

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-25-2_改 16
提出年月日	2021年11月12日

02-補-E-19-0600-25-2_改 14 (2021年11月10日提出) からの説明範囲のみ抜粋

補足-600-25-2 【地下水位低下設備の耐震性に係る補足説明資料】


目 次

第 1 章 地下水位低下設備ドレーンの耐震性に係る補足説明

第 2 章 地下水位低下設備接続樹の耐震性に係る補足説明

第 3 章 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性に係る補足説明

第 4 章 地下水位低下設備揚水ポンプの加振試験に関する補足説明

 : 本日の説明範囲

第3章 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性に係る補足説明

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	11
2.4	適用基準	14
3.	耐震評価	16
3.1	評価対象断面	16
3.2	解析方法	19
3.3	荷重及び荷重の組合せ	41
3.4	荷重	41
3.5	荷重の組合せ	42
3.6	入力地震動	44
3.7	解析モデル及び諸元	101
3.8	許容限界	114
3.9	評価方法	117
4.	耐震評価結果	136
4.1	地震応答解析結果	136
4.2	照査結果一覧	446

別紙1 揚水井戸蓋の耐震性について

別紙2 揚水井戸蓋の強度計算について


別紙3 敷地側集水ピットの耐震性に関する補足説明

参考資料1 揚水井戸の浮上り評価結果について

参考資料2 各揚水井戸の評価対象断面の代表性について

参考資料3 揚水井戸集水ピット部における配筋の施工実現性について

参考資料4 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

 : 本日の説明範囲

(別紙3) 敷地側集水ピットの耐震性に関する補足説明

1. 一次元地震応答解析の適用性について（敷地側集水ピット（北側））

添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」の別紙1で実施する敷地側集水ピット（北側）（以下「集水ピット」という。）の耐震評価において、応答変位法を用いたフレーム解析に入力する地震時荷重を一次元重複反射理論による解析（解析コード：SHAKE Ver1.6，以下「一次元地震応答解析」という。）から求めることとしている。

本章は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」の別紙1において、地震時荷重を一次元地震応答解析から求めることに関し、その適用性について説明するものである。

1.1 概要

一次元地震応答解析には全応力解析を用いることとしているため、得られる結果は液状化による影響が考慮されておらず、二次元的な効果についても考慮されていない。そのため、一次元地震応答解析から得られる水平変位が二次元有効応力解析から得られる水平変位を下回らないように補正係数を乗じ、地震時荷重の設定に用いることとしている。

具体的には、集水ピットの耐震評価において照査値に最も影響を及ぼす要因は、集水ピット周辺の地盤の水平変位であることを踏まえ、一次元地震応答解析と二次元有効応力解析の地表面の最大水平変位を比較し、補正係数を設定する。

1.2 一次元地震応答解析

一次元地震応答解析の解析方法や解析モデル等は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」の別紙1と同様である。

一次元地震応答解析のモデルを図1-1に示す。

なお、実際には集水ピットの直下は岩盤まで地盤改良を行っているため、図1-1のO.P. -2.677m から O.P. +7.3m までを改良地盤とした一次元地震応答解析についても実施した。

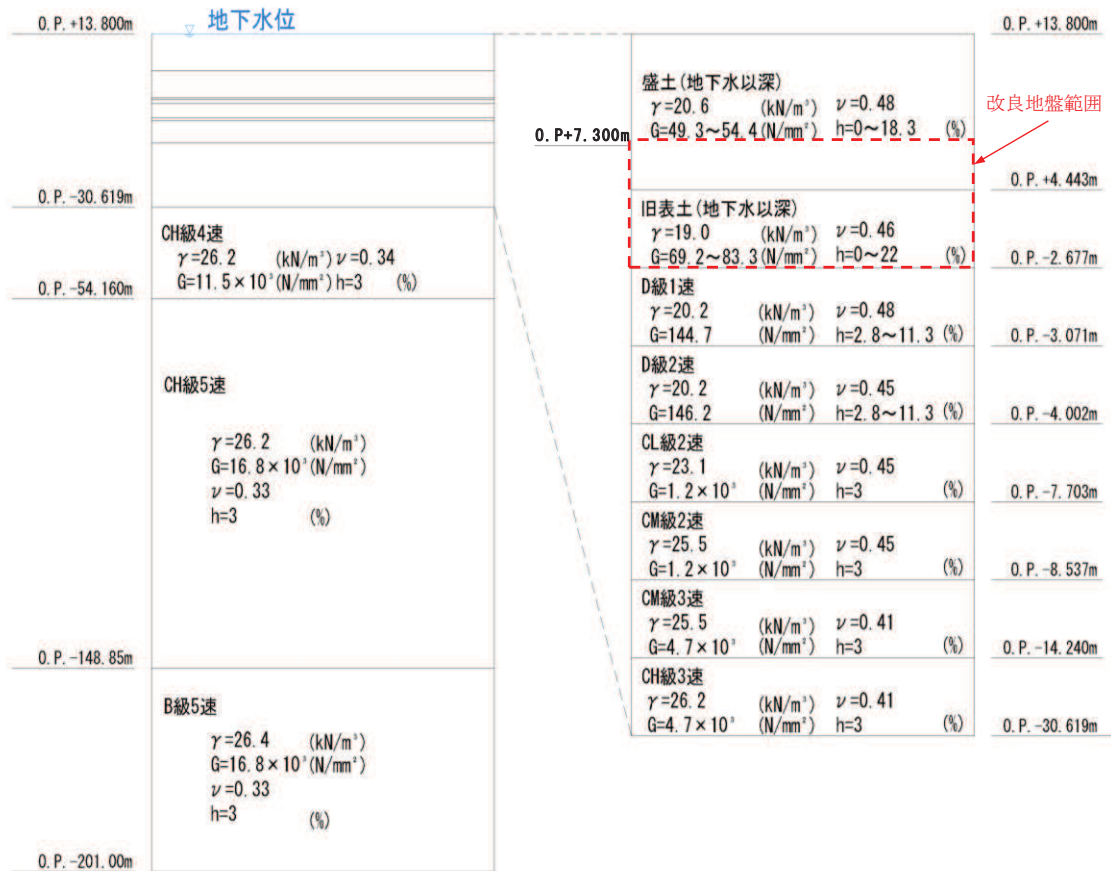
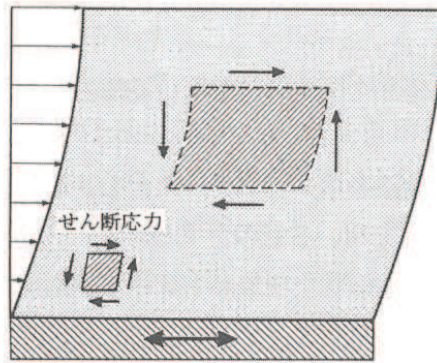
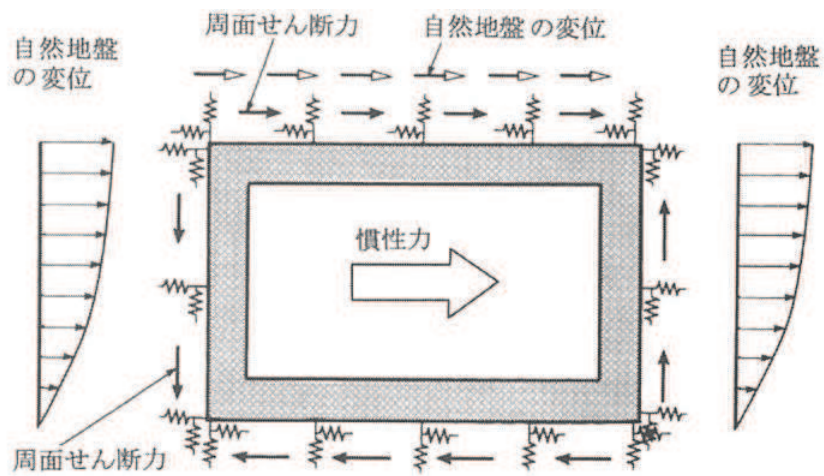


図 1-1 一次元地震応答解析モデル

なお、一次元地震応答解析の結果を用いて応答変位法によるフレーム解析を実施するが、「土木学会 2016年 トンネル標準示方書 [開削工法編]・同解説」では、図1-2を示し、「応答変位法では地震作用として、周面せん断力、地盤と構造物の相対変位に起因する荷重、および躯体慣性力を考慮する」とされている。また、「鉄道総合技術研究所 平成24年9月 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」では地震時に作用する力を図1-3に示している。これらの内容を踏まえ、地盤と構造物の相対変位に起因する荷重及び躯体慣性力は、それぞれ一次元地震応答解析から得られる水平変位及び加速度から設定することとし、周面せん断力については一次元地震応答解析のせん断力を直接考慮することとする。



解説 図 2.9.2 周面せん断力の発生概念



解説 図 2.9.3 応答変位法で考慮する地震の影響

図 1-2 周面せん断力の発生概念及び応答変位法で考慮する地震の影響

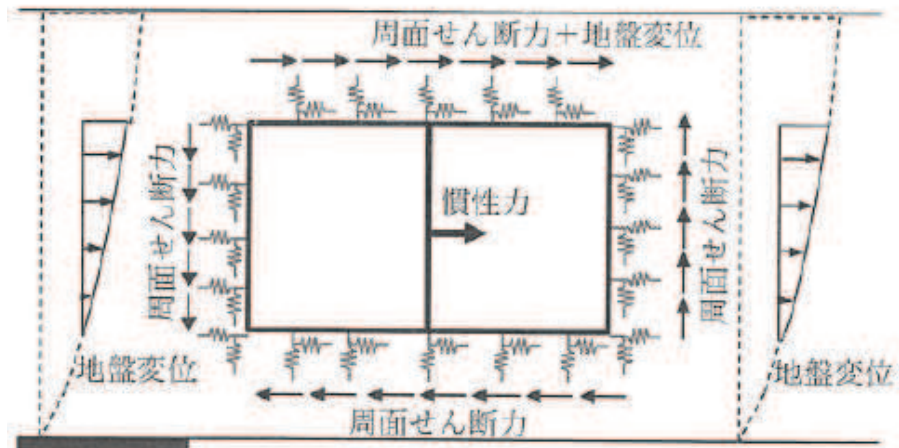


図 1-3 静的解析の例

水平変位については、集水ピットの側壁に作用する力として考慮するため、集水ピット側方の地盤（岩盤上面から旧表土と盛土が分布）が適切にモデル化されている「改良地盤なし」による一次元地震応答解析の結果を用いることとし、「改良地盤あり」の解析モデルは水平変位の設定において採用しないこととする。

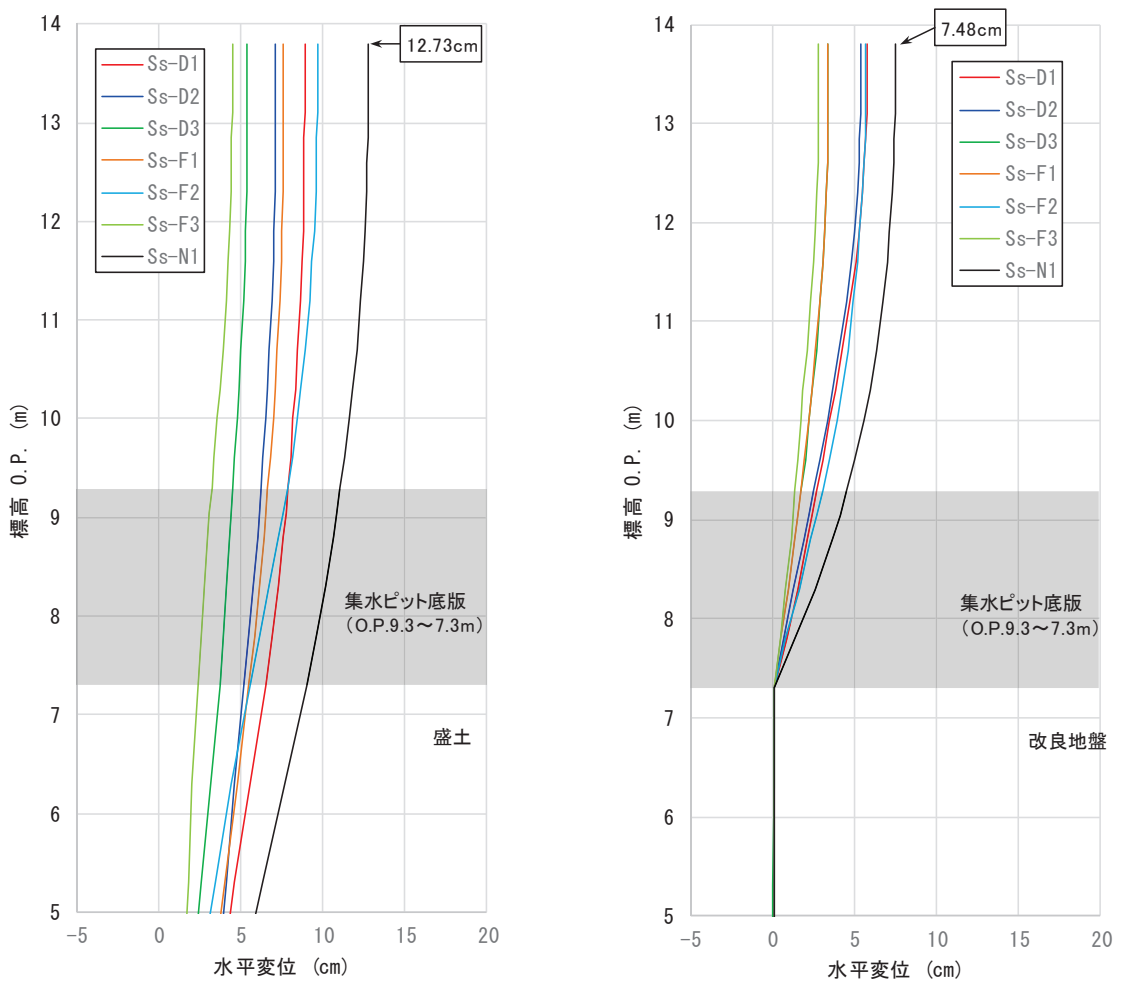
一次元地震応答解析から得られる地表面の最大水平変位を表 1-1 に、各地震動の深度分布を図 1-4 に示す。表 1-1 及び図 1-4 から、「改良地盤なし」の最大水平変位は $S_s - N 1$ の 12.73 (cm)（集水ピットの層間変位：3.76 (cm)）であった。

なお、参考として「地盤改良あり」の水平変位の結果も表 1-1 及び図 1-4 に示す。

表 1-1 一次元地震応答解析による地表面の最大水平変位

地震動	地表面の最大水平変位 (cm) *	
	改良地盤なし	【参考】改良地盤あり
S _s -D1	8.88 (2.42)	5.77 (5.70)
S _s -D2	7.13 (1.93)	5.41 (5.34)
S _s -D3	5.36 (1.68)	3.38 (3.33)
S _s -F1	7.60 (2.13)	3.40 (3.34)
S _s -F2	9.65 (4.12)	5.69 (5.63)
S _s -F3	4.47 (2.09)	2.83 (2.78)
S _s -N1	12.73 (3.76)	7.48 (7.42)

注記* : 括弧内の数値は集水ピットの層間変位 (O.P.13.8m と O.P.7.3m の相対変位) を示す。



(集水ピット直下の改良地盤なし)

【参考】(集水ピット直下の改良地盤あり)

図 1-4 一次元地震応答解析による最大水平変位分布

また、フレーム解析の慣性力に用いる加速度は改良地盤を考慮したモデルの結果を用いることとしている。そのため、改良地盤ありとなしの2ケースを比較した。

比較した結果を図1-5に示す。水平加速度についてはすべての地震動において改良地盤ありの結果が大きくなっている。一方、鉛直加速度については地震動によって大きくなるケースは異なるものの、水平加速度に比べ、改良地盤による影響は非常に小さくなっている。

なお、Ss-D1は、鉛直加速度で改良地盤ありのケースが小さくなっているが、水平加速度では改良地盤ありのケースが非常に大きい結果となっている。Ss-D2は、改良地盤のありなしは鉛直加速度にほとんど影響しないが、水平加速度では改良地盤ありのケースが非常に大きな結果となっている。

以上のことから、改良地盤ありのモデルを用いて加速度を設定していることは妥当である。

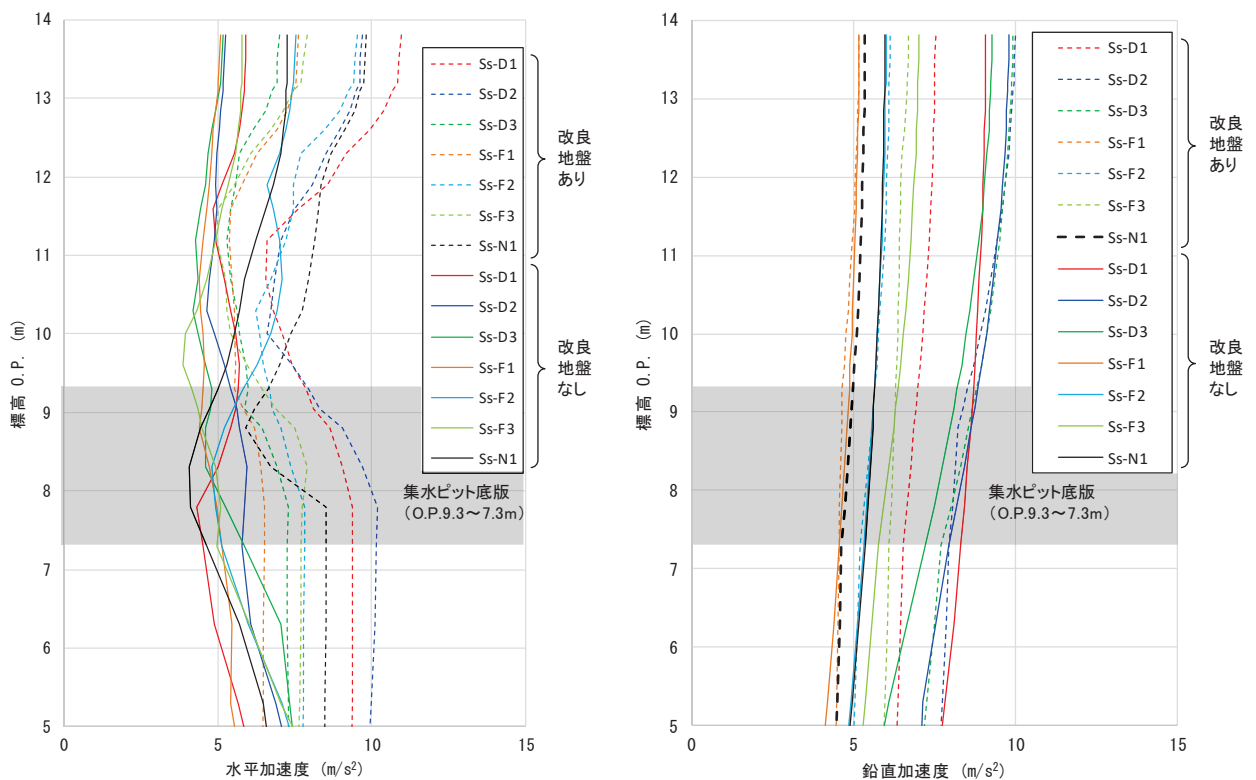


図1-5 一次元地震応答解析による最大加速度分布

1.3 二次元有効応力解析

二次元有効応力解析の解析方法や解析モデル等は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」と同様である。

二次元有効応力解析のモデルを図 1-6 に示す。図 1-6 は No.3 揚水井戸の解析モデルであり、評価対象となる集水ピットの投影位置は解析モデルの北側となる。

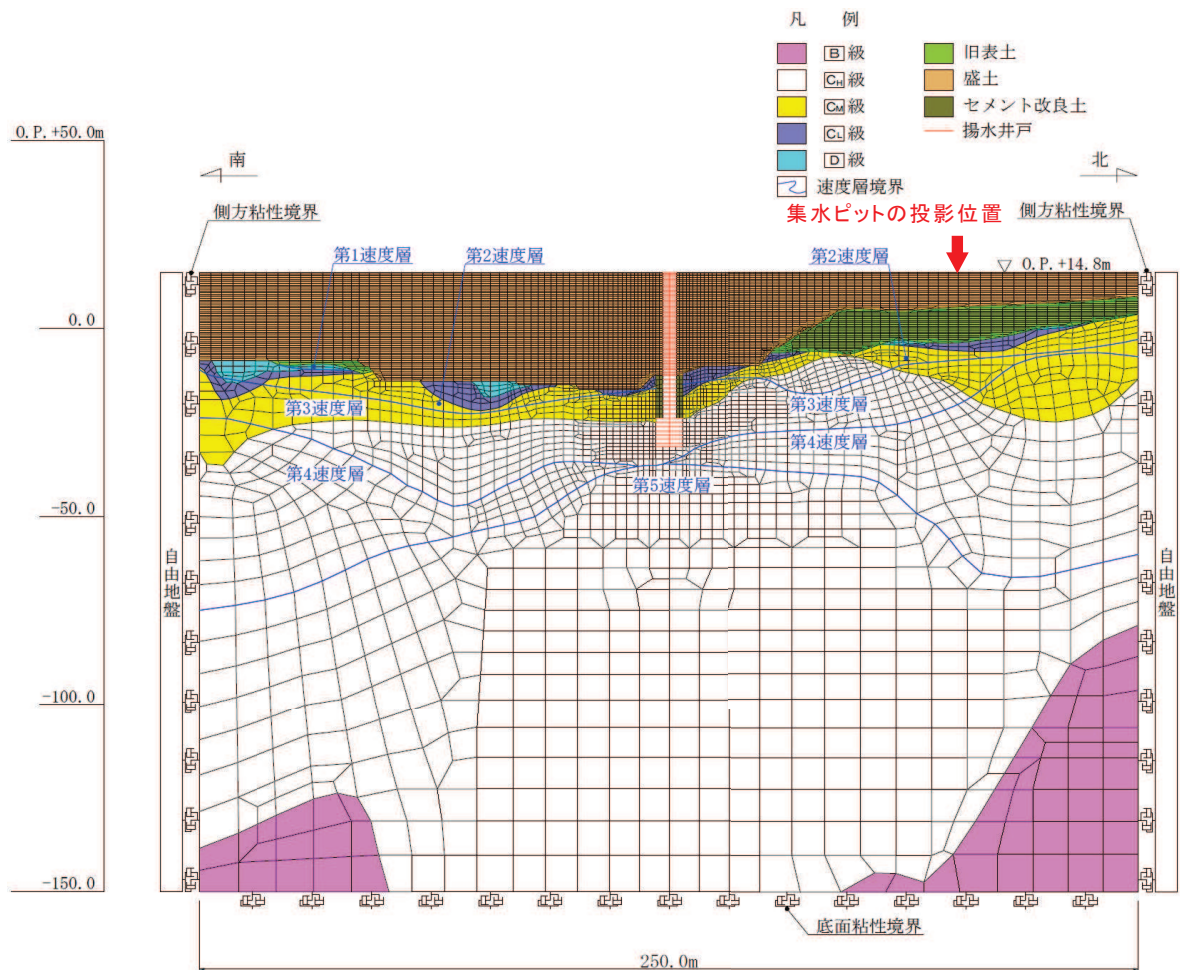


図 1-6 二次元有効応力解析モデル (No. 3 揚水井戸)

(添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」
の図 3-5(3)に一部加筆)

なお、No. 3 揚水井戸の解析領域が集水ピット基礎幅の 5 倍以上を満足していること（図 1-7 参照）、集水ピットと No. 3 揚水井戸の距離は集水ピットから北側の側方境界までの距離よりも離れていることから、No. 3 揚水井戸の応答が集水ピットに及ぼす影響はないと考えられる。また、防潮堤（盛土堤防）の東西断面は図 1-8 に示すとおり集水ピットに近接しており、この断面の地質図（図 1-9）を確認すると、No. 4 揚水井戸の南北断面位置よりも No. 3 揚水井戸の南北断面位置は、旧表土が厚く分布している。これらのことから、集水ピットの二次元的な効果及び液状化による影響を確認するため、No. 3 揚水井戸の二次元有効応力解析（南北断面）を用いることは妥当である。

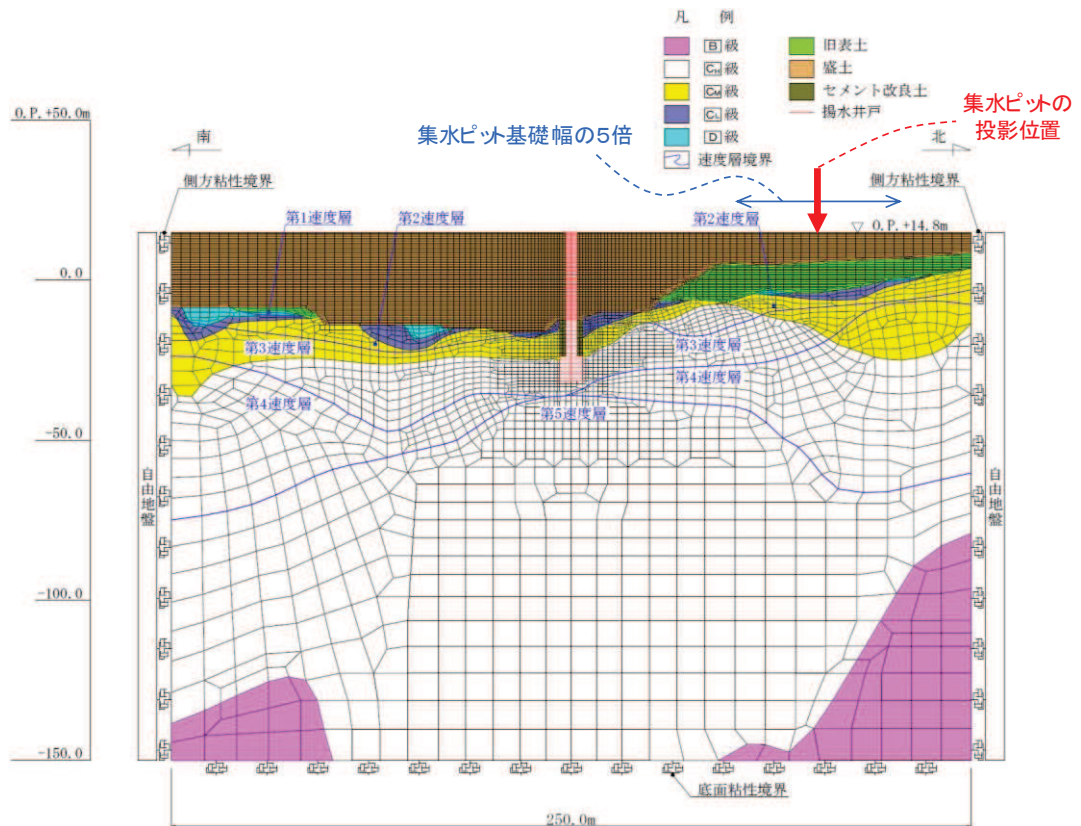


図 1-7 集水ピット基礎幅の 5 倍と二次元有効応力解析の解析領域
 (No. 3 揚水井戸)

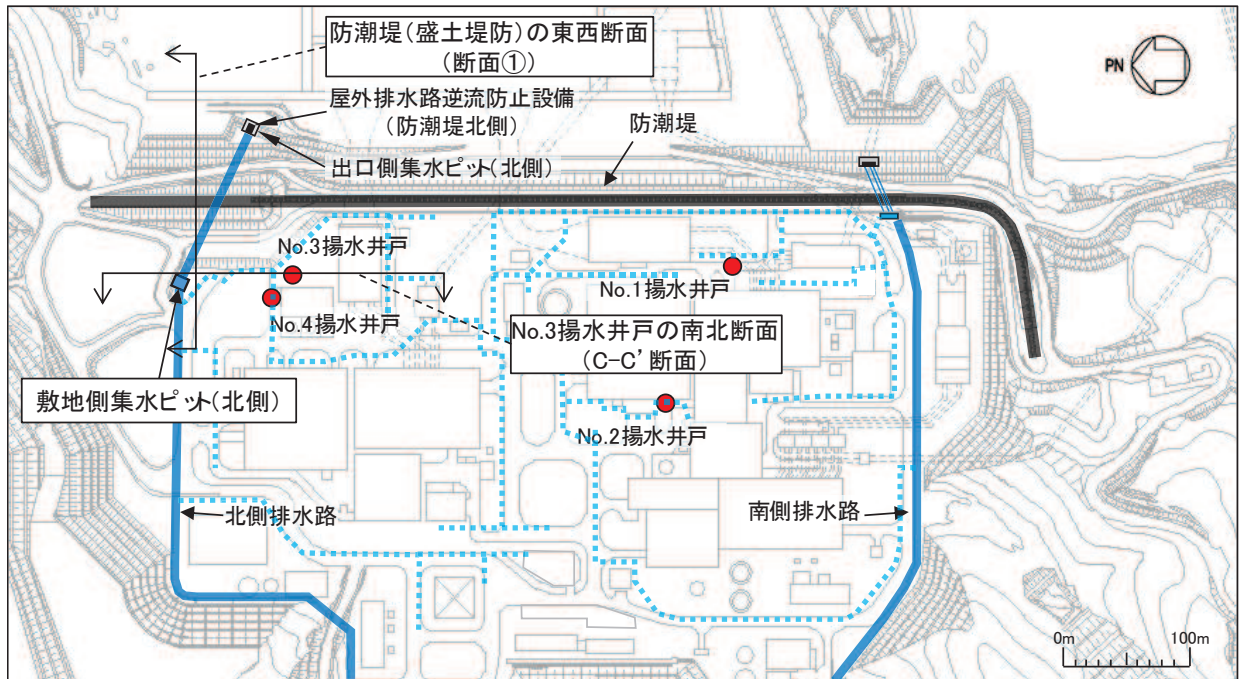


図 1-8 集水ピットと No. 3 揚水井戸及び防潮堤（盛土堤防）の位置関係（平面図）

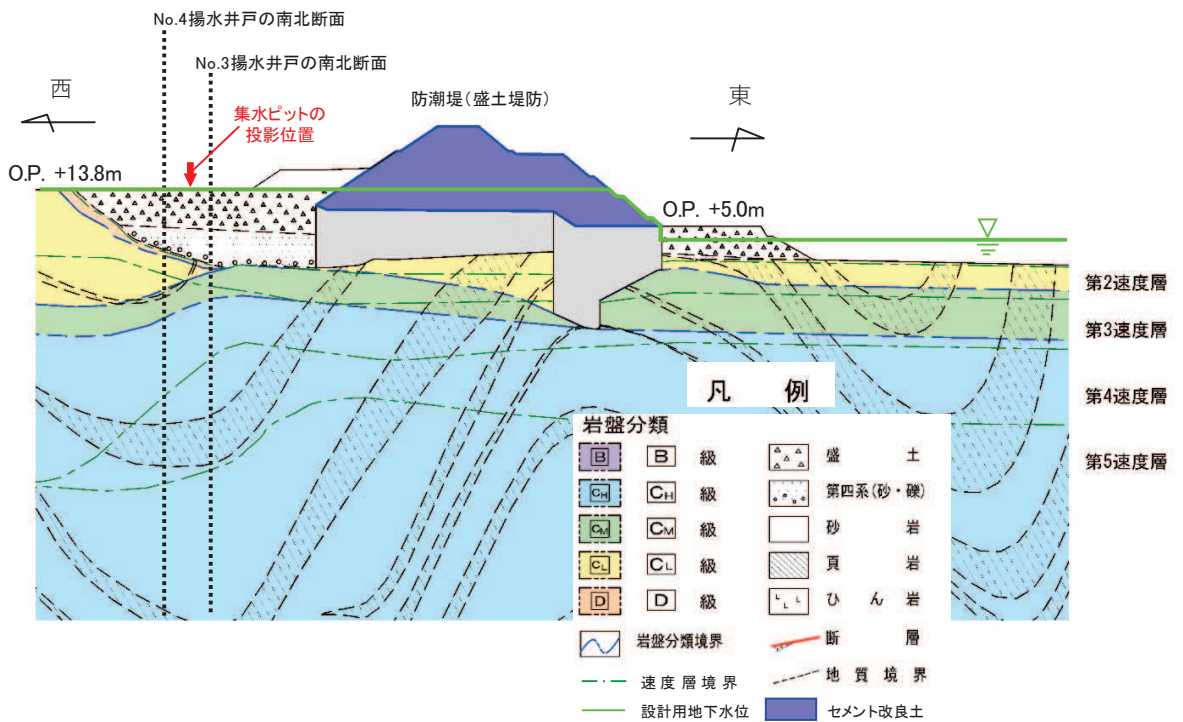


図 1-9 防潮堤（盛土堤防）の地質断面図（集水ピット投影）

表 1-1 のとおり一次元地震応答解析の最大水平変位は S s - N 1 であったが、一次元地震応答解析では二次元的な効果及び液状化による影響が考慮されていないことを踏まえ、基準地震動 7 波すべてに対して二次元有効応力解析を実施した。

二次元有効応力解析から得られる地表面の最大水平変位を表 1-2 に、各地震動の深度分布を図 1-10 に示す。

表 1-2 及び図 1-10 から、地表面の最大水平変位は S s - D 1 の 19.40 (cm) であり、S s - N 1 での地表面の最大水平変位は 16.46 (cm) であることを確認した。これらの最大水平変位は深度方向にほぼ一定になっており、集水ピットの位置での層間変位も最大で S s - D 1 の 2.02 (cm) であり非常に小さい値となっている。また、この層間変位について一次元地震応答解析（改良地盤なし）の結果（表 1-1）と比較すると、すべての地震動において一次元地震応答解析（改良地盤なし）の層間変位の方が大きくなっていることを確認した。

図 1-11 の地質断面図から、集水ピットの投影位置直下には旧表土が分布しており、旧表土は地下水位以深であることが確認できる。また、過剰間隙水圧比分布の例として図 1-12 に S s - N 1 の結果を示しており、この分布からこの地下水位以深の旧表土は過剰間隙水圧比 0.95 以上となっていることが確認でき、集水ピット周辺は液状化による影響を受けていると考えられる。

表 1-2 二次元有効応力解析による地表面の最大水平変位

地震動	地表面の最大水平変位 (cm) *
S s - D 1	19.40 (2.02)
S s - D 2	12.09 (0.29)
S s - D 3	11.78 (1.26)
S s - F 1	14.40 (0.76)
S s - F 2	11.45 (0.44)
S s - F 3	3.38 (0.31)
S s - N 1	16.46 (0.42)

注記*：括弧内の数値は集水ピットの層間変位（O.P.13.8m と O.P.7.0m の相対変位）を示す。なお、二次元有効応力解析のモデルでは O.P.7.3m に節点を設けていないため、安全側に深い方の節点である O.P.7.0m を集水ピットの底版標高として用いている。

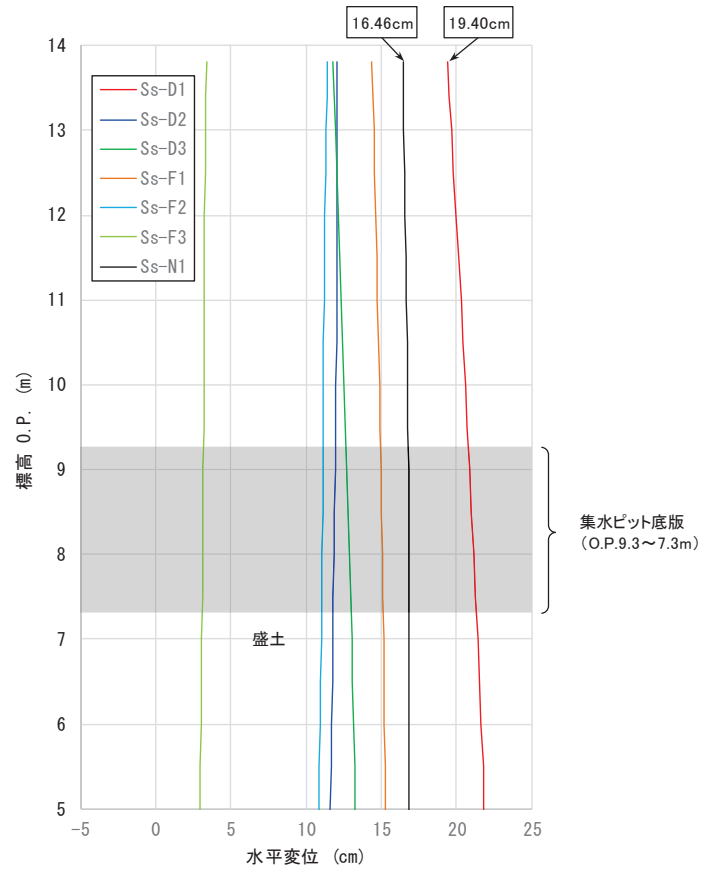


図 1-10 二次元有効応力解析による最大水平変位

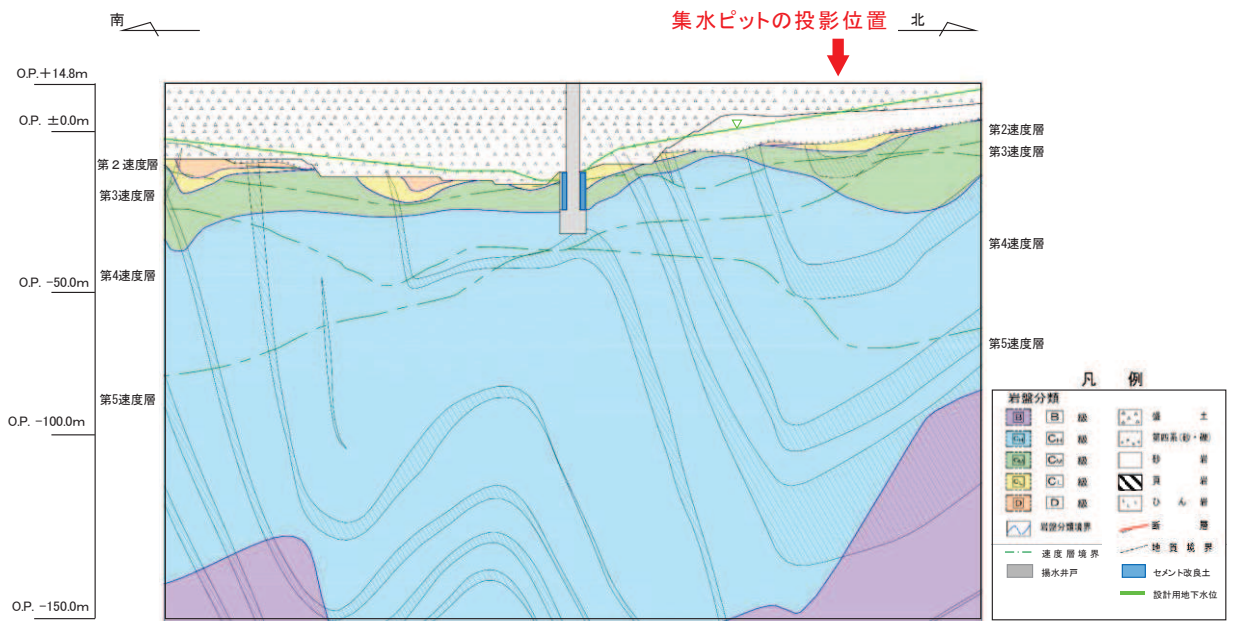


図 1-11 No.3 揚水井戸 評価対象断面図

(添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」
の図 3-3(3)一部加筆)

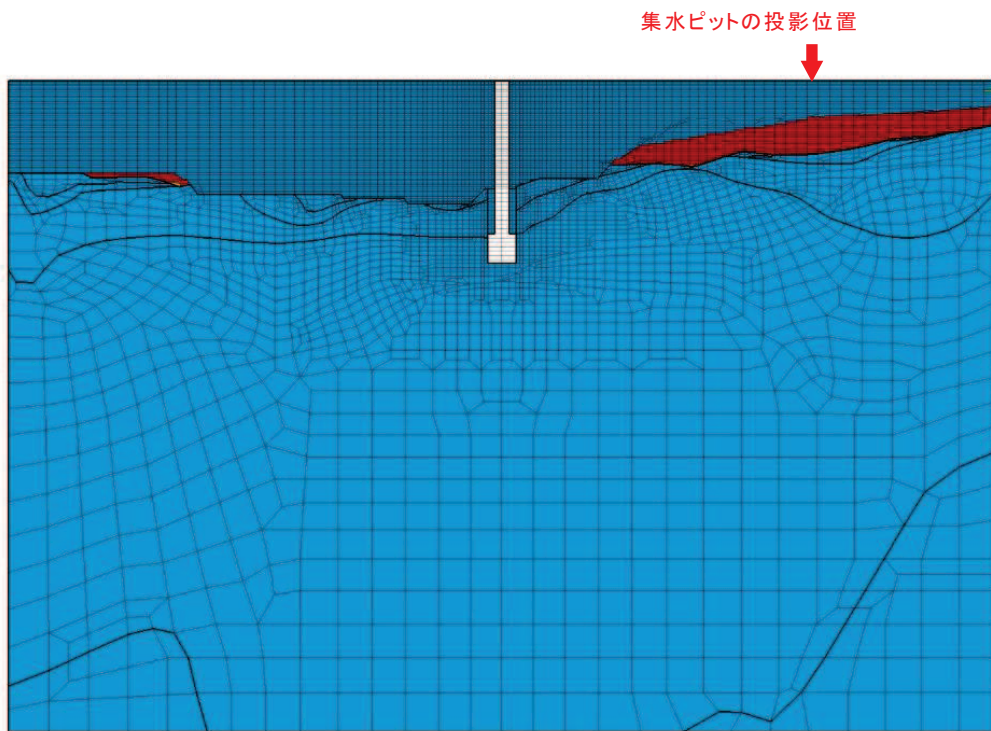


図 1-12 二次元有効応力による過剰間隙水圧比分布 (No. 3 揚水井戸, S s - N 1 (++))

(添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」
の図 4-35(7)一部加筆)

1.4 適用性の確認

「1.2 一次元地震応答解析」及び「1.3 二次元有効応力解析」から、集水ピット位置での地表面の最大水平変位はそれぞれ 12.73 (cm) 及び 19.40 (cm) であり、二次元有効応力解析の結果の方が大きくなっている。

二次元的な効果及び液状化による影響を考慮するため、一次元地震応答解析から得られる地表面の最大水平変位について、二次元有効応力解析の 19.40 (cm) を上回る 20 (cm) (集水ピットの層間変位は 5.89 (cm)) となるよう、深度方向に一律の補正係数 ($20/12.73 \div 1.58$) を乗じることとする (図 1-13 参照)。

以上のことから、一次元地震応答解析から得られる水平変位に、二次元的な効果及び液状化による影響として安全側に設定した補正係数を乗じることによって、二次元有効応力解析の結果を上回ることになるため、集水ピットの耐震評価において一次元地震応答解析を用いることは適用性を有していると判断した。

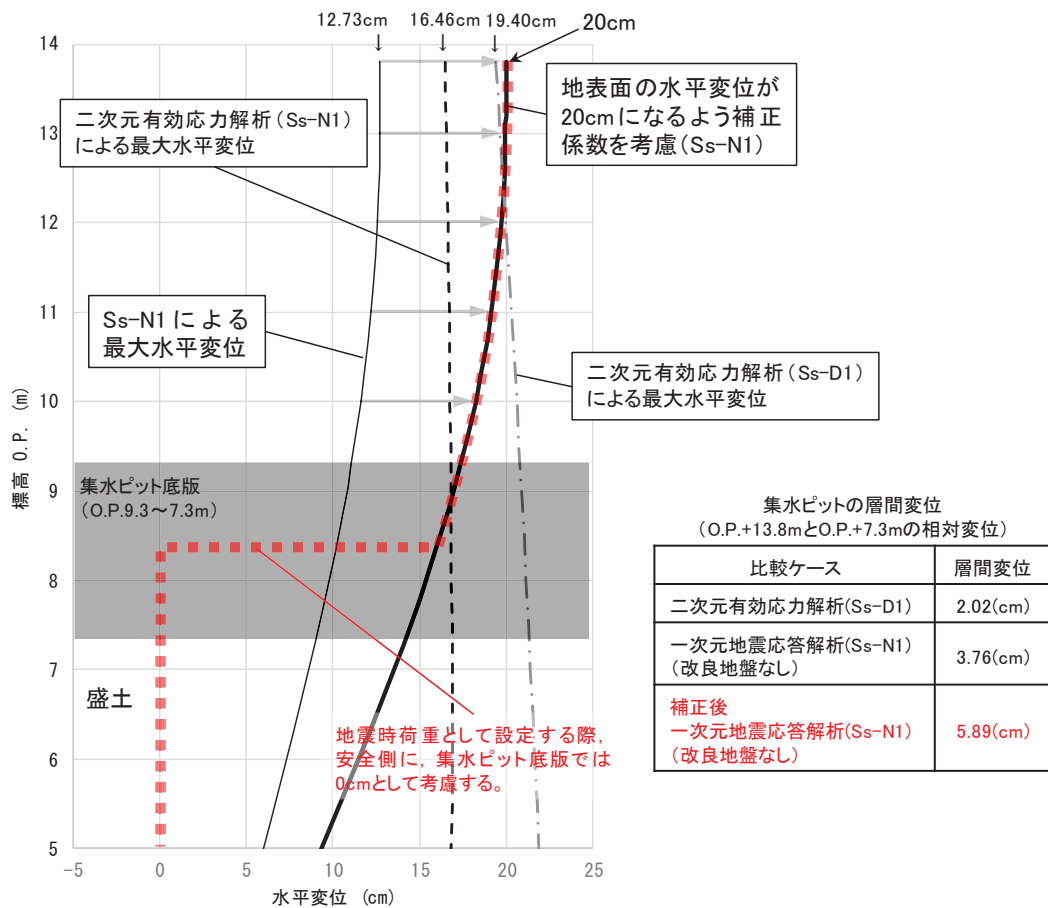


図 1-13 一次元地震応答解析から得られる水平変位に補正係数を考慮する方法

2. フレーム解析における頂版のモデル化について

2.1 敷地側集水ピット（北側）

集水ピットの耐震評価ではフレーム解析を実施することとしており、解析に用いるフレームモデルは、集水ピットの頂版、側壁及び底版を線形はり要素にて模擬することとしている。

本章は、側壁及び底版に加え、開口を有する頂版の断面諸元について説明するものである。

図 2-1 に集水ピットの平面図及び断面図を、表 2-1 に線形はり要素の断面諸元を示す。フレーム解析には表 2-1 に示す断面諸元を用いることとする。

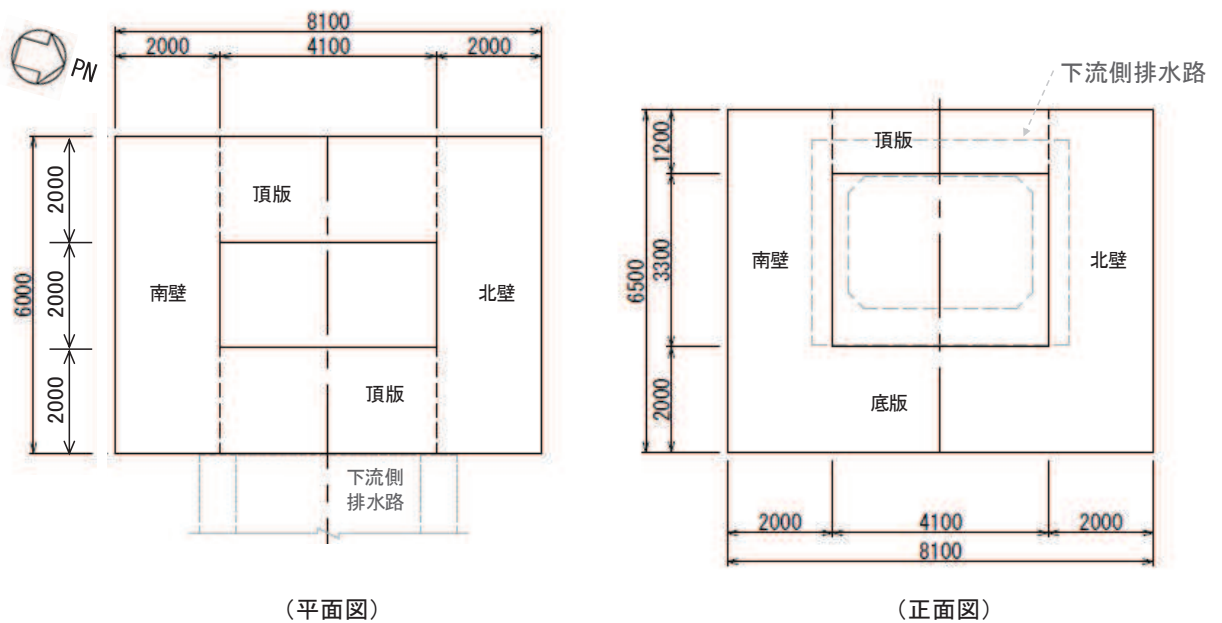


図 2-1 集水ピット平面図・断面図（単位：mm）

表 2-1 線形はり要素（集水ピット）の断面諸元

部材	部材厚 t (m)	モデル化奥行 b (m)	開口の影響 α	断面積 A (m ²) 【t × b × α 】	断面二次モーメント ZI (m ⁴) 【t ³ × b × α / 12】
頂版	1.2	1.0	2/3	0.8	0.096
北壁・南壁	2.0	1.0	1	2.0	0.667
底版	2.0	1.0	1	2.0	0.667

2.2 敷地側集水ピット（南側）

敷地側集水ピット（南側）は、耐震評価ではフレーム解析を実施することとしており、解析に用いるフレームモデルは、敷地側集水ピット（南側）の側壁、底版及び補強鋼材を線形はり要素にて模擬することとしている。

本章では、側壁及び底版の断面諸元について説明するものである。

フレームモデルを図 2-2 に、表 2-2 に線形はり要素の断面諸元を示す。フレーム解析には表 2-2 に示す断面諸元を用いることとする。

なお、敷地側集水ピット（南側）の側壁及び底版は単位奥行（1m）にてモデル化することとし、補強鋼材（切梁）は切梁の奥行ピッチ（2m）を踏まえ、0.5 本分でモデル化する。また、補強鋼材と集水ピット（南側）はピン結合によりモデル化する。

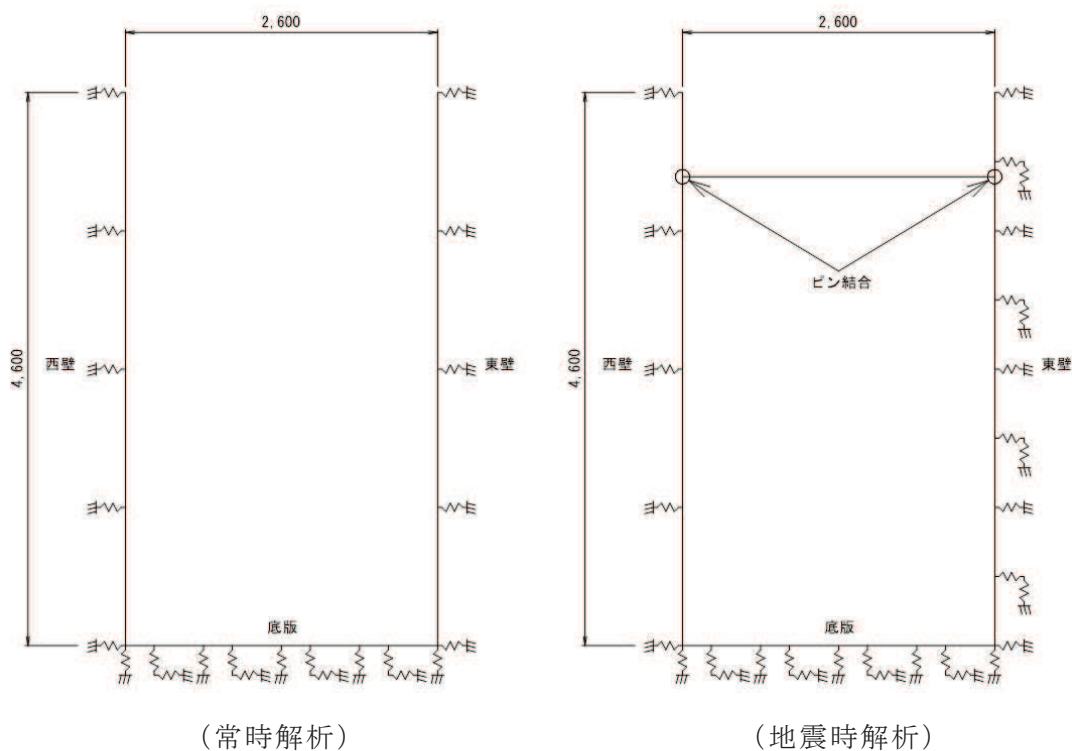


図 2-2 フレームモデル

表 2-2(1) 線形はり要素（敷地側集水ピット（南側））の断面諸元

部材	部材厚 h (m)	奥行 b (m)	断面積 A (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)
西壁	0.6	1.0	0.6	0.018
東壁	0.6	1.0	0.6*	0.018*
底版	0.6	1.0	0.6	0.018

注記*：東壁は南側排水路の開口（内径φ1.0m×3）を有するが、東壁背後（東側）は背面補強工及びコンクリートで充填されており、東壁にはほとんど変形が生じないことから、評価対象である西壁及び底版の評価へ及ぼす影響は小さいため、開口はモデル化に考慮しない。

表 2-2(2) 補強材（切梁）の断面諸元

部材	部材仕様	切梁の 奥行ピッチ s (m)	断面積 A (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)
切梁	H-300×300×10×15	2.0	0.005925	0.0001010