

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

| | |
|------------------|------------|
| 東海第二発電所 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | 工認-1103 改1 |
| 提出年月日 | 平成30年10月3日 |

V-2-2-2-7 原子炉建屋地下排水設備排水シャフトの

耐震性についての計算書

目次

| | |
|------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造概要 | 3 |
| 2.3 評価方針 | 7 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 9 |
| 3. 応力解析による評価方法 | 10 |
| 3.1 評価対象部位及び評価方針 | 10 |
| 3.2 荷重及び荷重の組合せ | 12 |
| 3.2.1 荷重 | 12 |
| 3.2.2 荷重の組合せ | 12 |
| 3.3 許容限界 | 13 |
| 3.4 評価方法 | 16 |
| 3.4.1 応力解析方法 | 16 |
| 3.4.2 断面の評価方法 | 18 |
| 4. 評価結果 | 19 |
| 4.1 応力解析による評価結果 | 19 |

別紙 改良地盤を考慮した地盤応答

1. 概要

本資料は、原子炉建屋地下排水設備排水シャフト（以下「排水シャフト」という。）について、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、応力解析による評価により行う。

2. 基本方針

原子炉建屋地下排水設備（以下「地下排水設備」という。）は、原子炉建屋に対し、その耐震性を確保するため地下水位を原子炉建屋基礎盤底面レベル以深に維持する機能を有する。原子炉建屋は、「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」であることから、地下排水設備は、基準地震動 S_s に対する機能維持を確認することとしている。したがって、地下排水設備を設置する排水シャフトについて、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を実施する。

2.1 位置

地下排水設備の設置位置を図 2-1 に示す

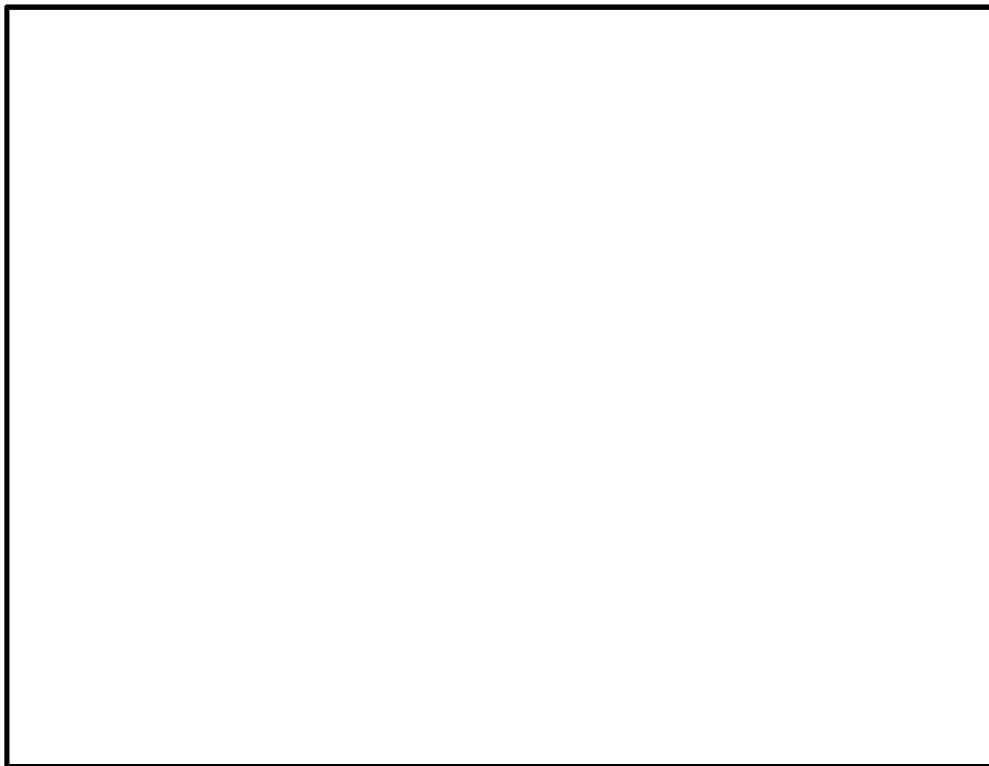


図 2-1 地下排水設備の設置位置

2.2 構造概要

地下排水上屋，排水シャフト及び集水ピットはそれぞれ東西2箇所設置し，原子炉建屋の南東角部及び南西角部付近に位置する。地下排水上屋は，地上1階，平面が南北方向2.0 m，東西方向2.5 m，地上高さ2.6 mの鉄筋コンクリート造である。地下排水上屋の基礎は連続基礎であり，**支持地盤である砂質泥岩上に地盤改良体を介して設置されている**。集水ピットは，平面が南北方向2.3 m，東西方向2.3 m，高さ4.85 mの鉄筋コンクリート造であり，**支持地盤である砂質泥岩に直接設置されている**。排水シャフトは，集水ピットと地下排水上屋を接続する内径 $\phi 1.0$ mの**遠心力鉄筋コンクリート管（以下「ヒューム管」という。）**である。集水管は，原子炉建屋の東面，西面及び南面に配置する内径 $\phi 0.3$ mのヒューム管であり，**支持地盤である砂質泥岩に直接設置し集水ピットに接続している**。

地下排水設備設置位置のうち，排水シャフト及び集水ピットの周囲は，地盤の変位を抑制することを目的として，支持岩盤である**砂質泥岩**の上部をセメント系固化により地盤改良を行う。

地下排水上屋，排水シャフト，集水ピット及び集水管の概略配置図，概略平面図及び概略断面図を図2-2～**図2-8**に示す。

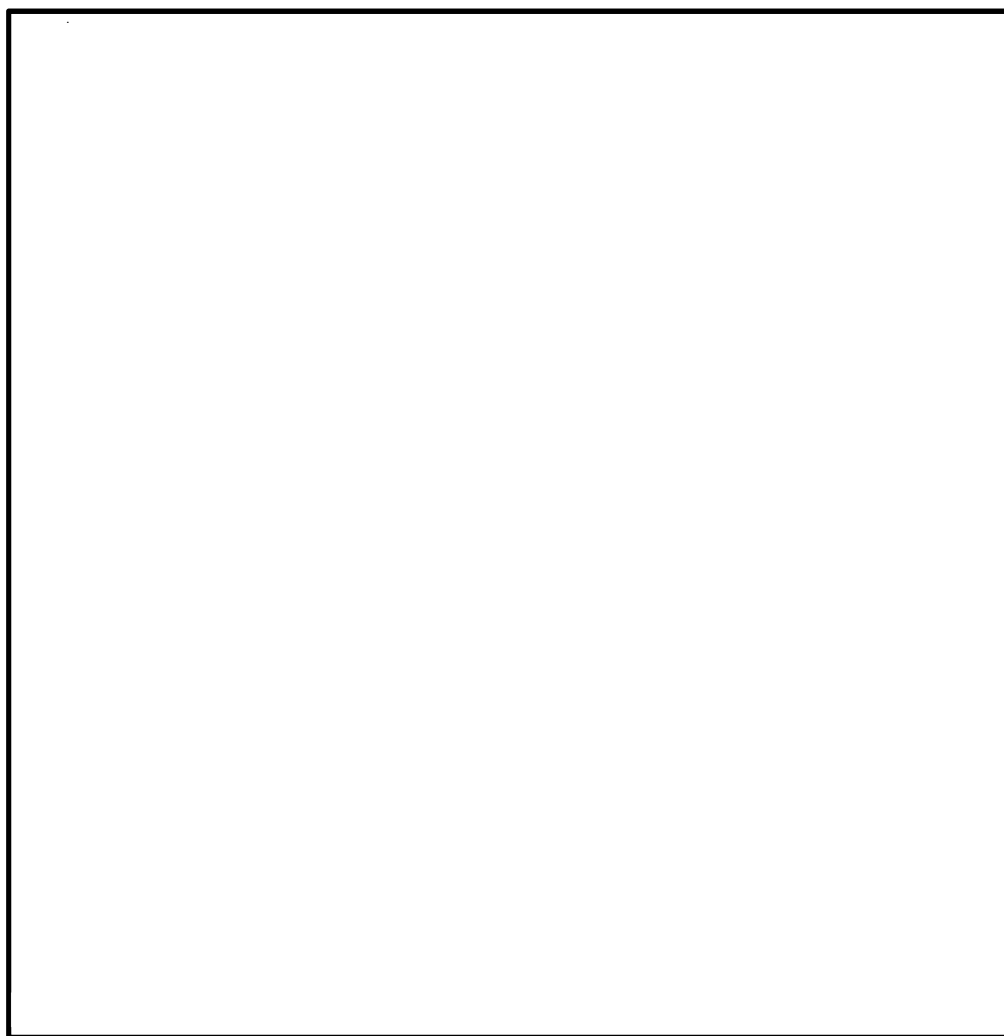


図2-2 地下排水上屋，排水シャフト，集水ピット及び集水管の概略配置図

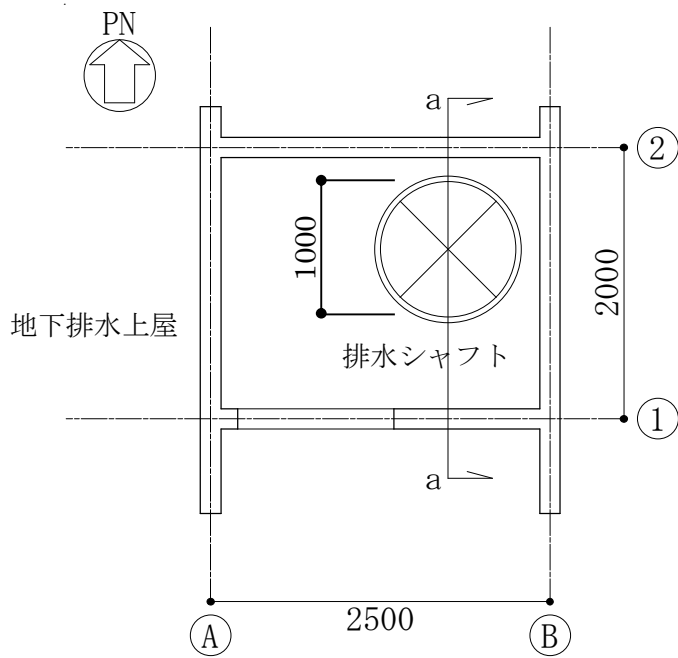


図 2-3 地下排水上屋及び排水シャフトの概略平面図（南西隅）

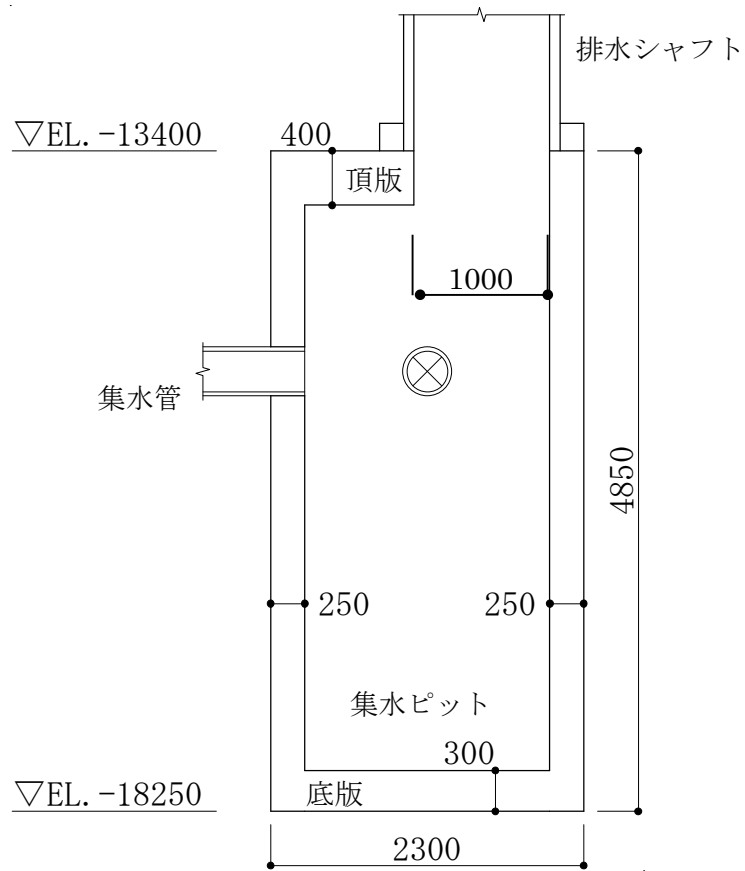


図 2-4 排水シャフト及び集水管の概略断面図（a-a 断面）

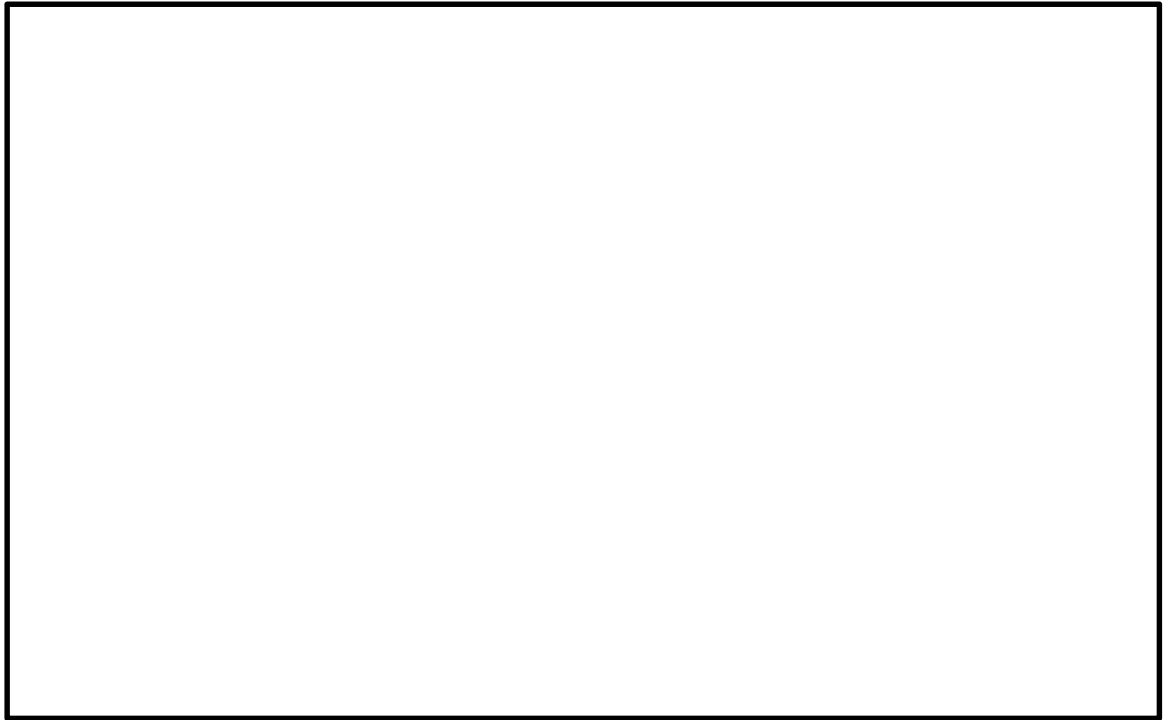


図 2-5 排水シャフトの概略断面図 (A-A断面)

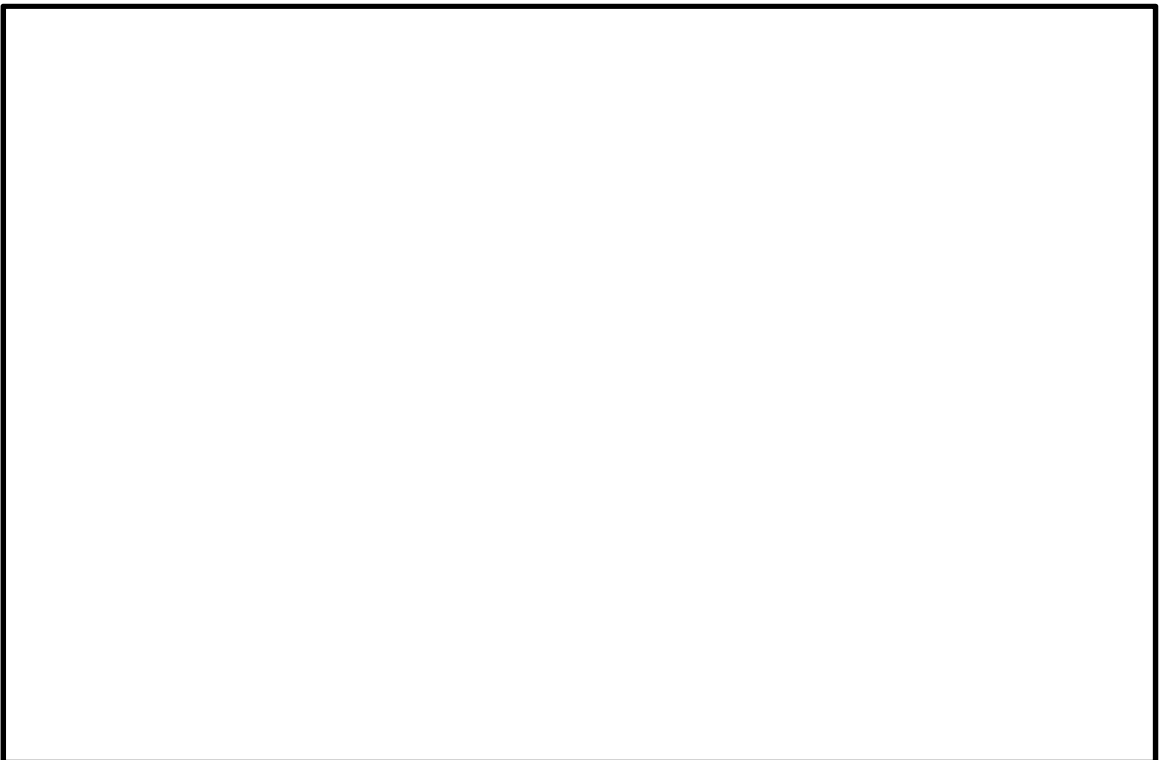


図 2-6 排水シャフトの概略断面図 (B-B断面 西側)

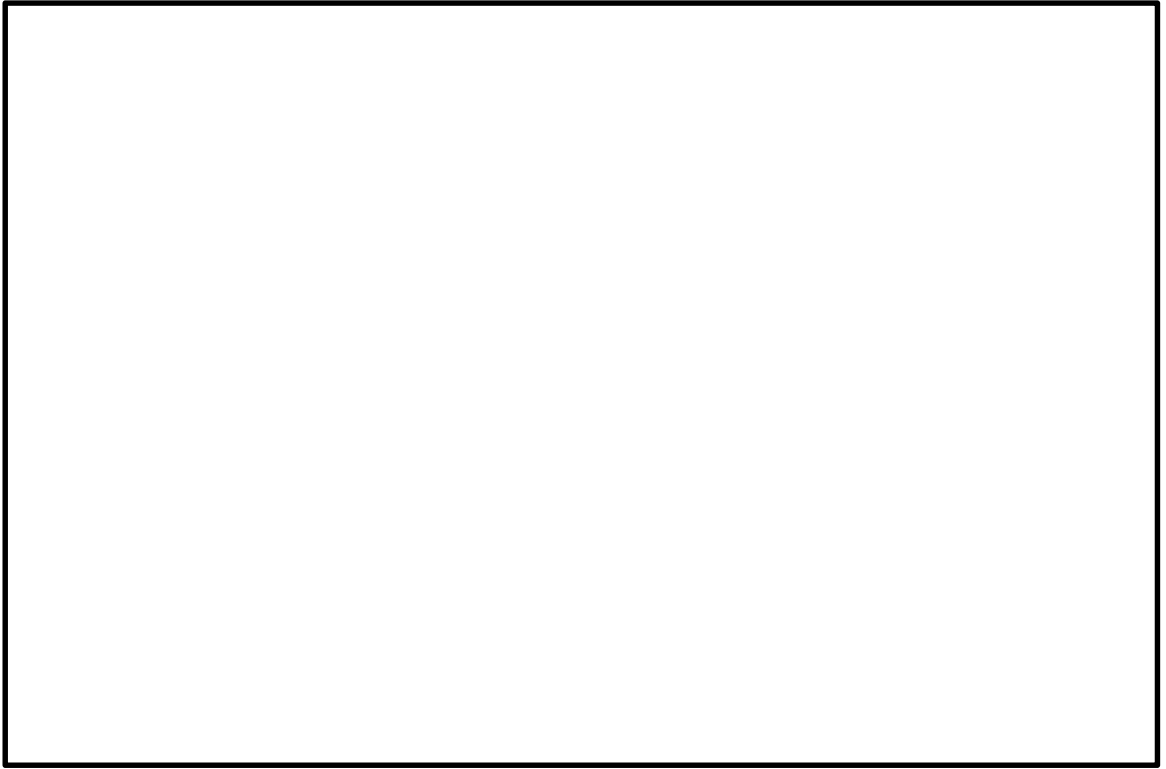


図 2-7 排水シャフトの概略断面図 (B-B断面 東側)

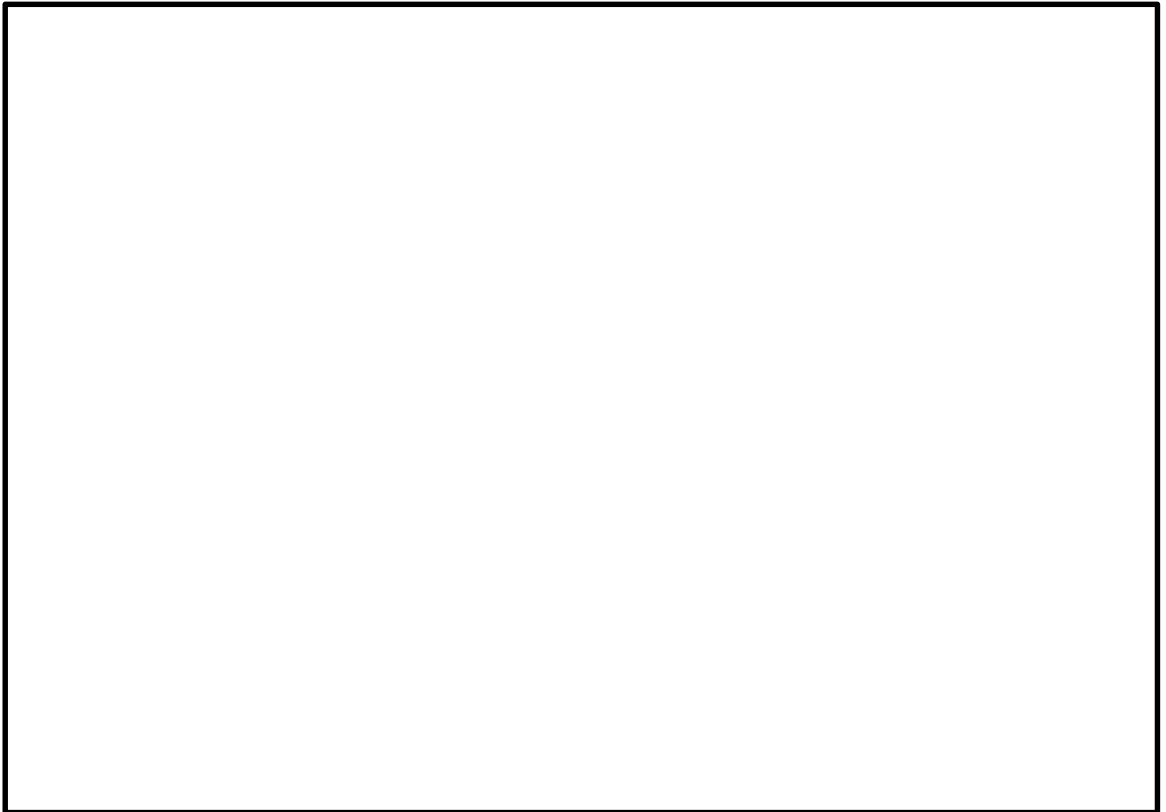


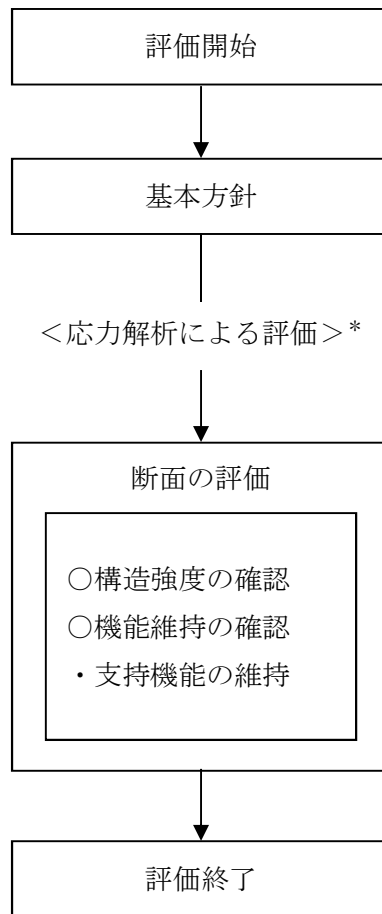
図 2-8 排水シャフトの概略断面図 (C-C断面)

2.3 評価方針

地下排水設備は、「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」である原子炉建屋に対し、その耐震性を確保するため地下水位を原子炉建屋基礎盤底面レベル以深に維持する機能を有することから、地下排水設備を構成する排水シャフトについて、S_s地震時に対する評価を行う。

排水シャフトの評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価において断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価は、『既発電用原子炉設置変更許可申請 添付書類六（原規規発第1809264号 平成30年9月26日許可）』に示す原子炉建屋の基礎地盤安定性評価に用いた2次元FEM解析（以下「地盤安定解析」という。）の結果を踏まえたものとする。支持機能を維持するため、構造強度を確保することで、支持機能が維持できる設計とする。

排水シャフトの評価フローを図2-9に示す。



注記 * : 地盤安定解析の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-9 排水シャフトの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

排水シャフトの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版((社) 日本電気協会)
- ・ 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 2002) (以下「道示IV」という。)
- ・ 道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 2002)
- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定) (以下「RC 示方書」という。)
- ・ 下水道施設の耐震対策指針と解説-2014 年版- ((社) 日本下水道協会) (以下「下水道指針」という。)
- ・ 日本工業規格 (J I S)
- ・ ヒューム管設計施工要覧 (全国ヒューム管協会, 2009)

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

応力解析による評価対象部位は排水シャフトとする。管軸方向（鉛直断面）の検討では線形はり-非線形地盤ばねモデルによる応答変位法を実施し、横断方向（水平断面）の検討では線形はりモデルによるフレーム解析を行う。

応力解析にあたっては、地盤安定解析及び1次元波動論による地震応答解析による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

S₃地震時に対する評価は、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「下水道指針」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

応力解析による排水シャフトの評価フローを図3-1に示す。

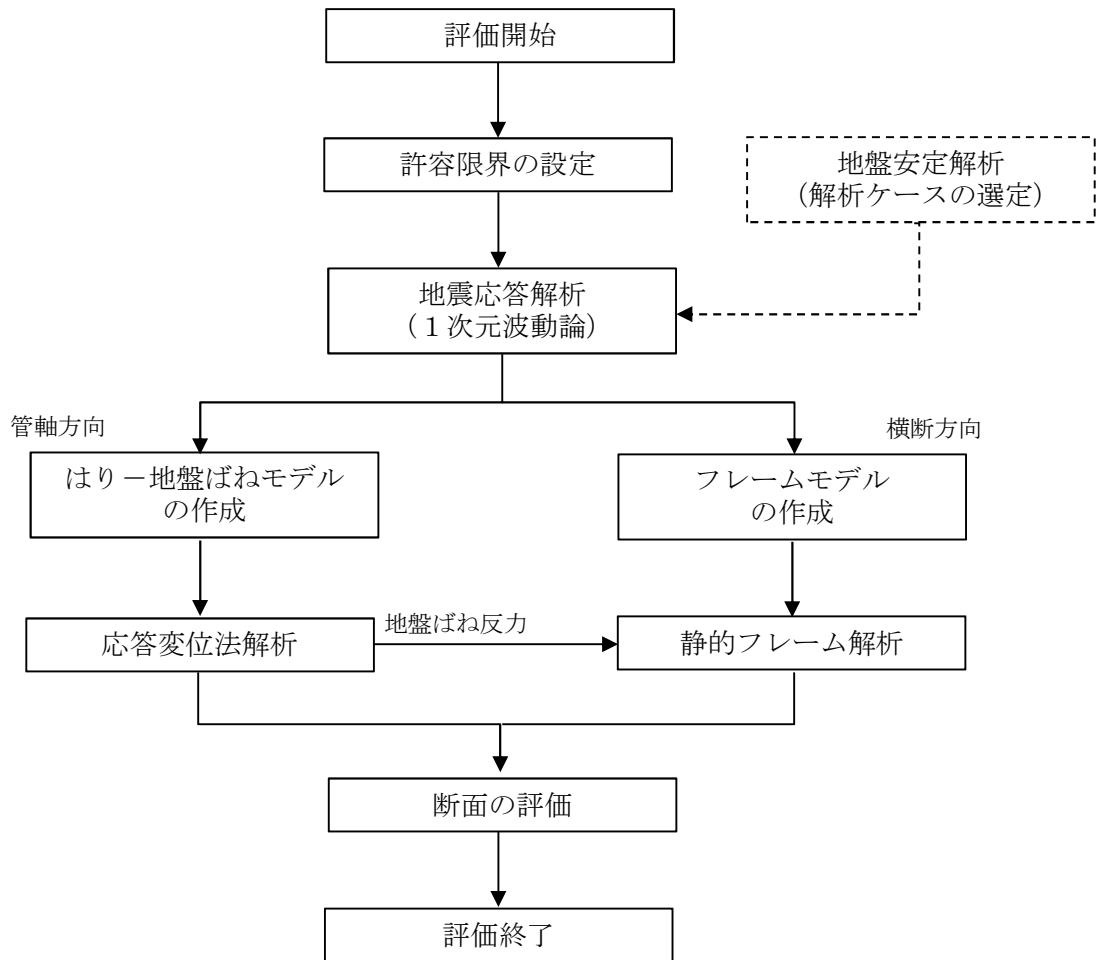


図 3-1 応力解析による排水シャフトの評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重組合せを用いる。

3.2.1 荷重

(1) 固定荷重 (DL)

固定荷重として、排水シャフトの管体の自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震力は、基準地震動 S_s に対する地盤応答より算定される動的地震力を考慮して設定する。

地震荷重は、排水シャフトの周辺の地盤改良体に発生する最大水平変位より算定される地震時土圧を考慮する。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

| 荷重状態 | 荷重の組合せ |
|--------------------|-------------------|
| S _s 地震時 | DL+S _s |

DL : 固定荷重

S_s : S_s地震荷重

3.3 許容限界

応力解析による評価における排水シャフトの許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき、表 3-2 のとおり設定する。また、コンクリート許容応力度を表 3-3 に示す。

表 3-2 応力解析による評価における許容限界

| 要求機能 | 機能設計上の性能目標 | 地震力 | 部 位 | 機能維持のための考え方 | 許容限界 |
|-------|---------------------------|-------------------------|------------|-------------------------------------|---|
| — | 構造強度を有すること | 基準地震動 S _s | 排水 シャフト | 部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認 | 「RC示方書」に基づく短期許容応力度、または「下水道指針」のひび割れ保証モーメント |
| 支持機能* | 機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと | 基準地震動 S _s | 排水 シャフト | 部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認 | 「RC示方書」に基づく短期許容応力度、または「下水道指針」のひび割れ保証モーメント |

注記 * : 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 3-3 コンクリートの許容応力度（短期許容応力度）

| Fc (N/mm ²) | 圧縮 (N/mm ²) | せん断 (N/mm ²) |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 50 | 21 | 0.825 * |

注記 * : 「RC示方書」を適用し、次式により求められる許容せん断力 (V_a) を許容限界とする。ただし、排水シャフトには斜め引張鉄筋が配置されていないため、次式の第2項を0とする。

$$V_a = V_{c a} + V_{s a}$$

ここに、

$V_{c a}$: コンクリートの許容せん断力 (52 kN)

$$V_{c a} = 1/2 \cdot \tau_{a 1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

$V_{s a}$: 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{s a} = A_w \cdot \sigma_{s a} \cdot j \cdot d / s$$

$\tau_{a 1}$: 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度 (825 kN/m²)

b_w : 有効幅 (0.1453 m)

j : 1/1.15

d : 有効高さ (1.0029 m)

A_w : 斜め引張鉄筋断面積

$\sigma_{s a}$: 鉄筋の許容引張応力度

s : 斜め引張鉄筋間隔

排水シャフトを構成するヒューム管のひび割れ保証モーメントは、「下水道指針」で規定される次式で算定する。

$$M_c = 0.318 \cdot P_c \cdot r + 0.239 \cdot W \cdot r$$

M_c : ひび割れ保証モーメント (5.59 kN・m)

P_c : ひび割れ荷重 (2800 kg/m=27.4 kN/m)

JIS A5303 規格 (1972 年改正), 呼び径 1000, 1 種

W : 管きよの自重 (6.828 kN/m)

r : 管きよの管厚中心半径 (0.541 m)

3.4 評価方法

3.4.1 応力解析方法

排水シャフトは、管軸方向断面（鉛直断面）及び横断方向断面（水平断面）について耐震照査を実施する。

(1) 地震荷重の設定

原子炉建屋基礎地盤の地盤安定性評価で実施した地盤安定解析に基づき、排水シャフト位置の岩盤上面に対する地表面の相対水平変位が最大となる地震動を選定する。この地震動について、別紙「改良地盤を考慮した地盤応答」に示す1次元波動論による地震応答解析を実施し、この解析で得られる地盤変位を用いて地震荷重を設定する。

(2) 管軸方向断面の応力解析

排水シャフトの管軸方向断面（鉛直断面）の応力解析は、上述の地震応答解析で得られる地盤変位を用いた応答変位法とする。排水シャフトは線形はり要素としてモデル化し、地盤改良体は「道示IV」に基づき、受働土圧を上限値とした非線形の地盤ばねでモデル化する。応答変位法では、水平方向の地盤ばねを介して地盤変位を作用させ、地震時応力を算出する。

図3-2に解析モデルを示す。排水シャフトを構成するヒューム管の構造諸元と物性値を表3-4及び表3-5に示す。

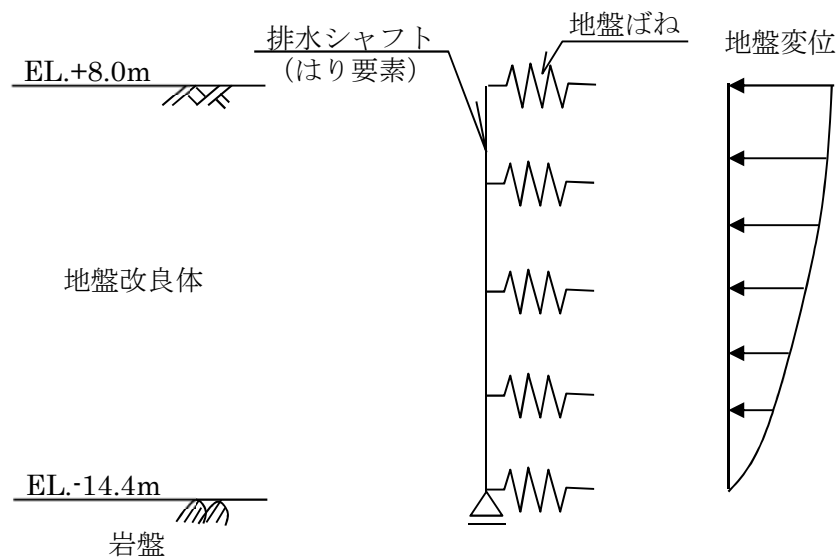


図 3-2 管軸方向断面の応力解析モデル

表 3-4 排水シャフトの構造諸元

| 呼び径 | 内径 | 厚さ |
|------|---------|-------|
| 1000 | 1000 mm | 82 mm |

表 3-5 排水シャフトの物性値

| 材料 | 単位体積重量 | ヤング係数 |
|-------|------------------------|---|
| ヒューム管 | 24.5 kN/m ³ | 3.3 × 10 ⁴ N/mm ² |

(3) 横断方向断面の応力解析

排水シャフトの横断方向断面（水平断面）の応力解析は、管軸方向断面の応力解析で得られた地盤ばね反力の最大値を地震時土圧として設定したフレーム解析とする。構造部材は円形状にモデル化した線形はり要素とし、「道示Ⅳ」のケーソン基礎の設計における地震時の荷重状態に倣って地震時土圧を静的に載荷して、地震時の最大曲げモーメントを算出する。

図 3-3 に解析モデルを示す。

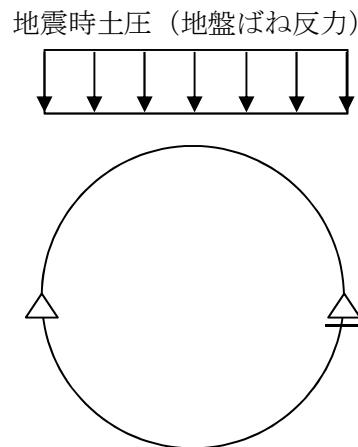


図 3-3 横断方向断面の応力解析モデル

3.4.2 断面の評価方法

(1) 管軸方向断面

排水シャフトの軸方向断面の曲げ軸力及びせん断に対する発生応力度が、「RC示方書」に基づく短期許容応力度を超えないことを確認する。

(2) 横断方向断面

地震時にひび割れが生じないように、横断方向に発生する最大曲げモーメントがひび割れ保証モーメントを超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 応力解析による評価結果

(1) 地震荷重

原子炉建屋基礎地盤の地盤安定性評価で実施した2次元FEM解析（全応力解析）について、排水シャフト位置の岩盤上面に対する地表面の相対変位を表4-1に示す。

相対変位が最大となる地震動 S_s-31 について、地盤改良体を考慮した1次元波動論による地震応答解析を実施する。解析結果を「別紙 改良地盤を考慮した地盤応答」に示す。

表4-1 2次元FEM解析による排水シャフト位置の岩盤上面に対する地表面の相対変位

| 地震動 | 相対変位 |
|----------|---------|
| S_s-D1 | 13.0 mm |
| S_s-11 | 4.5 mm |
| S_s-12 | 5.2 mm |
| S_s-13 | 4.8 mm |
| S_s-14 | 3.5 mm |
| S_s-21 | 5.4 mm |
| S_s-22 | 7.3 mm |
| S_s-31 | 16.0 mm |

(2) 管軸方向断面の評価結果

排水シャフトの管軸方向断面（鉛直断面）の応答変位法による応力解析で得られた最大曲げモーメント及びせん断力について、ヒューム管断面の照査を実施した結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 排水シャフトの評価結果（軸方向）

| | | |
|-------|--|---------------------------------|
| 構造諸元 | 呼び径 | 1000 |
| | 内径 (mm) × 厚さ (mm) | 1000×82 |
| | 鉄筋径 (mm) × 本数 (本) | 4.0×12 (1.508 cm ²) |
| 発生断面力 | 曲げモーメント M (kN・m) | 31.21 |
| | 軸力 N (kN) | 129.07 |
| | せん断力 S (kN) | 17.92 |
| 発生応力度 | 曲げ圧縮応力度 σ_c (N/mm ²) | 0.899 |
| | 引張応力度 σ_s (N/mm ²) | (全圧縮) |
| 許容限界 | 短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 21 |
| | 短期許容引張応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 234 |
| | 短期許容せん断力 V_a (kN) | 52 |

(3) 横断方向断面の評価結果

排水シャフトの横断方向（水平方向）断面のフレーム解析で得られた最大曲げモーメントについて、ヒューム管断面の照査を実施した結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 排水シャフトの評価結果（横断方向）

| | | |
|-------|---------------------------|---------|
| 構造諸元 | 呼び径 | 1000 |
| | 内径 (mm) × 厚さ (mm) | 1000×82 |
| 発生断面力 | 最大曲げモーメント M (kNm/m) | 1.69 |
| 許容限界 | ひび割れ保証モーメント M_c (kNm/m) | 5.59 |

別紙 改良地盤を考慮した地盤応答

目次

| | |
|---------------------|------|
| 1. 概要 | 別紙-1 |
| 2. 解析方法 | 別紙-2 |
| 2.1 解析モデル | 別紙-3 |
| 2.1.1 解析領域 | 別紙-3 |
| 2.1.2 地盤のモデル化 | 別紙-3 |
| 2.2 解析用物性値 | 別紙-5 |
| 2.3 入力地震動 | 別紙-5 |
| 3. 評価結果 | 別紙-6 |
| 3.1 相対水平変位 | 別紙-6 |
| 3.2 最大せん断ひずみ | 別紙-7 |
| 3.3 水平方向地盤反力係数及び上限値 | 別紙-8 |

1. 概要

排水シャフトの評価に用いる地盤変位及び地盤剛性を算出するにあたり、改良地盤の物性を用いた地震応答解析を行う。

2. 解析方法

地盤の地震応答解析は、1次元波動論により行う。解析コードはk-SHAKEを用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要・k-SHAKE」に示す。

1次元波動論による地盤応答の評価フローを図2-1に示す。

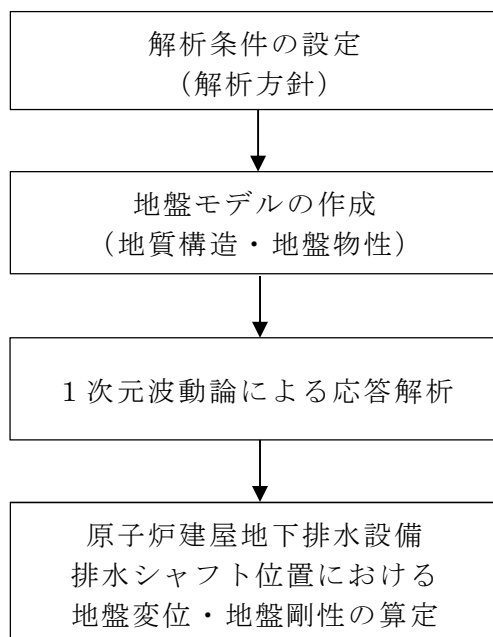


図 2-1 地盤応答の評価フロー

2.1 解析モデル

2.1.1 解析領域

解析領域は、原子炉建屋地下排水設備排水シャフト位置の地表面標高（EL. 8.0 m）から EL. -370 m までとする。

2.1.2 地盤のモデル化

地盤モデルの層分割は、地盤の地質区分に基づきモデル化する。地下水位は、地下排水設備による地下水位低減を考慮して岩盤表面に設定する。

解析用地盤モデル図を図 2-2 に示す。

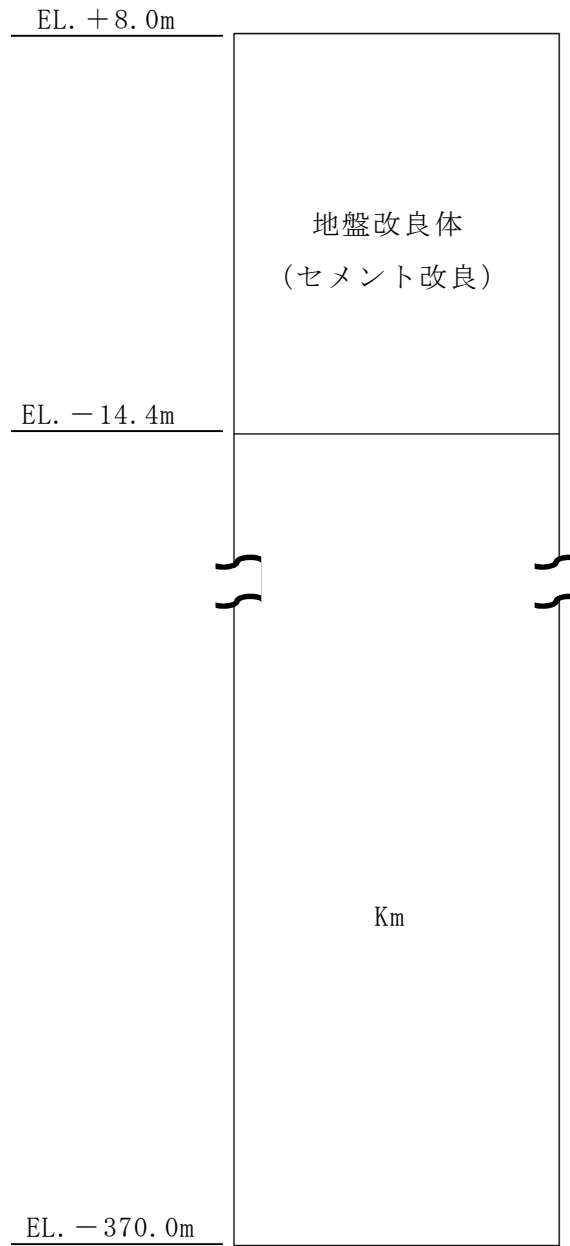


図 2-2 1次元応答解析用地盤モデル

2.2 地盤及び地盤改良体の物性値

地盤については、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

なお、地盤改良体（セメント改良）については、一軸圧縮強度に対応した、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地盤改良体（セメント改良）の物性値を設定する。

地盤改良体（セメント改良）の一軸圧縮強度を表 2-1 に示す。より強度が高い場合は評価に用いる地盤変位が抑制されるため、保守的な評価となる。

表 2-1 解析に用いる地盤改良体（セメント改良）の一軸圧縮強度

| | 一軸圧縮強度 (N/mm ²) |
|---------------|-----------------------------|
| 地盤改良体（セメント改良） | 3.0 |

2.3 入力地震動

原子炉建屋地下排水設備設置位置における入力地震動は、地盤安定解析において、地盤の水平変位が最も大きくなった基準地震動 $S_s - 31$ とし、解放基盤面へ入力する。

3. 評価結果

3.1 相対水平変位

1次元波動論により算定した原子炉建屋地下排水設備排水シャフト位置における地表面最大相対変位発生時刻の相対水平変位分布を図3-1に示す。

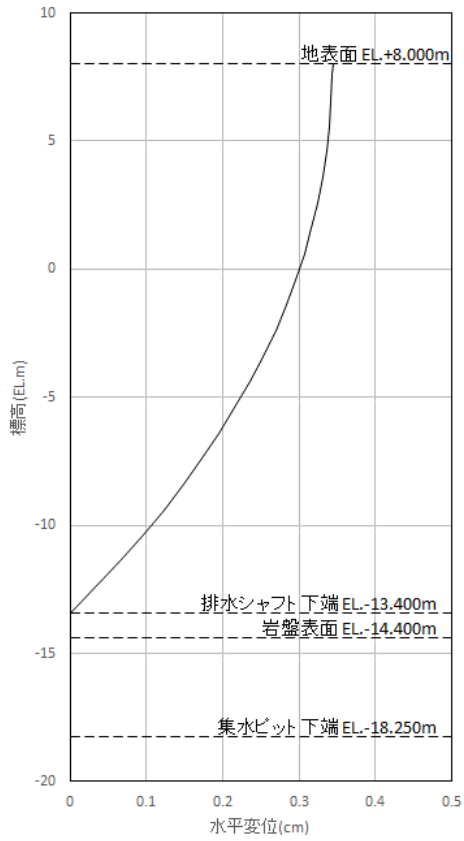


図3-1 地表面最大相対変位発生時刻の相対水平変位分布

3.2 最大せん断ひずみ

1次元波動論により算定した原子炉建屋地下排水設備排水シャフト位置における最大せん断ひずみ分布を図3-2に示す。

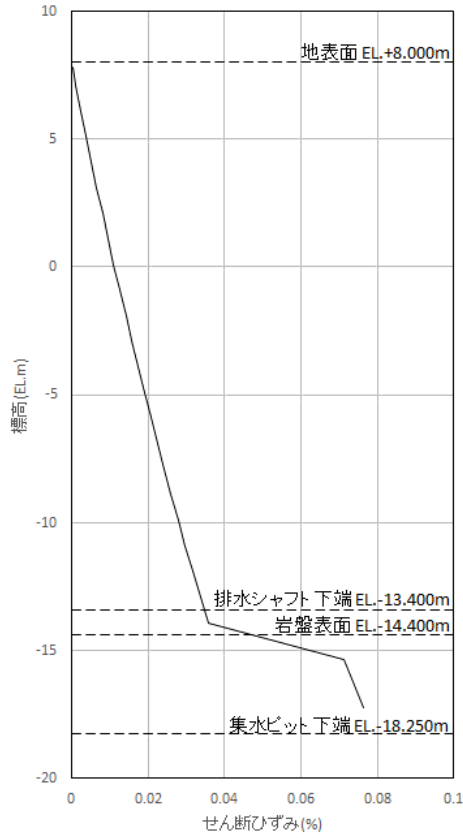


図3-2 最大せん断ひずみ分布