

女川原子力発電所2号炉 地下水位の設定について

令和元年 5月 21日
東北電力株式会社

1. 審査会合におけるコメントと回答主旨	2
2. はじめに	5
3. 既設の地下水位低下設備の概要	7
4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針	21
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針	34
添付資料	
添付資料1 揚水井戸・ドレーンの状況	75
添付資料2 接続柵の構造概要	78
添付資料3 ドレーン構成部材の耐久性	80
添付資料4 ドレーンの信頼性確保の検討	83
添付資料5 各審査段階における提示内容	98
補足説明資料	
補足説明資料1 敷地の水文環境	102
補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析結果	104
補足説明資料3 構内排水路の概要	121
補足説明資料4 三次元浸透流解析による防潮堤沈下対策の影響確認結果(通常時)	123
補足説明資料5 基礎地盤の安定性評価における地下水位設定の考え方	129
補足説明資料6 地下水位低下設備の機能喪失後の水位上昇	134
補足説明資料7 現行の重要度分類上の位置付けの整理	136
補足説明資料8 新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例	143

1. 審査会合におけるコメントと回答主旨

第1-1表 審査会合におけるコメントと回答主旨(1/2)

No.	審査会合におけるコメント(平成31年3月26日)	回答主旨	対応頁
1	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備の設計について、重要度分類の考え方を踏まえた上で、全体の設計として、地下水位の維持及び多重化等の対策の妥当性を提示すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備は供用期間中の全ての状態において地下水位を一定の範囲に保持する必要があることに鑑み、地下水位低下設備を安全機能の重要度分類上のクラス1に相当する設備と位置付けたうえで、設置許可基準規則※の要求事項を踏まえて地下水位低下設備の設計の考え方・妥当性を整理して示した。 	<ul style="list-style-type: none"> p.35～p.67
2	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備の運用管理方針について、原子炉の停止操作後にも必要となる安全機能等の維持を踏まえ、地下水位を一定の範囲に保持するための対策及びその対策の妥当性を提示すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉施設保安規定において地下水位低下設備に運転上の制限(LCO)を設定する方針を示した。 また、原子炉施設保安規定に関連付けた社内規定類において、地下水位低下設備の運転管理方法(機能喪失時の可搬型設備による機動的な対応による復旧手順等)を定める方針を示した。 地下水位低下設備を予防保全対象として管理し、予め予備品を確保する方針を示した。 	<ul style="list-style-type: none"> p.68～p.70
3	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備の機能喪失時について、地下水位上昇における時間余裕の考え方及びその考え方に対する対策と効果並びに時間余裕があるとして対策を行わない場合の対応の考え方を提示すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位上昇における時間余裕は、地下水位低下設備の機能喪失後、地下水位が上昇し対象施設の安全性に影響を与えるレベルに達するまでの期間である。 本検討において、地下水位低下設備は安全機能の重要度分類上のクラス1に相当する設備と位置付けて多重性又は多様性及び独立性を確保した設計とし、この設計を踏まえて浸透流解析により地下水位を設定することから、時間余裕を指標とした対応ではなく、設計対応とする方針とする。 	<ul style="list-style-type: none"> p.28 p.35, 39～40
4	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備の機能喪失要因の分析について、地下水位低下設備は供用期間の全ての状態において機能維持が必要としていることを踏まえ、想定する事象を網羅的に提示すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所の供用期間の全ての状態(通常運転時(起動時, 停止時含む), 運転時の異常な過渡変化時, 設計基準事故時, 重大事故等時及び大規模損壊時)において、事象の発生要因とプラント状態を踏まえた地下水位低下設備の設計上の配慮事項を整理した。 	<ul style="list-style-type: none"> p.58～p.67

※ 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(以下、設置許可基準規則という)

第1-1表 審査会合におけるコメントと回答主旨 (2/2)

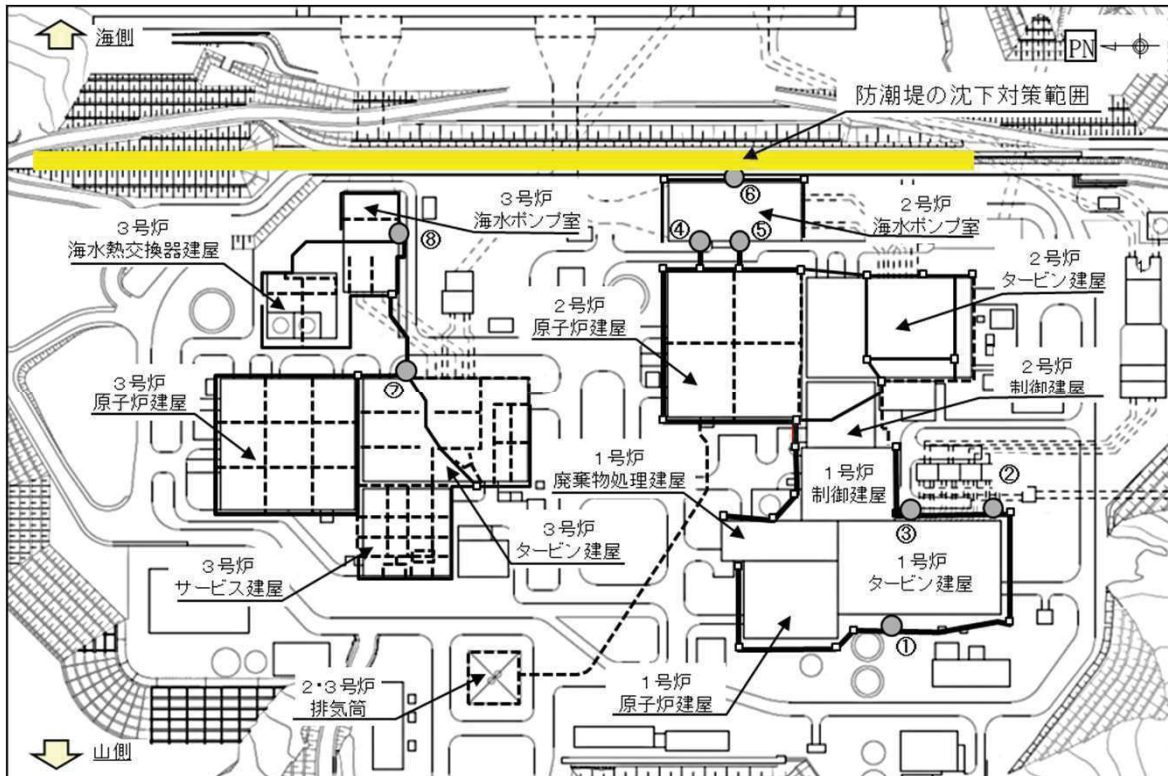
No.	審査会合におけるコメント(平成31年3月26日)	回答主旨	対応頁
5	<ul style="list-style-type: none"> ドレーンの検討フローについて、ドレーンの通水性能の確保の継続的確認の実現性を踏まえ、各判断項目の具体的な検討内容を整理した上で、フロー全体のわかりやすい説明を提示すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ドレーンの有効範囲は、信頼性(耐久性, 耐震性, 保守管理性)が確保され、さらに安全機能の重要度分類上のクラス1相当の要求に対応できる範囲を浸透流解析において考慮する考え方(フロー)とし、このフローに基づき既設設備の抽出と必要なドレーン新設等を行う方針を示した。 また、ドレーンの配置検討においては、設置許可基準規則第12条への適合性を確認するプロセスとして、想定事象(動的機器の単一故障((短期・長期)並びに静的機器の単一故障(長期)))に対する機能維持の考え方が分かる形で整理した。 	<ul style="list-style-type: none"> p.84～p.97 p.41～p.54, p.84～p.97
6	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備のリスク低減策について、原子炉建屋及び3号機海水熱交換器建屋基礎版下部の有孔塩ビ管に想定される不確かさケース及び新設ドレーンに期待する効果を整理して提示すること。 	<ul style="list-style-type: none"> なお、ドレーンの有効範囲の設定にあたり、2号炉原子炉建屋及び3号炉海水熱交換器建屋基礎版下部の有孔塩ビ管については、土砂堆積事象の進展速度が緩速であることを踏まえ、定期的な点検(土砂排除含む)を行うことで供用期間中における機能保持が可能と考えられるが、万が一閉塞した場合の検知・修復が不確実と考えられることから、閉塞を前提とした設計とする方針を示した。 	<ul style="list-style-type: none"> p.39

2. はじめに

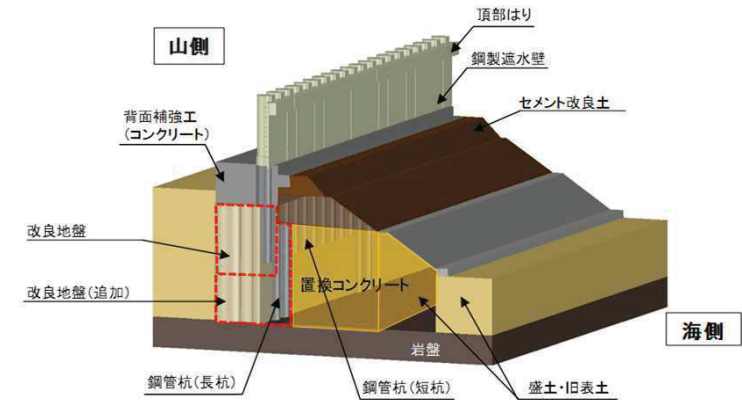
2. はじめに

(1) 地下水位低下設備に期待する機能

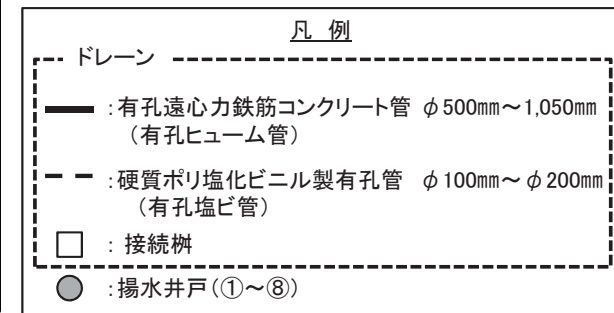
- 原子炉建屋等の主要建屋直下及びその周囲には地下水位低下設備が設置され、建設時工認の施設評価において、その機能に期待した地下水位の設定を行っている。(第2-1図)
- 地下水位低下設備の機能は、地下水位を一定の範囲に保持することであり、これにより地下水位低下設備の機能に期待する施設(以下、対象施設)に及ぶ水位上昇に伴う影響が低減される。
- 従前は山から海へ向かう一方向の流動場が形成されていたが(補足説明資料1)、今後、防潮堤直下の沈下対策を行うこと(第2-2図)により敷地内の地下水の流れが遮断され、敷地内の流動場は大きく変化する。この結果、地下水位低下設備の機能に期待できない場合の地下水位は沈下対策前より上昇することから、地下水位低下設備の重要性は従前より増したと考えられる。
- 本資料では、今後の設計に用いる地下水位を設定するにあたり、防潮堤沈下対策後における対象施設の安全性に及ぼす影響を確認し、必要な機能を保持するための信頼性確保の方針について検討した。
- この上で、信頼性向上策を踏まえた設計用地下水位の設定方法について整理した。



第2-1図 地下水位低下設備(既設)設置位置図



第2-2図 防潮堤の沈下対策概要

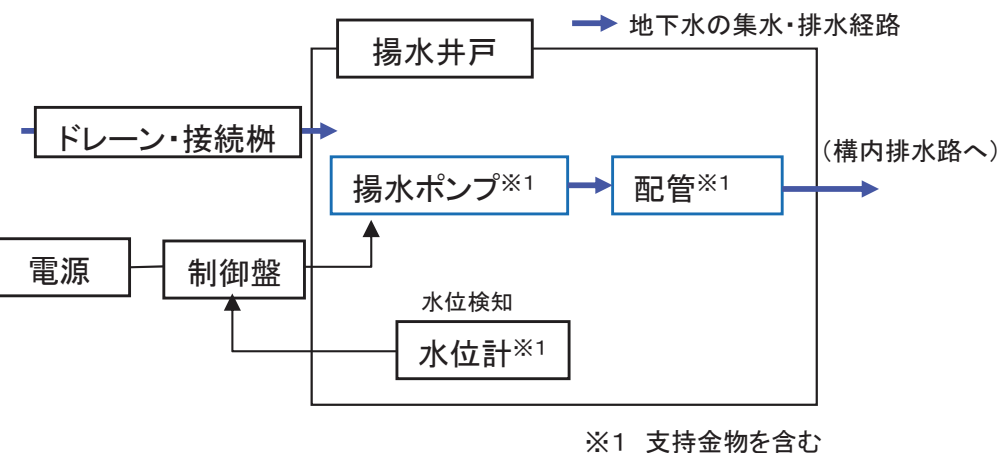


3. 既設の地下水位低下設備の概要

3. 既設の地下水位低下設備の概要

(1) 全体構成

- 既設の地下水位低下設備は、原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋、排気筒、及び海水ポンプ室等の各号炉の主要施設下部周辺に設置しており、地下水はドレーンによって集水し、揚水井戸内に設置した揚水ポンプ・配管により構内排水路(補足説明資料3)へ排水される。なお、建設時工認(女川2号炉, 3号炉工認)では地下水位低下設備の機能を考慮した二次元浸透流解析を参照し、周辺施設(屋外重要土木構造物等)の設計用地下水位の設定、揚水ポンプ容量等の設定を行っている。(補足説明資料2)
- 地下水位低下設備は、第3-1図に示す部位により構成され、各構成部位が地下水の集・排水機能、支持・閉塞防止機能並びに地下水位の監視機能他を維持することにより、地下水位は一定の範囲に保持される。(第3-2図)
- 女川原子力発電所の地下水位低下設備は、各号炉の建設時に設置され、その後、保守管理を行いながらその機能を維持している。なお、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後に実施した主要な設備の目視確認の範囲においては、ドレーン及び揚水井戸の集・排水機能に異常は確認されなかった。(添付資料1)



第3-1図 地下水位低下設備(既設)の基本構成

機能	構成部位	設備構成のイメージ
集水機能	ドレーン・接続桝	<p>このイメージ図は、原子炉建屋等の地下水位を低下させるための設備の断面図を示しています。地下水面は点線で、地下水の排水経路は矢印で示されています。建屋下部には「ドレーン」があり、これらは「揚水井戸」へと集水します。揚水井戸内には「揚水ポンプ」が設置されており、そこから「配管」を通じて「(構内排水路へ)」排水されます。また、「水位計」が揚水井戸に設置されており、「制御盤」がこれらを制御しています。建屋の床下には「岩盤」が示されています。</p>
支持・閉塞防止機能	揚水井戸	
排水機能	揚水ポンプ	
	配管※3	
監視・制御※2機能	水位計※3	
	制御盤	
電源機能	電源	

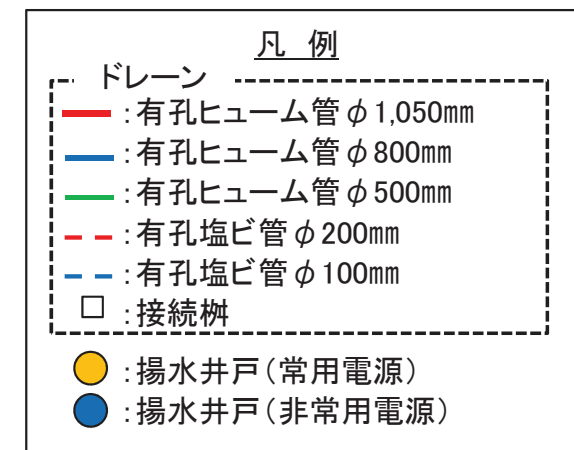
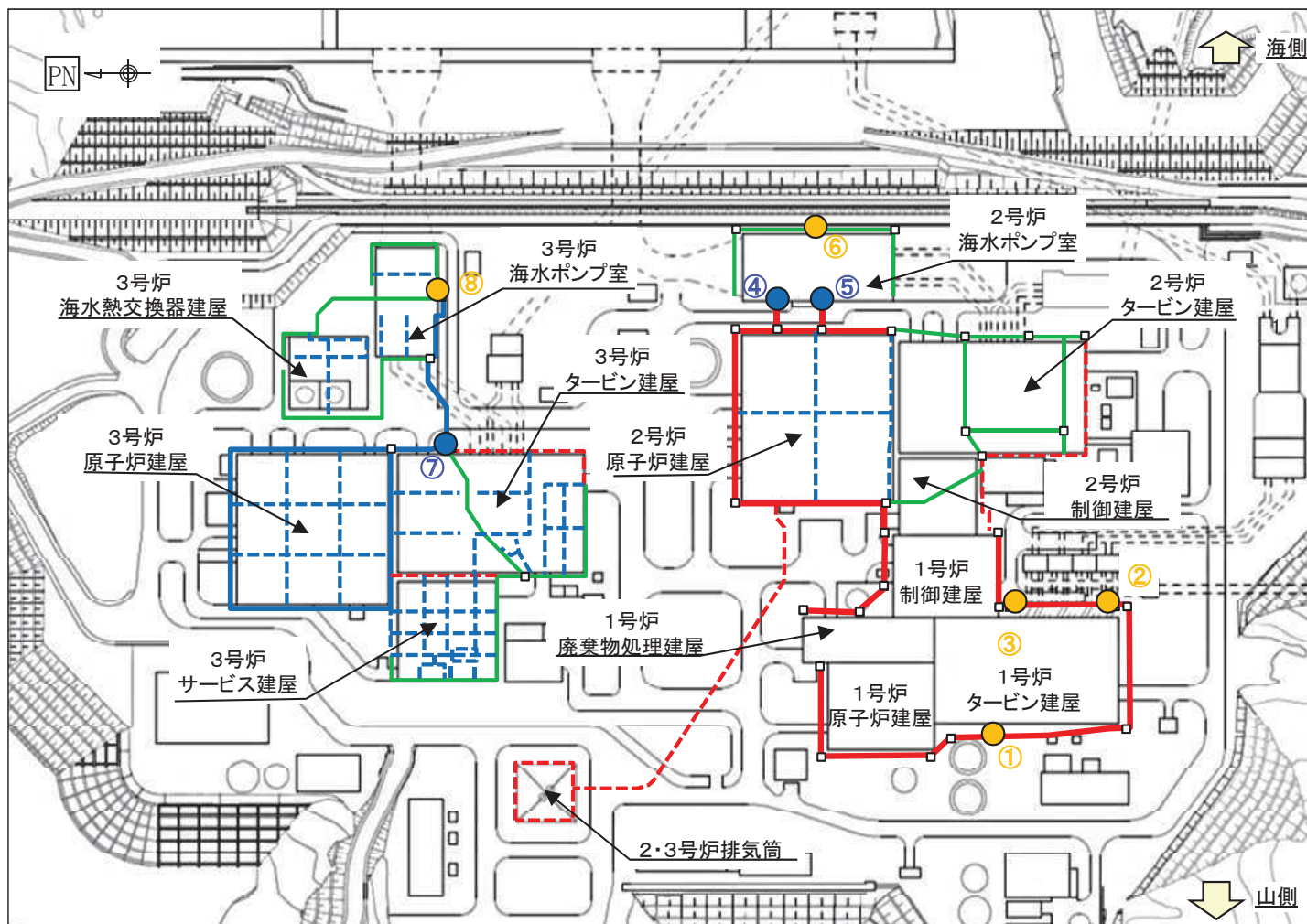
第3-2図 地下水位低下設備(既設)の機能と構成部位

※2 伝送機能を含む ※3 支持金物を含む

3. 既設の地下水位低下設備の概要

(2) 揚水井戸・ドレーン設置状況

- 地下水位低下設備のうちドレーン・揚水井戸の配置を示す。(第3-3図, 第3-1表)
- 各施設周囲の岩盤上に設置された有孔塩ビ管(φ100mm, 200mmの2種類)及び有孔ヒューム管(φ500mm, 800mm, 1,050mmの3種類)により地下水を揚水井戸に集水し, 揚水ポンプ(2台/1箇所)・配管を介して構内排水路へ排水する構造となっている。ドレーンの分岐部, 曲がり部は鉄筋コンクリート造の接続樹が設置されている箇所もある。
- 女川原子力発電所においては, 異常時等において点検を行う場合を考慮し, 原子炉建屋周辺等において一部大口径のドレーン(φ800mm, φ1,050mmの有孔ヒューム管)を採用している。



第3-1表 揚水井戸の電源区分

	非常用電源	常用電源
1号炉	—	①, ②, ③
2号炉	④, ⑤	⑥
3号炉	⑦	⑧

第3-3図 地下水位低下設備(既設)のドレーン・揚水井戸区分

3. 既設の地下水位低下設備の概要

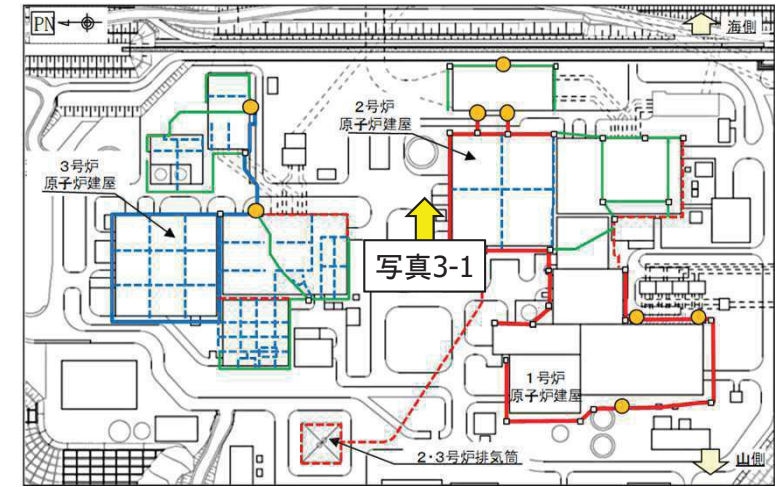
(3)ドレーン設置状況 (1/4)

- 2号炉原子炉建屋周囲の岩盤上に設置されたドレーン(φ1,050mmの有孔ヒューム管)の敷設状況を示す(写真3-1)。
- ドレーンは、掘削した岩盤内に敷設し、土砂等の流入により有孔ヒューム管に目詰まりが生じないように、管を覆うように連続長繊維不織布(タフネルシート)を巻き、建屋側に碎石押え壁を設置して管周辺を連続した高透水性材料(碎石)で充填している。なお、管底部は基礎コンクリートにより固定している。(第3-4図、第3-2表)

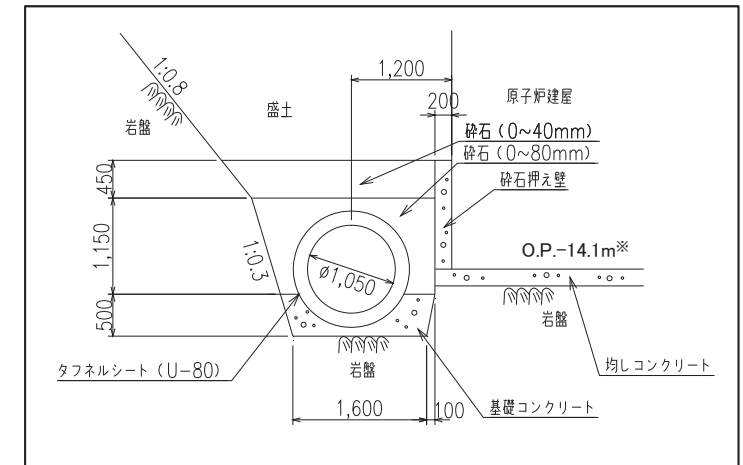


ドレーン
(φ1,050mmの有孔ヒューム管)

写真3-1 2号炉原子炉建屋北側 ドレーン(φ1,050mmの有孔ヒューム管)



KEYPLAN



第3-4図 ドレーン(φ1,050mm有孔ヒューム管)施工概念図

第3-2表 ドレーン関連部材の役割

各部材の役割		備考
高透水性材料(砂, 砕石)	透水性の良い土質材で、岩盤や盛土中の地下水をドレーンに導水する。	砂: 有孔塩ビ管周辺 砕石: 有孔ヒューム管周辺
連続長繊維不織布(タフネルシート)	フィルター材で、土中水の移動による土粒子のドレーンへの流入を抑制する。	高強度繊維布を不織布で挟んだ3層構造で耐酸性、耐アルカリ性に優れる材料
ドレーン(有孔塩ビ管, 有孔ヒューム管, 接続桝)	有孔管路で、地下水を集水する。	

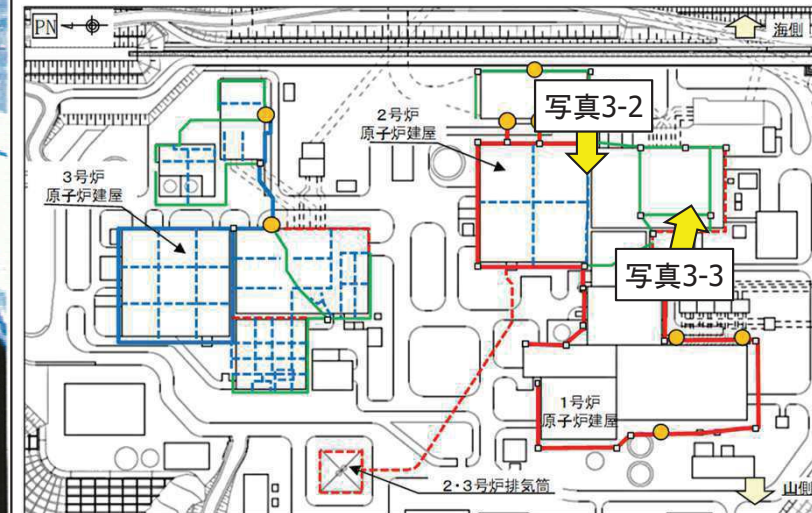
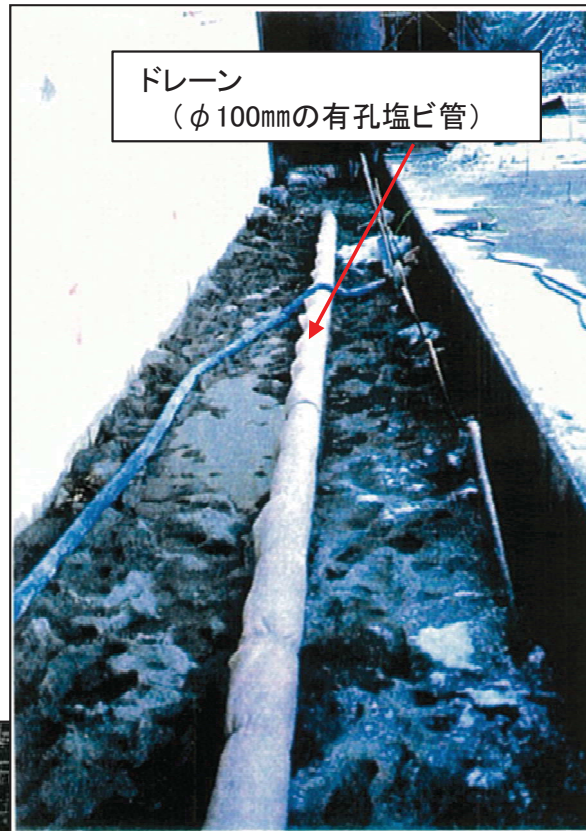
※: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m。以降、地下水位はO.P.表示



3. 既設の地下水位低下設備の概要

(3)ドレーン設置状況 (2/4)

- 2号炉及び3号炉原子炉建屋等の直下に、 $\phi 100\text{mm}$ の有孔塩ビ管を敷設している(写真3-2)。
- この有孔塩ビ管は、岩盤を掘削して管を敷設後、土砂等の流入により有孔塩ビ管に目詰まりが生じないよう連続長繊維不織布(タフネルシート)を巻き、管周辺を連続した高透水性材料(砂)で充填している。
- 2号炉及び3号炉タービン建屋等の直下及び周辺には、 $\phi 500\text{mm}$ の有孔ヒューム管等を敷設している(写真3-3)。
- この有孔ヒューム管は、岩盤を掘削して管を敷設後、同じく連続長繊維不織布(タフネルシート)を巻き、管周辺を連続した高透水性材料(砕石)で充填している。(第3-5図)



KEYPLAN

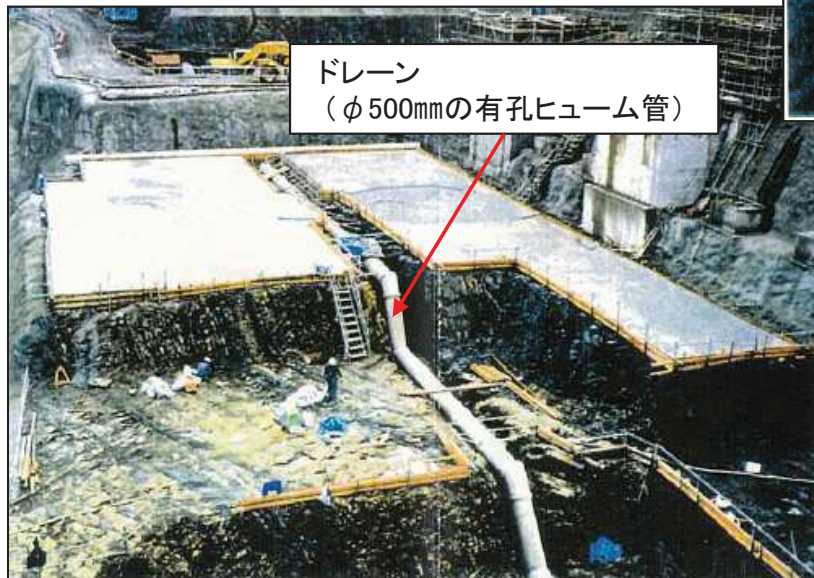
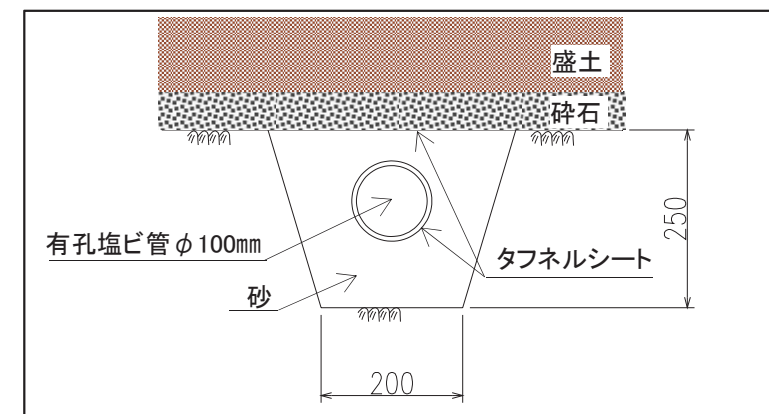


写真3-2 2号炉原子炉建屋・タービン建屋間(φ100mmの有孔塩ビ管)



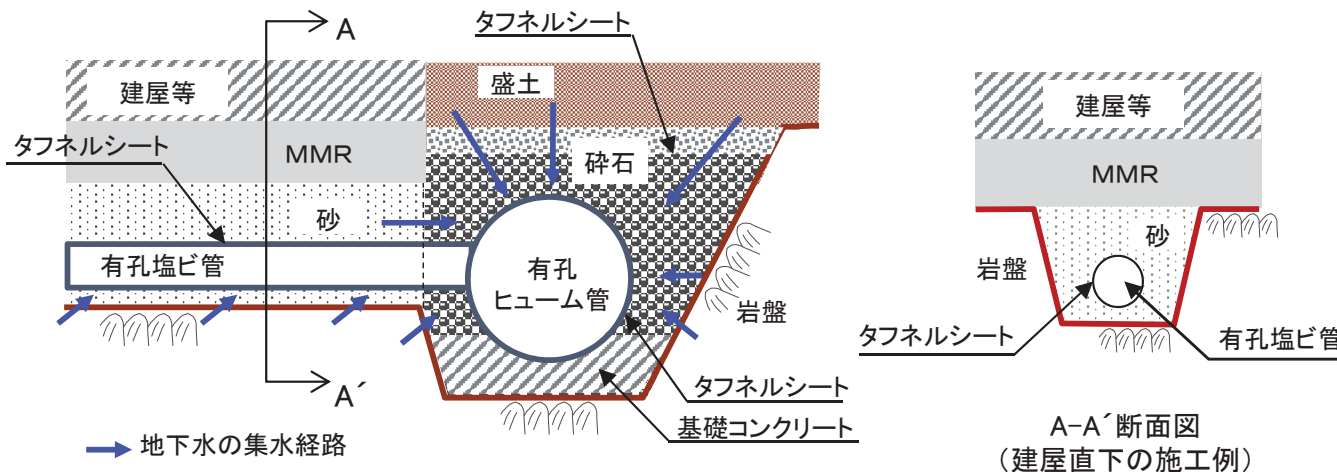
第3-5図 ドレーン(有孔塩ビ管)施工概念図
(建屋間の施工例)

写真3-3 2号炉タービン建屋ドレーン(φ500mmの有孔ヒューム管)

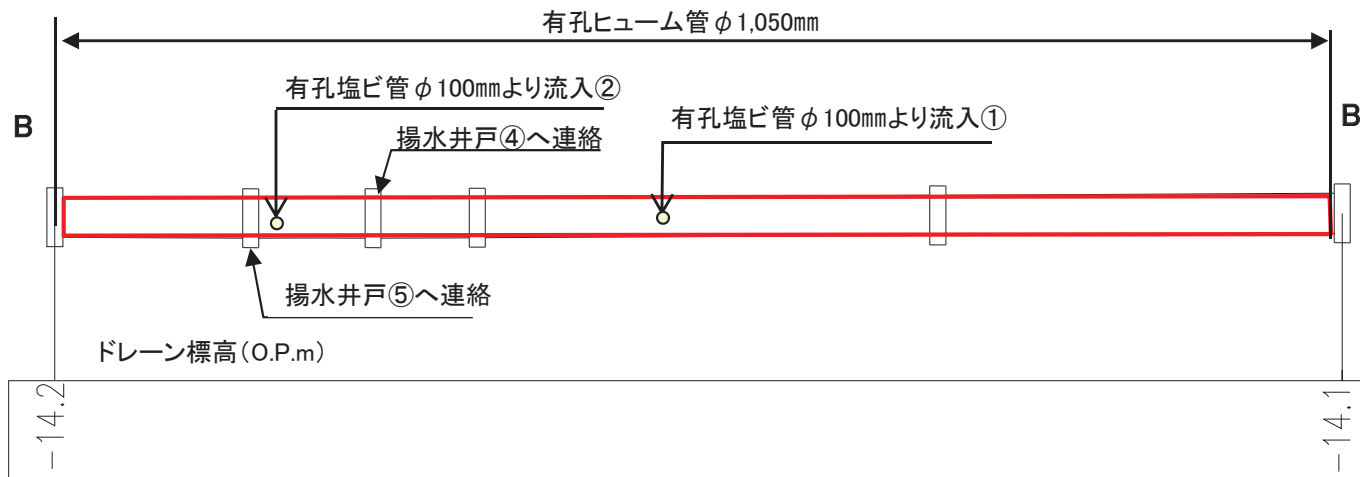
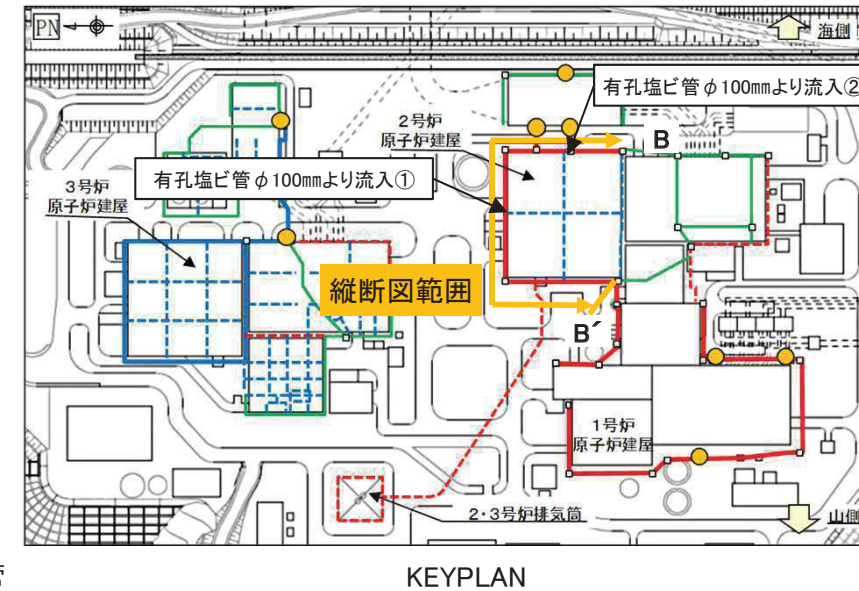
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(3)ドレーン設置状況 (3/4)

- 建屋直下の有孔塩ビ管は建屋外縁の有孔ヒューム管に接続されている。(第3-6図, 第3-7図)
- 有孔塩ビ管, 有孔ヒューム管いずれも岩盤を掘り込み敷設後, 土砂等の流入により有孔塩ビ管, 有孔ヒューム管に目詰まりが生じないように, 管を覆うように連続長繊維不織布(タフネルシート)を巻き, 管周辺を連続した高透水性材料(砂, 碎石)で充填している。



第3-6図 有孔塩ビ管と有孔ヒューム管の接続概念図

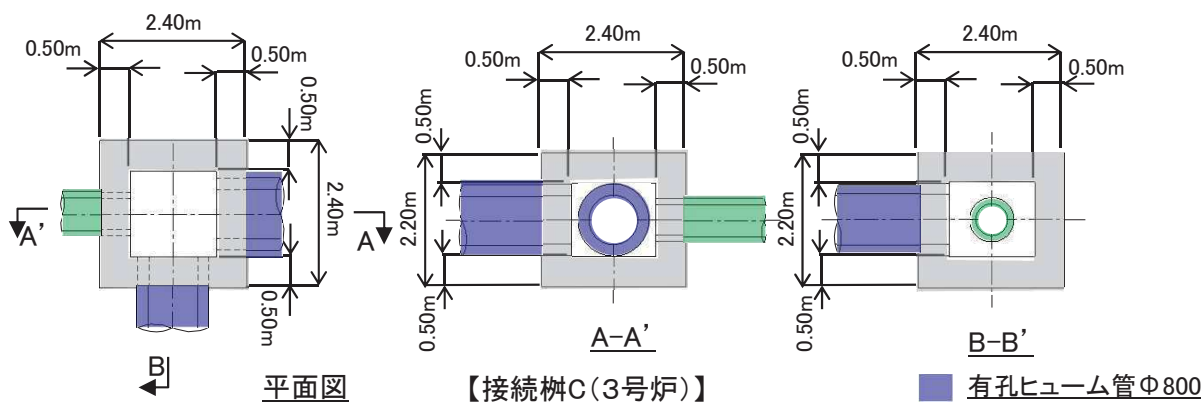
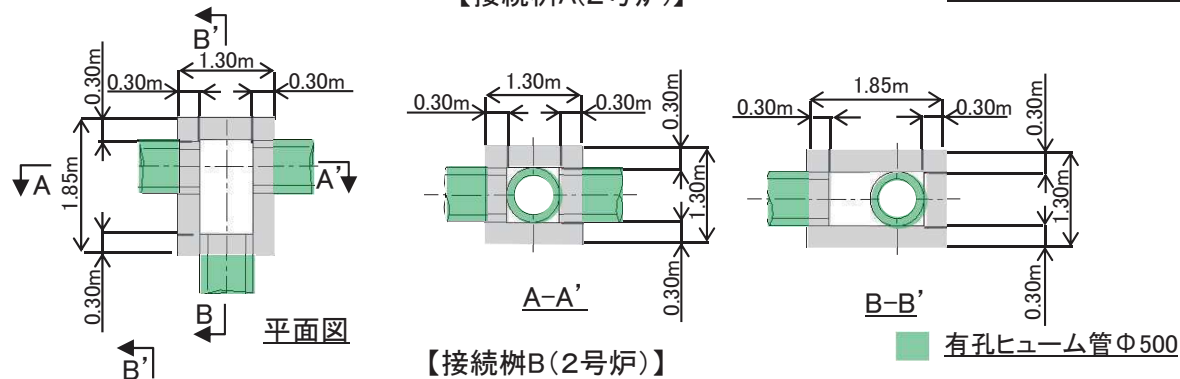
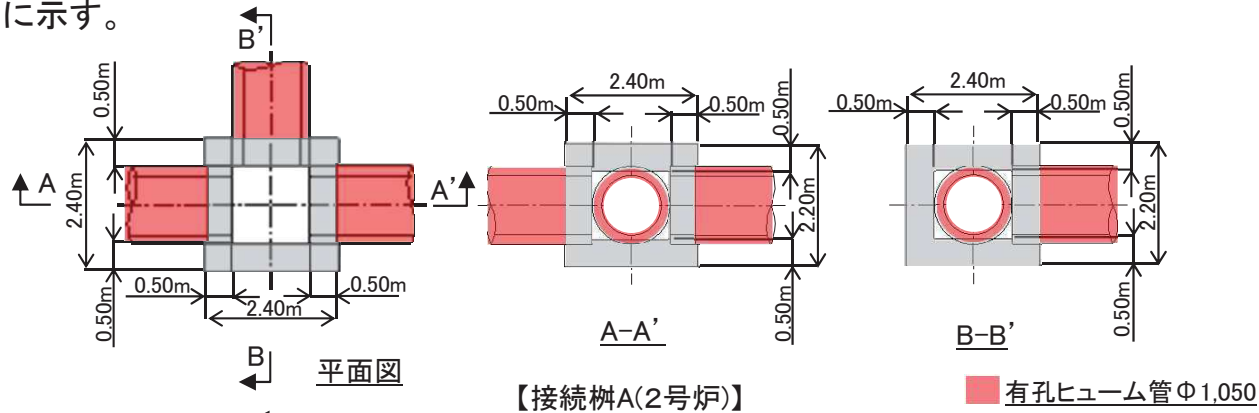


第3-7図 2号炉原子炉建屋周辺 ドレーン縦断図 (B-B'断面図)

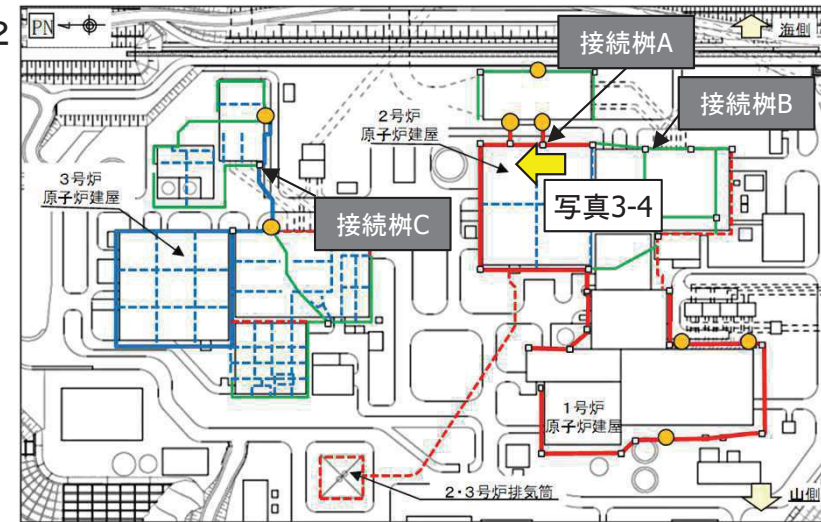
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(3)ドレーン設置状況 (4/4)

- ドレーンの分岐部、曲がり部は鉄筋コンクリート造の接続桧が設置されている箇所もある。(第3-8図)
- 接続桧についてもドレーンと同様に岩盤を掘り込んで設置されている。(写真3-4)
- ドレーン径毎の主要な接続桧を第3-9図に示す。その他の主な接続桧については添付資料2に示す。



第3-9図 接続桧の構造概要



第3-8図 接続桧の設置位置



写真3-4 2号炉原子炉建屋周囲接続桧の例

3. 既設の地下水位低下設備の概要 (4)ドレーンの耐久性等

- 既設地下水位低下設備のうちドレーンの構成部材の耐久性等について第3-3表及び添付資料3に示す。

第3-3表 ドレーン関連部材の耐久性等

構成部位	部材	材質等	設置環境	主な機能	耐久性
ドレーン	高透水性材料	砂, 碎石	<ul style="list-style-type: none"> 管(有孔ヒューム管・有孔塩ビ管)の周囲 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び盛土中の地下水を管へ導水(高透水性材料自体も, 透水性に応じた流下能力を有する) 	<ul style="list-style-type: none"> 一般的な土質材料としての耐久性を有する
	連続長繊維不織布(タフネルシート)	ポリプロピレン	<ul style="list-style-type: none"> 管外面及び碎石と盛土材の間 	<ul style="list-style-type: none"> 土粒子の管内への流入防止(集水機能に関連しない) 	<ul style="list-style-type: none"> 化学的安定性と高い強度を有する 地下埋設のため材料(ポリプロピレン)の主な劣化要因である紫外線が作用しないことから, 今後の供用期間において劣化はないと考えられる。
	有孔ヒューム管・接続柵	鉄筋 コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 対象施設周囲の岩盤上 	<ul style="list-style-type: none"> 対象施設周辺地盤の地下水位低下 	<ul style="list-style-type: none"> 耐用年数: 50年程度(有孔ヒューム管)^{※1} 50年以上(接続柵)^{※2} これまでの点検において異常は確認されず, 供用環境(土被り, 気温・湿度等)は今後も変わらず安定的な状況が維持されると想定されるが, 今後適切に保守管理することで機能確保を図ることとする。
	有孔塩ビ管	硬質ポリ塩化ビニル	<ul style="list-style-type: none"> 対象施設直下の岩盤内 対象施設周囲の岩盤上 	<ul style="list-style-type: none"> 対象施設の揚圧力低減 対象施設周辺地盤の地下水位低下 	<ul style="list-style-type: none"> 耐用年数は50年程度^{※3} 耐食性に優れる材料^{※4}

※1 全国ヒューム管協会(<http://www.hume-pipe.org/data/data07.pdf>)

※2 コンクリート標準示方書 設計編(2012)を参照した塩害評価による

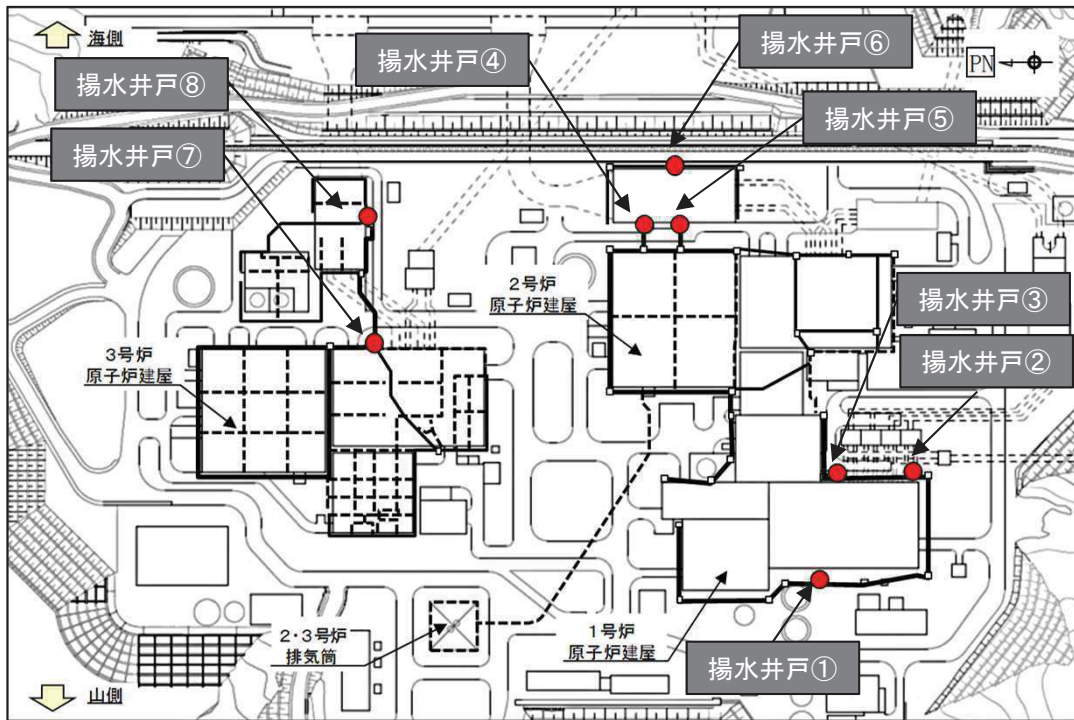
※3 塩化ビニル管・継手協会(<http://www.ppfa.gr.jp/02/index-a04.html>)

※4 水道施設設計指針・解説(日本水道協会)

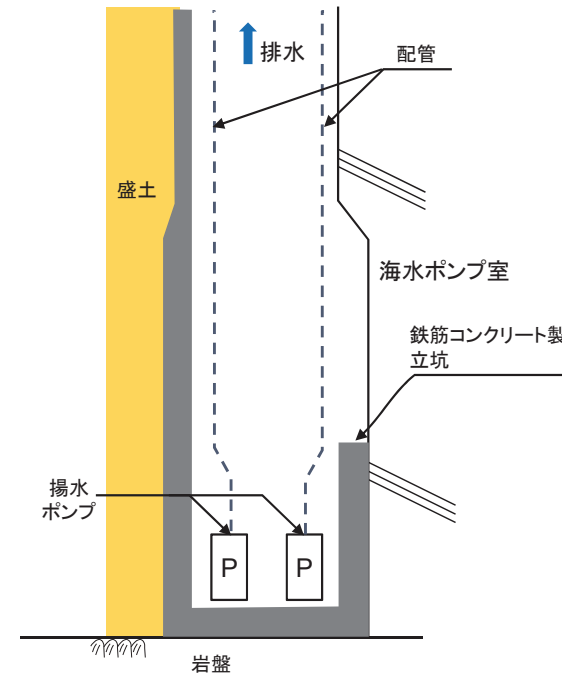
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(5) 揚水井戸・配管(1/3)

- 揚水井戸は、1号炉用に3箇所、2号炉用に3箇所、3号炉用に2箇所設置している。(第3-10図)
- 揚水井戸はいずれも岩盤上に設置しており、1号炉及び2号炉は鉄筋コンクリート製立坑、3号炉は鋼製シャフト(下部は鉄筋コンクリート製のピット)である。なお、2号炉揚水井戸は2号炉海水ポンプ室及び2号炉原子炉機器冷却海水配管ダクトと一体となって設置している。(第3-11図, 第3-12図)
- 配管は炭素鋼鋼管(φ125mm~200mm)であり、O.P.+14.8m盤の構内排水路に接続している。(写真3-5, 写真3-6)



第3-10図 揚水井戸の設置位置



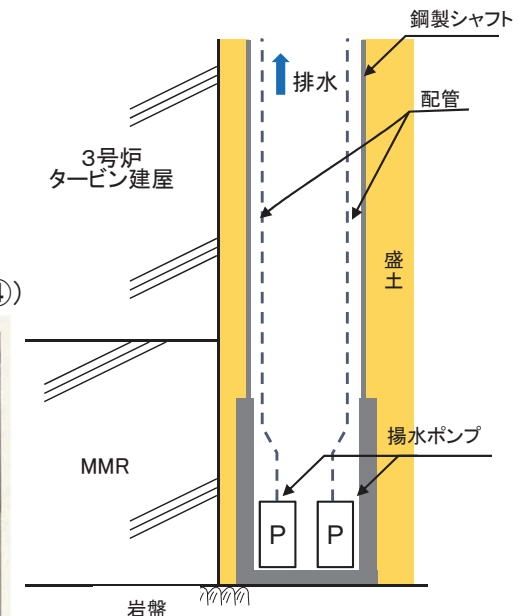
第3-11図 2号炉揚水井戸の例(揚水井戸④)



写真3-5 2号炉配管の例(揚水井戸④)



写真3-6 3号炉配管の例(左側)
(揚水井戸⑦)

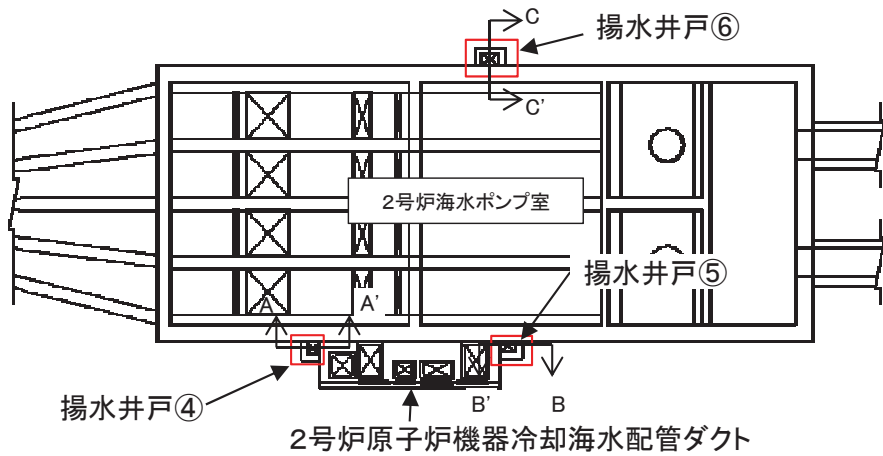


第3-12図 3号炉揚水井戸の例
(揚水井戸⑦)

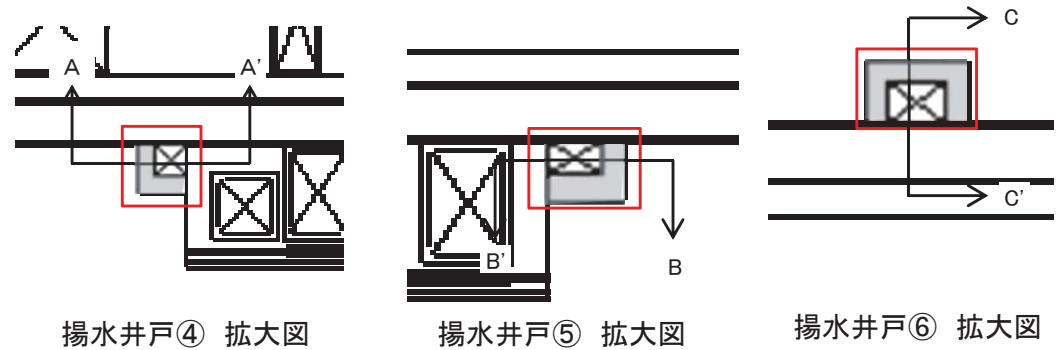
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(5) 揚水井戸・配管 (2/3)

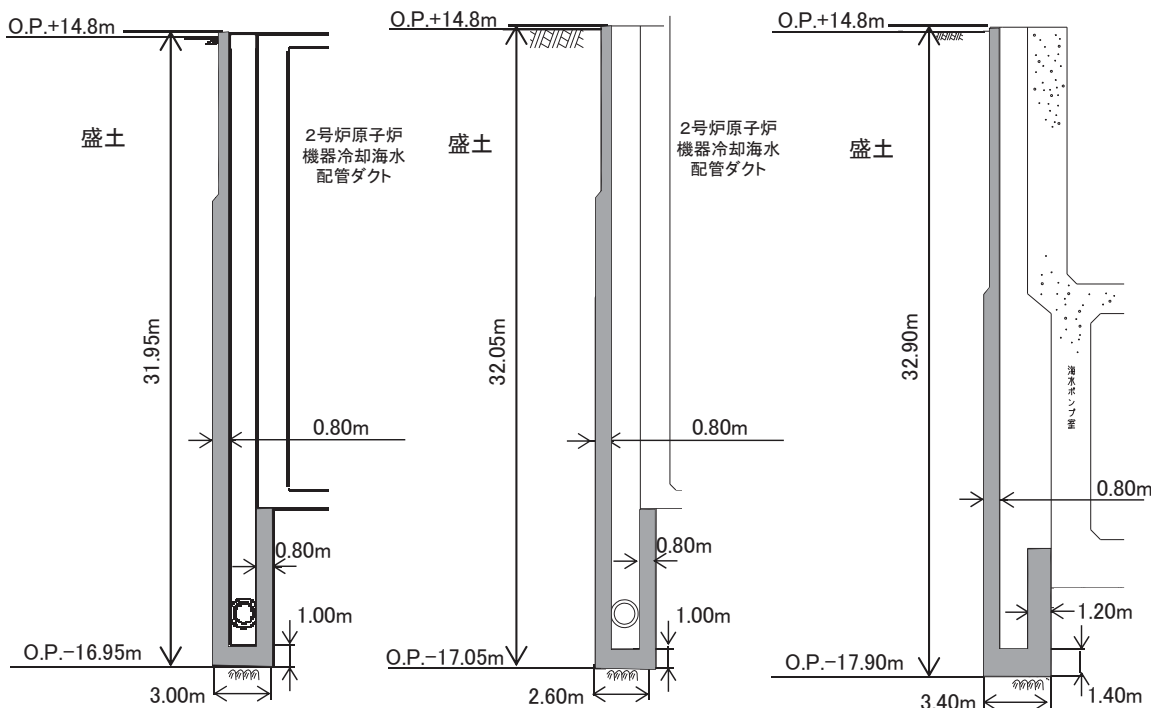
- 2号炉揚水井戸は海水ポンプ室脇に構築された鉄筋コンクリート造の立坑構造である。(第3-13図～第3-16図)



2号炉原子炉機器冷却海水配管ダクト
第3-13図 2号炉揚水井戸の設置詳細

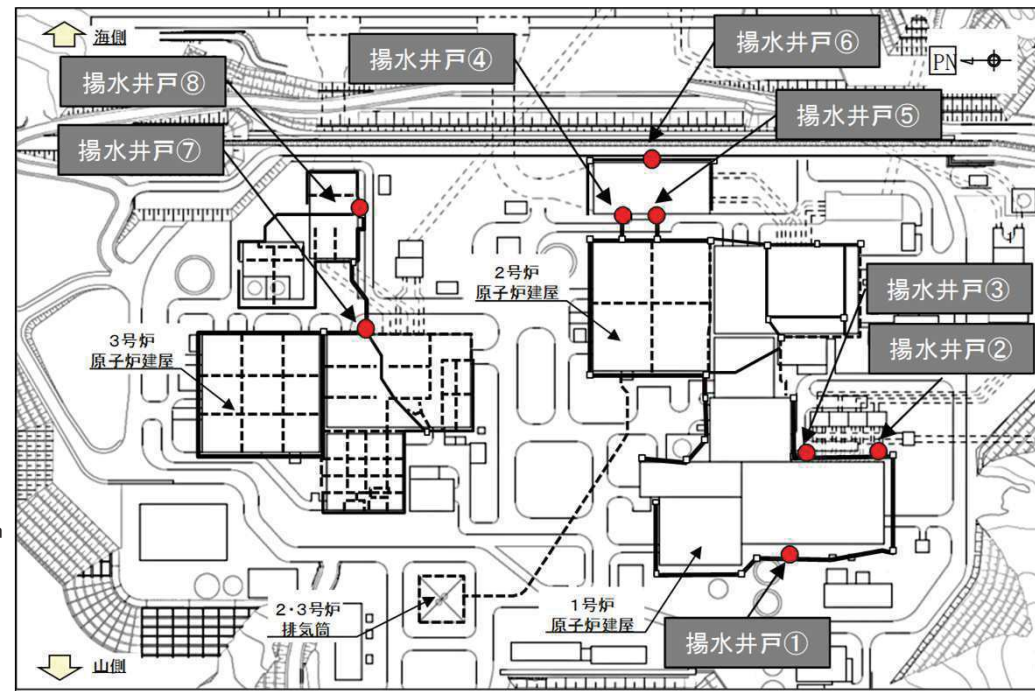


第3-14図 2号炉揚水井戸の拡大図(平面図)



揚水井戸④ 断面図(A-A') 揚水井戸⑤ 断面図(B-B') 揚水井戸⑥ 断面図(C-C')

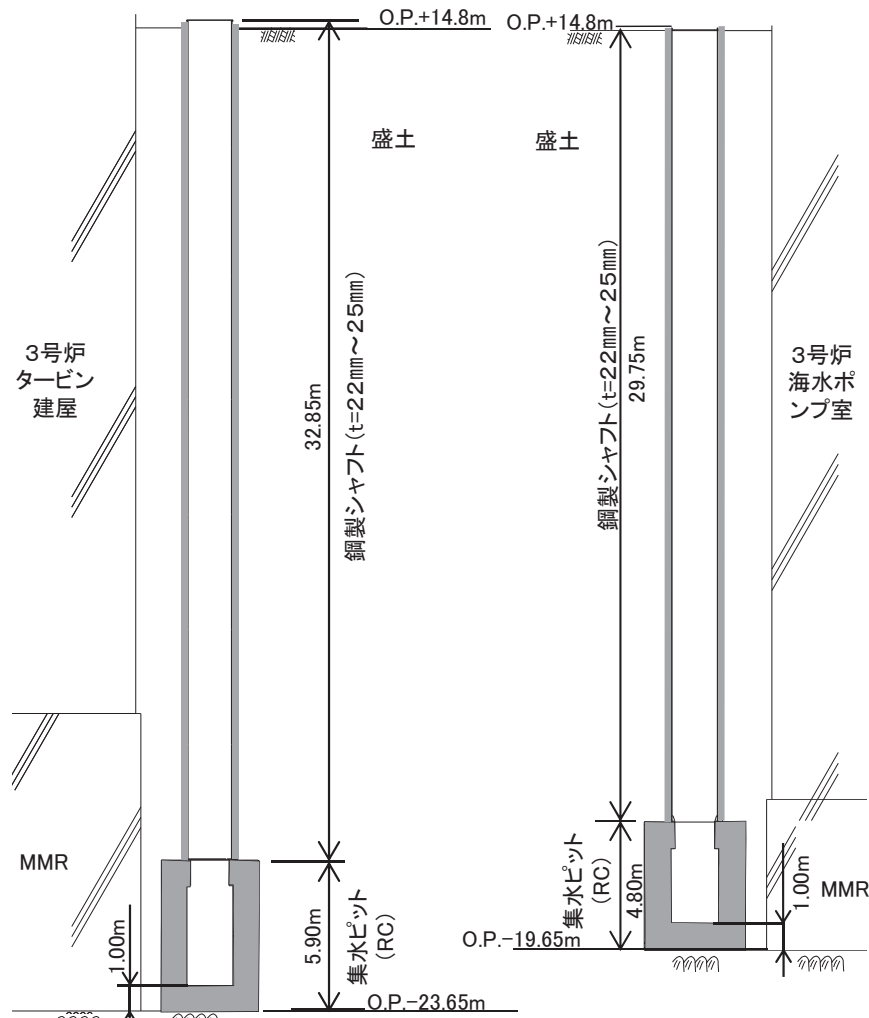
第3-15図 2号炉揚水井戸の断面図



第3-16図 揚水井戸の設置位置(再掲)

3. 既設の地下水位低下設備の概要 (5)揚水井戸・配管 (3/3)

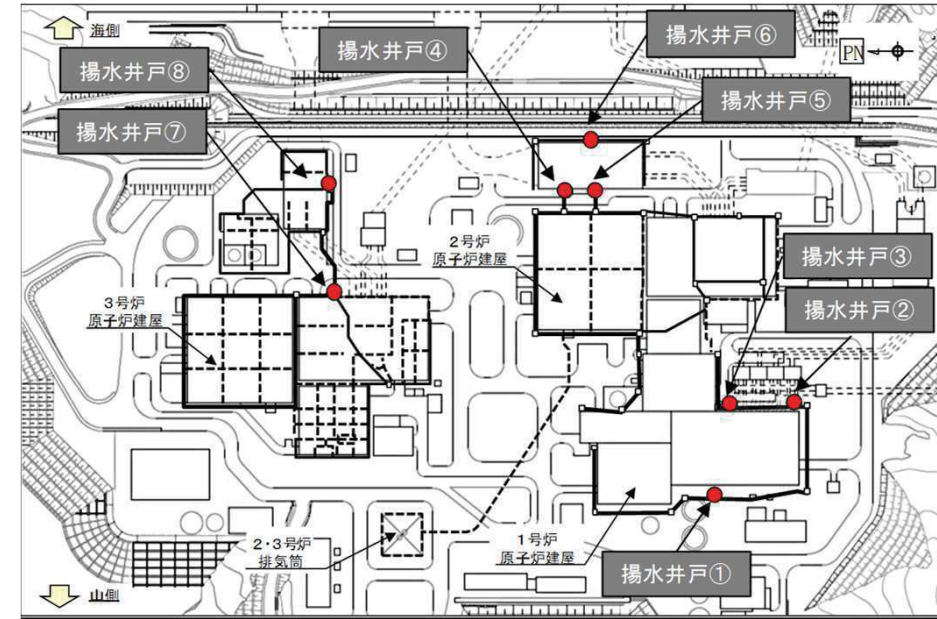
- 3号炉揚水井戸について、上部は鋼製シャフト、下部は鉄筋コンクリート製の集水ピット構造である。(第3-17図～第3-19図)



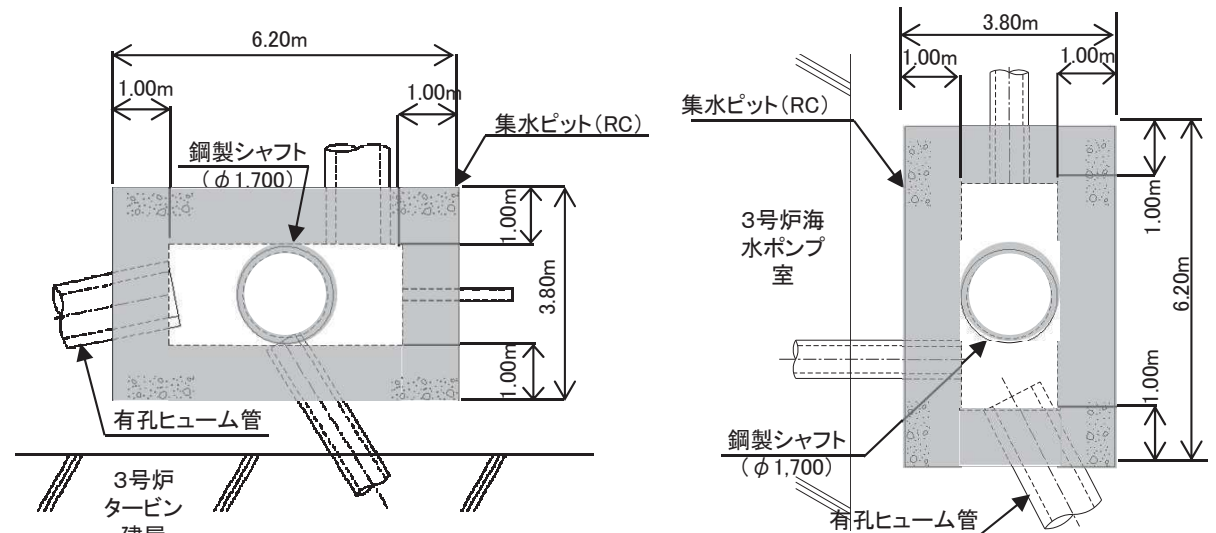
【揚水井戸⑦】断面図

【揚水井戸⑧】断面図

第3-18図 3号炉揚水井戸の断面図



第3-17図 揚水井戸の設置位置(再掲)



【揚水井戸⑦】平面図

【揚水井戸⑧】平面図

第3-19図 3号炉揚水井戸の拡大図(平面図)

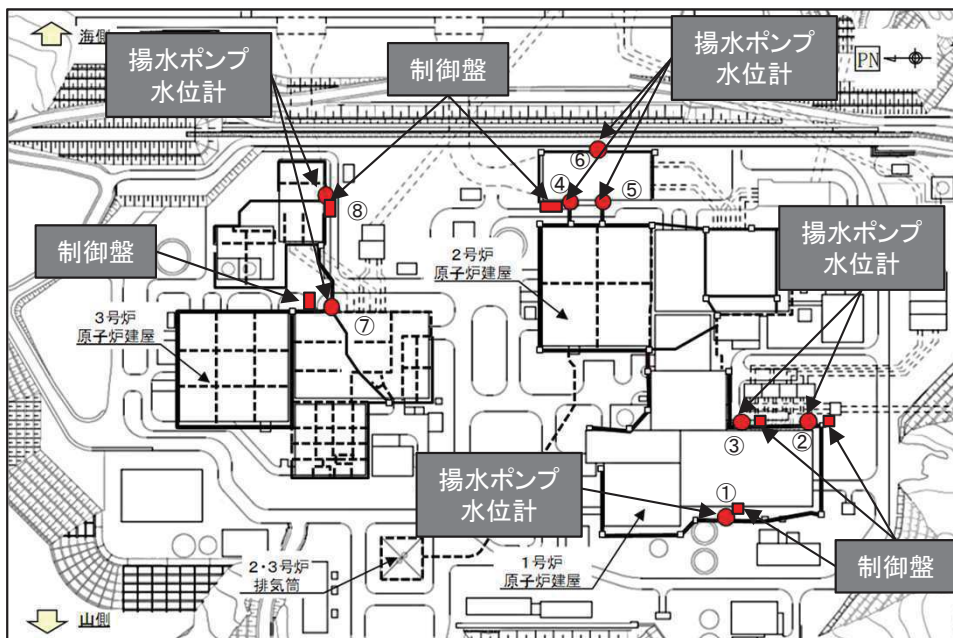
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(6) 揚水ポンプ, 水位計

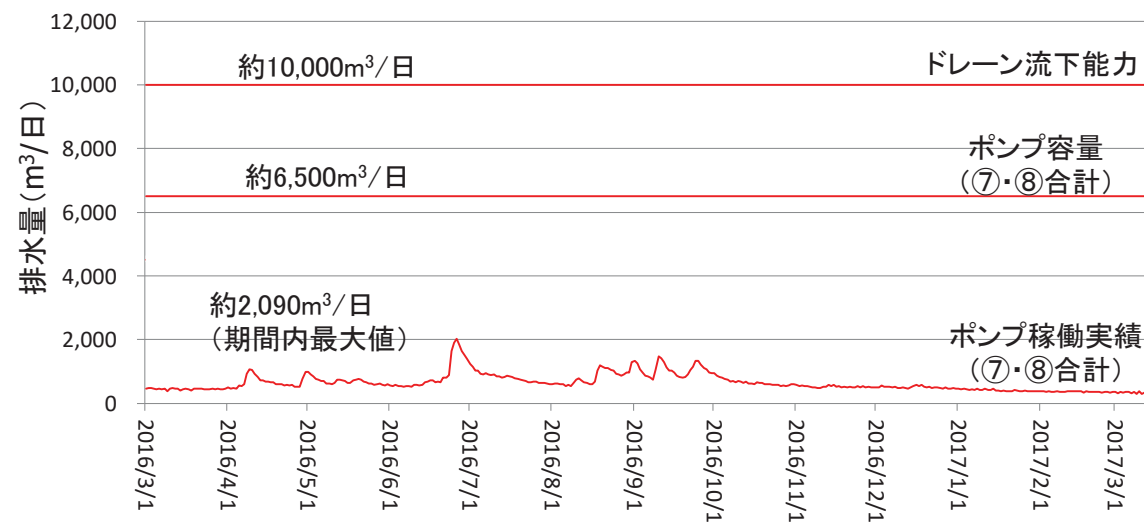
- 揚水ポンプは、各揚水井戸内に2台設置(うち1台は予備の揚水ポンプ)し、揚水井戸に支持される配管を通じてO.P.+14.8m盤の構内排水路に接続している。(第3-20図)
- 水位計は、各揚水井戸内に1台設置されており、形式はすべて圧力式である。(第3-20図, 写真3-7)
- 揚水ポンプの容量は、ポンプ稼働実績に対して十分な余裕を有している。(第3-4表, 第3-21図)

第3-4表 各揚水ポンプの諸元

号炉	揚水井戸	全揚程 (m)	台数	ポンプ容量 (m ³ /日・台)	出力 (kW/台)
1号炉	NO.①	約25.0	2	約1,300	7.5
	NO.②	約30.0	2	約1,700	15
	NO.③	約25.0	2	約1,300	7.5
2号炉	NO.④	約35.0	2	約2,900	22
	NO.⑤	約35.0	2	約3,500	37
	NO.⑥	約35.0	2	約6,500	45
3号炉	NO.⑦	約36.9	2	約4,600	45
	NO.⑧	約35.2	2	約1,900	19



第3-20図 揚水ポンプ, 水位計及び制御盤の設置位置



第3-21図 ポンプ容量と稼働実績の関係(3号炉側地下水位低下設備の例)
(2016年3月～2017年3月)



2号炉揚水ポンプの例(揚水井戸⑥)



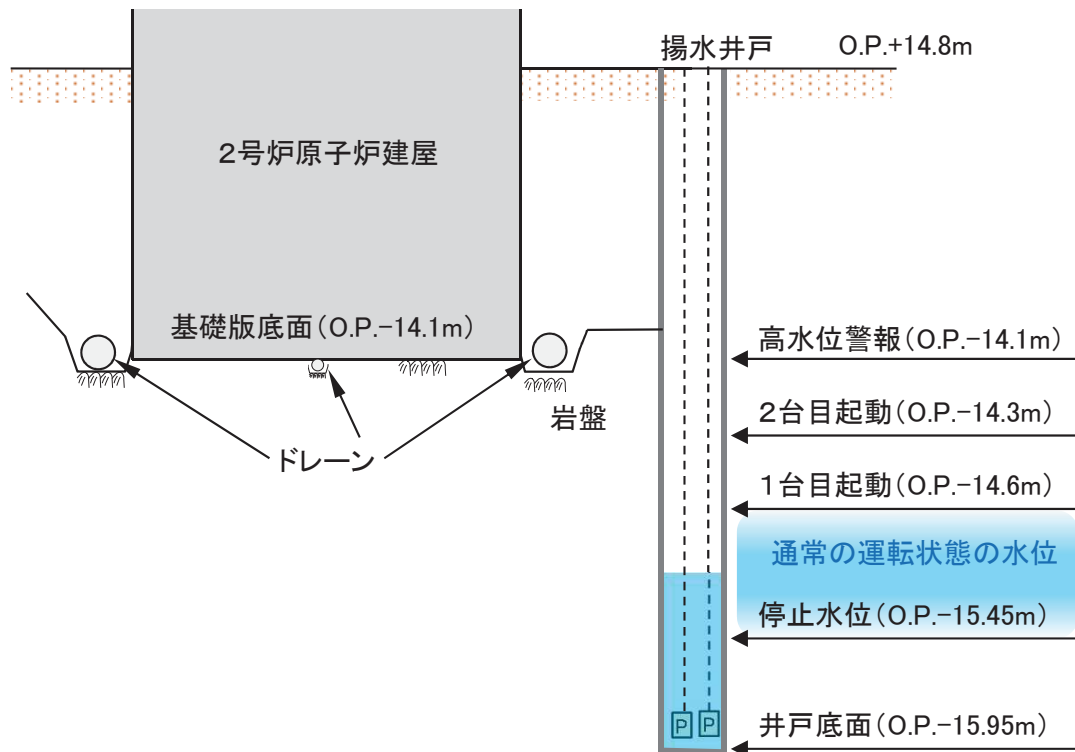
3号炉水位計の例(揚水井戸⑦)

写真3-7 揚水ポンプ及び水位計

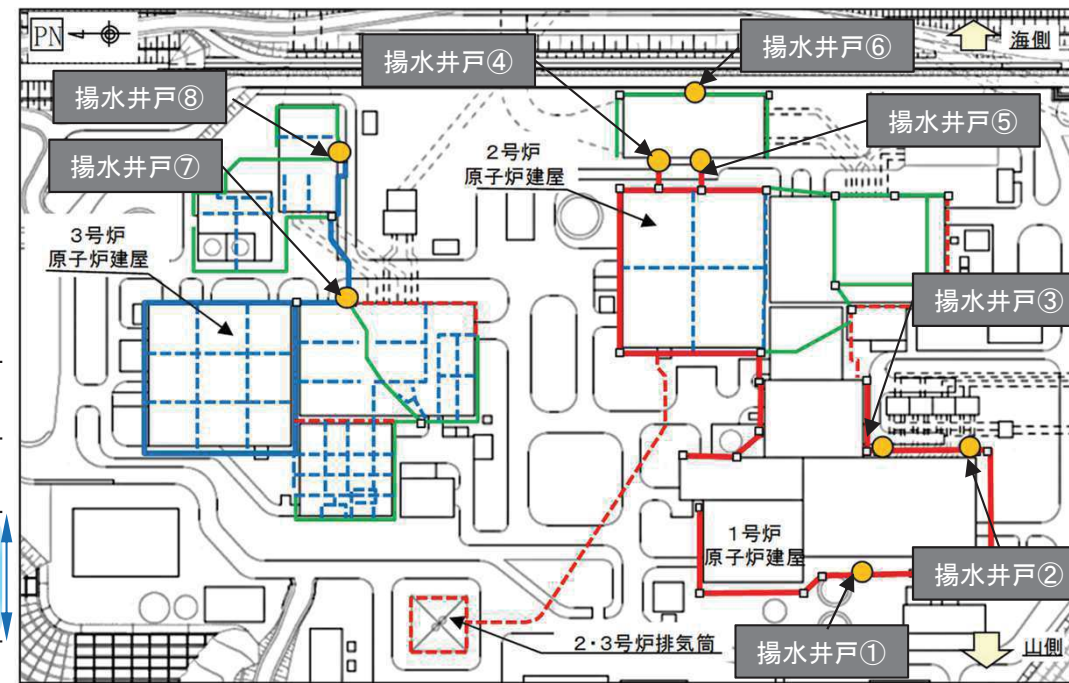
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(7) 揚水ポンプの運用状況

- 揚水井戸毎に、原子炉建屋等に生じる揚圧力を設計値以下に抑えるために、運用上の制限水位を設け、制限水位以下を維持するよう常時は自動運転としている。(揚水井戸内の地下水位は水位計により検知)(第3-22図, 第3-23図)
- 揚水井戸内の水位が上昇し警報水位を超過した際は警報を発報する。(運転時における警報の発報実績はない)
- 揚水ポンプは保守点検のルールを定め運用しており、定期的な巡視・点検を行っている他、地震後は速やかに設備点検し状況を確認することとしている。



第3-22図 既設の揚水ポンプの運用(揚水井戸④の例)



第3-23図 揚水井戸の設置位置(再掲)

3. 既設の地下水位低下設備の概要 (8) 保守管理の状況

- 既設の地下水位低下設備は、原子炉施設保安規定に基づく保全計画において点検項目・点検頻度を定め、定期的に巡視・点検を行っている他、地震後は速やかに設備点検し、状況を確認することとしている。(第3-5表)
- また、揚水ポンプ、水位計、制御盤については、計画的に取替を実施している。

第3-5表 既設の地下水位低下設備の保守管理内容

構成部位	点検項目※	点検内容	備考
ドレーン ・接続樹	—	—	事後保全対象とし、地震後等は臨時点検を実施
揚水ポンプ	外観点検	各部の外観点検・電圧測定を行う。	自主的に約8年に1回の頻度で取替を実施
	分解点検	各部の分解点検、手入れ、補修塗装、計測、消耗品取替等を行う。	
	機能性能試験	試運転を行い、漏水の有無、表示灯の表示確認等を行う。	
配管	外観点検	配管の破損・腐食、逆止弁の破損・腐食・異物混入・磨耗、接続ボルトの緩みの状況の確認を行う。	点検結果に基づき、適宜、塗装・取替等を実施
揚水井戸	外観点検	コンクリート等の亀裂、破損、劣化の状況、堆積物の状況の確認を行う。	
水位計	外観点検	水位計の清掃、消耗品の交換及び本体の損傷、腐食等を目視で確認する。	点検結果や経過年数に基づき、適宜、補修・取替を実施
	特性点検	水位計の校正を行う。	
	機能性能試験	規定水位でのポンプ起動確認を行う。	
制御盤	特性試験	端子・ケーブル配線等の絶縁抵抗・電圧測定等を行う。	点検結果や経過年数に基づき、適宜、補修・取替を実施
	機能性能試験	表示の点灯、スイッチ類の動作確認、電流計の指示等を確認する。	

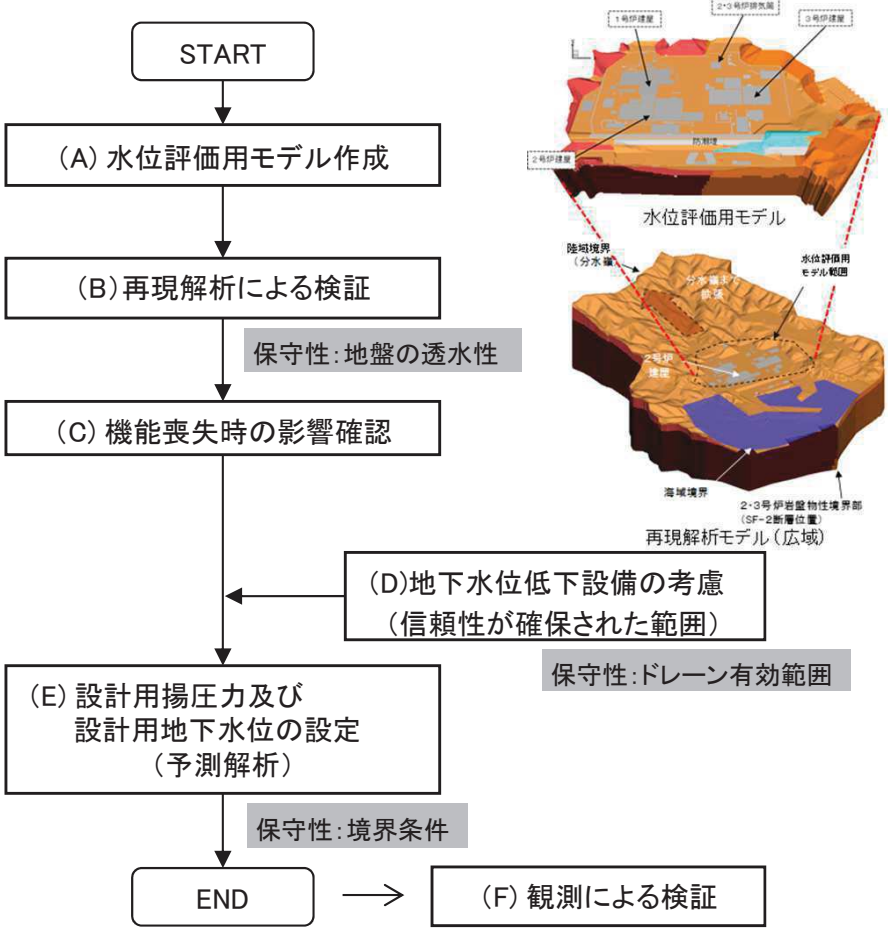
※ 分解点検は3年に1回、それ以外の点検・試験は1年に1回実施

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(1) 基本的な考え方 (1/2)

- 施設設計用の地下水位の設定については、地形等を適切にモデル化した浸透流解析により行うこととし、保守性を確保する方針とする。解析の保守性については、解析に用いるパラメータや境界条件の保守的な設定の他、地下水位低下設備を信頼性が確保された範囲に限定し考慮することにより確保する。
- p.27以降で詳述する影響評価を踏まえ、設置許可段階における設計用地下水位の設定方針を以下とする。
 - 揚圧力影響(設置許可基準規則第4条)により耐震性を確保できない対象施設について、設置許可基準規則の条文適合上必要な地下水位低下設備構成の設定の考え方を整理する(第5章にて詳述する)。なお、地下水位低下設備の設定にあたっては、建設時工認における設計用揚圧力を目安とする。
 - 周辺地盤の液状化(設置許可基準規則第3条第2項)により耐震性や安定性への影響がある対象施設に対しては、上記により設定した設備構成にて算定される地下水位分布に基づき評価を行い、必要に応じて対策(地盤改良等)を行う。
- この考え方に基づき、工認段階において地下水位低下設備を考慮した浸透流解析を実施し、この結果に基づき対象施設の設計において参照する設計用揚圧力及び設計用地下水位を設定する。
- 設計用地下水位の設定フローと各プロセスにおける検討方針を第4-1図及び第4-1表に示す。また、各審査段階における提示内容を添付資料5に示す。



第4-1表 浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フローの各プロセスにおける検討方針

- (A)～(B) 水位評価用モデル作成・再現解析による検証
- 解析モデル・境界条件を建設時工認を参照し設定した上で、観測記録との比較等によりモデル全体としての保守性の確認を行う。
- (C) 機能喪失時の影響確認
- 防潮堤沈下対策による地下水流動場の変化を考慮した水位評価用モデルにおいて地下水位低下設備による水位保持機能が期待できない場合の地下水位を算定する。
 - 算定された水位に対し、常時及び地震時において対象施設へ与える影響を評価し、地下水位低下設備が有する機能の設置許可基準規則への適合における位置付けを確認する。
 - 影響評価を踏まえた信頼性向上を図る方針とする。(5章にて詳述)
- (D) 地下水位低下設備の考慮
- 浸透流解析における算定条件として、対象施設周辺の地下水位保持に寄与し信頼性を確保できる範囲に限定し、地下水位低下設備(ドレーン)の有効範囲を設定する。
- (E) 設計用揚圧力及び設計用地下水位の設定
- 工認時に(A)～(D)に基づく予測解析を実施する。対象施設の安全性へ影響が生じる場合には必要な対策を講じる。
 - なお、建設時工認と同様に、解析境界の地表面に水位固定とすること等で保守性を確保する。
- (F) 観測による検証
- 防潮堤沈下対策前後の地下水位観測データを取得し、(E)にて定める設計用揚圧力及び設計用地下水位の検証を行う。

第4-1図 浸透流解析を用いた設計用揚圧力及び設計用地下水位の設定フロー

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(1) 基本的な考え方 (2/2)

- 設計用地下水位の設定にあたっては、建設時工認段階の地下水位設定(二次元浸透流解析)において適用した保守性確保方針(解析に用いるパラメータや境界条件の保守的な設定, 下記①と③)の他, 更に地下水位低下設備を信頼性が確保された範囲に限定し考慮する(下記②)ことにより確保する方針とする。(第4-2表)
- なお, ②ドレーン有効範囲の考え方は, 5章及び添付資料4にて詳述する。

第4-2表 浸透流解析における保守性の確保方法

①地盤の透水性

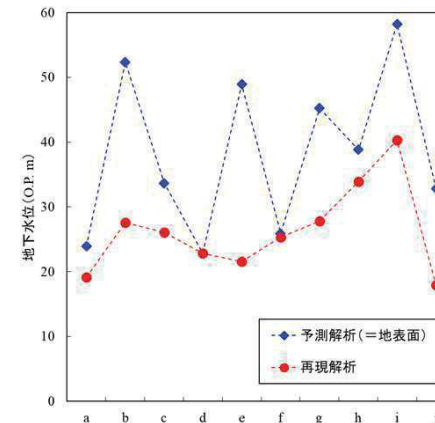
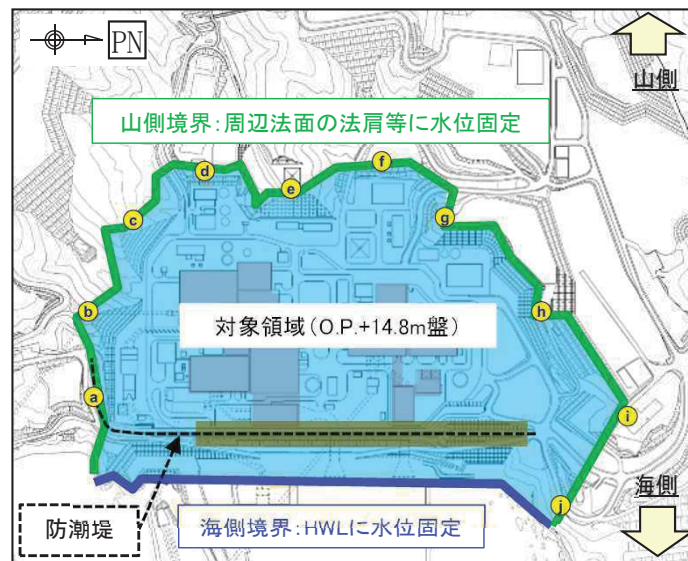
- 建設時工認の透水係数を基本とし地下水位を高め評価するよう保守的に設定

②ドレーン有効範囲

- 信頼性が確保されたドレーンのみ管路として考慮(耐震性, 耐久性, 保守管理性の3つの観点等を考慮。いずれかの観点を満たさない場合等は地盤(透水係数)として考慮)

③境界条件

- 解析境界の地表面に水位固定(建設時工認と同様)(第4-2図)



- 観測記録の再現解析 (p.26)における左図a~jの位置での地下水位(●)は, 地表面高さ(◆)と同等若しくは下回る。(上図)
- 対象領域の設計用地下水位の算定においては, a~jに対応する解析境界にて地表面高さ(◆)に水位を固定することにより保守性を確保する。

第4-2図 保守的な解析条件の設定例 (③解析境界の地表面に水位固定)

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

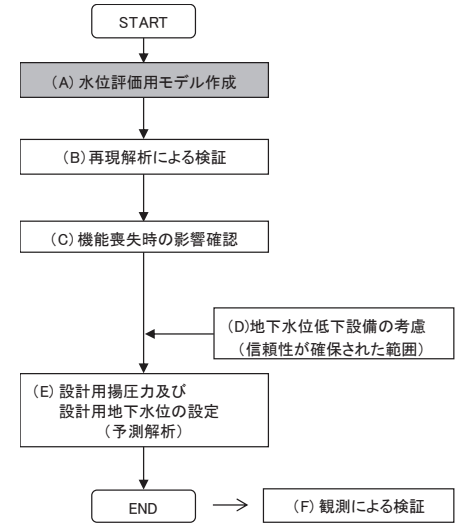
(2) 水位評価用モデル作成

- 原子炉建屋等の施設が設置される主要エリア(O.P.+14.8m盤周辺)の地下水位の評価においては、O.P.+14.8m盤周辺の法肩までを解析範囲とした三次元地形モデルを作成する。(第4-3図, 第4-3表)
(解析ソフト:GETFLOWS(GEneral purpose Terrestrial fluid-FLOW Simulator) バージョン:ver.6.64.0.1)

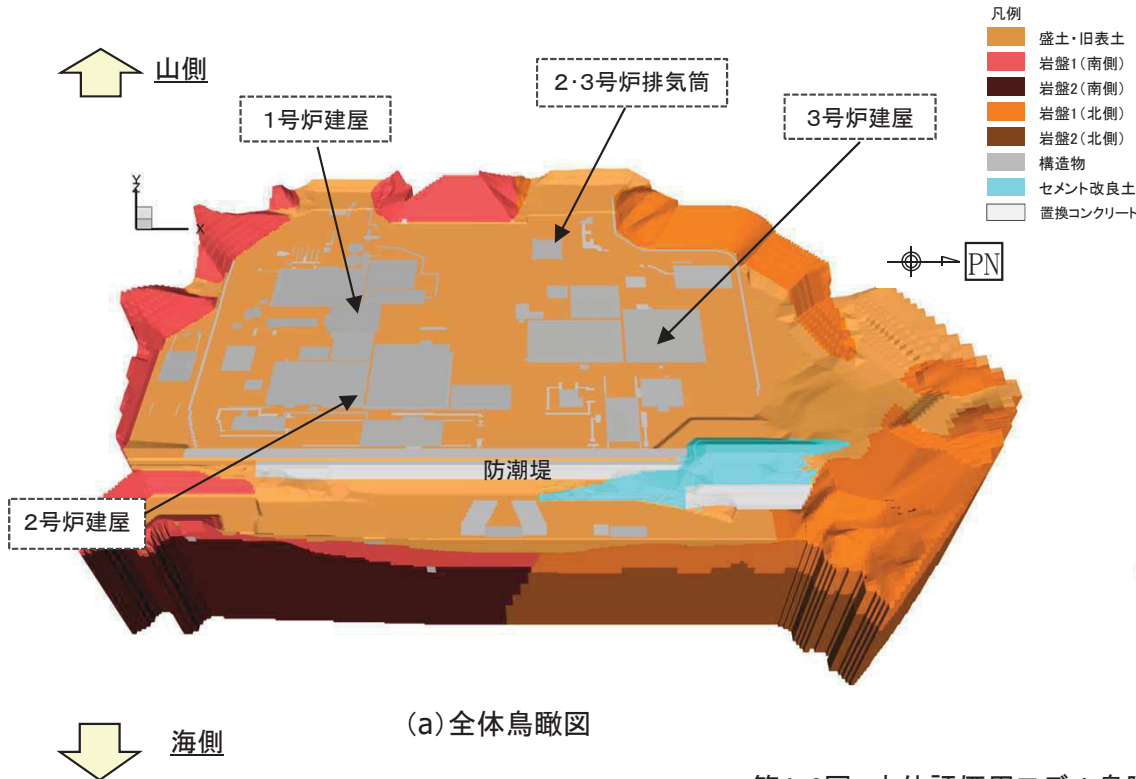
第4-3表 水位評価用モデルの概要

項目	内容
モデル化範囲等	<ul style="list-style-type: none"> 施設が配置される主要エリア(O.P.+14.8m盤周辺)を対象領域とする。(解析領域は周辺法面等を含む) 対象領域内の構造物※をモデル化し、敷地造成時における掘削・埋戻しを反映する。 なお、防潮堤下部の沈下対策(遮水効果)を考慮する。

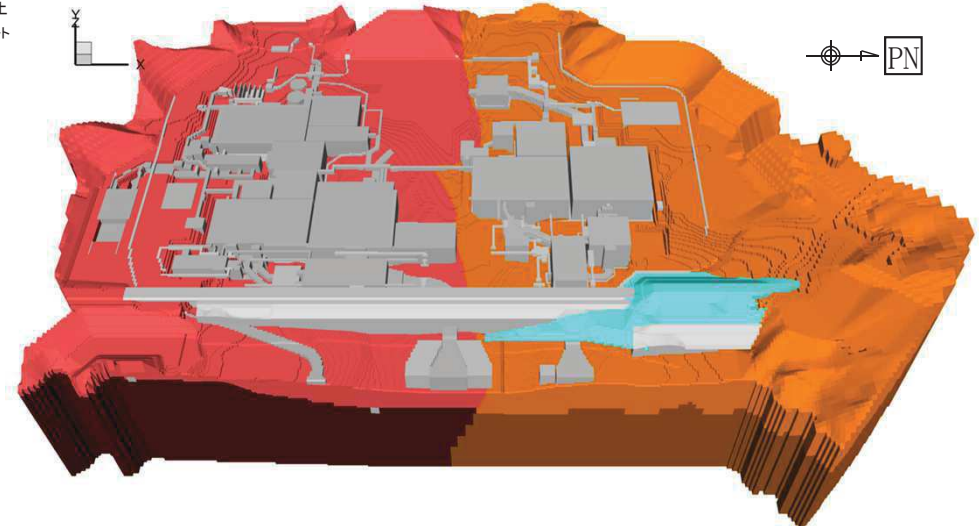
※: 耐震裕度向上等の目的で実施した地盤改良等は、低透水層としてモデル化する。ただし、発電所建設時に施工性向上のために海側に設置した地中連続壁(仮設)による水位低下効果は、保守的に考慮しないものとする。



浸透流解析を用いた設計用揚圧力及び設計用地下水位の設定フロー



(a) 全体鳥瞰図



(b) 盛土・旧表土を非表示

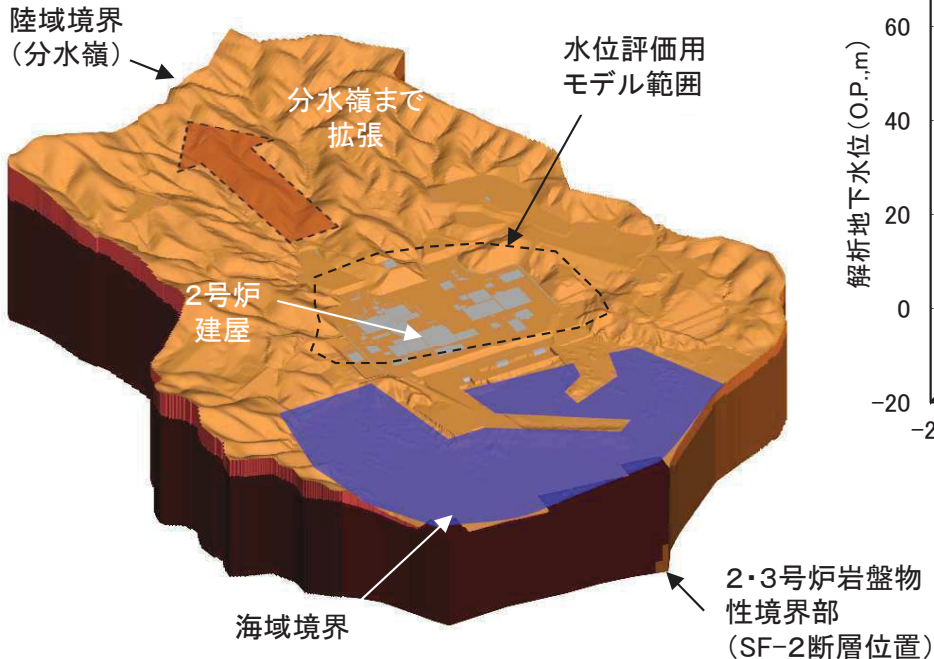
第4-3図 水位評価用モデル鳥瞰図

4. 新規基準に対応した設計用地下水水位の設定方針

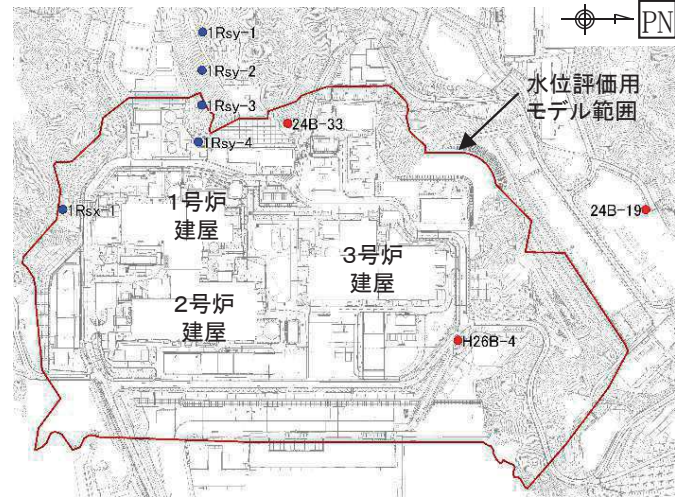
(3)再現解析による検証 (1/2)

- 再現解析の目的は、水位評価用モデルに用いる透水係数^{※1}等の解析用物性値を含めたモデル全体としての保守性を確認することである。
- 再現解析は、前述の水位評価用モデルを敷地周辺の分水嶺まで拡張し、観測降雨を与えることにより実施した。また、保守性は解析水位が観測水位を上回ることにより確認することとした(水位観測時点の構造物をモデル化しており防潮堤沈下対策は非考慮)。(第4-4図)
- 再現解析の結果、解析値は期間平均及び最大値のいずれにおいても観測値を上回ることを確認した。この結果から、予測解析においても解析値が安全側(地下水水位が高め)に評価されると考えられ、モデル全体としての保守性が確保されることを確認した。(第4-5図, 第4-6図)

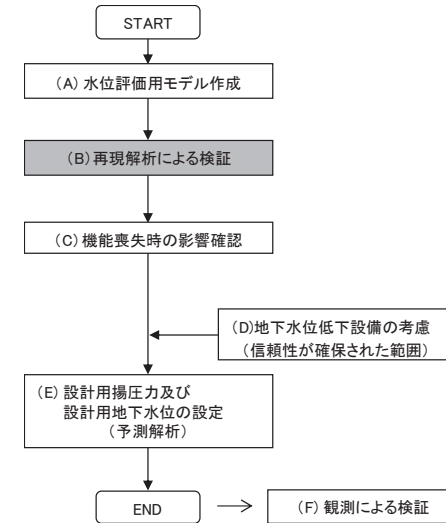
※1: 透水係数は、補足説明資料2に示す建設時工認段階の評価に用いた設定値等(ルジオン試験等に基づく値)とする。



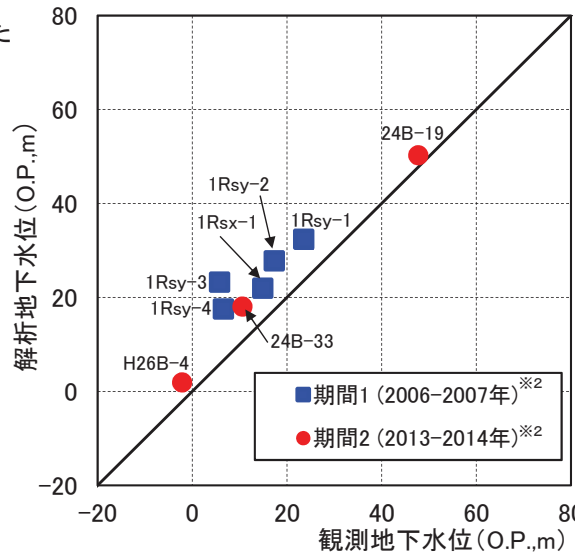
第4-4図 再現解析モデル鳥瞰図



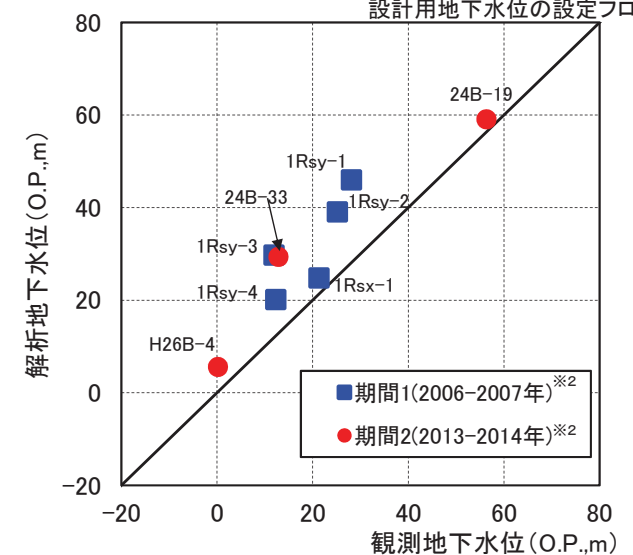
第4-5図 観測孔位置



浸透流解析を用いた設計用揚圧力及び設計用地下水水位の設定フロー



(平均値の比較^{※3})



(最大値の比較^{※3})

第4-6図 観測値と解析値の比較

※2: 新規基準適合性に向けた安全対策工事に伴う敷地改変等に着手した2015年6月以前のうち、一定期間以上の水位観測データのある期間から選定した。

※3: 上記期間における観測水位と解析水位それぞれの平均水位及び最大水位のプロットを示す。

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(3)再現解析による検証 (2/2)

【観測値と解析値の差異要因】

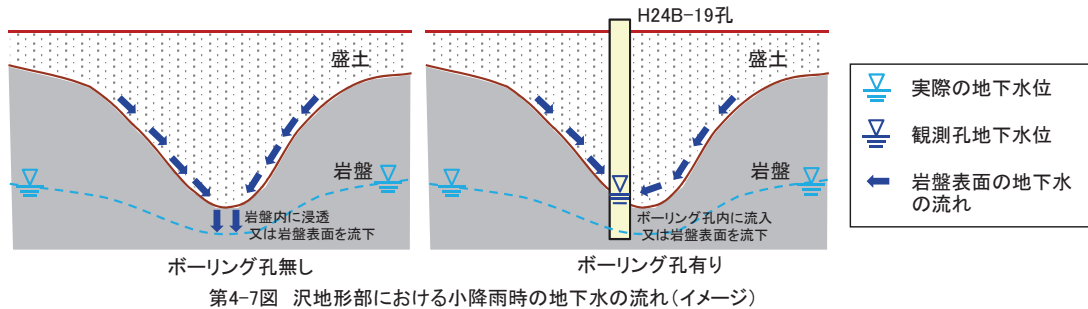
- 岩盤が地表付近に近く、主に岩盤内を地下水が流れる観測孔(1Rsy-1~4, 1Rsx-1, 24B-33)において、観測値と解析値の差が比較的大きい結果が得られている。これは、建設時工認において設計用地下水位(揚圧力)を高めめに評価するため、岩盤 I の透水係数を -1σ 小さく設定していることに起因するものと推察される。(第4-4表)

【水位経時変化の確認】

- 前頁の比較図において比較的裕度の小さい24B-19孔・1Rsx-1孔を例に、解析水位と観測水位の経時変化を示す。(第4-8図)
- 24B-19孔は盛土層厚が大きい地点、1Rsx-1孔は岩盤が地表付近に近い地点であるが、いずれも降雨時には解析値が観測値を上回っており、予測解析において解析値を安全側(地下水位が高め)に評価する目的から、保守的な結果となっている。
- それぞれの観測孔における地下水位の経時変化の傾向は以下の通り。

(24B-19孔)

- 盛土層が厚い24B-19孔では、解析値と観測値それぞれの水位変動と降雨との連動性は概ね一致し、降雨時には解析値が観測値を全て上回っている。これは、盛土層が厚い他の観測孔(H26B-4孔)においても同様である。
- なお、観測水位が岩盤表面以下に下がらない状況が確認されるが、観測孔位置は沢部であるため周囲から岩盤表面の地下水が集まりやすい構造であることに起因するものと考えられる。(第4-7図)



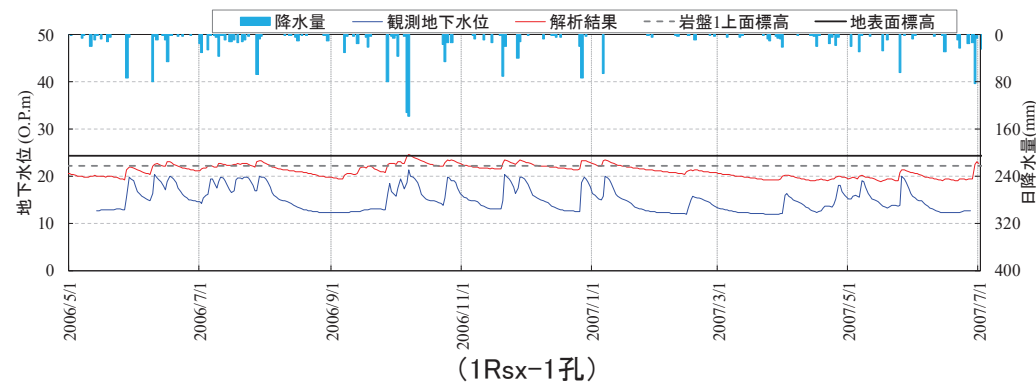
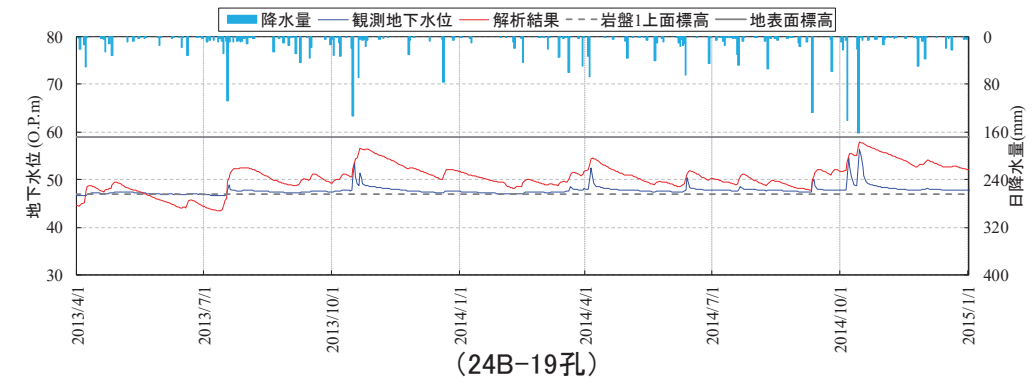
(1Rsx-1孔)

- 岩盤が地表付近に近い1Rsx-1孔では、解析値と観測値それぞれの水位変動と降雨との連動性は概ね一致し、降雨時には解析値が観測値を全て上回っている。これは、岩盤が地表付近に近い他の観測孔(1Rsy-1~4, 24B-33)においても同様である。

第4-4表 透水係数(建設時工認ベース)

地層区分		透水係数 (m/sec)	設定根拠
盛土・旧表土		3×10^{-5}	平均値
2号炉周辺 以南	岩盤 I	7×10^{-7}	-1σ
	岩盤 II	5×10^{-7}	平均値
3号炉周辺 以北	岩盤 I	2×10^{-7}	-1σ
	岩盤 II	1×10^{-7}	平均値
改良地盤・セメント改良土※1		2×10^{-7}	平均値
構造物		0(不透水)	—

※1: 建設時工認段階以降に取得



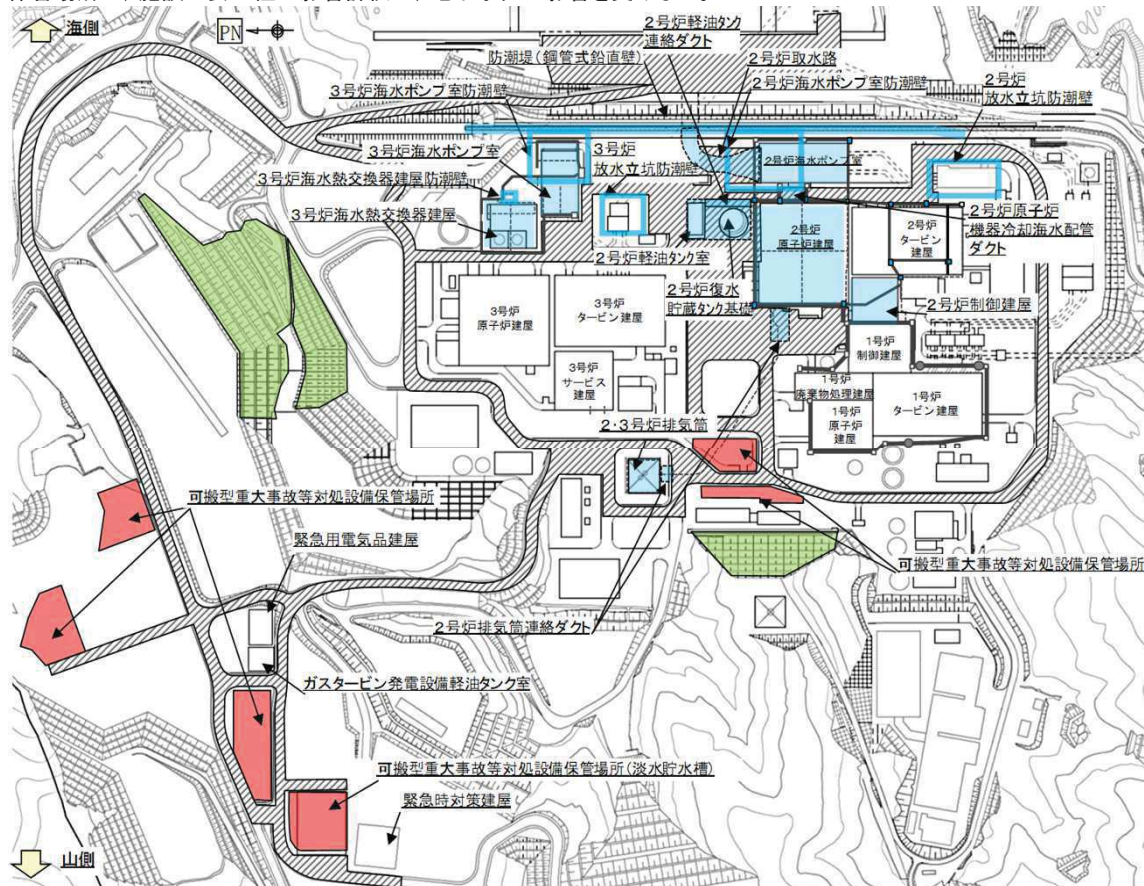
第4-8図 地下水位の経時変化例

4. 新規制基準に対応した設計用地下水水位の設定方針

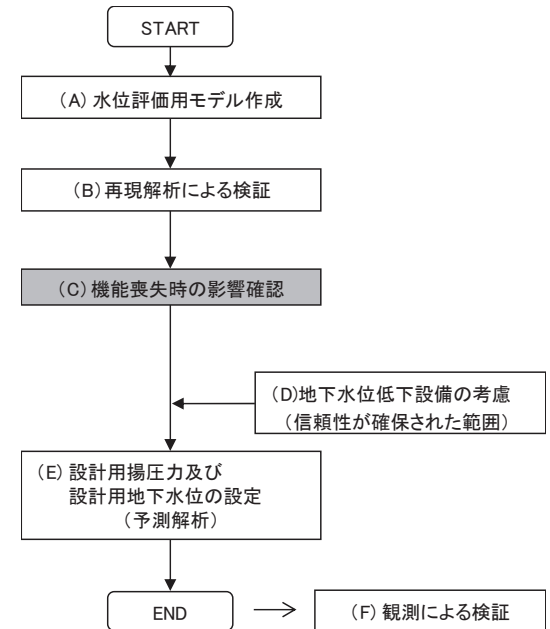
(4) 機能喪失時の影響確認 (1/6)

- 今回の2号炉の新規制基準適合性申請において、地下水水位低下設備による水位保持機能に期待した設計値(揚圧力・地下水水位)を設定している対象施設の配置を第4-9図に示す。これらの対象施設に対し、地下水水位低下設備の機能が期待できない場合の影響評価を行う。
- なお、対象施設の抽出にあたっては以下を考慮している。
 - 一高台エリア(O.P.+62.0m盤周辺)に設置を計画している緊急時対策建屋、緊急用電気品建屋及びガスタービン発電設備軽油タンク室は地下水水位低下設備の機能に期待せず、観測記録に基づく水位または地表面に設計用地下水水位を設定する。
 - 一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おいて評価する斜面は、地下水水位低下設備の機能に期待しない浸透流解析等により設計用地下水水位を設定する。
 - 一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は周辺施設の建設時工認を参照した地下水水位の設定(O.P.+14.8m盤のみ地下水水位低下設備の効果を考慮したO.P.+5.0mを設計用地下水水位とし、他は地表面に設計用地下水水位を設定する)にて設置許可段階の評価を行い、工認段階で設計用地下水水位に変更が生じた場合は、必要に応じて担保すべき時間評価に影響を与えないよう対策を実施する。

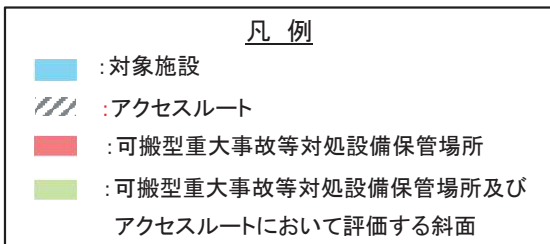
※ O.P.+14.8m盤の保管場所は、施設の安全性の影響評価上、地下水水位の影響を受けない。



第4-9図 対象施設の配置



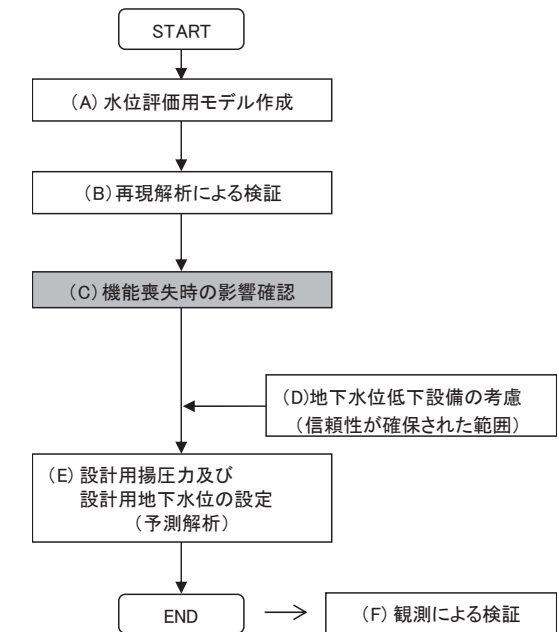
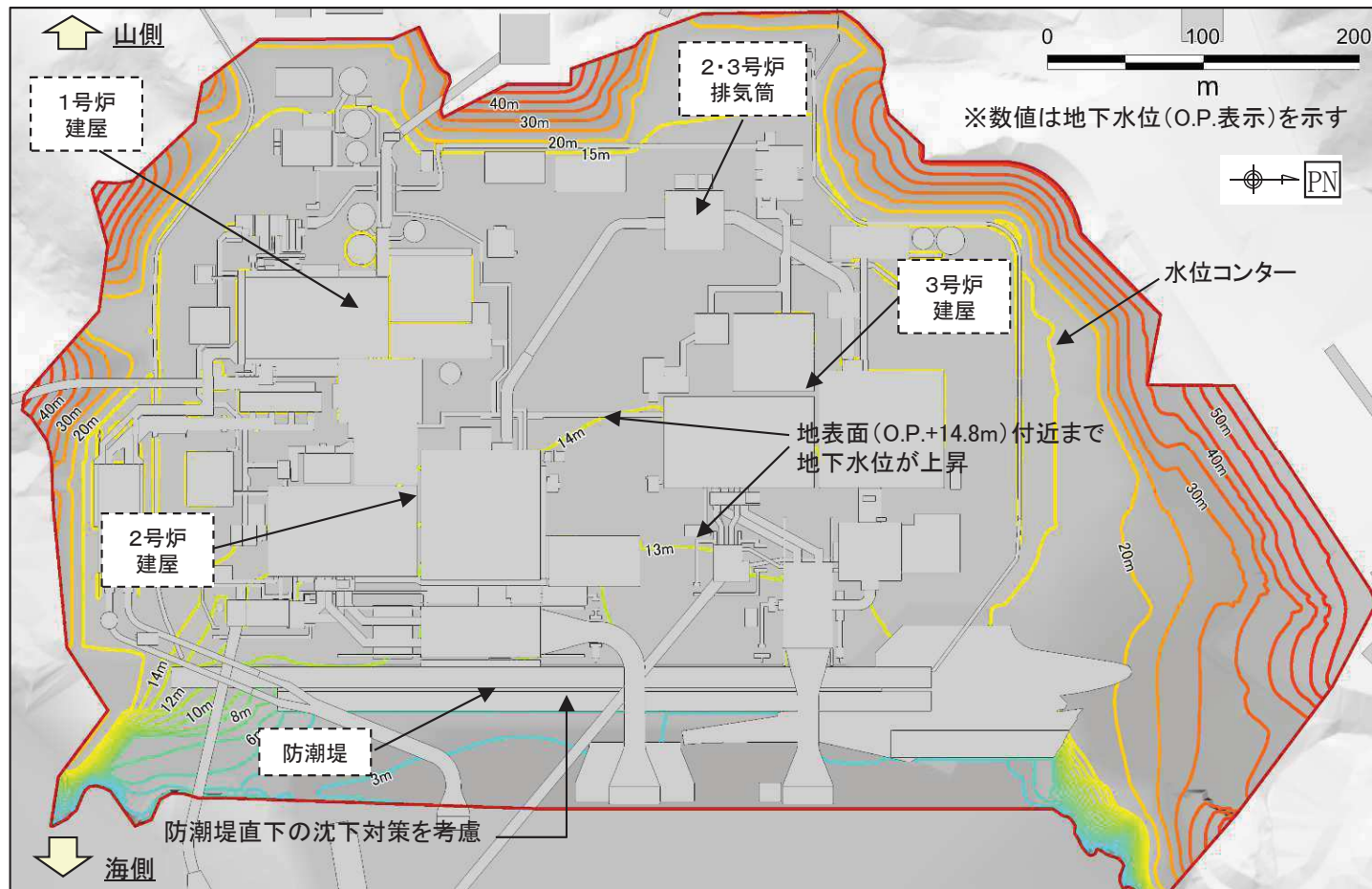
浸透流解析を用いた設計用揚圧力及び設計用地下水水位の設定フロー



4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(4) 機能喪失時の影響確認 (2/6)

- 地下水水位低下設備が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水水位分布を概略的に予測した浸透流解析の結果を第4-10図に示す。
- 境界条件として、陸地は地表面に静水圧固定境界、海域はH.W.L. (O.P.+1.43m)に静水圧固定境界を設定した。また、透水係数は再現解析で保守性が確認された値(建設時工認段階の設定値)とした。
- 防潮堤の沈下対策(地盤改良・置換コンクリート)により海側への排水経路が遮断されることから、敷地内に流入した地下水が滞留し、地下水水位が地表面付近まで上昇する、との解析結果が得られた。
- なお、地下水水位低下設備の機能喪失後、地下水水位が上昇し対象施設の安全性に影響を与えるレベルに達するまでの期間を「時間余裕」として定義する。この時間余裕は、地下水水位に係る対策の妥当性を検証する場合等、必要に応じて参照する。



凡例
■ 解析領域
□ 構造物外郭

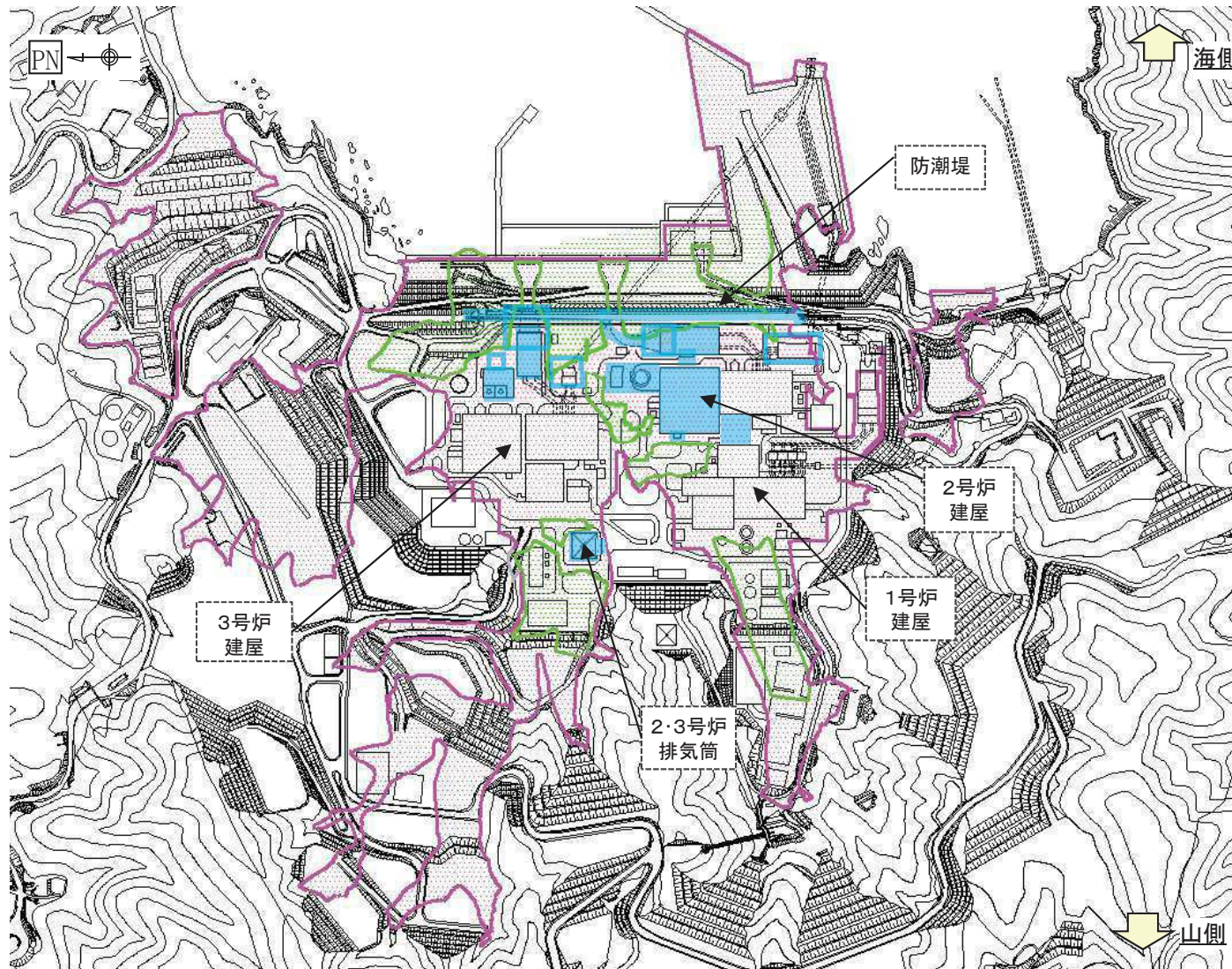
(参考)
本図は解析境界に水位固定した定常解析により得られた水面分布であり、実際の降雨条件とは異なるが、解析開始(地下水水位低下設備が機能喪失)から数年程度で地下水水位が地表面近くに到達する。

第4-10図 地下水水位低下設備が機能しない場合の地下水水位分布算定結果

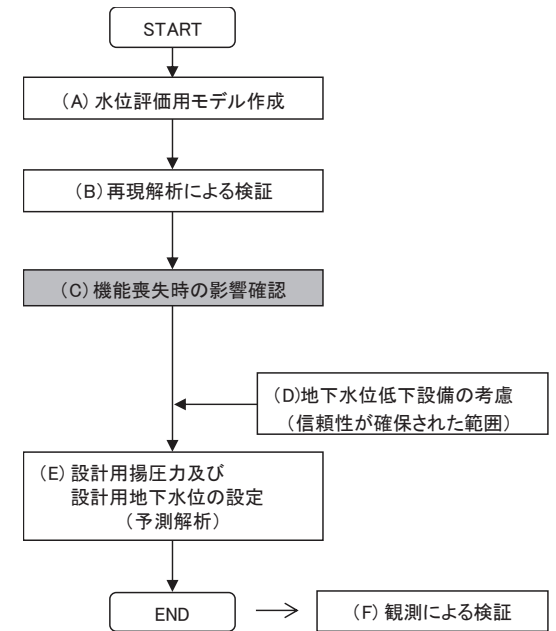
4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(4) 機能喪失時の影響確認 (3/6)

- 液状化等による影響(設置許可基準規則第3条第2項)の観点から、盛土・旧表土の分布と対象施設の配置との関係を第4-11図に示す。
- なお、女川原子力発電所における盛土・旧表土は、液状化強度試験結果から「非液状化」または「繰返し軟化」と分類され、有効応力がゼロまで低下して液体状とはならず、ひずみが漸増する粘り強い挙動を示す※ことが確認されている。
- 次頁以降に対象施設における地下水位が地表面付近まで上昇した場合の影響評価結果を示す。






第4-11図 対象施設の配置と盛土・旧表土の分布



浸透流解析を用いた設計用揚圧力及び
設計用地下水位の設定フロー

凡例

-  : 盛土分布範囲
-  : 旧表土分布範囲
-  : 対象施設

※ 第556回審査会合 (H30.3.20) 資料1-2-4
p.59, p.63

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(4) 機能喪失時の影響確認 (4/6)

- 対象施設について、設置許可基準規則の該当条項及び審査区分を整理した。(第4-5表、第4-6表)
- また、地下水位が地表面付近にある場合において、対象施設における常時及び地震時の影響を評価した(建設時工認等の設計における地下水位との相対比較による)。

第4-5表 地下水位低下設備に期待する施設の整理(基礎地盤・周辺斜面)

対象施設	耐震クラス	設置許可基準規則		審査区分及び設置許可基準規則の該当条項		適合性審査において地下水位低下設備の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項			(参考) 建設時工認等の設計における地下水位の扱い	
		3条 38条	4条4項 39条2項	設置許可	工認	常時	地震時(地下水位はp.28参照)		設計用地下水位	設計への反映事項
		地盤	地震				周辺地盤(液状化)影響	揚圧力影響		
基礎地盤・周辺斜面※1	—	○ (基礎地盤)	○ (周辺斜面)	3条, 38条 (基礎地盤) 4条4項, 39条2項 (周辺斜面)	—	—	地表面※7に設定しているため影響なし		地表面※7に設定	—

第4-6表 地下水位低下設備に期待する施設の整理(建物・構築物)

対象施設	耐震クラス (検討用 地震動)	設置許可基準規則			審査区分及び設置許可基準規則の該当条項		適合性審査において地下水位低下設備の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項			(参考) 建設時工認等の設計における地下水位の扱い	
		3条2項 38条2項	4条 39条	5条 40条	設置許可	工認※6	常時	地震時(地下水位はp.28参照)		設計用揚圧力	設計への反映事項
		地盤	地震	津波・余震重量				周辺地盤(液状化)影響	揚圧力影響		
2号炉 原子炉建屋 (直接基礎)	S※2	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	地下外壁の設計では、地下水位が低下している状態として地下水圧を考慮していないため、基礎版上端レベルを上回る地下水位となった場合には、地下水圧が上昇し躯体の耐震性に影響が生じる可能性がある。 <4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	設計用地下水位(設計用揚圧力)を上回る場合には、基礎版の耐震性(間接支持機能)を確保できない可能性がある。 <4条, 39条, 5条, 40条>	揚圧力29.4kN/m ² (建屋基礎底面) (O.P.-14.1m)	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施
2号炉 制御建屋 (直接基礎)	S※3	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK			揚圧力0kN/m ² (建屋基礎底面) (O.P.-1.5m)	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施
3号炉 海水熱 交換器建屋 (直接基礎)	—※4 (Ss)	○	○	○	—	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条	OK			揚圧力14.7kN/m ² (建屋基礎底面) (O.P.-12.5~-16.25m)	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施
2・3号炉 排気筒 (直接基礎)	S※5	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK			設計地下水位を上回る地下水位に対して、排気筒の耐震性に影響が生じる可能性<4条(3条2項), 39条(38条2項)>	設計地下水位(揚圧力)を上回る地下水位に対して、排気筒の耐震性を確保できない可能性<4条, 39条>

※1：基礎地盤の評価は設置許可段階において実施。O.P.+14.8m盤の直接基礎構造物は2号炉原子炉建屋及び防潮堤(盛土堤防)、杭基礎構造物は防潮堤(鋼管式鉛直壁(一般部))で代表。周辺斜面は対象なし。

※2：原子炉建屋原子炉棟のみ耐震Sクラス。それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。

※3：中央制御室遮蔽のみ耐震Sクラス。それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。

※4：防潮壁(耐震Sクラス)等の間接支持構造物。 ※5：非常用ガス処理系の排気機能を有するため耐震Sクラス。

※6：A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が併せて可能であることを示す。

※7：周辺地盤(タービン建屋を含む)の地下水位は地表面に設定。原子炉建屋の地下水位は基礎版中央に設定。なお、地下水位の設定は基礎地盤の評価結果に影響しない。(補足説明資料5)

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(4) 機能喪失時の影響確認 (5/6)

第4-7表 地下水位低下設備に期待する施設の整理(土木構造物・津波防護施設)

対象施設	耐震クラス (検討用) 地震動	設置許可基準規則			審査区分及び設置許可 基準規則の該当条項		適合性審査において地下水位低下設備 の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項		(参考) 建設時工認等の設計における地下水位の扱い	
		3条2項 38条2項 地盤	4条 39条 地震	5条 40条 津波・余震重量	設置 許可	工認※5	常時	地震時(地下水位はp.28参照) 周辺地盤(液状化)影響	設計用地下水位	設計への反映事項
防潮堤 (杭基礎)	S	○	○	○	—※6	4条※6(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条	OK	地盤改良する杭周辺の地盤には液状化が発生しないため、耐震性への影響は軽微。 <4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	— (新設)	
防潮壁 (杭基礎)	S	○	○	○	—	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性。<4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	— (新設)	
2号炉 海水ポンプ室 (直接基礎)	—※1~4 (Ss)	○	○	○	—	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条	OK	躯体周辺は地盤改良するため、耐震性への影響は軽微。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり※7)。 <4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	EW断面: O.P.-14.2m~+2.43m NS断面: O.P.-14.1m~+14.8m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
2号炉原子炉機器冷 却海水配管ダクト (直接基礎)	—※1, 3 (Ss)	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	躯体周辺は地盤改良するため、耐震性への影響は軽微。 <4条(3条2項), 39条(38条2項)>	O.P.-14.2m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
2号炉 取水水路 (直接基礎)	—※1, 2 (Ss)	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり※7)。 <4条(3条2項), 39条(38条2項)>	EW断面: O.P.-14.2m~+2.43m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
2号炉 軽油タンク室 (直接基礎)	—※1, 3 (Ss)	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり※7)。 <4条(3条2項), 39条(38条2項)>	— (建設工認時対象外)	
2号炉 復水貯蔵タンク基礎 (直接基礎)	—※3 (Ss)	○ (38条2 項のみ)	○ (39条 のみ)	—	—	39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり※7)。 <39条(38条2項)>	EW断面: O.P.-6.0m NS断面: O.P.-11.1m~+10.725m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
2号炉軽油タンク 連絡ダクト (直接基礎)	—※1, 3 (Ss)	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり※7)。 <4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	— (建設工認時対象外)	
2号炉 排気筒連絡ダクト (直接基礎)	—※1, 3 (Ss)	○	○	—	—	4条(3条2項), 39条(38条2項)	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり※7)。 <4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	O.P.-8.0m~+4.5m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮
3号炉 海水ポンプ室 (直接基礎)	—※4 (Ss)	○	○	○	—	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条	OK	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性。また、間隙水圧の上昇に伴う浮力の増大とせん断抵抗の減少により躯体の安定性を確保できない可能性(浮き上がり※7)。 <4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条, 40条>	EW断面: O.P.-14.6m~+2.43m NS断面: O.P.-14.7m~+1.5m	耐震評価に用いる地震 応答解析の解析条件と して考慮

※1：屋外重要土木構造物。 ※2：常設重大事故防止設備等。 ※3：常設重大事故防止設備等の間接支持構造物。 ※4：浸水防止設備の間接支持構造物。

※5：A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が併せて可能であることを示す。

※6：鋼管式鉛直壁(一般部)山側の地下水位をH.W.L.(O.P.+1.43m, 約1m)の沈降を考慮)に設定し構造成立性の見通しを説明の上、工認段階で地下水位に変更が生じる場合には、安全性への影響を評価した上で必要に応じて対策を実施。なお、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防は山側の地下水位を地表面に設置。

※7：女川の盛土及び旧表土は、繰返しせん断による有効応力の減少はあってもせん断抵抗が完全に失われることはない。また、せん断応力の作用により有効応力が回復し、粘り強い挙動を示すため、浮上がりに対する耐性は大きいと考えられるが、保守的に浮上がるものと評価した。なお、その影響は、地下水位低下設備が機能停止してから地下水位が地表面近くまで達するまで数年程度(参考値)であることを踏まえると、地下水位低下設備の機能停止後、直ちに発生するものではない。

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

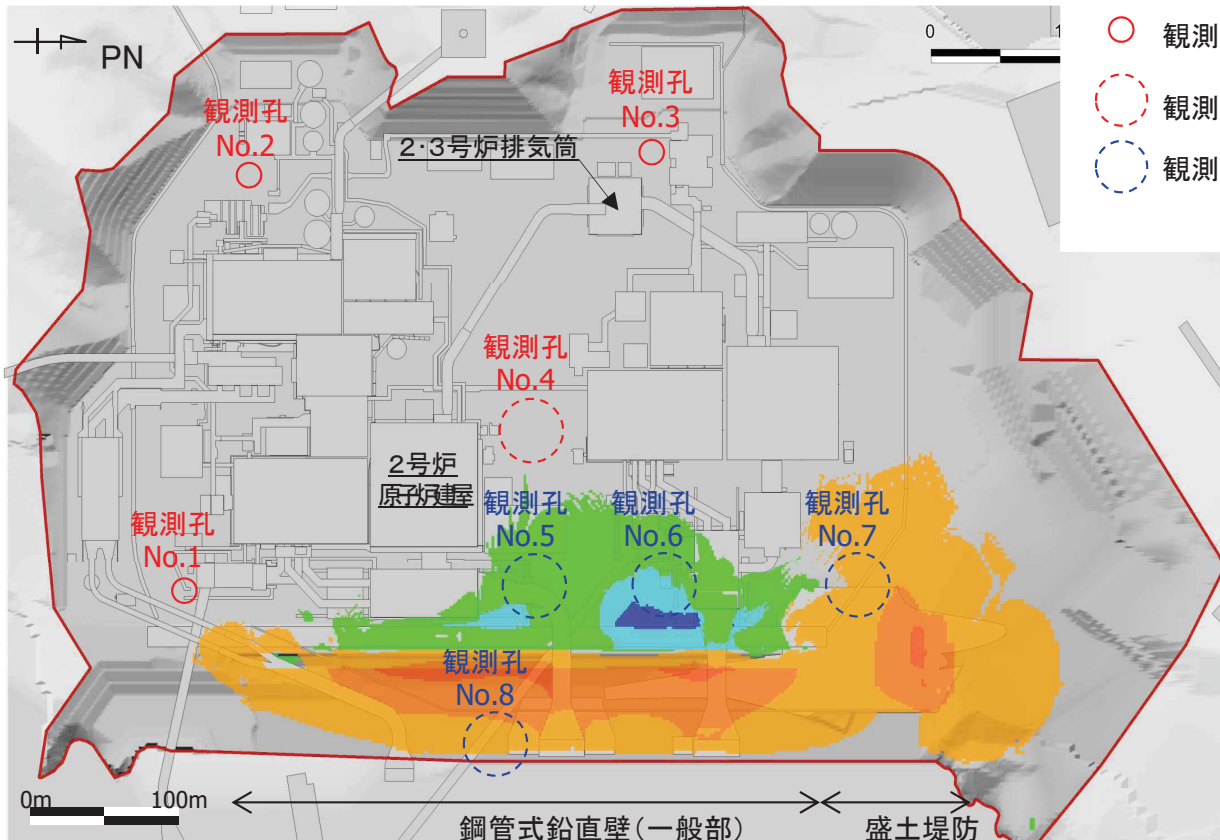
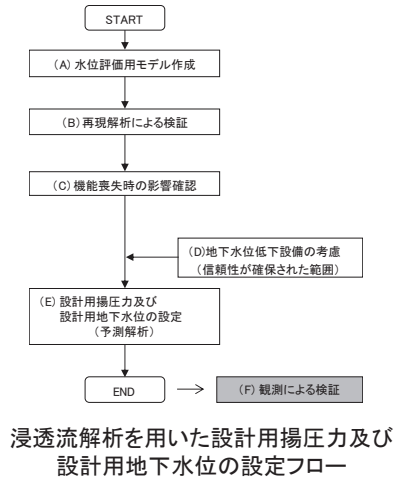
(4) 機能喪失時の影響確認 (6/6)

- 三次元浸透流解析により、地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布を概略的に予測し、地下水位低下設備が機能せず、地下水位が地表面付近まで上昇した場合における常時及び地震時の対象施設への影響を評価した。
- この結果、地下水位低下設備の機能が失われた場合、常時における地下水位上昇の影響はないものの、地震時には施設の安全性に影響が生じることが確認された。
 - －建物・構築物は、地震時において、揚圧力影響により基礎版の耐震性を確保できない可能性がある。(第4条, 第39条) また、基礎版上端レベルを上回る地下水位となった場合、耐震性に影響が生じる可能性がある。(上記に加え第3条第2項, 第38条第2項)
 - －土木構造物・津波防護施設は、地震時において、周辺地盤の液状化影響により耐震性への影響や躯体の安定性を確保できない可能性がある。(第3条第2項, 第38条第2項)
 - －また、津波防護施設あるいはこれを支持する建物・構築物、土木構造物の一部において、津波と余震の重畳時に津波防護機能に影響する可能性のある条項を整理した。(第5条, 第40条)。
- 一方、可搬型重大事故等対処設備アクセスルートは周辺施設の建設時工認を参照した地下水位の設定(O.P.+14.8m盤のみ地下水位低下設備の効果を検討したO.P.+5.0mを設定水位とし、他は地表面に地下水位を設定する)にて設置許可段階の評価を行い、工認段階で設計用地下水位に変更が生じた場合は、必要に応じて担保すべき時間評価に影響を与えないよう対策を実施する。
- 以上より、設置許可基準規則第3条, 第4条, 第5条, 第38条, 第39条, 第40条, 及び第43条への適合上、地下水位を一定の範囲に保持する必要があることから、地下水位低下設備を設計基準対象施設と位置付ける。
(地下水位低下設備は重大事故等に対処するための機能は有していないため、「重大事故等対処施設」には位置付けない。)
- なお、第3条及び第38条, 第4条及び第39条並びに第5条及び第40条は、それぞれ同一の地盤、地震及び津波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、第3条第1項は基礎地盤の審査において別途確認、第3条第2項は第4条への適合をもって合わせて確認する。また、第5条, 第40条は余震時に対する要求であることから、同じ地震時である第4条への適合をもって確認する。このことを踏まえ、以降の整理においては、代表的に第4条への適合性を示すこととする。
- 地下水位低下設備の機能を保持するための信頼性向上の方針は次章で詳述する。

4. 新規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(5) 観測による検証

- 設計用揚圧力及び設計用地下水位の設定に用いる予測解析は防潮堤沈下対策完了後の状態をモデル化することから、予測解析結果の妥当性の検証として、防潮堤沈下対策の工事完了後に地下水位の観測を行い、解析にて想定した地下水位を観測水位が下回ることを確認する。
- 観測孔は、防潮堤の沈下対策による地下水位への影響範囲を考慮し設定する。(第4-12図)
- 工認段階の予測解析の検証においては、防潮堤の沈下対策の影響を受けないNo.1～No.4孔の観測記録を参照する。また、防潮堤の沈下対策工事完了後の運転段階においては、防潮堤外も含めてNo.5～No.8孔の観測記録を検証材料に加える。
- なお、今後の地下水位設定の信頼性確認等への活用を念頭に、第4-12図のうち複数孔については防潮堤沈下対策影響の検証後も観測を継続し、基礎データとして集積していく。



※ 詳細な計測位置は、周辺の施設や工事との干渉等を考慮し選定予定であり、変更可能性あり。
 なお、予測解析結果の検証を目的とした地下水位の観測は、防潮堤沈下対策工事完了後1年程度を想定。

第4-12図 地下水位観測計画位置

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(1) 地下水位低下設備の目的、機能及び位置付け

① 地下水位低下設備の目的及び機能

- 原子力発電所の対象施設の機能・構造は、地盤の健全性が確保された前提で各種設計がなされている。
- 地下水位低下設備の機能は、対象施設の設計の前提が確保されるよう、「地下水位を一定の範囲に保持する」ことである。
- 地下水位低下設備が機能することにより、対象施設周辺の地下水位が一定の範囲に保持され、対象施設に及ぶ揚圧力及び地震時における液状化影響が低減される。

② 地下水位低下設備の機能維持を要求する期間

- 地下水位低下設備は、以下に示す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必要である。
 - ・通常運転時(起動時, 停止時含む)
 - ・運転時の異常な過渡変化時
 - ・設計基準事故時
 - ・重大事故等時
- また、プラント供用期間中において発生を想定する大規模損壊についても、その発生要因とプラントの損壊状況を踏まえ、地下水位低下設備の設計を行う上で配慮する。

地下水位低下設備の目的、機能及び要求期間を踏まえ、原子炉施設の安全性を維持する観点から、地下水位低下設備を設置許可基準規則第12条で規定される「安全機能の重要度分類」における重要度の高い「クラス1」に相当する設備として設計・運用を行っていくこととする。

次頁以降、設計上配慮すべき要件及び機能喪失要因の分析を行うことにより、信頼性向上のあり方について整理を行う。

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(1/22)

【設置許可基準規則第12条に係る設計上の具体的な配慮事項の抽出】

- 地下水位低下設備を安全機能の重要度分類上のクラス1に相当する設備と位置付けるに際して、設置許可基準規則第12条を一部準用することとし、地下水位低下設備の設計上配慮すべき要求事項を第5-1表のとおり抽出した。

第5-1表 設置許可基準規則第12条の要求事項(1/3)

	設置許可基準規則	「設置許可基準規則の解釈」から抜粋
(安全施設) 第十二条	安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。	1 第1項に規定する「安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたもの」については、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」による。ここで、当該指針における「安全機能を有する構築物、系統及び機器」は本規定の「安全施設」に読み替える。
	2 安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、 <u>当該系統を構成する機械又は器具の単一故障</u> (単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと(従属要因による多重故障を含む。)をいう。以下同じ。)が発生した場合であって、 <u>外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保する【要求事項①】</u> ものでなければならない。	<p>2 第2項の「<u>単一故障</u>」は、<u>従属要因に基づく多重故障を含まれる。【要求事項②】</u></p> <p>3 第2項に規定する「安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するもの」は、上記の指針を踏まえ、以下に示す機能を有するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 その機能を有する系統の多重性又は多様性を要求する安全機能 二 その機能を有する複数の系統があり、それぞれの系統について多重性又は多様性を要求する安全機能 <p>4 第2項に規定する「単一故障」は、動的機器の単一故障及び静的機器の単一故障に分けられる。重要度の特に高い安全機能を有する系統は、<u>短期間では動的機器の単一故障を仮定しても、長期間では動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかを仮定しても、所定の安全機能を達成できるように設計されていることが必要【要求事項③】</u>である。</p> <p>5 第2項について、短期間と長期間の境界は24時間を基本とし、運転モードの切替えを行う場合はその時点を短期間と長期間の境界とする。例えば運転モードの切替えとして、加圧水型軽水炉の非常用炉心冷却系及び格納容器熱除去系の注入モードから再循環モードへの切替えがある。また、動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかを仮定すべき長期間の安全機能の評価に当たっては、想定される最も過酷な条件下においても、その単一故障が安全上支障のない期間に除去又は修復できることが確実であれば、その単一故障を仮定しなくてよい。</p> <p>さらに、単一故障の発生の可能性が極めて小さいことが合理的に説明できる場合、あるいは、単一故障を仮定することで系統の機能が失われる場合であっても、他の系統を用いて、その機能を代替できることが安全解析等により確認できれば、当該機器に対する多重性の要求は適用しない。</p>

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(2/22)

第5-1表 設置許可基準規則第12条の要求事項(2/3)

設置許可基準規則	「設置許可基準規則の解釈」から抜粋
<p>3 安全施設は、<u>設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮【要求事項④】</u>することができるものでなければならない。</p>	<p>6 第3項に規定する「<u>想定される全ての環境条件</u>」とは、<u>通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、その機能が期待されている構築物、系統及び機器が、その間にさらされると考えられる全ての環境条件【要求事項⑤】</u>をいう。</p>
<p>4 安全施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、発電用<u>原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる【要求事項⑥】</u>ものでなければならない。</p>	<p>7 第4項に規定する「<u>発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる</u>」とは、実システムを用いた試験又は検査が不適当な場合には、試験用のバイパス系を用いること等を許容することを意味する。</p> <p>8 第4項に規定する「<u>試験又は検査</u>」については、次の各号によること。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 発電用原子炉の運転中に待機状態にある安全施設は、<u>運転中に定期的に試験又は検査(実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。)に規定される試験又は検査を含む。)ができること。【要求事項⑦】</u>ただし、運転中の試験又は検査によって発電用原子炉の運転に大きな影響を及ぼす場合は、この限りでない。また、<u>多重性又は多様性を備えた系統及び機器にあっては、各々が独立して試験又は検査ができること。【要求事項⑧】</u> 二 運転中における安全保護系の各チャンネルの機能確認試験にあっては、その実施中においても、その機能自体が維持されていると同時に、原子炉停止系及び非常用炉心冷却系等の不必要な動作が発生しないこと。 三 発電用原子炉の停止中に定期的に行う試験又は検査は、原子炉等規制法及び技術基準規則に規定される試験又は検査を含む。 <p>9 第4項について、下表の左欄に掲げる施設に対しては右欄に示す要求事項を満たさなければならない。</p>
<p>5 安全施設は、<u>蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわない【要求事項⑨】</u>ものでなければならない。</p>	<p>10 第5項に規定する「<u>蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物</u>」とは、内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する弁及び配管の破断、高速回転機器の破損、ガス爆発又は重量機器の落下等によって発生する飛散物をいう。なお、<u>二次的飛散物、火災、化学反応、電氣的損傷、配管の破損又は機器の故障等の二次的影響も考慮する【要求事項⑩】</u>ものとする。</p> <p>また、上記の「発生する飛散物」の評価については、「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月20日原子力委員会原子炉安全専門審査会)等によること。</p>

(安全施設)
第十二条

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(3/22)

第5-1表 設置許可基準規則第12条の要求事項(3/3)

設置許可基準規則	「設置許可基準規則の解釈」から抜粋
<p>(安全施設) 第十二条</p> <p>6 重要安全施設は、<u>二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない【要求事項⑪】</u>。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合は、この限りでない。</p> <p>7 安全施設(重要安全施設を除く。)は、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続する場合には、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならない。</p>	<p>11 第6項に規定する「重要安全施設」については、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」においてクラスMS-1に分類される下記の機能を有する構築物等を対象とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉の緊急停止機能 ・未臨界維持機能 ・原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能 ・原子炉停止後の除熱機能 ・炉心冷却機能 ・放射性物質の閉じ込め機能並びに放射線の遮蔽及び放出低減機能(ただし、可搬型再結合装置及び沸騰水型発電用原子炉施設の排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機能を持つ構造物)を除く。) ・工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能 ・安全上特に重要な関連機能(ただし、原子炉制御室遮蔽、取水口及び排水口を除く。) <p>12 第6項に規定する「安全性が向上する場合」とは、例えば、ツインプラントにおいて運転員の融通ができるように居住性を考慮して原子炉制御室を共用した設計のように、共用対象の施設ごとに要求される技術的要件を満たしつつ、共用することにより安全性が向上するとの評価及び設計がなされた場合をいう。</p> <p>13 第6項に規定する「共用」とは、2基以上の発電用原子炉施設間で、同一の構築物、系統又は機器を使用することをいう。</p> <p>14 第6項に規定する「相互に接続」とは、2基以上の発電用原子炉施設間で、系統又は機器を結合することをいう。</p>

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(4/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (1/15)】

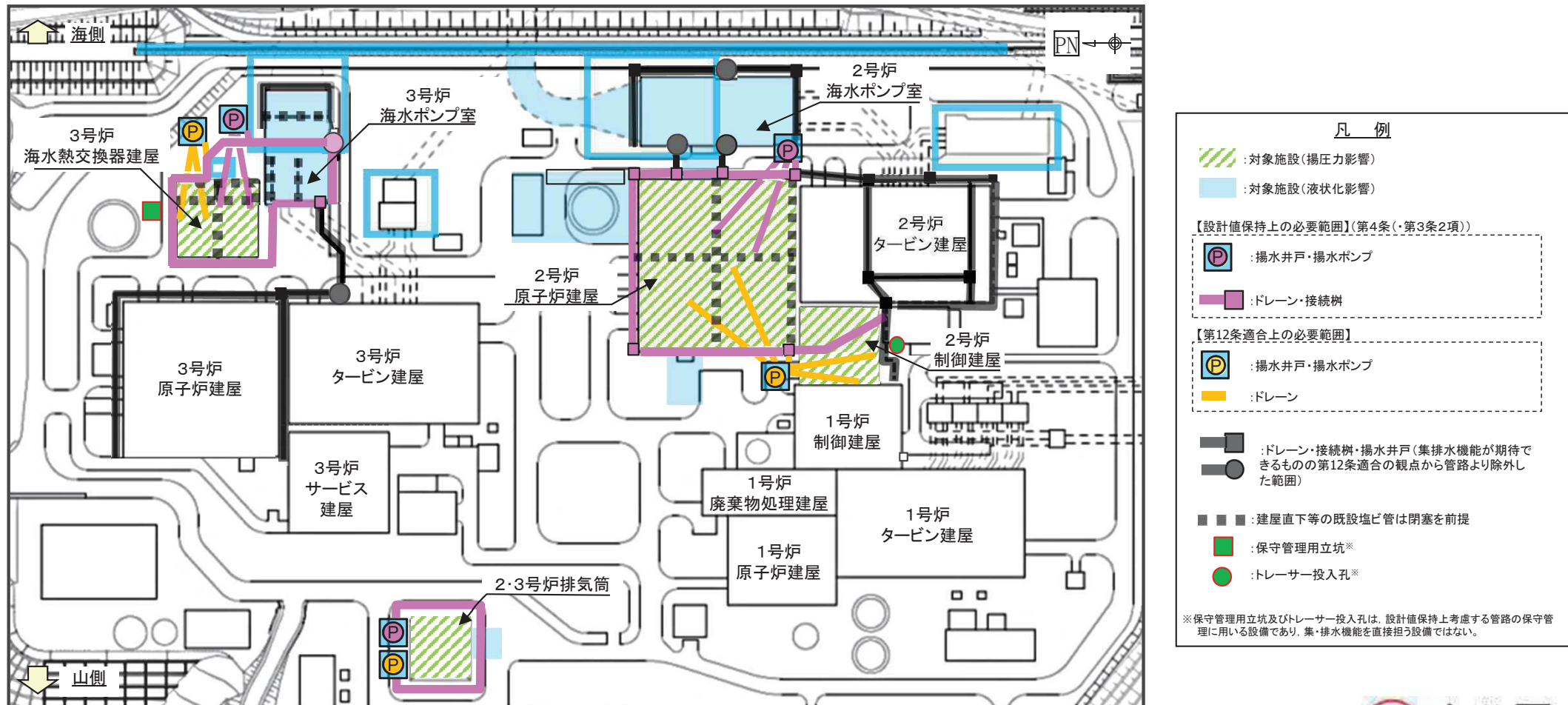
- 前頁までで抽出した設置許可基準規則第12条に係る地下水位低下設備への設計上の要求事項に照らして、集水機能(ドレーン等)及び排水機能(揚水ポンプ等)の機能保持が可能な設備構成を検討する。なお、検討にあたっては、網羅的に故障想定を行うため、動的機器の単一故障(短期、長期)として揚水ポンプの故障、並びに静的機器の単一故障(長期)としてドレーンの閉塞を想定することとした。
- また、設備構成の検討にあたっては、併せて以下を考慮した。
 - －第4章の整理から、地下水位低下設備が機能しない場合の影響として、建物・構築物へ作用する揚圧力上昇(設置許可基準規則第4条)と土木構造物他に作用する周辺地盤の液状化による土圧等の変化(設置許可基準規則第3条2項)が抽出されているが、揚圧力上昇に対しては対象施設側での対応ができないことから、揚圧力(設置許可基準規則第4条)に着目した集・排水機能に係る設備構成の検討を行った。なお、液状化(設置許可基準規則第3条2項)に対しては、上記により設定した設備構成にて算定される地下水位分布に基づき評価を行い、必要に応じて対策(地盤改良等)を行う。
 - －設備構成の検討にあたっては信頼性確保が重要となることから、添付資料4に示す通り、対象施設に対するドレーンの配置から期待範囲を設定し、信頼性の確保に係る3つの観点(耐久性、耐震性、保守管理性)を満たす範囲を抽出した上で、設置許可基準規則第12条の要求に対して機能保持できる範囲を有効なドレーンとして設定した。
 - －また、2号炉原子炉建屋及び3号炉海水熱交換器建屋直下の塩ビ管は、その構造や堆砂事象の進展速度等から閉塞しないものと評価しているが、万が一閉塞等が発生した場合の検知と修復が不確実と考えられるため、閉塞した状態(管路ではなく透水層)を前提とした。

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(5/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (2/15)】

- 設置許可基準規則第4条及び第12条の要求を考慮した集・排水機能の設備構成例を第5-1図に示す。
- これは、揚圧力影響(設置許可基準規則4条)に着目した対象施設(2号炉原子炉建屋, 2号炉制御建屋, 2・3号炉排気筒, 3号炉海水熱交換器建屋)に対し、条文適合上必要な集・排水機能の範囲を示したものであり、設計値保持のため必要な範囲(■)と、設置許可基準規則第12条の要求に対応する範囲(■)にて構成される。また、ドレーンとしての集水機能が期待できるものの、設置許可基準規則第12条適合の観点から管路より除外した範囲については、透水層(■)として取扱う。
- なお、第5-1図は揚圧力影響に着目した設備構成案であるが、前頁に記載のとおり、液状化影響(設置許可基準規則第3条2項)に着目した対象施設に対しても同じ設備構成にて算定される地下水位分布に基づき評価を行う。
- 第5-1図に示す設備構成案について、各対象施設における集・排水機能の構造概要(模式図)を、次頁の第5-2図に示す。



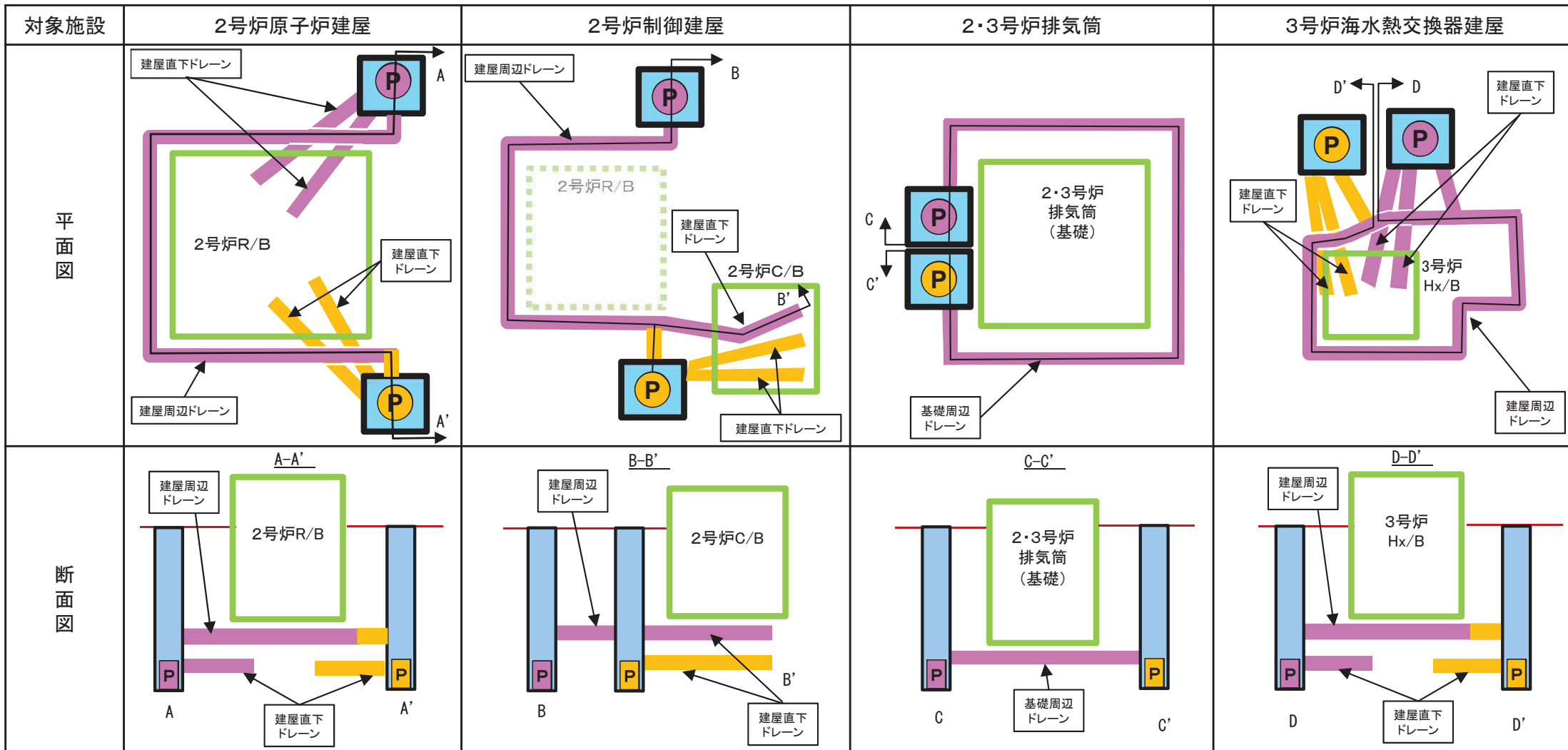
第5-1図 設置許可基準規則第4条(・第3条2項)及び第12条要求を考慮した地下水位低下設備の構成案

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(6/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (3/15)】

- 揚圧力影響に着目した各対象施設の範囲における集・排水機能の設備構成例(模式図)を第5-2図に示す。
- 次頁以降, 対象施設毎に, 集・排水機能を構成する動的・静的機器の単一故障に対する機能保持の考え方を整理する。



第5-2図 揚圧力影響に着目した各対象施設の範囲における地下水位低下設備の模式図

□ : 対象施設 (揚圧力影響)

Ⓟ : 揚水ポンプ及び揚水井戸

— : ドレイン (接続柵含む)

【第12条適合上の必要範囲】

Ⓟ : 揚水ポンプ及び揚水井戸

— : ドレイン

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(7/22)

2号炉原子炉建屋 (1/3)
故障想定

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (4/15)】

- 本頁以降に、2号炉原子炉建屋における検討例を示す。
- 下表は故障想定の内容、次頁及び次々頁に各故障想定に対する機能保持の考え方を示す。

第5-2表 設置許可基準規則第12条を考慮した検討ケース(2号炉原子炉建屋)

機能維持に必要な範囲	ケース	短期・長期		故障想定		備考
		短期	長期	ポンプ故障	ドレーン閉塞	
<p>(a) 東側ポンプ故障 ポンプ故障により、排水機能が喪失</p> <p>(c) 建屋直下ドレーン部分閉塞 部分閉塞により、閉塞箇所から上流側の集水機能が喪失</p> <p>2号炉R/B</p> <p>(b) 建屋周辺ドレーン部分閉塞 部分閉塞により、閉塞箇所から上流側の集水機能が喪失</p>	(a)	○	○	東側ポンプ故障	—	ポンプ故障により、建屋周辺ドレーンからの排水機能が喪失する
	(b)	—	○	—	建屋周辺ドレーン部分閉塞	ドレーン部分閉塞により、閉塞箇所上流の集水機能が喪失する
	(c)	—	○	—	建屋直下ドレーン部分閉塞	ドレーン部分閉塞により、閉塞箇所上流の集水機能が喪失する

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)

- : 対象施設 (揚圧力影響)
- P : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン (接続樹含む)

【第12条適合上の必要範囲】

- P : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン

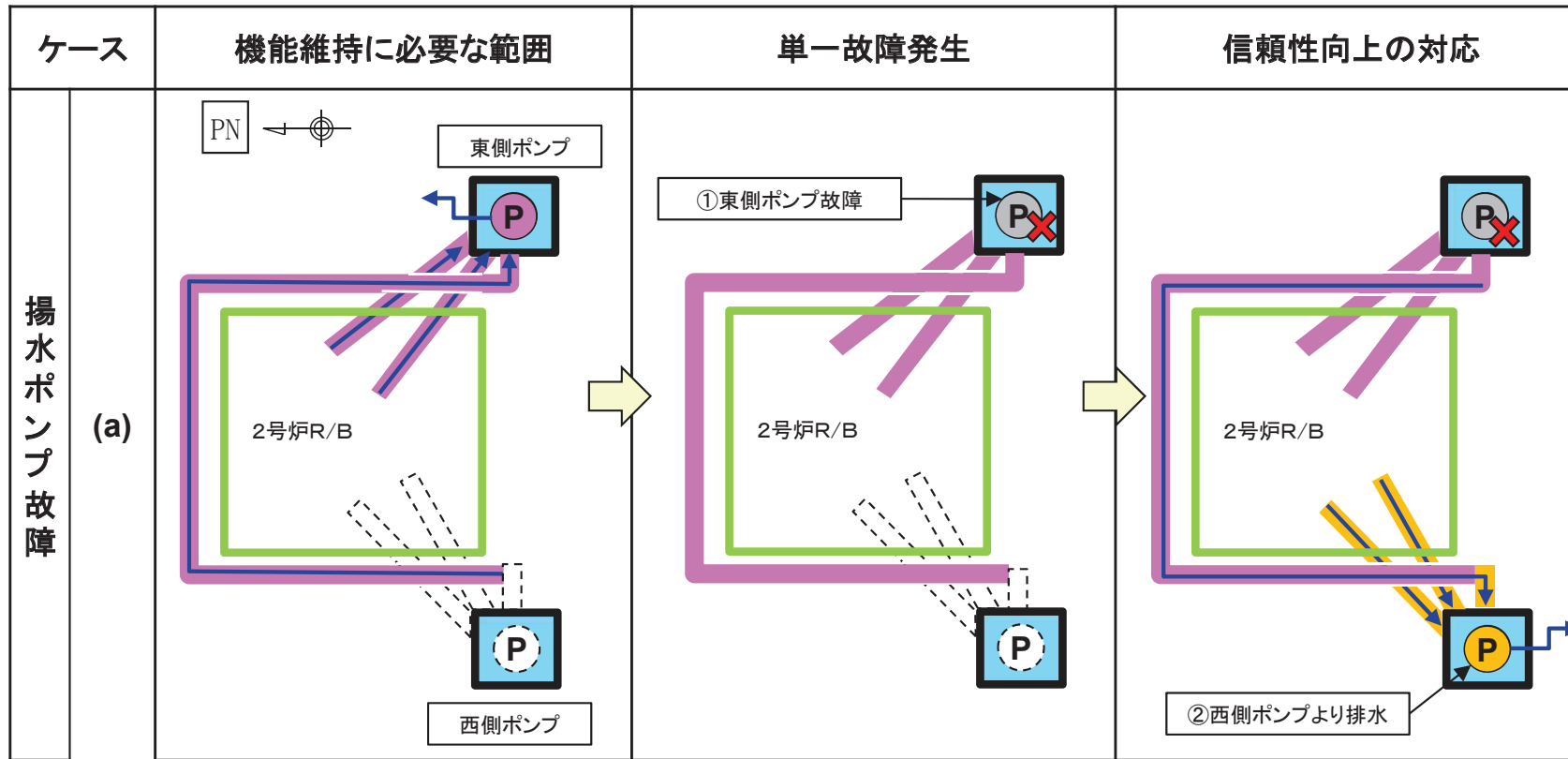
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(8/22)

2号炉原子炉建屋 (2/3)
動的機器の単一故障

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (5/15)】

- 2号炉原子炉建屋における, 動的機器(揚水ポンプ)の単一故障(短期・長期)に係る検討例を示す。
- 揚水ポンプの単一故障に対して, 多重化により要求される機能(揚圧力を保持)が維持される。



凡例

- : 対象施設
- : 集水, 排水経路

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン (接続樹含む)

【第12条適合上の必要範囲】

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン

- : 揚水ポンプ機能喪失
- : ドレーン機能喪失
- : 揚水ポンプ及び揚水井戸 (期待しない範囲)
- : ドレーン (期待しない範囲)

第5-3図 2号炉原子炉建屋の設備構成検討例(動的機器(揚水ポンプ)の単一故障)

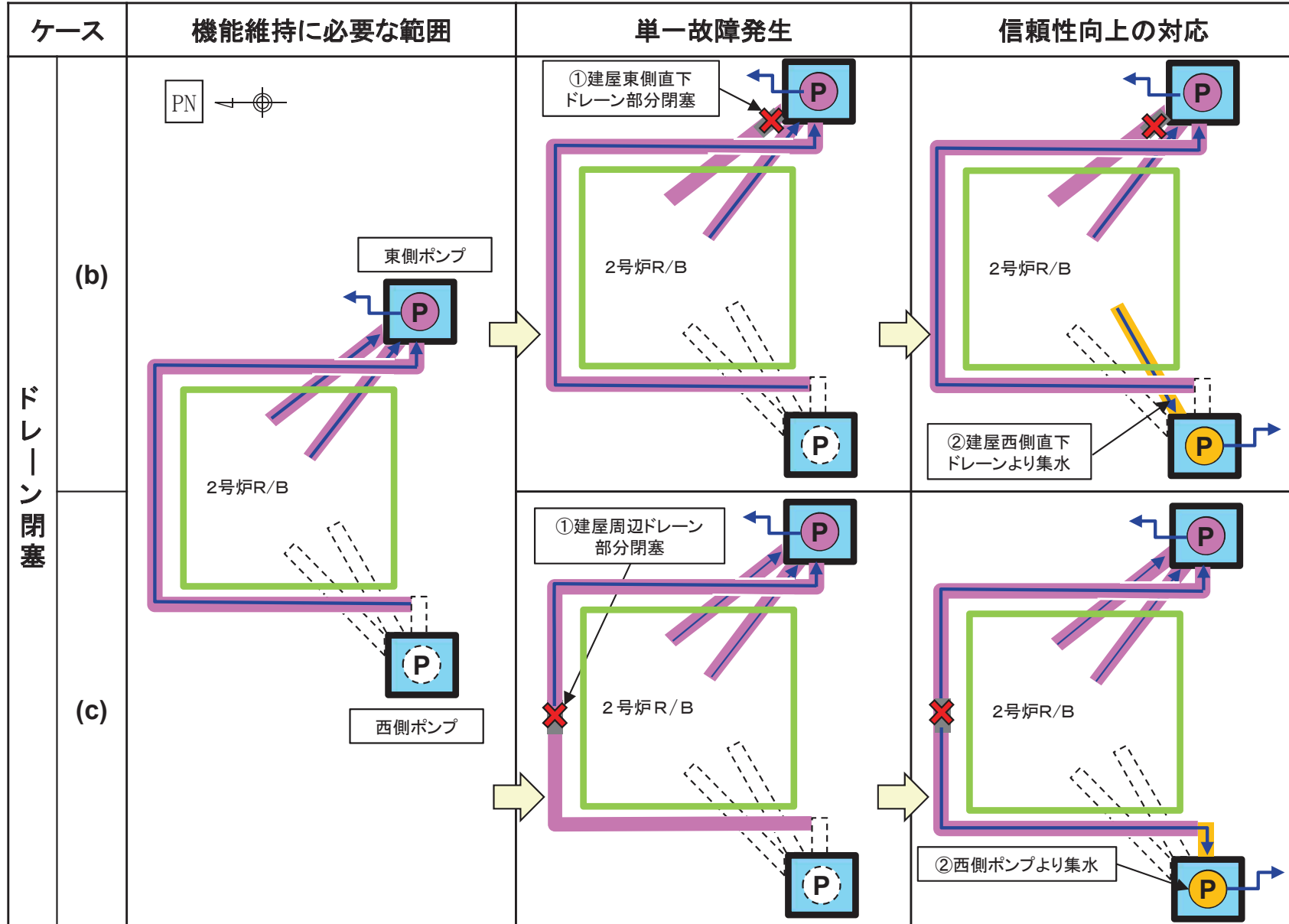
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(9/22)

2号炉原子炉建屋 (3/3)
静的機器の単一故障

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (6/15)】

- 2号炉原子炉建屋における、静的機器(ドレーン)の単一故障(長期)に係る検討例を示す。
- ドレーンの単一故障に対して、揚水井戸・揚水ポンプの配置により機能(揚圧力の保持)が維持される。



凡例

- : 対象施設
- : 集水、排水経路

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン(接続構含む)

【第12条適合上の必要範囲】

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン

- : 揚水ポンプ機能喪失
- : ドレーン機能喪失
- : 揚水ポンプ及び揚水井戸(期待しない範囲)
- : ドレーン(期待しない範囲)

第5-4図 2号炉原子炉建屋の設備構成検討例(静的機器(ドレーン)の単一故障)

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(10/22)

2号炉制御建屋 (1/3)
故障想定

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (7/15)】

- 本頁以降に、2号炉制御建屋における検討例を示す。
- 下表は故障想定の内容、次頁及び次々頁に各故障想定に対する機能保持の考え方を示す。

第5-3表 設置許可基準規則第12条を考慮した検討ケース(2号炉制御建屋)

機能維持に必要な範囲	ケース	短期・長期		故障想定		備考
		短期	長期	ポンプ故障	ドレーン閉塞	
	(a)	○	○	東側ポンプ故障	—	ポンプ故障により、建屋直下ドレーンからの排水機能が喪失する
	(b)	—	○	—	建屋直下ドレーン部分閉塞	ドレーン部分閉塞により、閉塞箇所上流の集水機能が喪失する
	(c)	—	○	—	R/B建屋周辺ドレーン部分閉塞	ドレーン部分閉塞により、閉塞箇所上流の集水機能が喪失する

: 対象施設 (揚圧力影響)
 : 単一故障想定箇所

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)
 : 揚水ポンプ及び揚水井戸
 : ドレーン (接続樹含む)

【第12条適合上の必要範囲】
 : 揚水ポンプ及び揚水井戸
 : ドレーン

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(11/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (8/15)】

- 2号炉制御建屋における, 動的機器(揚水ポンプ)の単一故障(短期・長期)に係る検討例を示す。
- 揚水ポンプの単一故障に対して, 多重化により要求される機能(揚圧力を保持)が維持される。


2号炉制御建屋 (2/3)
動的機器の単一故障


凡例

 : 対象施設

 : 集水, 排水経路


【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)


 : 揚水ポンプ及び揚水井戸

 : ドレーン(接続樹含む)


【第12条適合上の必要範囲】


 : 揚水ポンプ及び揚水井戸

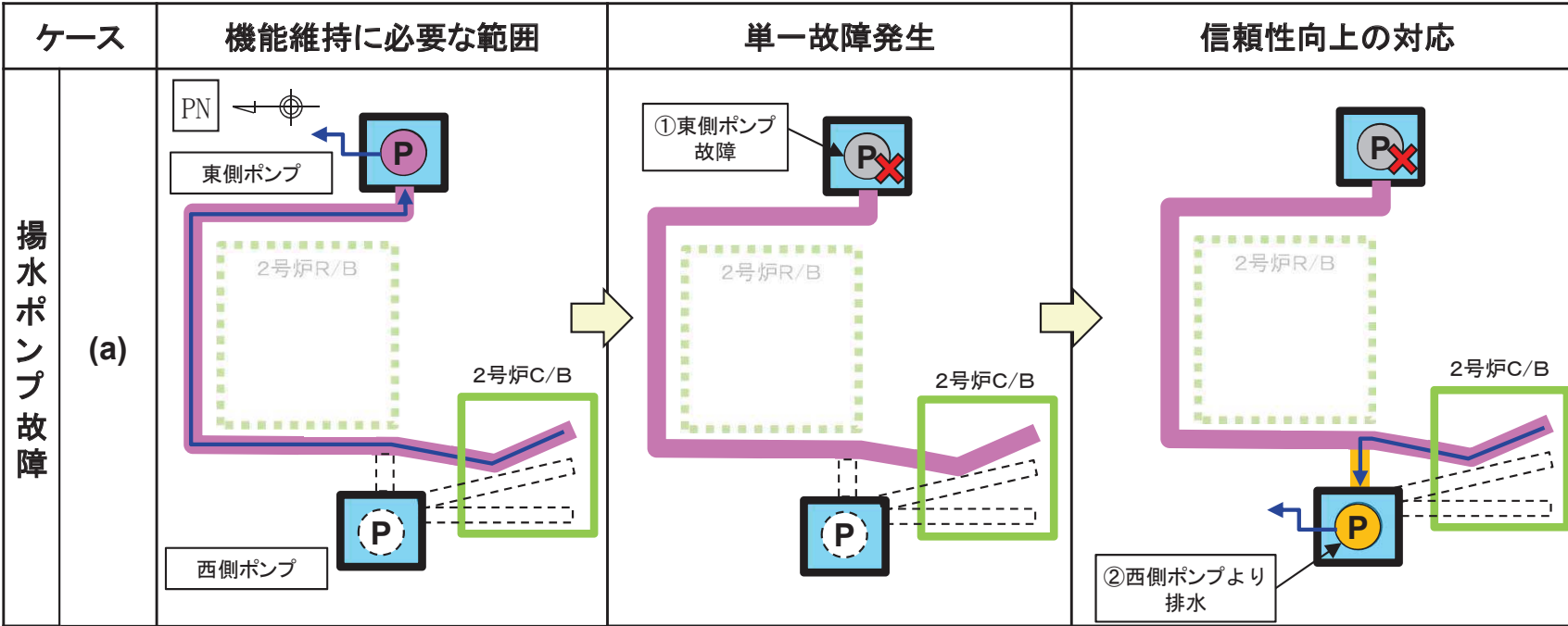
 : ドレーン

 : 揚水ポンプ機能喪失

 : ドレーン機能喪失

 : 揚水ポンプ及び揚水井戸
(期待しない範囲)

 : ドレーン
(期待しない範囲)



第5-5図 2号炉制御建屋の設備構成検討例(動的機器(揚水ポンプ)の単一故障)

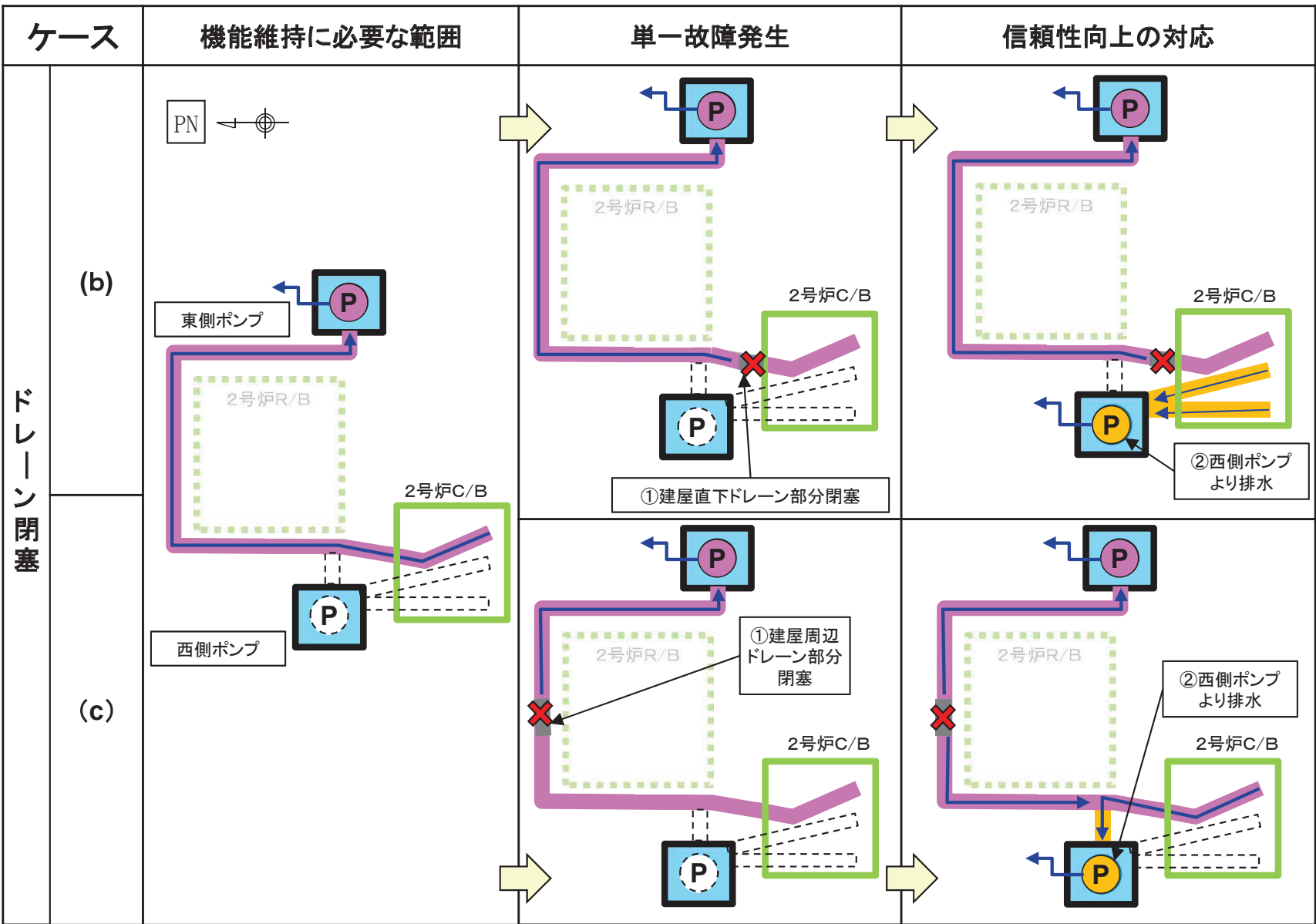
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(12/22)

2号炉制御建屋 (3/3)
静的機器の単一故障

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (9/15)】

- 2号炉制御建屋における, 静的機器(ドレーン)の単一故障(長期)に係る検討例を示す。
- ドレーンの単一故障に対して, 揚水井戸・揚水ポンプの配置により機能(揚圧力の保持)が維持される。



凡例

- : 対象施設
- : 集水, 排水経路

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン (接続樹含む)

【第12条適合上の必要範囲】

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン

- : 揚水ポンプ機能喪失
- : ドレーン機能喪失
- : 揚水ポンプ及び揚水井戸 (期待しない範囲)
- : ドレーン (期待しない範囲)

第5-6図 2号炉制御建屋の設備構成検討例(静的機器(ドレーン)の単一故障)

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(13/22)

2・3号炉排気筒 (1/3)
故障想定

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (10/15)】

- 本頁以降に、2・3号炉排気筒における検討例を示す。
- 下表は故障想定の内容、次頁及び次々頁に各故障想定に対する機能保持の考え方を示す。

第5-4表 設置許可基準規則第12条を考慮した検討ケース(2・3号炉排気筒)

機能維持に必要な範囲	ケース	短期・長期		故障想定		備考
		短期	長期	ポンプ故障	ドレーン閉塞	
<p>(a) 東側ポンプ故障 ポンプ故障により、排水機能が喪失</p> <p>(b) 基礎周辺ドレーン部分閉塞 部分閉塞により、閉塞箇所から上流側の集水機能が喪失</p>	(a)	○	○	東側ポンプ故障	—	ポンプ故障により、基礎周辺ドレーンからの排水機能が喪失する
	(b)	—	○	—	基礎周辺ドレーン部分閉塞	ドレーン部分閉塞により、閉塞箇所上流の集水機能が喪失する

: 対象施設 (揚圧力影響)

: 単一故障想定箇所

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)



: 揚水ポンプ及び揚水井戸



: ドレーン (接続樹含む)

【第12条適合上の必要範囲】



: 揚水ポンプ及び揚水井戸



: ドレーン

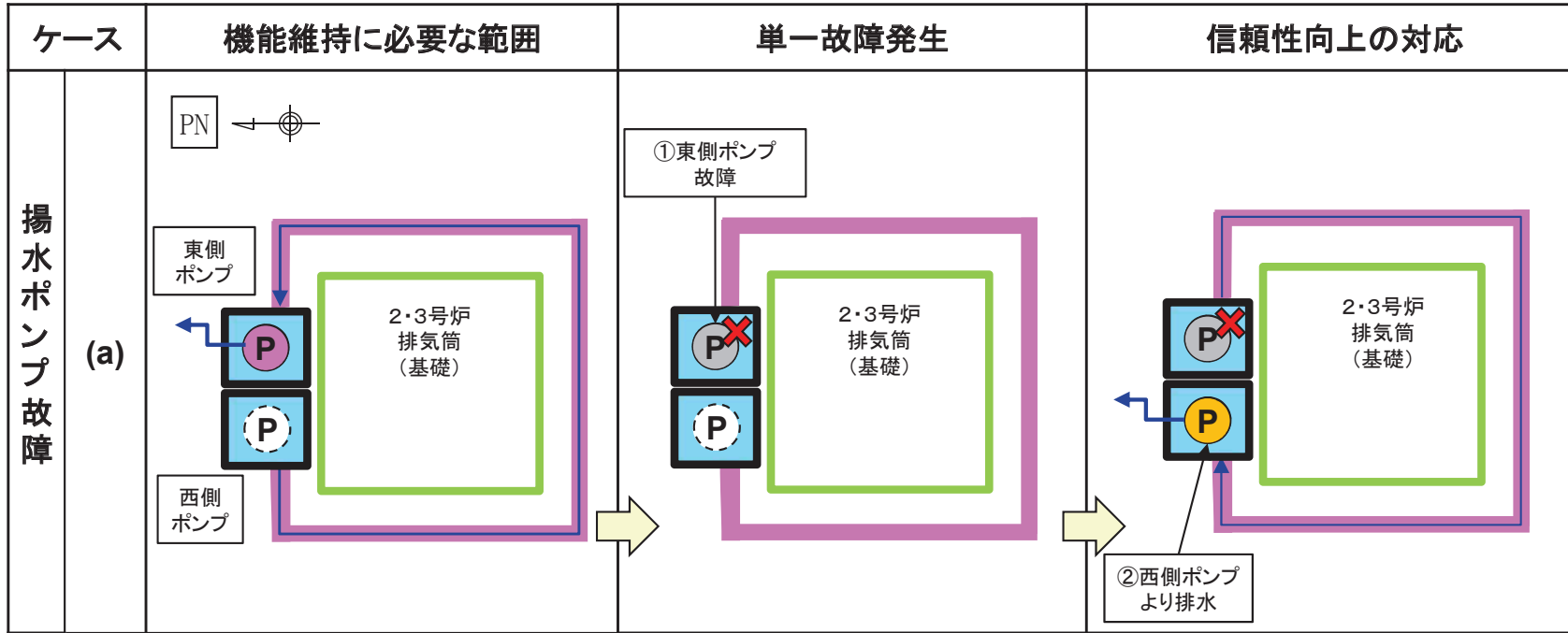
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(14/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (11/15)】

- ・ 2・3号炉排気筒における, 動的機器(揚水ポンプ)の単一故障(短期・長期)に係る検討例を示す。
- ・ 揚水ポンプの単一故障に対して, 多重化により要求される機能(揚圧力を保持)が維持される。

2・3号炉排気筒 (2/3)
動的機器の単一故障



第5-7図 2・3号炉排気筒の設備構成検討例(動的機器(揚水ポンプ)の単一故障)



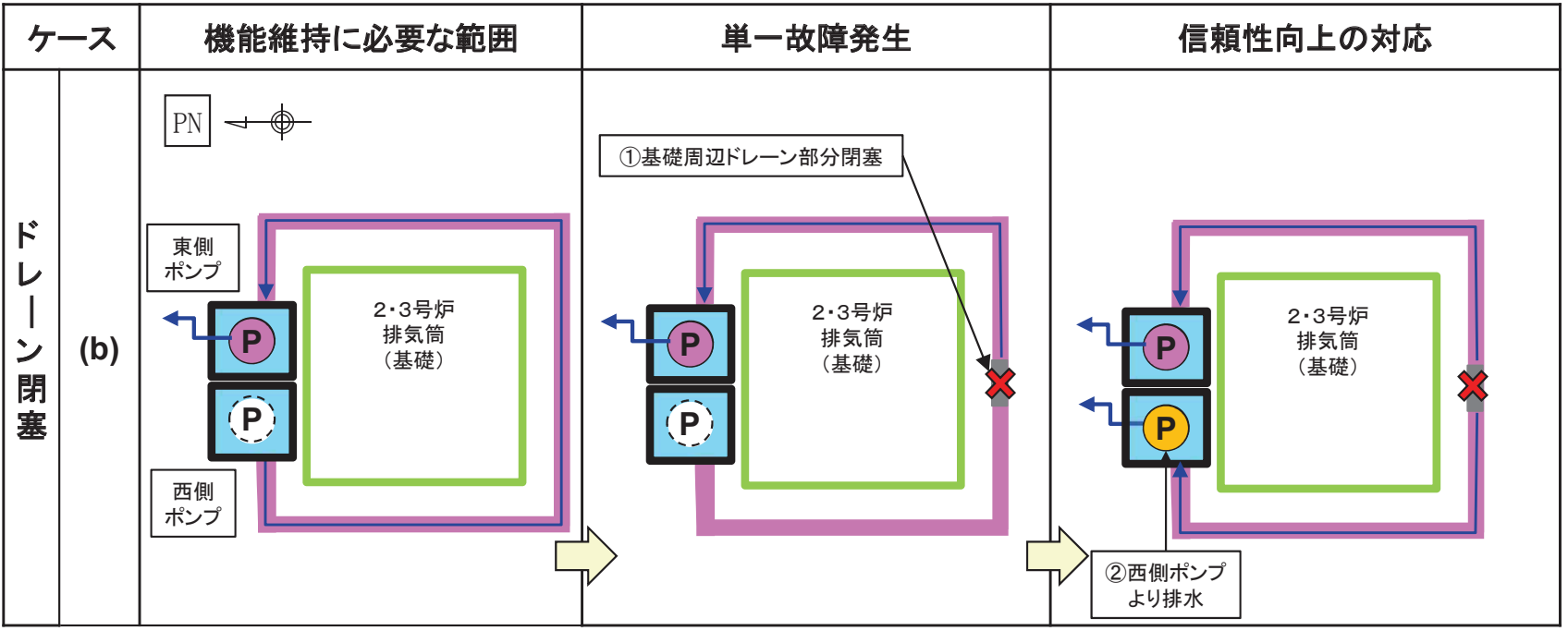
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(15/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (12/15)】

- ・ 2・3号炉排気筒における、静的機器(ドレーン)の単一故障(短期・長期)に係る検討例を示す。
- ・ ドレーンの単一故障に対して、揚水井戸・揚水ポンプの配置により機能(揚圧力の保持)が維持される。

2・3号炉排気筒 (3/3)
静的機器の単一故障



第5-8図 2・3号炉排気筒の設備構成検討例(静的機器(ドレーン)の単一故障)

凡 例

- : 対象施設
- : 集水、排水経路

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン(接続網含む)

【第12条適合上の必要範囲】

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン

- : 揚水ポンプ機能喪失
- : ドレーン機能喪失
- : 揚水ポンプ及び揚水井戸(期待しない範囲)
- : ドレーン(期待しない範囲)

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(16/22)

3号炉海水熱交換器建屋 (1/3)
故障想定

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (13/15)】

- 本頁以降に、3号炉海水熱交換器建屋における検討例を示す。
- 下表は故障想定の内容、次頁及び次々頁に各故障想定に対する機能保持の考え方を示す。

第5-5表 設置許可基準規則第12条を考慮した検討ケース(3号炉海水熱交換器建屋)

機能維持に必要な範囲	ケース	短期・長期		故障想定		備考
		短期	長期	ポンプ故障	ドレーン閉塞	
<p>(a) 南側ポンプ故障 ポンプ故障により、排水機能が喪失</p> <p>(b) 建屋直下ドレーン部分閉塞 部分閉塞により、閉塞箇所から上流側の集水機能が喪失</p> <p>(c) 建屋周辺ドレーン部分閉塞 部分閉塞により、閉塞箇所から上流側の集水機能が喪失</p>	(a)	○	○	南側ポンプ故障	—	ポンプ故障により、基礎周辺ドレーンからの排水機能が喪失する
	(b)	—	○	—	建屋直下ドレーン部分閉塞	ドレーン部分閉塞により、閉塞箇所上流の集水機能が喪失する
	(c)	—	○	—	建屋周辺ドレーン部分閉塞	ドレーン部分閉塞により、閉塞箇所上流の集水機能が喪失する

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)

【第12条適合上の必要範囲】

- : 対象施設 (揚圧力影響)
- : 単一故障想定箇所

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン (接続柵含む)

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン

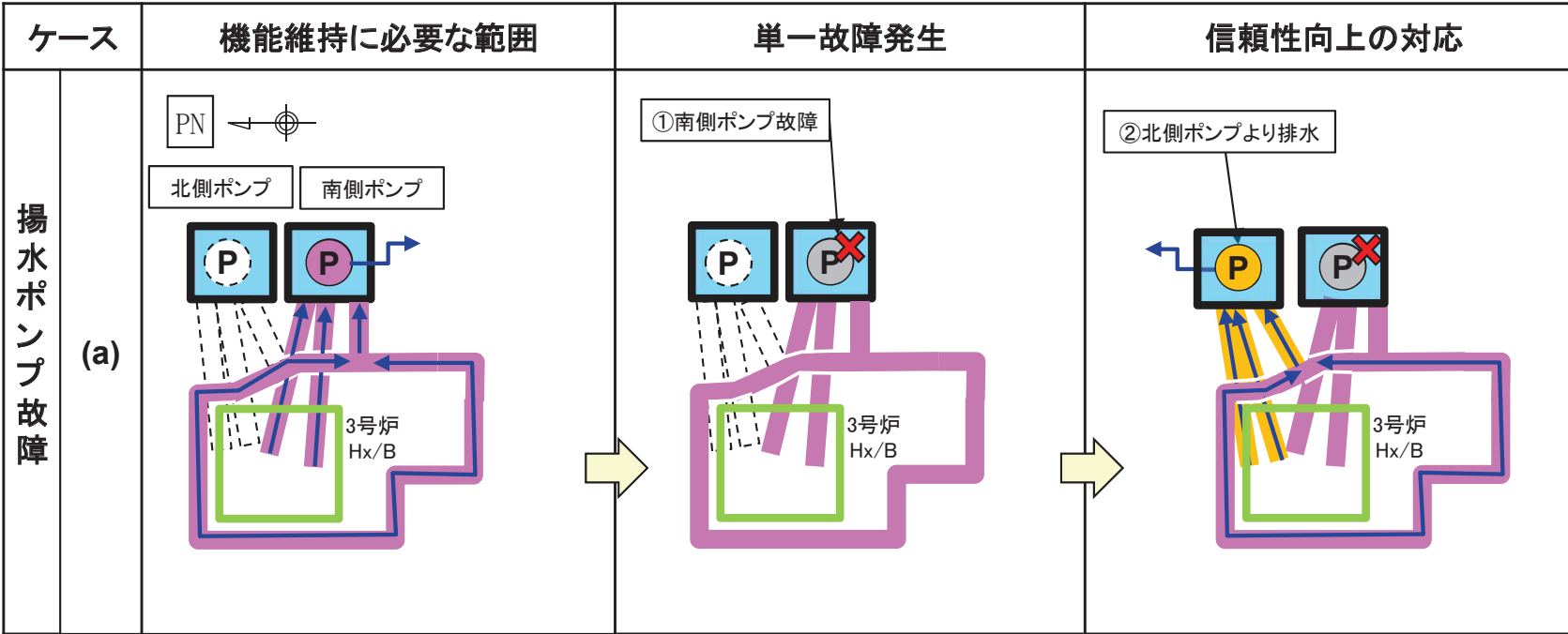
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(17/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (14/15)】

3号炉海水熱交換器建屋 (2/3)
動的機器の単一故障

- 3号炉海水熱交換器建屋における, 動的機器(揚水ポンプ)の単一故障(短期・長期)に係る検討例を示す。
- 揚水ポンプの単一故障に対して, 多重化により要求される機能(揚圧力を保持)が維持される。



第5-9図 3号炉海水熱交換器建屋の設備構成検討例(動的機器(揚水ポンプ)の単一故障)



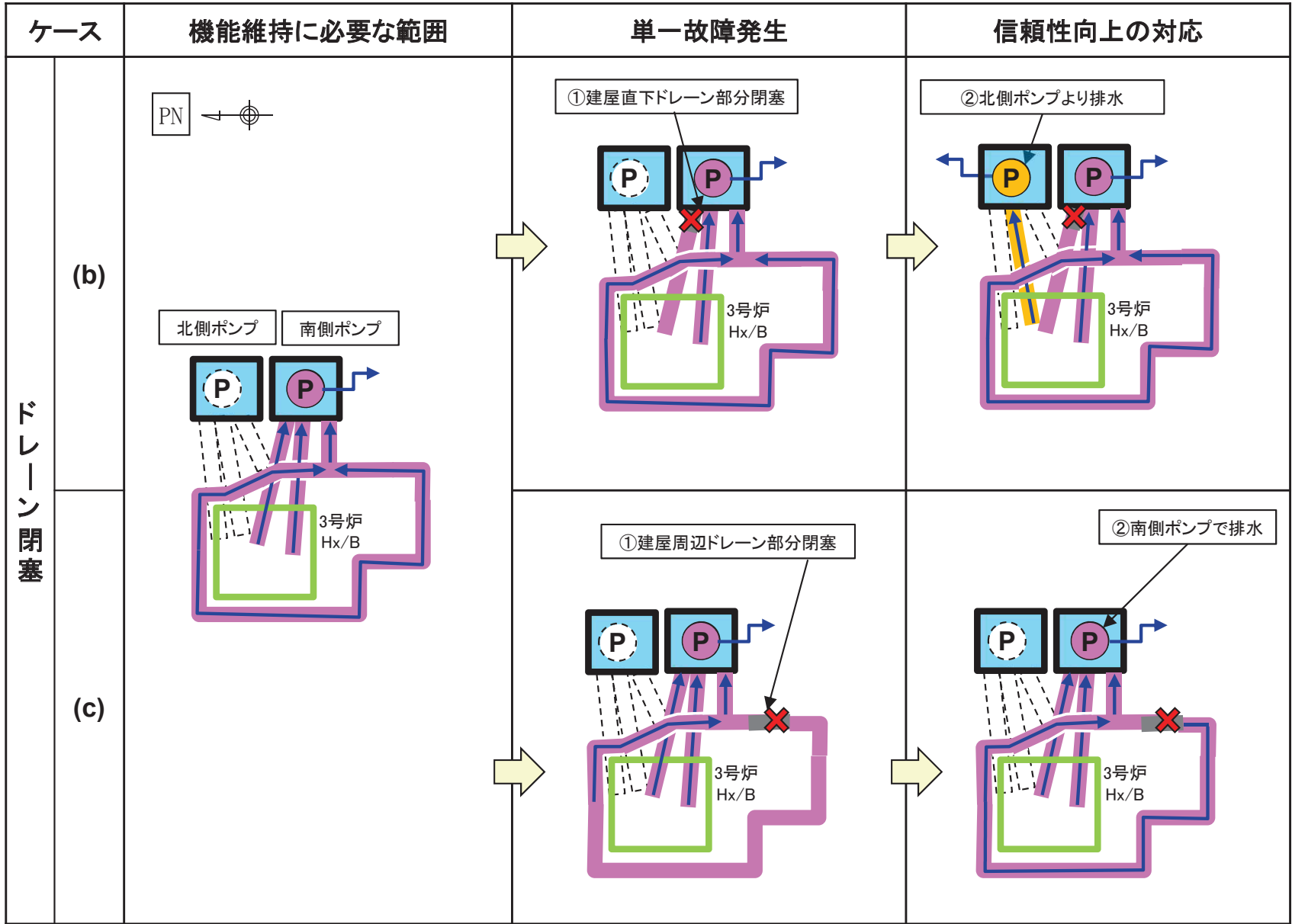
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(18/22)

3号炉海水熱交換器建屋 (3/3)
静的機器の単一故障

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 (15/15)】

- 3号炉海水熱交換器建屋における、静的機器(ドレーン)の単一故障(長期)に係る検討例を示す。
- ドレーンの単一故障に対して、揚水井戸・揚水ポンプの配置により機能(揚圧力の保持)が維持される。



凡例

- : 対象施設
- : 集水、排水経路

【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項)適合上)

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン(接続構含む)

【第12条適合上の必要範囲】

- : 揚水ポンプ及び揚水井戸
- : ドレーン

- : 揚水ポンプ機能喪失
- : ドレーン機能喪失
- : 揚水ポンプ及び揚水井戸(期待しない範囲)
- : ドレーン(期待しない範囲)

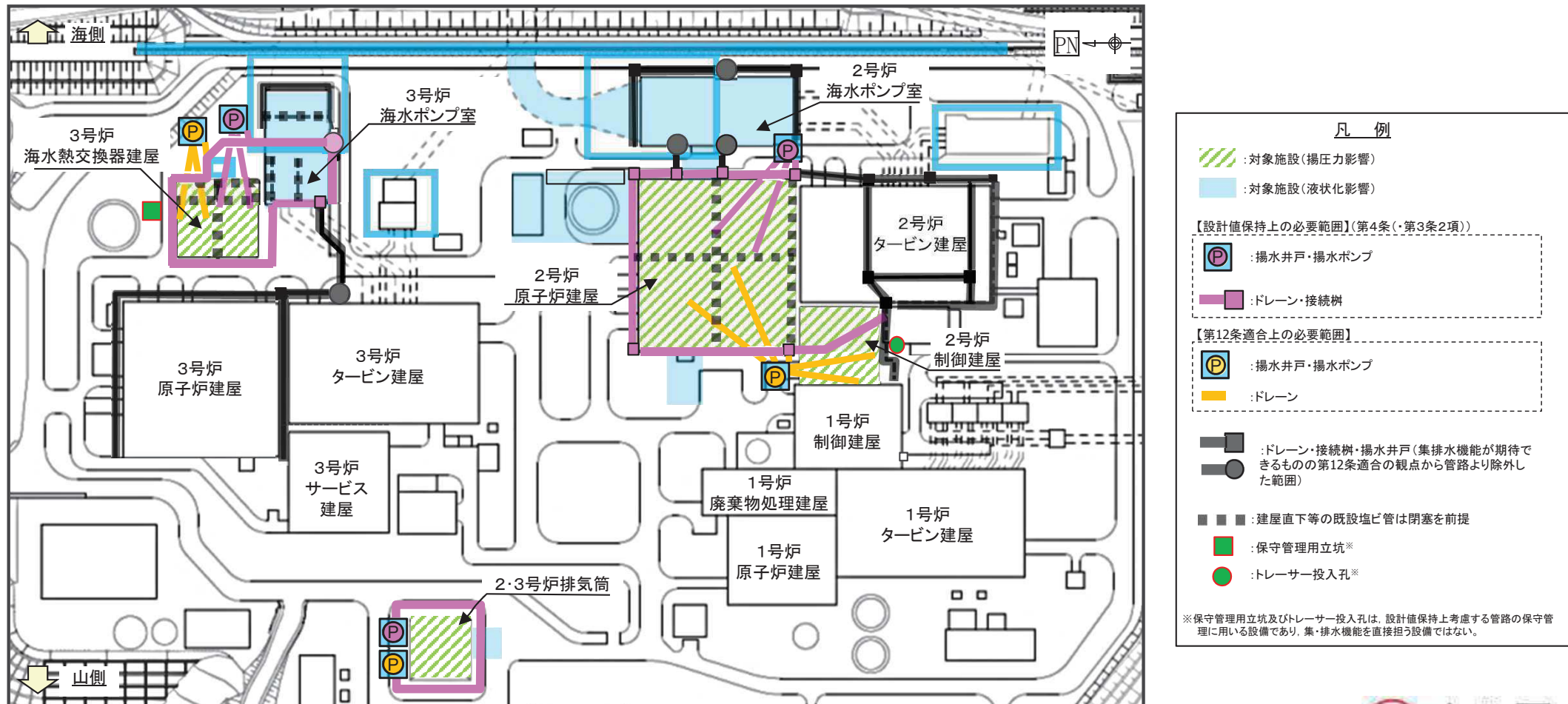
第5-10図 3号炉海水熱交換器建屋の設備構成検討例(静的機器(ドレーン)の単一故障)

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(19/22)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備構成の検討 まとめ】

- 設置許可基準規則3条2項及び第4条並びに第12条に係る要求事項に照らし、地下水位低下設備の集・排水機能に係る設備構成を検討した。
- 検討の結果、下図に示す設備構成案にて設置許可基準規則第12条の要求事項に対しても集・排水機能が保持されることを確認した。本頁までで整理した設備構成について、設置許可基準規則第12条の要求事項全体を踏まえた設備設計の妥当性を次頁以降で確認する。
- 工認段階においては、設計上の必要範囲が機能する場合並びに設置許可基準規則第12条適合上の必要範囲が機能する場合等、検討ケース毎に対応した浸透流解析を実施し、設計用揚圧力及び設計用地下水位を設定する。(第4章・添付資料4)
- 新設する揚水井戸の構造・配置例について補足説明資料8に示す。なお、詳細な配置・構造等については工認段階における詳細検討で確定する。



第5-11図 設置許可基準規則第4条(第3条2項)及び第12条要求を考慮した地下水位低下設備の構成案 ※第5-1図再掲

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(20/22)

短期間
(動的機器に単一故障を想定)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備設計の妥当性 (1/3)】

短期間において、動的機器に単一故障を想定した場合の地下水位低下設備の設備設計の妥当性を以下に示す。

第5-6表 設置許可基準規則第12条の要求事項を踏まえた地下水位低下設備の部位毎に配慮すべき事項(1/3)

設置許可基準規則 第12条	設置許可基準規則第12条解釈	集水機能	支持・閉塞防止 機能	排水機能	監視・制御機能		電源機能
		ドレーン・接続 柵	揚水井戸	揚水ポンプ (吐出配管含む)	制御盤	水位計	電源
当該系統を構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保する【要求事項①】	「単一故障」は、従属要因に基づく多重故障を含まれる。【要求事項②】 短期間では動的機器の単一故障を仮定しても、長期間では動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかを仮定しても、所定の安全機能を達成できるように設計されていることが必要【要求事項③】	—	—	○ (動的機器であるポンプに単一故障を想定)	○ (ポンプの単一故障で代表)	○ (ポンプの単一故障で代表)	○ (ポンプの単一故障で代表)
設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮【要求事項④】	「想定される全ての環境条件」とは、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、その機能が期待されている構築物、系統及び機器が、その間にさらされると考えられる全ての環境条件【要求事項⑤】	○ ・通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、影響を受けない設計 ・各機器の設置場所を踏まえた環境条件を考慮した設計					
原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる【要求事項⑥】	運転中に定期的に試験又は検査(実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。)に規定される試験又は検査を含む。)ができること。【要求事項⑦】	○	○	○	○	○	○
	多重性又は多様性を備えた系統及び機器にあっては、各々が独立して試験又は検査ができること。【要求事項⑧】	○	○	○	○	○	○
	定期的により点検を行う	○	○	○	○	○	○
蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわない【要求事項⑨】	二次的飛散物、火災、化学反応、電気的損傷、配管の破損又は機器の故障等の二次的影響も考慮する【要求事項⑩】	— (蒸気タービン等の損壊に伴う飛散物により安全性を損なわない設計)					
二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない【要求事項⑪】		○ 地下水位低下設備は、全て2号炉に帰属する設備として設計					

○: 要求事項を踏まえて設計上の配慮を行った項目

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(21/22)

長期間
(動的機器に単一故障を想定)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備設計の妥当性 (2/3)】

長期間において、動的機器に単一故障を想定した場合の地下水位低下設備の設備設計の妥当性を以下に示す。

第5-6表 設置許可基準規則第12条の要求事項を踏まえた地下水位低下設備の部位毎に配慮すべき事項(2/3)

設置許可基準規則 第12条	設置許可基準規則第12条解釈	集水機能	支持・閉塞防止 機能	排水機能	監視・制御機能		電源機能
		ドレイン・接続 柵	揚水井戸	揚水ポンプ (吐出配管含む)	制御盤	水位計	電源
当該システムを構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該システムを構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保する【要求事項①】	「単一故障」は、従属要因に基づく多重故障を含まれる。【要求事項②】 短期間では動的機器の単一故障を仮定しても、長期間では動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかを仮定しても、所定の安全機能を達成できるように設計されていることが必要【要求事項③】	—	—	○ (動的機器であるポンプに単一故障を想定)	○ (ポンプの単一故障で代表)	○ (ポンプの単一故障で代表)	○ (ポンプの単一故障で代表)
設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮【要求事項④】	「想定される全ての環境条件」とは、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、その機能が期待されている構築物、系統及び機器が、その間にさらされると考えられる全ての環境条件【要求事項⑤】	○ ・通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、影響を受けない設計 ・各機器の設置場所を踏まえた環境条件を考慮した設計					
原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる【要求事項⑥】	運転中に定期的に試験又は検査(実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。)に規定される試験又は検査を含む。)ができること。【要求事項⑦】	○	○	○	○	○	○
	多重性又は多様性を備えた系統及び機器にあっては、各々が独立して試験又は検査ができること。【要求事項⑧】	○	○	○	○	○	○
		・定期的に見視等により点検を行う	・井戸毎にポンプを1台設置しており、ポンプ毎に独立した試験が可能な設計	・A系及びB系が各々独立して試験又は検査が可能な設計			
蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわない【要求事項⑨】	二次的飛散物、火災、化学反応、電気的損傷、配管の破損又は機器の故障等の二次的影響も考慮する【要求事項⑩】	— (蒸気タービン等の損壊に伴う飛散物により安全性を損なわない設計)					
二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない【要求事項⑪】		○ 地下水位低下設備は、全て2号炉に帰属する設備として設計					

○: 要求事項を踏まえて設計上の配慮を行った項目

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(2) 安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討(22/22)

長期間
(静的機器に単一故障を想定)

【設置許可基準規則第12条の要求事項に基づく設備設計の妥当性 (3/3)】

長期間において、静的機器に単一故障を想定した場合の地下水位低下設備の設備設計の妥当性を以下に示す。

第5-6表 設置許可基準規則第12条の要求事項を踏まえた地下水位低下設備の部位毎に配慮すべき事項(3/3)

設置許可基準規則 第12条	設置許可基準規則第12条解釈	集水機能	支持・閉塞防止機能	排水機能	監視・制御機能		電源機能
		ドレーン・接続樹	揚水井戸	揚水ポンプ (吐出配管含む)	制御盤	水位計	電源
当該システムを構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該システムを構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保する【要求事項①】	「単一故障」は、従属要因に基づく多重故障を含まれる。【要求事項②】 短期間では動的機器の単一故障を仮定しても、長期間では動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかを仮定しても、所定の安全機能を達成できるように設計されていることが必要【要求事項③】	○ (閉塞による機能喪失を想定)	○ (閉塞による機能喪失を想定)	—	—	—	—
		新設ドレーン・揚水井戸の配置等における配慮		(動的であり不要)	(動的であり不要)	(動的であり不要)	(動的であり不要)
設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮【要求事項④】	「想定される全ての環境条件」とは、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、その機能が期待されている構築物、系統及び機器が、その間にさらされると考えられる全ての環境条件【要求事項⑤】	○ ・通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、影響を受けない設計 ・各機器の設置場所を踏まえた環境条件を考慮した設計					
原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる【要求事項⑥】	運転中に定期的に試験又は検査(実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。)に規定される試験又は検査を含む。)ができること。【要求事項⑦】 多重性又は多様性を備えた系統及び機器にあっては、各々が独立して試験又は検査ができること。【要求事項⑧】	○	○	○	○	○	○
		○ ・試験又は検査のできる設計					
蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわない【要求事項⑨】	二次的飛散物、火災、化学反応、電氣的損傷、配管の破損又は機器の故障等の二次的影響も考慮する【要求事項⑩】	○ ・定期的目視等により点検を行う					
		○ ・井戸毎にポンプを1台設置しており、ポンプ毎に独立した試験が可能な設計		○ ・A系及びB系が各々独立して試験又は検査が可能な設計			
二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない【要求事項⑪】		— (蒸気タービン等の損壊に伴う飛散物により安全性を損なわない設計)					
		○ 地下水位低下設備は、全て2号炉に帰属する設備として設計					

○: 要求事項を踏まえて設計上の配慮を行った項目

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3)機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (1/10)

【供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析 (分析1～分析4)】

- 前頁までで、地下水位低下設備の機能を維持するために、設置許可基準規則第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の設計にあたっての考え方を説明した。
- ここでは、通常運転時から大規模損壊発生時までの供用期間中の全ての状態における地下水位低下設備の信頼性を向上するために必要な耐性を検討するため、以下の分析を行う。

【分析1】

- 地下水位低下設備の機能毎に、設置許可基準規則第3条から第13条までにおいて考慮することが要求される事象を、「想定する機能喪失要因」とする
- なお、第14条から第36条までに対しては、次頁第5-7表のとおり、地下水位低下設備に対する機能について影響するものではないので機能喪失要因の対象とはならない
- 地下水位低下設備の構成部位が、想定する機能喪失要因により機能喪失するかを分析(第5-8表)
- 分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の観点から必要な対策について整理する

【分析2】

- 分析1から抽出された、地下水位低下設備の機能喪失要因となる事象が発生した場合に、同時に「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生するかについて分析(第5-9表)
- 分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の対策に加え、追加の対策が必要であるかについて整理

【分析3】

- 「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」発生後に、何らかの原因により地下水位低下設備が機能喪失した場合を想定し、運転時の異常な過渡変化等の事象収束に対して影響があるかを分析(第5-10表)
- 分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の対策に加え、追加の対策が必要であるかについて整理

【分析4】

- 大規模損壊の発生要因について、プラントの損壊状況を踏まえ、地下水位低下設備の設計を行う上で配慮する

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3) 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (2/10)

第697回審査会合 (H31.3.26)
資料1-1-2 p.38 修正

【分析1】

59

- 地下水位低下設備の各構成部位が機能喪失する可能性のある事象として、ランダム故障に加え、設置許可基準規則の第3条から第13条までの要求事項を踏まえ、地震(第4条)、津波(第5条)、外部事象(地震、津波以外)(第6条)、内部溢水(第8条)、内部火災(第9条)及び誤操作の防止(第10条)が考えられるため要因として抽出した。(第5-7表)
- これ以外の設置許可基準規則における設計基準対象施設に対する要求は、個別設備に対する設計要求である等の理由から機能喪失する可能性のある事象から除外した。

第5-7表 地下水位低下設備の機能喪失要因と設置許可基準規則との関係

設置許可基準規則の要求事項		分析対象	対象外とした理由	備考
第3条	地盤	—	・地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本条文に適合させるために設置するものであることから、分析の対象外	—
第4条	地震	○	—	—
第5条	津波	○	—	—
第6条	風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山、生物学的事象、森林火災(外部火災)	○	—	2号炉で想定する外部事象として抽出した事象
第7条	不法な侵入	—	・本条文は、個別設備の設置要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	—
第8条	内部火災	○	—	—
第9条	内部溢水	○	—	—
第10条	誤操作の防止	○	—	—
第11条	安全避難通路等	—	・本条文は、個別設備の設置要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	—
第12条	安全施設	—	・本条文は、安全施設への要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	—
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	—	・本条文は、運転時の異常な過渡変化に対する要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	—
第14条	全交流動力電源喪失対策設備	—	・本条文は、個別設備の設置要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	—
第15条	炉心等	—		
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	—		
第17条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	—		
第18条	蒸気タービン	—		
第19条	非常用炉心冷却設備	—		
第20条	一次冷却材の減少分を補給する設備	—		
第21条	残留熱を除去することができる設備	—		
第22条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	—		
第23条	計測制御系統施設	—		
第24条	安全保護回路	—		
第25条	応度制御系統及び原子炉停止系統	—		
第26条	原子炉制御室等	—		
第27条	放射性廃棄物の処理施設	—		
第28条	放射性廃棄物の貯蔵施設	—		
第29条	工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護	—		
第30条	放射線からの放射線業務従事者の防護	—		
第31条	監視設備	—		
第32条	原子炉格納施設	—		
第33条	保安電源設備	—		
第34条	緊急時対策所	—		
第35条	通信連絡設備	—		
第36条	補助ボイラー	—		

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3) 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (3/10)

【目的】
地下水位低下設備の各構成部位が、抽出した機能喪失要因により機能喪失が発生するかについて分析

＜分析1前提条件＞

- 機能喪失有無の判定においては、地下水位低下設備に必要となる設計上の配慮事項を抽出する観点から、すべての構成部位に対し設計上の外部事象への配慮が講じられていない状態を前提とする
- 地下水位低下設備の全ての構成部位は、屋外に設置されている状態を前提とする(黄色網掛け:既設設備で設置上配慮されている項目)

＜分析結果＞

- 分析の結果、地下水位低下設備の各構成部位に対する機能喪失要因として第5-8表のとおりの結果を得た。
- これらの機能喪失要因を踏まえ地下水位低下設備の設計上の信頼性を向上させる観点から第5-11表のとおり、設計上の配慮を行うこととする。
- なお、既設の地下水位低下設備において、設置にあたり配慮されている事項については下表の網掛けのとおりであるが、これらについても新規設置にあたり、配慮した設計とする。

第5-8表 地下水位低下設備の各構成部位の機能喪失要因の分析

機能	構成部位	ランダム故障及び設置許可基準規則の要求を踏まえた機能喪失要因															人の不法な侵入(7条)	内部火災(8条)	内部溢水(9条)	誤操作防止(10条)	安全避難通路(11条)	安全施設(12条)	過渡事故の拡大防止(13条)
		ランダム故障	地盤(3条)	地震(4条)	津波(5条)	風(台風)(6条)	竜巻(6条)	凍結(6条)	降水(6条)	積雪(6条)	落雷(6条)	火山(6条)	生物学的事象(6条)	森林火災(外部火災)(6条)									
集水機能	ドレーン・接続樹	×		×	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	—				
		閉塞による機能喪失の可能性有り		耐震無し																			
支持・閉塞防止機能	揚水井戸	—		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	—				
		耐震無し		耐震無し																			
排水機能	揚水ポンプ	×	地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本条文中に適合させるために設置するものであることから、機能喪失要因の分析の対象外とした	×	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○		○	○	○					
		ランダム故障による機能喪失		耐震無し																			
配管	×	×		○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○		○	○	—					
	閉塞による機能喪失の可能性有り	耐震無し																					
監視・制御機能	制御盤	×		×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×				
		ランダム故障による機能喪失		耐震無し																			
水位計	水位計	×		×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○				
		ランダム故障による機能喪失		耐震無し																			
電源機能	電源※1(非常用DG)	×		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○				
		ランダム故障による機能喪失																					

※1: 外部電源はSs未満の地震により機能喪失する可能性があるため、機能喪失状態を前提とする

※2: 分析1では誤操作による機能喪失はランダム故障に含めた取り扱いとする。

凡例 ○: 事象に対し設備が影響を受けない, ×: 事象に対し設備が影響を受ける可能性あり, —: 静的機器であり評価対象外

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3)機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (4/10)

【目的】

- 地下水位低下設備の機能喪失要因により、同時に「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」(以下、「各事象」)が発生するかについて分析を行い、事象収束にあたり追加の対策が必要かについて確認する

<分析2前提条件>

- 地下水位低下設備の機能喪失要因として、分析1により抽出された項目を前提とし、ここでの分析を行う
- 地下水位低下設備のすべての構成部位に対し設計上の外部事象への配慮が講じられていない状態を前提とする

<分析結果>

- 第5-9表に示すとおり、地下水位低下設備が機能喪失する外部事象発生時には、外部事象により敷地外の送変電設備が損傷し、「運転時の異常な過渡変化(外部電源喪失)」が発生する可能性がある。
- これを防止するために、地下水位低下設備には、外部電源喪失に配慮した設計が必要となる。
- また、各事象が収束した以降も収束状態を維持する観点から、建屋の安定性等の継続的な確保が必要である。
- このため、地下水位低下設備の各機能喪失要因に対する設計上の配慮を行うことで、「地下水位低下設備の機能喪失により地下水位が上昇した状態でSs規模の地震が発生する」という状況を回避でき、建屋の安定性等が確保されることとなる。
- こうした設計上の配慮を行うことで、通常運転中における地下水位低下設備の機能喪失を防止することができるため、安全施設(異常発生防止系及び異常影響緩和系)に影響は及ばない。

第5-9表 地下水位低下設備の機能喪失と同時に発生する可能性がある事象の分析(1/2)

		運転時の異常な過渡変化											設計基準事故										
		原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	原子炉冷却材流量の部分喪失	原子炉冷却材系の停止ループの誤起動	給水加熱喪失	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	負荷の喪失	主蒸気隔離弁の誤閉止	給水制御系の故障	原子炉圧力制御系の故障	給水流量の全喪失	外部電源喪失	原子炉冷却材喪失	原子炉冷却材ポンプの喪失	原子炉冷却材ポンプの軸固着	制御棒落下	放射性気体廃棄物処理施設の破損	主蒸気管破断	燃料集合体の落下	可燃性ガスの発生	動荷重の発生	
地下水位低下設備の機能喪失要因	ランダム	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		地下水位低下設備の機能喪失により上記の過渡事象が発生することはない。											※1	地下水位低下設備の機能喪失により上記の設計基準事故が発生することはない。									
	地震	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		地下水位低下設備が機能喪失するが、地震加速大によるスクラム信号発信及び制御棒挿入により、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備が機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない									
	風(台風)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない									
	竜巻	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない									
	凍結	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない									
	降水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない									
	降雪	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
		地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない									
落雷	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない										
火山	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない										
生物学的影響	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない										
森林火災(外部火災)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない										
内部火災	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない										
内部溢水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の過渡事象は発生しない											※1	地下水位低下設備は機能喪失するが、上記の設計基準事故は発生しない										

※1 外部電源は発電所外の設備も含まれており、地下水位低下設備の機能喪失要因に対して耐性の確認・確保が困難であるため、全ての機能喪失要因に対して発生すると整理した。

△:地下水位低下設備の機能喪失あり、ただし、過渡事象及び設計基準事故は起きない
×:地下水位低下設備の機能喪失あり、かつ、過渡事象及び設計基準事故が起きる

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3) 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (5/10)

<第5-9表(2/2)の分析の前提>

- 電源に関して、非常用電源の共通要因による機能喪失は考慮しない。また、非常用DGの状態はプラント運転中は、2系列が待機状態にあることとする
- プラント停止中は、外部電源はSs未満の地震により機能喪失する可能性があるため、機能喪失状態を前提とする。さらに、停止中はDG本体又は海水系片系が点検のために待機除外である状態を想定する。また、停止中の非常用DGに対しては、ランダム故障要因を考慮する

<分析結果>

- 第5-9表に示すとおり、地下水位低下設備が機能喪失する外部事象発生時には、外部事象により、同時に「全交流動力電源喪失(停止時)」が発生する。
- このことから、地下水位低下設備の機能喪失要因に配慮した対策、及び非常用電源に関する信頼性向上の観点からの常設代替交流電源から電源供給可能な設計とすることにより、地下水位低下設備の信頼性を向上させることができる。

第5-9表 地下水位低下設備の機能喪失と同時に発生する可能性がある事象の分析(2/2)

		重大事故等																		
		高圧・低圧注水機能喪失	高圧注水・減圧機能喪失	全交流動力電源喪失	崩壊熱除去機能喪失	原子炉停止機能喪失	LOCA時注水機能喪失	格納容器バイパス(ISLOCA)	雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧破損)	高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱	原子炉圧力容器外の溶融燃料/冷却材相互作用	溶融炉心・コンクリート相互作用	水素燃焼	想定事故1	想定事故2	崩壊熱除去機能喪失(RHRの故障による停止時冷却機能喪失)	原子炉冷却材の流出	反応度の誤投入	全交流動力電源喪失(停止時)	
地下水位低下設備の機能喪失要因	ランダム	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×
	地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			※
	地震	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
	風(台風)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
	竜巻	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
	凍結	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
	降水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
	降雪	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
落雷	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																				
火山	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																				
生物学的影響	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																				
森林火災(外部火災)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																				
内部火災	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																				
内部溢水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
地下水位低下設備は機能喪失するが、地下水位低下設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																				

※ 待機中の非常用DGがランダム故障により機能喪失することで発生

△: 地下水位低下設備の機能喪失あり、ただし、重大事故は起きない
×: 地下水位低下設備の機能喪失あり、かつ、重大事故が起きる

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3) 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (6/10)

【目的】

- 「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生した状態で、地下水低下設備が機能喪失した場合を想定し、事象収束にあたり追加の対策が必要かについて確認する

<分析3前提条件>

- 運転時の異常な過渡変化等の発生後に、地下水低下設備が機能喪失する状態及び地下水低下設備の機能喪失後に、更にSs規模の地震が発生する状態に対し分析する
- 地下水低下設備のすべての構成部位に対し設計上の外部事象への配慮が講じられていない状態を前提とする

<分析結果>

- 地下水低下設備は、事象収束に必要な緩和機能を有していないため、事象の収束に直接は影響しない。
- しかしながら、地下水低下設備の機能喪失により地下水位が上昇している状態で、同時にSs規模の地震の発生を想定した場合には、建屋の安定性等に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念がある。
- このため、地下水低下設備の各機能喪失要因に対する設計上の配慮を行うことで、「地下水低下設備の機能喪失により地下水位が上昇した状態でSs規模の地震が発生する」という状況を回避でき、建屋の安定性等が確保されることとなる。

第5-10表 「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生した状態で地下水低下設備が機能喪失した場合の影響

	運転時の異常な過渡変化												設計基準事故									
	原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	原子炉冷却材流量の部分喪失	原子炉冷却材系の停止ループの誤起動	給水加熱喪失	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	負荷の喪失	主蒸気隔離弁の誤閉止	給水制御系の故障	原子炉圧力制御系の故障	給水流量の全喪失	外部電源喪失	原子炉冷却材喪失	原子炉冷却材流量の喪失	原子炉冷却材ポンプの軸固着	制御棒落下	放射性気体廃棄物処理施設の破損	主蒸気管破断	燃料集合体の落下	可燃性ガスの発生	動荷重の発生	
地下水低下設備の機能喪失のみの場合	○(影響なし)																					
	地下水低下設備は、事象収束に必要な緩和機能を有していないため、事象の収束に影響しない																					
地下水低下設備が機能喪失し地下水位が上昇した状態で地震が発生する場合	×(影響あり)																					
	建屋の安定性等に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり																					
	重大事故等																					
	高圧・低圧注水機能喪失	高圧注水・減圧機能喪失	全交流動力電源喪失	崩壊熱除去機能喪失	原子炉停止機能喪失	LOCA 時注水機能喪失	格納容器バイパス (ISLOCA)	雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧破損)	高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱	原子炉圧力容器外の溶融燃料/冷却材相互作用	溶融炉心・コンクリート相互作用	水素燃焼	想定事故1	想定事故2	崩壊熱除去機能喪失 (RHRの故障による停止時冷却機能喪失)	原子炉冷却材の流出	反応度の誤投入	全交流動力電源喪失(停止時)				
地下水低下設備の機能喪失のみの場合	○(影響なし)																					
	地下水低下設備は、事象収束に必要な緩和機能を有していないため、事象の収束に影響しない																					
地下水低下設備が機能喪失し地下水位が上昇した状態で地震が発生する場合	×(影響あり)																					
	建屋の安定性等に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり																					

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3) 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (7/10)

・分析1から分析4※までの整理を踏まえ、原子力発電所の供用期間の全ての状態において、地下水位低下設備を機能維持する観点から、地下水位低下設備の設計に係る信頼性向上のための配慮事項は以下のとおりとなった。

※分析4における具体的なプラント損壊状態と設計上の配慮事項については、大規模損壊に対する対応として別途説明を行う。

・分析1の結果から、地下水位低下設備に対して配慮すべき機能喪失要因が抽出されており、これに対する個々の対策を第5-11表のとおり整理した。

第5-11表 機能喪失要因とこれを踏まえた設計上の配慮項目

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	・ Ss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	・ Ss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	・ Ss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	・ Ss機能維持
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	・ Ss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	・ Ss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	
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
		火山	・ 井戸に対する火山灰の侵入を蓋の設置により防止

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3)機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (8/10)

- 分析1の結果から抽出された個々の機能喪失要因に対する対策(第5-11表)を集約し、第5-12表のとおり整理した。

第5-12表 地下水位低下設備の設計に係る信頼性向上のための配慮事項

機能	構成部位	対策	備考
集水機能	ドレーン・接続樹	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss機能維持 ・ <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> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss機能維持の確認方法は第5-13表参照 ・ 閉塞に関する配慮は5. (2)安全施設への要求事項を参照した設備構成の検討」参照
支持・閉塞防止機能	揚水井戸	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss機能維持 ・ 蓋の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss機能維持の確認方法は第5-13表参照
排水機能	揚水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化 ・ Ss機能維持 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化の概要は第5-12図参照 ・ Ss機能維持の確認方法は第5-13表参照
	配管	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss機能維持 ・ 吐出配管の多重化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss機能維持の確認方法は第5-13表参照
監視・制御機能	制御盤	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化 ・ <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> ・ Ss機能維持 ・ 隔離を確保した屋内設置 ・ <u>内部事象に起因する共通要因故障に配慮した配置</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化の概要は第5-12図参照 ・ Ss機能維持の確認方法は第5-13表参照
	水位計	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化 ・ Ss機能維持 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化の概要は第5-12図参照 ・ Ss機能維持の確認方法は第5-13表参照
電源機能	電源(非常用DG)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多重化の概要は第5-12図参照

青空: 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

- 分析2の結果からは分析1と同様の対策(第5-12表)が必要という結果を得た。また、これに加えて、停止時における全交流動力電源喪失への配慮として、常設代替交流電源からの電源供給が可能な設計とする。
- 分析3の結果からは、分析1と同様の対策(第5-12表)が必要という結果を得た。
- 以上のとおり、分析1から分析3を踏まえ、地下水位低下設備の信頼性向上の観点から対策を講じることとする。
- なお、分析4については、分析1から分析3での対策により、設計上の配慮を行うことができる。
- また、上記のような信頼性向上の観点からの対策を行ってもなお、地下水位低下設備が機能喪失する状態も考え、予備品を用いた補修又は可搬型設備を用いた機動的な復旧対応が可能となるよう、資機材の配備及び手順の整備を行う。(5. (4)において運用管理・保守管理上の方針を示す)

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3) 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (9/10)

- 地下水位低下設備の各構成部位におけるSs機能維持の確認方法を以下に示す。

第5-13表 地下水位低下設備の各構成部位におけるSs機能維持の確認方法と設計方針

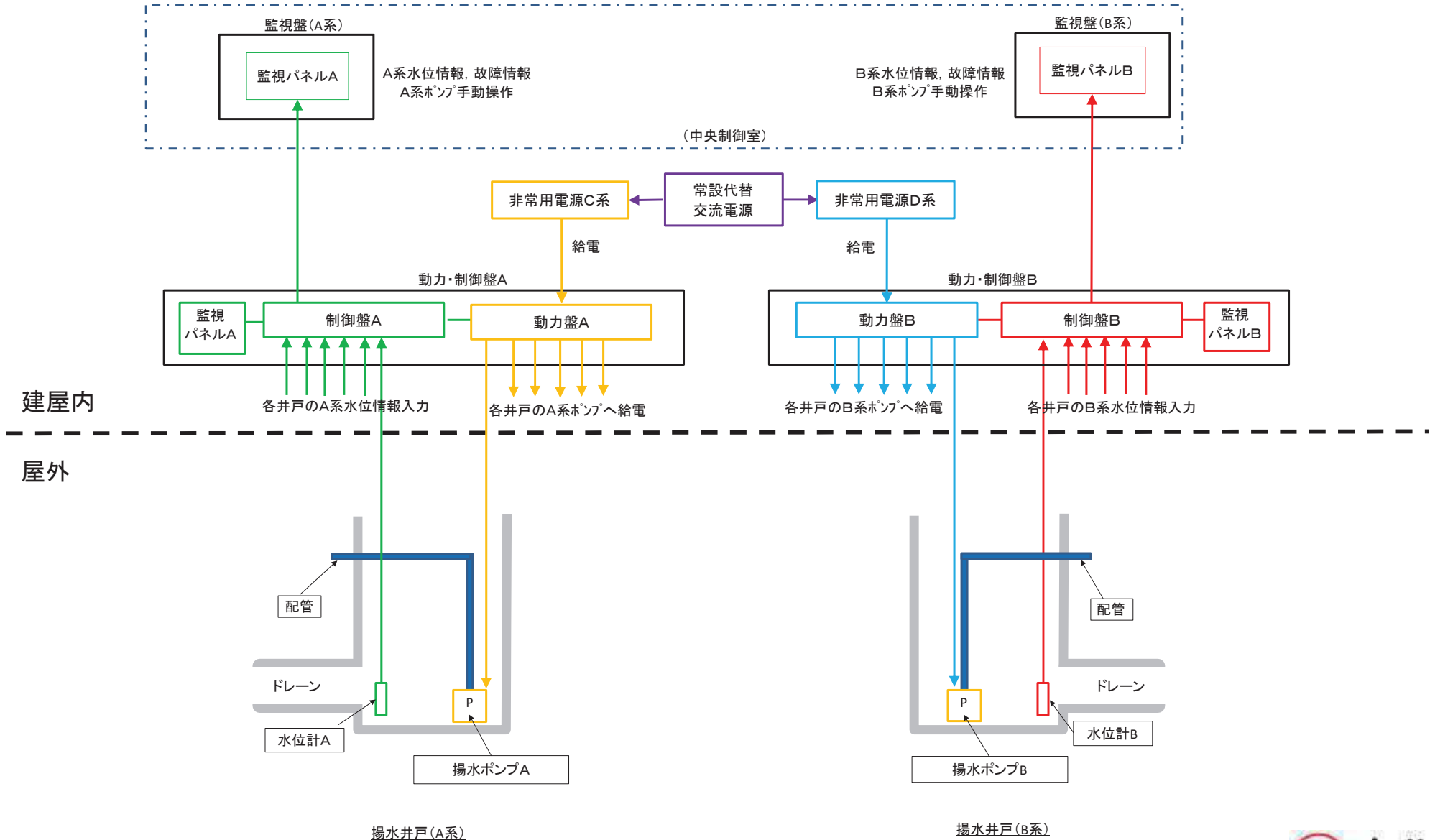
機能	構成部位	Ss機能維持の確認方法	
		分類	具体的な方法
集水機能	ドレーン・ 接続柵	解析	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ssに対し地下水の集水機能を維持する設計とする。
支持・閉塞 防止機能	揚水 井戸	解析	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ssに対し機能(揚水ポンプ及び配管の支持機能並びに閉塞防止機能)を維持する設計とする。
排水機能	揚水 ポンプ	解析・ 加振試験	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ssに対し機能(地下水の排水機能)を維持する設計とする。 支持金物は基準地震動Ssに対し機能(揚水ポンプの支持機能)を維持する設計とする。
	配管	解析	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ssに対し揚水ポンプで汲み上げた地下水の排水経路を維持する設計とする。 支持金物は、基準地震動Ssに対し機能(配管の支持機能)を維持する設計とする。
監視・制御 機能	制御盤	解析・ 加振試験	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ssに対し機能(揚水ポンプの制御機能)を維持する設計とする。
	水位計	解析・ 加振試験	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ssに対し機能(揚水井戸内に継続的に流入する地下水位監視機能, 揚水ポンプの起動停止の制御機能)を維持する設計とする。 支持金物は基準地震動Ssに対し機能(水位計の支持機能)を維持する設計とする。

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3) 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討 (10/10)

<監視・制御機能及び電源接続の系統構成について>

- 第5-12図に示す地下水位低下設備の電源系, 監視・制御系の系統構成概要のとおり, 各井戸における揚水ポンプ, 水位計, 現場における監視・制御系, 中央制御室の監視盤及び非常用電源からの電源供給については全て多重性及び独立性を確保した設計とする。



第5-12図 地下水位低下設備の系統構成概要図

運用管理、保守管理の方針

- 原子炉施設保安規定及びこれに関連付けた社内規定類において、地下水位低下設備の運用管理、保守管理に係る事項を定める。
 - 運用管理については、運転上の制限等を定めるとともに、必要な手順を整備したうえで管理していく。
 - 保守管理については、予防保全対象として管理していく。

【運用管理の方針(案)】

- 原子炉施設保安規定において、地下水位低下設備に運転上の制限(LCO)を設定する。
 - ＜具体的な対応＞
 - LCO, LCOを満足していない場合に要求される措置及び要求される措置の完了時間(AOT)を設定し、逸脱した場合には、原子炉を停止することを定める。
 - 地下水位低下設備が動作可能であることを定期的を確認することを定める。
- 原子炉施設保安規定に関連付けた社内規定類において地下水位低下設備の運転管理方法を定める。
 - ＜具体的な対応＞
 - 地下水位低下設備の運用に係る体制、確認項目・対応等を整備する。
 - 地下水位低下設備が機能喪失した場合に、可搬型設備による機動的な対応による復旧を行うための手順を定める。

【保守管理の方針(案)】

- 保全計画の策定では、原子炉施設保安規定において地下水位低下設備にLCOを設定することから、他のLCO設定設備と同様に、地下水位低下設備を「予防保全」の対象と位置付け、管理していく。
- 機能喪失した場合に備え予め予備品を確保した上で、機能喪失時には原因調査を行い補修する。
 - ＜確保する予備品の例＞
 - (動的機器)
 - ・揚水ポンプ
 - ・水位計
 - ・制御盤

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(4) 運用管理・保守管理上の方針(2/3)

① LCOの設定の考え方：

LCOは新たに設置する6箇所の揚水井戸の水位に対して設定する。

② 要求される措置の考え方：

LCOが揚水井戸の水位であることから、可搬型設備を用いて地下水位を低下させるとともに対象施設への揚圧力影響を考慮し、原子炉を停止する。

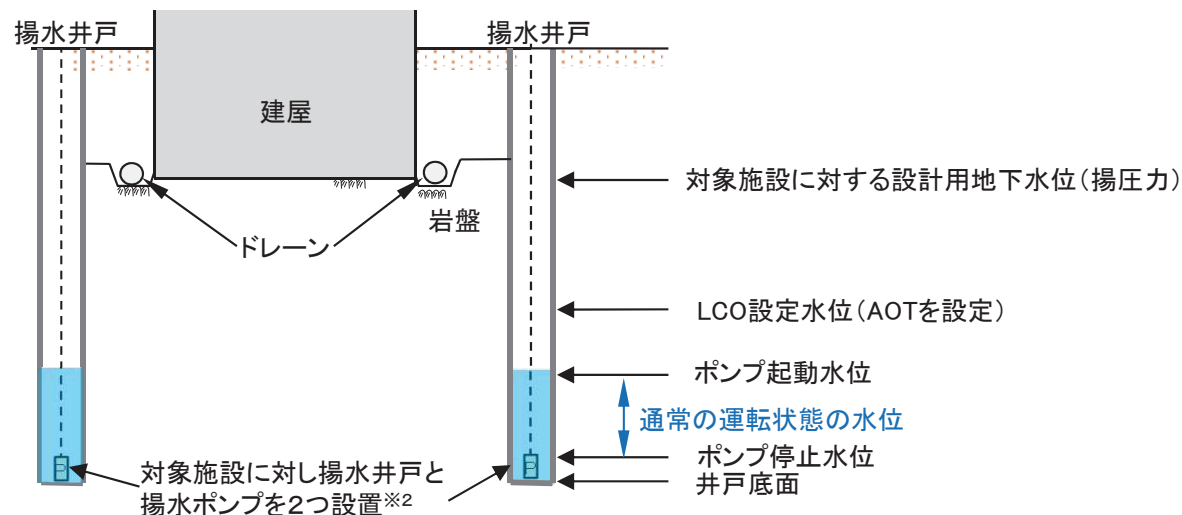
③ AOTの設定の考え方：

浸透流解析結果を踏まえ設定※1する。

④ LCOを満足していることの確認(サーベランス)の考え方：

- ・運転上の制限を満足していることを確認するため、揚水井戸の水位を毎日1回確認する。
- ・地下水位低下設備が動作可能であることを確認するため、1回/月の頻度で揚水ポンプが起動することを確認する。

(詳細は原子炉施設保安規定の審査において説明予定)



※1: LCO逸脱時の水位から対象施設の設計用地下水水位に至るまでの時間に余裕を考慮する。

※2: 揚水ポンプ1つが動作可能であれば地下水位を低下させることが可能であることからLCOは満足していると判断する。

第5-13図 新たに設置する揚水ポンプの運用イメージ

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(4) 運用管理・保守管理上の方針(3/3)

【試験又は検査に係る要求事項】

設置許可基準規則第12条の解釈において、試験又は検査について以下の要求事項がある。

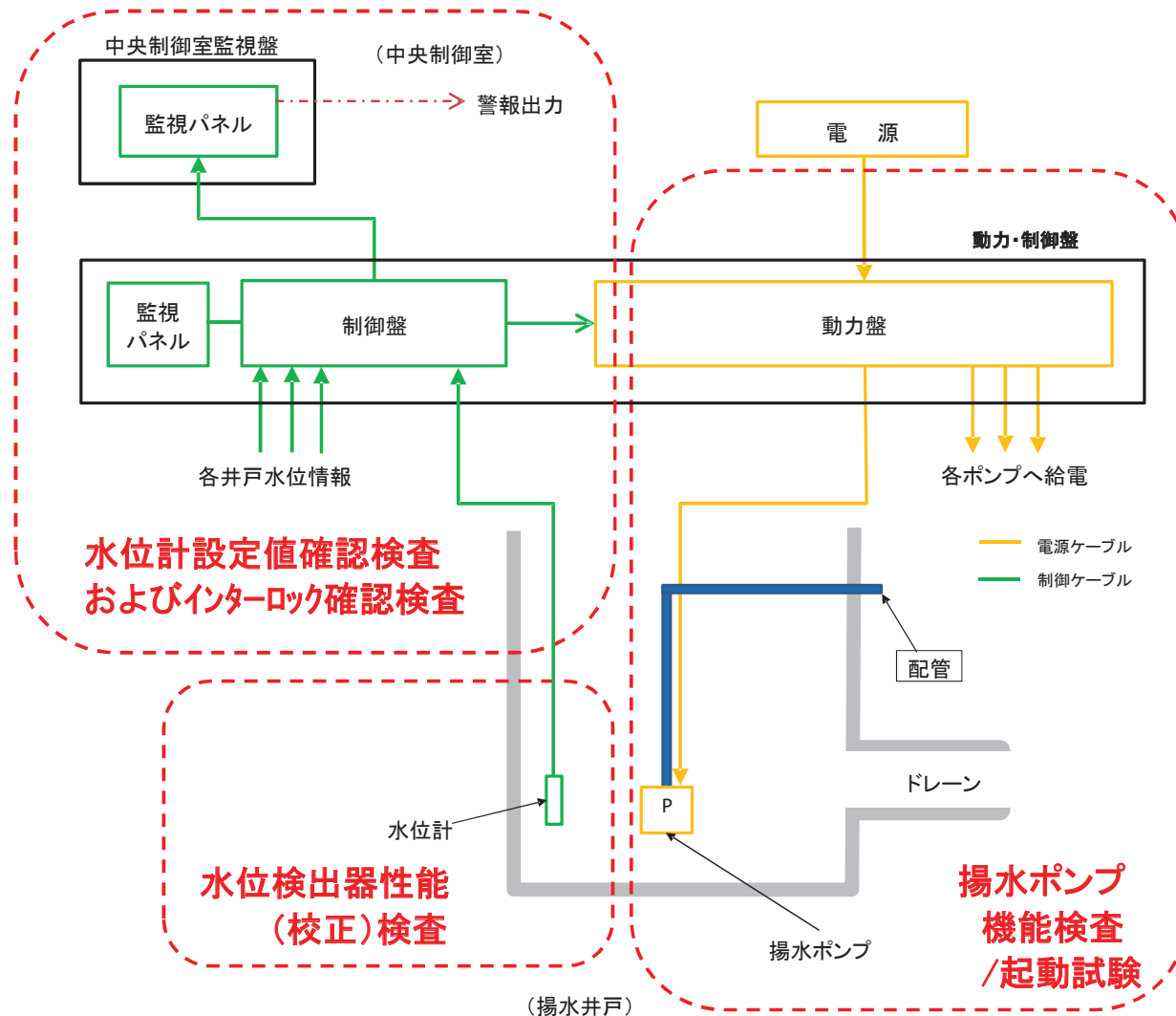
- ・運転中に定期的に試験又は検査(実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年原子力規制委員会規則第6号)に規定される試験又は検査を含む。)ができること。
- ・多重性又は多様性を備えた系統及び機器にあっては、各々が独立して試験又は検査ができること。

【地下水位低下設備の具体的な試験又は検査】

- ・上記の要求事項を踏まえ、地下水位低下設備は、各井戸に設置された設備が独立して試験又は検査ができる設計とする。
- ・地下水位低下設備に係る試験又は検査の例を第5-14表に示す。

第5-14表 地下水位低下設備に係る試験又は検査の例

項目	内容	頻度
水位検出器性能(校正)検査	水位検出器の校正を行い、適切な値が伝送されることを確認する。	定期検査毎
水位計設定値確認検査およびインターロック確認検査	水位計設定値が適切な値であること、インターロックが作動することを確認する。	定期検査毎
揚水ポンプ機能検査	インターロックの入力信号によりポンプが起動・停止することを確認する。	定期検査毎
揚水ポンプ起動試験	揚水ポンプが起動することを確認する。	1回/月



第5-14図 地下水位低下設備の試験又は検査項目と範囲

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(5) 各審査段階における提示内容

- 地下水位の設定の考え方並びに地下水位低下設備の位置付けについて、設置許可段階及び工認段階における提示内容を整理した。(添付資料5)
 - －設置変更許可段階では、設計条件としての地下水位を保持する方針とし、地下水位を保持するために地下水位低下設備を設計基準対象施設として位置付け、その機能を考慮することを説明する。また、地下水位低下設備の機能を保持するために設計上の配慮を行う方針を説明する。記載方針を次頁に示す。
 - －工事計画認可段階では、設計基準対象施設と位置付けた地下水位低下設備の基準適合性を説明する。

第5-15表 設置許可及び工事計画認可段階における提示概要

設置変更許可段階

地下水位低下設備※1

- ・設計条件としての地下水位を保持し、設置許可基準規則第3条、第4条、第5条、第38条、第39条、第40条、及び第43条へ適合するため、設計基準対象施設として位置付け、この機能を考慮する。
- ・設計上の配慮を行う。(Ss機能維持, 非常用電源接続, 多重化等)

※1 本文, 添付書類六(地盤)及び添付書類八(耐震設計, その他発電用原子炉の附属施設)に記載

工事計画認可段階

地下水位低下設備

- ・基本設計方針(技術基準規則※2第4条, 第5条※3, 第6条, 第49条, 第50条※3, 第51条, 及び第54条)に設計上の配慮を位置付け, 基準適合性を示す耐震計算書※4を添付(地下水位の設定方法を含む)

※2 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則

※3 技術基準規則第4条(地盤)への適合性について, 第5条・第50条(耐震)にて確認

※4 揚水井戸・ドレーンについては, 設置許可基準規則3条に対応した地盤の支持性能に係る確認結果を併せて記載

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(6) 発電用原子炉設置変更許可申請書の記載方針（1/2）

- 発電用原子炉設置変更許可申請書本文及び添付書類における記載方針を示す。

本文

五. 発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

□ 発電用原子炉施設の一般構造

その他の主要な構造

「発電用原子炉施設の機能の保持にあたり、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために、地下水位低下設備を設置する」旨を記載

添付書類六

地盤

原子炉施設設置位置付近の地盤の安定性評価

耐震重要施設の基礎地盤※1の安定性評価

地震力に対する基礎地盤の安定性評価（解析条件／地下水位）

「解析用地下水位は、原子炉建屋においては構造物基礎版中央とし、原子炉建屋以外においては地表面に設定する」旨を記載

周辺地盤の変状による施設への影響評価

「液状化影響の検討に当っては、設計用地下水位の設定において、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する地下水位低下設備の機能を考慮する方針とする」とともに、「耐震重要施設は、周辺地盤の液状化による地盤変状を考慮した場合でも、その機能が損なわれないよう、所要の対策を講じる方針とする」旨を記載。

常設重大事故等対処施設の基礎地盤※1の安定性評価

地震力に対する基礎地盤の安定性評価（解析条件／地下水位）

「解析用地下水位は地表面に設定する」旨を記載

周辺地盤の変状による施設への影響評価

（耐震重要施設と同様とする。）

※1 周辺斜面については、耐震重要施設・常設重大事故等対処施設いずれも該当する周辺斜面が存在しないため記載不要。

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(6) 発電用原子炉設置変更許可申請書の記載方針 (2/2)

添付書類八

安全設計

耐震設計

設計基準対象施設の耐震設計

基本方針

「設計基準対象施設は、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する地下水位低下設備の機能を考慮して、設計を行う」旨を記載

また、「液状化影響の検討に当っては、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する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」とともに、「耐震重要施設は、周辺地盤の液状化による地盤変状を考慮した場合でも、その機能が損なわれないよう、所要の対策を講じる」旨を記載

耐震重要度分類

クラス分類表に地下水位低下設備を記載(Cクラス(Ss機能維持する設計))

設置許可基準規則への適合

第三十九条 (地震による損傷の防止) / 適合のための設計方針

「重大事故等対処施設は、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する地下水位低下設備の機能を考慮して、設計を行う」旨を記載

また、「液状化影響の検討に当っては、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する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」とともに、「重大事故等対処施設は、周辺地盤の液状化による地盤変状を考慮した場合でも、その機能が損なわれないよう、所要の対策を講じる」旨を記載

なお、「高台エリア(O.P.+62.0m盤周辺)に設置する重大事故等対処施設は、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する地下水位低下設備の機能に期待せず、観測記録に基づく水位または地表面に地下水位を設定する」旨を記載

第四十三条 (重大事故等対処設備) / 適合のための設計方針

「屋外アクセスルートの地震による影響の想定においては、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する地下水位低下設備の機能を考慮する」旨を記載

その他発電用原子炉の附属施設

地下水位低下設備

「地下水位低下設備は、ドレーン、揚水井戸及び揚水ポンプ等で構成され、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する」旨を記載。

なお、「地下水位低下設備は、基準地震動に対して機能維持する設計とし、重要安全施設相当の配慮として、多重性又は多様性及び独立性を確保すること、並びに「電源については、外部電源の喪失に配慮し、非常用電源からの供給が可能な設計とする。また、全交流動力電源の喪失に配慮し、常設代替交流電源からの供給が可能な設計とする。」、「予備品を用いた補修又は可搬型設備を用いた機動的な復旧対応が可能となるよう、資機材の配備及び手順の整備を行う」旨を記載。

添付書類十

重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力 / 重大事故等対策 / アクセスルートの確保

「屋外アクセスルートの地震による影響の想定においては、発電用原子炉施設周辺の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置する地下水位低下設備の機能を考慮する」旨を記載

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(7) まとめ

- 地下水位低下設備の設置目的と機能の重要性に鑑み、安全機能の重要度分類におけるクラス1に相当する設備と位置付け、設備構成を検討した。
- 更に、地下水位低下設備については、機能の目的及び機能の維持期間を踏まえ、以下のように、ハード対策及びソフト対策といった多段な対策によりその信頼性向上に努める。
- これにより、原子炉施設に対する炉心損傷又は燃料破損等のリスクの低減を図ることができる。

対策	対策の目的	リスク
想定する機能喪失要因への対応	想定する機能喪失要因に対する設計上の配慮により機能喪失を防止	大
機能喪失要因による「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」との同時発生への配慮	「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」(各事象)と地下水位低下設備との機能喪失の同時発生を防止	
各事象発生後の事象収束状態の維持への配慮	各事象発生後に地下水位低下設備が機能喪失することによって地下水位が上昇し、建屋等の耐震性が確保されない状態でS _s 規模の地震が発生し、事象の収束性に影響を与える事態を防止	
機能喪失に対する運用による機能復旧手段の確保	上記の設計上の配慮により、地下水低下設備の信頼性の向上を図った状態でもなお機能喪失した場合を想定し、保安規定等に予め運用方針・手順等を定め、機能喪失時には予備品を用いた補修による機能回復又は可搬型設備を用いた機動的対応による機能復旧を図る	
ドレーンの閉塞に対する配慮	ドレーンの配置・形状を考慮し、新設ドレーン・揚水井戸の配置等により、閉塞時の機能喪失を回避	小

多段な対策

第5-15図 地下水位低下設備の信頼性向上の方針まとめ

添付資料1

揚水井戸・ドレーンの状況

添付資料1 揚水井戸・ドレーンの状況 地下水位低下設備のうち揚水井戸・ドレーンの状況 (1/2)

- 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震直後及びその後に実施した主要な設備の目視確認結果のうち、2号炉揚水井戸(揚水井戸⑤)及び周辺のドレーンの状況を示す。
- 目視確認の範囲では著しい損傷や断面阻害等は認められず、ドレーン及び揚水井戸の集・排水機能は維持されている。



写真A ドレーン(有孔ヒューム管Φ1,050mm)
2018/9/18撮影



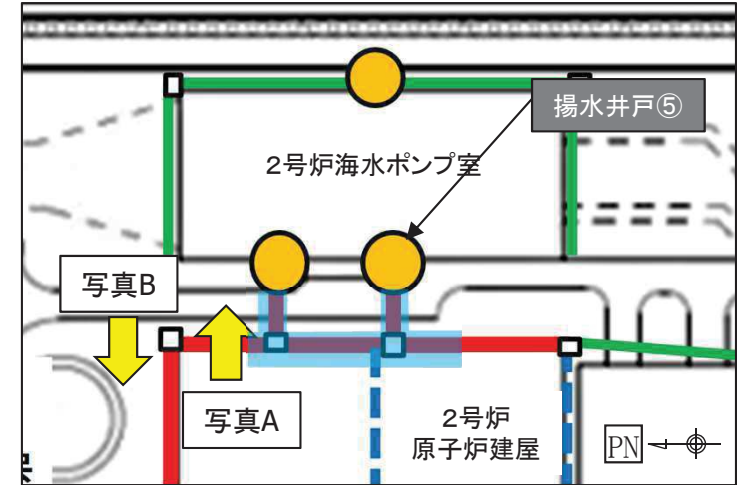
写真B ドレーン(有孔ヒューム管Φ1,050mm)
2018/9/18撮影



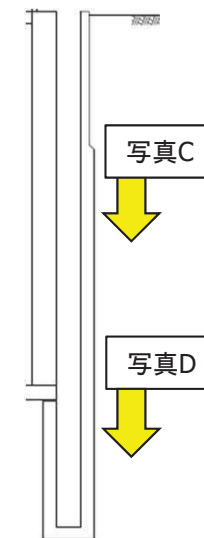
写真C 揚水井戸⑤(中段部)
2017/3/17撮影



写真D 揚水井戸⑤(下段部)
2017/3/17撮影



写真撮影位置 目視確認範囲※



※:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後に実施した目視確認の範囲

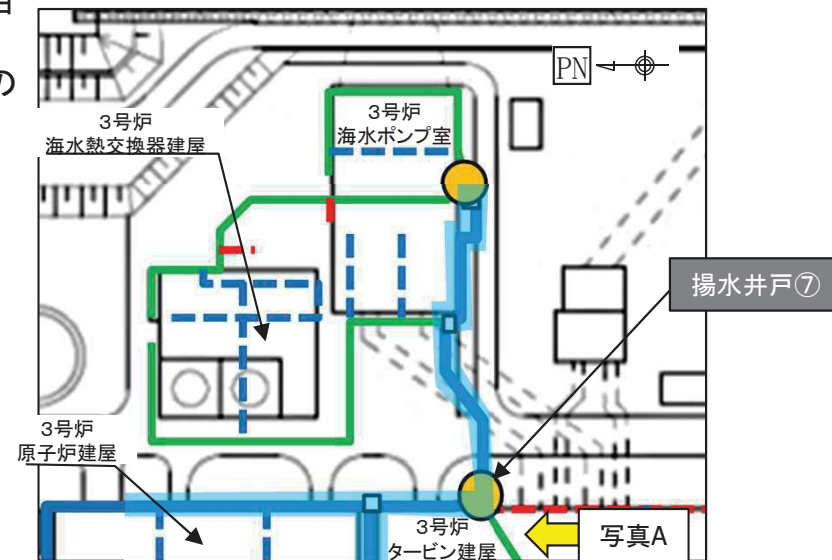
写真撮影位置(揚水井戸⑤断面)

添付資料1 揚水井戸・ドレーンの状況 地下水位低下設備のうち揚水井戸・ドレーンの状況 (2/2)

- 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震直後及びその後実施した主要な設備の目視確認結果のうち、3号炉揚水井戸(揚水井戸⑦)及び周辺のドレーンの状況を示す。
- 目視確認の範囲では著しい損傷や断面阻害等は認められず、ドレーン及び揚水井戸の集・排水機能は維持されている。

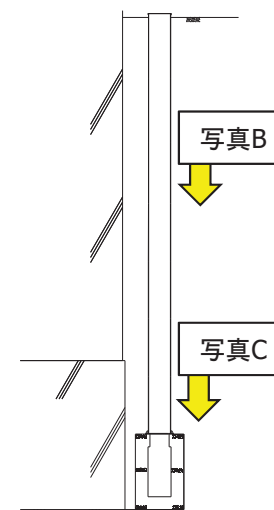


写真A ドレーン(有孔ヒューム管Φ800mm)
2018/9/18撮影



写真撮影位置 目視確認範囲※

※:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後に実施した目視確認の範囲



写真撮影位置(揚水井戸⑦断面)



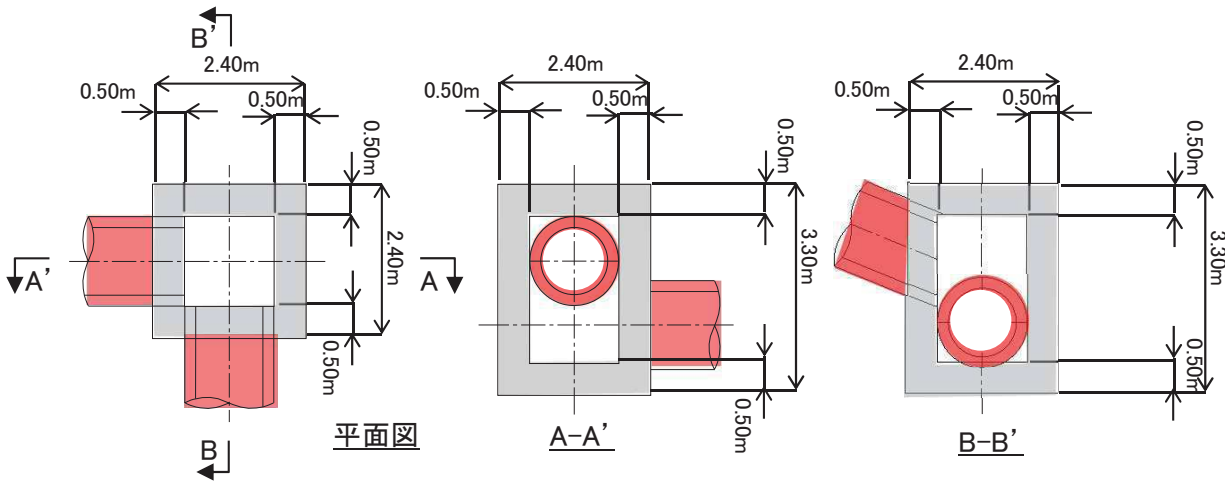
写真B 揚水井戸⑦(中間部)
2017/3/16撮影



写真C 揚水井戸⑦(下段部)
2017/3/16撮影

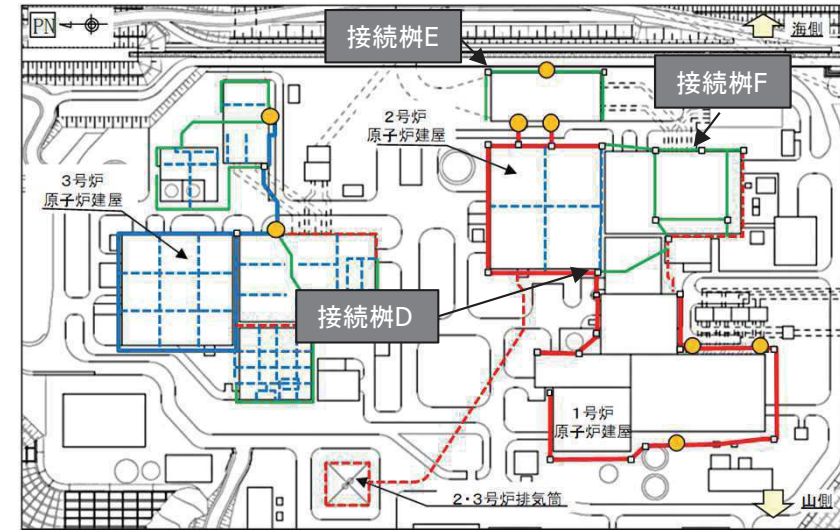
添付資料2 接続桝の構造概要

- 本編以外の主な接続柵について、構造概要を示す。

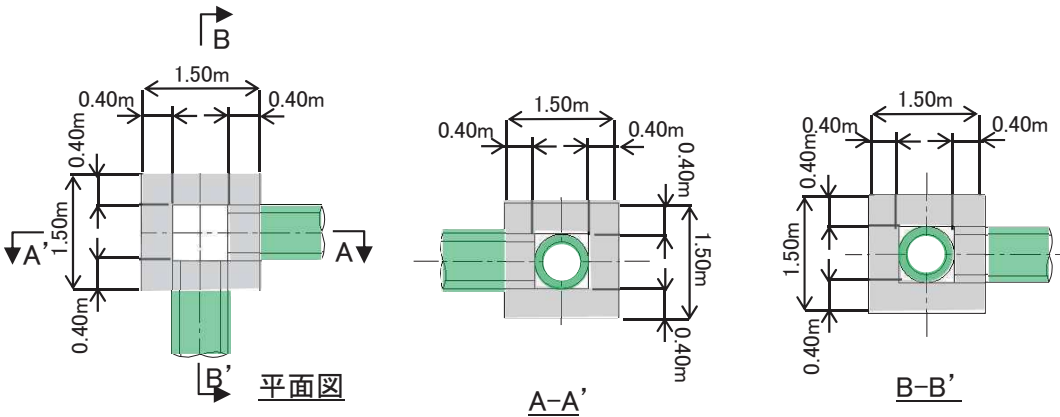


【接続柵D(2号炉)】

有孔ヒューム管Φ1.050

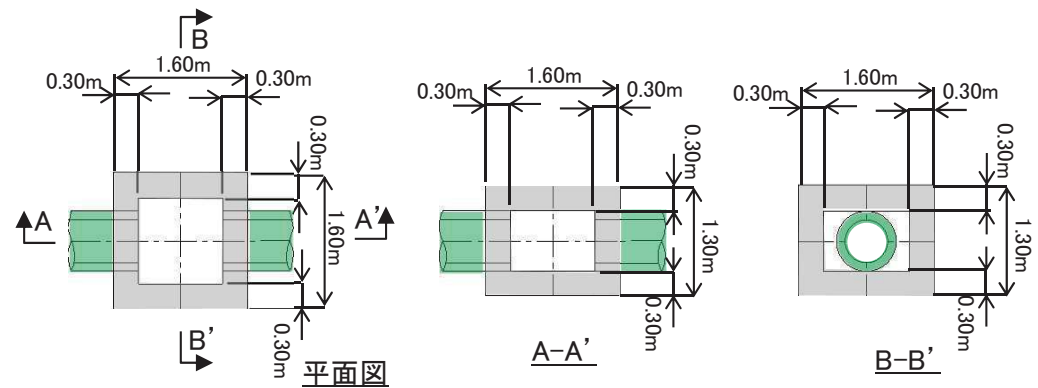


地下水位低下設備 (既設) 設置位置図



【接続柵E(2号炉)】

有孔ヒューム管Φ500



【接続柵F(2号炉)】

添付資料3

ドレーン構成部材の耐久性

- 有孔ヒューム管の一般的な耐用年数は50年とされている。(一般的なコンクリート構造物)
- 建設当時の使用前検査では湧水が腐食環境下にあるかの確認を目的に水質調査を実施している。
- 水質調査結果によると、地下水はやや海水成分を有しているが、腐食環境下でないことを確認している。
- 接続桝については、鉄筋かぶりは50mm～70mmで、水セメント比は55%で施工されている。湧水の塩素イオン濃度の最大値により、コンクリート標準示方書の塩害の照査を実施すると50年以上と評価される。

環境にやさしい製品

ヒューム管は
撤去後に **99%再利用** 可能です

再利用でき、埋立しても無害

コンクリート製品の耐用年数は、一般的に約50年と書かれております。従って一定の年数経過後により更新されますが、撤去したヒューム管やコンクリート管等や掘削の路材として再利用できます。

また、土中でも有害物質を発生することはありません。

無公害の国内資源を有効活用

ヒューム管は、地心力を利用して製造する鉄筋コンクリート管ですが、その主原料となる石灰石(セメント)・砂・砂利・水等は無公害国と呼ばれる我が国にあって、いざれも国内において産出するもので、かつ製造の際における化学物質の排出など公害の原因を生じさせない環境にやさしい素材です。

採水位置	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	水道水の 水質基準
p H	8.1	7.2	6.9	7.2	5.8 ~ 8.6
M 7hカリ度 (mg/l)	224	237	90.8	77.9	—
カルシウム硬度 (mg/l)	355	285	153	365	300以下
全 硬 度 (mg/l)	770	546	224	744	* 500以下
蒸発残留物 (mg/l)	2,430	1,660	498	1,790	500以下
導 電 率 (μS/cm)	4,110	2,800	785	2,680	—
塩素イオン (mg/l)	1,030	618	57.1	495	200以下
採 水 月 日	3.1.10	3.1.10	3.1.10	3.1.10	—

湧水の水質試験結果(2号炉使用前検査資料)

全国ヒューム管協会 <http://www.hume-pipe.org/data/data07.pdf>

- 有孔塩ビ管の一般的な耐用年数は50年とされている。(塩化ビニル管・継手協会より)

塩化ビニル管・継手協会

TOP | 協会について | 製品の概要 | リサイクル | 生産出荷統計 | 発行図書 | 注意事項

製品の概要

用途 | 特徴 | 耐震性(水道) | 長期供用品の評価(下水道) | 規格 | 用語の解説

TOP > 製品の概要 > 製品の概要 > 経済的に長持ちします。

経済的に長持ちします。

塩化ビニル管・継手協会

TOP | 協会について | 製品の概要 | リサイクル | 生産出荷統計 | 発行図書 | 注意事項

製品の概要

用途 | 特徴 | 耐震性(水道) | 長期供用品の評価(下水道) | 規格 | 用語の解説

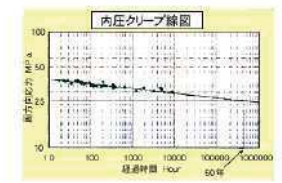
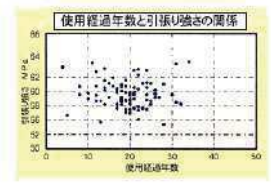
TOP > 製品の概要 > 製品の概要 > 硬質塩ビ管の耐用年数は50年以上という評価結果

硬質塩ビ管の耐用年数は50年以上という評価結果

水道管や下水道管として使用される塩ビ管は、金属製やコンクリート製の管と比較して建設コストが安く、経済的な管材料です。また以下のように耐用年数も50年以上という評価結果が得られています。

実際に埋設して使用されている塩ビ管の品質状況を把握するため、全国47の水道事業者で5～34年間使用した塩ビ管を111本切り取り、各種性能を確認しました。

- 使用中の塩ビ管の直接診断試験 (財)水道技術研究センターが、昭和63年より実施してきた「鉄線管・鋼管・塩ビ管診断専門委員会」の調査研究に伴い、使用期間が5年から34年間の塩ビ管の性能試験が行われ、以下の結果を導きました。
 - (1) JIS及びJWWA規格の性能規定での評価引張り試験、扁平試験、水圧試験の結果、供試体はどれも規格値を満足していました。
 - (2) 規格値以外の諸特性 管の内外面の外観、埋設による管の扁平情況、引張り試験に伴う伸び率、クリープ試験、接着接合部の強度試験等を実施しましたが、異常は認められませんでした。
 - (3) 管及び継手の経年変化 実施した試験の結果、引張り強さ、扁平強さ、接着強さ等の経年変化は認められませんでした。50年経過後の引張り強度として53MPa以上が期待でき、この値は規格値を満足します。
- 建設者の法曹埋設に伴う塩ビ管の評価 (財)道路保全センターが、平成10年に実施した「道路占用地域物件の浅層化技術検討委員会」の調査の結果、建設者は平成11年に下水道等を関連下に埋設する深さを、従来より深くできる事を通知しました。
 - (1) 最大荷重での検討 50年の埋設期間中に発生する、最大級の荷重に塩ビ管が耐えることが分かりました。
 - (2) トラックによる振動荷重での検討 トラックの走行試験より、50年間の振動に対して、塩ビ管が疲労破壊しないことが分かりました。
- 内圧クリープ試験による塩ビ管の寿命評価 京都工芸繊維大学とのプラスチック管の耐用年数に関する共同研究で、塩ビ管の寿命として、50年後のクリープ強度は25MPaであることが分かりました。この値は現在、塩ビ管が使用している設計応力に対して2.3倍の値となっております。



塩化ビニル管・継手協会
<http://www.ppfa.gr.jp/02/index-a04.html>

表-7.5.1 配水管に使用する主な管種の特徴

材質別	長所	短所
ダクトイル 鋳鉄管	(1) 管体強度が大きく、靱性に富み、衝撃に強い。 (2) 耐久性がある。 (3) K、T、U形等の柔構造継手は、継手部の伸び、屈曲により地盤の変動に対応できる。 (4) NS、S、SII、US形等の鋼構造継手は、柔構造継手よりも大きな伸縮に対応でき、更に難脱止機能を有するので、より大きな地盤変動に対応できる。 (5) 施工性が良い。	(1) 重量は比較的重い。 (2) 継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。 (3) 内外の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。 (4) K、T、U形等の柔構造継手は、地震時の地盤の液状化や亀裂等の地盤変状により伸縮(伸び)量が限界以上になれば離脱する。
鋼管	(1) 管体強度が大きく、靱性に富み、衝撃に強い。 (2) 耐久性がある。 (3) 溶接継手により一体化ができ、地盤の変動には管体の強度及び変形能力で対応する。地盤変動の大きいところでは、伸縮継手の使用又は厚肉化で対応できる。 (4) 加工性がよい。 (5) 防食性の良い外面防食材料(ポリウレタン又はポリエチレン)を被覆した管がある。	(1) 溶接継手は、専門技術が必要とするが、自動溶接もある。 (2) 電食に対する配慮が必要である。 (3) 内外面の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。
ステンレス 鋳管	(1) 管体強度が大きく、靱性に富み、衝撃に強い。 (2) 耐久性がある。 (3) 耐食性に優れている。 (4) ライニング、塗装を必要としない。	(1) 溶接継手に時間がかかる。 (2) 異種金属との絶縁処理を必要とする。
硬質ポリ塩化ビニル管	(1) 耐食性に優れている。 (2) 重量が軽く施工性がよい。 (3) 内面粗度が変化しない。 (4) RRロング継手は、RR継手よりも継手伸縮性能が優れている。	(1) 管体強度は金属管に比べ小さい。低温時において耐衝撃性が低下する。 (2) 熱、紫外線に弱い。 (3) シンナー類等の有機溶剤により軟化する。 (4) 継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。 (5) RRロング継手は、使用期間が短く、被災経験もほとんどないことから、使用に当たっては十分な耐震性能の検証が必要である。
水道配水用 ポリエチレン管	(1) 耐食性に優れている。 (2) 重量が軽く施工性がよい。 (3) 融着継手により一体化でき、管体に柔軟性があるため地盤変動に追従できる。 (4) 内面粗度が変化しない。	(1) 管体強度は、金属管に比べ小さい。 (2) 熱、紫外線に弱い。 (3) 有機溶剤による浸透に注意する必要がある。 (4) 融着継手では、雨天時や湧水地盤での施工が困難である。 (5) 融着継手の接合には、コンローラや特殊な工具を必要とする。 (6) 悪い地盤における被災経験がないことから、使用に当たっては十分な耐震性能の検証が必要である。

水道施設設計指針P.462
(2012 公益社団法人 日本水道協会)

塩化ビニル管・継手協会
<http://www.ppfa.gr.jp/02/index-a03.html>



添付資料4 ドレーンの信頼性確保の検討

添付資料4 ドレーンの信頼性確保の検討

(1)集水機能の信頼性向上に係る検討 (1/8)

【ドレーン・接続柵の機能喪失事象への信頼性確保の考え方1】

- 集水機能を担うドレーン・接続柵は、閉塞による機能喪失リスクを考慮する必要がある。設置状況や保守管理性を踏まえ、機能を喪失する可能性のある事象を網羅的に挙げ、それらに対する対応の考え方を整理した。(添付4-1表)
- ドレーン構造(有孔管)に起因し経時的に状態が変化するモードとして土砂流入が考えられるが、ドレーンは耐久性・耐震性を確保したものを使用すること、有孔部から流入する土砂は非常に緩速に堆積することから、管の閉塞に至るリスクはない。(更に、今後予防保全対象として定期的な点検・土砂排除を行う)
- 土砂流入をはじめとして、機能喪失への影響が想定される全ての事象は、設計(耐久性・耐震性の確保)ならびに保守管理により対処し機能維持することが可能である。具体的な保守管理の内容については、次頁に詳述する。

添付4-1表 ドレーンの機能喪失要因と対応の考え方

機能喪失への影響が想定される事象	設計・保守管理における対応の考え方と取扱い
<ul style="list-style-type: none"> • 経年劣化や地震により損壊し、断面形状を保持できなくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 耐久性のある材料を採用するとともに、Ss機能維持設計とする。
<ul style="list-style-type: none"> • ドレーンの有効範囲以外等からの雨水流入、その他想定以上の雨水流入によりドレーンの集水能力が不足する。 	<ul style="list-style-type: none"> • ドレーン・接続柵の集水機能の検討にあたっては、ドレーンの有効範囲以外等からの雨水流入の可能性を考慮、また、湧水量を大きく評価するように透水係数を設定したうえで流入量を確認し、必要に応じて設計に反映する。(排水機能にも係る事項であり、ポンプ、配管設計にも反映する)
<ul style="list-style-type: none"> • 土砂流入により閉塞又は通水断面が減少し、集・排水機能を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 堆砂実績を踏まえ、十分な余裕を有する断面を有する管径を設定するとともに、定期的な点検、土砂排除を実施する。 <ul style="list-style-type: none"> - 有孔部(ヒューム管φ25mm、塩ビ管φ7mm)から管内への土砂流入は微量であり、有孔部に対し管径が十分大きく、土砂堆積による通水断面の減少は非常に緩慢^{※1}^{※2}に進行することから、十分な余裕を有する断面を持つことで機能喪失には至らない。 - また、設置状況や管径に応じて、既設ドレーンにアクセスすることを目的とした保守管理用立坑を設置することにより保守管理性の向上を図る。
<ul style="list-style-type: none"> • 地盤改良工事等による目詰まり等により集・排水機能を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 施工時の規制を行う。(施工方法の検討)

※1 有孔ヒューム管・有孔塩ビ管は、岩盤を掘り下げて設置しており、透水層が管周囲に充填される構造のため、管内への土砂供給が非常に少ない。

※2 有孔ヒューム管の至近の目視確認結果では、設置後20年以上が経過しているが底部に僅かに堆積が確認される程度。堆積土砂はシルト相当。(添付資料1)

添付資料4 ドレーンの信頼性確保の検討

(1)集水機能の信頼性向上に係る検討 (2/8)

【ドレーン・接続柵の機能喪失事象への信頼性確保の考え方2】

- 前頁に示すドレーン・接続柵の機能喪失事象の整理より保守管理性の重要性が抽出されたことから、ドレーンの敷設状況等を踏まえた保守管理方針を整理した。(添付4-2表)
- ドレーンの構造・形状等から下記Ⅰ～Ⅲにドレーン範囲を区分し、点検内容と異常時の対応を整理した。
- また、この対応を確実に実施するために、既設の接続柵又はドレーンに接続された保守管理用の立坑(添付4-1図)を新たに構築する等、保守管理性の向上策も併せて検討する。
- なお、既設の2号炉原子炉建屋及び3号炉海水熱交換器建屋基礎版下部にあるような径がφ100mmの有孔塩ビ管の保守管理にあたっては、下表のとおりカメラ等で状況の確認ができ機能喪失時の対応も可能と考えられるものの、機能喪失時の検知・修復が不確実と考えられることから、耐震性及び耐久性を有していたとしても保守管理に期待せずドレーンの機能喪失を前提とした設計(管路ではなく透水層)とする方針とする。

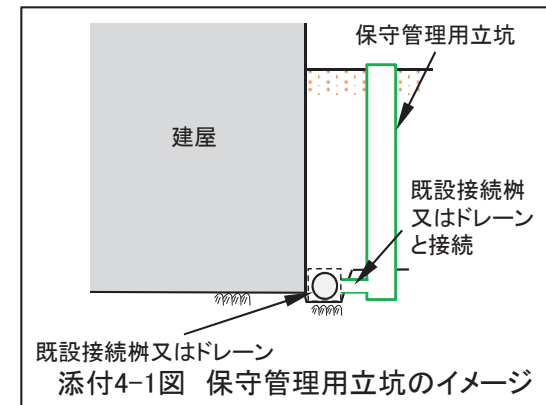
添付4-2表 ドレーンの保守管理方針

区分	構成部位(例)		ドレーンの点検内容		異常時の対応	
	有孔ヒューム管・接続柵	有孔塩ビ管	手段	点検対象と確認内容		
Ⅰ	全域立入可能	φ800mm(全範囲), φ1,050mm(全範囲)	—	・目視	・損傷等の有無, 土砂堆積状況等から, 通水断面が保持されていることを確認する。	・詳細調査を行い, 必要な対策を実施する。
Ⅱ	カメラ等により部分的に確認可能	φ500mm (流末部)	φ100mm (2号炉R/B直下 3号炉Hx/B直下)	・カメラ等	・損傷等の有無, 土砂堆積状況等から, 通水断面が保持されていることを確認する。	
Ⅲ	流末部※1の断面の確認及びトレーサー試験等により確認可能	φ500mm (流末部以外)	—	・流末部の断面をⅡにより確認※2 ・トレーサー試験等	・Ⅱより通水断面が保持されていることを確認する。 ・トレーサー試験等により通水経路の連続性が保持されていることを確認する。	・Ⅱの範囲と同様の状態にあるものと考え, 詳細調査を行い, 必要な対策を実施する。

※1 流末部とは、同径の管の最下流部を表す。(有孔ヒューム管(φ500mm)は立入りできないが、最下流部の接続柵を介してφ800mm・φ1,050mmの有孔ヒューム管と会合しているため、最下流部周辺は目視・カメラ等による確認が可能である)

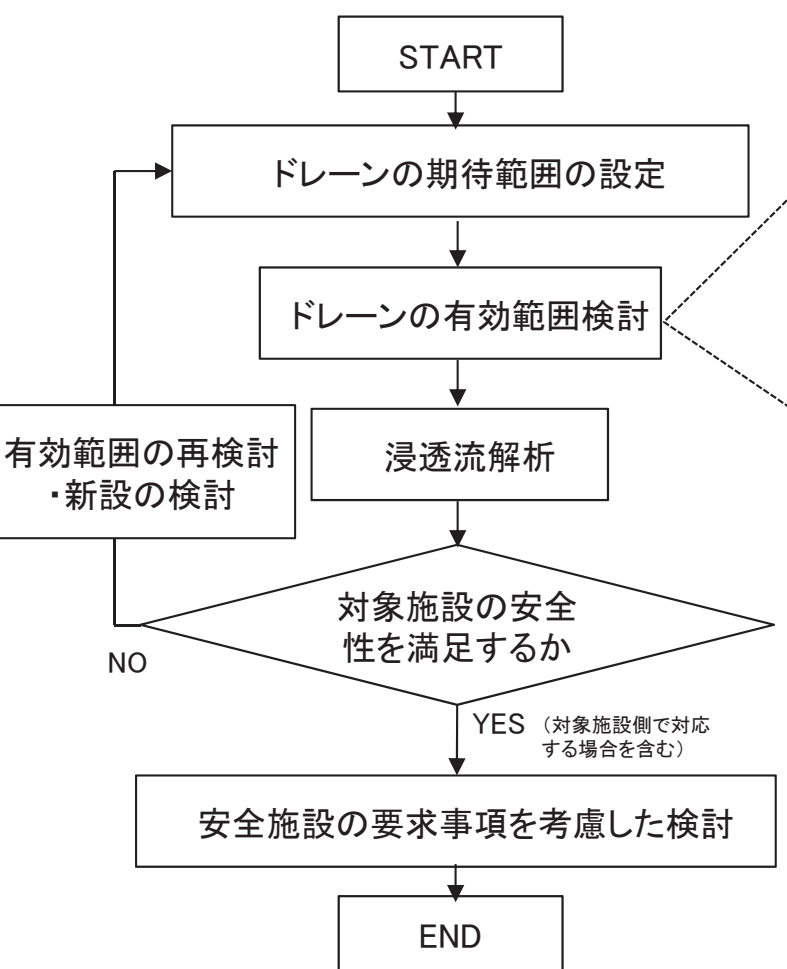
※2 以下に示す理由から、ドレーンは一定の品質が確保され、供用環境も同様と考えられるため、通常時は流末部で外観点検を行うことで異常等の検知が可能である。

- 施工方法・仕様の共通性: ドレーンは同時期に同一施工体制のもと設置されており、開削により露出した岩盤上に同様の施工管理基準のもと設置されている。
- 建設時記録の信頼性: ドレーンは同時期に同一施工体制のもと設置されており、施工記録等により設置時の情報を確認できる。
- 耐久性・耐震性(Ss機能維持)が確保されている。
- 安定的な供用環境にある。(岩着構造, 外力(土被り)の変動が小さい, 地下空間のため紫外線等の劣化要因が少ない, 流入する地下水に有害な物質が含まれない 等)
- 流末部は土被りが最大(作用荷重最大)であり、設計上最も厳しい部位である。



【集水機能の信頼性の検討1】

- 設計用地下水位の算定(浸透流解析)に用いるドレーンの有効範囲は、添付4-2図に示すフローに従い設定することで信頼性を確保する。
 - 対象施設の配置等を勘案し、既設ドレーンの期待範囲を設定する。前頁のドレーンの機能喪失要因と対応の整理から抽出された耐久性、耐震性及び保守管理性の3つの観点から、すべてを満足するものは管路として、それ以外は透水層(地盤)に分類する。
 - 浸透流解析を踏まえ、対象施設の安全性を確認し、必要な範囲に新設(ドレーン又は揚水井戸)を検討する。
 - また、クラス1相当の信頼性を確保する観点から、安全施設の要求事項(多重性又は多様性及び独立性等)に配慮した設備構成とする。

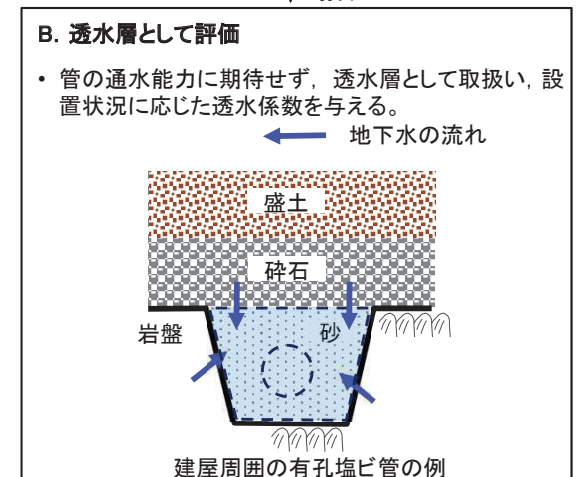
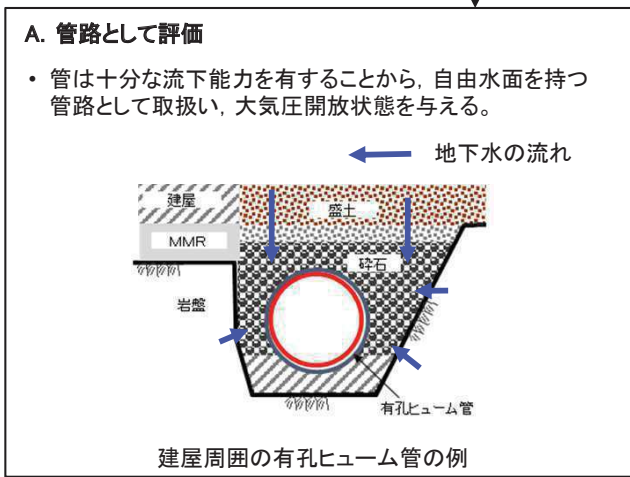


添付4-2図 集水機能の信頼性の検討フロー

- 期待範囲のドレーンについて、耐久性、耐震性及び保守管理性の3つの観点で評価
- なお、既設で径がφ100mmの塩ビ管は、前述のとおり、機能喪失時の検出・修復が不確実と考えられることから機能喪失を前提とし、下記Bに示すとおり、透水層として評価する。

項目	観点
耐久性	耐用年数から供用期間中に機能維持できるか
耐震性	基準地震動Ssに対する耐震性を説明できるか
保守管理性	目視・カメラやトレーサー試験等により通水断面が保持されていることを確認できるか。

すべての観点を満たす場合 → A. 管路として評価
 耐震性あるいは保守管理性を直接的に説明できない場合 → B. 透水層として評価



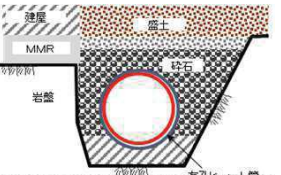
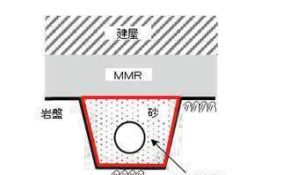
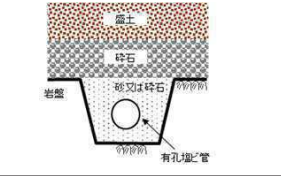
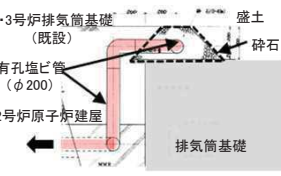
添付資料4 ドレーンの信頼性確保の検討

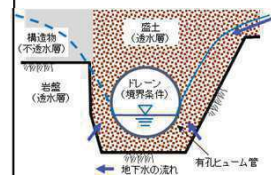
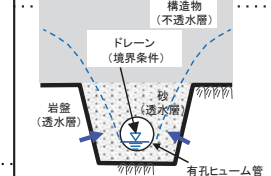
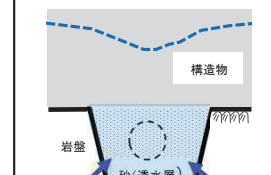
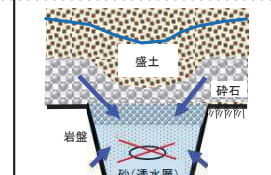
(1)集水機能の信頼性向上に係る検討 (4/8)



【集水機能の信頼性の検討2】

前頁の考え方から、ドレーンの状態に対応したパターンと各観点の評価の見通し、並びに浸透流解析上の取扱いについて整理した。(添付4-3表)

添付4-3表 ドレーンの状態に対応したパターンと浸透流解析上の取扱い

分類	ドレーンの状態	該当箇所 の例	各観点に対する評価		
			耐久性	耐震性	保守管理性
A-1		有孔ヒューム管	○	○	○
A-2	(新設する場合)		○	○	○
B-1		有孔塩ビ管	○	(○)	(-)
B-2			○	(△)	(-)
C-1		有孔塩ビ管 (2・3号炉排気筒 周辺)	○	×	×
C-2	(期待しない)	有孔塩ビ管 (3号炉T/B直 下)	—	—	—

分類※3	浸透流解析上の取扱い	
	管路	透水層
A	<p>A-1</p>  <p>A-2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 管の耐久性及び耐震性が確保され、構造を確認できることから、大気圧開放状態とする。
B	<p>B-1</p>  <p>B-2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤と躯体に囲まれた範囲は保持されるが、直接的な構造確認できないため、透水層として考慮し、この状況に応じた透水係数を設定する。 (透水係数は管内空相当の空隙が残ることを考慮し設定) ただし、A.管路と判断されたドレーンでも、クラス1相当の信頼性確保のため単一故障時に対応可能なドレーン以外はB-1として扱う。 管の内空保持が期待できないが、周辺の岩盤形状は保持され、高透水性材料及び上部から流入する碎石を透水層として考慮し、この状況に応じた透水係数を設定する。
C	<p>C-1</p> <p>C-2</p> <p>非考慮</p>	<ul style="list-style-type: none"> ドレーンとして期待せず、周辺の地盤相当として取扱う。

 耐震性を確保する範囲
 透水層として扱う範囲

○:各観点の要求事項を満足する。 △:各観点の要求事項を部分的に満足する。
×:各観点の要求事項を満足しない。 -:要求事項なし。

※1 下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版-による
※2 コンクリート標準示方書[構造性能照査編](2002)による

※3 浸透流解析上、A(管路)に区分するドレーンは施設、B(透水層)及びC(周辺の地盤)に区分するドレーンは地盤として取扱う。

添付資料4 ドレйнの信頼性確保の検討

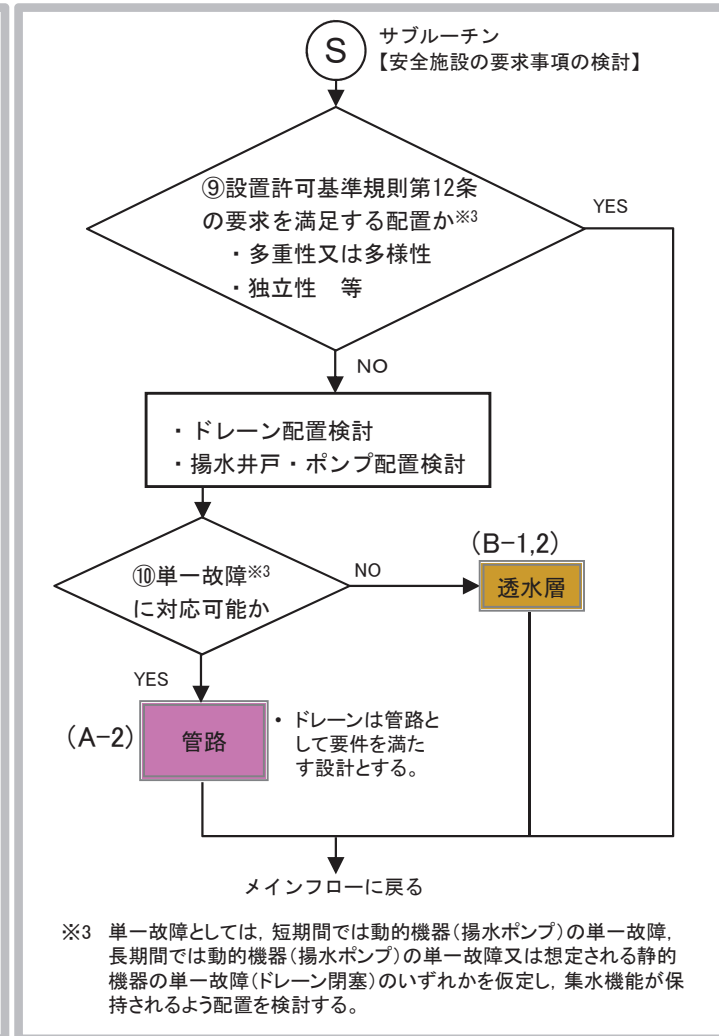
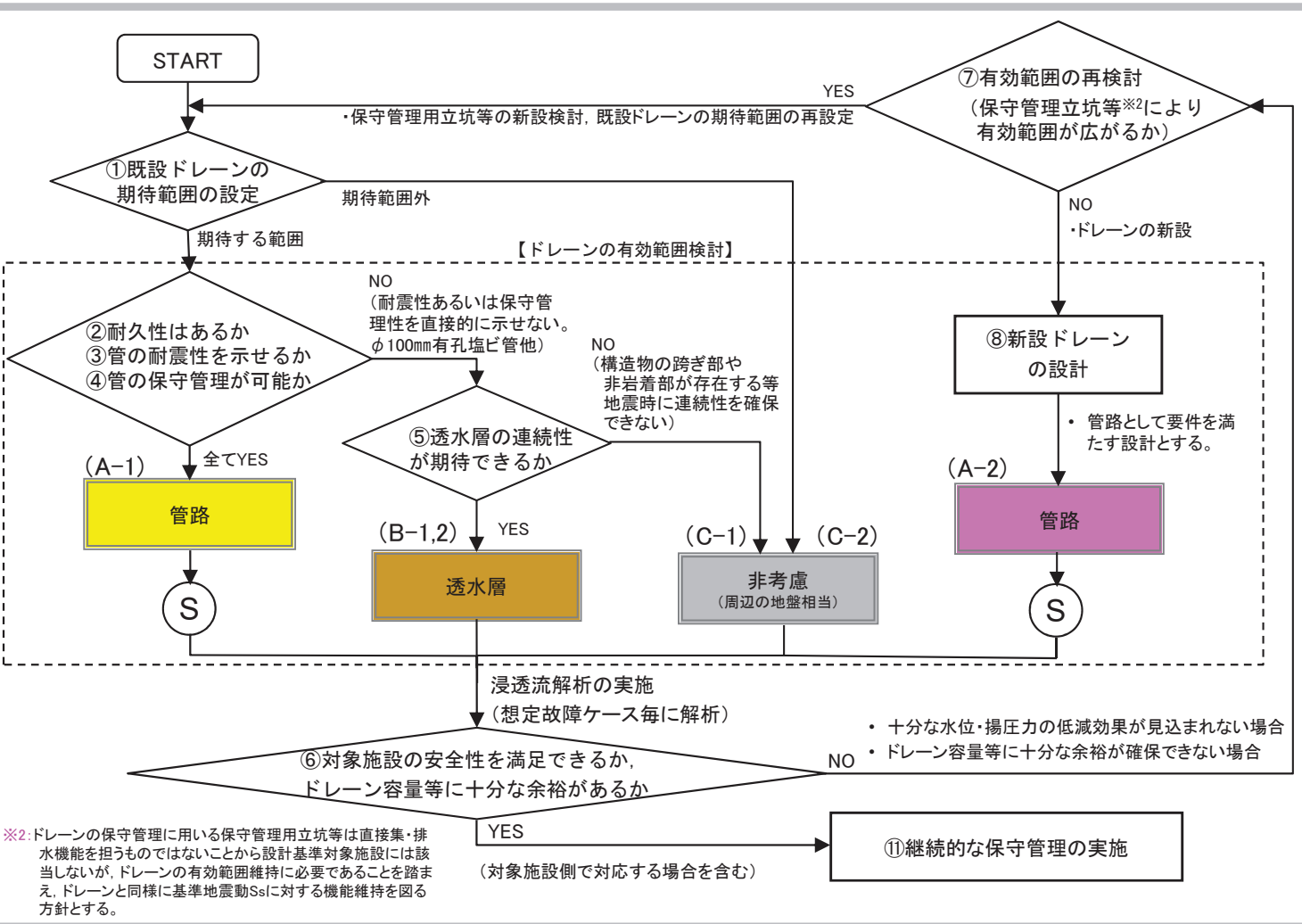
(1)集水機能の信頼性向上に係る検討 (5/8)

【集水機能の信頼性の検討3】

- 設計用地下水位の設定においては、既設ドレйнの期待範囲^{※1}を検討の上、安全施設の要求事項について検討する。安全施設の要求事項についての検討においては、ドレйнの設置状況等に応じて、多重性又は多様性及び独立性を確保する揚水ポンプ、揚水井戸の配置を検討する。
- 集水機能の信頼性の詳細検討フローを添付4-3図に示す。 ※1: 集水経路としての役割を有する接続樹・揚水井戸についても同様の考え方で信頼性を確認する。

【構造物等の安全性を満足するドレйн範囲の検討】

【安全施設の要求事項を考慮した検討】



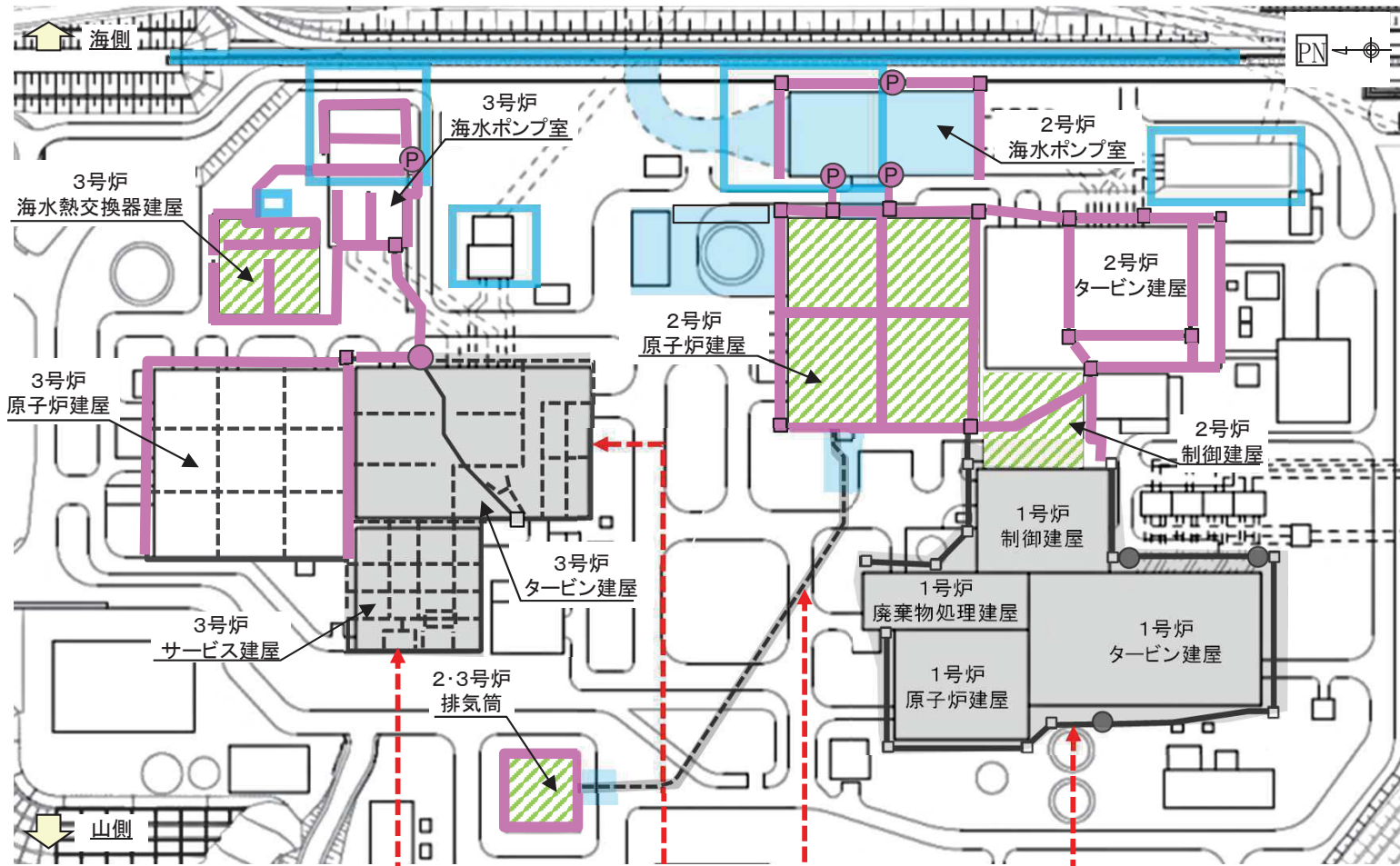
※3 単一故障としては、短期間では動的機器(揚水ポンプ)の単一故障、長期間では動的機器(揚水ポンプ)の単一故障又は想定される静的機器の単一故障(ドレйн閉塞)のいずれかを仮定し、集水機能が保持されるよう配置を検討する。

添付資料4 ドレーンの信頼性確保の検討

(2) ドレーンの有効範囲設定例 (Step①: 期待範囲の設定)

- 集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づく各プロセスの検討内容を、揚圧力(第4条)を対象とした場合における一例として整理した。
- 「①既設ドレーンの期待範囲の設定」として、2号炉申請段階において対象施設の揚圧力保持のため寄与が大きいと考えられる既設ドレーン範囲を抽出した。

Step①: 既設ドレーンの期待範囲の設定

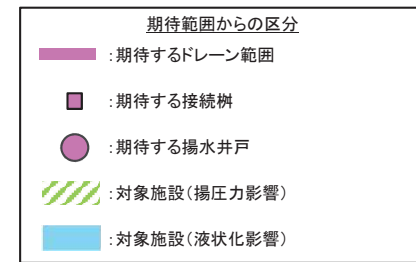
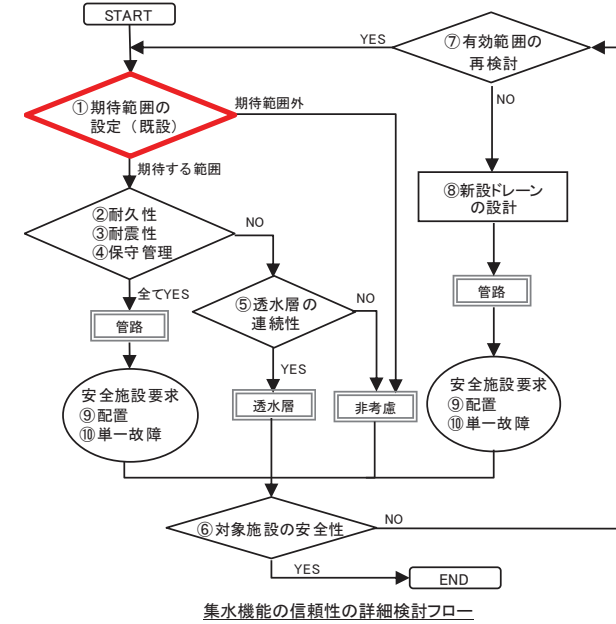


3号炉タービン建屋の揚圧力低減へ主に寄与し、2号炉申請の対象施設への効果は小さい [C-2]

1号炉原子炉建屋他の揚圧力低減へ主に寄与し、2号炉申請の対象施設への効果は小さい [C-2]

3号炉サービス建屋の揚圧力低減へ主に寄与し、2号炉申請の対象施設への効果は小さい [C-2]

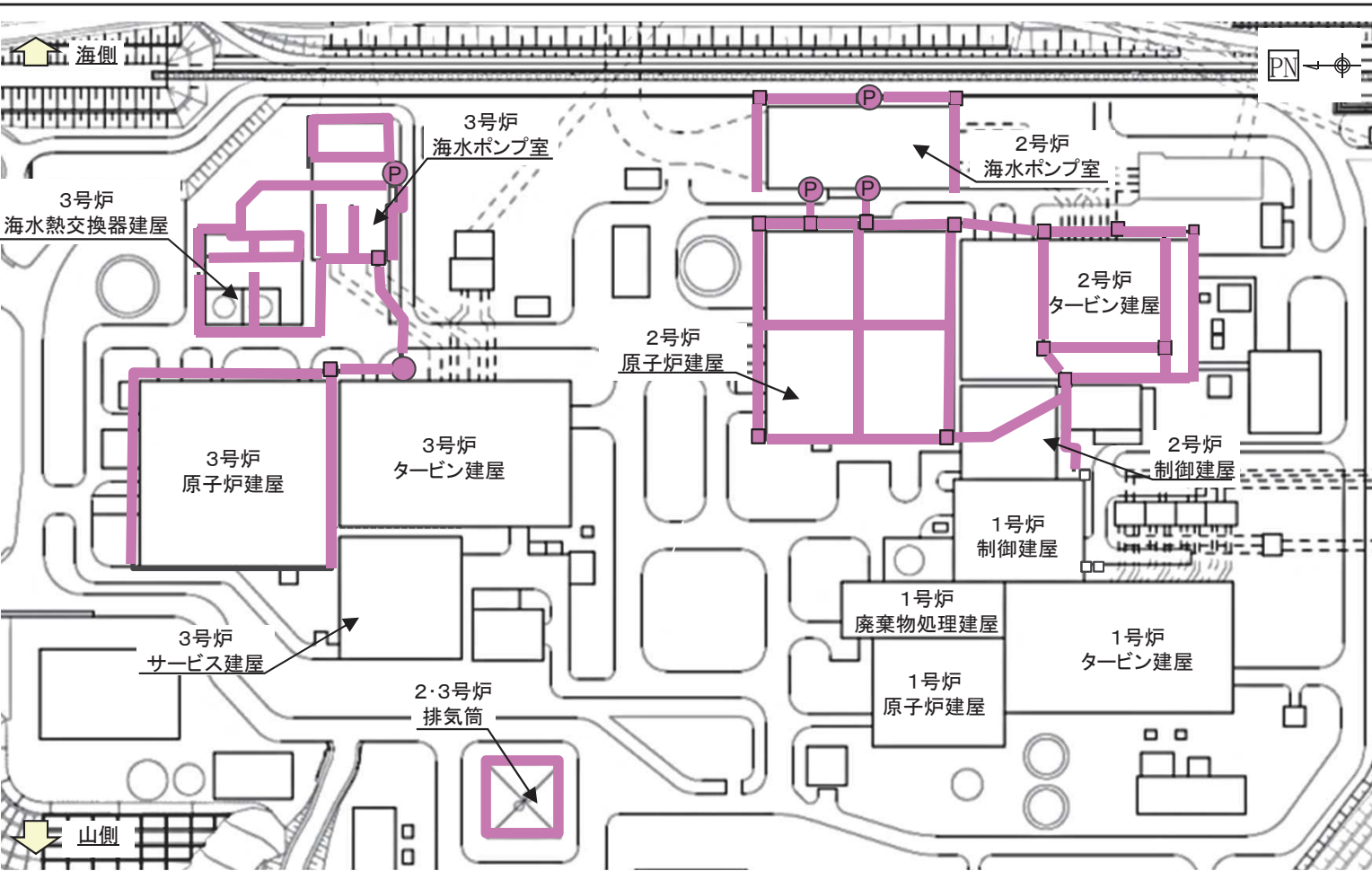
排気筒連絡ダクトの地下水水位下に寄与するが、2号炉申請の対象施設の範囲への効果は小さい [C-2]



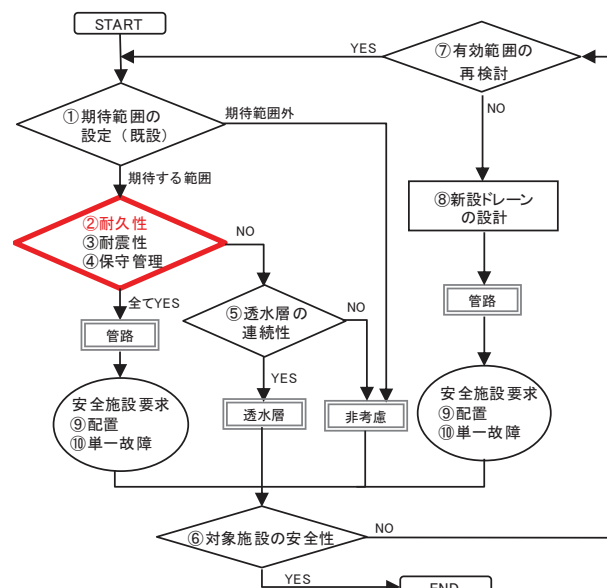
注)「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する

- 「②耐久性」の観点からは、すべてのドレーン(有孔ヒューム管・有孔塩ビ管)が有効と判断される。(p.14参照)

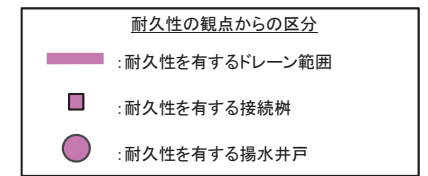
Step②: 耐久性の観点からの整理



※ Step①で期待範囲外と判定されたドレーンは非表示としている。



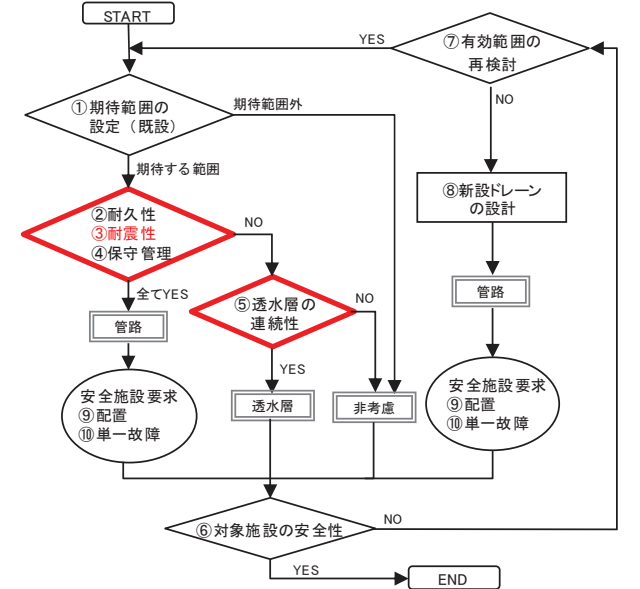
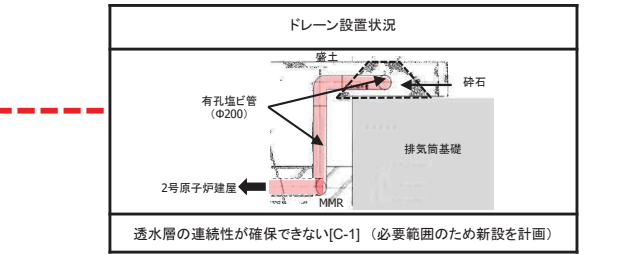
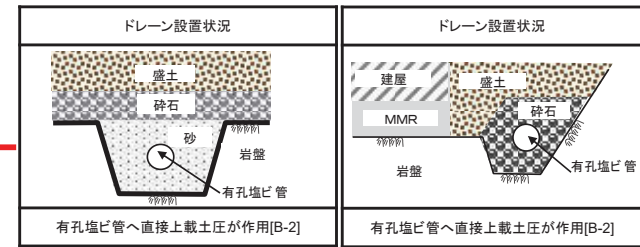
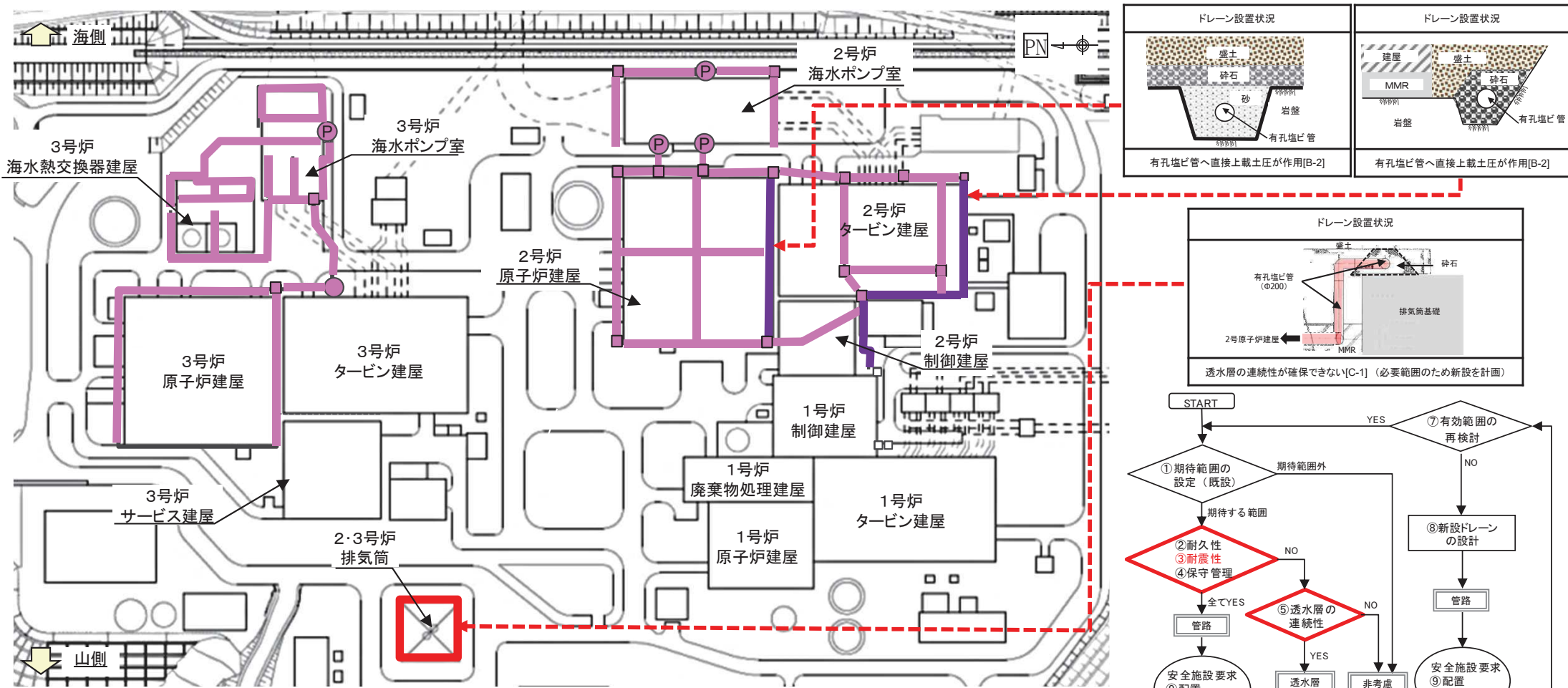
集水機能の信頼性の詳細検討フロー



注)「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する

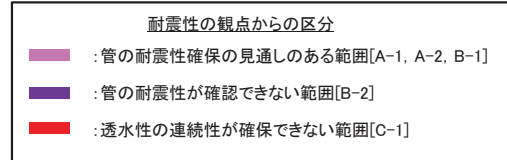
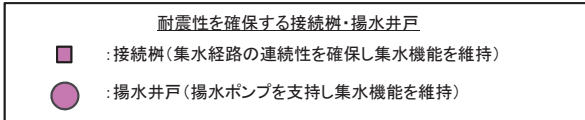
- 「③・⑤耐震性・透水層の連続性」の観点からは、盛土荷重が直接作用する一部の塩ビ管を除き、現状構造でSs機能維持を確保できる見通しである。
(耐震性の確認結果は、工事計画認可段階で提示予定)

Step③・⑤: 管の耐震性・透水層の連続性の観点



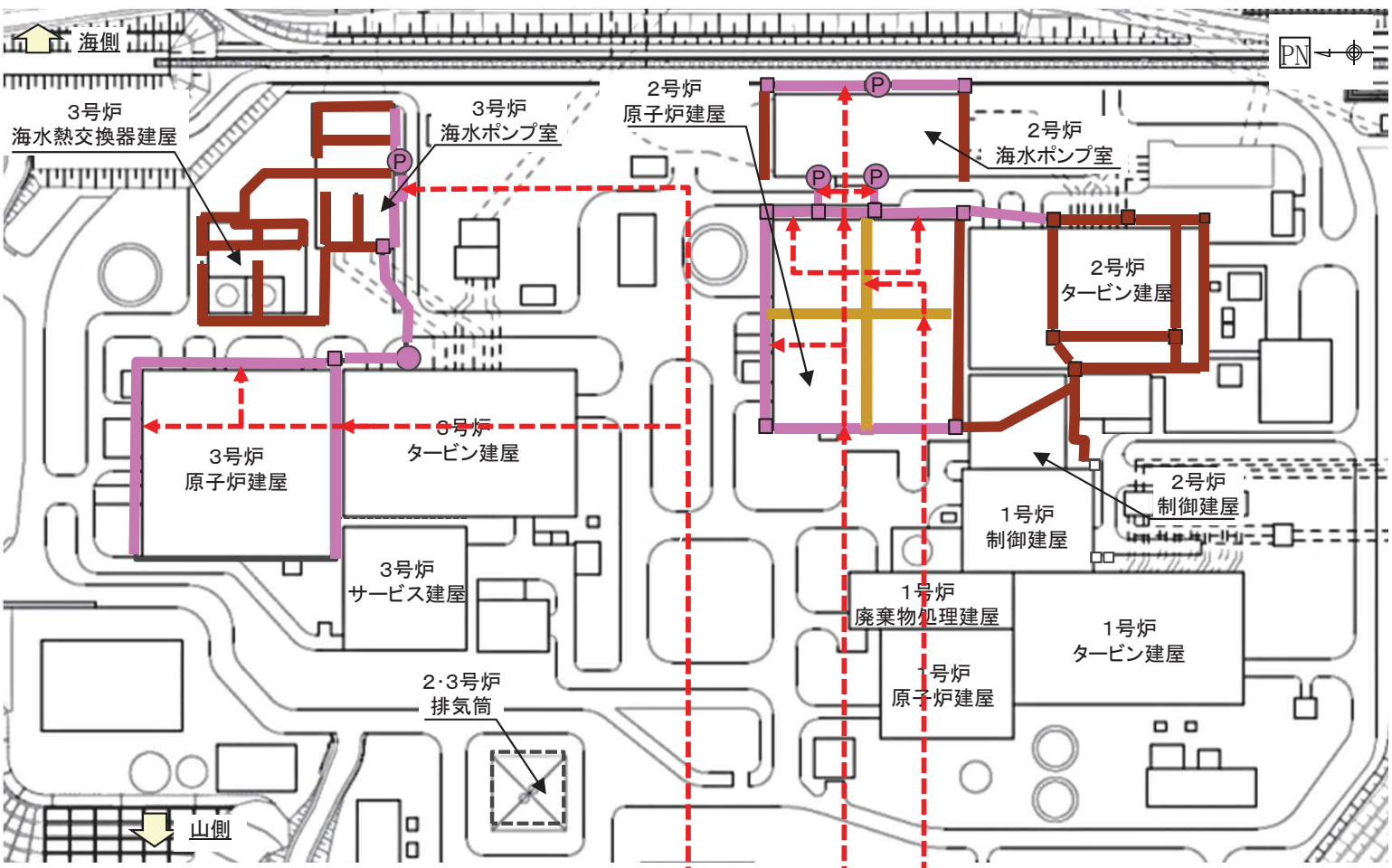
注1 Step①で必要な範囲外と判定したドレーンは非表示としている。

注2 「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する



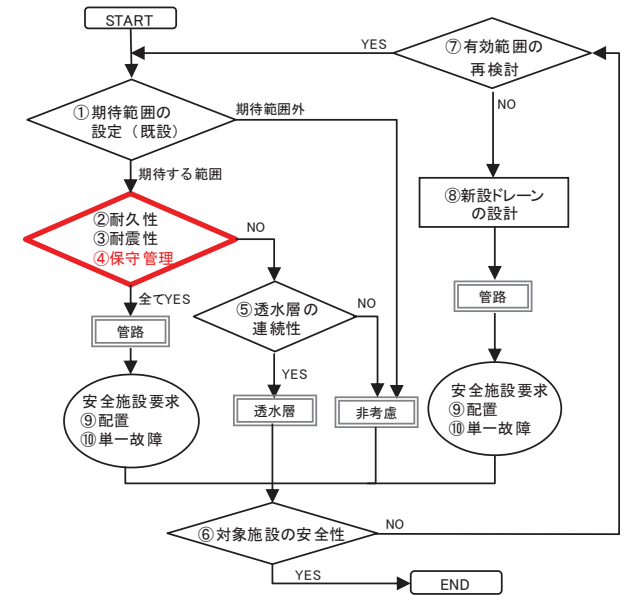
- 「④ 管の保守管理」の観点からの有効範囲が下図のとおり整理される。

Step④: 管の保守管理の観点からの整理

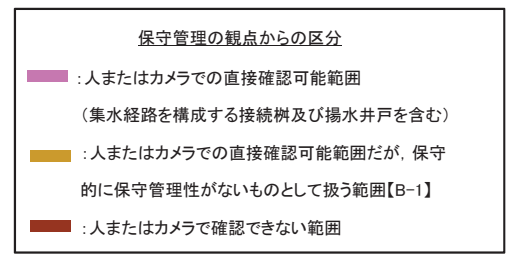


人による直接確認が可能[A-1]

立入可能なドレーンからカメラによる点検が可能だが、保守的に保守管理性がないものとして扱う[B-1]



集水機能の信頼性の詳細検討フロー



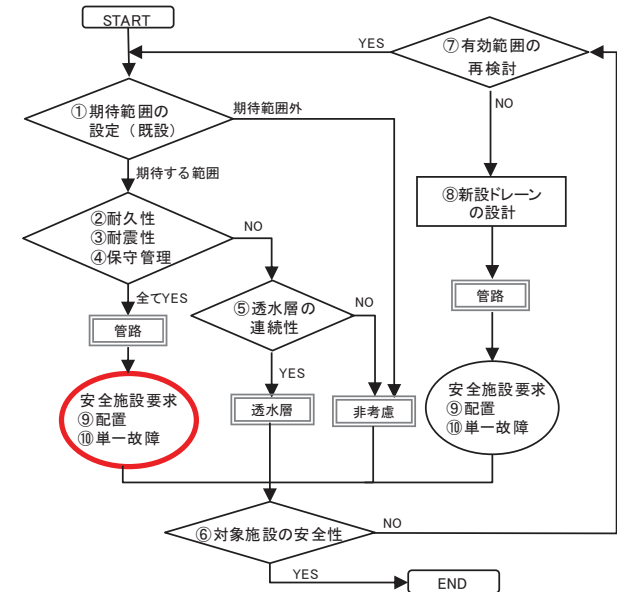
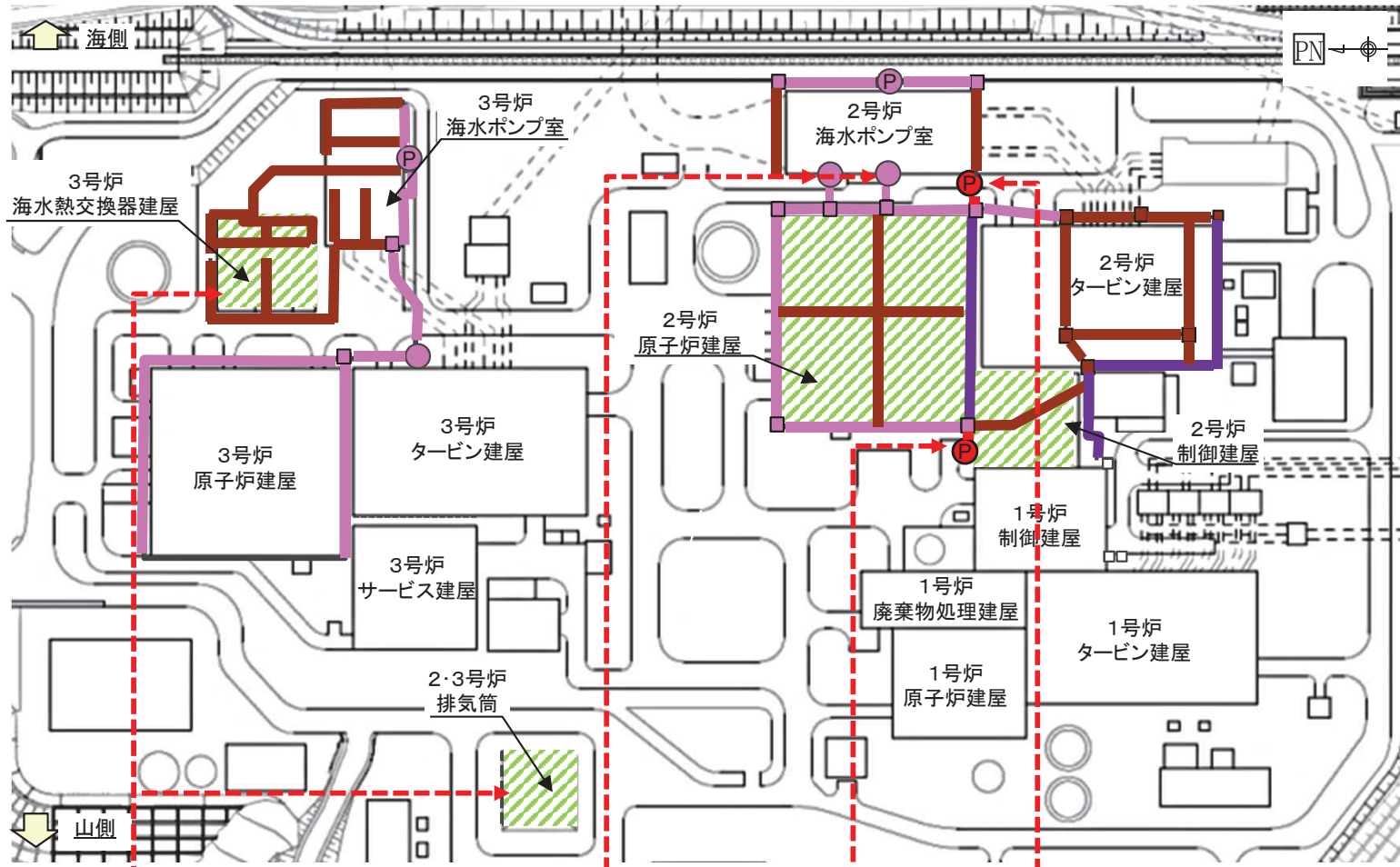
注1) Step①で必要な範囲外と判定したドレーン是非表示としている。
注2) 「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する。

添付資料4 . ドレインの有効範囲設定の考え方と各プロセス

(2)ドレインの有効範囲設定例 (Step⑨・⑩:安全施設要求の検討)

- 揚圧力(第4条)影響に関する安全施設要求の観点から, 2号炉原子炉建屋において, 揚水井戸の新設が必要と整理される。

Step⑨・⑩:安全施設要求の観点



集水機能の信頼性の詳細検討フロー

安全施設要求の観点

- (A-1)管路 (Pink line)
- (B-1)透水層 (Brown line)
- (B-2)透水層 (Purple line)
- 接続樹 (Square symbol)
- 揚水井戸 (Circle symbol)

期待するドレイン範囲(既設)

- (A-2)管路 (Red dashed line)
- 揚水井戸 (Red circle)

期待するドレイン範囲(新設)

- (A-2)管路 (Red dashed line)
- 揚水井戸 (Red circle)

注1) C-1, C-2に整理されたドレインは記載していない
 注2) 新設する範囲のドレインは管路としての要件を満たす設計とする。

凡例

- /// : 対象施設(揚圧力影響)

対象施設周辺に管路と評価できるドレインがないため, 次Step以降で有効範囲の再検討, 新設の検討を行う。

揚水井戸の新設により, 期待しない揚水井戸

ドレインの単一故障に配慮し, 新設する揚水井戸

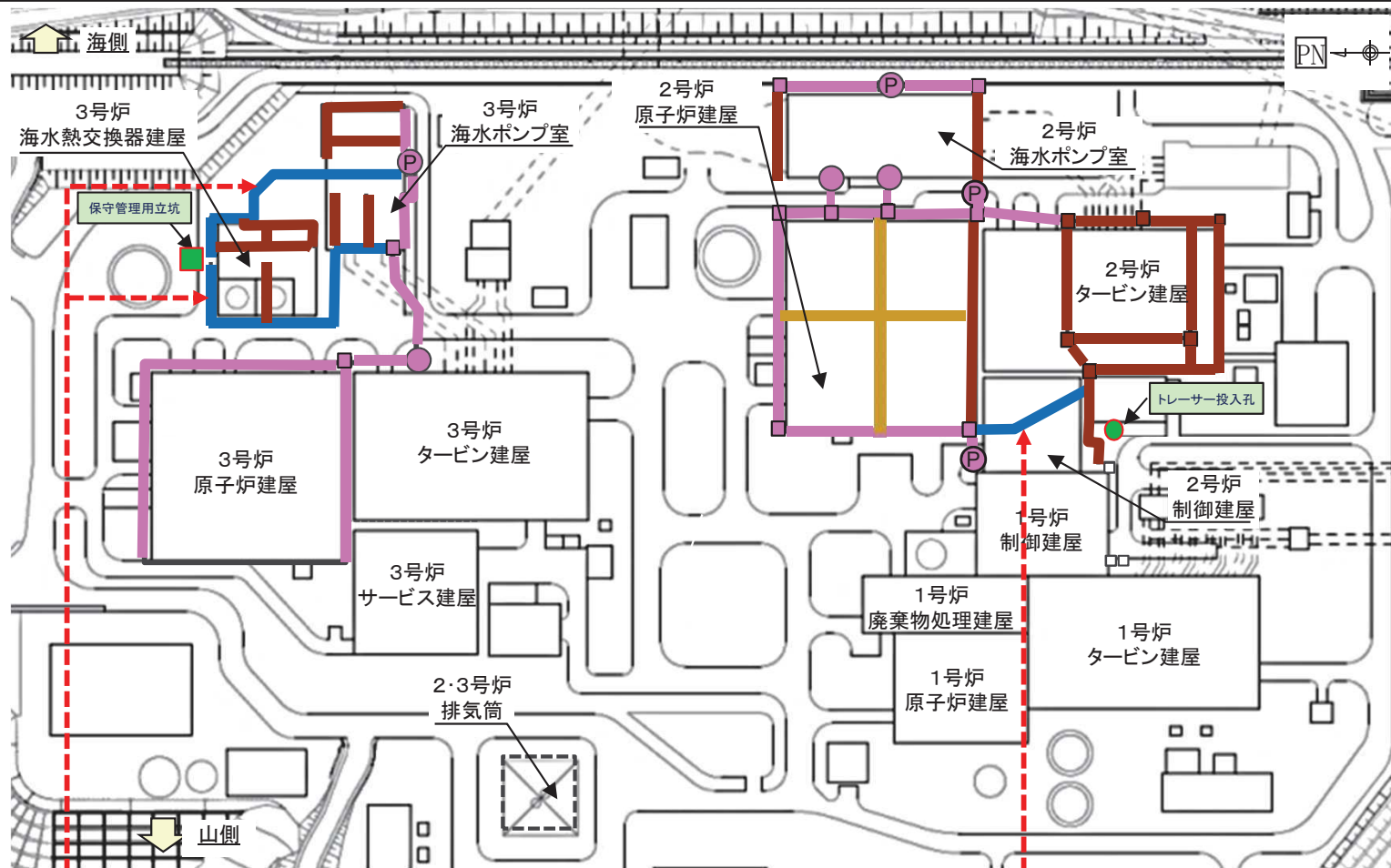
揚水ポンプの単一故障に配慮し, 新設する揚水井戸

注3) 「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する

(2) ドレーンの有効範囲設定例 (Step⑦: 有効範囲の再検討での整理)

- 「⑦ 有効範囲の再検討」において、対象施設の安全性を満足できない範囲について、保守管理立坑等の追加により保守管理範囲の拡大し、ドレーンの有効範囲の再検討を行う。下図は、3号炉海水熱交換器建屋および2号炉制御建屋について、有効範囲の拡大を目的として、保守管理立坑等を追加した例であり、今後の点検実績の反映等により変更の可能性がある。

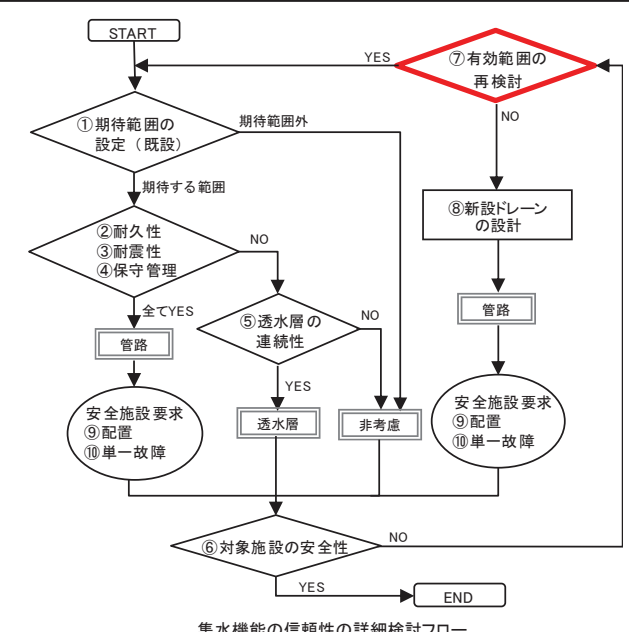
Step⑦: 有効範囲の再検討での整理



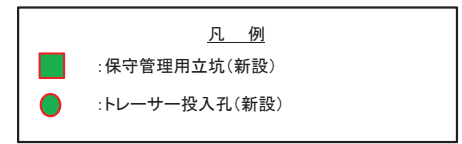
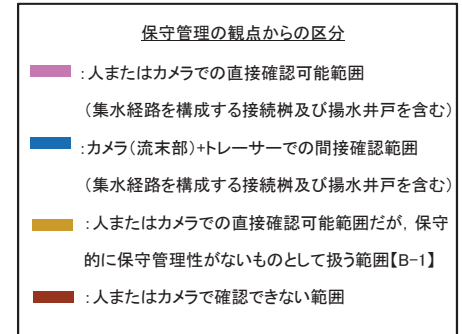
保守管理用立坑からトレーサー試験による間接確認[A-1]

トレーサー投入孔からトレーサー試験による間接確認[A-1]

- 注1) Step①で必要な範囲外と判定したドレーンは非表示としている。
- 注2) 保守管理用立坑・トレーサー投入孔は現時点の計画であり、区分を含め、今後変更の可能性がある。
- 注3) 「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する。



集水機能の信頼性の詳細検討フロー

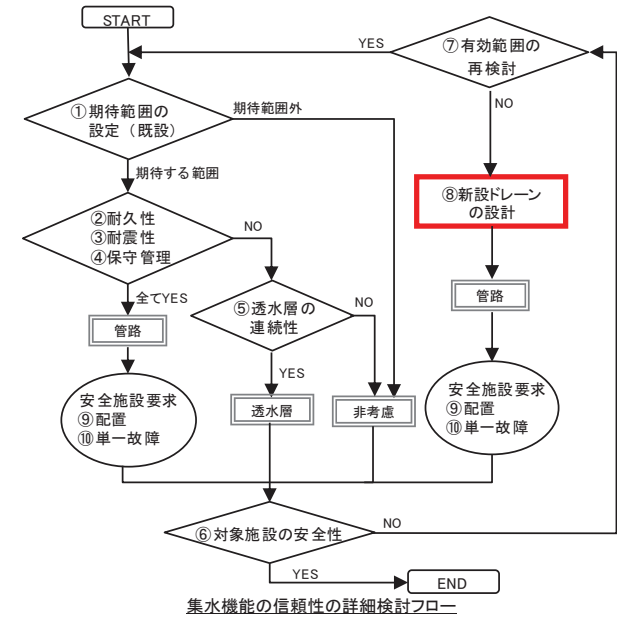
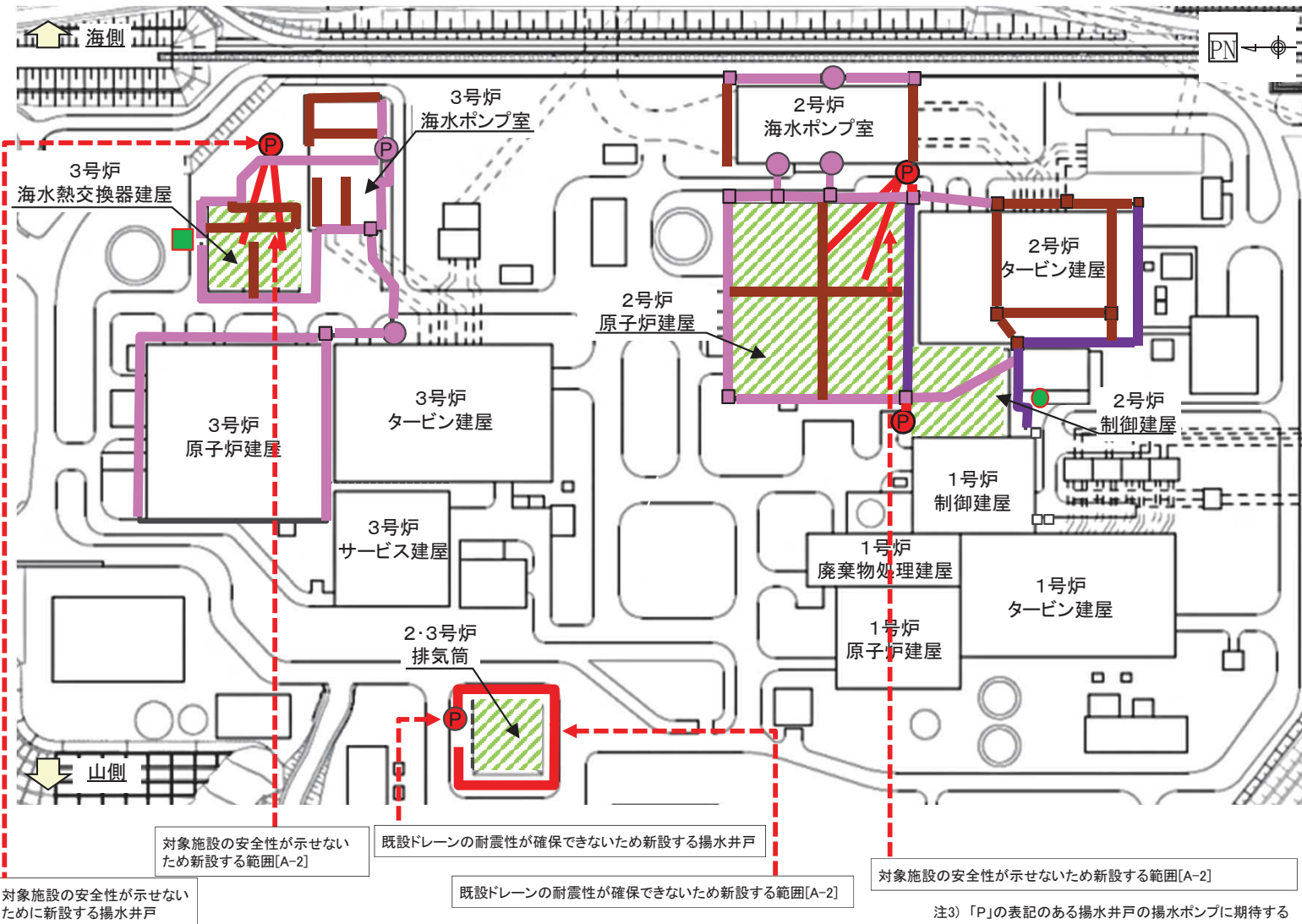


添付資料4 . ドレインの有効範囲設定の考え方と各プロセス

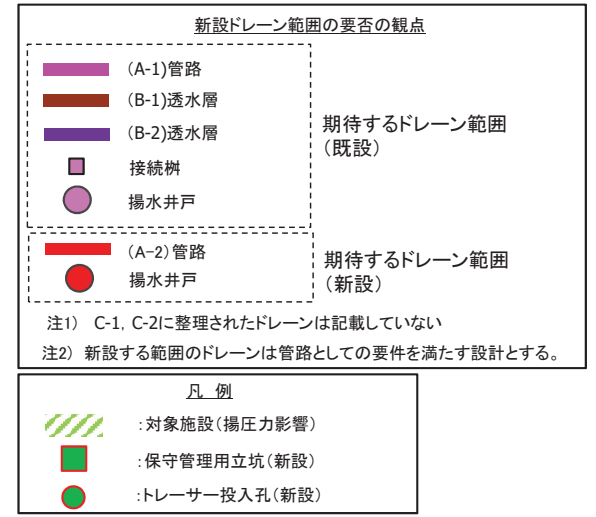
(2)ドレインの有効範囲設定例 (Step⑧:新設ドレインの検討)

- 「⑧新設ドレインの要否」の観点から, 対象施設近傍の既設ドレインに期待できない排気筒周辺や, 対象施設直下の既設ドレインに期待できない2号炉原子炉建屋や3号炉熱交換器建屋において, 新設が必要と整理される。

Step⑧:新設ドレイン要否の観点



集水機能の信頼性の詳細検討フロー



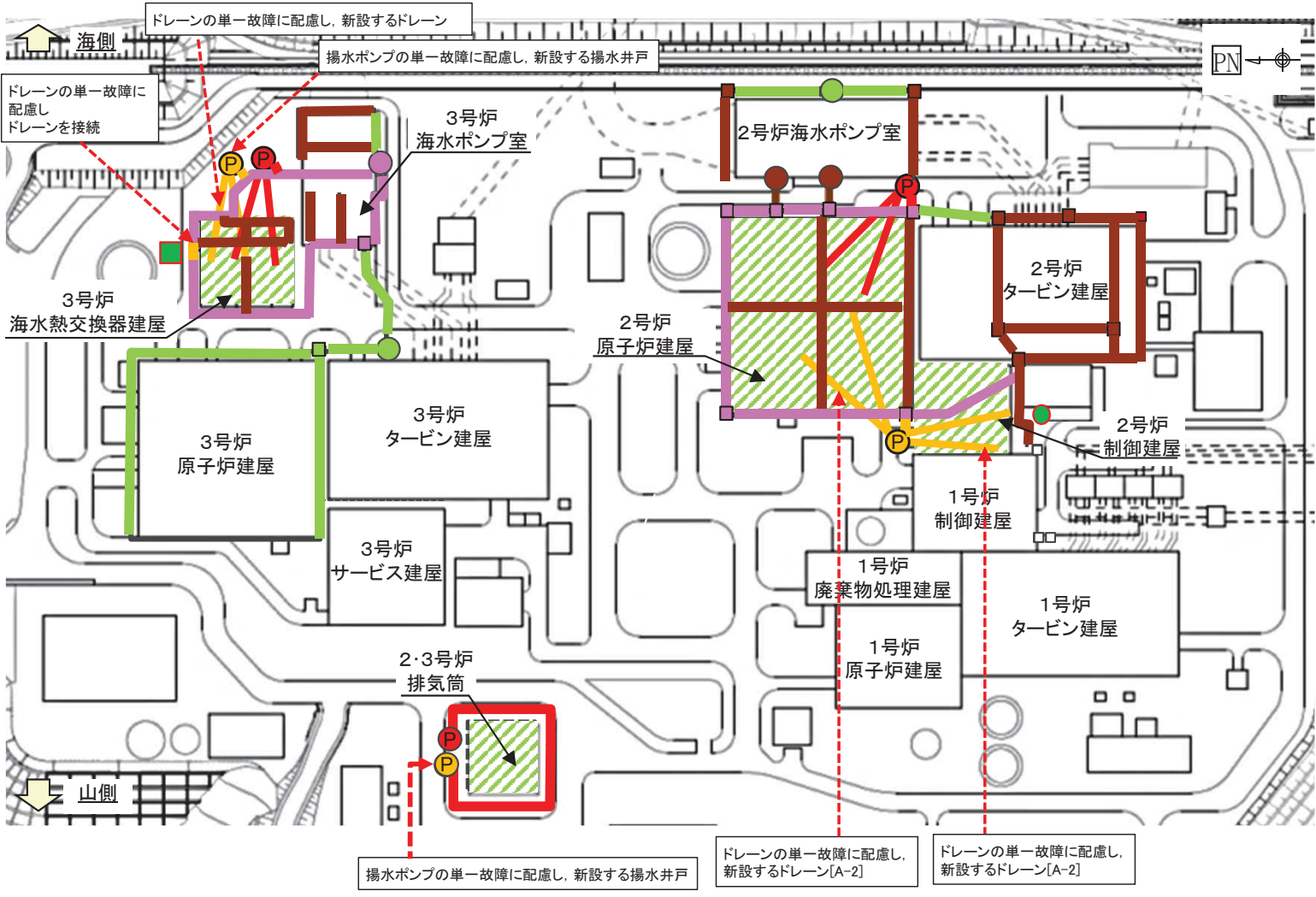
注3) 「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する

添付資料4 . ドレインの有効範囲設定の考え方と各プロセス

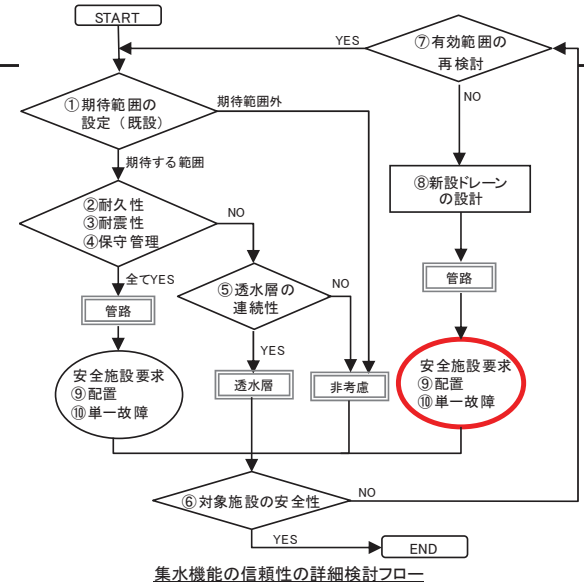
(2)ドレインの有効範囲設定例 (Step⑨・⑩:設置許可基準規則第12条要求事項の観点からの整理)

- 下図は前頁まで整理したドレイン範囲のうち、安全施設の要求性能の確保の見通しのある範囲の整理結果である。
- 安全施設の要求性能の確保にあたっては、5章に示すよう短期・長期の単一故障を想定し多重性又は多様性及び独立性を確保するため、揚水ポンプの多重化やドレイン・揚水井戸の配置上の配慮が必要となる。

Step⑨・⑩:安全施設要求性能確保の見通しの観点での整理



注)「P」の表記は安全施設の要求事項確保見通しがある範囲の揚水ポンプを配置した揚水井戸



凡 例

- 対象施設(揚圧力影響)
- 揚水井戸(既設で4条(・第3条2項)適合上必要な範囲)※
- 揚水井戸(新設で4条(・第3条2項)適合上必要な範囲)
- 揚水井戸(新設で第12条適合上必要な範囲)
- ドレイン(既設で4条(・第3条2項)適合上必要な範囲)
- ドレイン(新設で4条(・第3条2項)適合上必要な範囲)
- ドレイン・接続樹(新設で第12条適合上必要な範囲)

【透水層で評価する範囲】

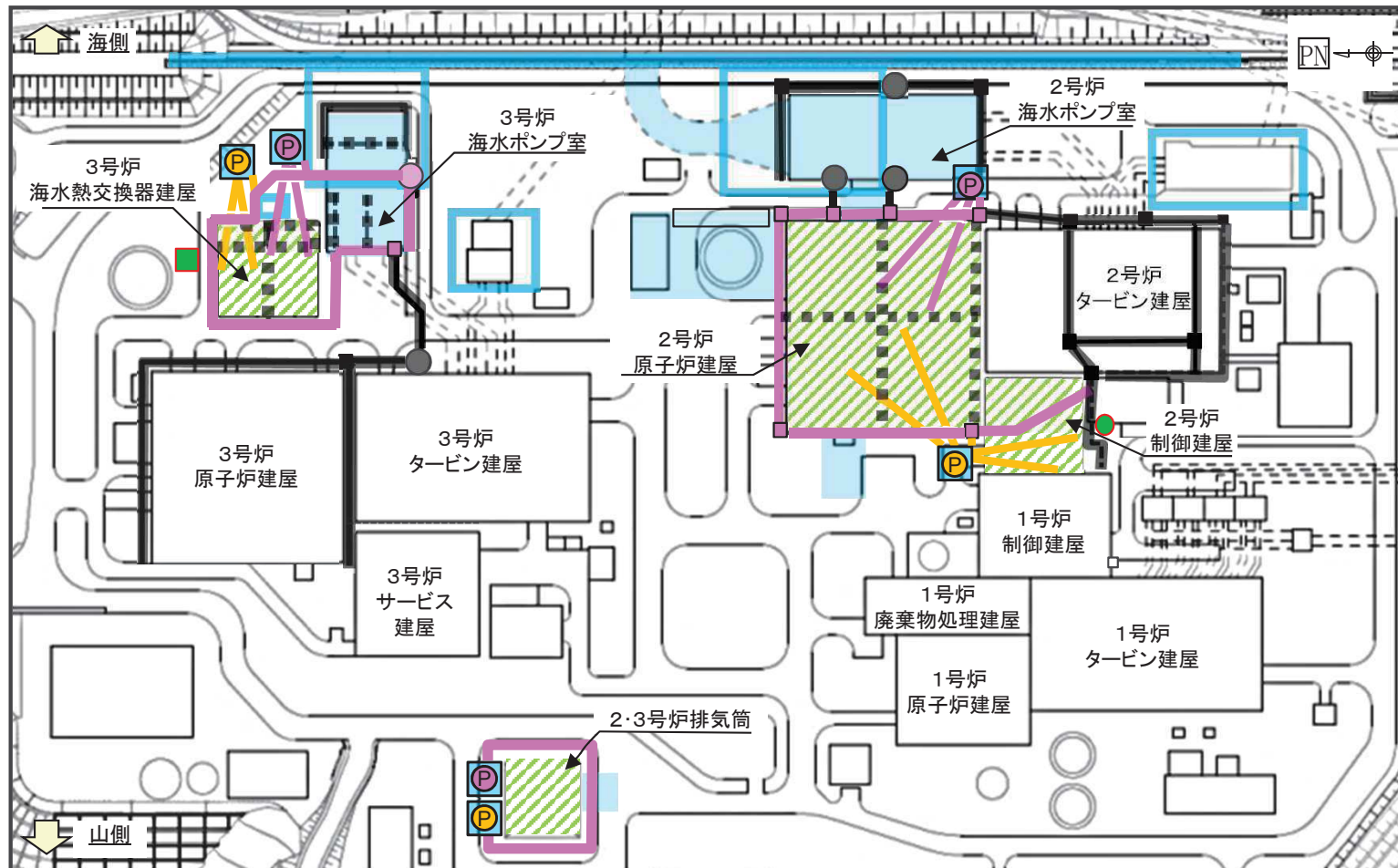
- ドレイン・接続樹(第12条適合の観点で透水層として評価する範囲)
- ドレイン・接続樹(耐震性・保守管理性の観点で透水層として評価する範囲)
- 揚水井戸(第12条適合の観点で透水層として評価する範囲)
- 揚水井戸(耐震性・保守管理性の観点で透水層として評価する範囲)
- 保守管理用立坑(新設)
- トレーサー投入孔(新設)

※ 接続樹としての機能のみ期待する。

(2)ドレーンの有効範囲設定例 まとめ

- 下図は前頁までに整理したドレーンの有効範囲の設定例をまとめたものであり、設置許可基準規則第4条(・第3条2項)及び第12条の要求を考慮した設備構成例である。
- 揚圧力影響(設置許可基準規則4条)に着目した対象施設(2号炉原子炉建屋, 2号炉制御建屋, 2・3号炉排気筒, 3号炉海水熱交換器建屋)に対し、条文適合上必要な集・排水機能の範囲は、設計値保持のため必要な範囲(■)と、設置許可基準規則第12条の要求に対応する範囲(■)にて構成される。なお、ドレーンとしての集水機能が期待できるものの、第12条適合の観点から管路より除外した範囲については、透水層(■)として取扱う。

有効範囲の設定例のまとめ



凡 例

- 対象施設(揚圧力影響)
- 対象施設(液状化影響)
- 【設計値保持上の必要範囲】(第4条(・第3条2項))
 - 揚水井戸・揚水ポンプ
 - ドレーン・接続樹
- 【第12条適合上の必要範囲】
 - 揚水井戸・揚水ポンプ
 - ドレーン
- ドレーン・接続樹・揚水井戸(集排水機能が期待できるものの第12条適合の観点から管路より除外した範囲)
- 建屋直下等の既設塩ビ管は閉塞を前提
- 保守管理用立坑※
- トレーサー投入孔※

※保守管理用立坑及びトレーサー投入孔は、設計値保持上考慮する管路の保守管理に用いる設備であり、集・排水機能を直接担う設備ではない。

添付資料5

各審査段階における提示内容

- 設計用地下水位・揚圧力の設定について、各審査段階における提示内容を示す。

添付5-1表 各審査段階における提示内容(設計用地下水位の設定関連)

分類	細目		提示内容		
			設置許可段階	工認段階以降 ※は工認認可後のプロセスを示す	
設計用 地下水位の 設定	水位評価用モデル作成、再現解析による検証		<ul style="list-style-type: none"> 保守性を確保する方針(地盤の透水性、ドレーンの有効範囲、透水係数) 観測記録との比較により浸透流解析モデル全体の保守性を確認する方針 	<ul style="list-style-type: none"> 解析モデルの妥当性に係る確認結果 	
	機能喪失時の影響確認		<ul style="list-style-type: none"> 再現解析により検証されたモデルに防潮堤沈下対策工を組み込んだモデルにおいて地下水位低下設備による水位保持機能が期待できない場合の地下水位を評価し、対象施設へ与える影響(常時・地震時)を評価した上で、地下水位低下設備の設置許可基準規則への適合上における位置付けを整理する方針 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備による水位保持機能が期待できない場合の地下水位評価結果 	
	地下水位低下設備の考慮 (信頼性が確保された範囲)	構成部位の設計方針	(次頁にて詳述)		(次頁にて詳述)
		ドレーンの有効範囲	<ul style="list-style-type: none"> ドレーンの浸透流解析上の取扱いは、添付資料4に示す集水機能の信頼性の検討フローに基づき、信頼性(耐久性、耐震性、保守管理性)並びに多重性又は多様性及び独立性の観点から設定する方針 ドレーンの有効範囲は、揚圧力影響(設置許可基準規則4条)の観点から設定し、液状化影響(設置許可基準規則3条2項)の評価においても同範囲を適用する方針 	<ul style="list-style-type: none"> 集水機能の信頼性の検討フローに基づくドレーンの有効範囲の設定結果 	
	設計用揚圧力及び設計用地下水位の設定		<ul style="list-style-type: none"> 再現解析により検証された水位評価用モデルを用いて、信頼性が確保された範囲で地下水位低下設備を考慮し、設計用揚圧力及び設計用地下水位を設定する方針 設置許可段階での設計用地下水位は、揚圧力影響に対しては、建設時工認での設定値を目安とした設計用揚圧力にて対象施設の評価を行う方針とし、設計値保持のために必要な地下水位低下設備側での対策を行う方針(地下水位低下設備構成の検討は5章にて詳述) 液状化影響に対しては、2号炉原子炉建屋等の設計用揚圧力保持のため設定した地下水位低下設備の配置に基づき設計用地下水位を設定するとともに、必要に応じて対策(地盤改良等)を行う方針 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析により得られた地下水位分布及び対象施設における設計用揚圧力・設計用地下水位の算定結果 設置許可段階より変更が生じる場合には、対象施設の安全性への影響評価結果及び安全確保のための対策内容(必要時) 	
観測による検証		<ul style="list-style-type: none"> 地下水位観測データの観測計画及びその観測結果を用いて設計用地下水位の検証を行う方針 	<ul style="list-style-type: none"> 取得した観測結果に基づく検証結果 ※ さらに、防潮堤沈下対策後の観測結果に基づく設計用地下水位の検証結果		

- 設計について、各審査段階における提示内容を示す。

添付5-2表 各審査段階における提示内容(設計関連)

分類	機能・構成部位		提示内容		備考
			設置許可段階	工認段階	
設計	集水機能	ドレーン・接続樹	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性確保の方針 <ul style="list-style-type: none"> Ss機能維持(解析により地下水の集水機能を維持する設計とする※) 保守的な雨水流入を考慮 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 保守管理性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性に係る詳細評価結果 詳細評価を踏まえた構造概要 集水能力の十分性(保守性を確保した浸透流解析による湧水量評価結果を参照) 	
	支持・閉塞防止機能	揚水井戸	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性確保の方針 <ul style="list-style-type: none"> Ss機能維持(解析により揚水ポンプ及び配管の支持機能並びに閉塞防止機能を維持する設計とする) 可搬型設備による機動的な対応を考慮した構造上の配慮 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性に係る詳細評価結果 詳細評価を踏まえた構造概要 	
	排水機能	揚水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性確保の方針 <ul style="list-style-type: none"> Ss機能維持(解析・加振試験により地下水の排水機能を維持する設計とする。また、支持金物は揚水ポンプの支持機能を維持する設計とする) 多重化 保守的な雨水流入を考慮 外部ハザード考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性に係る詳細評価結果 詳細評価を踏まえた構造概要 排水能力の十分性(保守性を確保した浸透流解析による湧水量評価結果を参照) 	支持金物を含む
		配管	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性確保の方針 <ul style="list-style-type: none"> Ss機能維持(解析により揚水ポンプで汲み上げた地下水の排水経路を維持する設計とする) 多重化 保守的な雨水流入を考慮 外部ハザード考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性に係る詳細評価結果 詳細評価を踏まえた構造概要 排水能力の十分性(保守性を確保した浸透流解析による湧水量評価結果を参照) 	支持金物を含む
	監視・制御機能	制御盤	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性確保の方針 <ul style="list-style-type: none"> Ss機能維持(解析・加振試験により揚水ポンプの制御機能を維持する設計とする) 多重化 制御、監視の系統の多重化 外部ハザード考慮 内部事象に起因する共通要因故障に配慮 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性に係る詳細評価結果 詳細評価を踏まえた構造概要 	
		水位計	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性確保の方針 <ul style="list-style-type: none"> Ss機能維持(解析・加振試験により揚水井戸内に継続的に流入する地下水位監視機能、揚水ポンプの起動停止の制御機能を維持する設計とする。また、支持金物は水位計の支持機能を維持する設計とする。) 多重化 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性に係る詳細評価結果 詳細評価を踏まえた構造概要 	支持金物を含む
	電源機能	電源	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性確保の方針 <ul style="list-style-type: none"> 多重化 非常用電源(非常用DG)に接続 非常用DG喪失時の配慮(常設代替交流電源に接続) 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細評価を踏まえた構造概要 	

※ 許容限界

- 有孔ヒューム管は、Ss地震時の発生断面力が許容値(ひび割れモーメント)を下回ることを確認する(下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版-)による)。
- 接続樹は、発生応力度がコンクリートおよび鉄筋の許容応力度を下回ることを確認する(コンクリート標準示方書[構造性能照査編](2002)による)。
- 岩盤と躯体に囲まれた範囲に設置されることから、Ss地震時に管の設置空間が保持されること(岩盤がせん断破壊しないこと)を確認する。

添付資料5 各審査段階における提示内容

(3)運用・保守管理に係る事項

- 運用管理・保守管理について、各審査段階における提示内容を示す。

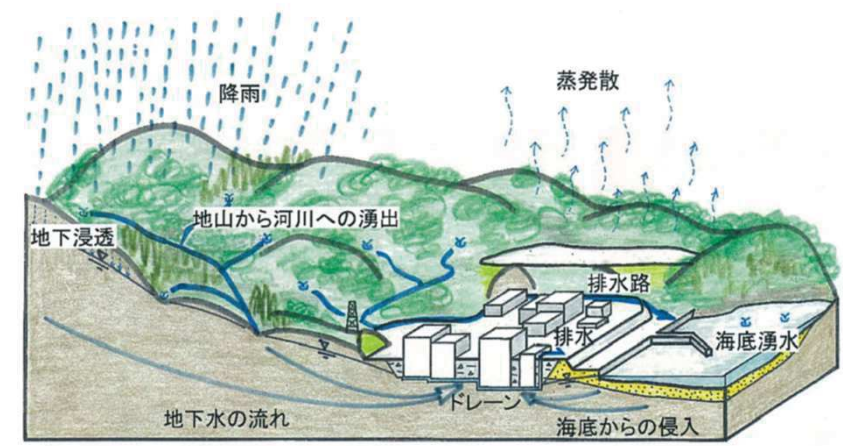
添付5-3表 各審査段階における提示内容(運用管理・保守管理関連)

分類	細目	提示内容		
		設置許可段階	工認段階	工認認可後 (使用前検査・保安検査)
運用 管理 ・ 保守 管理	運用管理	<ul style="list-style-type: none"> 運転上の制限等を定める方針 必要な手順を整備する方針 	—	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉施設保安規定において運転上の制限を設定 原子炉施設保安規定に関連付けた社内規定類に運用に係る体制、確認事項・対応等を整備し、これに基づく管理の実施
	保守管理	<ul style="list-style-type: none"> 予防保全対象として管理する方針 予備品を確保する方針 	—	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉施設保安規定に関連付けた社内規定類に保守管理方法を定め、予防保全対象として管理

補足説明資料1 敷地の水文環境

補足説明資料1 敷地の水文環境

- 敷地は、北東側が海に面し、その他は山地に囲まれている。山地の尾根は北東-南西～北北東-南南西方向に延び、それらの尾根に沿って小規模な沢が発達し、沢沿いには小規模な低地が分布している。敷地の一部は、この小規模な低地となっている。
- 山側に降った雨は、蒸発分を除き、表面水として敷地へ流入するものと盛土や岩盤内に浸透し地下水として敷地に流入するものに分かれる。
- 表面水は排水路を通じて海へ排水される。
- また、地下水は主要建屋周辺に設置した地下水位低下設備により集水後、排水路へ排水される。




敷地の水文環境のイメージ



凡例
 小河川・沢
 尾根筋
 谷底・沖積低地

発電所建設前の空中写真(1975年撮影)
 (CTO-75-26 C28 17~19)に東北電力が加筆
 出典:国土画像情報(カラー空中写真)国土交通省

発電所周辺の空中写真(2011年撮影)
 (CTO20117 C28 23) 出典:国土地理院

 主な地表水の流れ

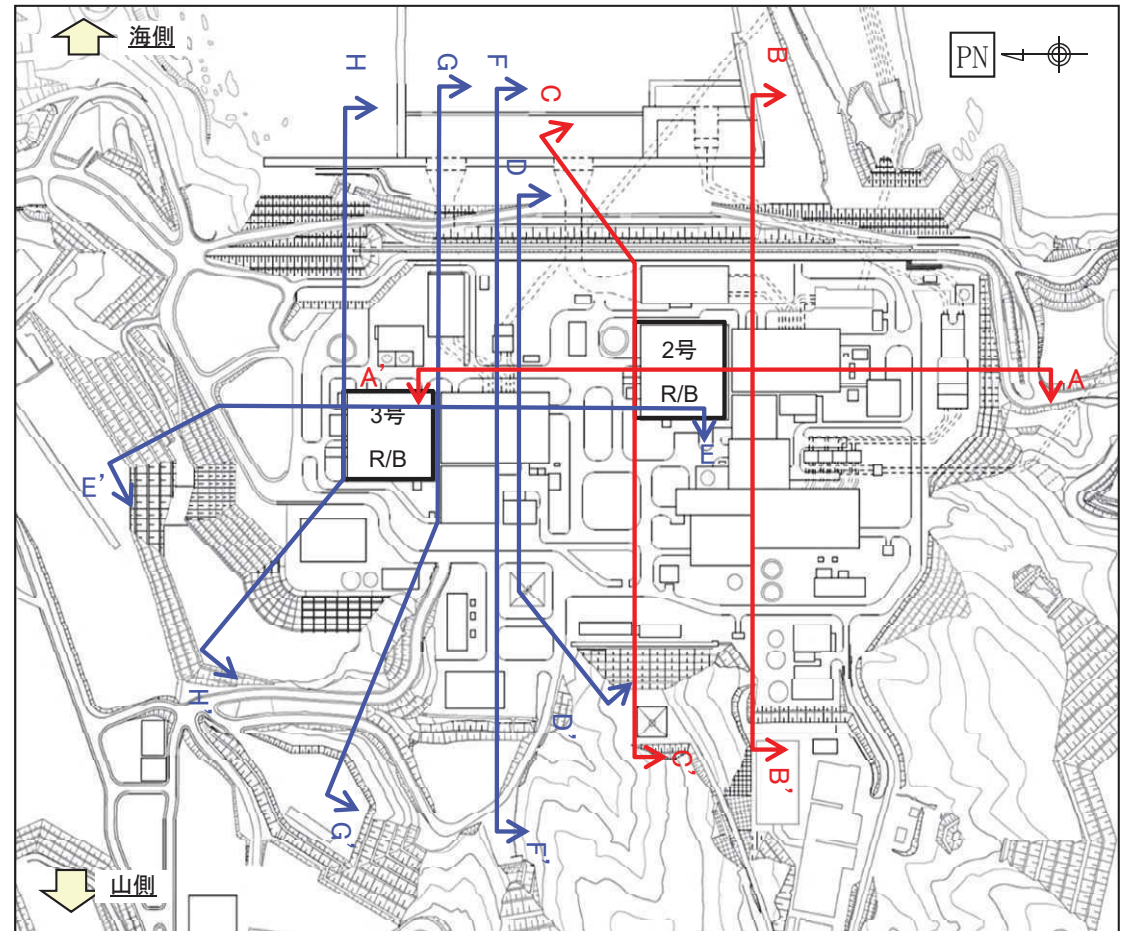


補足説明資料2

建設時工認段階の浸透流解析結果

(1)解析の目的

- 2号炉, 3号炉工認時において, 以下の内容を把握するため, 浸透流解析を実施している。
 - 地下水水位低下設備の設計に使用する湧水量
 - 建屋の設計に使用する揚圧力
 - 地下水水位状況
- 2号炉及び3号炉建設時において, 地下水は海山方向の流れが支配的であることから, 海山方向(右図の上下方向)の断面を主とした有限要素法による二次元定常解析としている。

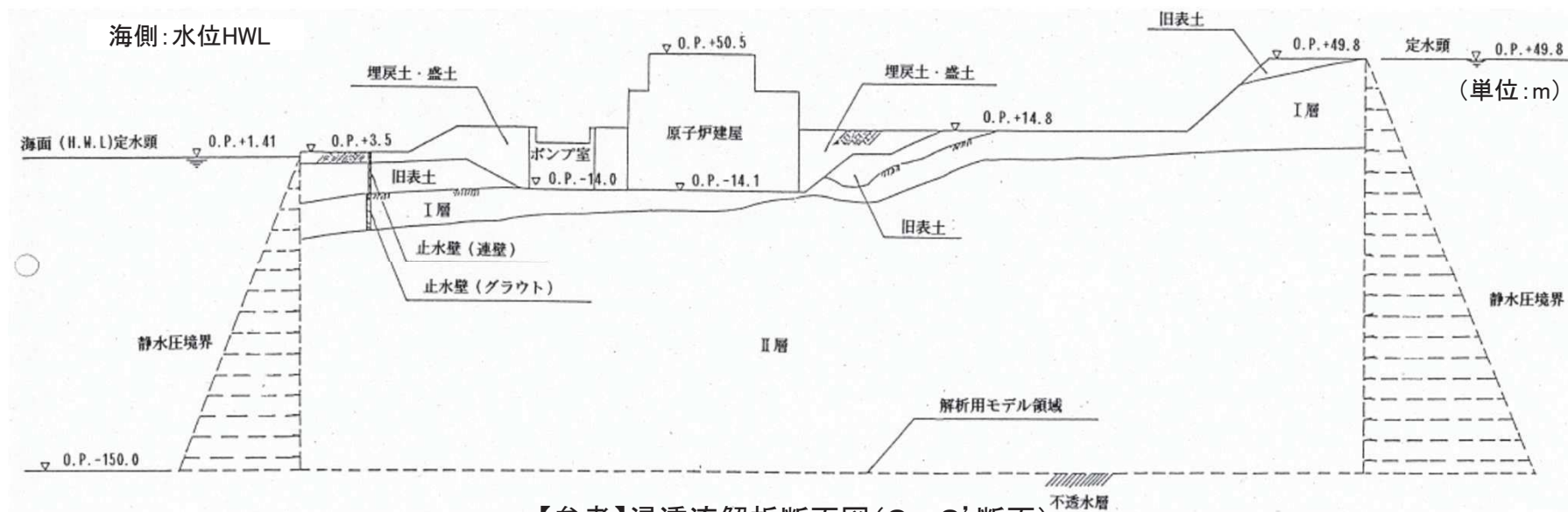


凡例	
—	: 解析断面(2号炉工認時)
—	: 解析断面(3号炉工認時)

浸透流解析断面位置※

※: 2号炉及び3号炉工認時の浸透流解析断面は, 当時の地形にてモデル化しており, 現地形とは異なる。

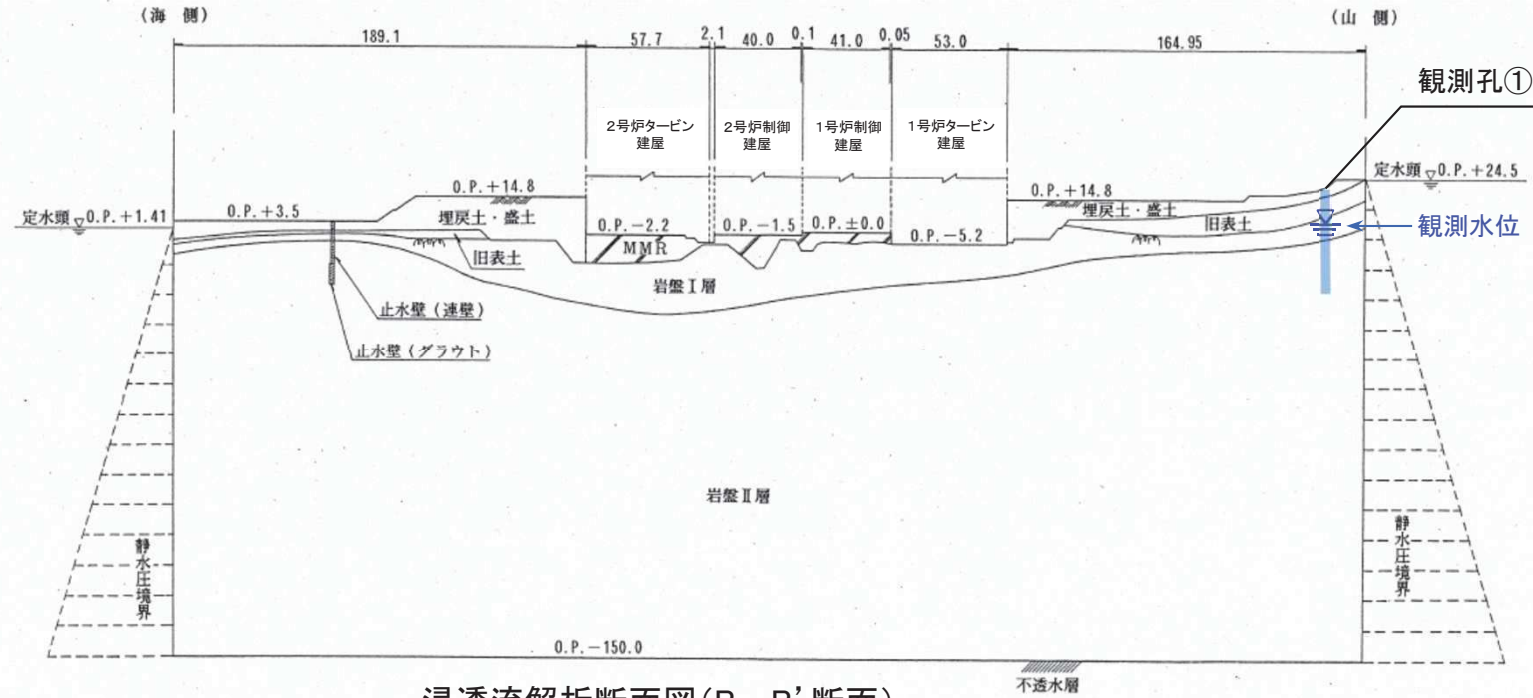
- 2号炉及び3号炉工認時(定常浸透流解析)の海側境界はH.W.L., 山側境界は地表面に水位を固定し, モデル下端は不透水境界として扱い, 側方境界には静水圧を作用させている。
- なお, 海側には建屋との間に地中連続壁が設置されており海水の流入を遮断する効果があるが, 保守的に考慮しない。



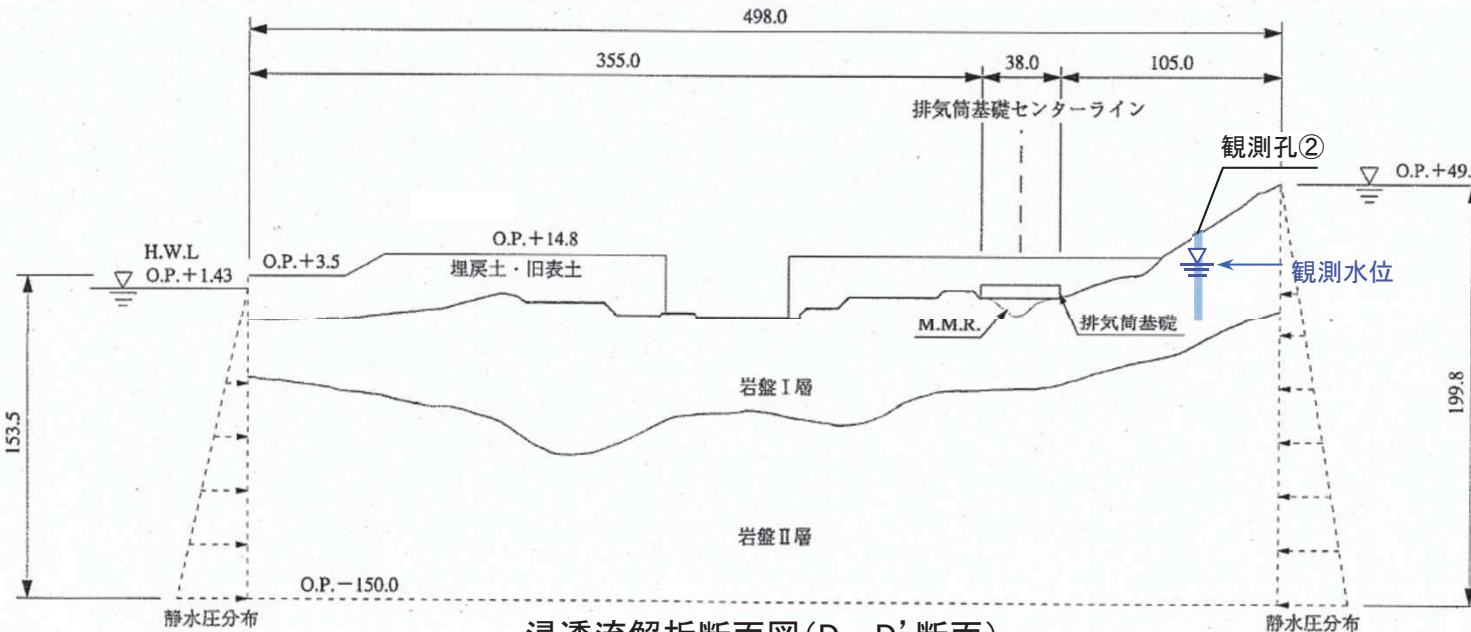
【参考】浸透流解析断面図(C-C'断面)

注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり, 現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

- B-B' 断面近傍の観測孔①及びD-D' 断面近傍の観測孔②における地下水位観測結果をそれぞれの断面に図示するとともに、右下の表に数値を示す。
- 観測された水位は、いずれも浸透流解析の境界条件(初期水位)より低い水位となっており、境界条件が保守的であることを確認した。



浸透流解析断面図(B-B' 断面)



浸透流解析断面図(D-D' 断面)

	観測水位	境界条件 (初期水位)
観測孔①	O.P.約+5.8m	O.P.約+15.1m (地表面)
観測孔②	O.P.約+11.5m※	O.P.約+25.0m (地表面)

※: 地殻変動による1mの沈降を考慮したものとなっており、補正した水位を記載

- ・ 浸透流解析に用いた透水係数を以下に示す。
- ・ 岩盤の透水係数は、2号炉及び3号炉工認時に実施した透水試験により設定した。
- ・ 盛土・旧表土の透水係数はCreagerの手法(地盤工学会:地盤工学ハンドブック)、MMRの透水係数は水セメント比と粗骨材の最大寸法(コンクリート工学ハンドブック)より設定した。

解析用物性値(2号炉工認時) (単位:m/s)

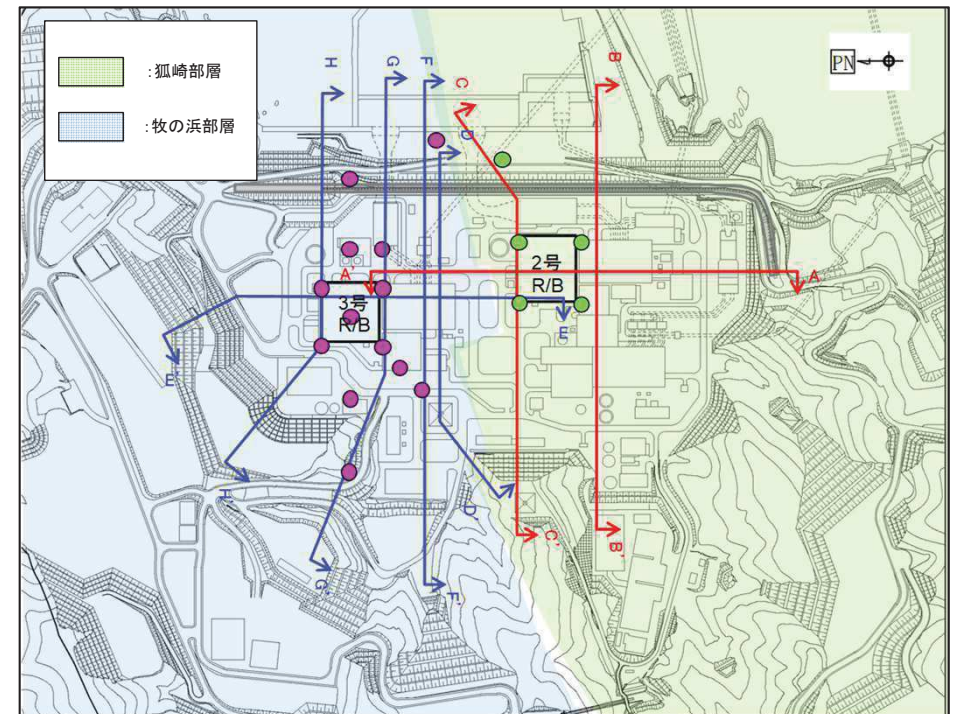
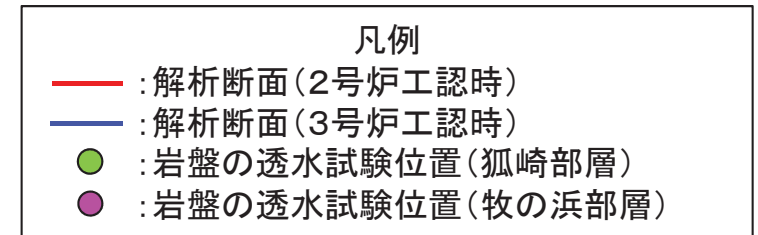
地層	盛土 ・旧表土	岩盤		MMR
		I層	II層	
透水係数	3.0×10^{-5}	7.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-11}

注)A-A'断面, B-B'断面及びC-C'断面に使用

解析用物性値(3号炉工認時) (単位:m/s)

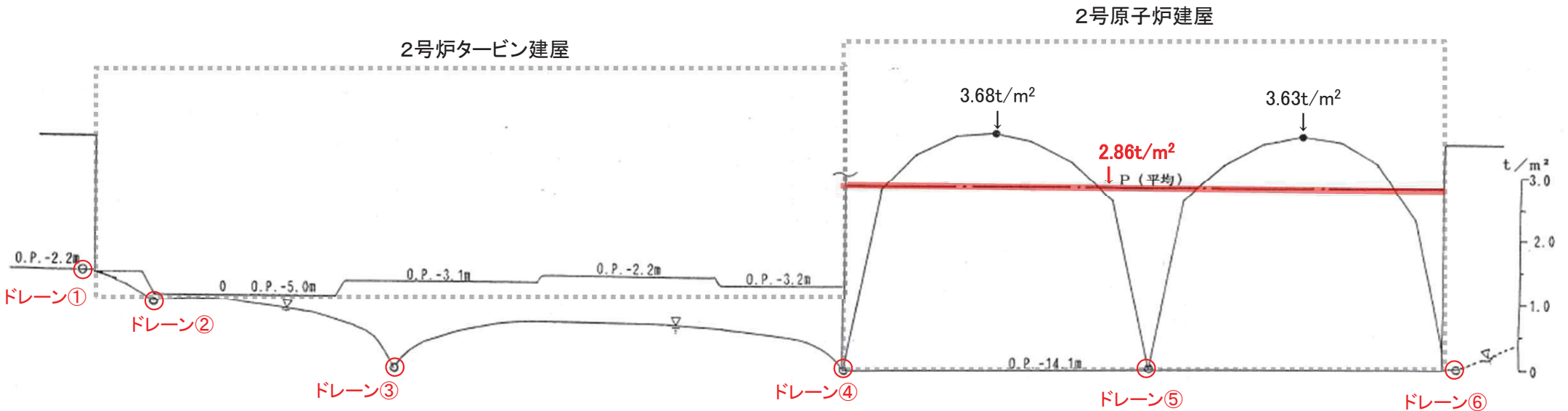
地層	盛土 ・旧表土	岩盤		MMR
		I層	II層	
透水係数	3.0×10^{-5}	2.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-11}

注)D-D'断面, E-E'断面, F-F'断面, G-G'断面及びH-H'断面に使用



岩盤の透水試験位置

- 各ドレーン位置での湧水量は右下の表のとおりであり、これらの湧水量から揚水ポンプの仕様やドレーン径を設計している。
- また、2号原子炉建屋及びタービン建屋にかかる揚圧力は、下図及び左下の表のとおりであり、いずれも設計値を下回っていることを確認している。



揚水圧分布図及び地下水面形(A-A'断面のうち建屋近傍)

※:解析時の報告書のため従来単位系で表示

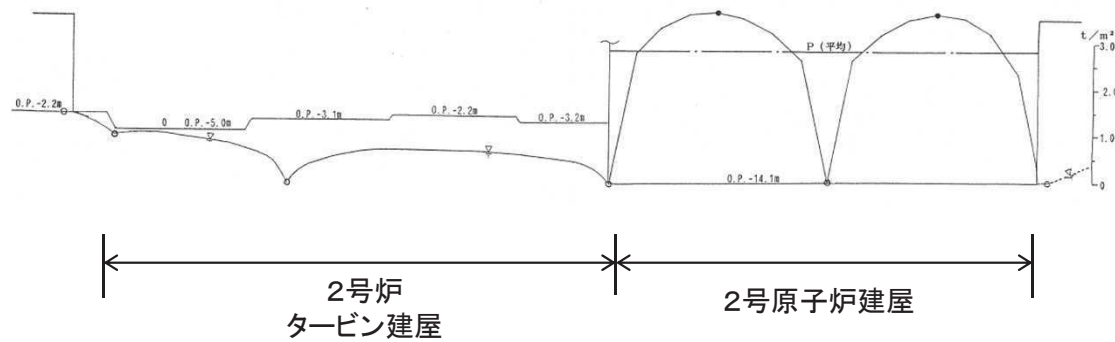
揚圧力(設計値及び解析結果)

建屋名称	揚圧力(t/m ²)	
	設計値	解析結果
2号原子炉建屋	3.0	2.86
2号炉タービン建屋	0	0

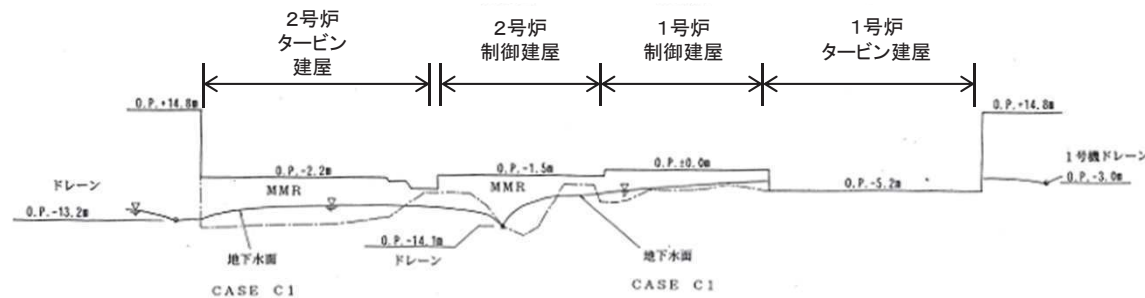
各ドレーンの湧水量(l/min/m)

	①	②	③	④	⑤	⑥
湧水量	0.0315	0.1182	0.2897	0.1730	0.1499	1.1772

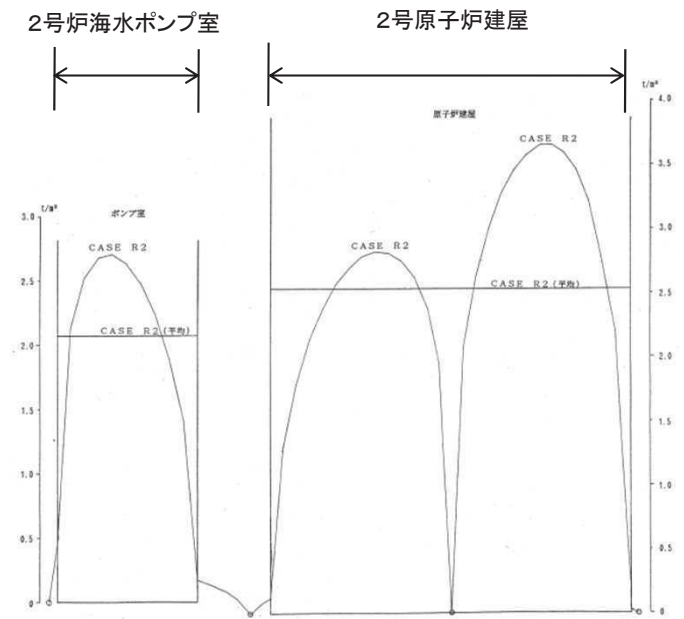
- 2号炉主要建屋における揚圧力の解析結果を以下に示す。



A-A' 断面



B-B' 断面

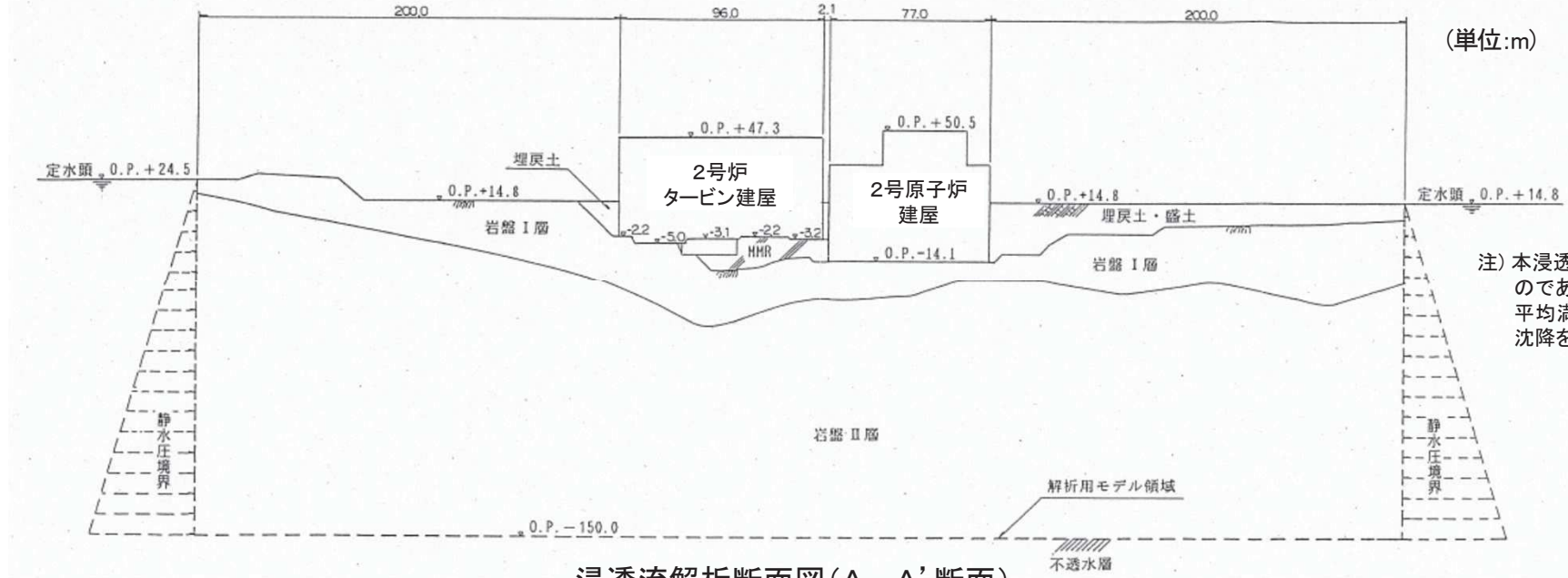


C-C' 断面

※:解析時の報告書のため従来単位系で表示

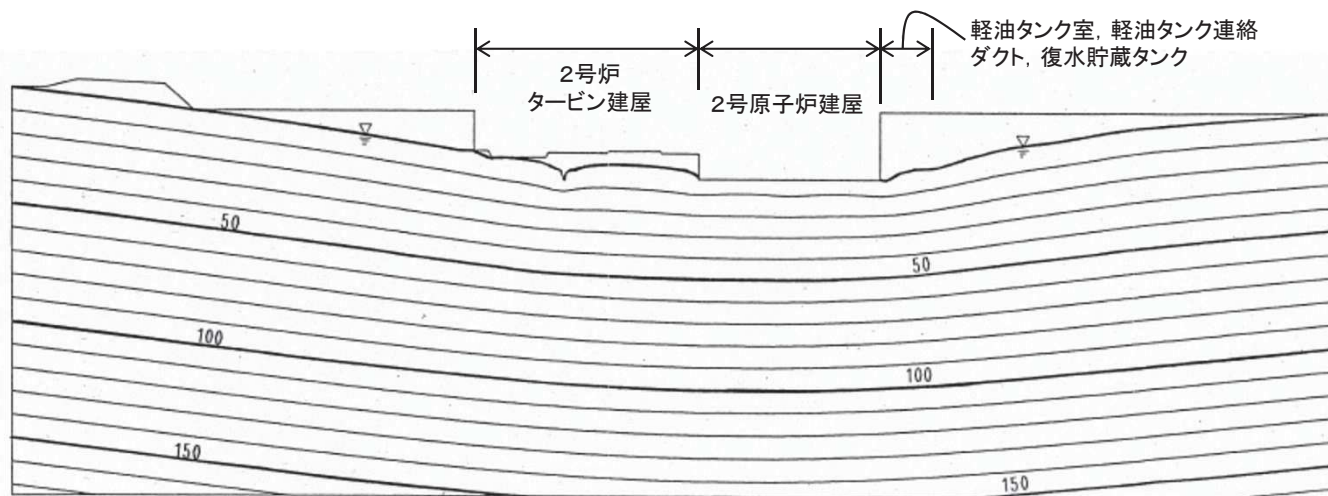
揚圧力分布図及び地下水面形

- 解析断面とその結果(A-A'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している2号原子炉建屋及び2号炉タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下している。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

浸透流解析断面図(A-A'断面)

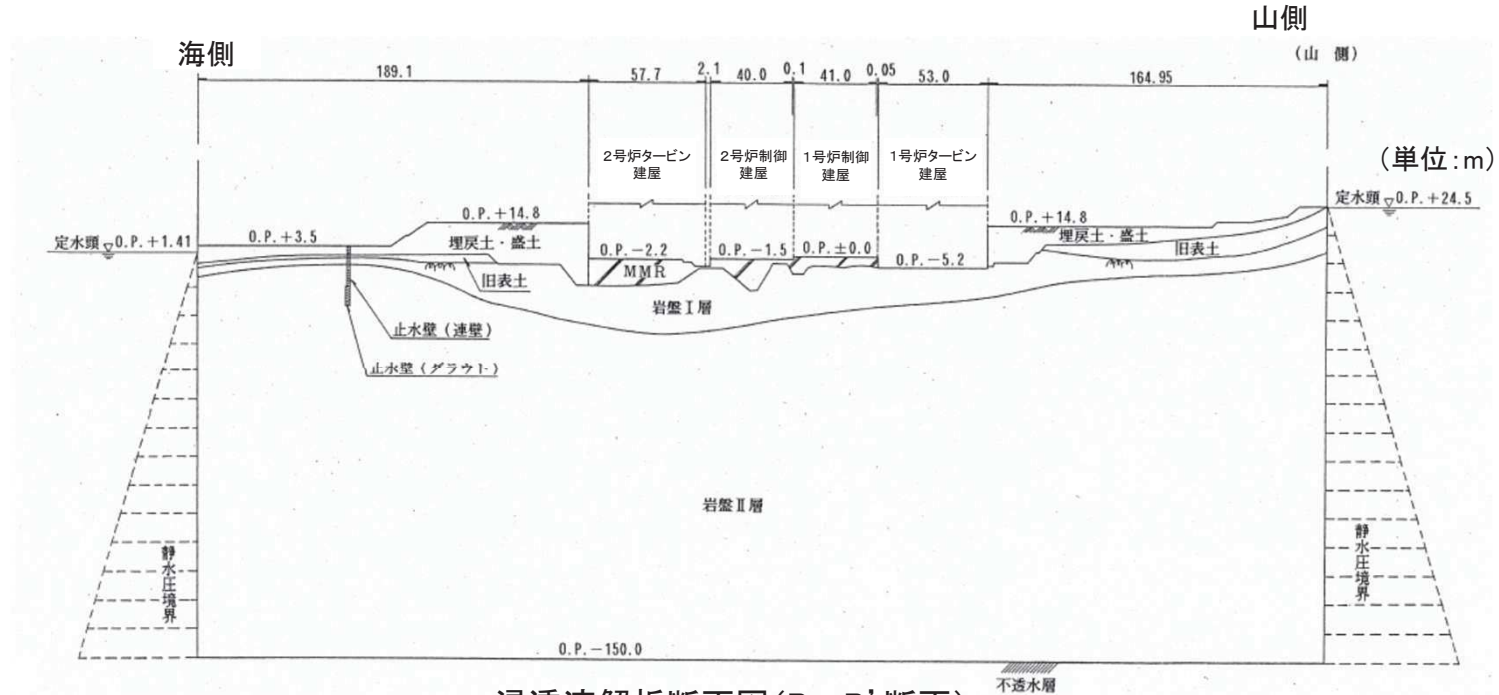


※: 解析時の報告書のため従来単位系で表示

間隙水圧分布(A-A'断面)

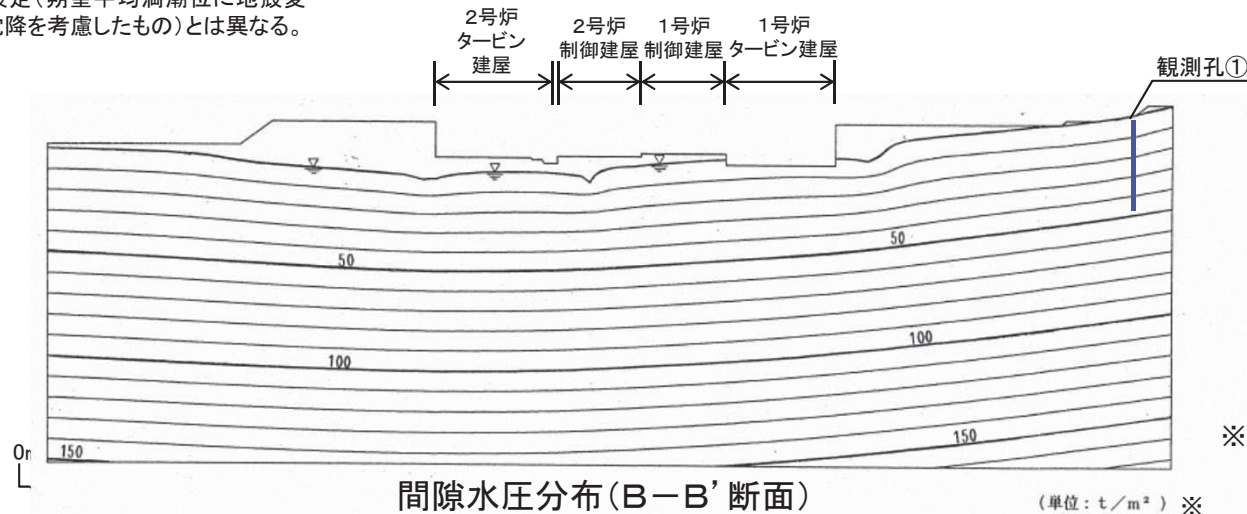
(単位: t/m²) ※

- 解析断面とその結果(B-B'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している各主要建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

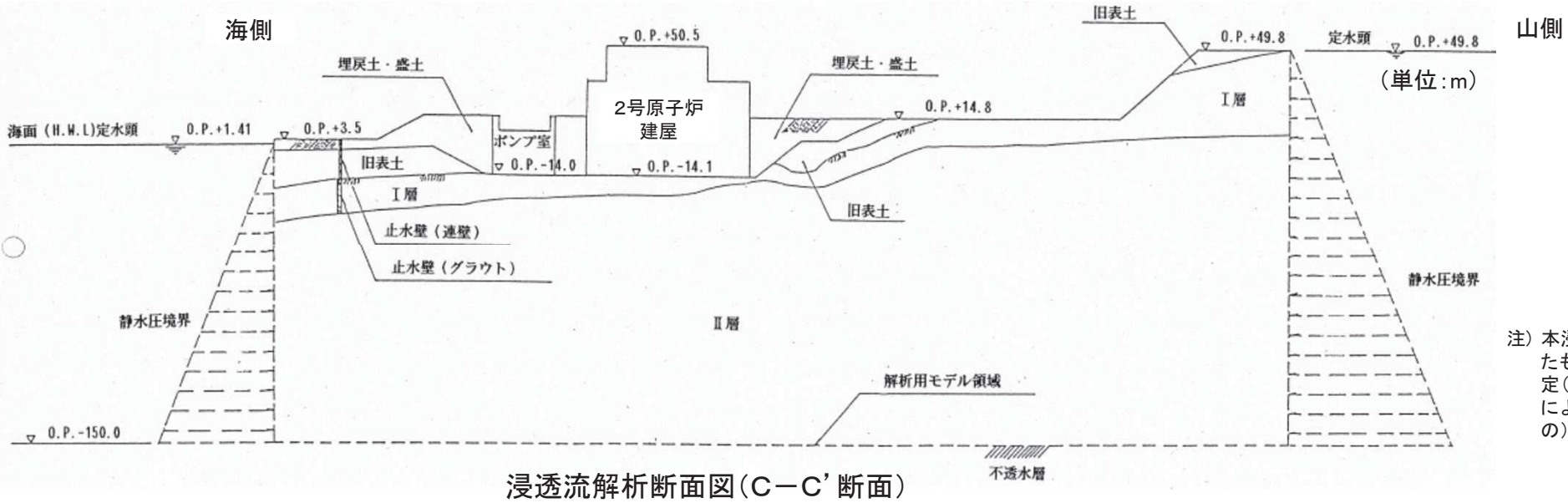
浸透流解析断面図(B-B'断面)



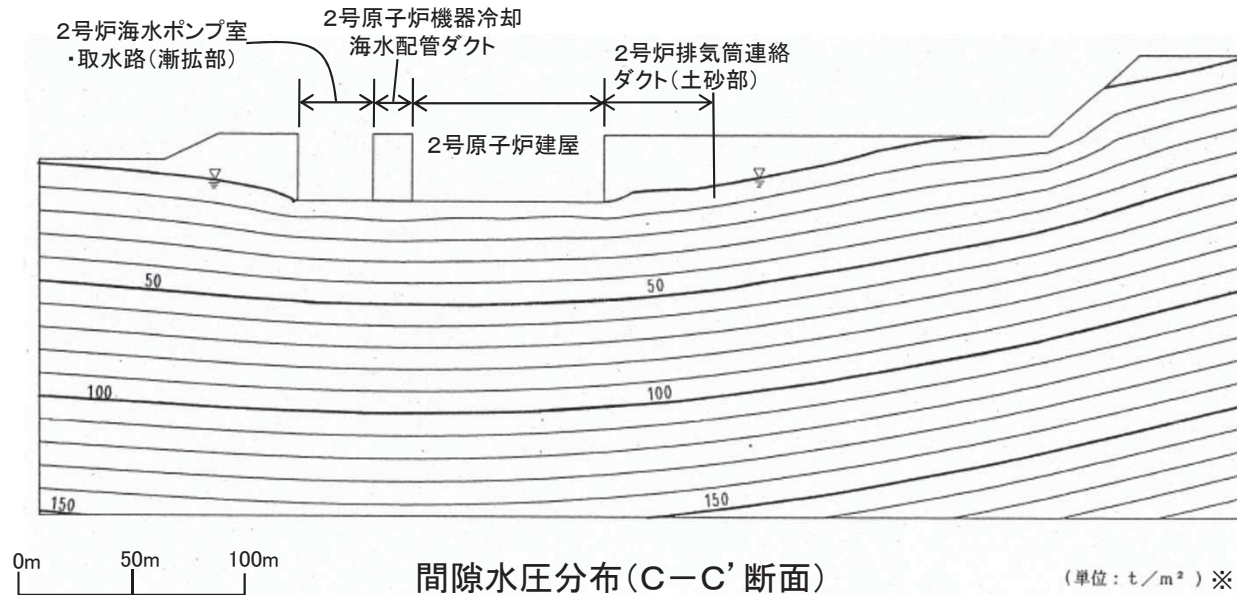
※:解析時の報告書のため従来単位系で表示

補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析 (3)解析結果 (間隙水圧分布③:C-C'断面)

- 解析断面とその結果(C-C'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している2号原子炉建屋等の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。

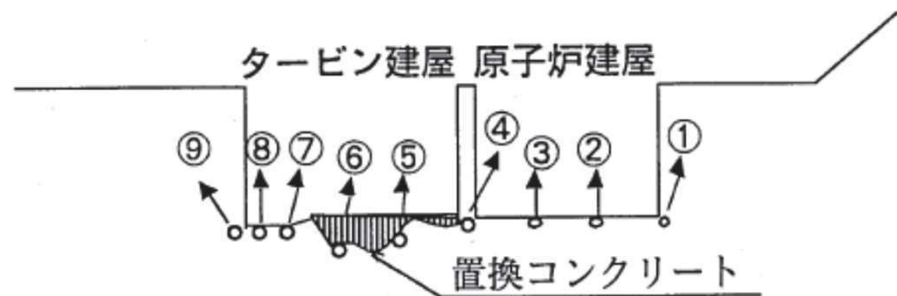


浸透流解析断面図(C-C'断面)



※: 解析時の報告書のため従来単位系で表示

- 二次元浸透流解析による湧水量を以下に示す。



(単位: $\text{l}/\text{min}/\text{m}$)

図-6.2 A-A断面

①6.465 ②1.256 ③0.017 ④0.0 ⑤0.298
⑥2.760 ⑦0.0 ⑧0.058 ⑨4.331
合計15.185 ($\text{l}/\text{min}/\text{m}$)

原子炉建屋及びタービン建屋

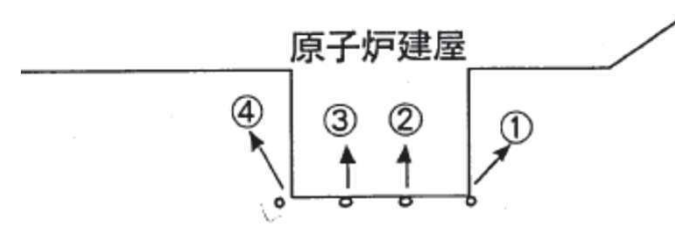


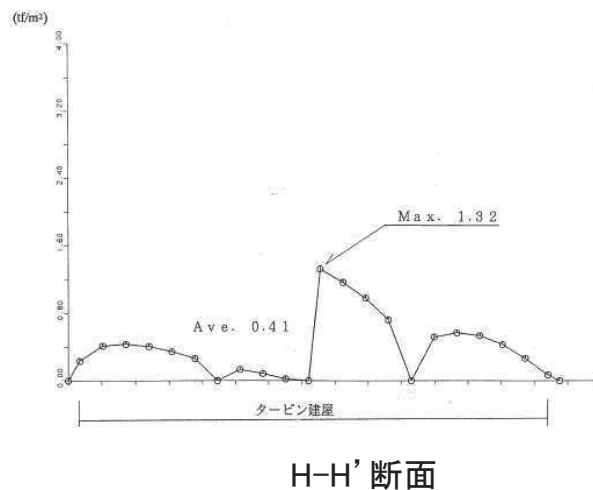
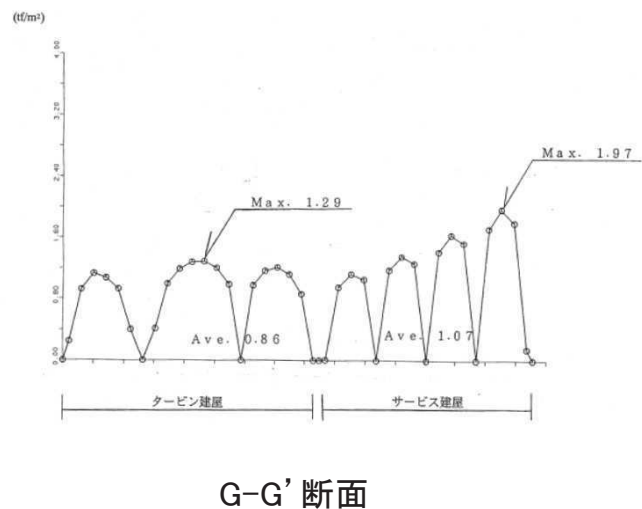
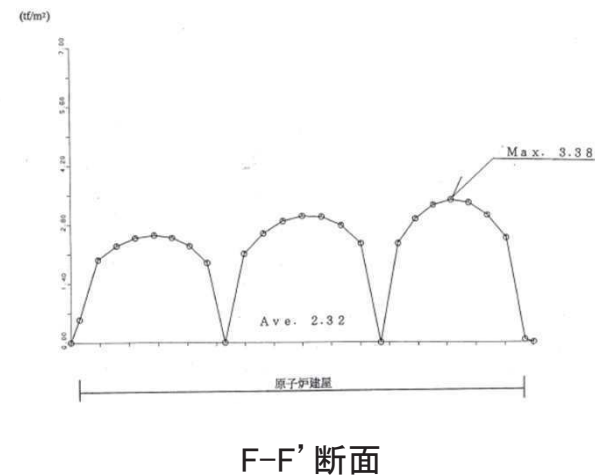
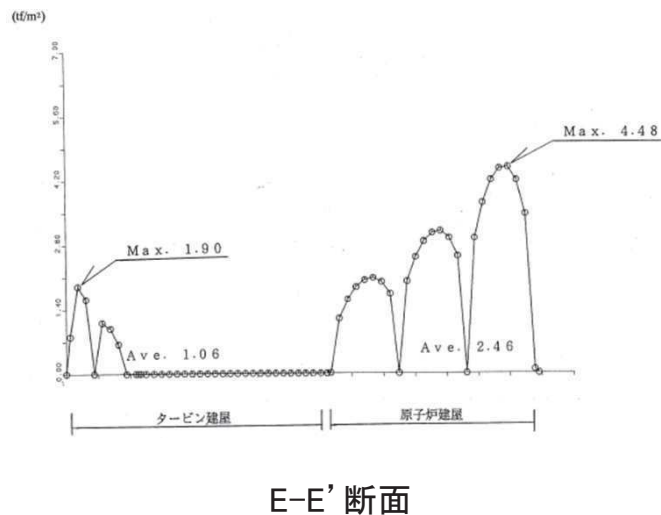
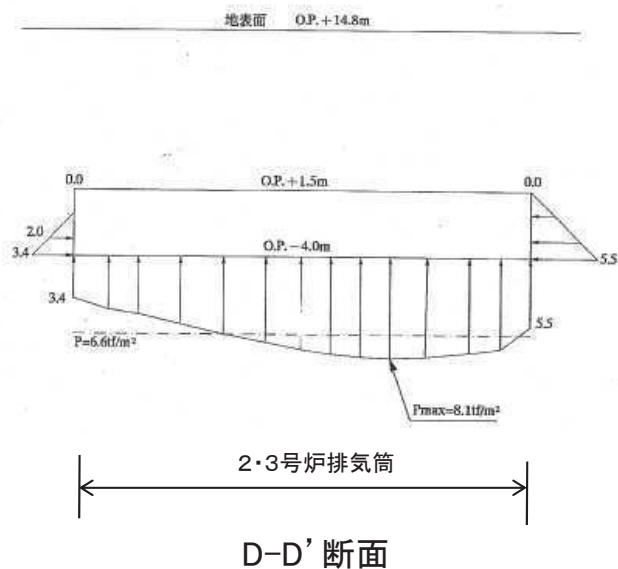
図-6.3 B-B断面

①5.082 ②0.323 ③0.456 ④1.743
合計7.604 ($\text{l}/\text{min}/\text{m}$)

原子炉建屋

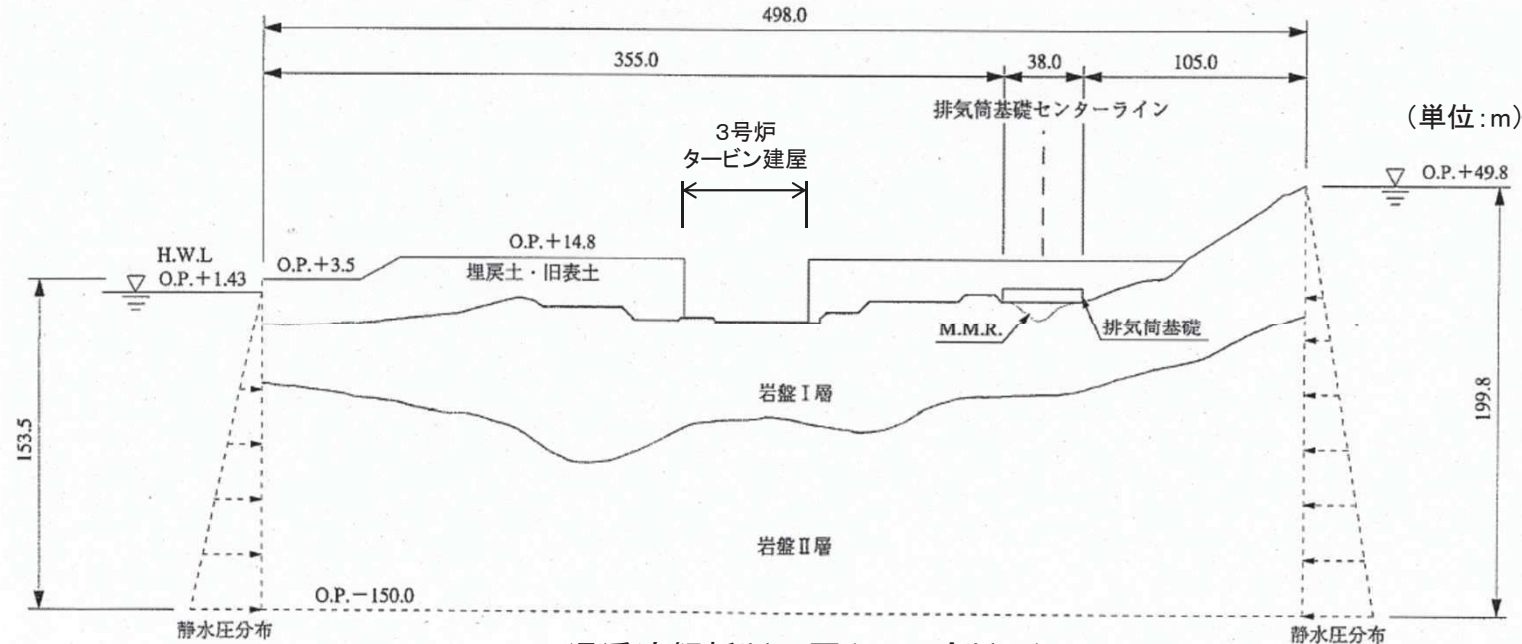
湧水量解析結果(3号炉)

- 3号炉主要建屋における揚圧力の解析結果を以下に示す。



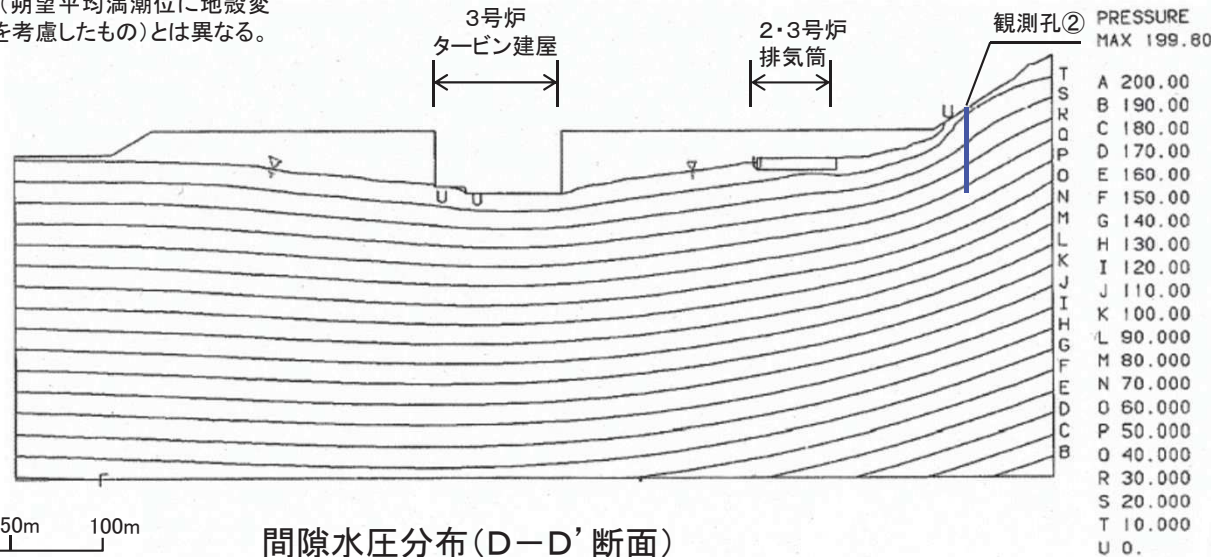
揚圧力分布図及び地下水面形

- 解析断面とその結果(D-D'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している3号炉タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



浸透流解析断面図(D-D'断面)

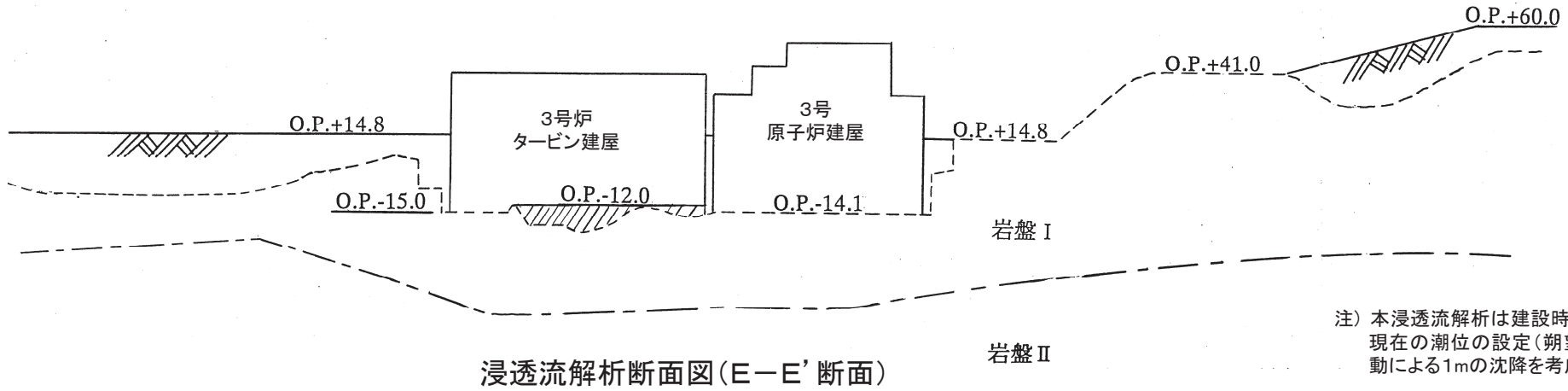
注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。



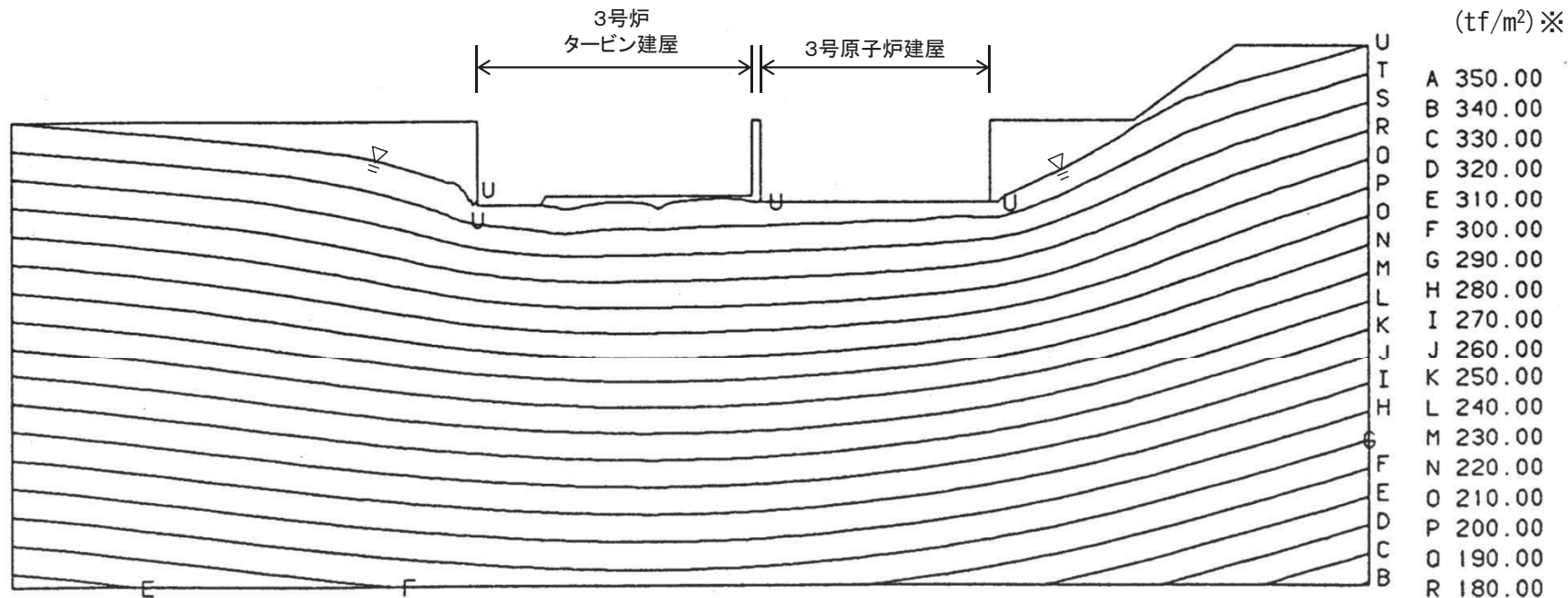
間隙水圧分布(D-D'断面)

U: 地下水位面

- 解析断面とその結果(E-E'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している3号炉タービン建屋及び3号原子炉建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下している。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。



※: 解析時の報告書のため従来単位系で表示

0m 50m 100m

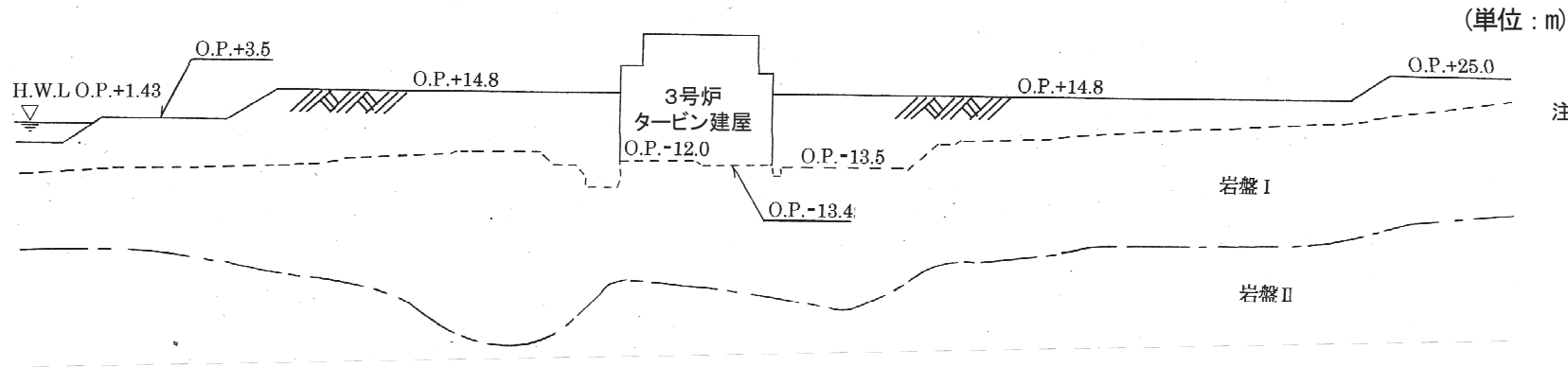
間隙水圧分布(E-E'断面)

U: 地下水位面
 (U=150.00を大気圧相当とする。)

層番号	水圧 (tf/m ²) ※
A	350.00
B	340.00
C	330.00
D	320.00
E	310.00
F	300.00
G	290.00
H	280.00
I	270.00
J	260.00
K	250.00
L	240.00
M	230.00
N	220.00
O	210.00
P	200.00
Q	190.00
R	180.00
S	170.00
T	160.00
U	150.00

補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析
 (3)解析結果 (間隙水圧分布①:F-F'断面)

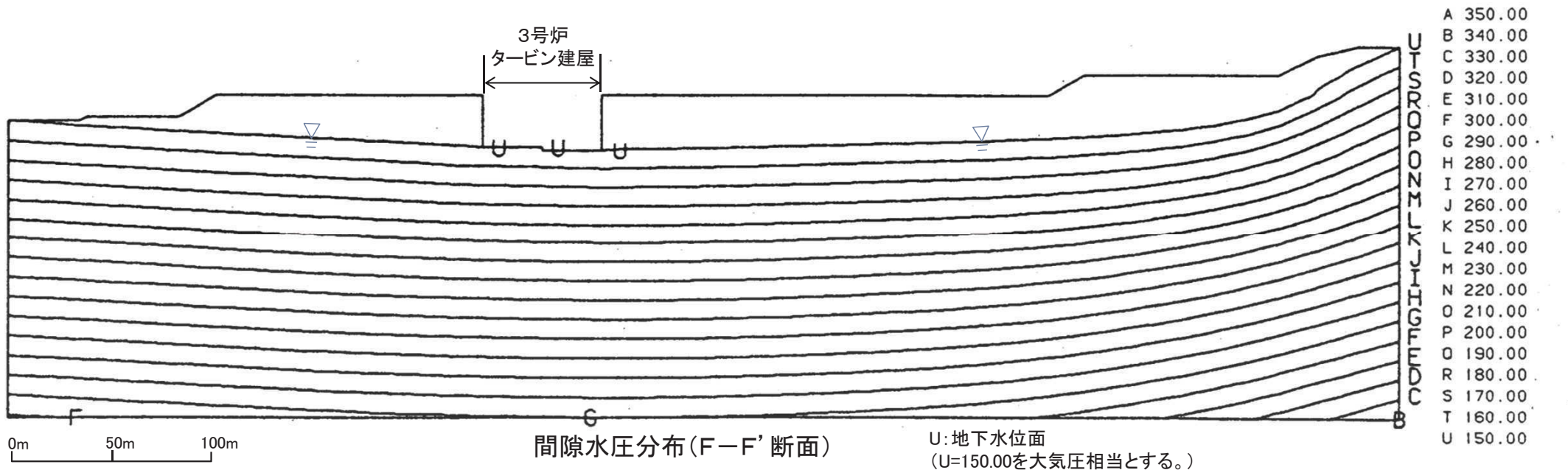
- 解析断面とその結果(F-F'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している3号炉タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

※: 解析時の報告書のため
 従来単位系で表示

浸透流解析断面図(F-F'断面)

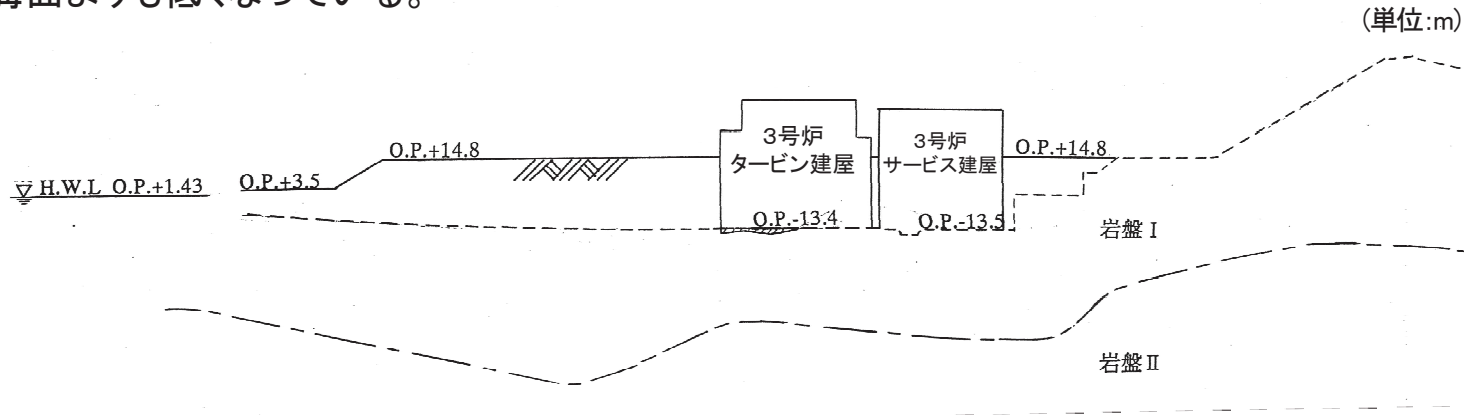


間隙水圧分布(F-F'断面)

U: 地下水位面
 (U=150.00を大気圧相当とする。)

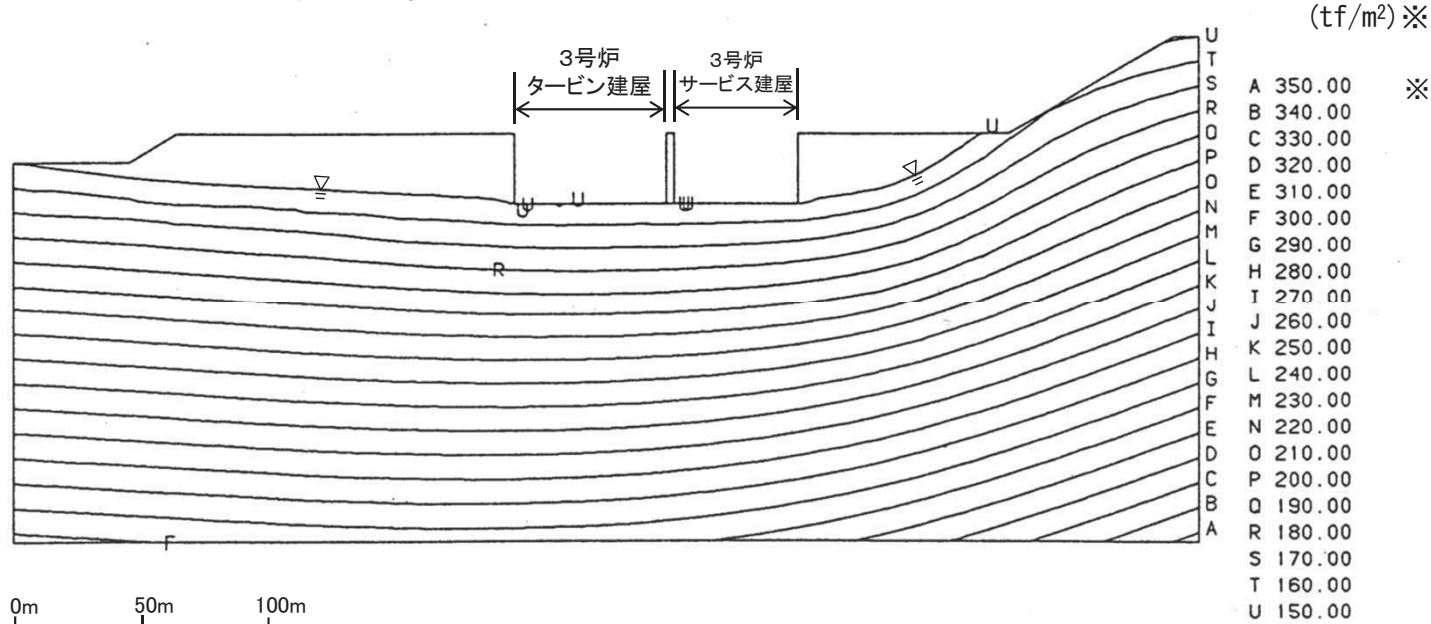
補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析 (3)解析結果 (間隙水圧分布①:G-G'断面)

- 解析断面とその結果(G-G'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している3号炉タービン建屋及び3号炉サービス建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(期望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

浸透流解析断面図(G-G'断面)



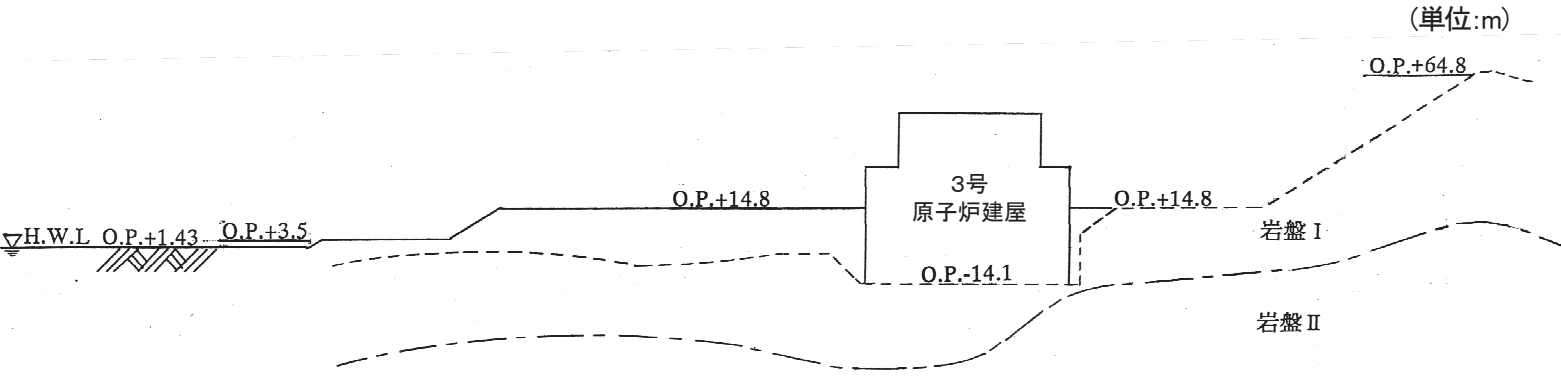
※: 解析時の報告書のため
従来単位系で表示

U: 地下水位面
(U=150.00を大気圧相当とする。)

間隙水圧分布(G-G'断面)

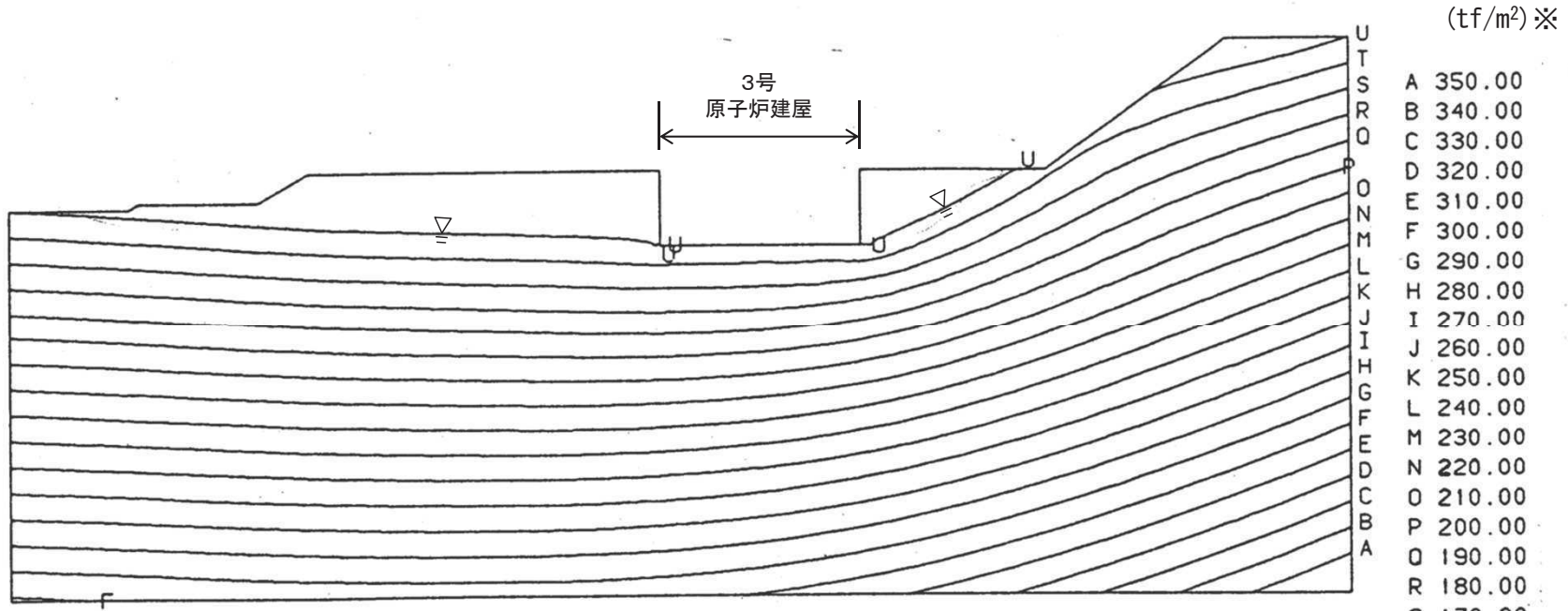
補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析
 (3)解析結果 (間隙水圧分布①:H-H'断面)

- 解析断面とその結果(H-H'断面)を以下に示す。
- ドレーンを設置している3号原子炉建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。

浸透流解析断面図(H-H'断面)



(tf/m²)※

A	350.00
B	340.00
C	330.00
D	320.00
E	310.00
F	300.00
G	290.00
H	280.00
I	270.00
J	260.00
K	250.00
L	240.00
M	230.00
N	220.00
O	210.00
P	200.00
Q	190.00
R	180.00
S	170.00
T	160.00
U	150.00

※: 解析時の報告書のため従来単位系で表示

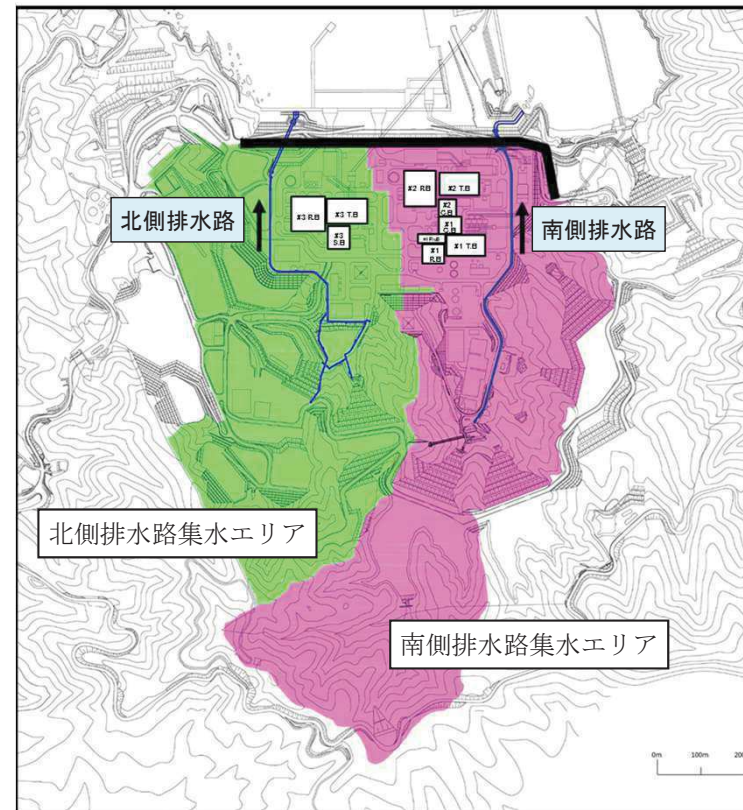
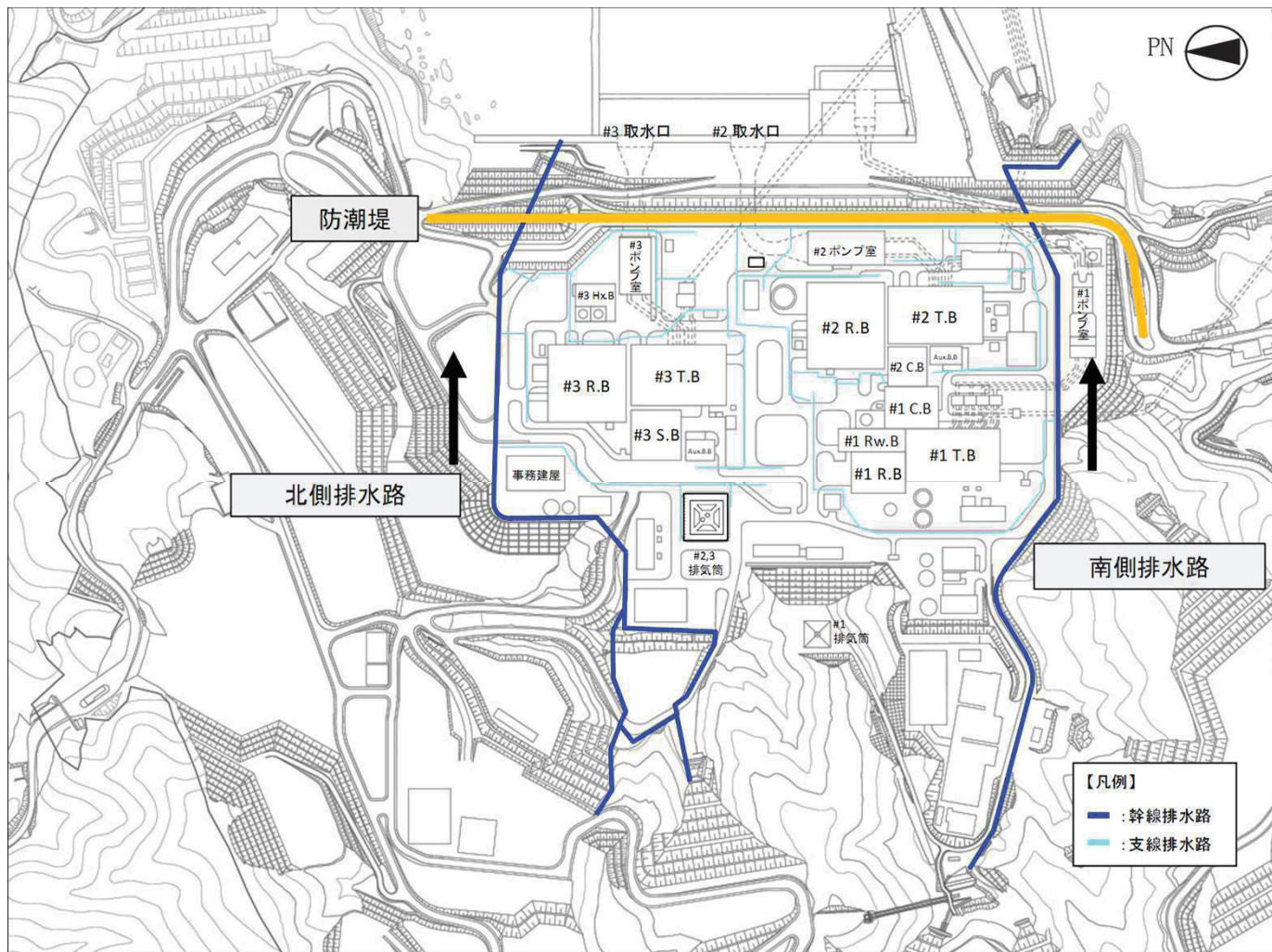
0m 50m 100m

間隙水圧分布(H-H'断面)

U: 地下水位面
 (U=150.00を大気圧相当とする。)

補足説明資料3 構内排水路の概要

- 発電所の敷地は、分水嶺を境に北側と南側の集水エリアに大別できる(右下図の緑が北側、紫が南側の集水エリア)ことから、これに対応して幹線排水路を配置しており、降雨の際の表面水を構内排水路を通じて幹線排水路へ集水し、海へ排水することとしている。
- 幹線排水路の排水能力は、石巻特別地域気象観測所における既往最大1時間雨量の91.0mm/hを考慮しても十分排水可能となるよう設定している。



排水路名	仕様	91.0mm/h降水時の 雨水流入量[m ³ /s]	排水可能 流量 [m ³ /s]
北側排水路	ボックスカルバート B3000, H2500	9.4	51.16
南側排水路	ダブルプレスト管 Φ1000×3	9.5	16.23

※: 林地開発許可申請書記載値(平成29年12月)

補足説明資料4
三次元浸透流解析による
防潮堤沈下対策の影響確認結果(通常時)

(1)解析条件等

(1)領域とモデル化範囲

- 施設が配置される主要エリア(O.P.+14.8m盤周辺)を対象とし、解析領域は周辺法面等を含む。
- 領域内の構造物※, 地下水位低下設備をモデル化し、敷地造成時における掘削・埋戻しを反映する。
- 防潮堤下部の状態は現況(防潮堤下に盛土・旧表土が存在)及び防潮堤下部の沈下対策後(防潮堤下の地盤改良・前面の置換コンクリートは有)とする。

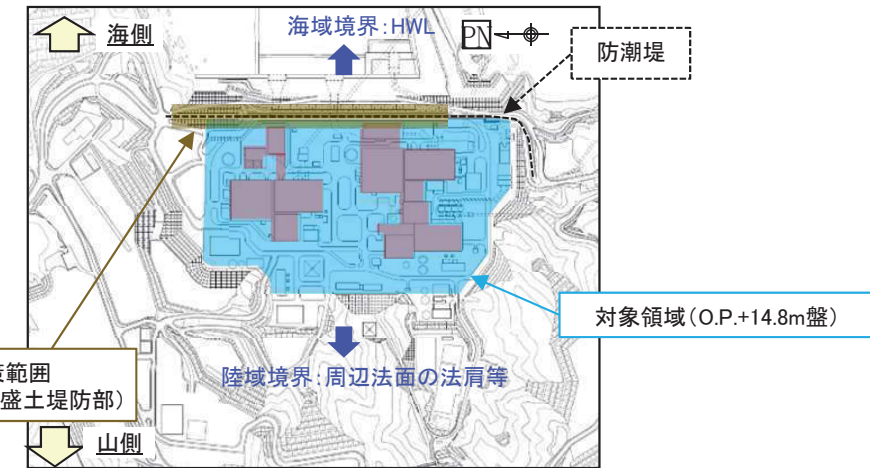
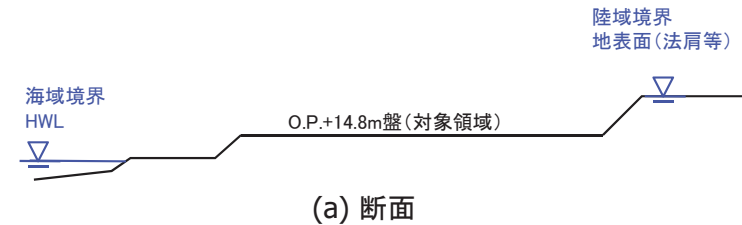
※:耐震裕度向上等の目的で実施した地盤改良等は、低透水層としてモデル化する。
ただし、海側の地中連壁の影響は保守的に考慮しないものとする。

(2)透水係数

- 既往の二次元浸透流解析における採用値を基本として設定。

透水係数一覧

地層区分		透水係数 (m/sec)
改良地盤・セメント改良土		2×10^{-7}
盛土・旧表土		3×10^{-5}
2号炉周辺 以南	岩盤 I	7×10^{-7}
	岩盤 II	5×10^{-7}
3号炉周辺 以北	岩盤 I	2×10^{-7}
	岩盤 II	1×10^{-7}
構造物		0(不透水)



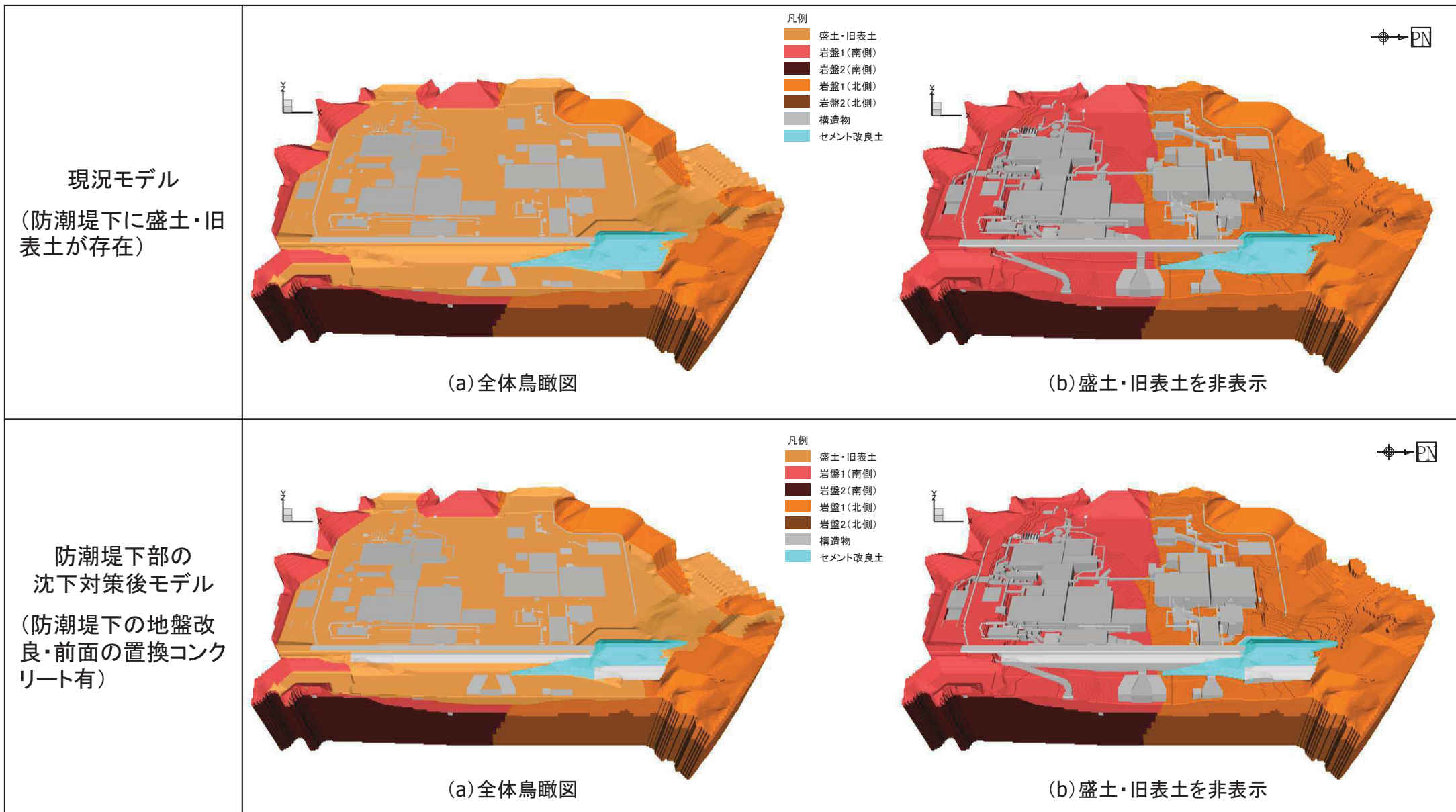
(3)境界条件等

- 初期条件 淡水飽和状態
- 境界条件
 - 陸域: 地表面に静水圧固定境界
 - 海域: H.W.L. (O.P.+1.43m) に静水圧固定境界
- 降水量条件 入力なし(定常解析)

(b) 平面

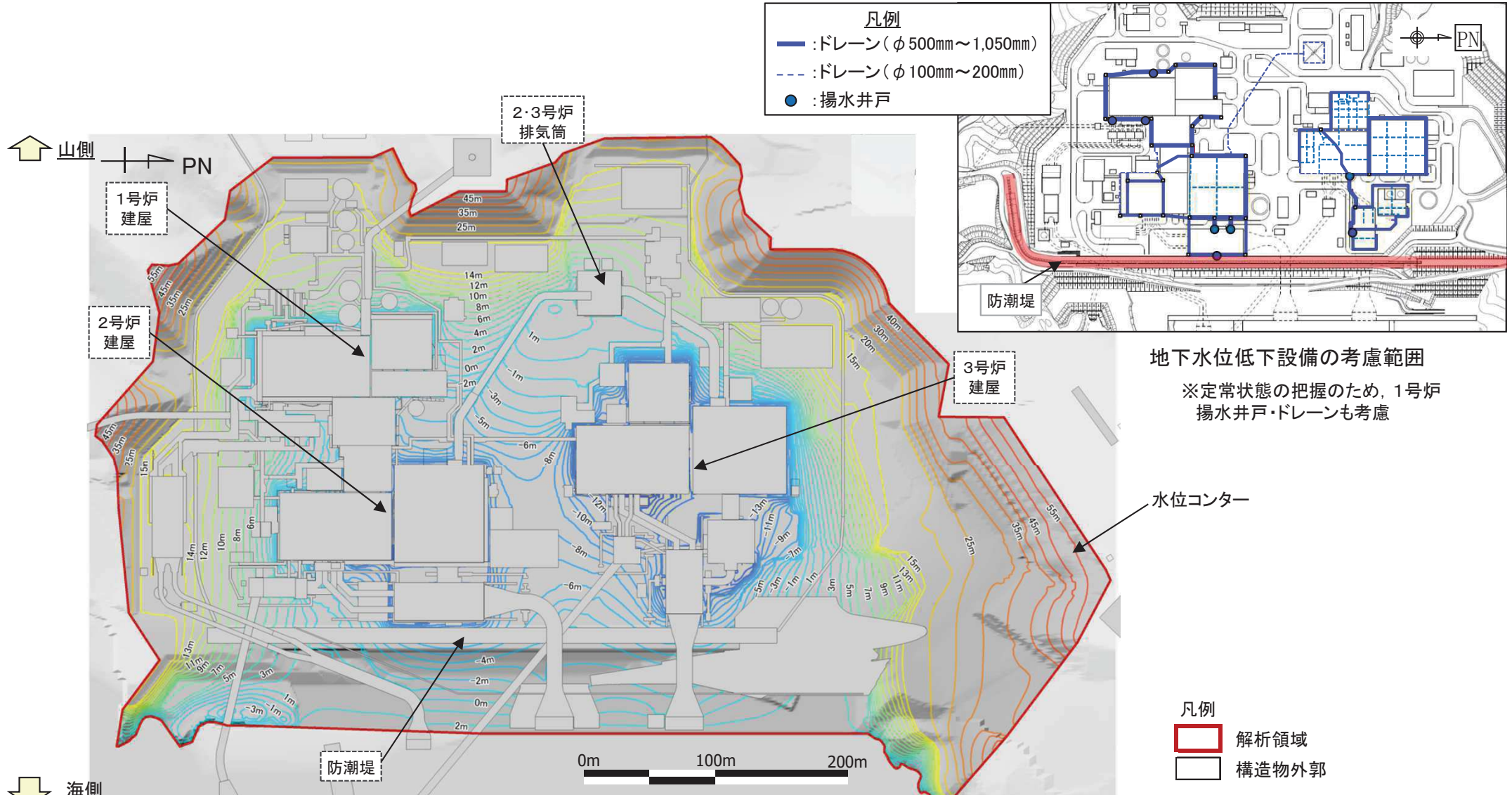
三次元浸透流解析の範囲等

- 現況モデル及び対策後モデルの概要を以下に示す。両者の違いは防潮堤の沈下対策の有無のみであり、他の条件は同一である。



三次元浸透流解析モデル鳥瞰図

- 現況モデル(防潮堤下に盛土・旧表土が存在)における自由地下水位の等高線図を示す。
- 解析領域境界より建屋周辺に向かって地下水位は緩やかに下降しており、地下水位低下設備による水位低下効果が確認できる。また、防潮堤海側から防潮堤山側に向かって地下水位は緩やかに下降しており、防潮堤下部より山側に地下水が流入していることがわかる。

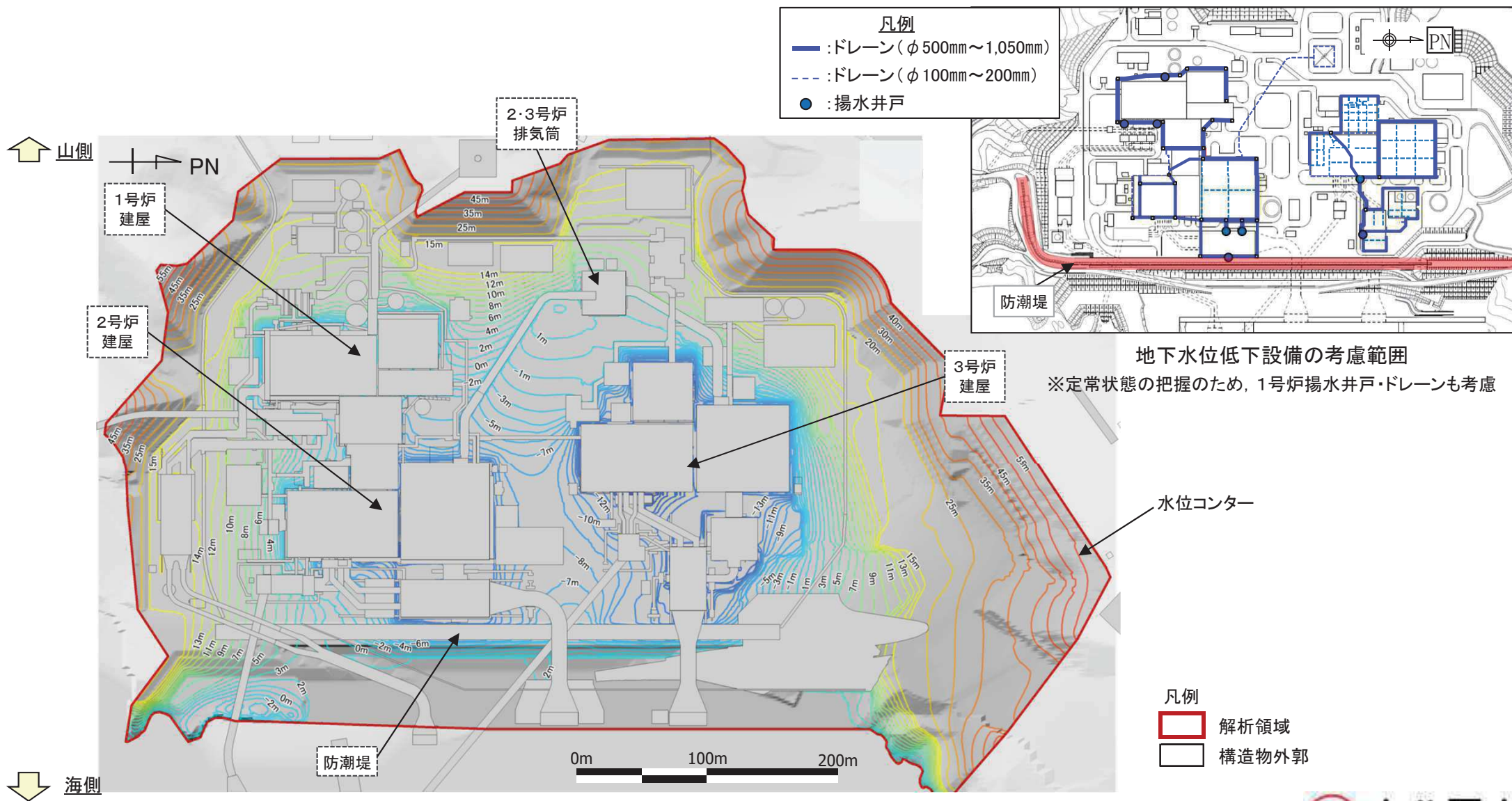


地下水水位低下設備の考慮範囲
 ※定常状態の把握のため、1号炉揚水井戸・ドレーンも考慮

水位コンター

三次元浸透流解析結果(定常状態・現況モデル)

- 防潮堤下部の沈下対策後モデル(防潮堤下の地盤改良・前面の置換コンクリート有)における自由地下水位の等高線図を示す。
- 防潮堤海側より防潮堤山側に向かう地下水位は、防潮堤付近で不連続となっていることから、防潮堤の沈下対策により浸水経路が遮断されていることが確認できる。

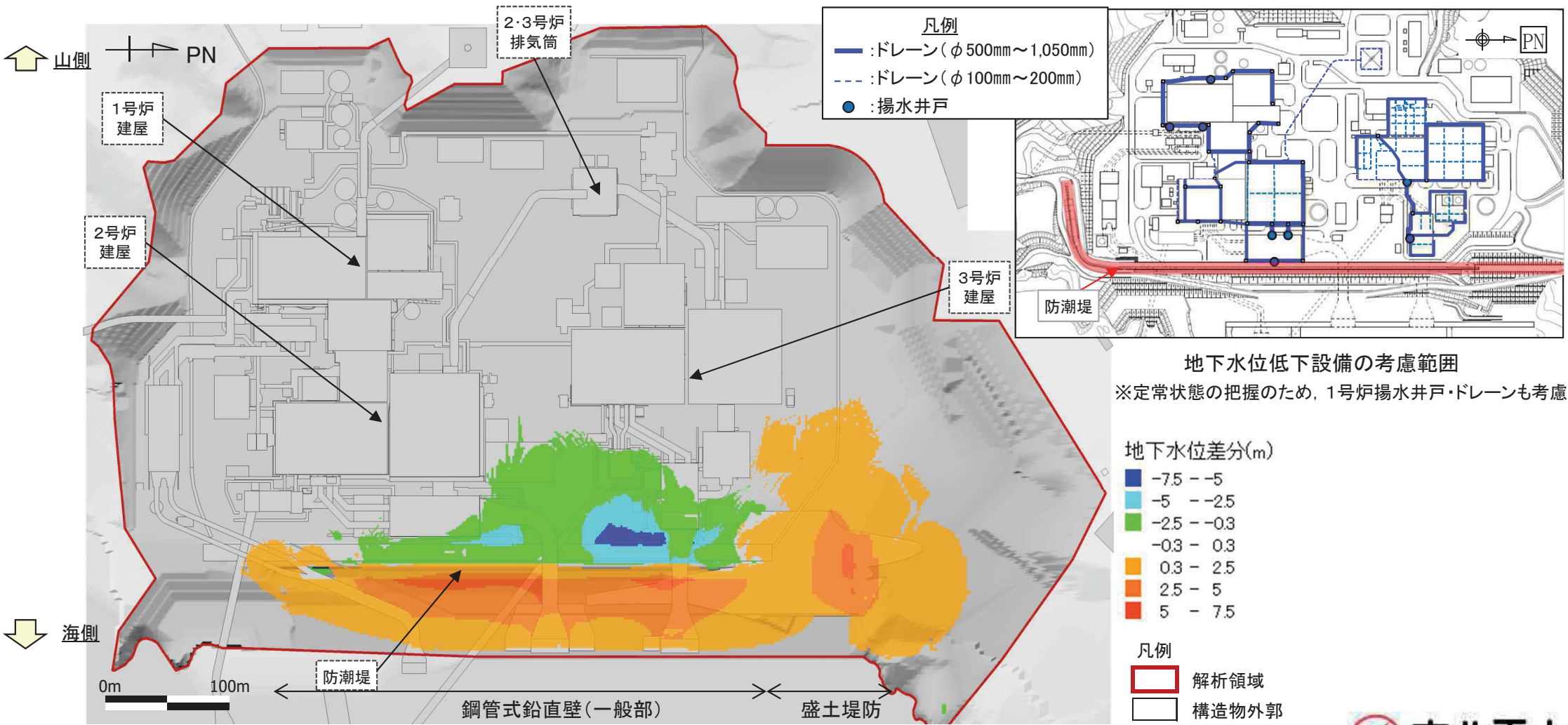


三次元浸透流解析結果(定常状態・沈下対策後モデル)

(5) 定常状態(沈下対策前後の差分)

- 防潮堤下部の沈下対策前後における自由地下水位の差分を示す。
- 沈下対策による地下水の遮断効果により、防潮堤海側の地下水位は地下水位低下設備の影響を受けなくなることから、対策前より相対的に上昇する。また、防潮堤山側については、沈下対策による影響範囲は海寄りの範囲に限定される。

(比較的地下水位低下設備が近い鋼管式鉛直壁(一般部)周辺では、海側からの海水供給が絶たれることにより、対策前より地下水位は下降する。一方、比較的地下水位低下設備が遠い盛土堤防周辺では対策前より地下水位が上昇する。このことは、防潮堤山側の設計用地下水位として鋼管式鉛直壁(一般部)をH.W.L.、盛土堤防を地表面としていることと整合的な結果となっている。)



防潮堤下部の沈下対策前後における自由地下水位差分

補足説明資料5

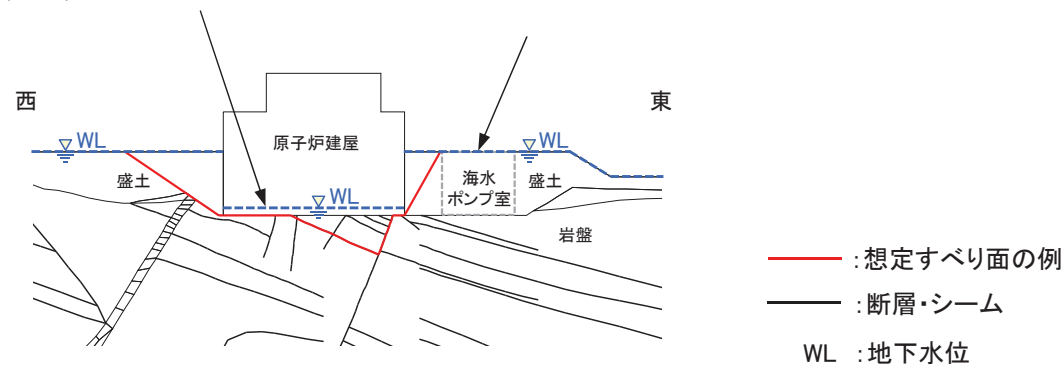
基礎地盤の安定性評価における地下水位設定の考え方

(1)地下水位の設定方針

- 建設時の設置許可では、基礎地盤の安定性評価で設定する地下水位は、原子炉建屋及びタービン建屋で地下水位の低下を見込むものの、周辺地盤の地下水位は保守的に地表面に設定している。
- また、敷地全体を包含して地盤の安定性を評価するため、原子炉建屋及びタービン建屋以外の地下水位は地表面とし、かつ隣接する地中構造物を盛土としてモデル化し構造物の強度を見込まないことで、保守的な評価としている。
- 女川2号炉新規規制基準適合性審査においては、「地下水位の設定について」の整理のとおり、設置変更許可段階では原子炉建屋等の地下水位を一定範囲に保持し揚圧力影響を低減するために設置した地下水位低下設備を設計基準対象施設として位置付けるとともに、「安全機能の重要度分類」におけるクラス1に相当する設備として設計上の配慮を行う方針を示す。また、工事計画認可段階においては、設計基準対象施設として位置付けた地下水位低下設備の基準適合性を示し、施設の耐震設計に用いる設計用地下水位は、揚圧力影響を低減するために設置した地下水位低下設備の効果を考慮して設定する。
- 基礎地盤の安定性評価においては、設置変更許可段階での地下水位設定に準じて、原子炉建屋の地下水位は建屋の設計水位を反映し、基礎版中央に設定し、それ以外の地下水位は地表面に設定する。
- なお、基礎地盤のすべりに対する評価において、地下水位以深の盛土・旧表土が地震動により繰り返し軟化し強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討を実施する。

原子炉建屋の地下水位は基礎版中央とする

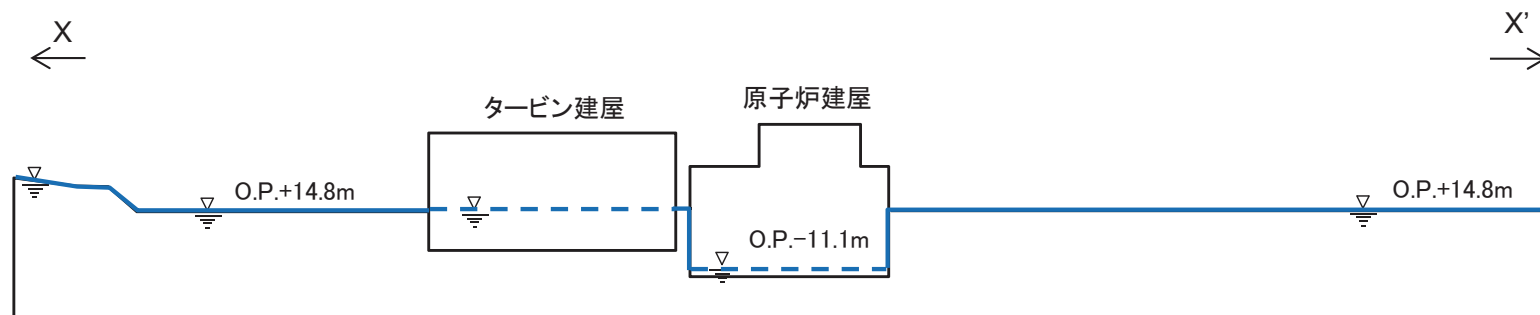
周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面に設定する。
海水ポンプ室等は盛土としてモデル化し、構造物の強度を見込まない。



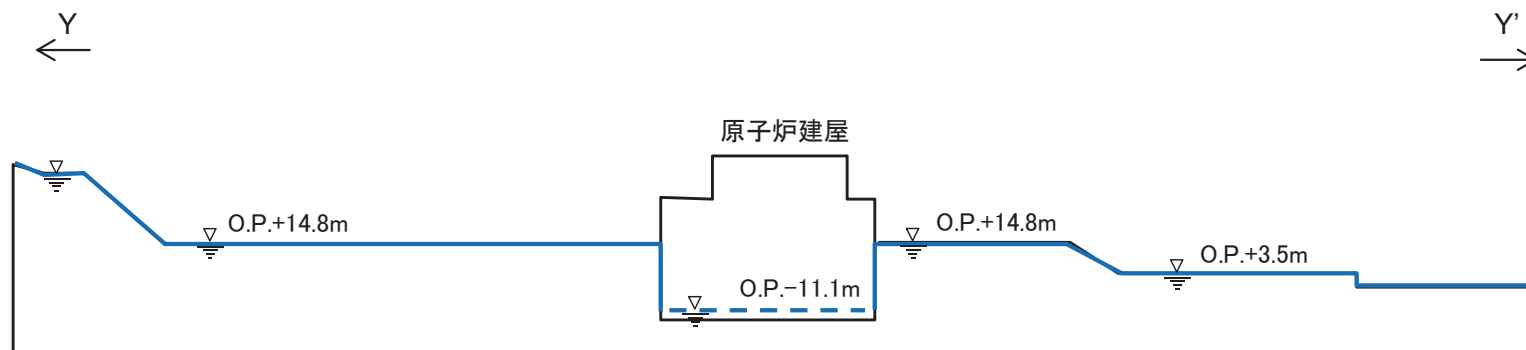
【原子炉建屋】

- 原子炉建屋基礎地盤のうち、原子炉建屋の地下水位は基礎版中央とし、タービン建屋及び周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。

【X-X'断面】

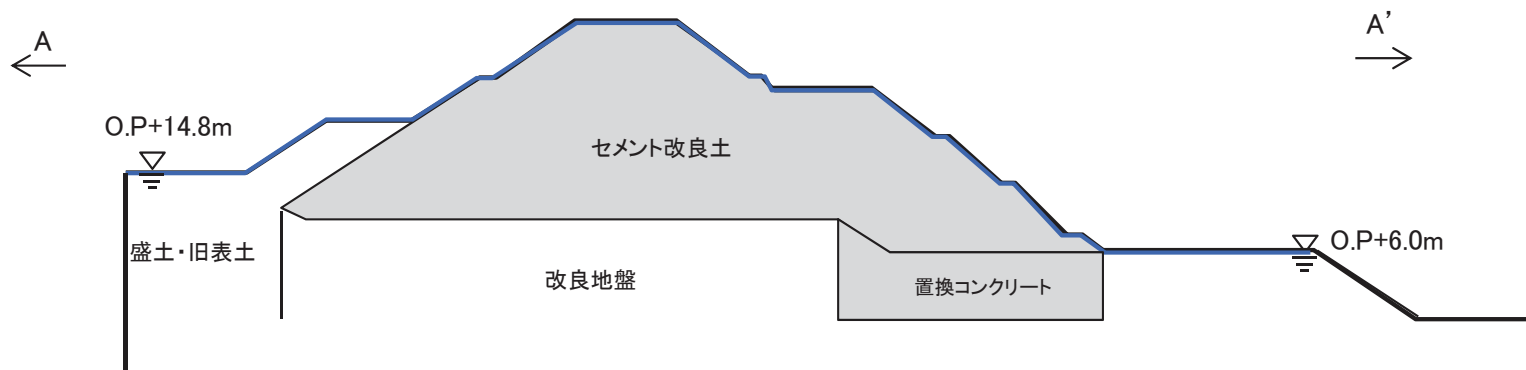


【Y-Y'断面】



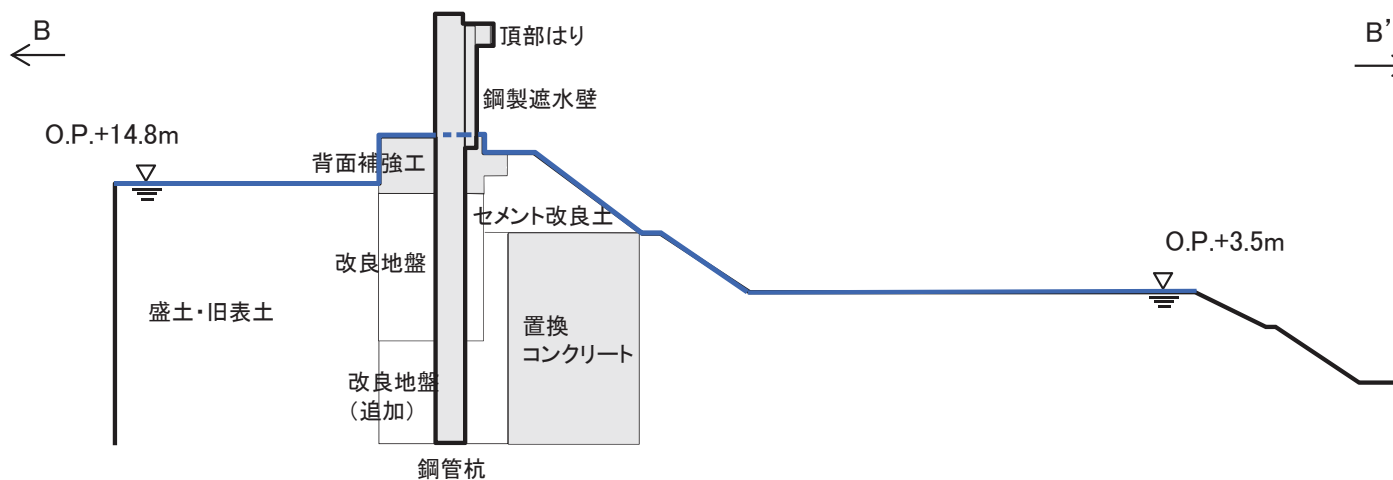
【防潮堤(盛土堤防)】

- 防潮堤(盛土堤防)の基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。



【防潮堤(鋼管式鉛直壁)】

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。



(4)参考 防潮堤の構造成立性評価における地下水位設定との比較

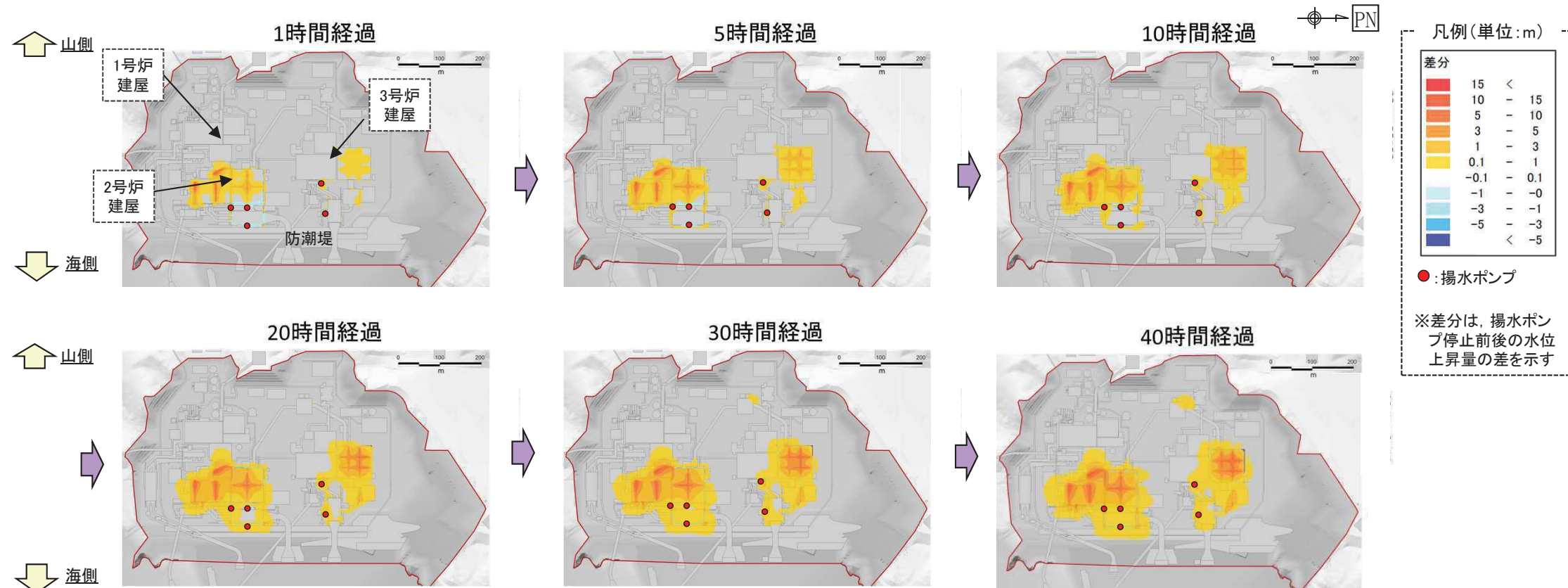
	地下水位の設定	備考
<p>設置許可基準規則 第3条 (基礎地盤の安定性評価)</p>	<p>鋼管式鉛直壁 (一般部)</p> <p>山側: 地表面 海側: 地表面</p> <p>盛土堤防</p> <p>山側: 地表面 海側: 地表面</p>	<p>備考</p> <p>改良地盤に支持する構造物の代表であり保守的な設定</p> <p>同上</p>
<p>設置許可基準規則 第4,5条 (構造成立性評価)</p>	<p>鋼管式鉛直壁 (一般部)</p> <p>山側: HWL (O.P.+2.43m) 海側: HWL (O.P.+2.43m)</p> <p>盛土堤防</p> <p>山側: 地表面 (O.P.+14.8m) 海側: 地表面</p>	<p>(山側) 海側同様、朔望平均満潮位 (HWL)^{※1}に設定</p> <p>(海側) 朔望平均満潮位</p> <p>(山側) 地表面に設定 (セメント改良土もO.P.+14.8mに設定)</p> <p>(海側) 朔望平均満潮位</p>

※1 工認段階で地下水位の設定が変更となった場合は再評価を行うとともに、必要に応じて対策を実施。

補足説明資料6

地下水位低下設備の機能喪失後の水位上昇

- 地下水位低下設備の信頼性の確保により、集水機能を喪失した状態が長期間継続することは考えにくいですが、念のための検討として、この状況を仮定した水位の経時変化を確認した。下図は、既設の2号炉・3号炉揚水ポンプに対する検討例である。
- 地下水位低下設備が設置される原子炉建屋周辺は岩盤を掘り込み構築し、盛土で埋め戻していることから、地下水位低下設備の機能停止後の水位上昇範囲は、初期段階では建屋近傍に限定され、揚水ポンプ停止が長期間継続した場合はその周囲に拡大していく。また、地下水位の上昇速度は非常に緩速である。
- 下図のとおり、集水機能喪失後の建屋周辺の水位の変動は、揚水井戸の位置で把握することが可能である。



三次元浸透流解析による揚水ポンプ停止後の水位上昇の評価例
(保守的に解析境界の法肩地表面に水位固定した非定常解析の例)

補足説明資料7

現行の重要度分類上の位置付けの整理

(1) 設置許可基準規則における耐震重要度分類

地下水位低下設備に対する耐震重要度分類について、以下のとおり整理した。

- 設計基準対象施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、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。
- 第4章に示した機能喪失時の影響確認の結果を踏まえ、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(Ss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Ssに対して機能維持させる設計とする。

設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方

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	—	○

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(以下、「設置許可基準規則」)の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。

設置許可基準規則第2条における以下の定義から、地下水位低下設備は安全機能を有するものではない。
また、安全機能を有するものではないことから、安全施設にも該当しない。

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則における定義

第二条

五 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であって、次に掲げるものをいう。

- イ その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能
- ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所(以下「工場等」という。)外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

八 「安全施設」とは、設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものをいう。

設置許可基準規則における安全施設に該当しないことから、地下水位低下設備が有する機能に着目し、設備の位置づけについての観点から発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針(以下「重要度分類指針」という。)に基づく整理を行った。

地下水位低下設備が有する機能について安全機能の重要度分類指針における位置づけを確認した結果、次頁以降に示すとおり、安全機能を有する構築物、系統及び機器に該当しないことを確認した。

重要度分類指針に基づく整理

1. 安全機能の区分

安全機能を有する構築物, 系統及び機器を, それが果たす安全機能の性質に応じて, 次の2種に分類される。

- (1) その機能の喪失により, 原子炉施設を異常状態に陥れ, もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの(異常発生防止系。以下「PS」という。)
- (2) 原子炉施設の異常状態において, この拡大を防止し, 又はこれを速やかに収束せしめ, もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し, 又は緩和する機能を有するもの(異常影響緩和系。以下「MS」という。)

2. 重要度分類

重要度分類指針では, PS及びMSのそれぞれに属する構築物, 系統及び機器を, その有する安全機能の重要度に応じ, それぞれクラス1, クラス2及びクラス3に分類している。(表1)

それぞれのクラスに属する構築物, 系統及び機器の定義並びにその安全機能に対して, 地下水位低下設備の位置付けを表2に整理する。

なお, 重要度分類指針においては, 所要の安全機能を直接果たす構築物, 系統及び機器を「当該系」, 当該系が機能を果たすのに直接, 間接に必要な構築物, 系統及び機器を「関連系」と定義している。

3. 地下水位低下設備の重要度分類上の位置付け

重要度分類指針の分類に基づき, 地下水位低下設備の位置付けを整理した結果, 『安全に関連する構築物, 系統及び機器』に分類されないため, 『安全機能以外の機能のみを行うもの』と整理できる。

表1 安全上の機能別重要度分類

重要度による分類	機能による分類	安全機能を有する構築物, 系統及び機器		安全機能を有しない 構築物, 系統及び機器
		異常の発生防止の機能を有するもの(PS)	異常の影響緩和の機能を有するもの(MS)	
安全に関連する構築物, 系統及び機器	クラス1	PS-1	MS-1	—
	クラス2	PS-2	MS-2	
	クラス3	PS-3	MS-3	
安全に関連しない構築物, 系統及び機器	—	—	—	安全機能以外の機能のみを行うもの

表2-1 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水位低下設備の位置付け

分類		定義	機能	地下水位低下設備の位置付け
クラス1	PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	(1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	該当しない
			(2)過剰反応度の印加防止機能	該当しない
			(3)炉心形状の維持機能	該当しない
	MS-1	(1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	(1)原子炉の緊急停止機能	該当しない
			(2)未臨界維持機能	該当しない
			(3)原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	該当しない
			(4)原子炉停止後の除熱機能	該当しない
			(5)炉心冷却機能	該当しない
			(6)放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	該当しない
	安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	(1)工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	該当しない	
(2)安全上特に重要な関連機能		該当しない		

表2-2 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水位低下設備の位置付け

分類		定義	機能	地下水位低下設備の位置付け
クラス2	PS-2	(1)その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	(1)原子炉冷却材を内蔵する機能(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	該当しない
			(2)原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	該当しない
			(3)燃料を安全に取り扱う機能	該当しない
		(2)通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	(1)安全弁及び逃がし弁の吹き止り機能	該当しない
	MS-2	(1)PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	(1)燃料プール水の補給機能	該当しない
			(2)放射性物質放出の防止機能	該当しない
		(2)異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	(1)事故時のプラント状態の把握機能	該当しない
			(2)異常状態の緩和機能	該当しない
(3)制御室外からの安全停止機能			該当しない	

表2-3 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水位低下設備の位置付け

分類		定義	機能	地下水位低下設備の位置付け
クラス3	PS-3	(1)異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	(1)原子炉冷却材保持機能(PS-1, PS-2以外のもの。)	該当しない
			(2)原子炉冷却材の循環機能	該当しない
			(3)放射性物質の貯蔵機能	該当しない
			(4)電源供給機能(非常用を除く。)	該当しない
			(5)プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く。)	該当しない
			(6)プラント運転補助機能	該当しない
	MS-3	(2)原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	(1)核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	該当しない
			(2)原子炉冷却材の浄化機能	該当しない
		(1)運転時の異常な過度変化があっても、MS-1, MS-2とあいまって、事象を緩和する構築物、系統及び機器	(1)原子炉圧力の上昇の緩和機能	該当しない
			(2)出力上昇の抑制機能	該当しない
(2)異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	(3)原子炉冷却材の補給機能	該当しない		
	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	該当しない		

補足説明資料8

新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例

(1)新設揚水井戸・ドレーンの構造概要

- 新設する揚水井戸は添付資料4に示すフローに基づき、耐久性、耐震性及び保守管理性を考慮して設計し、安全施設の要求性能に配慮した配置とする。
- 2号炉原子炉建屋東側の揚水井戸を例として新設する揚水井戸の構造・配置例を示す。
- 新設する揚水井戸・ドレーンの構造・配置等については、施工方法と併せて、工認段階で詳細検討を行い決定する。

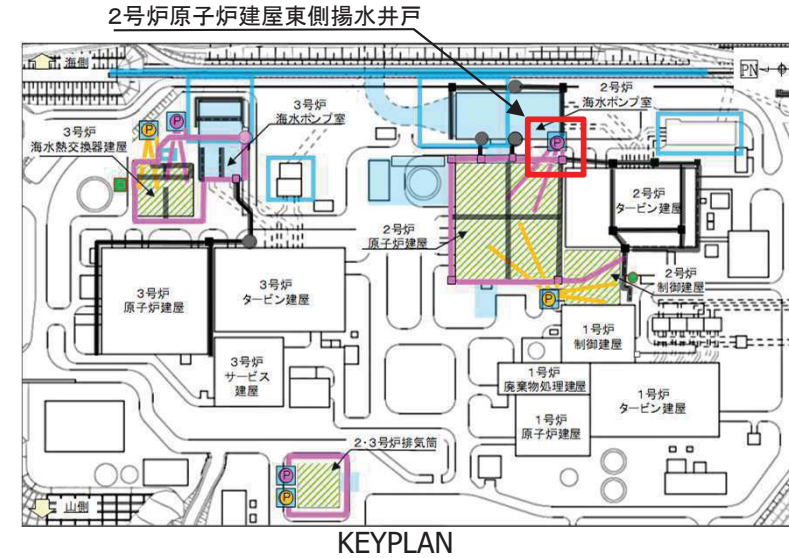
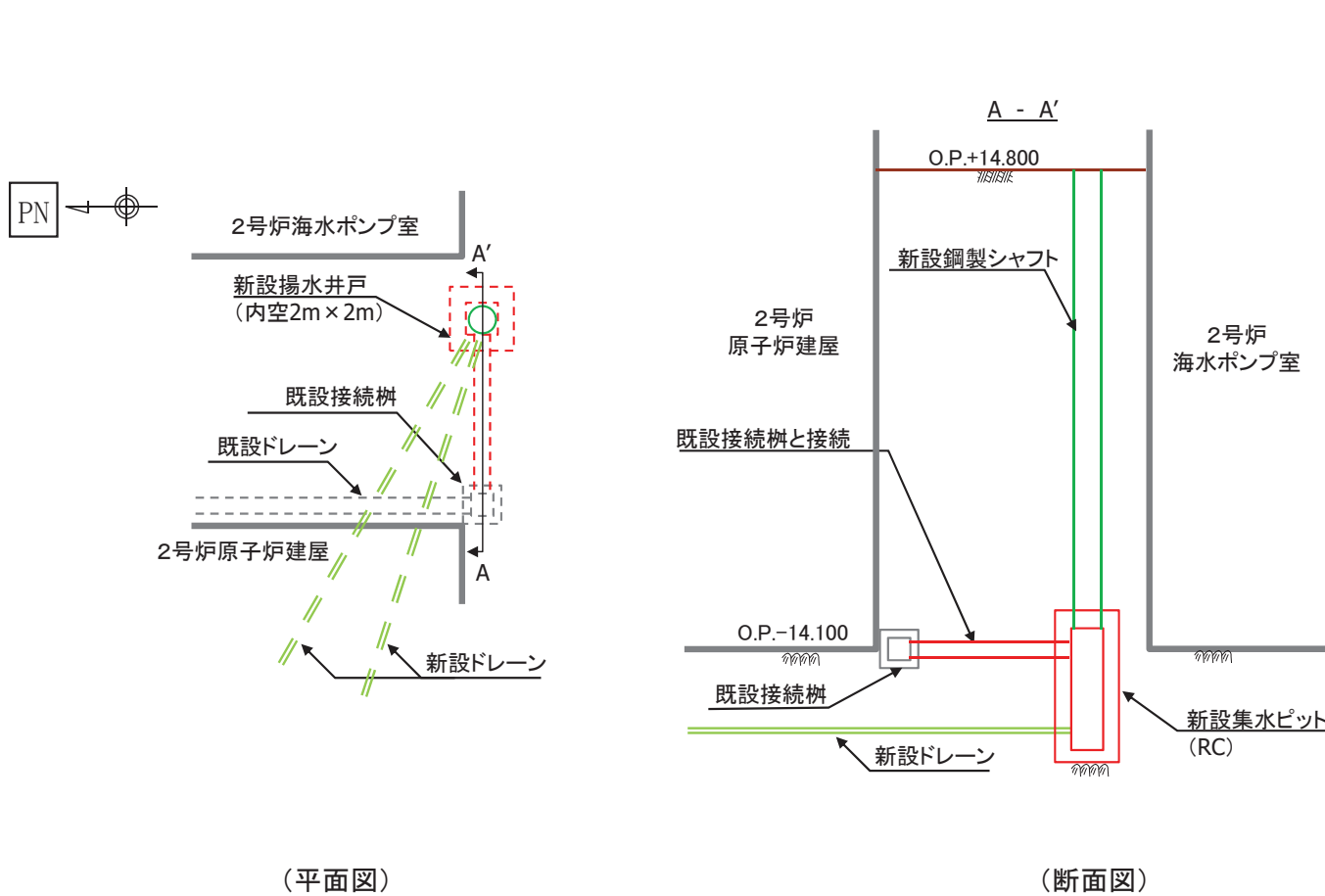


図 新設揚水井戸(2号原子炉建屋東側)の構造・配置例

(2)新設揚水井戸・ドレーンの施工手順

- 新設する揚水井戸の施工手順例を以下に示す。

	①掘削	②躯体構築	③埋戻し
概要	<ul style="list-style-type: none"> 土留施工 揚水井戸～既設接続柵の掘削，ボーリング穿孔 	<ul style="list-style-type: none"> ドレーン設置，集水ピット構築 既設接続柵と集水ピットとの接続，集水ピット周辺埋戻し 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製シャフト据付 埋戻し
平面図			
断面図			