

東海第二発電所 止水壁排水設備の機能喪失時の対応について

東海第二発電所では、原子炉建屋、タービン建屋等の各建屋周辺地下部に止水壁及び止水壁排水設備を設置することで、各建屋周辺に流入する地下水を抑制するとともに、止水壁排水設備により排水することで、地下水位の上昇を抑えている。

止水壁排水設備の機能が喪失した場合には、流入する地下水によって地下水位が上昇することとなる。

ここで、最大日揚水量を考慮した地下水位上昇評価を行った結果、原子炉建屋の耐震性に影響を及ぼす地下水位（基礎盤底面 EL-9.0m）までの水位上昇に、おおよそ 55 日を要する結果となった。また、地震による止水壁の損傷を仮定し保守的な条件によって地下水位上昇評価を行った場合においても、上述の地下水位までの水位上昇に、おおよそ 16 日を要する結果となった。

これらの結果から、止水壁排水設備の機能が喪失した場合に代替措置を講じるまでの余裕は、外部支援が期待できる 7 日以上確保されていることとなる。このため、止水壁排水設備の機能が喪失した場合の代替措置は、運用及び管理にて対応することとし、運用及び管理については、保安規定に基づく社内規程に定めることとする。

止水壁排水ポンプ機能喪失時の地下水位の上昇について

1. 検討概要

図 1 に検討フローを示す。原子炉建屋周辺の地下水流動を軸対称の定常浸透流と見なし、モデル化し、現状の止水壁の透水係数を推定した。次に、止水壁排水ポンプが停止した場合に、止水壁外からの地下水の流入によって、地下水位が、原子炉建屋の耐震性に影響を及ぼさないレベルとして、原子炉建屋基礎盤下端に上昇するまでの猶予時間 T_{cp} を求めた。また、地震の影響により、止水壁の透水係数が現状の n 倍になると、止水壁を通過する流量も n 倍になると考え、そのときの猶予時間を (T_{cp}/n) として求めた。

検討の結果、排水ポンプが停止してから地下水位が原子炉建屋基礎盤下端まで上昇する時間は、止水壁が健全な状態でおおよそ 55 日、止水壁が地震の影響を受けた状態でおおよそ 16 日となった。

検討の詳細を以下に示す。

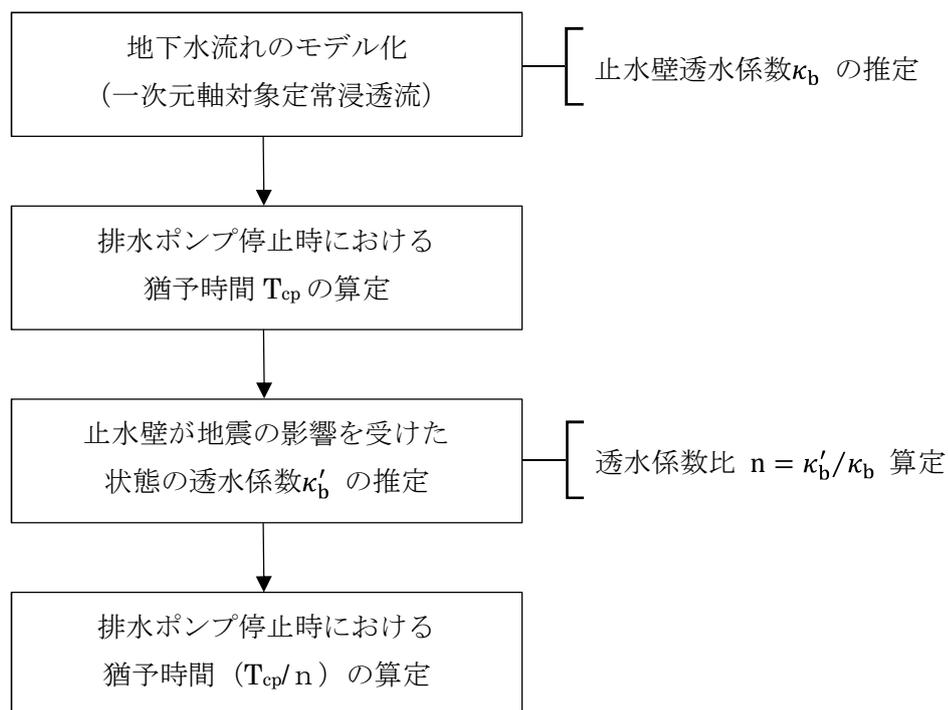


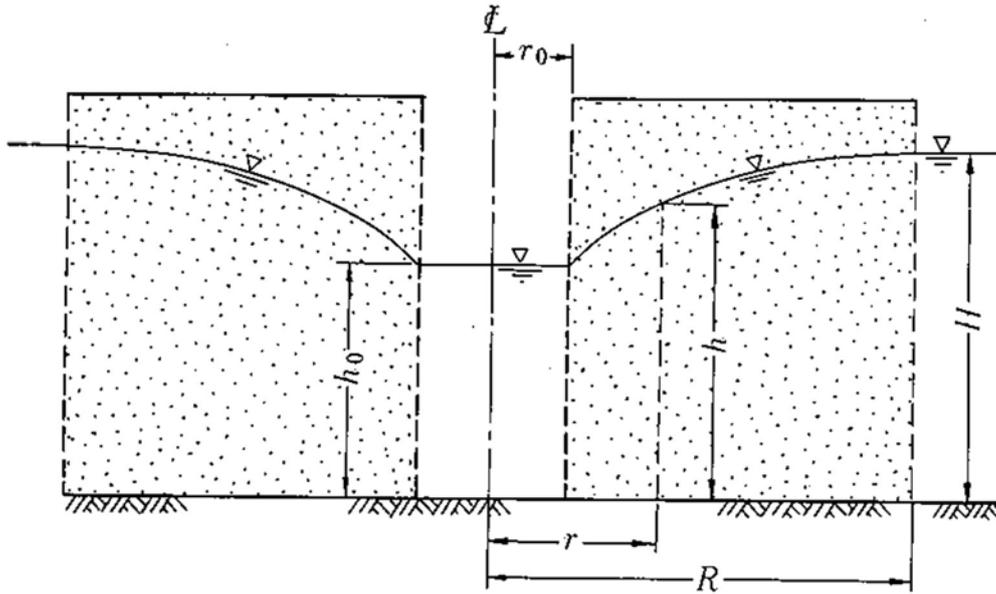
図 1 検討フロー

2. 地下水流れのモデル化

原子炉建屋周囲の止水壁排水設備から揚水している状況を，原子炉建屋中心からの距離 r_0 の径を持つ井戸から揚水している状況と同等と考え，検討を行った。

定常浸透流を仮定すると，揚水地点からの排水総流量は，次式 1 で求められる。

$$Q = \frac{\pi k(H^2 - h_0^2)}{\ln(R/r_0)} \quad \dots \text{式 1}$$



(社)地盤工学会 編：根切り工事と地下水—調査・設計から施工まで—
(現場技術者のための土と基礎シリーズ 19)，第 6 刷，417p.，2002.

図 2 定常浸透流地盤モデル

ここに， Q は排水総流量， k は地盤の透水係数， H ， h_0 は，それぞれ中心からの距離 R ， r_0 における地下水位である。

式 1 中の R は，図 3 に示す原子炉建屋及び廃棄物処理建屋の周りの止水壁で囲まれた領域の等価半径として， r_0 は集水管で囲まれた矩形領域の等価半径として，それぞれ設定した。

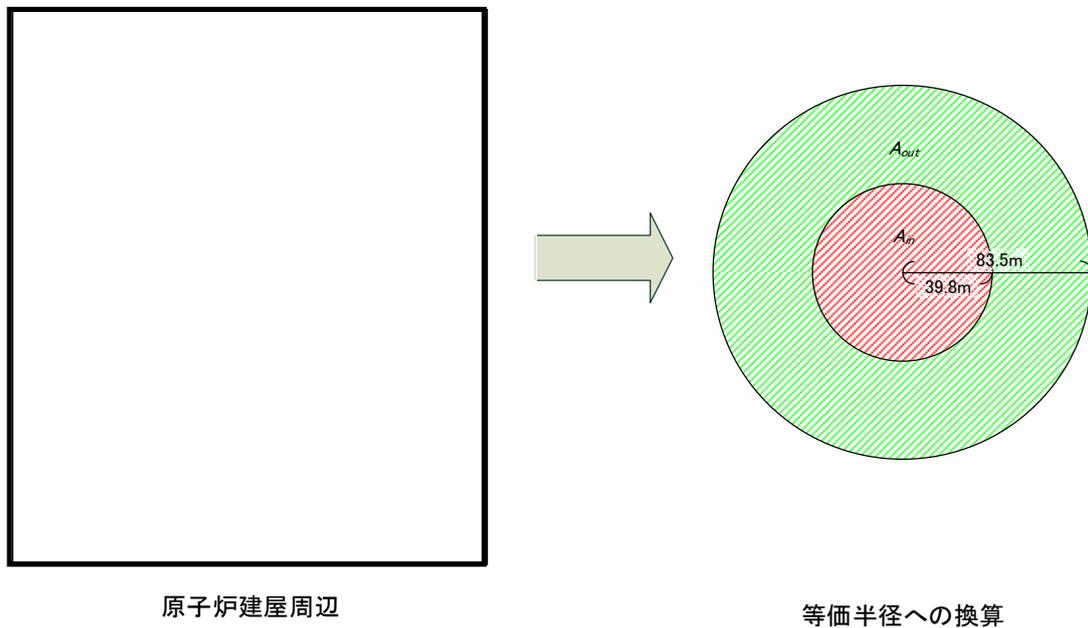


図3 等価半径の設定方法

止水壁内側の地盤の透水係数 k_f は、du層を対象とした揚水試験の結果から、 3.23×10^{-2} cm/sとした。

止水壁内側の透水係数 k_f と、排水ポンプの最大日揚水量 $Q = 230\text{m}^3/\text{day}$ より、止水壁位置（内側）の地下水位 H_b はEL. -13.79mとなる。ここで、 h_0 は図4より、排水ポンプ停止水位であるEL. -15.2mとした。

止水壁の厚さ 0.6m を考慮した止水壁等価半径 R_0 及び止水壁外側の地下水位 EL. +1.5m より止水壁の透水係数は $k_b = 2.24 \times 10^{-6}$ cm/s となる。なお、一般的な水密コンクリートの透水係数は、水セメント比 0.45~0.75 で、 $10^{-12} \sim 10^{-10}$ cm/s である。

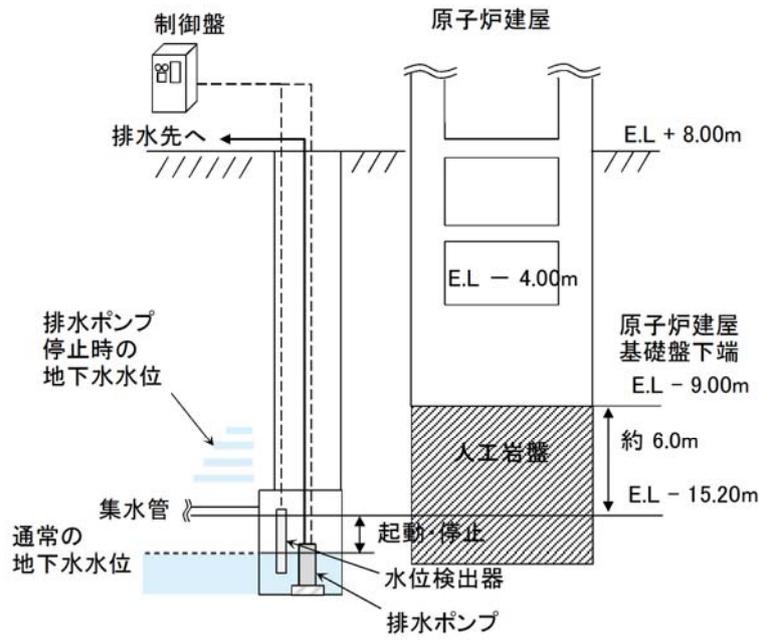


図4 地下水水位と原子炉建屋との相関図

3. 止水壁排水ポンプ停止時における地下水位上昇について

現状で排水ポンプが停止した場合に、原子炉建屋基盤近傍の地下水位が許容水位まで上昇するまでの猶予時間 T_{cp} を求めた。止水壁の通過流量については保守的に最大日揚水量 Q とし、かつ一定とした。

止水壁内の地下水位と、許容地下水位との関係を図に示す。許容地下水位は、原子炉建屋基礎盤下端 EL. -9.0m とした。

図 5 中の地下水面、原子炉建屋基盤の側面、許容地下水位及び止水壁内側で囲まれた部分の体積（青線と橙色の線で囲まれた領域； V_s ）の土壌の空隙を、 Q が満たすのに要する時間 T_{cp} として、 $T_{cp} = \epsilon V_s / Q$ より求めた。 ϵ は土壌の空隙率であり、du 層の保水性試験の結果から、保守的な値として 15% とした。

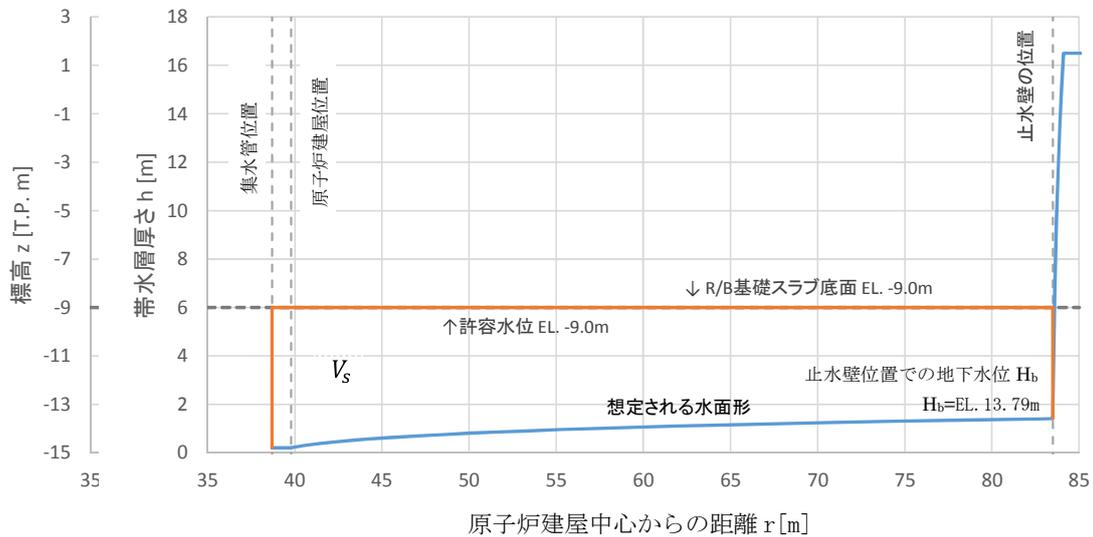


図 5 現状の想定地下水面形と境界位置及び許容地下水位との位置関係

図 5 中の V_s は数値積分により 84871m^3 が求められ、 $\epsilon = 15\%$ 、 $Q = 230\text{m}^3/\text{day}$ から、猶予時間 T_{cp} は $\epsilon V_s / Q = 55.4$ 日となる。

4. 地震により止水壁が影響を受けた場合の地下水位の上昇について

止水壁は、厚さ 0.6m、幅約 6m の鉄筋コンクリートのブロックを 114 枚接続した構造である。止水壁の構造図を別紙に示す。

止水壁には周囲の土圧及び水圧が作用することから、地震後に大きな残留変形が生じないと考えられるが、ここでは、地震により、止水壁の打継部（114ヶ所）すべてが幅 1mm で縦に開口したと仮定した。地震後の止水壁の等価透水係数(k'_b)は次式 2 を用いて算出した。

$$k'_b = \sum k_i L_i / \sum L_i \quad \dots \quad \text{式 2}$$

ここに、 k_i は透水係数、 L_i は通水断面に占める割合である。

上式より、 $k'_b = 7.47 \times 10^{-6}$ cm/s が得られる。これは地震前の止水壁の透水係数の 3.33 倍に相当することから、地震後の止水壁を通過する地下水流量も 3.33 倍になると考え、そのときの地下水位が許容地下水位まで上昇する時間 (T_{cp}/n) を求めた。

以上より、地震後の地下水の流入量 Q' は、766m³/day である。また、(T_{cp}/n) = 16.6 日である。



添付 1-7

8.4 地下水による影響評価

防護すべき設備を内包する原子炉建屋，廃棄物処理建屋等の周辺地下部に図 8.4-1，図 8.4-2 に示すように止水壁及び排水設備（サブドレン）を設置しており，同設備により各建屋周辺に流入する地下水位の上昇を防止している。地震によりすべての排水ポンプが同時に機能喪失することを想定し，その際の排水不能となった地下水が防護すべき設備に与える影響について評価を行った。

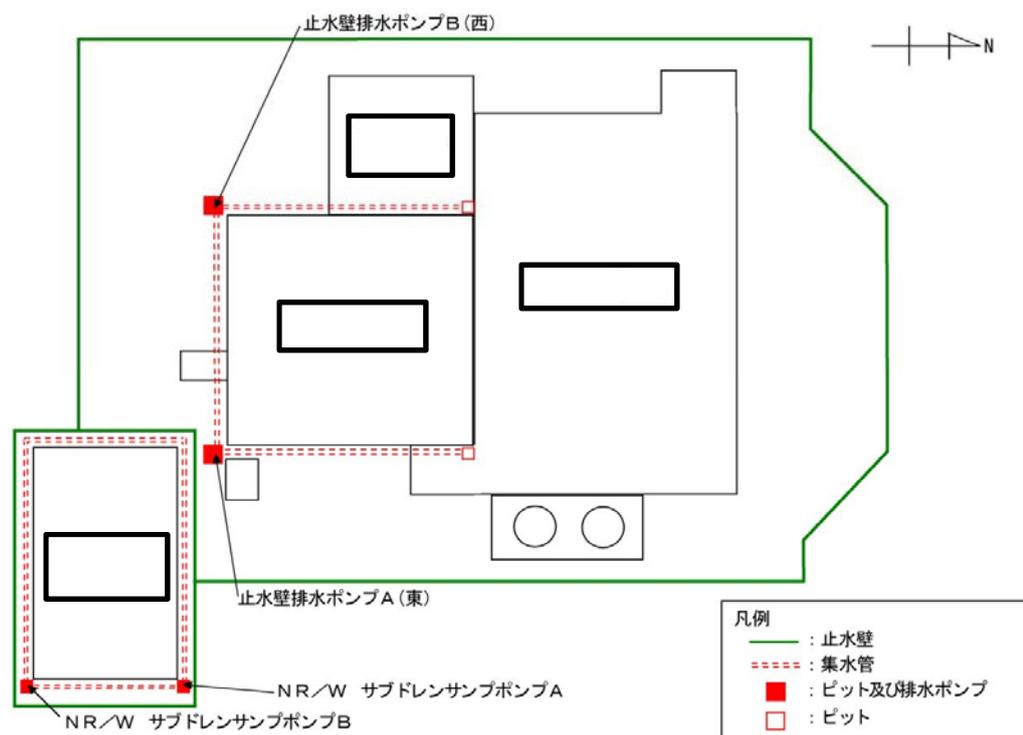


図 8.4-1 サブドレン概要図

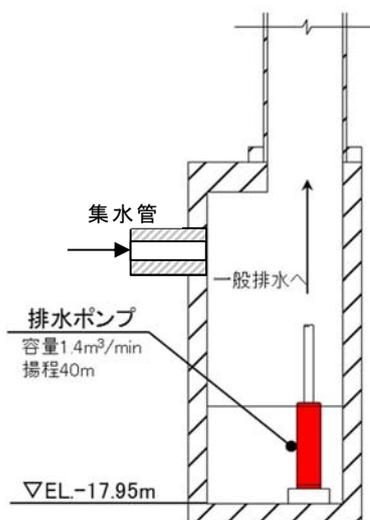


図 8.4-2 止水壁排水ポンプ B（西）及び立坑概要図

(1) サブドレンの排水方法について

サブドレンは、ピット及び排水ポンプより構成され、ピット間は配管で相互に接続されているため、一箇所の排水ポンプが故障した場合でも、他のピット及び排水ポンプにより排水することができる。また、地震によりポンプ電源が喪失した場合は、一時的な水位上昇のおそれがあるが、仮設分電盤及び仮設ポンプを常備していることから排水は可能となっている。

(2) 建屋周辺に流入する地下水量評価

過去（平成 25 年度）のサブドレンによる排水実績調査によると、年間を通じて季節による変動はあるが、1 日当たり最大で約 200 m³ 程度の流入が想定される。詳細を表 8.4-1 に示す。仮に 7 日間排水作業が実施できないとして、建屋周辺で約 1500 m³ 程度の流入を考慮した場合でも有意な水位上昇とはならない。また、保守的に止水壁がないと想定した場合でも、建屋周囲の地下水位は周辺の地下水位と平衡した水位（原子炉建屋設置位置で約 T.P. +1.5 m）で上昇が止まるものと考えられる。これを保守的に地表面（T.P. +8.0 m）までの上昇とした場合は、建屋最下層（T.P. -4.0 m）での水位は、約 12 m 相当となる。

建屋地下部の配管等の貫通部における止水処置は、地下水位が地表面まで上昇した場合でも維持可能な設計とする。

(3) 影響評価

地下水の溢水防護区画への浸水経路としては、建屋外壁地下部における配管等の貫通部の隙間及び建屋間の接合部が考えられるが、これら浸水経路に対して止水処置を行っており、地下水が防護区画内に浸水することはない。

以上より、地震によりサブドレンが機能喪失した際に生じる建屋周辺に流入する地下水は、防護すべき設備に影響を与えることがないものと評価する。

止水壁排水設備の機能喪失時の対応について

止水壁排水設備の機能喪失を検知した際は、発電所内に確保している可搬型排水ポンプを地下排水上屋に運搬・設置し、排水機能の復旧を図る運用及び管理を定める。

(1) 可搬型排水ポンプを用いた対応の適応範囲

集水ピットの水位が管理レベルを超えて上昇したことを検知した場合には、可搬型排水ポンプによる排水対応を行う。

(2) 止水壁排水設備の異常の検知

通常時は1日1回の巡視により、また、地震発生時は発生後の巡視により設備の異常の検知はできる。

(3) 対応に必要な資機材

止水壁排水ポンプと同等の排水能力を有する可搬型排水ポンプを確保する。また、排水に係るホース、電源ケーブル及び資機材の運搬・設置に必要な台車やチェーンブロック等の資機材についてもあらかじめ確保する。

(4) 地下排水上屋へのアクセス性

可搬型排水ポンプを設置する地下排水上屋は、アクセスルートの近傍にあり、容易にアクセスが行える。また、地下排水上屋の周囲は開けており、資機材の設置スペースもあることから、容易に資機材の展開が行える。

(5) 可搬型排水ポンプの設置に係る要員と所要時間

作業実績より、5名の要員で可搬型排水ポンプの設置することが可能。対応要員を招集し、可搬型排水ポンプの設置、排水開始までにかかる時間は6時間程度と評価している。

以 上

添付 2-補足 可搬型排水ポンプ及び資機材による排水対応について

可搬型排水ポンプ及び資機材による排水対応について

1. 流入する地下水量と地下水位

- ・ 集水ピットに流入する地下水量は、止水壁排水ポンプの運転実績から 1 日当たり最大で約 230m³ (ポンプ定格流量: 84m³/h。運転時間にして約 2 時間 44 分) となる。止水壁が健全な場合は、最大の流量においても本運転実績にて止水壁内の地下水位を低い状態に維持できる。
- ・ 止水壁排水設備が機能を喪失した場合、止水壁が健全な状態で原子炉建屋基礎盤下端まで地下水位が上昇するには、おおよそ 55 日を要すると評価している。

また、地震による止水壁の損傷を仮定し保守的な条件によって地下水位上昇評価を行った場合においても、原子炉建屋基礎盤下端まで地下水位上昇するには、おおよそ 16 日を要すると評価している。

- ・ 止水壁排水設備の機能が喪失した場合には、代替措置として可搬型排水ポンプを設置して流入する地下水を排水させ、地下水位の上昇を抑制させる。可搬型排水ポンプの設置は 6 時間程度で設置できることから、上述の時間内での対応には十分な時間的な余裕がある。

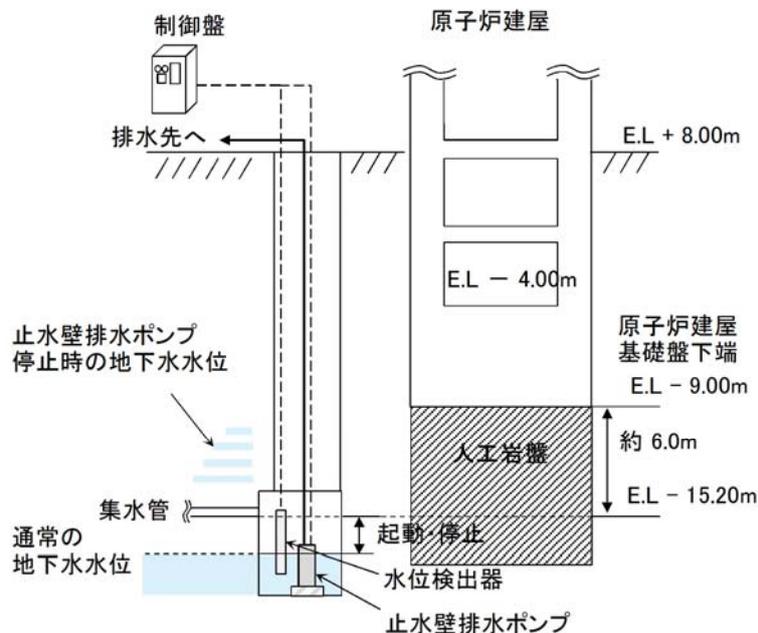


図1 地下水位と原子炉建屋との相関図

2. 可搬型排水ポンプ及び資機材による排水

- ・ 止水壁排水設備は原子炉建屋の東側及び西側に設置されており、集水ピット及び止水壁排水ポンプにより構成され、集水ピット間は集水管で相互に接続されている。
- ・ このため、東側及び西側のいずれかの止水壁排水設備の集水ピット内に可搬型排水ポンプを設置することで集水ピット内に流入した地下水は排水できる。
- ・ 可搬型排水ポンプは、止水壁排水ポンプと同等の排水能力のポンプを確保する。また、排水に係るホース、電源ケーブル及び資機材の運搬・設置に必要な台車やチェーンブロック等もあらかじめ用意しておく。
- ・ 非常用電源系の接続口を屋外に設置し、可搬型排水ポンプの動力源として活用する。(図2参照)

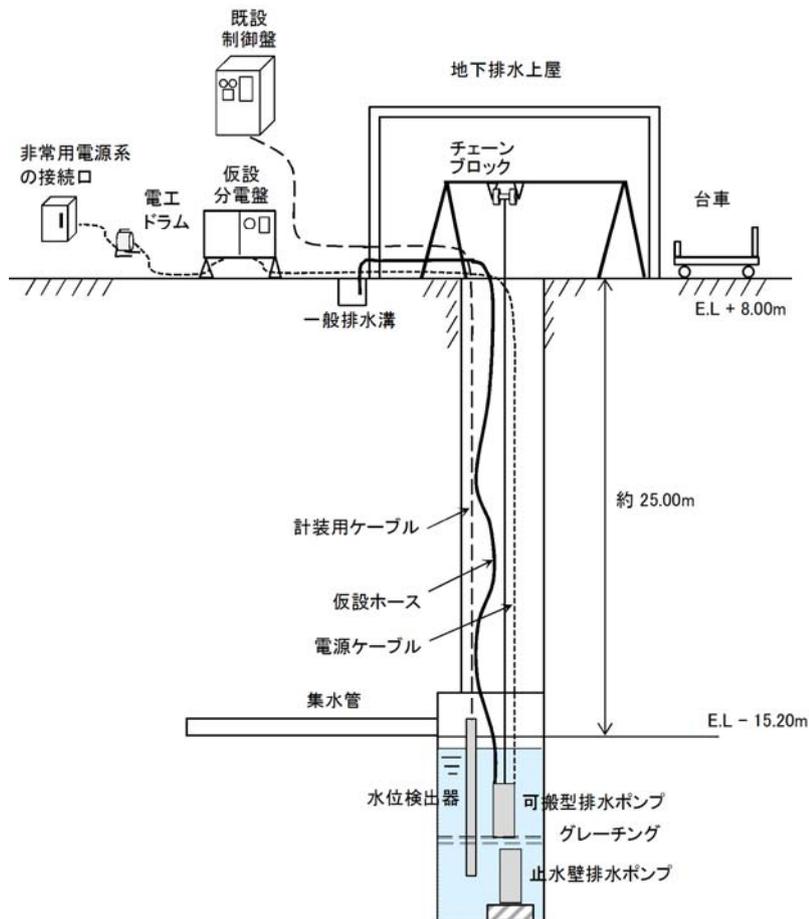


図2 可搬型排水ポンプの設置図 (イメージ図)

3. 可搬型排水ポンプ及び資機材の運搬及び保管場所

- ・止水壁排水設備が設けられている地下排水上屋は，アクセスルートの近傍にあることから，アクセス性に支障はない。(図3参照)
- ・地下排水上屋の周囲で可搬型重大事故等対処設備のホース及びケーブル等が展開された場合でも，地下排水上屋の周囲は開けており，可搬型排水ポンプの設置に係る資機材の展開スペースの確保は可能である。(図4参照)
- ・可搬型排水ポンプ及び資機材一式は，1セットを発電所内に確保する。
- ・可搬型排水ポンプ及び資機材の運搬には，重量物の運搬を考慮し，台車等をあらかじめ確保する。

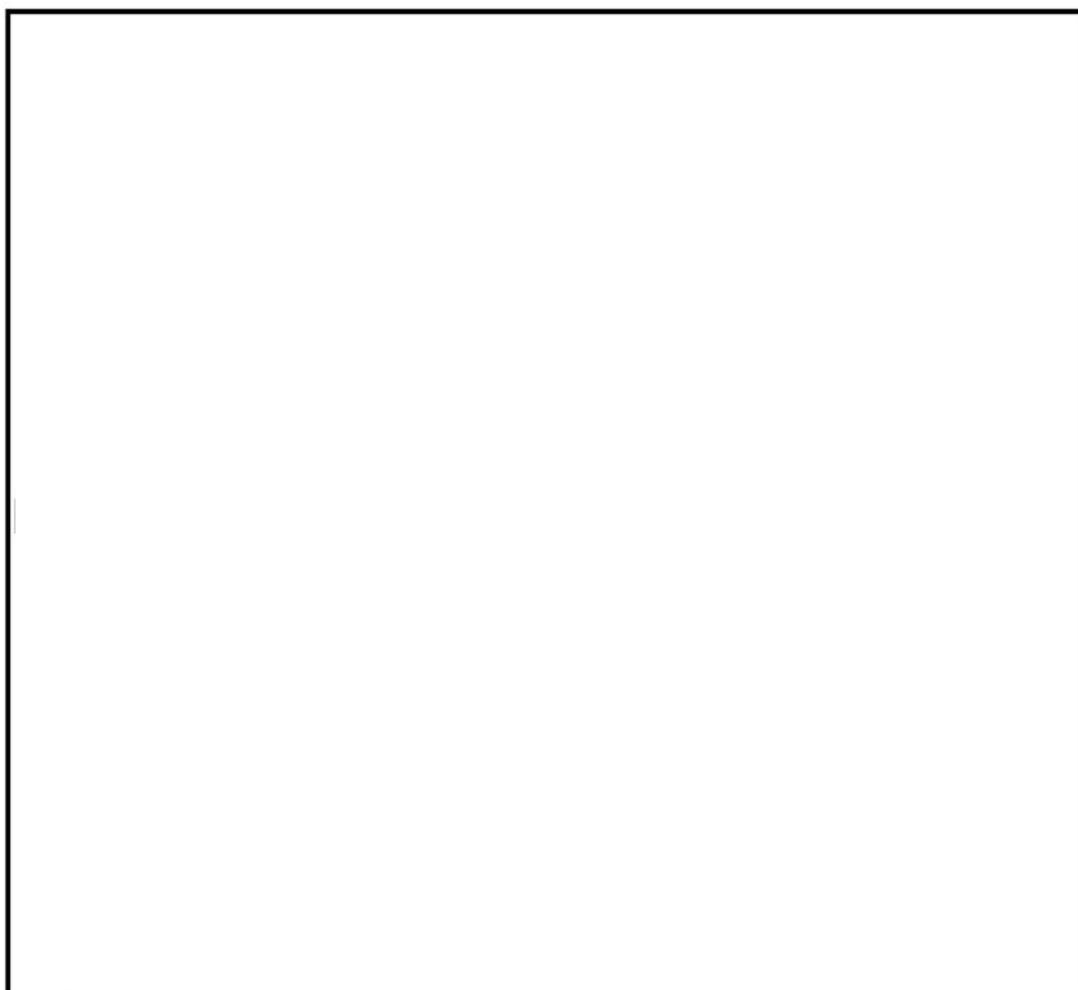


図3 地下排水上屋へのアクセスルート

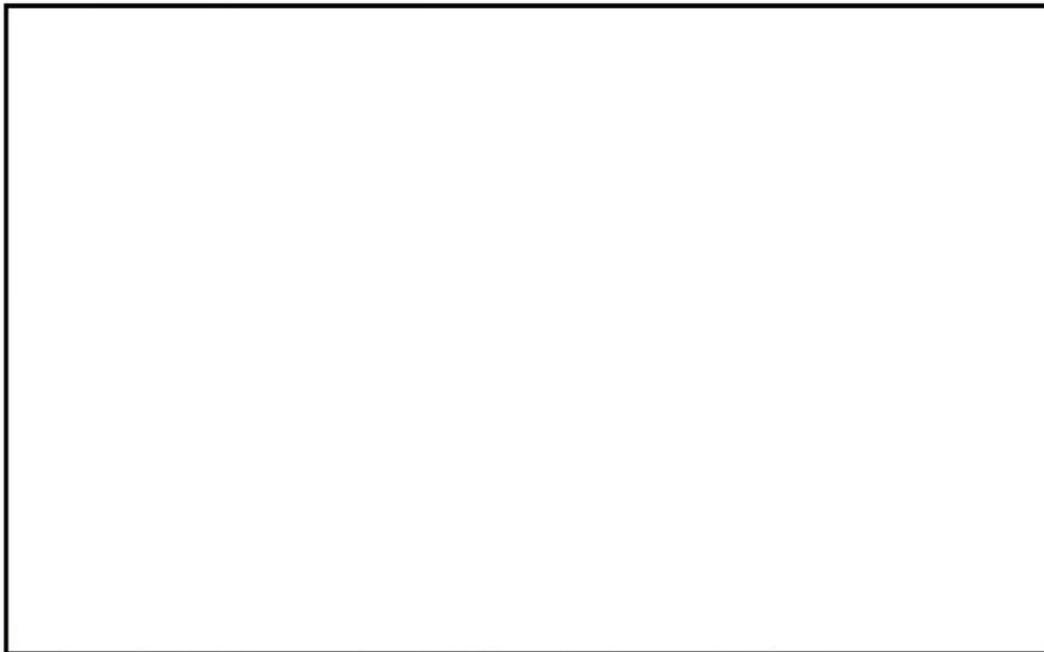


図4 可搬型排水ポンプ及び資機材の配置

4. 止水壁排水設備の異常の検知

- ・通常1日1回の巡視を実施しており，設備の異常は検知できる。
- ・地震発生時等は，現場の巡視を実施することになっており，設備の異常の検知はできる。

5. 可搬型排水ポンプの設置に当たる要員

- ・作業実績より，要員5名にて可搬型排水ポンプの設置は可能である。また，必要な要員を招集し，可搬型排水ポンプの設置，排水開始までの時間は6時間程度と評価している。(図5参照)

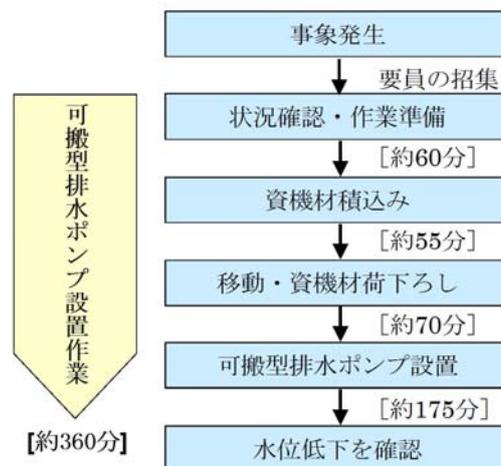


図5 可搬型排水ポンプの設置に係る対応の流れ

集水ピット等の地震時の健全性について

1. はじめに

止水壁排水ポンプの排水について、地震時にポンプ等の故障が生じた場合、可搬型排水ポンプ等を設置することにより、排水を行うこととしている。ここでは、集水ピット、排水シャフト及び地下排水上屋が地震時に損傷することにより、可搬型排水ポンプ等を設置する作業を阻害しないことを確認する。また、地中に埋設された集水管が地震時においても集水可能であることを確認する。これらの設備の概要を図1及び図2に示す。

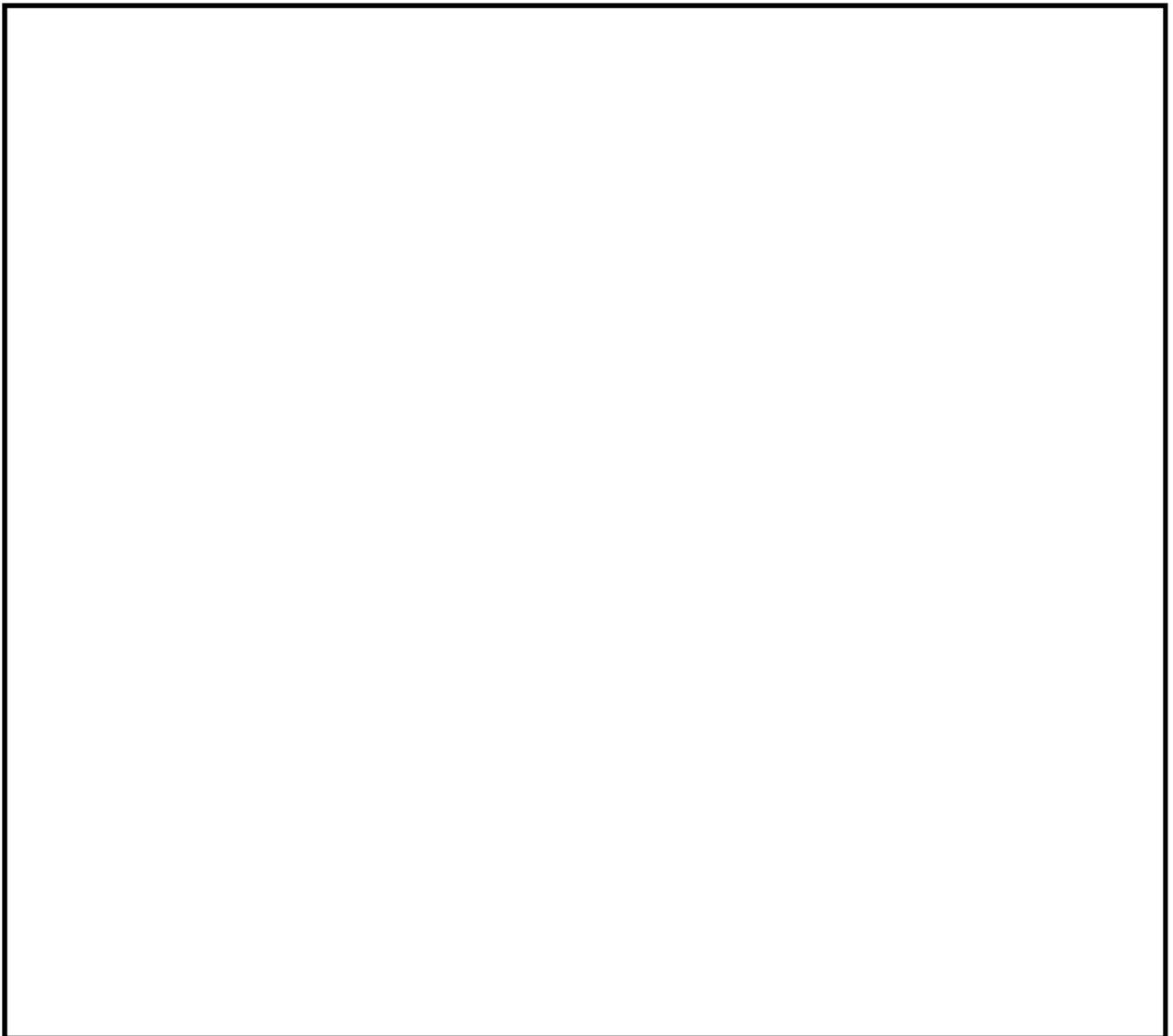


図1 排水関連設備の概要図

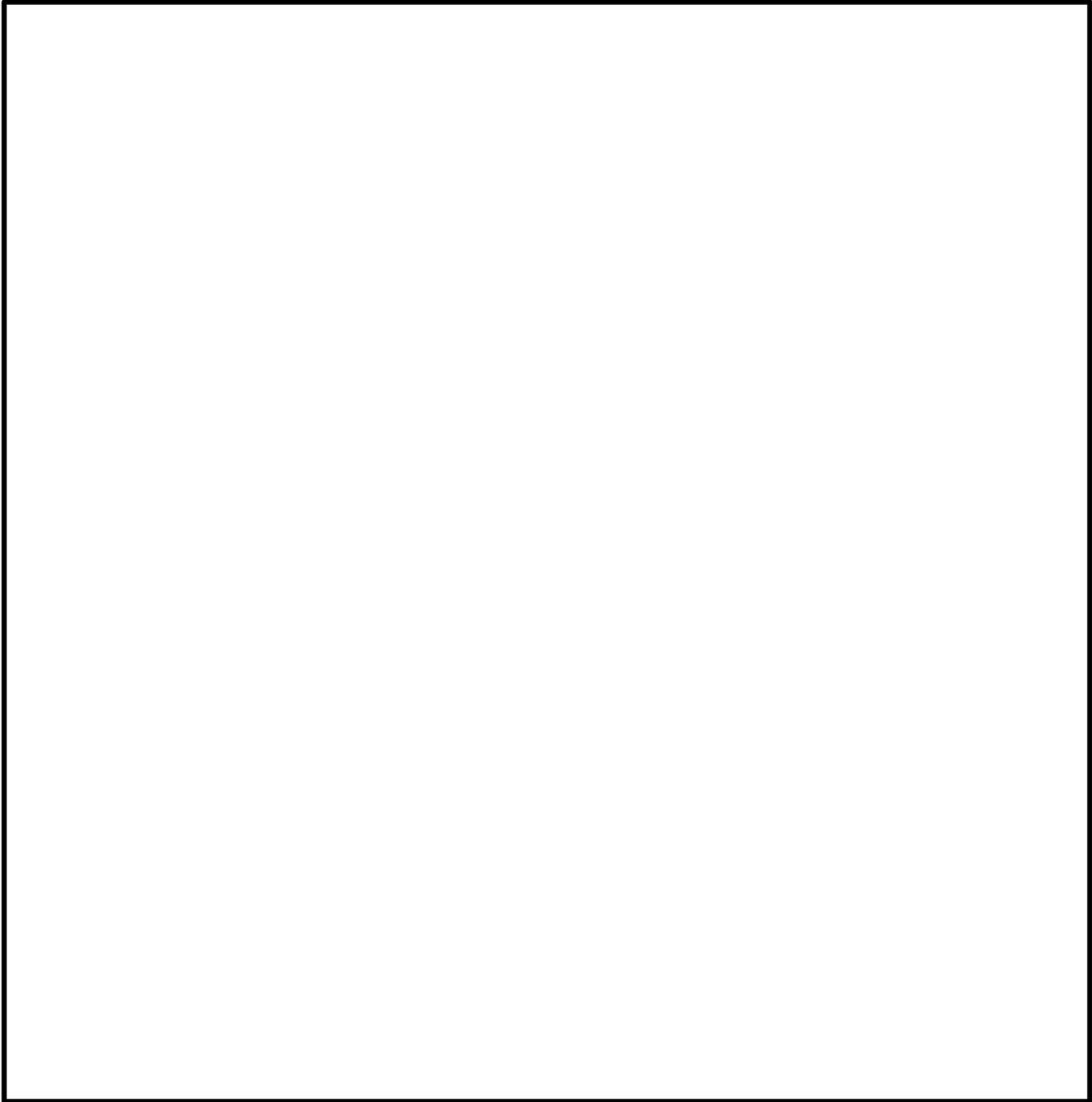


図 2 止水壁等位置図

添付 4-2

2. 各施設の Ss 地震時の状態

(1) 集水ピット及び排水シャフト

集水ピットは、鉄筋コンクリート造であり、原子炉建屋地下外壁及び人工岩盤から 2m 程度離れた位置に設置されている。また、排水シャフトは、集水ピットと地下排水上屋を接続するヒューム管である。可搬型排水ポンプ等の設置のためには、地震時においても集水ピット及び排水シャフトが閉塞しないことが必要となる。

地震時において、集水ピット及び排水シャフトには、地盤の変形による応力が作用するが、集水ピット及び排水シャフトの周辺は、SA 施設の設置に合わせてセメント系の改良地盤とすることとしており、この地盤は、原子炉建屋地下外壁及び人工岩盤に拘束されているため大きな変形は生じない（原子炉建屋の地下外壁の面内せん断ひずみは Ss 地震時で最大 0.19×10^{-3} である。）。したがって、集水ピット及び排水シャフトが閉塞するような損傷が生じることはない。

(2) 地下排水上屋

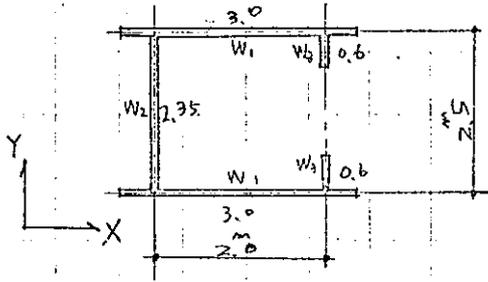
地下排水上屋は、地上 1 階の鉄筋コンクリート造であり、基礎スラブに排水シャフトのヒューム管の入口が設置されている。平面寸法は 2.0m×2.5m、地上からの高さは 3.0m である。可搬型排水ポンプ等の設置のためには、地震時においても地下排水上屋の損傷により排水シャフトが閉塞しないこと及び倒壊により寄り付きを阻害しないことが必要となる。

地下排水上屋は Ss 地震時においても、倒壊しないことを確認している。具体的には、Ss 地震時の地表面加速度に基づき建屋に作用する水平加速度を 1G と設定した場合、発生するせん断力がコンクリートの短期許容応力度を超えないことを確認した。したがって、地下排水上屋の損傷が、可搬型排水ポンプの設置を阻害することはない。

[地下排水上屋の Ss 地震時の評価]

(1) 建物概要

- ・壁式鉄筋コンクリート造 地上1階
- ・面積 $2.5\text{m} \times 2.0\text{m} = 5.0\text{m}^2$, 階高 3.0m



(2) 材料の許容応力度

コンクリート $F_c = 17.7 \text{ N/mm}^2$ ($F_c = 180 \text{ kg/cm}^2$) 鉄筋 SR24 (SR235 相当)
コンクリートの短期許容せん断応力度 0.885 N/mm^2

(3) 荷重

固定荷重 スラブ 3.43 kN/m^2 (コンクリート 12cm, モルタル 3cm)
壁 3.53 kN/m^2 (コンクリート 15cm)
積載荷重 ポンプ点検荷重 1.96 kN/m^2 ($1000\text{kg} \div 5\text{m}^2 = 200\text{kg/m}^2$)
積雪荷重 (0.588 kN/m^2 ($30\text{cm} \times 2\text{kg} = 60\text{kg/m}^2$)) より大きいことから点検荷重を適用

(4) Ss 地震時の評価

- ・地下排水上屋の重量: 115 kN
- ・水平地震力: Ss 地震時の地表面加速度が 1G 弱である (表 1 参照) ことから, 地下排水上屋に作用する震度を 1G とする。→ 115 kN
- ・せん断断面積: x 方向 $9.0 \times 10^5 \text{ mm}^2$, y 方向 $5.3 \times 10^5 \text{ mm}^2$
- ・せん断応力度: x 方向 $115 \times 10^3 / (9.0 \times 10^5) = 0.128 \text{ N/mm}^2$
y 方向 $115 \times 10^3 / (5.3 \times 10^5) = 0.217 \text{ N/mm}^2$

Ss 地震時に生じるせん断応力度が, 短期許容応力度を超えないことを確認した。

表 1 基準地震動 Ss 時における地表面 (E.L. 8.0m) の最大応答加速度
(原子炉建屋の地震応答解析時)

地震動	方向	最大応答加速度 (cm/s ²)		
		標準地盤	+ σ 地盤	- σ 地盤
Ss-D1	水平	689	715	646
Ss-11	NS	524	—	—
	EW	455	—	—
Ss-12	NS	559	—	—
	EW	330	—	—
Ss-21	NS	547	946	767
	EW	352	693	523
Ss-22	NS	373	931	692
	EW	311	777	595
Ss-23	NS	886	—	—
	EW	635	—	—
Ss-24	NS	817	—	—
	EW	681	—	—
Ss-31	水平	738	717	760

(3) 集水管

集水管は、原子炉建屋の人工岩盤から 500mm 程度離れた位置に久米層に直接敷設されており、その周囲は玉石等で覆われ透水性を高めている。集水管は、原子炉建屋周辺の地下水を集めて集水ピットに流す役割がある。

地震時において、集水管には地盤の変形による応力が作用すると考えられるが、人工岩盤近傍の地盤は人工岩盤に拘束されているため水平方向に大きな変形は生じない。また、岩盤上に直接設置していることから鉛直方向にも大きな変形は生じない。したがって、Ss 地震時においても集水管の損傷により集水ピットへの集水が阻害されることはない。

3. まとめ

集水ピット、排水シャフト及び地下排水上屋、地震時に損傷することにより、可搬型排水ポンプ等を設置する作業を阻害しないこと確認した。また、集水管が地震時においても集水可能であることを確認した。