

本資料のうち、枠囲みの内容は防護上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-他-F-24-0024_改1
提出年月日	2021年10月20日

屋外排水路の機能及び耐震性に係る説明方針について

2021年10月
東北電力株式会社

1. 概要

地下水位低下設備にて汲み上げた地下水は、屋外排水路を介して海へ排水される。

本書は、地下水位低下設備の機能を考慮した設計用揚圧力・設計用地下水位を保持することに対する屋外排水路の位置付けと説明方針について整理したものである。

2. 屋外排水路の配置と排水能力

屋外排水路は、図1及び図2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、通常状態においては、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じて北側・南側幹線排水路に流れ、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。

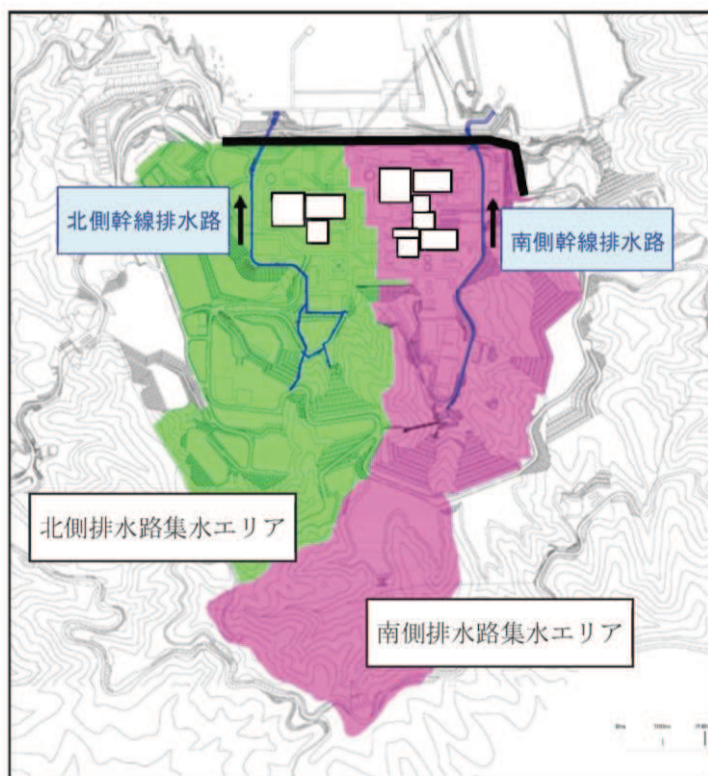
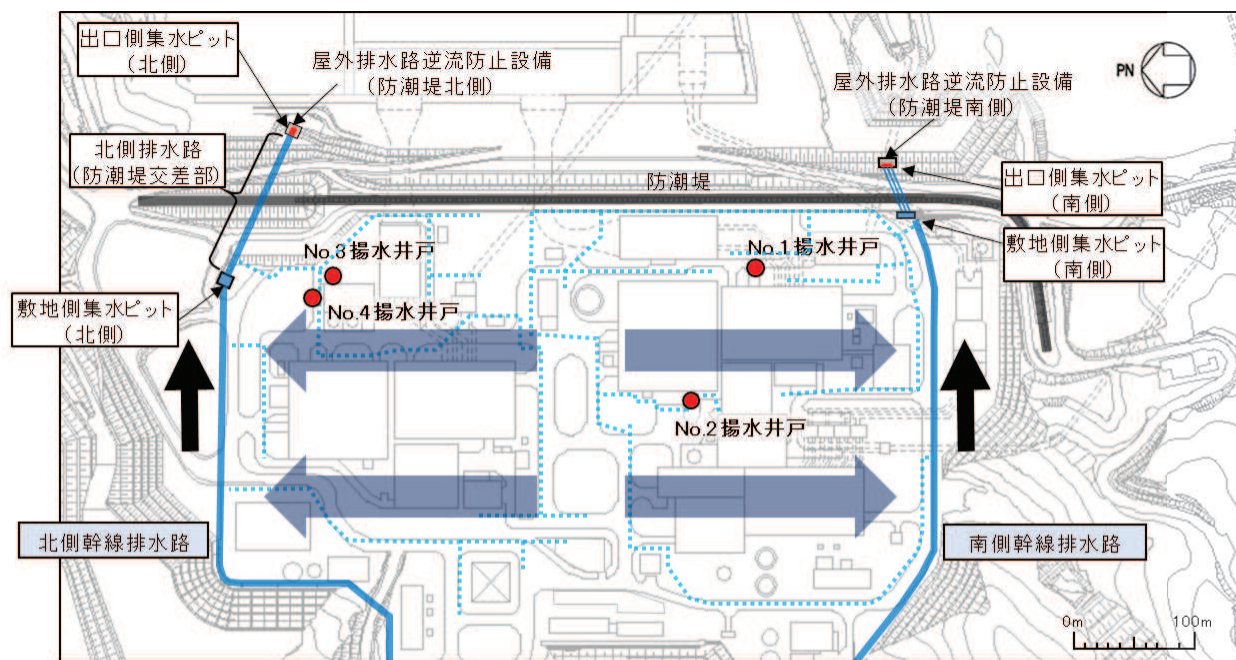


図1 各幹線排水路の集水エリア



(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)。

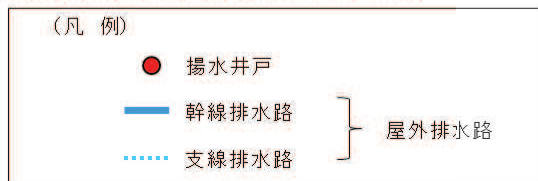


図2 屋外排水路と地下水位低下設備の位置関係

表1 幹線排水路の仕様と排水能力

排水路名	仕様	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	ボックスカルバート B3500mm, H2500mm	9.4	51.1
南側幹線排水路	ダブルプレスト管 φ1000mm×3	9.5	16.2

3. 屋外排水路の設置状況

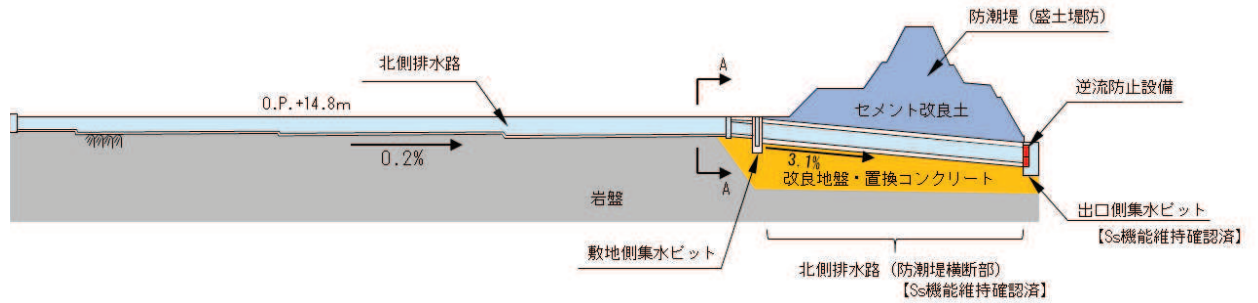
北側・南側幹線排水路の断面図を図3に示す。

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。

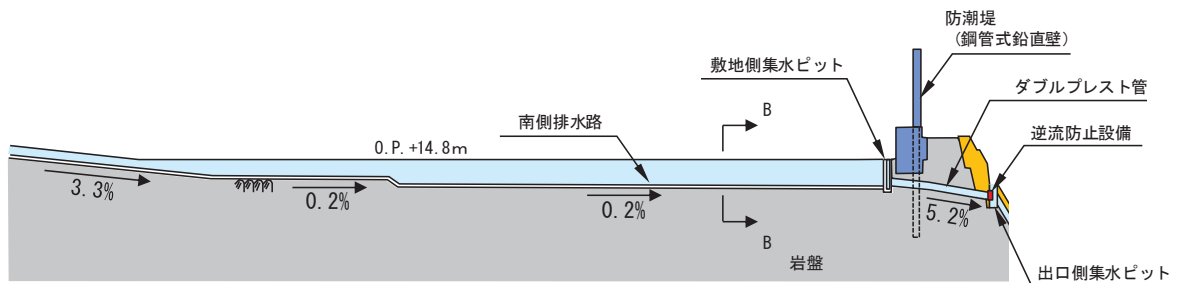
北側幹線排水路のうち、北側排水路(防潮堤横断部)は防潮堤への波及的影響防止の観点から、出口側集水ピット(北側)についてはSクラスの逆流防止設備の支持構造として、それぞれ基準地震動S_sに対する耐震性を確認している(詳細は「VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備(防潮

堤北側)の耐震性についての計算書」に示す)。

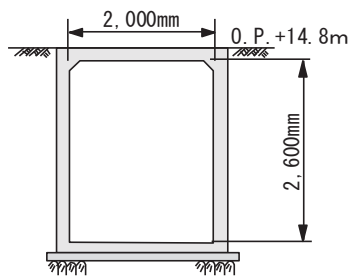
また、支線排水路はGL 付近に設置され、その多くの区間が盛土上に構築される。



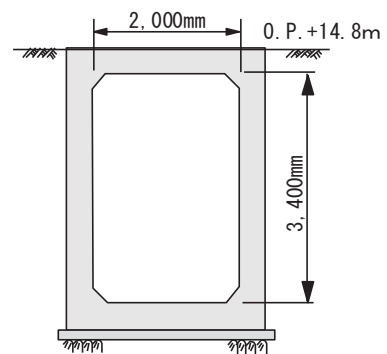
北側幹線排水路の縦断図



南側幹線排水路の縦断図



(A-A断面)



(B-B断面)

横断面図

図3 北側・南側幹線排水路の断面図

(「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)

4. 地下水位を設計範囲に保持する上での屋外排水路の位置付け

4.1 要求事項

地下水位低下設備の機能を考慮したO.P.+14.8m盤の施設等における設計用地下水位（設計用揚圧力を含む）は、地下水位低下設備により地下水を汲み上げ、O.P.+14.8m盤から海へ屋外排水路を通じて適切に排水されることにより保持され、技術基準第5条（耐震）に適合した状態を維持する。

このため、屋外排水路によりO.P.+14.8m盤から海へ確実に排水される必要がある。

4.2 通常時及び地震時等における排水経路

北側幹線排水路における排水経路の検討例を図4及び図5に示す。

地下水位低下設備でO.P.+14.8m盤へ汲み上げた地下水は、通常状態において、支線排水路及び幹線排水路を通じて海へ排水される。

また、地震時等においては、幹線排水路のうち敷地側集水ピットより上流側は、3.に示す支持状況から閉塞等が生じるような損壊は考えにくく、仮に経路の一部が部分的に閉塞したとしても、O.P.+14.8m盤の地表面を通じて排水可能であることから、O.P.+14.8m盤から海への排水に影響が生じることはない。

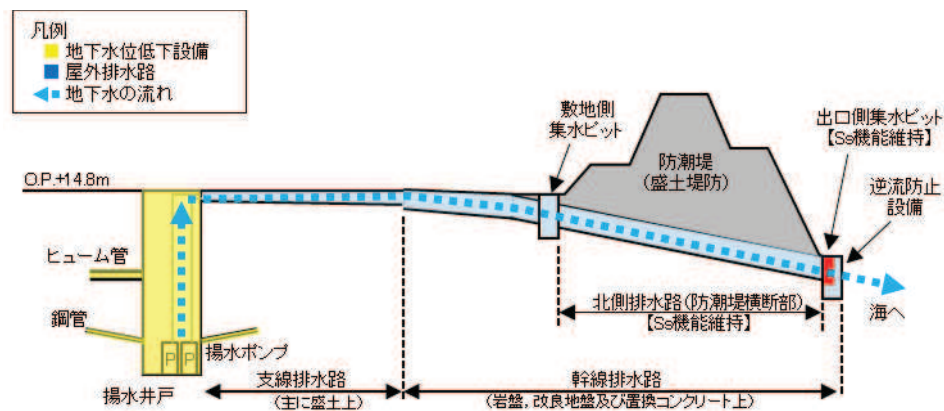


図4 O.P.+14.8m盤から海への地下水の排水経路（通常時）

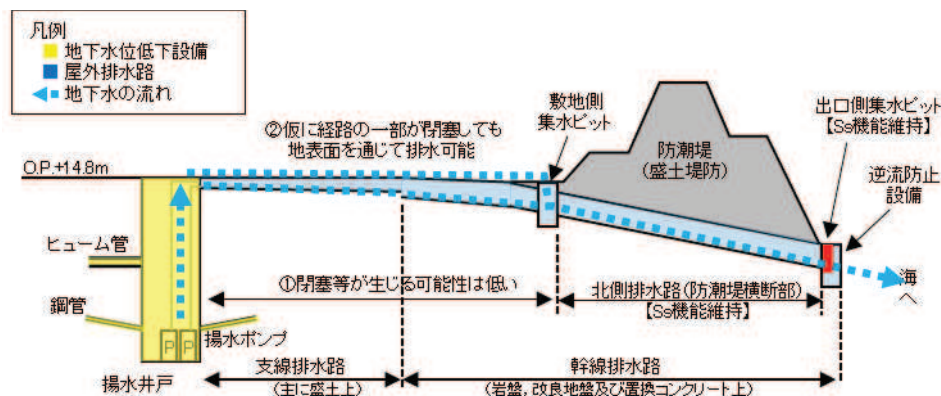


図5 O.P.+14.8m盤から海への地下水の排水経路（地震時等）

5. 屋外排水路の信頼性向上策の検討

5.1 検討概要

4. の整理を踏まえると、現状構造でもO.P. +14.8m盤から海への排水が阻害される可能性は小さいが、排水の信頼性を向上させる観点から、屋外排水路の構成部位のうち耐震性が確保されていない範囲が損壊し、かつ下流側へ流下しない場合を仮定し、影響と対策を検討した。

この検討は、想定される雨水流入量及び地下水位低下設備からの排水量に対して十分大きな排水能力*¹を有する北側幹線排水路と北側幹線排水路に接続される支線排水路を対象とし、O.P. +14.8m盤に排水が滞留する場合と、滞留せず地下へ再浸透する場合の双方を考慮した。

注記*1：地下水位低下設備からの排水量は0.175m³/s（浸透流解析より得られた原子炉建屋・制御建屋エリア，第3号機海水熱交換器建屋エリアの流入量合計（15124m³/日）より設定）である。仮に南側幹線排水路が機能喪失した場合を考慮しても、北側幹線排水路の排水能力（51.1m³/s）は北側・南側幹線排水路にて想定する流入量と地下水位低下設備からの排水量の合計値（19.075m³/s）を上回る。

5.2 汲み上げた地下水が敷地に滞留する場合の影響

北側幹線排水路への排水に寄与する各部位が機能喪失した場合の影響は図6のとおりであり、敷地側集水ピット（北側）が排水できなくなる①の場合においては、O.P. +14.8m盤から海への排水に影響が生じる可能性がある。

一方、地下水位低下設備からの排水が支線あるいは幹線排水路よりO.P. +14.8m盤に溢れる場合（②と③）は、地表を通じて敷地側集水ピット（北側）に集水されるため、O.P. +14.8m盤から海への排水に影響はない。（参考資料1に詳述）

損傷モード	その後想定される状態	説明
<p>①敷地側集水ピット(北側)が機能喪失し、下流側へ排水できない</p>	<p>O.P.+14.8m盤から海へ排水されず滞留する</p>	<ul style="list-style-type: none"> O.P.+14.8mから海側への排水ができず、地下水位低下設備の排水機能に影響を与える。 地下への浸透を想定しない場合、O.P.+14.8m盤に滞りし水位が徐々に上昇するため、内部溢水等の基準適合上も影響を与えるおそれがある。
<p>②幹線排水路(北側、敷地側集水ピットより上流側)が機能喪失し排水できない</p>	<p>O.P.+14.8m盤から海への排水に影響なし</p>	<ul style="list-style-type: none"> 幹線排水路(北側)の機能喪失後、O.P.+14.8m盤の地表を通じて敷地側集水ピット(北側)に集水される。 その後、耐震性の確保された北側排水路(防潮堤横断部)及び出口側集水ピット(北側)を介して海へ排水される。
<p>③支線排水路が機能喪失し排水できない</p>	<p>O.P.+14.8m盤から海への排水に影響なし</p>	<ul style="list-style-type: none"> 支線排水路の機能喪失後、O.P.+14.8m盤の地表を通じて敷地側集水ピット(北側)に集水される。 その後、耐震性の確保された北側排水路(防潮堤横断部)及び出口側集水ピット(北側)を介して海へ排水される。

図6 屋外排水路の機能喪失パターンと地下水位低下設備の排水への影響

5.3 汲み上げた地下水が地下へ浸透・再循環する場合の影響

O.P. +14.8m盤から海への排水経路が何らかの要因により阻害され、海への排水経路喪失後も雨水等が流入し、地下水位低下設備からの排水が継続して地表面に滞水した場合、滞水した地下水の一部は、地表面から浸透・再循環し、その状態が継続する場合は再度揚水ポンプにより地上に排水される。

O.P. +14.8m盤の設計用地下水位の設定において参照した浸透流解析と同様の条件(表2)にて、地表面に汲み上げた地下水が盛土を通じてドレーン(ヒューム管)の設置深度に到達するまでの時間について概略的に評価した。地表面における浸水深の増加速度(水頭の変化速度)については、地下水位低下設備からの排水量を敷地面積で割ることで設定し、浸透速度についてはダルシー則により算出している。

検討結果を図7に示す。図7より地表面の滞水がドレーン(設置深度: O.P. -28.9m)に到達、再流入するのは約120時間(約5日)後であり、これ以降、流入量(定常分)

に再循環分の流入量が増えていく。

表 2 再循環に要する時間の計算条件

項目	設定値	備考
透水係数 (盛土・旧表土)	3.0×10^{-5} m/s	浸透流解析と同条件*1
有効間隙率 (盛土・旧表土)	0.15	浸透流解析と同条件*1
浸水深 (水位上昇速度)	0.132m/日	地下水位低下設備からの排水量：15142m ³ /日， O.P. 14.8m 盤の敷地面積*2：115000 m ² より算出

注記*1：「補足-600-1 地盤の支持性能について」参照

*2：「VI-1-1-8 発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」参照

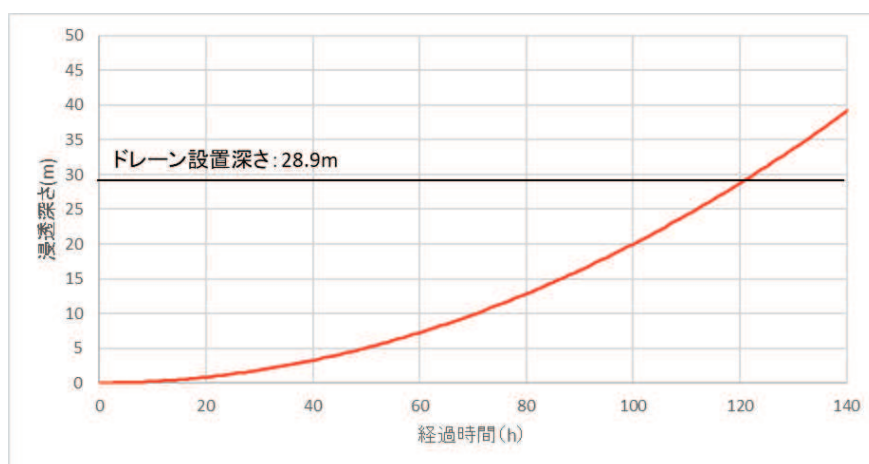


図 7 地表面からの浸透深さと経過時間

なお、5.3 の整理の通り、地下への再循環による影響は 5 日後以降に生じる可能性があるが、屋外排水路は地表付近に設置され、保守管理による対応（異常発見・仮復旧）が比較的容易な構造であるため、排水が溢れて地下へ浸透する状況は長時間継続しないことから、再循環により設計用地下水位へ影響が生じる可能性は低いと考えられる。

5.4 信頼性向上策（まとめ）

4. に示す通り，屋外排水路は地震時等においても O.P. +14.8m 盤から海への排水が可能であるが，5.2 の整理を踏まえると，仮に敷地側集水ピット（北側）から下流側へ排水できない状況を仮定した場合は，O.P. +14.8m 盤から海への排水に影響を与える可能性が考えられる。このため，屋外排水路の排水をより確実なものとし，信頼性を向上させる観点から，敷地側集水ピット（北側）についても基準地震動 S_s に対し機能維持させる方針とする。なお，敷地側集水ピット（北側）は耐震ノンクラスとする。

以上の整理を踏まえた屋外排水路の耐震性確保範囲を図 8 及び表 3 に，敷地側技術基準規則の関連条文についての確認結果を表 4 に示す。また，敷地側集水ピット（北側）の耐震性の検討方針を参考資料 2 に示す。

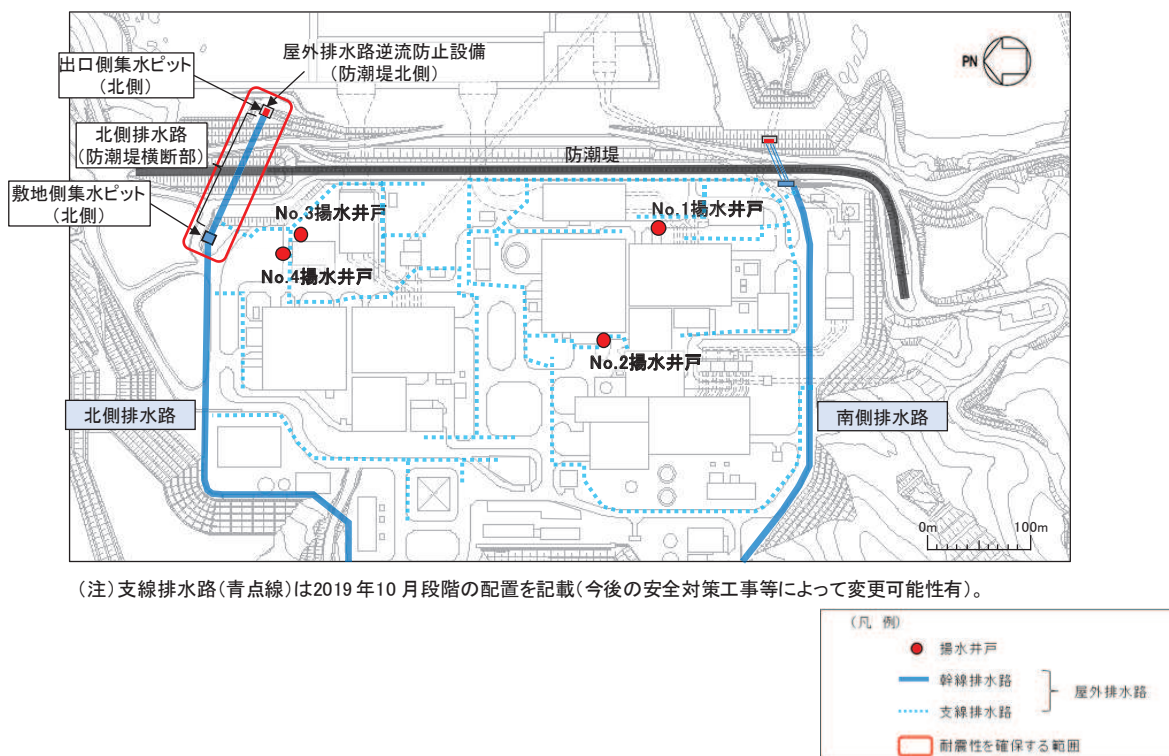


図 8 屋外排水路の耐震性確保範囲

表 3 屋外排水路の耐震性確保範囲と掲載図書

屋外排水路の部位	対応方針	掲載図書
出口側集水ピット（北側）	S_s 機能維持	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 (逆流防止設備の支持構造として耐震計算書を提出済)
屋外排水路（防潮堤横断部）		VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書
敷地側集水ピット（北側）		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（別紙として耐震評価結果を記載）

表 4 屋外排水路の設計方針変更に伴う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)	<p style="text-align: center;">—</p> <p>(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)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 O.P.+14.8m 盤から海への排水経路の信頼性が向上されるが、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))	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外排水路の一部の耐震性を確保した場合であっても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、基準適合への影響はない。
第 7 条 (降水)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外排水路は、敷地への降雨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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外排水路の一部の耐震性確保により、敷地への降雨を海域に排水する機能に対する基準適合への影響はない。
第 12 条 (内部溢水)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外排水路の一部の耐震性を確保した場合であっても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、基準適合への影響はない。
第 54 条 (アクセスルート)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 敷地への溢水(屋外タンク損傷)及び地下水位低下設備からの排水は、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。 ・ 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。

6. 工認図書における取扱い

屋外排水路の耐震性を確保し基準適合を図る方針について、表5のとおり地下水位低下設備に係る各図書に整理する。

表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

大分類	対応箇所	対応内容（追記箇所）	備考
本文	基本設計方針（5/50条） 原子炉冷却系統施設（共通項目） 2. 自然現象 2.1 地震による損傷の防止 2.1.1 耐震設計 (5) 設計における留意事項 b. 主要施設への地下水の影響	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備は、ドレーン、接続樹、揚水井戸、蓋、揚水ポンプ、配管、水位計、制御盤、電源（非常用ディーゼル発電機）、電源盤及び電路により系統を構成する。 地下水位低下設備は、ドレーン及び接続樹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。 （中略） 地下水位低下設備で汲み上げた地下水は屋外排水路を通じて0.P.+14.8m盤から海へ自然流下により排水されるが、排水をより確実なものとするため、敷地側集水ピット（北側）についても基準地震動Ssに対し機能維持する設計とする。 	信頼性向上の観点から、地下水位低下設備の排水をより確実に海へ流すため、敷地側集水ピット（北側）の耐震性を確保する方針を基本設計方針に明記する。
添付資料	VI-2-1-1 耐震設計の基本方針 VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備は、ドレーン、接続樹、揚水井戸、蓋、揚水ポンプ2個、配管、水位計3個、制御盤、電源（非常用ディーゼル発電機）、電源盤及び電路で系統を構成する。 本系統は、ドレーン及び接続樹により揚水井戸に地下水を集水し、水位計により検出した水位信号により揚水ポンプを起動し、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ことで、地下水位を一定の範囲に保持する設計とする。 	地下水位低下設備の各構成部位の設計方針を記載する。なお、屋外排水路は排水先であり、水位保持の前提であることを記載済。
	VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震計算の方針	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備の計算結果は、添付書類「VI-2-13-…（中略）…」についての計算書に示す。 また、地下水位低下設備にて集水した地下水は、屋外排水路を通じて0.P.+14.8m盤から海に排水することから、この役割を担う屋外排水路の構成部位（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））における計算結果として、敷地側集水ピット（北側）については「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」に、北側排水路（防潮堤横断部）については「VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書」に、出口側集水ピット（北側）については「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」にそれぞれ示す。 	地下水位低下設備の各構成部位の耐震計算書の紐付情報に加えて、水位保持上必要となる屋外排水路の耐震計算結果に係る紐付情報を明記する。
	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	<ul style="list-style-type: none"> 別紙追加（敷地側集水ピット（北側）の計算結果を記載） 	
補足説明資料	補足600-1 地盤の支持性能について	<ul style="list-style-type: none"> 参考資料追加（本紙で示した「屋外排水路の機能及び耐震性に係る説明方針について」を追加する） 	参考資料1-2を更新
	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		参考資料2として追加収録
	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	<ul style="list-style-type: none"> 別紙追加（敷地側集水ピット（北側）の計算結果に係る詳細情報を記載） 	

支線排水路機能喪失時の排水経路について

地下水位低下設備から汲み上げた地下水は、通常状態において、No.1 揚水井戸・No.2 揚水井戸からは南側幹線排水路へ、No.3 揚水井戸・No.4 揚水井戸からは北側幹線排水路へ、流下方向へ排水勾配を設けた支線排水路を介してそれぞれ排水され、O.P.+14.8m 盤より海へ排水される。また、支線排水路の多くの範囲が盛土上に設置されることも踏まえ、地震時等においては、支線排水路には期待せず、地表を通じて耐震性の確保された北側排水路流末部（敷地側集水ピット（北側）、北側幹線排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（北側））へ流れると評価している。

汲み上げた地下水の自然流下の可否の評価にあたり、以下(1)～(3)の整理を行った。

(1) 地表を通じた排水経路の阻害要因について

地震等の要因により南側幹線排水路及び支線排水路が機能喪失した状態を仮定した場合、地下水位低下設備から汲み上げた地下水は南側に流れず、O.P.+14.8m 盤の地表に溢れることが想定される。この場合、図9のように平坦なO.P.+14.8m 盤を通じて敷地側集水ピット（北側）に向けた地表水の流れが形成され、敷地側集水ピット（北側）から海へ継続的に排水されることから、地表の水位が局所的に上昇することはない。

なお、各揚水井戸から北側幹線排水路流末部へ至るO.P.+14.8m 盤の排水経路（地表面）を横断する施設等はなく、倒壊等により排水経路が阻害されるような事象は発生しない。（図10）



注) 浸透流解析による再現解析段階での土地利用例であり、工事完了後の状況とは異なる。

図9 南側幹線排水路及び支線排水路機能喪失時の各揚水井戸からの排水経路の例



写真 1

写真 2

写真 3

図 10 排水経路の状況（令和 3 年 10 月撮影。写真撮影位置は図 9 参照。）

(2) O. P. +14.8m 盤の盛土の性状について

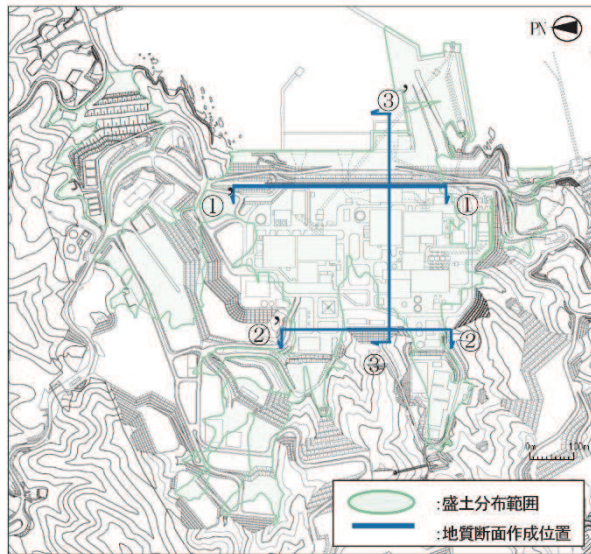
女川原子力発電所における盛土の分布範囲を図 11 に示す。

盛土は、発電所建設時の敷地造成及び構造物建設時の埋戻しにより、敷地のほぼ全域にわたって分布しており、施工管理基準により施工範囲全域にわたって同様に締固められていることから、均一性が確保されている。（補足-600-1 地盤の支持性能について 参考資料 15）

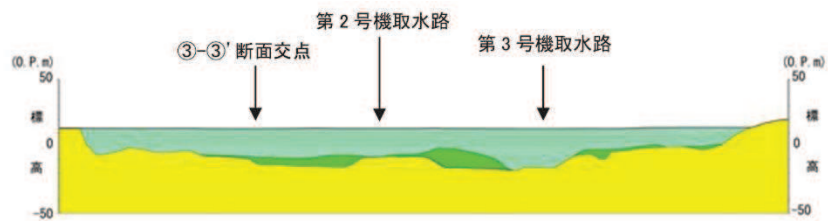
また、盛土・旧表土は 2011 年東北地方太平洋沖地震における構内の沈下実績も踏まえ沈下率を設定しており、地震時は盛土・旧表土が全体的に沈下するものと想定している。（補足-200-14 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルートについて）

このため、盛土・旧表土の不同沈下により、地震時等において排水経路を阻害するような不陸等が生じる可能性は低いと考えられる。

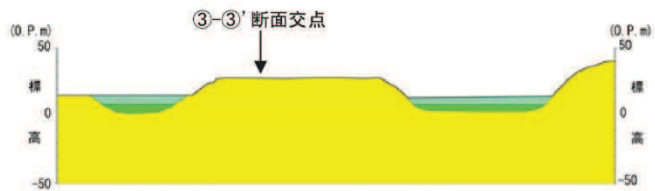
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



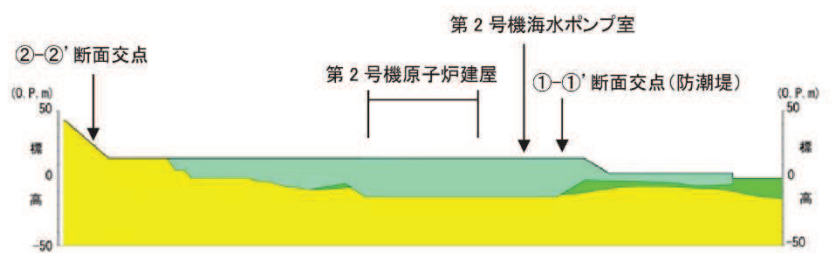
(1) 平面図



①-①' 断面図(防潮堤)



②-②' 断面図



③-③' 断面図



(2) 断面図

図 11 盛土の分布範囲

(「補足 600-1 地盤の支持性能について」より抜粋)

(3) 2011年東北地方太平洋沖地震における O.P. +14.8m 盤の状況について

2011年東北地方太平洋沖地震によって、女川原子力発電所の構内には不同沈下が生じている。建物近傍など局所的には最大40cm程度の沈下量を確認した箇所もあるが、構内道路や緑地帯には大きな変状は確認されず、車両の通行に支障を及ぼす状況は確認されなかった。(図12) (補足-600-1 地盤の支持性能について 参考資料16)

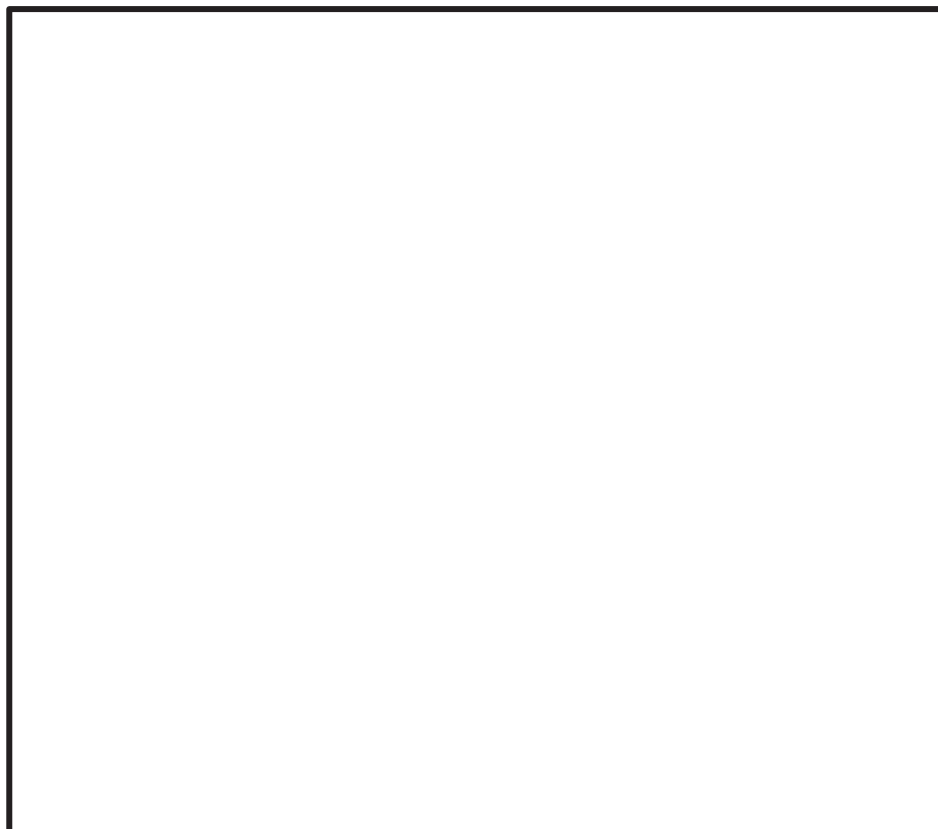


図12 2011年東北地方太平洋沖地震後の状況写真(第3号機南側)

(「補足600-1 地盤の支持性能について」から抜粋)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

敷地側集水ピット（北側）の耐震性の検討方針

1. 設計方針

- ・ 雨水等が O.P. +14.8m 盤に滞留せず確実に海へ排水できるよう，O.P. +14.8m 盤へ新たに敷地側集水ピット（北側）を構築する。（図 13 に既設の敷地側集水ピット（北側）の構造概要図を示す）
- ・ 新たに構築する敷地側集水ピット（北側）の評価方針は以下のとおり。
 - 基準地震動 S_s に対し，構造強度を有することを確認する（ S_s 後も内空を確保し，上流及び上部（O.P. +14.8m）からの水を下流側に流下する機能を維持することを確認する）。
 - 物性ばらつきを考慮した地震応答解析（1次元重複反射理論：SHAKE）により集水ピット部の応答を求め，頂版，側壁及び底版をフレームでモデル化し，応答変位法により応力解析を実施する（解析手法は東海第二の地下排水設備排水シャフトで実績有。フレーム解析：SLAP Ver6.65）。（図 14）
 - 頂版には集水のためグレーチングを設置予定。
 - 評価対象断面は，弱軸となる上下流方向の直角方向とする。
 - 評価項目は，頂版，側壁及び底版（曲げ，軸力，せん断照査：短期許容応力度，せん断耐力），基礎地盤（接地圧：極限支持力）とする。

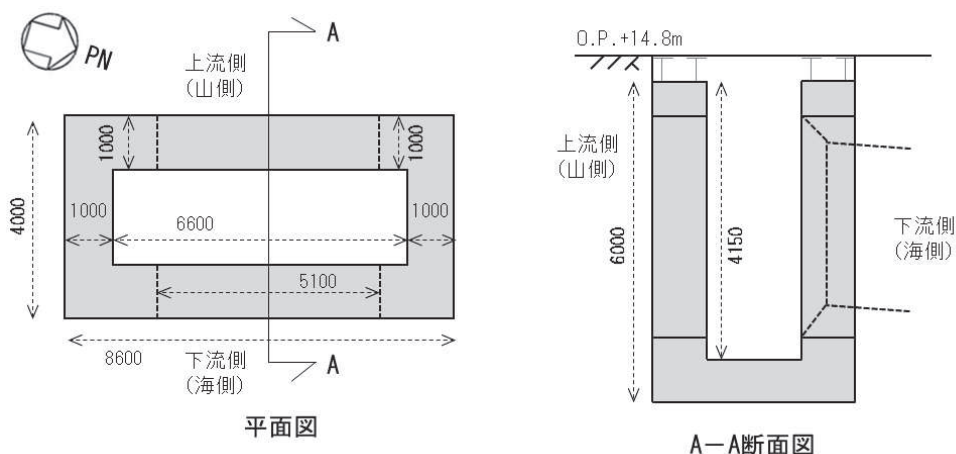


図 13 既設の敷地側集水ピット（北側）構造概要図

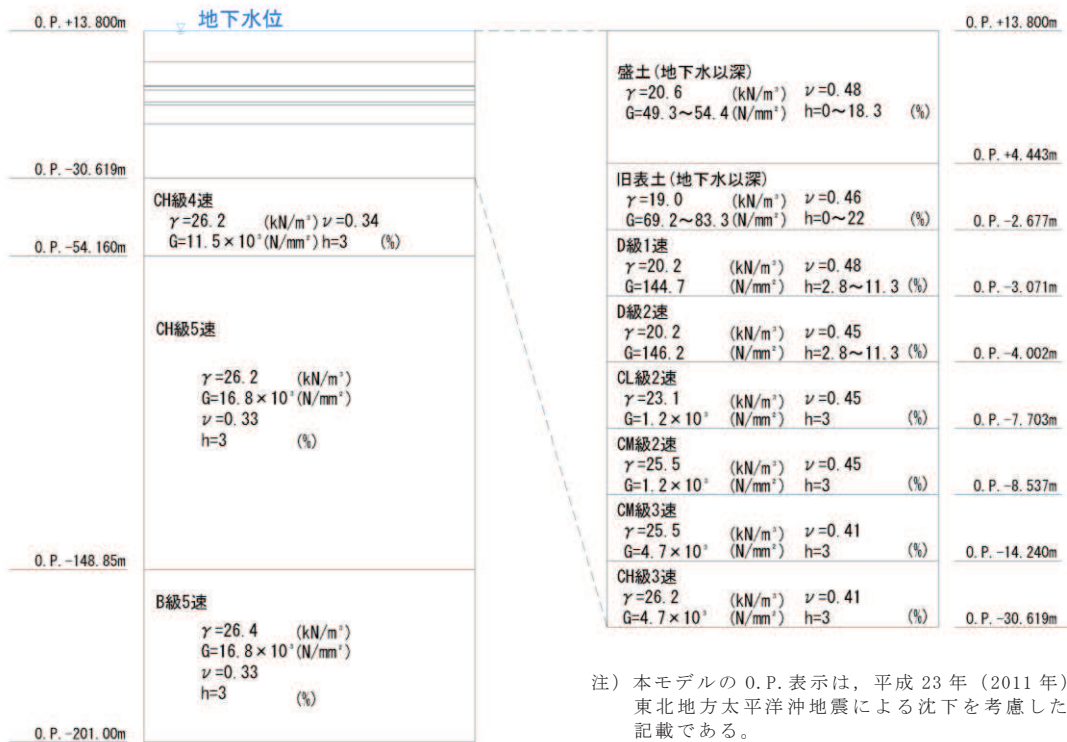


図 14 地震応答解析モデル