

滞留水移送装置の設計・確認の方針について

1. 設計方針

1.1 設置の目的

滞留水移送装置は、2.5.1.5.1 に示す汚染水処理設備等の設備構成のうち、移送ポンプ及びこれに付帯する設備を原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋に新たに設置することにより，建屋水位の制御性及び信頼性を向上させることで，滞留水の建屋外への流出を防止することを目的に設置する。

1.2 要求される機能

- (1) 原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋の滞留水を，プロセス主建屋等へ移送できること。また，上記建屋の水位を制御できること。
- (2) 原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋の水位を適切に監視できること。

1.3 設計方針

(1) 設備容量

原子炉の注水，雨水及び地下水の浸入等により各建屋に発生する滞留水に対して，十分対処可能な設備容量とする。

(2) 長期停止に対する考慮

滞留水移送装置のうちポンプ，配管，制御用水位計は，故障により設備が長期間停止することがないように，建屋ごとに2系列設置する。また，電源は，異なる2系統の所内高圧母線から受電可能な設計とする。

(3) 規格・規準

滞留水移送装置にて設置するポンプ，配管は，設計，材料の選定，製作及び検査について，発電用原子力設備規格設計・建設規格(JSME)，日本工業規格等^{※1}を適用することにより信頼性を確保する。

※1 「JIS Z 3801 手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」，「JIS Z 3841 半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」，「JIS Z 3040 溶接施工方法の確認試験方法」，「JWWA K 144 水道配水用ポリエチレン管」，「JIS G 3456 高温配管用炭素鋼鋼管」，「JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管」，「JIS A 8604 工事用水中ポンプ」

(4) 放射性物質の漏えい防止

滞留水移送装置は、液体状の放射性物質の漏えいを防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、滞留水移送装置には設置環境や内部流体の性状等の状況に応じた適切な材料を使用する。また、ポリエチレン管とポリエチレン管の接続部は、融着構造とすること基本とする。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合に備え、屋外の移送配管はトラフ内に設置するか二重管構造とし、屋内の移送配管のうち鋼管の接続部の周囲には堰等を設置することで漏えいの拡大を防止する。また、トラフ及び堰等の内部に漏えい検知器を設置し、漏えいの早期検出が可能な設計とする。
- c. 漏えい検知の警報は、免震重要棟に表示し、異常を確実に運転員に伝え、警報発生時にはポンプ停止措置がとれるようにする。なお、現場確認の上、誤報と確認された場合は運転を再開する。

(5) 放射線遮へいに対する考慮

滞留水移送装置は、放射線業務従事者が接近する必要がある箇所の空間線量率が数 mSv/h 以下となるよう、鋼材または鉛カーテン等により放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6) 誤操作の防止に対する考慮

滞留水移送装置は、運転員の誤操作、誤判断を防止するために、ポンプの手動操作等の重要な操作については、ダブルアクションを要する等の設計とする。

(7) 移送ポンプ誤動作に対する考慮

滞留水移送装置は、故障により誤動作を引き起こさない構成としているが、仮に移送ポンプの誤動作が発生した場合でも、次の各項を考慮することで早期検知が可能な設計とする。

- a. ポンプ起動水位になってもポンプが起動せず、更に水位が上昇した場合、警報が発報することで、検知可能な設計とする。
- b. ポンプ停止水位になってもポンプが停止せず、更に水位が低下した場合、警報が発報することで、検知可能な設計とする。

(8) 検査可能性に対する設計上の考慮

滞留水移送装置は、適切な方法で検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等の検

査が可能な設計とする。

(9)設備保全に対する考慮

滞留水移送装置は、機器の重要度に応じた適切な保全が実施可能な設計とする。

(10)監視・操作に対する考慮

滞留水移送装置は、免震重要棟において計器の監視、警報発報及び遠隔操作が可能な設計とする。

(11)凍結に対する考慮

滞留水を移送している過程では、配管に水が流れているため凍結の恐れはない。滞留水の移送を停止した場合、屋外に敷設されているポリエチレン管等は、凍結による破損が懸念されるため、保温材等を取り付けて凍結防止を図る。なお、保温材は、高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し、凍結しない十分な厚さを確保する。

保温材厚さの設定の際には、JIS A 9501 に基づき、震災以降に凍結事象が発生した外気温 -8°C 、内部流体の初期温度 5°C 、配管口径 75A 相当に対して保温材厚さ 13mm の条件において、内部流体が 25%※凍結するまでに十分な時間（12 時間程度）があることを確認した。なお、震災以降の実測データから、外気温 -8°C が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を 25%以下と推奨

(12)紫外線に対する考慮

屋外に敷設されているポリエチレン管は、紫外線による劣化を防止するため、紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材又は被覆材を取り付ける。

(13)腐食に対する考慮

耐圧ホースの材料であるポリ塩化ビニル及び EPDM 合成ゴム、及びポリエチレン管については耐腐食性に優れていることを確認している。炭素鋼については、長期に渡る健全性維持のため、ポリエチレンによる内面ライニングを施した配管を使用する。

(14) 生物汚染

滞留水移送装置の移送ポンプの取水口には、メッシュを設けており、大きな藻等がポンプ内に浸入して機器を損傷させるようなことはない。

また、滞留水を移送している上では有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。ただし、異常な速度で腐食が進み漏えいが生じた場合において、微生物腐食が原因で

あると判明すれば、生物汚染を考慮した対策を講じる

(15)耐放射線性

滞留水移送装置に使用する耐圧ホースの材質はポリ塩化ビニル及びEPDM合成ゴムである。ポリ塩化ビニルの放射線照射による影響は、 $10^5\sim 10^6\text{Gy}$ の集積線量において、破断時の伸びの減少等が確認されている。過去の測定において、2号機タービン建屋の滞留水表面上の線量当量率が 1Sv/h であったことから、耐圧ホースの照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間(11.4年)と評価される。EPDM合成ゴムの放射線照射による影響は、 10^5Gy まで照射されても有意な材料特性の変化は確認されていない。耐圧ホースの照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間(11.4年)と評価される。このため、耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響により大きく劣化することはないと考えられる。

ポリエチレンは、集積線量が $2\times 10^5\text{Gy}$ に達すると、引張強度は低下しないが、破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、 $2\times 10^5\text{Gy}$ に到達する時間は 2×10^5 時間(22.8年)と評価される。そのため、ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

1.4 主要な機器

滞留水移送装置は、主に移送ポンプ、移送配管、水位計で構成する。

なお、水位計については以下の考えに基づき設置する。

- ・制御用水位計：設置エリアの水位の確認を行う他、移送ポンプの制御を行う。
- ・監視用水位計：設置エリアの水位の確認を行い、局所的な水の滞留を監視する。

各建屋の滞留水は、移送ポンプにより、プロセス主建屋等に移送することにより水位調整を行う。なお、移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋の水位を考慮し実施する。

1.5 自然災害対策等

(1)津波

滞留水移送装置は、仮設防潮堤内に設置し、アウトターライズ津波による浸水を防止する。また、アウトターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際は、移送ポンプを停止し、汚染水の流出を防止する。なお、津波による配管損傷があった場合でも、移送ポンプを停止することで、汚染水の漏えいは限定的なものとなる。

(2)強風（台風・竜巻）

滞留水移送装置は、基本的に建屋内に設置し、屋外に配管を設置する場合はトラフを

アンカにより固定するため、強風により損傷の可能性は低い。

(3) 豪雨

滞留水移送装置の屋外配管は、トラフ内に設置するか二重管構造とし、雨水の浸入を防止する構造とする。雨水が浸入した場合は、漏えい検知の警報が発報し、運転員が適切な措置をとれるようにする。

(4) 火災

滞留水移送装置は、火災発生防止および火災の影響軽減のため、実用上可能な限り不燃性または難燃性材料を使用するとともに設備周辺からは可能な限り可燃性を排除する。また、初期消火の対応が出来るよう、設備近傍に消火器を設置する。なお、火災発生は、火災報知器による検知可能な設計とする。

2. 滞留水移送装置の構造強度及び耐震性評価

2.1 構造強度

滞留水移送装置の移送配管のうち鋼管およびポリエチレン管は「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME 規格)、日本工業規格 (JIS 規格)、日本水道協会規格 (JWWA 規格) 等に準拠する。耐圧ホースについては、製造者仕様範囲内の圧力および温度で運用することで構造強度を有すると評価する。

2.2 耐震性

滞留水移送装置を構成する主要機器のうち、配管類 (鋼管) の耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠して構造強度評価を行う。また、耐圧ホース、ポリエチレン管は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

別紙

- (1) 滞留水移送装置の構造強度及び耐震性について
- (2) 滞留水移送装置に係る確認事項について
- (3) 建屋滞留水の水位設定について

以上

滞留水移送装置の構造強度及び耐震性について

滞留水移送装置を構成する設備について、構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性の評価を行う。

1. 基本方針

1.1 構造強度の基本方針

滞留水移送装置のうち、鋼材を使用している鋼管については、「JSME S NC-1 発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」のクラス3機器に準拠して評価を行う。

ポリエチレン管は、日本水道協会規格等に準拠したものを適用範囲内で使用することで、構造強度を有すると評価する。また、耐圧ホースについては、製造者仕様範囲内の圧力および温度で運用することで構造強度を有すると評価する。

1.2 耐震性評価の基本方針

滞留水移送装置を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置付けられる。鋼管については、定ピッチスパン法で評価されるサポート間隔とする。

なお、耐圧ホース、ポリエチレン管は、可撓性により耐震性を確保する。

2. 評価結果

2.1 構造強度評価

2.1.1 主配管（鋼管）

強度評価箇所を図-1に示す。

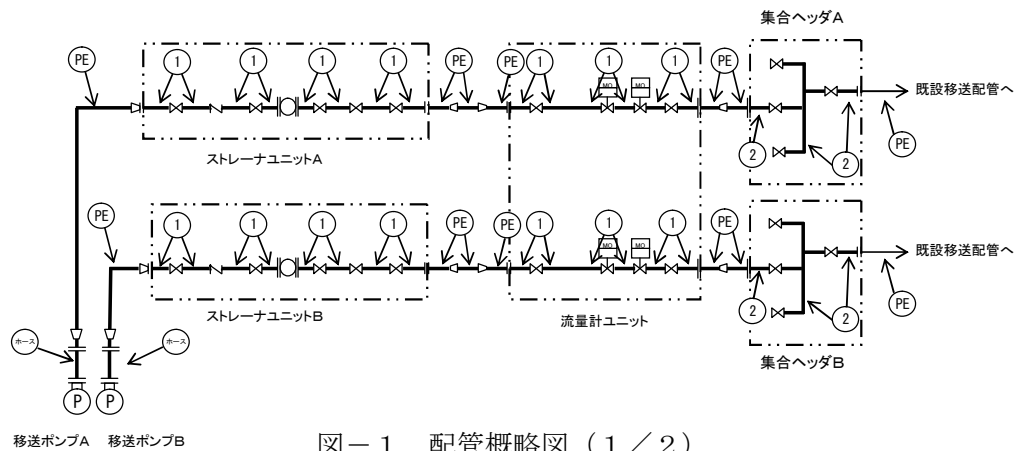


図-1 配管概略図（1 / 2）

（1号機 R/B, T/B 4号機 R/B, T/B, Rw/B）

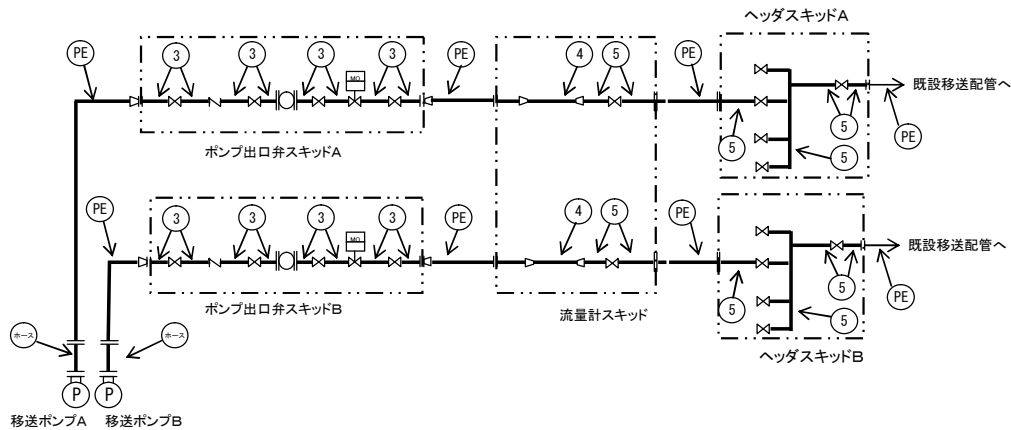


図-1 配管概略図 (2/2)

(2号機 R/B, T/B, Rw/B 3号機 R/B, T/B, Rw/B)

2.1.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t : 必要厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_o : 管の外径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率

b. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ : t_r

設計・建設規格 PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた値

2.1.3 評価結果

評価結果を表-1に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有していると評価している。

表-1 配管の評価結果 (管厚)

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	60.50	STPT410	0.96	40	2.40	4.81
②	114.30	STPT410	0.96	40	3.40	5.25
③	60.50	STPG370	0.96	40	2.40	3.40
④	89.10	STPG370	0.96	40	3.00	4.81
⑤	114.30	STPG370	0.96	40	3.40	5.25

2.2 耐震性評価

2.2.1 移送ポンプ

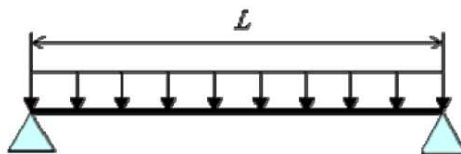
移送ポンプは、水中ポンプのため地震により有意な応力は発生しない。

2.2.2 主配管（鋼管）

配管支持の位置を決定するにあたっては、定ピッチスパン法により適正な支持間隔を確保する。定められた間隔で支持することにより、地震応力が過大とならないようにする。

a. 評価条件

評価条件として配管は、配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持の梁モデル（図－2）とする。



図－2 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

次に当該設備における主配管（鋼管）について、各種条件を表－2に示す。

表－2 配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）				
配管クラス	クラス 3 相当				
耐震クラス	B クラス相当 (水平震度 0.36)				
設計温度 [°C]	40				
配管材質	STPT410		STPG370		
配管口径	50A	100A	50A	80A	100A
Sch	80	40	40		
設計圧力 [MPa]	0.96				
配管支持間隔 [m]	4.5	5.9	4.0	4.9	5.6

b. 評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価する。

自重による応力 S_w は、下記の式で示される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z} \quad (1.1)$$

ここで S_w : 自重による応力 [MPa]
 L : 支持間隔 [mm]
 M : 曲げモーメント [N・mm]
 Z : 断面係数 [mm³]
 w : 等分布荷重 [N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 S_s は、自重による応力 S_w の震度倍で下記の式で示される。

$$S_s = \alpha \cdot S_w \quad (1.2)$$

S_s : 地震による応力 [MPa]
 α : 想定震度値 [-]

また、評価基準値として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 C_s におけるクラス 3 配管の一次応力制限を用いると、地震評価としては下記の式で示される。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha \cdot S_w = S_p + (1 + \alpha) \cdot S_w \leq 1.0 S_y \quad (1.3)$$

ここで、 S : 内圧，自重，地震による発生応力 [MPa]
 S_p : 内圧による応力 [MPa]
 S_y : 設計降伏点 [MPa]

c. 評価結果

両端単純支持はりモデルで、自重による応力 S_w が 20 [MPa] 以下となる配管サポート配置を仮定し、各応力を計算した結果を表-3に示す。表-3より、自重による応力 S_w を 20 [MPa] 以下となるようサポート配置を決定することで、配管は十分な強度を有するものと評価する。

表-3 応力評価結果

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	STPT410		STPG370		
配管口径	50A	100A	50A	80A	100A
Sch	80	40	40		
設計圧力 [MPa]	0.96				
内圧, 自重, 地震による発 生応力 S [MPa]	34	38	35	35	37
供用状態 C_s に おける一次応 力許容値 [MPa]	1.0 S_y =245	1.0 S_y =245	1.0 S_y =215	1.0 S_y =215	1.0 S_y =215

*参考として、Sクラス相当（水平震度 0.72）の評価を行った場合でも、 $S=41, 45, 42, 42, 44$ [MPa] となり、一次許容応力を下回る。

以上

滞留水移送装置に係る確認事項について

滞留水移送装置の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－１～５に示す。

表－１ 確認事項（移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認※ ¹	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	所定の箇所に設置されていることを確認する。	実施計画のとおり設置されていること。
	漏えい確認※ ²	—	—

※¹ 現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

※² 建屋滞留水移送ポンプについては、建屋地下の滞留水中に設置されており、漏えい確認が困難である。従って、性能確認での通水確認の判定基準を満足することをもって、漏えい確認の代替とする。

表-2 確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径, 厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ^{※1}	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ^{※1}	配管の据付状態を確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ^{※1}	設計・建設規格で定められる圧力を保持した後, その圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後, 耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧検査：検査圧力に耐え、かつ、異常のないこと。 漏えい検査：耐圧部からの漏えいがないこと。

※1 現地では実施可能な範囲とし, 必要に応じて記録を確認する。

表-3 確認事項（主配管（PE管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ^{※1}	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ^{※1}	配管の据付状態を確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ^{※1, ※2}	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	耐圧検査：検査圧力に耐え、かつ、異常のないこと。 漏えい検査：耐圧部からの漏えいがないこと。

※1 現地では実施可能な範囲とし, 必要に応じて記録を確認する。

※2 ろ過水が通水可能な既設配管との取合部及び現地で施工するフランジ部は, 耐圧・漏えい検査の代替として, ろ過水による漏えい検査を実施する。また, ろ過水を通水できない現地で施工するフランジ部については, 適切に締め付けられていることを確認する。

表-4 確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について、納品書等に添付されている図面、カタログ等により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した寸法について、納品書等に添付されている図面、カタログ等により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ^{※1}	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ^{※1}	配管の据付状態を確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ^{※1}	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	耐圧検査：検査圧力に耐え、かつ、異常のないこと。 漏えい検査：耐圧部からの漏えいがないこと。

※1 現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表-5 確認事項（滞留水移送装置（各追設設備（移送配管、移送ポンプ）））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
性能	通水・流量確認	追設した各ポンプからプロセス主建屋までのラインを構成し、ポンプを起動し通水できること。	12m ³ /h 以上の容量を通水できること。 移送先（プロセス主建屋）において通水ができていること。

表一6 確認事項（漏えい検知器，警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認※ ¹	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※ ¹	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
機能	漏えい警報確認※ ¹	「漏えい」※ ² の信号により，警報が発生する事を確認する。	「漏えい」※ ² の信号により，警報が発生すること。

※1 現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※2 漏えい検知器により信号名称は異なる。

表一7 確認事項（水位計）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認※ ¹	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※ ¹	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
機能	監視機能確認	「水位高高」※ ² の信号により，警報が発生することを確認する。	「水位高高」※ ² の信号により，警報が発生すること。
		「水位差小」※ ² の信号により，警報が発生することを確認する。	「水位差小」※ ² の信号により，警報が発生すること。

※1 現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※2 水位計により信号名称は異なる。

以上

建屋滞留水の水位設定について

「添付資料 - 16 滞留水移送装置の設計・確認の方針について」のうち、「1.2 要求される機能」において、滞留水移送装置を自動で運転する場合の具体的な水位設定を以下に示す。

- (1) 建屋滞留水の管理上限目標値を設定し、滞留水水位が管理上限目標値を上回らないよう、ポンプ起動バックアップ位置（HH 値）およびポンプ起動位置（H 値）を定める。建屋滞留水のポンプ起動バックアップ位置（HH 値）は、「管理上限目標値 - （計器誤差に裕度を見込んだ 200mm + 塩分補正值¹）」以下に設定する。また、ポンプ起動位置（H 値）は、「HH 値 - 大雨時の建屋水位上昇量 200mm」以下に設定する。なお、水位監視に問題がないことを確認するため、全ての水位計について、適切な頻度（初回は 2 ヶ月目安）で点検等を実施し、計器誤差に裕度を見込んだ値を超えていないことを確認する。
- (2) 建屋滞留水の管理上限目標値およびサブドレンと建屋滞留水の水位差の運用目標は、「2.35 サブドレン他水処理施設 添付-11 サブドレン他水処理施設の具体的な安全確保策」に記載の通り。
- (3) 添付資料-16 に示される滞留水移送装置に警報が発生した場合、滞留水移送装置水位管理フロー（図 - 2）に基づき対応を行うことで、建屋滞留水の流出を防止する。
- (4) 監視用水位計設置箇所のうち、運用開始前に滞留水移送装置にて水位調整が可能と評価された箇所の水位が、運用開始後にポンプ設置箇所の水位と比較し偏差が確認された場合は、建屋内水位偏差管理フロー（図 - 3）に基づき対応を行う。

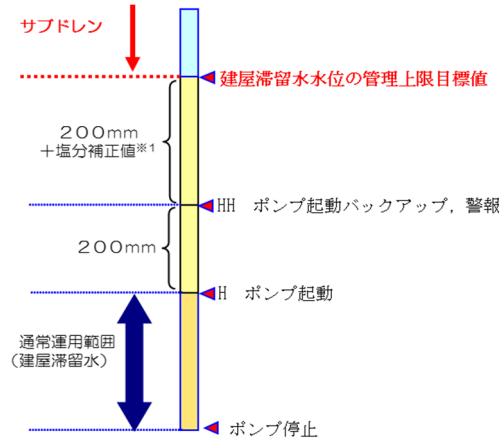


図 - 1 建屋滞留水の水位設定 ²

- 1 各建屋内滞留水の塩分濃度による比重を考慮した補正值を用いる。
- 2 滞留水移送装置にて水位調整が可能なエリアについては上記設定とし、水位調整不可能なエリアについては、個別に水位確認を行う（添付資料 - 2 1 参照）。

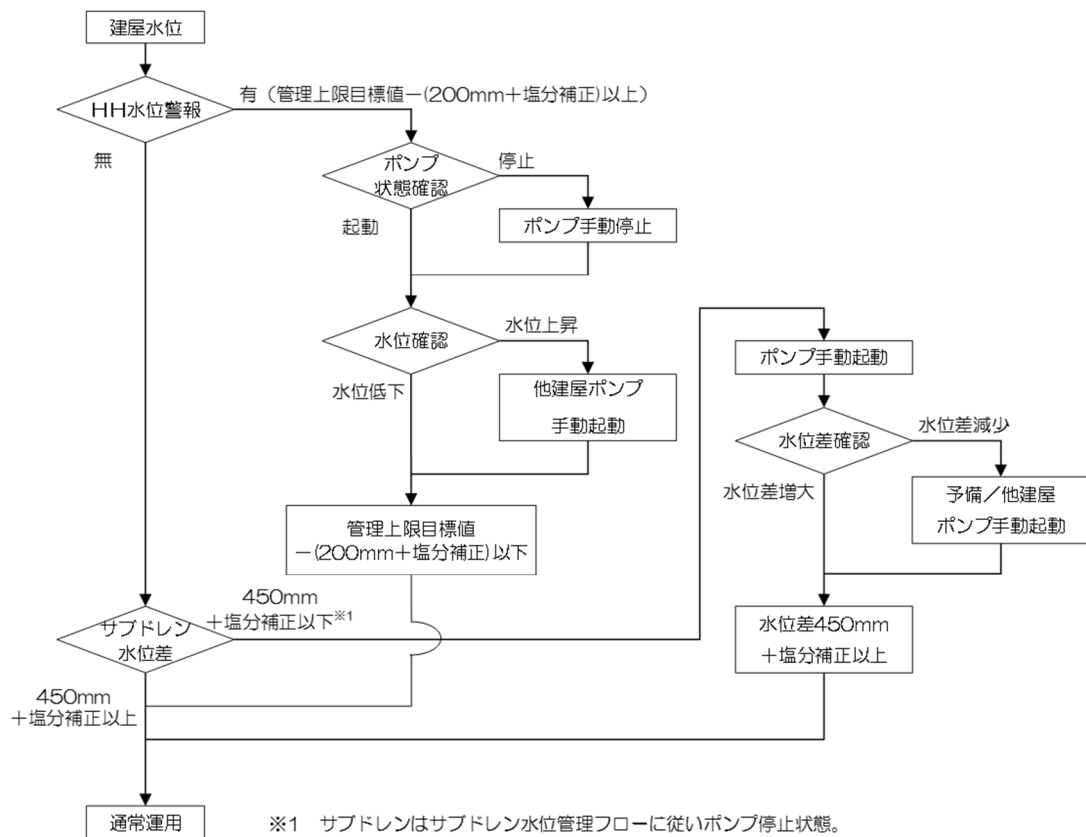
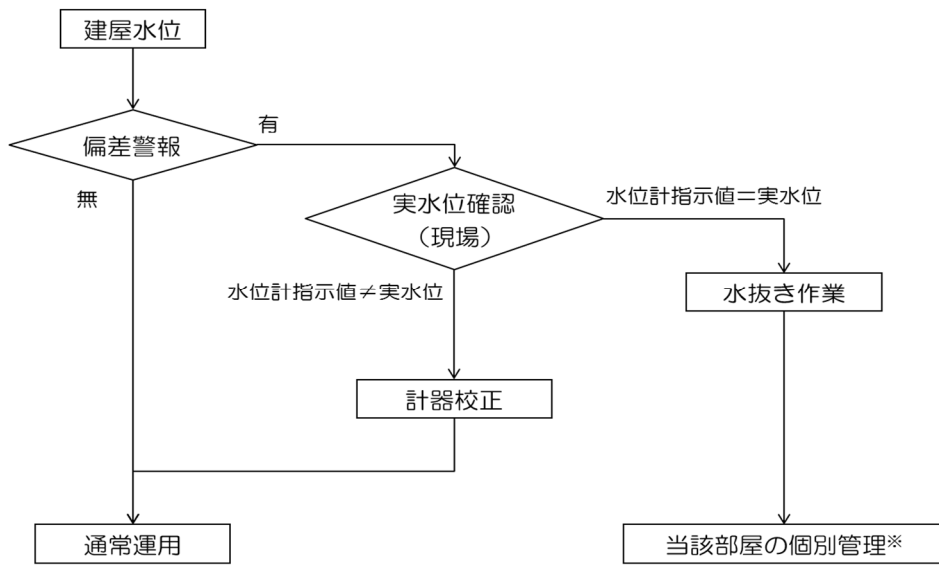


図 - 2 滞留水移送装置水位管理フロー



今後、滞留水移送装置にて水位調整不可能なエリアが発生した場合は、図-2 による対応は行わず、個別に水位確認を行う（添付資料-21 参照）。

図 - 3 建屋内水位偏差管理フロー