面（EL 8.5m）に溢れる状態になることから，屋外タンク等からの溢水評価及びアクセスルートの通行性，また，構造物の耐震評価で用いる設計地下水位への影響を確認する。

(1) 地下水による敷地内の浸水深の想定

地下水位低下設備からの地下水（揚水ポンプ（1系統）の排水能力 $0.12\text{m}^3/\text{s}$ ）が地表面に溢れ，地表面の平坦な敷地に広がり，図3-1に示すとおり敷地側集水柵の上部の開口（ $2.4\text{m} \times 1.0\text{m}$ ）から流下する場合における屋外排水路（側溝部）周辺の浸水深を想定した結果，約 7cm となる。

堰の流量公式*1 $Q = C \cdot B \cdot H^{3/2}$ より

$$H = (Q / (C \cdot B))^{2/3} = 0.062\text{m} \approx 7\text{cm}$$



ここに，

H：浸水深（m）

Q：流量（ $0.12\text{m}^3/\text{s}$ ）揚水ポンプ（1系統）の排水能力

C：流量係数（ 1.8^{*2} ）

B：越流幅（ 4.4m ）開口4辺のうち3辺からの流下を想定（ $2.4\text{m} + 1.0\text{m} + 1.0\text{m}$ ）

図3-1 敷地側集水柵（開口寸法）

注記*1：水理公式集（2018年版）土木学会

*2：防災調節池等技術基準（案）（平成19年9月）日本河川協会

放流能力算定時の流量係数「施工時の形状の不整による流下能力の低下は避けがたいので，設計にあたっては，流量係数を低めに見積もっておくことが望ましく，一般には $C = 1.8$ 程度を使用すべきである。」の記載を参考に設定

（参考）2-4

(2) 地下水による敷地内の浸水範囲の想定

地下水が地表面に溢れる状態になった場合の浸水範囲としては、耐震性を確保する地下水位低下設備（新設）から敷地側集水柵までの平坦な範囲（EL 8.5m）に溢れ出ることが想定される。

地下水の溢水による浸水想定範囲を図 3-2 に示す。ここで想定した浸水想定範囲における防護すべき設備及びアクセスルートの通行性について、次項にて影響確認を行う。

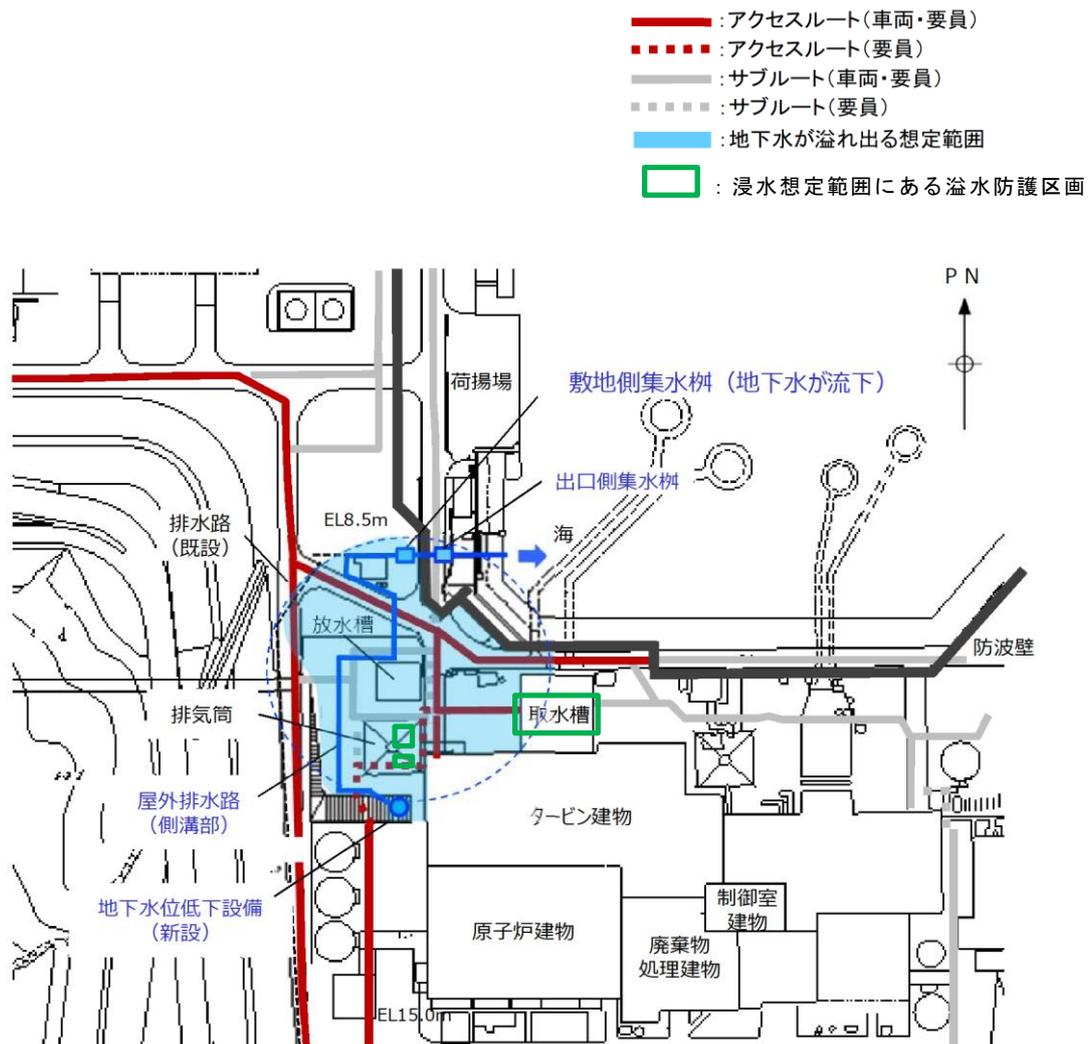


図 3-2 地下水の溢水による浸水想定範囲

(参考) 2-5

3.1 屋外タンク等からの溢水評価の影響について

屋外タンク等の溢水伝播挙動評価は、屋外タンク等の保有水量を割り増した溢水量*を用い、屋外排水路による排水機能及び敷地外への排水は期待せず、浸水深を評価する。影響確認は、地下水の浸水想定範囲内にある溢水防護区画の評価地点の溢水伝播挙動評価の最大浸水深に、地表面に溢れた場合に想定される浸水深7cmを足し合わせた場合の浸水深にて影響の有無を確認する。

地下水の浸水想定範囲内の評価地点の浸水深時刻歴を図3-3に、屋外タンク等の溢水伝播挙動を図3-4に、最大浸水深を表3-1に示す。

地点4（タービン建物北面1）及び地点6（タービン建物北面3）及び地点8（取水槽海水ポンプエリア西面）については、建物外周扉等の設置位置に対し、屋外タンク等の溢水による最大浸水深に地下水による浸水深7cmを加えた場合の余裕が小さい。しかしながら地点4及び地点6については、タービン建物には防護すべき設備がなく、またタービン建物の容積を考慮すると、万が一タービン建物へ流入したとしても、隣接する原子炉建物等の溢水防護区画への影響はない。また地点8については、当該地点に高さ2mの取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁を設置するため、溢水防護区画への影響はない。

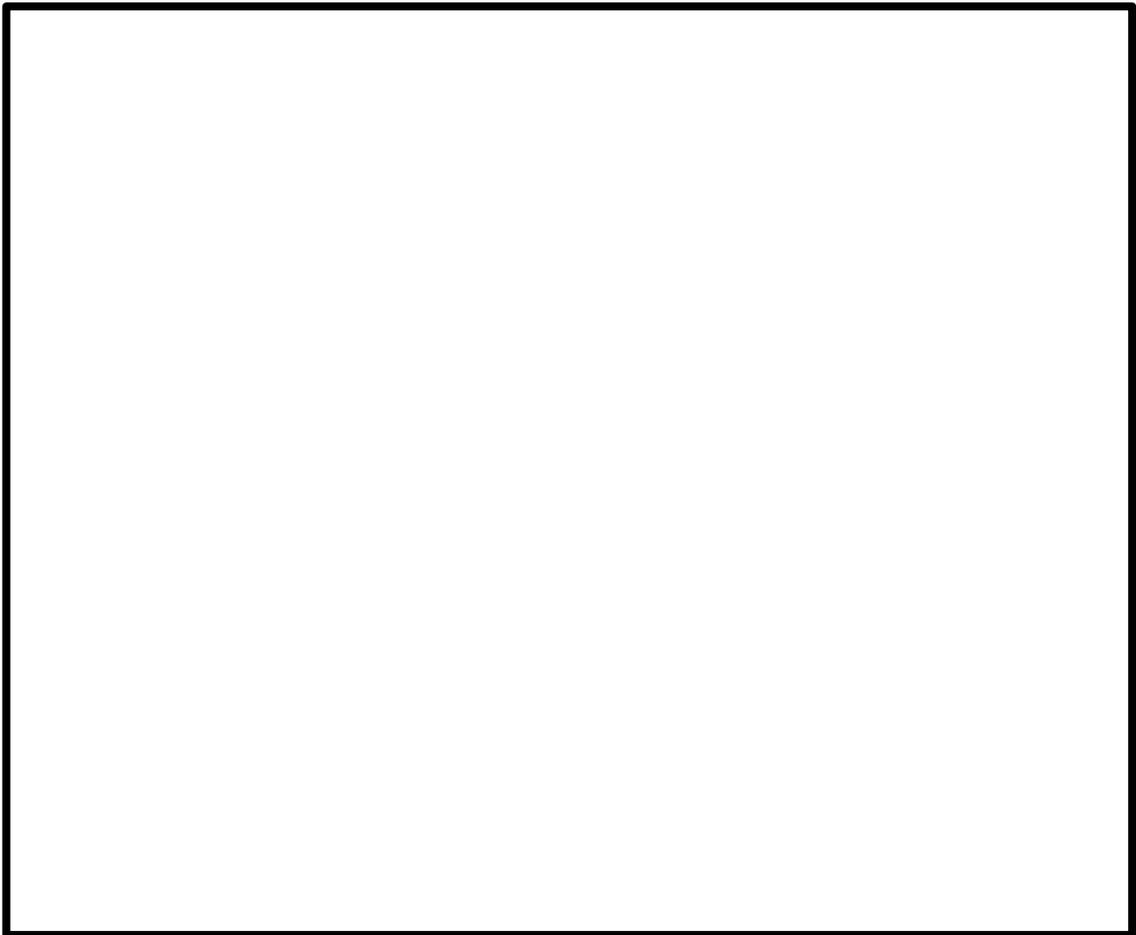
地点12（A-ディーゼル燃料移送ポンプピット西面）及び地点13（HPCS-ディーゼル燃料移送ポンプピット西面）については、基準高さに溢水時の最大浸水深を考慮した場合、建物外周扉等の設置位置より最大浸水深が高くなるが、当該地点に高さ2mのディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁及び南側防水壁並びにディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉及び南側水密扉を設置するため、溢水防護区画への影響はない。

従って、地下水の浸水想定範囲内の評価地点において、屋外タンク等の溢水による最大浸水深に地下水が地表面に溢れた場合に想定される浸水深を足し合わせた場合においても、当該溢水防護区画への影響はない。

注記*：評価に用いる溢水量（保有水量の割り増し）

20m³以上100m³以下の屋外タンク等：1.5倍

100m³を超える屋外タンク等：1.1倍



地点 1：原子炉建物南面

地点 2：原子炉建物西面 1

地点 3：原子炉建物西面 2

地点 4：タービン建物北面 1

地点 5：タービン建物北面 2

地点 6：タービン建物北面 3

地点 7：タービン建物北面 4

地点 8：取水槽海水ポンプエリア西面

地点 9：取水槽海水ポンプエリア東面

地点 10：廃棄物処理建物南面

地点 11：B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽北面

地点 12：A-ディーゼル燃料移送ポンプピット西面

地点 13：HPCS-ディーゼル燃料移送ポンプピット西面

-  地下水の浸水想定範囲の溢水水位算出地点
-  地下水の浸水想定範囲にある溢水防護区画
-  地下水の浸水想定範囲

図 3-3 地下水の浸水想定範囲の浸水深時刻歴（1 / 2）

（参考） 2-7

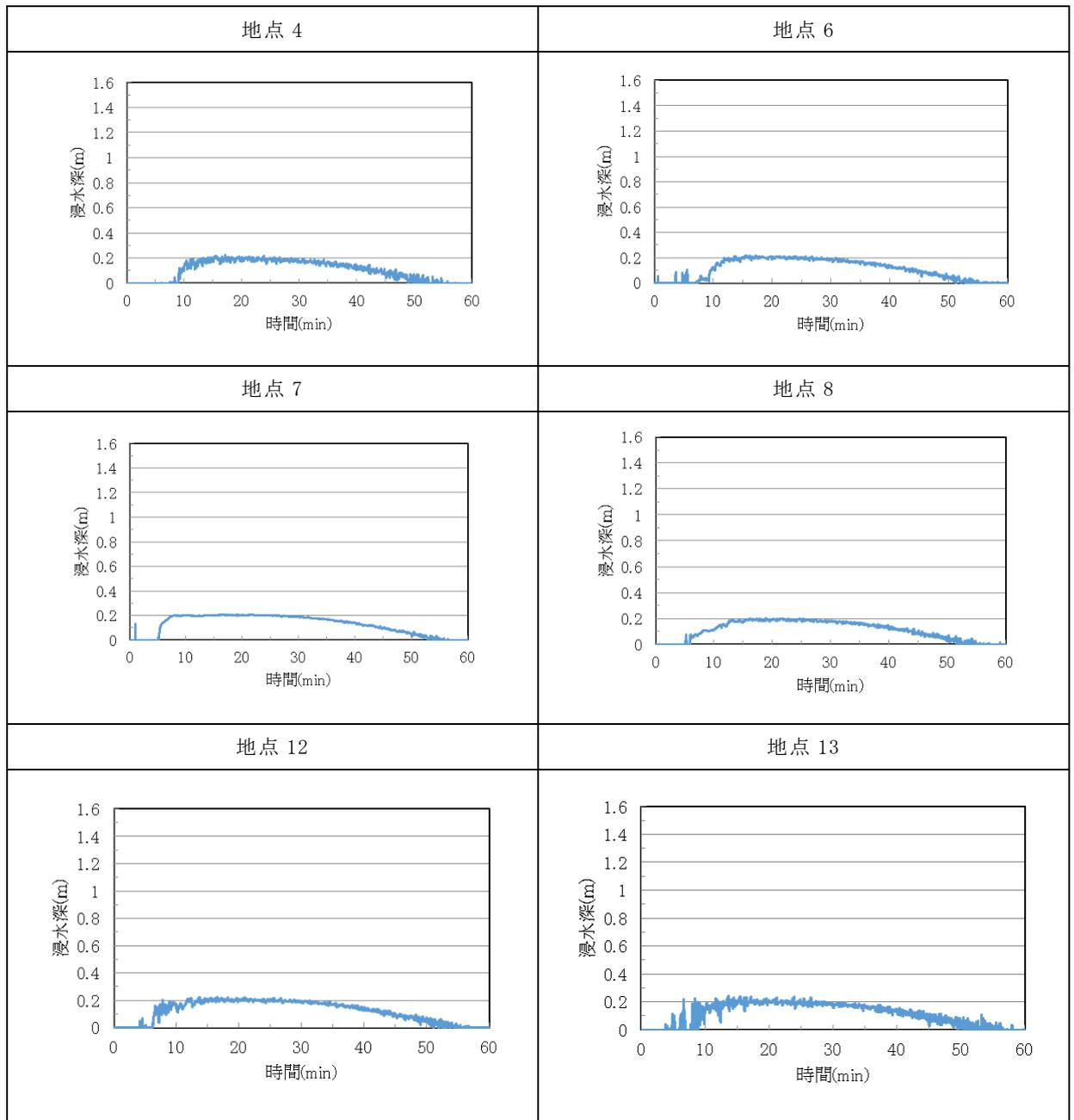


図 3-3 地下水の浸水想定範囲の浸水深時刻歴 (1 / 2)

(参考) 2-8

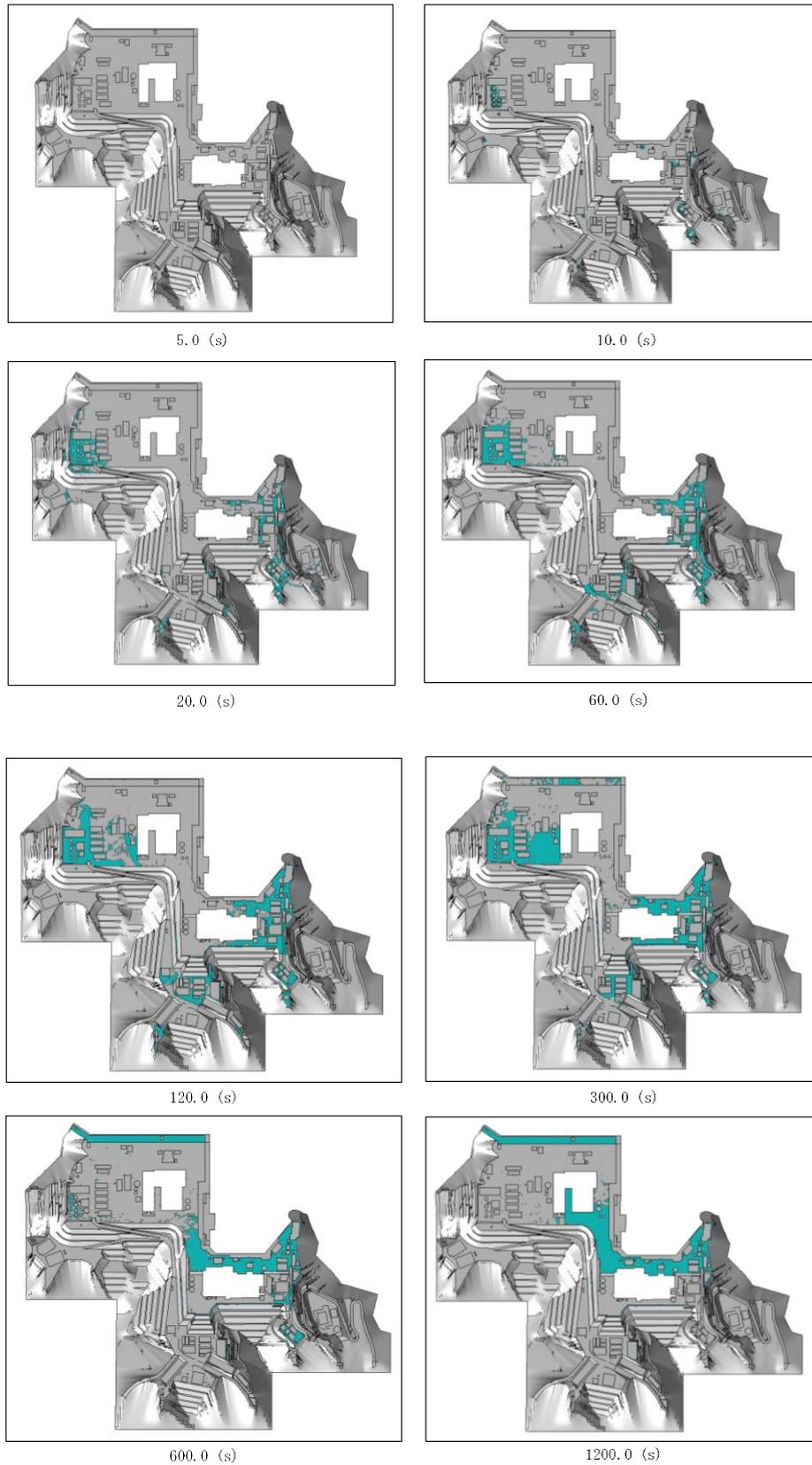


図 3-4 屋外タンク等の溢水伝播挙動

(参考) 2-9

表 3-1 地下水の浸水想定範囲の最大浸水深

代表箇所		基準高さ EL (m) ①	最大 浸水深 (m) ②	建物外周扉 等の設置位 置 EL (m) ③	建物外周扉 等の設置位 置を超える もの ③-①<②
地点 4	タービン建物北面 1	8.5	0.23	8.8* ¹	—
地点 6	タービン建物北面 3	8.5	0.22	9.1* ¹	—
地点 7	タービン建物北面 4	8.5	0.21	9.26	—
地点 8	取水槽海水ポンプ エリア西面	8.5	0.21	8.8* ²	—
地点 12	A-ディーゼル燃料移送 ポンプピット西面	8.5	0.23	8.7* ³	○
地点 13	HPCS-ディーゼル燃料 移送ポンプピット西面	8.5	0.25	8.7* ³	○

注記*1：タービン建物には防護すべき設備がなく、またタービン建物の容積を考慮すると、万が一タービン建物へ流入したとしても、隣接する原子炉建物等の溢水防護区画への影響はない。

*2：当該地点に高さ 2m の取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁を設置するため、溢水防護区画への影響はない。

*3：当該地点には高さ 2m のディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁及び南側防水壁並びにディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉及び南側水密扉を設置するため、溢水防護区画への影響はない。

3.2 アクセスルートの通行性への影響について

地下水が地表面に溢れた場合に想定される浸水深 7cm は、表 3-2 示す徒歩*及び可搬型重大事故等対処設備がアクセス可能な浸水深 22cm（可搬設備の機関吸排気口高さの最低値）以下であることから、事故対応のためのアクセスルートの確保及び作業実施に影響はない。

ここでは、地震時において地下水が地表面に溢れた状態及び屋外タンク等の溢水が同時に発生した場合のアクセスルートの通行性への影響を確認する。

注記*： 徒歩可能な浸水深は、建物の浸水時における歩行可能な水深が、「地下空間における浸水対策ガイドライン（平成14年3月28日 国土交通省）」において、歩行困難水深及び水圧でドアが開かなくなる水深から30cm以下と設定されていることより、屋外においても同値と設定

表 3-2 可搬型重大事故等対処設備の機関吸気口及び排気口までの高さ

設備名	機関吸気口高さ* ¹ (cm)	機関排気口高さ* ¹ (cm)
高压発電機車	113	22
大量送水車	95	25
移動式代替熱交換設備	223	25
可搬式窒素供給装置	212	27
大型送水ポンプ車	211	30
第1ベントフィルタ出口水素濃度	90	24
タンクローリ	76	25
ホイールローダ	45* ²	

注記*1： 吸気口の高さ及び排気口の高さは地上面からの測定結果（実測値）

同一可搬型設備名で複数の車種がある場合には最低値を記載

*2： ホイールローダについては、最低地上高を記載（実測値）

島根原子力発電所2号炉設置変更許可申請書EP-061 改97
技術的能力 添付資料 1.0.2 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについて
別紙(8)「可搬型設備（車両）の走行性について」より引用

屋外タンク等の溢水伝播挙動評価によるアクセスルート上の評価地点及び浸水時刻歴を図3-5に示す。アクセスルート地点の最大浸水深(0.21m)に地下水の浸水深7cmを足し合わせた場合、徒歩及び可搬型重大事故等対処設備がアクセス可能な浸水深22cmを超える浸水深が一時的に発生するが、本解析では、屋外排水路による排水機能及び敷地外への排水は期待していないこと、また、事故対応時には、水位低下後に可搬型重大事故等対処設備が通行するため影響はない。

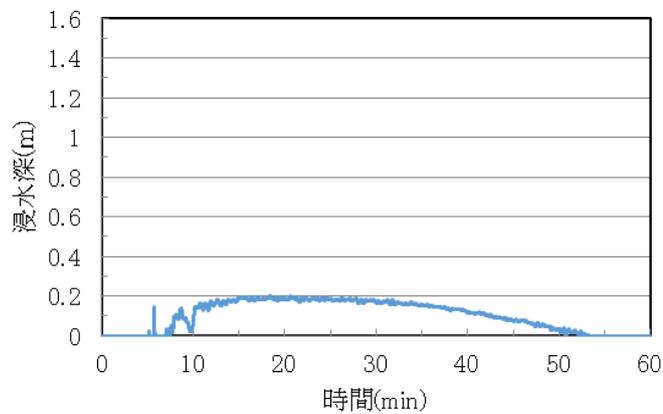
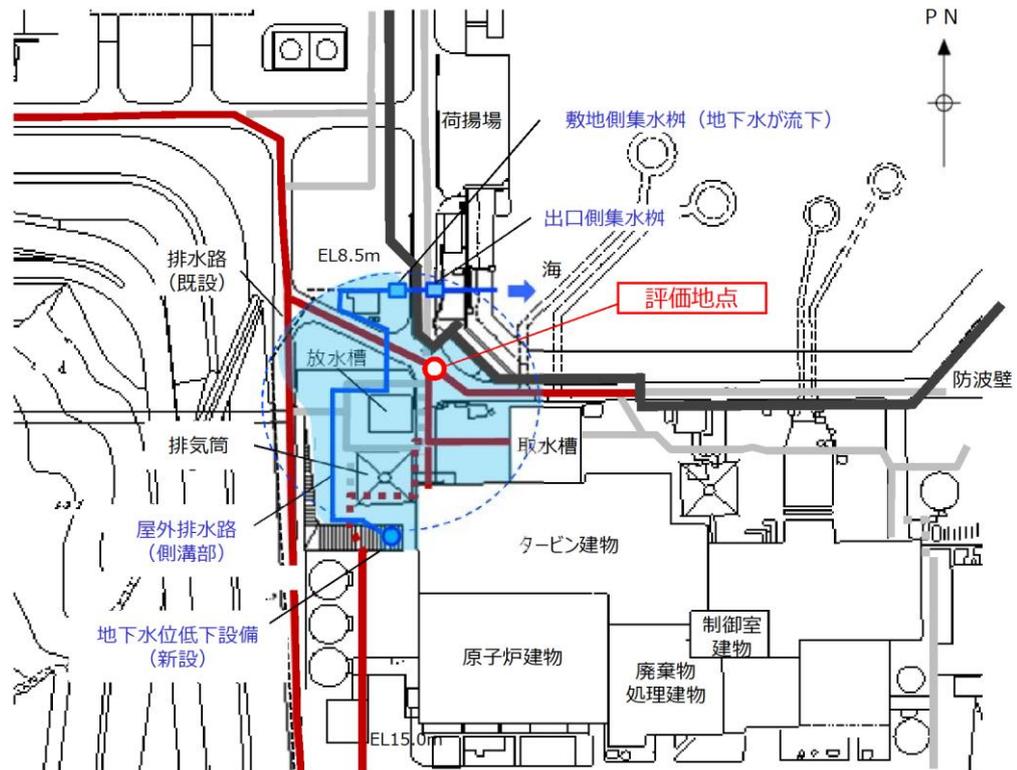


図3-5 アクセスルート地点の浸水時刻歴

(参考) 2-12

3.3 設計地下水位への影響について

地震時に屋外排水路（側溝部）の排水能力が低下し、地下水が地表面に溢れた状況を想定した場合、大半の地下水は地表面を流出し平坦な敷地に広がるが、地震によるアスファルト舗装等のひび割れ箇所等から地下に浸透し、構造物の耐震評価で用いる設計地下水位に影響する可能性があるため確認する。

地下水位低下設備（新設）に流入する地下水の流入量は、保守的な解析条件（流入量が多くなる透水係数の設定等）を与えた浸透流解析により算出した地下水流入量 $7969\text{m}^3/\text{日}$ ($332\text{m}^3/\text{h}$) であり、揚水ポンプの排水能力はこれを包絡するよう、 $216\text{m}^3/\text{h}/\text{個}$ を2個/系統 \times 2系統 ($432\text{m}^3/\text{h}/\text{系統}$ ($0.12\text{m}^3/\text{s}/\text{系統}$)) 設置する。

揚水ポンプを含む地下水位低下設備は、S s 機能維持の設計であり、地震後においても排水機能を有している。このため、地表面に溢れた地下水の一部が地下に浸透した場合は、再度、揚水ポンプで排水し続ける状態となるため、浸透した範囲の地下水位の上昇には至らず、構造物の耐震評価において保守的に高く設定している設計地下水位を上回ることはない。

地下に浸透した地下水の流れのイメージを図3-6に示す。

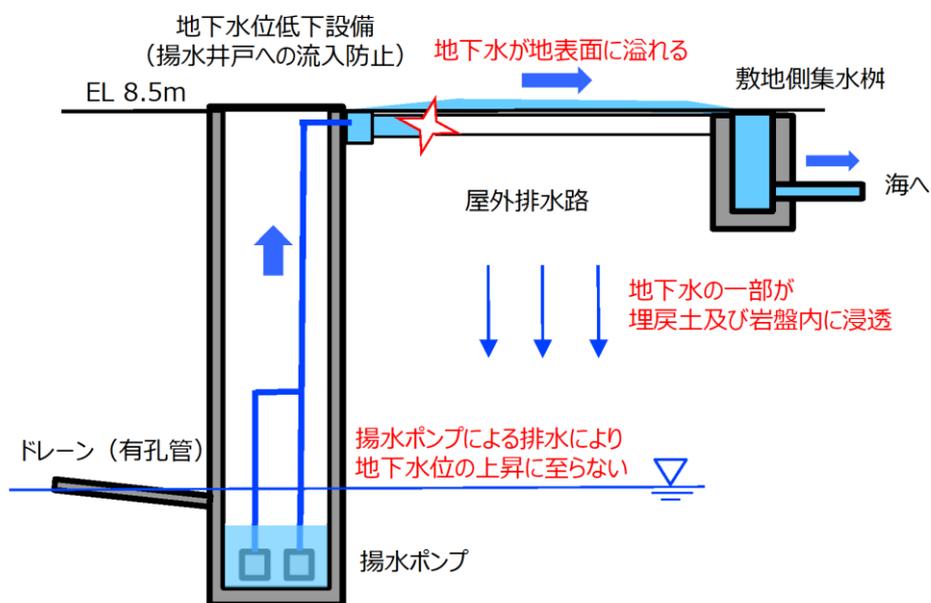


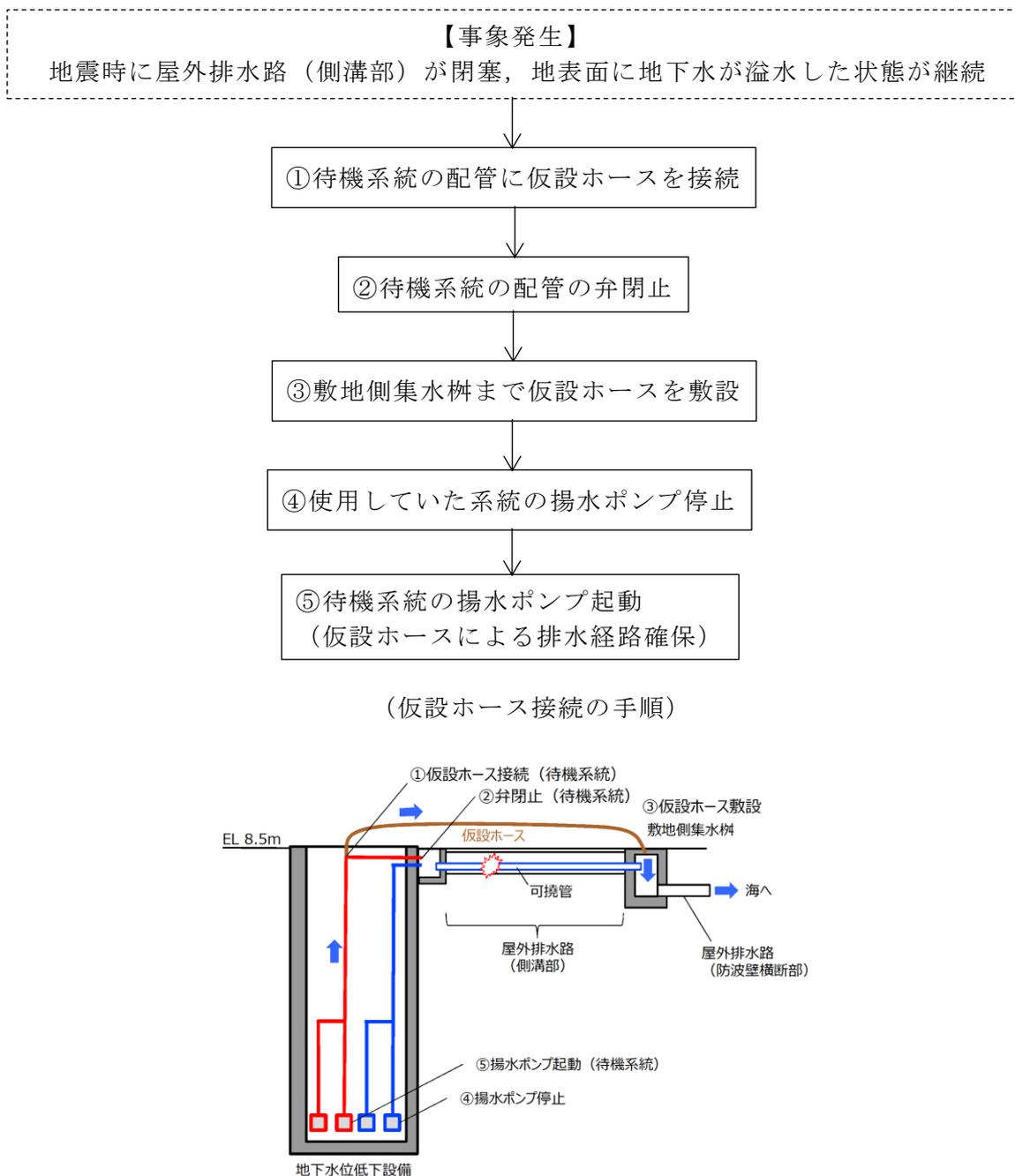
図3-6 地下に浸透した地下水の流れのイメージ

(参考資料 3) 仮設ホースの接続について

敷地内に地下水が溢れた状態を継続させない対応として、地下水位低下設備（新設）の揚水井戸内の配管上端に設置した接続口に仮設ホースを接続し、耐震性が確保された敷地側集水桝までの流路を形成することにより、地下水を海に排水する。

なお、仮設ホースについては圧力損失を考慮したものを選定する。

仮設ホース接続の概要を図 1 に示す。



(参考資料 4) 屋外排水の自主的な対策について

島根原子力発電所の屋外排水路（側溝部）については、EL 8.5m の平坦な敷地に設置すること、また、支障物を避けるため屈曲部が多い平面ルートであることから、地震時による損壊、変位等の発生による排水能力の低下に対する自主的な対策として、側溝内に変位追従性を有した可撓管を敷設し地下水を排水する構造とする。

この対策を実施することで、側溝に損壊、変位等が生じた場合においても、直ちに側溝内に敷設する可撓管の通水断面が閉塞し、地下水が地表面（EL 8.5m）に溢れる状態にならないよう努める。

屋外排水路（側溝部）の可撓管による排水イメージを図 1 に示す。

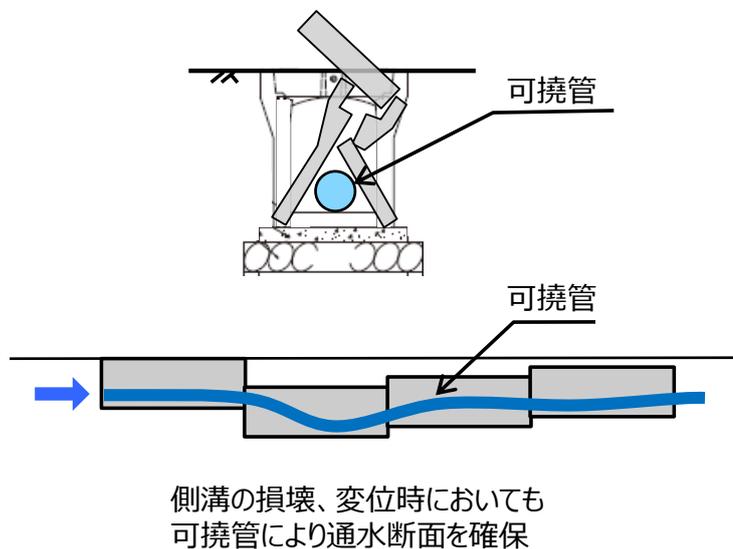


図 1 可撓管による排水イメージ