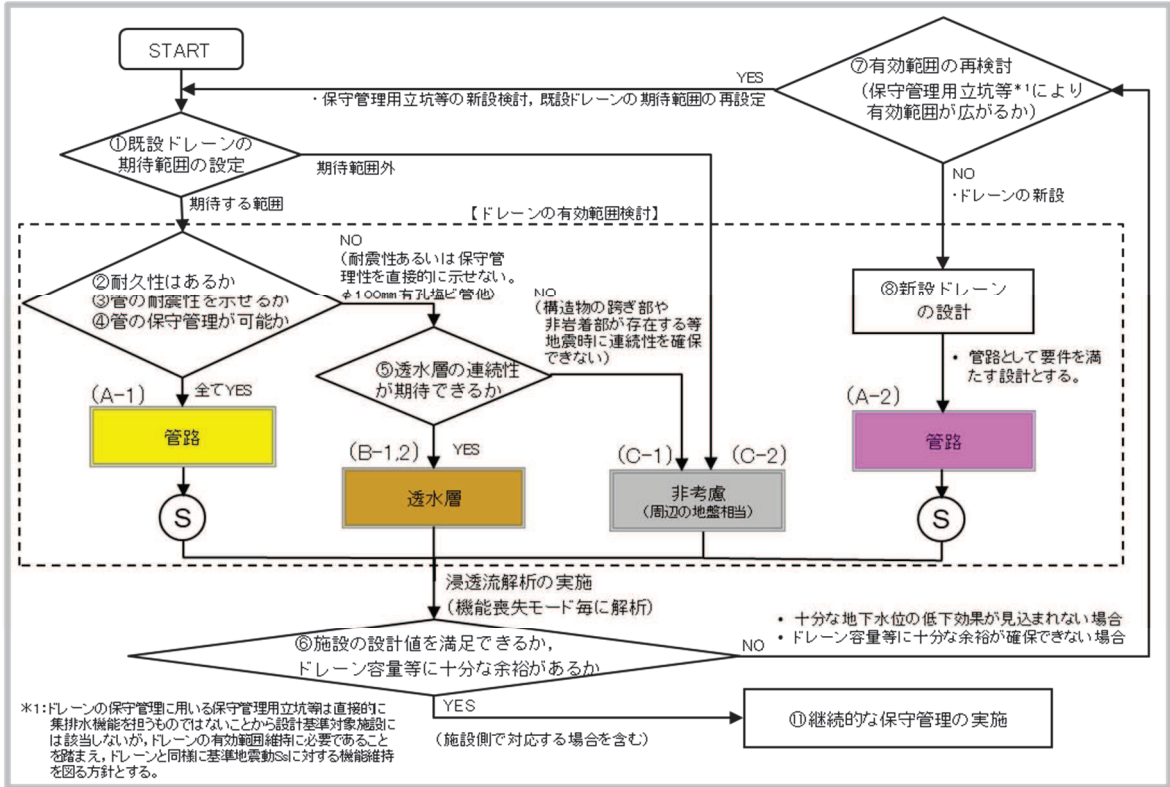


【施設の設計値を満足するドレーン範囲の検討】



【安全設備の要求事項を考慮した検討】

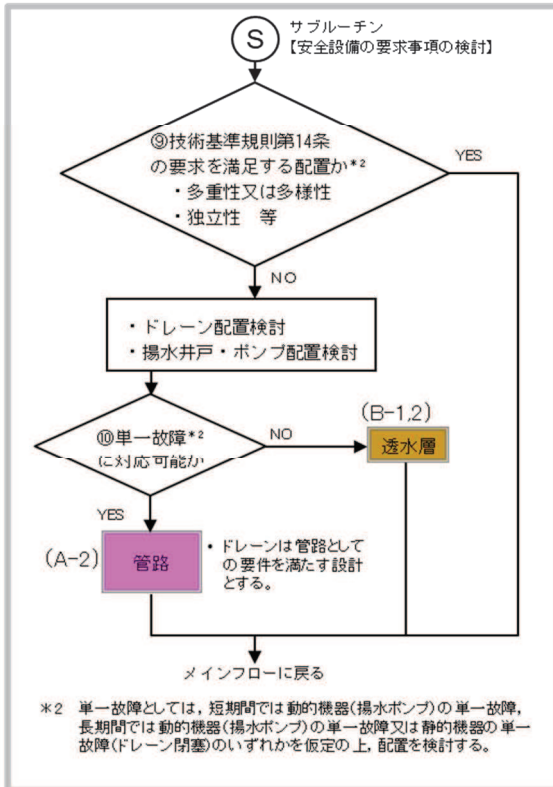


図 5-3 集水機能の信頼性に係る詳細検討フロー

次に、図 5-3 に示した詳細検討フローに基づく各プロセスの検討結果を示す。
 最初に、「①既設ドレーンの期待範囲の設定」として、評価対象施設等における地下水位
 設定に対し寄与が大きいと考えられる既設ドレーン範囲*1を抽出した。(図 5-4)

注記*1： 設置変更許可段階では排気筒基礎周辺へのドレーン設置を例示していたが、当該設備は地表面に設計用
 地下水位を設定する方針としたため、詳細検討フローに基づき再整理の結果、既設ドレーンの期待範囲より
 除外とした。

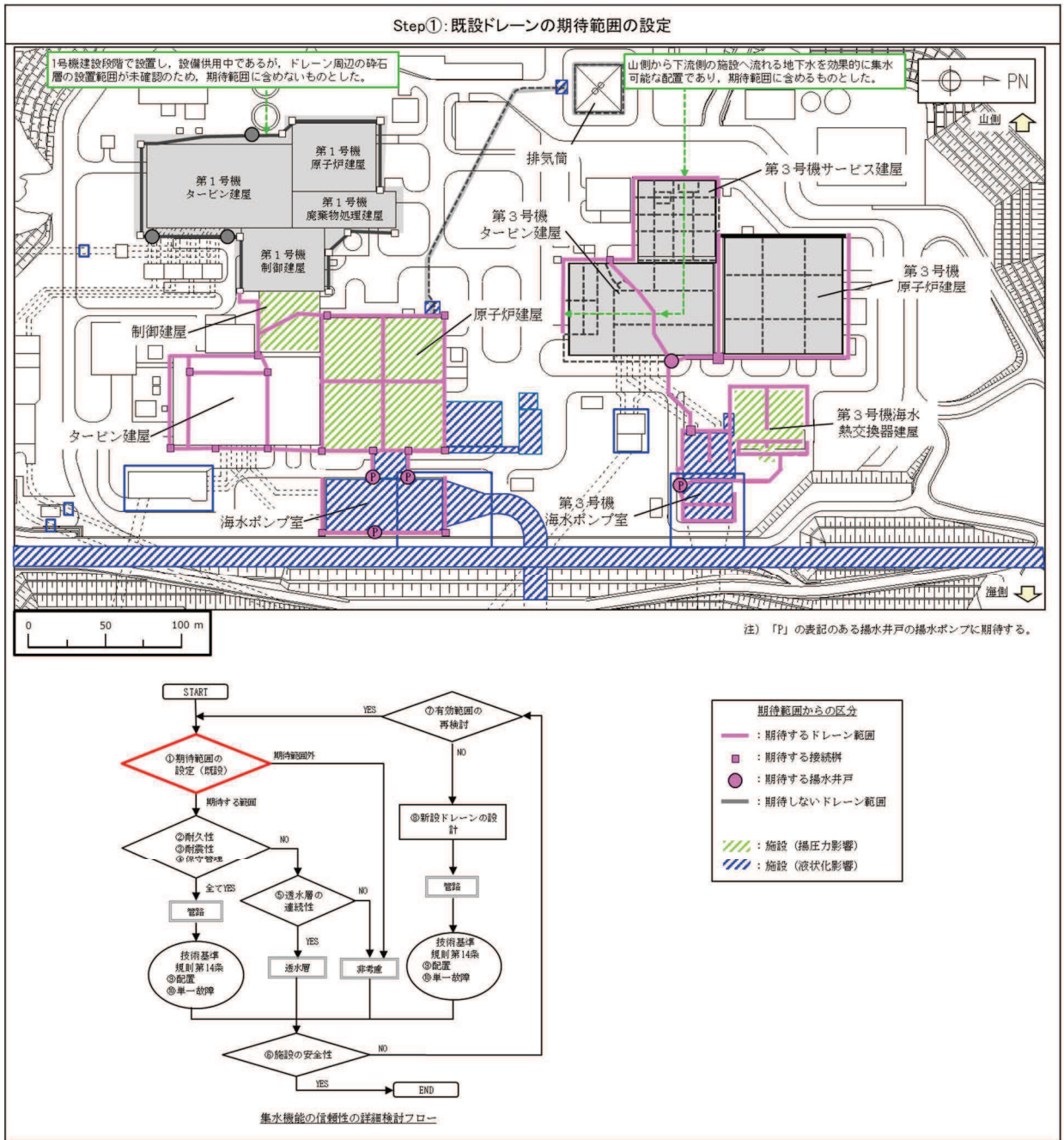


図 5-4 既設ドレーンの期待範囲の設定 (Step①)

「②耐久性」の観点では、全てのドレーン（有孔ヒューム管・有孔塩ビ管）が有効である。耐久性の観点からの整理結果を図 5-5 に示す。なお、既設ドレーンの耐久性については参考資料 1 に示す。

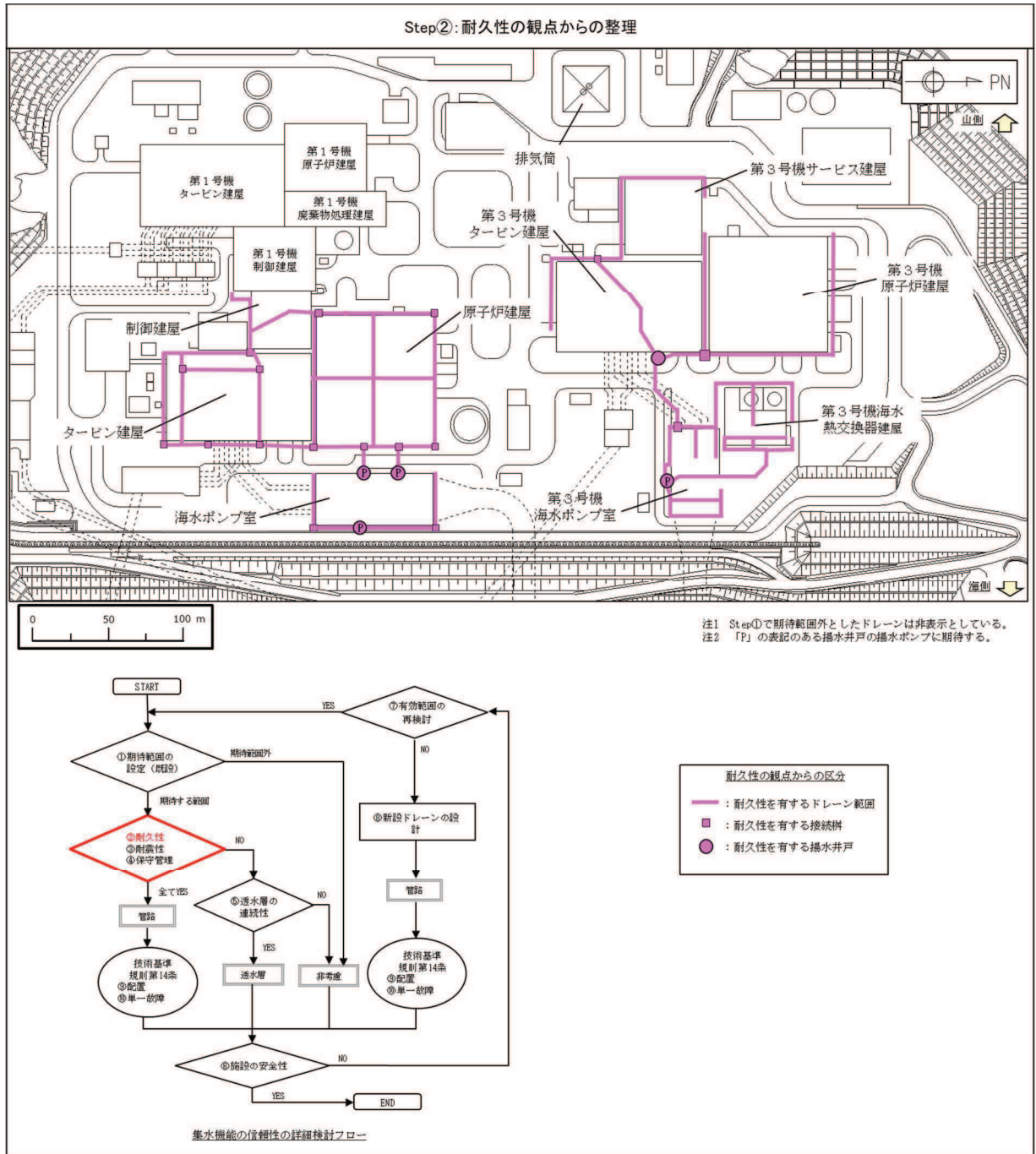


図 5-5 耐久性の観点からの整理結果 (Step②)

「③・⑤耐震性・透水層の連続性」の観点では、盛土荷重が直接作用する一部の塩ビ管を除き、S s 機能維持し耐震性が確保可能である。整理結果を図 5-6 に示す。

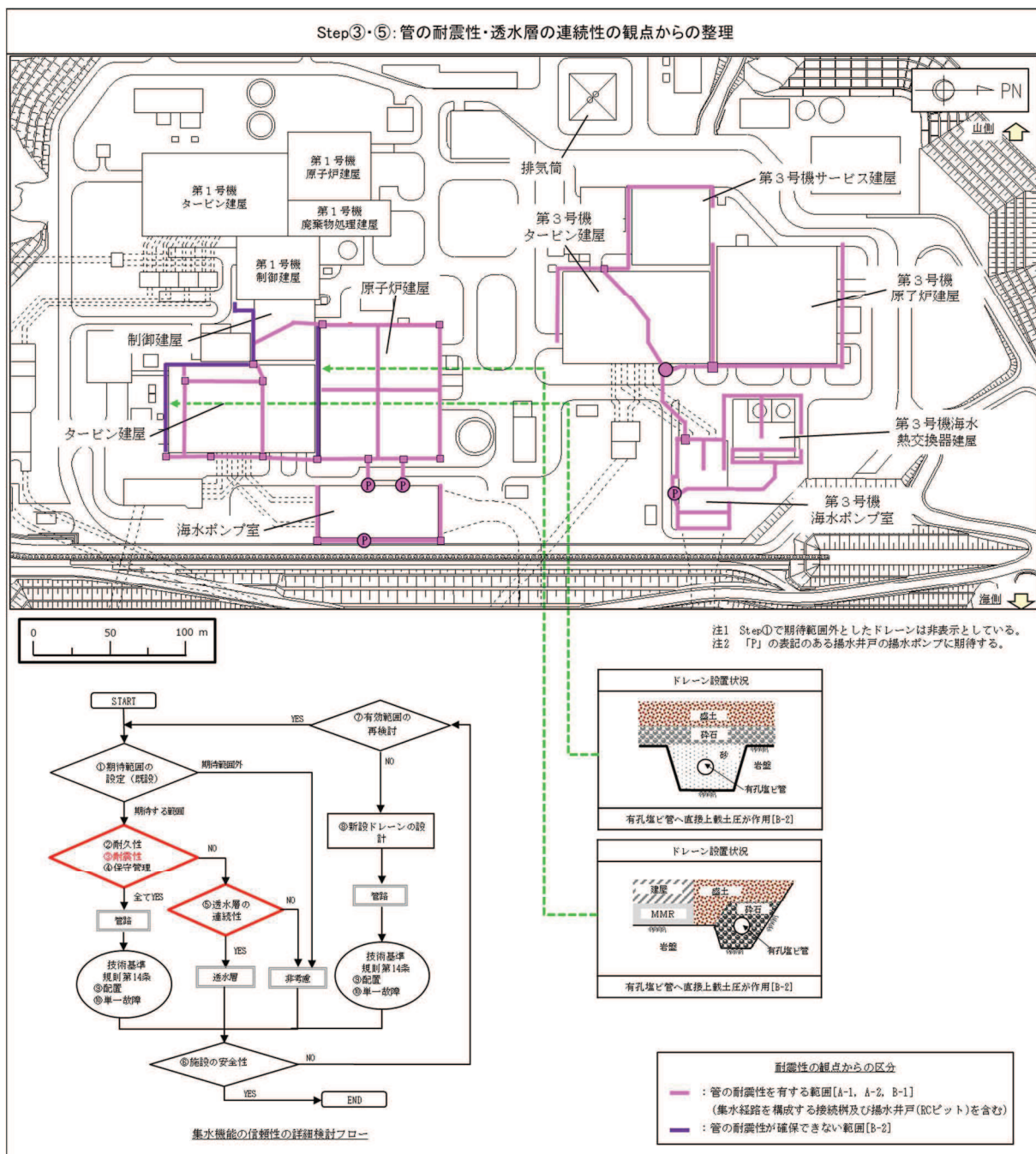


図 5-6 管の耐震性・透水層の連続性の観点からの整理結果 (Step③・⑤)

「④管の保守管理」の観点から、保守管理性に応じて図 5-7 のとおり有効範囲が整理される。

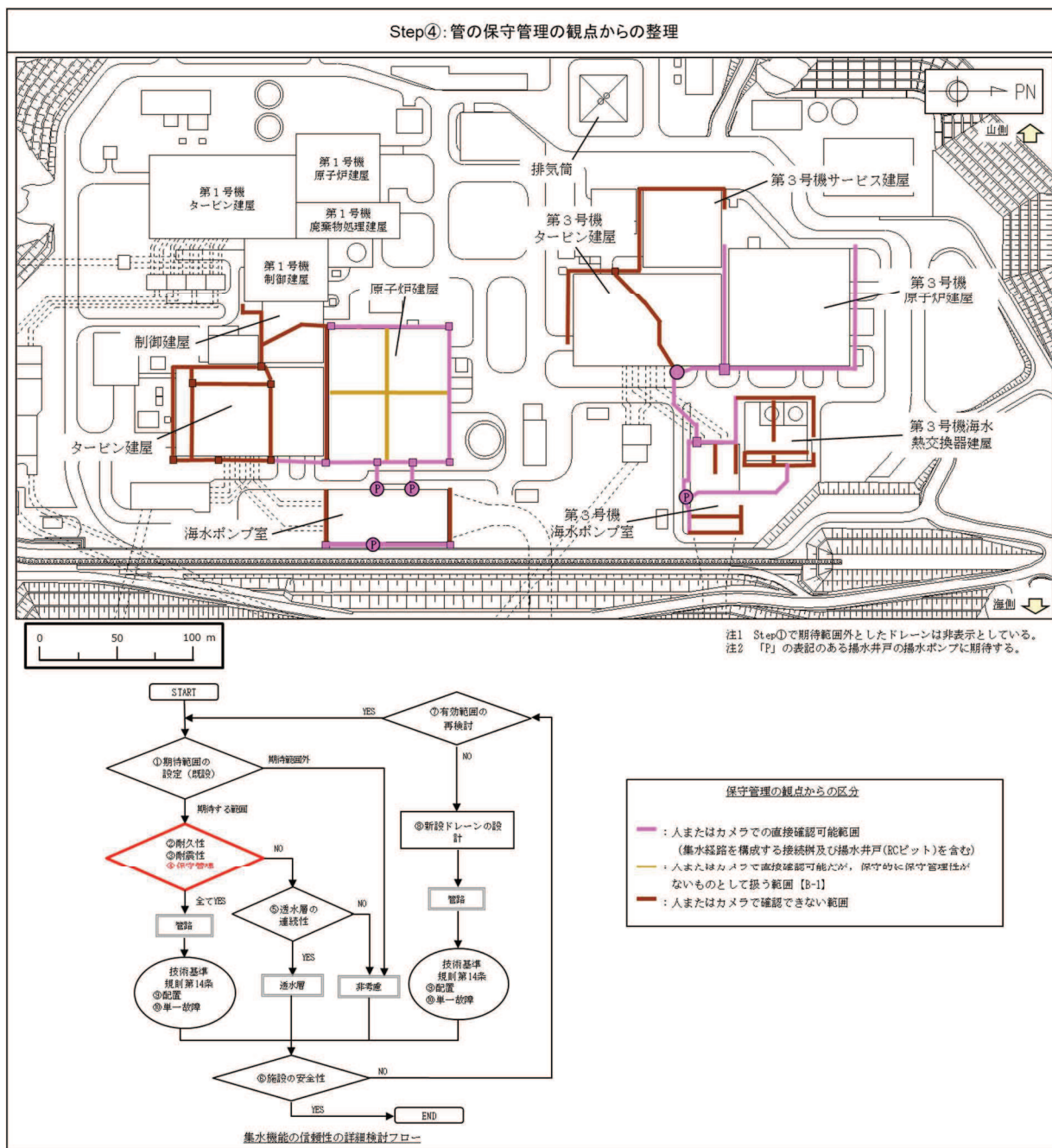


図 5-7 管の保守管理の観点からの整理結果 (Step④)

安全設備の要求の観点から、2号機原子炉建屋において揚水井戸の新設が必要と整理される。整理結果を図5-8に示す。

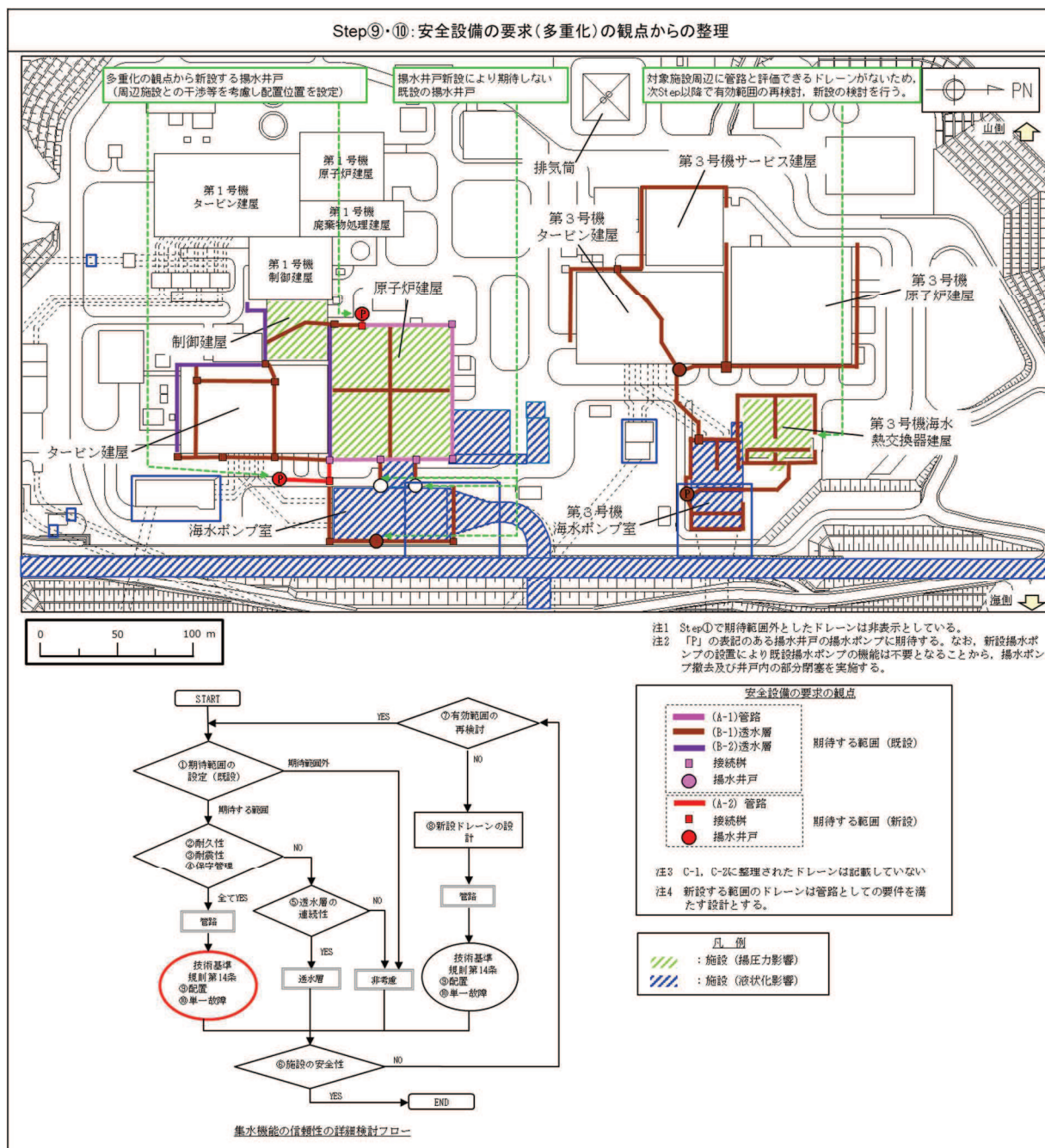


図5-8 安全設備の要求の観点からの整理結果 (Step⑨・⑩)

「⑦ 有効範囲の再検討」として、評価対象施設等の設計値確保の観点から、保守管理立坑等の追加により保守管理範囲を拡大する場合の既設ドレーンの有効範囲の再検討を行った。整理結果を図5-9に示す。

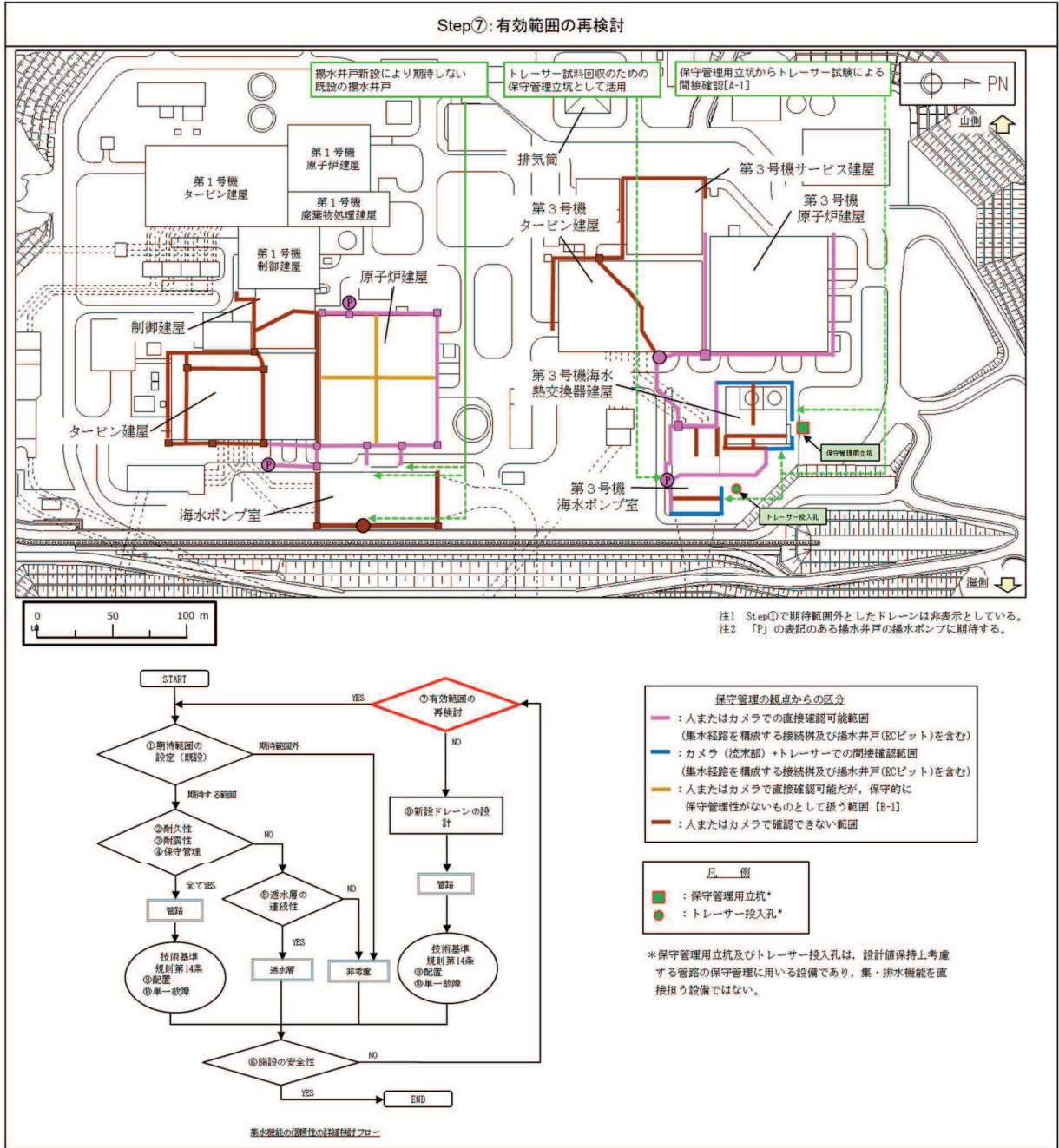


図5-9 有効範囲の再検討での整理結果 (Step⑦)

「⑧新設ドレーンの要否」の観点から、評価対象施設等へ作用する揚圧力を設計用揚圧力以下に保持するため、2号機原子炉建屋や3号機海水熱交換器建屋においてドレーンの新設*1が必要となる。新設するドレーンは、建屋下側の有孔ヒューム管及び有孔塩ビ管で担っていた設計用揚圧力保持の他、ポンプ機能喪失後の時間猶予を一定時間確保する必要があり、その配置は地下水の流動場を考慮し浸透流解析を踏まえて設定する（巻末に示す（補足）新設ドレーン（鋼管）の配置設定 参照）。整理結果を図5-10に示す。

*1：新設するドレーンは施設直下の既設ドレーン（有孔塩ビ管）よりも深い位置に設置されることから、有孔塩ビ管に対し管路としての期待は不要となる。

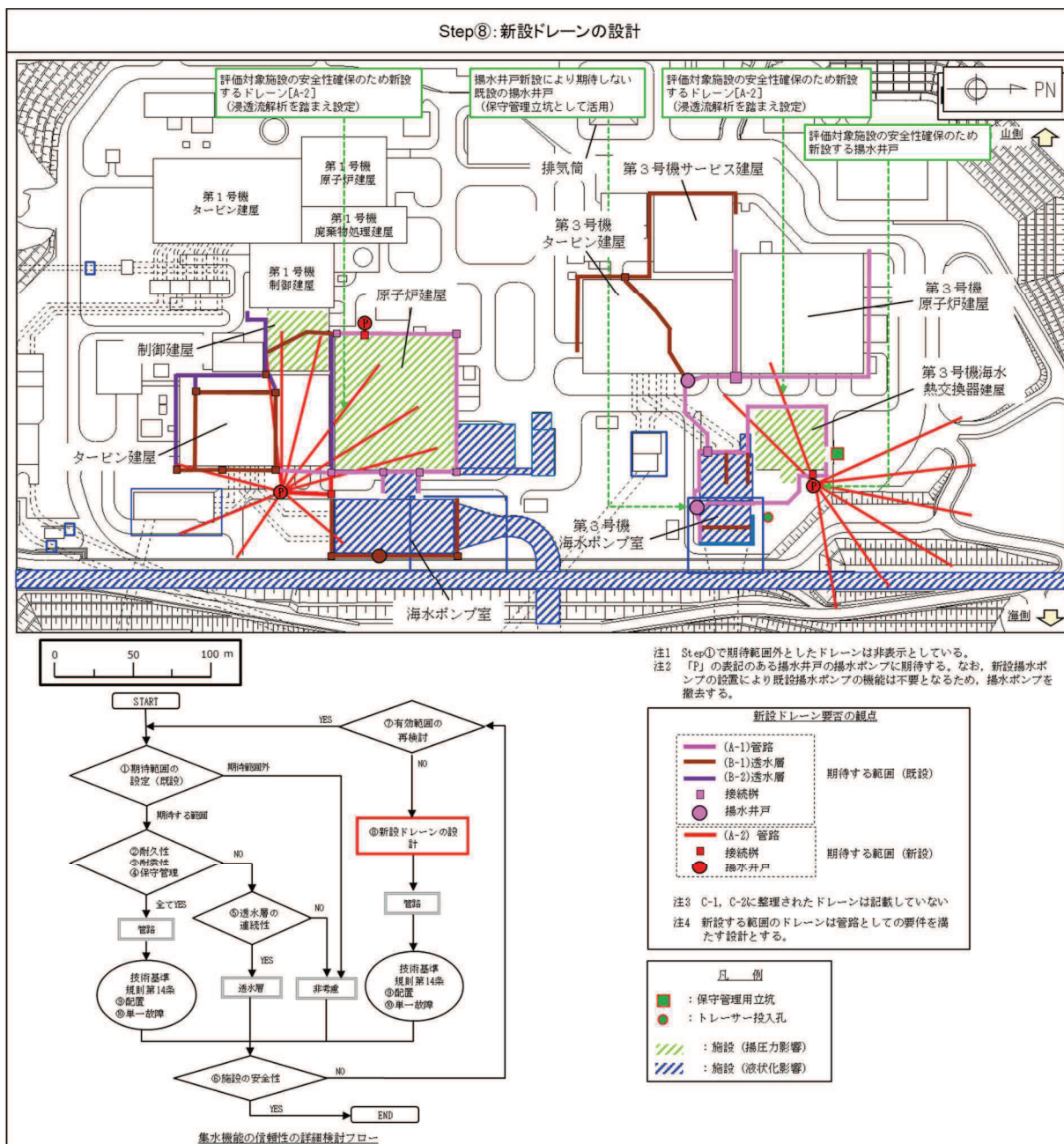


図 5-10 新設ドレーン要否の観点からの整理結果 (Step⑧)

図 5-10 までに設定したドレーン範囲のうち、安全設備の要求性能確保の観点からの整理結果を図 5-11 に示す。

揚水ポンプの多重化やドレーン・揚水井戸の配置上の配慮が必要となる。多重化の観点から新設するドレーンは、Step⑧で設定した新設ドレーンと同様の考え方により、地下水の流動場を考慮し浸透流解析を踏まえて配置を設定する。

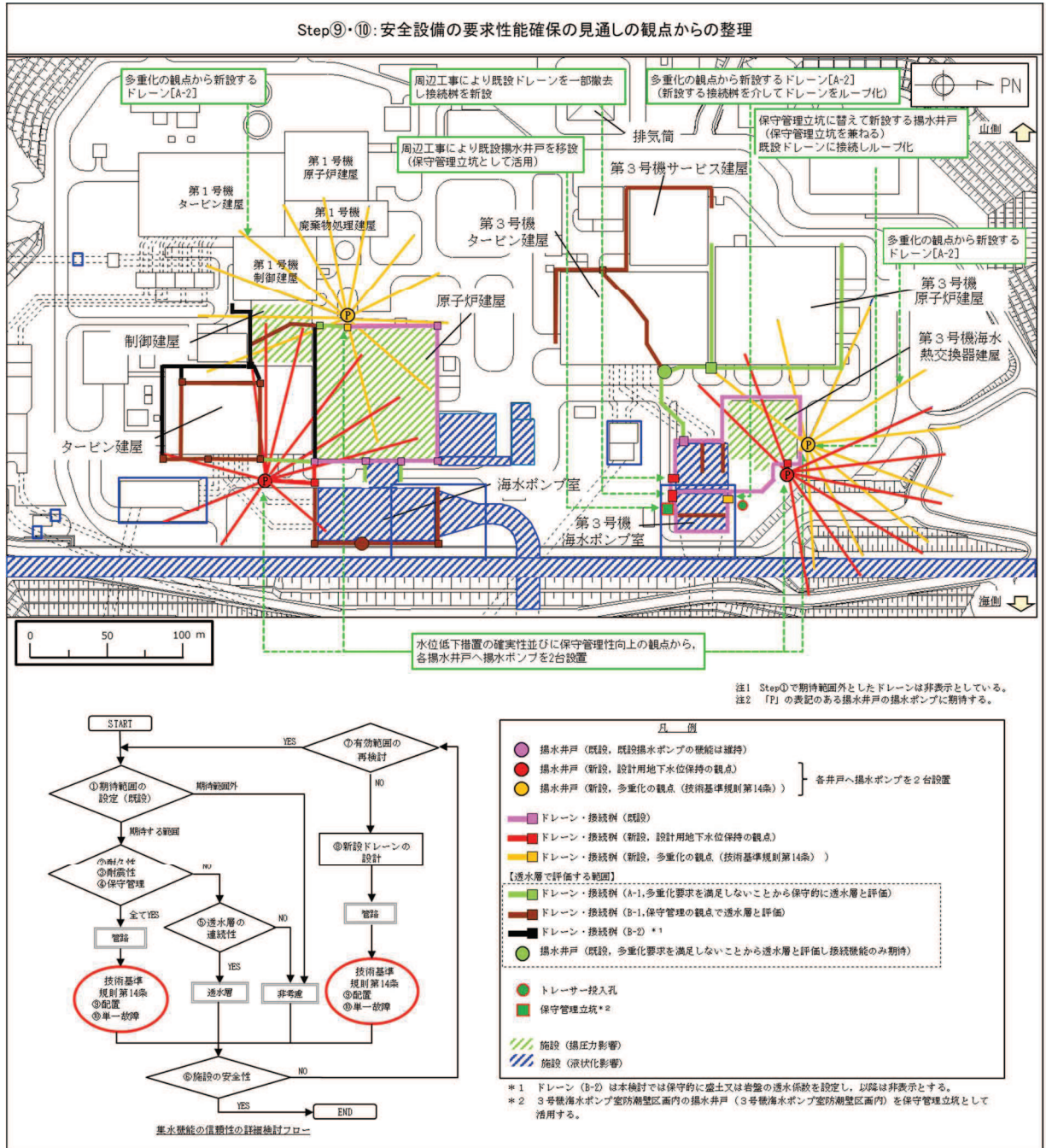


図 5-11 安全設備の要求性能確保の観点からの整理結果 (Step⑨・⑩)

集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づく有効範囲の設定結果を図5-12に示す。本図は、「集水機能の信頼性に係る詳細検討フロー」(図5-3)に基づく整理であり、技術基準規則第5条・同第14条並びに設置許可基準規則第3条第2項の要求に対応した設備構成である。

ここに示すとおり、建物・構築物(原子炉建屋、制御建屋、3号機海水熱交換器建屋)の揚圧力影響(技術基準規則第5条)を考慮し、先に挙げた各条文へ適合させるため、地下水位低下設備を設計値保持のため必要な範囲(■)と、技術基準規則第14条の要求事項への配慮による範囲(■)にて構成するものとした。

なお、ドレーンのうち、耐久性・耐震性を有するが保守管理性を満たせない範囲、耐久性・耐震性及び保守管理性を満たすものの、技術基準規則第14条の要求事項への配慮の観点から管路より除外した範囲(■)については透水層として取扱う。連続した透水層としての機能に期待できない場合は、周辺の地盤相当として取扱う。

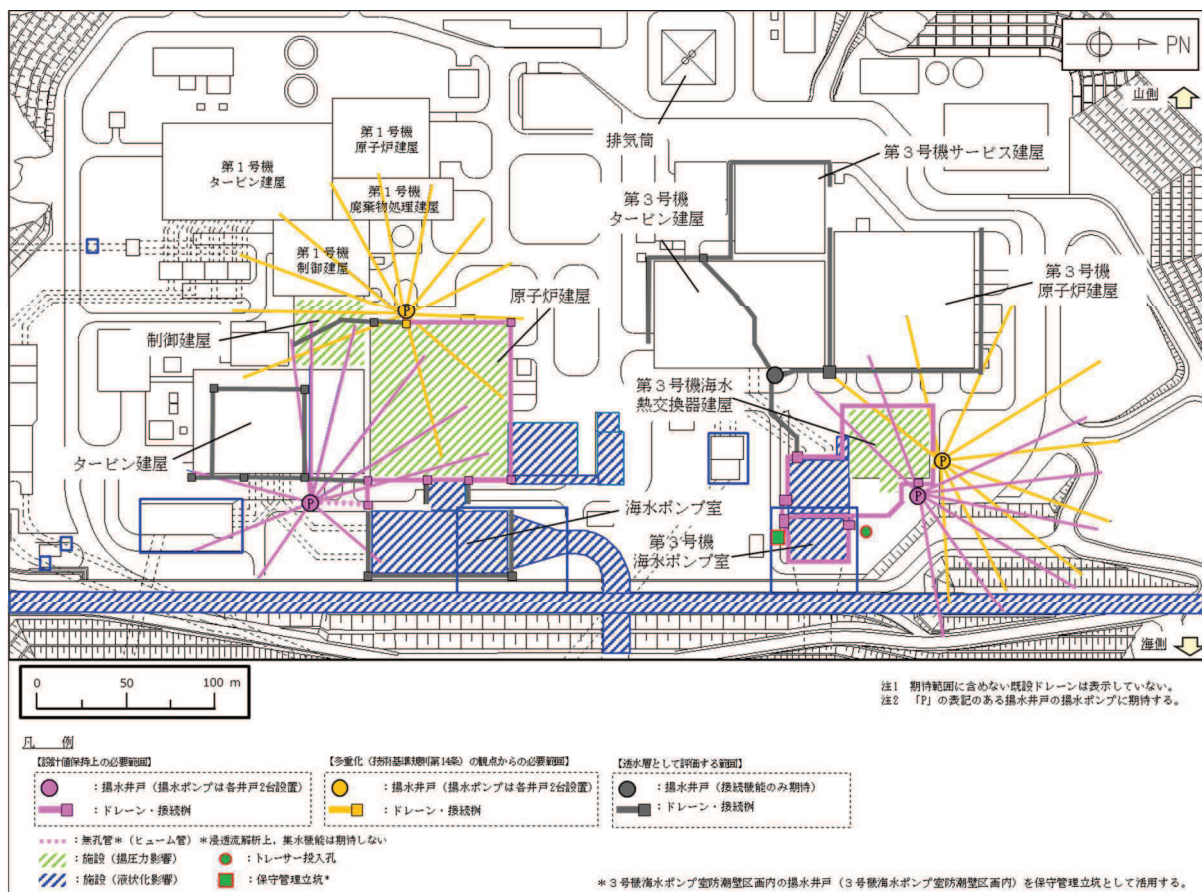


図5-12 地下水位低下設備の設定結果 (まとめ)

(補足) 新設ドレーン (鋼管) の配置設定

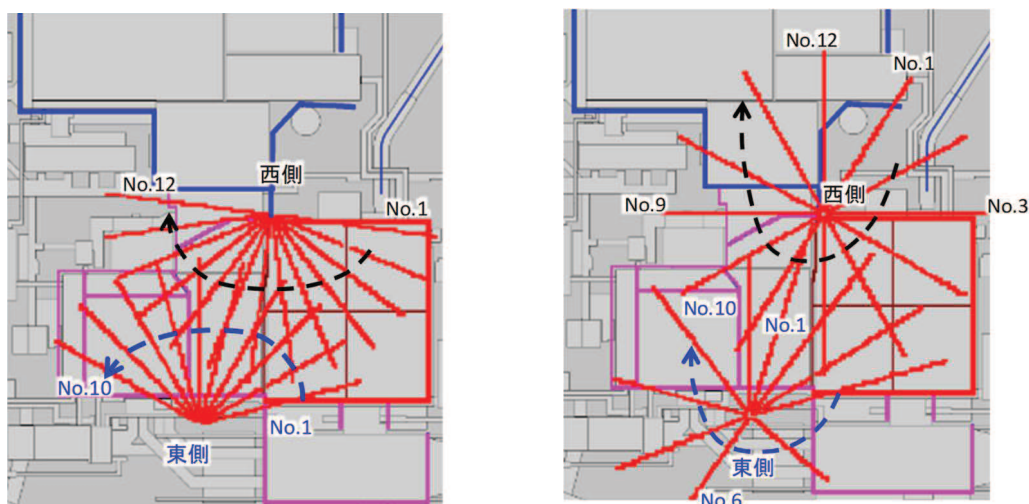
1. はじめに

新設ドレーン (鋼管) については, これまで建屋基礎版下に配置していた既設の有孔塩ビ管及び建屋周囲の有孔ヒューム管で担っていた設計用揚圧力保持の目的に加え, ポンプ機能喪失後の時間猶予 (設計用揚圧力へ到達するまでの時間) を一定時間確保可能とするような配置としている。

本資料は, 新設ドレーン (鋼管) の配置設定における予備検討として, ドレーン配置範囲の違いによる原子炉建屋領域への地下水流入量並びに時間猶予への影響を評価したものである。ドレーンの配置範囲のパターンを図 5-13 に示す。

2. 検討ケース

建屋底面のみ新設ドレーンを配置したケース (CASE①) 及び建屋底面以外にも新設ドレーンを配置したケース (CASE②) にて, 定常状態及びポンプ停止後の建屋領域への流入量と揚圧力の変化を確認した。



CASE① 建屋底面のみ配置

CASE② 建屋底面以外にも配置

【ドレーン諸元】

項目		CASE①	CASE②
2号 R/B 西側	ドレーン本数	12本	12本
	ドレーン深度	O.P. -19.0 m	O.P. -23.0 m
2号 R/B 東側	ドレーン本数	10本	10本
	ドレーン深度	O.P. -22.0 m	O.P. -19.0 m

図5-13 ドレーンの配置範囲のパターン

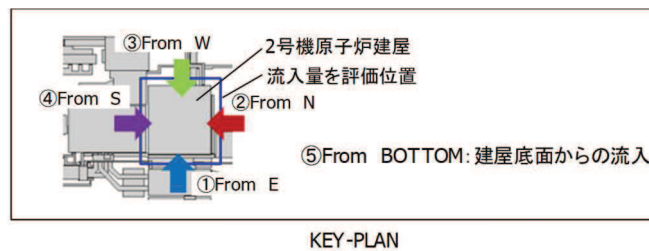
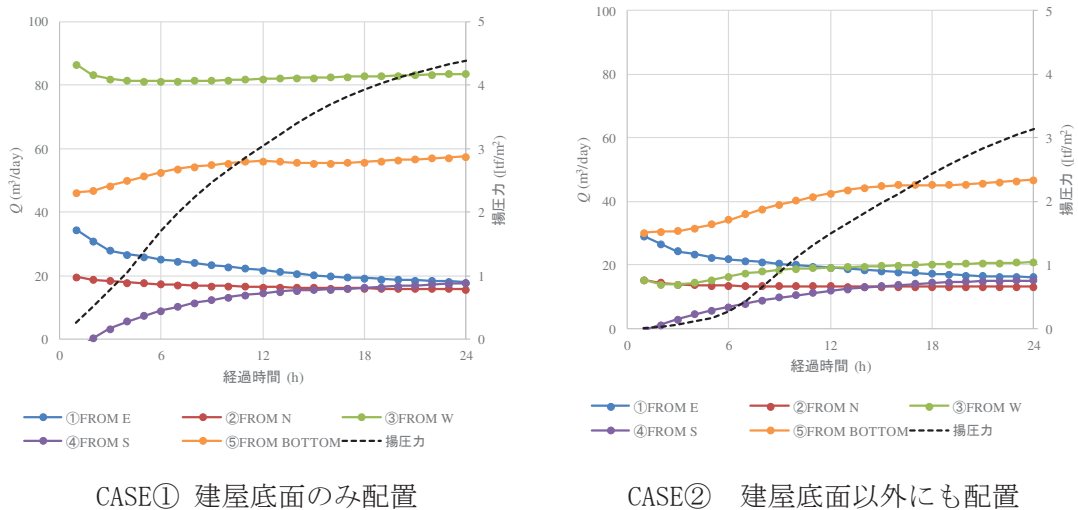
3. 検討結果

各ケースにおける定常状態及びポンプ停止後の建屋領域への流入量と揚圧力の経時変化を図 5-14 に示す。

定常状態での揚圧力には有意な差が見られないものの、建屋底面以外にも新設ドレーンを配置した CASE②の方が、ポンプ停止後の水位上昇が緩和される。

これは、建屋底面の水位低下量は CASE①・②で有意な差はないものの、より広範囲で水位が低下し、建屋底面以外にも不飽和領域が構築される CASE②の方がポンプ停止以降の地下水の流入に対する不飽和領域分の貯留可能量が大きいため、建屋近傍の地下水位の上昇を抑制しているものと考えられる。

特に、2号 R/B の場合は西側（山側）からの地下水流入が、3号 Hx/B の場合は北側からの地下水流入が支配的であることから、時間余裕確保の観点からはこれらの流入方向にドレーンを多く配置することが効果的であることも確認出来る。



項目	CASE①	CASE②
定常状態における揚圧力 (R/B)	0.1 (tf/m ²)	0.0 (tf/m ²)
ポンプ停止 24 h 後の揚圧力 (R/B)	4.3 (tf/m ²)	3.1 (tf/m ²)

図5-14 建屋領域への地下水流入量と揚圧力の経時変化

以上の予備検討結果も踏まえ、新設ドレーンの配置に当っては各種パラメータスタディを行い、以下①②を満足するよう設定している。

- ① 2号機原子炉建屋・制御建屋エリア、第3号機海水熱交換器建屋エリアの各エリアにおいて、2系統設置する地下水位低下設備のうち片系統が機能喪失した状態でも設計値（建屋の設計用揚圧力）を満足すること
- ② ポンプ機能喪失後の到達時間*1を十分確保すること。（1日程度確保を目安。到達時間の詳細は④水位上昇評価モデルを用いた浸透流解析により評価）

注記*1：各エリアの全ての地下水位低下設備が同時に機能喪失した場合においても、各建屋に作用する平均揚圧力に対応する水位が設計用揚圧力に対応する水位に到達するまでの時間を「到達時間」という。

(参考資料6) 地下水位低下設備の概要

本資料は、設計用地下水位の設定に用いる3次元浸透流解析において考慮するドレーンおよび地下水位低下設備の全体構成等を整理したものである。

なお、各設備の設定根拠等については、「VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針」に示す。

1. 地下水位低下設備の概要

1.1 全体構成

地下水位低下設備は原子炉建屋・制御建屋エリア及び第3号機海水熱交換器建屋エリアに設置する。地下水は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へ排水される。

ドレーンは各号機の建設時に設置された既設部を含む建屋周辺のヒューム管と新たに設置する鋼管により構成され、4箇所の揚水井戸にそれぞれ揚水ポンプ2個(計8個)、水位計3個(計12個)を設置する。

また、制御盤は独立した2系統を設置することとし、原子炉建屋内に現場制御盤を、中央制御室に監視制御盤を系統ごとに各2面設置する。電源盤も独立した2系統を設置することとし、異なる非常用電源母線に接続する2面を原子炉建屋内に設置する。

地下水位低下設備の構成概要を図6-1及び表6-1に示す。また、地下水位低下設備のうちドレーン及び揚水井戸の構成図を図6-2、平面配置を図6-3に示す。また、ドレーン(鋼管)の設置位置と周辺の地盤の状況について、防潮堤との位置関係を含めて図6-4に示す。

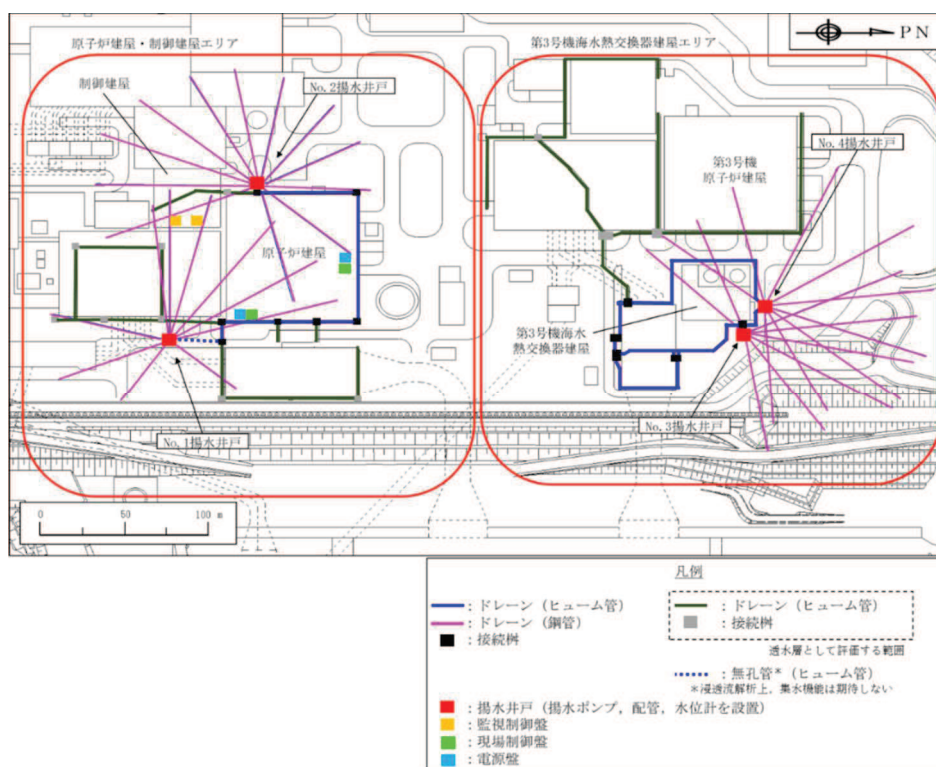
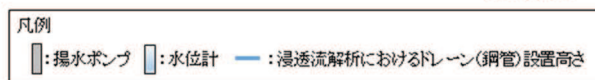
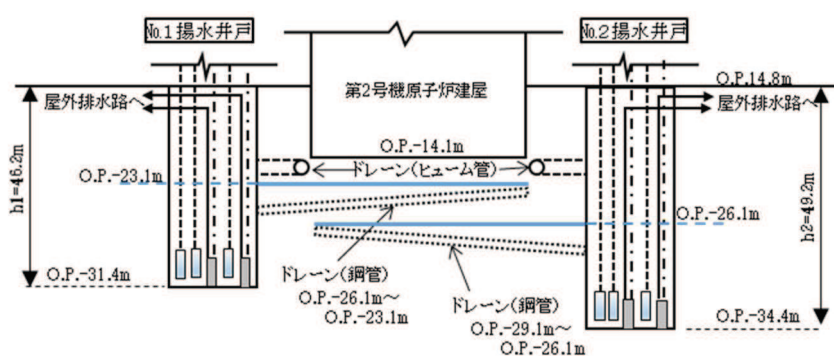


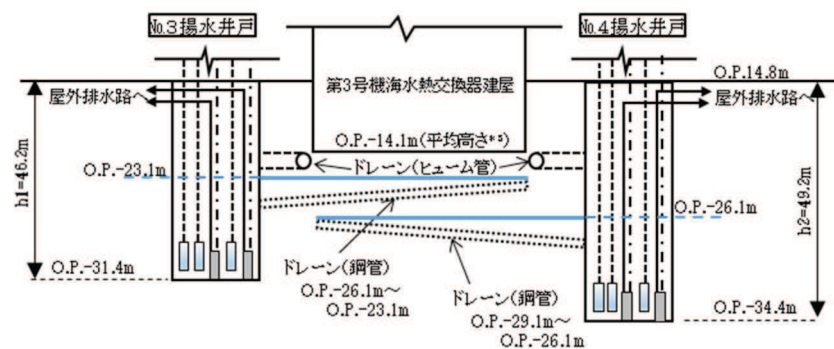
図6-1 地下水位低下設備の構成概要

表 6-1 地下水水位低下設備の構成概要

構成	概要
ドレーン (接続柵を含む)	鋼管 (φ 145.2mm) とヒューム管 (φ 500 mm, φ 800 mm, φ 1050 mm) により構成する。ヒューム管は分岐部等に鉄筋コンクリート製の接続柵を設ける。
揚水井戸	内径φ4mの鋼製の排水シャフト及び鉄筋コンクリート製の集水ピットにより構成し、原子炉建屋・制御建屋エリア及び第3号機海水熱交換器建屋エリアに各2箇所(計4箇所)設置する。
揚水ポンプ (配管を含む)	揚水ポンプ(容量375m ³ /h以上、揚程52m以上、原動機出力110kW/個)を各揚水井戸に2個ずつ(計8個)設置する。
水位計・制御盤・電源盤	水位計(計測範囲O.P.-28.8m~O.P.-26.1mまたはO.P.-31.8m~O.P.-29.1m)は各揚水井戸に3個ずつ(計12個)設置する。 制御盤は、原子炉建屋内に系統ごとに現場制御盤を、中央制御室に監視制御盤を系統ごとに設置する(各2面)。電源盤は異なる非常用電源母線に接続する2面を原子炉建屋内に設置する。



(1) 原子炉建屋周辺



(2) 第3号機海水熱交換機建屋周辺

- 注記*1: 揚水井戸及び揚水井戸に内包する揚水ポンプ, 水位計は新設する。
 *2: ヒューム管(接続柵を含む)は揚水井戸との接続部分是新設する。
 *3: 鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。
 *4: h1及びh2は、GLより集水ピット底面までの高さを表す。
 *5: 第3号機海水熱交換器建屋の基礎底面(O.P.-12.5m~O.P.-16.25m)の平均高さを示す

図 6-2 ドレーン及び揚水井戸の構成図

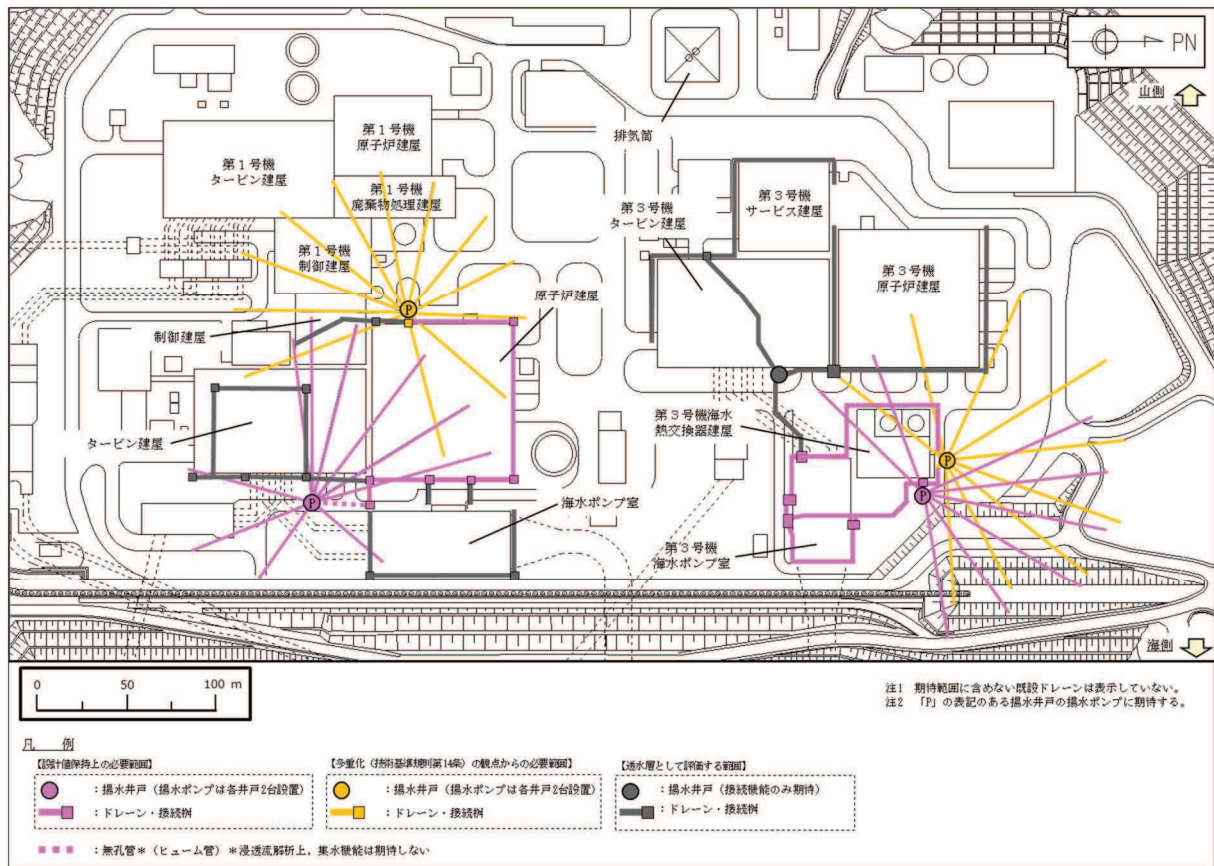
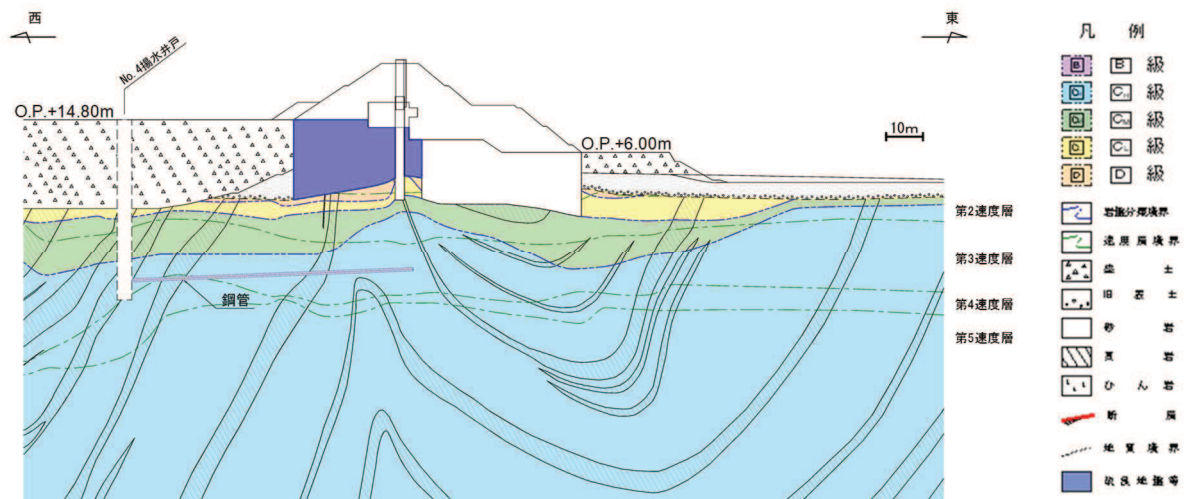
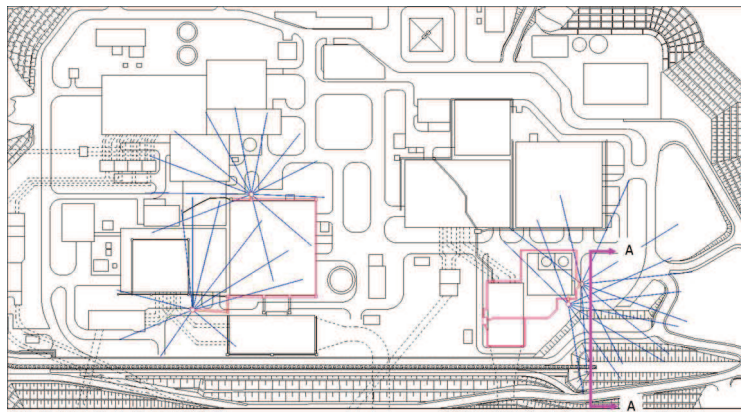


図 6-3 ドレーン・揚水井戸の平面配置



A-A断面図



(断面位置)

図6-4 ドレーン（鋼管）の設置位置と周辺の地盤の状況

1.2 ドレーン（鋼管，ヒューム管及び接続桙）

鋼管は揚水井戸から建屋周辺下部岩盤内に直線的に配置し，地下水を揚水井戸に集水する構造とする。鋼管は原子炉建屋東側及び第3号機海水熱交換器建屋東側揚水井戸はO.P. -23.1m～O.P. -26.1mの範囲に設置し，原子炉建屋西側及び第3号機海水熱交換器建屋北側揚水井戸においてはO.P. -26.1m～O.P. -29.1mの範囲に設置する。

ヒューム管は建屋等の外周部・直下部の岩盤上に設置し，地下水を揚水井戸に集水する。また，ドレーンの分岐部や曲がり部の一部に接続桙を設ける構造とする。

（設定根拠）

ドレーンは，施設へ作用する揚圧力が評価対象施設等の安全性確保を踏まえて設定した設計用揚圧力以下を保持できるよう配置する。また，浸透流解析におけるドレーンの境界条件として大気圧開放を与えていることから，十分な排水能力を有するものとする。

なお，浸透流解析における鋼管は図6-2（水色）に示すとおり建屋底面から12m又は9mの深度に水平に設置した条件とし，実施工においては解析上の深度よりも低い位置に設置する。

新設する鋼管は，表6-2及び図6-5に示す建屋領域への方向別の地下水流入量を踏まえ，以下の考え方に基づき配置するものとする。

（原子炉建屋・制御建屋エリア）

- ・ 原子炉建屋北面方向からは第3号機海水熱交換器建屋エリアのドレーンの効果により流入量が小さくなっているが，残る東面，西面，南面及び底面方向からの流入量が相対的に多い。
- ・ 揚水井戸は原子炉建屋の西側・東側に設置し，各井戸へ鋼管を接続するため，周辺の既設設備の配置やドレーン施工の観点も踏まえて，原子炉建屋西側の井戸にて底面及び西面方向からの流入量を，原子炉建屋東側の井戸にて底面及び南面，東面方向からの流入量低減を考慮した配置とする。
- ・ なお，制御建屋は原子炉建屋より相対的に設置レベルが高いことから，原子炉建屋東側の井戸に接続する鋼管により設計用揚圧力を確保することが可能となる。

（第3号機海水熱交換器建屋エリア）

- ・ 建屋北面方向からの地下水流入量が支配的となっている。当該エリアは周辺の既設設備の配置等から2箇所の揚水井戸を近接し配置するため，双方の揚水井戸へ接続する鋼管により建屋北面及び東面方向からの流入量低減を考慮した配置とする。

表 6-2 建屋領域への方向別の地下水流入量

流入方向	地下水流入量 (m ³ /日) *1		
	原子炉建屋	制御建屋	第3号機海水熱交換器建屋
東面	106.5	-7.7*2	17.8
北面	30.2	-45.8*2	133.4
西面	154.2	18.0	29.7
南面	83.5	26.9	19.7
底面	69.4	9.5	17.7

*1: 0. P. -26m 付近 (鋼管設置レベル付近。建屋底面より-12m 下) 以浅の地下水移動量

*2: 設置レベルの低い原子炉建屋側への地下水の移動を示す。

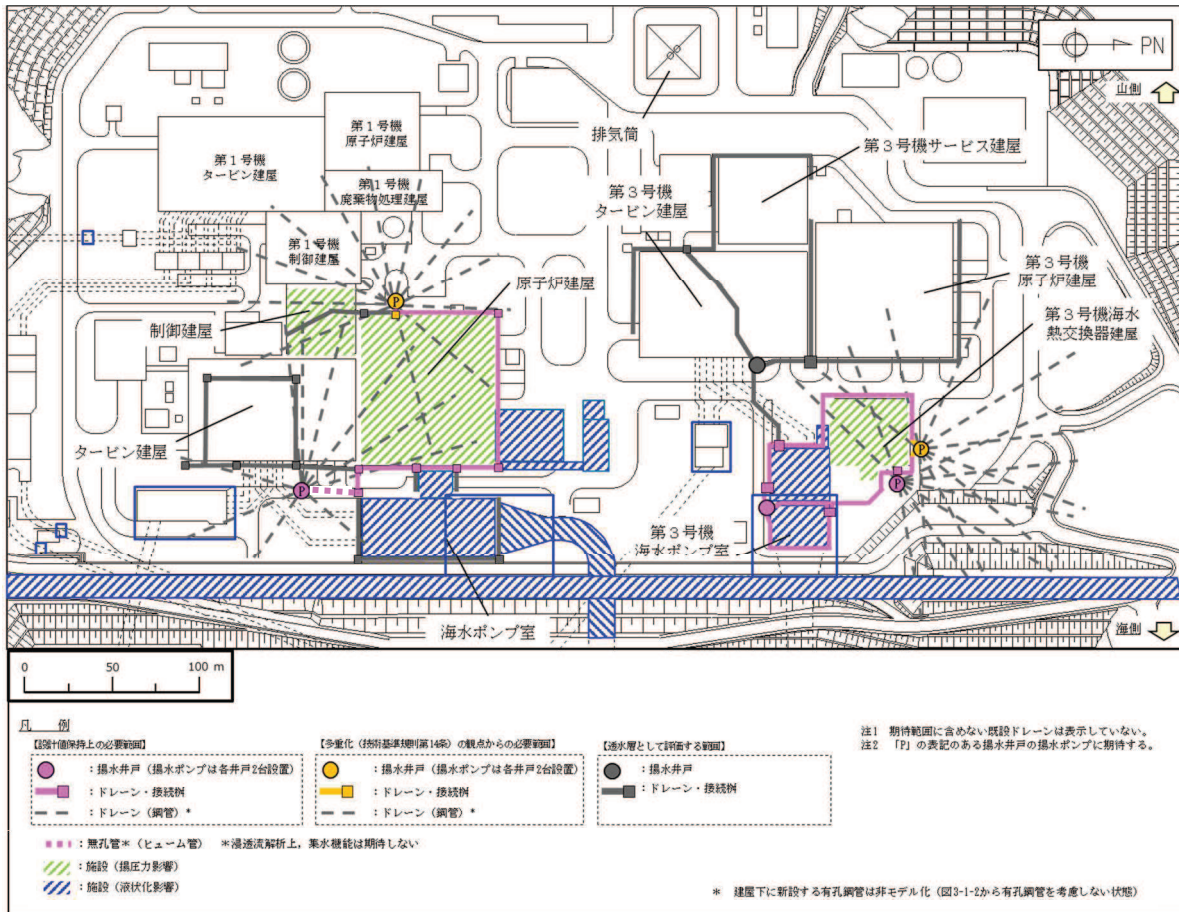


図 6-5 建屋領域への方向別の地下水流入量算定における地下水位低下設備の配置

(参考資料7) 既設ドレーンの部分閉塞時の自由水面の保持について

1. はじめに

設計用地下水位の算定（浸透流解析）に用いるドレーンのうち、既設ドレーンの一部（建屋外周等のヒューム管）は、部分閉塞し逆勾配で流下する状況も仮定した上で、浸透流解析上有効な管路（大気圧開放状態）として整理している。

ここでは、当該ドレーンが端部で部分閉塞しヒューム管が満管状態とならず自由水面を有して逆勾配で流下することを仮定した場合に、浸透流解析上想定する大気圧開放状態が維持されることを示す。

2. 評価条件

2.1 検討対象のドレーン

検討対象のドレーンは、原子炉建屋エリアはφ1050 mmのヒューム管、第3号機海水熱交換器建屋エリアはφ500 mmのヒューム管とし、当該範囲のヒューム管に部分閉塞が生じた場合に逆勾配で流下可能かを確認する。

検討対象のヒューム管の排水勾配は概ね1/1000程度である。

検討対象のドレーン配置図を図7-1に示す。

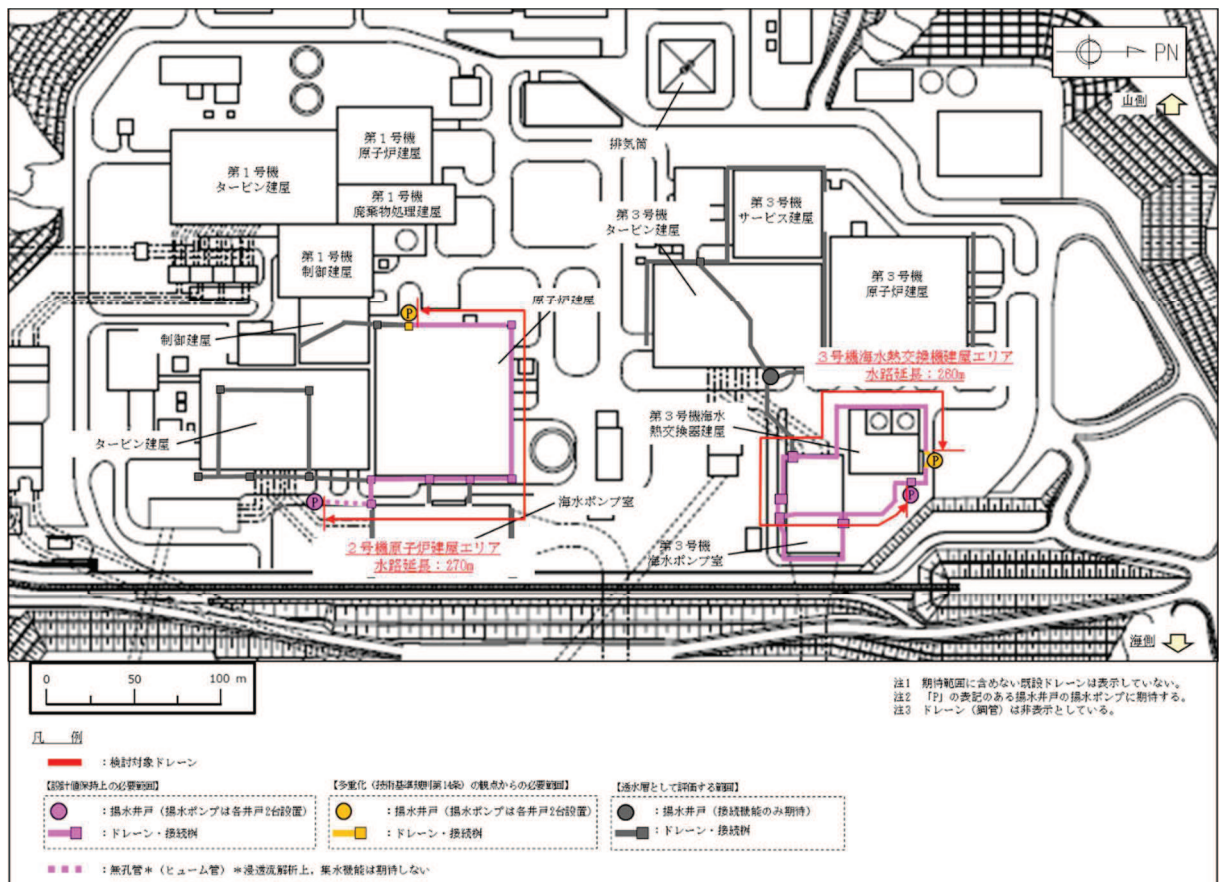


図7-1 検討対象ドレーン配置図

2.2 検討対象流量

検討対象流量は「補足-600-25-1 地下水水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料」に示す浸透流解析による地下水流入量を参照する。

原子炉建屋エリアのドレーンはφ1050 mmのヒューム管について、第1・2号機エリアの地下水流入量（6083m³/日）を検討対象流量とする。

また、第3号機海水熱交換器建屋エリアはφ500 mmのヒューム管について、第3号機エリアの地下水流入量（1683m³/日）を検討対象流量とする。

2.3 部分閉塞状態の想定

想定した部分閉塞の状態を図7-2に示す。この想定に基づきヒューム管の延長を原子炉建屋エリアは270m、第3号機海水熱交換器建屋エリアについては260mとして閉塞時の影響を検討する。

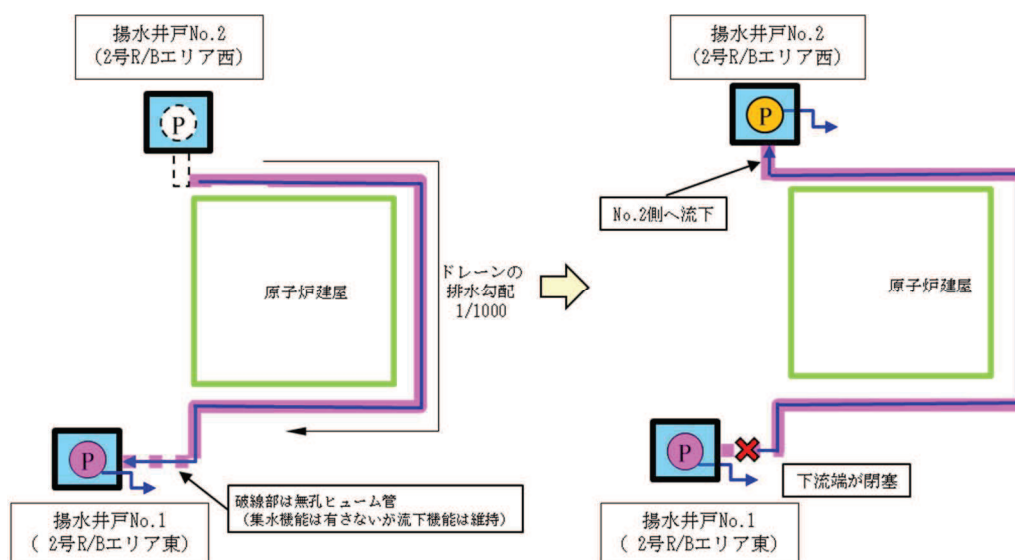


図7-2 想定するドレーン（ヒューム管）の閉塞ケース（模式図）
（原子炉建屋エリアの例）

3. 評価結果

閉塞時の自由水面保持状況の確認においては、逆勾配による水深に検討対象流量流下時のヒューム管端部（下流側）の限界水深と不等流計算による損失水頭を加え、上流側の断面が大気圧解放の前提となる自由水面が維持された状態（満管とならないこと）を確認する。

確認結果を以下に示す。なお、限界水深は、対象流量に対してフルード数が1となる水深を算出した。また、摩擦損失水頭は、ヒューム管の粗度係数を0.013m^{-1/3}/s*とした。

*：「火力原子力発電所土木構造物の設計—増補改訂版—（（社）電力土木技術協会編）」を参照し、ヒューム管はコンクリート管：0.013、鋼管はライニングした水路（鋼、塗装なし、平滑）：0.012に基づき設定。

3.1 第2号機原子炉建屋エリア

φ1050mm, 検討対象流量 6083m³/日での上流端での限界水深は約 144mm, 摩擦損失は約 78mm となった。下流端での水深は, 上流端の水深, 水路勾配による水深及び摩擦損失水頭を合計し, 144mm (上流端水深) + 270m (水路延長) × 1/1000 (水路勾配) + 78mm (摩擦損失水頭) = 492mm < 1050mm となる。

よって, 途中の摩擦損失を考慮しても満管になることなく流下可能と判断できる。原子炉建屋エリアにおける下流閉塞の場合の水面形を図 7-3 に示す。

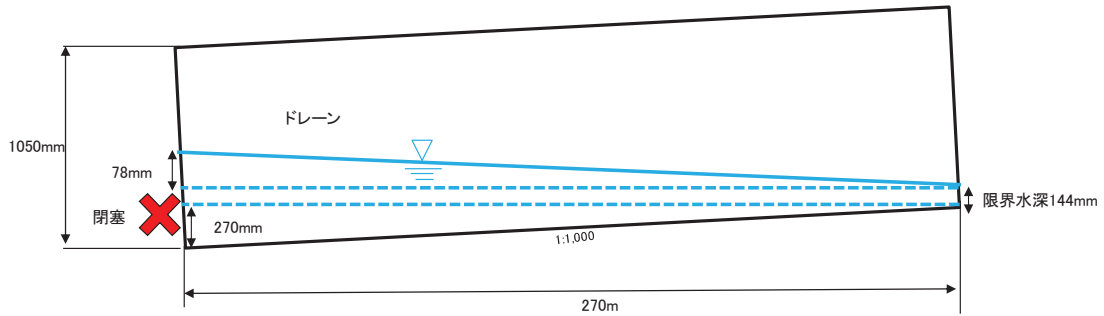


図 7-3 下流閉塞の場合の水面形 (原子炉建屋エリア)

3.2 第3号機海水熱交換器建屋エリア

φ500mm, 検討対象流量 1683m³/日において, 上流端での限界水深は約 91mm, 摩擦損失は 78mm となった。下流端での水深は, 上流端の水深, 水路勾配による水深及び摩擦損失水頭を合計し, 91mm (上流端水深) + 260m (水路延長) × 1/1000 (水路勾配) + 78mm (摩擦損失) = 429mm < 500mm となる。

よって, 摩擦損失を考慮しても満管になることなく流下可能と判断できる。

第3号機海水熱交換器建屋エリアにおける下流閉塞の場合の水面形を図 7-4 に示す。

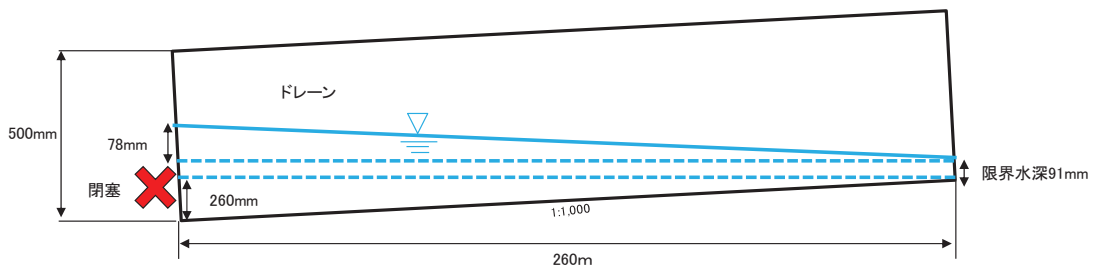


図 7-4 下流閉塞の場合の水面形 (第3号機海水熱交換器建屋エリア)

(参考資料 8) 地下水位低下設備の施工について

1. はじめに

設計用地下水位の設定において参照する予測解析において、ドレーン（鋼管）及び揚水井戸の新設を前提とした評価を行っている。本資料は、浸透流解析において前提としたドレーン有効範囲の妥当性に係る補足説明として、新設ドレーン・揚水井戸の施工手順及び試験施工結果について整理し、施工成立性を有することを示す。

2. ドレーン（鋼管）及び揚水井戸の施工方法

2.1 施工手順について

新設するドレーン（鋼管）の施工は、揚水井戸位置の盛土及び岩盤を所定の深度まで掘下げた後、立坑内に設置した仮設構台上に設置した水平ボーリングマシンによりドレーン延長相当を掘進し、ケーシングを兼ねた鋼管を設置することにより進める。

ドレーン（鋼管）の施工完了後、集水ピット、集水ピットと排水シャフトの接合部、排水シャフトの順で下部から上部に向けて揚水井戸を構築し、構築に合わせて周囲をセメント改良土で埋め戻す。

なお、新設する揚水井戸の位置は、既設ドレーンとの接続や周辺の既設設備との干渉等を考慮し設定しており、内空寸法及び井戸深度は、揚水ポンプ及び可搬型ポンプの揚程や、運用管理・保守管理面を考慮して設定している。

ドレーン（鋼管）及び揚水井戸の施工手順について図 8-1 に示す。

	①揚水井戸新設位置の掘削	②水平ボーリングマシンの搬入・設置	③水平ボーリング・鋼管設置
概要	<ul style="list-style-type: none"> 揚水井戸新設位置の盛土・岩盤を所定の深度まで掘削。 岩盤部は吹付コンクリート、盛土部はライナープレートφ8.5mにより土留め。 	<ul style="list-style-type: none"> 揚水井戸新設位置の掘削完了後、クレーンにより水平ボーリングマシンを立坑内に搬入し、ブルマンにより架台に固定。 	<ul style="list-style-type: none"> 以下に示す流れにて削孔・鋼管を設置
平面図			
断面図 (A-A)			

	④鋼管の設置	⑤接続樹新設位置の掘削	⑥新設～既設接続樹間への横坑の構築
概要	<ul style="list-style-type: none"> ③に示す手順にて揚水井戸を起点に放射状に鋼管を必要本数設置。 	<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室西側の接続樹新設位置の盛土・岩盤を所定の深度まで円形に掘削。 岩盤部は吹付コンクリート、盛土部はライナープレートにより土留め。 	<ul style="list-style-type: none"> 新設～既設接続樹間のヒューム管設置位置に横坑を掘削
平面図			
断面図 (A-A)			

図 8-1(1) ドレーン（鋼管）及び揚水井戸の施工手順（No. 1 揚水井戸の例）

	⑦ヒューム管の設置 (新設～既設接続樹間)	⑧ヒューム管の設置 (新設～No.1揚水井戸間)	⑨集水ピットの構築
概要	<ul style="list-style-type: none"> 新設～既設接続樹間にヒューム管を設置。 既設接続樹側壁を円形に削孔し、新設ヒューム管をはめ込んだ後、モルタルにて接合。 構坑とヒューム管間の空隙は碎石を充填。 	<ul style="list-style-type: none"> 新設接続樹設置位置から揚水井戸に向けパイロットボーリングを行った後、リーミング掘削をしながらヒューム管を新設 (ロックモールド工法)。 	<ul style="list-style-type: none"> 揚水井戸立坑内に集水ピットを構築。
平面図			
断面図 (A-A)			

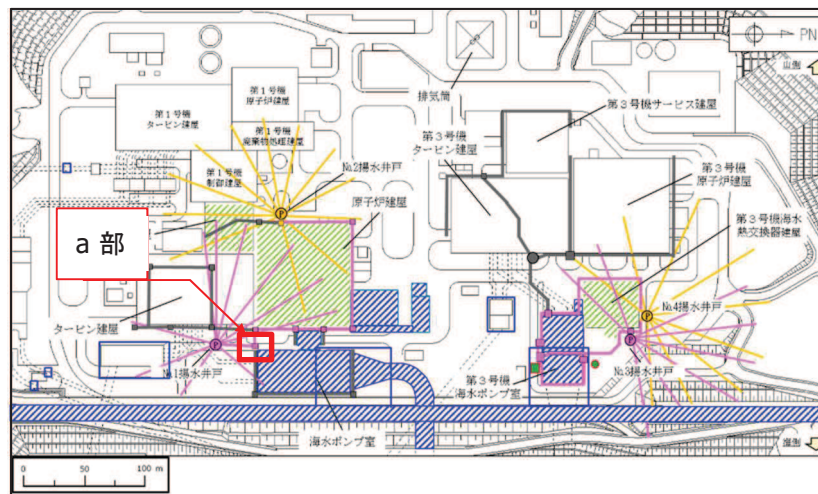
	⑩接続樹の新設	⑪排水シャフト構築, 埋戻し
概要	<ul style="list-style-type: none"> 新設ヒューム管の会合部に接続樹を新設 ヒューム管 (新設) を巻き込みコンクリートを打設し一体構造とする 	<ul style="list-style-type: none"> 集水ピット及び排水シャフトを構築しながら埋戻し (岩盤上面以深はセメント改良土, 以浅は盛土による)
平面図		
断面図		

図 8-1(2) ドレーン (鋼管) 及び揚水井戸の施工手順 (No. 1 揚水井戸の例)

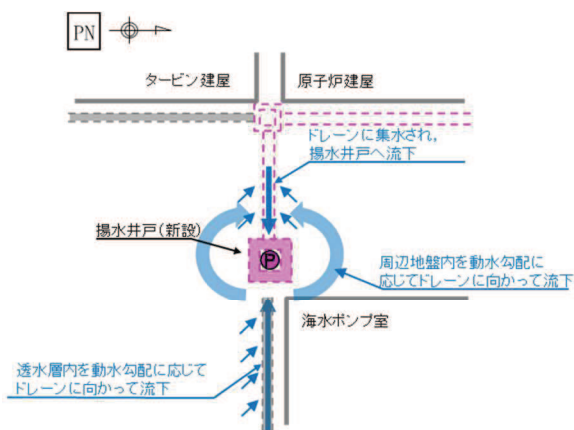
2.2 海水ポンプ室周辺のドレーンの排水経路について

海水ポンプ室周辺のドレーン（ヒューム管，φ500mm）については，設計用地下水位の設定において地盤（透水層）として扱っており，設置変更許可段階では，ドレーン端部からの排水は図 8-2 のとおり周辺地盤内を流下し，揚水井戸に集水される経路を想定していた。

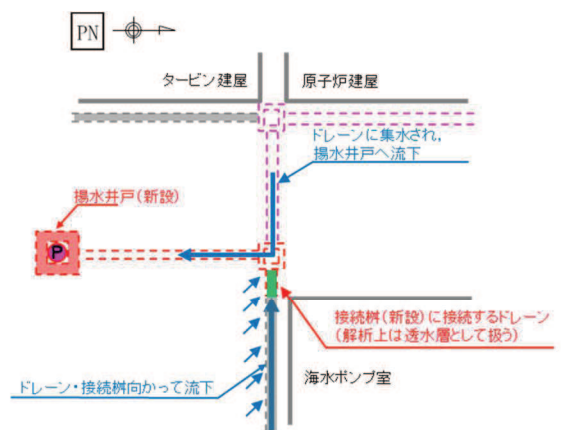
工事計画認可段階における詳細な配置検討を踏まえ，海水ポンプ室近傍に接続枳を新設し No.1 揚水井戸へ排水する計画としたことから，集水の確実性の観点から，ドレーン端部と新設する接続枳を接続する設計とした。



KEYPLAN



a部拡大図（設置変更許可段階）



a部拡大図（詳細設計段階）

図 8-2 海水ポンプ室周辺のドレーンからの地下水の排水経路

3. ドレーン（鋼管）の施工成立性について

3.1 概要

原子炉建屋及び第3号機海水熱交換器建屋周辺に設置するドレーン（鋼管）は、 $\phi 142.5\text{mm}$ 、最大延長100m程度の有孔鋼管であり、3次元浸透流解析結果に基づき設置範囲を設定している。

当該ドレーンは所要の排水勾配を確保しながら、所要の位置に設置する必要があるが、狭隘な立坑内（ $\phi 8\text{m}$ ）での作業となることも踏まえ、試験施工により施工成立性を確認した。

3.2 試験方法

試験施工実施個所は、ドレーン（鋼管）設置範囲と岩盤構成が類似する事務本館西側を選定した。この上で、立坑内に相当する $\phi 8\text{m}$ 程度の施工ヤードを設定しドレーン（鋼管）の掘進を行い、作業成立性及び鋼管の設置精度を確認した。

試験施工の目的を表8-1に示す。また、ドレーン（鋼管）の試験施工実施個所を図8-3に示す。

なお、試験施工実施箇所については、ドレーン（鋼管）の設置個所である原子炉建屋及び第3号機海水熱交換器建屋周辺の岩級区分が概ね同等であることをボーリングデータ等により確認している。

表 8-1 ドレーン（鋼管）の試験施工の目的

目的	確認事項	備考
①作業成立性	<ul style="list-style-type: none">・ $\phi 8\text{m}$の作業スペースに掘削機械を設置できること・ 延長100m程度の連続掘進が可能であること	
②精度	<ul style="list-style-type: none">・ 指定方向に対し、$\pm 1\%$程度の施工誤差で掘進できること（鉛直方向）・ 逆勾配となる区間が生じないこと	排水勾配（1%）

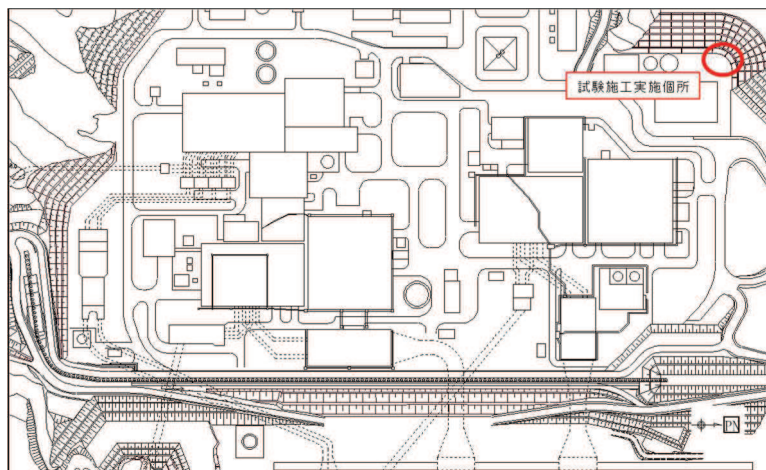


図 8-3 ドレーン（鋼管）試験施工位置

3.3 試験結果

①作業成立性

立坑内に相当するφ8m程度の施工ヤードに掘削機械を設置し、所定の距離の掘進及び鋼管挿入・設置が可能であることを確認した。なお、鋼管は最長100mであるが、試験施工においては120m（水平距離）まで掘進が可能であることを確認した。

試験施工の状況を図8-4に示す。

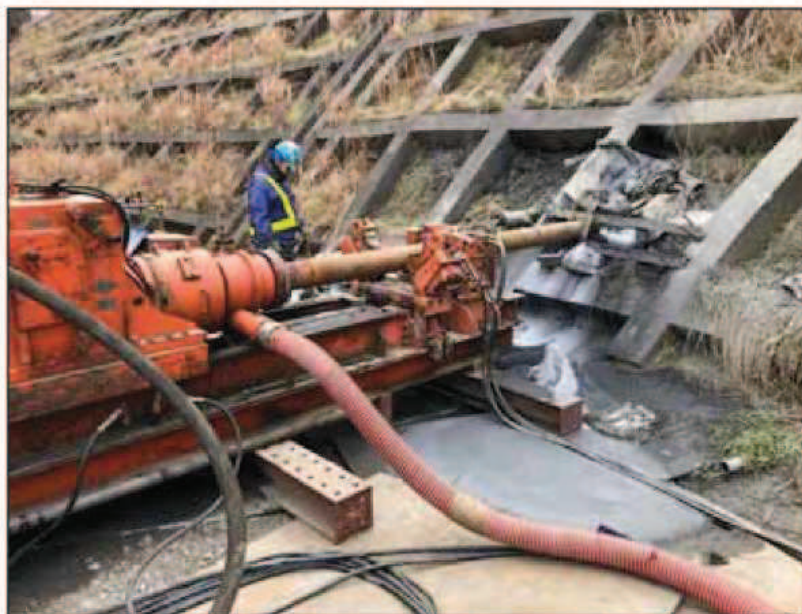


図8-4 (1) ドレーン（鋼管）試験施工状況

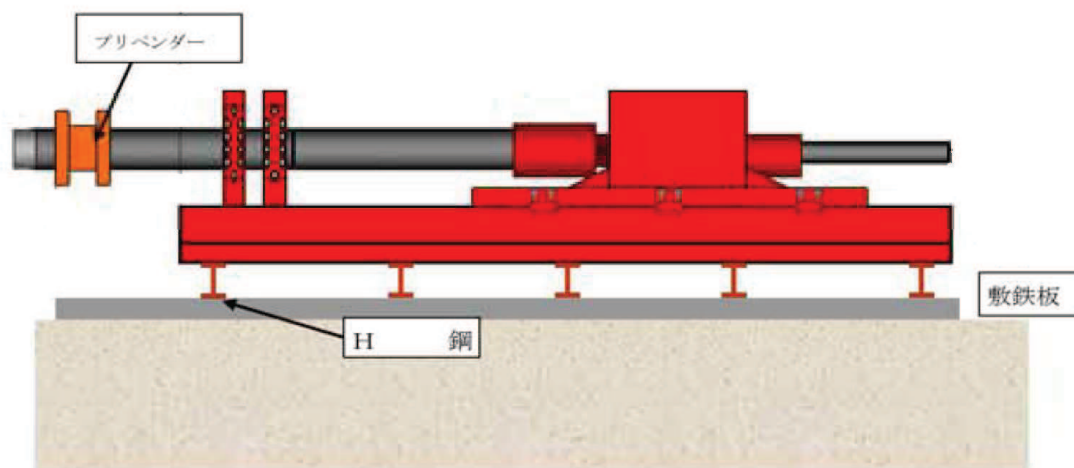


図8-4 (2) ドレーン（鋼管）試験施工状況

②精度

掘進始点からの水平距離と変位（上下方向）の関係を表 8-2 及び図 8-5 に示す。

表 8-2 及び図 8-5 に示すとおり，所定の延長（L=120m）まで掘進した段階で，目標点からの施工誤差は 25mm であり，排水勾配が確保できていること，また目標誤差（±1%）の範囲内での施工が可能であることを確認した。

表 8-2 鋼管の試験施工における鉛直方向の誤差

水平距離 (m)	鉛直変位 (mm)		誤差 (mm) (A)-(B)
	計画位置 (A)	試験施工 (B)	
10	100	136	36
60	600	702	102
120	1200	1225	25

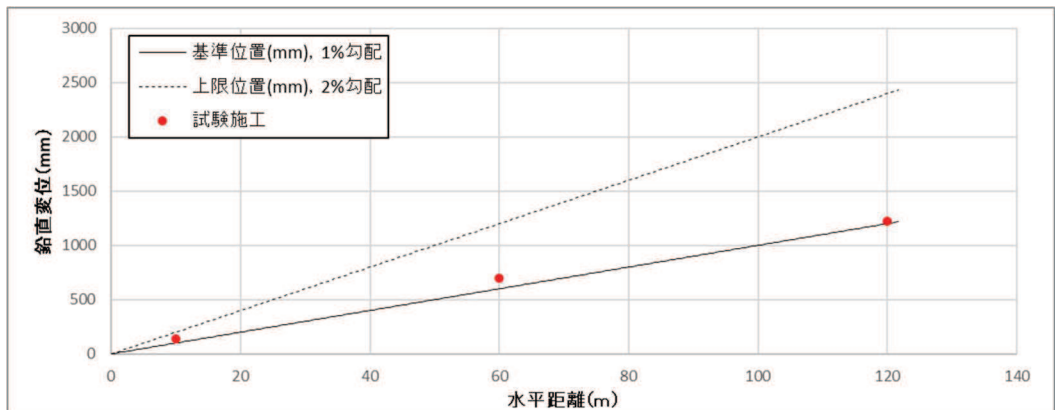


図 8-5 ドレーン（鋼管）設置位置の目標値と試験施工結果の比較

(参考資料 9) 地下水位低下設備の保守管理について

1. はじめに

設計用地下水位の設定において参照する予測解析において有効と見做すドレーンは、保守管理性を有することを要件の一つとしている。

本資料は、浸透流解析において前提としたドレーン有効範囲の妥当性に係る補足説明として、既設及び新設ドレーンの保守管理性の確保方法と確認結果等について示す。

2. ドレーンの保守管理について

2.1 ドレーンの機能喪失要因と対応方法

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。ドレーンの機能喪失要因と対応の考え方を表 9-1 に示す。

ここに示すとおり、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）並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。

なお、ドレーンは技術基準規則第 14 条の要求事項への配慮の観点から、部分閉塞を想定した設計を行っているが、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、今後予防保全対象として定期的な点検・土砂排除を行うことから、管の閉塞に至るリスクはなく、有孔部からの流入土砂に起因するドレーン機能の喪失は保守的な想定である。

表 9-1 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・保守管理における事象への対応	設計上の考慮	機能喪失の想定
経年劣化や地震によりドレーンが損壊し、断面形状を保持できなくなる。	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性のある材料を使用するとともに、耐震性（S s 機能維持）を確保する設計とする。 	要	不要
ドレーンの有効範囲以外等からの雨水流入、その他想定以上の雨水流入によりドレーンの集水能力が不足する。	<ul style="list-style-type: none"> 湧水量の算定においては、設置される全てのドレーンからの流入を考慮する。また、湧水量を大きく算定するように透水係数を設定し、得られた湧水量を包絡するスペックの揚水ポンプ能力を設定する。 	要	不要
土砂流入により閉塞又は通水断面が減少し、集・排水機能を喪失する。	<ul style="list-style-type: none"> 既設ヒューム管内部のカメラ調査結果から、ドレーンの設備供用開始後の堆積土砂は僅かである。（有孔部（ヒューム管φ25mm、鋼管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。） ドレーンは設計湧水量に対し十分な排水能力が確保されている。新設ドレーンは設計湧水量に対して十分な排水能力を確保されるよう設計する。 予防保全として、定期的な点検、土砂排除を実施する。 	要	要
地盤改良工事等による目詰まり等により集・排水機能を喪失する。	<ul style="list-style-type: none"> 施工方法や規制等によりドレーン流入を防止する。 施工後のドレーン状況の確認を行う。 	要	不要
バクテリア影響によりドレーンに目詰まりが生じ、集水機能を喪失する。	<ul style="list-style-type: none"> 第2号機、第3号機の既設ヒューム管はそれぞれ設置から約25年、18年経過しているが、内部カメラ調査結果から、同影響による目詰まり等は確認されていない。 バクテリアが大量に増殖するためには豊富な有機物が常に供給される必要があるが、本設備は地下の湧水を集水している設備であり、定常的に有機物が少ない環境下であることを確認しておりバクテリアが増殖し機能喪失することは考えにくい（表9-2）。 また、構内排水は生活排水とは独立した系統を有しており、発電所周辺において大きな環境変化も予定されておらず、今後も有機物の供給の急激な増加はないと考えられる。 予防保全として、定期的な点検を実施する。 	不要	不要
鉄酸化細菌（鉄バクテリア）によりドレーンに目詰まりが生じ、集水機能を喪失する。	<ul style="list-style-type: none"> 地下水は中性であること、また鉄分含有量が少ないことを確認しており鉄バクテリアが増殖し機能喪失することは考えにくい（表9-2）。 予防保全として、定期的な点検を実施する。 	不要	不要

*1 ヒューム管は、岩盤を掘り下げて設置しており、砕石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 ヒューム管の至近の目視確認結果では、設置後20年程度（2号機：約23年、3号機：約16年）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。（参考資料1-1）

表 9-2 地下水水質分析結果

(採取箇所：2号機揚水井戸，採取日：2021年1月12日)

測定項目	測定値	基準値*1
水素イオン濃度 (ph)	7.3	5.0 以上～9.0 以下
生物化学的酸素要求量 (BOD)	1.1mg/L	160 mg/L 以下
化学的酸素要求量 (COD)	0.5mg/L 未満	160 mg/L 以下
浮遊物質量 (SS)	2mg/L	200 mg/L 以下
溶融性鉄含有量	0.006 mg/L	10 mg/L 以下

注記*1：水質汚濁防止法の一律排水基準

2.2 ドレーンの保守管理性の確保方法

ドレーンの機能喪失事象を踏まえ、保守管理性を有することについては、経路の連続性に関する確認、通水断面の確保の可否により判断する。ドレーンの構造・形状別の部位に応じた保守管理性の確保方法について、表 9-3 のとおり整理した。

ここで、表 9-3 における「流末部」とは同径の管の最下流部を表す。ヒューム管（φ 500mm）は立入りできないが、立入り可能な φ 800mm，φ 1050mm のヒューム管については、最下流部の接続柵や近傍の保守管理立坑からアクセスでき、目視・カメラ等による確認が可能である。

図 9-1 に示す範囲における各部位のアクセス性を表 9-4 に示す。また、表 9-2 で示した保守管理立坑及びトレーサー投入孔の概要図を図 9-2 及び図 9-3 に示し、第 3 号機海水ポンプ室周辺の保守管理立坑等を用いた保守管理性の確認方法を図 9-4 に示す。

なお、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確認が可能であると判断している。

- ・施工方法・仕様の共通性：既設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。新設部も既設と同等の施工方法、施工管理基準のもと施工予定であり、仕様も共通である。
- ・建設時記録の信頼性：既設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。新設ドレーンも同様に施工管理記録から情報を確認できる。
- ・耐久性・耐震性（S s 機能維持）が確保されている。
- ・安定的な供用環境にある。（岩着構造、外力（土被り）の変動が小さい、地下空間のため紫外線等の劣化要因が少ない、流入する地下水に有害な物質が含まれない等）
- ・流末部は土被りが最大（上載荷重最大）であり、設計上最も厳しい部位である。

表 9-3 保守管理性の確保方法

部位	設置状況と調査項目*			保守管理性の確保方法	
	立入	カメラ	トレーサー試験＋ 流末部確認	経路の連続性 確認方法	通水断面の 確保方法
鋼管 (φ142.5mm)	×	○	×	・カメラ	・設計 (Ss 機能維持) ・維持管理 (定期的な点検・ 土砂排除)
ヒューム管 (φ500mm)	×	△	○	・トレーサー試験 ・流末部の確認 (カメラ・目視)	
ヒューム管 (φ800mm)	○	○	○	・目視(人の立入) ・トレーサー試験 ・流末部の確認 (カメラ・目視)	
ヒューム管 (φ1050mm)					

* : 各部位における調査可否 (○全範囲可, △部分的に可, ×不可)

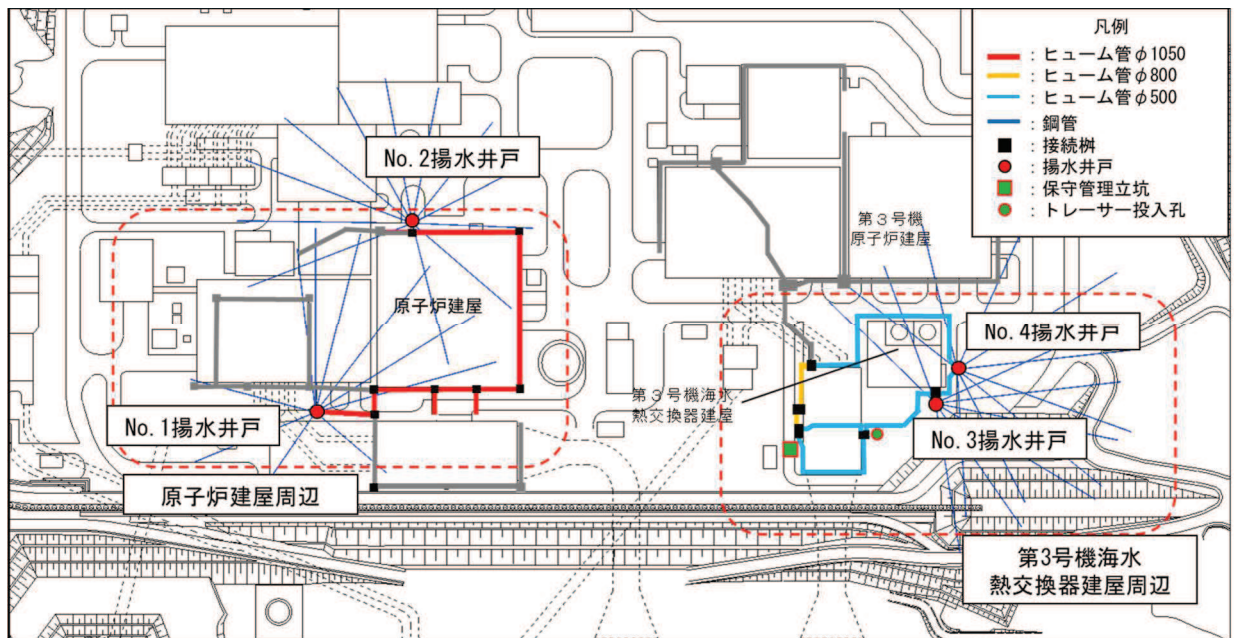


図 9-1 保守管理範囲の概要図

表 9-4 各部位へのアクセス性

エリア	主な構成部位	アクセス性
原子炉建屋周辺	ヒューム管 (φ 1050 mm)	・ No.1, 2 揚水井戸内にステージを設け接続部から直接, 人がアクセスできる
	鋼管 (φ 142.5 mm)	・ No.1, 2 揚水井戸内の作業ステージからカメラ, 洗浄ホースが挿入できる
第 3 号機海水熱交換器建屋周辺	ヒューム管* 1 (φ 800 mm, φ 500 mm)	<ul style="list-style-type: none"> ・ No.3, 4 揚水井戸の接続部または下流側の保守管理立坑からカメラが挿入できる ・ No.3, 4 揚水井戸の接続部またはトレーサー投入孔からトレーサーを投入でき, 下流側の保守管理立坑から試料回収できる。 ・ No.3.4 揚水井戸の接続部のトレーサー投入孔から洗浄用ホースが挿入できる。
	鋼管 (φ 142.5 mm)	・ No.3, 4 揚水井戸内の作業ステージからカメラ, 洗浄ホースが挿入できる

注記* 1 : 土砂の堆積状況により土砂排除が必要と判断した場合は, 上流側の揚水井戸またはトレーサー投入孔より洗浄水を送水し, 下流側の保守管理立坑においてバキューム等で土砂回収を実施する

* 2 : 保守管理立坑及びトレーサー投入孔は直接集・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を維持していくために必要であることを踏まえ, 基準地震動 S s に対する機能維持を図る。

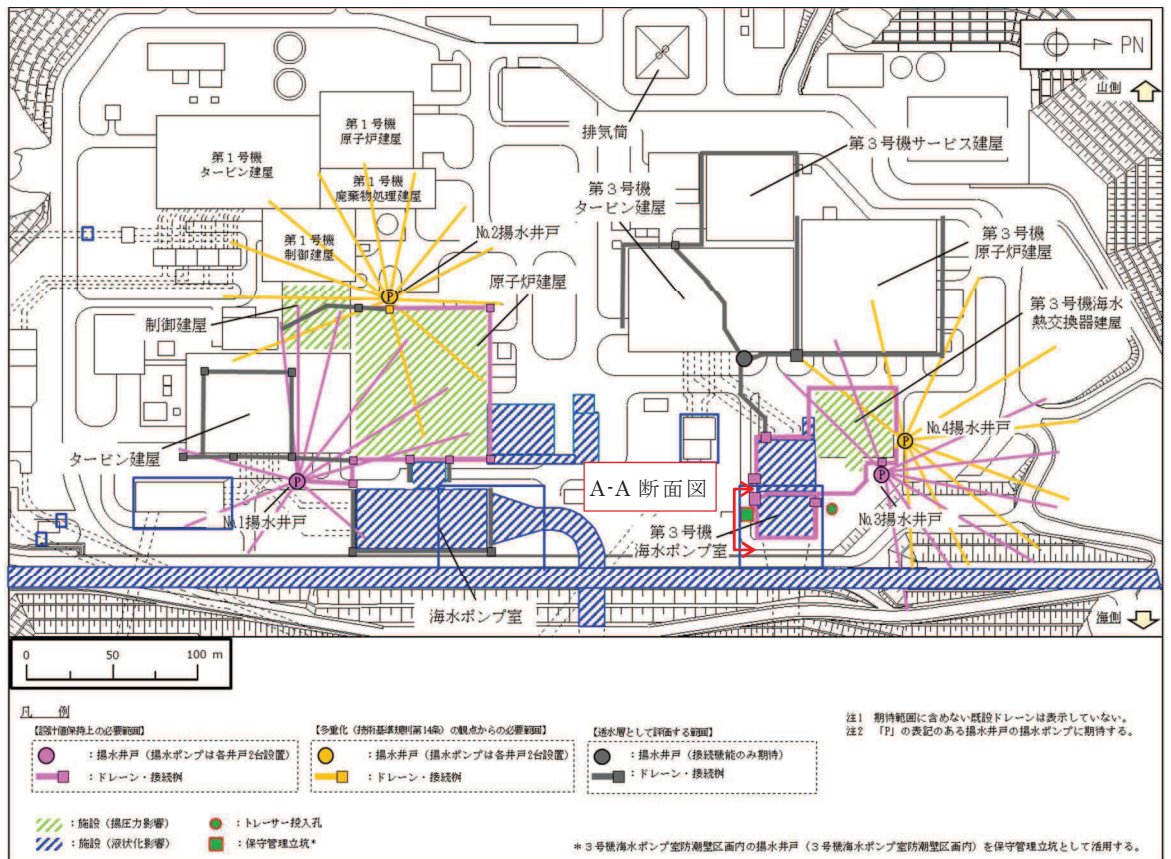


図 9-2(1) 保守管理立坑の概要図（断面位置図）

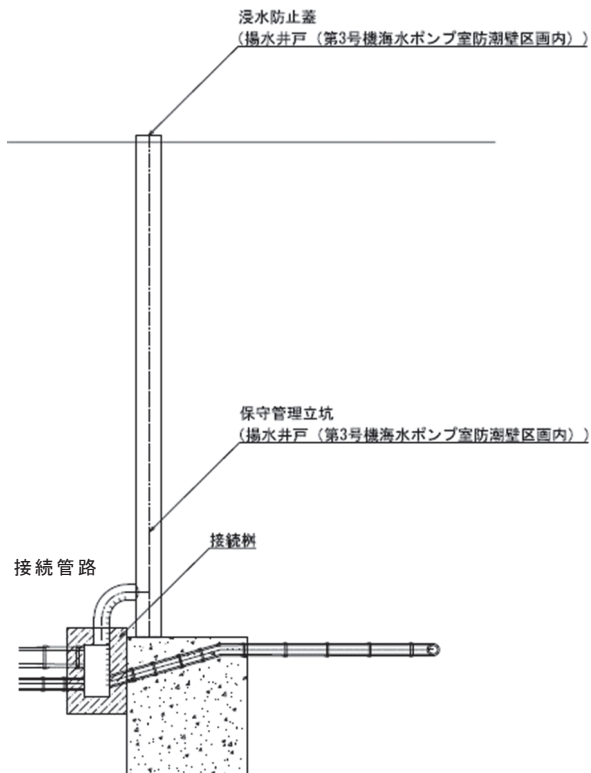
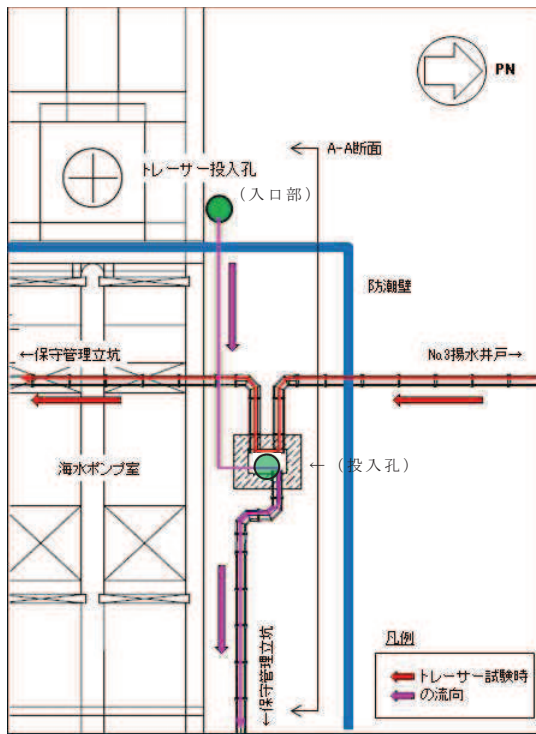
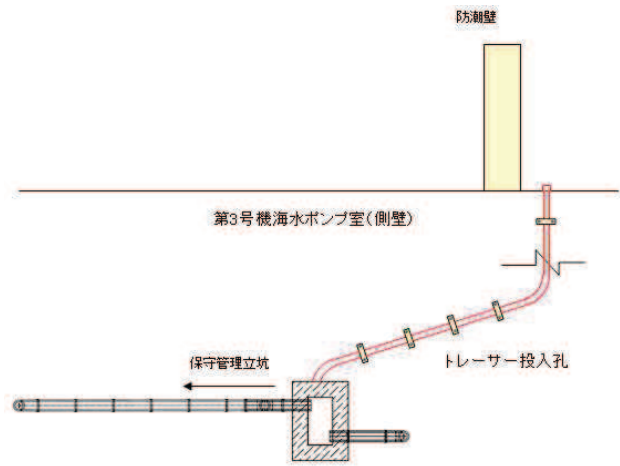


図 9-2(2) 保守管理立坑の概要図（A-A 断面図）
（参考） 9-7

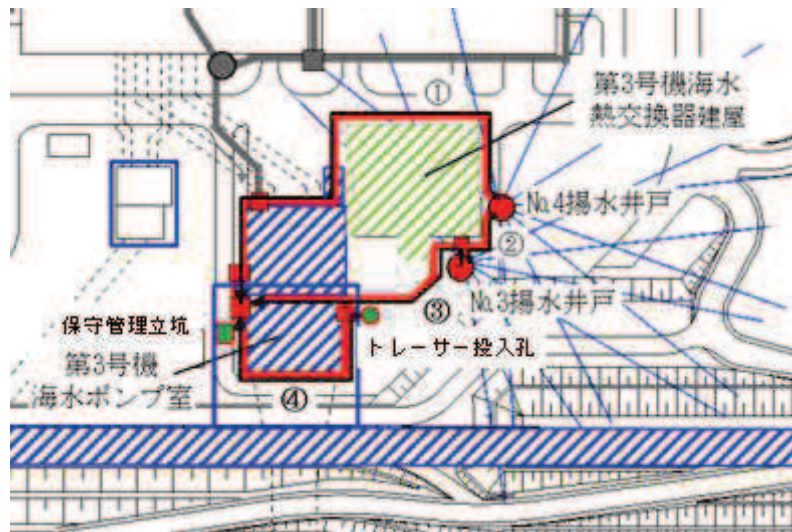


(a) 平面概要図



(b) A-A 断面図

図 9-3 トレーサー投入孔の概要



No.	トレーサー投入箇所	トレーサー回収及び 流末部目視調査箇所
①	No.4 揚水井戸	保守管理立坑
②	No.4 揚水井戸	No.3 揚水井戸
③	No.3 揚水井戸	保守管理立坑
④	トレーサー投入孔	保守管理立坑

図 9-4 第 3 号機海水ポンプ室エリア周辺の保守管理方法

2.3 保守管理の成立性確認（鋼管）

鋼管は表 9-3 に示すとおり，カメラ調査により経路の連続性の有無を確認する。また，基準地震動 S_s に対する耐震性を確保するとともに，定期的な点検・土砂排除により機能維持を図る。

以下，鋼管を対象としたカメラ調査と，土砂堆積を想定した洗浄試験の状況を示す。

2.3.1 カメラ調査（鋼管）

(1) 概要

カメラ調査は揚水井戸内の各鋼管付近に設けた作業ステージで行う。

ここでは，鋼管の保守管理を想定し，新設するドレーンの試験施工により設置した模擬管路を対象に，カメラ調査の適用性を確認した。

(2) 調査方法

図 9-5 に示す自走式 TV カメラによる。これらの調査資機材はケーブルドラム及びカメラモニタを搭載した TV カメラ搭載車と自走式 TV カメラにより構成される。自走式 TV カメラは小型であり揚水井戸内への携行が可能である。



図 9-5 自走式 TV カメラの外観イメージ

(3) 調査結果

カメラ調査（鋼管）の実施状況を図 9-6 に示す。

カメラ挿入位置から管全長（内径 $\phi 100$ mm， $L=120$ m， $I=1.0\%$ ）を自走可能であることを確認した。撮影動画は乱れもなく鮮明であったことから，自走式 TV カメラ調査の適用性が確認された。試験完了後，自走式 TV カメラを回収した。



図 9-6 カメラ調査（鋼管）の実施状況

2.4.2 洗浄試験（鋼管）

(1) 概要

新設する鋼管の保守管理を想定し、新設するドレーンの試験施工により設置した模擬管路を対象に、洗浄工の適用性を確認した。

洗浄工はカメラ調査と同様、揚水井戸内の各鋼管付近に設けた作業ステージで行う。

(2) 試験方法

洗浄工は高圧洗浄車により管内の堆積物や管壁の付着物の除去を実施するものである。洗浄機械は井戸内への持ち込みが可能な小径のφ30mm（外径）の高圧ノズルを用いた。

(3) 試験結果

洗浄工の実施状況を図 9-7 に示す。

延長 120m、勾配 1%の模擬管路に対し、高圧ノズルにて管内への挿入及び洗浄が可能であったことから、適用性が確認された。洗浄完了後、洗浄用治具を回収した。



図 9-7 洗浄工（鋼管）の実施状況

2.5 保守管理の成立性確認（ヒューム管）

ヒューム管は表 9-3 に示すとおり，管内への人の立入，カメラまたはトレーサー調査にて経路の連続性を確認する。また，基準地震動 S_s に対する耐震性を確保するとともに，定期的な点検・土砂排除により機能維持を図る。

ここでは，ヒューム管を対象としたトレーサー調査と，土砂堆積を想定した洗浄試験の状況を示す。

2.5.1 トレーサー試験（ヒューム管）

(1) 概要

トレーサー試験は，経路の上流側にある揚水井戸やトレーサー投入孔からトレーサー材（ヨウ化物イオン・蛍光塗料等）を投入し，下流側で濃度計測もしくは目視確認をすることにより集水経路の連続性を調査する手法である。

以下，トレーサー試験による集水経路の連続性確認が必要な第 3 号機エリアのヒューム管において実施したトレーサー試験結果を整理した。

(2) 試験位置

第 3 号機エリアのヒューム管のうち，トレーサーの流下経路が最も長くなる 3 号機海水熱交換器建屋西側の範囲を試験位置に選定した。

トレーサー試験位置を図 9-8 に示す。

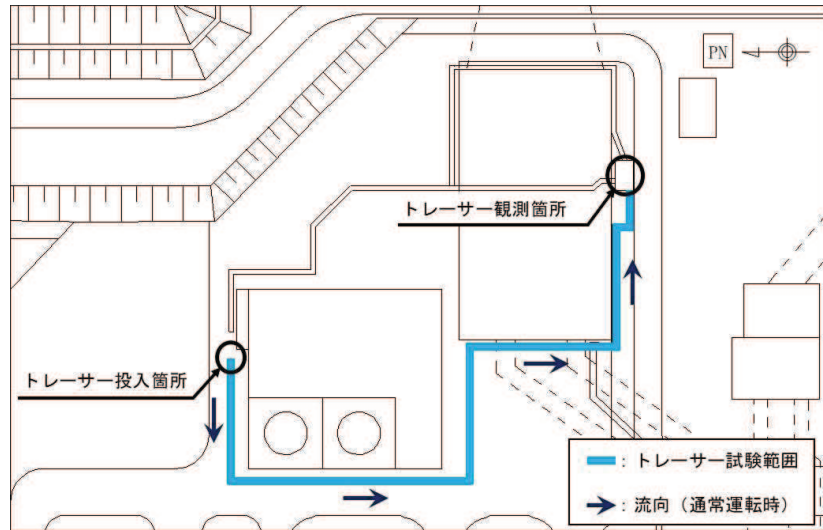


図 9-8 トレーサー試験位置

(3) 試験方法

a. トレーサー材の選定

試験実施時には防潮堤の沈下対策（地盤改良等）の実施前であり，試験範囲周辺地下水は海水の影響を受ける可能性が考えられたことから，塩水が試験結果に影響を与えない「ヨウ化物イオン (I⁻)」*及び「蛍光塗料（ローダミン）」をトレーサー材として採用し，試験を実施した。

注記*：トレーサー材は，一般的に水溶性化学物質である塩化ナトリウムを使用し，電気伝導度計にて塩分濃度を測定するが，周辺環境や投入・収集口を直接目視できる場合は，蛍光色素を混合した溶液を使用し，直接視認することも可能である。

b. 観測方法

トレーサー投入箇所に塩ビ管*を挿入し，トレーサー材 600L(20L/min)を投入後，試験範囲下流端にて採水を行い，ヨウ化物イオン及び蛍光塗料の検出状況を確認した。

トレーサー材は，図 9-9 に示すようにヒューム管へ直接投入した。

* トレーサー投入箇所はいずれも新設予定であり，ヒューム管へ直接流下可能な構造とすることから，試験用に仮設の塩ビ管を挿入し投入孔としたもの。

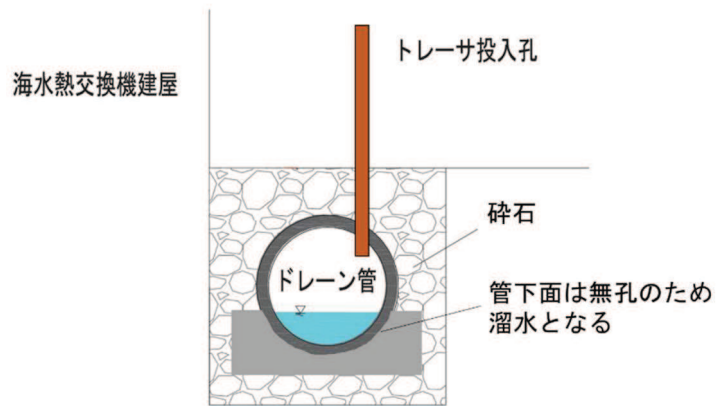


図 9-9 トレーサー材の投入方法

(4) 試験結果

トレーサー試験の実施状況を図 9-10 に、試験結果を図 9-11 に示す。

試験の結果、ヨウ化物イオン及び蛍光塗料ともに検出を確認し、集水経路の連続性を確認した。

また、試験で使用したトレーサー材は 600L であり、揚水井戸及びびトレーサー投入孔近傍に持ち込み、流下させることが可能な容量である。

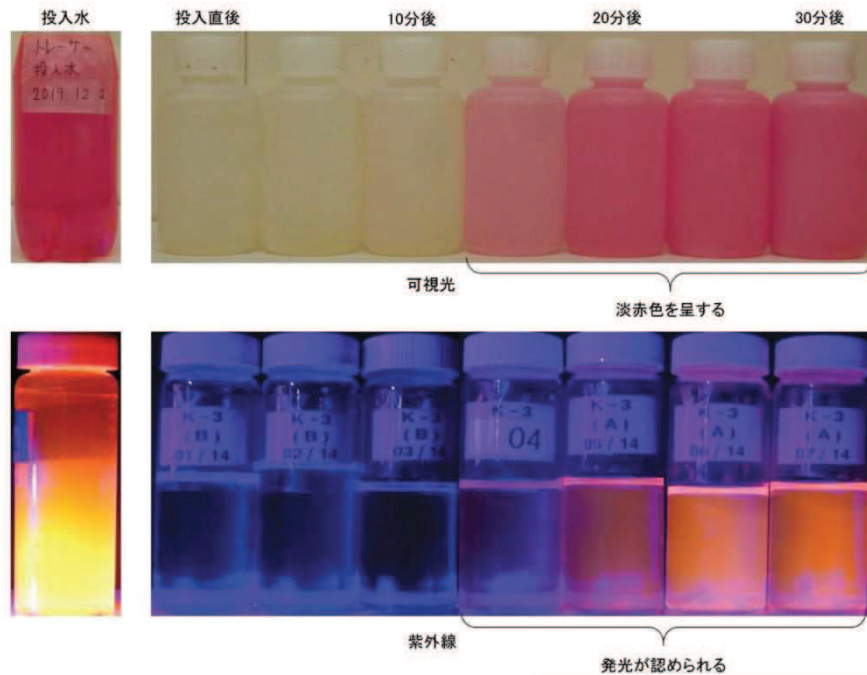
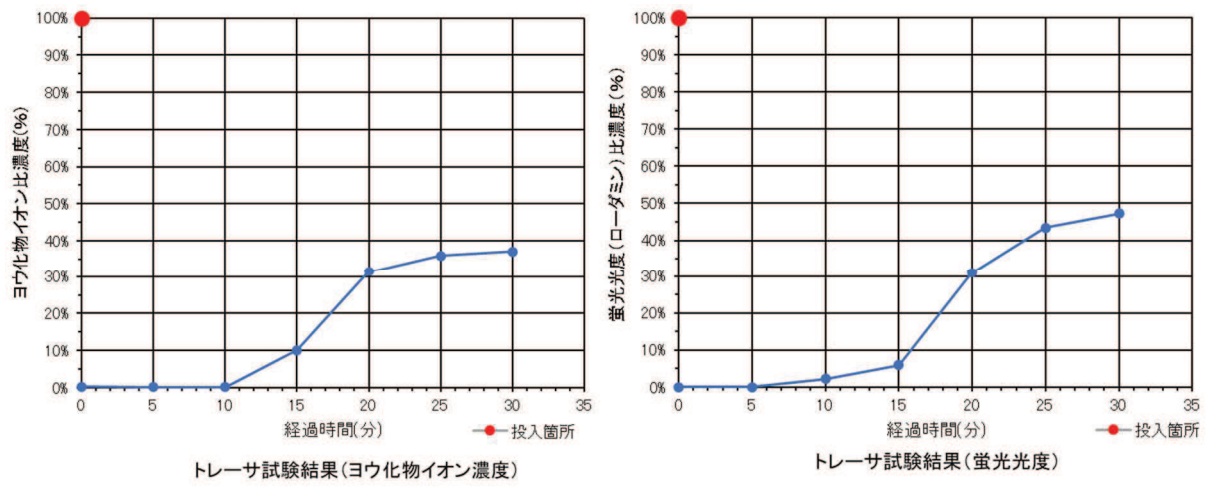


(a) 投入孔設置状況（塩ビ管挿入）



(b) 採水状況

図 9-10 トレーサー試験 実施状況



結果:15分後から染色が明瞭に認められる

図 9-11 トレーサー調査結果

2.5.2 洗浄試験（ヒューム管）

(1) 概要

ヒューム管の保守管理を想定し、2.5.1のトレーサー試験位置を対象として高圧洗浄車による洗浄の適用性を確認した。

(2) 洗浄方法

洗浄工は高圧洗浄車により管内の堆積物や管壁の付着物の除去を実施するものであり、外径φ30mmの高圧ノズルを用いた。管内にノズルを挿入して高圧水を外周方向に噴射し、管内の付着物、堆積土砂等の洗浄を実施した。

洗浄工の概要を図9-12に示す。

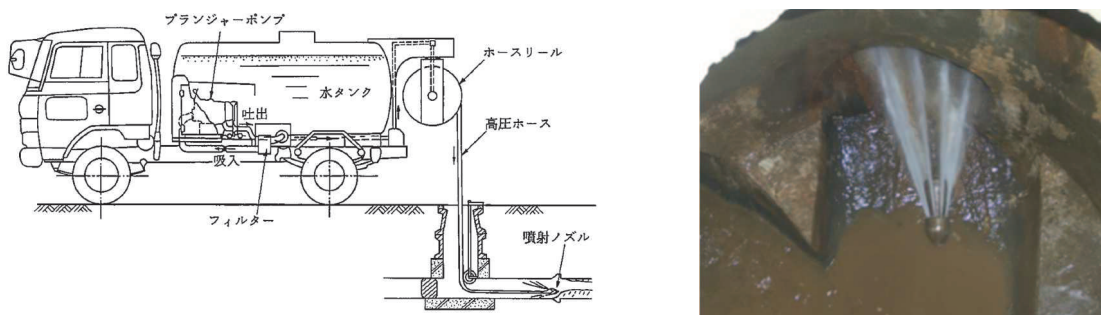


図9-12 高圧ノズルの外観及び洗浄工のイメージ（ヒューム管）

(3) 試験結果

ヒューム管の洗浄状況を図9-13に示す。

高圧ノズルにて管内の洗浄が可能であることを確認した。洗浄完了後、洗浄用治具を回収した。



図9-13 ヒューム管洗浄状況

(参考資料 10) 土木構造物における設計用地下水位の設定方法

1. 概要

土木構造物の設計用地下水位は、水位評価モデルを用いた 3 次元浸透流解析（定常解析）により得られた解析水位を参照し、これを上側に包絡するよう設定する方針としている。

本資料は、土木構造物の設計用地下水位の設定方法について、形状毎（箱形構造物・線状構造物）に整理したものである。

2. 設計用地下水位の設定方法

2.1 設計用地下水位の設定方針

設計用地下水位は、解析断面で参照する地下水位のうち、構造物側面や解析断面境界等の各点での最高水位を結んで保守的な設定とする。

2.2 箱形構造物の設計用地下水位の設定方法

箱形構造物の設計用地下水位は以下の方針にて設定する。設定方法のイメージを図 10-1 に示す。

- (a) 浸透流解析に基づく地下水位分布より、評価対象構造物と地盤の境界面における最高水位を読み取り、構造物側面の水位とする。
- (b) 構造物周辺の水位は、構造物側面の水位とその側方地盤の最高水位を結ぶ。
- (c) 側方地盤の地下水位が構造物から離れる方向に低下しても設計用地下水位は最高水位で一定とする。

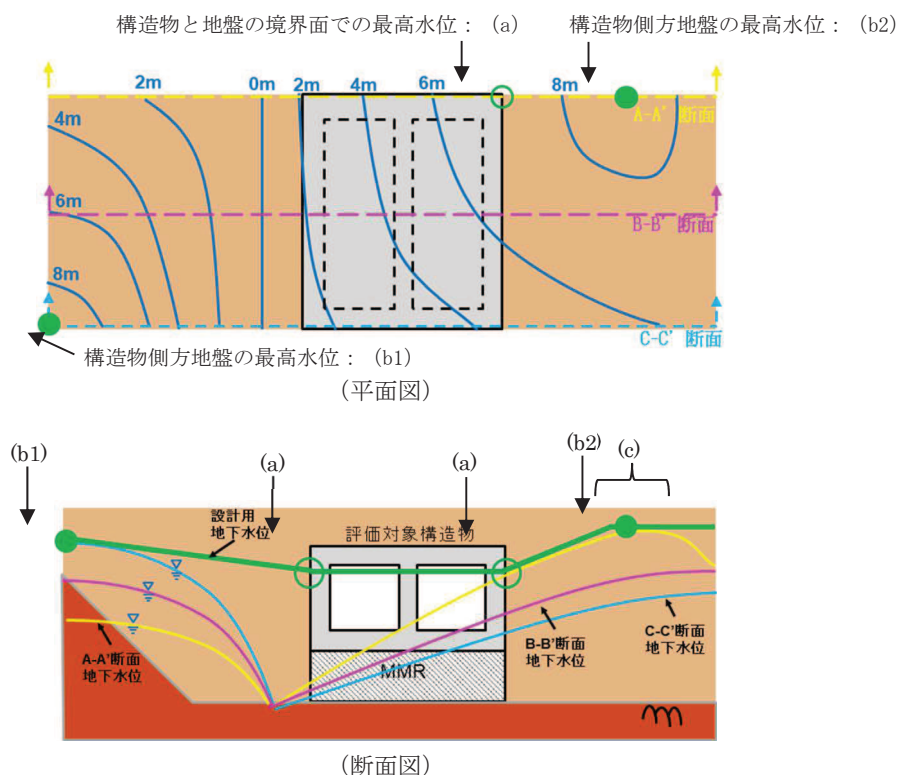


図 10-1 箱形構造物の設計用地下水位の設定例
(参考) 10-1

2.3 線状構造物の設計用地下水位の設定方法

長尺な線状構造物の設計用地下水位は以下の方針にて設定する。設定方法のイメージを図10-2に示す。

- (a) 浸透流解析に基づく地下水位分布より、縦断面図において断面選定を行う区間毎に最高水位を読み取り、同区間の構造物位置の水位とする。なお、区間の設定に当たっては、耐震評価断面選定を行う過程において、部材厚や内空断面等の構造的特徴がほぼ同一な区間について、周辺地質や隣接構造物等の周辺状況の観点等を踏まえて設定する。
- (b) 構造物周辺の水位は、横断面における構造物位置の水位とその側方地盤の最高水位を結ぶ。
- (c) 周辺地盤の地下水位が構造物から離れる方向に低下しても設計用地下水位は最高水位で一定とする。

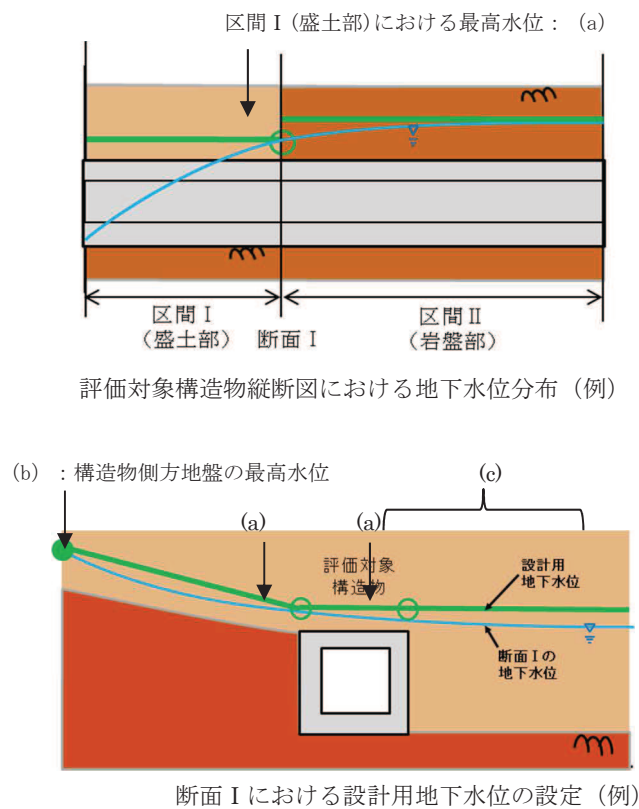


図10-2 線状構造物における設計用地下水位の設定方法例

(参考資料11) 降雨に対する設計用地下水位の余裕について

1. 概要

本資料では、設計用地下水位の降雨に対する余裕の確認を目的として実施した、⑥仮想豪雨評価モデルによる非定常解析結果と設計用地下水位の関係を図示したものである。

なお、仮想豪雨条件は72時間降雨量として450mm（150mm/日×3日、再現期間400年相当）として設定している。

2. 比較結果

2.1 建物・構築物

建物・構築物（地表面に設計用地下水位を設定している排気筒、緊急時対策建屋及び緊急用電機品建屋は除く）における、仮想的な豪雨条件を与えた解析での建屋周辺の地下水位分布を図11-1～図11-4に示す。

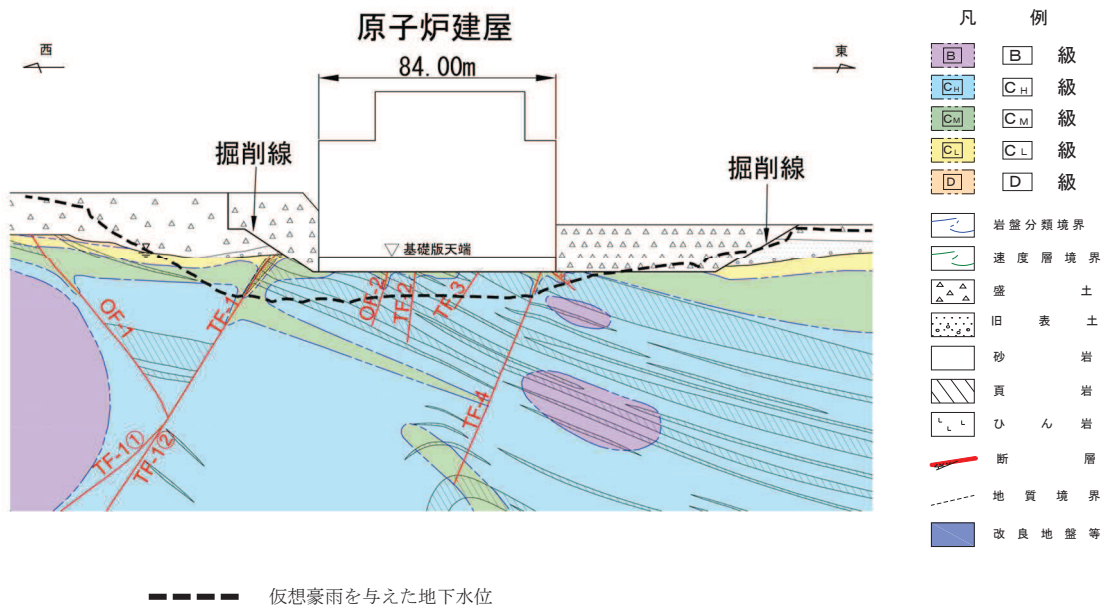


図 11-1 原子炉建屋における仮想豪雨を与えた地下水位分布(東西)

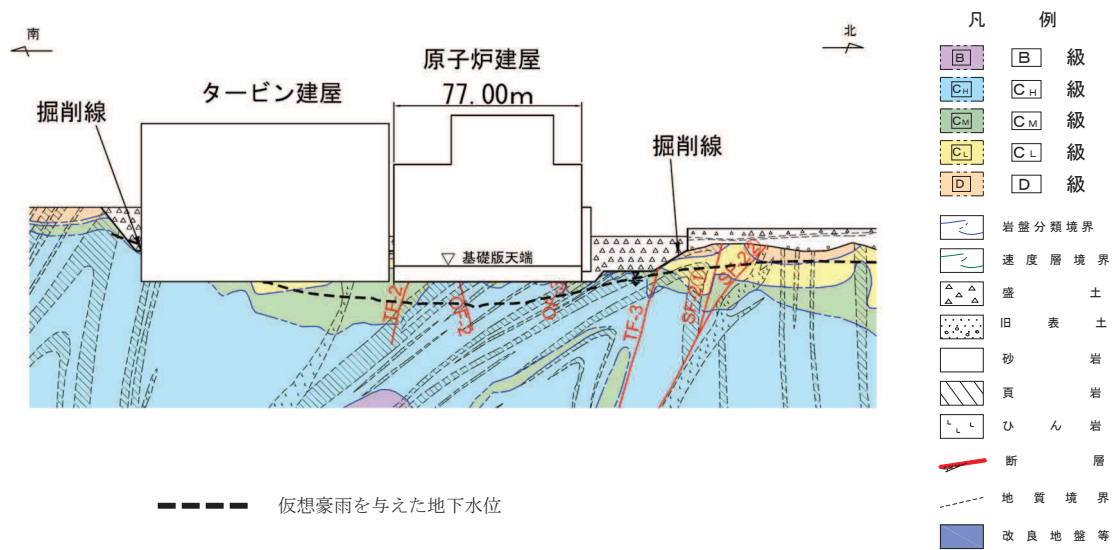


図 11-2 原子炉建屋における仮想豪雨を与えた水位分布(南北)