

女川原子力発電所2号炉 地下水位の設定について

平成31年 3月 26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	35
添付資料	
添付資料1 揚水井戸・ドレーンの状況	59
添付資料2 接続柵の構造概要	62
添付資料3 ドレーン構成部材の耐久性	64
添付資料4 ドレーンの有効範囲設定の各プロセス	67
補足説明資料	
補足説明資料1 敷地の水文環境	78
補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析結果	80
補足説明資料3 構内排水路の概要	98
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)	100
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	106
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	111
補足説明資料7 現行の重要度分類上の位置付けの整理	113
補足説明資料8 設置許可基準規則第3条への適合確認の取扱い	120
補足説明資料9 信頼性向上方針のまとめ	122

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2月5日)	回答主旨	対応頁
1	地下水位低下設備について、重大事故等が継続しているときに地下水位低下設備の機能が失われた場合に重大事故等への対応が可能であるのかという観点で重要度を考えた上で、地下水位低下設備の機能維持や信頼性確保の考え方を整理して提示すること。	- 地下水位低下設備の構成部位を静的機器、動的機器及びサポート設備に分類し、想定する機能喪失要因(設置許可基準規則第3条から第13条までの要求事項と、動的機器についてはランダム故障も考慮)により地下水位低下設備が機能喪失するかを分析した。 - 次に、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」が発生するかについて分析し、事象収束上追加の対策が必要であるかについて分析した。	p.36～p.46
2	地下水位低下設備について、どのような事象を想定した上でどのような設計上の配慮を行っているのか、設計基準事故時及び重大事故等時を含めて網羅的に整理すること。	- また、「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」発生後に地下水位低下設備が機能喪失した場合、事象収束にどのような影響があるかを分析した。 - これを踏まえて、地下水位低下設備の機能維持及び信頼性向上を図るための設計上の配慮事項について整理し示した。	
3	地下水位を一定の範囲に保持するための設備設計及び運用による対策について、規制の各段階で担保する事項を整理して提示すること。	- 設置許可及び工認における設計に係る提示事項に加えて、保安規定段階における提示事項を以下のとおり整理し示した。 - 原子炉施設保安規定に紐づけた社内規定類において、地下水位低下設備の保守管理、運用管理に係る事項を定める方針である。 - 保守管理については、予防保全対象として管理していく。 - 運用管理については、必要な手順を整備したうえで管理していく。	p.47
4	管路として期待するドレーンの機能喪失事象への対策について、ドレーンの閉塞に係る検知、通水性確保の対応等の実現性を考慮した上で提示すること。	- 土砂流入や雨水流入、施工(地盤改良等)による透水層の目詰まりなど、ドレーンの性能(管路及び透水層の浸透流解析上の取扱い)に影響を与える事象を網羅的に抽出した上で、これに対する設計・保守管理における対応の考え方と取扱いを整理した。 - なお、ドレーンは基準地震動Ssに十分耐えうる構造であり、実績から堆砂は非常に緩速な事象であること、今後、定期的な点検、並びに土砂排除を実施することから、このことにより十分機能保持が可能であることも併せて補足した。 - また、更なる集水機能保持の信頼性向上の観点から、対象施設への影響が生じるまでの時間を検証し、設置状況も踏まえて機能喪失時に対しても設計条件を満足するような対策を行うことを示した。	p.44, 48, 49, 52, 55

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(2/2)

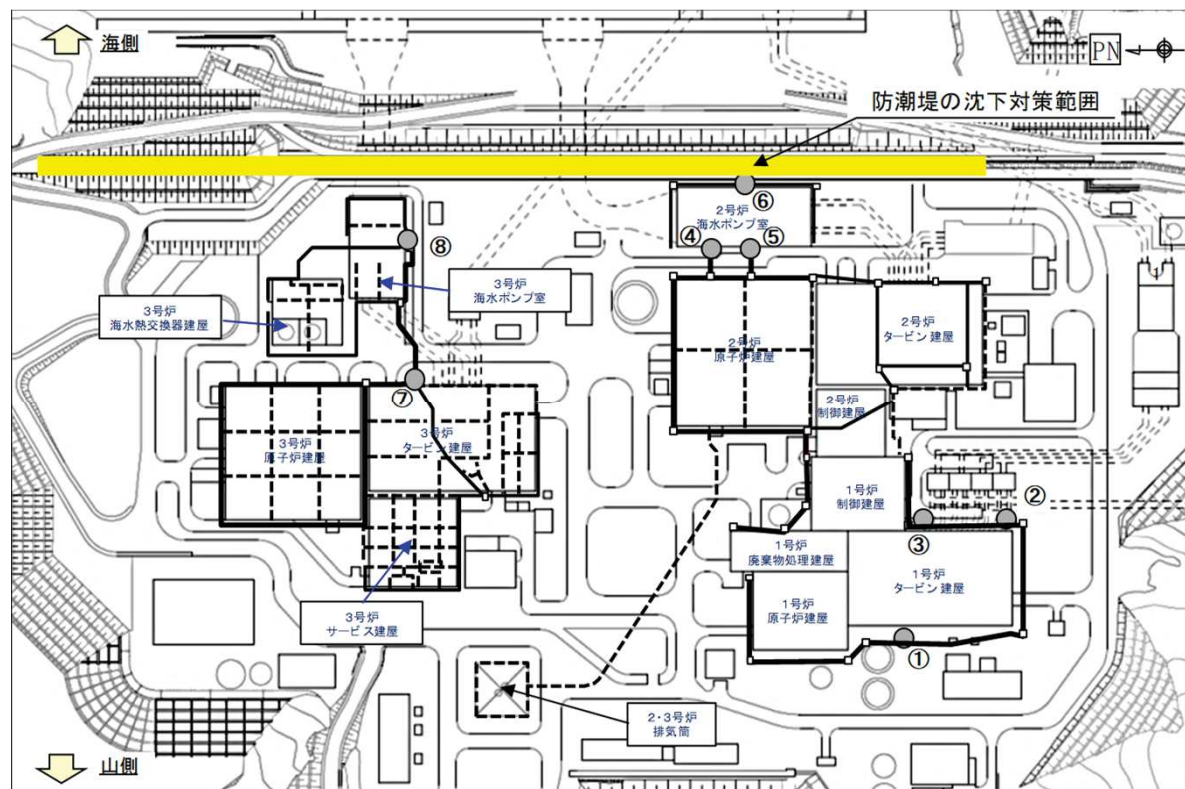
No.	審査会合におけるコメント(平成31年2月5日)	回答主旨	対応頁
5	ドレーンの有効範囲設定フローについて、B(透水層)とC(非考慮)を分類する際の判断基準を提示すること。	- ドレーン有効範囲設定フローにおけるBとCの区分は透水層の連続性の有無により行う考え方を示した。(基準地震動S_s時に透水層の連続性が確保可能なものがB, 確保できないものがC) - また、透水層の連続性に影響を与えうる構造としては、管周囲の透水層が連続的に分布しない場合、構造物跨ぎ部や非岩着部が存在するなど地震時に連続性を確保できないと判断される場合が該当することから、この場合の取扱いについて「集水機能の信頼性の詳細検討フロー」に考え方を追加し示した。	p.52
6	地下水位低下設備として効果を期待する構成部位について、除外した既設の揚水井戸⑦を管路の一部として用いる場合の設計上の取り扱いを提示すること。	ドレーン有効範囲の設定にあたり、集水経路上の接続柵・揚水井戸については必要範囲(集水ピット)として扱うこととし、耐久性、耐震性、保守管理性の観点を考慮する考え方を「集水機能の信頼性の詳細検討フロー」に示した。	p.52
7	設計用地下水位の設定について、予測解析と再現解析の結果を踏まえ、正確な考察を提示すること。	記載の適正化を図り、広域モデルを用いた再現解析による対象領域境界位置での地下水位(非定常解析、降雨時)は、予測解析において設定する地下水位(地表面高さ)と同等若しくは下回るとの考察を示した。	p.24

2. はじめに

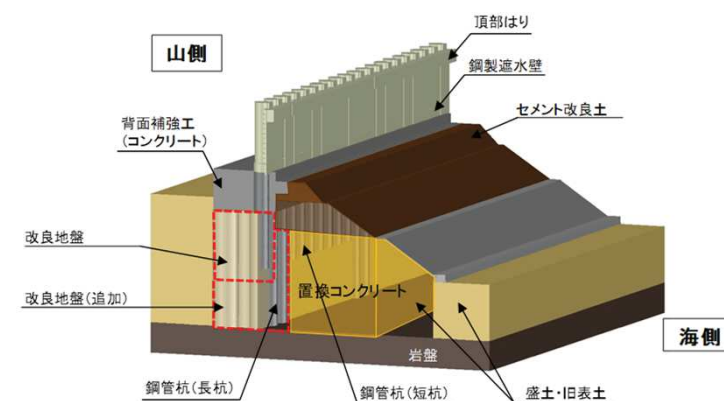
2. はじめに

(1) 地下水位低下設備に期待する機能

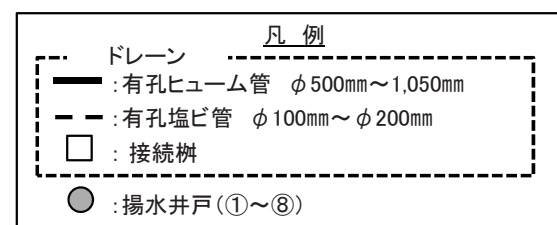
- 原子炉建屋等の主要建屋直下及びその周囲には地下水位低下設備が設置され、建設時工認の施設評価において、その機能に期待した地下水位の設定を行っている。(第2-1図)
- 地下水位低下設備の機能は、地下水位を一定の範囲に保持することであり、これにより地下水位低下設備の水位低下効果に期待する施設(以下、対象施設)に及ぶ水位上昇に伴う影響が低減される。
- 従前は山から海へ向かう一方向の流動場が形成されていたが(補足説明資料1)、今後、防潮堤直下の沈下対策を行うこと(第2-2図)により敷地内の地下水の流れが遮断され、敷地内の流動場は大きく変化する。この結果、地下水位低下設備の機能に期待できない場合の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



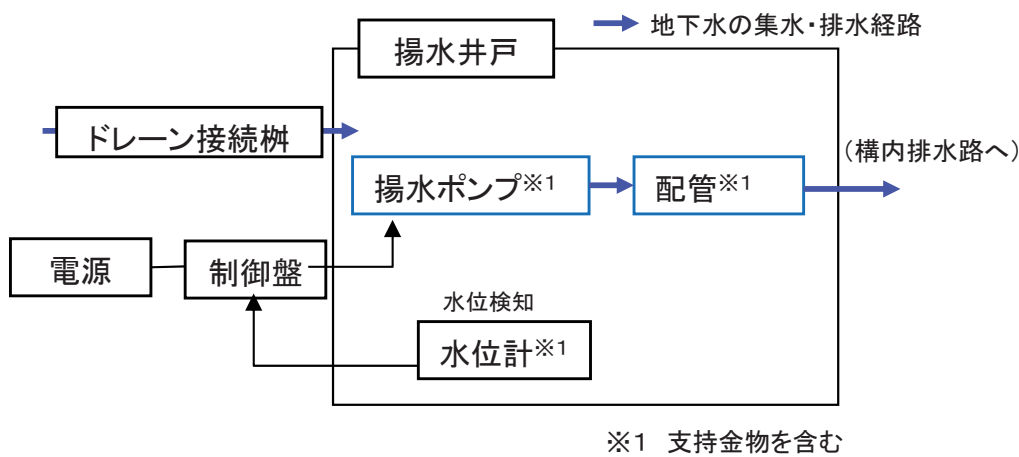
第2-2図 防潮堤の沈下対策概要



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、海水ポンプ室等の各号炉の主要施設下部周辺に設置されたドレーンにより集水し、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水位低下効果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、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を維持することによりその機能を保持する。(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、適切に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

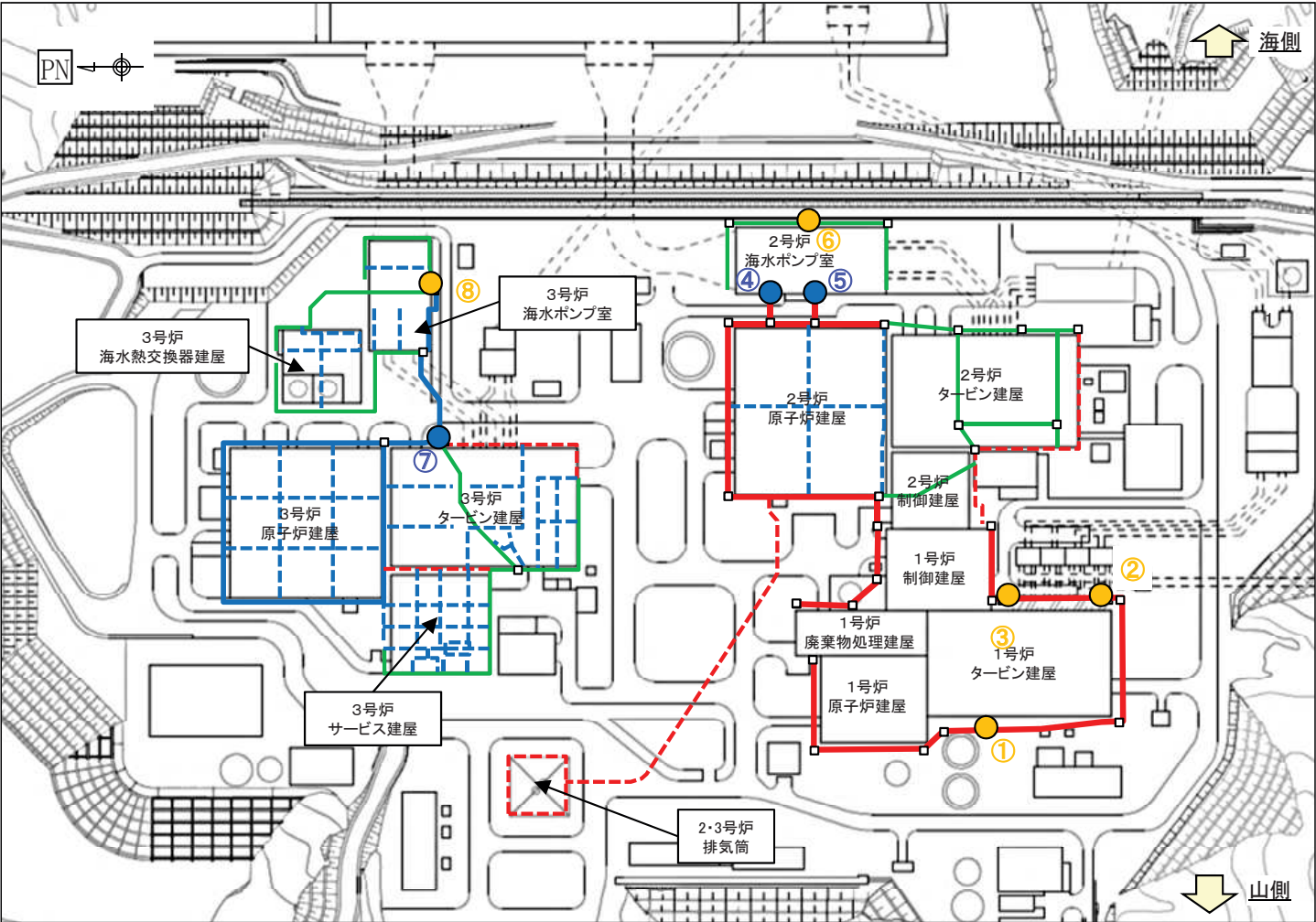
機能	構成部位	設備構成のイメージ
集水機能	ドレーン・接続桙	この図は、地下水位低下設備の機能と構成部位のイメージを示しています。左側には「(原子炉建屋等)」があり、その下部には「岩盤」が描かれています。岩盤には「ドレーン」が設置されており、そこから「地下水の排水経路」(青い矢印)が「揚水井戸」へと続きます。揚水井戸内には「揚水ポンプ」が設置されており、そこから「配管」が伸び、右側の「(構内排水路へ)」へと排水されます。また、揚水井戸には「水位計」が設置されています。図の上部には「制御盤」が描かれています。図の右側には「地下水水面」(点線)と「地下水の排水経路」(青い矢印)の図例があります。
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ドレーン(硬質ポリ塩化ビニル製有孔管「以下, 有孔塩ビ管」<φ100mm, 200mmの2種類>及び有孔遠心力鉄筋コンクリート管「以下, 有孔ヒューム管」<φ500mm, 800mm, 1,050mmの3種類>)により揚水井戸に集水し, 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(φ800mm, φ1,050mmの有孔ヒューム管)のドレーンを採用している。



凡 例

ドレーン

— : 有孔ヒューム管 φ1,050mm

— : 有孔ヒューム管 φ800mm

— : 有孔ヒューム管 φ500mm

- - : 有孔塩ビ管 φ200mm

- - : 有孔塩ビ管 φ100mm

□ : 接続樹

● : 揚水井戸(常用電源)

● : 揚水井戸(非常用電源)

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、建屋側に砕石押え壁を設置して管周辺を連続した高透水性材料(砕石)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)

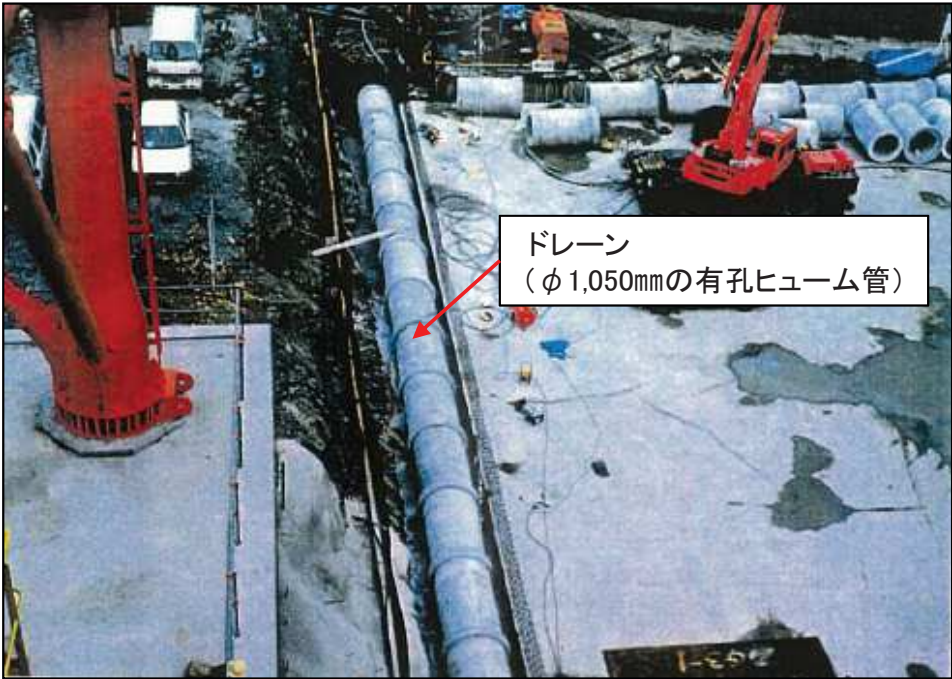
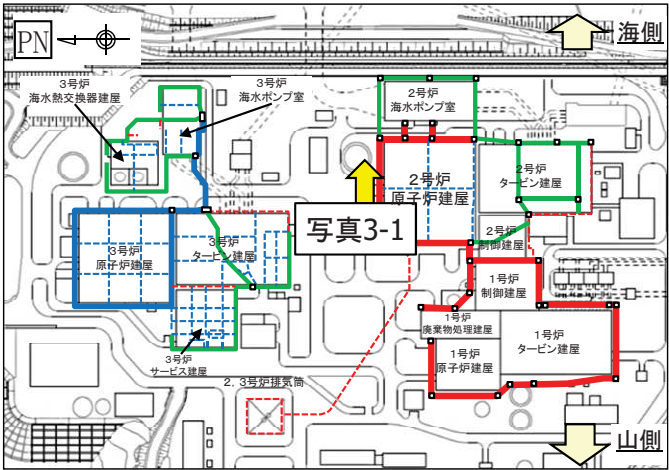
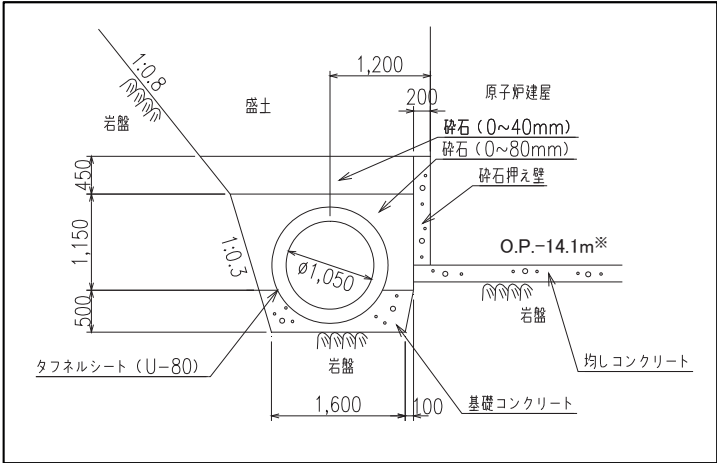


写真3-1 2号炉原子炉建屋北側 ドレーン(φ1,050mmの有孔ヒューム管)



KEYPLAN



第3-4図 ドレーン(Φ1,050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・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・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)

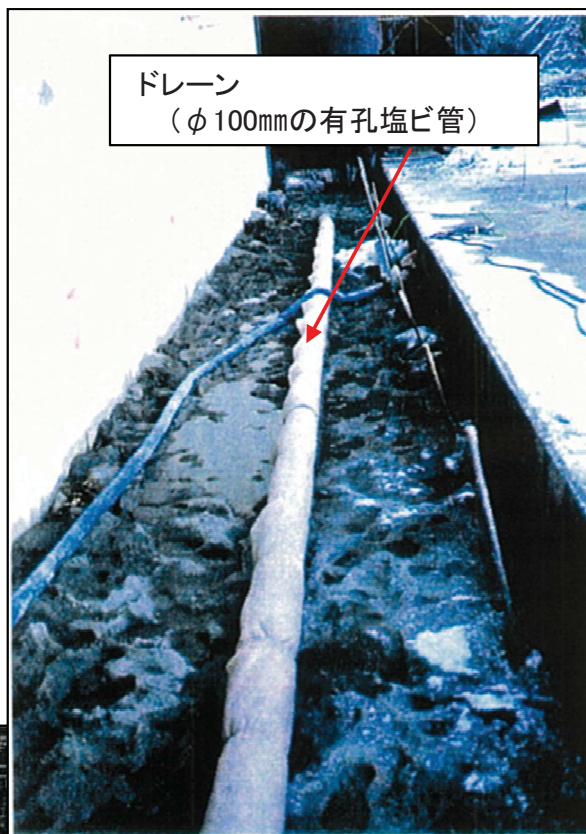
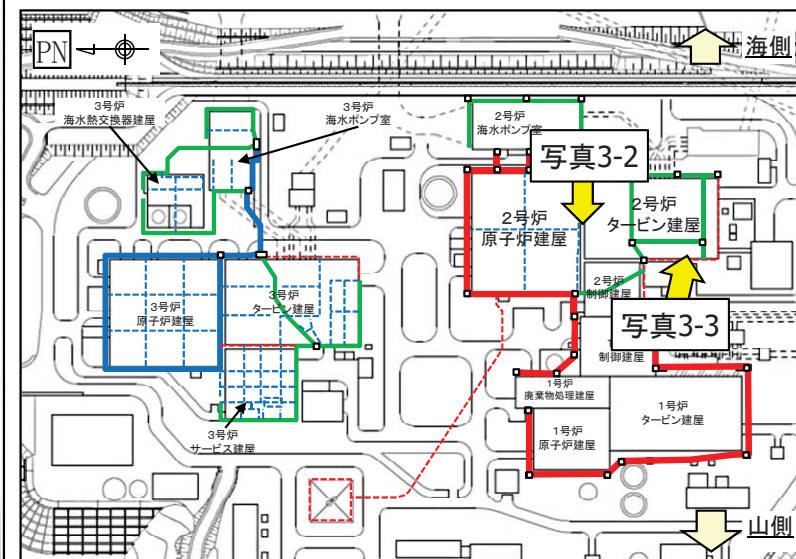


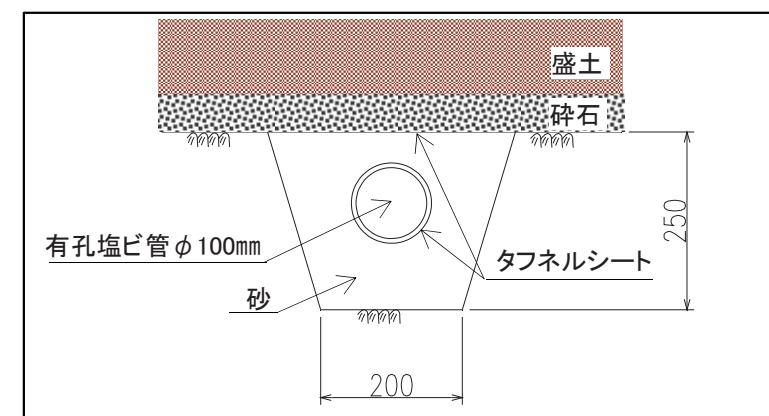
写真3-2 2号炉原子炉建屋・タービン建屋間($\phi 100\text{mm}$ の有孔塩ビ管)



写真3-3 2号炉タービン建屋ドレーン($\phi 500\text{mm}$ の有孔ヒューム管)



KEYPLAN

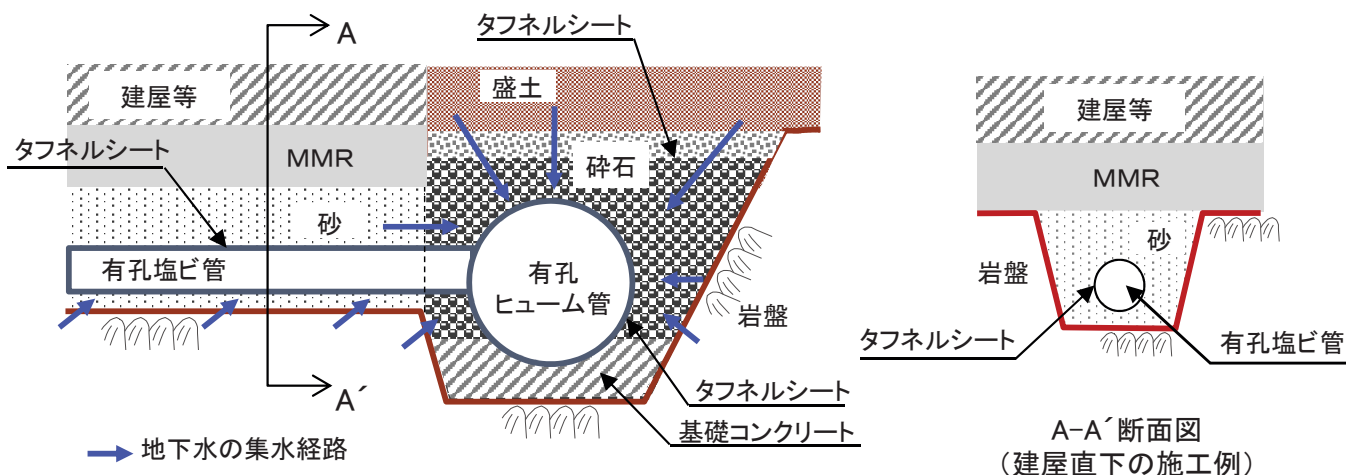


第3-5図 ドレーン(有孔塩ビ管)施工概念図
(建屋間の施工例)

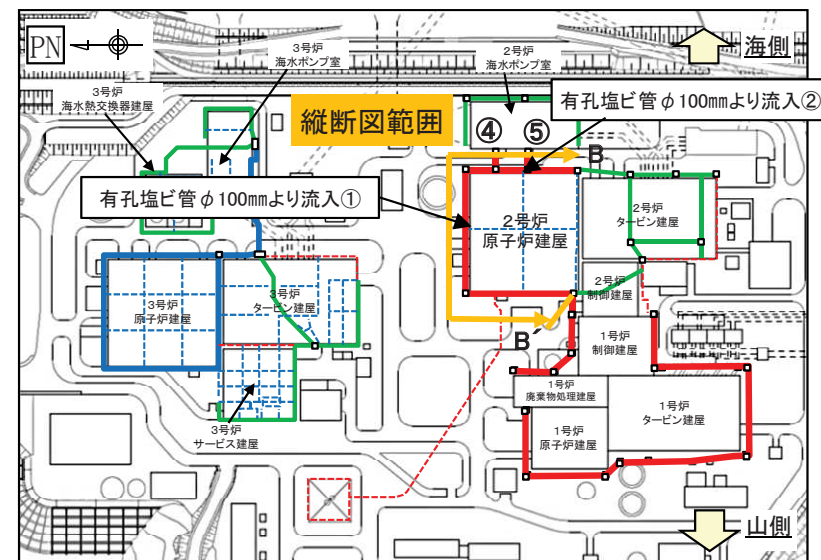
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(3)ドレーン設置状況 (3/4)

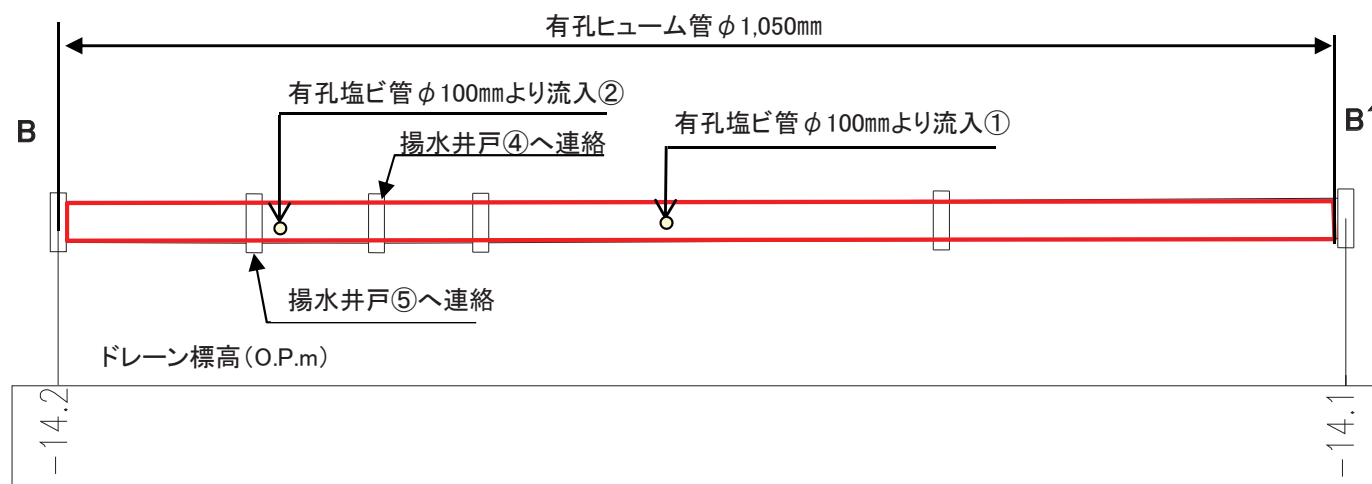
- ・ 建屋直下の有孔塩ビ管は建屋外縁の有孔ヒューム管に接続されている。(第3-6図, 第3-7図)
- ・ 有孔塩ビ管, 有孔ヒューム管いずれも岩盤を掘り込み敷設後, 土砂等の流入により有孔塩ビ管, 有孔ヒューム管に目詰まりが生じないよう, 管を覆うように連続長繊維不織布(タフネルシート)を巻き, 管周辺を連続した高透水性材料(砂, 碎石)で充填している。



第3-6図 有孔塩ビ管と有孔ヒューム管の接続概念図



KEYPLAN



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

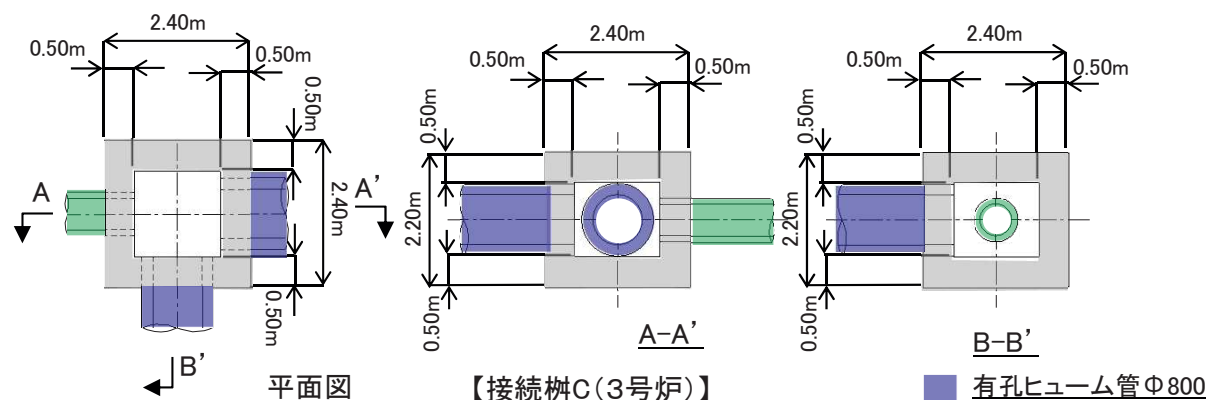
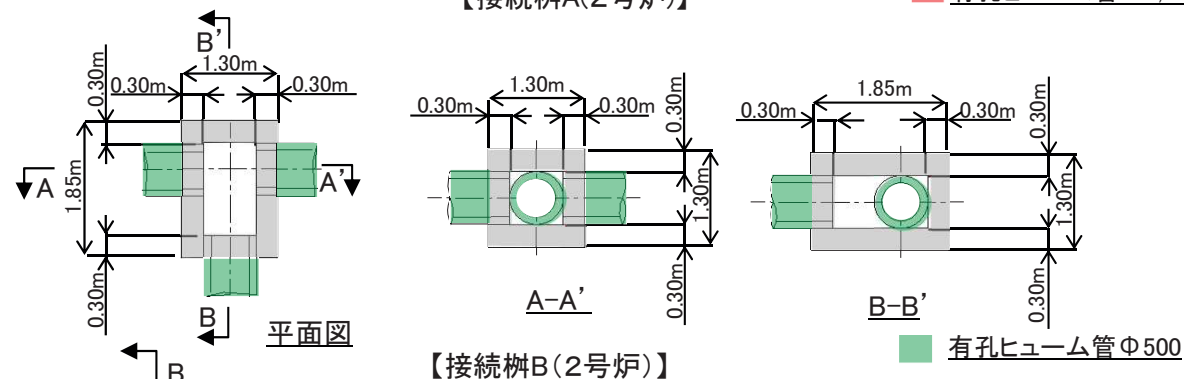
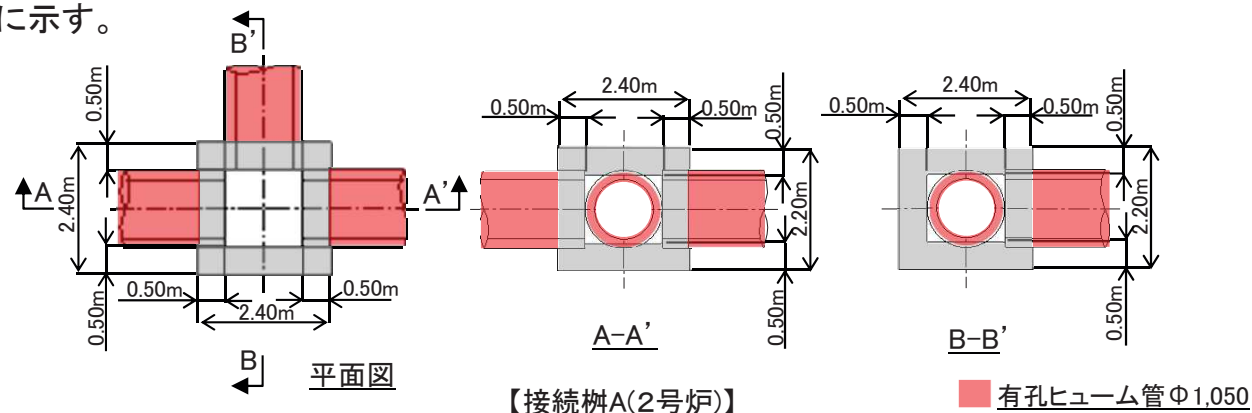
(3)ドレーン設置状況 (4/4)

第675回審査会合(H31.2.5)

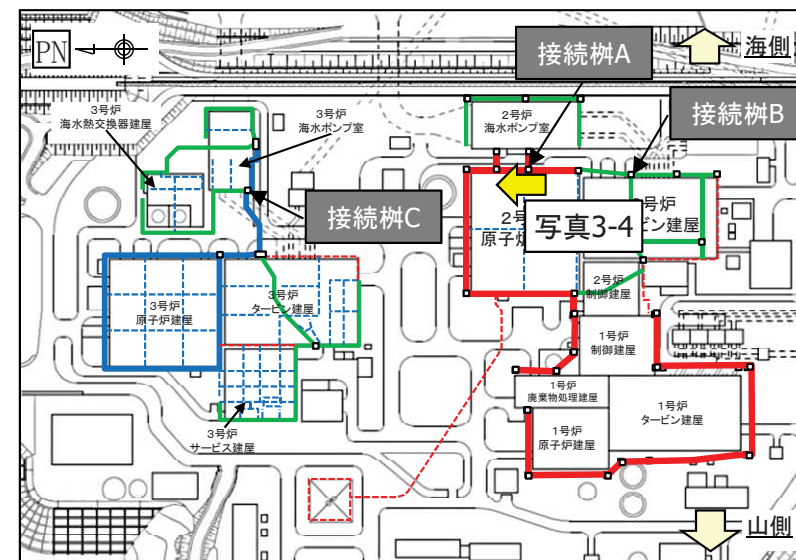
資料2-2-2 p.15 再掲

13

- ・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)ドレーンの耐久性など

第675回審査会合(H31.2.5)

資料2-2-2 p.16 修正

14

- 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など

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	管(有孔ヒューム管・有孔塩ビ管)の周囲	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)	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	管外面及び碎石と盛土材の間	土粒子の管内への流入防止(集水機能に関連しない)	- 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・接続桝	鉄筋コンクリート	対象施設周囲の岩盤上	対象施設周辺地盤の地下水位低下	- 耐用年数: 50年程度(有孔ヒューム管)※1 50年以上(接続桝)※2 - これまでの点検において異常は確認されおらず, 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	- 対象施設直下の岩盤内 - 対象施設周囲の岩盤上	- 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	- 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

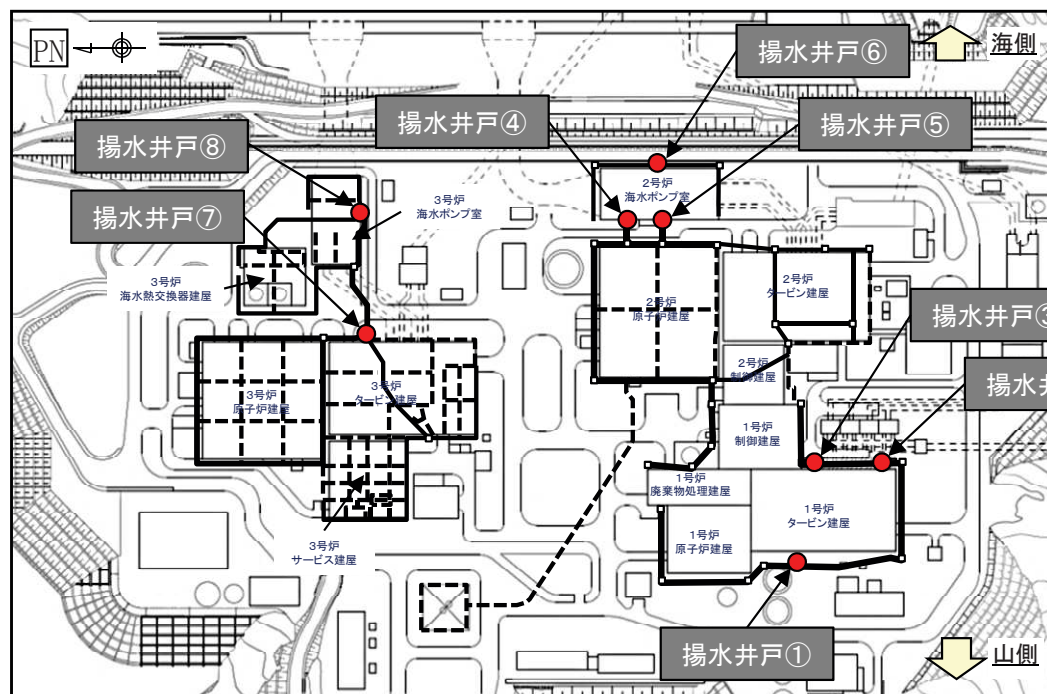
※3 塩化ビニル管・継手協会(<http://www.ppfa.gr.jp/02/index-a04.html>)

※4 水道施設設計指針・解説(日本水道協会)

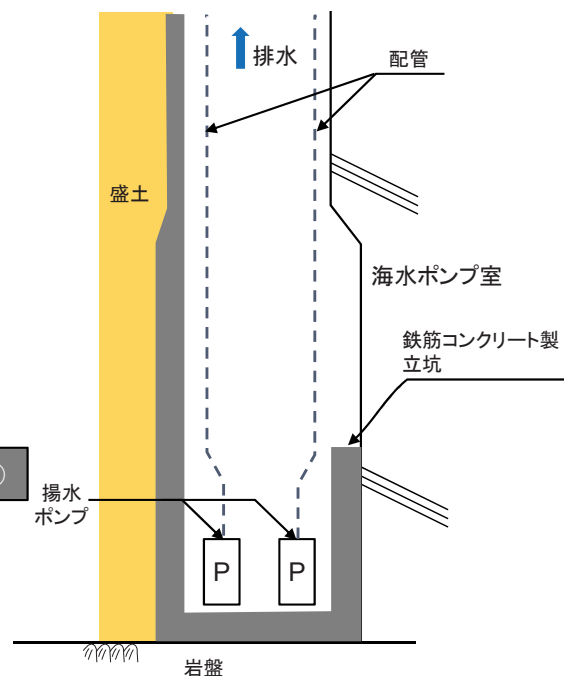
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(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($\phi 125\text{mm} \sim 200\text{mm}$)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



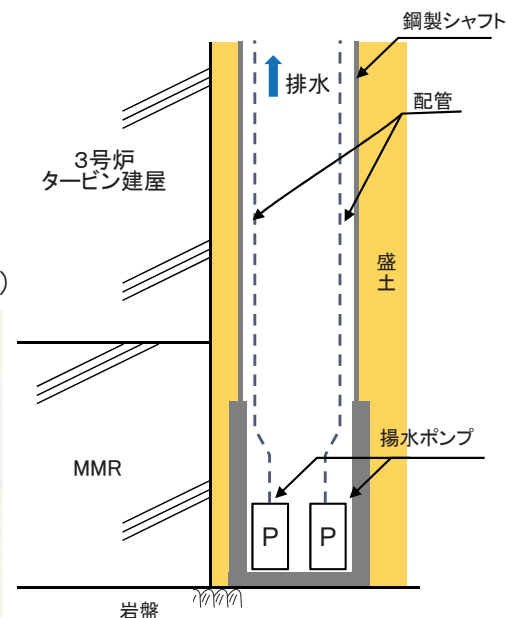
第3-11図 2号炉揚水井戸の例(揚水井戸④)



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)

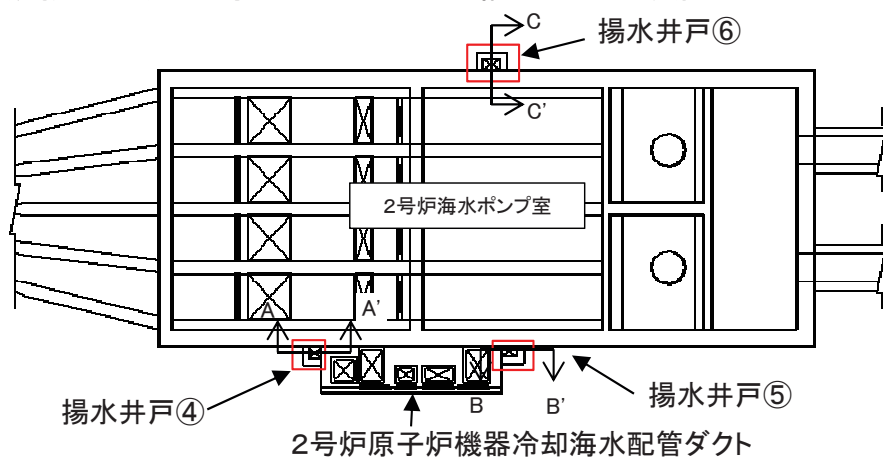
3. 既設の地下水位低下設備の概要

(5) 揚水井戸・配管 (2/3)

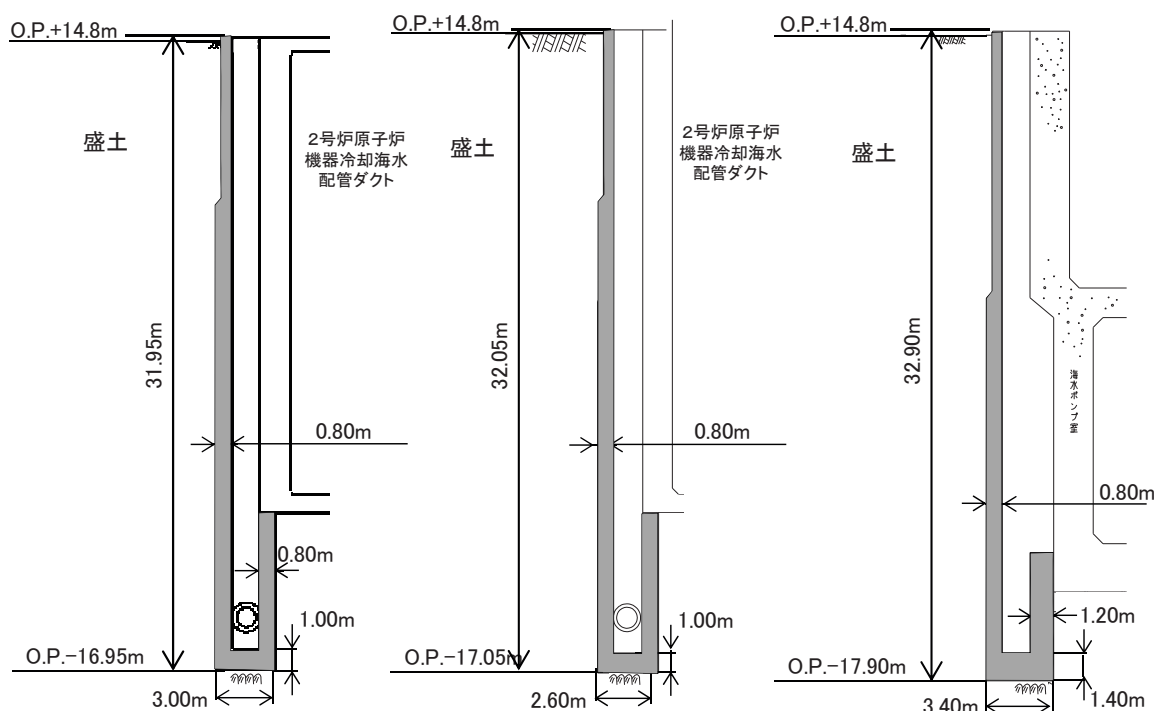
第675回審査会合 (H31.2.5)
資料2-2-2 p.18 再掲

16

- 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)

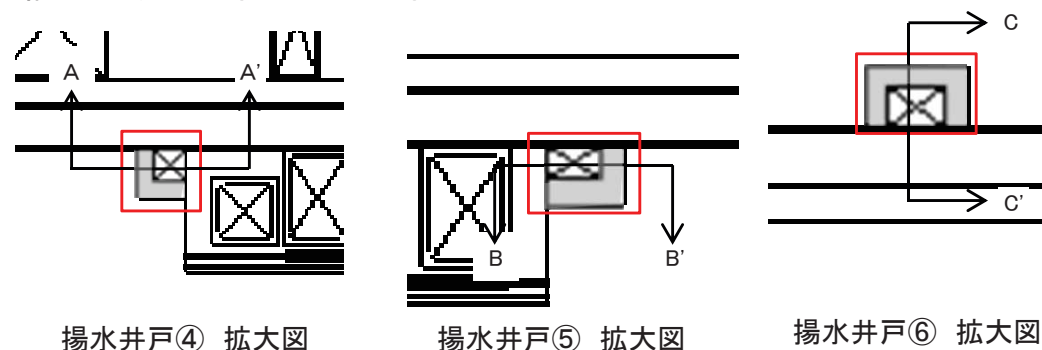


第3-13図 2号炉揚水井戸の設置詳細

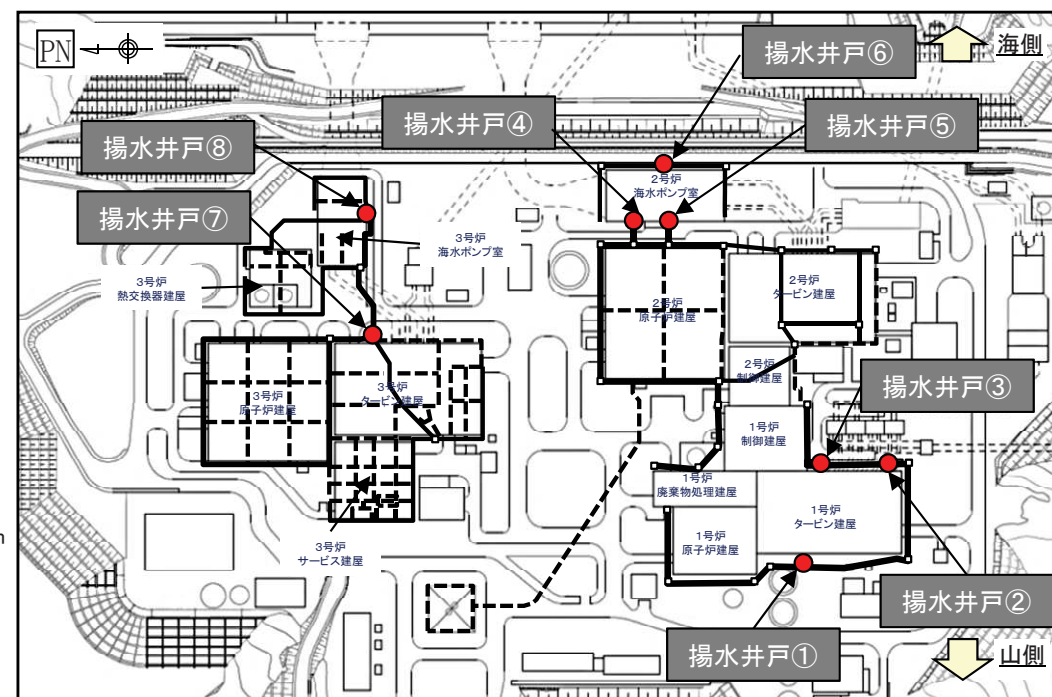


揚水井戸④ 断面図(A-A') 揚水井戸⑤ 断面図(B-B') 揚水井戸⑥ 断面図(C-C')

第3-15図 2号炉揚水井戸の断面図



第3-14図 2号炉揚水井戸の拡大図(平面図)



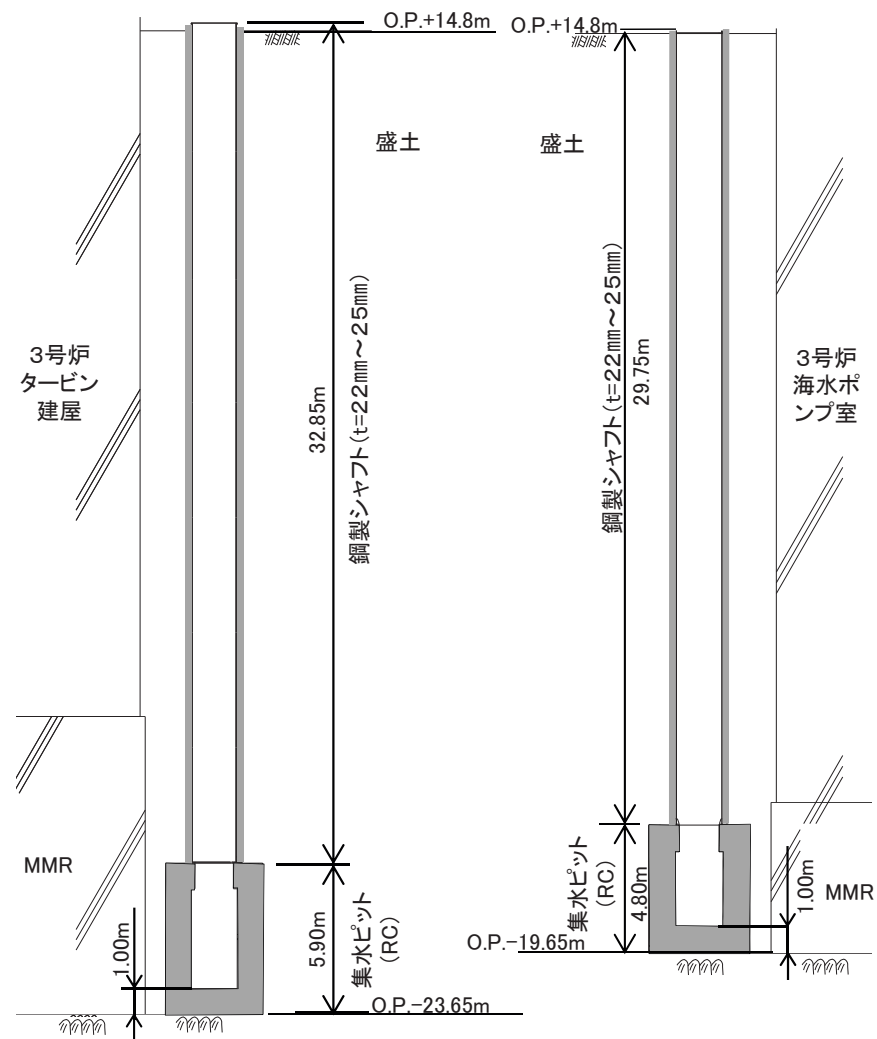
第3-16図 揚水井戸の設置位置(再掲)

3. 既設の地下水位低下設備の概要 (5)揚水井戸・配管 (3/3)

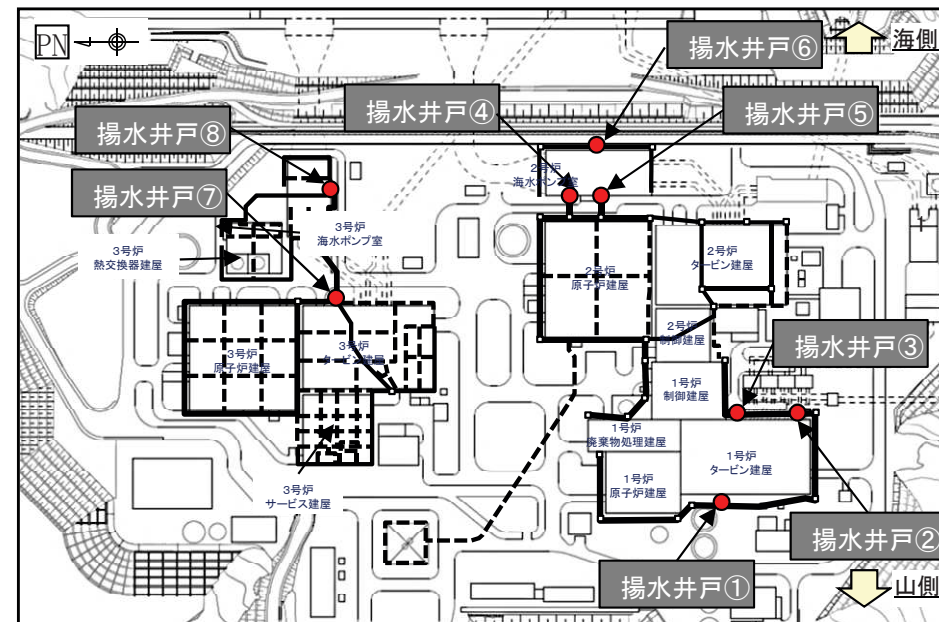
第675回審査会合 (H31.2.5)
資料2-2-2 p.19 再掲

17

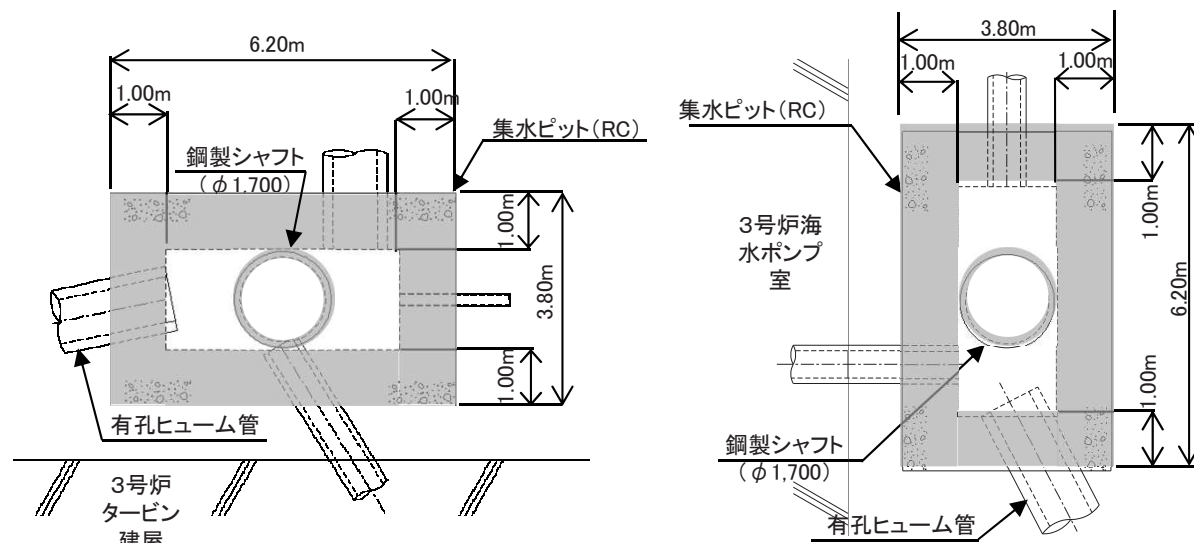
- 3号炉揚水井戸について、上部は鋼製シャフト、下部は鉄筋コンクリート製の集水ピット構造である。(第3-17図～第3-19図)



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)



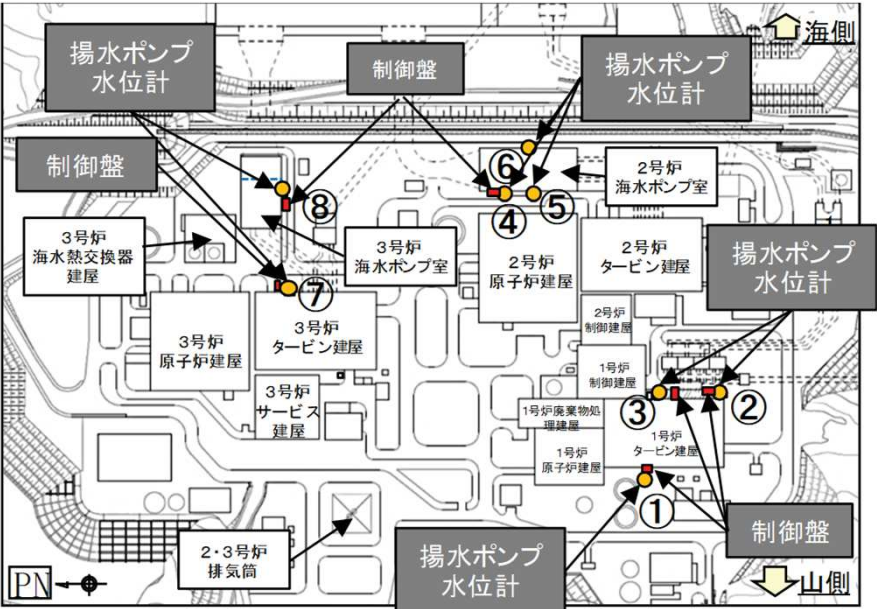
第3-19図 3号炉揚水井戸の拡大図(平面図)

3. 既設の地下水位低下設備の概要
(6)揚水ポンプ、水位計

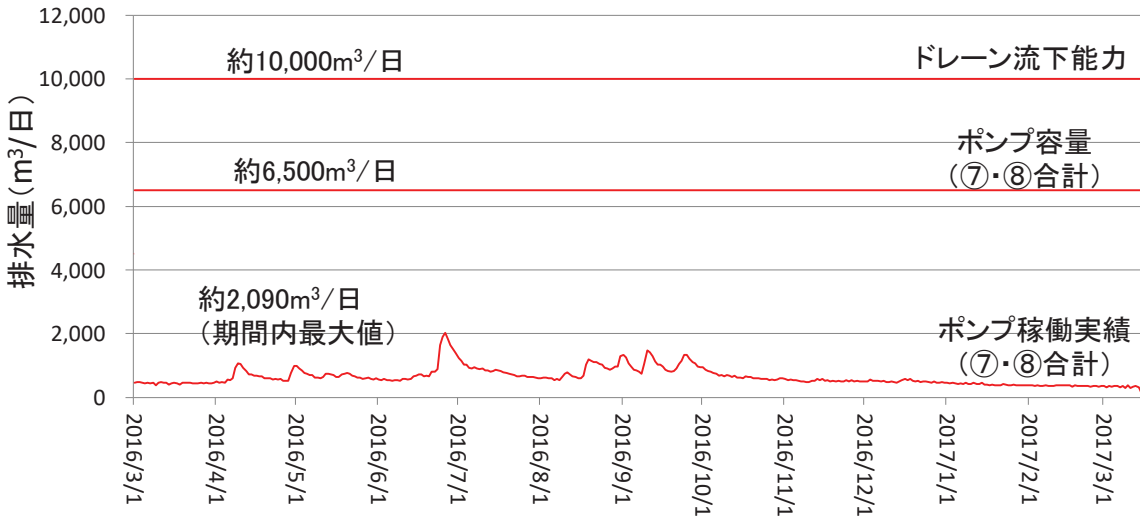
- 揚水ポンプは、各揚水井戸内に2台設置(うち1台は予備の揚水ポンプ)し、揚水井戸に支持される配管を通じてO.P.+14.8m盤の構内排水路に接続している。(第3-20図)
- 水位計は、各揚水井戸内に1台設置されており、形式はすべて圧力式である。(第3-20図、写真3-7)
- 揚水ポンプの容量は、ポンプ稼働実績に対して十分な余裕を有している。(第3-4表、第3-21図)

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 (m³/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)

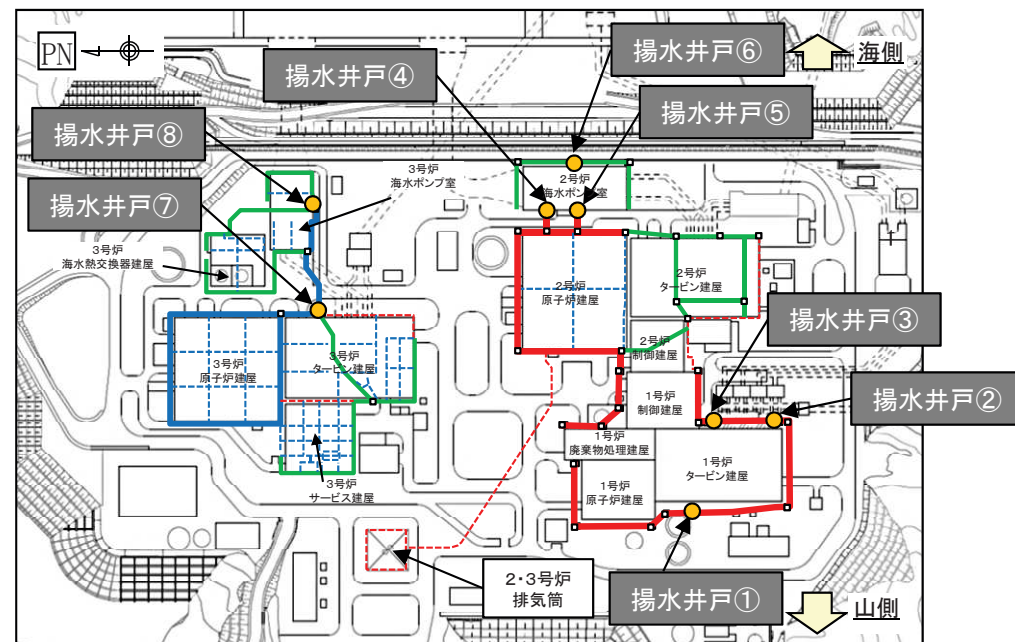
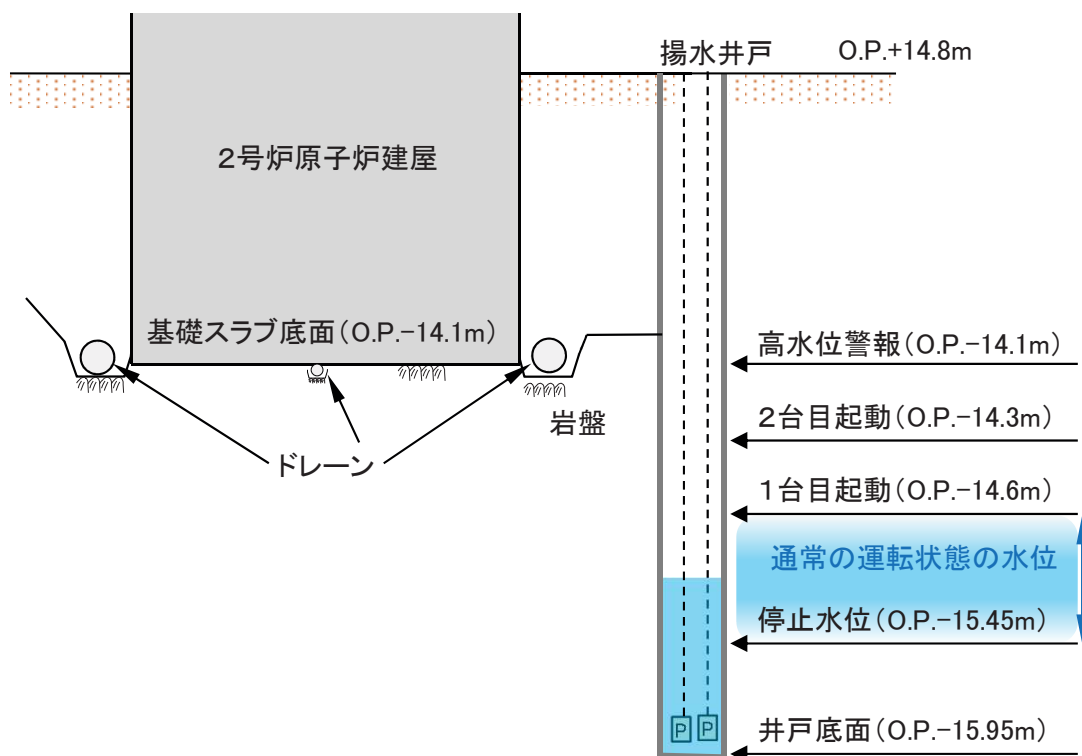


2号炉揚水ポンプの例(揚水井戸⑥) 3号炉水位計の例(揚水井戸⑦)

写真3-7 揚水ポンプ及び水位計

(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3-23図 揚水井戸の設置位置(再掲)

第3-22図 既設の揚水ポンプの運用(揚水井戸④の例)

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、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 ・接続桝	—	—	事後保全対象とし、地震後などは臨時点検を実施
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。	

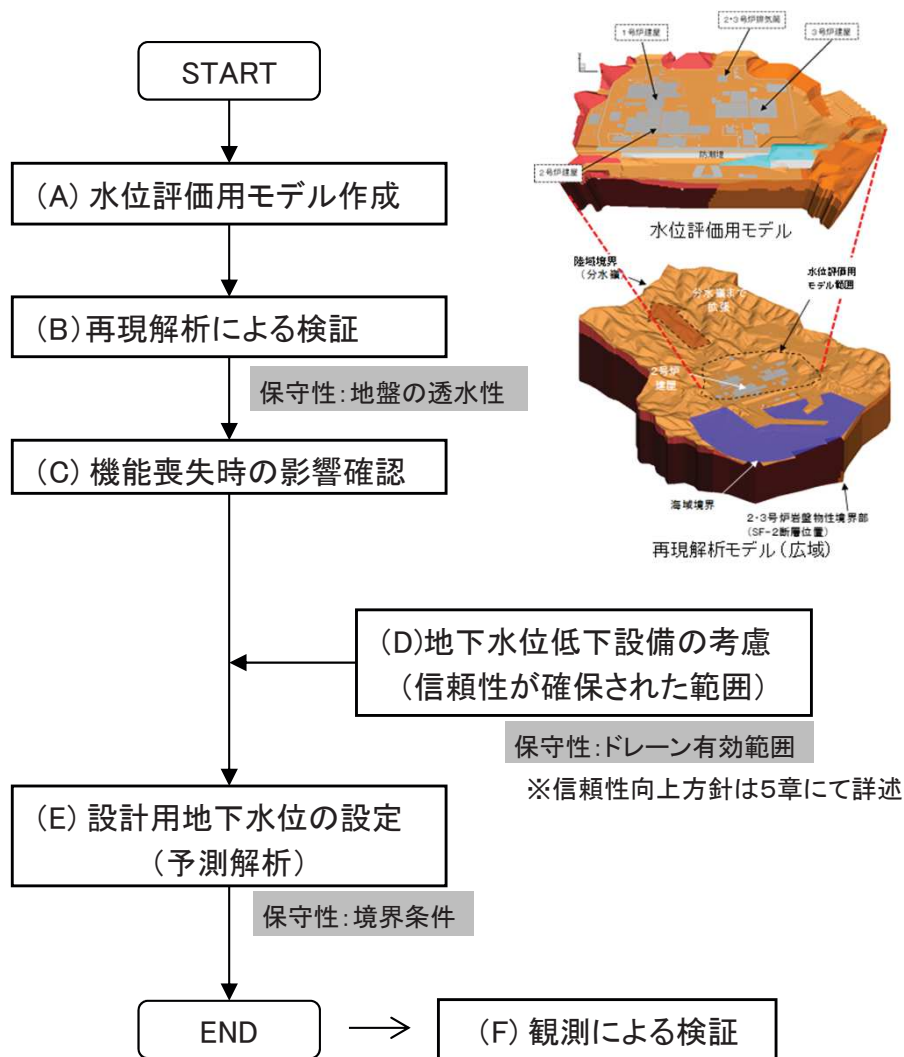
※ 分解点検は3年に1回、それ以外の点検・試験は1年に1回実施

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 (1/3)

- ・ 施設設計用の地下水位の設定にあたっては、地形等を勘案し適切なモデル化を行うとともに、保守性を確保することが重要である。
- ・ 対象施設は建設時工認での設定値をベースとした設計用地下水位にて設置許可段階の評価を行う方針とし、工認段階では防潮堤の沈下対策による地下水流動場の変化や地下水位低下設備の配置を踏まえ、設計用地下水位の妥当性を検証し、変更が生じる場合には、対象施設の安全性への影響を評価した上で必要な対策を行う。
- ・ 浸透流解析を用いた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。



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・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水位低下機能の基準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低下に寄与し信頼性を確保できる地下水位低下設備の範囲を設定する。

(E) 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し、建設時工認での設定値をベースとした設計用地下水位の妥当性を検証する。設計用地下水位に変更が生じる場合には、対象施設の安全性への影響を評価した上で必要な対策を行う。
- ・ 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。
- ・ また、地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位上昇に伴い対象施設への影響が生じるまでの時間(以下、時間余裕)を検証し、設置状況等も踏まえて、ドレインの閉塞等の部分的な機能喪失に対しても設計条件を満足できるような対策を行う。

(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 (2/3)

- ・ 後述する対象施設の新規制基準における設計条件となる地下水位の設定方針の基本的な考え方を示す。
- ・ 前頁の地下水位の設計用地下水位の設定フローにおける設置許可段階、工事計画認可段階それぞれの提示内容を第4-2表に示す。

第4-2表 設置許可、工認段階における提示内容(地下水位の設定関係)

分類		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	
		説明	説明内容	説明	説明内容
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た上で、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の考え方を提示(p.25～26)	○	浸透流解析モデルの妥当性を提示
機能喪失時の影響確認		○	- 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の算定方法の考え方及びそれに基づく結果を提示(p.29) - 算定された地下水位に対して、常時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水位低下機能の基準適合上における位置付けを提示(p.31～33)	○	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の算定方法の考え方及びそれに基づく結果の妥当性を提示
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	○	地下水位低下設備について、機能喪失要因を網羅的に検討し、検討結果に基づき、Ss機能維持等の設計上の配慮事項を提示(p.43～45)	○	- 設置許可段階で提示した設計上の配慮に基づいた各構成設備の耐震計算書などの詳細設計結果を提示 - 保守性を確保した浸透流解析による各揚水井戸の揚水ポンプの容量の設定結果を提示
	ドレーンの有効範囲	○	- 浸透流解析の算定条件として、対象施設周辺の地下水位低下設備に寄与し信頼性を確保できる範囲を設定することを提示(p.50～55) - ドレーン有効範囲設定の基本的な考え方・設定フローは耐久性、耐震性、保守管理性の観点からの浸透流解析上の取扱(管路、透水層)を設定することを提示(p.50～55)	○	設置許可段階で提示した設定フローに基づき、新設ドレーンを含めたドレーン・揚水井戸の有効範囲の設定結果を提示
	保守管理方針	○	原子炉施設保安規程に紐づけた社内規程類において、保守管理・保守管理に係わる事項を定める。保守管理については予防保全とし、運用管理上の配慮(体制、確認項目、対応等の準備)とすることを提示(p.47)	○	※ 手順書内容を提示
設計用地下水位の設定		○	- 設計用地下水位は、建設時工認の設定値をベースとすることを提示(p.22) - その設計用地下水位の妥当性を浸透流解析で検証し、設計用地下水位に変更が生じ、対象施設の安全性に影響を与える場合には、地下水位低下設備又は対象施設における対策を行う方針を提示(p.22) - また、対象施設の時間余裕の検証を行い、設置状況等も踏まえて、ドレーンの閉塞等の部分的な機能喪失に対しても設計条件を満足できるような対策を行う方針を提示(p.22)	○	- 防潮堤の沈下対策による地下水流動場の変化や地下水位低下設備の配置を踏まえた浸透流解析による設計用地下水位の妥当性の検証結果を提示 - 変更が生じる場合には、対象施設の安全性への影響を評価した上で必要に応じた対策を提示 - また、時間余裕を検証し、設置状況等も踏まえて、ドレーンの閉塞等の部分的な機能喪失に対しても設計条件を満足できるような対策内容を提示
観測による検証		○	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ことを提示(p.34)	○	- 取得した観測結果に基づく検証結果を提示 ※ 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を提示

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 (3/3)

- 設計用地下水位の設定にあたっては、地下水位低下設備、対象施設及びその設置地盤等が建設時工認段階と変わらないことから、建設時工認段階における水位設定の考え方(下記①と③)を基本とし、更にドレーンの浸透流解析上の取扱いとして、信頼性の観点から有効範囲を設定すること(下記②)により、保守性を確保する方針とする。(第4-3表)
- なお、②ドレーン有効範囲の考え方は、「5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針」で詳述する。

第4-3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

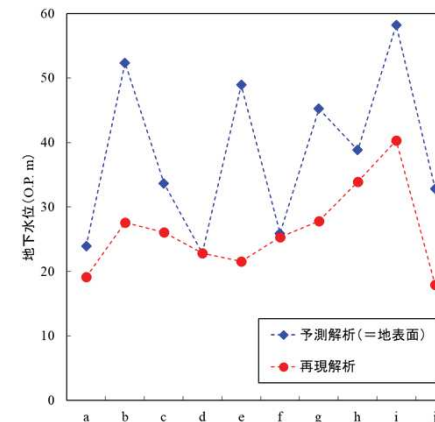
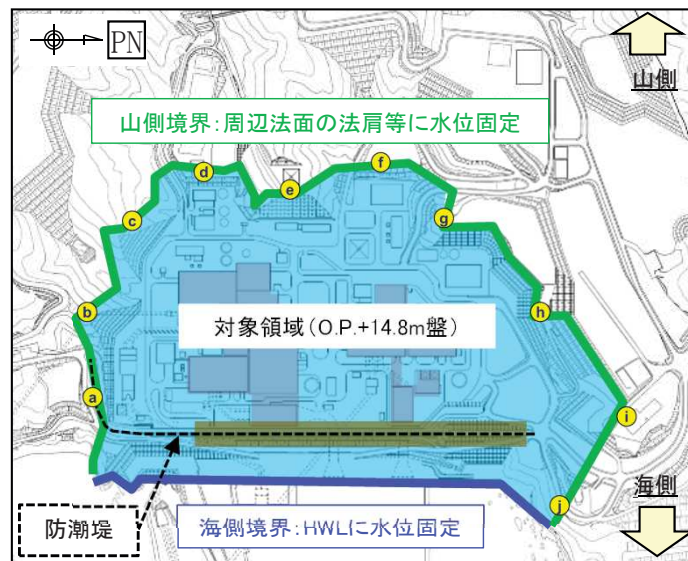
- 建設時工認の透水係数を基本とし地下水位を高め評価するよう保守的に設定

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つの観点を満たすドレーン範囲)
(いずれかの観点を満たさない場合は地盤(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)

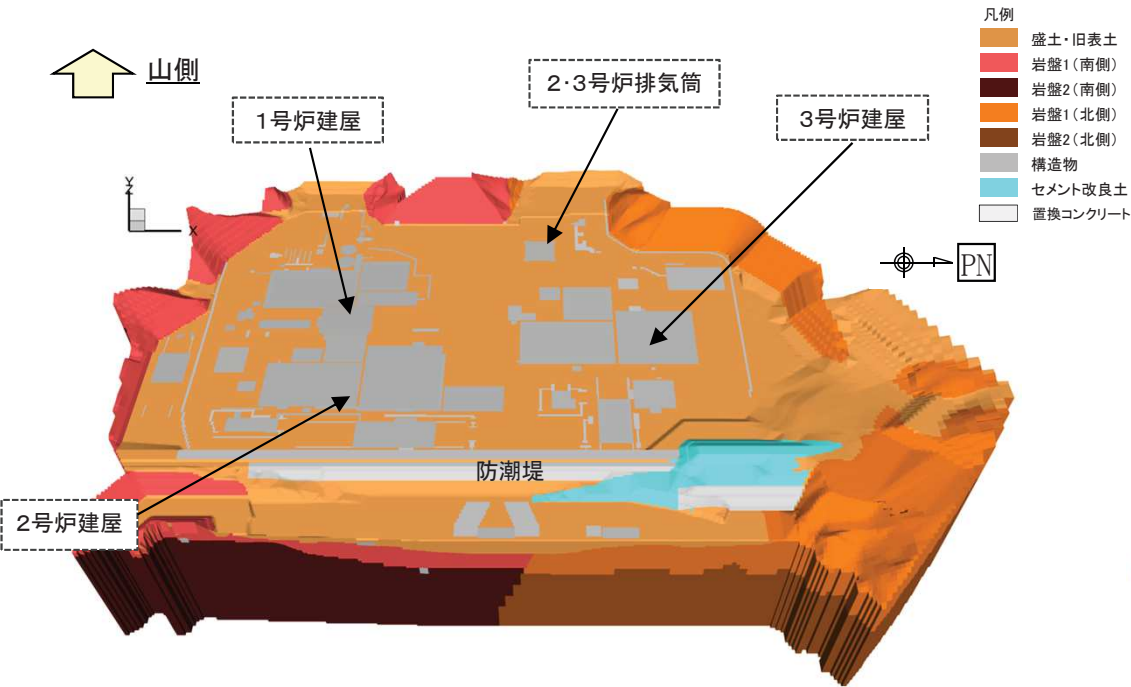
4. 新規規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針
(2) 水位評価用モデル作成

- 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4-4表)
(解析ソフト: GETFLOWS (General purpose Terrestrial fluid-FLOW Simulator) バージョン: ver.6.64.0.1)

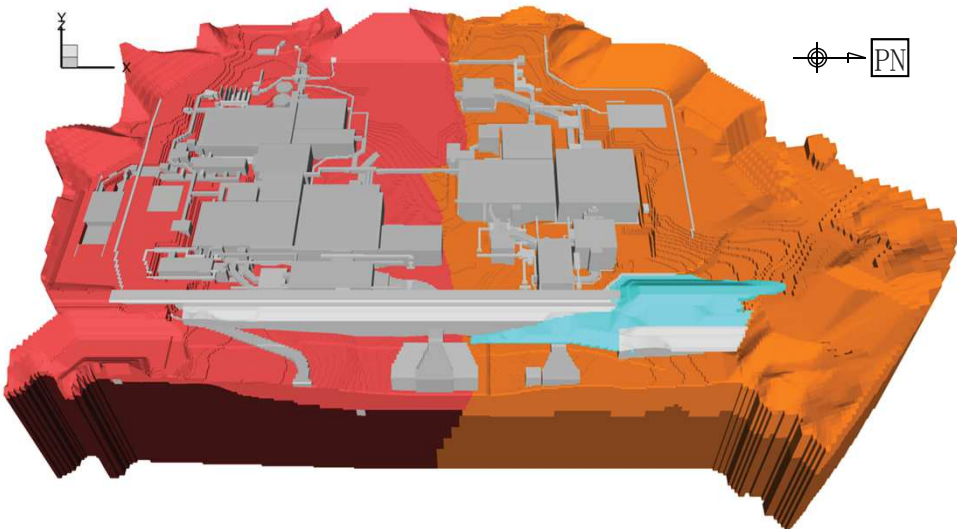
第4-4表 水位評価用モデルの概要

項目	内容
モデル化範囲など	- 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。

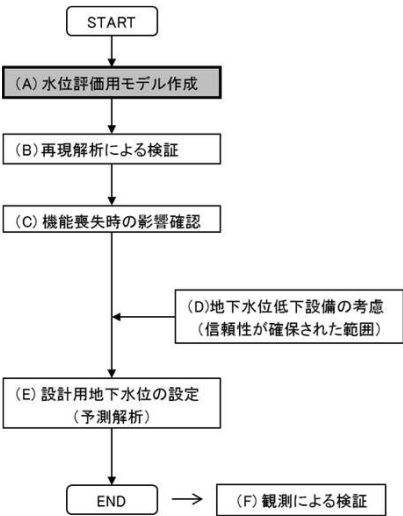


(a) 全体鳥瞰図



(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



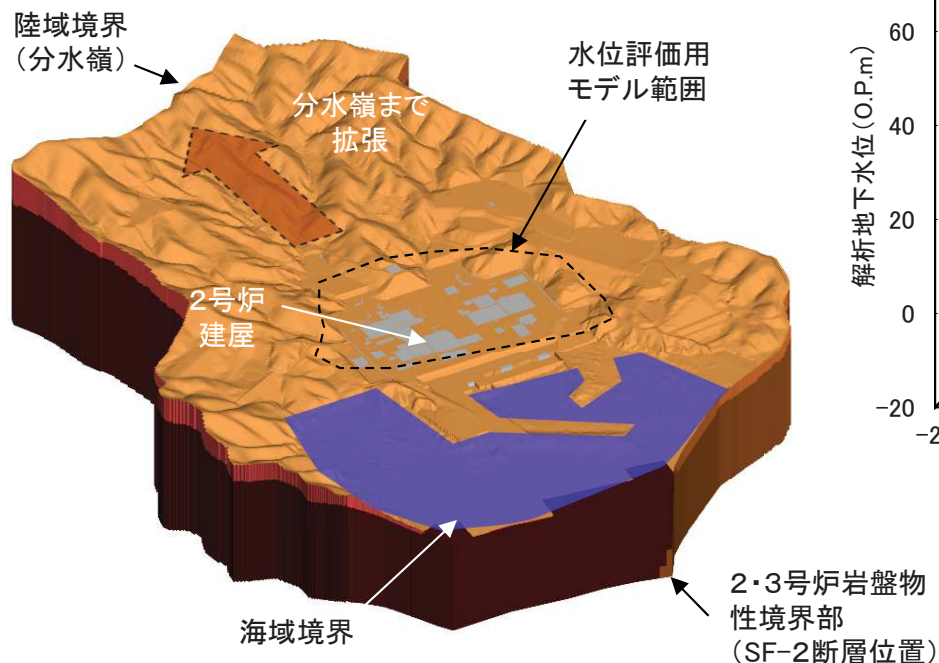
浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フロー

4. 新規規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

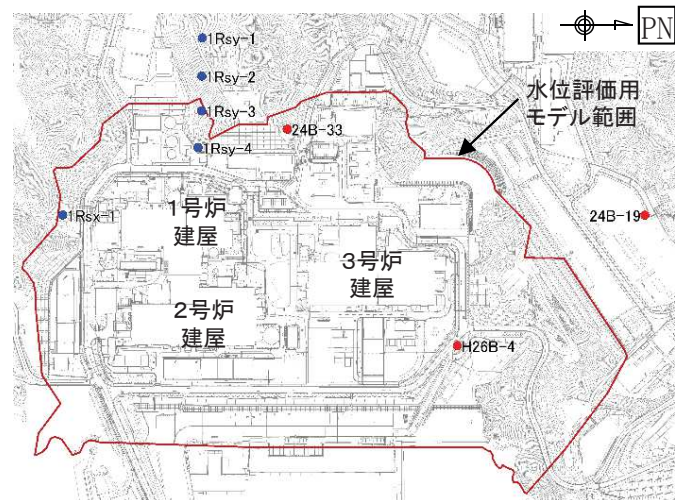
(3)再現解析による検証 (1/2)

- 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）

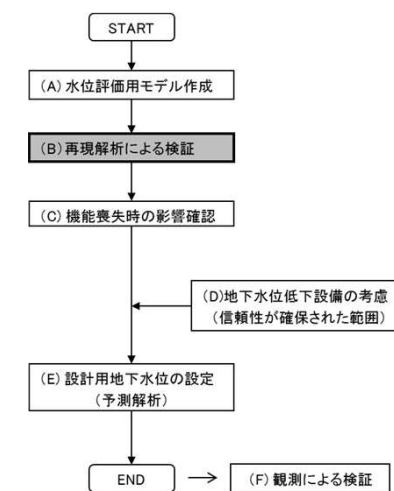
※1：透水係数は、補足説明資料2に示す建設時工認段階の評価に用いた設定値等（ルジオン試験等に基づく値）とする。



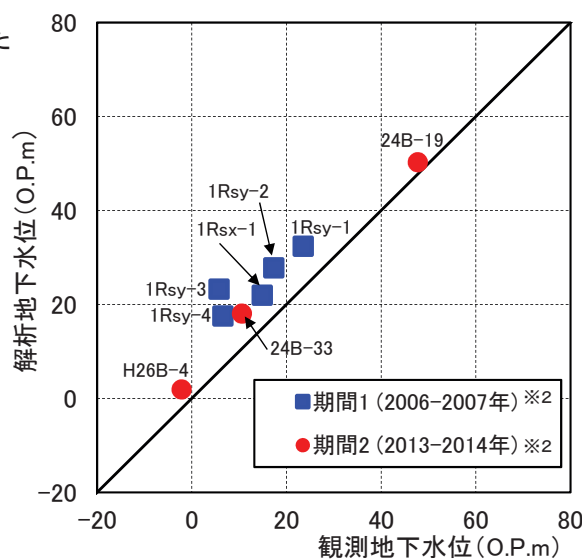
第4-4図 再現解析モデル鳥瞰図



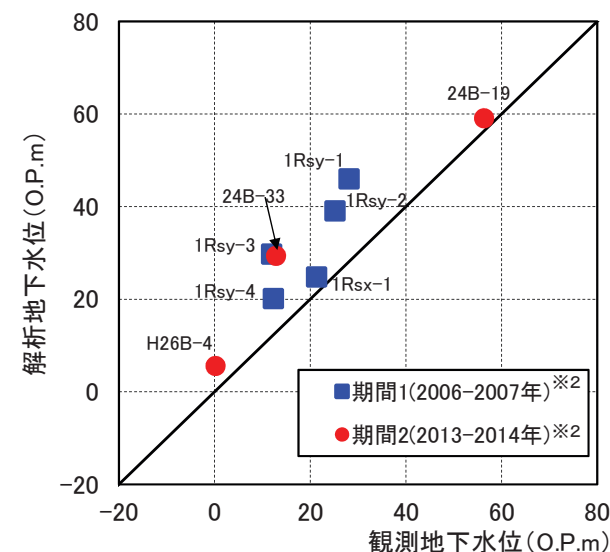
第4-5図 観測孔位置



浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フロー



(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：新規規制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】

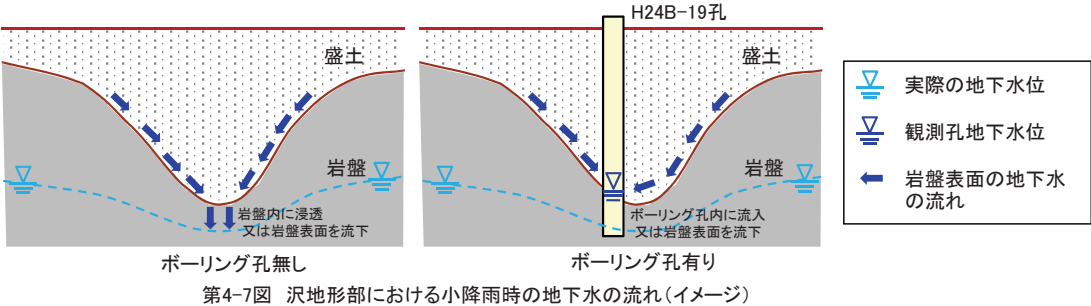
- 岩盤が地表付近に近く、主に岩盤内を地下水が流れる観測孔(1Rsy-1～4, 1Rsx-1, 24B-33)において、観測値と解析値の差が比較的大きい結果が得られている。これは、建設時工認において設計用地下水位(揚圧力)を高めめに評価するため、岩盤Ⅰの透水係数を-1σ小さく設定していることに起因するものと推察される。(第4-5表)

【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)



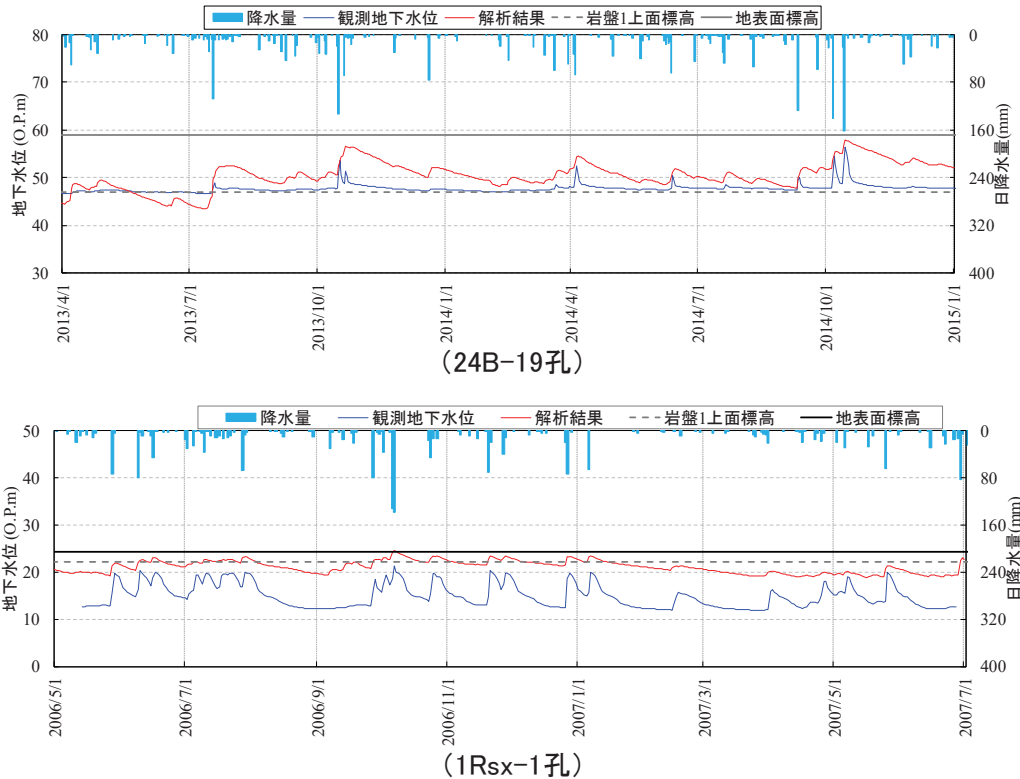
(1Rsx-1孔)

- 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4-5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)	—

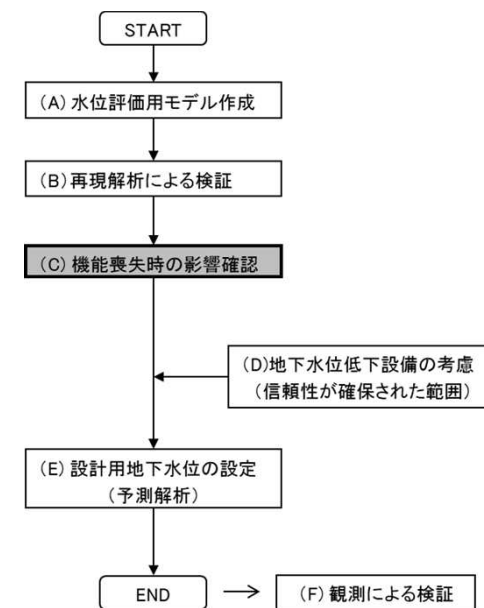
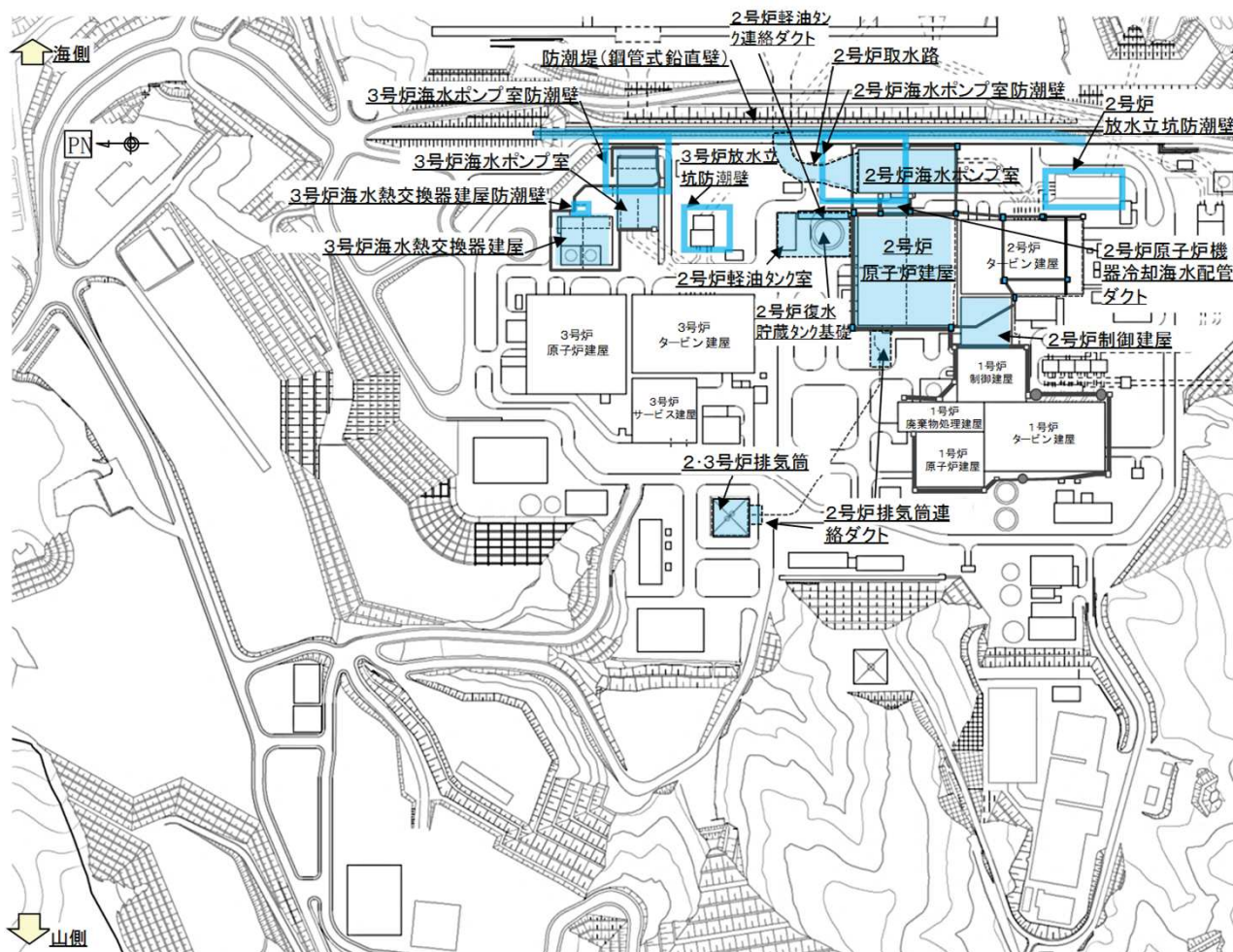
※1: 建設時工認段階以降に取得



第4-8図 地下水位の経時変化例

(4)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、地下水位低下設備の機能に期待した設計値(地下水位・揚圧力)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、地下水位低下設備の水位低下効果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。
 - ーO.P.+62m盤に設置を計画している2号炉緊急時対策所等は、観測記録に基づく地下水位または地表面に設定する。
 - ー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、地下水位低下設備の機能に期待しない浸透流解析等により地下水位を設定する。
 - ー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.+5.0m(O.P.+14.8m盤のみ。他は地表面))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。



浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フロー

凡 例

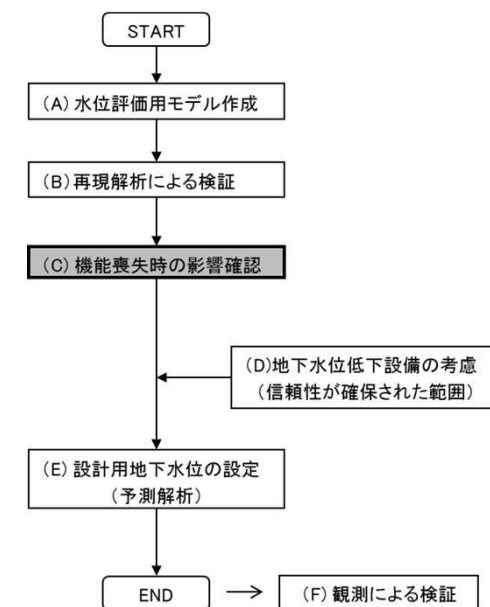
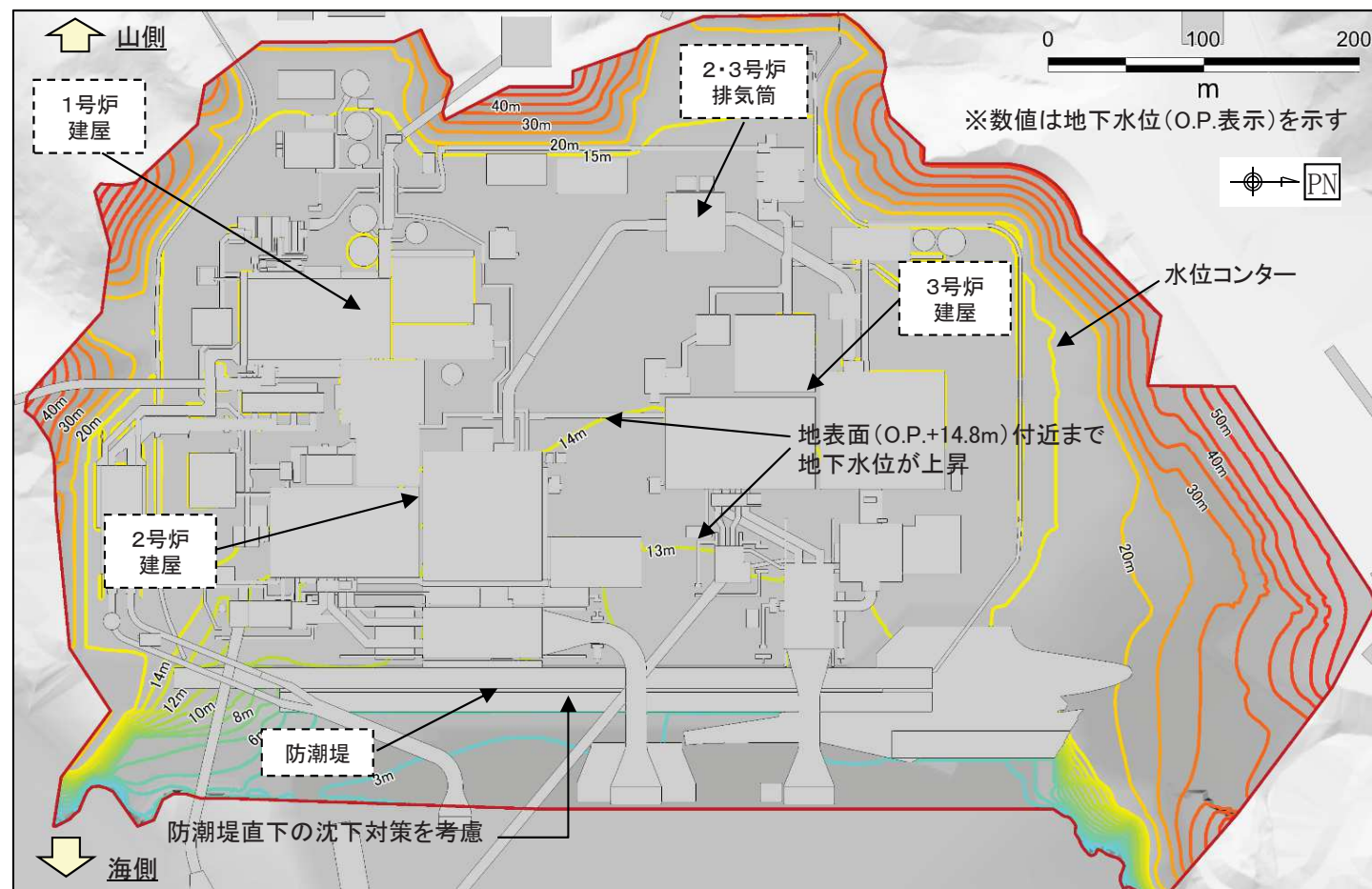
■ :対象施設

第4-9図 対象施設の配置

4. 新規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、地下水位が地表面付近まで上昇する、との想定が得られた。



浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定フロー

凡例
[Red outline] 解析領域
[Black outline] 構造物外郭

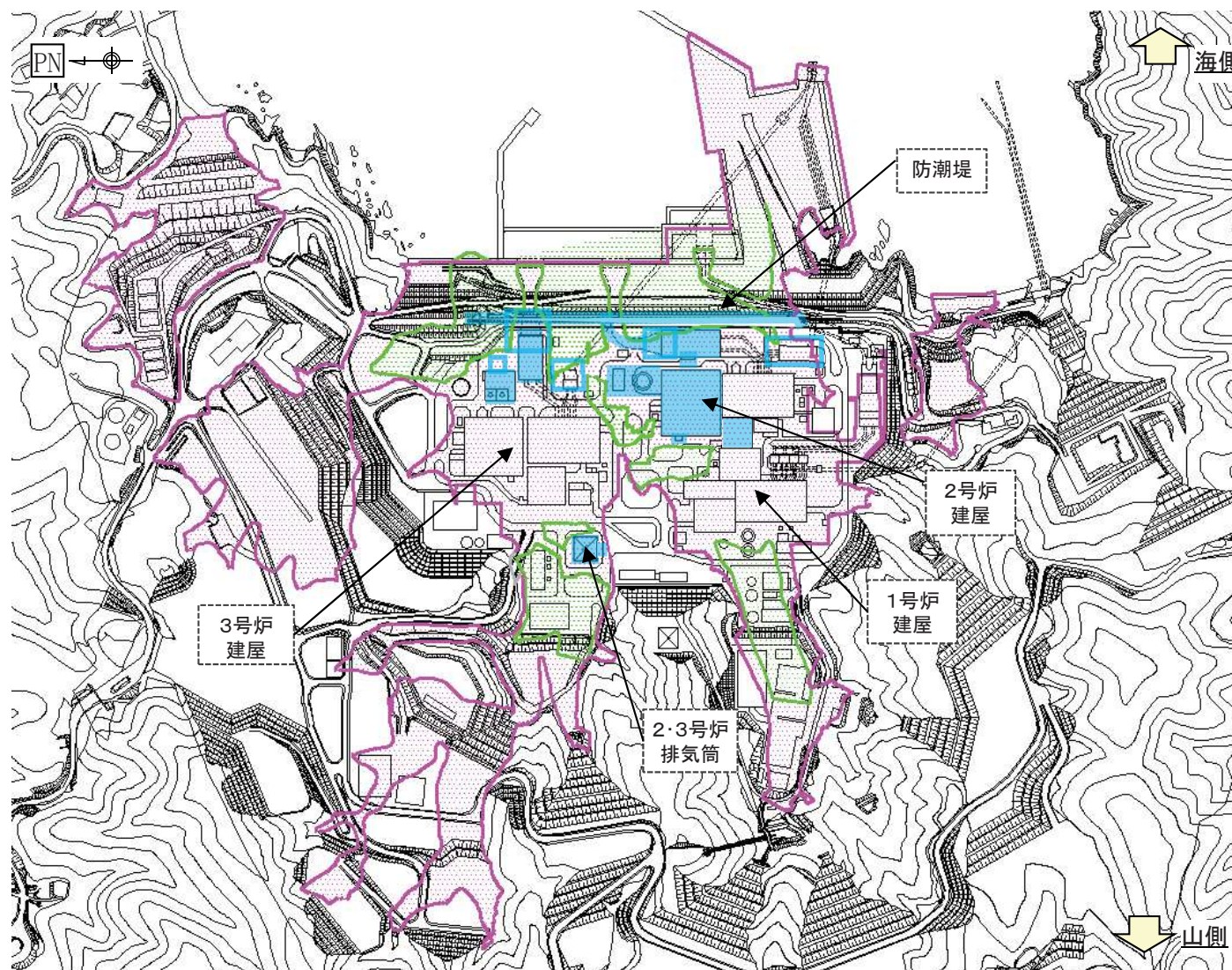
(参考)
本図は解析境界に水位固定した定常解析により得られた水面分布であり、実際の降雨条件とは異なるが、解析開始(地下水位低下設備が機能停止)から数年程度で地下水位が地表面近くに到達する。

第4-10図 地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布算定結果

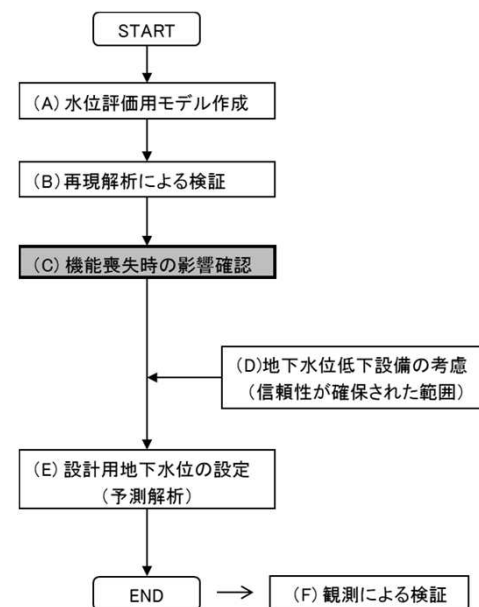
4. 新規規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(4) 機能喪失時の影響確認 (3/6)

- 液状化等による影響(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)3条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4-6表、第4-7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4-6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.29参照)	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		
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)	—	—	地表面に設定しているため影響なし	地表面に設定	—

第4-7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.29参照)		設計用揚圧力	設計への反映事項
		地盤	地震	津波・余震重畳				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压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、地下水压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：2号炉原子炉建屋、杭基礎構造物：防潮堤・防潮壁で代表。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。

4. 新規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4-8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	4条 39条	5条 40条	設置 許可	工認※5	常時	地震時(地下水位はp.29参照) 周辺地盤(液状化)影響	設計用地下水位	設計への反映事項
		地盤	地震	津波・余震重畳						
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 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		— (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		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		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。



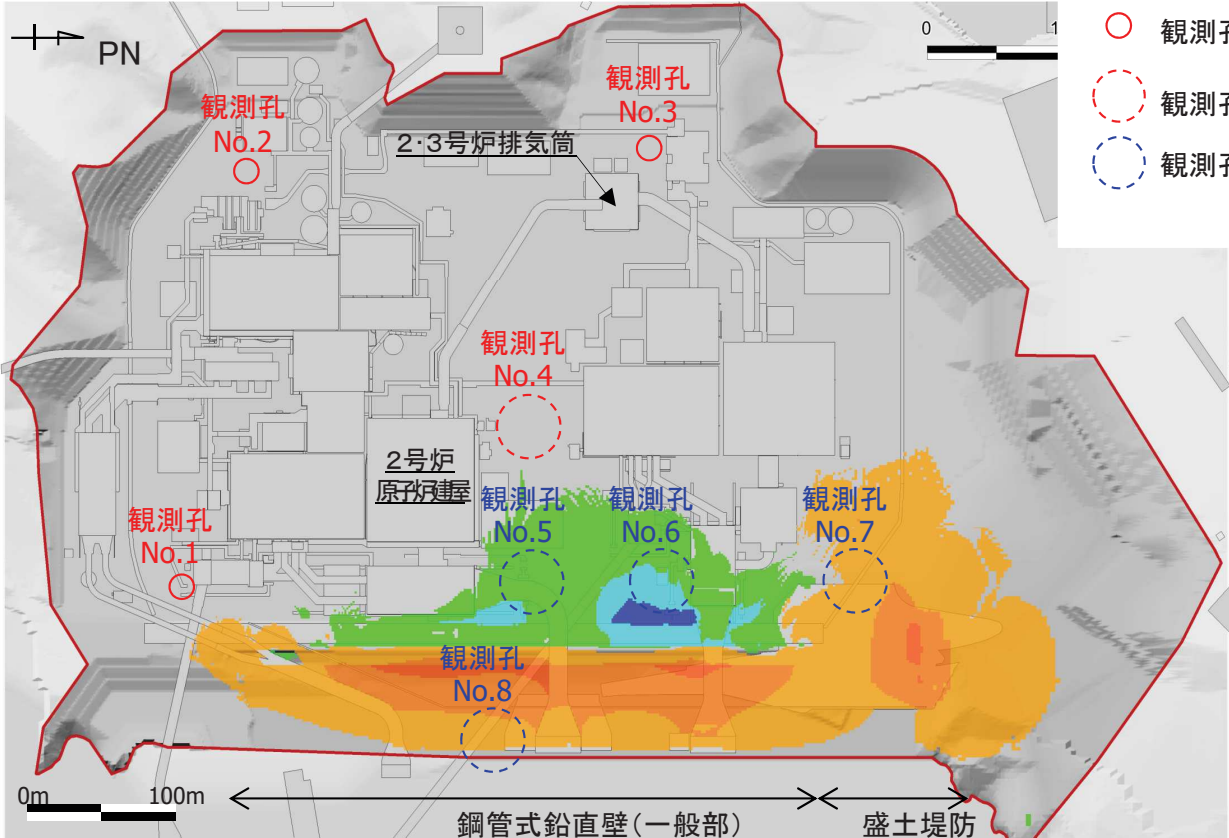
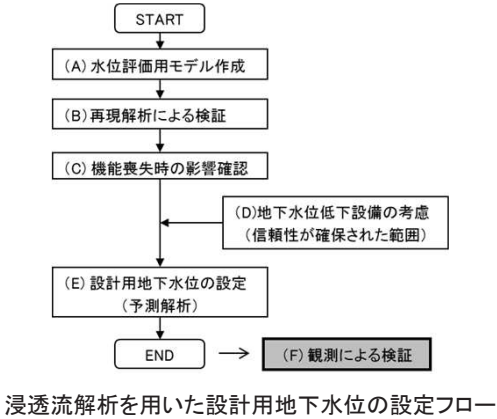
4. 新規規制基準に対応した設計用地下水位の設定方針

(4) 機能喪失時の影響確認 (6/6) まとめ

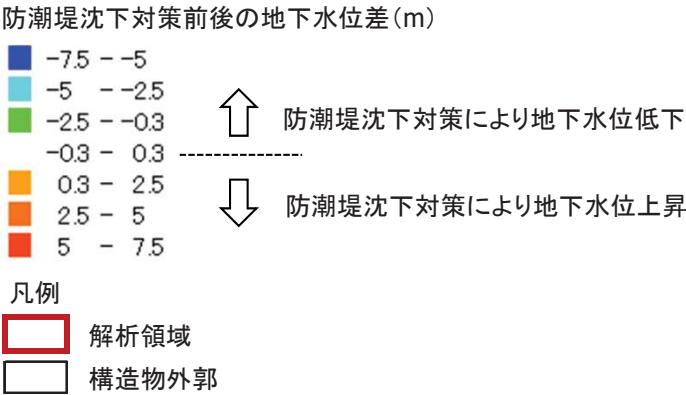
- 三次元浸透流解析により、地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布を概略的に予測し、地下水位低下設備の水位低下効果が機能せず、地下水位が地表面付近まで上昇した場合における常時及び地震時の対象施設への影響を評価した。
- この結果、地下水位低下設備の水位低下機能が失われた場合、常時における地下水位上昇の影響はないものの、地震時には施設の安全性に影響が生じることが確認された。
 - －基礎地盤・周辺斜面は、地表面に地下水位を設定しているため影響が生じない。
 - －建物・構築物は、地震時において、揚圧力影響により基礎版の耐震性を確保できない可能性がある。(第4条、第39条) また、基礎版上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)。
- 以上より、設置許可基準規則第3条第2項、第4条、第5条、第38条第2項及び第39条、第40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条第2項及び第38条第2項、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、かつ第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。
- なお、影響有と評価した対象施設は、その設置高さや地下水位低下設備との位置関係も各々異なるため、時間余裕に有意な差があると考えられることから、この時間余裕に関しても検証を行い、十分な時間余裕が確保できない場合は、その影響を評価した上で必要な対策を行う。

4. 新規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。



- 観測孔:平成30年度より観測開始(実施中)
 - 観測孔(計画)※:今後速やかに観測開始
 - 観測孔(計画)※:防潮堤の沈下対策完了後に観測開始
- 工認段階 検証用
- 運転段階 検証用



※ 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及び機能

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)
 - ・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

次頁以降、地下水位低下設備の目的や機能維持を要求する期間を勘案し、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) 地下水位低下設備の機能喪失要因等の分析方法

➤ 信頼性向上のあり方の整理を行うにあたっての具体的な分析方法を以下に示す。

【分析1】

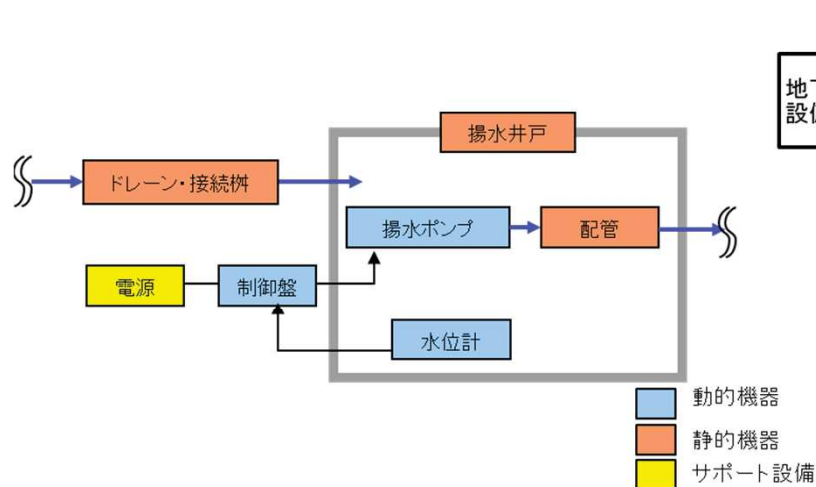
- 地下水位低下設備の構成部位について、機能喪失モードの特定を行う観点から静的機器、動的機器及びサポート設備に分類（第5-1図、第5-2図）
- 分類した機能毎に、設置許可基準規則第3条から第13条までにおいて、考慮することが要求される事象を、「想定する機能喪失要因」とする
- なお、第14条から第36条までに対しては、次頁第5-1表のとおり、地下水位低下設備に対する機能について影響するものではないので機能喪失要因の対象とはならない。
- 地下水位低下設備の構成部位が、想定する機能喪失要因により機能喪失するかを分析（第5-2表）
- 分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の観点から必要な対策について整理する。

【分析2】

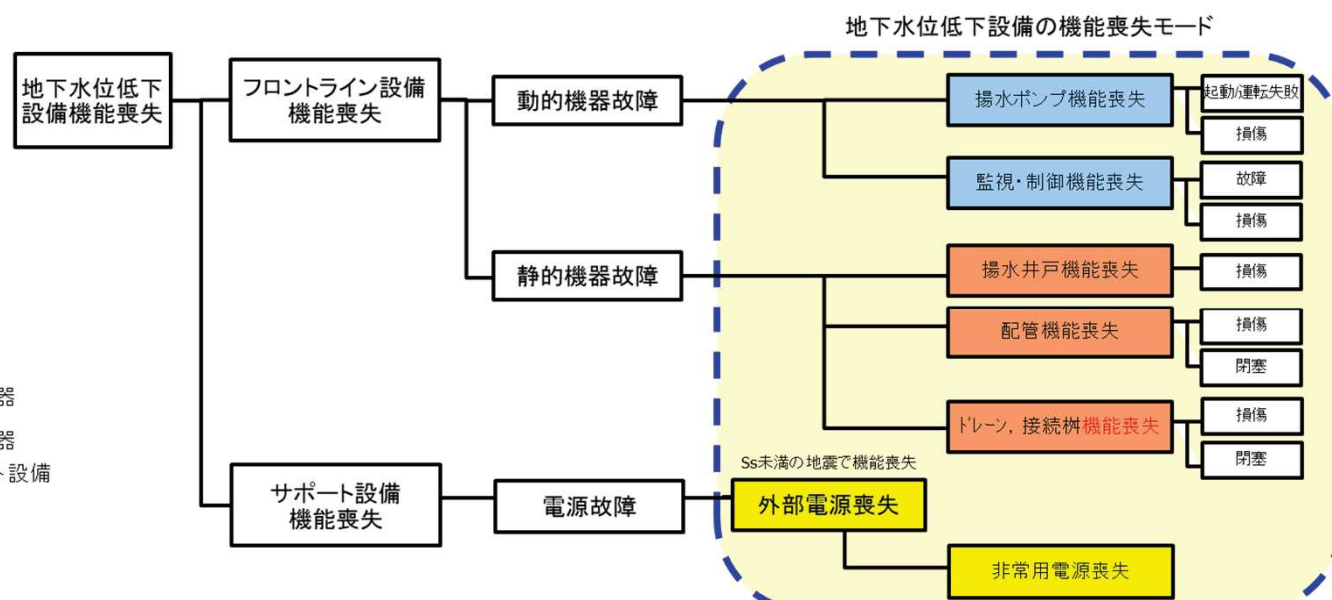
- 分析1から抽出された、地下水位低下設備の機能喪失要因となる事象が発生した場合に、同時に「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生するかについて分析（第5-3表）
- 分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の対策に加え、追加の対策が必要であるかについて整理

【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5-4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



第5-1図 地下水位低下設備の系統概略図



第5-2図 地下水位低下設備の機能喪失モード

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(3)地下水位低下設備の機能喪失影響を踏まえた設計上の配慮事項(1/2)

- 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)及び内部火災(第9条)が考えられるため要因として抽出した。(第5-1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5-1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	反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)地下水位低下設備の機能喪失影響を踏まえた設計上の配慮事項(2/2)

【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、地下水位低下設備の全ての構成部位が、設計上想定される外部事象の影響を受ける前提とする
 - 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
- ＜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5-2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5-6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5-2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																					
		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)	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)		
集水機能	ドレーン・接続樹	×	地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本文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	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	○	○	—	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした				
		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																			
排水機能	揚水ポンプ	×		×	○	○	×	○	○	○	×	×	○		○	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	○			○	○	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした
		ランダム故障による機能喪失		耐震無し			飛来物の影響の可能性有り				落雷による機能喪失の可能性有り	火山灰の影響により機能喪失の可能性有り											
配管	×	×		○	○	×	○	○	○	○	○	○	○		○		—						
	閉塞による機能喪失の可能性有り	耐震無し				飛来物の影響の可能性有り																	
監視・制御機能	制御盤	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	×		×	×	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした			
		ランダム故障による機能喪失	耐震無し		台風による二次的影響の可能性有り	飛来物の影響の可能性有り	制御系の低温による機能喪失の可能性有り	電気系統の漏水による機能喪失の可能性有り	積雪荷重での損傷の可能性有り	落雷による機能喪失の可能性有り	火山灰の影響により機能喪失の可能性有り	小動物の侵入による機能喪失の可能性有り	航空機と軽油タンクの重量火災により機能喪失の可能性有り		地絡・短絡等を起因とする火災により機能喪失の可能性有り		溢水の影響により機能喪失の可能性有り	誤操作による機能喪失の可能性有り※2					
	水位計	×	×	○	○	×	○	○	○	×	×	○	○		○		○						
		ランダム故障による機能喪失	耐震無し			飛来物の影響の可能性有り				落雷による機能喪失の可能性有り	火山灰の影響により機能喪失の可能性有り												
電源機能	電源※1(非常用DG)	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	○	○	○			本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	本条文は、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、分析対象外とした	
		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
黄色網掛け: 既設設備で設置上配慮されている項目

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(4)地下水位低下設備各構成部位機能喪失と同時に起こりうる可能性のある事象の整理(1/2)

【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

- ＜分析結果＞
- 第5-3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の損傷し、「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。

第5-3表 地下水位低下設備の機能喪失と同時に発生の可能性のある事象の分析(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

(4) 地下水位低下設備各構成部位機能喪失と同時に起こりうる可能性のある事象の整理(2/2)

- ＜第5-3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5-3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5-3表 地下水位低下設備の機能喪失と同時に発生の可能性のある事象の分析(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

42

	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のみの場合	○ (影響なし)																	
	地下水位低下設備は、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																	
地下水位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

(6)地下水位低下設備の機能喪失影響を踏まえた設計上の方針(1/4)

- 分析1から分析3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5-5表のとおり整理した。

第5-5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・接続桧	ランダム故障	・ 閉塞による機能喪失の可能性に対して、「5. (8)集水機能の信頼性向上に係る検討」の項で説明する配慮を行う
		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
		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
		竜巻	・ 井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋を設置
監視・制御機能	制御盤	ランダム故障	・ 多重化により機能維持。また、水位計、動力・制御盤及び中央制御室監視盤間を接続するケーブルについても同様に多重化
		地震	・ Ss機能維持
		台風、竜巻	・ 井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋等を設置、又は屋内設置
		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
		火山	・ 井戸に対する火山灰の侵入を蓋の設置により防止
電源機能	電源 (非常用DG)	ランダム故障	・ ランダム故障に対しては多重化による機能維持

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(6)地下水位低下設備の機能喪失影響を踏まえた設計上の方針(2/4)

- 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5-5表)を集約し、第5-6表のとおり整理した。

第5-6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・ 接続桝	・ Ss機能維持 ・ 既設ドレーンに対する補助的なドレーンの設置	・ Ss機能維持の確認方法は第5-7表参照 ・ 閉塞に関する配慮は5. (8)集水機能の信頼性向上に係る検討」参照
支持・閉塞 防止機能	揚水井戸	・ Ss機能維持 ・ 蓋の設置	・ Ss機能維持の確認方法は第5-7表参照
排水機能	揚水ポンプ	・ 多重化 ・ Ss機能維持	・ 多重化の概要は第5-3図参照 ・ Ss機能維持の確認方法は第5-7表参照
	配管	・ Ss機能維持 ・ 吐出配管の多重化	・ Ss機能維持の確認方法は第5-7表参照
監視・制御 機能	制御盤	・ 多重化 ・ 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 ・ Ss機能維持 ・ 屋内設置 ・ 内部事象に起因する共通要因故障に配慮した配置	・ 多重化の概要は第5-3図参照 ・ Ss機能維持の確認方法は第5-7表参照
	水位計	・ 多重化 ・ Ss機能維持	・ 多重化の概要は第5-3図参照 ・ Ss機能維持の確認方法は第5-7表参照
電源機能	電源 (非常用DG)	・ 多重化	・ 多重化の概要は第5-3図参照

[青字](#)：分析結果を踏まえ、新たに設計上の配慮事項として講じる対策

- 分析2の結果からは分析1と同様の対策(第5-6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5-6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。
- 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、運用上の補修対応が可能となる予備品の配備及び手順の整備を行う。(5. (7)において保守管理・運用管理上の方針を示す)
- 更に、集水機能として建屋直下のドレーン(有孔塩ビ管)は、集水機能を喪失しないとの評価を行っているが、揚圧力に対する時間余裕が比較的短いと考えられること、ドレーンの配置・形状から補修対応が困難であることを踏まえ、既設ドレーンに対して補助的なドレーンを設置する。(集水機能の信頼性向上の考え方は 5. (8)にて詳述する)

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針
(6)地下水位低下設備の機能喪失影響を踏まえた設計上の方針(3/4)

- 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5-7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

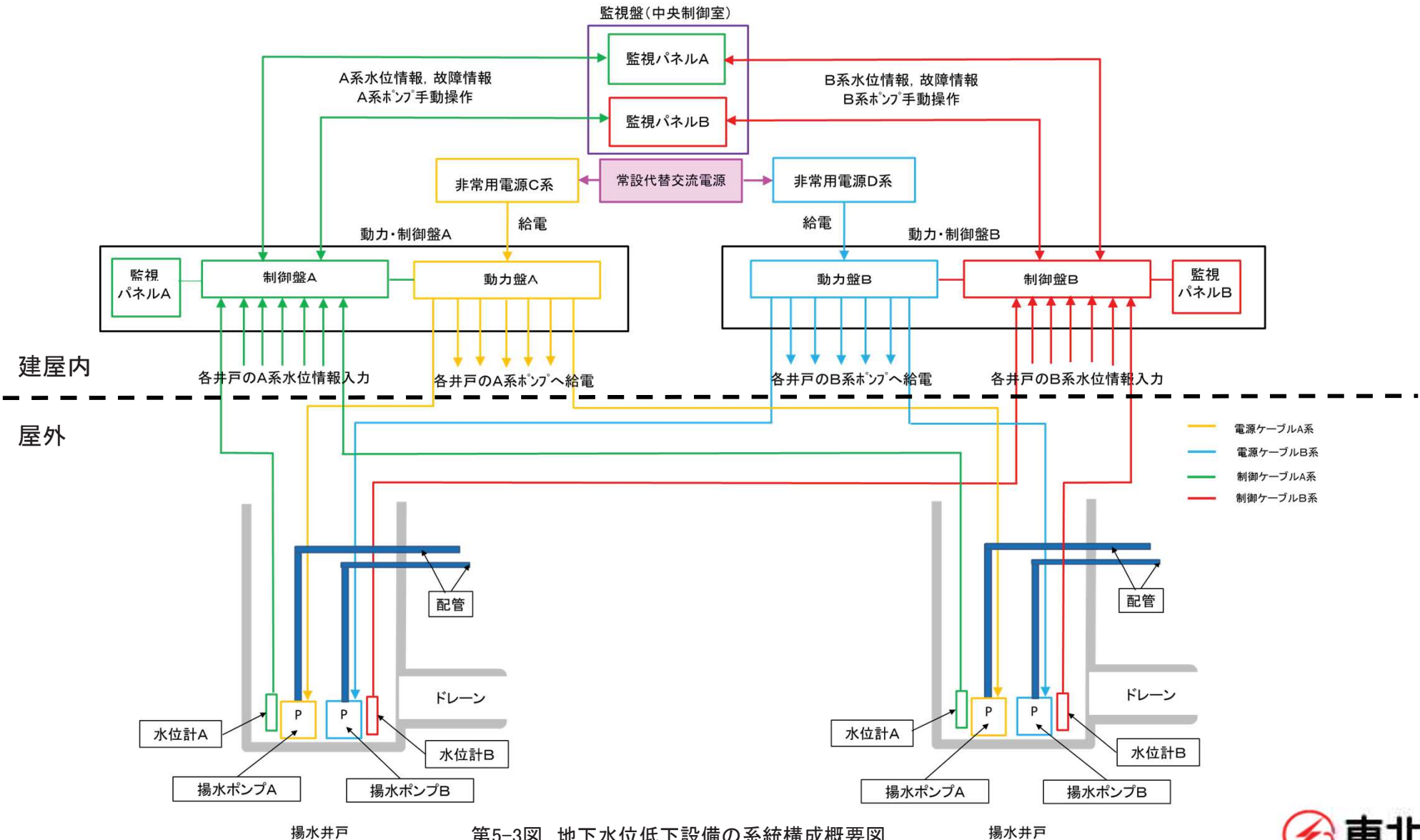
機能	構成 部位	Ss機能維持の確認方法	
		分類	具体的な方法
集水機能	ドレーン・ 接続桧	解析	・ 基準地震動Ssに対し地下水の集水機能を維持する設計とする。
支持・閉塞 防止機能	揚水 井戸	解析	・ 基準地震動Ssに対し機能(揚水ポンプ及び配管の支持機能並びに閉塞防止機能)を維持する設計とする。
排水機能	揚水 ポンプ	解析・ 加振試験	・ 基準地震動Ssに対し機能(地下水の排水機能)を維持する設計とする。 ・ 支持金物は基準地震動Ssに対し機能(揚水ポンプの支持機能)を維持する設計とする。
	配管	解析	・ 基準地震動Ssに対し揚水ポンプで汲み上げた地下水の排水経路を維持する設計とする。 ・ 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	・ 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	・ 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

(6)地下水位低下設備の機能喪失影響を踏まえた設計上の方針(4/4)

＜監視・制御機能及び電源接続の系統構成について＞

- 第5-3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化設計とする。
- ポンプは100%容量を2台設置し、1台目の故障により揚水井戸の水位が上昇した場合には2台目を起動することとしている。



第5-3図 地下水位低下設備の系統構成概要図

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(7)地下水位低下設備の機能喪失影響を踏まえた保守管理・運用管理上の方針

保守管理, 運用管理の方針

- 原子炉施設保安規定に紐づけた社内規定類において、地下水位低下設備の保守管理, 運用管理に係る事項を定める。
 - －保守管理については、予防保全対象として管理していく。
 - －運用管理については、必要な手順を整備したうえで管理していく。

【保守管理の方針(案)】

- 保全計画の策定において、地下水位低下設備が有する「施設に及ぶ揚圧力低減機能及び液状化影響の低減機能」を「重要と判断する機能」に位置付けた上で、「予防保全」の対象として管理していく。
- 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

【運用管理の方針(案)】

- 原子炉施設保安規定に紐づけた社内規定類において、地下水位低下設備の運用に係る体制, 確認項目・対応等を整備し、これに基づき管理を行っていく。
 - ＜具体的な対応＞
 - 地下水位低下設備の運用における管理値を定め、原子炉が運転, 起動及び高温停止の状態において管理値を超過した場合は、原子炉施設のリスク低減の観点から原子炉の停止操作を開始する。
 - また、更なるリスク低減を図る観点から、管理値を超過した要因が、地下水位低下設備の機能喪失による場合は、予備品を用いた補修に努める。

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(8) 集水機能の信頼性向上に係る検討 (1/8)

【ドレーン・接続桝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・接続桝は、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。(第5-8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。(更に予防保全にて定期的な点検・土砂排除を計画)
- ・ 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。

第5-8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
・ 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。	・ 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。
・ 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。	・ ドレーン・接続桝の集水機能の検討にあたっては、あらゆる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)
・ 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。	・ 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。 - 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。
・ 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。	・ 施工時の規制を行う。(施工方法の検討)

- ・ 更に、集水機能保持の更なる信頼性向上の観点から、対象施設の時間余裕※3を検証し、設置状況等も踏まえて、閉塞などの部分的な機能喪失に対しても設計条件を満足できるようなリスク低減策を行う。

※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)

※3 地下水位低下設備が機能喪失後、外部の支援に期待しない7日間相当の水位上昇を目安とする(耐津波設計に係る工認審査ガイドを参考)。

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針
(8)集水機能の信頼性向上に係る検討 (2/8)

【ドレーン・接続桝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・接続桝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。(第5-9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、既設の接続桝又はドレーンに接続された保守管理用の立坑(第5-4図)を新たに構築するなど、保守管理性の向上策も併せて検討する。

第5-9表 ドレーンの保守管理方針

区分		ドレーンの構成部位(例)		点検内容		異常時の対応
		有孔ヒューム管・接続桝	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, 土砂堆積状況などから, 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, 土砂堆積状況などから, 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)は立入りができないが、最下流部の接続桝を介して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。

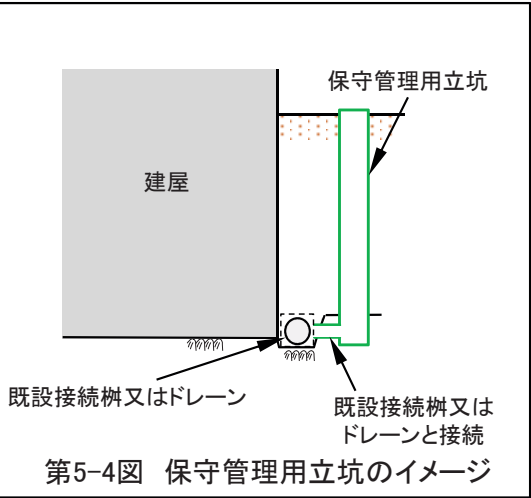
a. 施工方法・仕様の共通性: ドレーンは同時期に同一施工体制のもと設置されており、開削により露出した岩盤上に同様の施工管理基準のもと設置されている。

b. 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。

c. 耐久性・耐震性(Ss機能維持)が確保されている。

d. 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物質が含まれない 等)

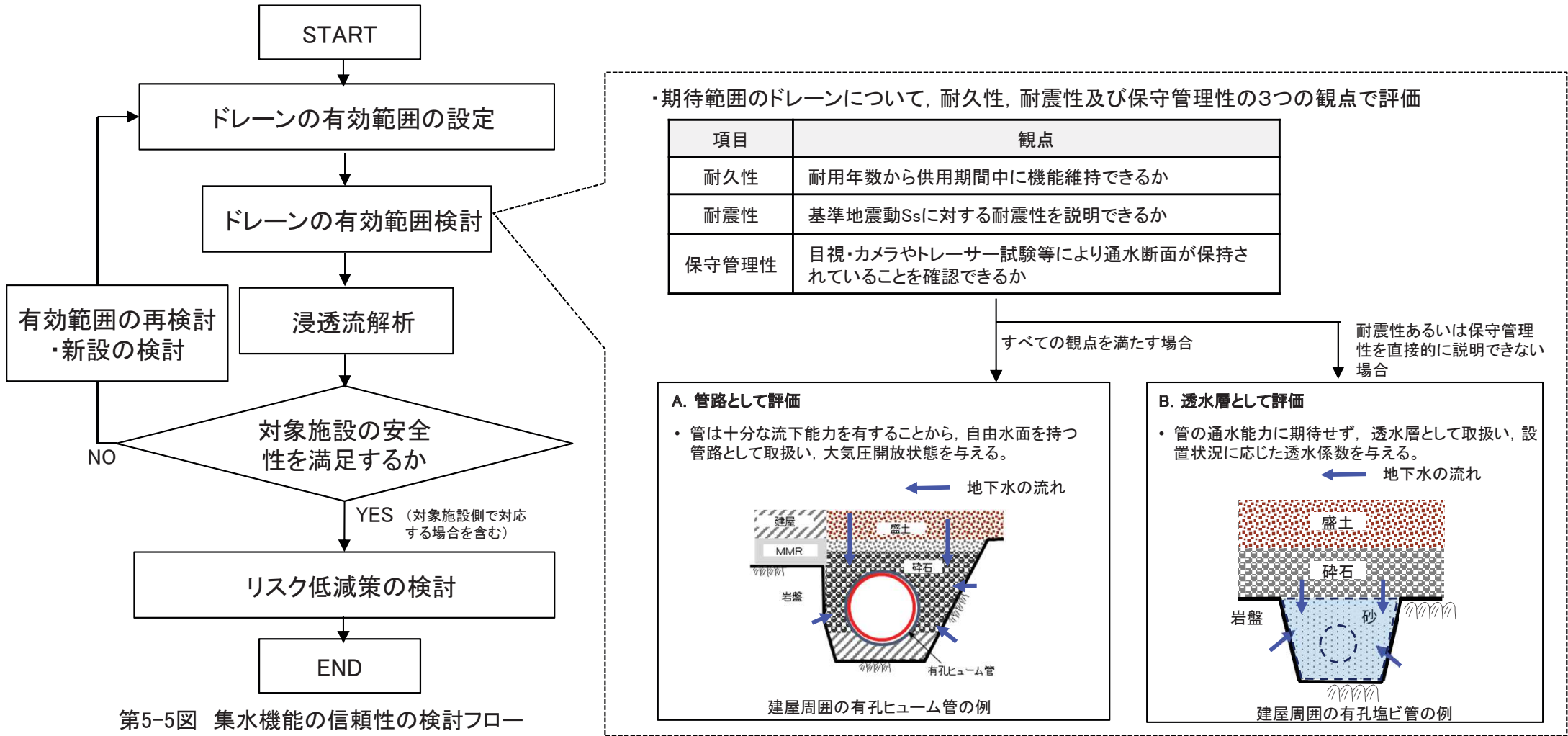
e. 流末部は土被りが最大(作用荷重最大)であり、設計上最も厳しい部位である。



5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針
(8)集水機能の信頼性向上に係る検討 (3/8)

【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、第5-5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。p.49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、更なる集水機能保持の信頼性向上の観点から、時間余裕を検証し、設置状況等も踏まえて、閉塞などの部分的な機能喪失に対しても設計条件を満足できるようなリスク低減策を行う。



5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針
(8)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。(第5-10表)

第5-10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

Table with 6 main columns: 分類, ドレーンの状態, 該当箇所, 各観点に対する評価 (耐久性, 耐震性, 保守管理性), 分類※4, 浸透流解析上の取扱い. It details various drain types (A-1, A-2, B-1, B-2, C-1, C-2) and their corresponding evaluation and permeability analysis treatment.

○: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 水道施設設計指針(2012)による
※4 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。

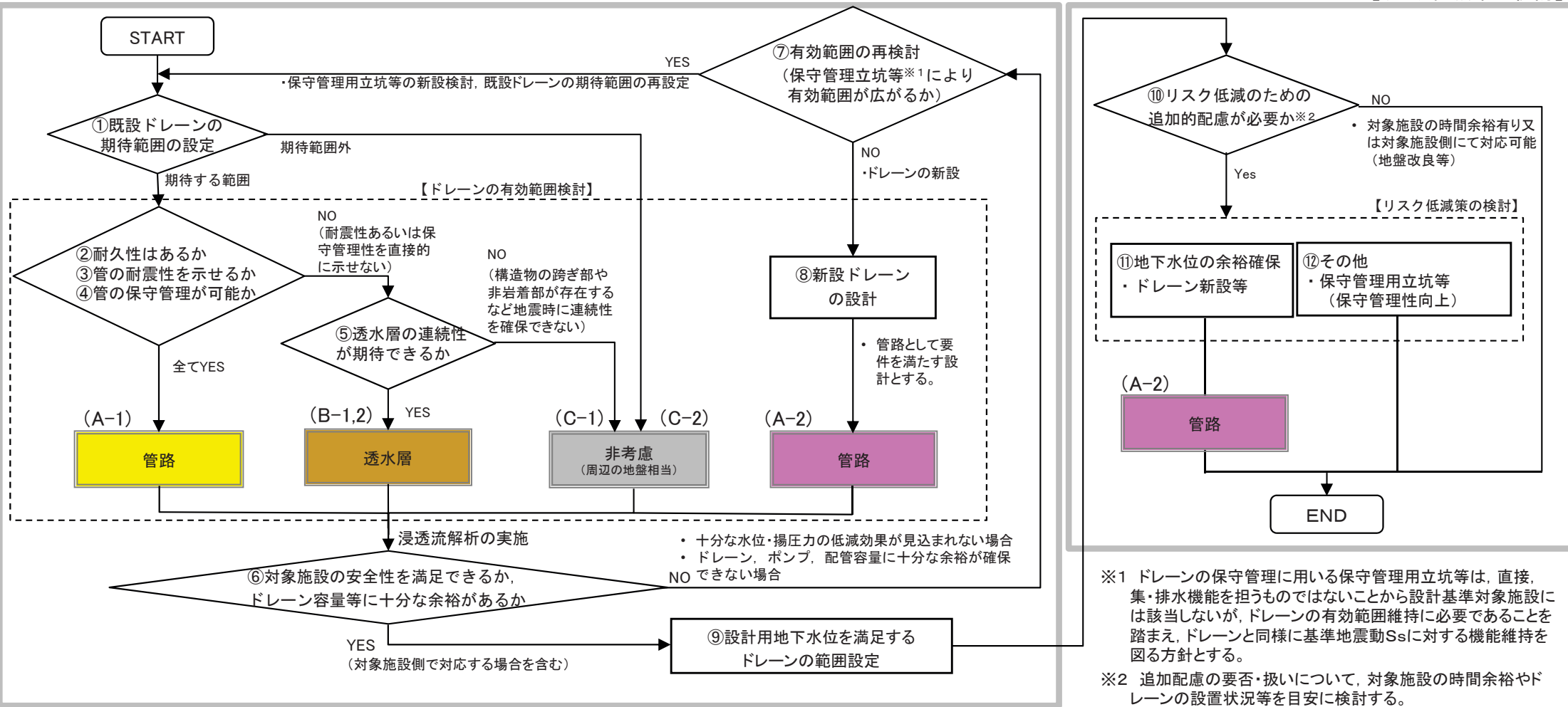
5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針
(8)集水機能の信頼性向上に係る検討 (5/8)

【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、ドレーンの有効範囲を検討の上、設計用地下水位を満足するドレーンの範囲を設定する。この上で、リスク低減のための追加的配慮を検討する。追加的配慮の検討においては、ドレーンの設置状況等に応じて、時間余裕等も踏まえたリスク低減策を検討する。リスク低減策のうち、地下水位の余裕確保に係るものについては、DB施設として扱う。
- なお、集水経路としての役割を有する接続枳・揚水井戸についても同様の考え方で信頼性を確認する。
- 集水機能の信頼性の詳細検討フローを第5-6図に示す。

【構造物等の安全性を満足するドレーン範囲の検討】

【リスク低減策の検討】



浸透流解析上の取扱い

第5-6図 集水機能の信頼性の詳細検討フロー

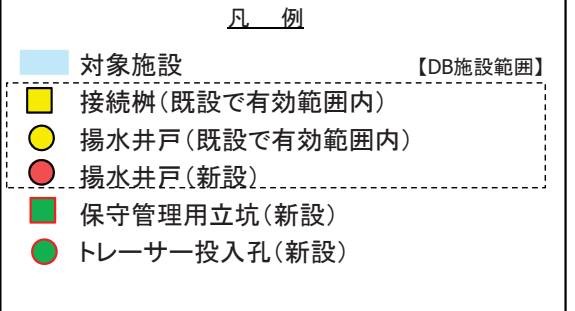
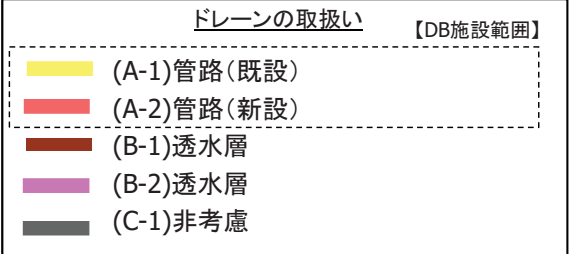
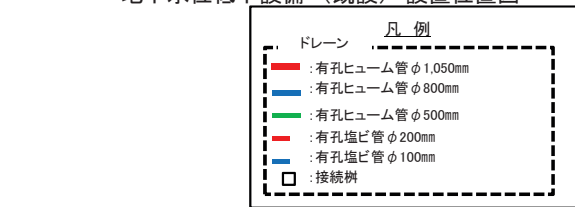
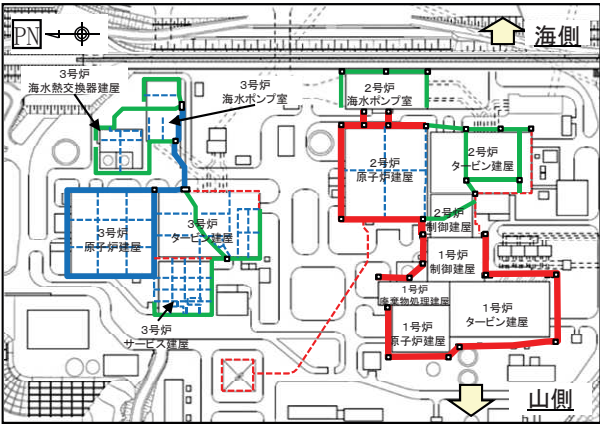
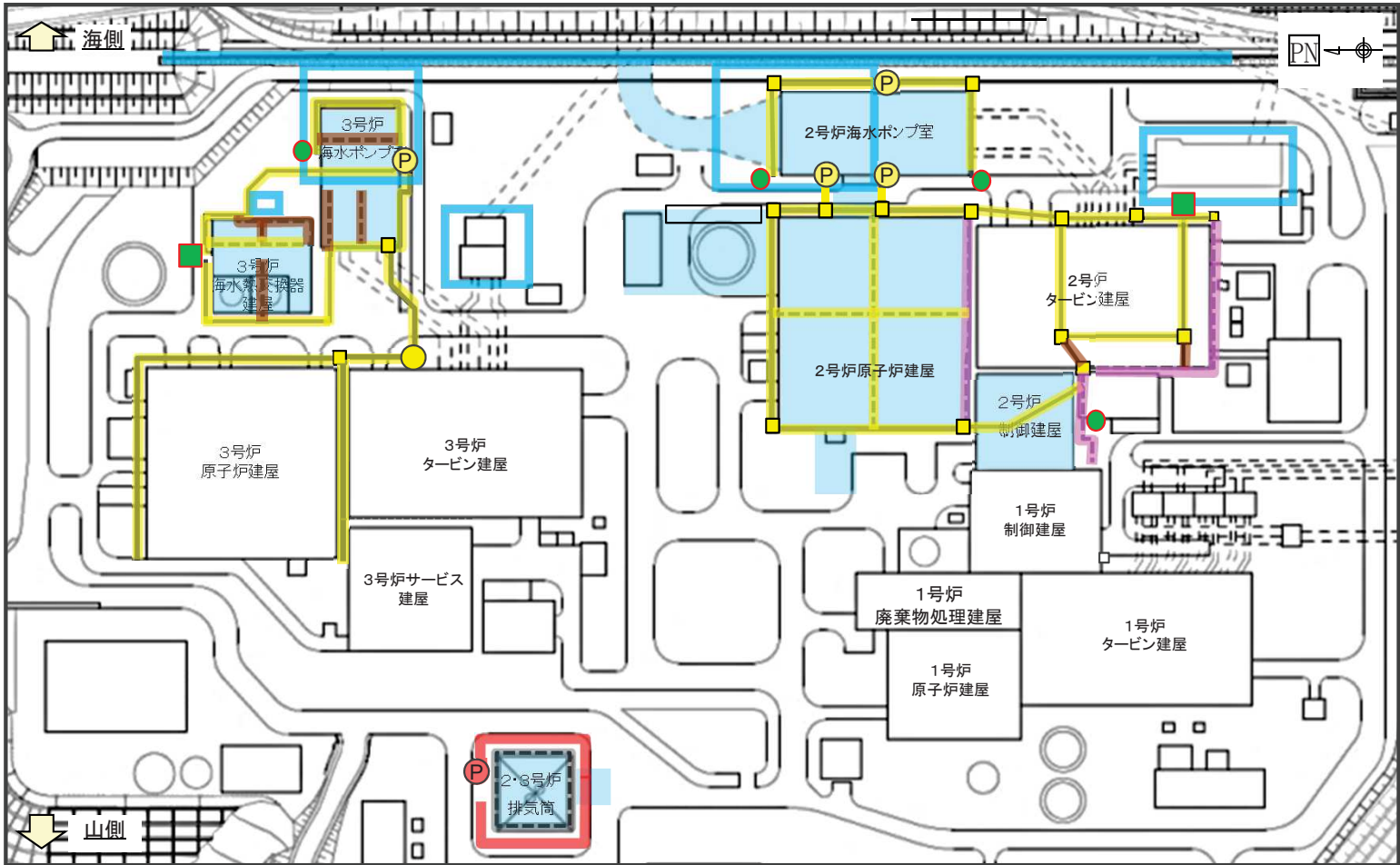
※1 ドレーンの保守管理に用いる保守管理用立坑等は、直接、集・排水機能を担うものではないことから設計基準対象施設には該当しないが、ドレーンの有効範囲維持に必要であることを踏まえ、ドレーンと同様に基準地震動Ssに対する機能維持を図る方針とする。

※2 追加配慮の要否・扱いについて、対象施設の時間余裕やドレーンの設置状況等を目安に検討する。

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針
(8)集水機能の信頼性向上に係る検討 (6/8)

【集水機能の信頼性の検討4】

- 集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づく設計用地下水位設定時の有効範囲の設定案を第5-7図に示す。
- 各構造の詳細については、今後、集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づき浸透流解析並びに構造検討を進め、工認段階で示すものとする。
- 同フローにおける各Stepの評価過程は添付資料4に示す。



第5-7図 設計用地下水位を満足する地下水位低下設備計画案※

※ 配置、構造の詳細については工認段階で説明

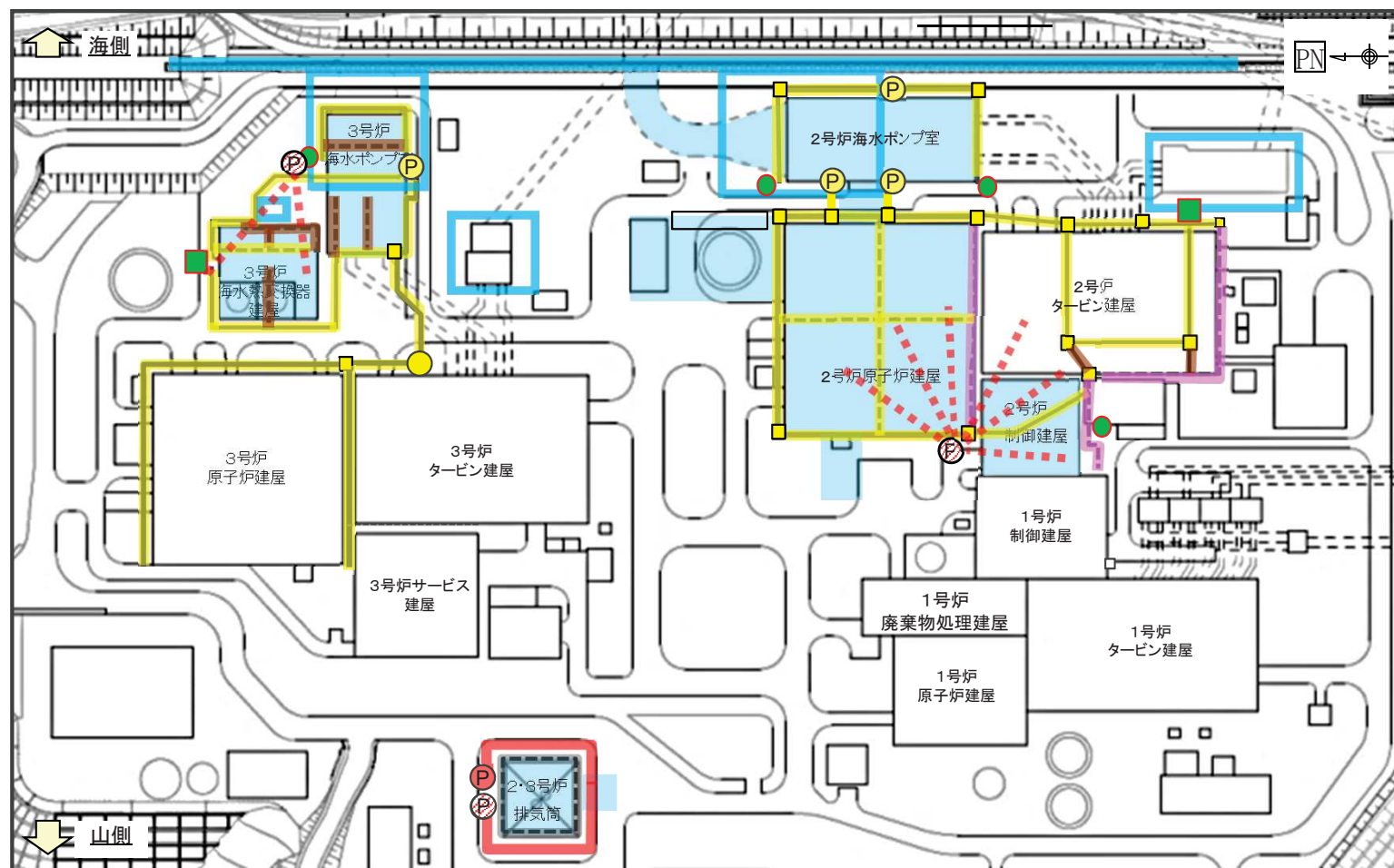
注1) C-2に整理されたドレーンは記載していない
注2)「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプをDB施設とする

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(8) 集水機能の信頼性向上に係る検討 (7/8)

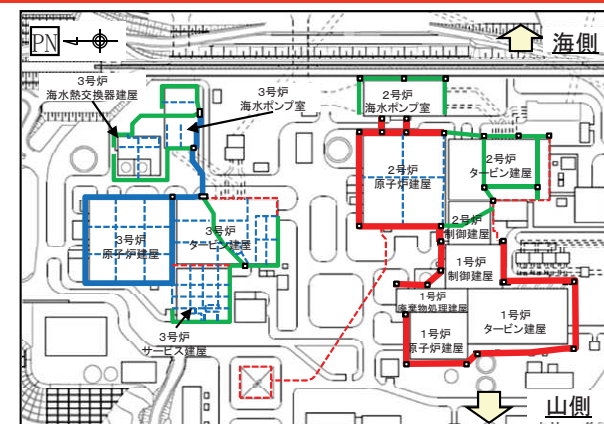
【集水機能の信頼性の検討5】

- 集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づくリスク低減策の検討結果を踏まえた有効範囲の設定案を第5-8図に示す。
- 各構造の詳細については、今後、集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づき浸透流解析並びに構造検討を進め、工認段階で示すものとする。



第5-8図 リスク低減策を含めた地下水位低下設備全体計画案※

※ 配置、構造の詳細については工認段階で説明



地下水位低下設備（既設）設置位置図



ドレーンの取扱い 【DB施設範囲】

- (A-1)管路(既設)
- (A-2)管路(新設)
- (B-1)透水層
- (B-2)透水層
- (C-1)非考慮

凡 例

- 対象施設 【DB施設範囲】
- 接続樹(既設で有効範囲内)
 - 揚水井戸(既設で有効範囲内)
 - 揚水井戸(新設)
 - 揚水井戸(リスク低減のため新設)
 - ドレーン(リスク低減のため新設)
 - 保守管理用立坑(新設)
 - トレーサー投入孔(新設)

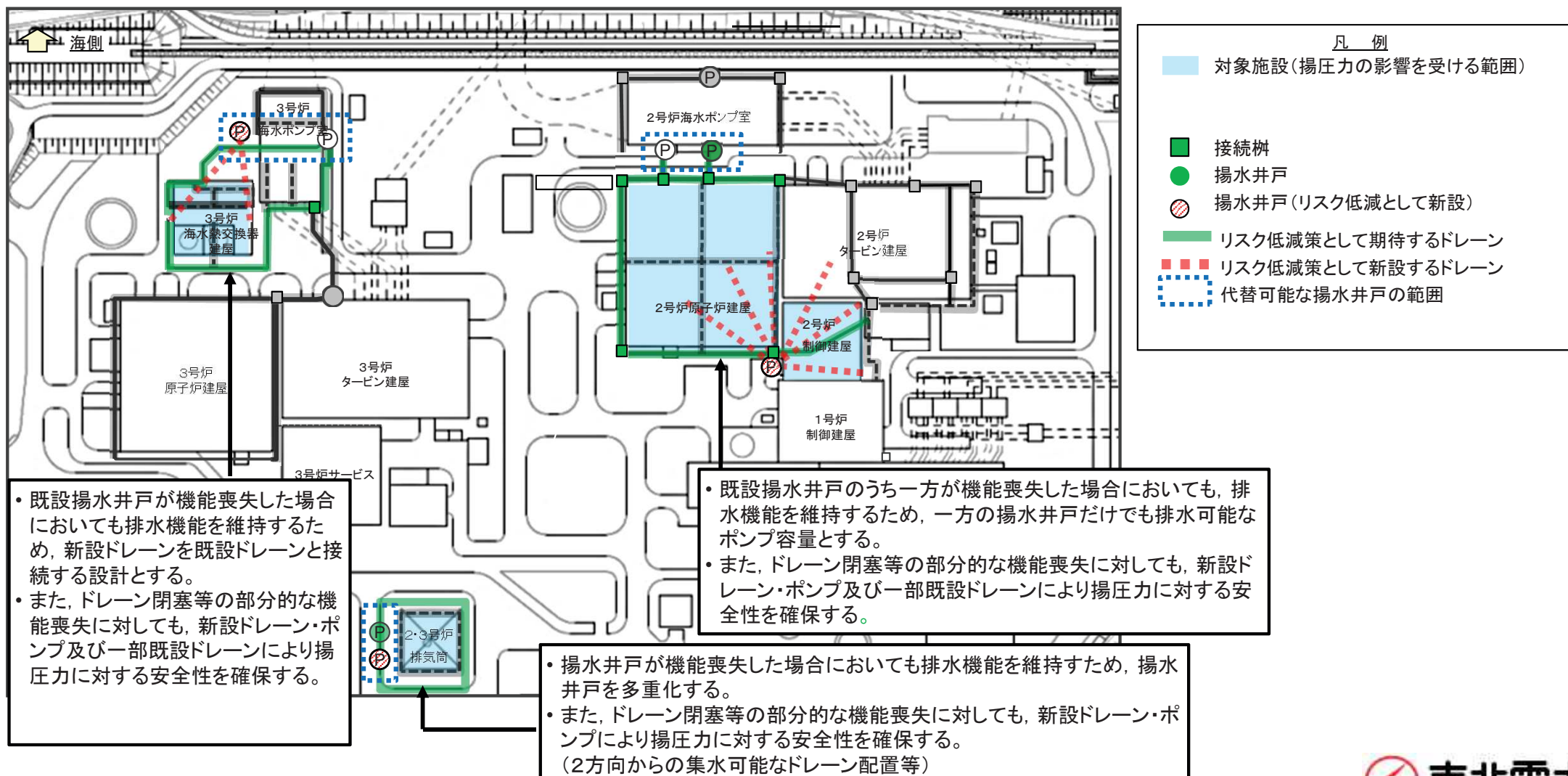
注1) C-2に整理されたドレーンは記載していない
 注2) 「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプをDB施設とする

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(8) 集水機能の信頼性向上に係る検討 (8/8)

【集水機能の信頼性の検討6(リスク低減)】

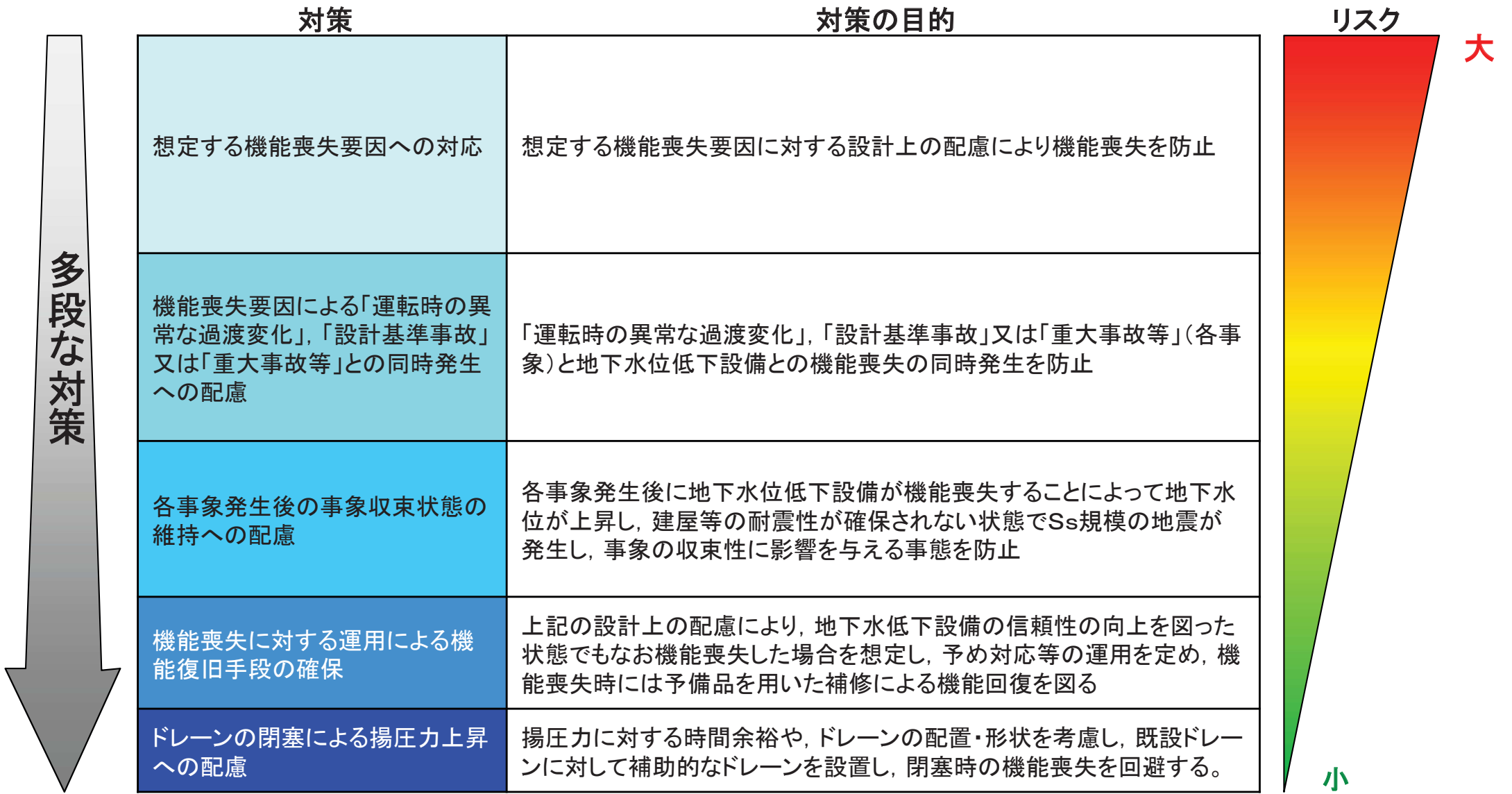
- 集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づき、集水機能のリスク低減策を検討した例を示す。
- 第5-9図は対象施設の時間余裕が比較的少ないと考えられる揚圧力(規則第4条)について、ドレーンの設置状況等を踏まえ、リスク低減策を検討したものである。これら新設ドレーン導入等のリスク低減策により、対象施設の揚圧力に対する安全性を確保する。
- なお、液状化影響(規則第3条第2項)他の各条文に対しては、第5-9図の状況に対応した地下水位の状態に対しても安全性を確保することとする。また、時間余裕を評価し、十分な時間余裕が確保できない場合は対策(ドレーン追設又は対象施設側の地盤改良等)を行う。



5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(9) 信頼性向上方針 まとめ

- 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。



5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(10) 地下水位低下設備に係る各審査段階の提示内容 (1/2)

- ・ 今後の地下水位の設定にあたり、設置許可段階及び工事計画認可段階における提示内容を整理した。
- － 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DB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並びに保守管理・運用管理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、DB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5-11表 設置許可及び工事計画認可段階における提示内容(案)

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2項、第4条、第5条、第38条第2項、第39条及び第40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。
- ・ 設計並びに保守・運用上の配慮を行う。(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及び第51条)に設計並びに保守管理・運用管理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(補足説明資料8)

5. 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

(10)地下水位低下設備に係る各審査段階の提示内容 (2/2)

第675回審査会合(H31.2.5)

資料2-2-2 p.49 修正

58

- ・ 発電用原子炉設置変更許可申請書本文及び添付書類六、添付書類八に対する現時点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」

「イ 発電用原子炉施設の位置」へ地下水位低下設備を設置する旨を記載する。

地下水位低下設備は地下水位を一定の範囲に保持するために設置するものであり、地下水位低下設備が機能することにより、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。

「ロ 発電用原子炉施設の一般構造」へ地下水位低下設備の構造概要を記載する。

添付書類六

<地盤>

施設の設計上考慮する地下水位を一定の範囲に保持するために必要な地下水位低下設備を設置し、液状化影響の低減を図る。

添付書類八

<耐震設計>

対象施設の設計上考慮する揚圧力及び地下水位を一定範囲に保持するため、地下水位低下設備を設置する。

地下水位低下設備は、常時から基準地震動発生後まで地下水位を一定の範囲に保持し、揚圧力及び液状化による影響を低減する設計とすることから、当該設備は耐震性を確保する。

<その他発電用原子炉の附属施設>

地下水位低下設備

基準地震動の発生を考慮し、揚圧力及び液状化による影響が各構築物、系統及び機器に及ばないように、地下水位低下設備を設置する。

地下水位低下設備は揚圧力及び液状化による影響が周辺の安全施設の機能に影響を及ぼすことがないように、信頼性の向上に配慮した設計とする。

具体的には、当該系統の構築物、系統及び機器については基準地震動に対して機能維持する設計とし、また屋外に設置する機器等については外部ハザード等に配慮した設計とする。また、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。

さらに、各井戸における揚水ポンプ、水位計、現場の監視・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を多重化するとともに、ドレーンの配置・形状を考慮し、既設ドレーンに対して補助的なドレーンを設置する方針とする。

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、予め対応等の運用を定め、機能喪失時には予備品を用いた補修による機能回復を図る方針とする。

添付資料1

揚水井戸・ドレーンの状況

- 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



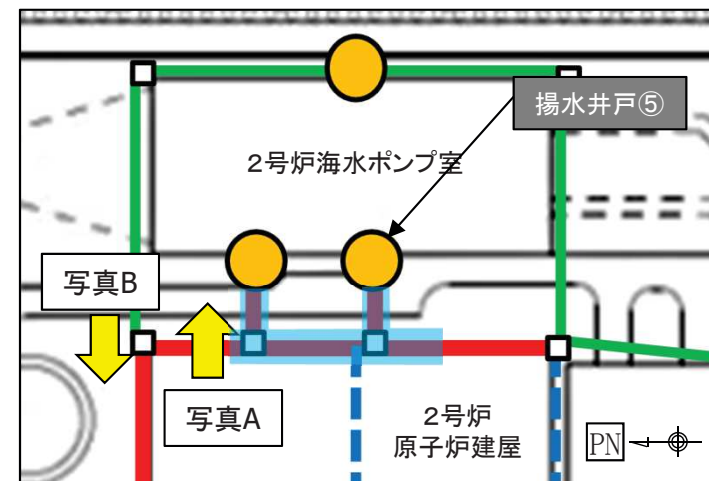
写真B ドレーン（有孔ヒューム管φ1,050mm）
2018/9/18撮影



写真C 揚水井戸⑤（中段部）
2017/3/17撮影

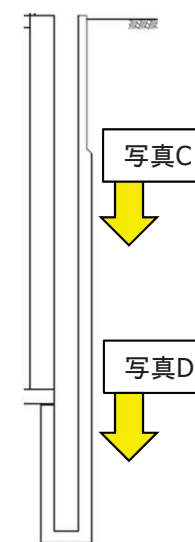


写真D 揚水井戸⑤（下段部）
2017/3/17撮影



写真撮影位置

目視確認範囲※



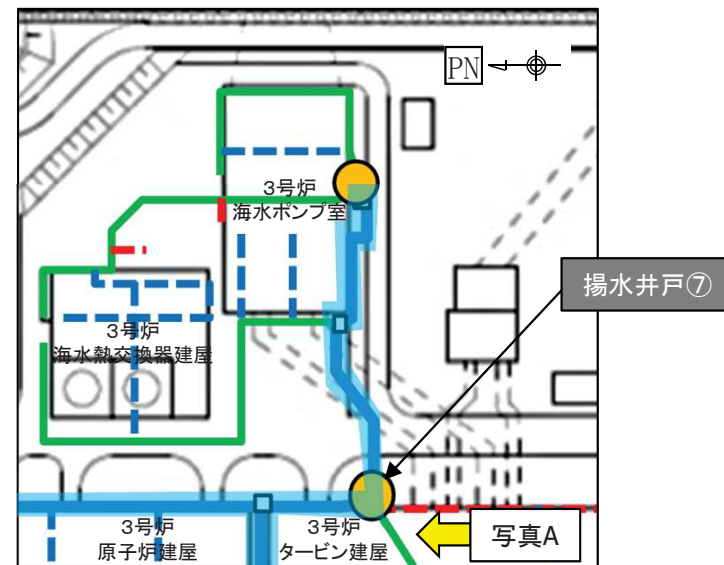
※：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後に実施した目視確認の範囲

写真撮影位置（揚水井戸⑤断面）

- 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、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。

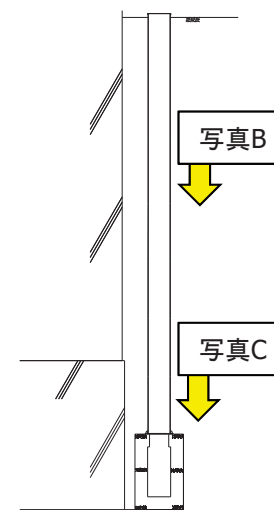


写真A ドレーン（有孔ヒューム管φ800mm）
2018/9/18撮影



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

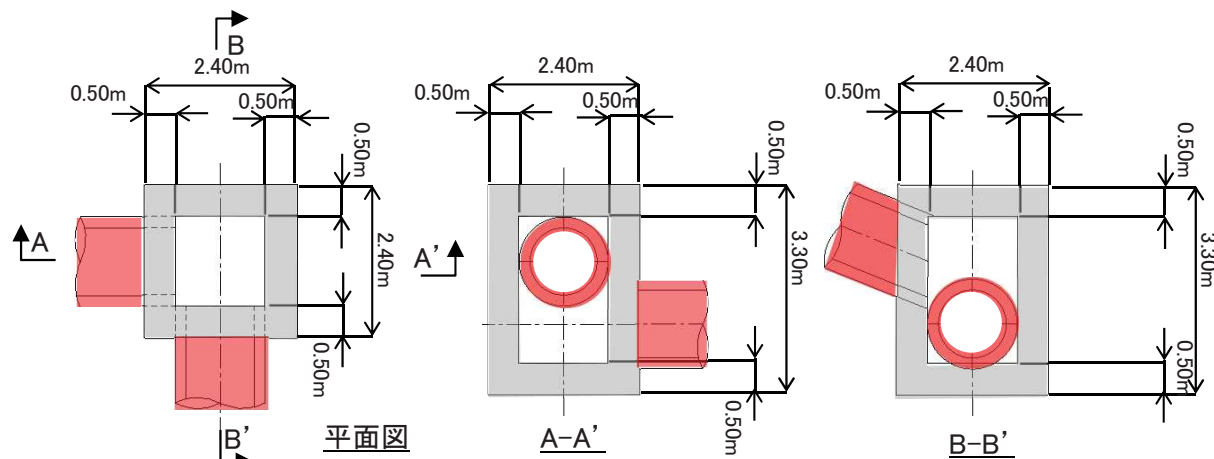


写真C 揚水井戸⑦（下段部）
2017/3/16撮影

添付資料2

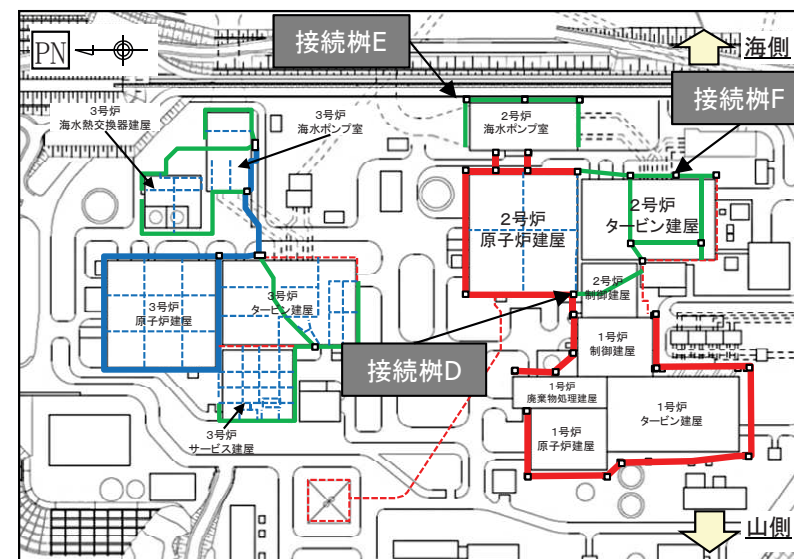
接続桝の構造概要

- 本編以外の主な接続桧について、構造概要を示す。

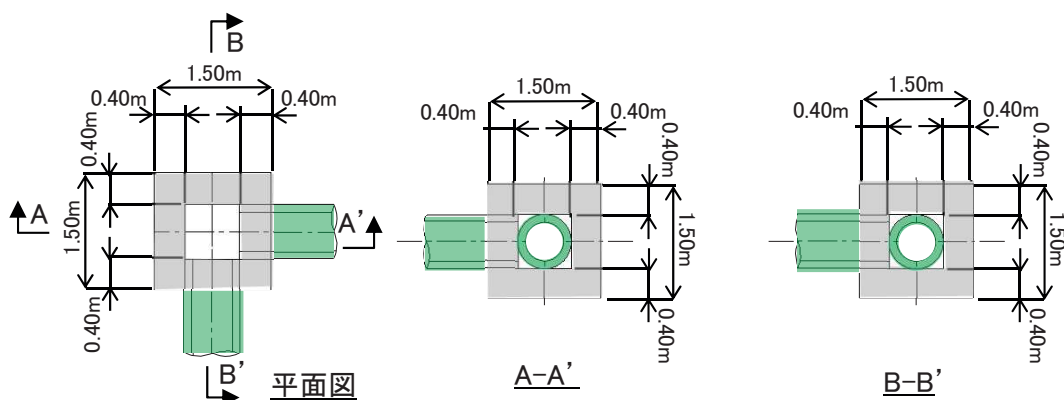


【接続桧D(2号炉)】

有孔ヒューム管Φ1.050

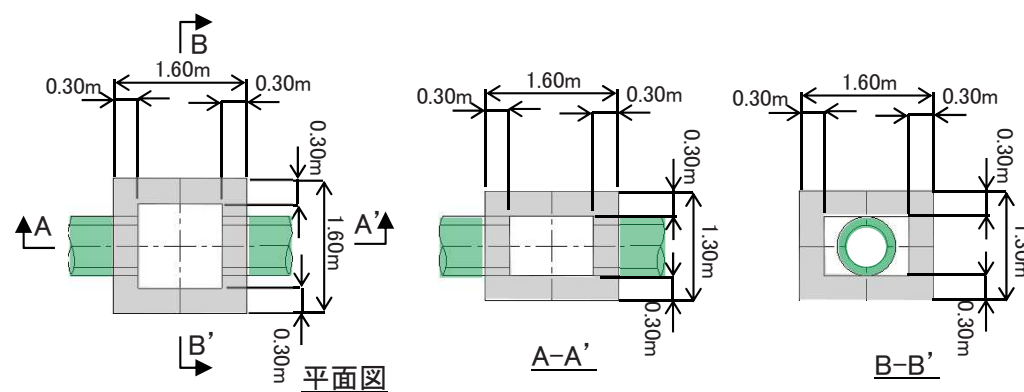


地下水水位低下設備（既設）設置位置図



【接続桧E(2号炉)】

有孔ヒューム管Φ500



【接続桧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。
- ・ 接続桧については、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、埋立としても無害

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はコンクリート用骨材や道路の路盤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、遠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・水等は無資源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 分析項目	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)

- 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

経済的で長持ちします。

<<前のページにもどる

塩ビ管は、建設コストが安く、経済的です。また次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おり、下水道管としては、塩ビ管の改築する場合は50年経過したものと同様とされています。

水道管として……

内水圧クリープ試験による評価(93年)
50年後の水道用塩ビ管の強度を推定し、十分な安全性があることを確認しています。
【(社)日本水道協会第44回全国水道研究発表会「水道用硬質塩化ビニル管の設計応力の考察」】

掘上げサンプルによる直接診断(95年)
全国47の水道事業体で実施した。使用中(当時34年が最長であった。)の塩ビ管試験結果から、50年後においてもJIS規格値を満足するものと考えられます。
【(財)水道技術研究センター「塩ビ管診断手法の開発調査」】

下水道管として……

開渠埋込に係る施設の、耐用年数の通知(98年)
建設省は、下水道施設に使用する塩ビ管の耐用年数は50年と通知しています。

道路下埋設試験(00年)
昭和66年、道路下埋設研究で耐用年数50年を確認しています。
【(財)国土開発技術研究センター「下水道用硬質塩ビ管の道路下埋設に関する研究報告書」】

下水道事業の手引きによると、下水道施設に使用する塩ビ管を改築する場合は、50年経過したものと同知しています。
【下水道事業の手引き 下水道施設の改築について(平成12.0.19 国土部令第77号)】

「下水道用塩ビ管の長期供用品の評価」のページはこちら

国道下の埋設管路として……

建設省通達の基となった浅層埋設研究(00年)
建設省の浅層埋設に関する通達(平成11年3月)の基となった研究で、水道用及び下水道用塩ビ管の、耐用年数50年を確認しています。
【(財)道路保全技術センター「道路占用埋設物件の浅層化技術検討報告書」】

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)

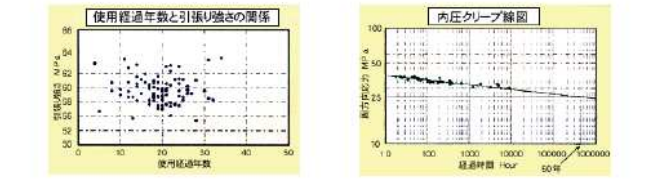
規格

用語の解説

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の水道事業体で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年の塩ビ管の性能試験が行われ、以下の結果を得ました。
(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、供試体は何れも規格値を満足していました。
(2) 規格値以外の脆性性能
管の内外面の外観、埋設による管の扁平状況、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、引張り強度、扁平強度、接着強度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。
 - 建設者の浅層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「道路占用埋設物件の浅層化技術検討委員会」の調査の結果、建設省は平成11年に水道管等を国道下に埋設する深さを、従来より浅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は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。
(3) 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25.0MPa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
ダクタイル 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順応できる。 (4) NS、S、SII、US形等の鎖構造継手は、柔構造継手よりも大きな伸縮に対応でき、更に離脱防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、地盤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できる。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、コント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)

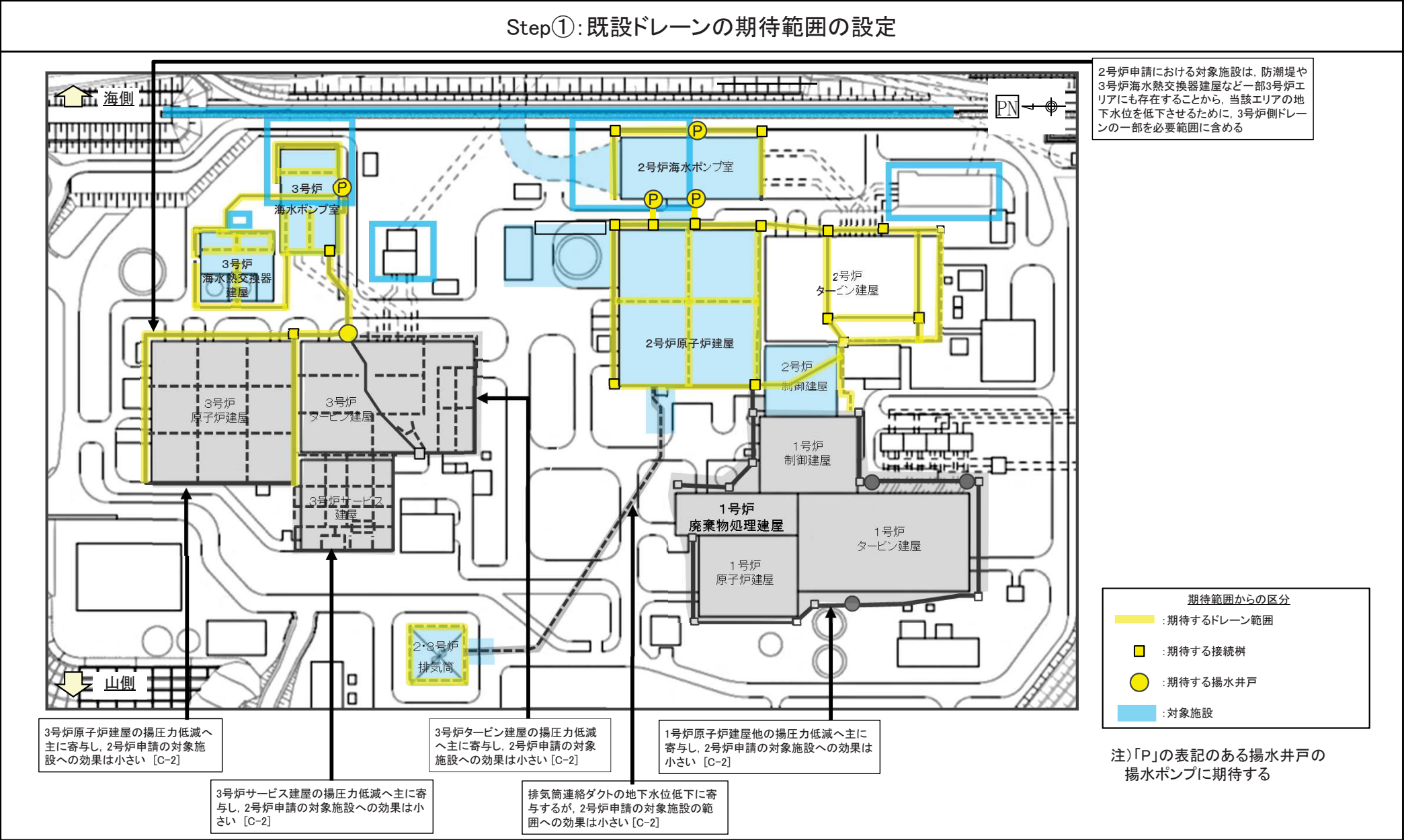


添付資料4

ドレーンの有効範囲設定の各プロセス

(1) ドレインの有効範囲設定例 (Step①: 必要な範囲の設定)

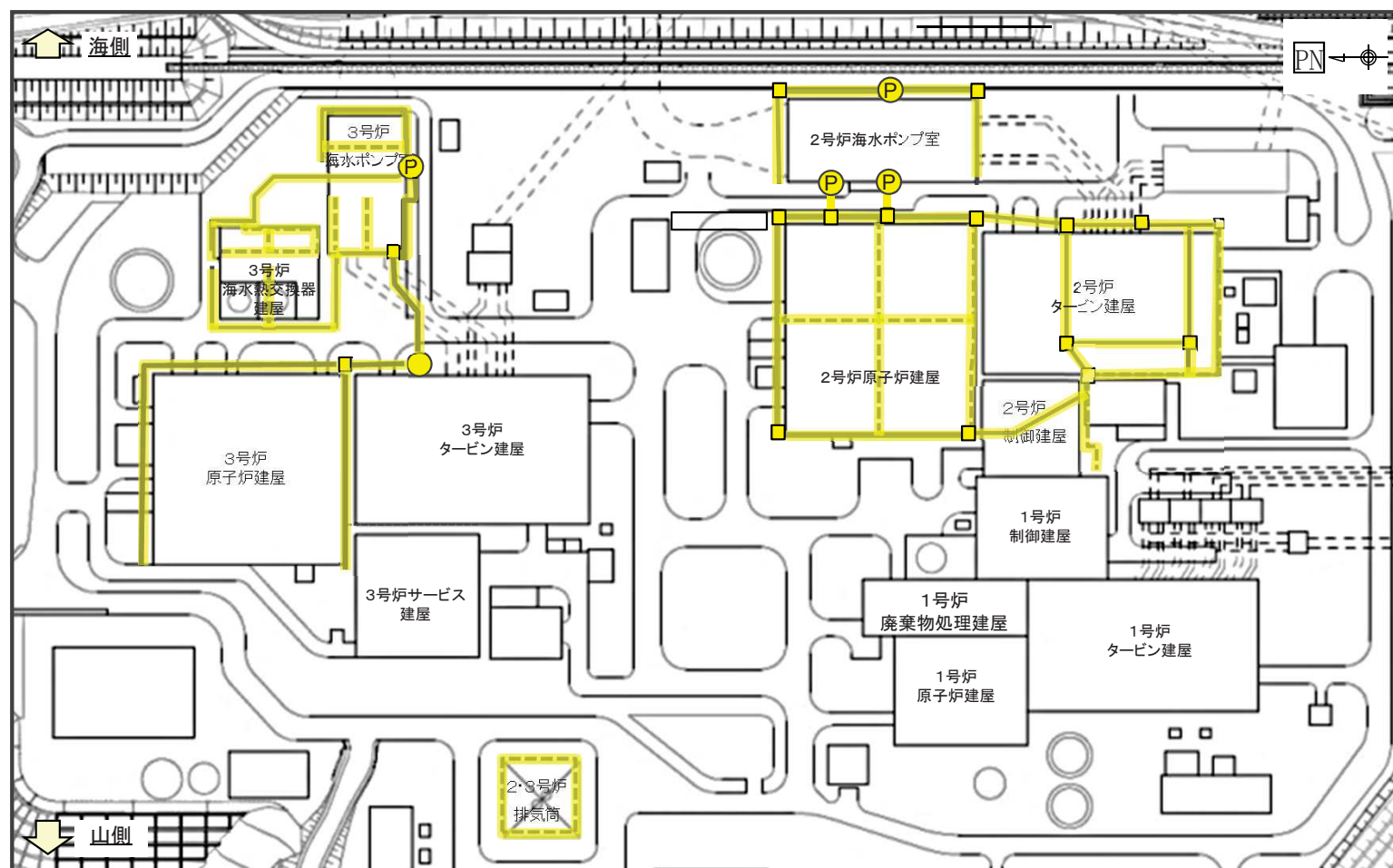
- 集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づく各プロセスの検討内容を整理した。
- まず、「①既設ドレインの期待範囲の設定」として、2号炉新設段階において、対象施設の水位低下のため必要な既設ドレイン範囲を抽出した。



(2) ドレーンの有効範囲設定例 (Step②: 耐久性の観点)

- 「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。

Step②: 耐久性の観点からの整理



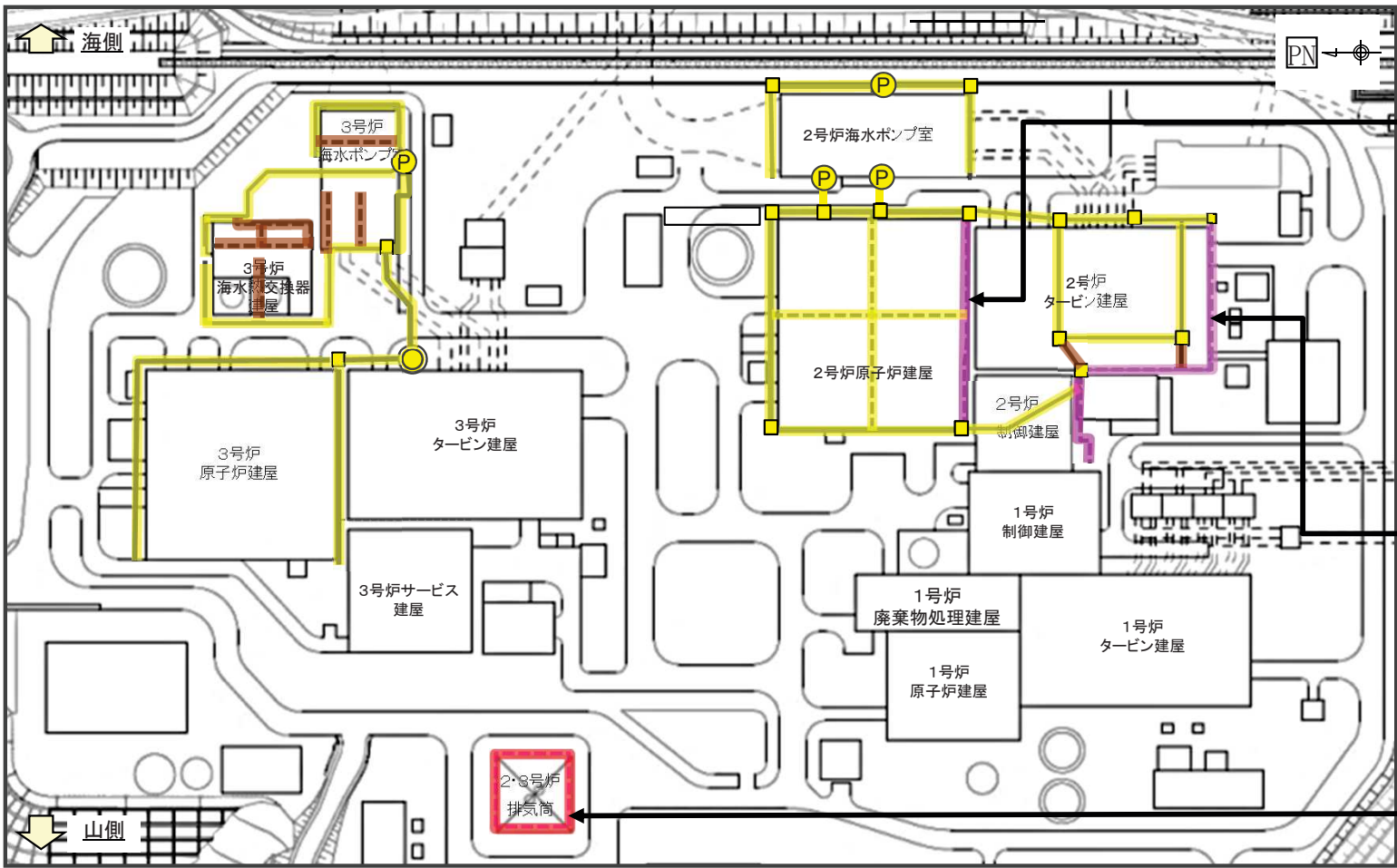
※ ステップ①で必要な範囲外と判定されたドレーンは非表示としている。

注)「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプに期待する

(3) ドレーンの有効範囲設定例 (Step③・⑤: 管の耐震性の観点)

- 「③・⑤耐震性」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: 管の耐震性の観点



注1 ステップ①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

注3 管の耐震性の見通しがあるもののうち保守管理できないものを[B-1]として整理

耐震性を確保する接続樹・揚水井戸	
	: 接続樹(集水経路の連続性を確保し集水機能を維持)
	: 揚水井戸(集水経路の連続性を確保し集水機能を維持)
	: 揚水井戸(揚水ポンプを支持し集水機能を維持)

耐震性の観点からの区分	
	: 管の耐震性確保の見通しのある範囲[A-1]
	: 管の耐震性確保の見通しのある範囲[B-1]
	: 管の耐震性が確認できない範囲[B-2]
	: 透水性の連続性が確保できない範囲[C-1]

ドレーン設置状況

有孔塩ビ管へ直接上載土圧が作用[B-2]

ドレーン設置状況

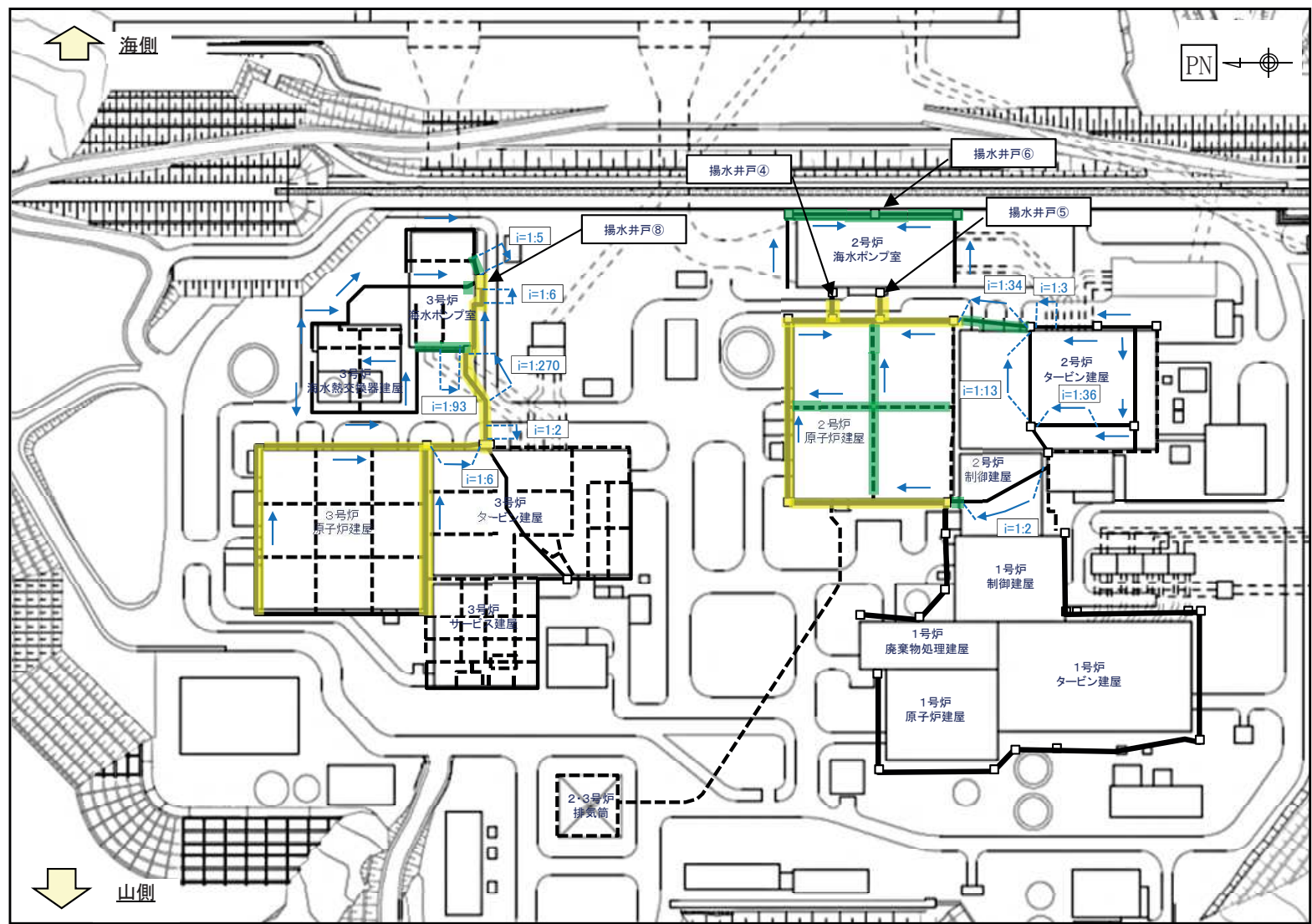
有孔塩ビ管へ直接上載土圧が作用[B-2]

ドレーン設置状況

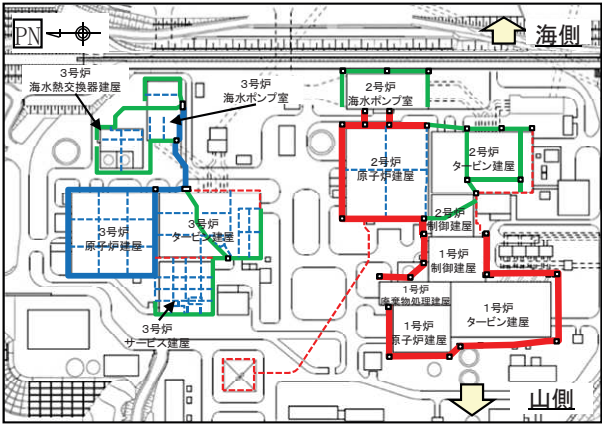
透水層の連続性が確保できない[C-1]
(必要範囲のため新設を計画)

(4) ドレーンの有効範囲設定例 (Step ④・⑦ : 管の保守管理の観点 (1/3))

- P.49で示したドレーンの保守管理方針における区分に基づくと、「Ⅰ 目視により確認可能(全域立入可能)な範囲」、「Ⅱ カメラ等により確認可能な範囲」は下図のとおり整理される。



ドレーンの保守管理(例)



地下水位低下設備 (既設) 設置位置図

ドレーンの管径	
有孔ヒューム管φ1,050mm	有孔ヒューム管φ800mm
有孔ヒューム管φ500mm	有孔塩ビ管φ200mm
有孔塩ビ管φ100mm	接続樹

凡 例

I 目視により確認(全域立入可能)

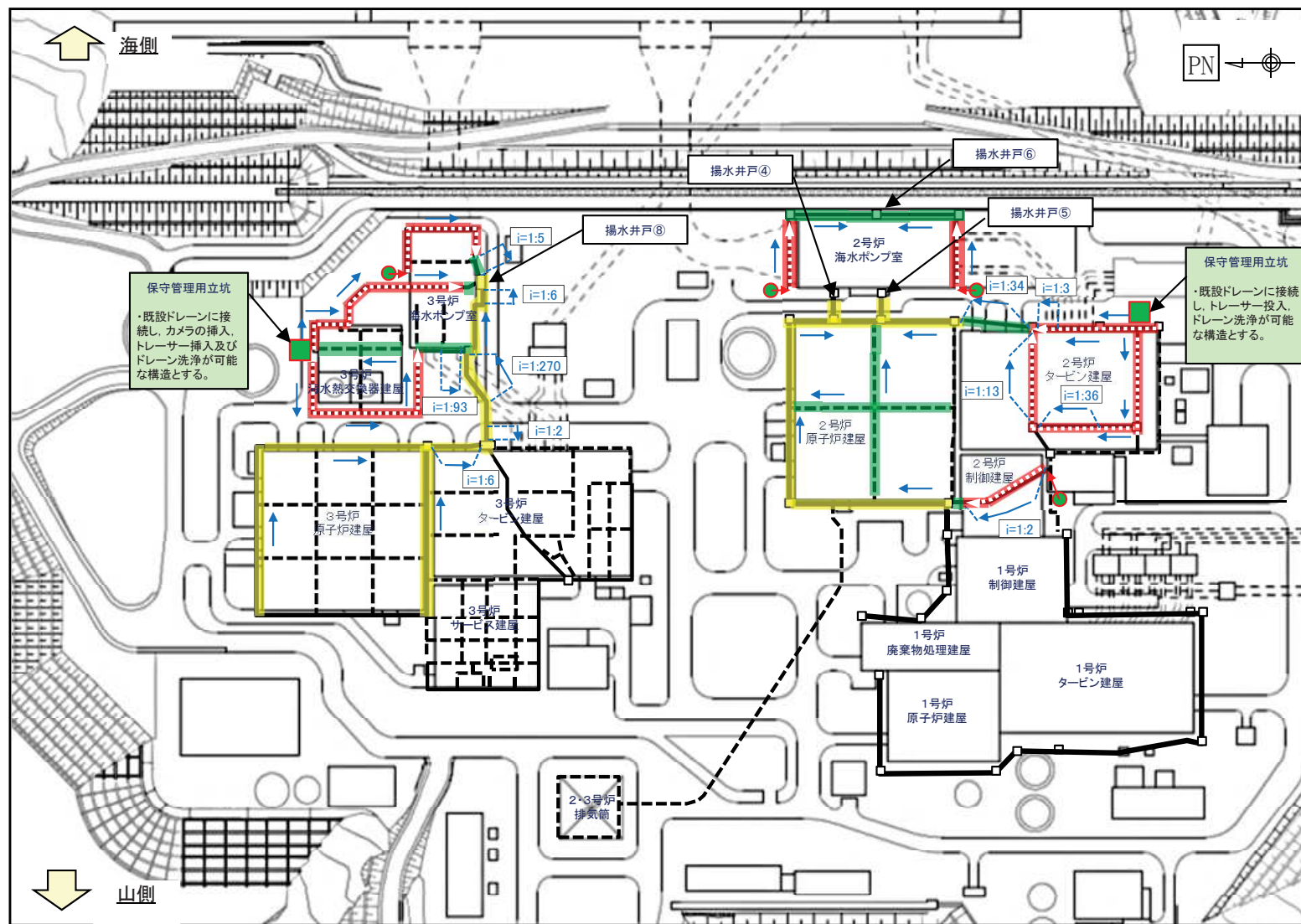
II カメラ等により確認
(接続樹・曲がり部又は急勾配部までの範囲)

ドレーン内の地下水位流下方向

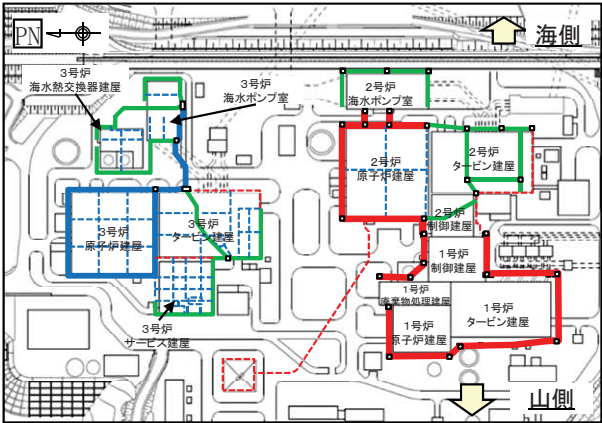
注1) i=1:○はドレーン勾配を示す。
ドレーン勾配は1:1000を基本としており、
図は勾配の急な箇所について示している。

注2) 本図は管路として扱う範囲(A-1、A-2)を記載。

- 前頁の整理(目視可能またはカメラ等により確認可能な範囲)に加え、人間の立入ができない範囲については、必要な範囲に立坑、トレーサー投入孔を新設し、トレーサー試験等を導入することにより、下図のとおり保守管理範囲を拡大できる。



ドレーンの保守管理(例)



地下水位低下設備 (既設) 設置位置図

ドレーンの管径	
—	: 有孔ヒューム管 φ 1,050mm
—	: 有孔ヒューム管 φ 800mm
—	: 有孔ヒューム管 φ 500mm
—	: 有孔塩ビ管 φ 200mm
—	: 有孔塩ビ管 φ 100mm
	: 接続桧

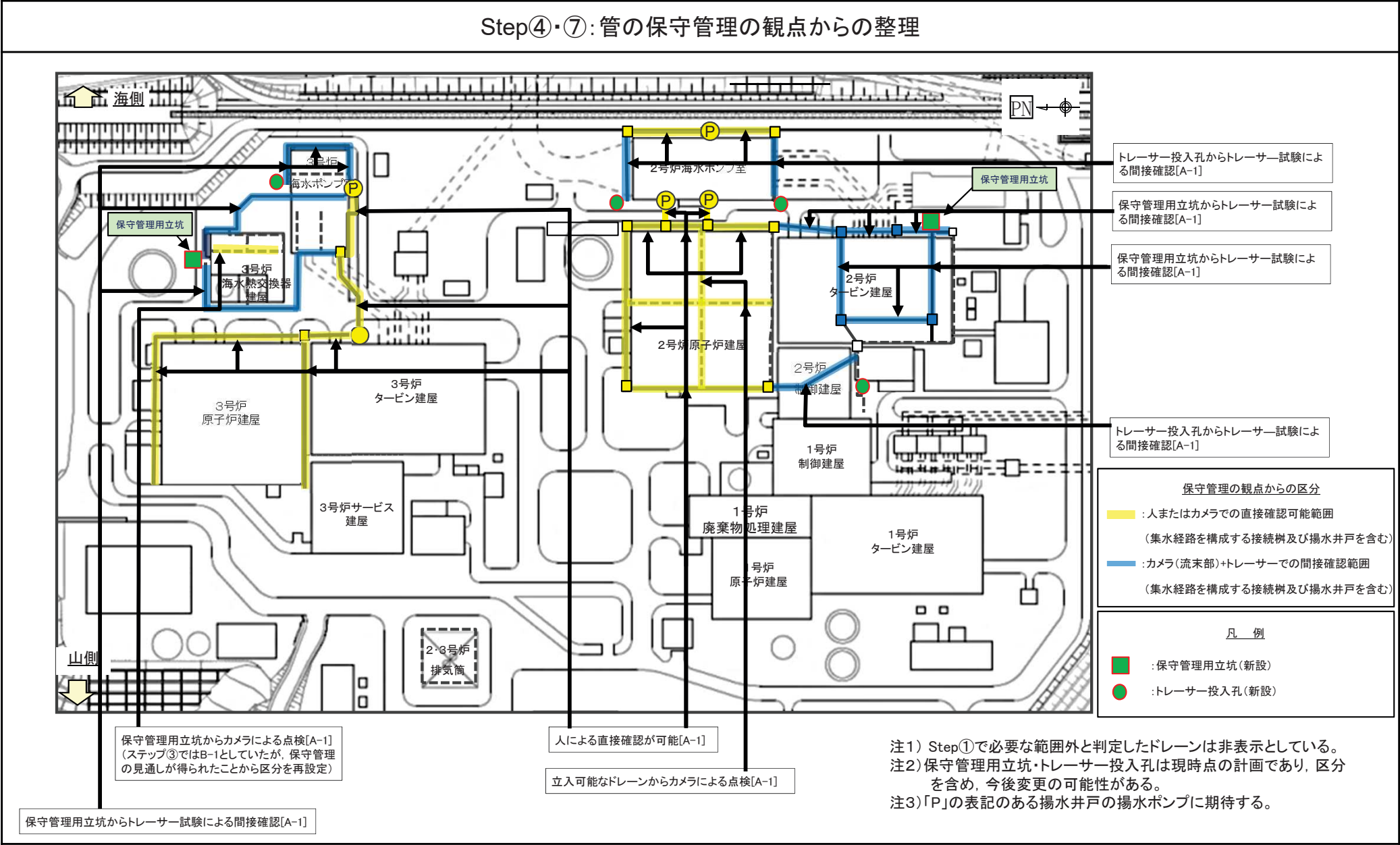
凡 例

- I 目視により確認(全域立入可能)
- II カメラ等により確認
(接続桧・曲がり部又は急勾配部までの範囲)
- III 流末部の断面の確認及び
トレーサー試験等により確認
- ← トレーサー試験等による経路確認
- 保守管理用立坑
(目視・カメラ等の確認、トレーサー投入等)
- トレーサー投入孔位置 (← 掘進方向)
- ドレーン内の地下水位流下方向

注1) i=1:○はドレーン勾配を示す。
ドレーン勾配は1:1000を基本としており、
図は勾配の急な箇所について示している。
注2) 本図は管路として扱う範囲(A-1、A-2)を記載。

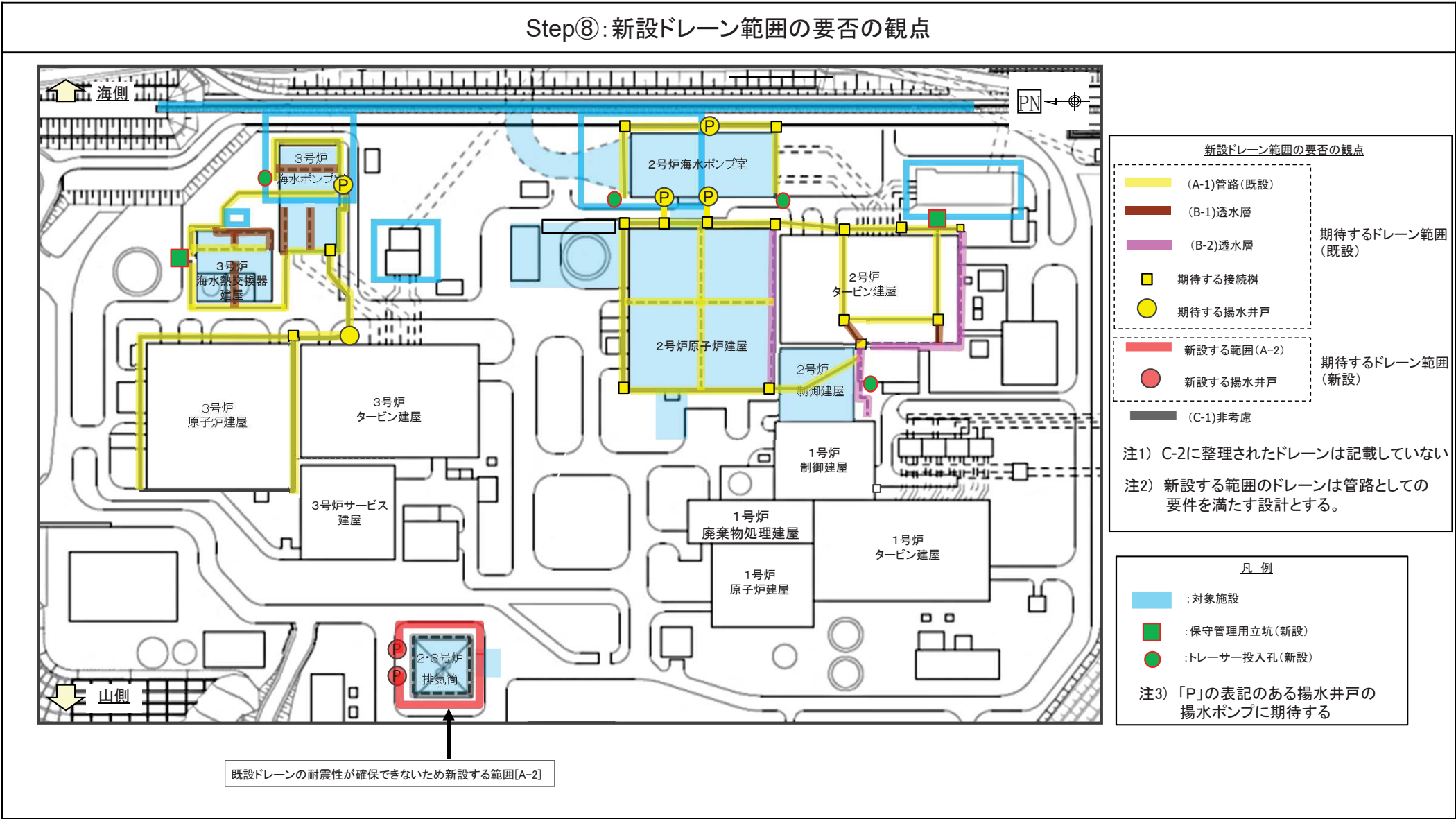
(4) ドレーンの有効範囲設定例 (Step④・⑦: 管の保守管理の観点 (3/3))

前頁までの検討から、「④・⑦ 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。この図は、保守管理用立坑等の追加により保守管理範囲を拡大した場合を記載しているが、今後の点検実績の反映等により変更の可能性がある。



- 「⑧新設ドレーン」の要否の観点からは、対象施設近傍の既設ドレーンに期待できない排気筒周辺において、新設が必要と整理される。

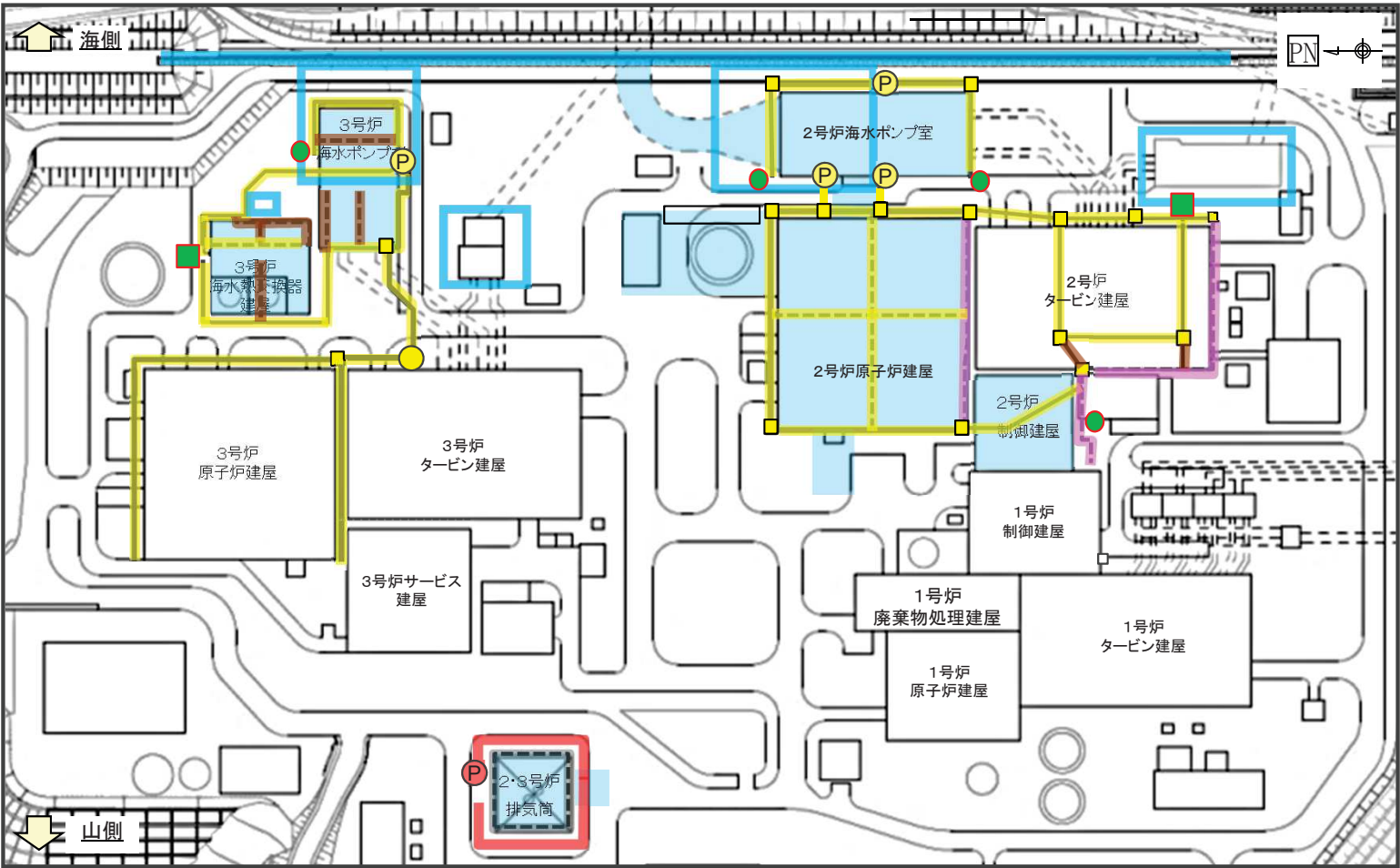
Step⑧:新設ドレーン範囲の要否の観点



(6) ドレーンの有効範囲設定例 (Step⑨: 設計用地下水位を満足するドレーンの範囲設定)

下図は対象施設の設計用地下水位の算定に必要な範囲の設定案である。

Step⑨: 設計用地下水位を満足するドレーンの範囲



ドレーンの区分

- (A-1)管路(既設)
- (B-1)透水層
- (B-2)透水層
- 期待する接続枵
- 期待する揚水井戸
- 新設する範囲(A-2)
- 新設する揚水井戸
- (C-1)非考慮

設計用地下水を満足
する上で必要な範囲

注1) C-2に整理されたドレーンは記載していない

注2) 新設する範囲のドレーンは管路としての要件を満たす設計とする。

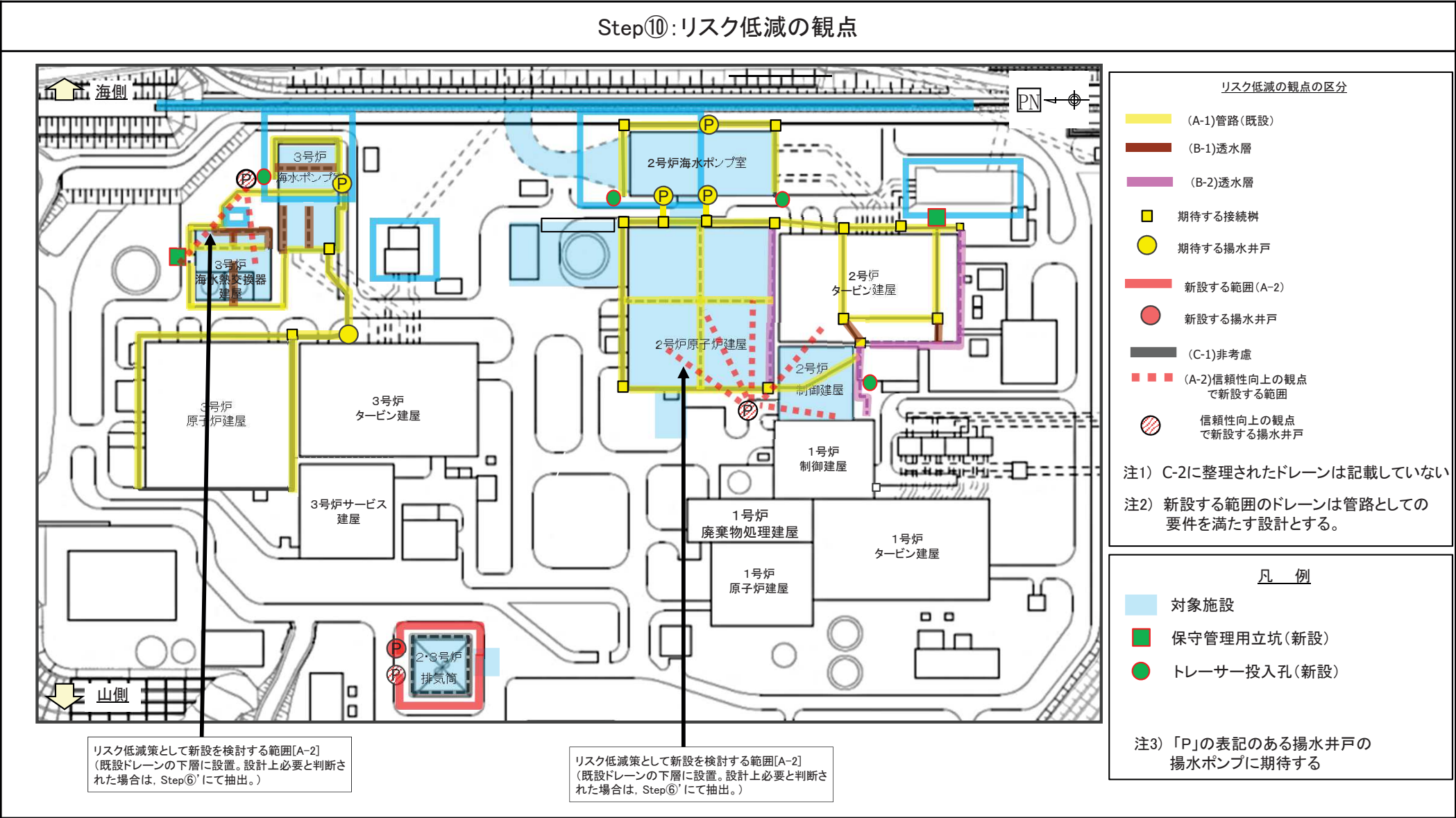
凡 例

- 対象施設
- 保守管理用立坑(新設)
- トレーサー投入孔(新設)
- 保守管理用立坑(新設揚水井戸に併設)

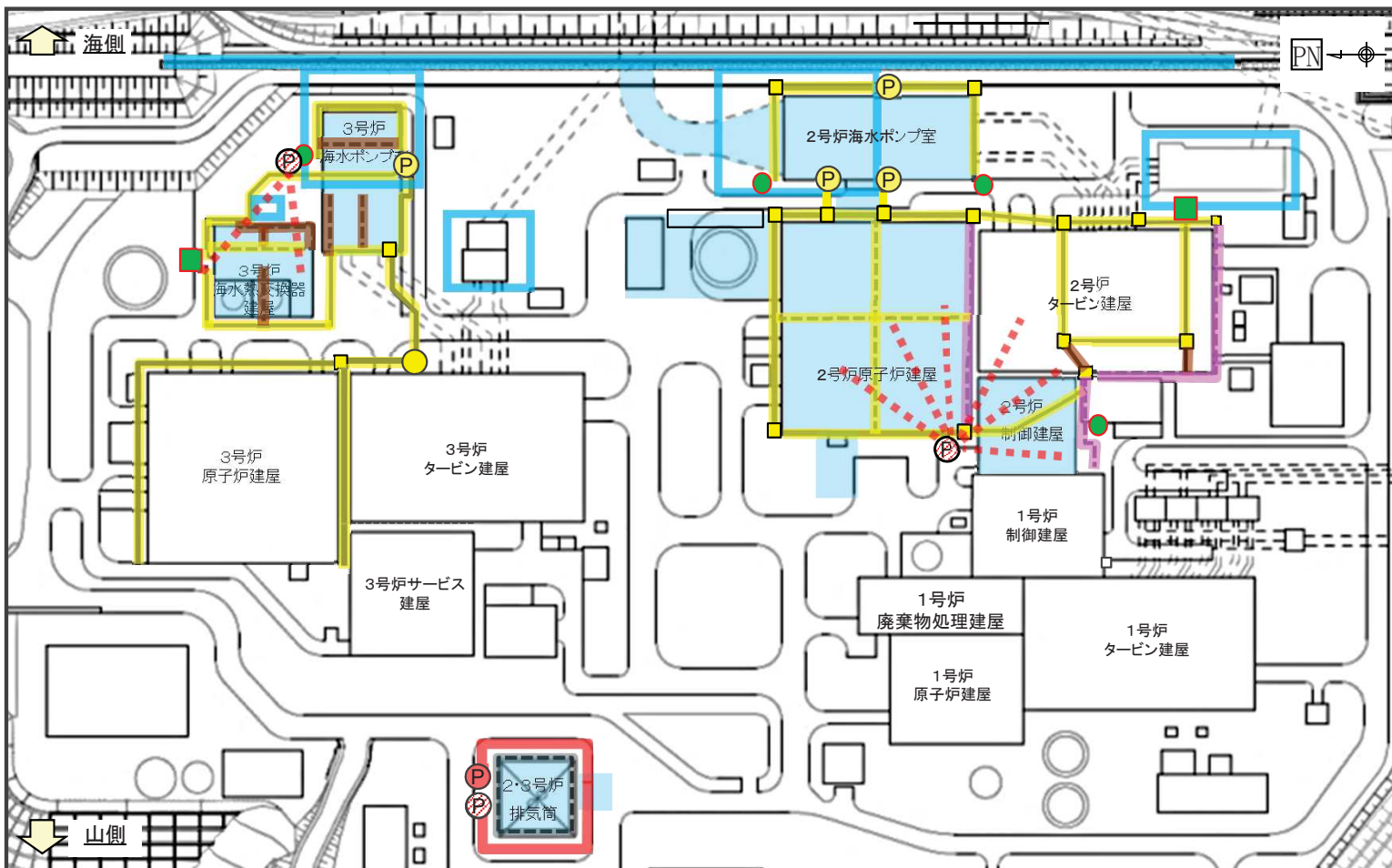
注3) 「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプをDB施設とする。

(7) ドレーンの有効範囲設定例 (Step⑩:リスク低減の観点)

- 「⑩リスク低減の観点」では、更なる集水機能保持の信頼性向上の観点からリスク低減策を検討する。
- この他、必要に応じ、保守管理の信頼性を高めるために、Step⑦の整理と別に保守管理用の設備の新設を行う場合がある。

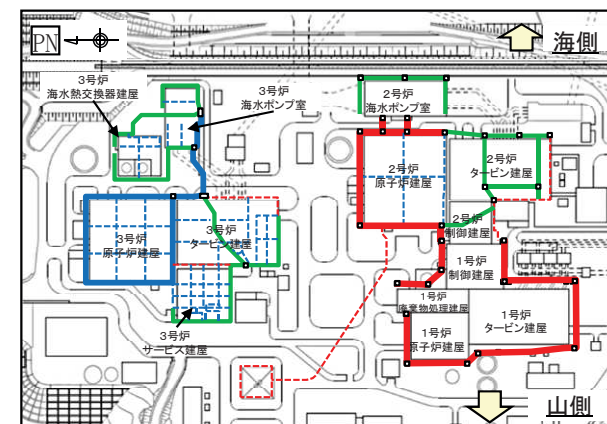


- ・ 集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づくリスク低減策の検討結果を踏まえた有効範囲の設定案を以下に示す。
- ・ 各構造の詳細については、今後、集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づき浸透流解析並びに構造検討を進め、工認段階で示すものとする。

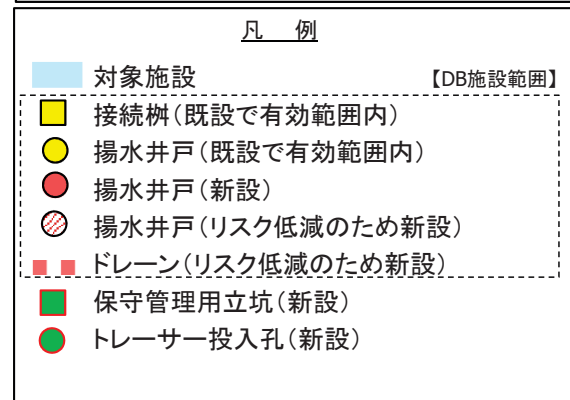
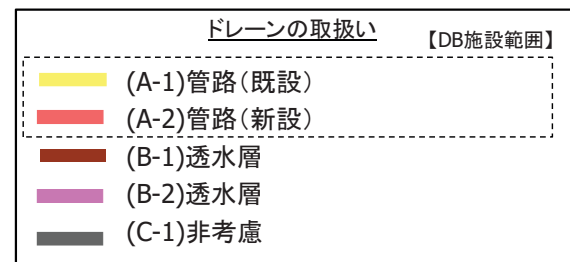


リスク低減策を含めた地下水位低下設備全体計画案※

※ 配置、構造の詳細については工認段階で説明



地下水位低下設備（既設）設置位置図



注1) C-2に整理されたドレーンは記載していない
注2)「P」の表記のある揚水井戸の揚水ポンプをDB施設とする

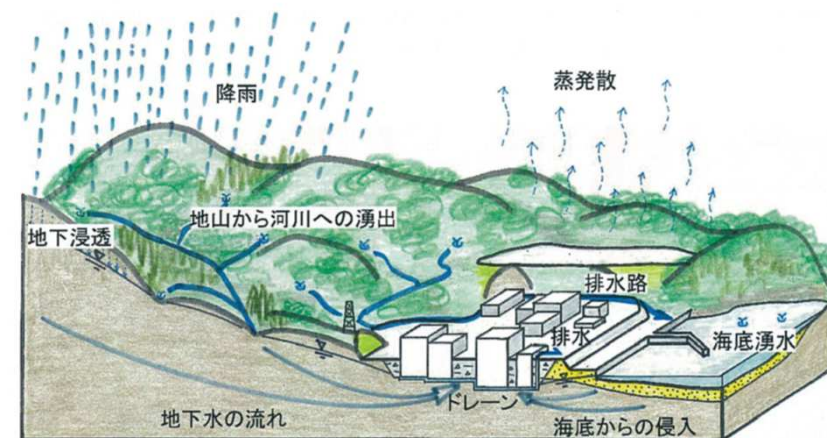
補足説明資料1 敷地の水文環境

補足説明資料1 敷地の水文環境

第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.63 再掲

79

- 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、蒸発散分を除き、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



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

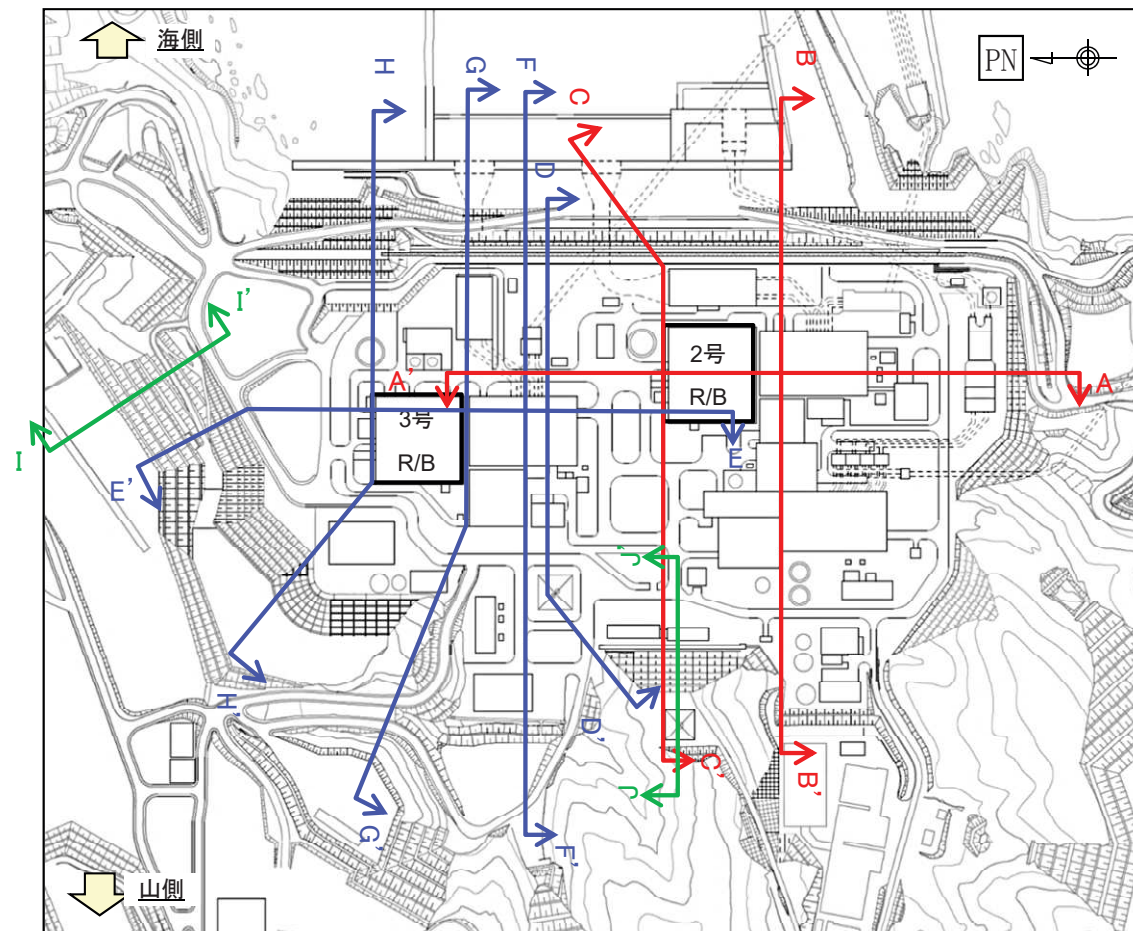
---> 主な地表水の流れ

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号炉工認時及び本適合性審査において, 以下の内容を把握するため, 浸透流解析を実施している。
 - 一地下水位低下設備の設計に使用する湧水量(2号炉, 3号炉工認時)
 - 一建屋の設計に使用する揚圧力(2号炉, 3号炉工認時)
 - 一地下水位状況
- 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。
- また, 本適合性審査のうち保管場所・アクセスルートに係る斜面安定に関しても浸透流解析を実施しており, 斜面安定解析断面I-I'では三次元非定常浸透流解析, 斜面安定解析断面J-J'については二次元非定常浸透流解析を実施している。



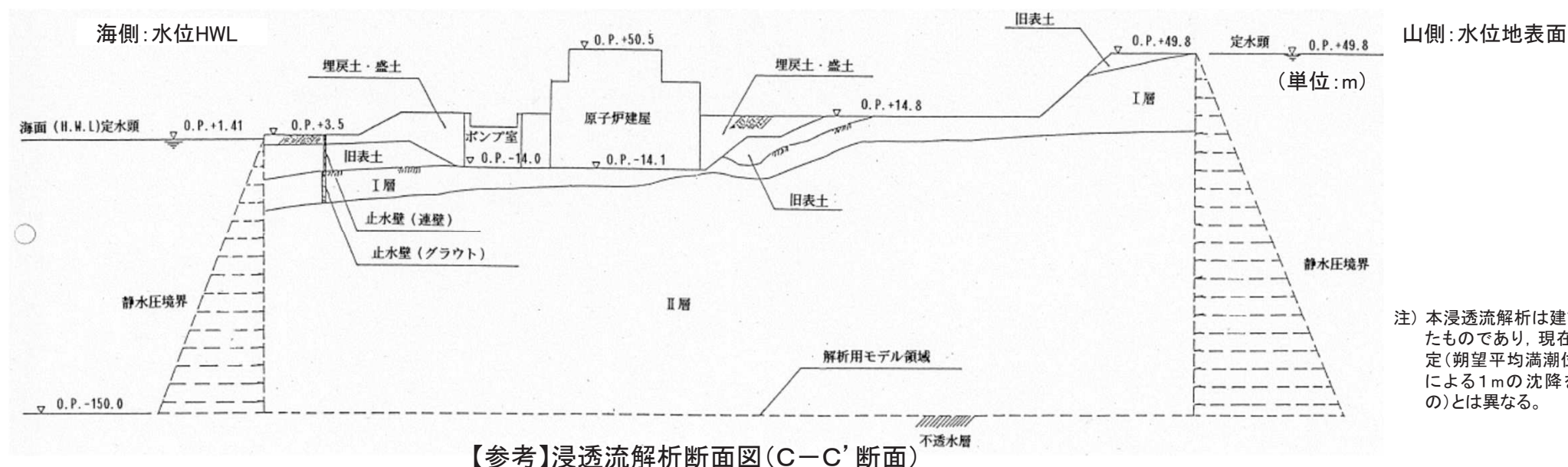
浸透流解析断面位置※

※: 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。

凡例

- : 解析断面(2号炉工認時)
- : 解析断面(3号炉工認時)
- : 解析断面(保管場所・アクセスルート斜面)

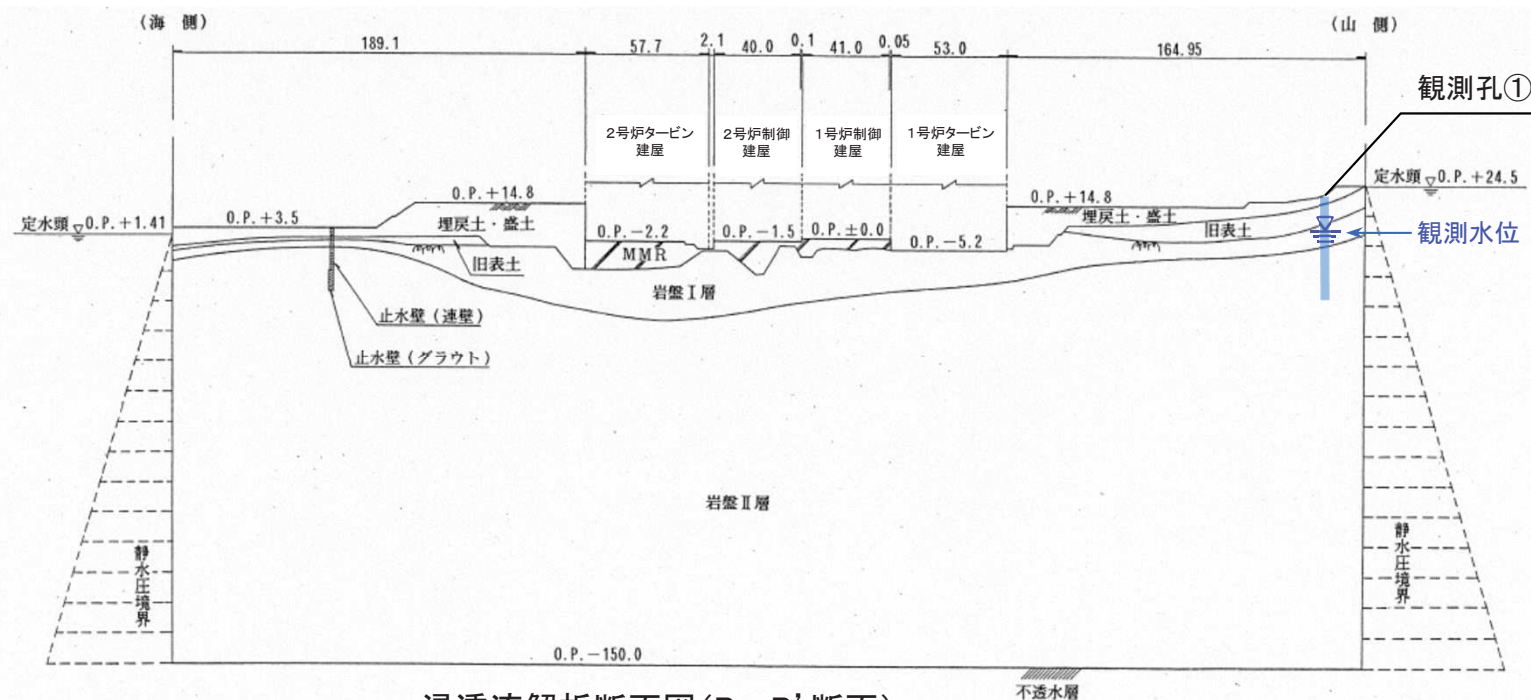
- 2号炉及び3号炉工認時(定常浸透流解析)の海側境界はHWL, 山側境界は地表面に水位を固定し, モデル下端は不透水境界として扱い, 側方境界には静水圧を作用させている。※
- 保管場所・アクセスルート斜面については, 地下水位の連続観測データによる検証を実施した上で, 既往最大の降雨を考慮した非定常浸透流解析を実施している。



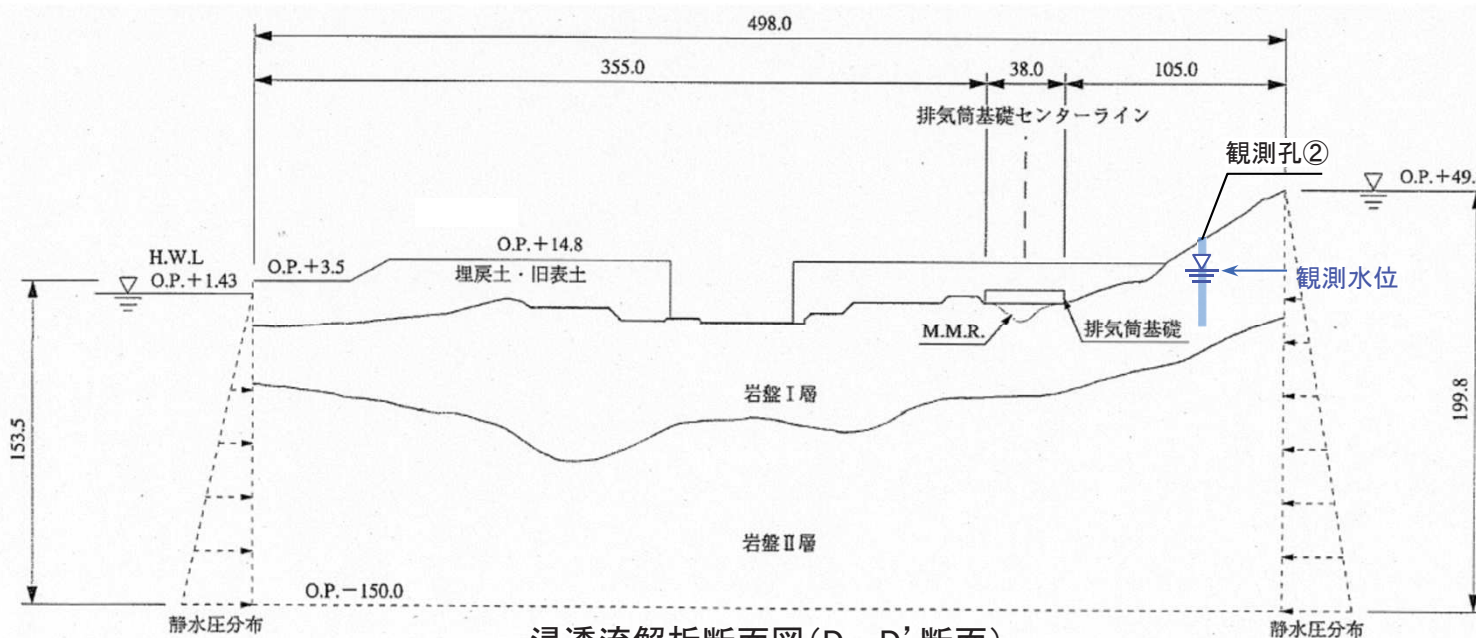
※ 保守的評価となる配慮

- 山側側方の側方境界は, 地表面に設定する。
- 隣接号炉における地下水位低下設備の影響については考慮しない。
- 海側には建屋との間に地中連側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, 解析時には考慮しない。

- 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号炉周辺) (単位:m/s)

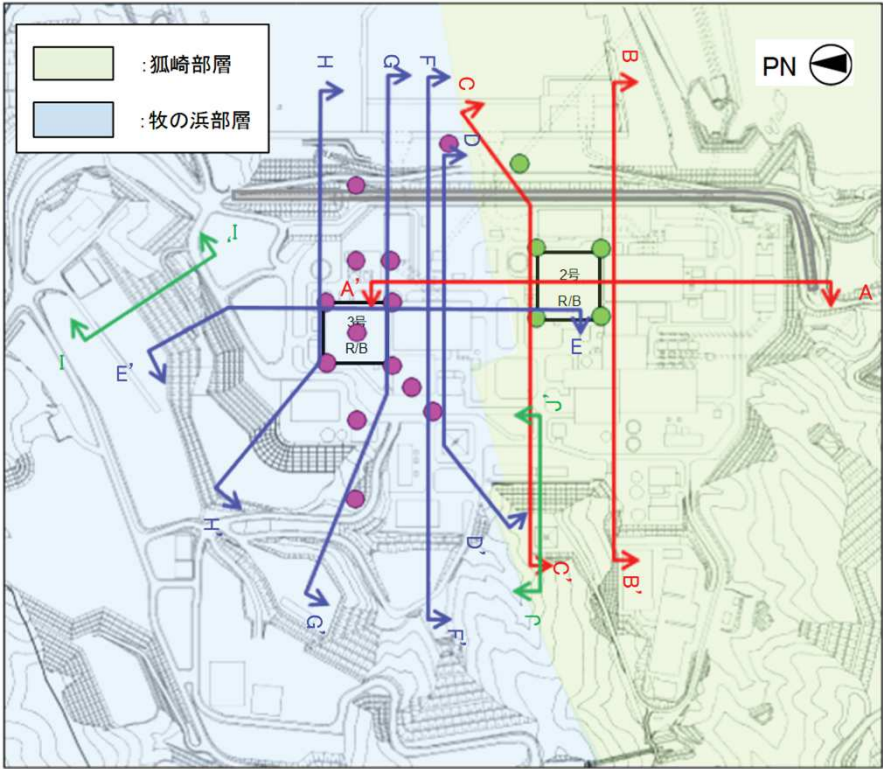
地層	盛土・旧表土	岩盤		MMR
		I層	II層	
透水係数	3.0×10^{-5}	7.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-11}

注)A-A'断面, B-B'断面, C-C'断面及びJ-J'断面に使用

解析用物性値(3号炉周辺) (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, H-H'断面及びI-I'断面に使用



岩盤の透水試験位置

凡例

: 解析断面(2号炉工認時)

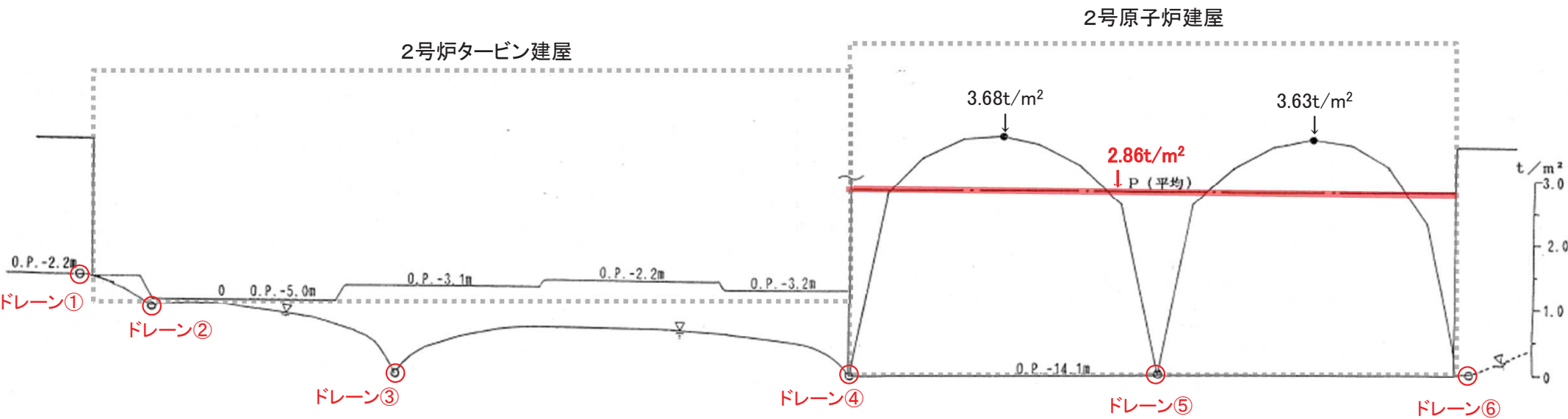
: 解析断面(3号炉工認時)

: 解析断面(保管場所・アクセスルート斜面)

: 岩盤の透水試験位置(狐崎部層)

: 岩盤の透水試験位置(牧の浜部層)

- 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

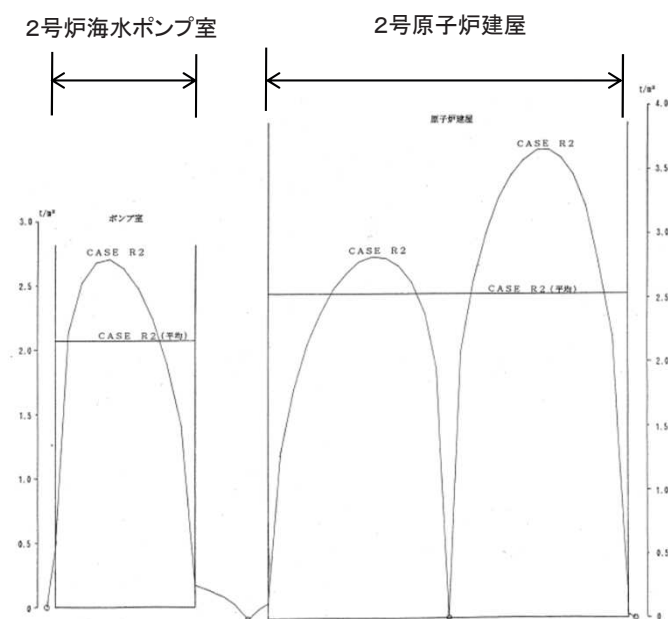
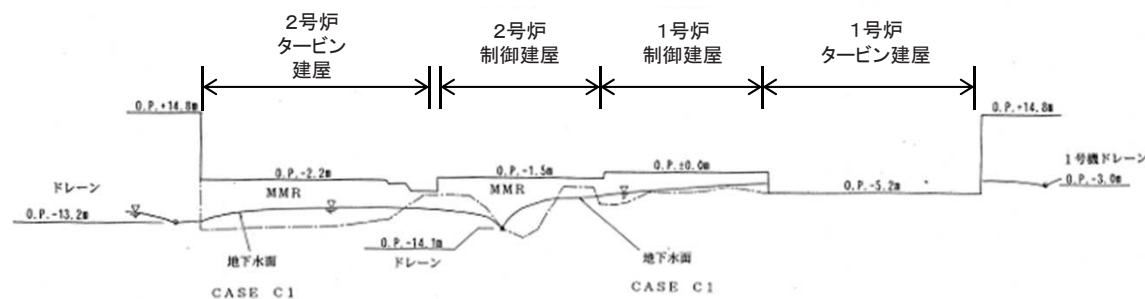
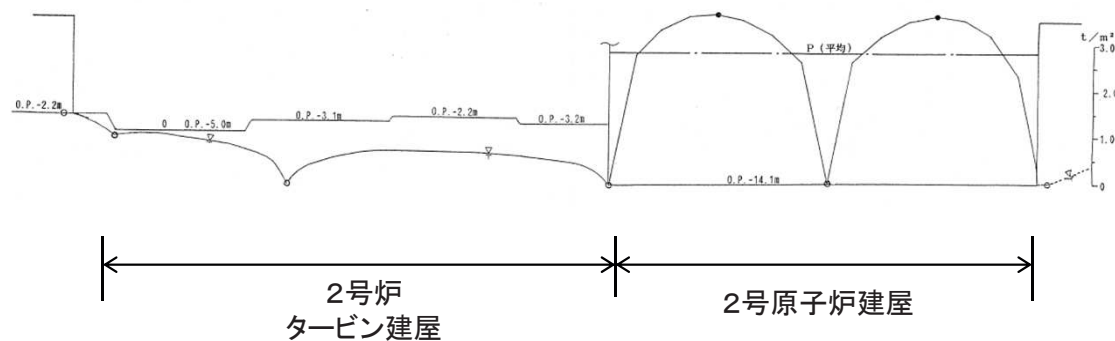
揚圧力(設計値及び解析結果)

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。



※: 解析時の報告書のため従来単位系で表示

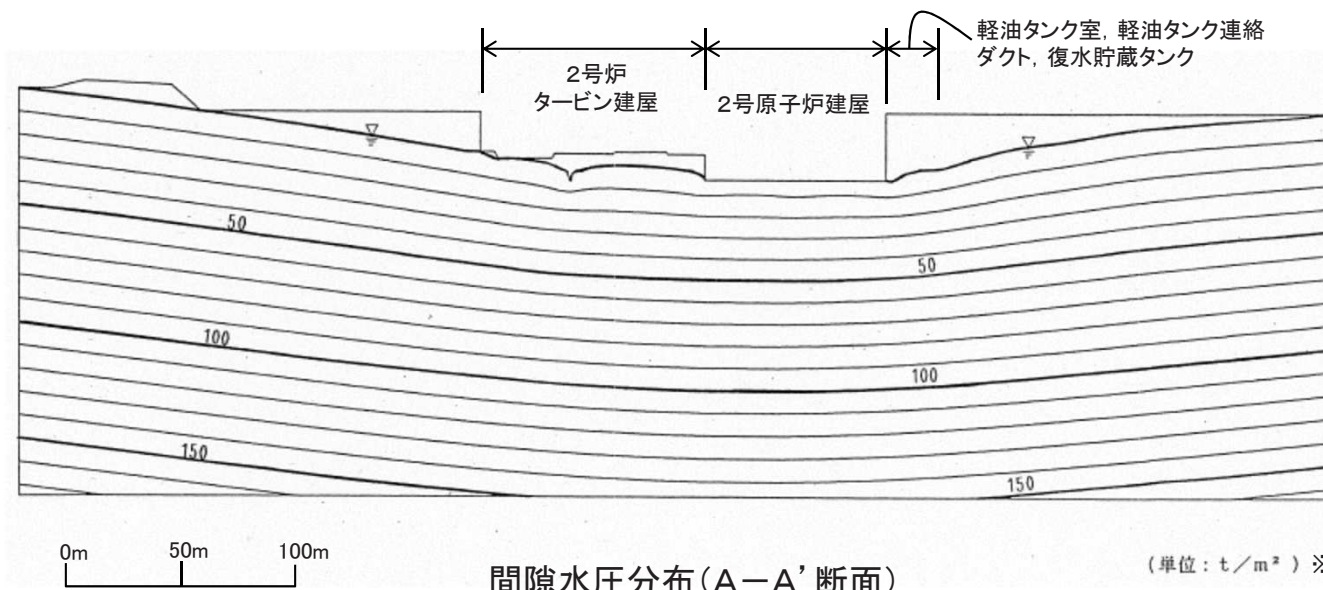
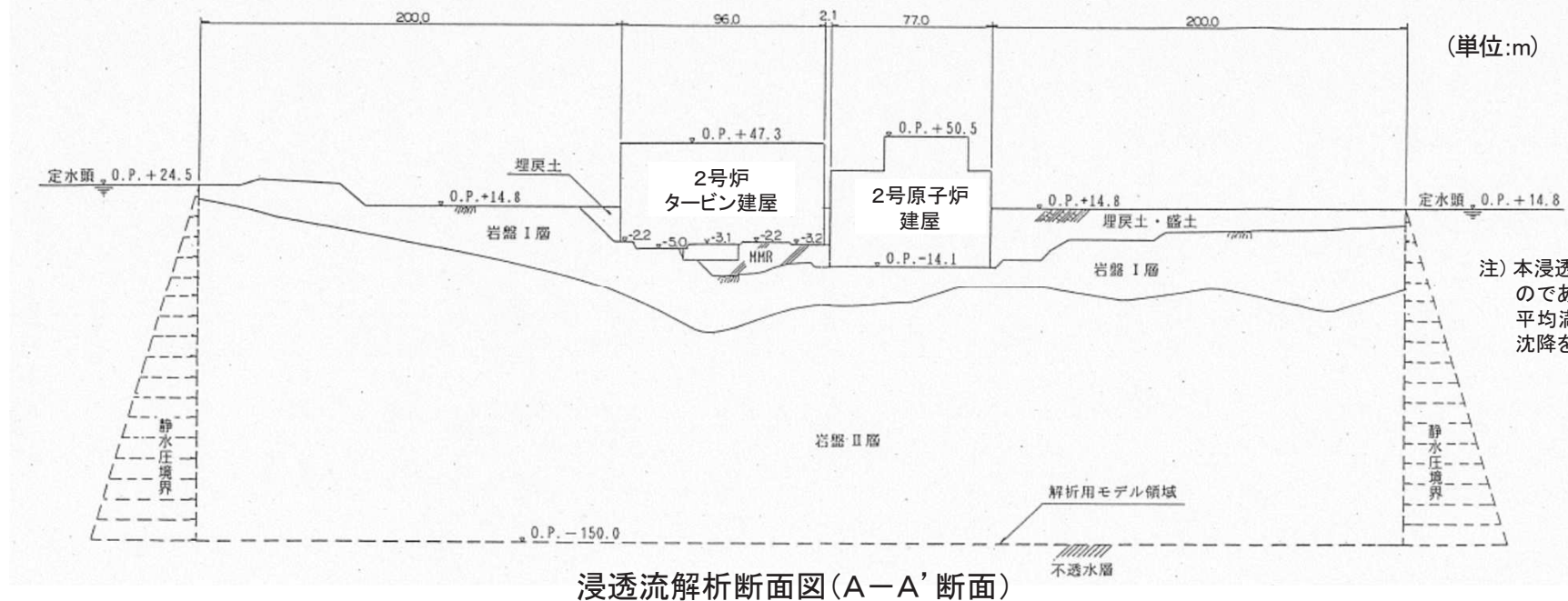
揚圧力分布図及び地下水面形

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:A-A'断面)

第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.79 再掲

87

- ・ 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。

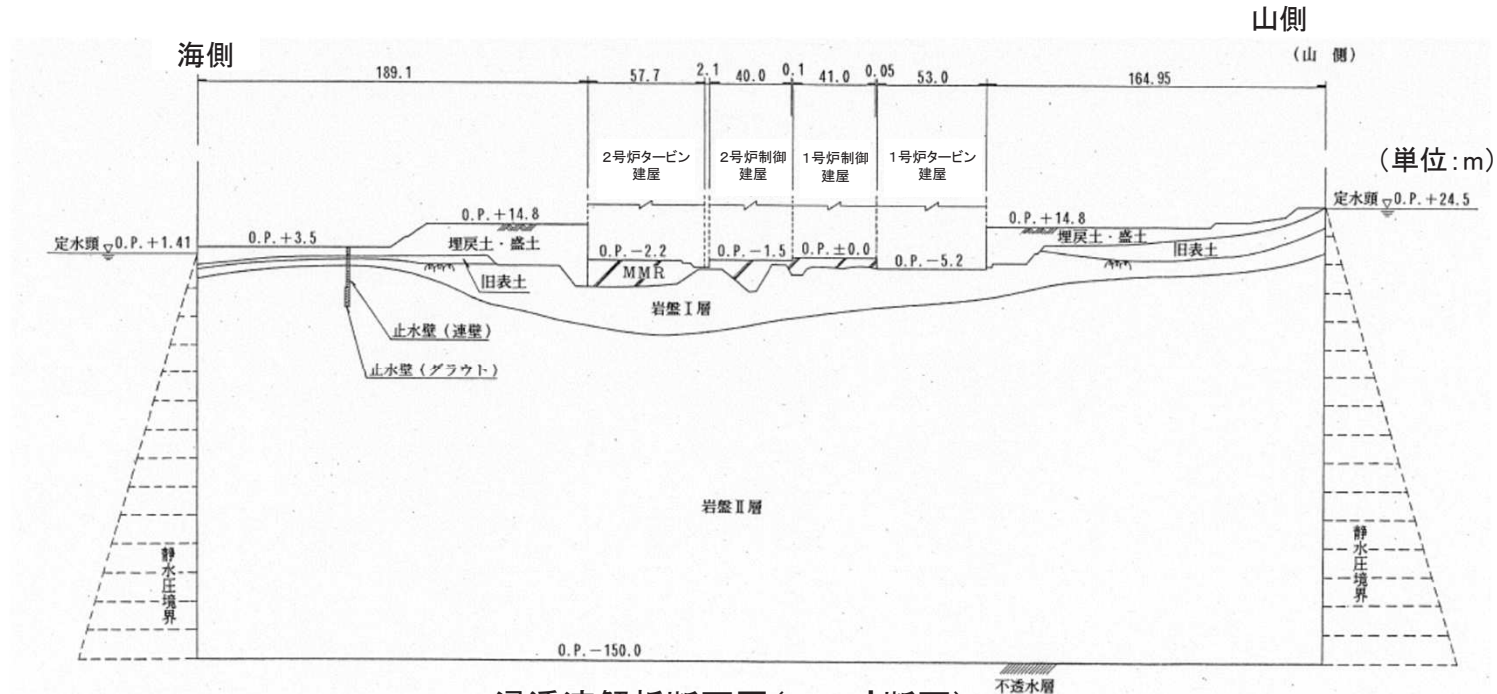


補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析 (3)解析結果 (間隙水圧分布②:B-B'断面)

第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.80 再掲

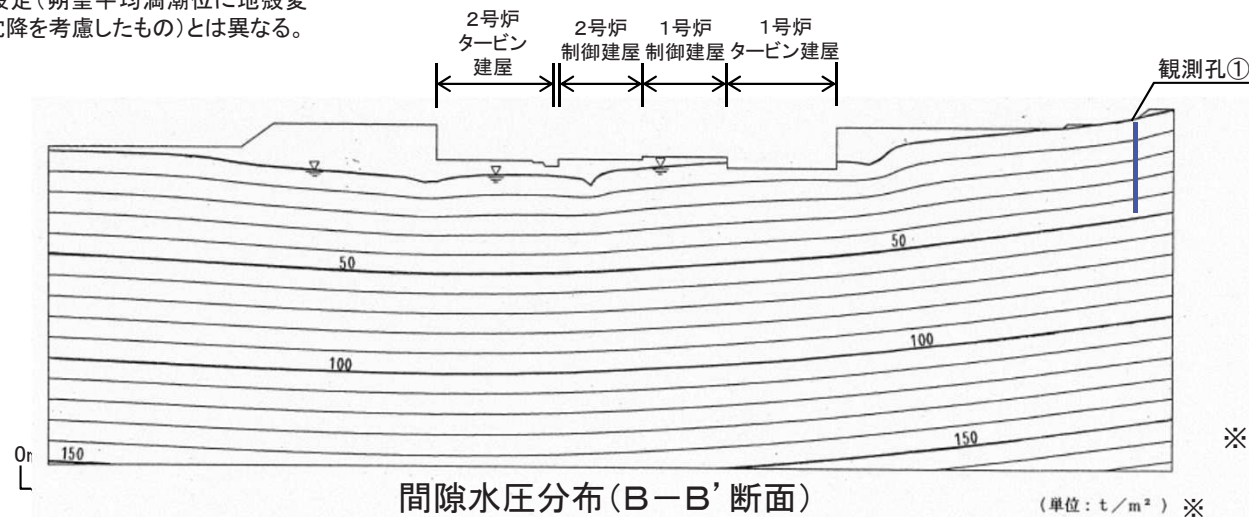
88

- ・ 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

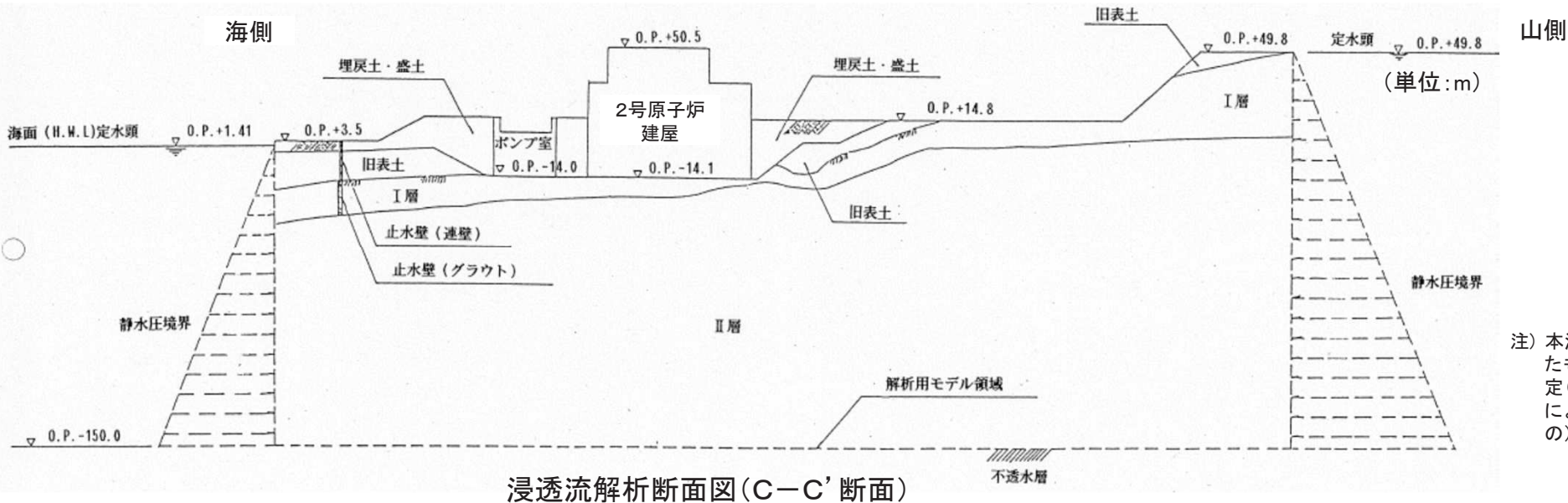
補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析

(3)解析結果 (間隙水圧分布③:C-C'断面)

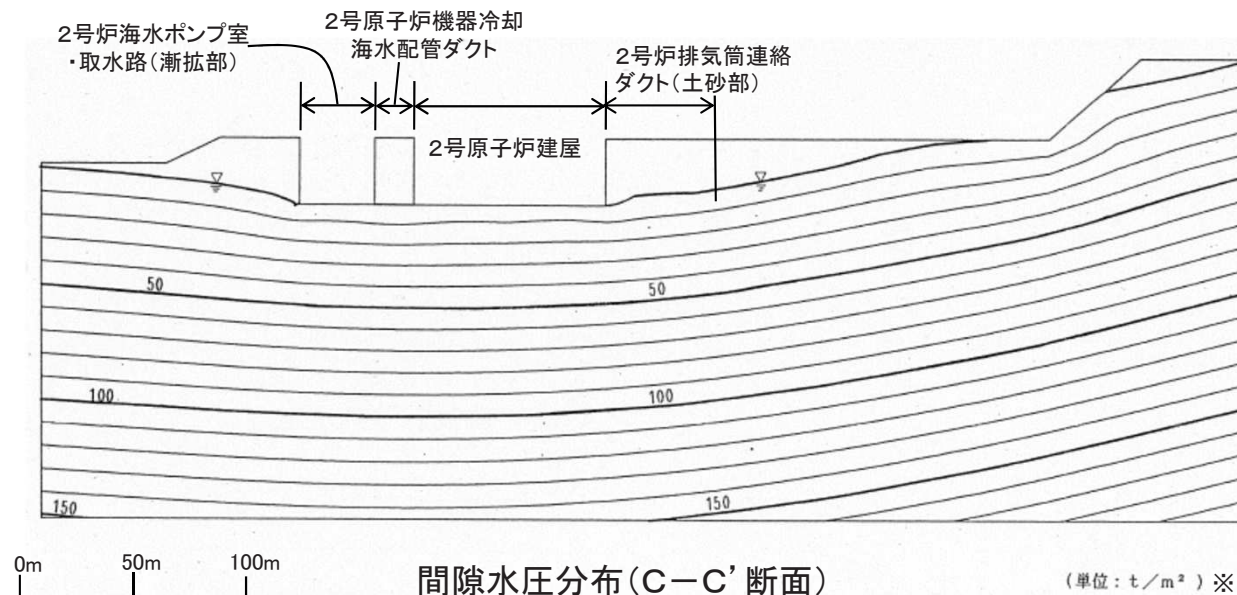
第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.81 再掲

89

- ・ 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。

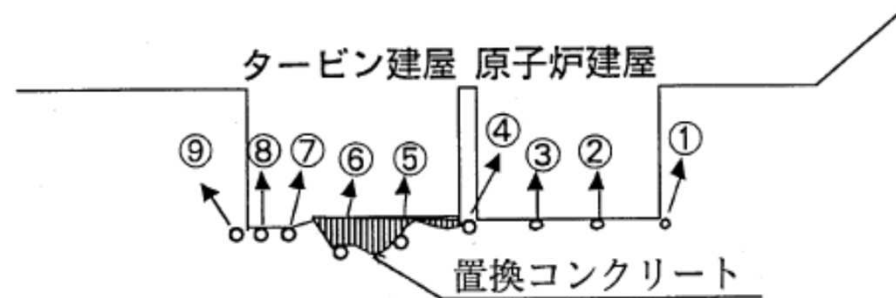


注) 本浸透流解析は建設時に実施したものであり、現在の潮位の設定(朔望平均満潮位に地殻変動による1mの沈降を考慮したもの)とは異なる。



※: 解析時の報告書のため従来単位系で表示

- ・ 二次元浸透流解析による湧水量を以下に示す。



(単位: $\ell/\text{min}/\text{m}$)

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 ($\ell/\text{min}/\text{m}$)

原子炉建屋及びタービン建屋

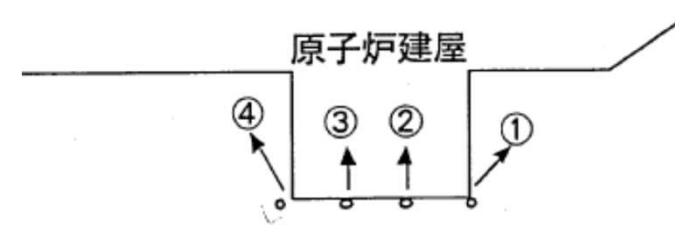


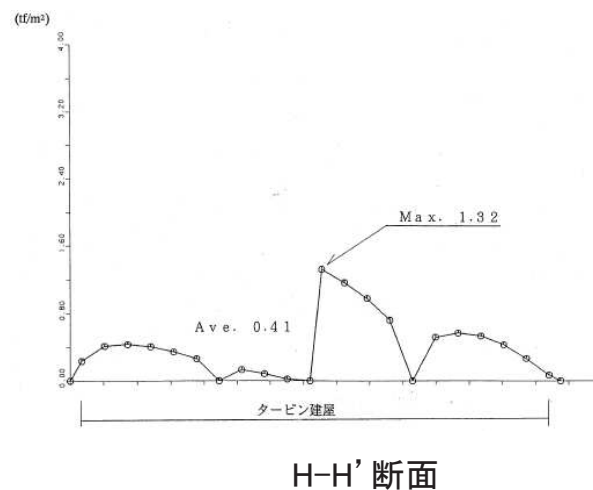
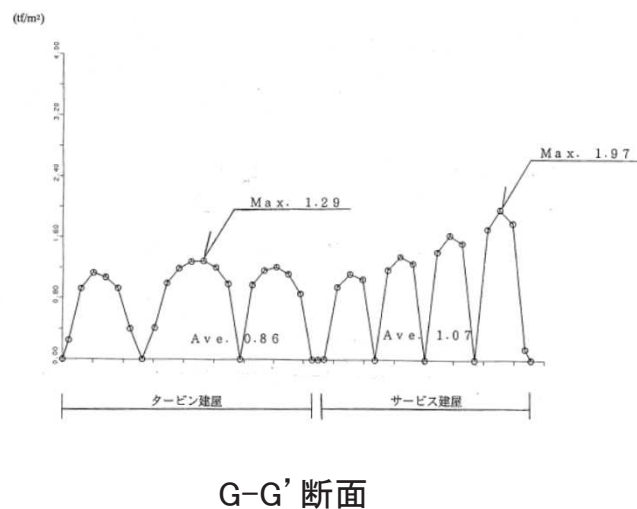
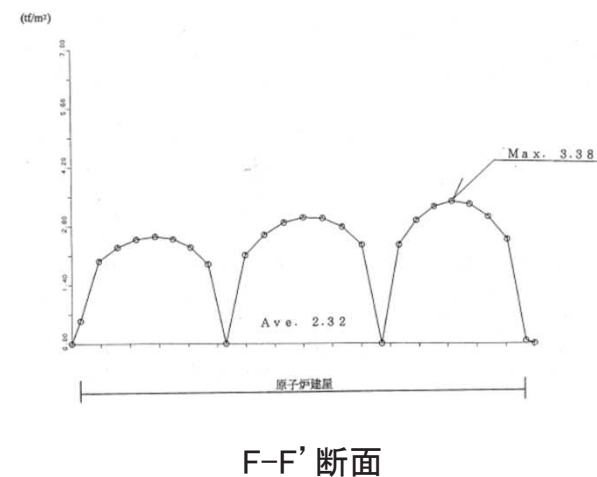
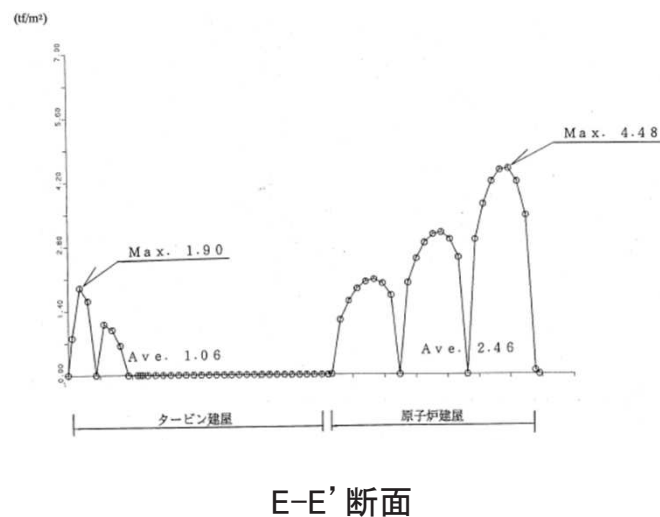
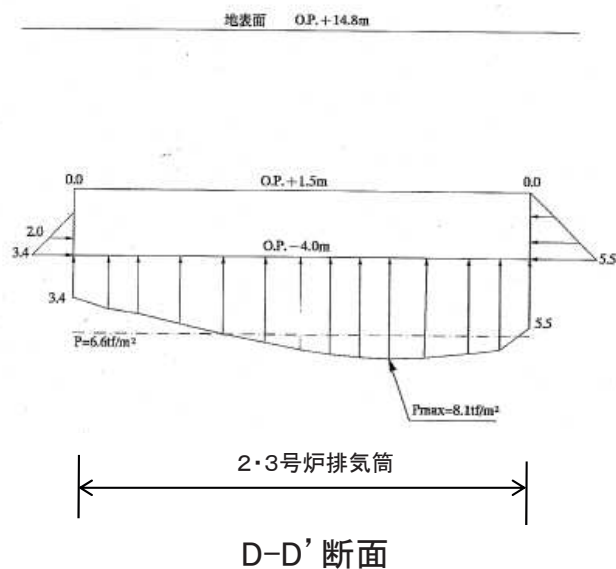
図-6.3 B-B断面

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

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

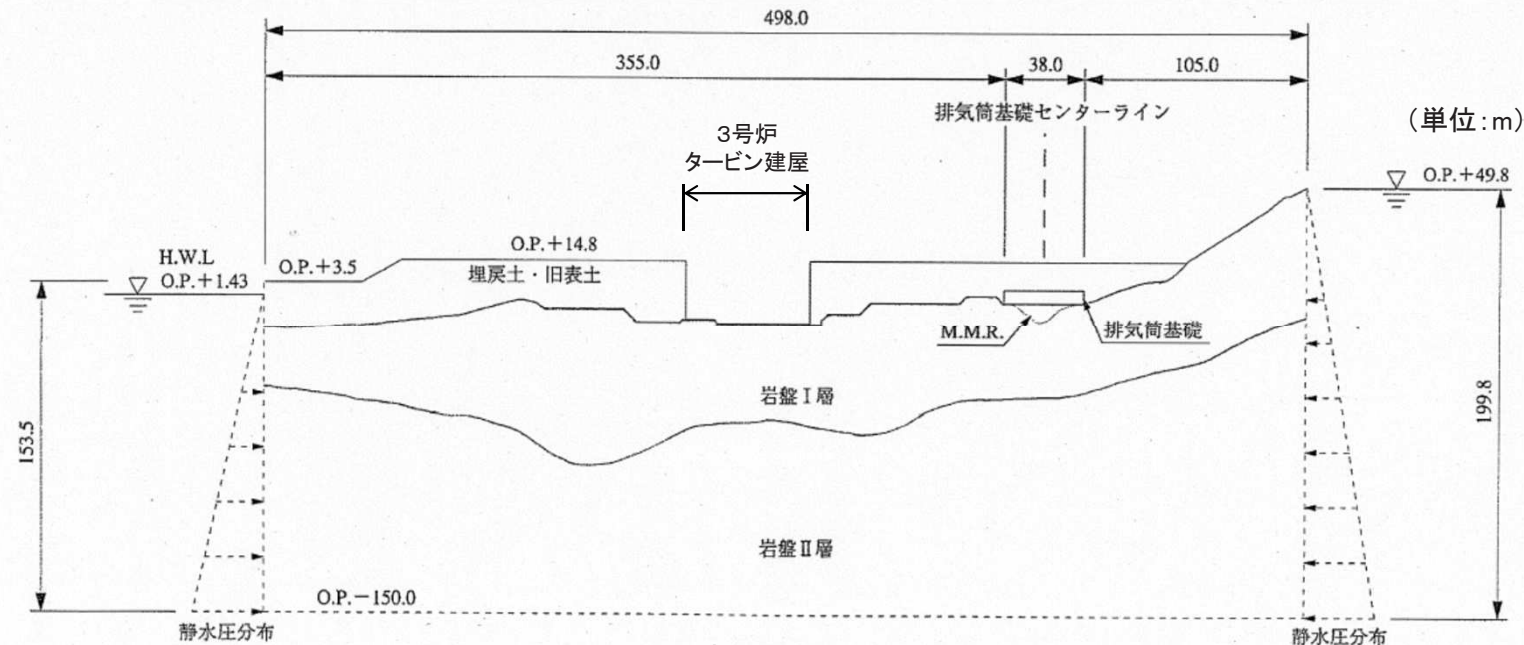
補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析

(3)解析結果 (間隙水圧分布①:D-D'断面)

第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.84 再掲

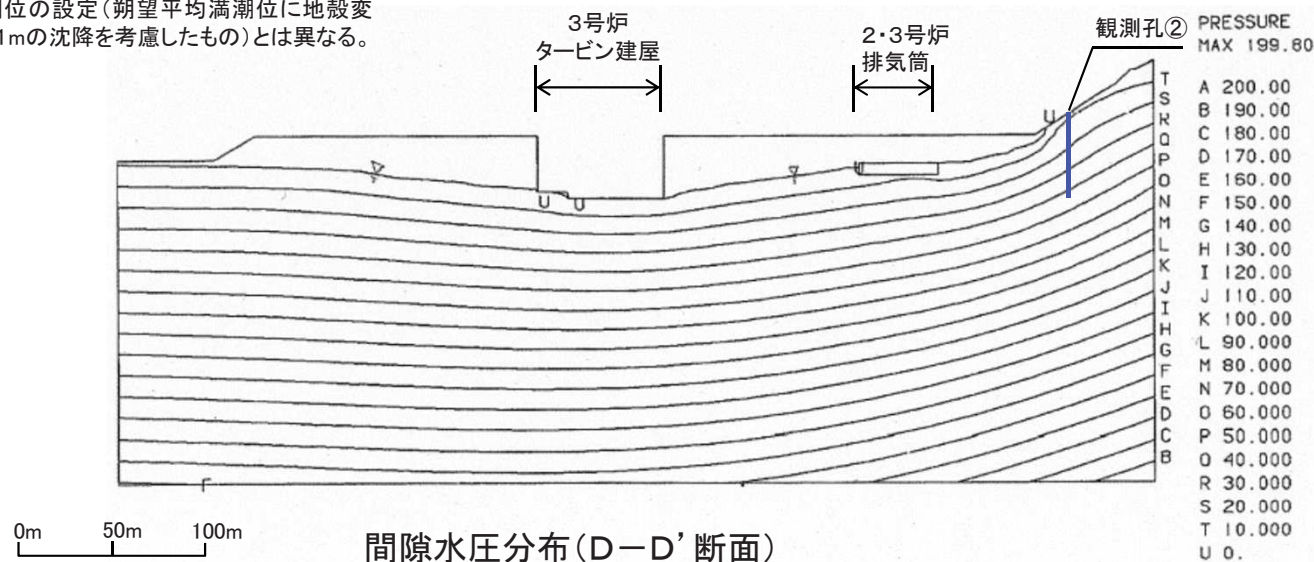
92

- ・ 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(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。



間隙水圧分布(D-D'断面)

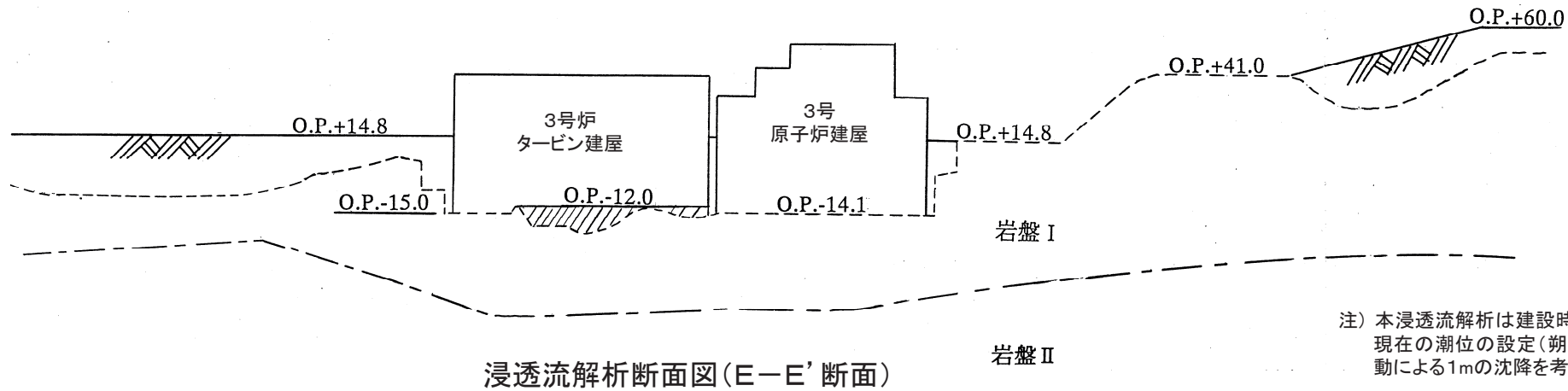
U: 地下水位面

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:E-E'断面)

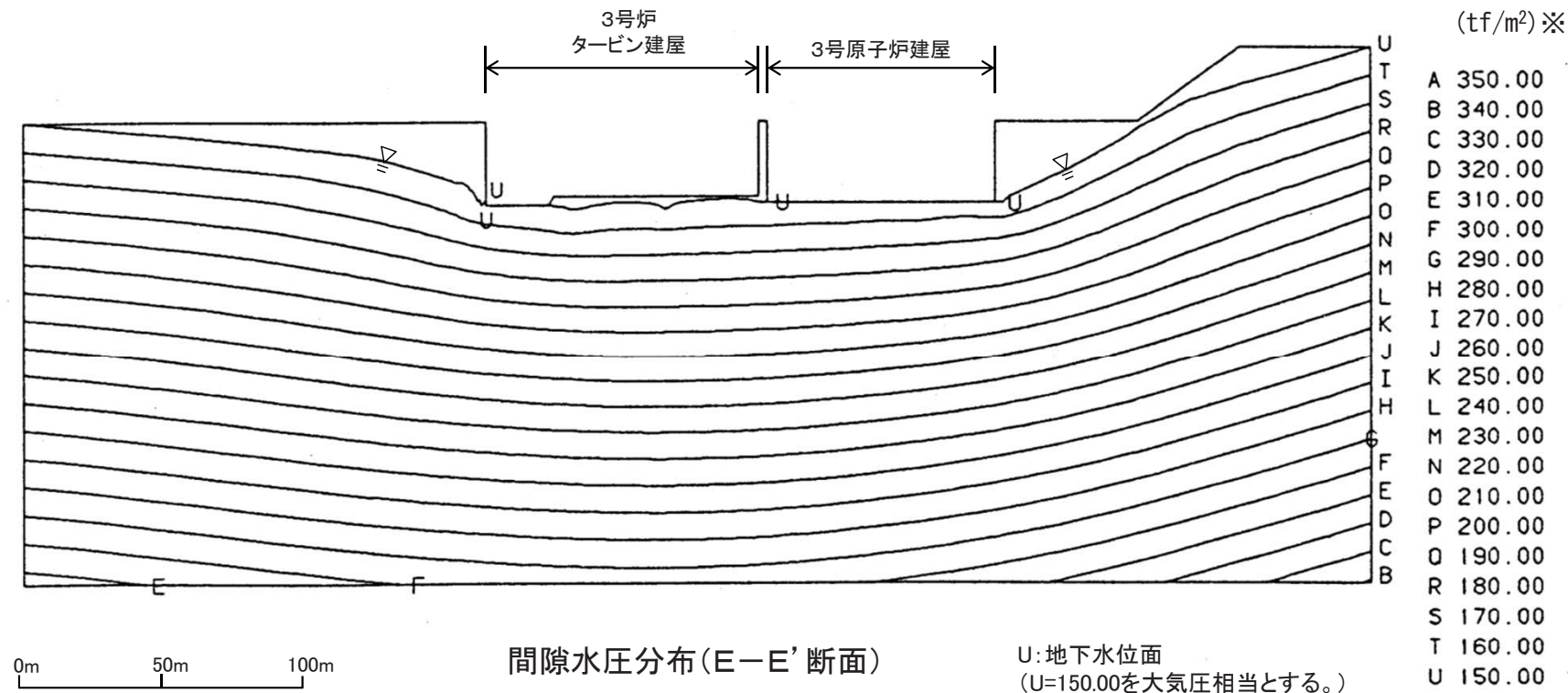
第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.85 再掲

93

- ・ 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

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

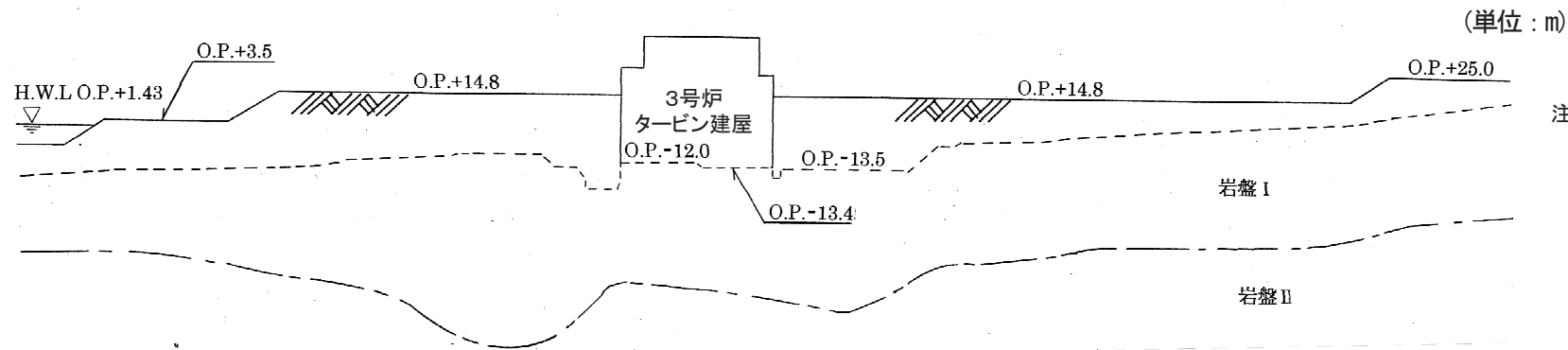
U: 地下水位面
(U=150.00を大気圧相当とする。)

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:F-F'断面)

第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.86 再掲

94

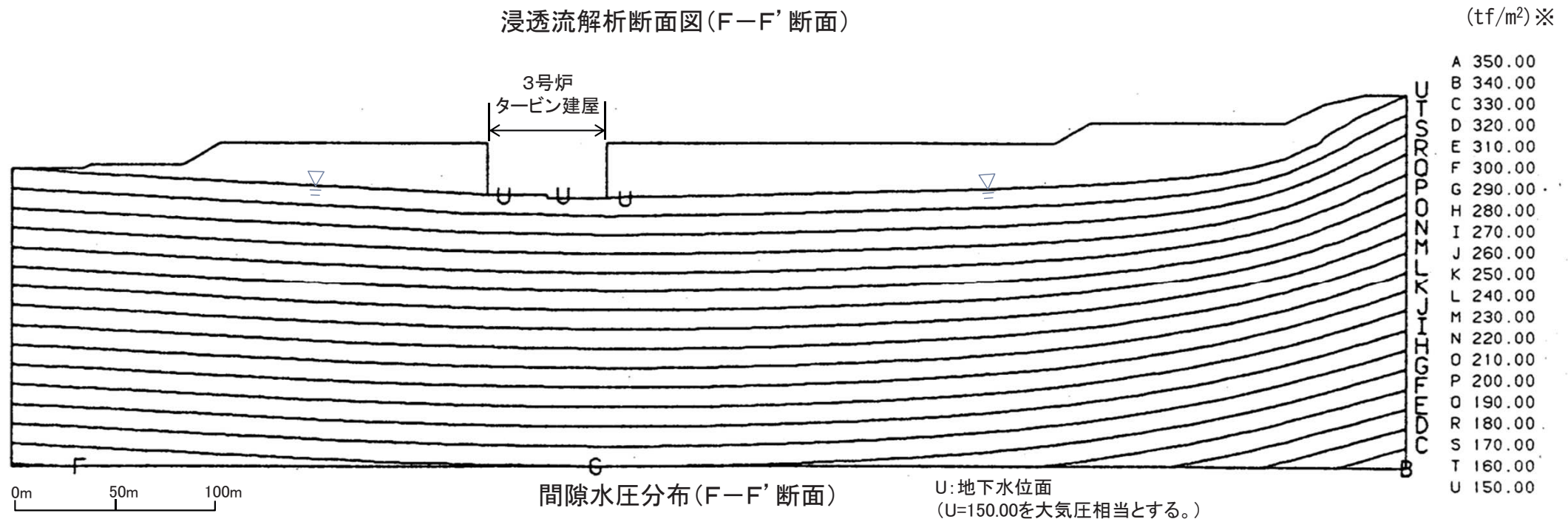
- ・ 解析断面とその結果(F-F'断面)を以下に示す。
- ・ ドレーンを設置している3号炉タービン建屋の基礎に向かって周囲の地下水位は低下しており、海面よりも低くなっている。



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)

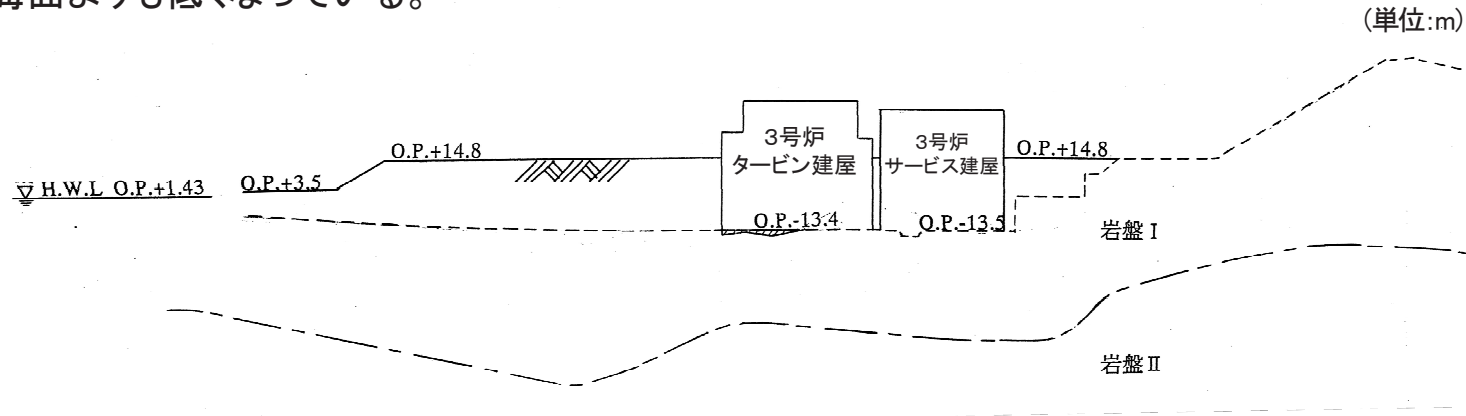


補足説明資料2 建設時工認段階の浸透流解析 (3)解析結果 (間隙水圧分布①:G-G'断面)

第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.87 再掲

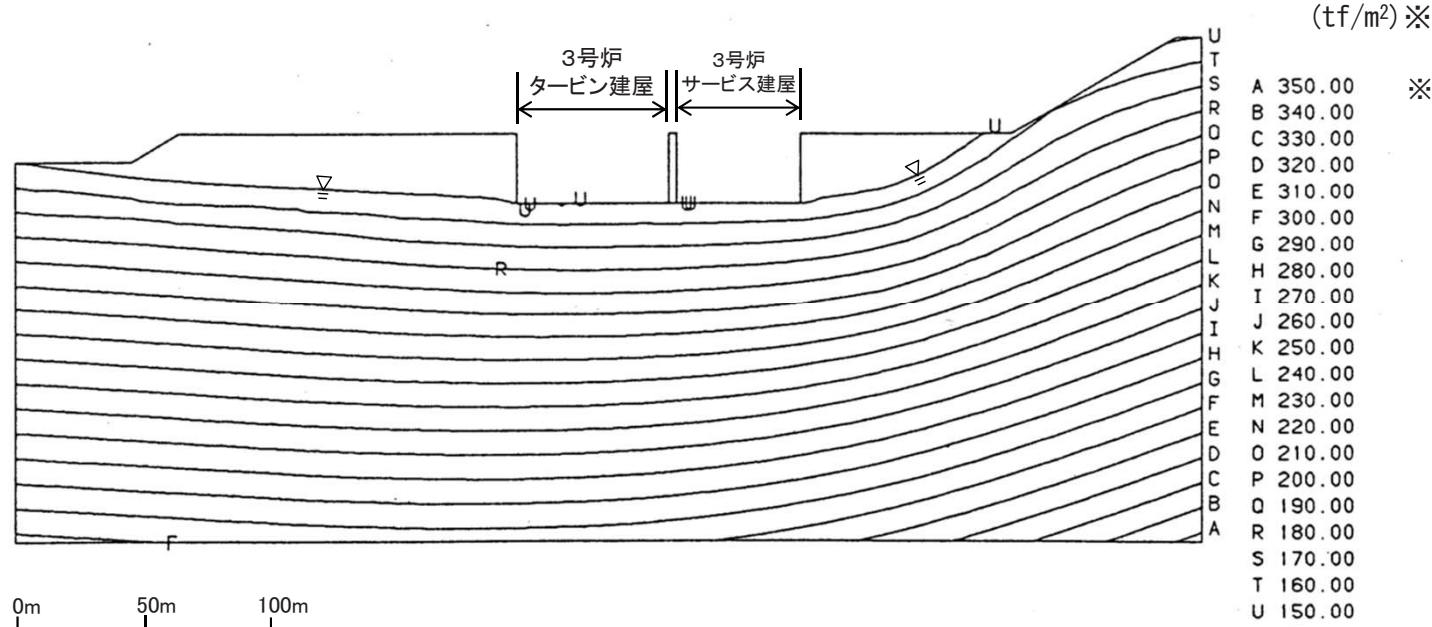
95

- 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。)

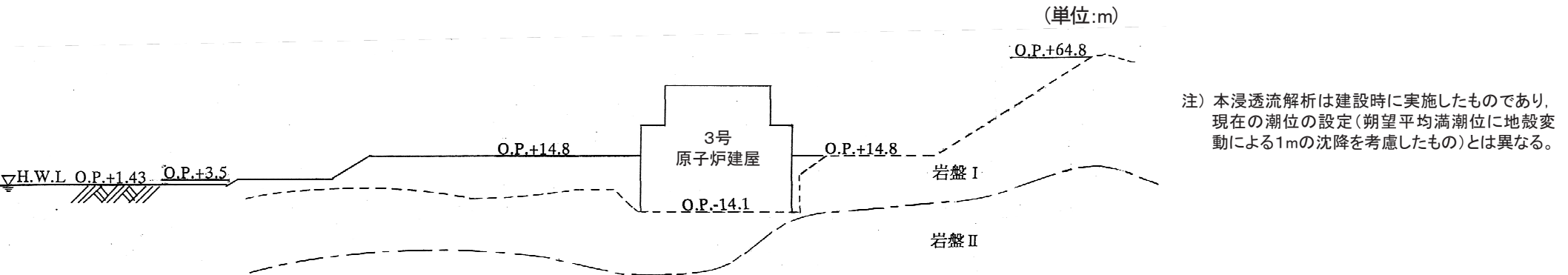
間隙水圧分布(G-G'断面)

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)

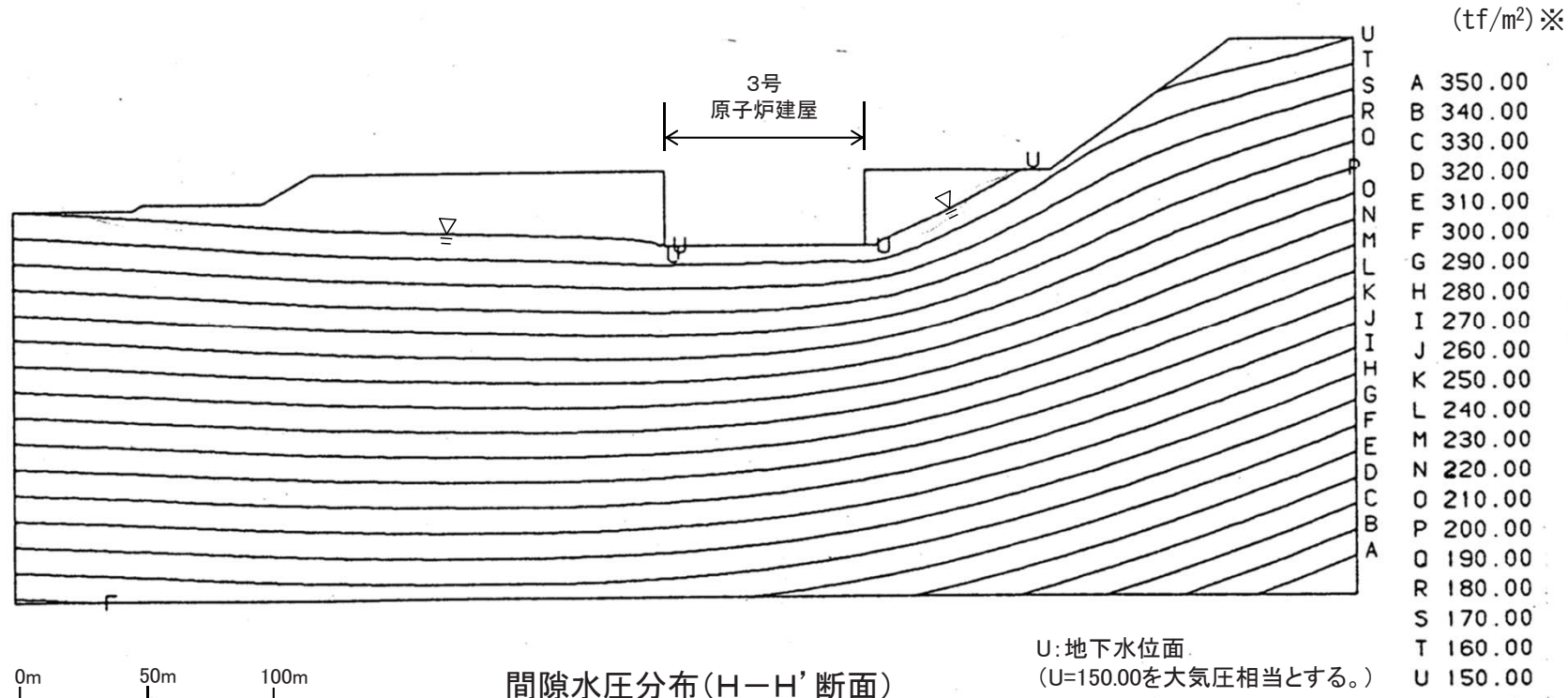
第675回審査会合(H31.2.5)
資料2-2-2 p.88 再掲

96

- ・ 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。



浸透流解析断面図(H-H'断面)

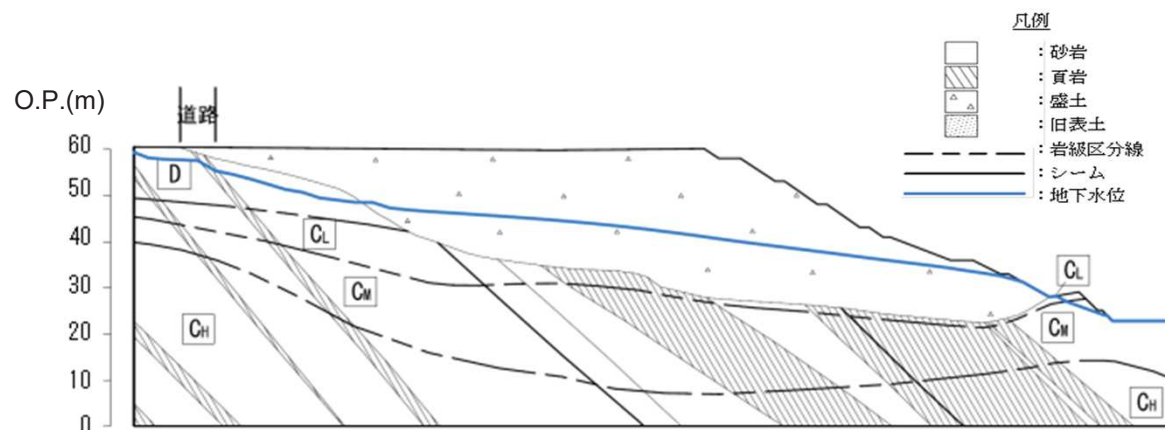


(tf/m²)※

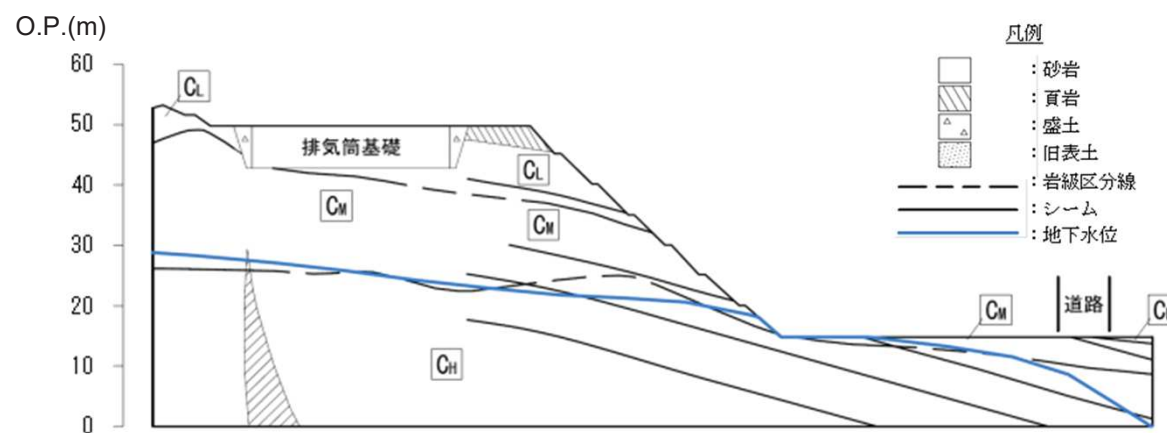
A	350.00
B	340.00
C	330.00
D	320.00
E	310.00
F	300.00
G	290.00
H	280.00
I	270.00
J	260.00
K	250.00
L	240.00
M	230.00
N	220.00
O	210.00
P	200.00
Q	190.00
R	180.00
S	170.00
T	160.00
U	150.00

※: 解析時の報告書のため
従来単位系で表示

- ・ 浸透流解析の結果(I-I', J-J' 断面)を以下に示す。
- ・ ドレーンを設置している主要建屋方向(下図の右側)に向かって地下水位は低下している。



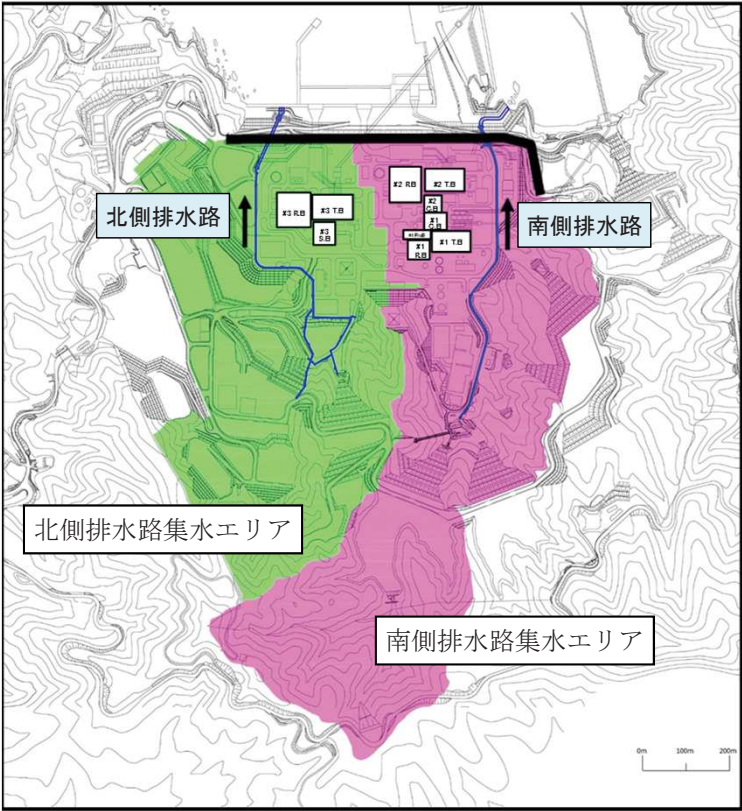
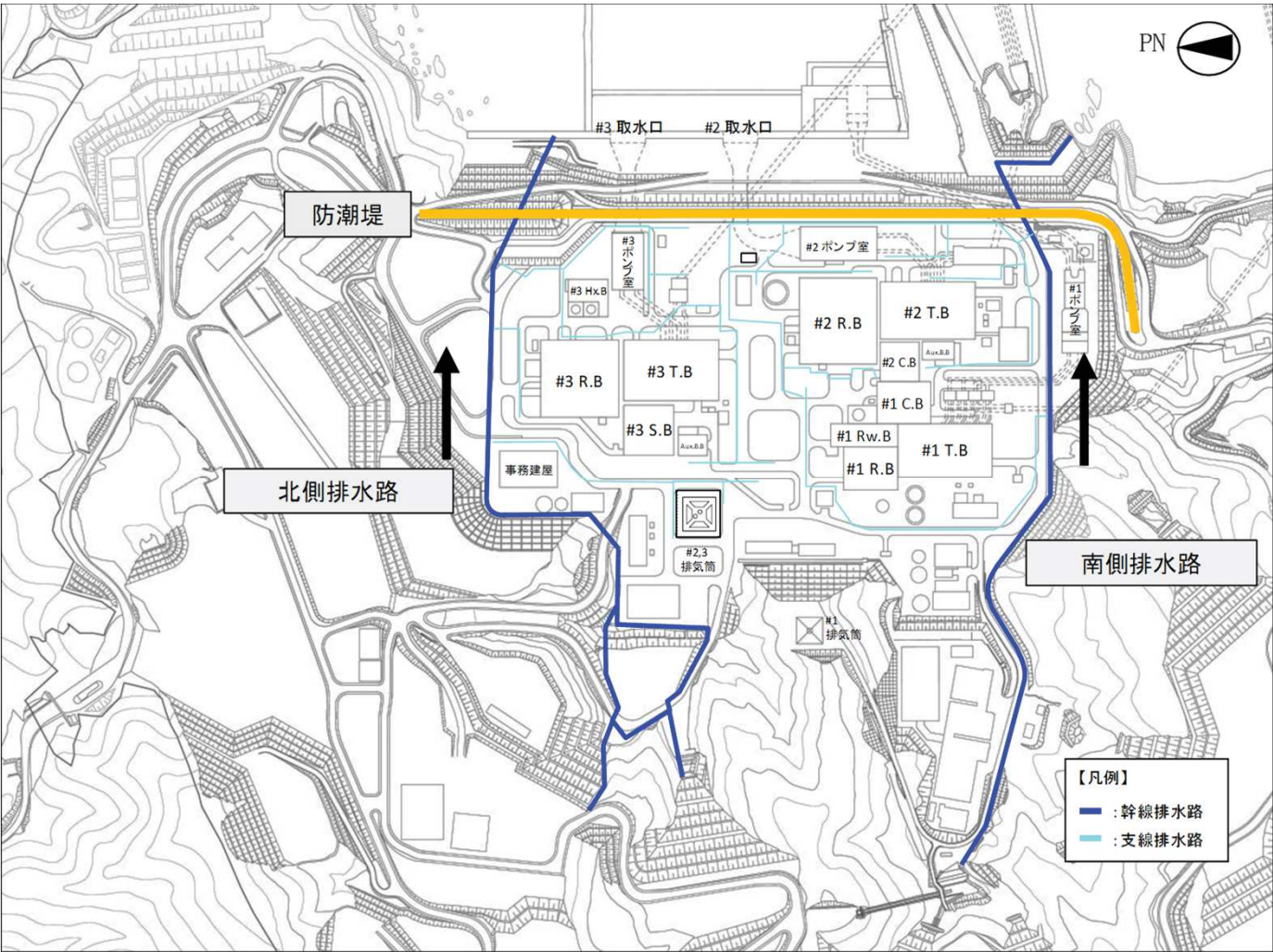
浸透流解析断面及び解析結果(I-I' 断面)



浸透流解析断面及び解析結果(J-J' 断面)

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)領域とモデル化範囲

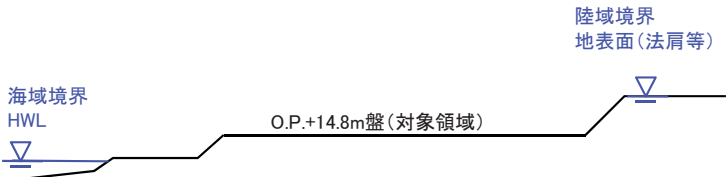
- 施設が配置される主要エリア(O.P.+14.8m盤周辺)を対象とし、解析領域は周辺法面等を含む。
- 領域内の構造物※、地下水位低下設備をモデル化し、敷地造成時における掘削・埋戻しを反映する。
- 防潮堤下部の状態は現況(防潮堤下に盛土・旧表土が存在) 及び防潮堤下部の沈下対策後(防潮堤下の地盤改良・前面の置換コンクリートは有)とする。

※: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。

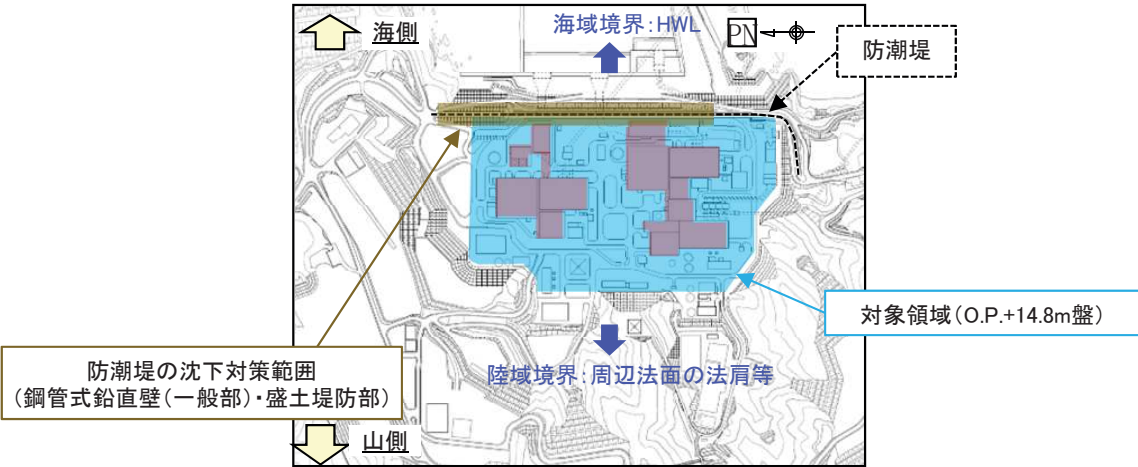
(2)透水係数

- 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)



(a) 断面



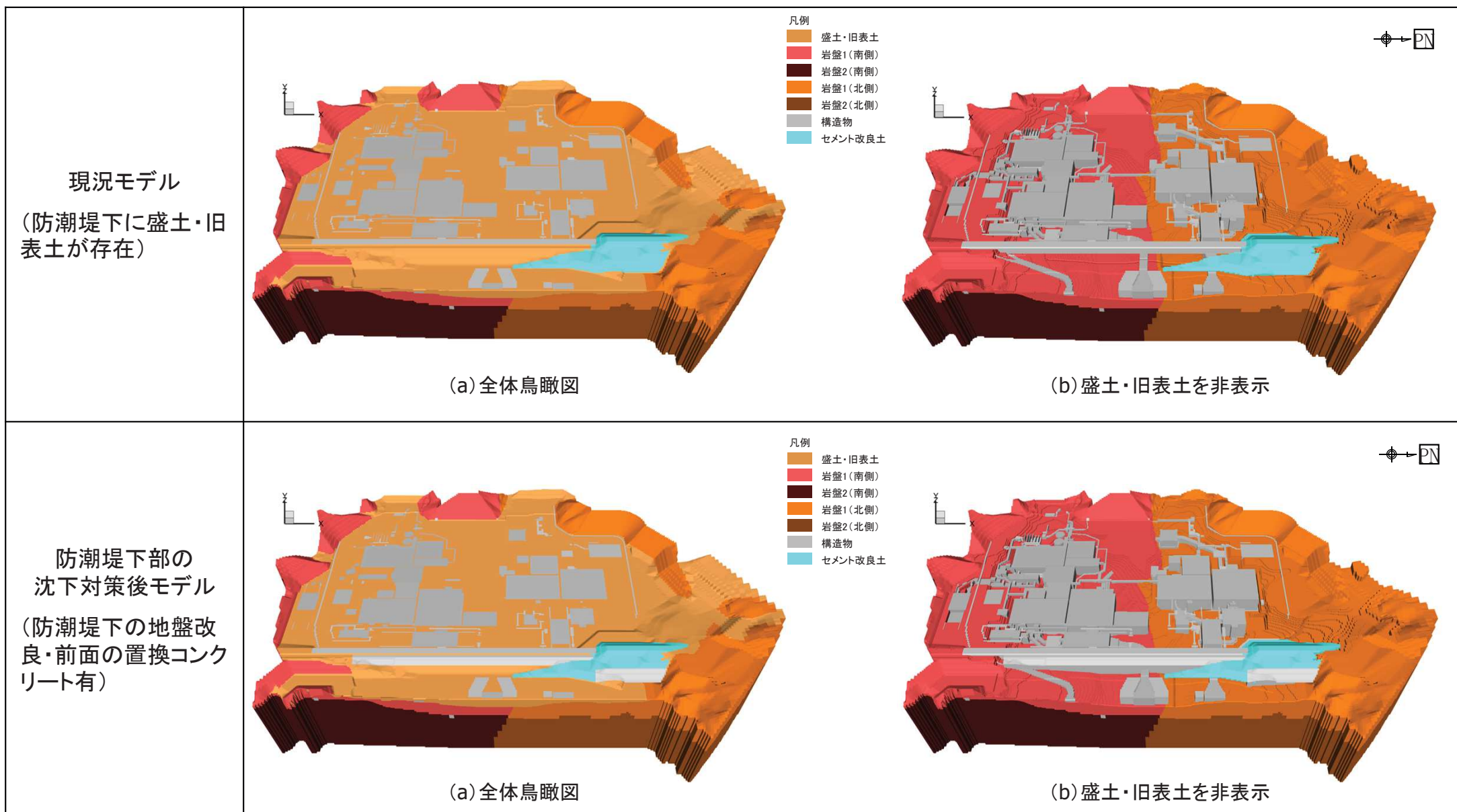
(b) 平面

三次元浸透流解析の範囲等

(3)境界条件など

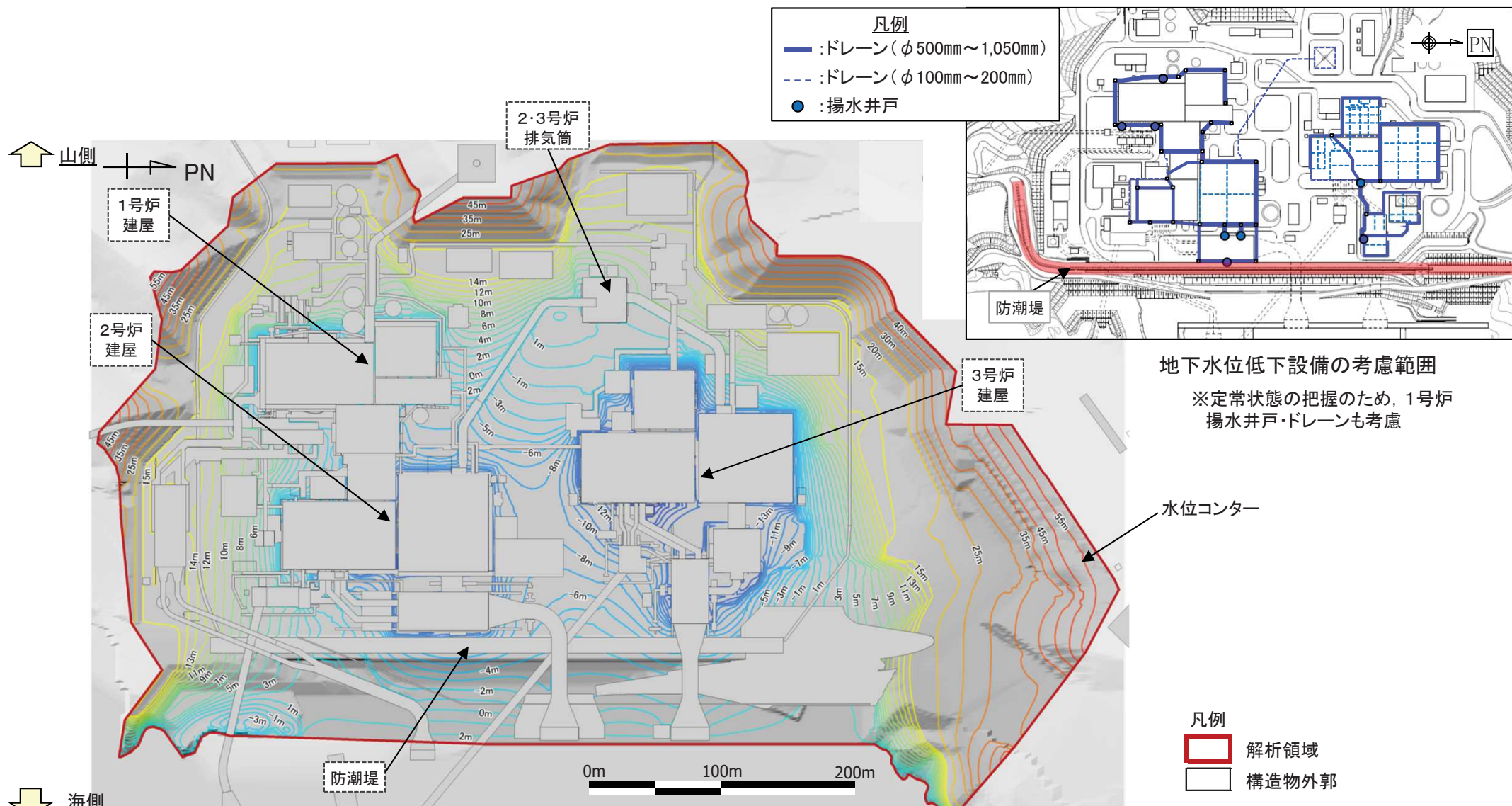
- 初期条件 淡水飽和状態
- 境界条件
 - 陸域: 地表面に静水圧固定境界
 - 海域: H.W.L. (O.P.+1.43m) に静水圧固定境界
- 降水量条件 入力なし(定常解析)

- 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

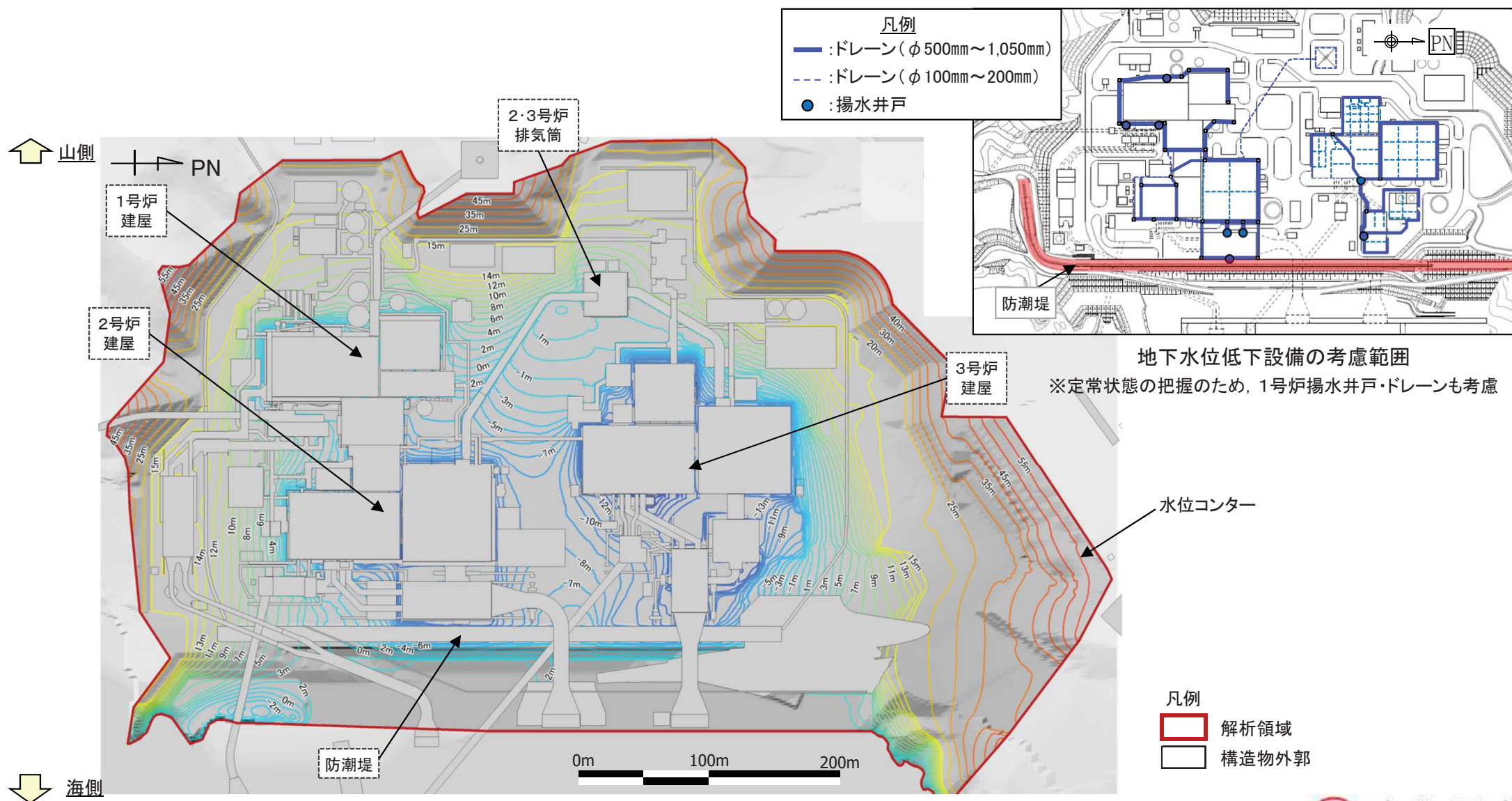
- ・ 現況モデル(防潮堤下に盛土・旧表土が存在)における自由地下水位の等高線図を示す。
- ・ 解析領域境界より建屋周辺に向かって地下水位は緩やかに下降しており、地下水位低下設備による水位低下効果が確認できる。また、防潮堤海側から防潮堤山側に向かって地下水位は緩やかに下降しており、防潮堤下部より山側に地下水が流入していることがわかる。



(4) 定常状態(沈下対策後モデル)

資料2-2-2 p.96 再掲

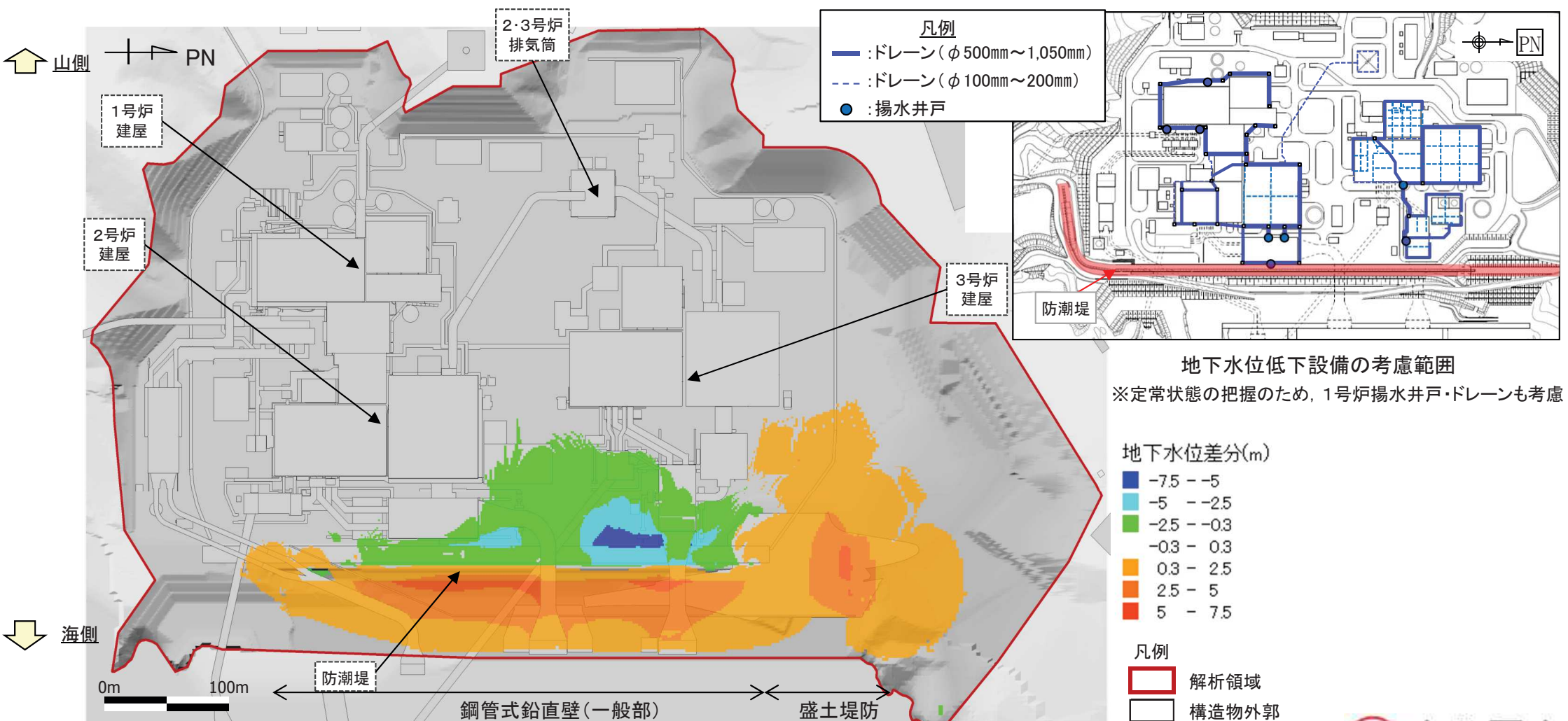
- 防潮堤下部の沈下対策後モデル(防潮堤下の地盤改良・前面の置換コンクリート有)における自由地下水位の等高線図を示す。
- 防潮堤海側より防潮堤山側に向かう地下水位は、防潮堤付近で不連続となっていることから、防潮堤の沈下対策により浸水経路が遮断されていることが確認できる。



三次元浸透流解析結果(定常状態・沈下対策後モデル)

- 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

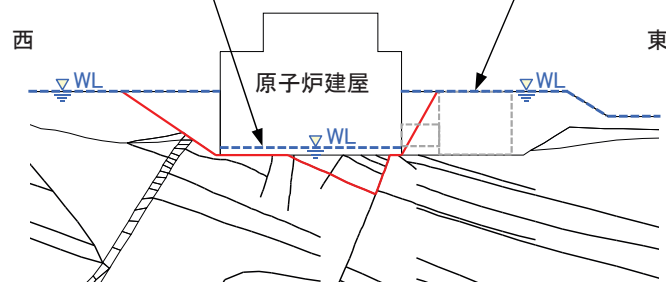
基礎地盤の安定性評価における地下水位設定の考え方

(1)地下水位の設定方針

- 増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、地下水位低下設備を設置した原子炉建屋部分で地下水位の低下を見込むものの、地盤の地下水位は保守的に地表面に設定していた。
- 地下水位を地表面とする理由は、地下水位を高く設定する方が、地盤のせん断強度が小さく評価され、保守的となるためである。
- また、敷地全体を包含して地盤の安定性を評価するため、原子炉建屋以外の地下水位は地表面とし、かつ構造物も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。
- したがって、本適合性審査においても既往の地下水位設定を踏襲し、保守的に地表面に設定することとする。

原子炉建屋のドレーン
による地下水位低下を考慮

保守的に地下水位は地表面に設定
海水ポンプ室は盛土としてモデル化し、海水ポンプ室
のドレーンによる水位低下は見込まない



— : 想定すべり面の例
— : 断層・シーム

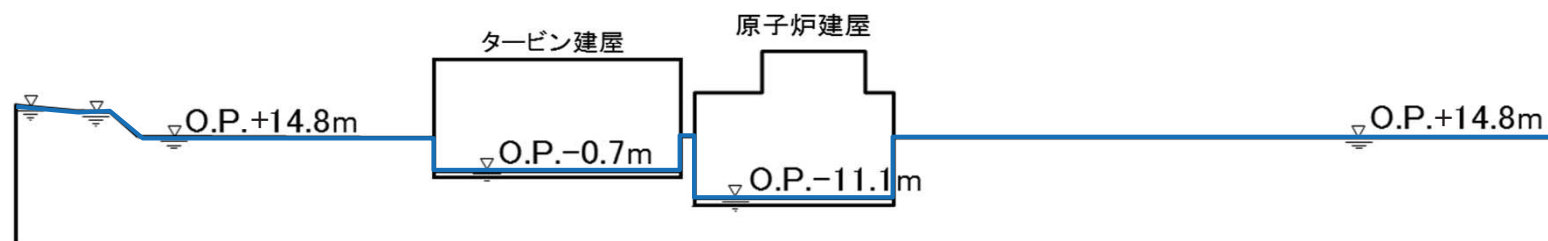
(参考) 地盤の強度に及ぼす地下水位の影響

$$\tau = \tau_0 + (\sigma - u) \cdot \tan \phi$$

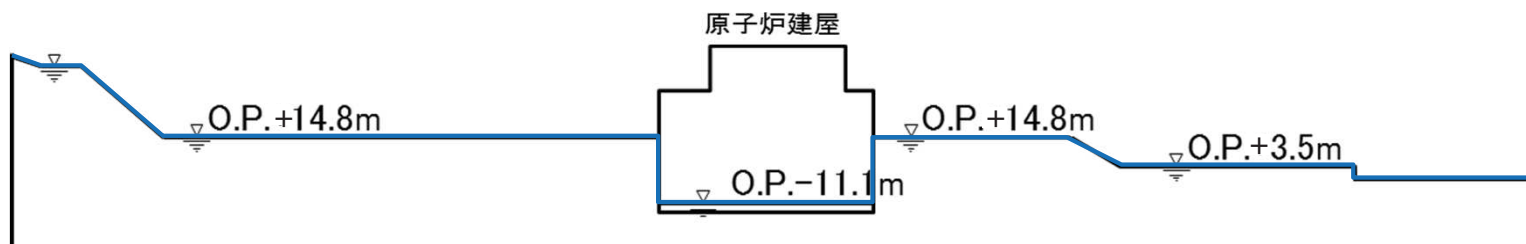
τ : 地盤の強度
 τ_0 : 地盤のせん断強度
 σ : 拘束圧
 u : 間隙水圧
 ϕ : 内部摩擦角

- 地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とし、建屋の地下水位はドレーンの配置を踏まえて基礎マット中央高さとする。

【X-X' 断面】

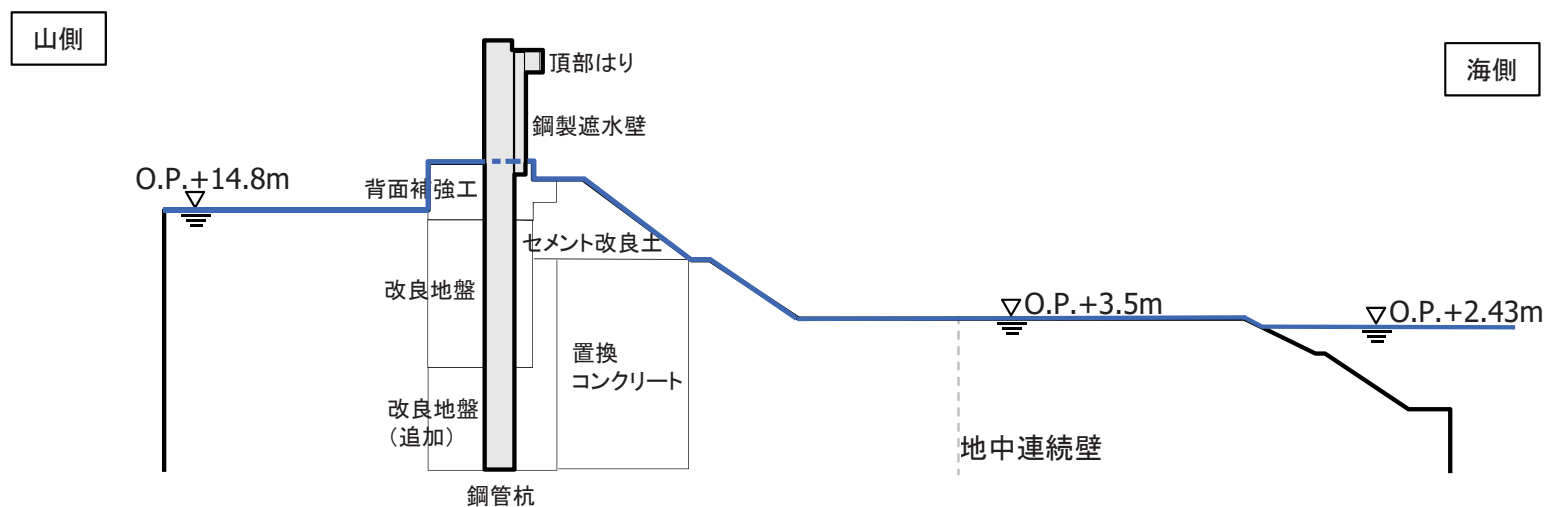


【Y-Y' 断面】



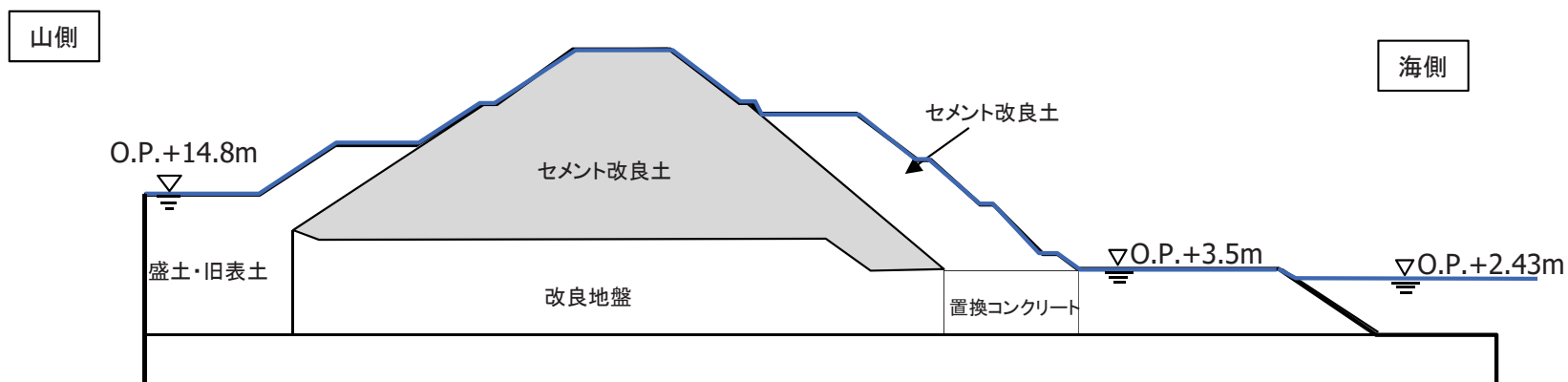
【鋼管式鉛直壁】

- 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。



【盛土堤防部】

- 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。



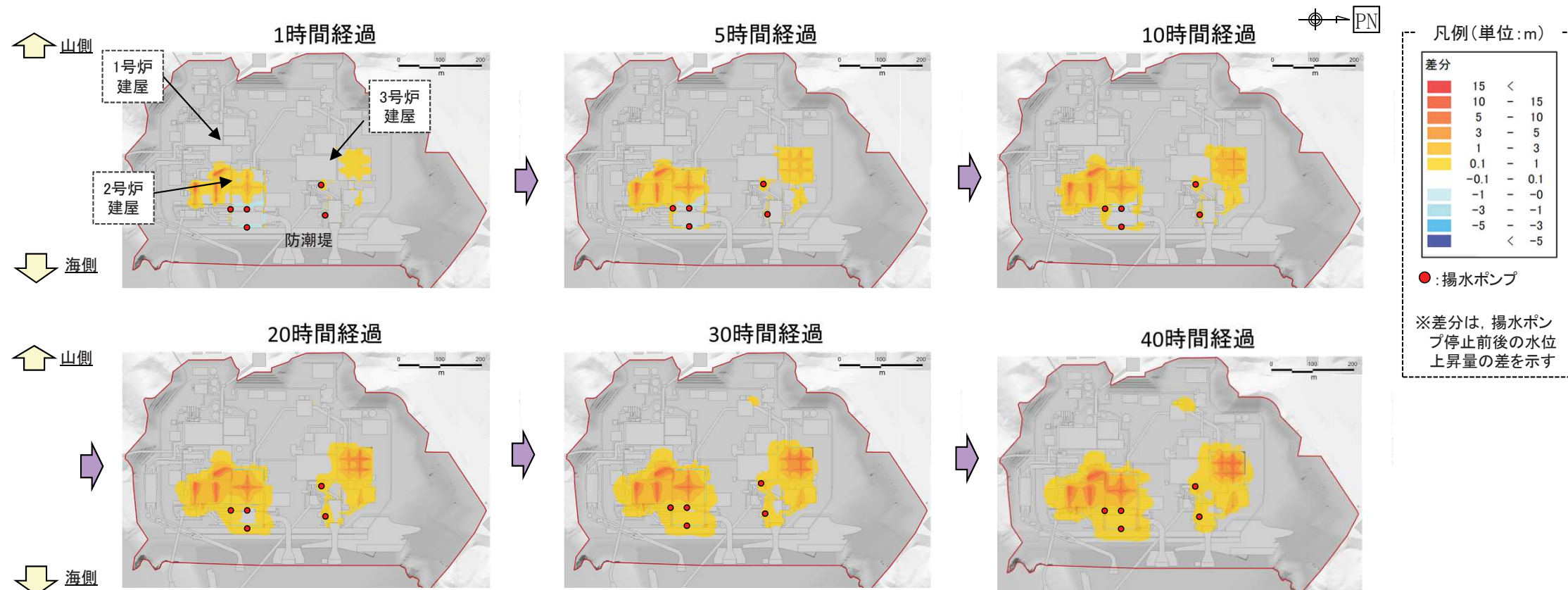
	地下水位の設定		備考
規則第3条 (基礎地盤 の安定性評 価)	鋼管式鉛直壁 (一般部)		改良地盤に支持する構造物の 代表であり保守的な設定
	盛土堤防		同上
規則第4,5条 (構造成立 性評価)	鋼管式鉛直壁 (一般部)		(山側) 海側同様、朔望平均満潮位 (HWL)※1に設定 (海側) 朔望平均満潮位
	盛土堤防		(山側) 地表面に設定 (セメント改良土もO.P.+14.8m に設定) (海側) 朔望平均満潮位

※1 エ工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耐震性確保等により、揚水ポンプが機能停止した状況が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。
- 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、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、水位の上昇速度は非常に緩速である。
- 揚水ポンプは全ての揚水井戸に各2台設置する方針であることも踏まえると、揚水井戸の位置で地下水位を監視することにより、ランダム故障時においても、周辺の対象施設に影響が生じる前に確実に検知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

耐震重要度分類指針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。

- 前項4. で各対象施設への影響を確認した結果、地下水位が地表面レベルまで上昇した場合、耐震性の確保の観点から影響が懸念される。このため、地下水位低下設備に対して耐震性の確保が要求される。
- DB施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、その重要度に応じてS、B、Cとクラス分けがされており、該当する設備がそれぞれ定義されている。
- 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クラスと分類できる。
- 地下水位低下設備により地下水位を維持することで、原子炉建屋の基礎や屋外土木構造物といった間接支持構造物の基準地震動 S_s 発生時の健全性を確保する。これを踏まえ、基準地震動 S_s 発生前まで確実に機能維持させる観点から耐震Cクラスではあるものの S_s 機能維持とする。
- なお、C(S_s)とすることで、基準地震動 S_s が発生した以降においてもその機能を維持できる。

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	- 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	- 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。

地下水位低下設備が有する機能

- 対象施設周辺の地下水位を低下させることで施設に及ぶ揚圧力を低減させる機能(従来から期待している機能)
- 対象施設周辺の地下水位を低下させることで液状化影響を低減させる機能(防潮堤設置に伴い、追加が必要となった機能)

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
	MS-3	(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

設置許可基準規則第3条への適合確認の取扱い

- 地下水位低下設備をDB施設と位置付けることに伴い、設置許可基準規則第3条への適合確認の取扱いについて整理した。
- 地下水位低下設備はDB施設の地盤として同条に適合するため、同条1項のうち設計基準対象施設の接地圧に対する十分な支持力を有することを確認し、工認段階で提出する耐震計算書に記載する。
- なお、補足説明資料7の整理のとおり、地下水位低下設備は耐震重要度分類におけるCクラスに分類され、耐震重要施設※に該当しないことから、同条1項のなお書き(基準地震動による地震力に対する支持性能の確認)ならびに同条2項及び3項は対象とならない。

※ 耐震重要施設：地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(規則4条2項のSクラスに属する施設)

「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の解釈(平成25年6月19日 原子力規制委員会)」抜粋

注) は耐震重要施設に係る要求事項

(別記1)

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		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の解釈
第二章 設計基準対象施設		第二章 設計基準対象施設
(設計基準対象施設の地盤)		第三章 (設計基準対象施設の地盤)
第三条 設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力(設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。))にあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。)が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。		別記1のとおりとする。
2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。		
3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。		
		第三章 (設計基準対象施設の地盤) 1 第3条第1項に規定する「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは、設計基準対象施設について、自重及び運転時の荷重等に加え、耐震重要度分類(本規程第4条2の「耐震重要度分類」をいう。以下同じ。)の各クラスに応じて算定する地震力(第3条第1項に規定する「耐震重要施設」(本規程第4条2のSクラスに属する施設をいう。))にあっては、第4条第3項に規定する「基準地震動による地震力」を含む。)が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する設計であることをいう。 なお、耐震重要施設については、上記に加え、基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていることを確認することが含まれる。 2 第3条第2項に規定する「変形」とは、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状をいう。 このうち上記の「地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み」については、広域的な地盤の隆起又は沈降によって生じるもののほか、局所的なものを含む。これらのうち、上記の「局所的なもの」については、支持地盤の傾斜及び撓みの安全性への影響が大きいおそれがあるため、特に留意が必要である。 3 第3条第3項に規定する「変位」とは、将来活動する可能性のある断層等が活動することにより、地盤に与えるずれをいう。 また、同項に規定する「変位が生ずるおそれがない地盤に設け」とは、耐震重要施設が将来活動する可能性のある断層等の露頭がある地盤に設置された場合、その断層等の活動によって安全機能に重大な影響を与えるおそれがあるため、当該施設を将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認した地盤に設置することをいう。 なお、上記の「将来活動する可能性のある断層等」とは、後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等とする。その認定に当たって、後期更新世(約12～13万年前)の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を

補足説明資料9 信頼性向上方針のまとめ

- ・ここでは、地下水低下設備の信頼性向上に関し、5.(6)で述べた機能喪失要因に対する設計方針である基準地震動Ss機能維持、動的機器の多重化、外部ハザードへの配慮、及び非常用DG喪失への配慮、並びに5.(8)で述べた更なる集水機能保持の信頼性向上の観点から自主的な配慮を反映した今後の設備対応について、5.(7)で述べた保守管理・運用管理方針も含めて現状の設備の状況と照らし合わせ下表に纏めて示す。

信頼性向上の方針まとめ

対応の区分			現状の設備構成・保守運用	信頼性向上のための対策	今後の設備構成・保守運用の見通し	備考
項目	機能	構成部位				
設計	集水機能	ドレーン ・接続桙	・各施設周辺の岩盤上等にφ100mm～φ1,050mmの有孔塩ビ管・有孔ヒューム管及び接続桙を配置	・Ss機能維持 ・保守的な雨水流入を考慮 ・閉塞等の部分的な機能喪失要因へのリスク低減策を検討(時間余裕を考慮) ・保守管理性の向上	・Ss機能維持され、排水能力・保守管理性に配慮した管径のドレーンを配置 ・地下水位の余裕確保のためのドレーン新設 ・保守管理立坑の配置	・既設活用(必要に応じ補強)を基本とし、必要な範囲は新設 ・地下水位の余裕確保のための新設ドレーンはDB施設として取り扱う
	支持・閉塞防止機能	揚水井戸	・鉄筋コンクリート製、鋼製シャフト製の井戸を配置	・Ss機能維持 ・外部ハザード考慮	・Ss機能維持された揚水井戸を配置 ・蓋を設置	・既設活用(必要に応じ補強)を基本とし、必要な範囲は新設
	排水機能	揚水ポンプ	・各揚水井戸内に2台配置 ・電源は、非常用電源又は常用電源に接続	・多重化 ・Ss機能維持 ・保守的な雨水流入を考慮 ・外部ハザード考慮	・支持金物も含めてSs機能維持された十分な排水能力を有する揚水ポンプを各揚水井戸に2台配置 ・十分な排水能力を有するポンプ容量の設定 ・全ての揚水ポンプを2号炉の非常用電源に接続	・新設対応
		配 管	・各揚水井戸内のポンプ毎に被覆した炭素鋼鋼管(φ125mm～200mm)を1条配置	・Ss機能維持 ・多重化 ・保守的な雨水流入を考慮 ・外部ハザード考慮	・揚水ポンプ毎に支持金物も含めてSs機能維持された配管を1条配置 ・十分な排水能力を有する配管径を選定	・新設対応
	監視・制御機能	制御盤	・揚水井戸付近に配置 ・揚水ポンプの自動運転を制御 ・中央制御室に故障情報を出力	・多重化 ・制御、監視の系統の多重化 ・Ss機能維持 ・外部ハザード考慮 ・共通要因故障に配慮	・Ss機能維持された制御盤を2台、屋内に離隔距離を確保して分散配置 ・全ての制御盤は2号炉の非常用電源に接続 ・各揚水井戸の揚水ポンプ毎に1台で制御 ・中央制御室に各制御盤から水位情報を出力	・新設対応
		水位計	・各揚水井戸内に1台配置	・多重化 ・Ss機能維持	・各揚水井戸の揚水ポンプ毎に支持金物も含めてSs機能維持された水位計1台配置	・新設対応
	電源機能	電源	・非常用電源又は常用電源に接続	・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	・全て2号炉の非常用電源(非常用DG)に接続 ・非常用DG喪失時に常設代替交流電源に切替	
	保守管理・運用管理	保守		・事後保全	・予防保全対象として管理	・保安規定の下位文書に保守管理方法を定め、予防保全対象として管理
運用		・――	・運用に係る体制、確認事項・対応等の整備	・保安規定の下位文書に運用に係る体制、確認事項・対応等を整備し、これに基づく管理の実施		
その他、自主的な配慮			・――	・保守管理性の向上	・保守管理用立坑の配置	・新設対応