

VI-2-2-14 格納容器圧力逃がし装置基礎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	8
2.4 適用規格・基準等	10
3. 地震応答解析による評価方法	11
4. 応力解析による評価方法	14
4.1 評価対象部位及び評価方針	14
4.2 荷重及び荷重の組合せ	16
4.2.1 荷重	16
4.2.2 荷重の組合せ	19
4.3 許容限界	20
4.4 解析モデル及び諸元	22
4.4.1 モデル化の基本方針	22
4.4.2 解析諸元	25
4.5 評価方法	26
4.5.1 応力解析方法	26
4.5.2 断面の評価方法	29
5. 地震応答解析による評価結果	30
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	30
5.2 杭の評価結果	31
6. 応力解析による評価結果	32

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の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、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

装置基礎は、重大事故等対処施設においては「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」に分類される。装置基礎のうち、フィルタベント遮蔽壁（以下「遮蔽壁」という。）は、重大事故等対処施設において「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」に分類される。

以下、装置基礎の「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」としての分類に応じた耐震評価並びにフィルタベント遮蔽壁の「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」としての分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

装置基礎の設置位置を図 2-1 に示す。

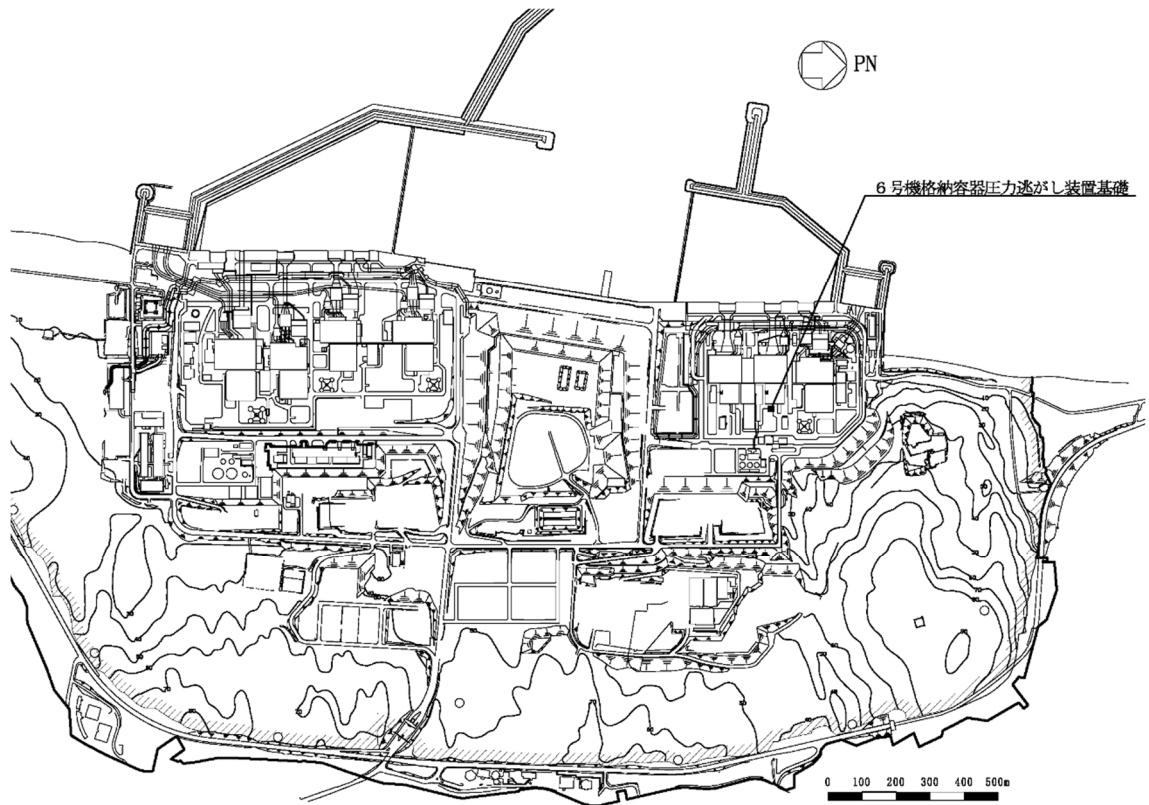


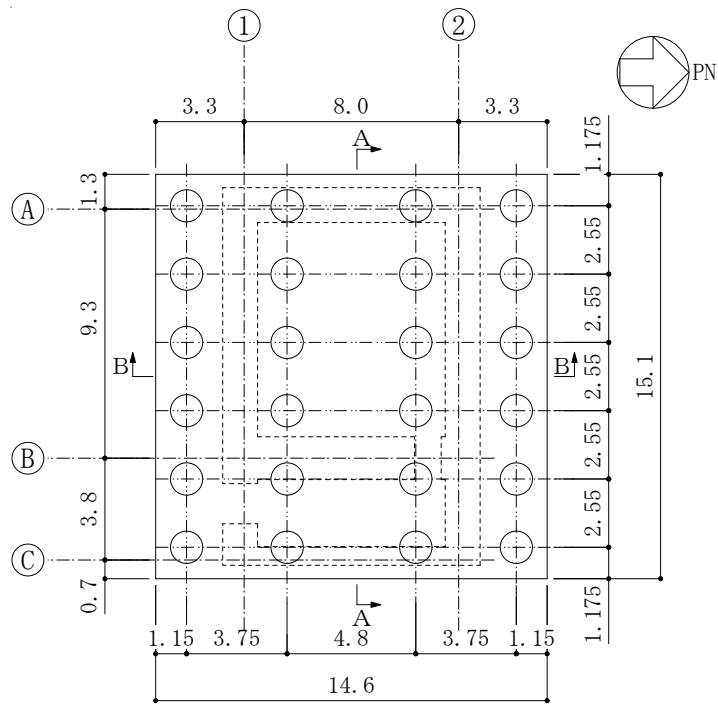
図 2-1 装置基礎の設置位置

2.2 構造概要

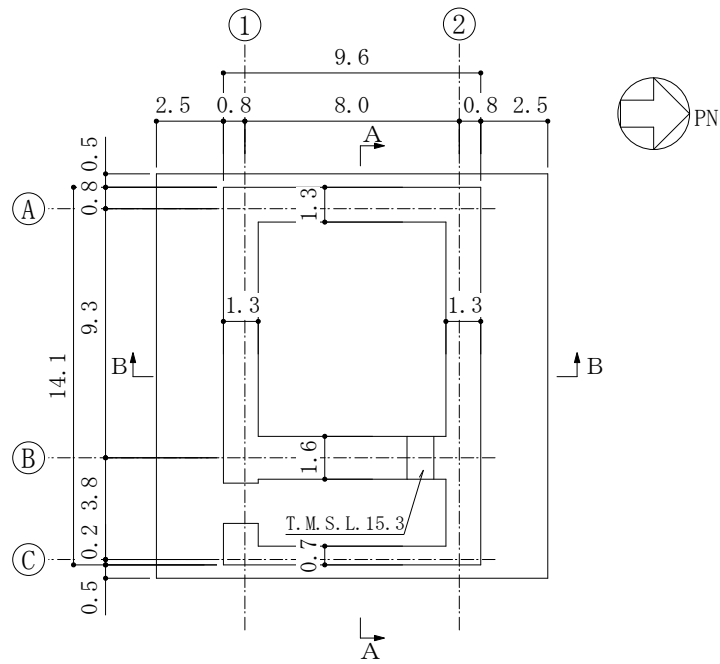
装置基礎は、基礎スラブ及び遮蔽壁で構成され、主要構造が鉄筋コンクリート造のボックス形状の構築物である。装置基礎の杭伏図及び概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に、耐震壁として考慮する遮蔽壁の範囲を図 2-4 に示す。また、遮蔽壁に対する補助遮蔽性能の要求範囲を図 2-5 に示す。

遮蔽壁の平面は、9.6m (NS 方向) ×14.1m (EW 方向)、地上高さは 14.3m であり、一部を除いて耐震壁として考慮する。装置基礎に加わる地震時の水平力は全て耐震壁で負担する。

基礎スラブは、平面が 14.6m (NS 方向) ×15.1m (EW 方向)、厚さ 2.5m であり、場所打ち鋼管コンクリート杭 (外径 1.2m、杭長 28.3m、根入れ深さ杭径以上、24 本、以下「杭」という。) を介して西山層に支持させている。また、液状化対策として、装置基礎の周辺にセメント系の地盤改良を実施する。



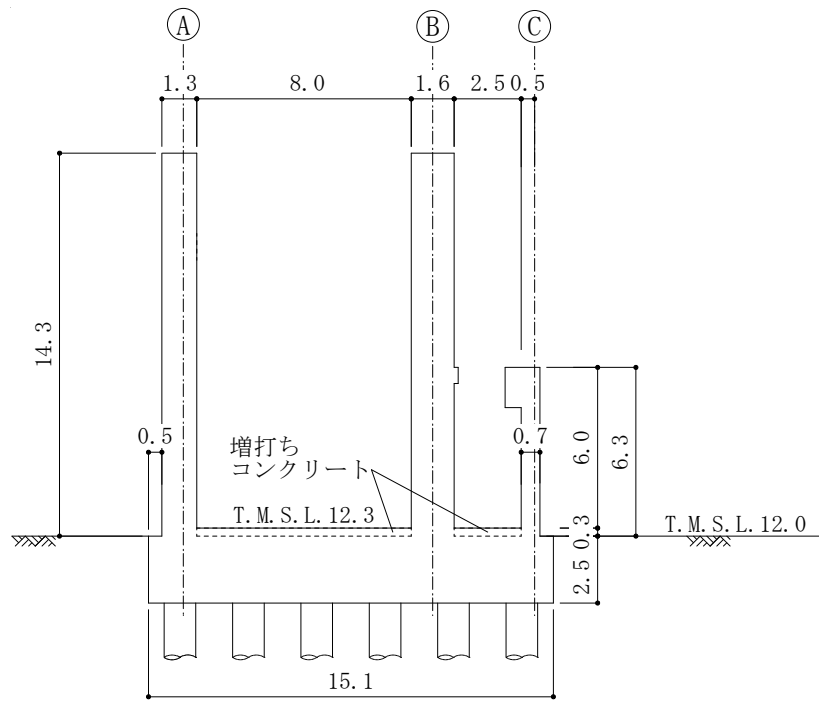
(a) 杭伏図



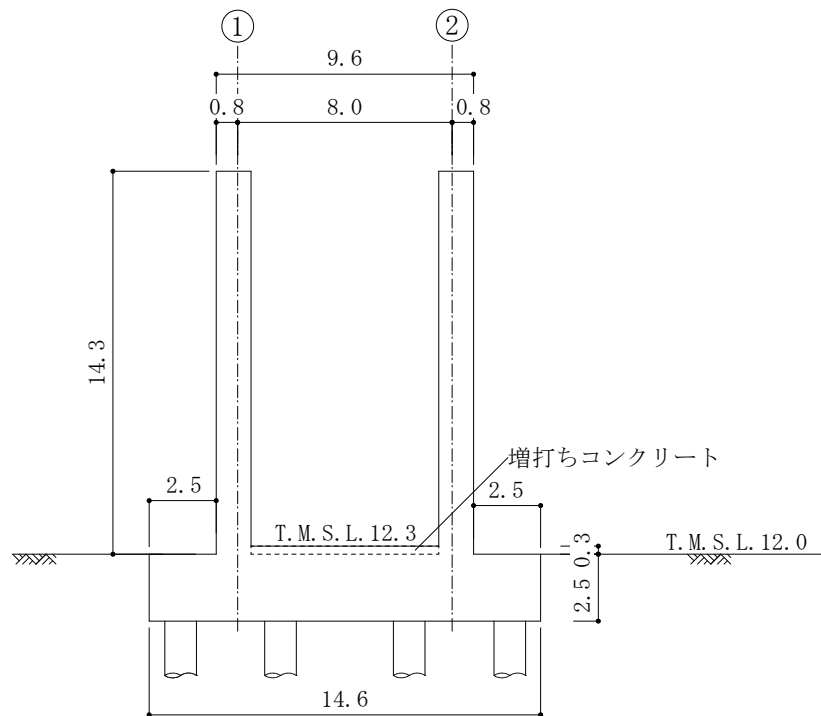
注：東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

(b) 概略平面図 (T.M.S.L. 12.3m)

図 2-2 装置基礎の杭伏図及び概略平面図 (単位：m)

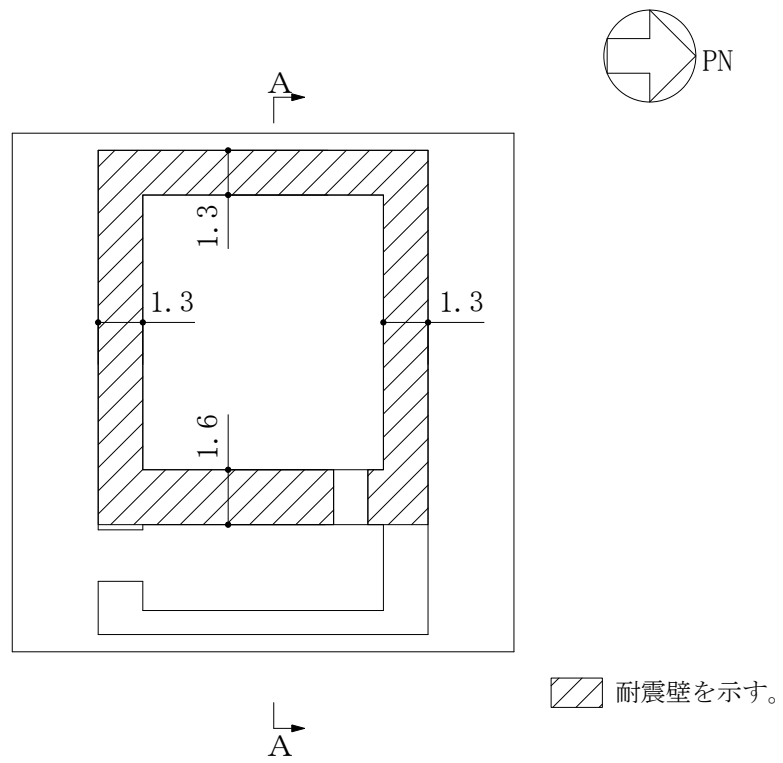


(a) A - A 断面



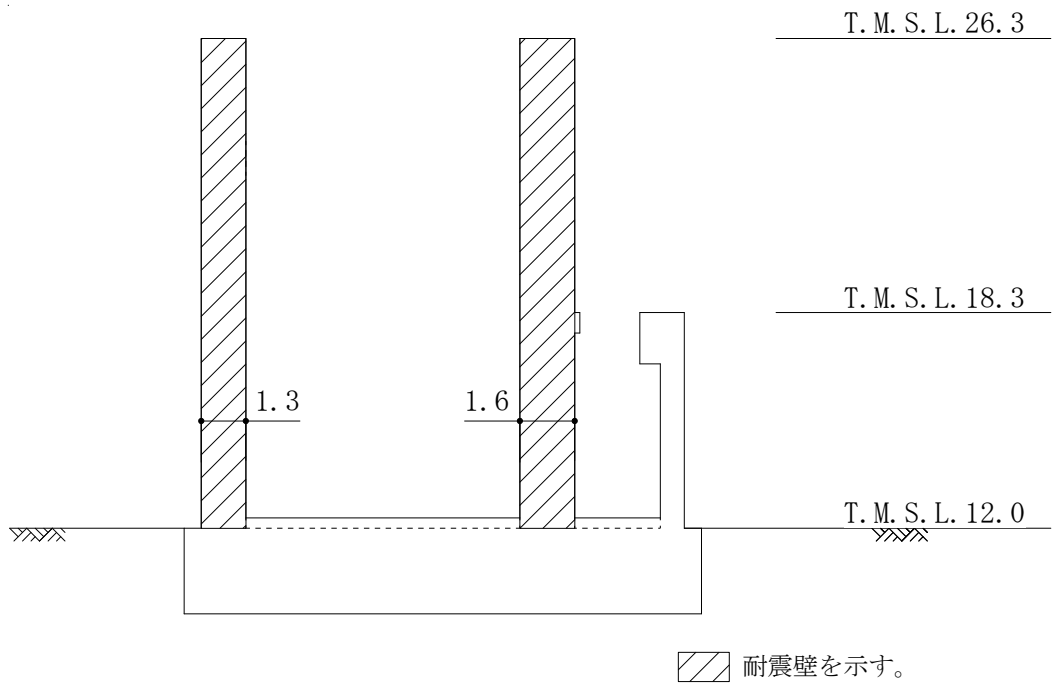
(b) B - B 断面

図 2-3 装置基礎の概略断面図 (単位 : m)



耐震壁を示す。

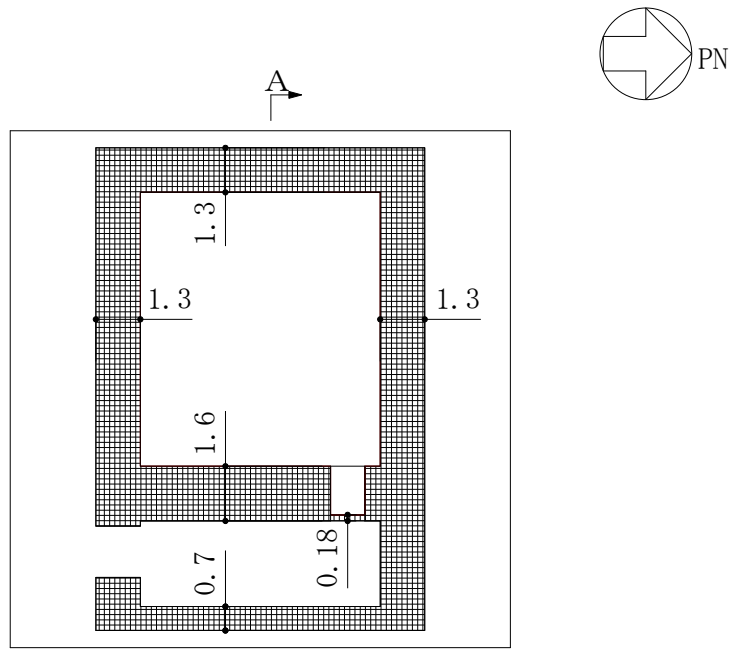
(a) 平面図





耐震壁を示す。

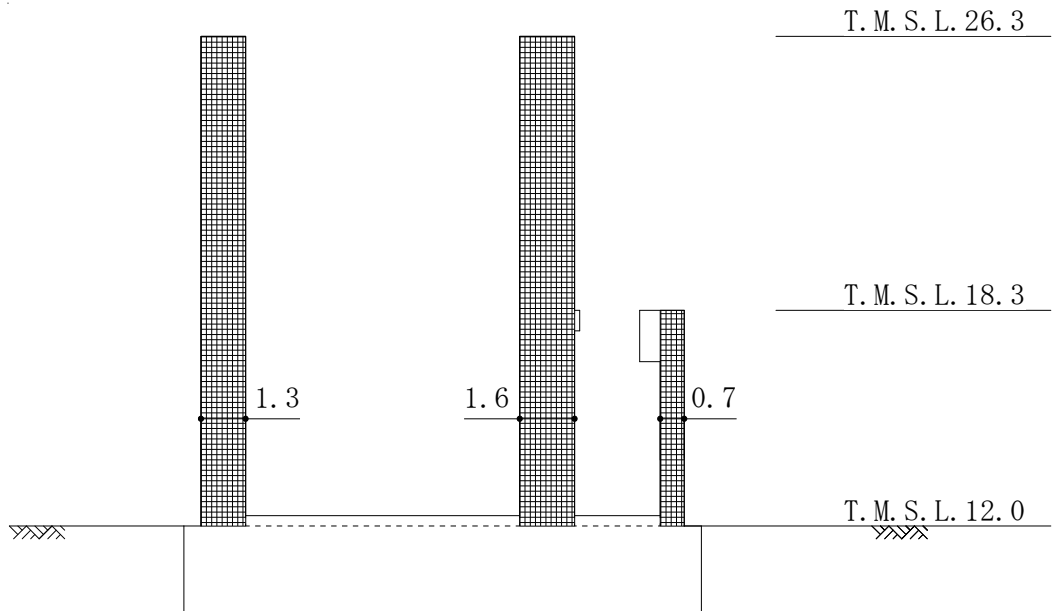
(b) A-A断面図


図 2-4 耐震壁として考慮する遮蔽壁の範囲 (単位 : m)



 補助遮蔽（壁）を示す。


(a) 平面図



 補助遮蔽（壁）を示す。

(b) A - A 断面図

図 2-5 補助遮蔽性能の要求範囲（単位：m）

2.3 評価方針

装置基礎は、重大事故等対処施設においては「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」に分類される。

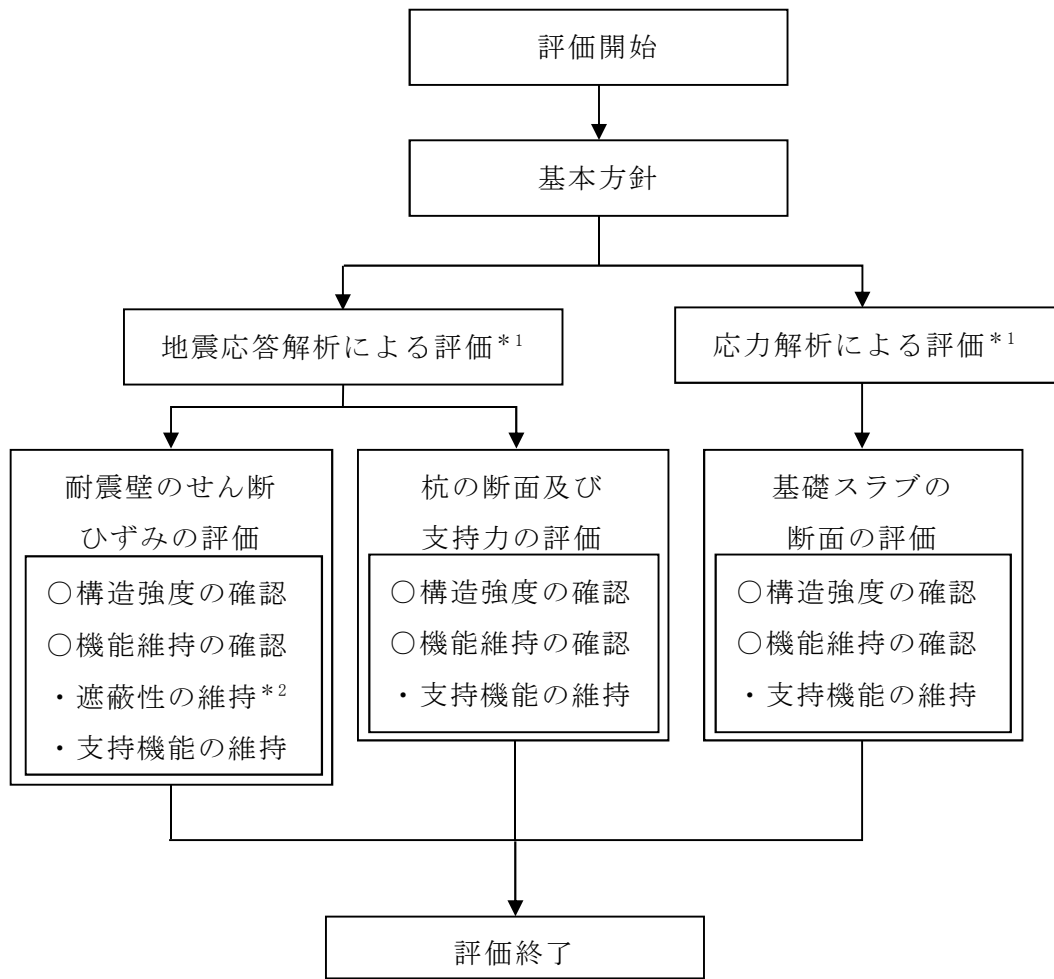
装置基礎の重大事故等対処施設としての評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととし、VI-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。装置基礎の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては、耐震壁のせん断ひずみ並びに杭の断面、支持力及び引抜き抵抗力の評価を、応力解析による評価においては基礎スラブの断面の評価を行うことで、装置基礎の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

ここで、装置基礎では、運転時及び重大事故等時の状態において、温度の条件が異なるが、コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下及び剛性低下は認められず、その影響は小さいと考えられること、また、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」（社）日本機械学会，2003）では要素内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり、十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないとされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、地震時荷重と温度応力は組み合わせない。

装置基礎の評価フローを図 2-6 に示す。

表2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	地盤剛性	備考
①ケース 1 (設工認モデル)	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 (地盤剛性+ σ)	標準地盤+ σ (初期せん断弾性係数：埋戻土+54%及び せん断波速度：西山層+10%)	—
③ケース 3 (地盤剛性- σ)	標準地盤- σ (初期せん断弾性係数：埋戻土-35%及び せん断波速度：西山層-10%)	—



注記*1 : VI-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

*2 : 補助遮蔽について実施する。

図 2-6 装置基礎の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法― ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説―許容応力度設計と保有水平耐力― ((社) 日本建築学会, 2001 改定)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2001 改定)
- ・ 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, 平成14 年3月)
- ・ 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)
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 地震応答解析による評価方法

装置基礎の地震応答解析による評価対象部位は耐震壁及び杭とし、 S_s 地震時に対する評価を行う。

耐震壁の構造強度及び機能維持の確認については、VI-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

杭の断面の評価については、地震応答解析より求めた軸力、曲げモーメント及びせん断力に対して行う。軸力に対する検討では、杭に生じる軸力が極限支持力及び極限引抜き抵抗力を超えないことを確認する。曲げモーメントに対する検討では、杭に生じる曲げモーメントが S_s 地震時に発生する杭軸力を考慮した杭の終局曲げ耐力以下であることを確認する。せん断力に対する検討では、杭に生じるせん断力が杭の終局せん断耐力以下であることを確認する。杭の終局せん断耐力は鋼管の短期許容せん断力により評価する。

地震応答解析による評価における装置基礎の許容限界は、VI-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方針に基づき、表3-1のとおり設定する。

杭の断面性能及び鋼管の短期許容応力度を表3-2及び表3-3に示す。極限支持力及び極限引抜き抵抗力は「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，平成14年3月）（以下「道路橋示方書」という。）に基づき算定する。また、杭軸力を考慮した終局曲げ耐力は、「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計と保有水平耐力」（（社）日本建築学会，2001改定）（以下「SRC規準」という。）に基づき算定する。杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力を表3-4に、曲げモーメントと杭軸力の関係を図3-1に、短期許容せん断力を表3-5に示す。

表 3-1 地震応答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 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			杭	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	「道路橋示方書」及び「SRC 規準」に基づく終局耐力
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹ (補助遮蔽)	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
支持機能* ²	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	耐震壁* ¹	最大せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			杭	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	「道路橋示方書」及び「SRC 規準」に基づく終局耐力

注記*1 : 装置基礎としては、地震力を全て耐震壁で負担する構造で、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さいため、耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2 : 「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 3-2 杭の断面性能

外径 D (mm)	板厚* ¹ t (mm)	全断面積* ² A (m ²)	せん断 断面積* ² A _s (m ²)	断面二次 モーメント* ² I (m ⁴)
1200	25	1.838	1.344	0.2236

注：コンクリートは $F_c = 24\text{N/mm}^2$ とする。

注記*1：上記の板厚に対して腐食代 1mm を考慮する。

*2：表中の断面諸元はコンクリート換算した値である。

表 3-3 鋼管の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SKK490	325	187

注：材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を 1.1 倍して算出する。

表 3-4 杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力

杭径 ϕ (mm)	極限支持力 R _u (kN)	極限引抜き抵抗力 P _u (kN)
1200	19000	13000

表 3-5 杭の短期許容せん断力

杭径 ϕ (mm)	短期許容せん断力 Q _{s u} (kN)
1200	8270

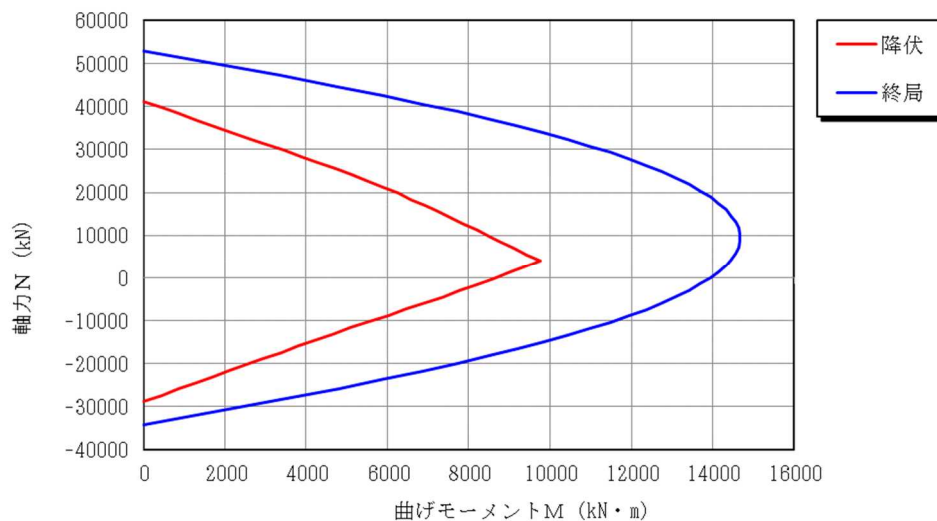


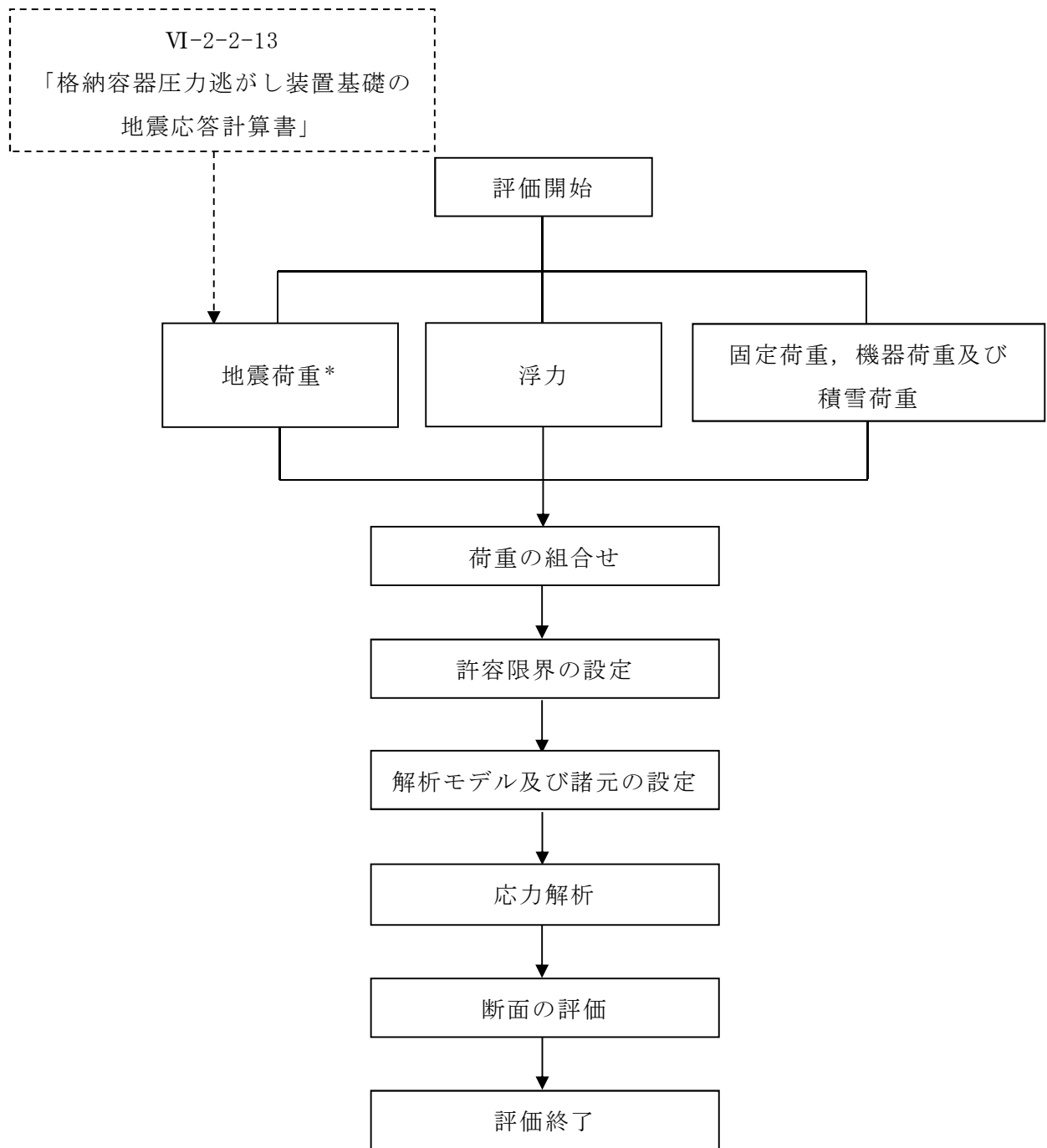
図 3-1 杭の曲げモーメントー軸力の相関

4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

装置基礎の応力解析による評価対象部位は基礎スラブとし、構造物の荷重伝達及び遮蔽壁による拘束効果を考慮するため、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析により評価を行う。

弾性応力解析にあたっては、VI-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S_s による結果を用いて、荷重の組合せを行う。基準地震動 S_s により算定される応力が、適用規格・基準等を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。図4-1に応力解析による評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-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の組合せを用いる。

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重 (G)

装置基礎に作用する固定荷重は、VI-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの重量を考慮して表4-1のとおり設定する。

表 4-1 固定荷重 (G)

部位	荷重 (kN/m ²)	備考
遮蔽壁	24.0*・t	t : 遮蔽壁の厚さ(m)
基礎スラブ	24.0*・t	t : 基礎スラブの厚さ(m)

注記* : 鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

(2) 機器荷重 (E)

機器荷重は表 4-2 のとおり設定する。

表 4-2 機器荷重 (E)

機器名称	設置レベル T. M. S. L. (m)	機器荷重 (kN)
フィルタ装置	12.0	1050
よう素フィルタ等	26.3	699

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪量は 31.1cm とし、積雪荷重は、表 4-3 のとおり設定する。

表 4-3 積雪荷重 (P_s)

外力の状態	積雪荷重 (kN/m ²)
S _s 地震時	0.914

(4) 浮力 (B L)

浮力は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき地下水位面を地表面 (T. M. S. L. 12. 0m) とし、基礎スラブに上向きの等分布荷重として入力する。ただし、装置基礎は原子炉建屋近傍にあり、地下水排水設備による地下水低下の影響が考えられるため、浮力を無視したケースについても考慮する。

(5) 地震荷重 (S s)

地震荷重 (S s) は、VI-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」から得られる S s 地震時の水平及び鉛直方向の最大応答値から算定する。なお、地震荷重は、浮力考慮ケース・浮力無視ケースともに地下水位面を地表面 (T. M. S. L. 12. 0m) に設定し、材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。機器による地震荷重は別途考慮する。

地震荷重の算定に用いる最大応答値を表 4-4～表 4-6 に示す。

表 4-4 最大応答せん断力

部材 番号	NS 方向 ($\times 10^2$ kN)	EW 方向 ($\times 10^2$ kN)
(1)	266	266

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-5 最大応答曲げモーメント

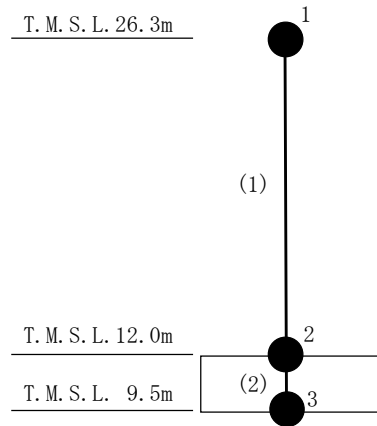
部材 番号	NS 方向 ($\times 10^3$ kN・m)	EW 方向 ($\times 10^3$ kN・m)
(1)	384	385

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-6 最大応答軸力（鉛直方向）

部材 番号	鉛直方向 ($\times 10^2$ kN)
(1)	88.6

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。



注：数字は質点番号を，() 内は部材番号を示す。

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-7 に示す。

表 4-7 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時 (浮力考慮)	G + E + P _s + S _s + B L
S _s 地震時 (浮力無視)	G + E + P _s + S _s

G : 固定荷重

E : 機器荷重

P_s : 積雪荷重

S_s : 地震荷重

B L : 浮力

4.3 許容限界

応力解析による評価における装置基礎の基礎スラブの許容限界は、VI-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方針に基づき、表4-8のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表4-9及び表4-10に示す。

表4-8 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(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	基礎スラブ	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-N規準」に基づく終局強度*1
支持機能*2	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	基礎スラブ	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-N規準」に基づく終局強度*1

注記*1 : 「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」((社)日本建築学会, 2005制定)(以下「RC-N規準」という。)の短期許容応力度の鋼材の基準強度Fを「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)(以下「技術基準解説書」という。)に基づき1.1倍(せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度Fは1.0倍)した耐力とする。

*2 : 「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 4-9 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
24.0	16.0	1.09

表 4-10 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD345	345	345

注：材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を 1.1 倍して算出する。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、構造物の荷重伝達及び遮蔽壁による拘束効果を考慮するため、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析とする。解析モデルには、基礎スラブ内に生じる応力を適切に評価するため、耐震壁に限らず全ての遮蔽壁を考慮する。解析モデルを図 4-2 及び図 4-3 に示す。

解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 使用要素

解析モデルでは FEM 要素として、基礎スラブ及び遮蔽壁にシェル要素を用いる。解析モデルの節点数は 1563、要素数は 1450 である。

(3) 境界条件

解析モデルの基礎底面には、水平方向及び鉛直方向の地盤ばねを設ける。地盤ばねは地震応答解析モデルにおける地盤部分の 3次元 FEM モデルを用いて加振解析を行い、算定した複素インピーダンスの実部から設定し、杭位置の各節点に離散化する。

なお、水平方向の地盤ばねは NS 方向及び EW 方向各々の水平ばね定数に基づき設定する。鉛直方向の地盤ばねは、水平方向地震に対しては NS 方向及び EW 方向各々の回転ばね定数、鉛直方向地震を含む鉛直荷重に対しては鉛直ばね定数に基づき設定する。

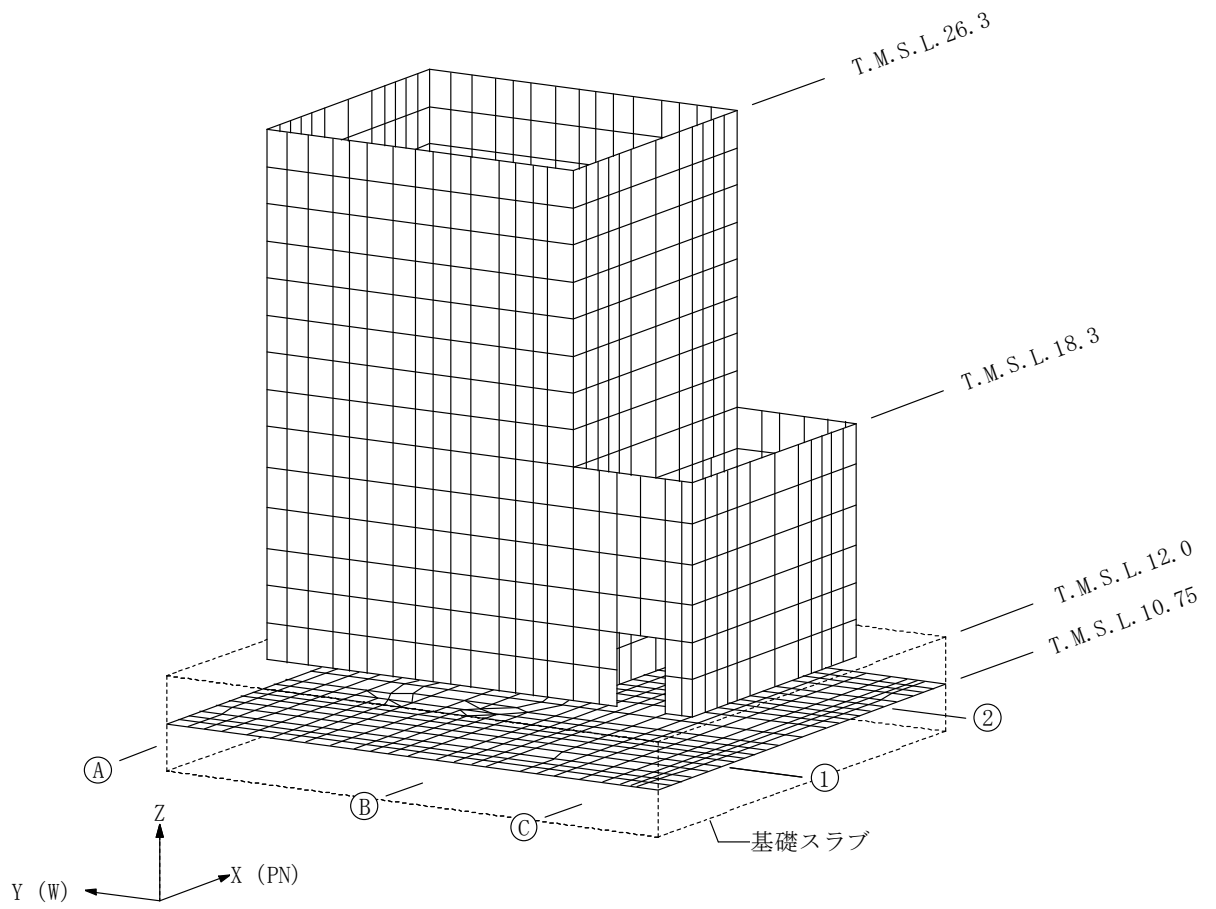
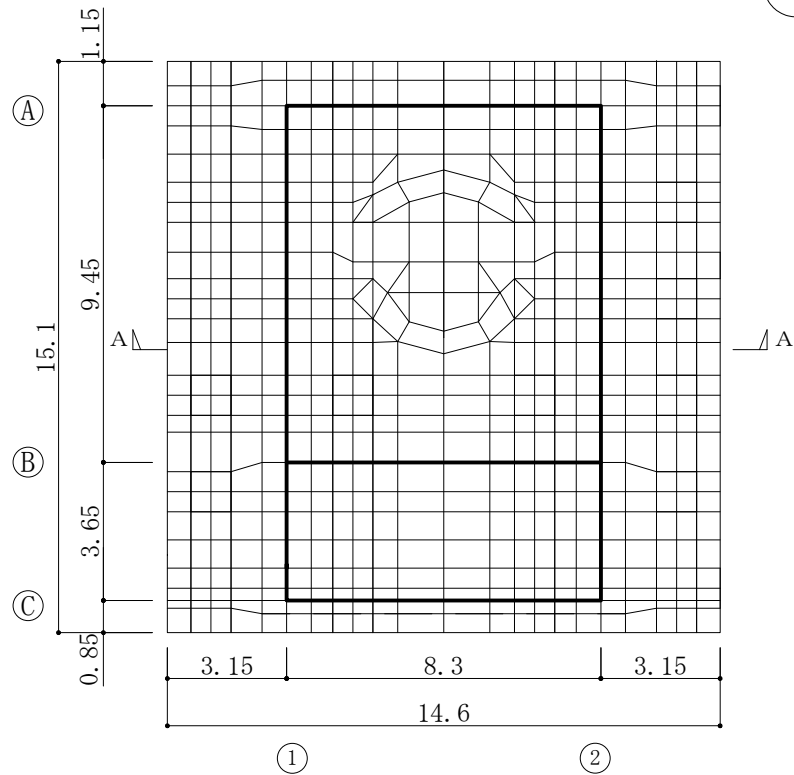
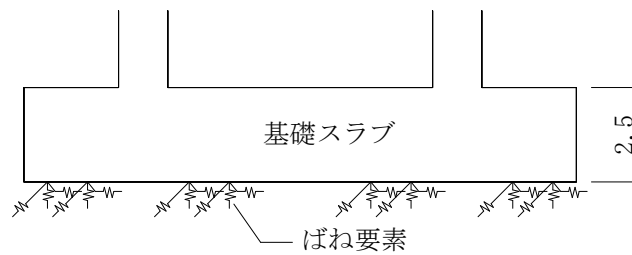


図 4-2 解析モデル (装置基礎モデル鳥瞰図) (単位 : m)



注：太線は，遮蔽壁の位置を示す。

(a) 平面図



注：ばね要素は，杭位置の各節点に離散化する。

(b) A-A断面図

図 4-3 解析モデル（基礎スラブ）（単位：m）

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-11 に示す。

表 4-11 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数 (N/mm ²)	2.27×10^4
ポアソン比	0.2

注：剛性は設計基準強度 F_c (24.0N/mm²) に基づく。

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

装置基礎の基礎スラブについて、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

- G : 固定荷重
- E : 機器荷重
- P_s : 積雪荷重
- S_{s WE} : 水平地震荷重 (W→E 入力, EW 方向)
- S_{s EW} : 水平地震荷重 (E→W 入力, EW 方向)
- S_{s SN} : 水平地震荷重 (S→N 入力, NS 方向)
- S_{s NS} : 水平地震荷重 (N→S 入力, NS 方向)
- S_{s UD} : 鉛直地震荷重
- B L : 浮力

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-12 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008」((社)日本電気協会)を参考に、組合せ係数法(組合せ係数は 1.0 と 0.4)を用いるものとする。

表 4-12 荷重の組合せケース

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1	1.0 : 0.4	上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{WE}} - 0.4S_{s_{UD}} + B L$
2		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{WE}} + 0.4S_{s_{UD}} + B L$
3		上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{EW}} - 0.4S_{s_{UD}} + B L$
4		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{EW}} + 0.4S_{s_{UD}} + B L$
5		上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{SN}} - 0.4S_{s_{UD}} + B L$
6		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{SN}} + 0.4S_{s_{UD}} + B L$
7		上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{NS}} - 0.4S_{s_{UD}} + B L$
8		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{NS}} + 0.4S_{s_{UD}} + B L$
9	0.4 : 1.0	上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{WE}} - 1.0S_{s_{UD}} + B L$
10		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{WE}} + 1.0S_{s_{UD}} + B L$
11		上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{EW}} - 1.0S_{s_{UD}} + B L$
12		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{EW}} + 1.0S_{s_{UD}} + B L$
13		上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{SN}} - 1.0S_{s_{UD}} + B L$
14		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{SN}} + 1.0S_{s_{UD}} + B L$
15		上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{NS}} - 1.0S_{s_{UD}} + B L$
16		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{NS}} + 1.0S_{s_{UD}} + B L$
17	1.0 : 0.4	上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{WE}} - 0.4S_{s_{UD}}$
18		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{WE}} + 0.4S_{s_{UD}}$
19		上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{EW}} - 0.4S_{s_{UD}}$
20		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{EW}} + 0.4S_{s_{UD}}$
21		上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{SN}} - 0.4S_{s_{UD}}$
22		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{SN}} + 0.4S_{s_{UD}}$
23		上向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{NS}} - 0.4S_{s_{UD}}$
24		下向き	$G + E + P_s + 1.0S_{s_{NS}} + 0.4S_{s_{UD}}$
25	0.4 : 1.0	上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{WE}} - 1.0S_{s_{UD}}$
26		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{WE}} + 1.0S_{s_{UD}}$
27		上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{EW}} - 1.0S_{s_{UD}}$
28		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{EW}} + 1.0S_{s_{UD}}$
29		上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{SN}} - 1.0S_{s_{UD}}$
30		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{SN}} + 1.0S_{s_{UD}}$
31		上向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{NS}} - 1.0S_{s_{UD}}$
32		下向き	$G + E + P_s + 0.4S_{s_{NS}} + 1.0S_{s_{UD}}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

地震荷重は、上部構造物の慣性力を考慮する。杭に生じる反力が、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果と等価になるように設定する。基礎スラブ内に作用する荷重は、 S_s 地震時の上部構造物による入力荷重と杭に発生する荷重の差をFEMモデルの各要素の大きさに応じて分配し、節点荷重として入力する。

b. 固定荷重，機器荷重，積雪荷重及び浮力

固定荷重は、3次元FEMモデルの各要素に材料の単位体積重量に基づく重量を与える。また、積雪荷重，機器荷重及び浮力は、荷重の作用する箇所に分布荷重又は各要素の大きさに応じて分配した節点荷重として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

軸力，曲げモーメント及び面内せん断力については，必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量（A）は，「RC-N 規準」に基づき，各要素の NS 方向と EW 方向の軸力と曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量（A_t）を柱の許容応力度設計式を用いて算定し，これと面内せん断力に対して必要となる全鉄筋量（A_s）より，下式によって算定する。なお，軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋量は，「技術基準解説書」に基づき，鉄筋の引張強度を 1.1 倍として算定する。

$$A = A_t + A_s / 2 \dots\dots\dots (4. 1)$$

面外せん断力については，「RC-N 規準」に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断力が，次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b_j \{ \alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002) \} \dots\dots\dots (4. 2)$$

ここで，

- Q_A : 許容面外せん断力(N)
- b : 断面の幅(mm)
- j : 断面の応力中心距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値(mm)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度(N/mm²)
- α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。また，引張軸力が 2N/mm² を超える場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Qd) + 1} \dots\dots\dots (4. 3)$$

- M : 曲げモーメント(N・mm)
- Q : せん断力(N)
- d : 断面の有効せい(mm)
- w f_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度(N/mm²)
- p_w : せん断補強筋比で，次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b x} \dots\dots\dots (4. 4)$$

- a_w : 1 組のせん断補強筋の断面積(mm²)
- x : せん断補強筋の間隔(mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については，第 2 項を 0 とする。

5. 地震応答解析による評価結果

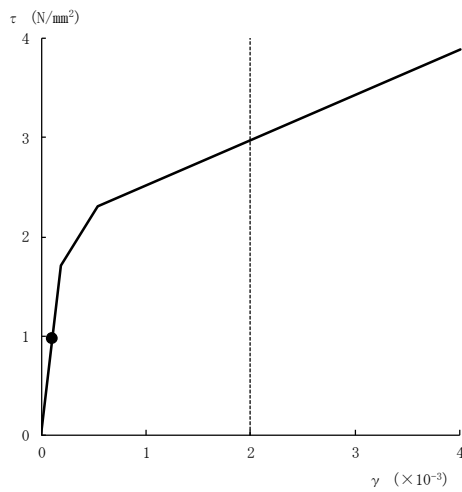
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、S s 地震時の最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

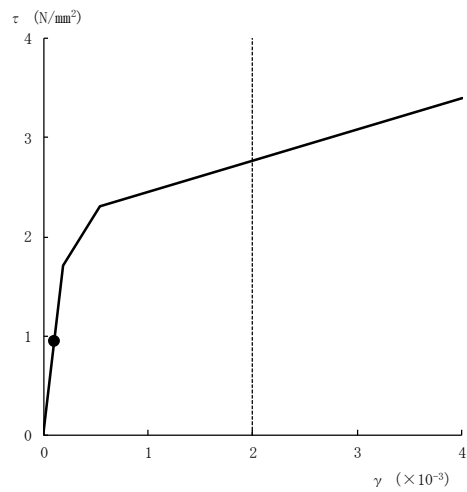
材料物性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみは 0.103×10^{-3} (NS 方向, Ss-1, ケース 3) であり、許容限界を超えないことを確認した。耐震壁の最大せん断ひずみ一覧を表 5-1 に示す。この表において、最大せん断ひずみについて、せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 5-1 に示す。

表 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大せん断ひずみ

方向	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
NS	0.103	2.0
EW	0.0993	



(a) NS 方向, Ss-1, ケース 3



(b) EW 方向, Ss-1, ケース 1

図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大せん断ひずみ

5.2 杭の評価結果

杭について、S s 地震時の軸力（鉛直支持力及び引抜き抵抗力）、曲げモーメント及びせん断力が許容限界を超えないことを確認する。

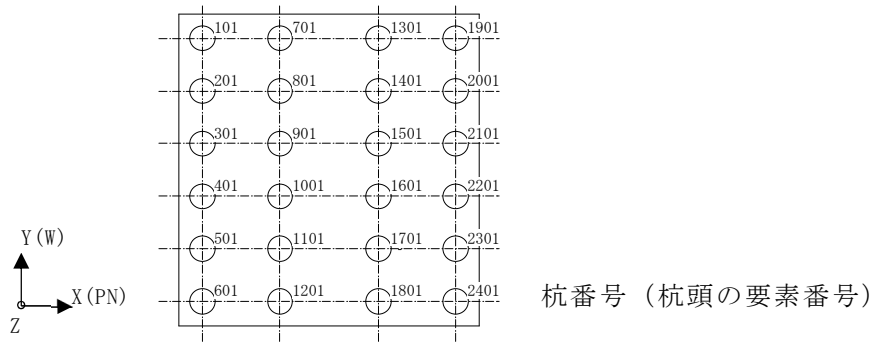
S s 地震時に発生する最大杭応力に対する評価結果を表 5-2 に示す。

S s 地震時において、発生する応力値が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-2 最大杭応力に対する評価結果

項目	S s 地震時	許容限界	検定値*	備考
鉛直支持力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	9.71	19.0	0.512	ケース 3, Ss-2, 杭番号 1901
引抜き抵抗力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	8.87	13.0	0.683	ケース 3, Ss-2, 杭番号 601
曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$)	1.31	1.44	0.910	ケース 3, Ss-2, 杭番号 601
せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	5.75	8.27	0.696	ケース 1, Ss-1(EW), 杭番号 1901

注記*：評価結果は材料物性の不確かさを考慮したものである。



6. 応力解析による評価結果

装置基礎の基礎スラブの配筋一覧を表 6-1 に、せん断補強筋の配筋領域図を図 6-1 に示す。

断面の評価結果を記載する要素を、以下のとおり選定する。

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価については、必要鉄筋量が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、面外せん断力に対する短期許容せん断力の割合が最小となる要素を選定する。選定した要素の位置を図 6-2 に、評価結果を表 6-2 に示す。

S s 地震時において、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。

表 6-1 基礎スラブの配筋一覧

スラブ厚 (m)	方向	位置	設計配筋
2.5	NS	上ば筋	2-D38@200
		下ば筋	2-D38@200
	EW	上ば筋	2-D38@200
		下ば筋	2-D38@200

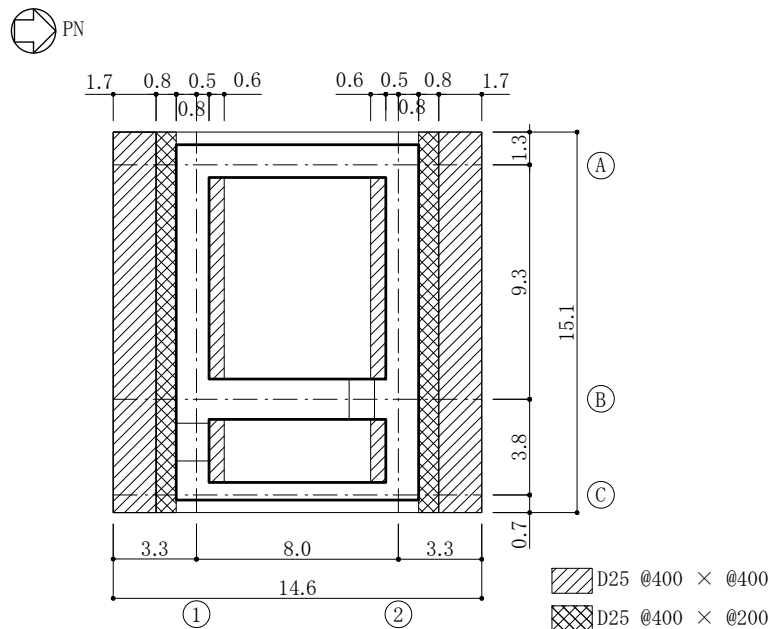


図 6-1 基礎スラブの配筋領域図 (せん断補強筋) (単位 : m)

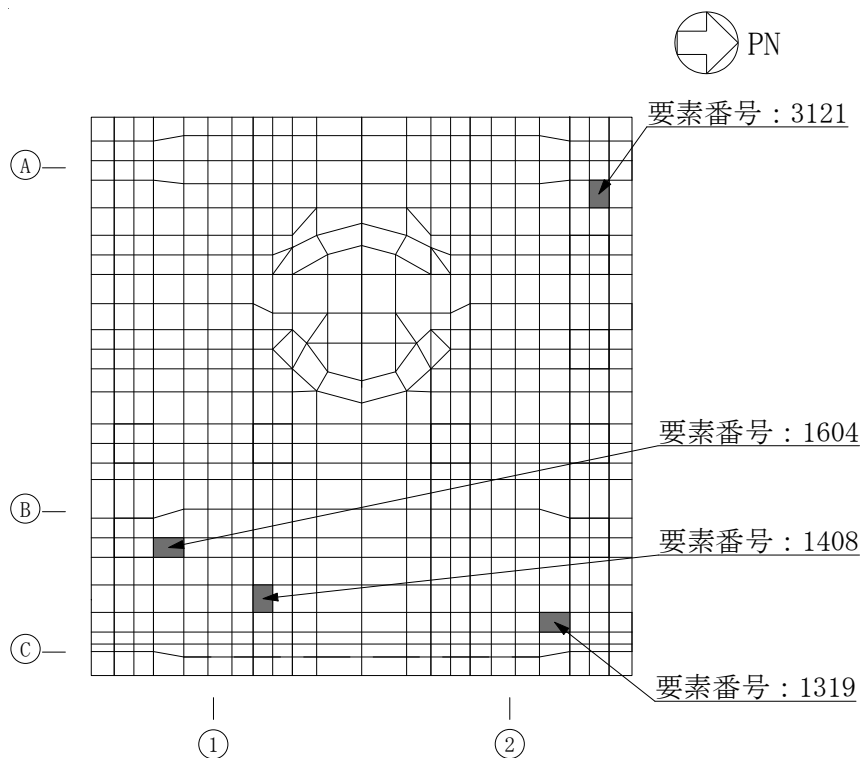


図 6-2 最大値発生位置

表 6-2 最大値一覧

項目	方向	評価項目	要素番号	荷重ケース	解析結果	許容限界	備考
軸力 + 曲げ モーメント + 面内せん断力	NS	必要鉄筋量 設計配筋量	1319	24	0.479	1.00	—
	EW	必要鉄筋量 設計配筋量	3121	18	0.511	1.00	—
面外せん断力	NS	面外せん断力 (kN/m)	1604	24	4120	5630	せん断* ¹ 補強筋
	EW	面外せん断力 (kN/m)	1408	18	3320	4190	コンク* ² リート

注記*1 : 検討対象要素がせん断補強筋がある領域にあることを示す。

*2 : 検討対象要素がせん断補強筋がない領域にあることを示す。

VI-2-2-15 緊急時対策所の地震応答計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」及びVI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づく緊急時対策所の地震応答解析について説明するものである。

緊急時対策所の地震応答解析に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画のV-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」による。

VI-2-2-16 緊急時対策所の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、緊急時対策所の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る。

緊急時対策所の耐震性に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画のV-2-2-16「緊急時対策所の耐震性についての計算書」による。

VI-2-2-17 軽油タンク基礎の地震応答計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 解析方針	5
2.4 適用基準	7
3. 解析方法	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	8
3.2.1 鉄筋コンクリート部材	8
3.2.2 鋼管杭	8
3.2.3 地盤	10
3.2.4 減衰定数	11
3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定	11
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	11
3.3.2 荷重	12
3.3.3 荷重の組合せ	12
3.4 入力地震動	13
3.5 解析モデル及び諸元	40
3.5.1 解析モデル	40
3.5.2 使用材料及び材料物性値	43
3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値	43
3.5.4 地下水位	44
4. 解析結果	45
4.1 A-A断面解析結果	45
4.2 B-B断面解析結果	63

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する軽油タンク基礎の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、軽油タンク基礎が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出するものである。その際、耐震設計に用いる応答値は、この地震応答解析により構造物に発生する応答加速度、曲率、断面力及び杭頭に発生する鉛直力とする。

また、機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

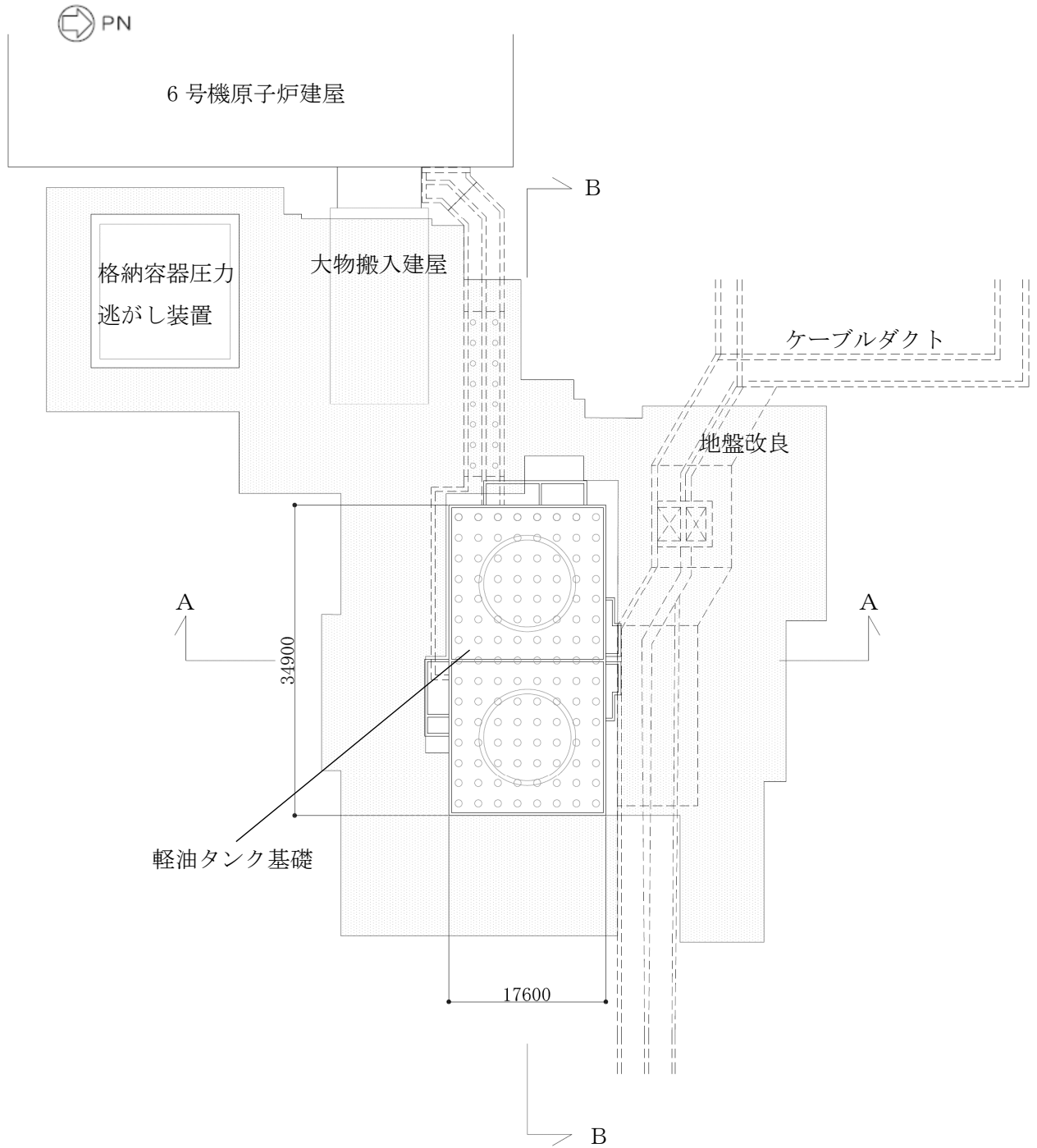
2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-23「軽油タンク基礎(6号機設備)の地震応答計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

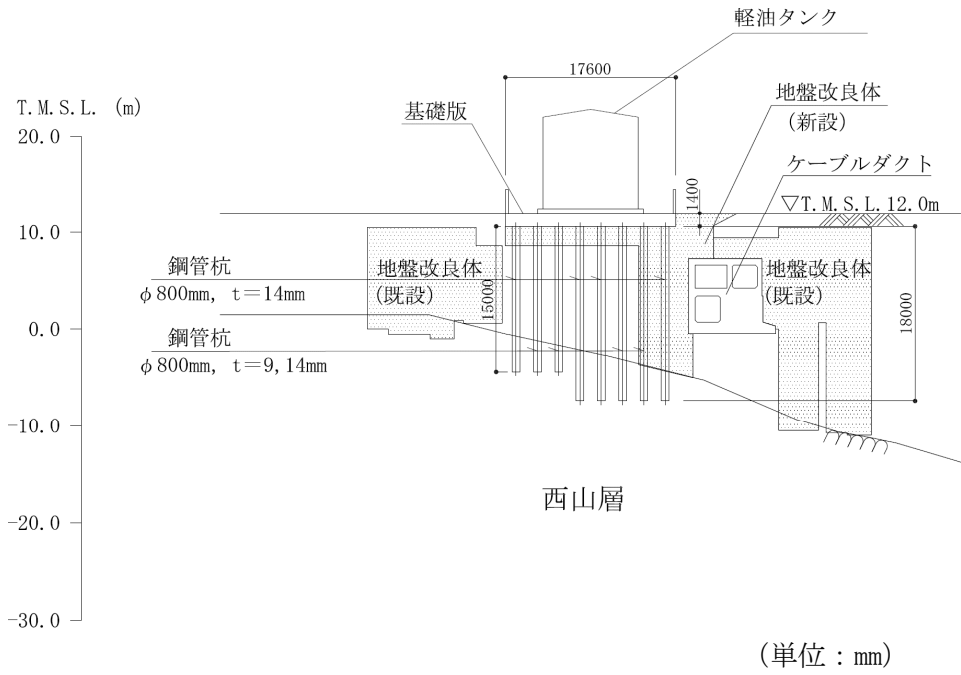
軽油タンク基礎の平面図を図 2-1、断面図を図 2-2 に示す。

軽油タンク基礎は、軽油タンクを間接支持する幅約 18m (NS 方向) × 約 35m (EW 方向)、高さ約 1.4m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。



(単位：mm)

図 2-1 軽油タンク基礎の平面図



注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-2 (1) 軽油タンク基礎の断面図 (A-A断面)

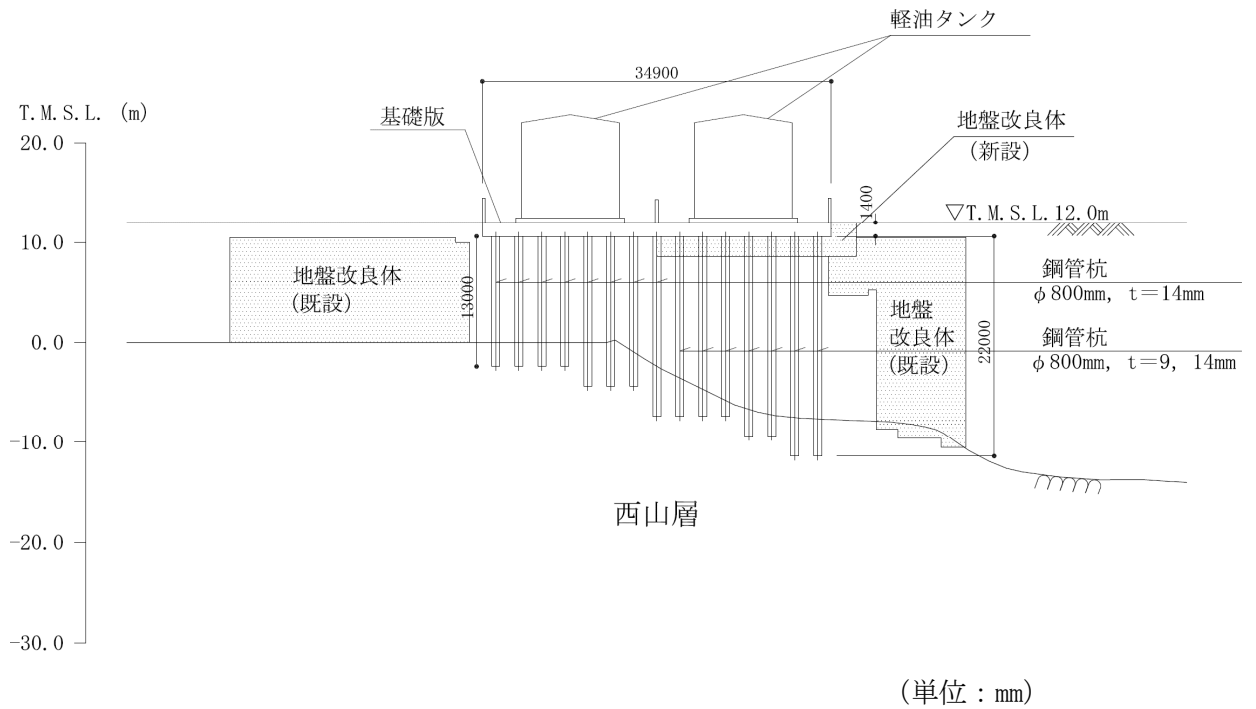


図 2-2 (2) 軽油タンク基礎の断面図 (B-B断面)

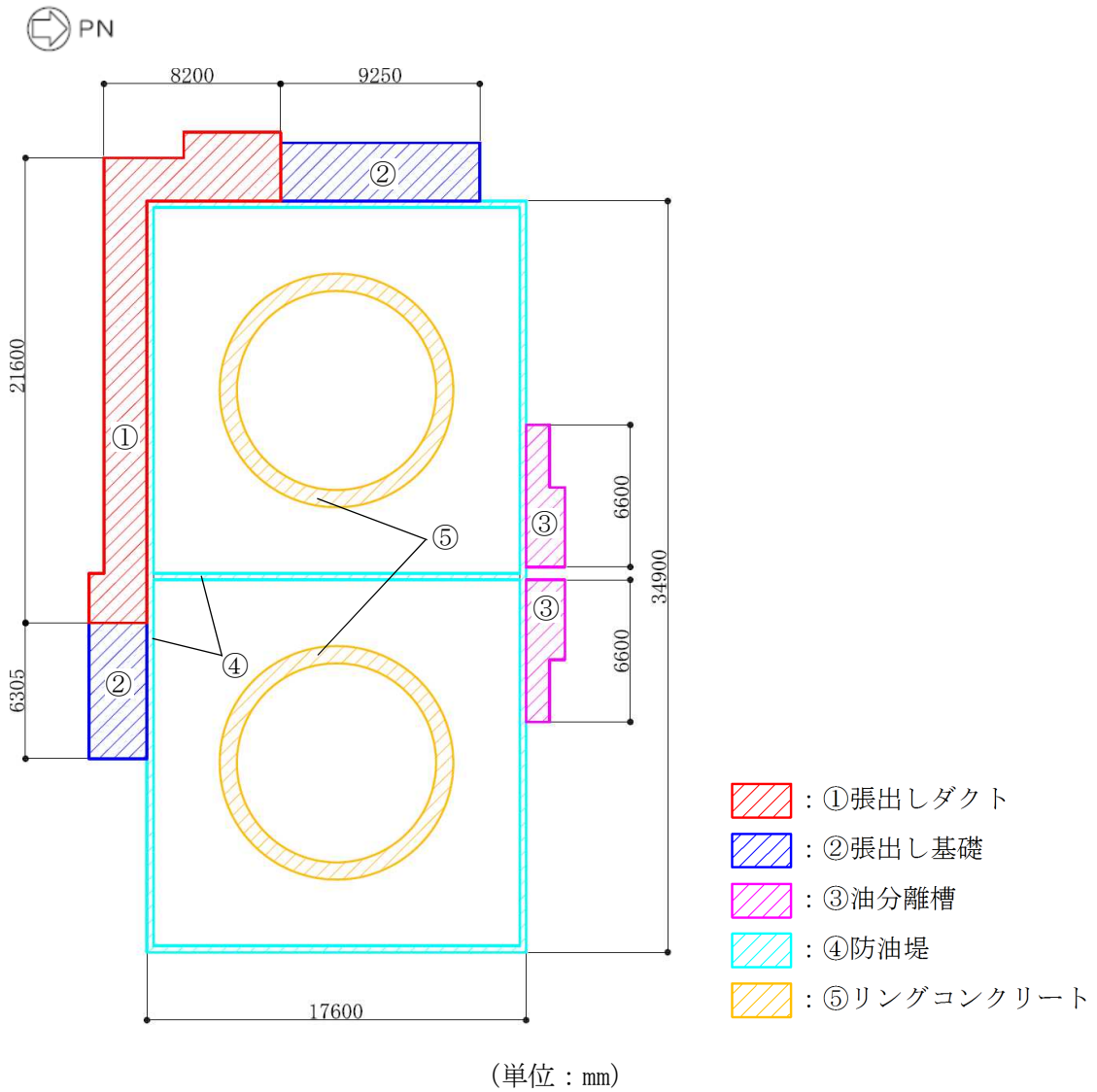


図 2-3 付帯設備の配置図

2.3 解析方針

軽油タンク基礎は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対して地震応答解析を実施する。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造物及び機器・配管系への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮する。

図 2-4 に軽油タンク基礎の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「2. 基本方針」に基づき、「3.1 評価対象断面」にて設定する断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴非線形解析にて行う。

時刻歴非線形解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、機器・配管系の設計用床応答曲線の作成に用いる。

また、地震応答解析による応答値のうち、鋼管杭に生じる曲率、断面力及び杭頭に発生する鉛直力は、鋼管杭の耐震評価及び基礎地盤の支持性能評価に用いる。応答加速度、土水圧及び軽油タンクの断面力は、鉄筋コンクリート部材及び付帯設備の耐震評価に用いる入力荷重の算定に用いる。

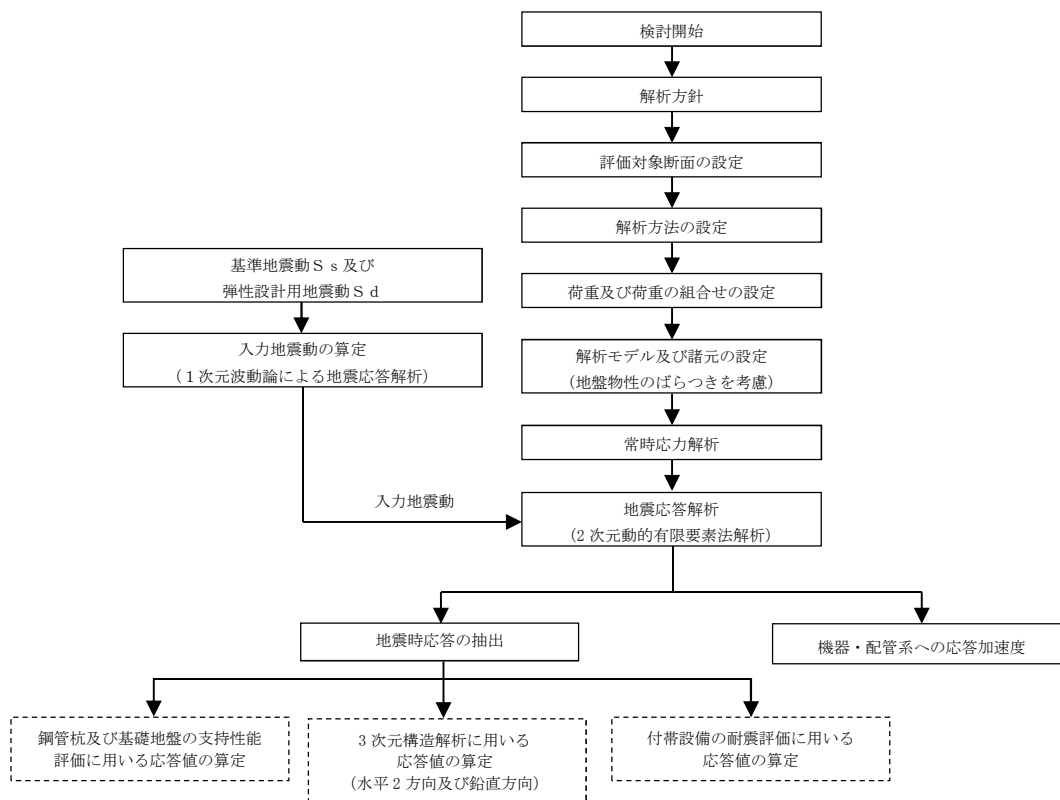


図 2-4 軽油タンク基礎の地震応答解析フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-23「軽油タンク基礎（6号機設備）の地震応答計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

評価対象断面は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-23「軽油タンク基礎（6号機設備）の地震応答計算書」の「3.1 評価対象断面」による。

3.2 解析方法

軽油タンク基礎の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。軽油タンク基礎を構成する部材のうち、鉄筋コンクリート部材については線形平面ひずみ要素で、鋼管杭については非線形はり要素でモデル化する。非線形はり要素の非線形特性については鋼管杭の $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。

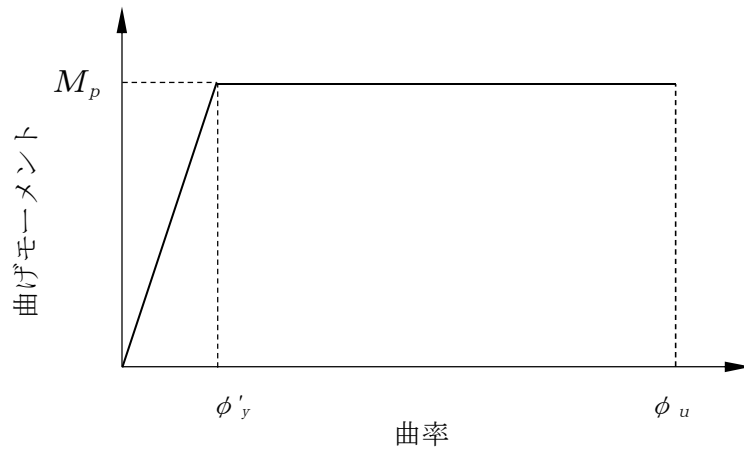
なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 鉄筋コンクリート部材

鉄筋コンクリート部材は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

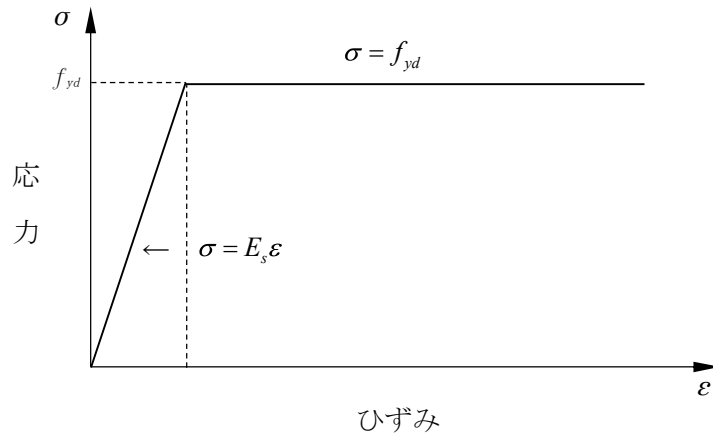
3.2.2 鋼管杭

鋼管杭は、非線形はり要素でモデル化し、図3-1及び図3-2に示す非線形性を考慮する。



M_p : 終局時の曲げ強度 (全塑性モーメント)
 ϕ'_y : 全塑性モーメントに至る時の曲率
 ϕ_u : 局部座屈が発生する時の曲率

図 3-1 鋼管杭のM- ϕ 関係



f_{yd} : 鋼材の降伏応力
 E_s : 鋼材のヤング係数

図 3-2 鋼管杭の応力-ひずみ関係

3.2.3 地盤

地盤については、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を用いる。

また、地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケース (①～⑤) を設定する。

表 3-1 耐震評価における解析ケース

	①	②	③	④	⑤
解析ケース	基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)	地盤剛性 (-1 σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層 (埋戻土及び新期砂層) のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層 (沖積層及び古安田層) のばらつきは、各地層の PS 検層の結果からせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する (解析ケース②, ③, ⑤)。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1 σ) にて設定する (解析ケース①, ②, ③)。

また、構造物及び機器・配管系への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する (解析ケース④, ⑤)。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース (①～⑤) を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

3.2.4 減衰定数

減衰特性は、柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析等を踏まえ、Rayleigh 減衰として、 $\alpha = 0$ 、 $\beta = 0.005$ を設定する。

3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げ軸力、せん断力及び基礎地盤の支持性能の全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい照査値の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。なお、解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

(2) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度の抽出においては、全ての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対し、解析ケース③～⑤を実施する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

軽油タンク基礎の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の下条件におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷防止に関する基本方針」に基づく積雪を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

軽油タンク基礎の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、付帯設備自重、機器・配管荷重、土圧及び水圧による荷重並びに積雪荷重を考慮する。

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

(4) 地震荷重 (S_d)

弾性設計用地震動 S_d による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s
地震時 (S _d) *	G + P + S _d

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s, S_d : 地震荷重

注記* : 機器・配管系の耐震設計に用いる入力地震動の算定のための地震応答解析に適用する。

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d を 1 次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を示す。

基準地震動 S_s による入力地震動は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事計画の V-2-2-23「軽油タンク基礎（6 号機設備）の地震応答計算書」の「3.4 入力地震動」による。弾性設計用地震動 S_d による入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-4 に示す。入力地震動の算定には、解析コード「S L O K」を使用する。

解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

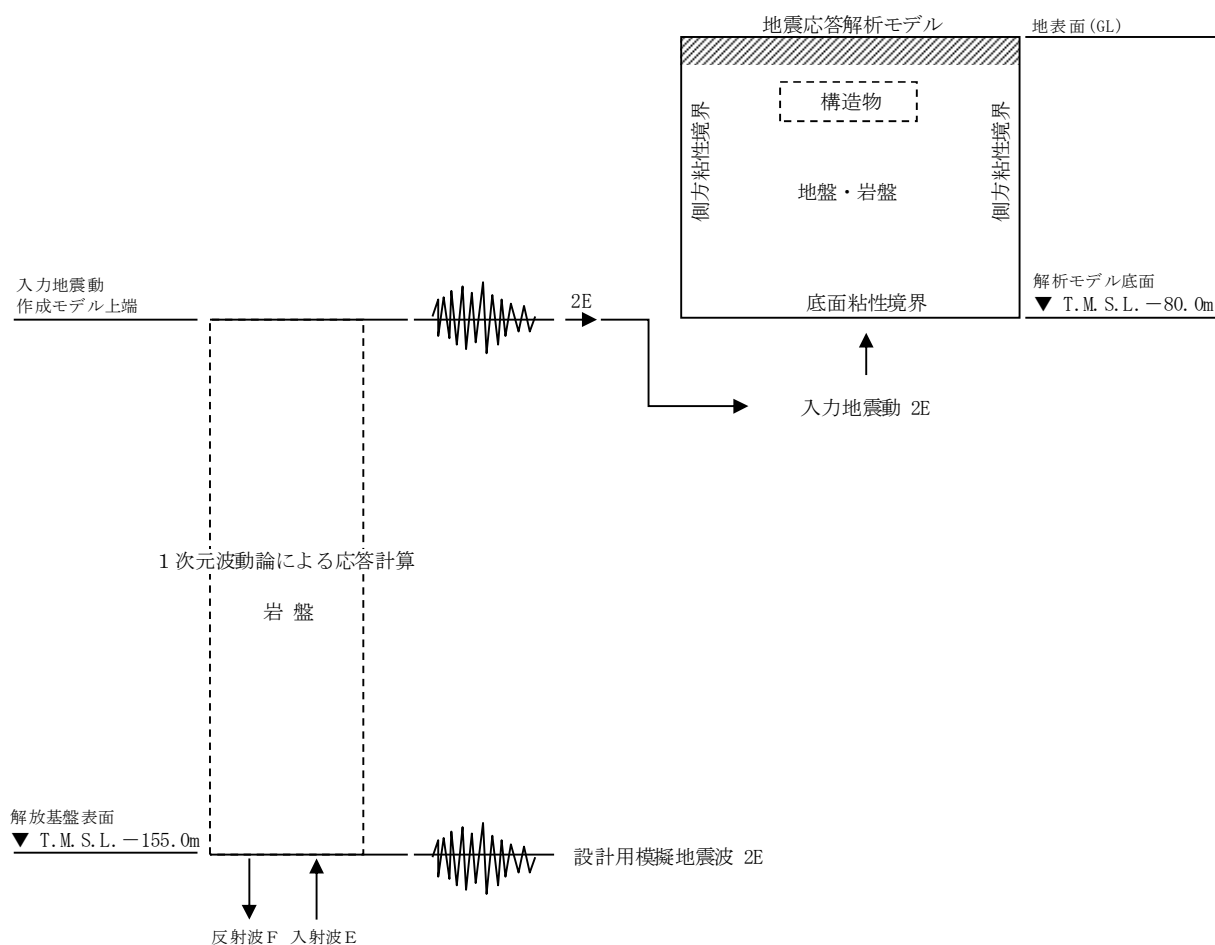
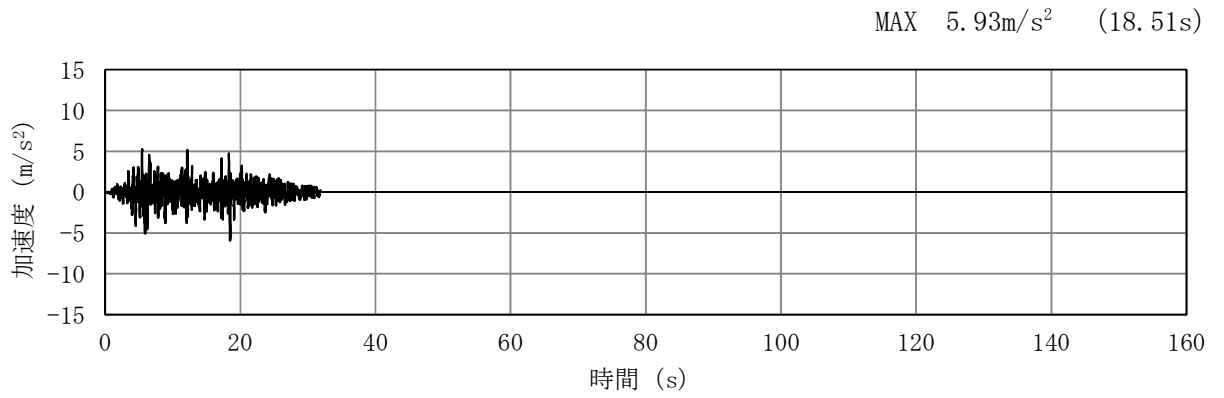
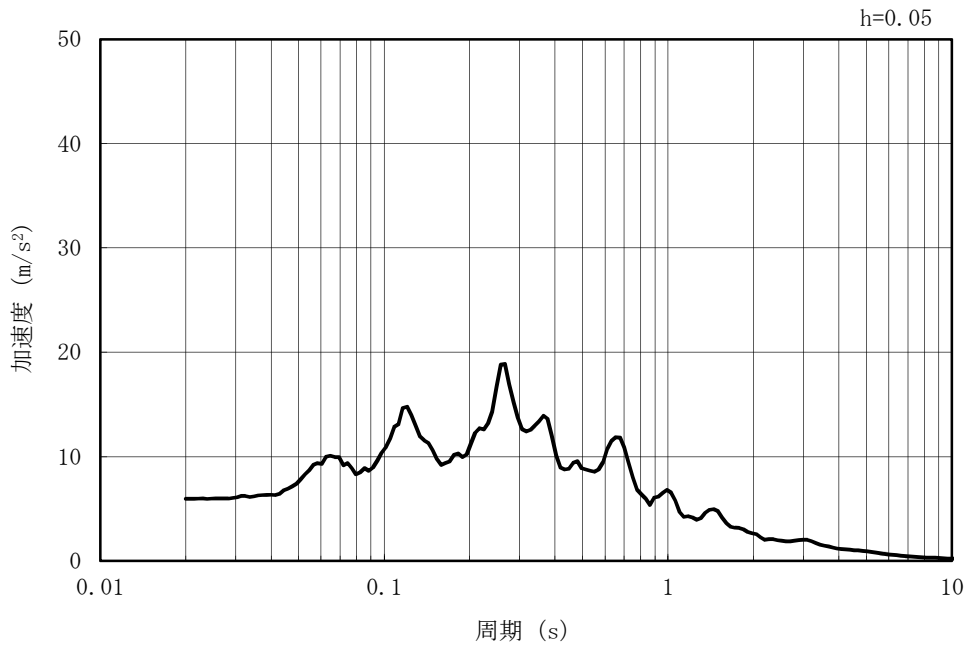


図 3-3 入力地震動算定の概念図

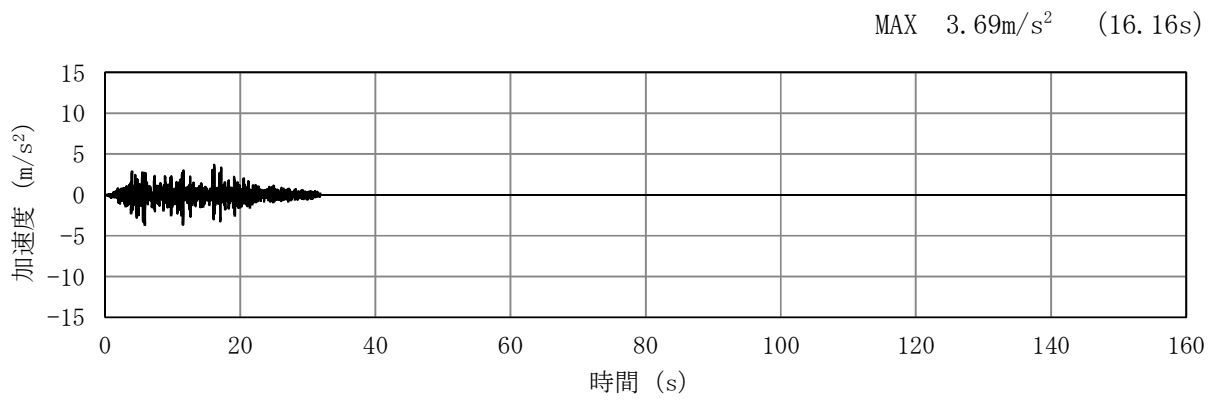


(a) 加速度時刻歴波形

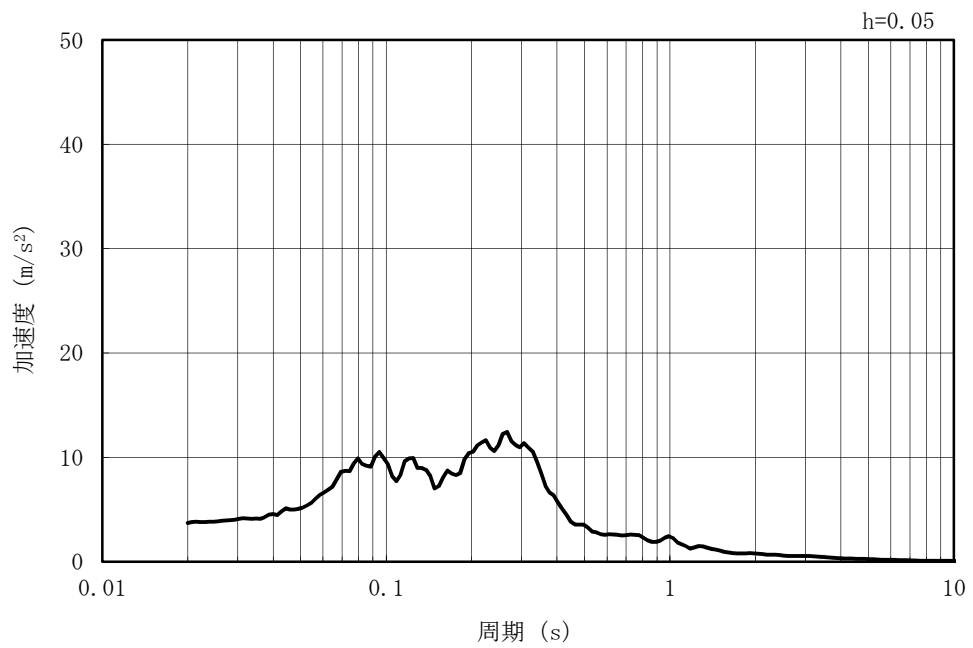


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-1)

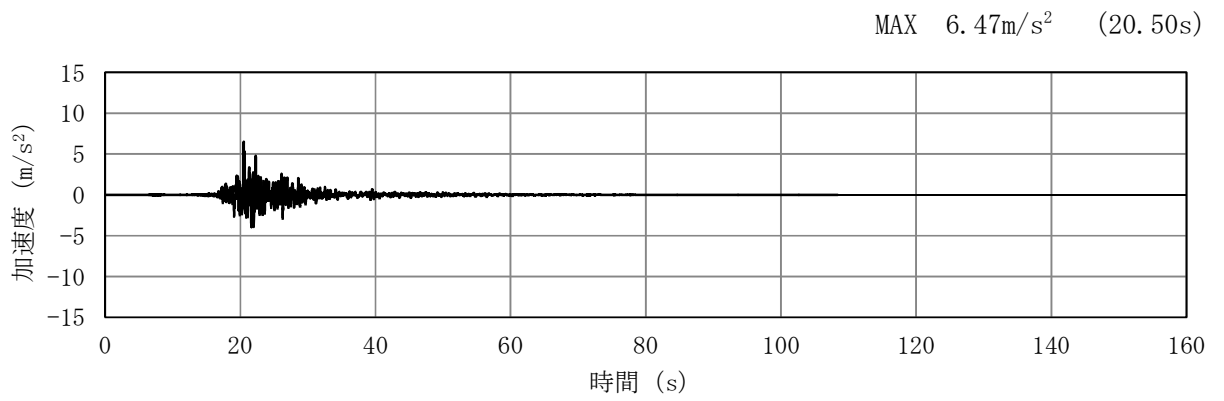


(a) 加速度時刻歴波形

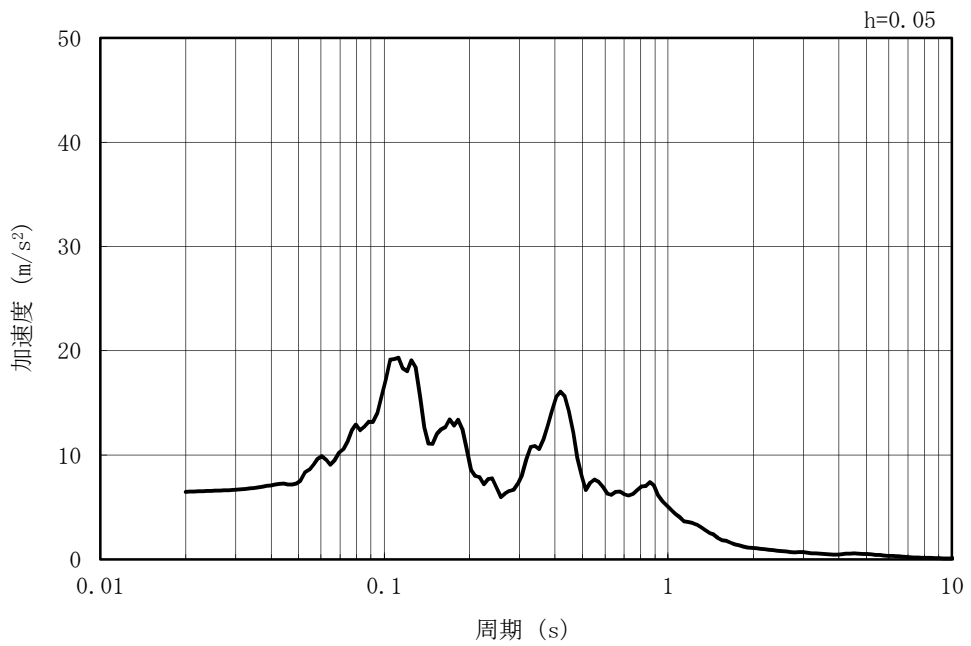


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-1)

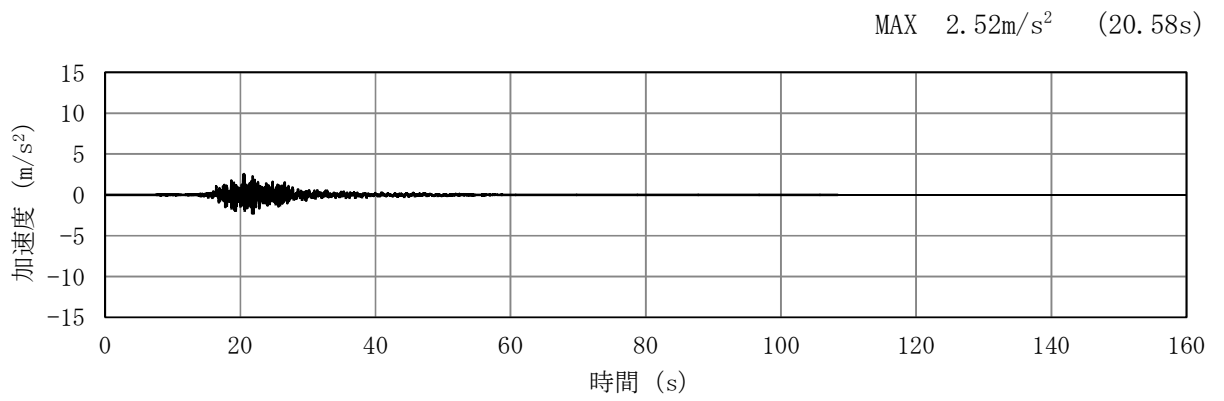


(a) 加速度時刻歴波形

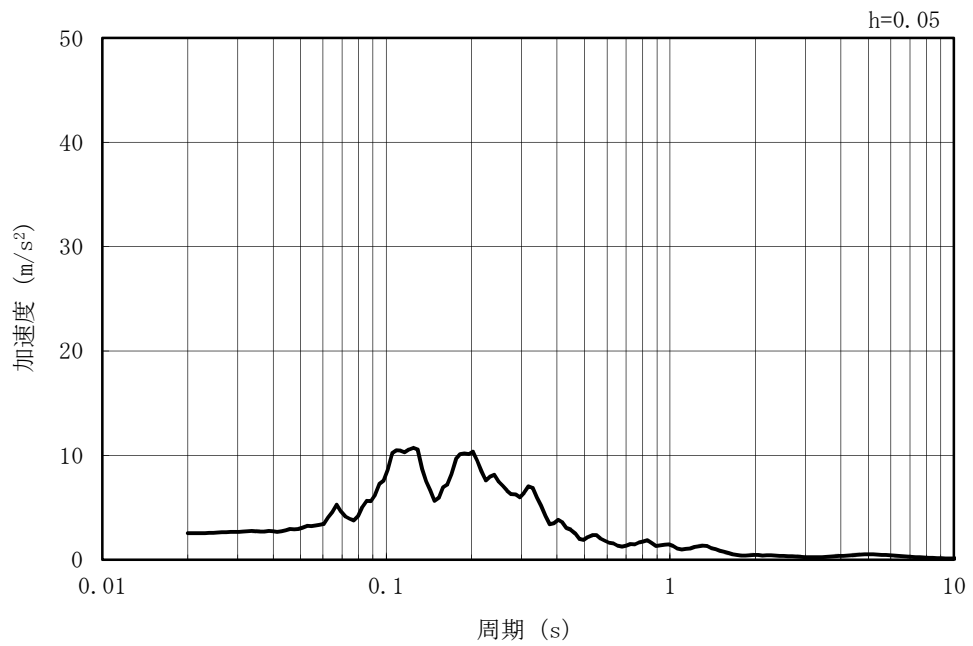


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-2EW)

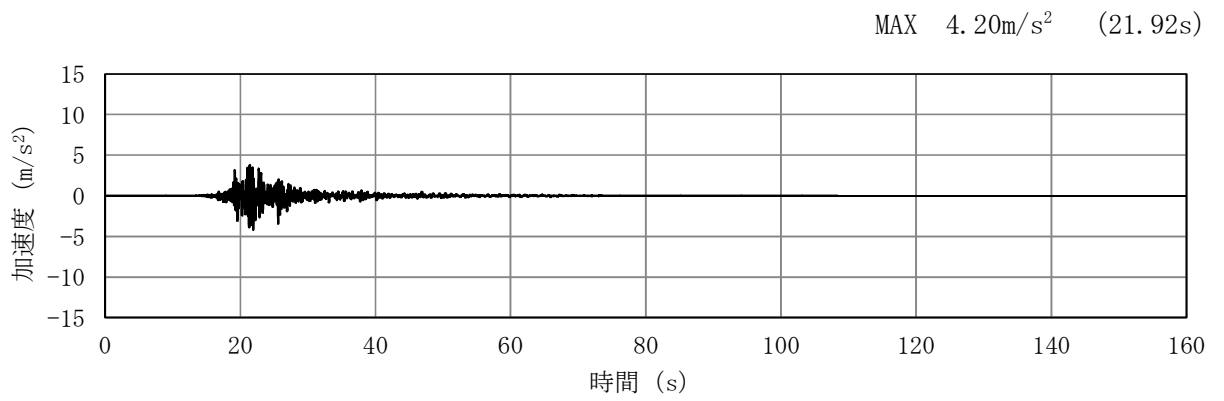


(a) 加速度時刻歴波形

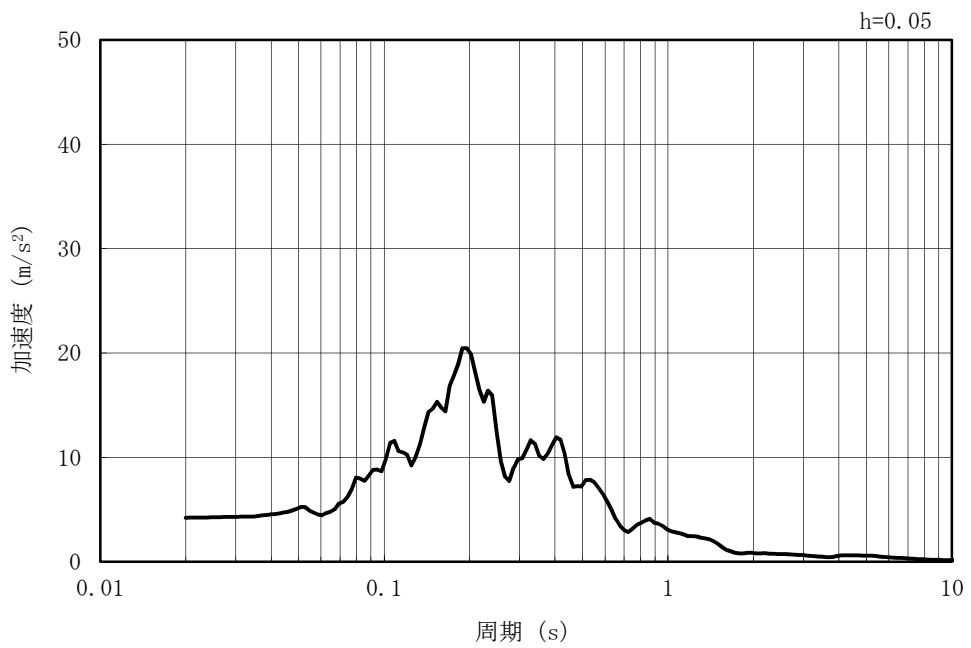


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-2EW)

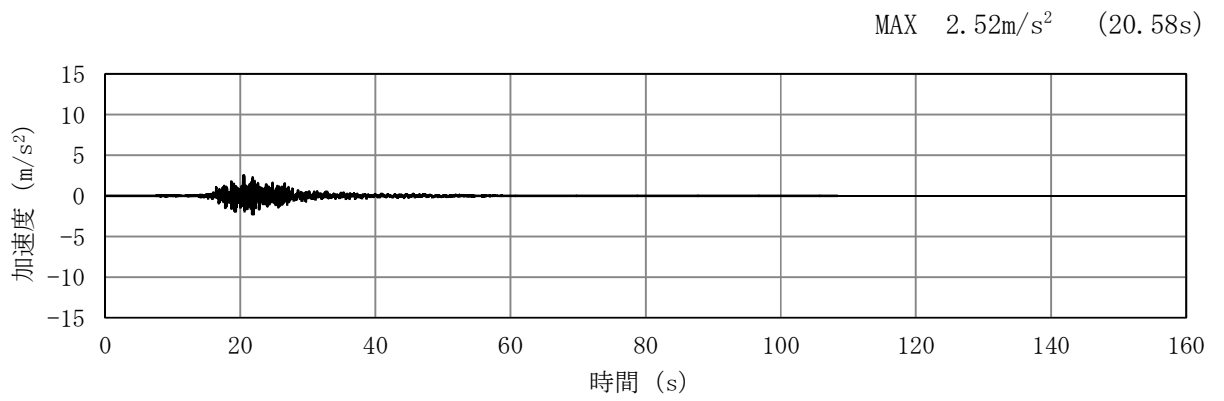


(a) 加速度時刻歴波形

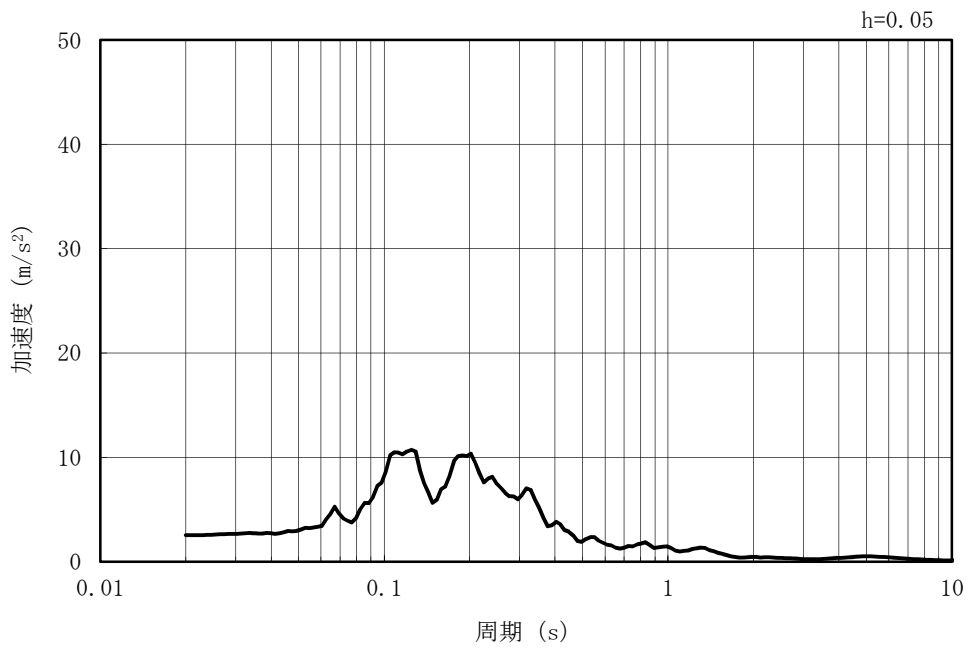


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-2NS)

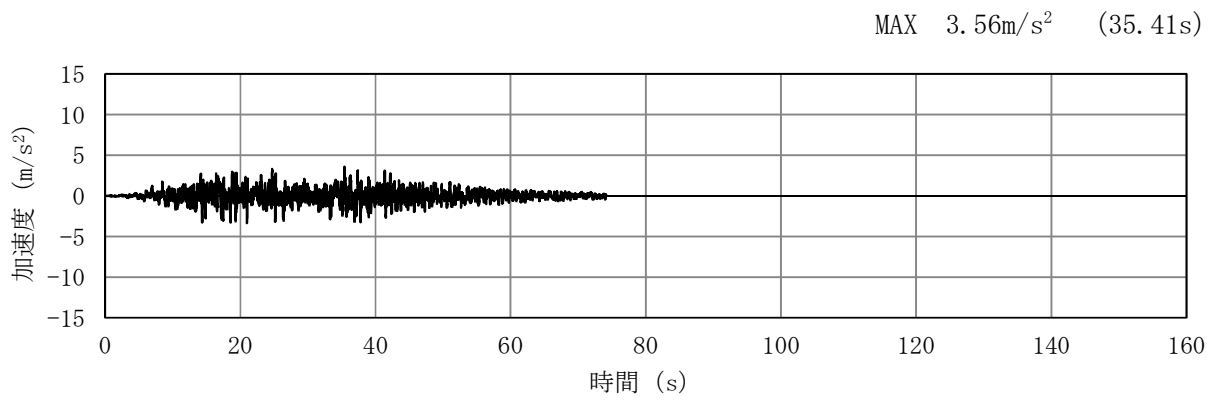


(a) 加速度時刻歴波形

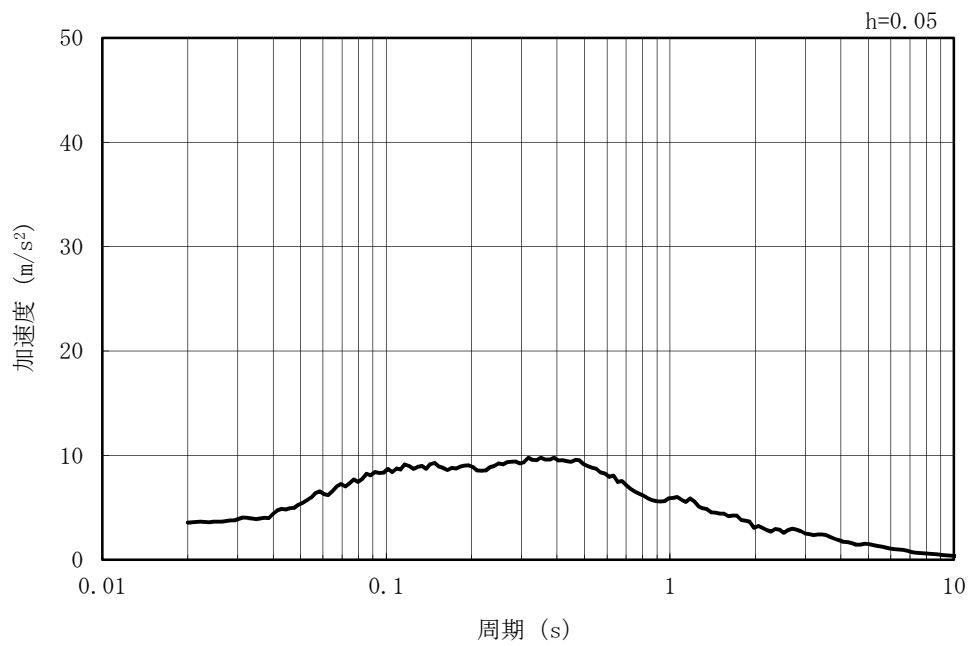


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-2NS)

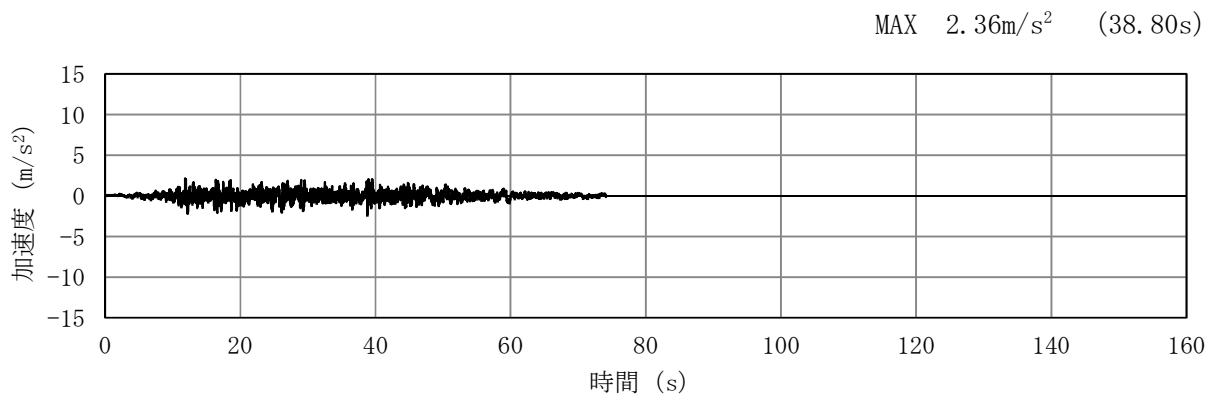


(a) 加速度時刻歴波形

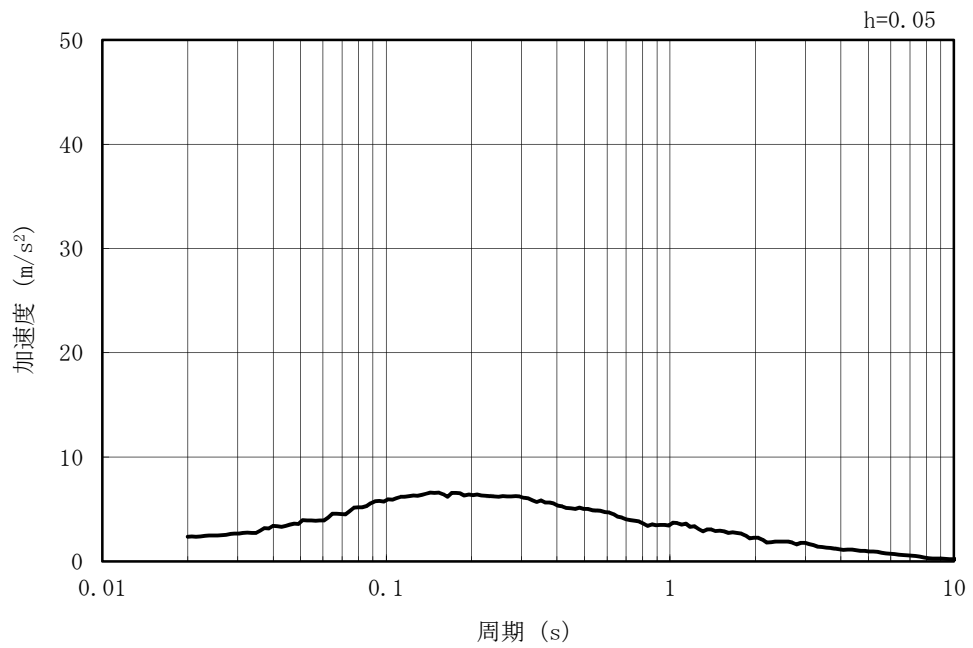


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-3)

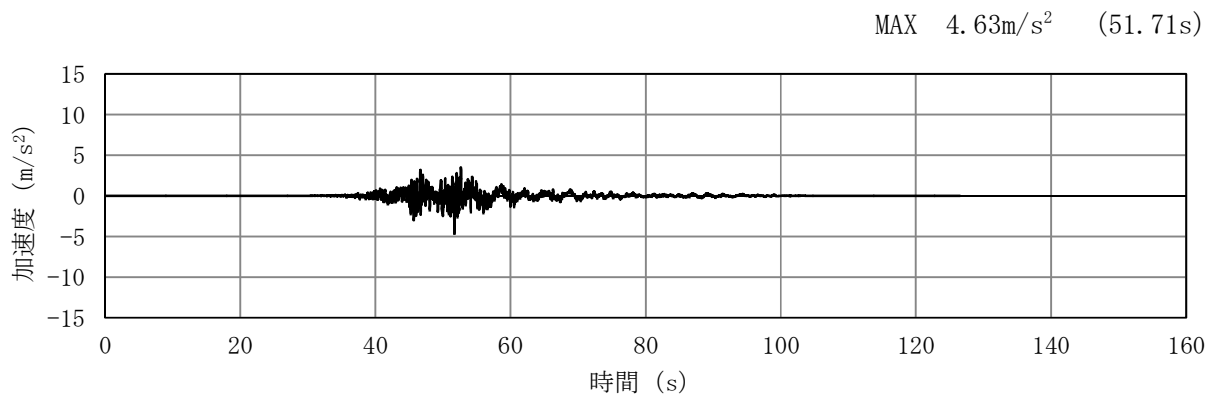


(a) 加速度時刻歴波形

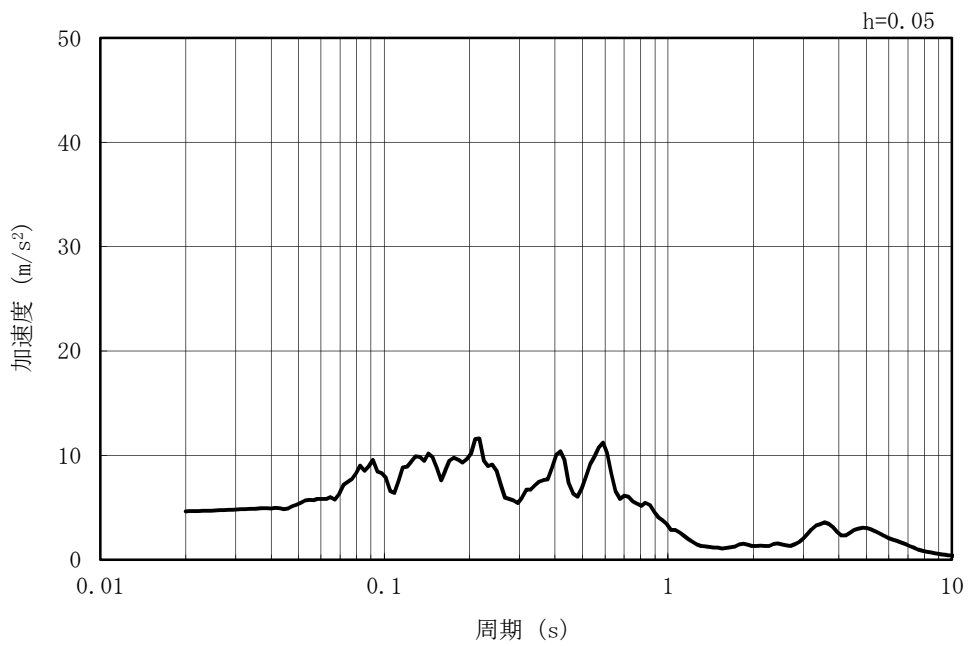


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-3)

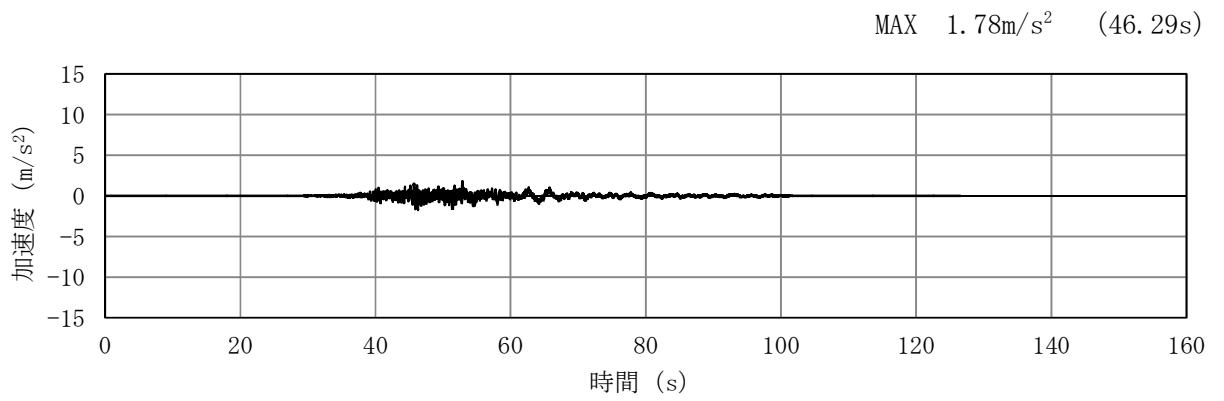


(a) 加加速度時刻歴波形

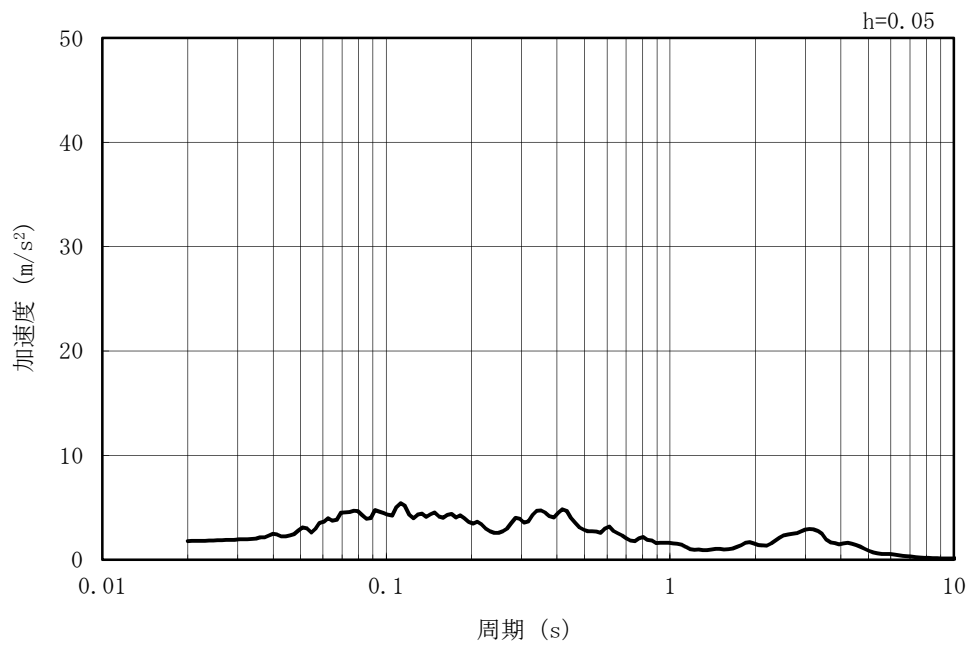


(b) 加加速度応答スペクトル

図 3-4 (9) 入力地震動の加加速度時刻歴波形及び加加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-4EW)

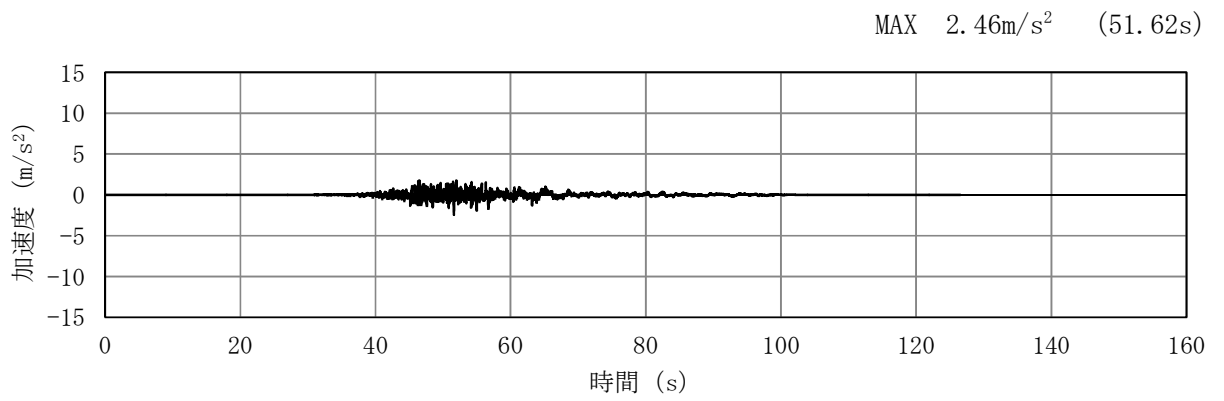


(a) 加速度時刻歴波形

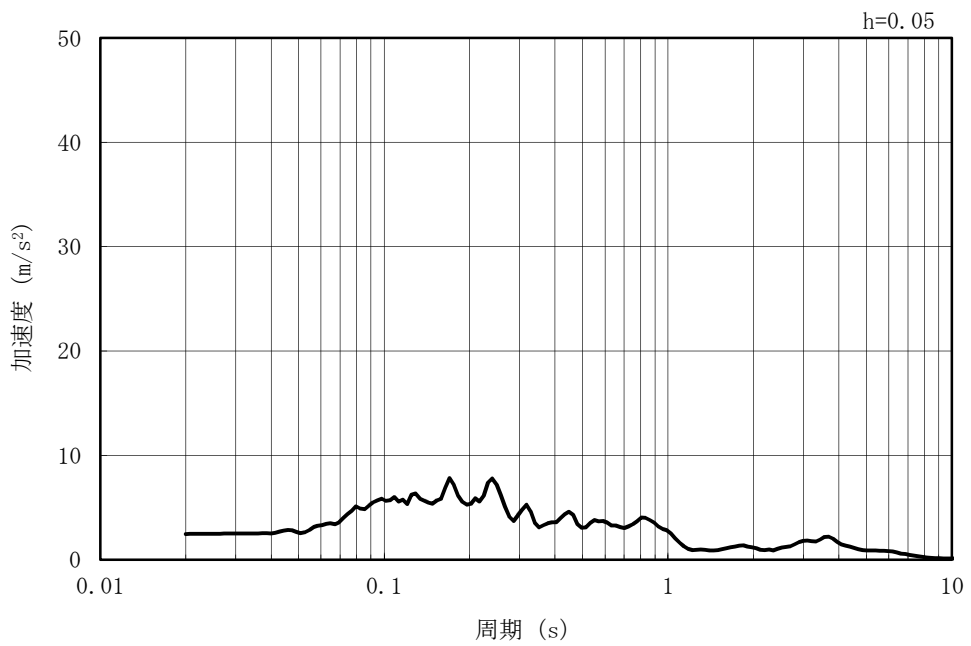


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-4EW)

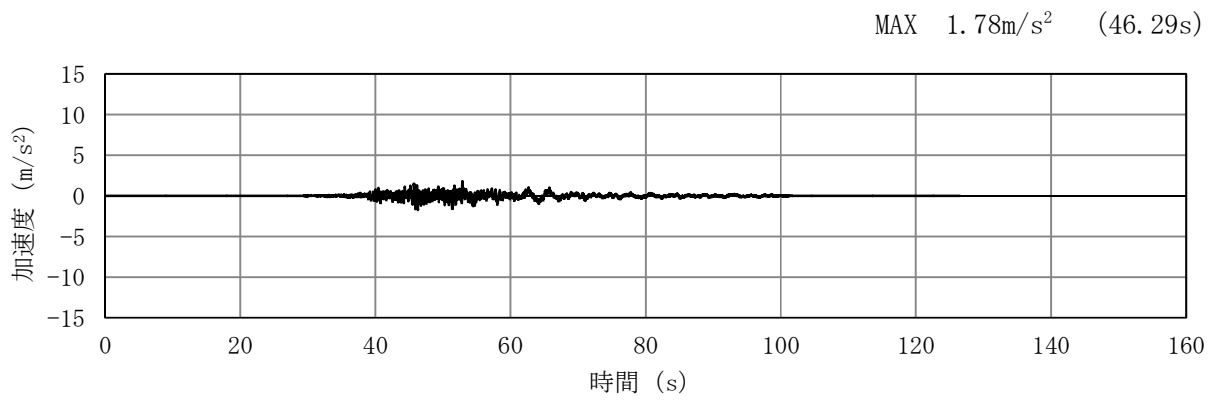


(a) 加速度時刻歴波形

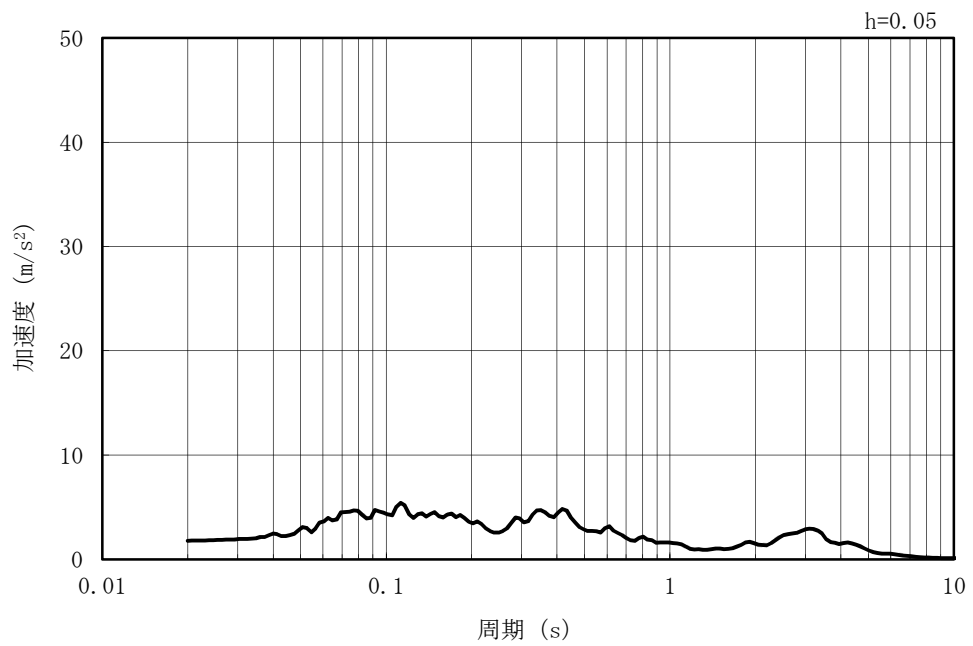


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd=4NS)

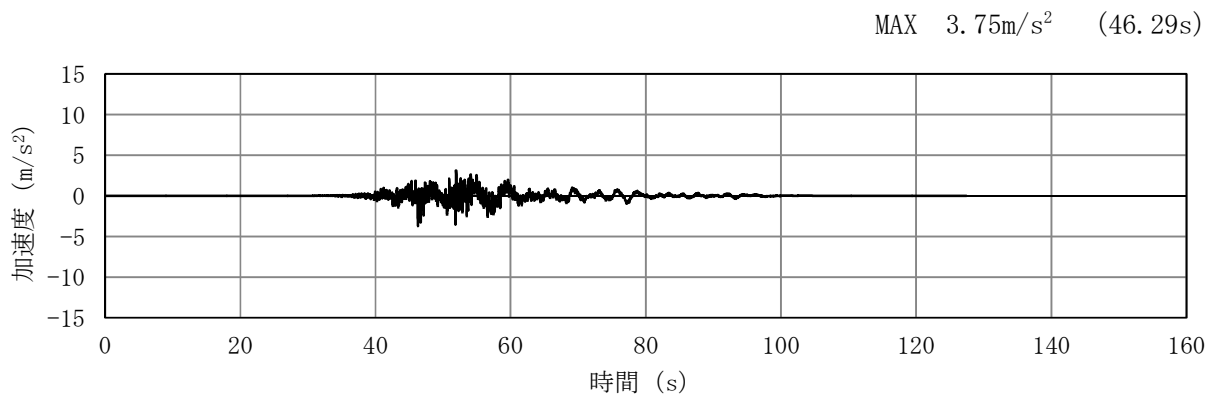


(a) 加速度時刻歴波形

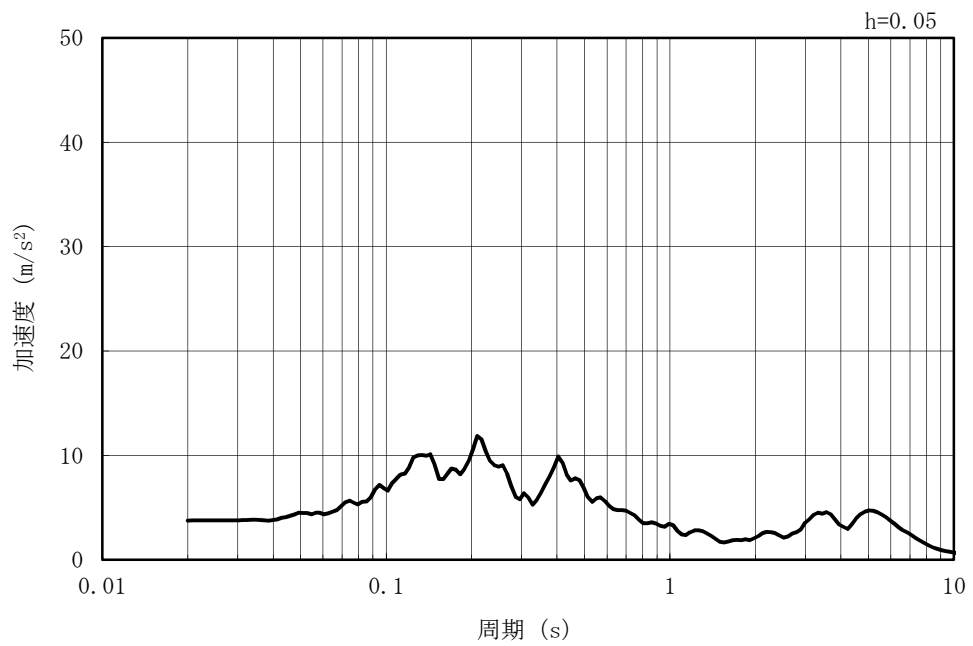


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd=4NS)

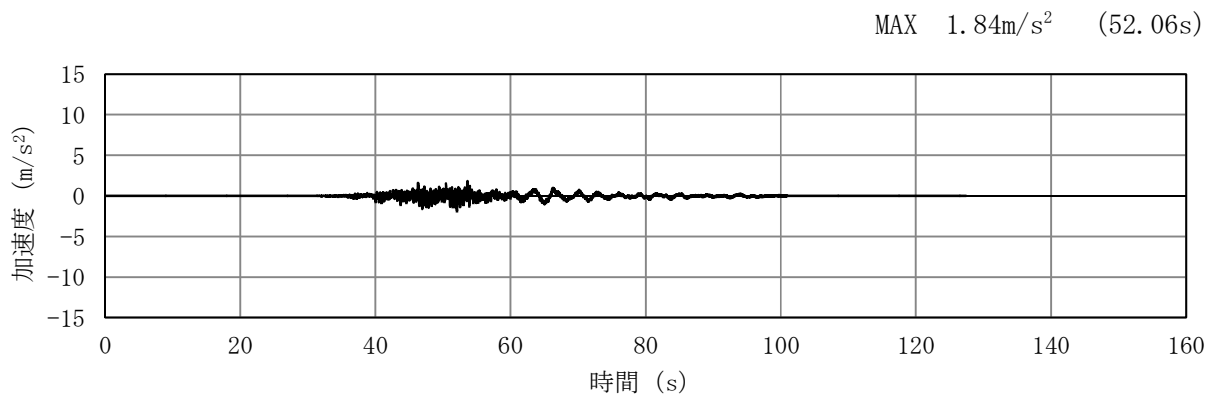


(a) 加速度時刻歴波形

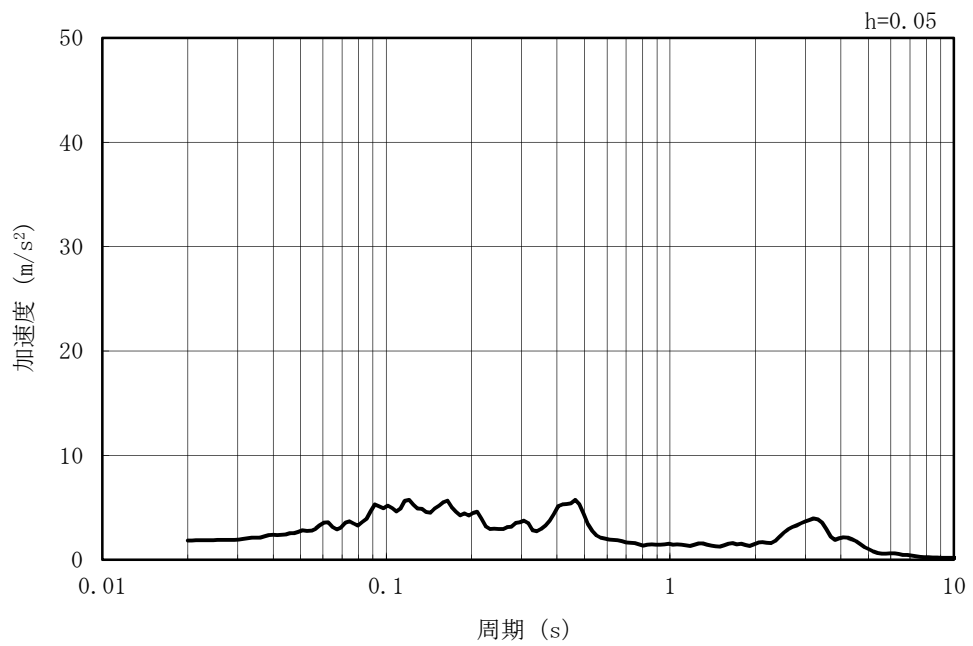


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-5EW)

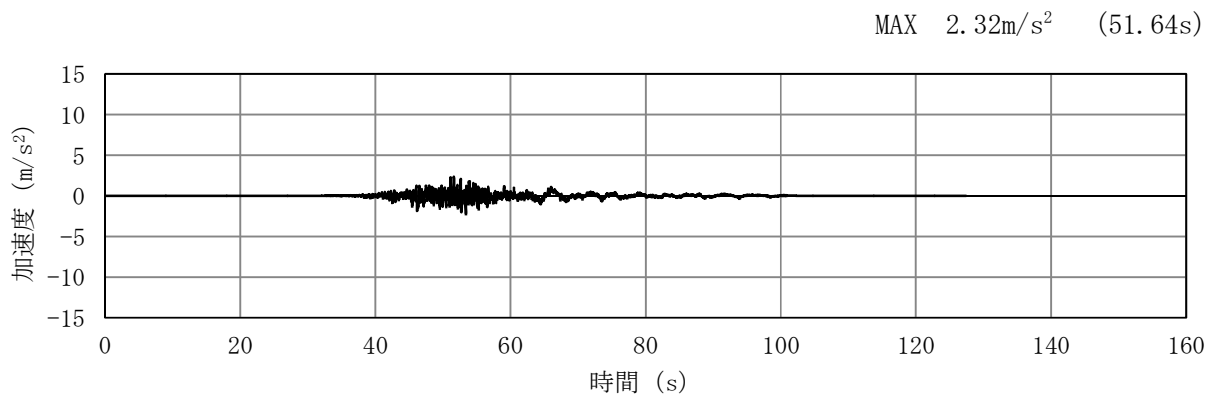


(a) 加速度時刻歴波形

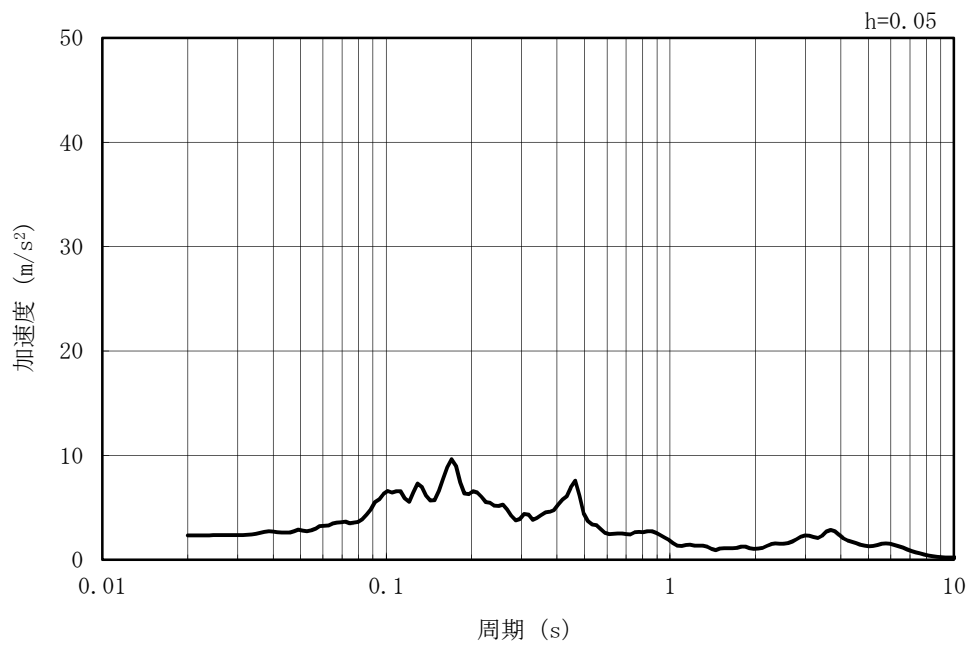


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-5EW)

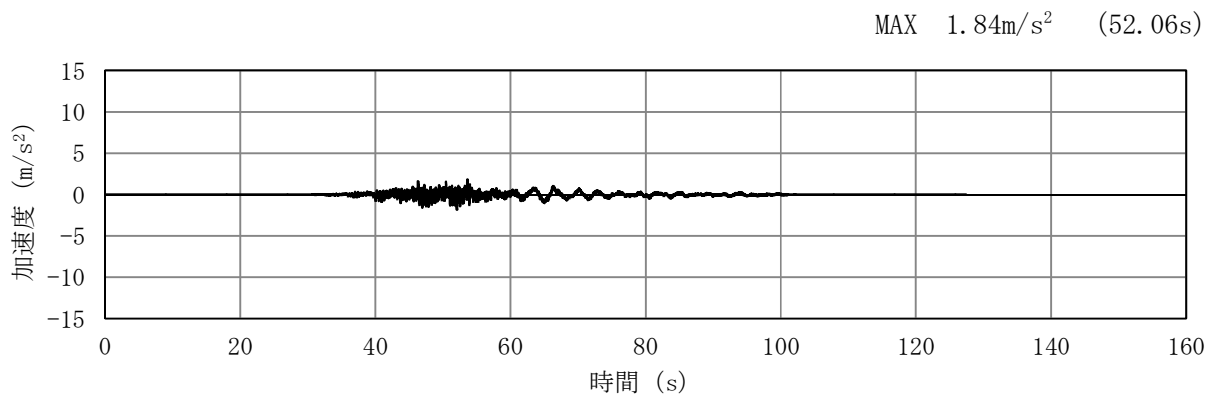


(a) 加速度時刻歴波形

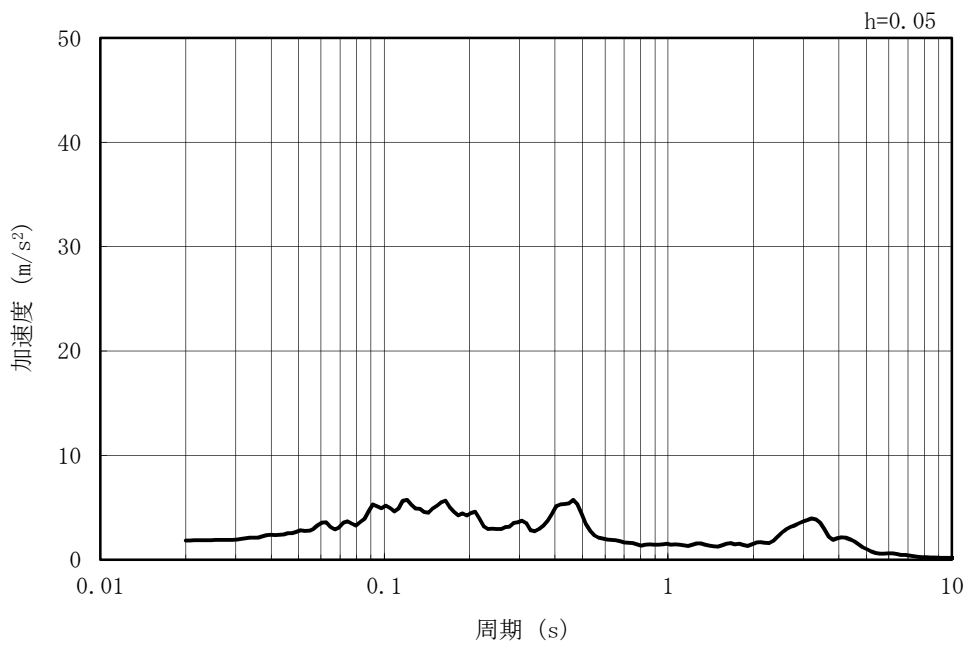


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-5NS)

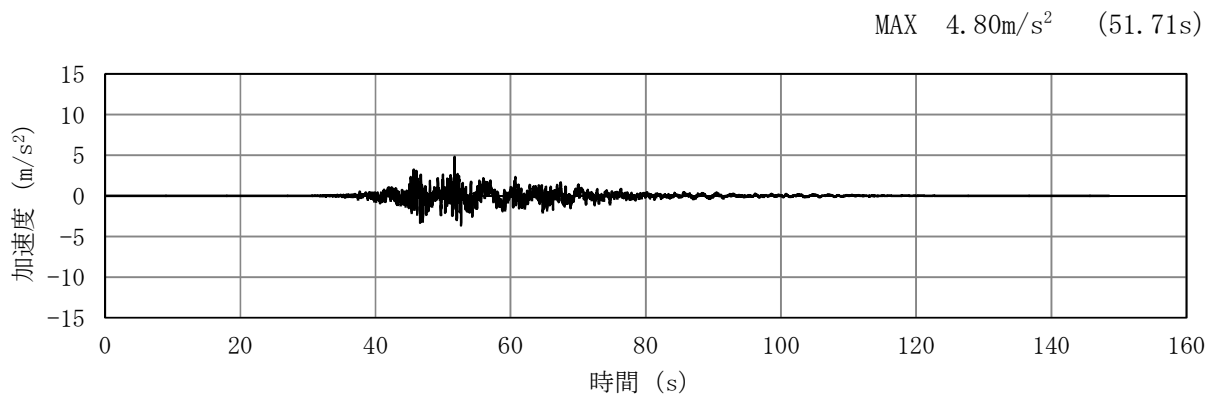


(a) 加速度時刻歴波形

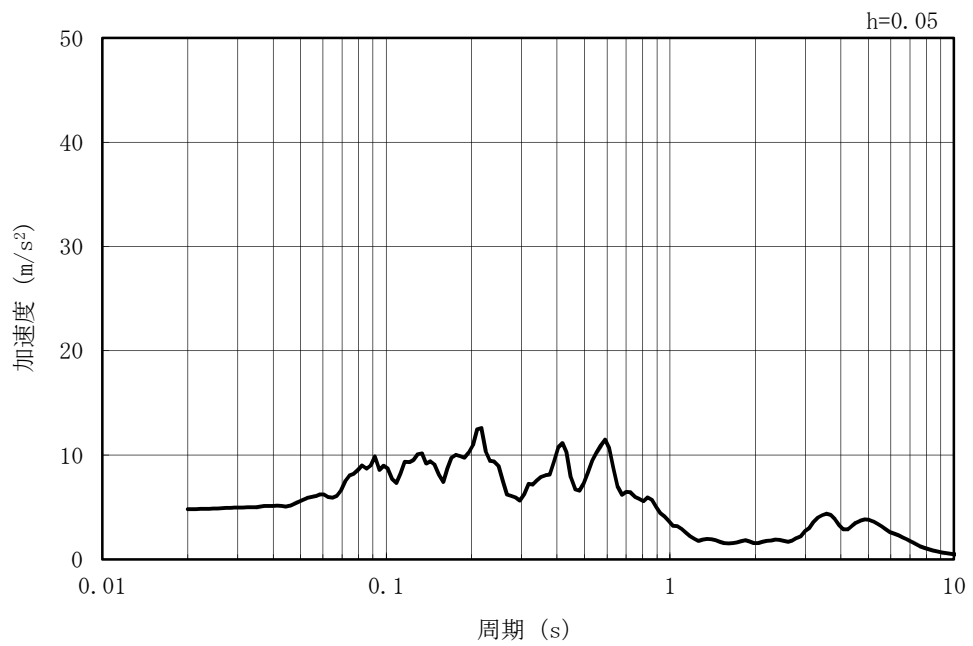


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-5NS)

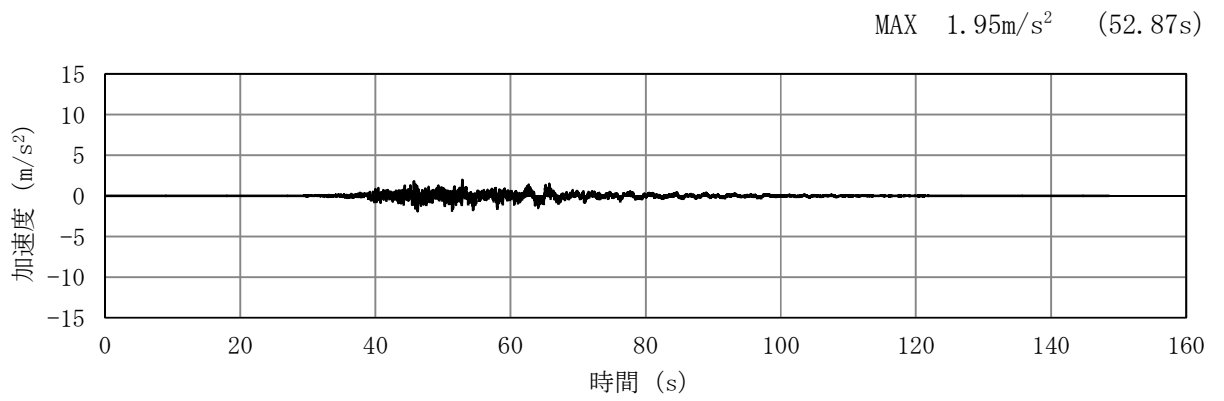


(a) 加速度時刻歴波形

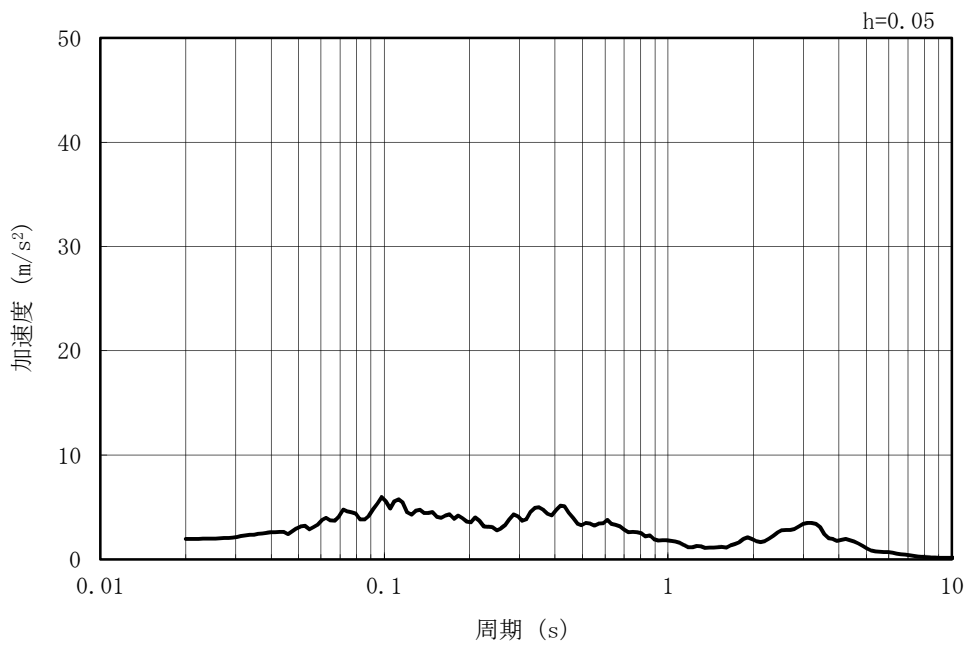


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (17) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-6EW)

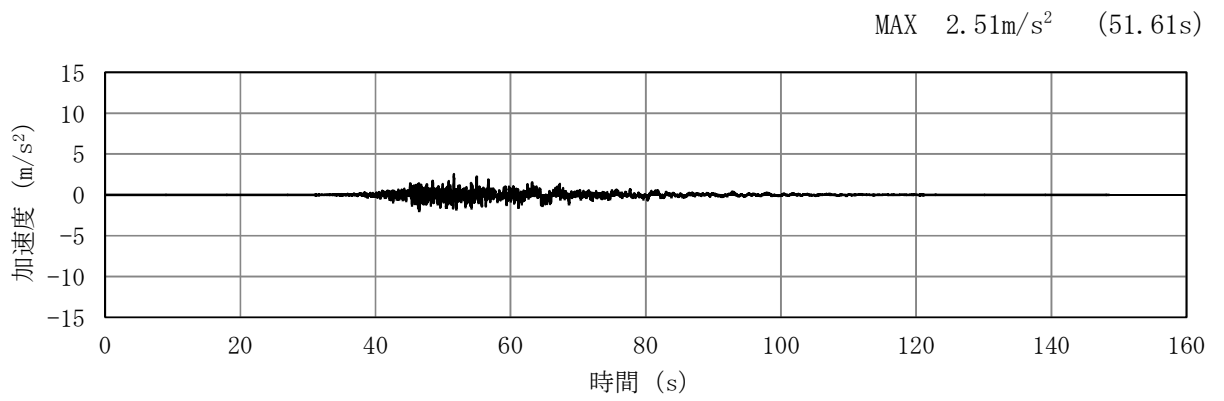


(a) 加速度時刻歴波形

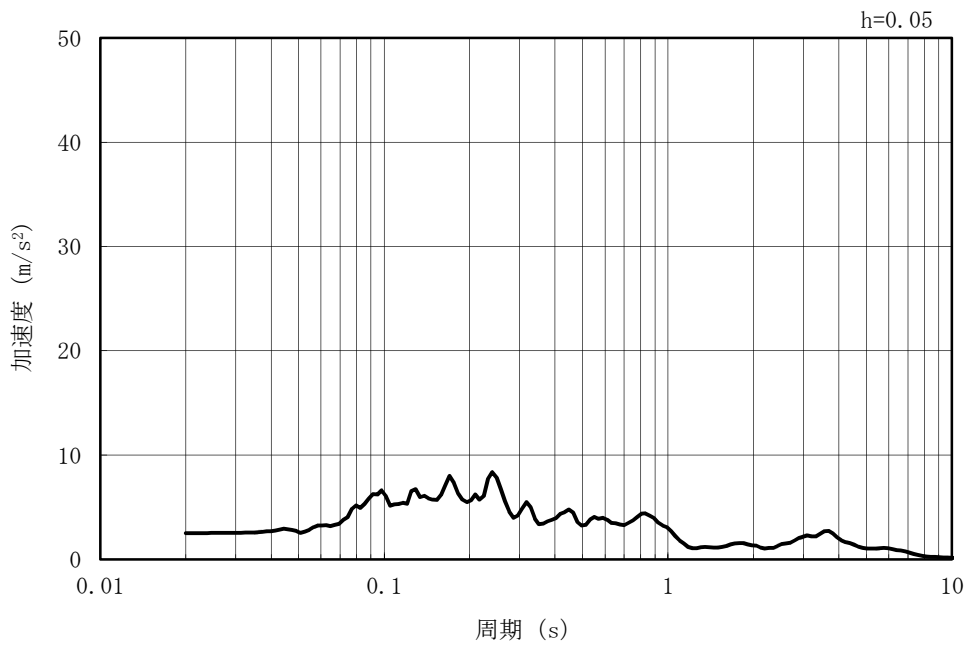


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (18) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-6EW)

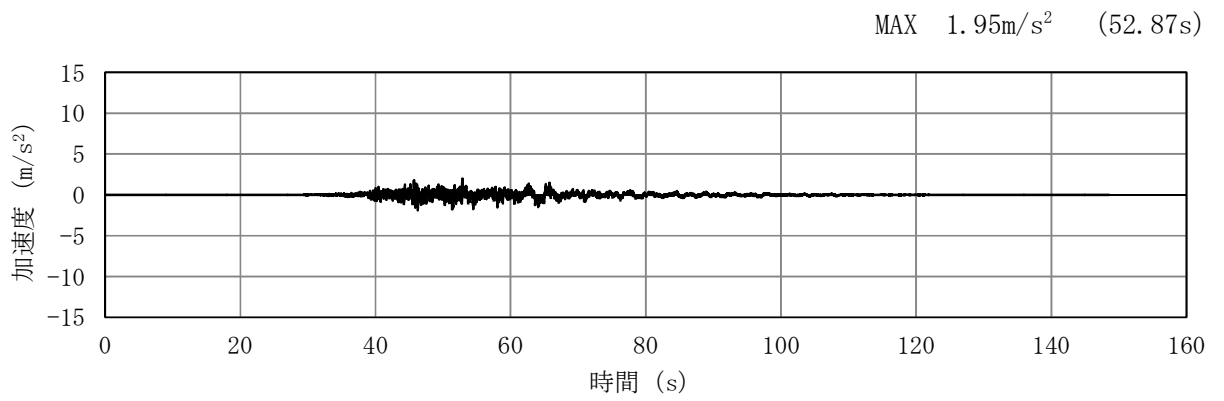


(a) 加速度時刻歴波形

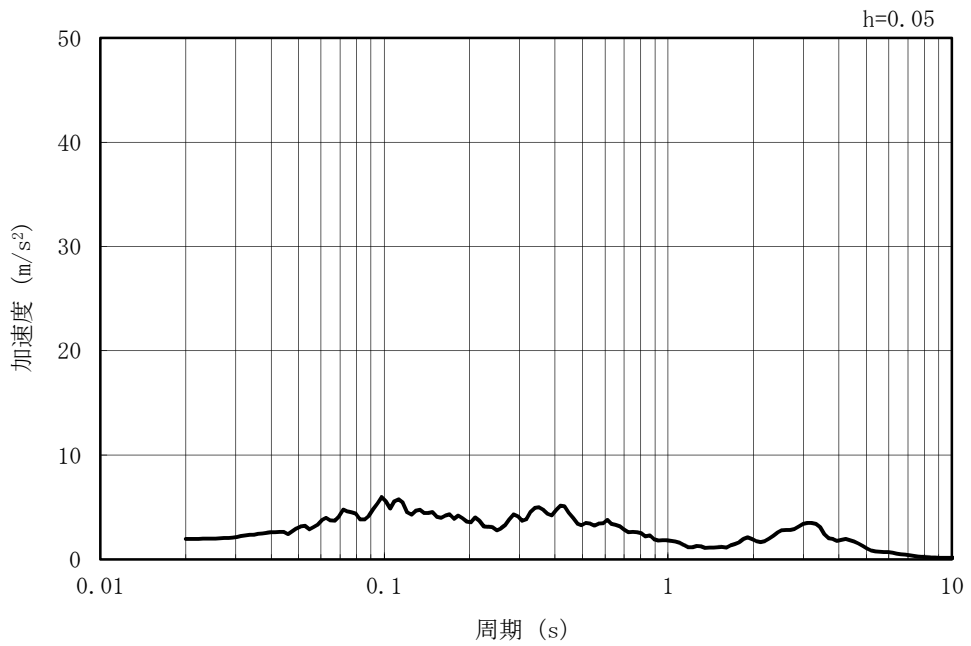


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (19) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-6NS)

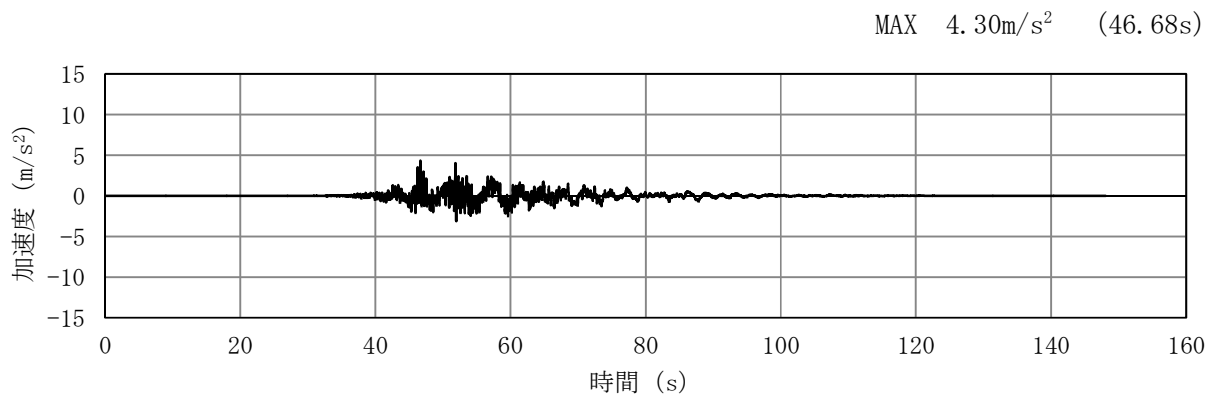


(a) 加速度時刻歴波形

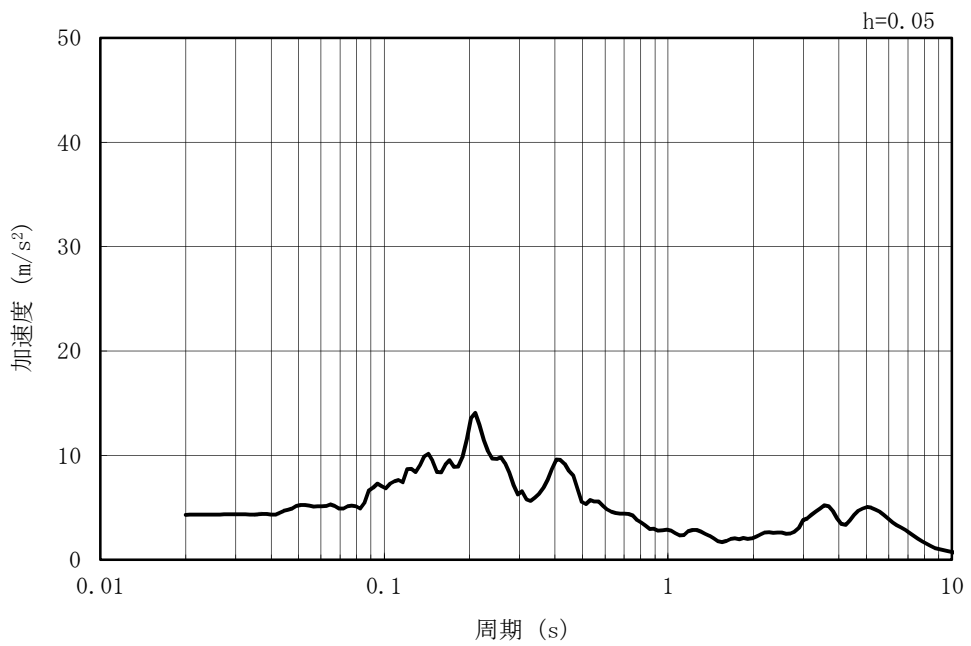


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (20) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-6NS)

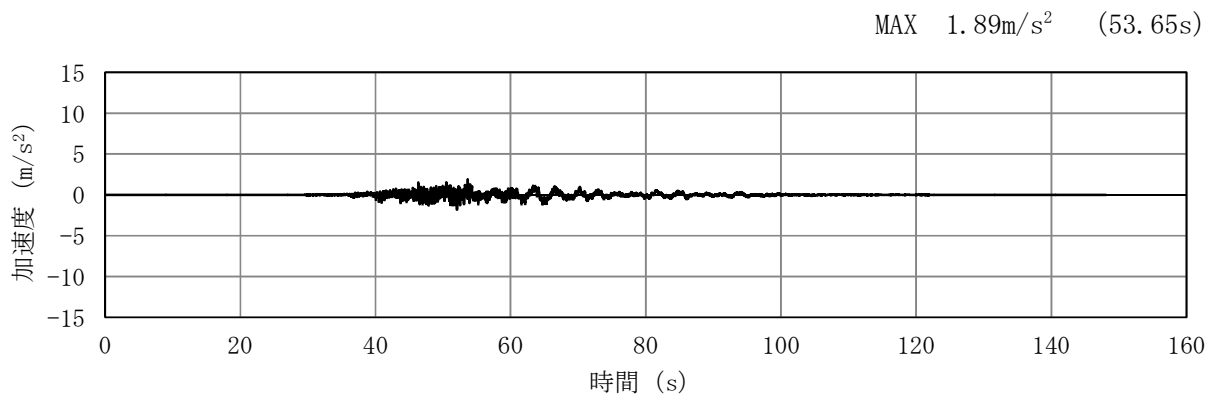


(a) 加速度時刻歴波形

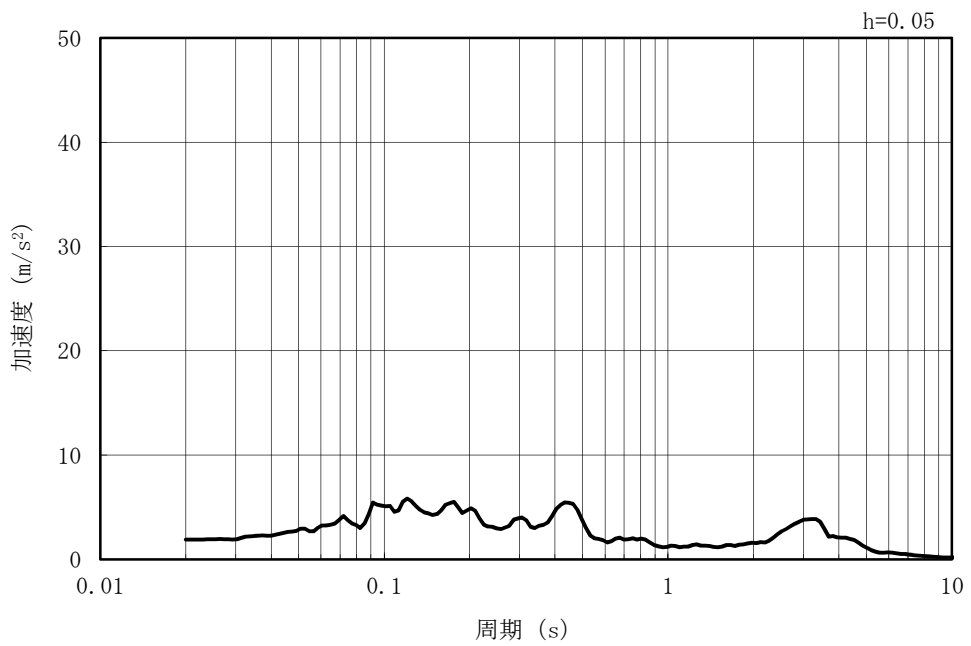


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd=7EW)

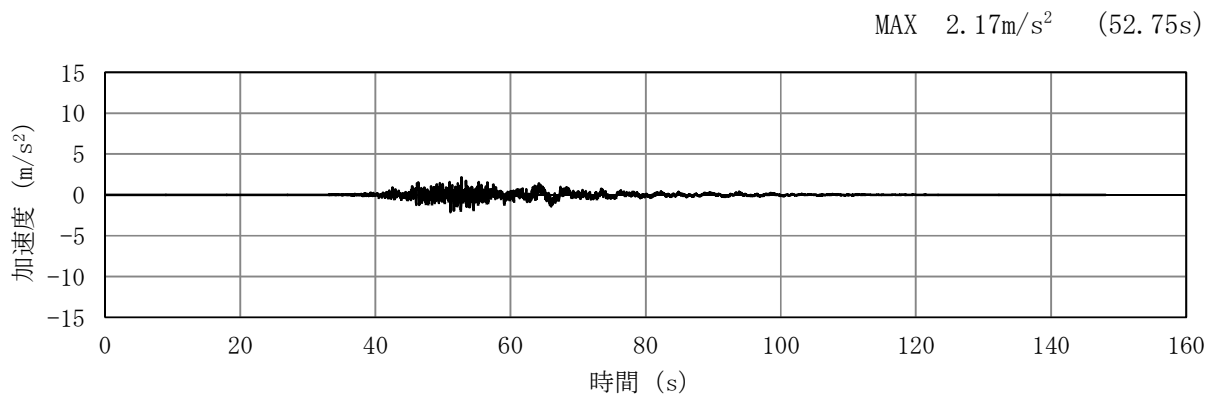


(a) 加速度時刻歴波形

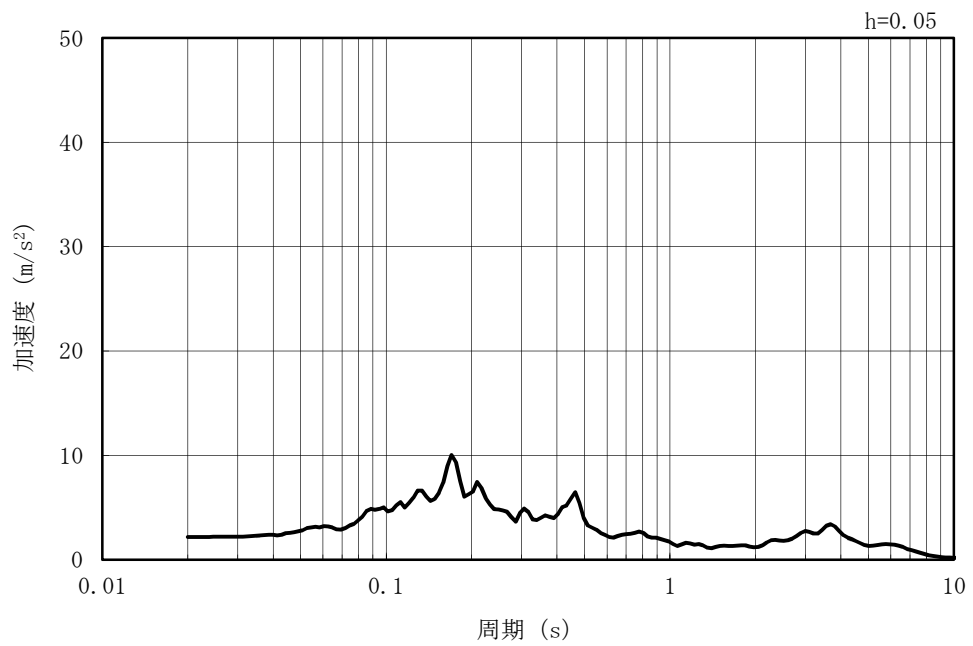


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-7EW)

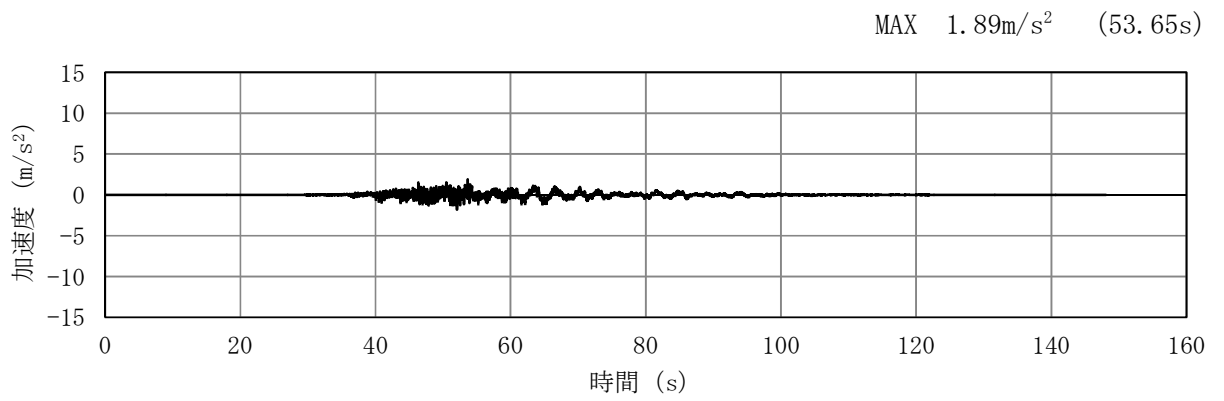


(a) 加速度時刻歴波形

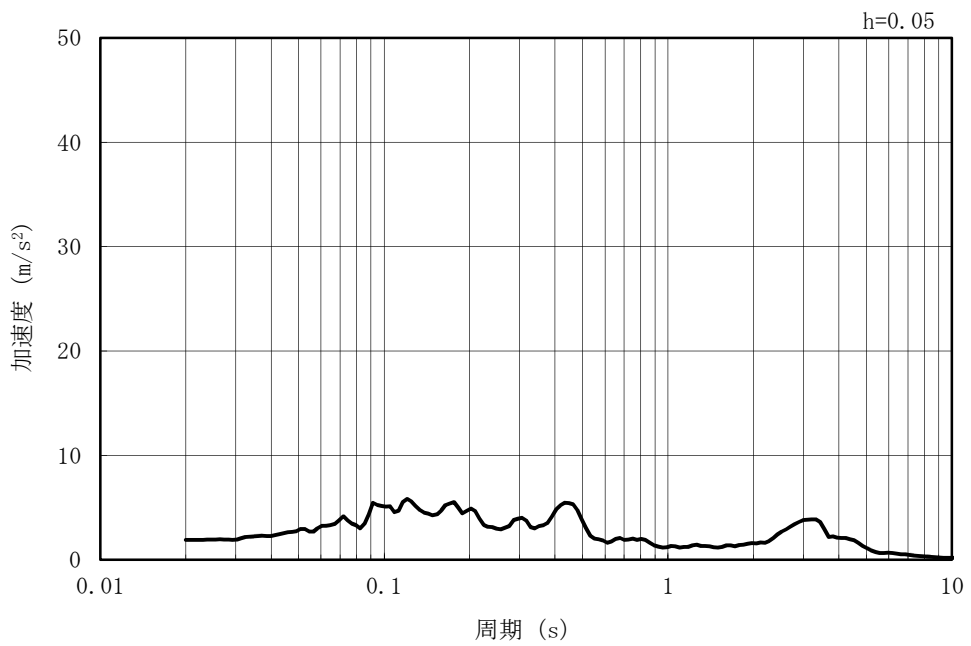


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (23) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd=7NS)

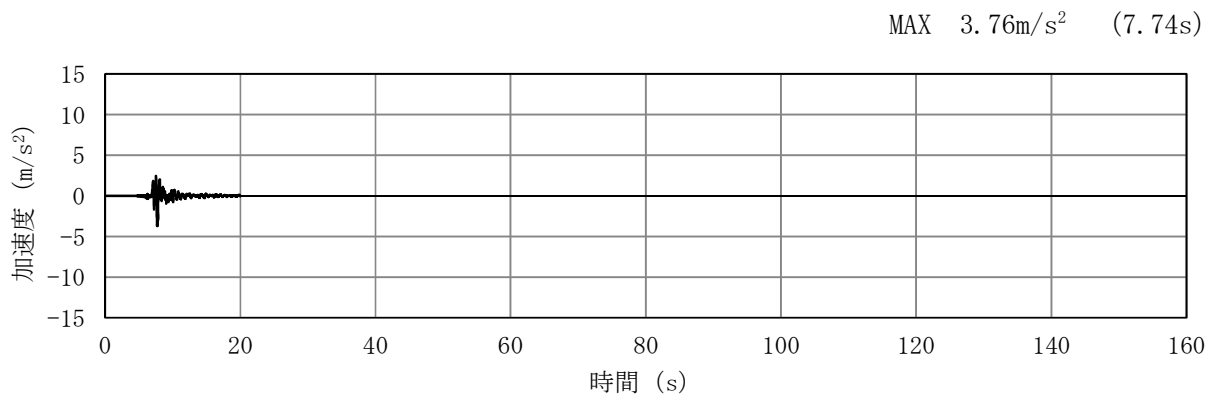


(a) 加速度時刻歴波形

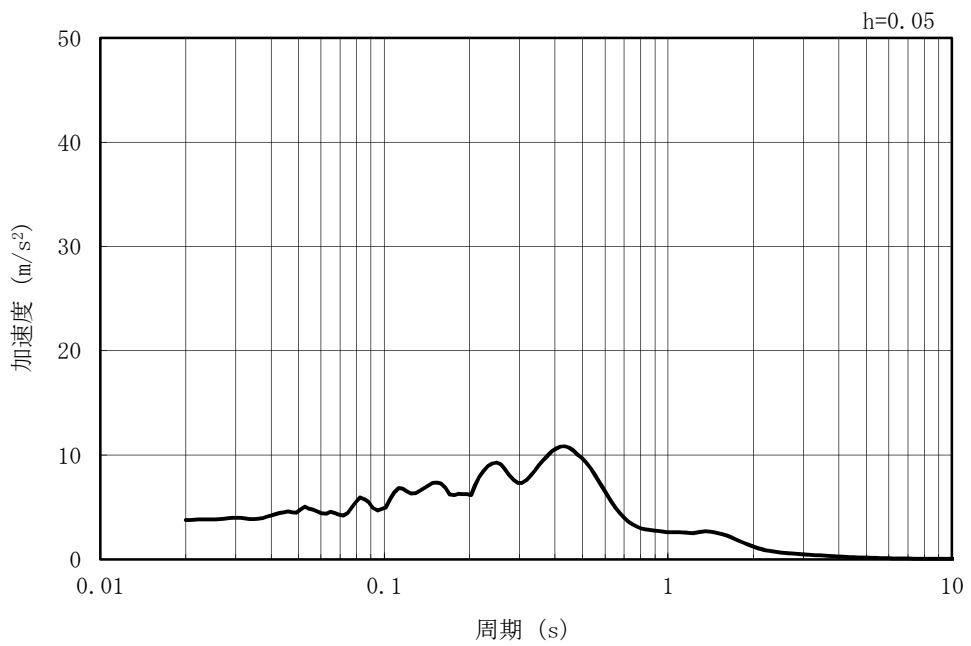


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (24) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-7NS)

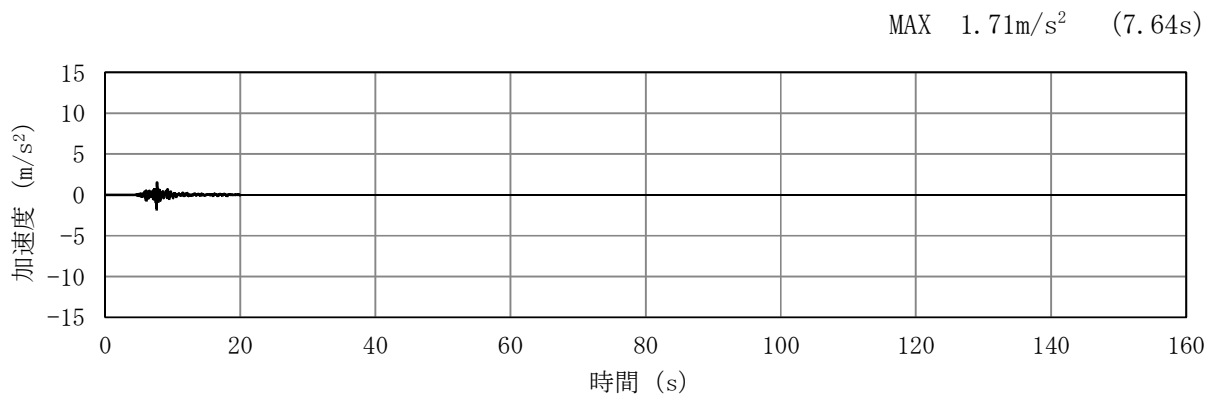


(a) 加速度時刻歴波形

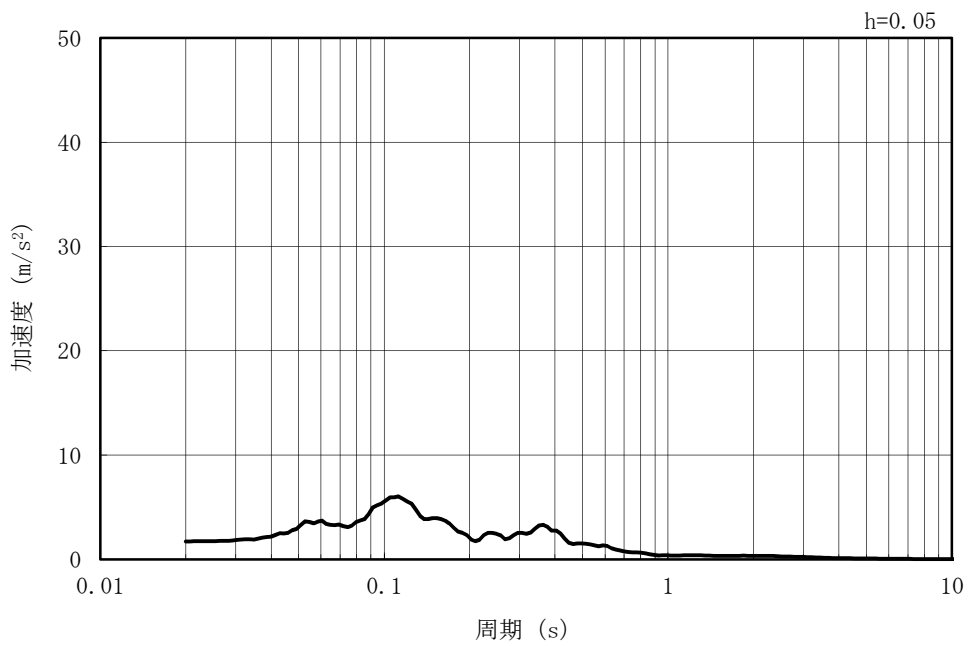


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (25) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (26) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

軽油タンク基礎の地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

A-A断面については令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-23「軽油タンク基礎(6号機設備)の地震応答計算書」の「3.5 解析モデル」に示すA-A断面の解析モデルと同一である。

B-B断面については令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-23「軽油タンク基礎(6号機設備)の地震応答計算書」の「3.5 解析モデル」に示すB-B断面の解析モデルに、軽油タンク基礎南西に位置する大物搬入建屋周辺の新設地盤改良体を考慮したモデルとする。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、線形平面ひずみ要素によりモデル化する。

鋼管杭は、非線形はり要素によりモデル化する。

また、軽油タンクは一質点でモデル化し、その他の機器・配管荷重及び付帯設備の荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

地盤はマルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) 地盤改良体のモデル化

構造物周辺の地盤改良体は、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」、「地盤改良体と構造物」及び「地盤と地盤改良体」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

(7) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の3次元効果を2次元モデルで考慮するため、地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設定する。

(8) 杭先端ばねの設定

地震時の杭先端における地盤と杭の相互作用を考慮するため、杭先端と地盤間に杭先端ばねを設定する。

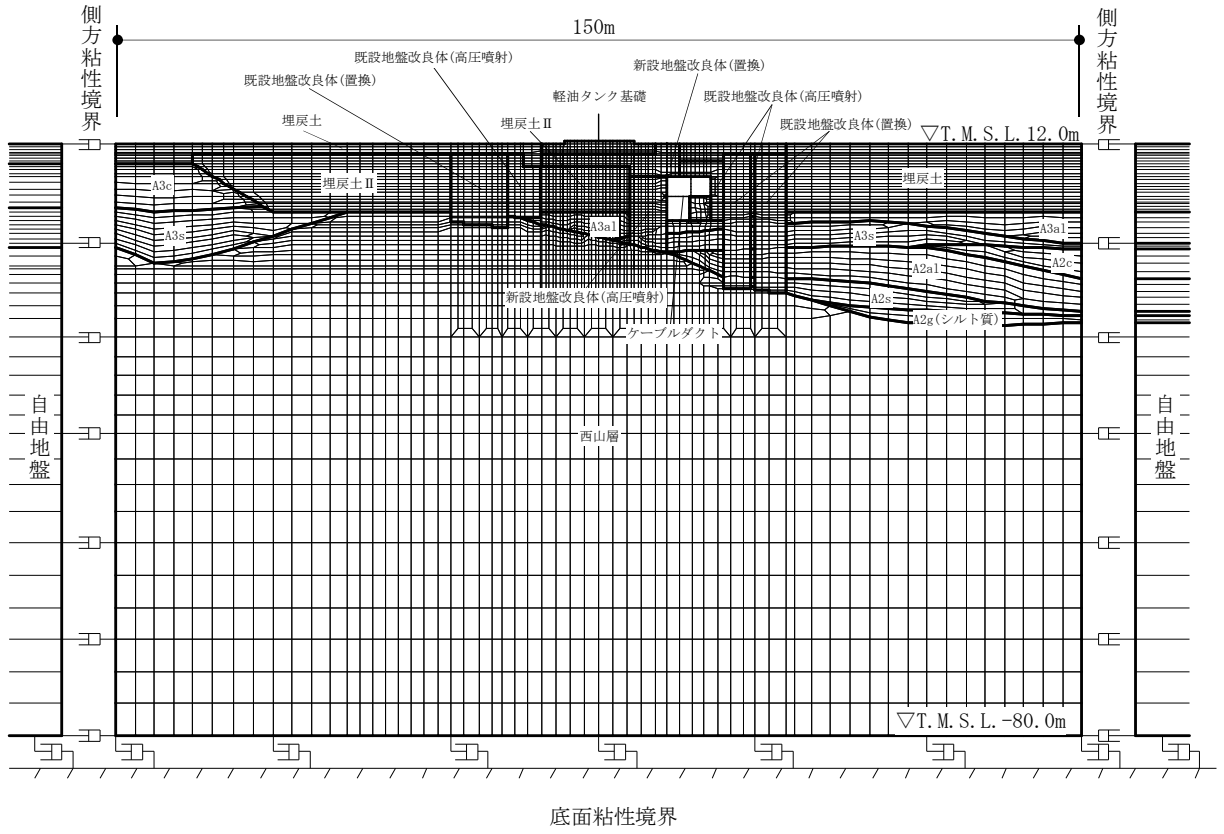


図 3-5 (1) 軽油タンク基礎の地震応答解析モデル (A-A断面)

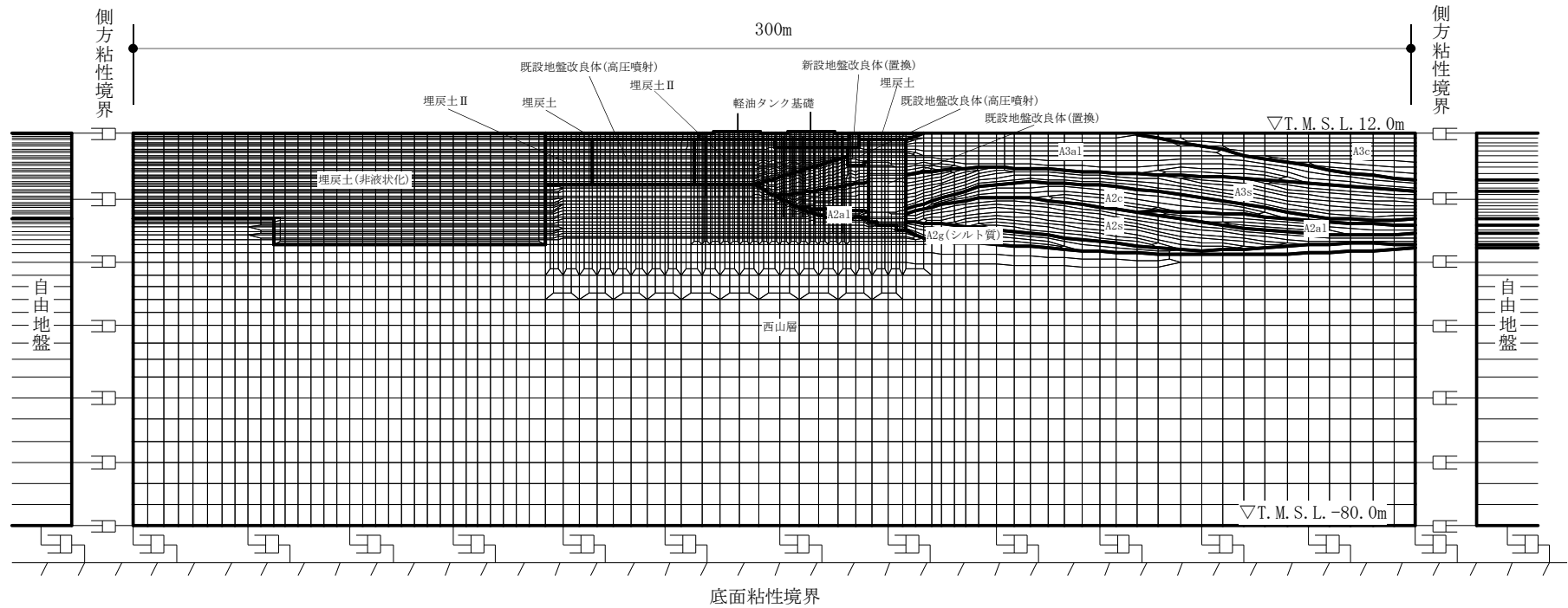


図 3-5 (2) 軽油タンク基礎の地震応答解析モデル (B-B断面)

3.5.2 使用材料及び材料物性値

構造物の使用材料を表 3-3, 材料物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm ²
鉄筋	SD35 (SD345 相当)
鋼管杭	SKK400 (SKK41 相当)

表 3-4 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45×10 ⁴ *	0.2*
鋼管杭	77*	2.06×10 ⁵ *	0.3*

注記* : 建設時の設計値に基づく

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

地盤の物性値は、VI-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。地盤改良体については、VI-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に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設/新設		既設地盤改良体			新設地盤改良体		
種別 (地盤種別)		置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	置換	高圧噴射 (粘性土)	無筋 コンクリート
物理 特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.84~1.86 ^{*1}	1.88	1.58~1.59 ^{*1}	1.85	1.91	2.17
	間隙率 n	0.47	0.47	0.64	0.48	0.64	— ^{*2}
変形 特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	3.09×10 ⁶	2.20×10 ⁶	8.16×10 ⁵	1.31×10 ⁶	9.64×10 ⁵	6.68×10 ⁶
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	— ^{*2}
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.20
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050	0.070	0.120	0.050	0.050	— ^{*2}
強度 特性	粘着力 c (kN/m ²)	3218	4454	1268	4000	1975	— ^{*2}

注記*1 : 密度は原地盤に応じて設定する

*2 : 線形弾性体としてモデル化することから設定しない

3.5.4 地下水位

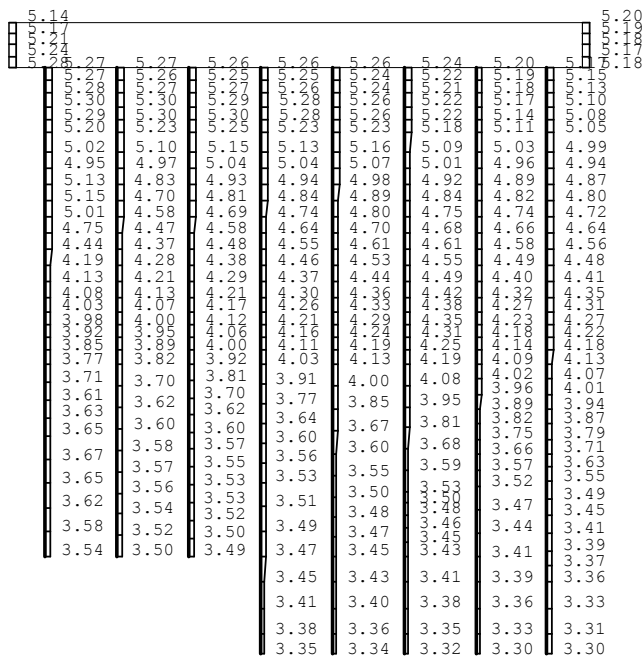
地下水位はVI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、T.M.S.L. 12.0m（地表面）として設定する。

4. 解析結果

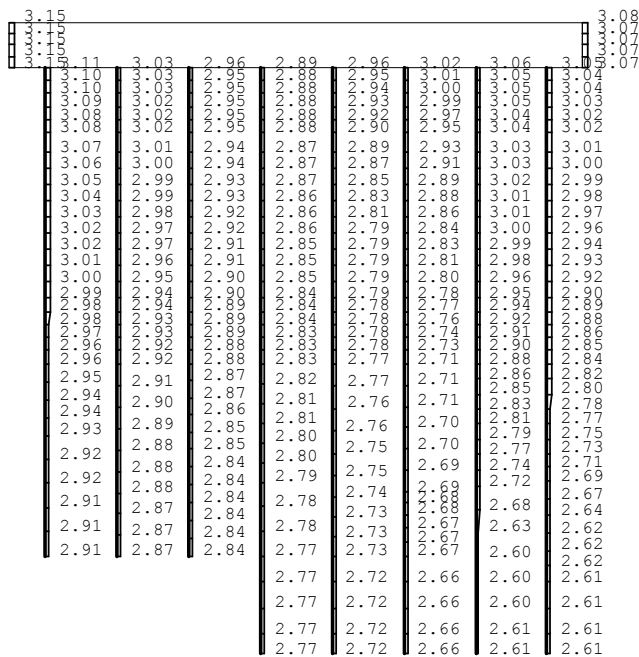
4.1 A-A断面解析結果

A-A断面の解析結果のうち、基準地震動S_sに対する最大加速度分布図は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-23「軽油タンク基礎（6号機設備）の地震応答計算書」の「4.1 A-A断面解析結果」による。

弾性設計用地震動S_dに対する解析ケース④での最大加速度分布図及び解析ケース④において鉄筋コンクリート部材の加速度が最大となる地震動に対する解析ケース③、⑤での最大加速度分布図を図4-1に示す。



(a) Sd-1++, 水平



(b) Sd-1++, 鉛直

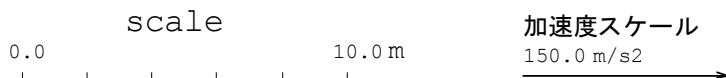
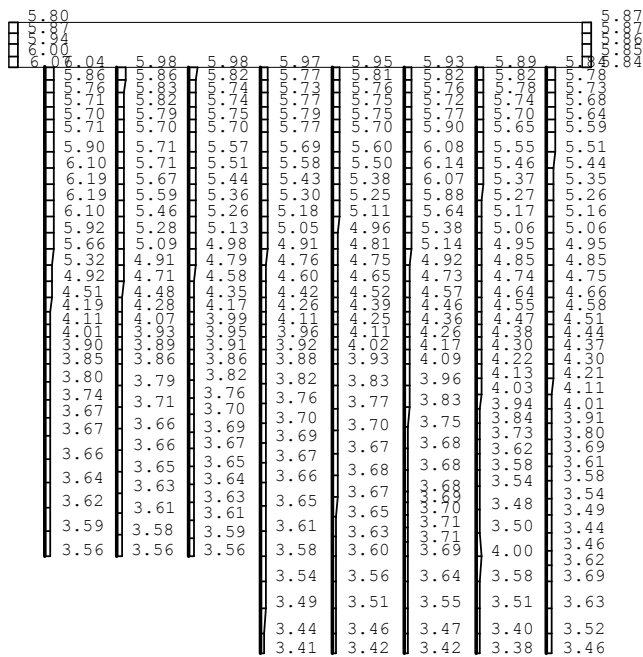
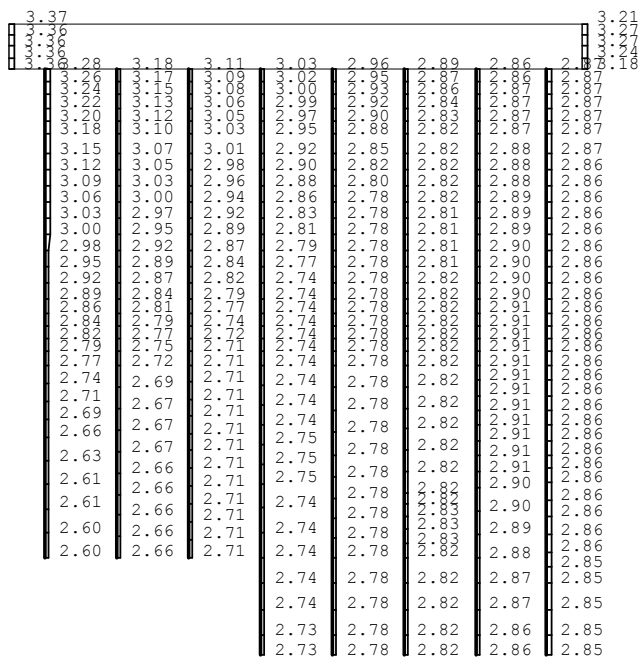


図 4-1 (1) A-A断面の最大加速度分布図 (1/17)
(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-1+, 水平



(b) Sd-1+, 鉛直

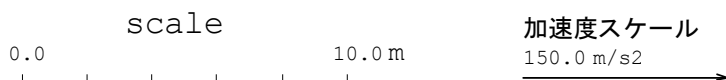
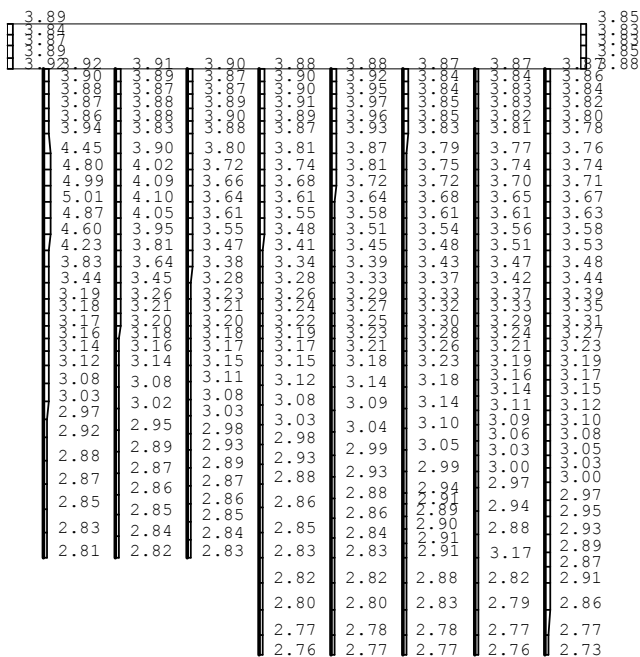
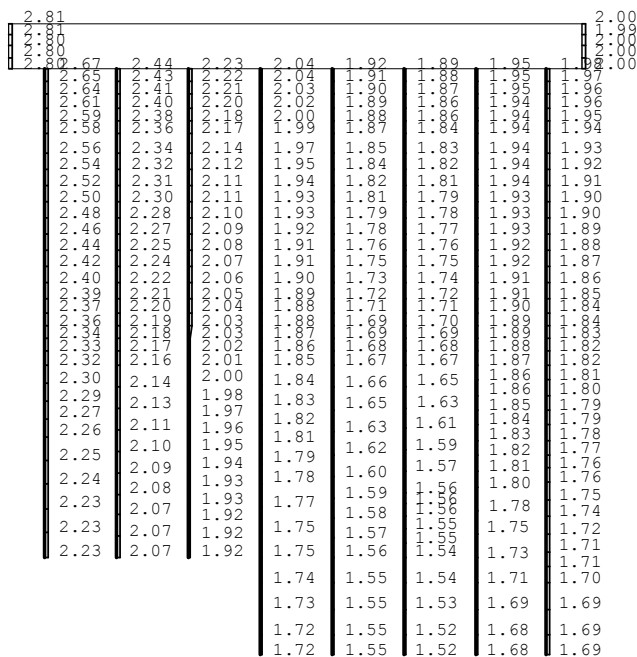


図 4-1 (2) A-A断面の最大加速度分布図 (2/17)
(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-2NS, 水平



(b) Sd-2NS, 鉛直

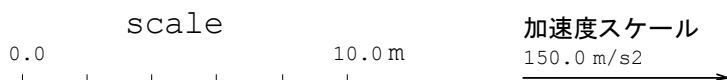
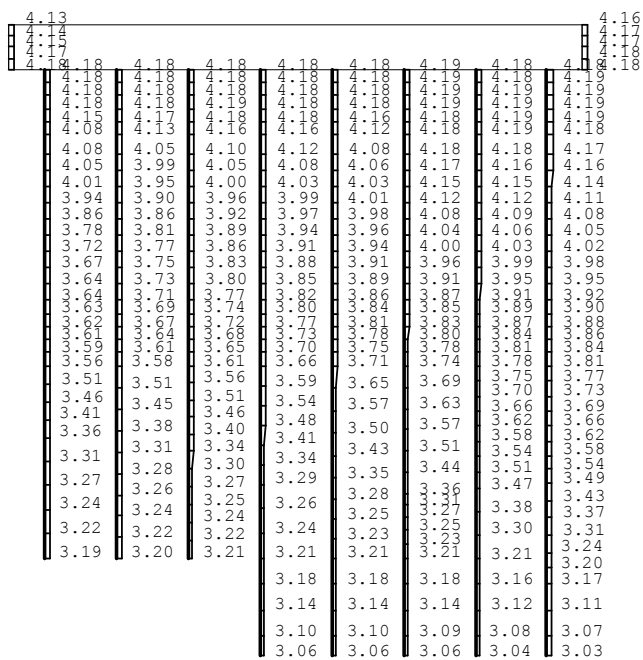
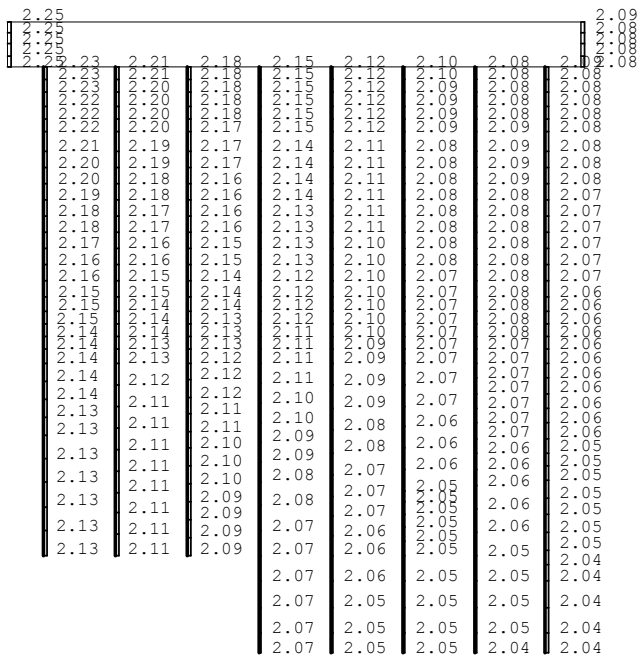


図 4-1 (5) A-A断面の最大加速度分布図 (5/17)
(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-3++，水平



(b) Sd-3++，鉛直

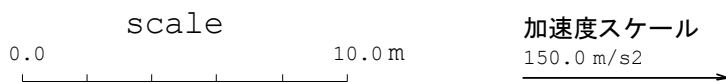
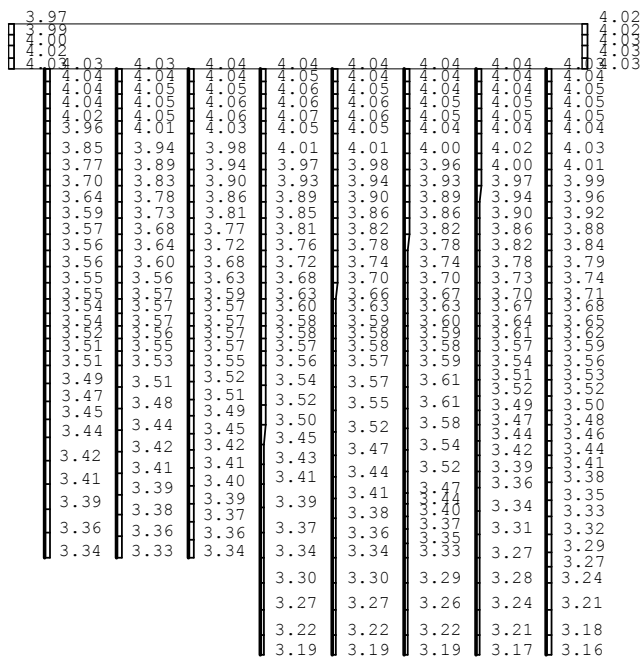
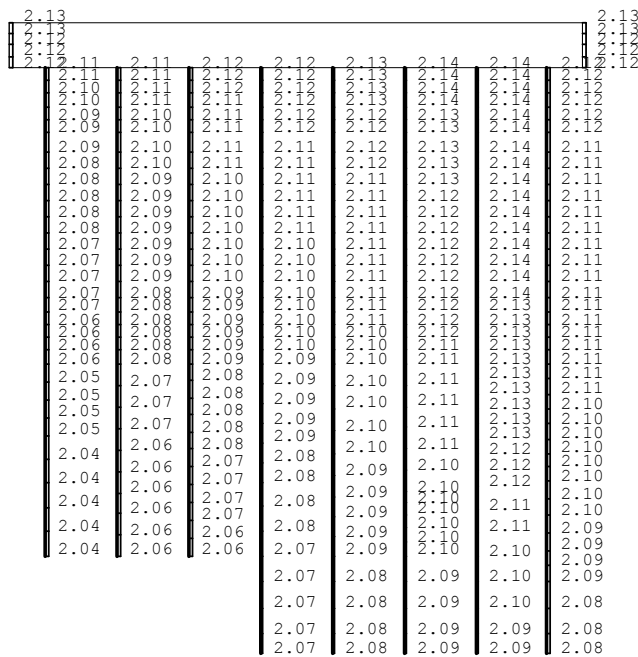


図 4-1 (6) A-A断面の最大加速度分布図 (6/17)
(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-3+, 水平



(b) Sd-3+, 鉛直

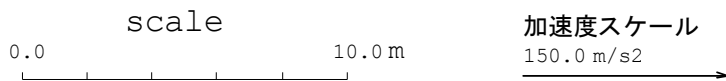
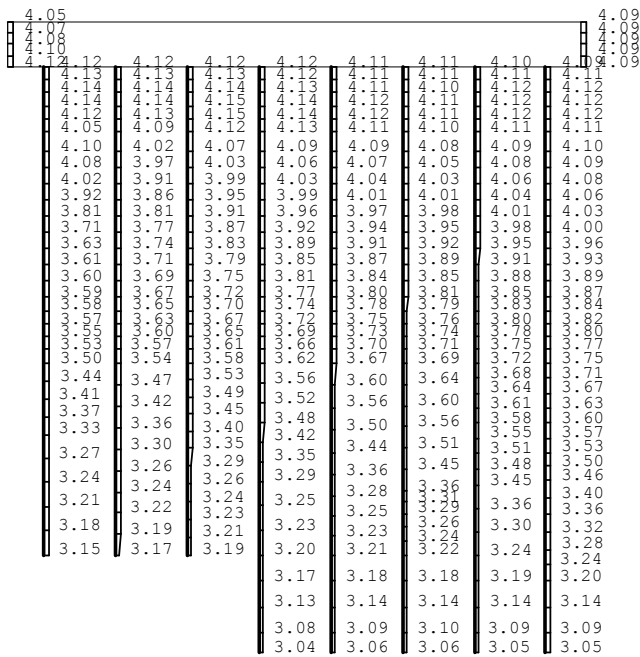
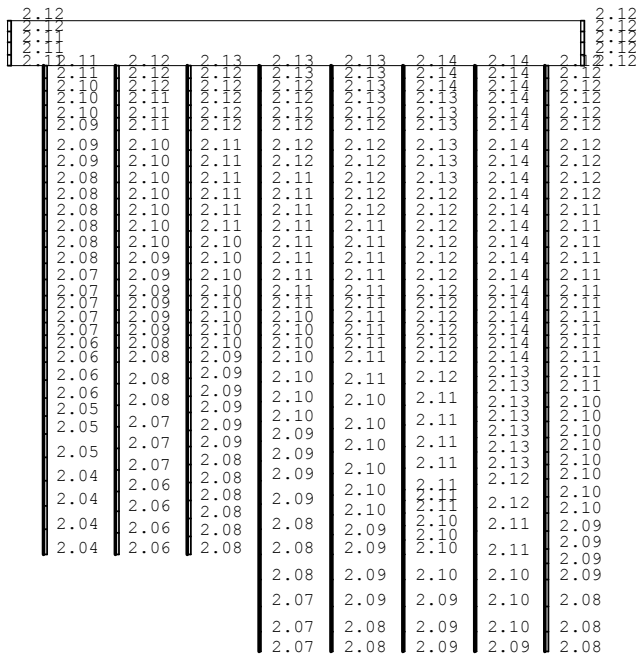


図 4-1 (7) A-A断面の最大加速度分布図 (7/17)
(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-3+-, 水平



(b) Sd-3+-, 鉛直

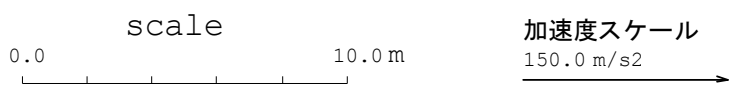
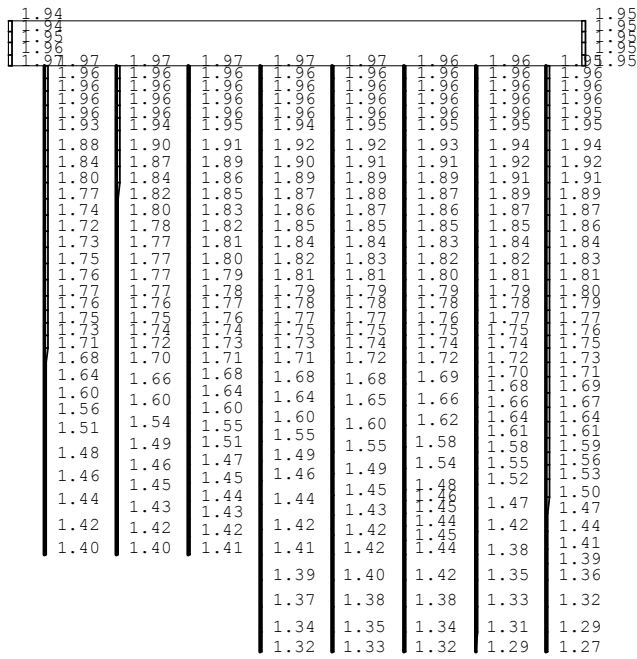
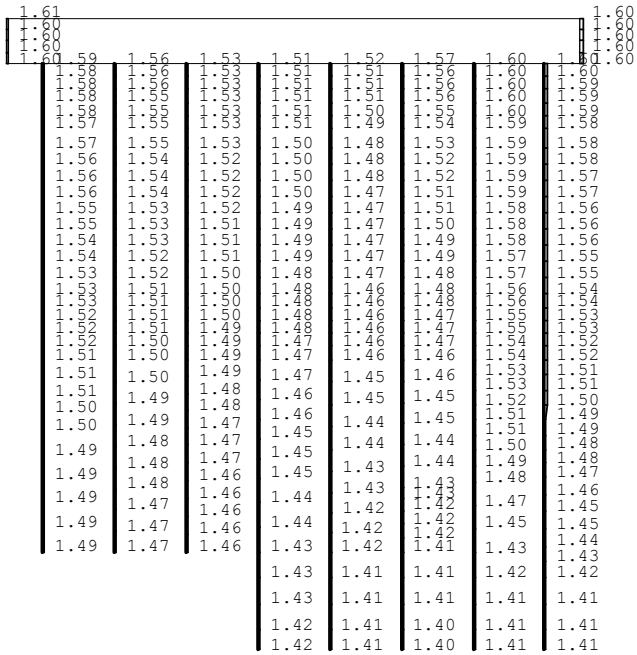


図 4-1 (8) A-A断面の最大加速度分布図 (8/17)
(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-4NS, 水平



(b) Sd-4NS, 鉛直

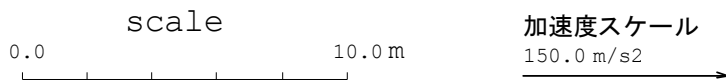
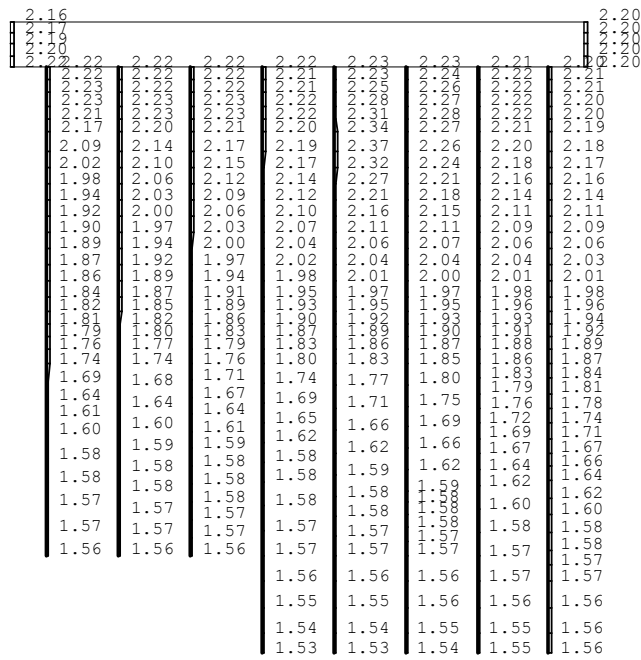
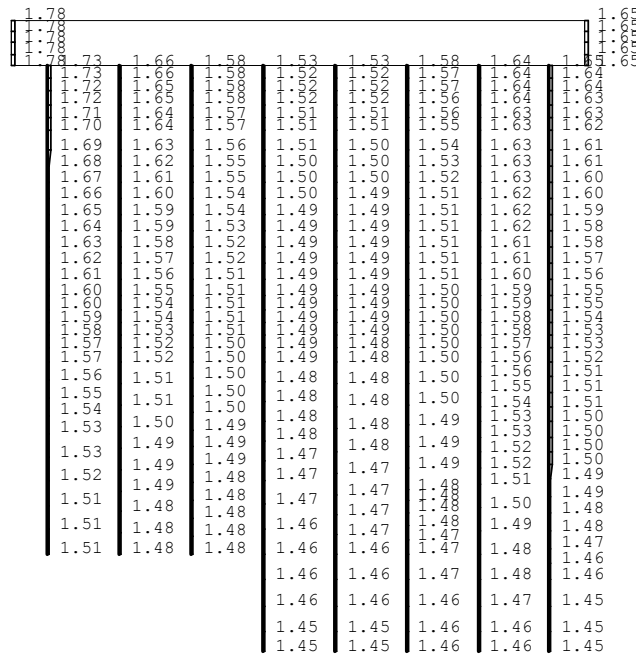


図 4-1 (10) A-A断面の最大加速度分布図 (10/17)
(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-5NS, 水平



(b) Sd-5NS, 鉛直

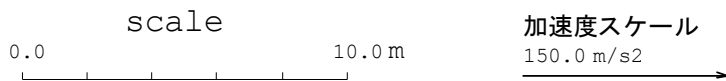
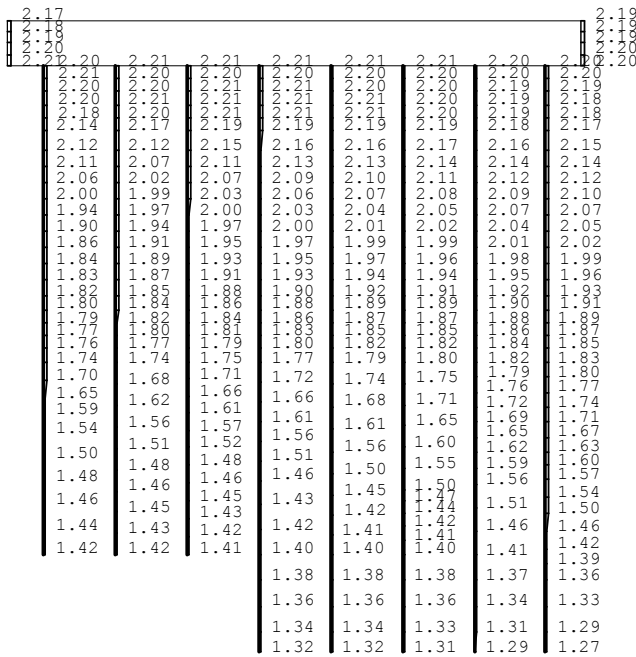
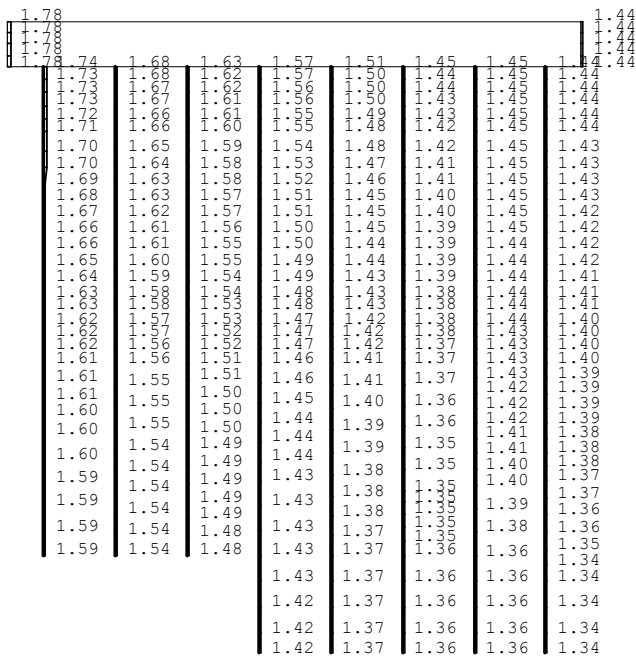


図 4-1 (11) A-A断面の最大加速度分布図 (11/17)
 (④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-6NS, 水平



(b) Sd-6NS, 鉛直

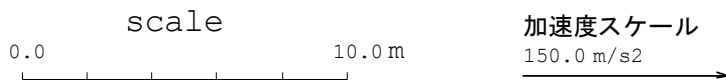
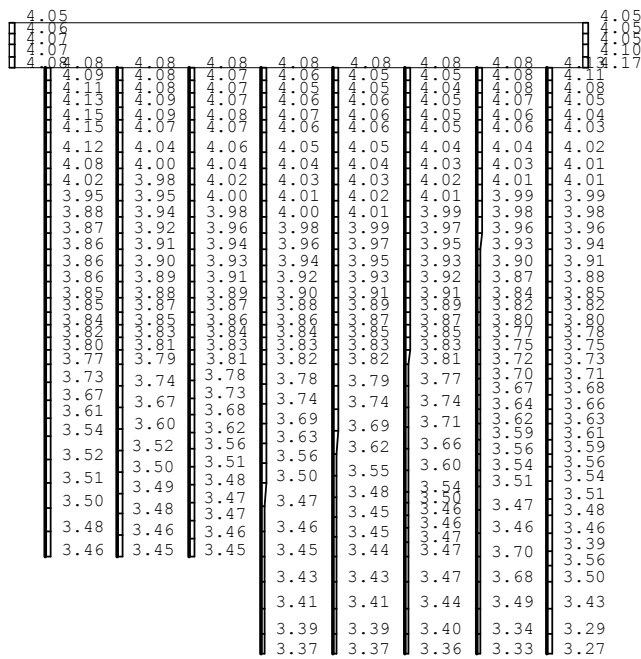
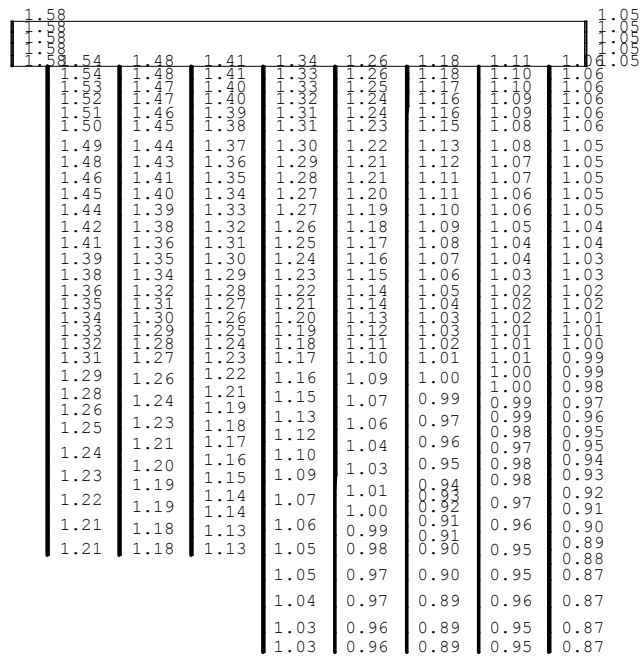


図 4-1 (12) A-A断面の最大加速度分布図 (12/17)
(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-8++，水平



(b) Sd-8++，鉛直

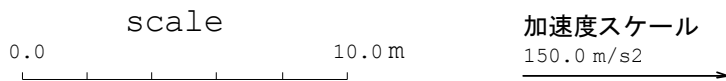
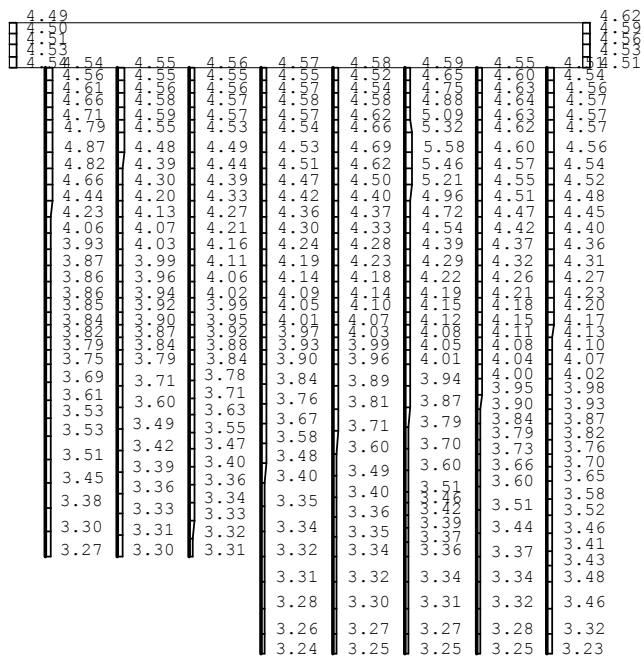
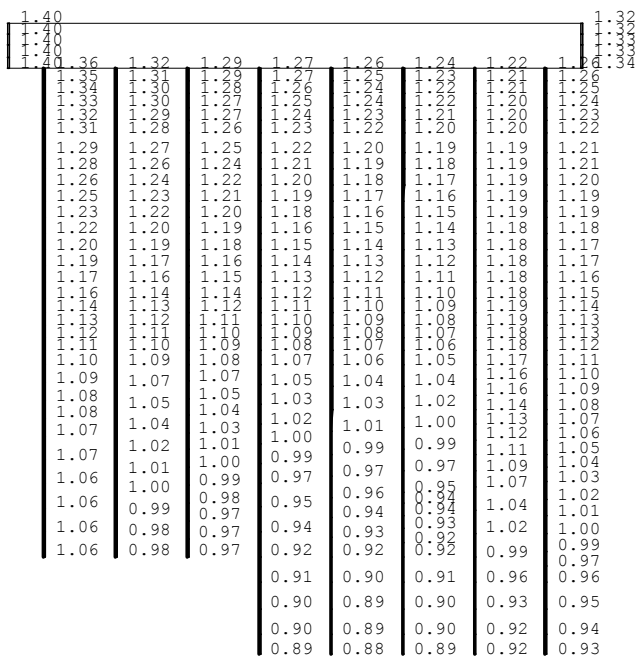


図 4-1 (14) A-A断面の最大加速度分布図 (14/17)
(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-8+, 水平



(b) Sd-8+, 鉛直

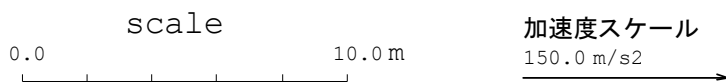
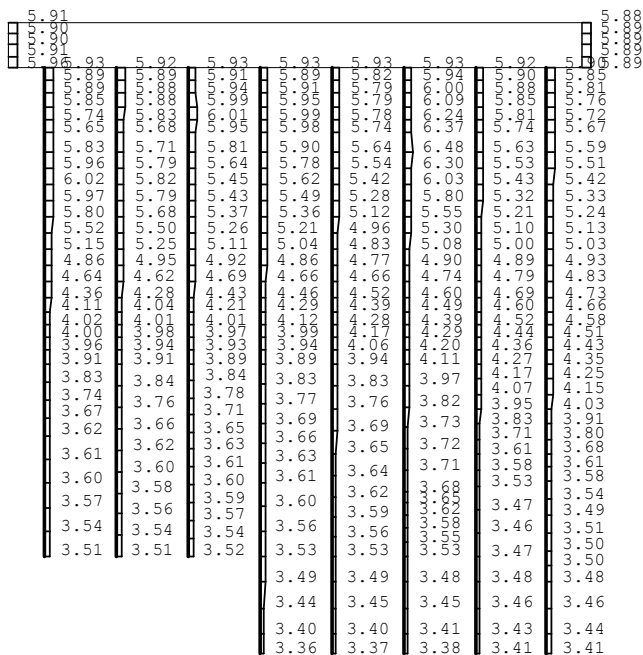
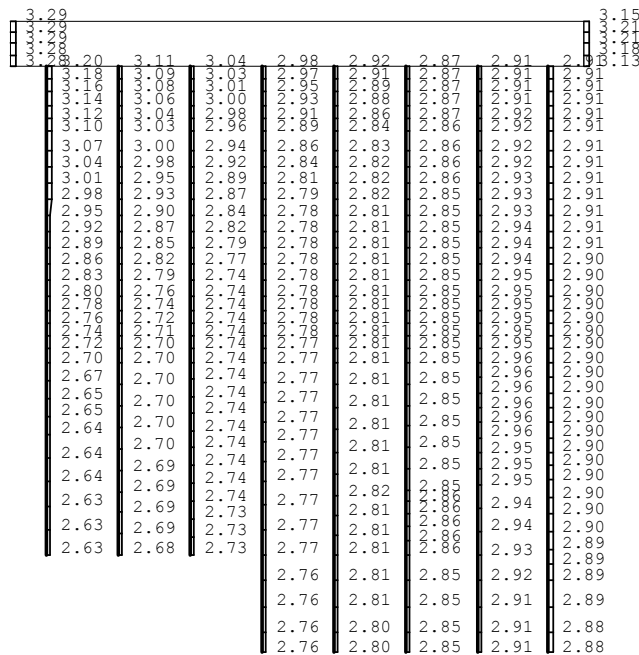


図 4-1 (15) A-A断面の最大加速度分布図 (15/17)
 (④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-1-+, 水平



(b) Sd-1-+, 鉛直

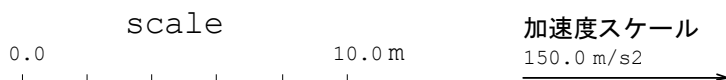
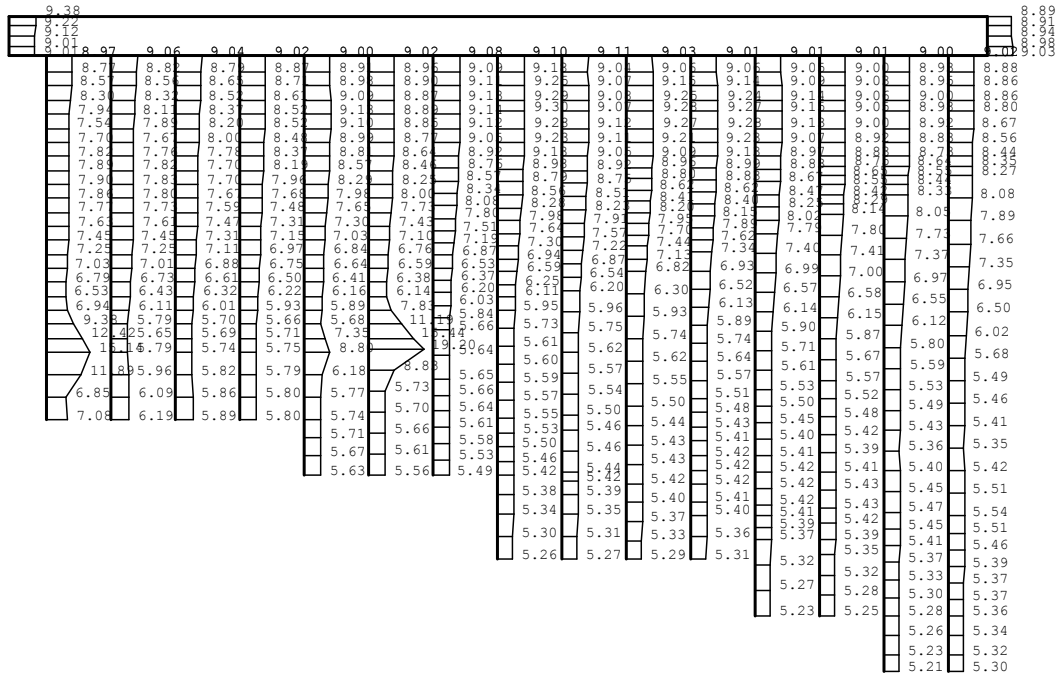


図 4-1 (16) A-A断面の最大加速度分布図 (16/17)
 (③地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

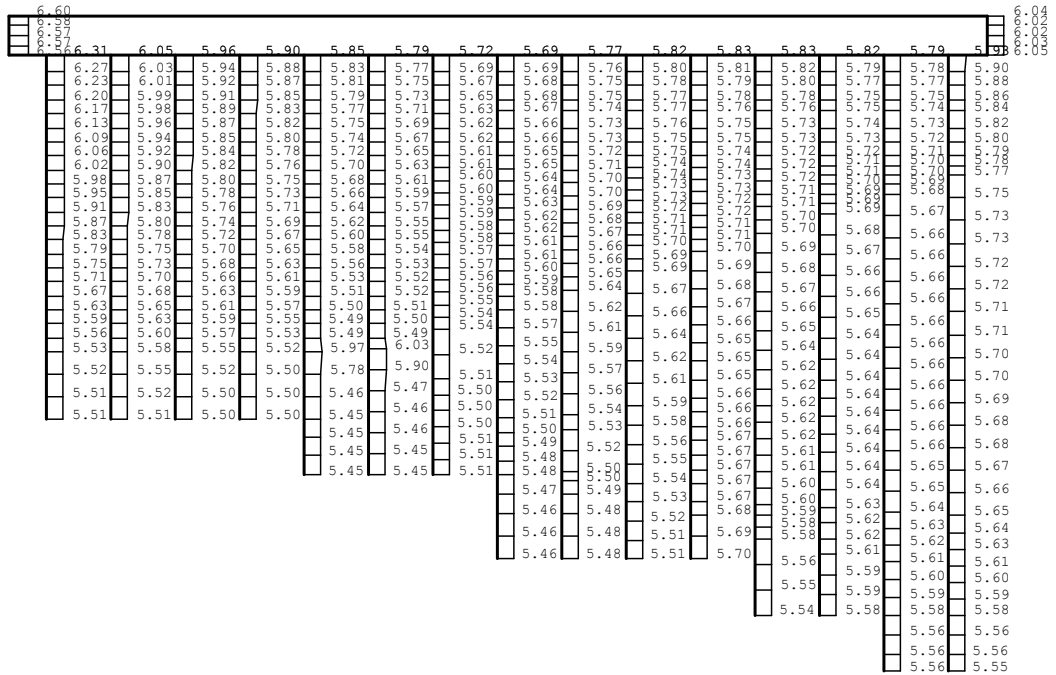
4.2 B－B断面解析結果

B－B断面の解析結果のうち、機器・配管系の耐震評価に用いる解析結果として、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する解析ケース④での最大加速度分布図、並びに解析ケース④において、鉄筋コンクリート部材の加速度が最大となる地震動に対する解析ケース③、⑤での最大加速度分布図を図4-2に示す。

構造物の耐震評価に用いる解析結果は、保守性を考慮し、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-23「軽油タンク基礎（6号機設備）の地震応答計算書」の「4.2 B－B断面解析結果」による。



(a) Ss-1++, 水平

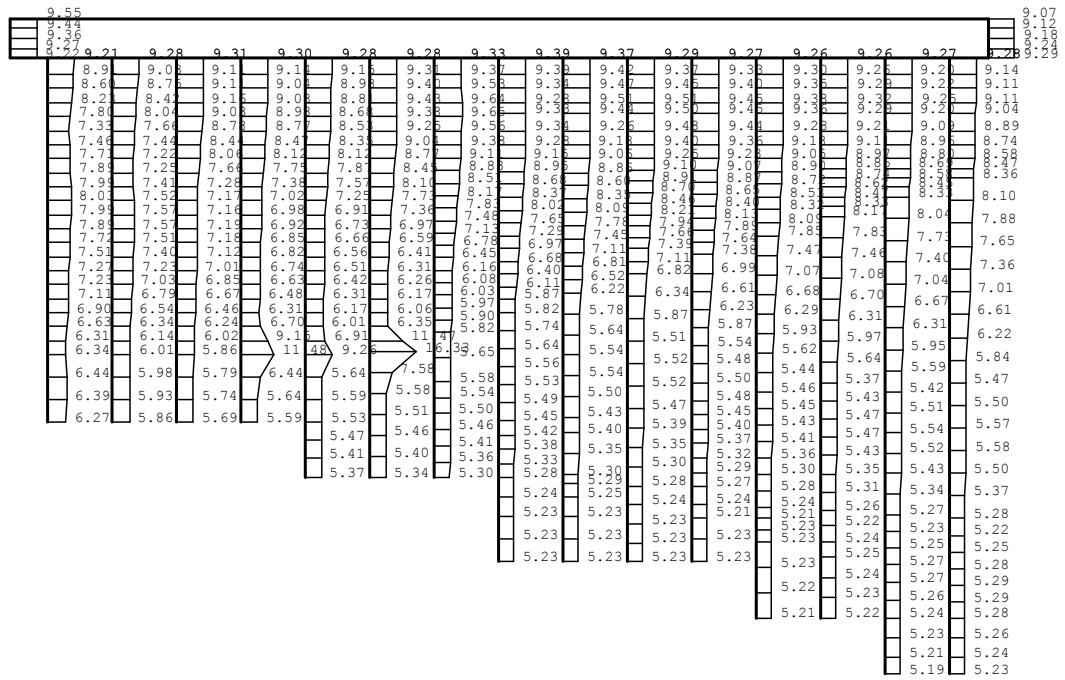


(b) Ss-1++, 鉛直

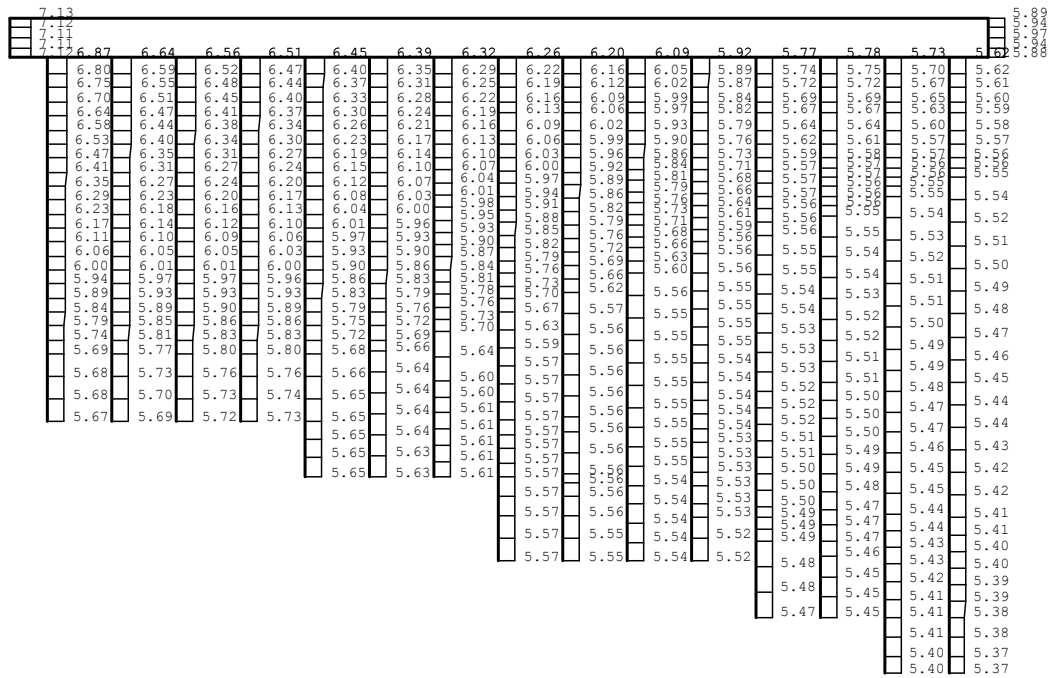


図 4-2 (1) B-B断面の最大加速度分布図 (1/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-1+-, 水平

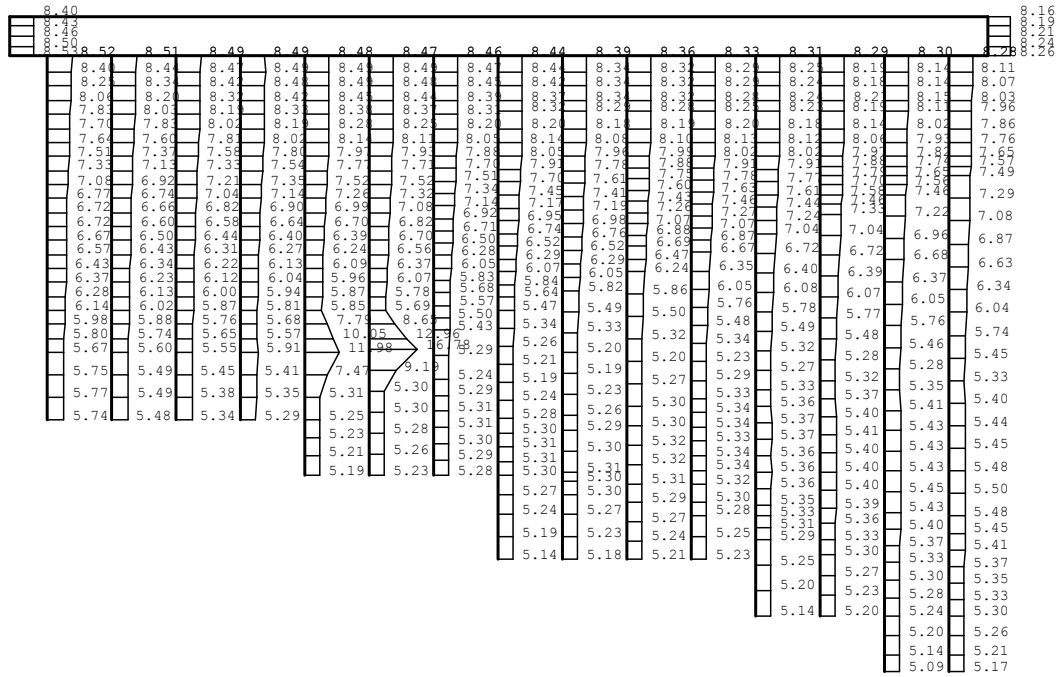


(b) Ss-1+-, 鉛直

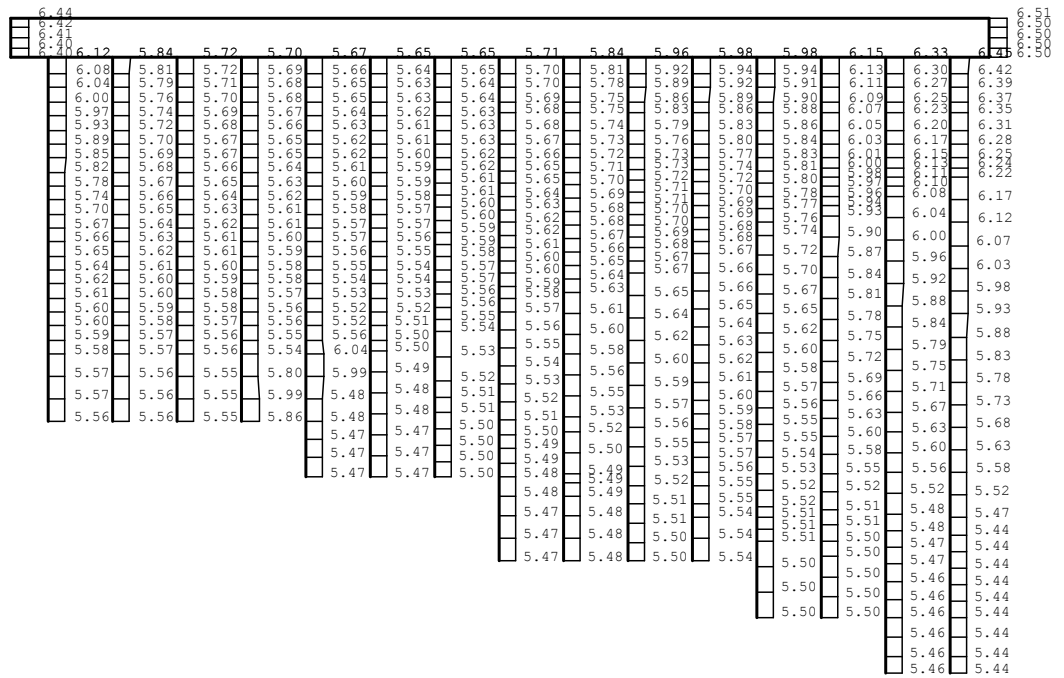


図 4-2 (3) B-B断面の最大加速度分布図 (3/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-1—, 水平



(b) Ss-1—, 鉛直

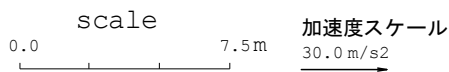
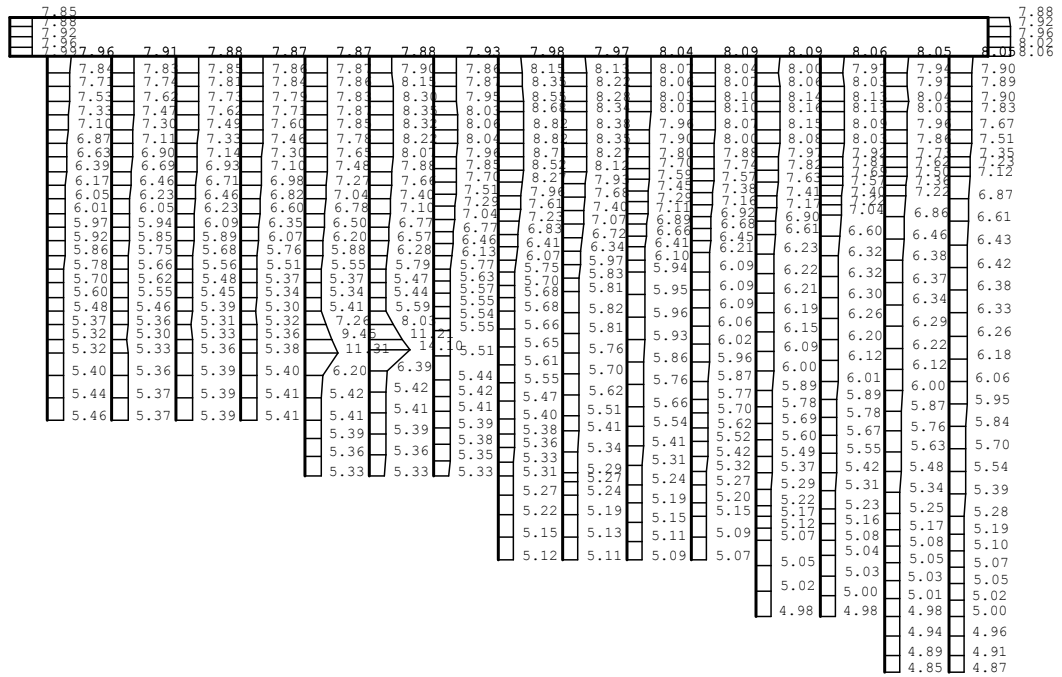
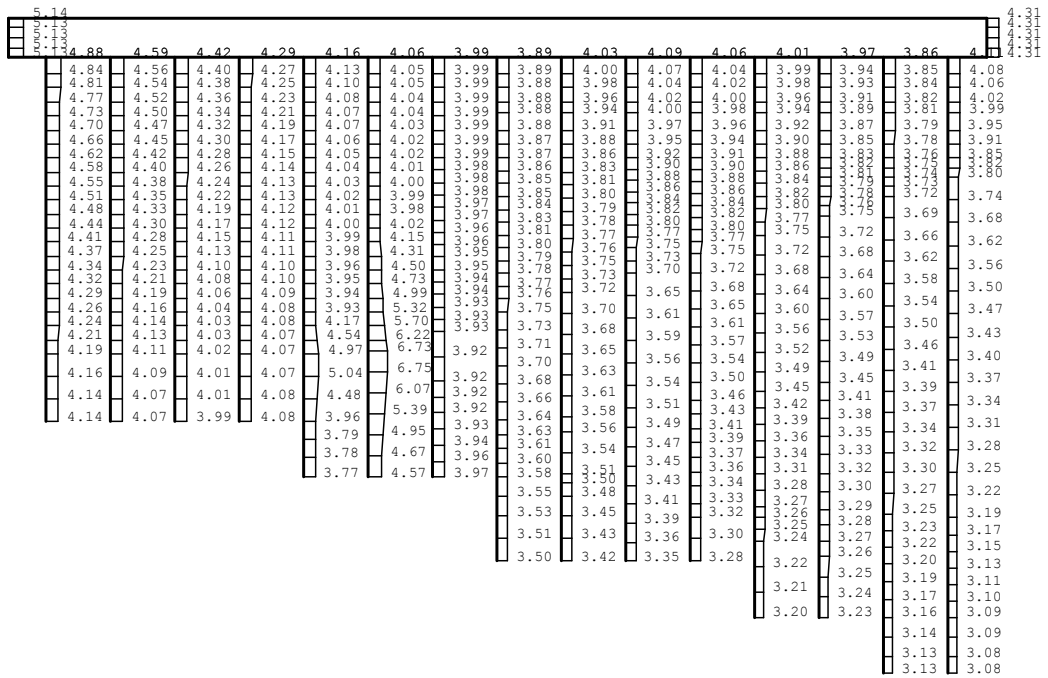


図 4-2 (4) B-B断面の最大加速度分布図 (4/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-2EW, 水平

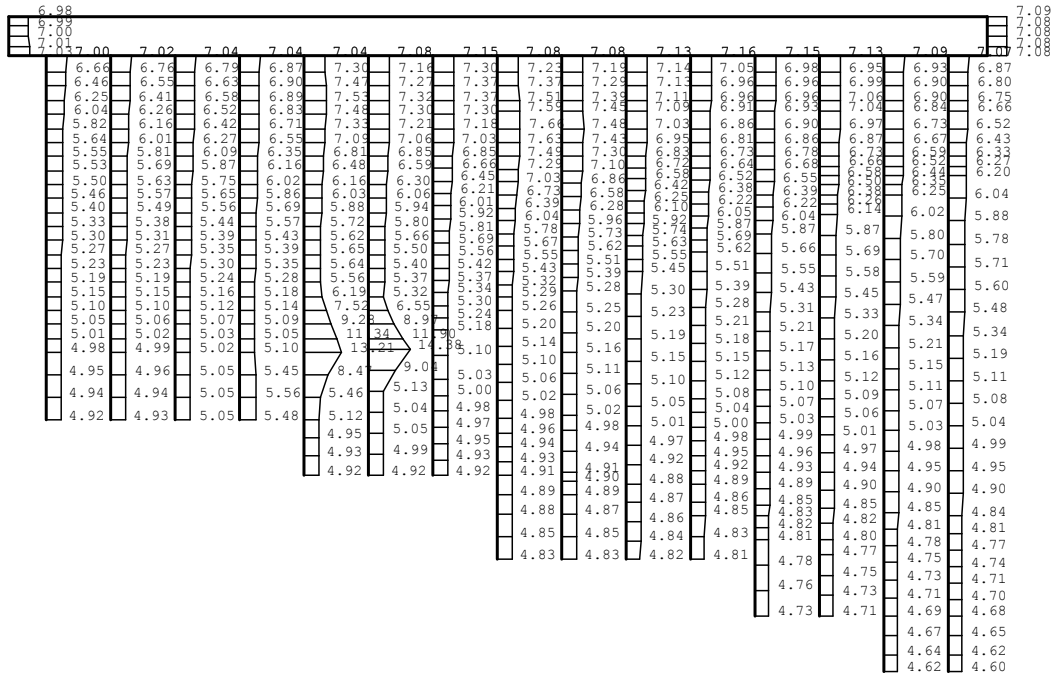


(b) Ss-2EW, 鉛直

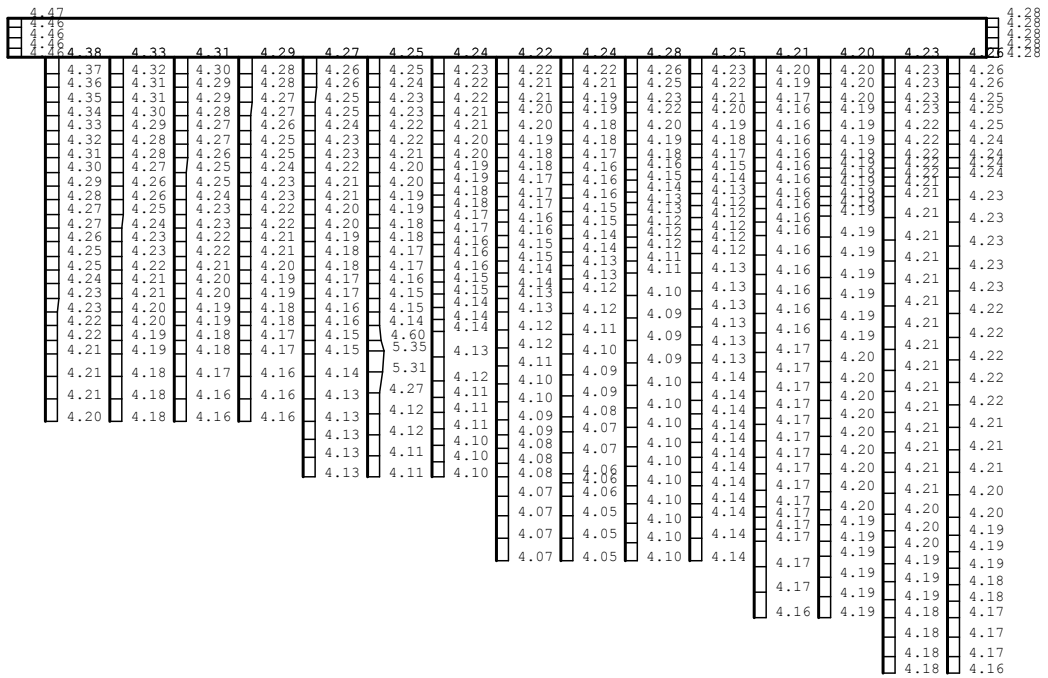


図 4-2 (5) B-B断面の最大加速度分布図 (5/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-3++, 水平

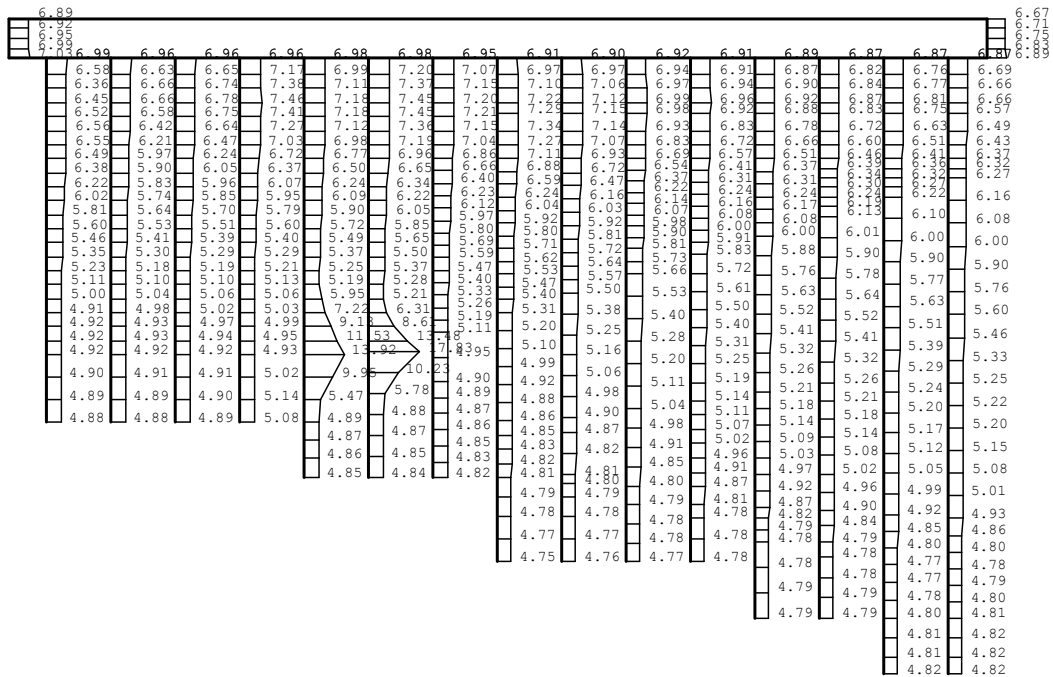


(b) Ss-3++, 鉛直

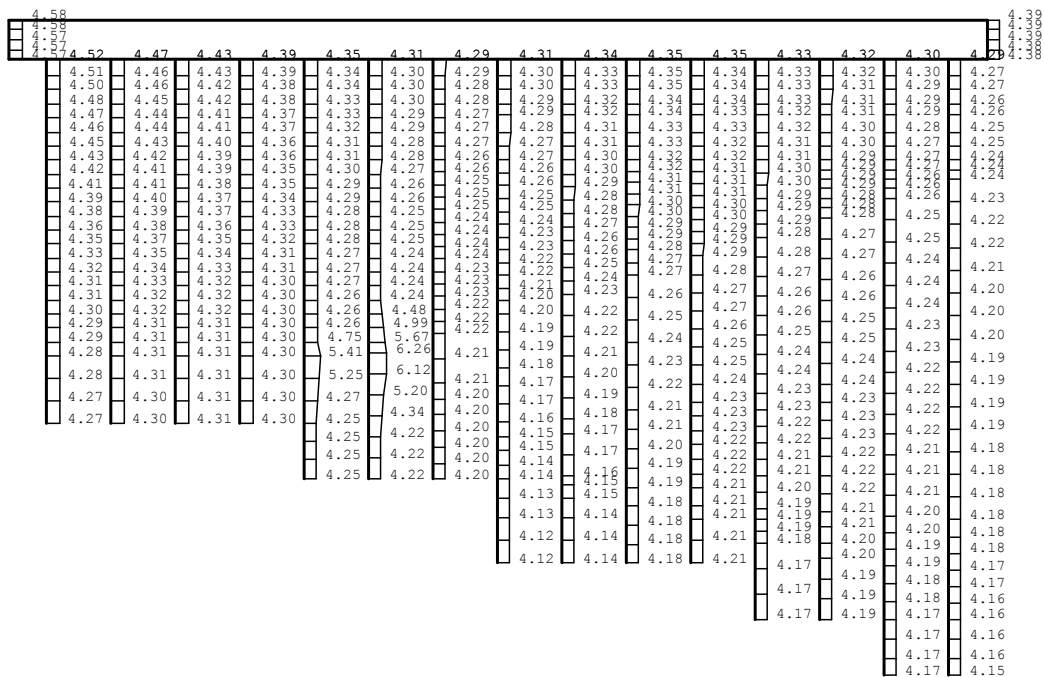


図 4-2 (6) B-B断面の最大加速度分布図 (6/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-3+, 水平

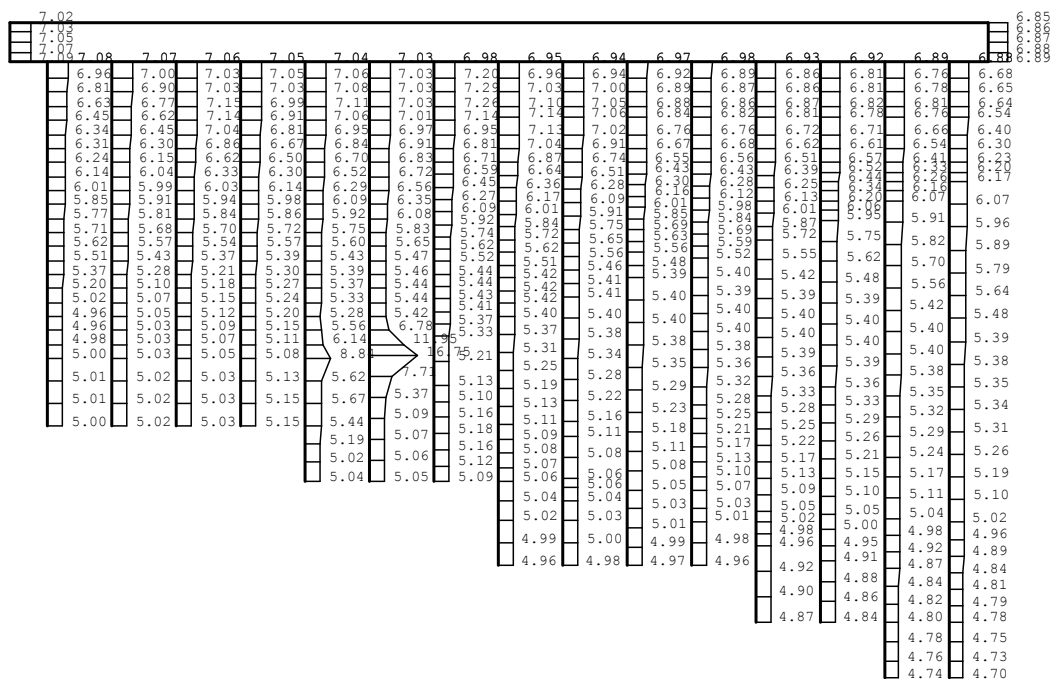


(b) Ss-3+, 鉛直

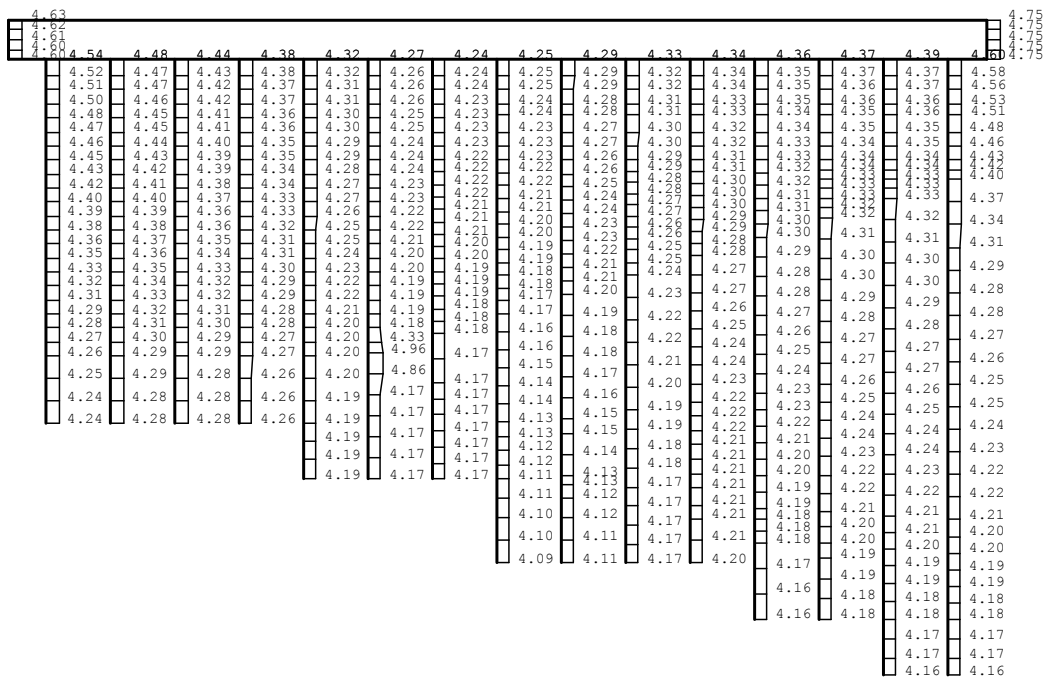


図 4-2 (7) B-B断面の最大加速度分布図 (7/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-3+，水平

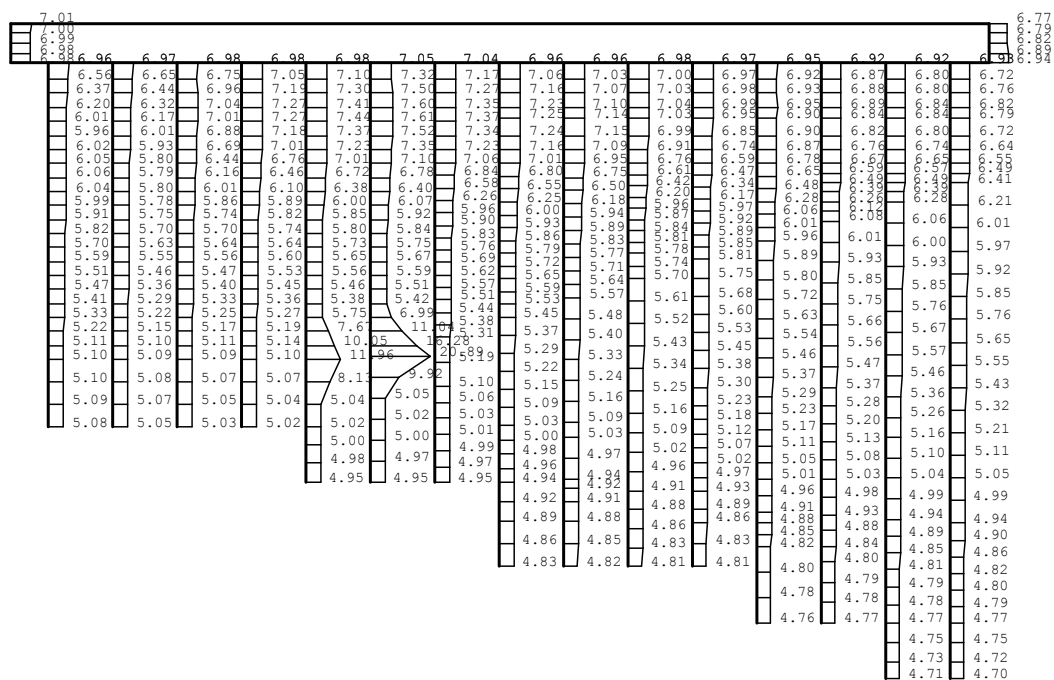


(b) Ss-3+，鉛直

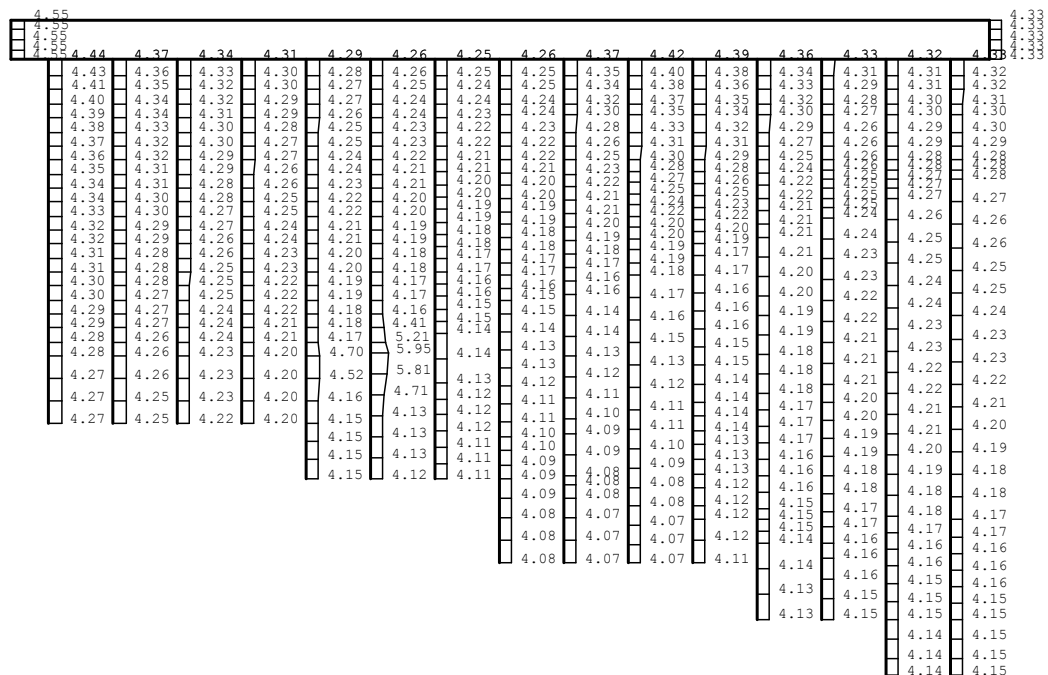


図 4-2 (8) B-B断面の最大加速度分布図 (8/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-3—, 水平



(b) Ss-3—, 鉛直

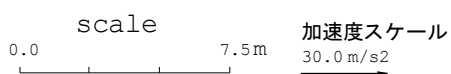
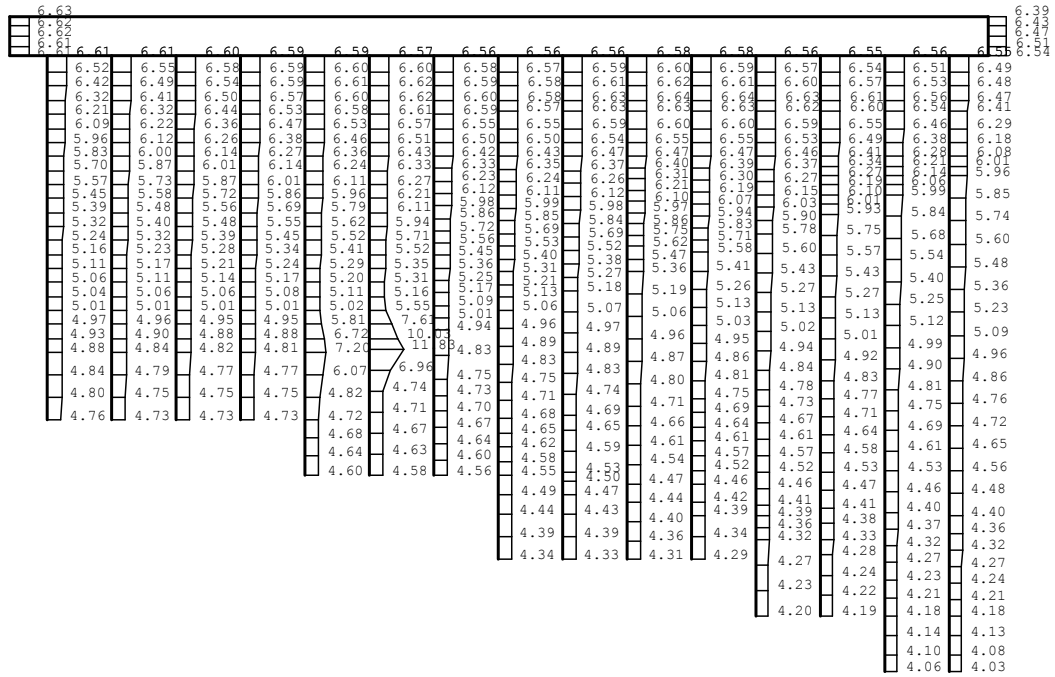
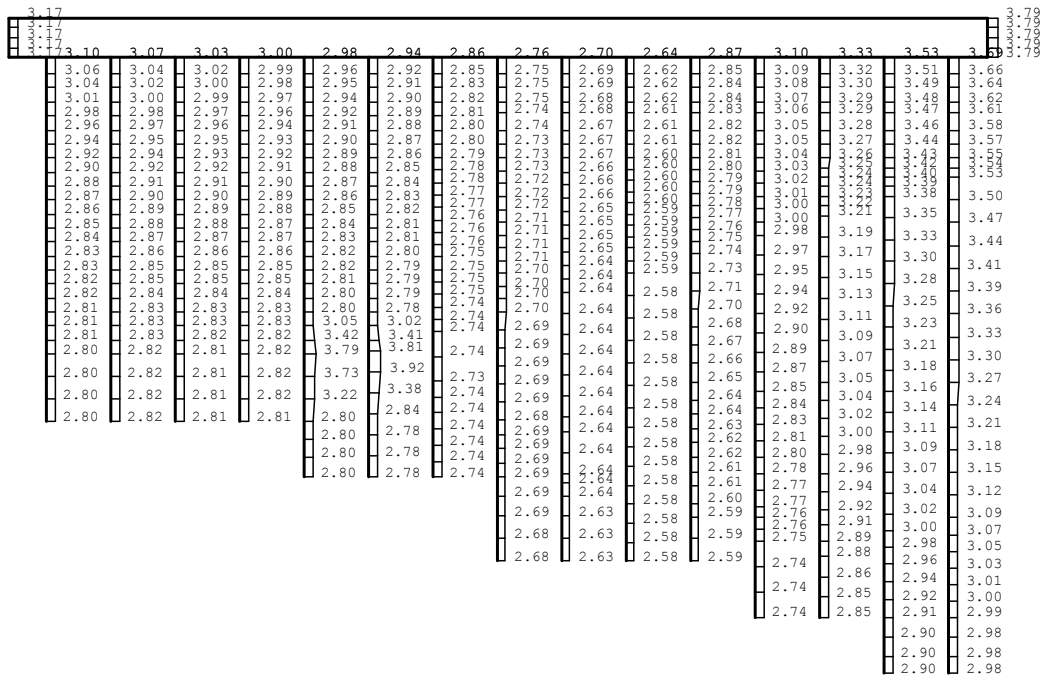


図 4-2 (9) B-B断面の最大加速度分布図 (9/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-4EW, 水平

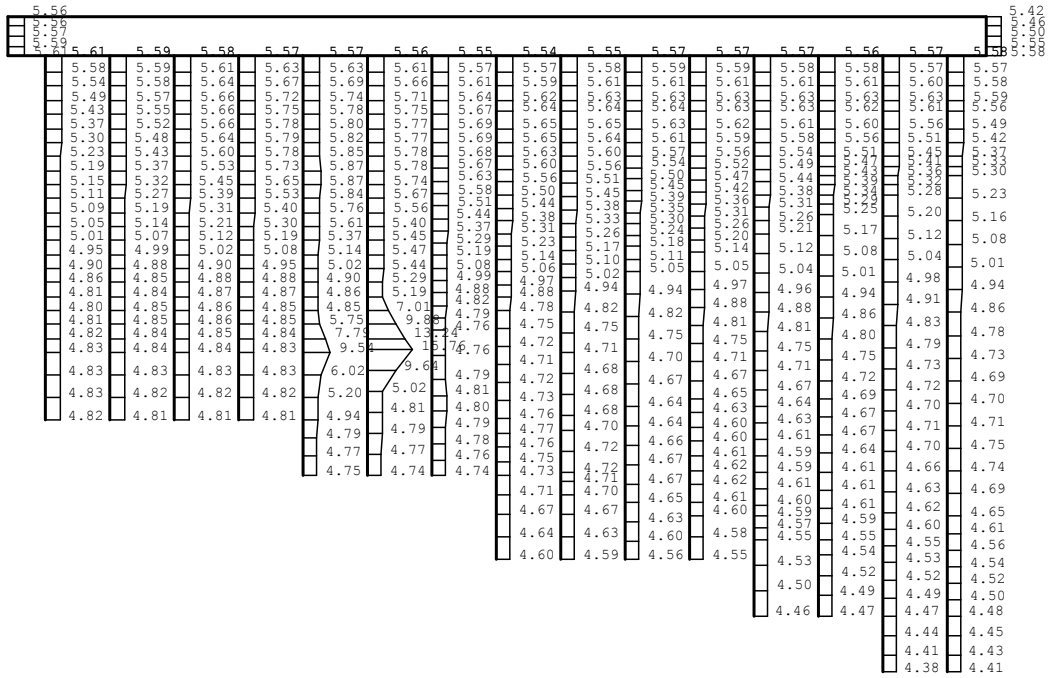


(b) Ss-4EW, 鉛直

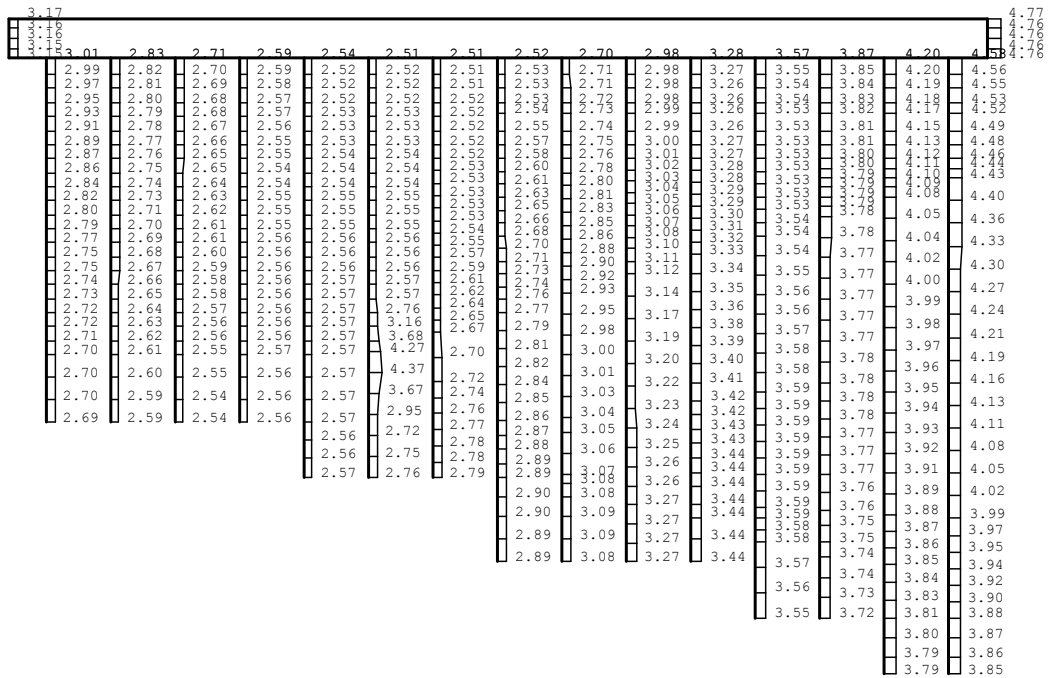


図 4-2 (10) B-B断面の最大加速度分布図 (10/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-5EW, 水平



(b) Ss-5EW, 鉛直

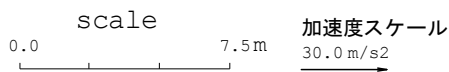
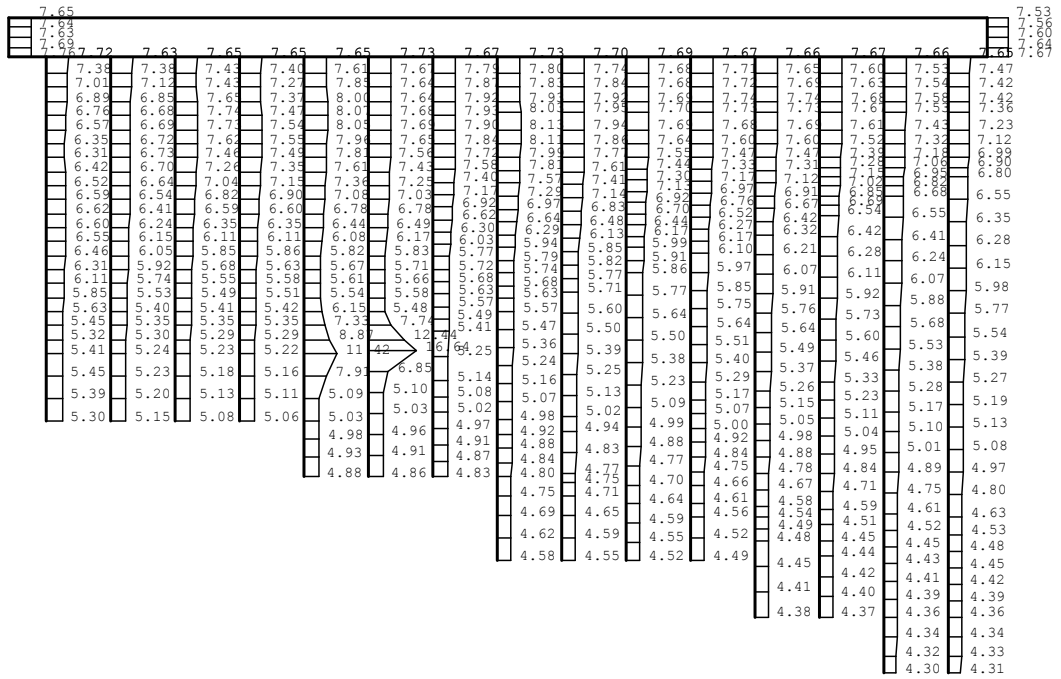
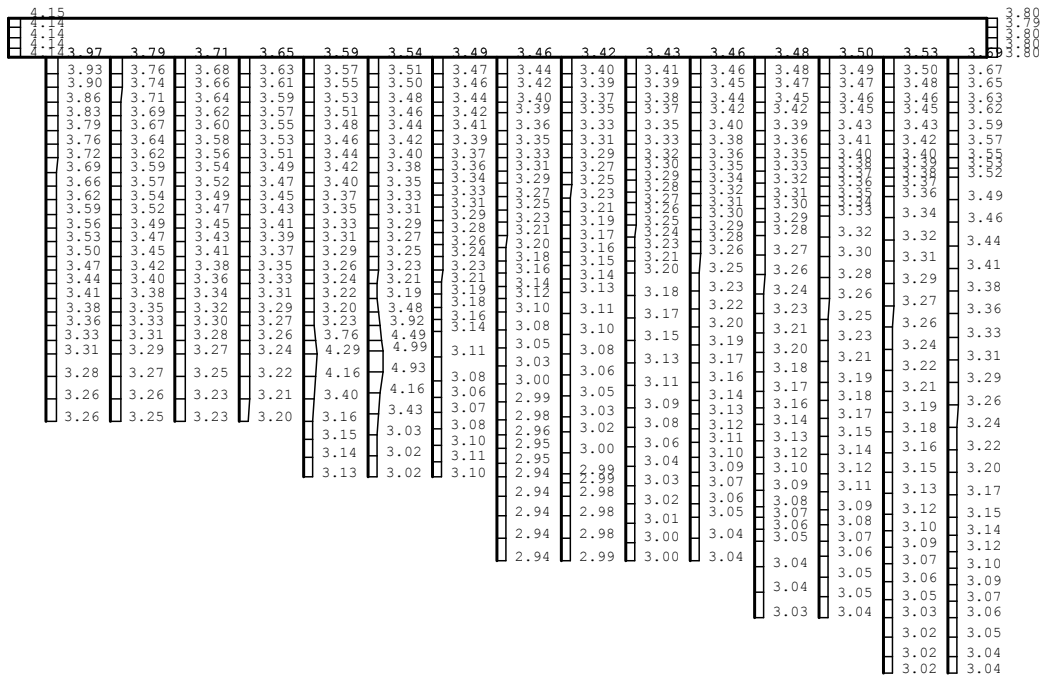


図 4-2 (11) B-B断面の最大加速度分布図 (11/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-6EW, 水平



(b) Ss-6EW, 鉛直

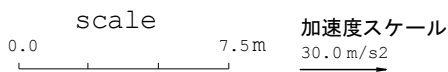
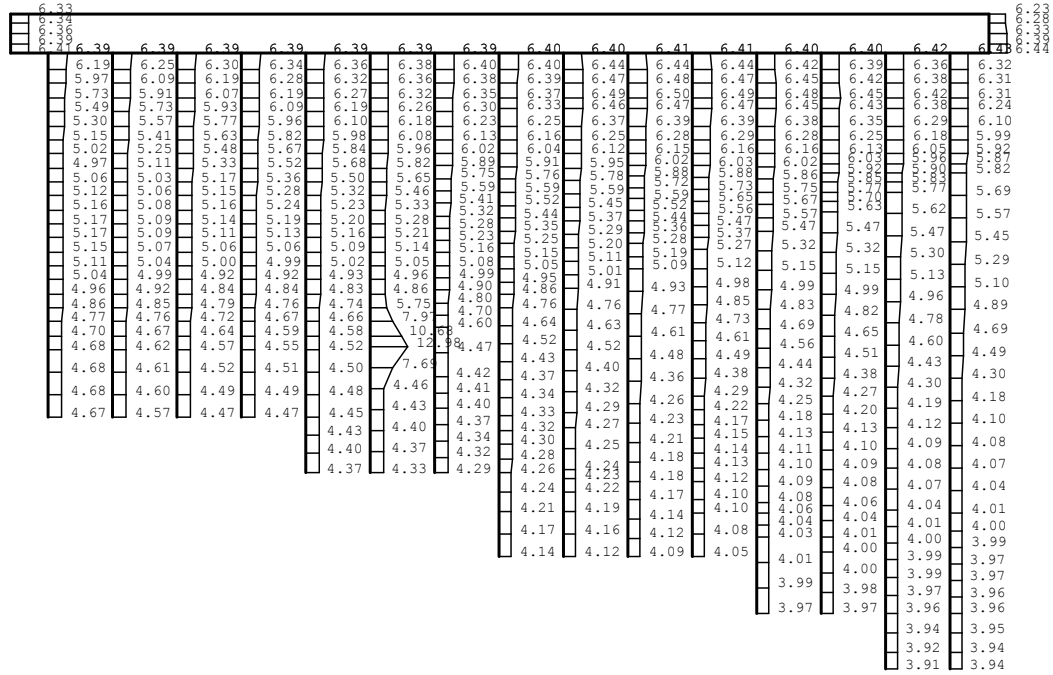
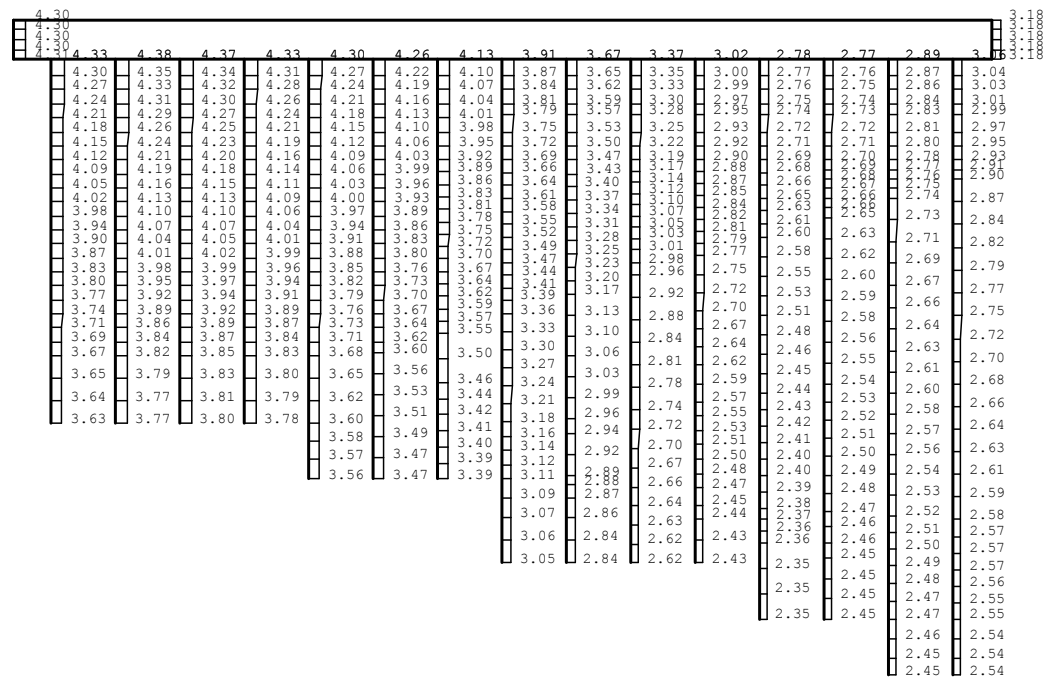


図 4-2 (12) B-B断面の最大加速度分布図 (12/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-7EW, 水平



(b) Ss-7EW, 鉛直

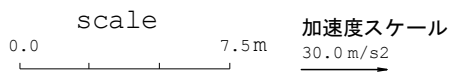
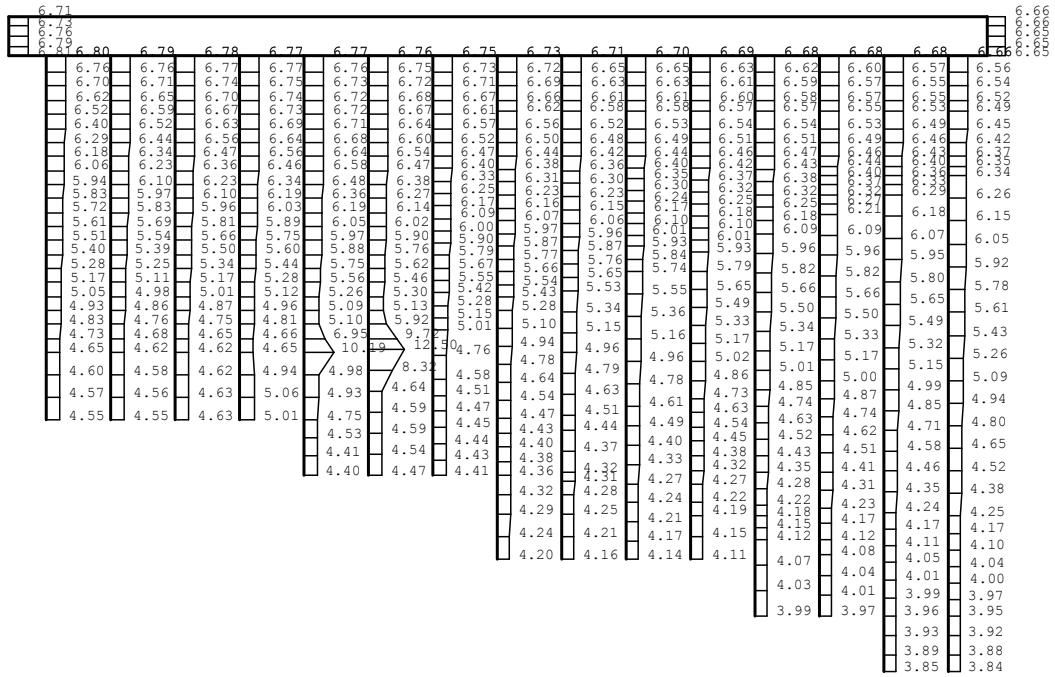
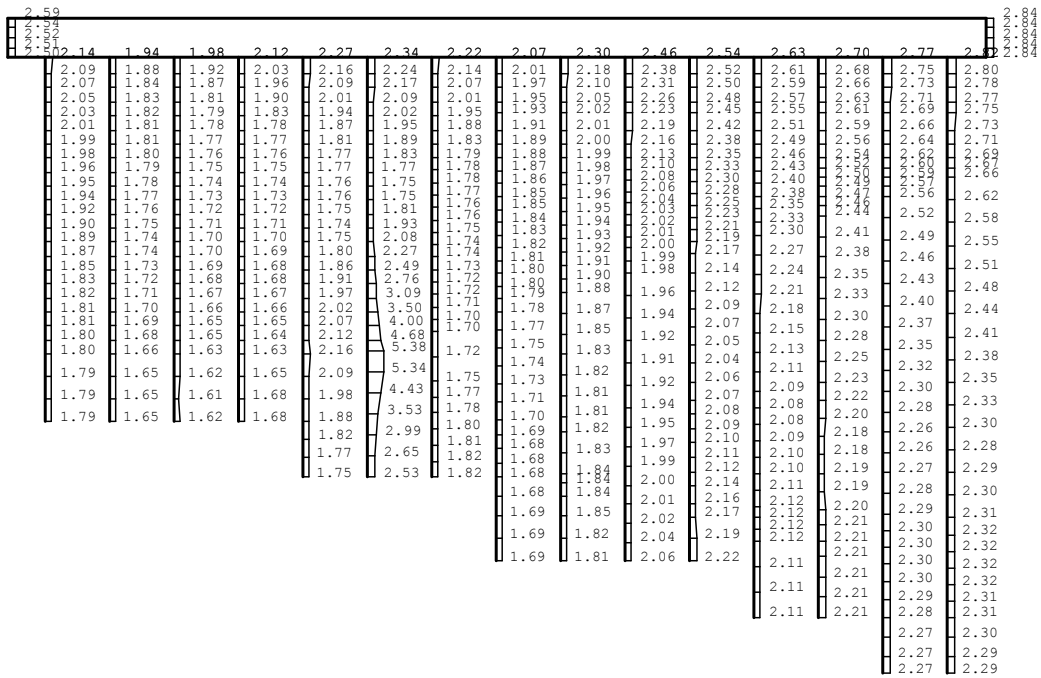


図 4-2 (13) B-B断面の最大加速度分布図 (13/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Ss-8++, 水平



(b) Ss-8++, 鉛直

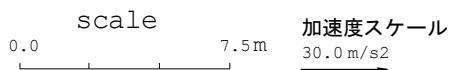
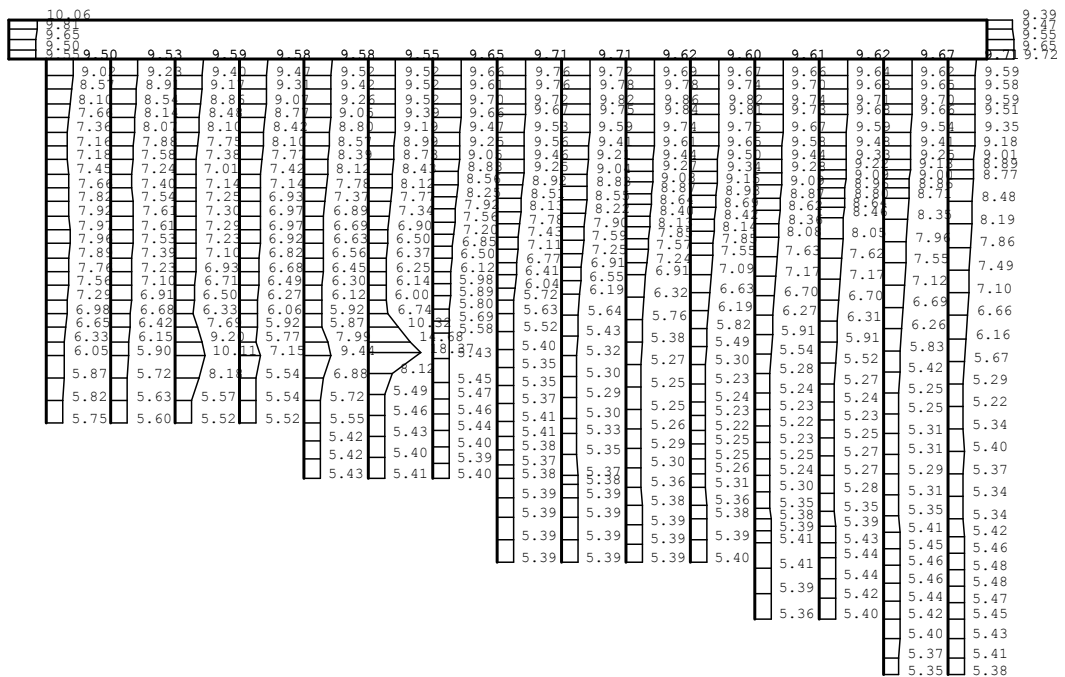
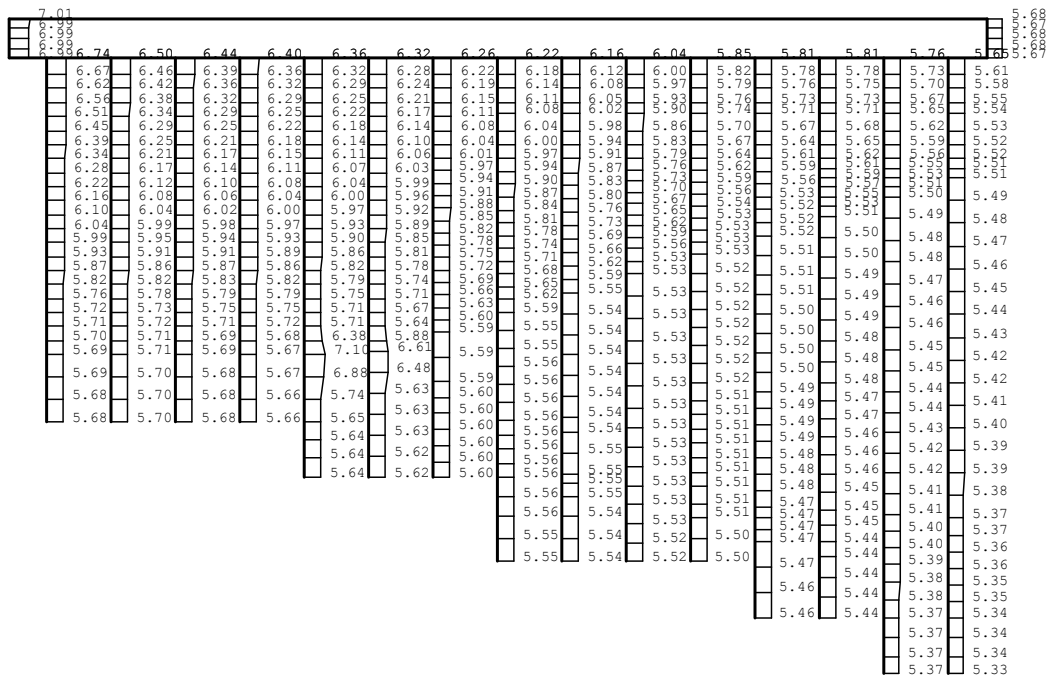


図 4-2 (14) B-B断面の最大加速度分布図 (14/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



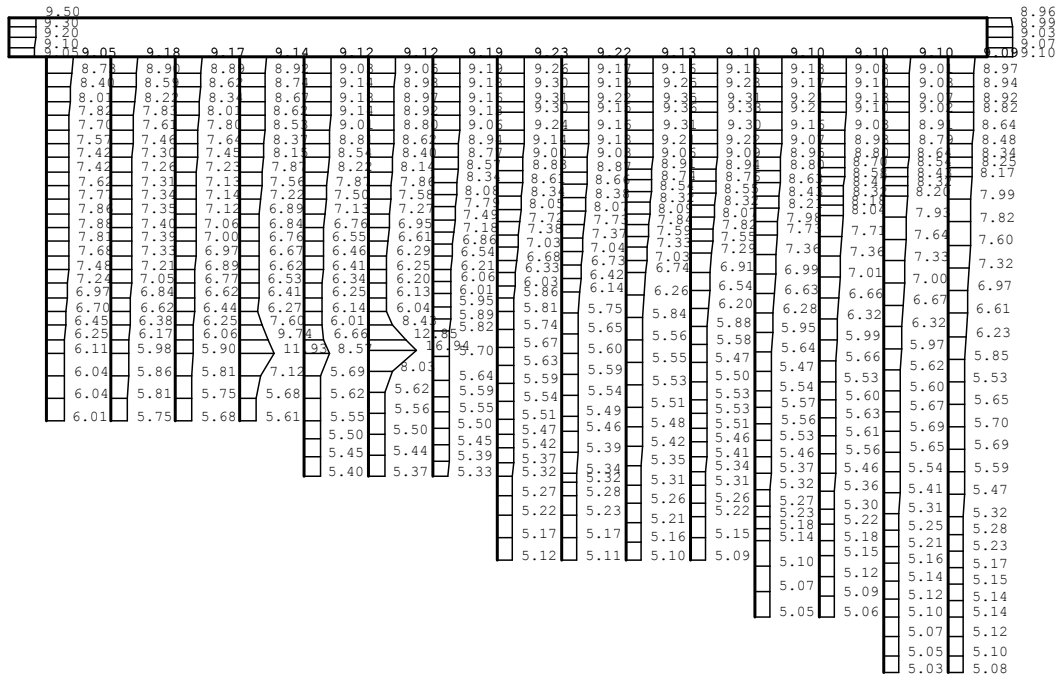
(a) Ss-1+-, 水平



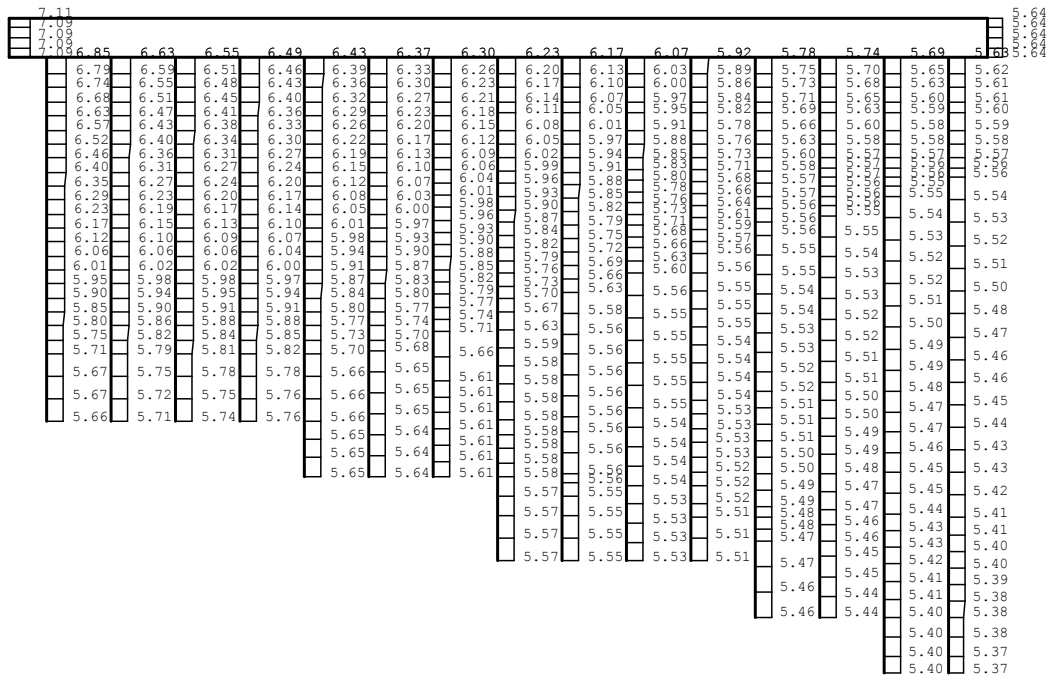
(b) Ss-1+-, 鉛直



図 4-2 (16) B-B断面の最大加速度分布図 (16/34)
 (③地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) Ss-1+-, 水平

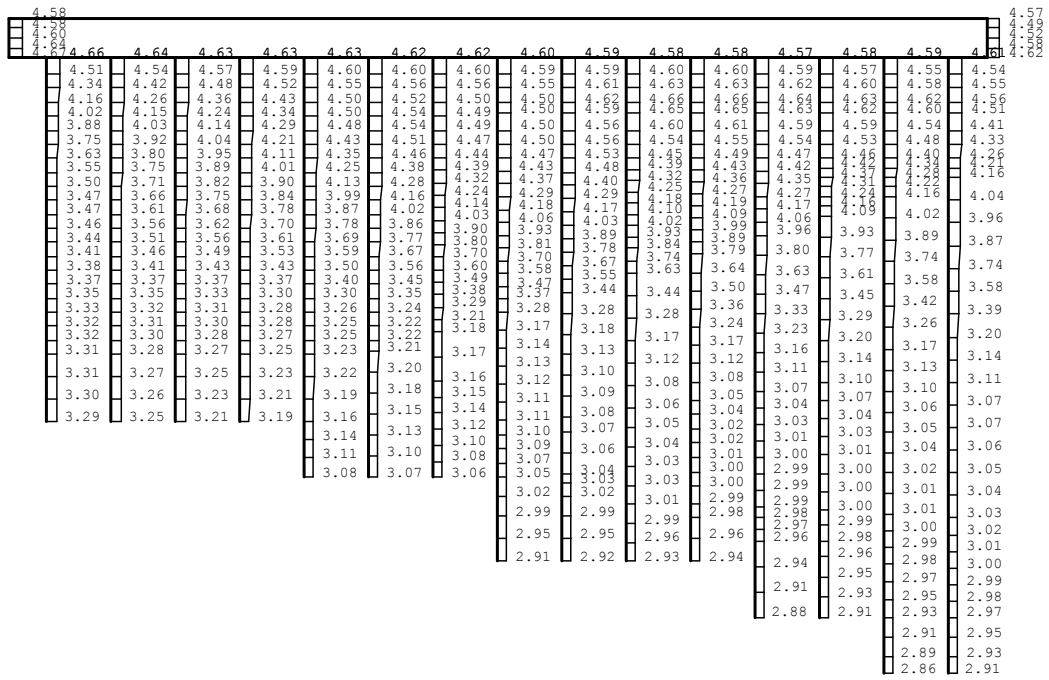


(b) Ss-1+-, 鉛直

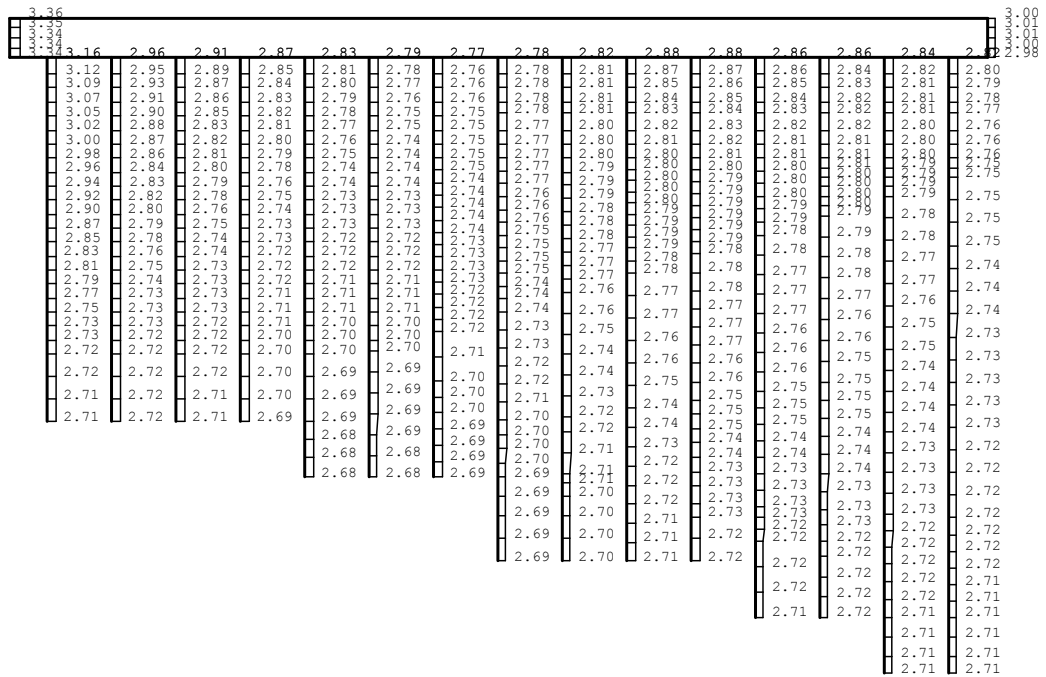


図 4-2 (17) B-B断面の最大加速度分布図 (17/34)

(⑤地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-1++, 水平



(b) Sd-1++, 鉛直

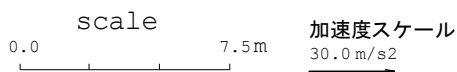
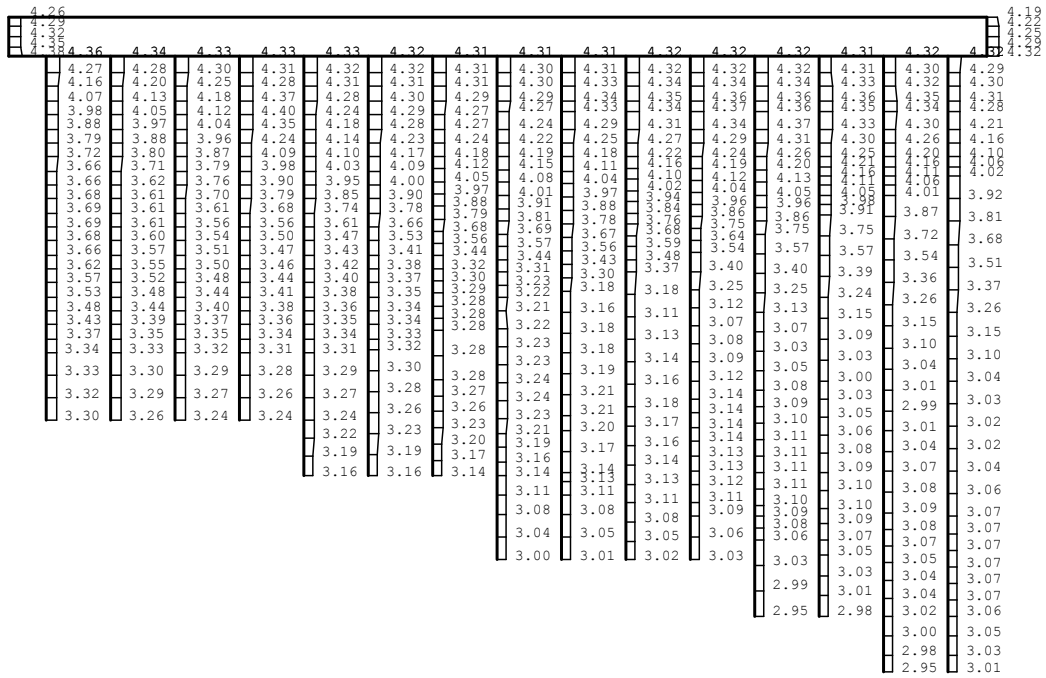
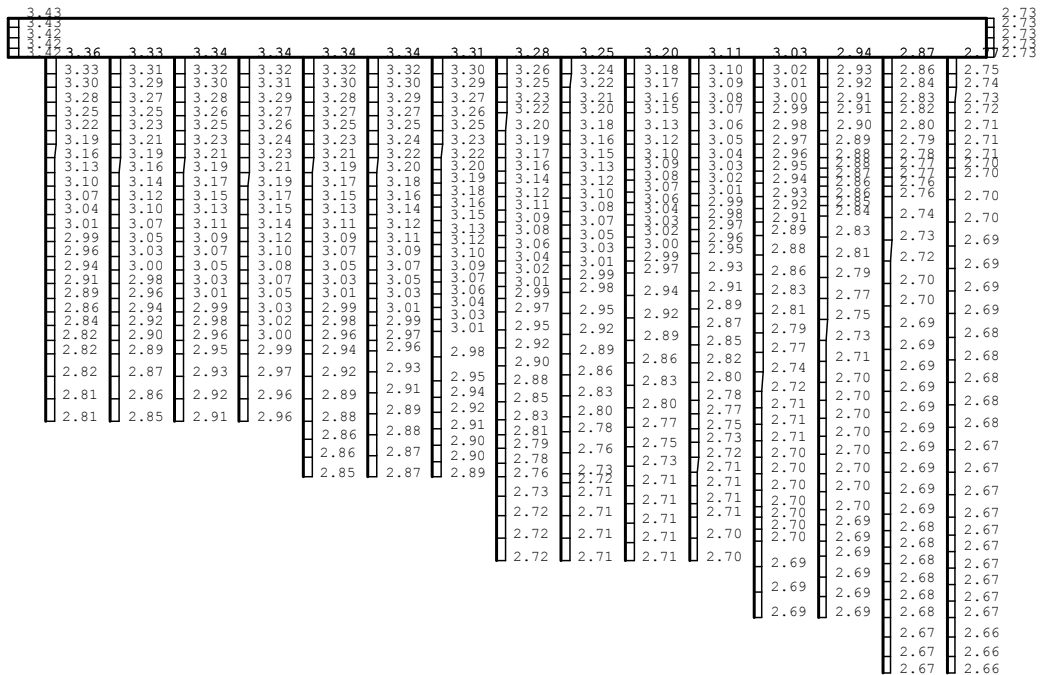


図 4-2 (18) B-B 断面の最大加速度分布図 (18/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-1+, 水平



(b) Sd-1+, 鉛直

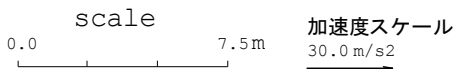
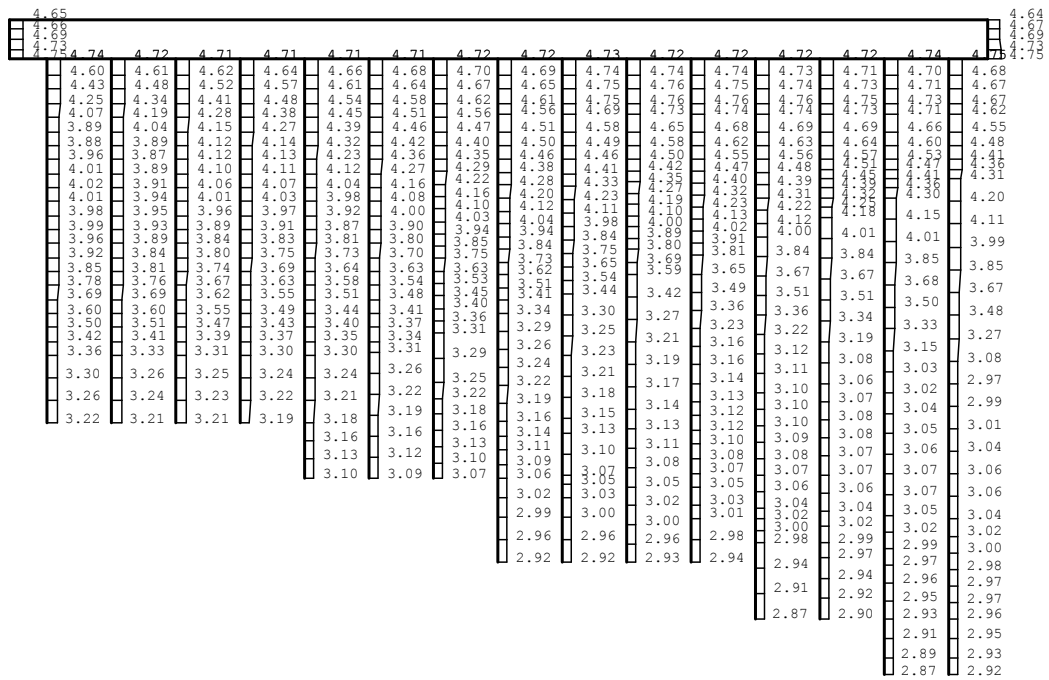
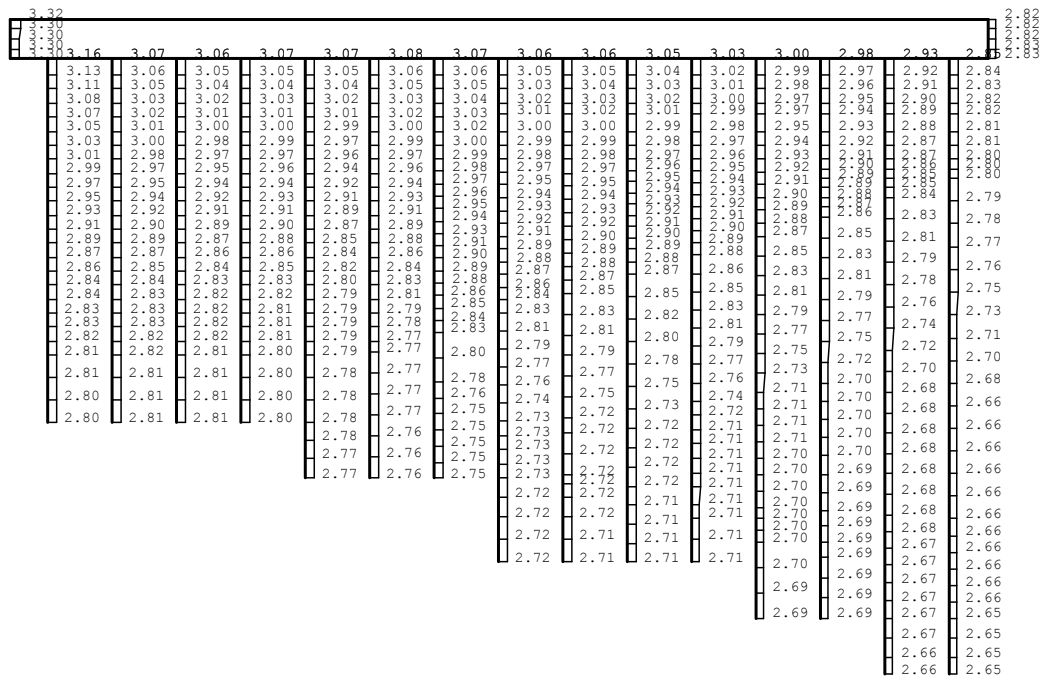


図 4-2 (19) B-B断面の最大加速度分布図 (19/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-1+-, 水平



(b) Sd-1+-, 鉛直

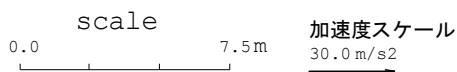
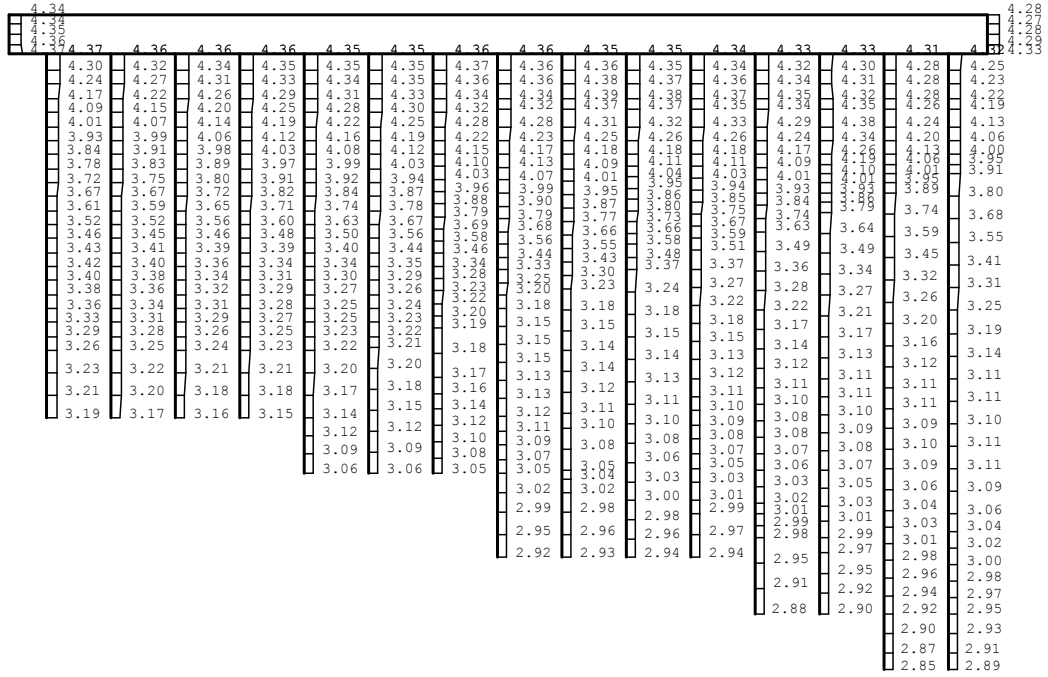
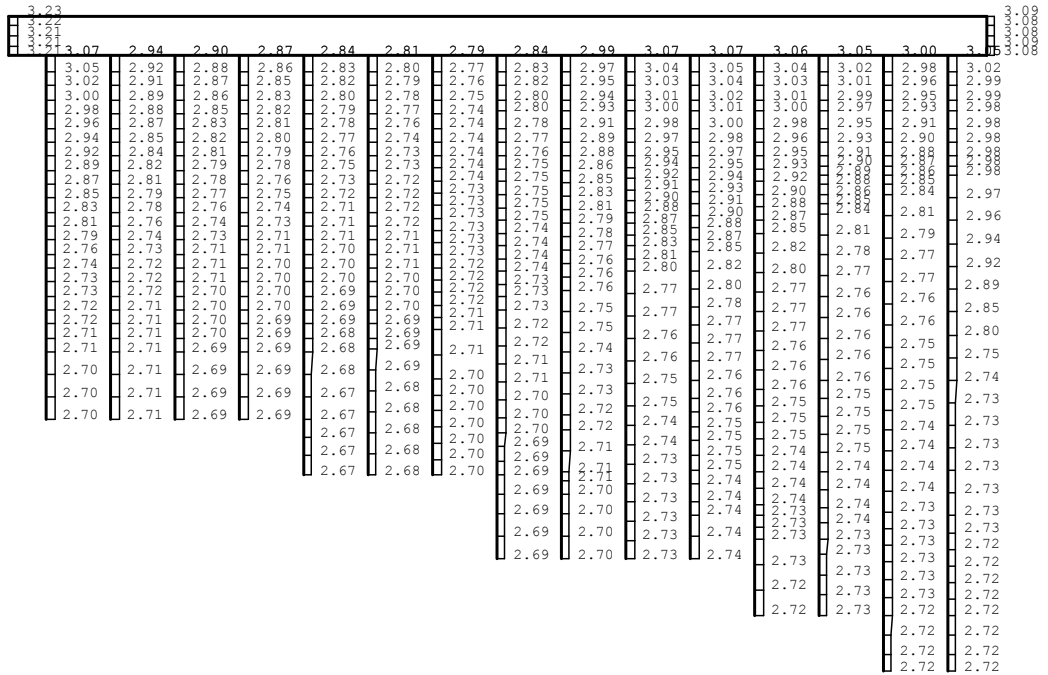


図 4-2 (20) B-B 断面の最大加速度分布図 (20/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-1—, 水平



(b) Sd-1—, 鉛直

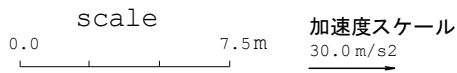
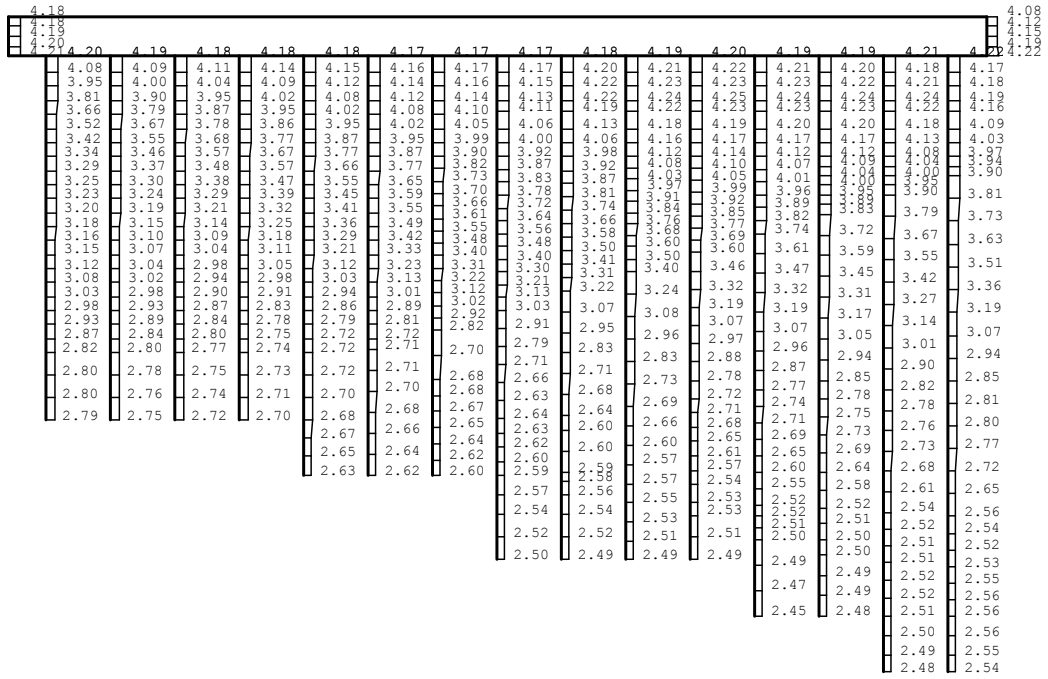
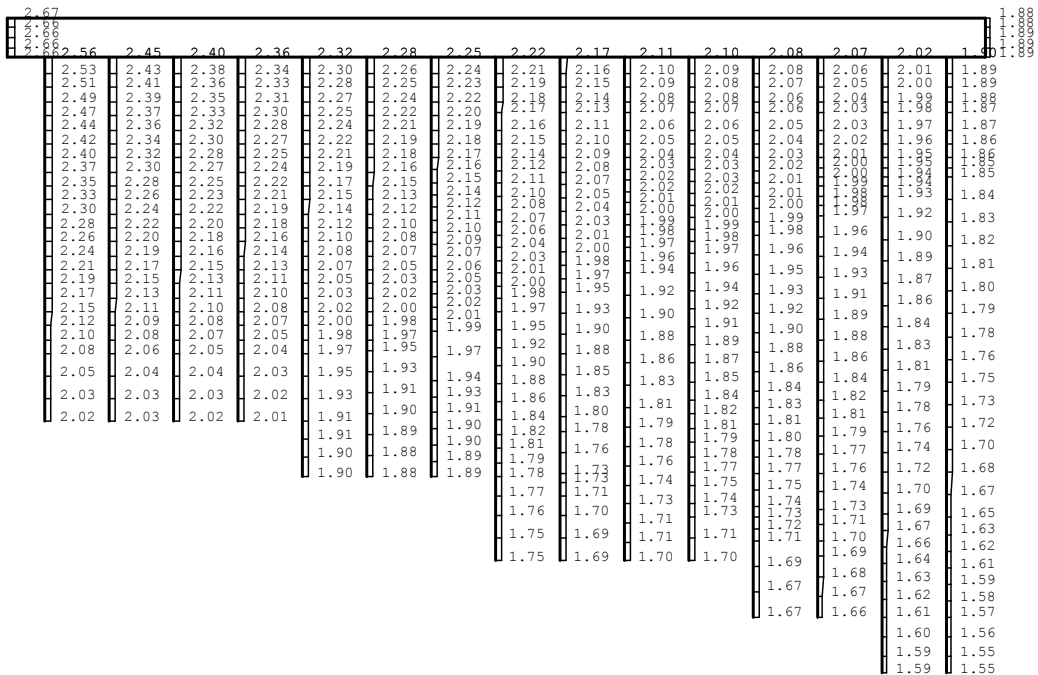


図 4-2 (21) B-B断面の最大加速度分布図 (21/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-2EW, 水平



(b) Sd-2EW, 鉛直

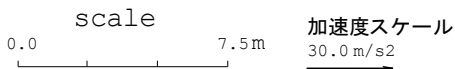
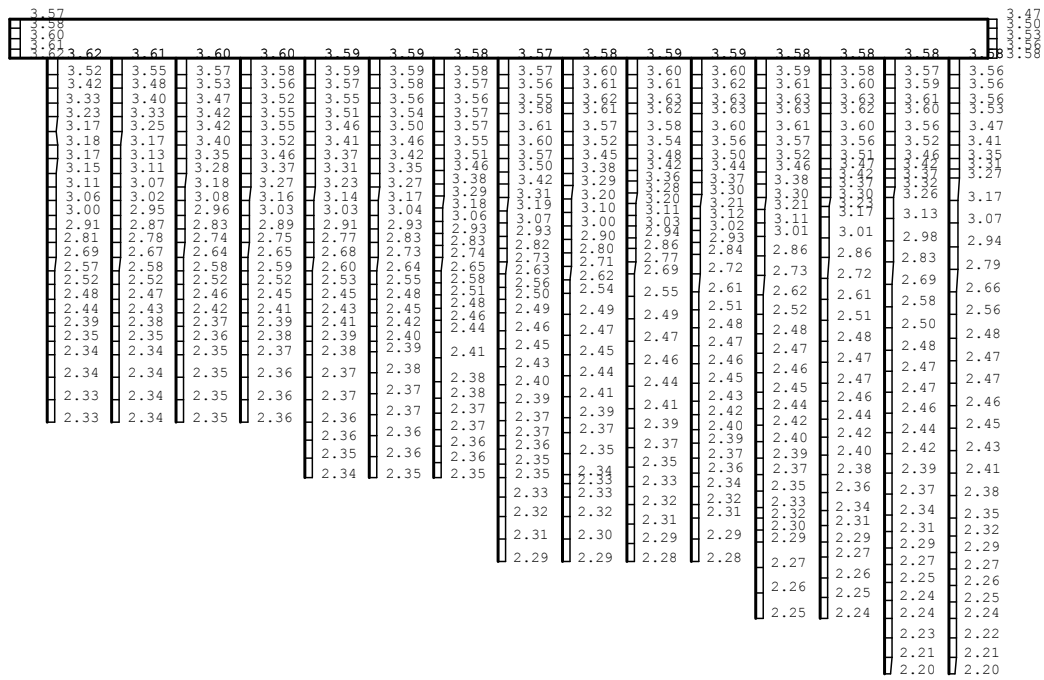
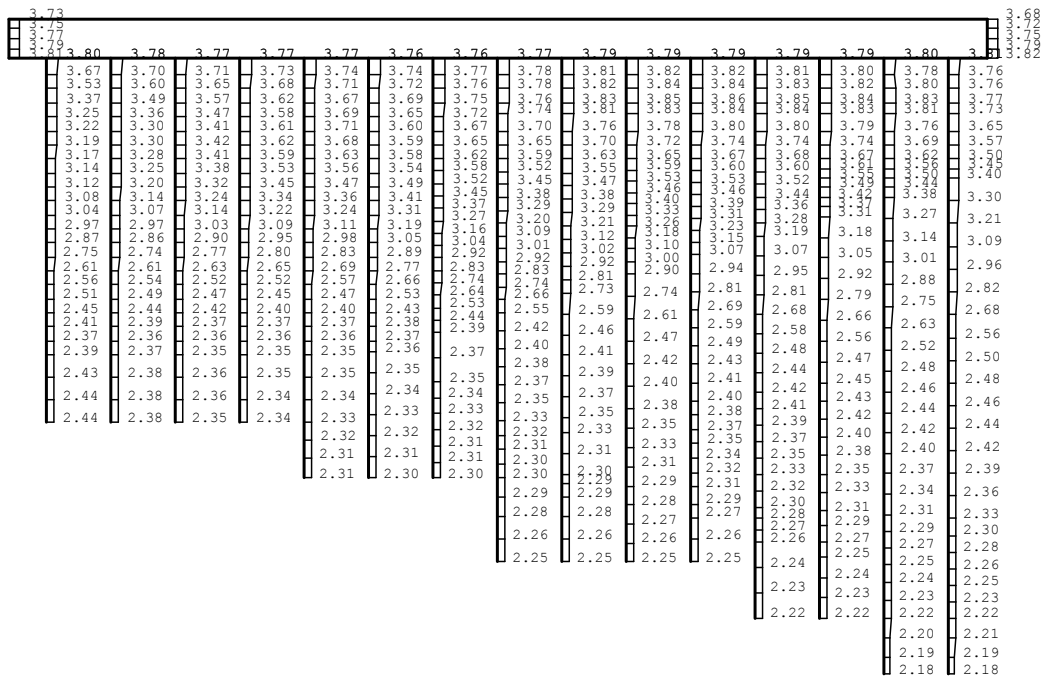


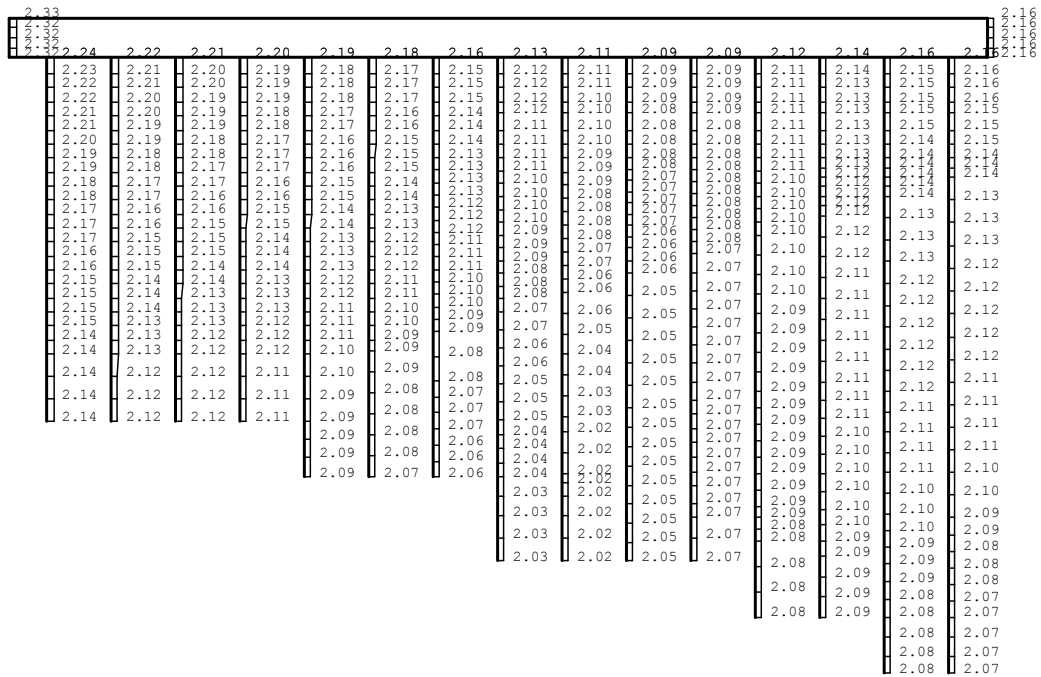
図 4-2 (22) B-B 断面の最大加速度分布図 (22/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)





(a) Sd-3--，水平



(b) Sd-3--，鉛直

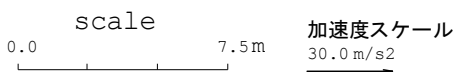
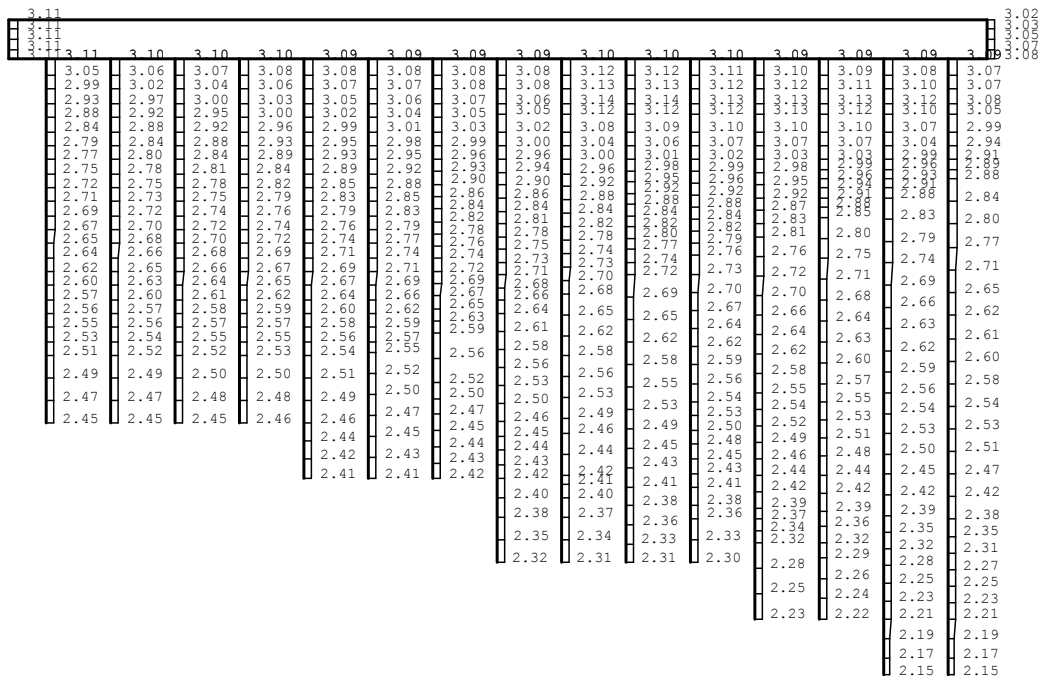
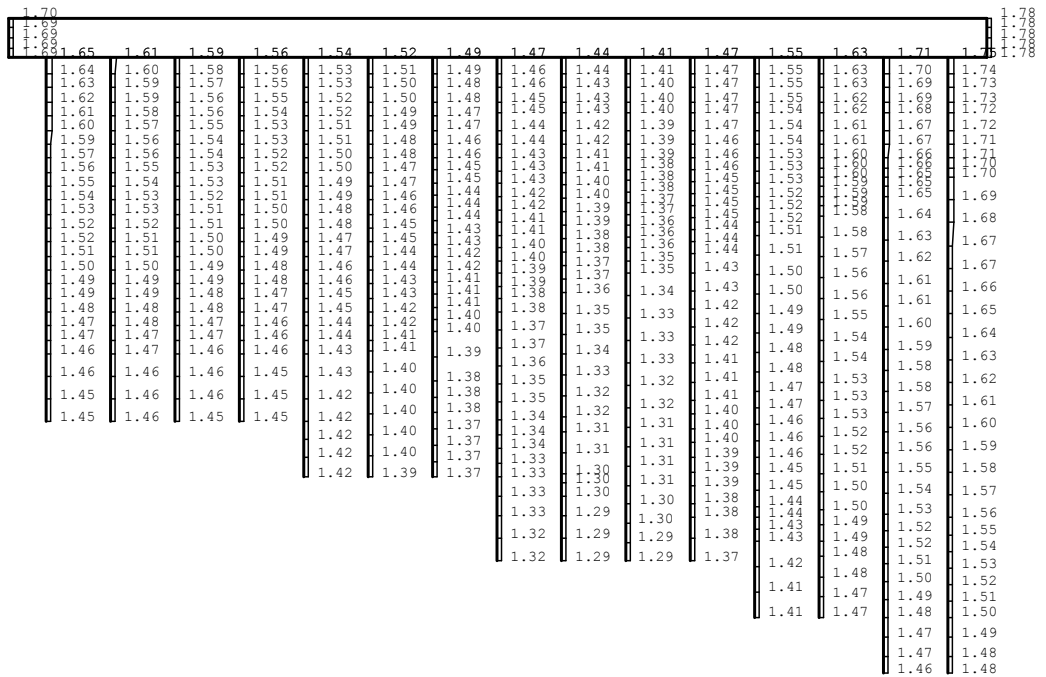


図 4-2 (26) B-B 断面の最大加速度分布図 (26/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-4EW, 水平



(b) Sd-4EW, 鉛直

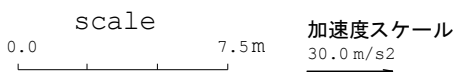
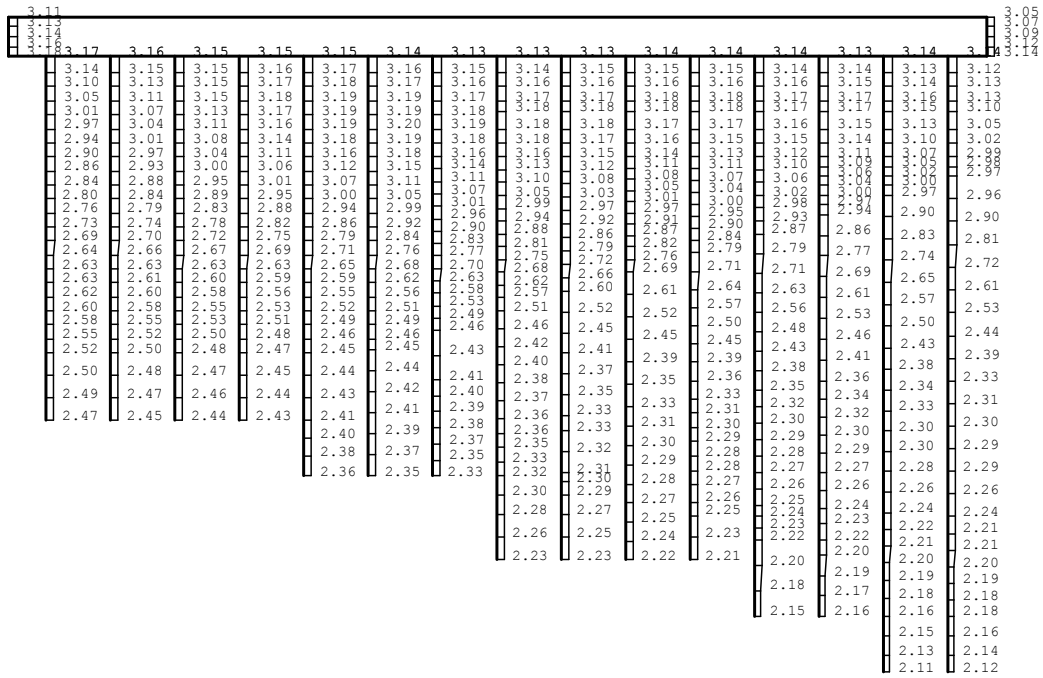
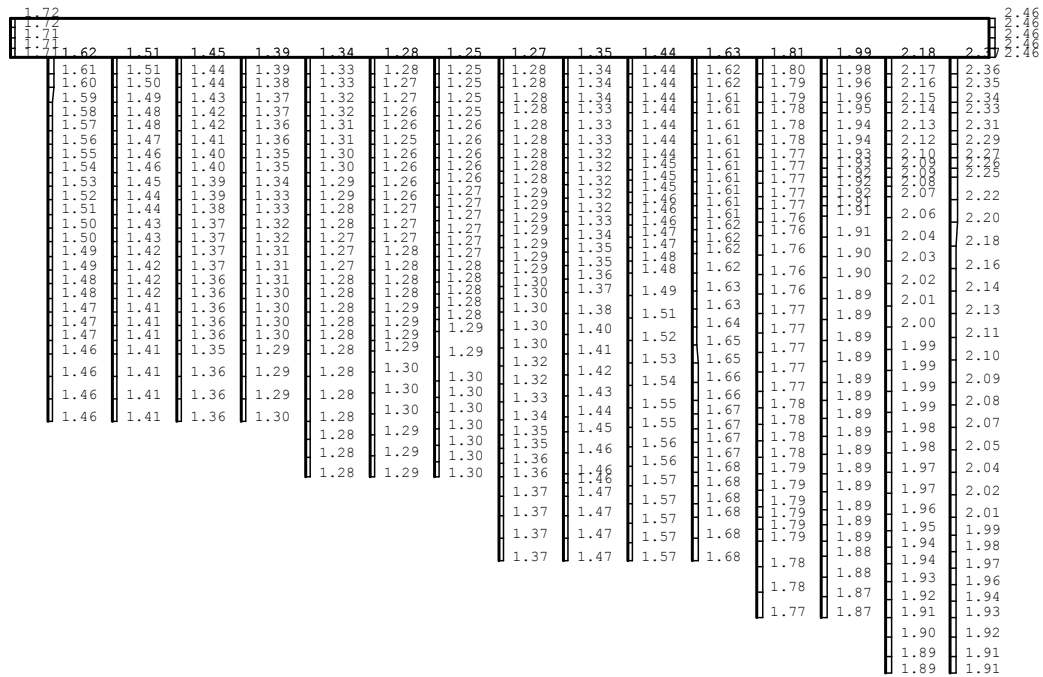


図 4-2 (27) B-B 断面の最大加速度分布図 (27/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-5EW, 水平



(b) Sd-5EW, 鉛直

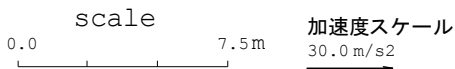
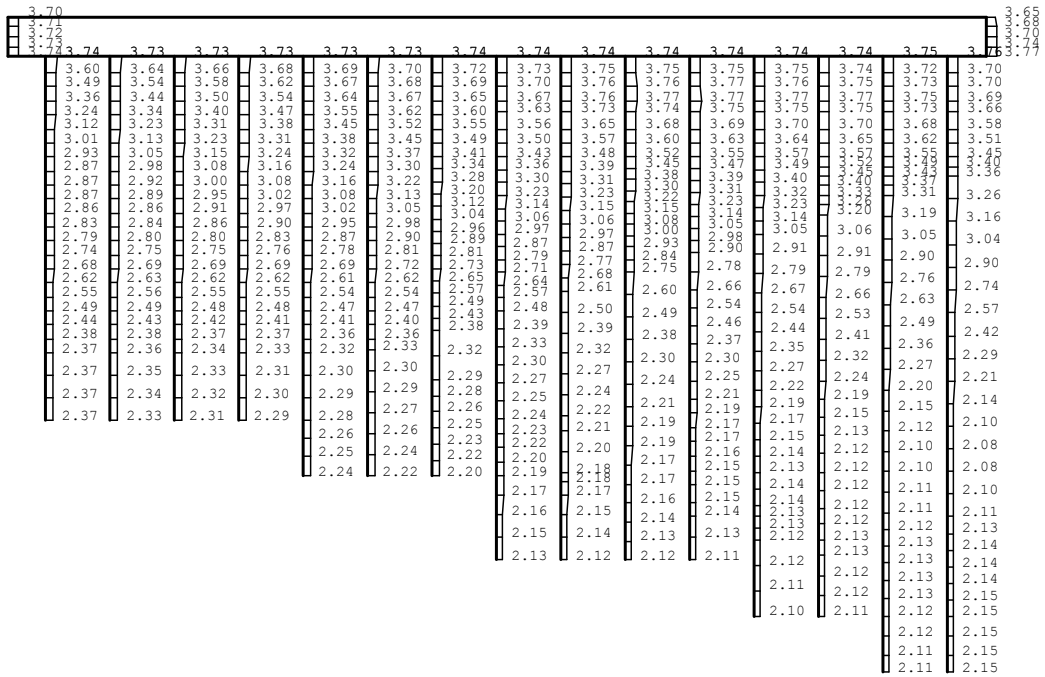
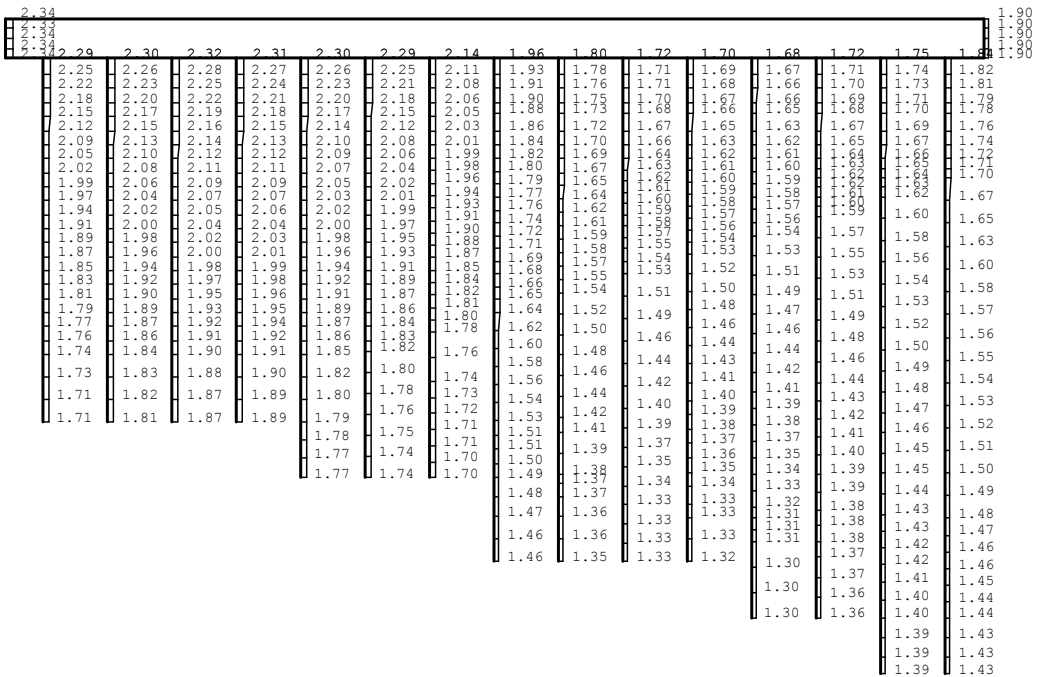


図 4-2 (28) B-B 断面の最大加速度分布図 (28/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-7EW, 水平



(b) Sd-7EW, 鉛直

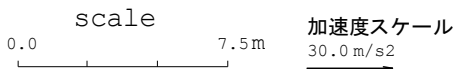
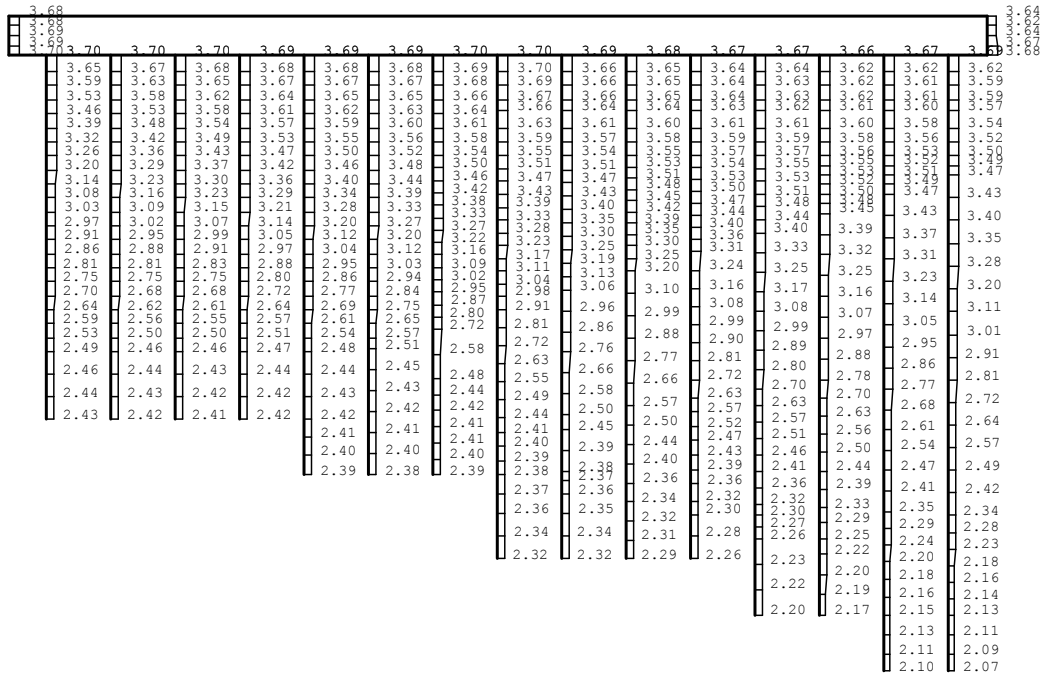
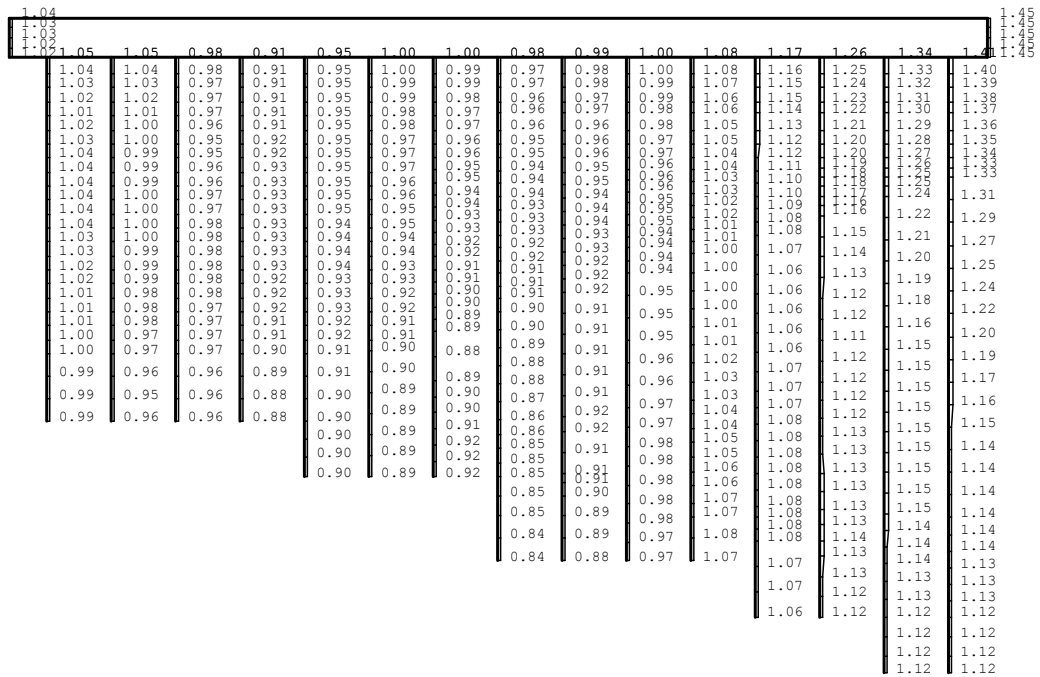


図 4-2 (30) B-B 断面の最大加速度分布図 (30/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-8++, 水平



(b) Sd-8++, 鉛直

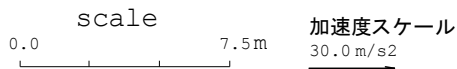
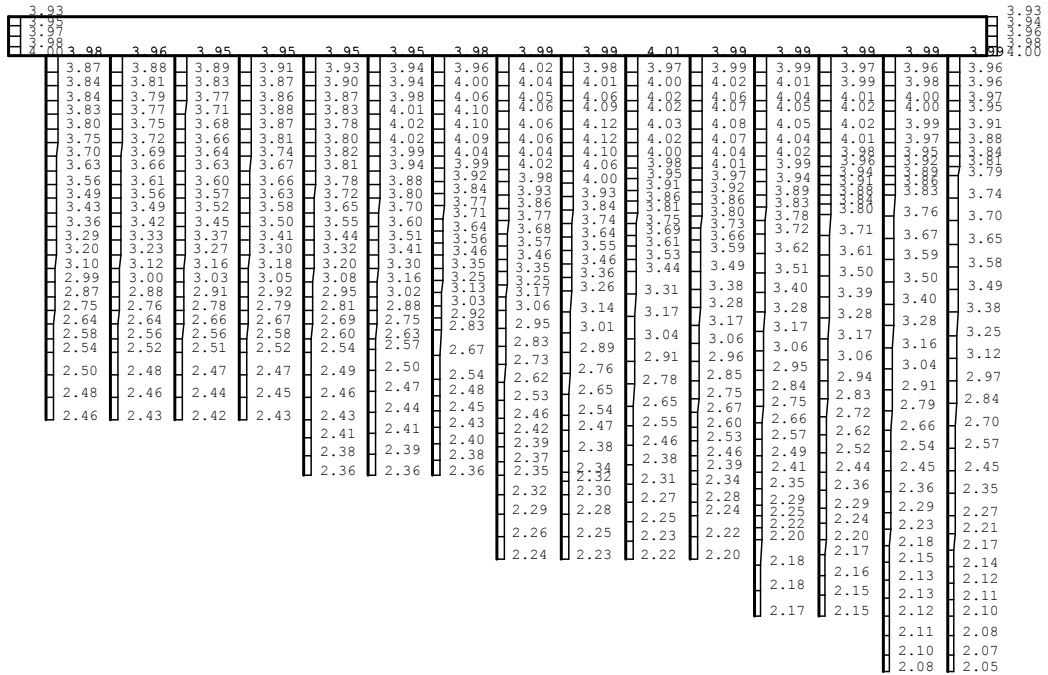
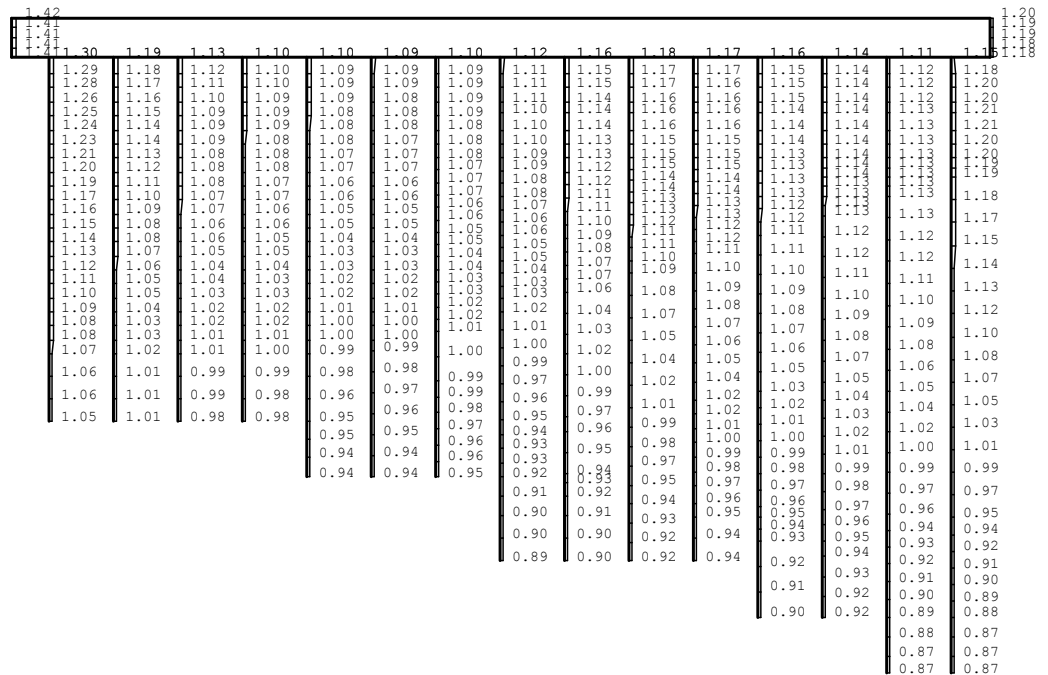


図 4-2 (31) B-B 断面の最大加速度分布図 (31/34)

(④非液化化の条件を仮定した解析ケース)



(a) Sd-8+, 水平



(b) Sd-8+, 鉛直

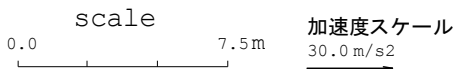


図 4-2 (32) B-B断面の最大加速度分布図 (32/34)

(④非液状化の条件を仮定した解析ケース)

VI-2-2-18 軽油タンク基礎の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用基準	9
3. 耐震評価	9
4. 構造部材の地震時応答	9
5. 耐震評価結果	9

別紙 付帯設備の耐震評価

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、軽油タンク基礎が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

軽油タンク基礎に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析並びに水平 2 方向及び鉛直方向の荷重を考慮した 3 次元構造解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

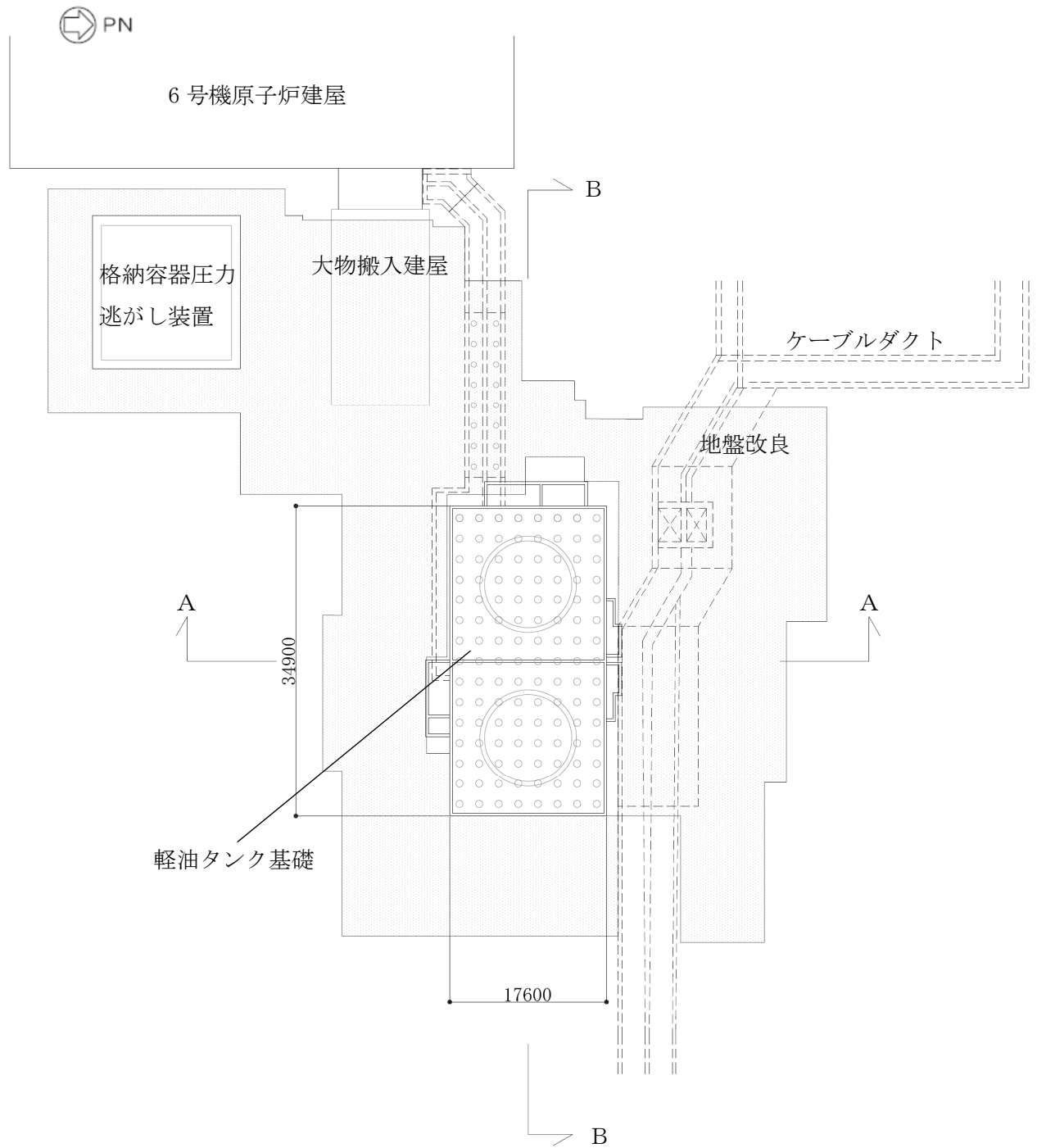
2.1 位置

位置は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事計画の V-2-2-24「軽油タンク基礎（6 号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

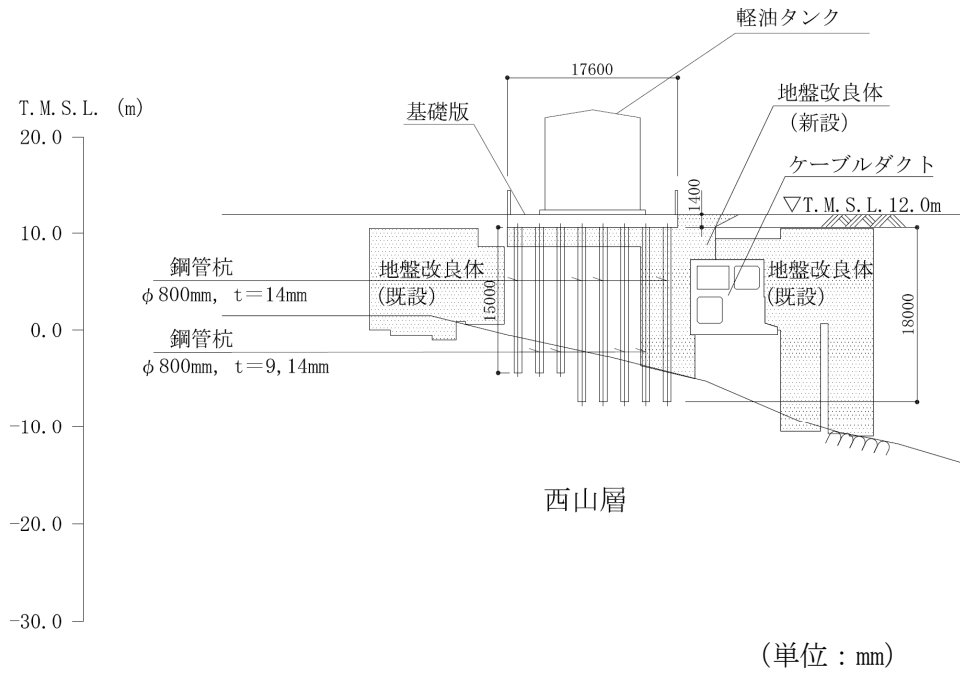
軽油タンク基礎の平面図を図 2-1、断面図を図 2-2、概略配筋図を図 2-3 に示す。

軽油タンク基礎は、軽油タンクを間接支持する幅約 18m (NS 方向) × 約 35m (EW 方向)、高さ約 1.4m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。



(単位：mm)

図 2-1 軽油タンク基礎の平面図



注 : 東京湾平均海面 (以下「T.M.S.L.」という。)

図 2-2 (1) 軽油タンク基礎の断面図 (A-A 断面)

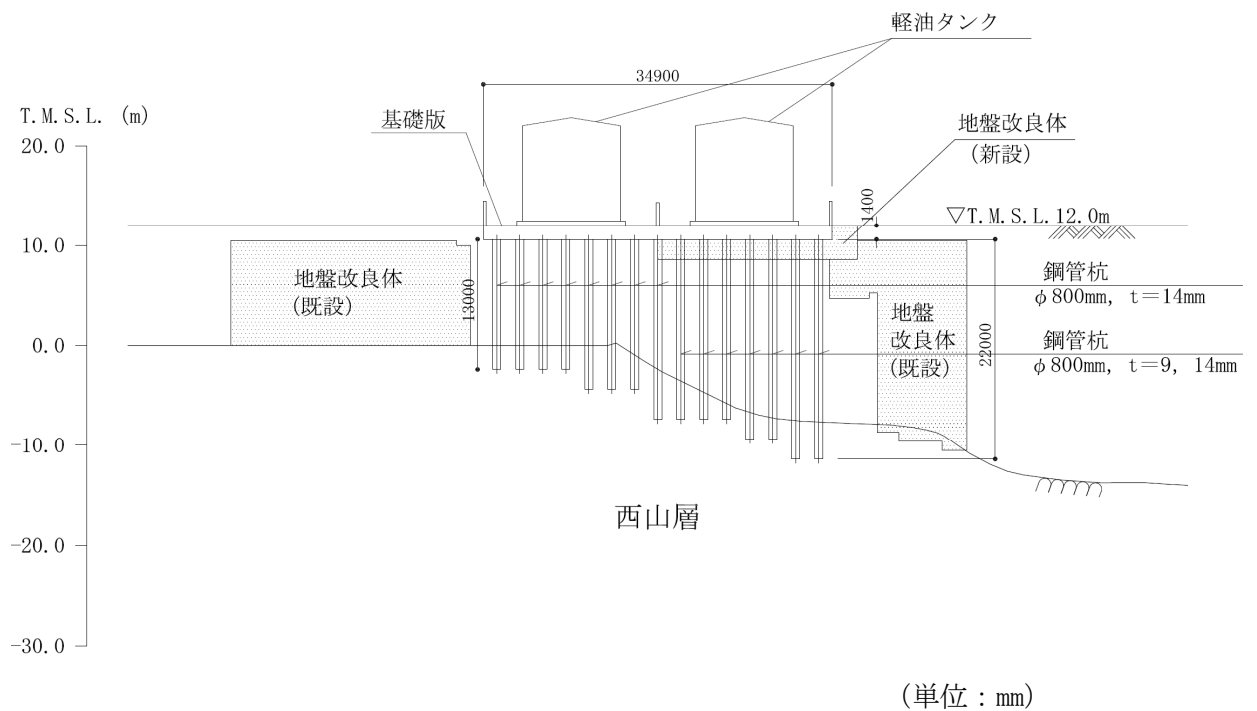
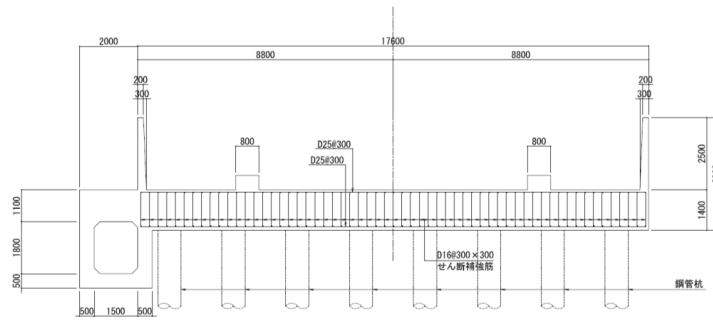
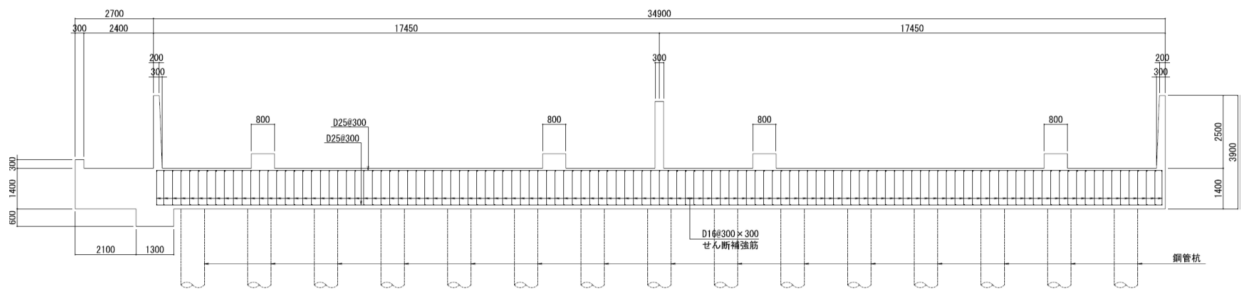


図 2-2 (2) 軽油タンク基礎の断面図 (B-B 断面)



(単位：mm)

図 2-3 (1) 軽油タンク基礎の概略配筋図 (A-A断面)



(単位：mm)

図 2-3 (2) 軽油タンク基礎の概略配筋図 (B-B断面)

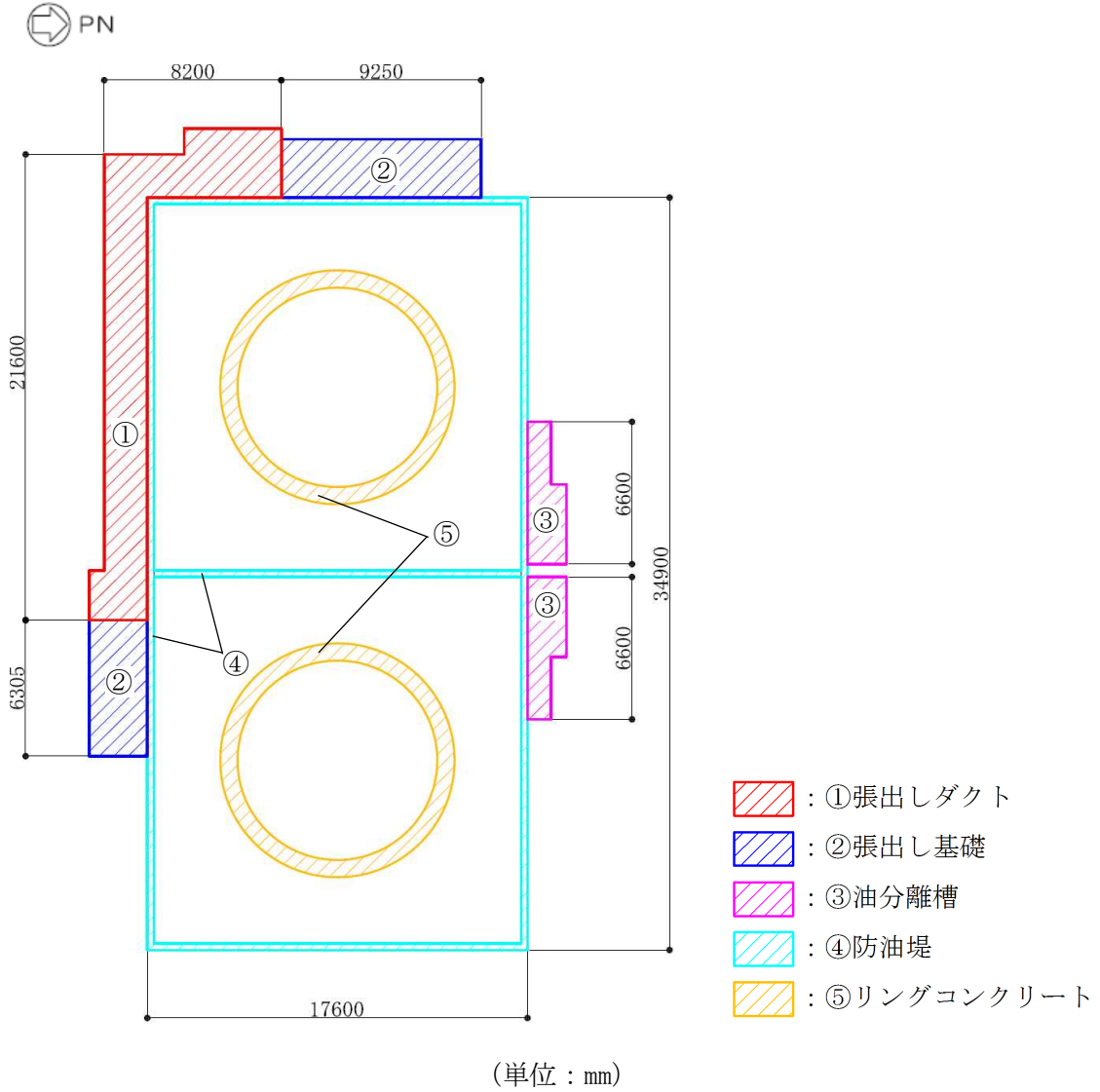


図 2-4 付帯設備の配置図

2.3 評価方針

軽油タンク基礎は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、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が設置される重大事故等対処施設に分類される。

軽油タンク基礎の耐震評価フローを図2-5に示す。

軽油タンク基礎の耐震評価は、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことを確認する。

また、軽油タンク基礎の付帯設備のうち、Sクラス施設を間接支持する張出しダクト、張出し基礎及び防油堤について、耐震評価を実施する。付帯設備の耐震評価については、別紙に示す。

軽油タンク基礎を構成する部材のうち、鉄筋コンクリート部材の耐震評価については、軽油タンク及び付帯設備の荷重の平面的な偏りを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向の荷重を考慮した3次元静的有限要素法解析（以下「3次元構造解析」という。）を実施し、圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。3次元構造解析の入力荷重は、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき算定する。

鋼管杭の耐震評価については、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、鋼管杭に生じる曲率及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、杭頭に生じる鉛直力が許容限界以下であることを確認する。

ここで、軽油タンク基礎は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 軽油タンク基礎の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
		鋼管杭		曲げ軸力	終局曲率* 降伏モーメントに対する曲率*
				せん断力	終局せん断強度*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*	
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
		鋼管杭		曲げ軸力	終局曲率* 降伏モーメントに対する曲率*
				せん断力	終局せん断強度*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*	

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

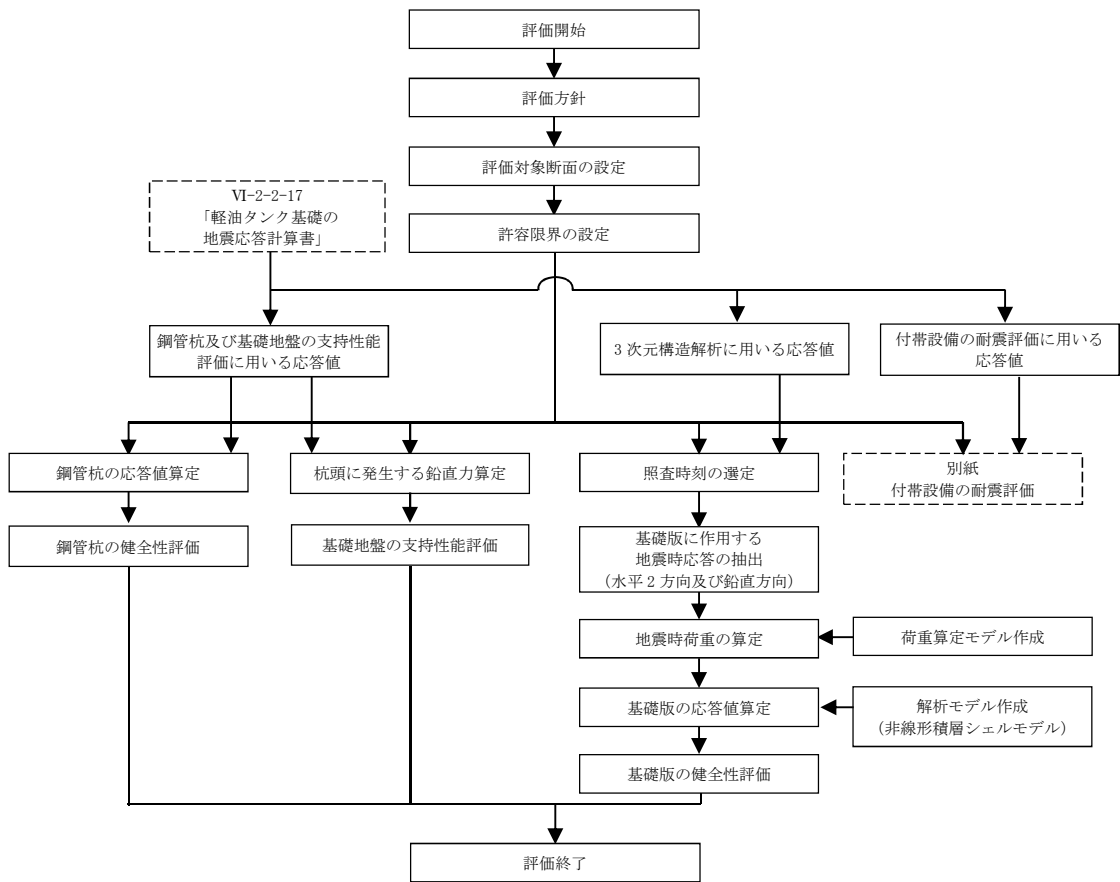


図 2-5 軽油タンク基礎の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-24「軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-24「軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 構造部材の地震時応答

構造部材の地震時応答は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-24「軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「4. 構造部材の地震時応答」による。

5. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-24「軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「5. 耐震評価結果」による。

別紙 付帯設備の耐震評価

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造概要	1
2.2 評価方針	3
3. 耐震評価	5
3.1 張出しダクト	5
3.1.1 評価対象断面	5
3.1.2 解析モデル	7
3.1.3 材料特性	8
3.1.4 照査用震度	10
3.1.5 入力荷重	10
3.1.6 許容限界	10
3.1.7 評価結果	11
3.2 張出し基礎	12
3.2.1 評価対象断面	12
3.2.2 解析モデル	13
3.2.3 材料特性	13
3.2.4 照査用震度	16
3.2.5 入力荷重	16
3.2.6 許容限界	16
3.2.7 評価結果	17
3.3 防油堤の耐震評価	18
3.3.1 評価対象断面	18
3.3.2 解析モデル	19
3.3.3 材料特性	20
3.3.4 照査用震度	22
3.3.5 入力荷重	22
3.3.6 許容限界	22
3.3.7 評価結果	23
4. まとめ	24

1. 概要

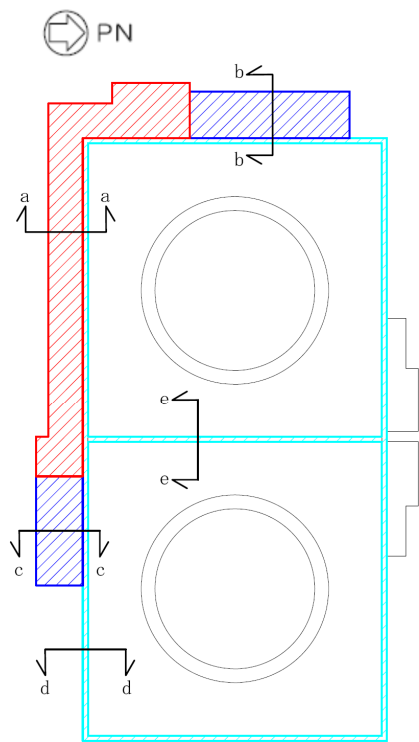
本資料は、軽油タンク基礎の付帯設備のうち、Sクラス施設を間接支持する張出しダクト、張出し基礎及び防油堤が、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

軽油タンク基礎の付帯設備に要求される機能の維持を確認するにあたっては、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、2次元静的応力解析による構造部材の健全性評価により行う。

2. 基本方針

2.1 構造概要

評価対象とする付帯設備の配置図を図2-1、各付帯設備の断面図を図2-2～図2-4に示す。





凡例	設備名称	Sクラス施設
	張出しダクト	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管
	張出し基礎	燃料移送ポンプ
	防油堤	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管

図2-1 評価対象とする付帯設備の配置図

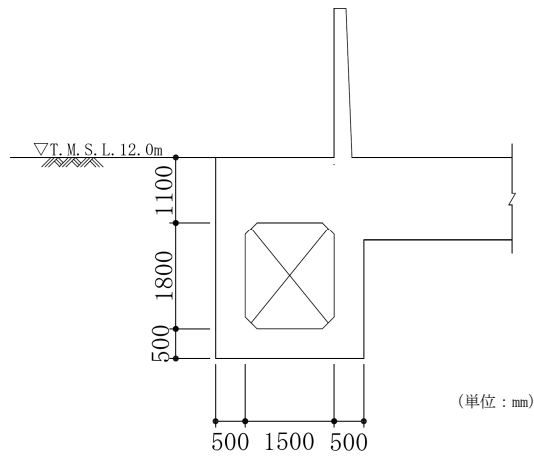


図 2-2 張出しダクト断面図 (a-a 断面)

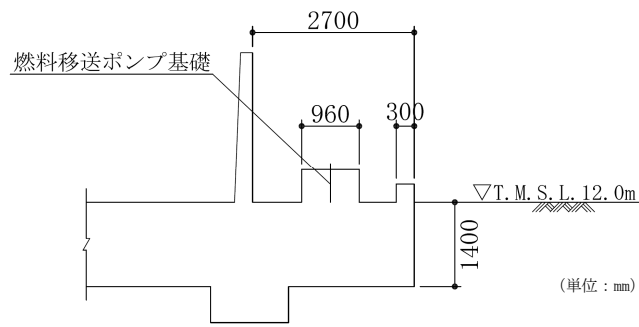


図 2-3 張出し基礎断面図 (b-b 断面) *

注記* : c-c 断面の断面形状は b-b 断面と同様であるため、c-c 断面を省略。

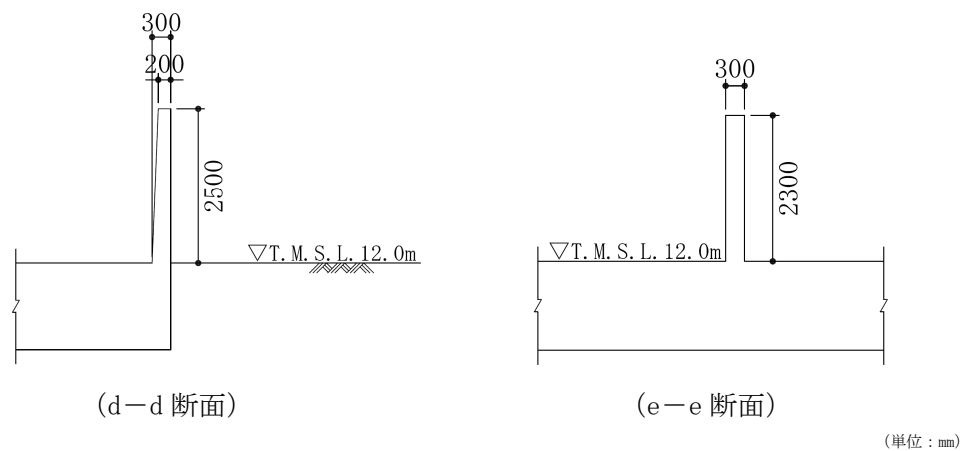


図 2-4 防油堤断面図

2.2 評価方針

付帯設備の耐震評価フローを図 2-5、各付帯設備の評価項目を表 2-1 に示す。

軽油タンク基礎の付帯設備の耐震評価は、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析の応答値を用いて 2次元静的応力解析を実施し、鉄筋コンクリート部材の照査用層間変形角、照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

2次元静的応力解析には解析コード「TDAPⅢ」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

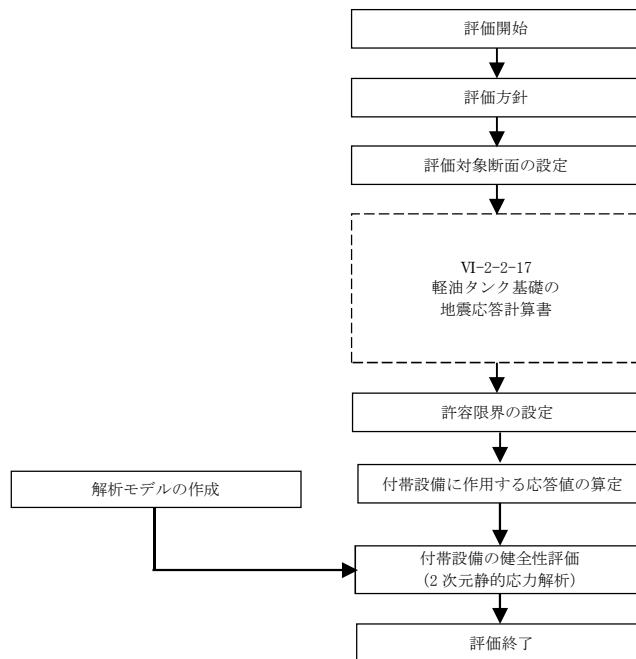


図 2-5 付帯設備の耐震評価フロー

表 2-1 付帯設備の評価項目

付帯設備	評価項目	適用規格	評価内容
張出しダクト	曲げ軸力	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）	限界層間変形角を設定した上で，発生層間変形角が限界層間変形角以下であることを確認する*。
	せん断力	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）	発生せん断力が終局せん断強度以下であることを確認する*。
張出し基礎	曲げ軸力	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）	発生曲げモーメントが終局曲げ耐力以下であることを確認する*。
	せん断力		発生せん断力が終局せん断強度以下であることを確認する*。
防油堤	曲げ軸力	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）	発生曲げモーメントが終局曲げ耐力以下であることを確認する*。
	せん断力		発生せん断力が終局せん断強度以下であることを確認する*。

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

3. 耐震評価

3.1 張出しダクト

3.1.1 評価対象断面

張出しダクトは、Sクラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管を間接支持する構造物である。張出しダクトは、耐震補強工事として頂版と軽油タンク基礎版との間に増厚を実施している。

張出しダクトの評価対象断面を図3-1、概略配筋図を図3-2に示す。

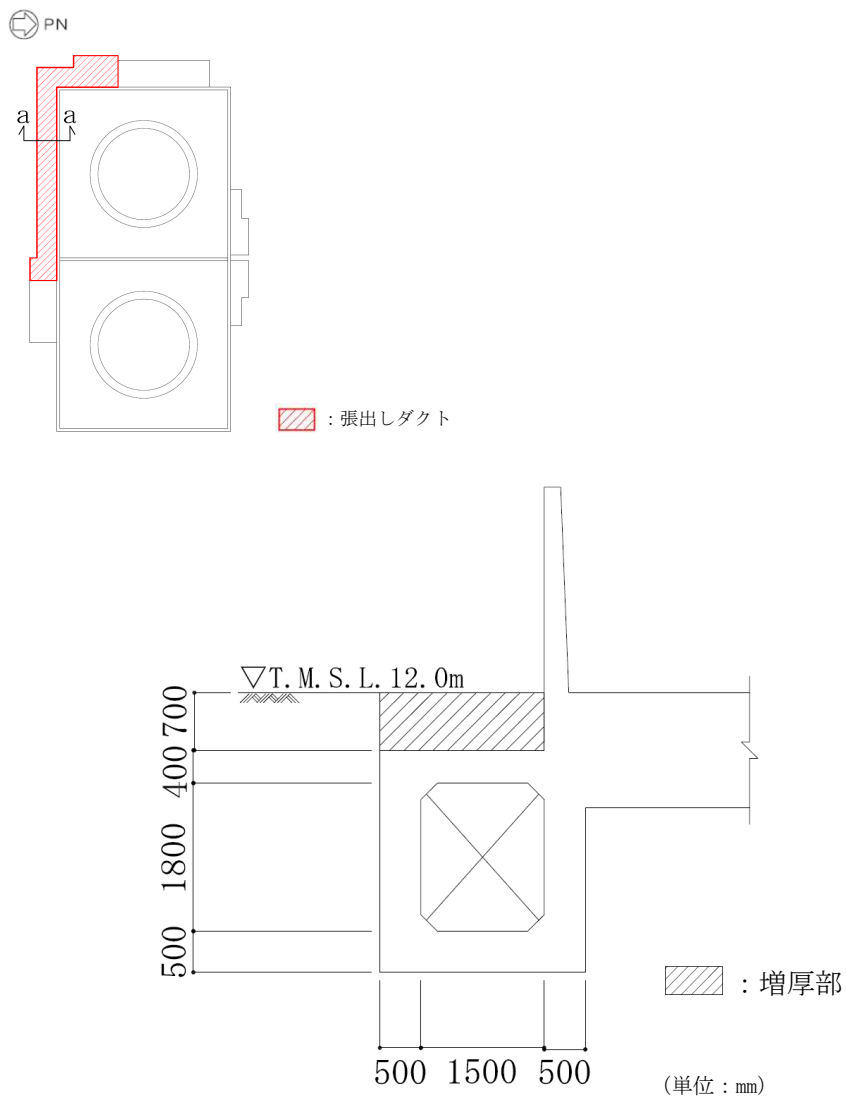


図3-1 張出しダクトの評価対象断面

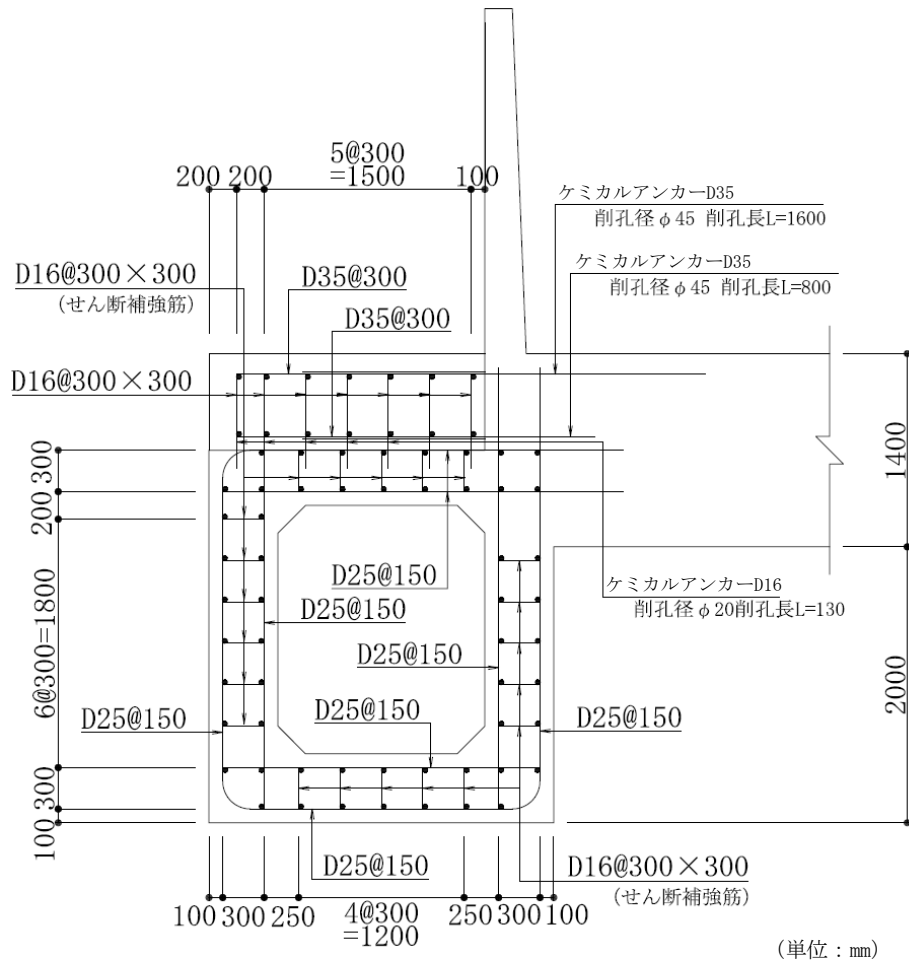


図 3-2 張出しダクトの概略配筋図

3.1.2 解析モデル

図3-1に示す評価対象断面に基づき、張出しダクトの解析モデルを図3-3に示すとおり設定する。ダクト躯体を非線形はり要素でモデル化し、隅角部にはコンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）（以下「コンクリート標準示方書」という。）に基づき剛域を設定する。また、軽油タンク基礎版と結合している範囲は剛域とし、上端部は固定とする。

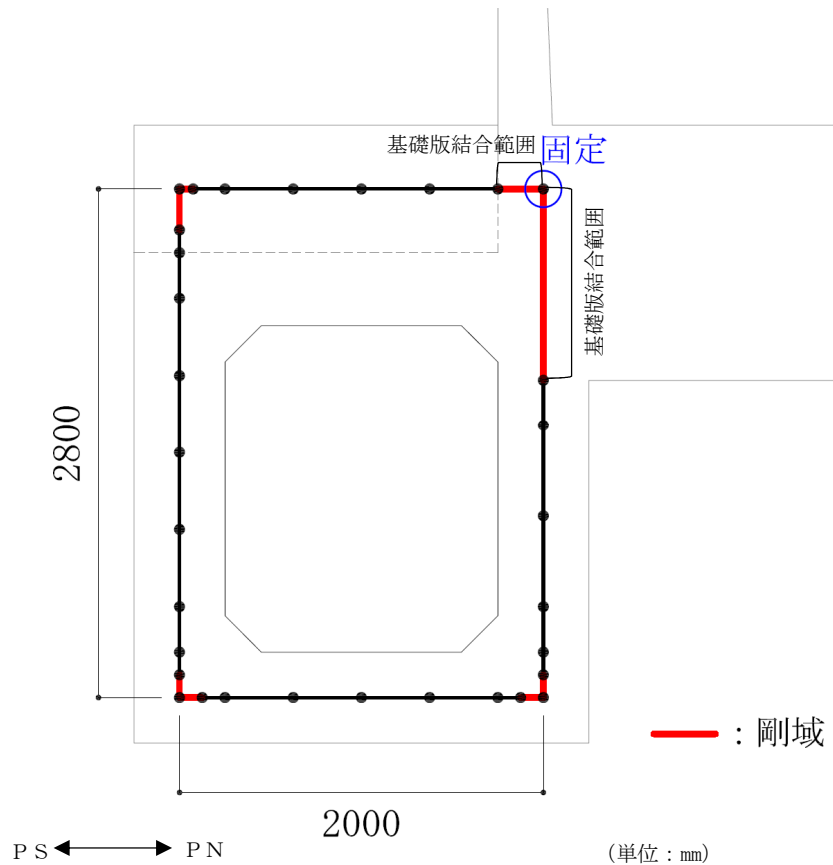


図3-3 張出しダクトの解析モデル

3.1.3 材料特性

(1) 使用材料及び材料物性値

使用材料を表 3-1、材料物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm ²
鉄筋	SD35 (SD345 相当)

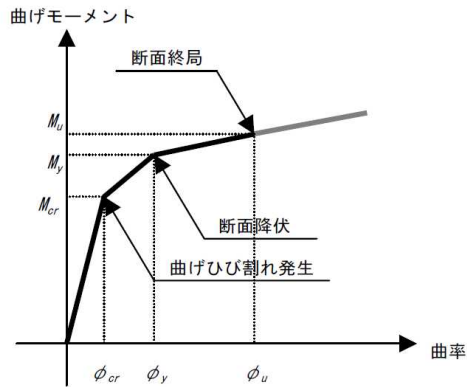
表 3-2 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45×10 ⁴ *	0.2*

注記*：建設時の設計値に基づく

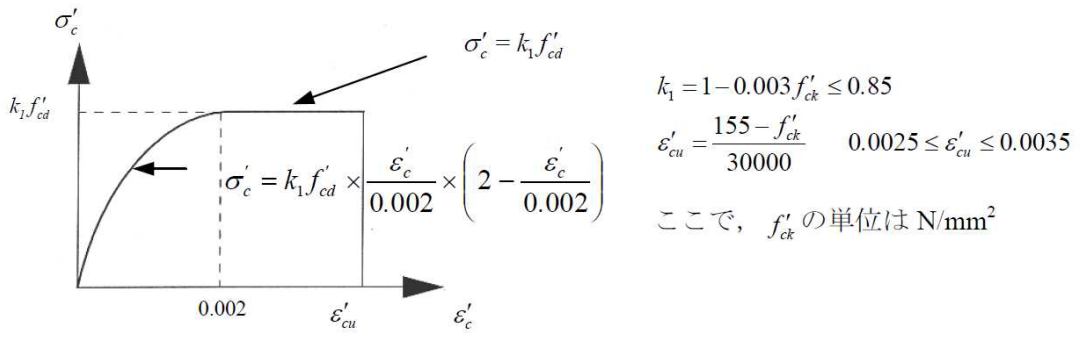
(2) 鉄筋コンクリートの非線形特性

鉄筋コンクリート部材は、図 3-4～図 3-6 に示す非線形特性及び履歴特性を考慮する。

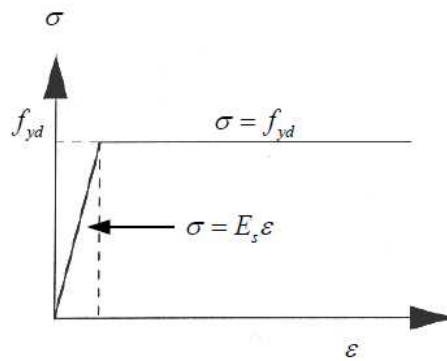


(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用)

図 3-4 鉄筋コンクリート部材のM- ϕ 関係



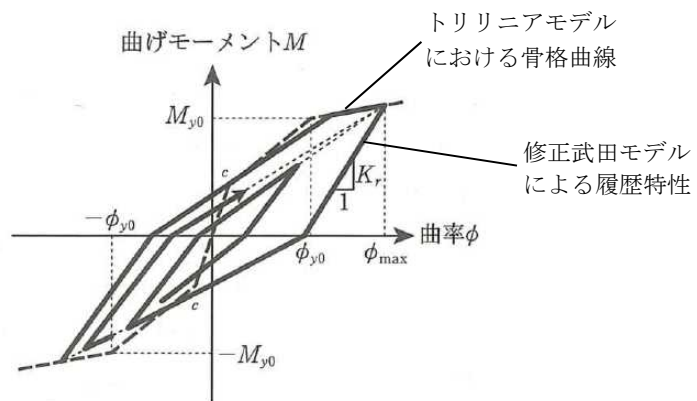
(1) コンクリートの応力-ひずみ関係



(2) 鉄筋の応力-ひずみ関係

(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル(土木学会, 2005年)より引用)

図 3-5 構造部材の非線形特性



(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説(日本道路協会, 平成14年3月)より引用 (一部加筆))

図 3-6 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

3.1.4 照査用震度

張出しダクトの照査用震度は、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析の結果より、軽油タンク基礎の張出しダクト設置位置における応答加速度から算定する。設定した照査用震度を表 3-3 に示す。

表 3-3 照査用震度の設定

加振方向	解析ケース	地震動	照査用震度
水平	①	Ss-1-+	0.95
鉛直	①	Ss-1-+	0.71

3.1.5 入力荷重

張出しダクトの耐震評価における入力荷重を表 3-4 に示す。張出しダクトの入力荷重は、「3.1.4 照査用震度」で設定した照査用震度、固定荷重、積載荷重及びVI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析の応答値を用いて算定する。

なお、張出しダクトはVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積載荷重として積雪を考慮する。

表 3-4 張出しダクトの耐震評価における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
主荷重	固定荷重	自重
	積載荷重	配管荷重, 積雪荷重
	常時土圧	ダクト側壁に作用する常時土圧
	常時水圧	ダクト側壁, 底版に作用する常時水圧
地震時の影響	地震荷重	ダクト躯体, 配管, 積雪に作用する慣性力
	地震時土圧	ダクト側壁に作用する地震時土圧
	地震時水圧	ダクト側壁に作用する地震時水圧

3.1.6 許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

曲げ軸力に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）に基づき限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

(2) せん断力に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、終局せん断強度とする。

3.1.7 評価結果

(1) 曲げ軸力に対する評価結果

張出しダクトの曲げ軸力照査における最大照査値を表 3-5 に示す。照査結果より、張出しダクトの照査用層間変形角が許容限界以下であることを確認した。

表 3-5 曲げ軸力照査結果

照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
2.59×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.03

注記*：照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

(2) せん断力に対する評価結果

張出しダクトのせん断力照査における最大照査値を表 3-6, 評価位置を図 3-7 に示す。照査結果より、張出しダクトの照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 3-6 せん断力照査結果

評価位置		照査用せん断力* V_d (kN)	終局せん断強度 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版	1	139	564	0.25
側壁上部	4	108	815	0.14
側壁下部	5	115	485	0.24
底版	6	43	473	0.10

注記*：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

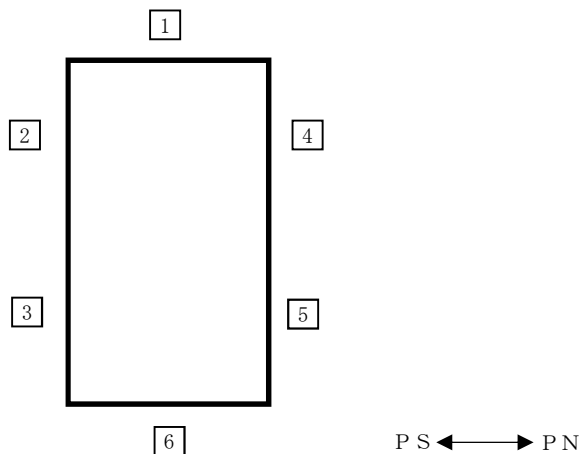


図 3-7 評価位置

3.2 張出し基礎

3.2.1 評価対象断面

張出し基礎は、Sクラス施設である燃料移送ポンプを間接支持する構造物である。張出し基礎の評価対象断面を図3-8、概略配筋図を図3-9に示す。張出し基礎は軽油タンク基礎西面にA系、南面にB系が設置されている。張出し基礎は、耐震補強工事としてA系及びB系ともに増厚を実施している。

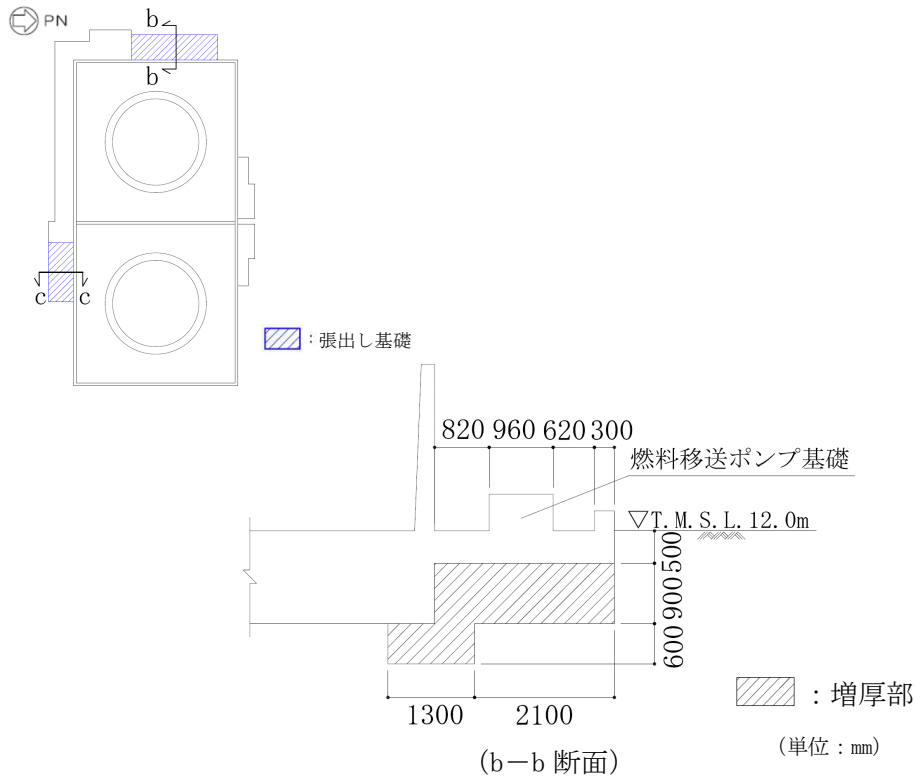


図3-8 張出し基礎の評価対象断面*

注記* : c-c 断面の断面形状はb-b 断面と同様であるため、c-c 断面を省略。

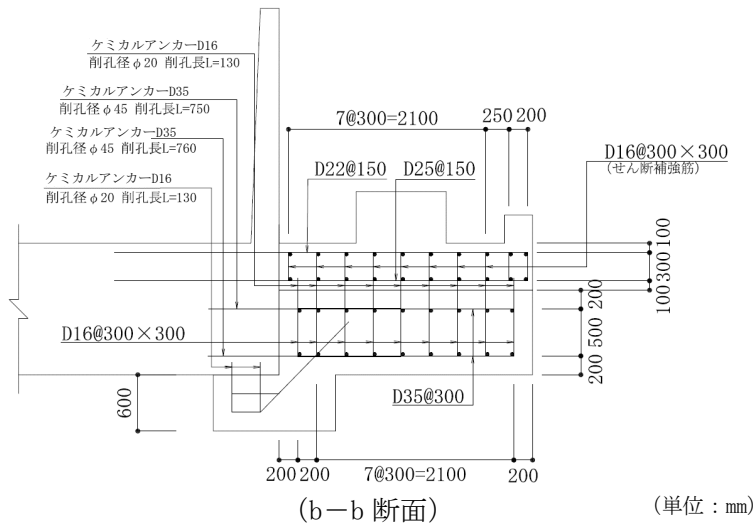


図3-9 張出し基礎の概略配筋図*

注記* : c-c 断面の増厚部の配筋仕様はb-b 断面と同様であるため、c-c 断面を省略。

3.2.2 解析モデル

図 3-8 に示す評価対象断面に基づき、張出し基礎の解析モデルを図 3-10 に示すとおり設定する。張出し基礎は、非線形はり要素を用いた片持ちばりでモデル化する。

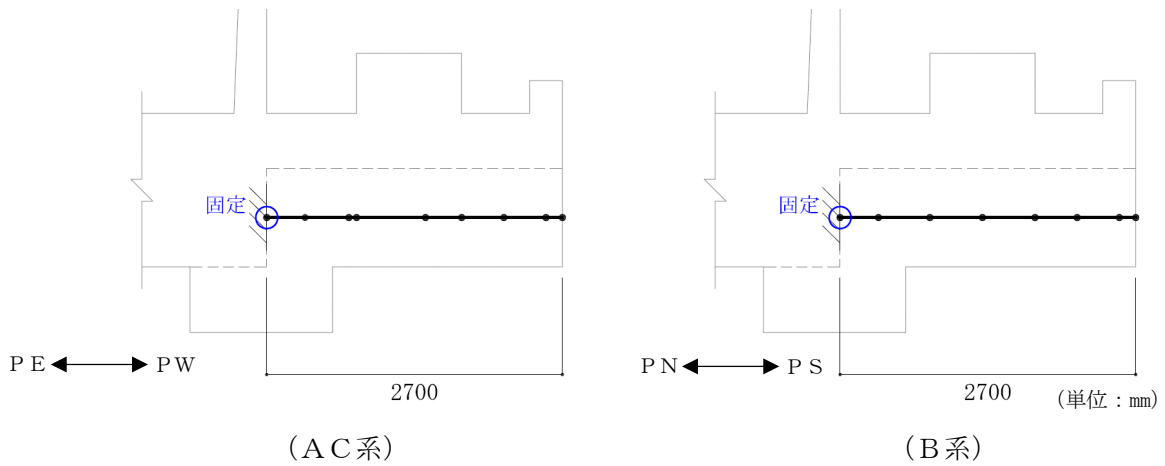


図 3-10 張出し基礎の解析モデル

3.2.3 材料特性

(1) 使用材料及び材料物性値

使用材料を表 3-7 に、材料物性値を表 3-8 に示す。

表 3-7 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm ²
鉄筋	SD35 (SD345 相当)

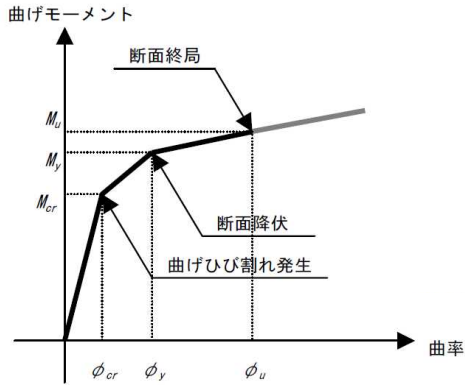
表 3-8 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45 × 10 ⁴ *	0.2*

注記* : 建設時の設計値に基づく

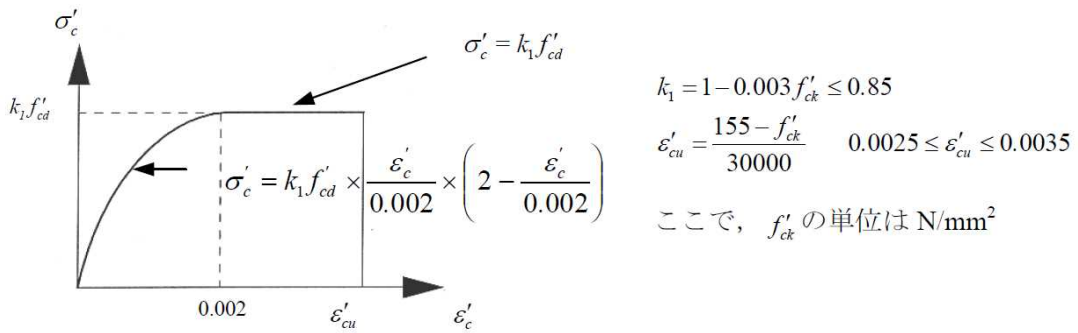
(2) 鉄筋コンクリートの非線形特性

鉄筋コンクリート部材は、図 3-11～図 3-13 に示す非線形特性及び履歴特性を考慮する。

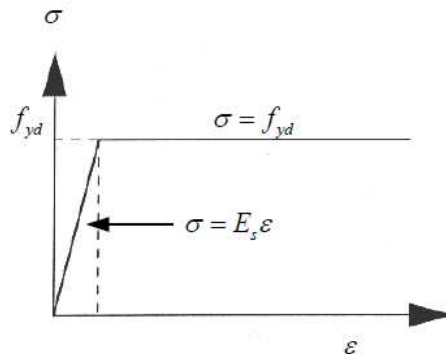


(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-11 張出し基礎のM-φ関係



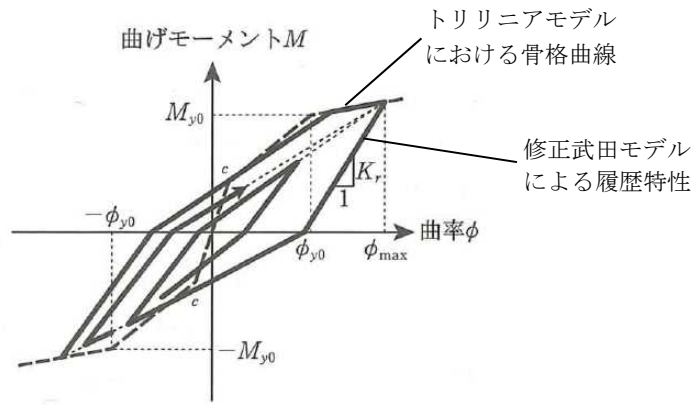
(1) コンクリートの応力-ひずみ関係



(2) 鉄筋の応力-ひずみ関係

(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-12 構造部材の非線形特性



(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月) より引用 (一部加筆))

図3-13 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

3.2.4 照査用震度

張出し基礎の照査用震度は、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析の結果より、軽油タンク基礎の張出し基礎設置位置における応答加速度から算定する。設定した照査用震度を表3-9に示す。

表3-9 照査用震度

位置	加振方向	解析ケース	地震動	照査用震度
AC系	水平	③	Ss-1++	0.96
	鉛直	①	Ss-1+-	0.72
B系	水平	③	Ss-3++	1.05
	鉛直	①	Ss-1+-	0.71

3.2.5 入力荷重

張出し基礎の耐震評価における入力荷重を表3-10に示す。張出し基礎の入力荷重は、「3.2.4 照査用震度」で設定した照査用震度、固定荷重、積載荷重及びVI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析の応答値を用いて算定する。

なお、張出し基礎はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積載荷重として積雪を考慮する。

表3-10 張出し基礎の耐震評価における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
主荷重	固定荷重	自重
	積載荷重	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(積雪荷重を含む)
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体側面、底面に作用する常時水圧
地震時の影響	地震荷重	躯体、燃料移送ポンプ、燃料移送ポンプ防護板に作用する慣性力
	地震時土圧	躯体側面に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体側面に作用する地震時水圧

3.2.6 許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

曲げ軸力に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、終局曲げ耐力とする。

(2) せん断力に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、終局せん断強度とする。

3.2.7 評価結果

(1) 曲げ軸力に対する評価結果

張出し基礎の曲げ軸力照査における最大照査値を表3-11に示す。照査結果より、張出し基礎の照査用曲げモーメントが許容限界以下であることを確認した。

表3-11 曲げ軸力照査結果

位置	照査用曲げモーメント* M_d (kNm)	終局曲げ耐力 $M_{u,d}$ (kNm)	照査値 $M_d / M_{u,d}$
AC系	285	693	0.42
B系	421	694	0.61

注記*：照査用曲げモーメント M_d ＝発生曲げモーメント×構造解析係数 γ_a

(2) せん断力に対する評価結果

張出し基礎のせん断力照査における最大照査値を表3-12に示す。照査結果より、張出し基礎の照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表3-12 せん断力照査結果

位置	照査用せん断力* V_d (kN)	終局せん断強度 $V_{y,d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y,d}$
AC系	175	637	0.28
B系	159	638	0.25

注記*：照査用せん断力 V_d ＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

3.3 防油堤の耐震評価

3.3.1 評価対象断面

防油堤は、Sクラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管を間接支持する構造物である。防油堤の評価対象断面を図3-14、概略配筋図を図3-15に示す。防油堤は軽油タンク基礎の周囲（d-d断面）及び中央（e-e断面）に設置されている。

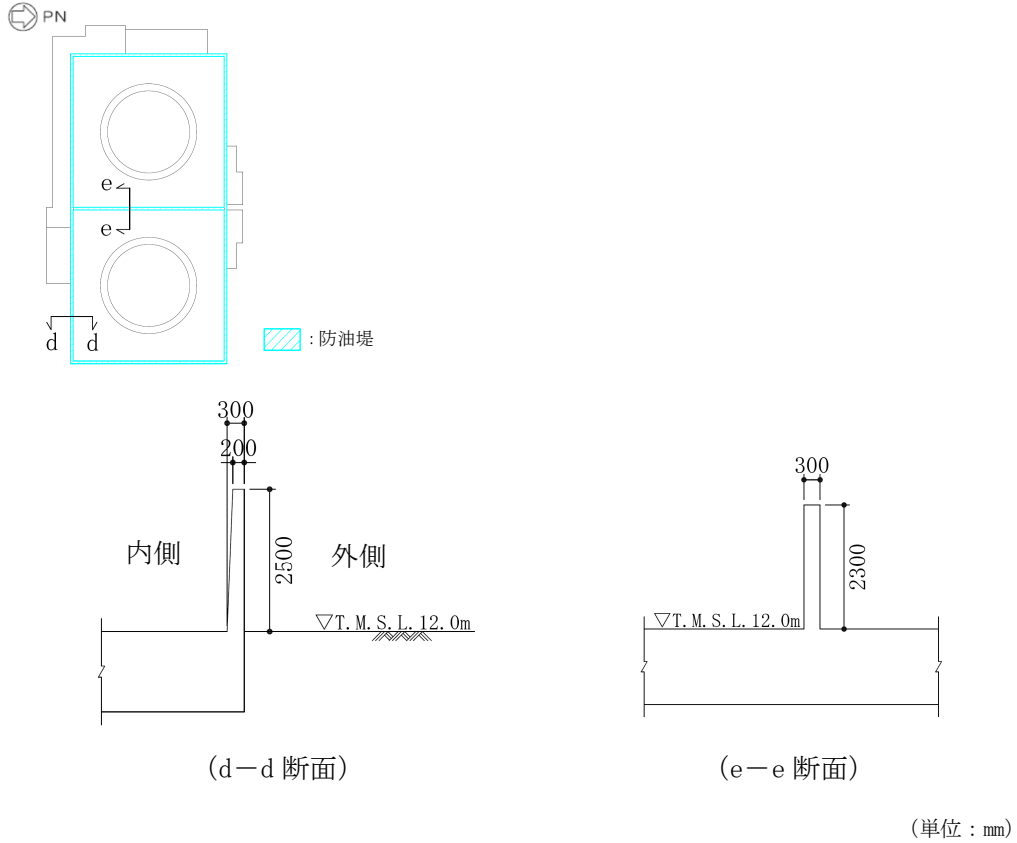


図3-14 防油堤の評価対象断面

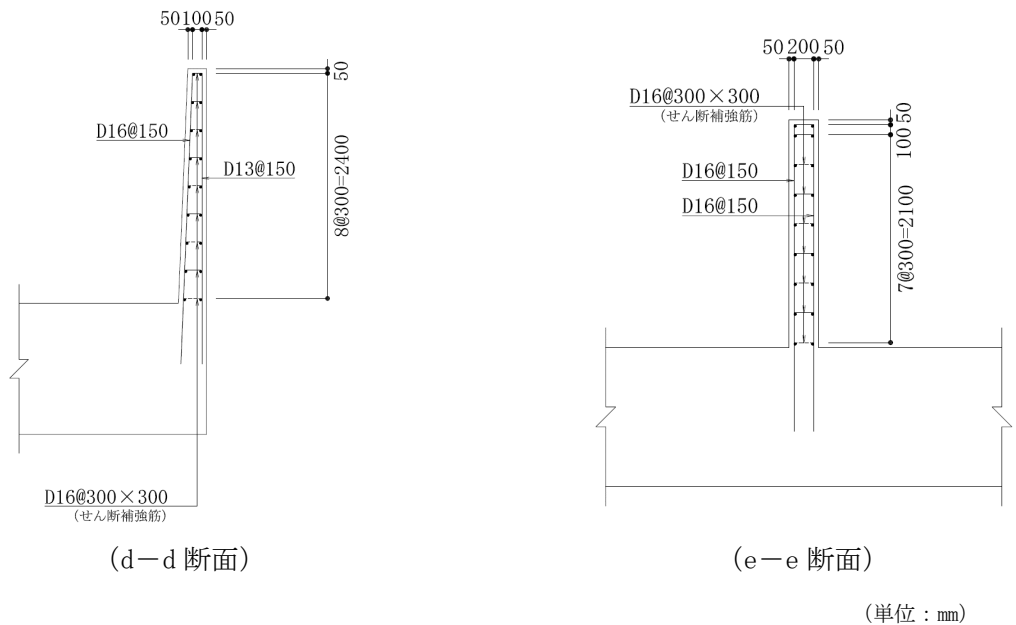


図3-15 防油堤の概略配筋図

3.3.2 解析モデル

図 3-14 に示す評価対象断面に基づき，防油堤の解析モデルを図 3-16 に示すとおり設定する。防油堤は，非線形はり要素を用いた片持ちばりでモデル化する。

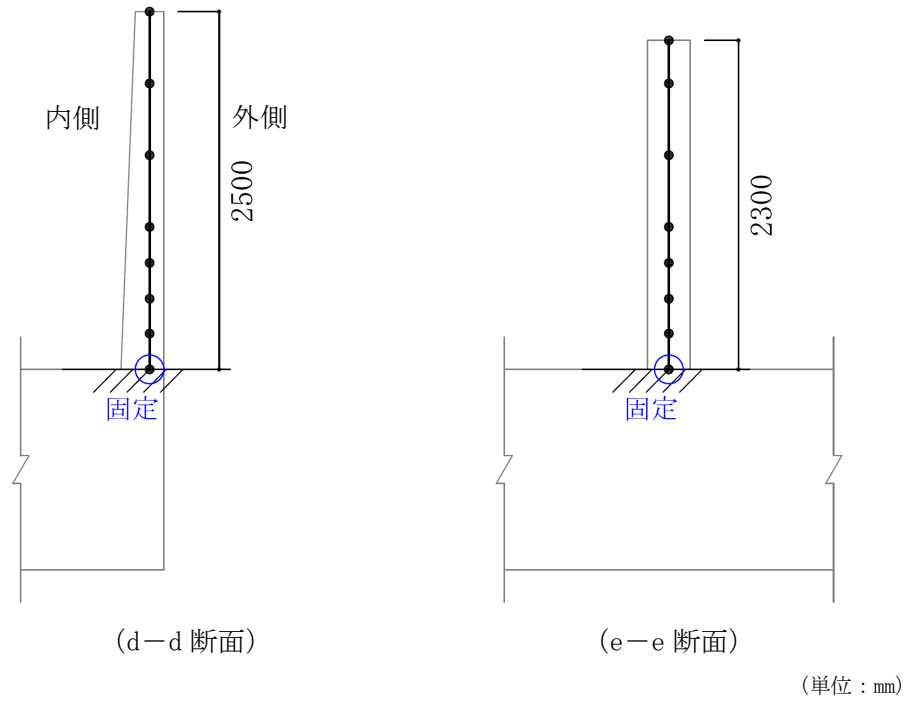


図 3-16 防油堤の解析モデル

3.3.3 材料特性

(1) 使用材料及び材料物性値

使用材料を表 3-13、材料物性値を表 3-14 に示す。

表 3-13 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm ²
鉄筋	SD35 (SD345 相当)

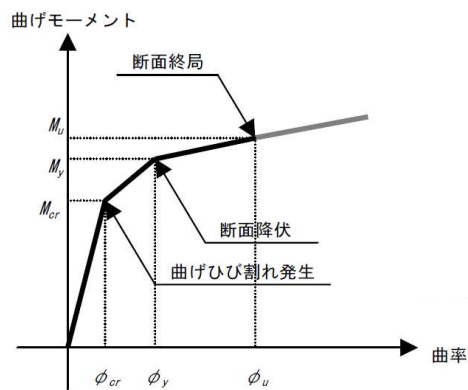
表 3-14 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45×10 ⁴ *	0.2*

注記*：建設時の設計値に基づく

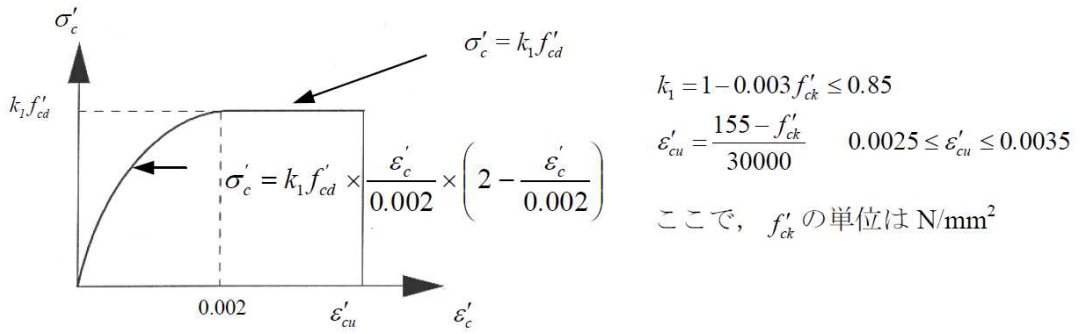
(2) 鉄筋コンクリートの非線形特性

鉄筋コンクリート部材は、図 3-17～図 3-19 に示す非線形特性及び履歴特性を考慮する。

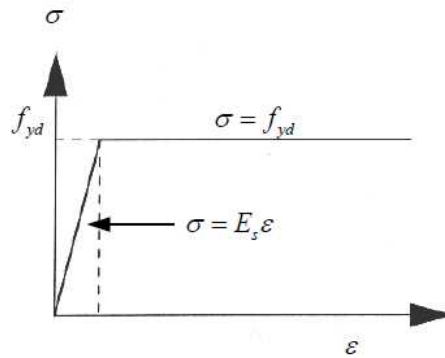


(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-17 防油堤の M-φ 関係



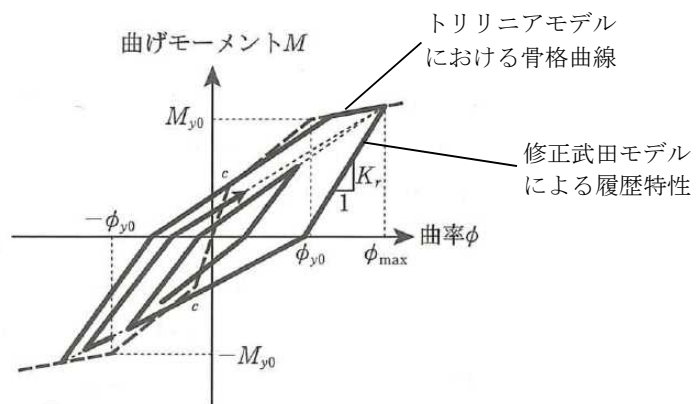
(1) コンクリートの応力-ひずみ関係



(2) 鉄筋の応力-ひずみ関係

(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-18 構造部材の非線形特性



(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月) より引用 (一部加筆))

図 3-19 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

3.3.4 照査用震度

防油堤の照査用震度は、VI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析の結果より、軽油タンク基礎の防油堤設置位置における応答加速度から算定する。設定した照査用震度を表 3-15 に示す。

表 3-15 照査用震度の設定

位置	加振方向	解析ケース	地震動	照査用震度
基礎版周囲	水平	③ (A-A断面)	Ss-3++	1.06
	鉛直	① (B-B断面)	Ss-1+-	0.73
基礎版中央	水平	③	Ss-1++	0.95
	鉛直	⑤	Ss-1-+	0.66

3.3.5 入力荷重

防油堤の耐震評価における入力荷重を表 3-16 に示す。防油堤の入力荷重は、「3.3.4 照査用震度」で設定した照査用震度、固定荷重、積載荷重及びVI-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析の応答値を用いて算定する。

なお、防油堤は積雪による受圧面積が小さいため、積雪は考慮しない。

表 3-16 防油堤の耐震評価における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
主荷重	固定荷重	自重
	積載荷重	配管荷重 (基礎版周囲のみ)
地震時の影響	地震荷重	躯体、配管に作用する慣性力

3.3.6 許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

曲げ軸力に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、終局曲げ耐力とする。

(2) せん断に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、終局せん断強度とする。

3.3.7 評価結果

(1) 曲げ軸力に対する評価結果

防油堤の曲げ軸力に対する照査結果を表3-17に示す。照査結果より、防油堤の照査用曲げモーメントが許容限界以下であることを確認した。

表3-17 曲げ軸力照査結果

位置	照査用曲げモーメント* M_d (kNm)	終局曲げ耐力 $M_{u,d}$ (kNm)	照査値 $M_d / M_{u,d}$
基礎版周囲	36	63	0.58
基礎版中央	17	95	0.18

注記*：照査用曲げモーメント M_d ＝発生曲げモーメント×構造解析係数 γ_a

(2) せん断力に対する評価結果

防油堤のせん断力に対する照査結果を表3-18に示す。照査結果より、防油堤の照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表3-18 せん断力照査結果

位置	照査用せん断力* V_d (kN)	終局せん断強度 $V_{y,d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y,d}$
基礎版周囲	31	243	0.13
基礎版中央	16	267	0.06

注記*：照査用せん断力 V_d ＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

4. まとめ

本資料では、軽油タンク基礎の付帯設備のうち、Sクラス施設を間接支持する機能を有する張出しダクト、張出し基礎及び防油堤に関して耐震評価を行った。評価の結果、各付帯設備は基準地震動S_sに対して十分な耐震性を有していることを確認した。

VI-2-2-21 常設代替交流電源設備基礎の地震応答計算書

目 次

1. 概要 1

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する常設代替交流電源設備基礎の地震応答解析について説明するものである。

常設代替交流電源設備基礎の地震応答解析に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-21「常設代替交流電源設備基礎の地震応答計算書」による。

VI-2-2-22 常設代替交流電源設備基礎の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要 1

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設代替交流電源設備基礎が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

常設代替交流電源設備基礎の耐震評価に関する説明は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事計画の V-2-2-22「常設代替交流電源設備基礎の耐震性についての計算書」による。

VI-2-2-23 軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 解析方針	2
2.4 適用基準	4
3. 解析方法	5
3.1 評価対象断面	5
3.2 解析方法	5
3.2.1 鉄筋コンクリート部材	5
3.2.2 鋼管杭	5
3.2.3 地盤	7
3.2.4 減衰定数	8
3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	8
3.3.2 荷重	9
3.3.3 荷重の組合せ	9
3.4 入力地震動	10
3.5 解析モデル及び諸元	10
4. 解析結果	10

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、軽油タンク基礎（7号機設備）が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出するものである。その際、耐震設計に用いる応答値は、この地震応答解析により構造物に発生する応答加速度、曲率、断面力及び杭頭に発生する鉛直力とする。

また、機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 解析方針

軽油タンク基礎（7号機設備）は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s に対して地震応答解析を実施する。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造物及び機器・配管系への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮する。

図2-1に軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「2. 基本方針」に基づき、「3.1 評価対象断面」にて設定する断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴非線形解析にて行う。

時刻歴非線形解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、機器・配管系の設計用床応答曲線の作成に用いる。

また、地震応答解析による応答値のうち、鋼管杭に生じる曲率、断面力及び杭頭に発生する鉛直力は、鋼管杭の耐震評価及び基礎地盤の支持性能評価に用いる。応答加速度、土水圧及び軽油タンク（7号機設備）の断面力は、鉄筋コンクリート部材の耐震評価に用いる入力荷重の算定に用いる。

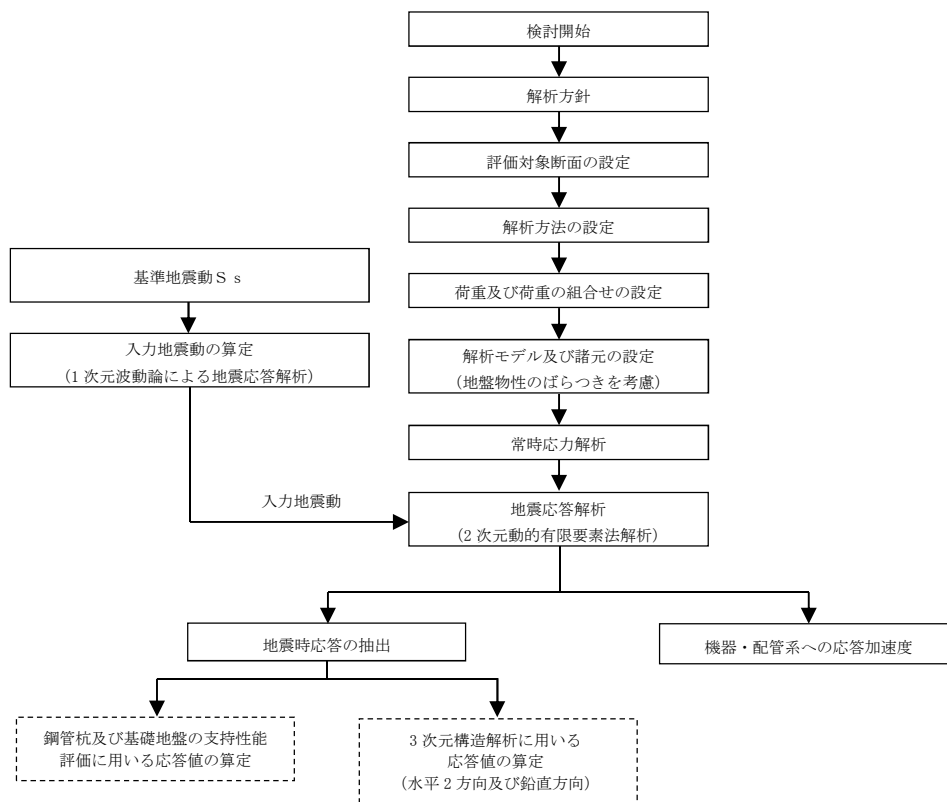


図 2-1 軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答解析フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

評価対象断面は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」の「3.1 評価対象断面」による。

3.2 解析方法

軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。軽油タンク基礎（7号機設備）を構成する部材のうち、鉄筋コンクリート部材については線形平面ひずみ要素で、鋼管杭については非線形はり要素でモデル化する。非線形はり要素の非線形特性については鋼管杭の $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。

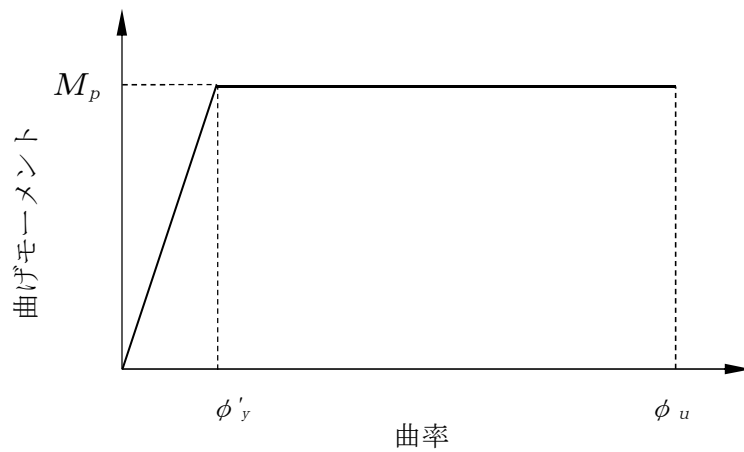
なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 鉄筋コンクリート部材

鉄筋コンクリート部材は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

3.2.2 鋼管杭

鋼管杭は、非線形はり要素でモデル化し、図 3-1 及び図 3-2 に示す非線形性を考慮する。

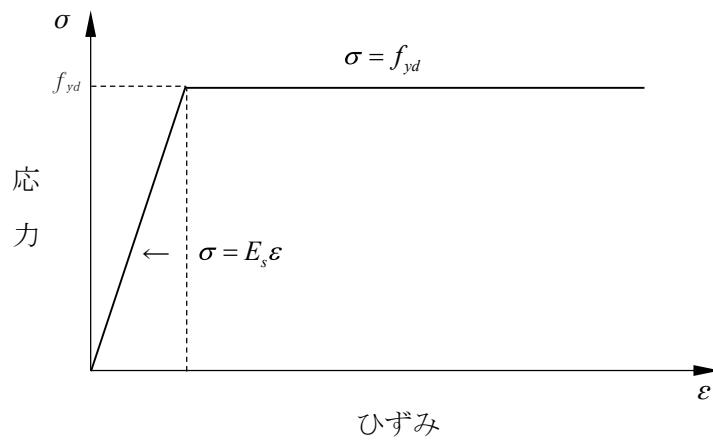


M_p : 終局時の曲げ強度 (全塑性モーメント)

ϕ'_y : 全塑性モーメントに至る時の曲率

ϕ_u : 局部座屈が発生する時の曲率

図 3-1 鋼管杭のM- ϕ 関係



f_{yd} : 鋼材の降伏応力

E_s : 鋼材のヤング係数

図 3-2 鋼管杭の応力-ひずみ関係

3.2.3 地盤

地盤については、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を用いる。

また、地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケース (①～⑤) を設定する。

表 3-1 耐震評価における解析ケース

	①	②	③	④	⑤
解析ケース	基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)	地盤剛性 (-1 σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層 (埋戻土及び新期砂層) のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層 (沖積層及び古安田層) のばらつきは、各地層の PS 検層の結果からせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する (解析ケース②, ③, ⑤)。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1 σ) にて設定する (解析ケース①, ②, ③)。

また、構造物及び機器・配管系への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する (解析ケース④, ⑤)。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース (①～⑤) を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

3.2.4 減衰定数

減衰特性は、柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析等を踏まえ、Rayleigh 減衰として、 $\alpha = 0$ 、 $\beta = 0.005$ を設定する。

3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げ軸力、せん断力及び基礎地盤の支持性能の全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい照査値の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。なお、解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

(2) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度の抽出においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース③～⑤を実施する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の下条件におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷防止に関する基本方針」に基づく積雪を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、付帯設備自重，機器・配管荷重，土圧及び水圧による荷重並びに積雪荷重を考慮する。

(3) 地震荷重（S_s）

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（S _s ）	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

入力地震動は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」の「3.4 入力地震動」に示す基準地震動 S_s に対する入力地震動による。

3.5 解析モデル及び諸元

解析モデル及び諸元は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」の「3.5 解析モデル及び諸元」による。

4. 解析結果

解析結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」の「4. 解析結果」に示す基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図による。

VI-2-2-24 軽油タンク基礎（7号機設備）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	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	5
3. 耐震評価	5
4. 構造部材の地震時応答	5
5. 耐震評価結果	5

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、軽油タンク基礎（7号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

軽油タンク基礎（7号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析並びに水平2方向及び鉛直方向の荷重を考慮した3次元構造解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-18「軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-2-18「軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

軽油タンク基礎（7号機設備）は、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が設置される重大事故等対処施設に分類される。

軽油タンク基礎（7号機設備）の耐震評価フローを図2-1に示す。

軽油タンク基礎（7号機設備）の耐震評価は、VI-2-2-23「軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること並びに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を支持する機能を損なわないことを確認する。

軽油タンク基礎（7号機設備）を構成する部材のうち、鉄筋コンクリート部材の耐震評価については、軽油タンク（7号機設備）及び付帯設備の荷重の平面的な偏りを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向の荷重を考慮した3次元静的有限要素法解析（以下「3次元構造解析」という。）を実施し、圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。3次元構造解析の入力荷重は、VI-2-2-23「軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき算定する。

鋼管杭の耐震評価については、VI-2-2-23「軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、鋼管杭に生じる曲率及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、VI-2-2-23「軽油タンク基礎（7号機設備）の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、杭頭に生じる鉛直力が許容限界以下であることを確認する。

表 2-1 軽油タンク基礎（7号機設備）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
		鋼管杭		曲げ軸力	終局曲率*
				せん断力	終局せん断強度*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*	
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を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
		鋼管杭		曲げ軸力	終局曲率*
				せん断力	終局せん断強度*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

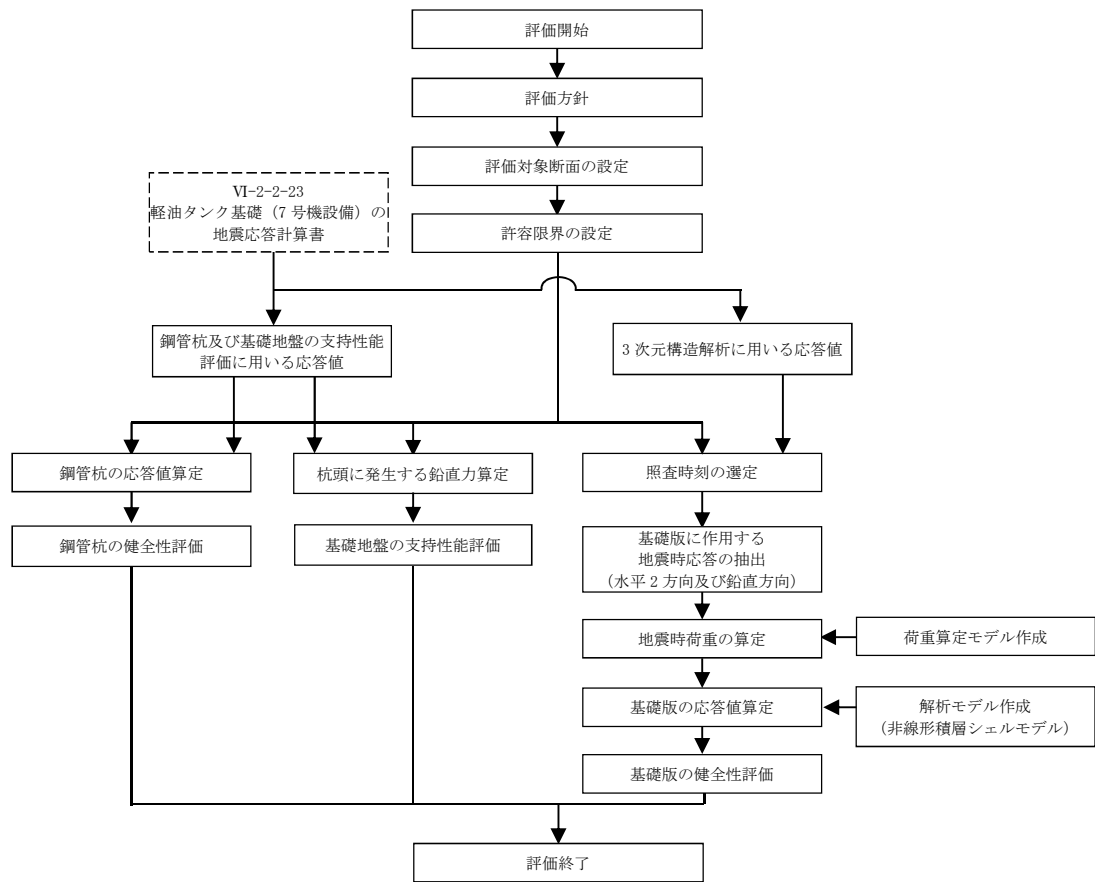


図 2-1 軽油タンク基礎（7号機設備）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-18「軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-18「軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 構造部材の地震時応答

構造部材の地震時応答は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-18「軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」の「4. 構造部材の地震時応答」による。

5. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-2-18「軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」の「5. 耐震評価結果」による。

VI-2-2-別添1 地下水排水設備の耐震性についての計算書

VI-2-2-別添 1-1 地下水排水設備に係る施設の耐震計算書の方針

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	15
3.1 荷重及び荷重の組合せ	15
3.1.1 荷重の種類	15
3.1.2 荷重の組合せ	15
3.2 許容限界	16
4. 耐震評価方法	20
4.1 地盤の応答解析	20
4.2 耐震評価	21
4.2.1 耐震評価方法	21
4.3 機能維持評価	22
4.3.1 動的機能の維持	22
4.3.2 電氣的機能の維持	22
4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮	22
5. 適用規格・基準等	23

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）（以下「技術基準規則」という。）」第5条及び第12条並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水排水設備が、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

地下水排水設備のうち、6号機地下水排水設備の計算結果は、VI-2-2-別添1-2-2「サブドレンポンプの耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-2-3「管の耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-2-4「地下水排水設備水位の耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-2-5「サブドレン動力制御盤の耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-2-6「サブドレンシャフトの耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-2-7「サブドレンピットの耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-2-8「集水管の耐震性についての計算書」及びVI-2-2-別添1-2-9「サブドレン管の耐震性についての計算書」に示し、5号機地下水排水設備の計算結果は、VI-2-2-別添1-3-2「サブドレンポンプの耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-3-3「管の耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-3-4「地下水排水設備水位の耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-3-5「サブドレン動力制御盤の耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-3-6「サブドレンシャフトの耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-3-7「サブドレンピットの耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-3-8「集水管の耐震性についての計算書」及びVI-2-2-別添1-3-9「サブドレン管の耐震性についての計算書」に示し、7号機地下水排水設備の計算結果は、VI-2-2-別添1-4-2「サブドレンピットの耐震性についての計算書」、VI-2-2-別添1-4-3「集水管の耐震性についての計算書」及びVI-2-2-別添1-4-4「サブドレン管の耐震性についての計算書」に示す。

2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す基準地震動 S_s による地震力と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重による応力又は荷重（以下「応力等」という。）が、「3.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「4. 耐震評価方法」に示す評価方法を使用し、「5. 適用規格・基準等」で示す適用規格を用いて確認する。

地下水排水設備は、基準地震動 S_s による地震力に対して、その機能を維持又は保持できる設計とすることを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせて実施する。影響評価方法は「4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1 評価対象施設

評価対象施設は、地下水排水設備を構成するサブドレンポンプ、管、地下水排水設備水位、サブドレン動力制御盤、サブドレンシャフト、サブドレンピット、集水管及びサブドレン管を対象とする。地下水排水設備（管を除く）の構造計画を表2-1～表2-7に示す。

表 2-1 構造計画 (サブドレンポンプ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
サブドレンポンプはポンプ取付ボルトで架台に固定する。架台は基礎ボルトで床に固定する。	水中ポンプ	<p>平面図 (A-A矢視)</p> <p>平面図 (B-B矢視)</p> <p>正面図</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 構造計画（地下水排水設備水位）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は検出器取付ボルトで架台に固定する。架台は基礎ボルトで壁に固定する。</p>	<p>電極式水位検出器</p>	<p>【地下水排水設備水位】</p>

表 2-3 構造計画 (サブドレン動力制御盤)

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>サブドレン動力制御盤は、取付ボルトによりチャンネルベースに固定される。チャンネルベースは、壁に基礎ボルトで設置される。</p>	<p>壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛閉鎖型の盤)</p>	<p>【サブドレン動力制御盤】</p> <p>(正面方向) (側面方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>サブドレン動力制御盤 (H21-P751)</th> <th>サブドレン動力制御盤 (H21-P752)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>700</td> <td>700</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>1000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>1650</td> <td>1650</td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位 : mm)</p>	機器名称	サブドレン動力制御盤 (H21-P751)	サブドレン動力制御盤 (H21-P752)	たて	700	700	横	1000	1000	高さ	1650	1650
機器名称	サブドレン動力制御盤 (H21-P751)	サブドレン動力制御盤 (H21-P752)												
たて	700	700												
横	1000	1000												
高さ	1650	1650												

表 2-4 構造計画 (サブドレンシャフト)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
サブドレンシャフトは、アンカーボルトでピットに固定している。	鋼管	<p>6号機原子炉建屋</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-4 構造計画 (サブドレンシャフト)

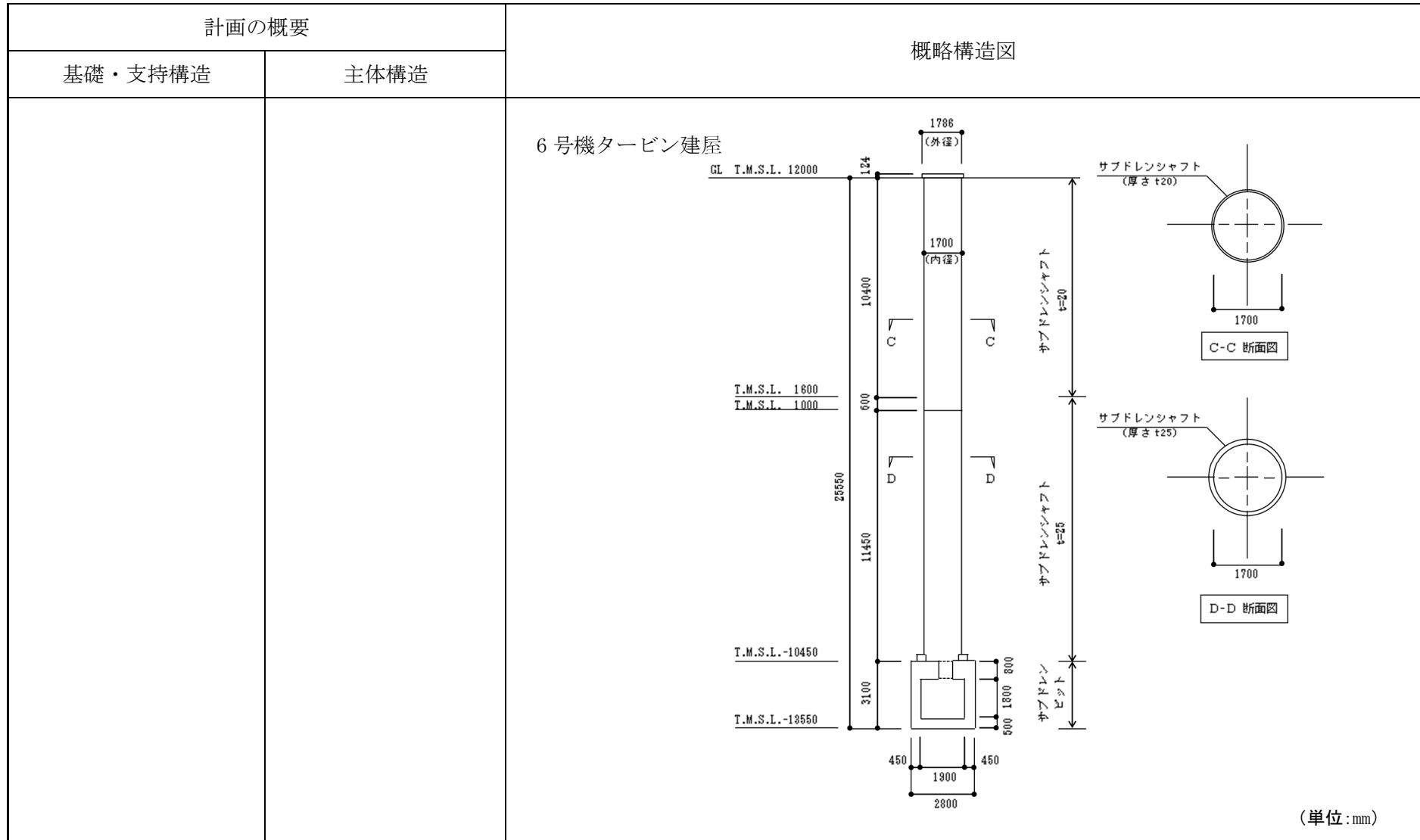


表 2-4 構造計画 (サブドレンシャフト)

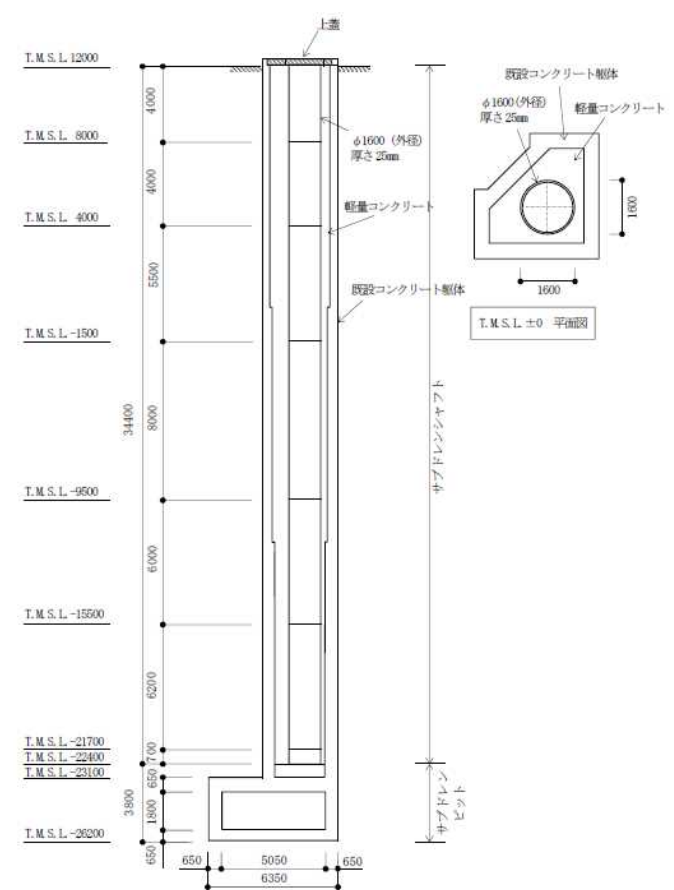
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<p>5号機原子炉建屋</p>  <p>(単位: mm)</p>

表 2-5 構造計画 (サブドレンピット)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
サブドレンピットは、支持地盤である西山層に直接設置している。	鉄筋コンクリート造	<p>6号機原子炉建屋 (断面図) (A-A 断面)</p> <p>6号機タービン建屋 (断面図) (B-B 断面)</p>	
		<p>6号機原子炉建屋 (平面図)</p>	<p>6号機タービン建屋 (平面図)</p>

(単位: mm)

表 2-5 構造計画 (サブドレンピット)

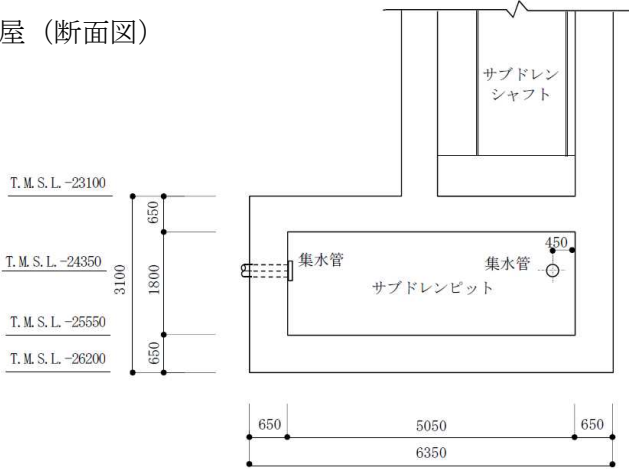
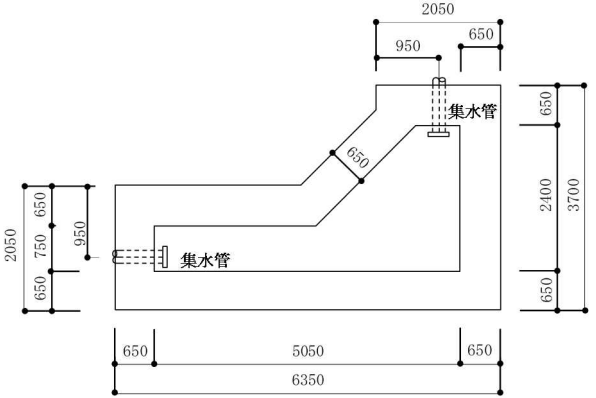
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<p data-bbox="869 470 1211 502">5号機原子炉建屋 (断面図)</p>  <p data-bbox="869 941 1211 973">5号機原子炉建屋 (平面図)</p>  <p data-bbox="1848 1348 1971 1380">(単位 : mm)</p>

表 2-5 構造計画 (サブドレンピット)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
サブドレンピットは、支持地盤である西山層にマンメイドロックを介して設置している。	鉄筋コンクリート造	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>7号機原子炉建屋 (断面図) (A-A 断面)</p> <p>7号機原子炉建屋 (平面図)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7号機タービン建屋 (断面図) (B-B 断面)</p> <p>7号機タービン建屋 (平面図)</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

表 2-6 構造計画 (集水管)

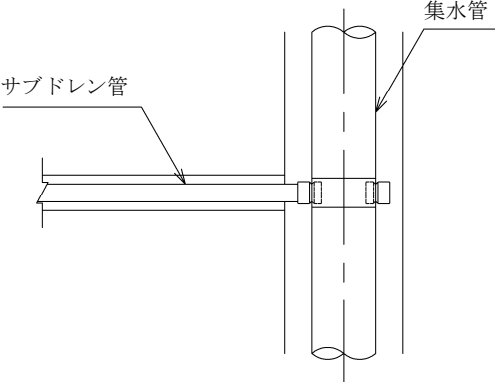
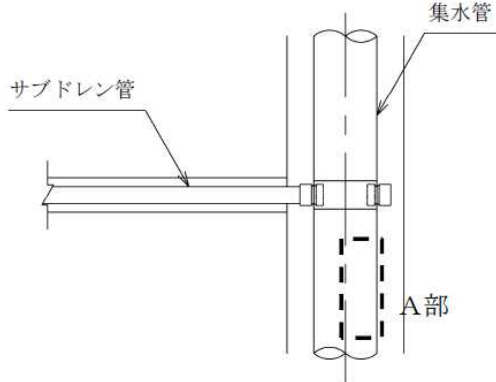
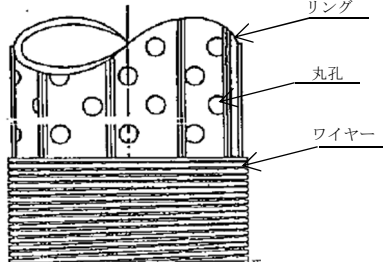
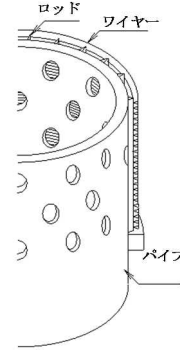
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>集水管は、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋の周囲の西山層に直接または西山層にマンメイドロックを介して設置している。</p>	<p>SUS管</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>6号機集水管 (平面図)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>5号機集水管 (平面図)</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>6号機集水管 (断面構造図)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>5号機集水管 (1/4断面構造図(A部切出し))</p>  </div> </div>

表 2-6 構造計画 (集水管)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<p>7号機集水管 (平面図)</p> <p>7号機集水管 (1/4 断面構造図(A部切出し))</p>

表 2-7 構造計画 (サブドレン管)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
サブドレン管は、原子炉建屋、コントロール建屋下に、西山層に直接または西山層にマンメイドロックを介して設置している。	塩ビ管	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>サブドレン管 (平面図)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>サブドレン管 (断面図)</p> </div> </div>

3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

地下水排水設備の耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

3.1.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (D) , 固定荷重 (G)

常時作用する荷重又は固定荷重は、持続的に生じる荷重であり、当該設備の自重とする。

(2) 静止土圧荷重 (P)

静止土圧荷重は、常時作用する土圧による荷重とする。

(3) 内圧荷重 (P_D)

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(4) 機械的荷重 (M_D)

機械的荷重は、当該設備に設計上定められた荷重とする。

(5) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

(6) 運転状態による荷重 (I_L, II_L)

運転状態による荷重は、地震と組合わすべきプラントの運転状態における圧力荷重とする。

3.1.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2 許容限界

許容限界は，地下水排水設備を構成する設備ごとに設定する。

地下水排水設備を構成する施設ごとの許容限界を機器・配管等については表3-1に，建物・構築物については表3-2に示す。

機器・配管等の許容限界の詳細は，各計算書にて評価部位の許容応力状態を考慮し，評価項目を選定する。

建物・構築物の許容限界の詳細は，各計算書にて評価部位の機能維持のための考え方を考慮し，評価項目を選定する。

選定した評価対象部位の許容限界を表3-3及び表3-4に示す。

表3-1 機器・配管等の荷重の組み合わせ及び許容限界

施設名称	荷重の 組合せ	評価部位	応力等の状態	限界状態	許容限界
サブドレンポンプ	$D + P_D + M_D + S_s$	基礎ボルト 取付ボルト	引張 せん断	部材が弾性域にとどま らず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A Sの 許容応力以下とする。
管	$I_L + S_s$ $II_L + S_s$	管 支持構造物	一次応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力	部材が弾性域にとどま らず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A Sの 許容応力以下とする。
地下水排水設備水位	$D + P_D + M_D + S_s$	基礎ボルト	引張 せん断	部材が弾性域にとどま らず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A Sの 許容応力以下とする。
サブドレン動力制御盤	$D + P_D + M_D + S_s$	基礎ボルト 取付ボルト	引張 せん断	部材が弾性域にとどま らず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A Sの 許容応力以下とする。

表3-2 建物・構築物の荷重の組み合わせ及び許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価部位	機能維持のための考え方	許容限界
サブドレンシャフト	G + S s	サブドレンシャフト	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	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法」に基づく弾性限度
サブドレンピット	P + S s	サブドレンピット壁	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	「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づく短期許容応力度
	G + S s	サブドレンピット 上部スラブ 底部スラブ	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	「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づく短期許容応力度
集水管	G + S s	集水管	部材に生じる応力が内空断面を確保するための許容限界を超えないことを確認	「集水管の荷重－変位曲線図」から概ね弾性と認められる許容強度範囲を設定して求めたひずみ率
サブドレン管	G + S s	サブドレン管	部材に生じる応力が内空断面を確保するための許容限界を超えないことを確認	「サブドレン管の荷重－変位曲線図」から概ね弾性と認められる許容強度範囲を設定して求めたひずみ率

表3-3 ボルトの許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2	
			一次応力	
			引張	せん断
基礎ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t *$	$1.5 \cdot f_s *$
取付ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t *$	$1.5 \cdot f_s *$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表3-4 管の許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界		
			一次応力	一次+二次応力	一次+二次 +ピーク応力
管	$I_L + S_s$ $II_L + S_s$	$IV_A S$	$0.9 \cdot S_u$	S_s 地震動のみによる疲労解析* を行い、疲労累積係数が1.0 以下 であること。ただし、地震動のみ による一次+二次応力の変動値が $2 \cdot$ S_y 以下であれば、疲労解析は行わ ない。	

注記*： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4) 及び(5) (ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

4. 耐震評価方法

地下水排水設備の耐震評価は、「4.1 地盤の応答解析」、「4.2 耐震評価」及び「4.3 機能維持評価」に従って実施する。

4.1 地盤の応答解析

地下水排水設備のうち、6号機地下水排水設備に用いる地盤の応答解析は、VI-2-2-別添1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」、5号機地下水排水設備に用いる地盤の応答解析は、VI-2-2-別添1-3-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」に示し、7号機地下水排水設備に用いる地盤の応答解析は、VI-2-2-別添1-4-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」に示す。

地下水排水設備の地盤の応答解析フローを図4-1に示す。

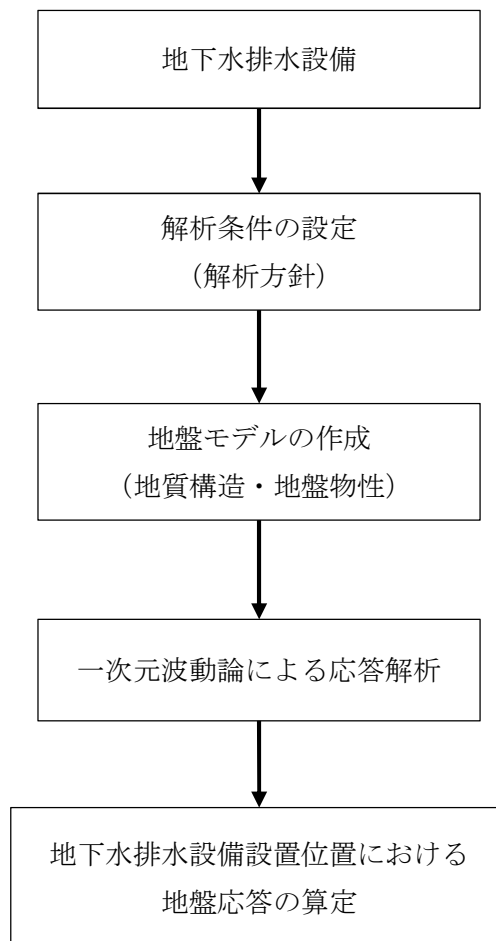


図4-1 地下水排水設備の地盤の応答解析のフロー

4.2 耐震評価

地下水排水設備は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して、「4.1 地盤の応答解析」で示した地盤の応答解析により発生応力を算出し、「3.2 許容限界」にて設定している許容限界内にあることを確認する。

4.2.1 耐震評価方法

サブドレンポンプ，管，地下水排水設備水位，サブドレン動力制御盤，サブドレンシャフト，サブドレンピット，集水管及びサブドレン管の評価方法について示す。

(1) サブドレンポンプ

評価対象のサブドレンポンプについては，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて示す評価方法及び原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987に準拠した，評価方法により評価を行う。

(2) 管

評価対象の管については，VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」及びVI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(3) 地下水排水設備水位

評価対象の地下水排水設備水位については，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(4) サブドレン動力制御盤

評価対象のサブドレン動力制御盤については，VI-2-1-14「計算書作成の方針 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(5) サブドレンシャフト

評価対象のサブドレンシャフトについては，VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(6) サブドレンピット

評価対象のサブドレンピットについては，VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(7) 集水管

評価対象の集水管については，VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」にて示す評価方法に基

づき評価を行う。

(8) サブドレン管

評価対象のサブドレン管については、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

4.3 機能維持評価

地下水排水設備の構造強度に係る機能維持の方針は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」を準用する。

地下水排水設備の構造強度に係る機能維持に係る耐震計算の方針は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」及び「4.1 動的機器の機能維持」を準用する。

4.3.1 動的機能の維持

地震時及び地震後に動的機能が要求される機器は、地下水排水設備のうち、サブドレンポンプについては、耐震設計上の性能目標を踏まえ、基準地震動 S_s による当該設備床、設計用床応答曲線若しくは設計用最大床加速度から求まる機能維持評価用加速度が、機能確認済加速度以下であることにより確認する。

4.3.2 電氣的機能の維持

地震時及び地震後に電氣的機能が要求される機器は、地下水排水設備のうち、地下水排水設備水位及びサブドレン動力制御盤については、耐震設計上の性能目標を踏まえ、基準地震動 S_s による当該設備床、設計用床応答曲線若しくは設計用最大床加速度から求まる機能維持評価用加速度が、機能確認済加速度以下であることにより確認する。

4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮

地下水排水設備については、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認している。

影響評価については、VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

5. 適用規格・基準等

適用する規格としては、既往工認で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準について技術的妥当性及び適用性を示したうえで、適用可能とする。適用する規格、基準、指針等を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版含む。))) J S M E S N C 1-2005/2007 ((社) 日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 水道用硬質ポリ塩化ビニル管技術資料 (塩化ビニル管・継手協会)
- (6) 日本工業規格 (J I S)
- (7) 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)
- (8) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005改定)
- (9) 建築基準法・同施行令
- (10) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005)
- (11) 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2001改訂)
- (12) 建築構造用高性能590N/mm² (SA440) 設計・溶接施工指針 ((社) 日本鉄鋼連盟高性能鋼利用技術小委員会, 2004)

VI-2-2-別添1-2 6号機地下水排水設備の耐震性についての計算書

VI-2-2-別添 1-2-1 地下水排水設備設置位置の地盤応答

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 地下水排水設備の概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
3. 解析方法	9
3.1 設計用模擬地震波	9
3.2 地盤応答解析モデル	10
3.3 地盤応答	16
3.3.1 水平方向	16
3.3.2 鉛直方向	27

1. 概要

建屋評価における前提条件を満たすために、6号機地下水排水設備は、建屋の耐震性を確保するため地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有する。

6号機地下水排水設備の評価においては、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち、「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」及びVI-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

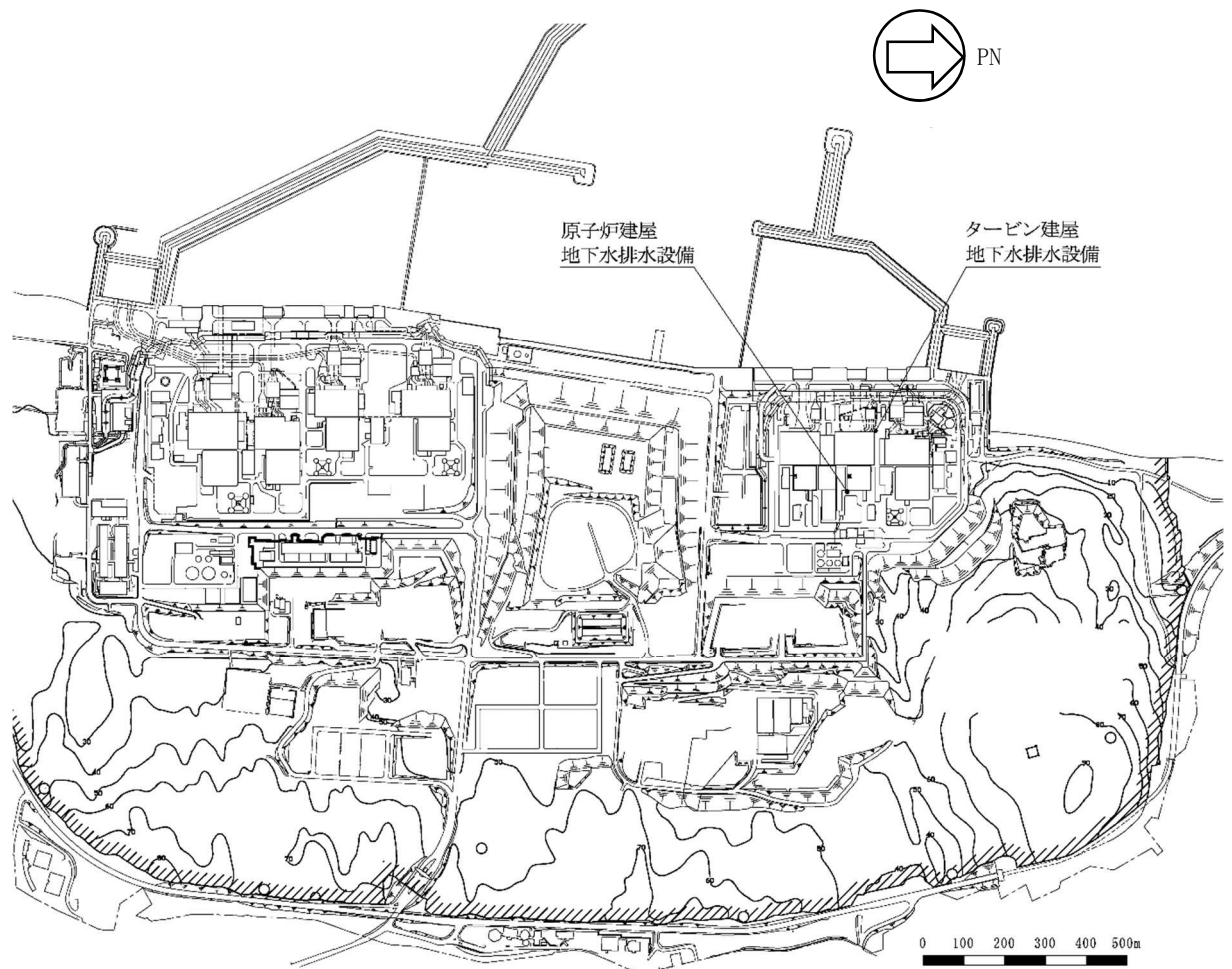
本計算書は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づく地下水排水設備を設置する地盤の応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した地盤の最大応答加速度等は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」を参考に、建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力に用いる。

2. 基本方針

2.1 位置

地下水排水設備の概略配置を図 2-1 に示す。



K6 ① VI-2-2-別添 1-2-1 R0

図 2-1 地下水排水設備の概略配置図

2.2 地下水排水設備の概要

原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋の地下水排水設備（以下，「地下水排水設備」という。）は，各建屋に対し，その耐震性を確保するため地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有し，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。

地下水排水設備の評価対象配置図及び概略構成図を図 2-2～図 2-3 に，原子炉建屋サブドレンピットの概略平面図及び概略断面図を図 2-4～図 2-5 に，タービン建屋サブドレンピットの概略平面図及び概略断面図を図 2-6～図 2-7 に示す。

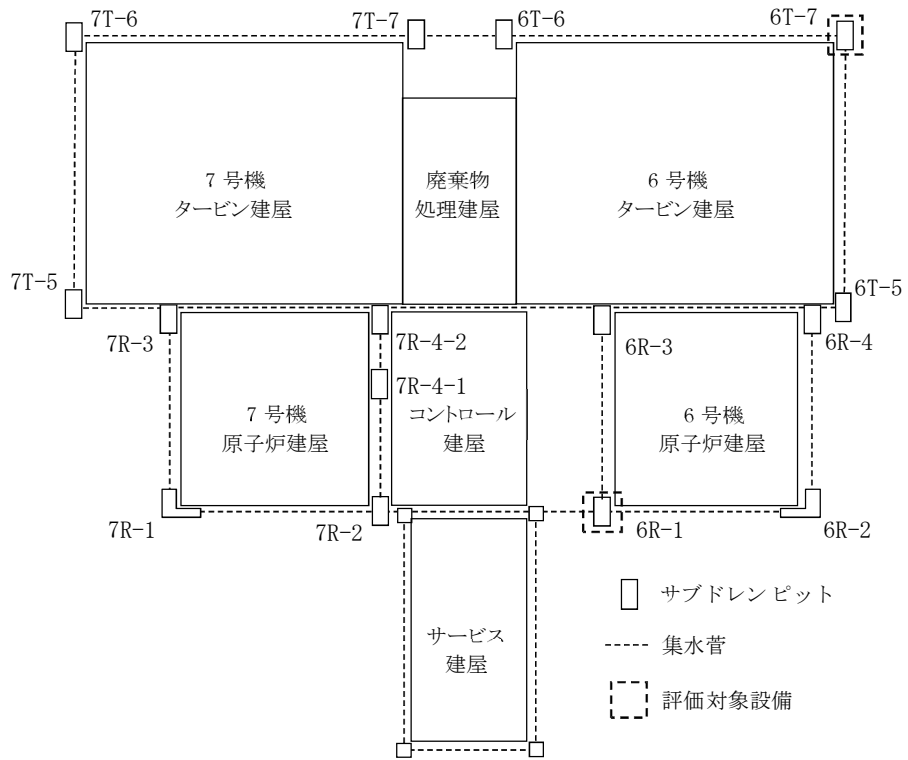


図 2-2 地下水排水設備の評価対象配置図

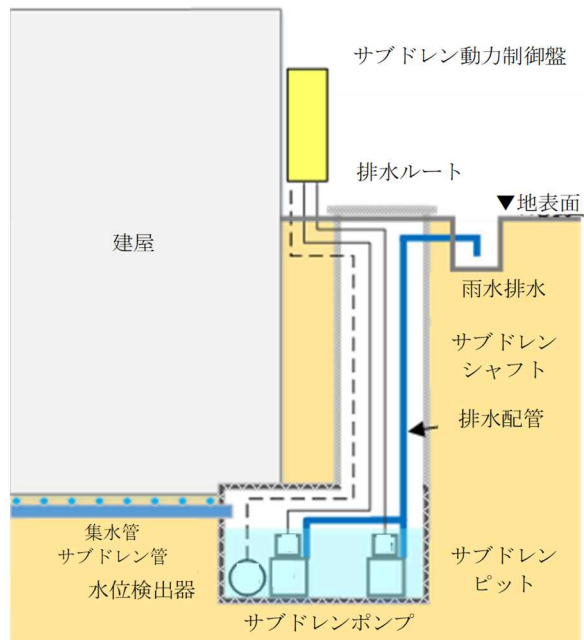


図 2-3 地下水排水設備の概略構成図

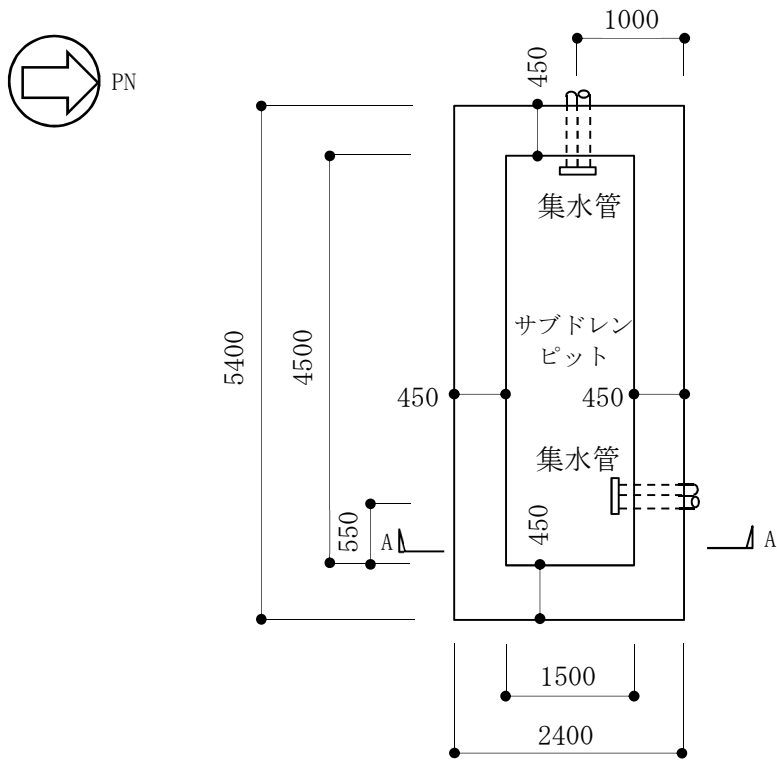


図 2-4 原子炉建屋サブドレンピットの概略平面図 (T.M.S.L. -15.20m) (単位 : mm)

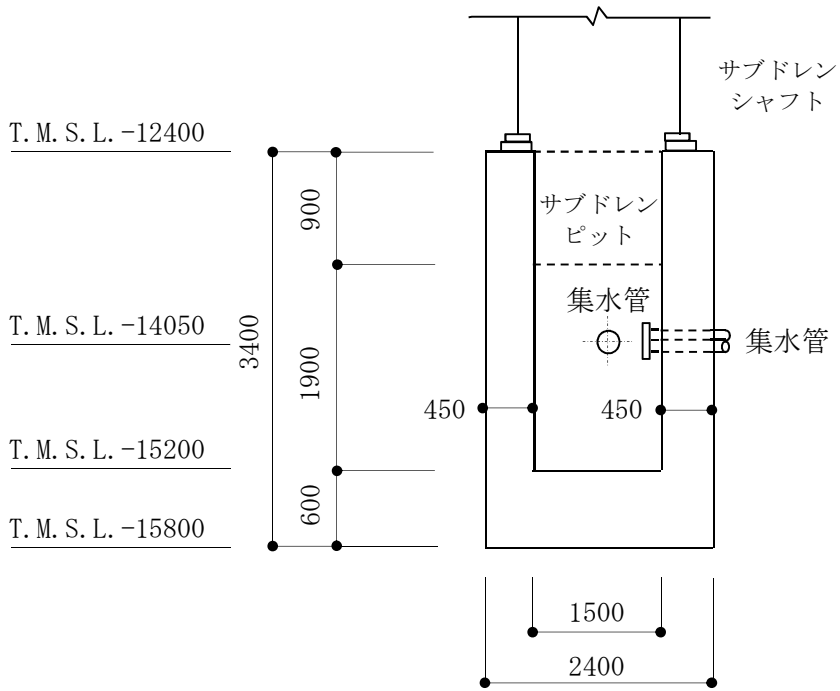


図 2-5 原子炉建屋サブドレンピットの概略断面図 (A-A断面) (単位 : mm)

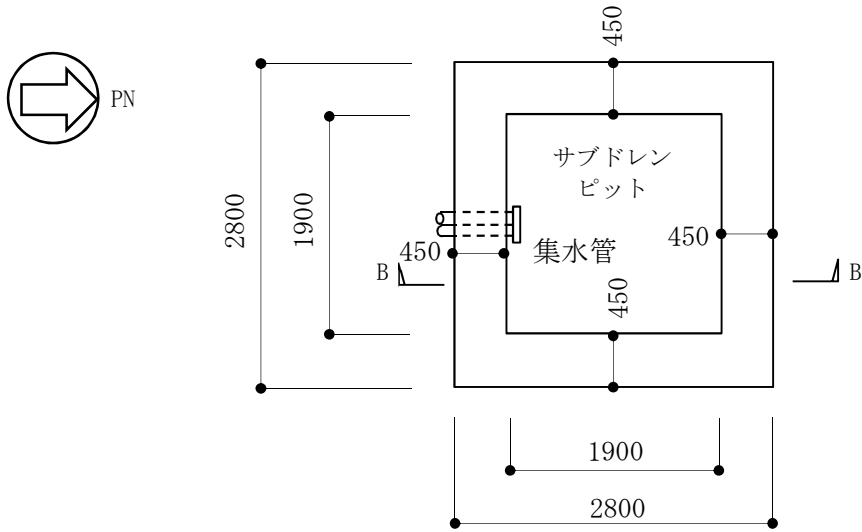


図 2-6 タービン建屋サブドレンピットの概略平面図 (T. M. S. L. -13.05m) (単位 : mm)

K6 ① VI-2-2-別添 1-2-1 R0

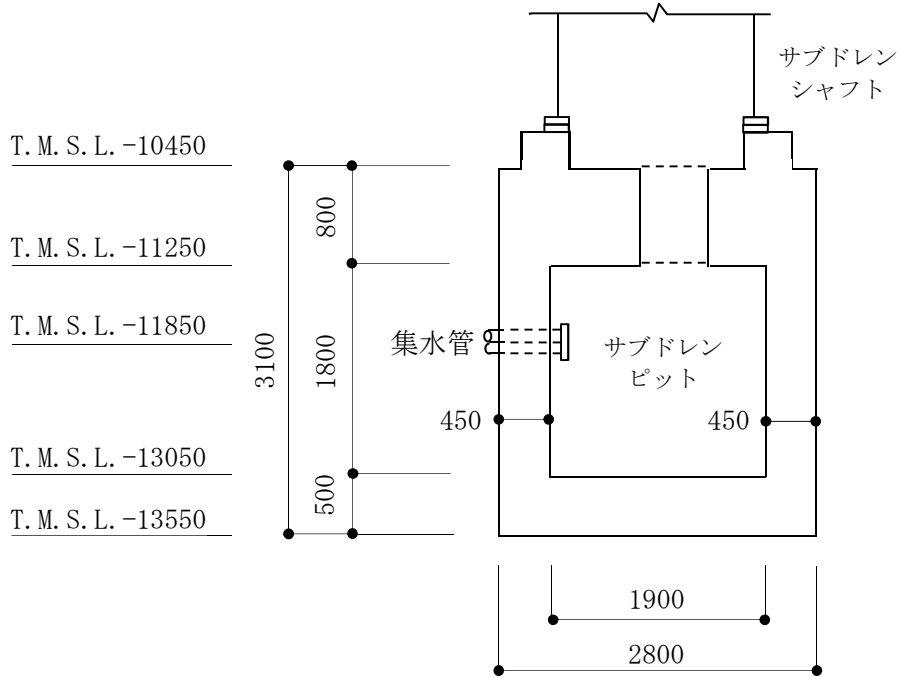


図 2-7 タービン建屋サブドレンピットの概略断面図 (B-B断面) (単位 : mm)

2.3 評価方針

地下水排水設備設置位置の地盤の応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図 2-8 に地下水排水設備設置位置の地盤の応答解析フローを示す。

地盤の応答解析は、「3.2 地盤応答解析モデル」において設定した地盤モデル及び「3.1 設計用模擬地震波」に基づき「3.3 地盤応答」を評価する。地盤モデルには、地盤物性の不確かさを考慮し、地盤応答として最大応答加速度を算出する。

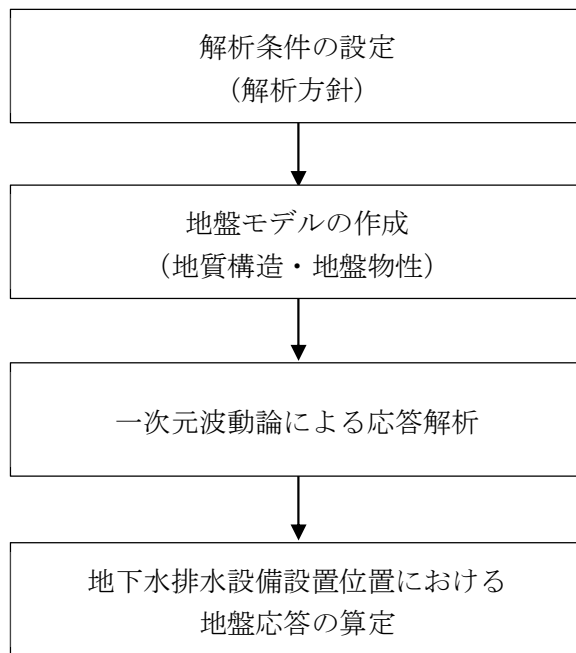


図 2-8 地下水排水設備設置位置の地盤の応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

地下水排水設備設置位置の地盤の応答解析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)

3. 解析方法

3.1 設計用模擬地震波

地盤モデルへの入力地震動は、VI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された基準地震動 S_s を用いることとする。

3.2 地盤応答解析モデル

地盤の応答解析は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動 S_s に対する地表面レベルでの地盤の応答を評価する。地盤の応答解析モデルは、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。

地盤の応答解析では地盤物性の不確かさを考慮し、地盤物性の不確かさは、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」と同じとする。地盤物性の不確かさを考慮する地盤の応答解析ケースと初期地盤の物性値を表 3-1 に示す。また、地盤ばねの算定に用いる地盤定数は初期地盤の物性値とひずみ依存特性から一次元波動論より求めた等価物性値とする。初期地盤の物性値及びひずみ依存特性は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。

水平方向及び鉛直方向の地盤の応答解析に用いる地層区分及び標準地盤の地盤定数を表 3-2～表 3-9 に示す。

表 3-1 地盤物性の不確かさを考慮する地盤の応答解析ケース（初期地盤の物性値）

標高 T. M. S. L. (m)	地層 区分	地盤のせん断波速度 (m/s)		
		標準地盤	地盤剛性+ σ	地盤剛性- σ
12.0 ~ 8.0	新期砂層	150	170	131
8.0 ~ 4.0		200	226	174
4.0 ~ -6.0	古安田層	330	413	248
-6.0 ~ -33.0	西山層	490	539	441
-33.0 ~ -90.0		530	583	477
-90.0 ~ -136.0		590	649	531
-136.0 ~ -155.0		650	715	585

表 3-2 地盤定数 (Ss-1)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.0996	0.369	0.27	23
+8.0		200	16.1	0.308	0.0788	0.657	0.12	28
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.01	1.92	0.53	6
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.22	4.75	0.89	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.28	6.14	0.86	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
-155.0	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	-
∞								

表 3-3 地盤定数 (Ss-2)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.107	0.369	0.29	19
+8.0		200	16.1	0.308	0.0722	0.657	0.11	26
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	0.979	1.92	0.51	5
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.32	4.75	0.91	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.64	6.14	0.92	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.82	8.32	0.94	3
-155.0	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	-
∞								

表 3-4 地盤定数 (Ss-3)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.121	0.369	0.33	21
+8.0		200	16.1	0.308	0.105	0.657	0.16	27
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.05	1.92	0.55	6
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.86	4.16	0.93	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.03	4.75	0.85	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.15	6.14	0.84	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.23	8.32	0.87	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

表 3-5 地盤定数 (Ss-4)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.121	0.369	0.33	18
+8.0		200	16.1	0.308	0.105	0.657	0.16	24
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.11	1.92	0.58	4
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.95	4.16	0.95	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.37	4.75	0.92	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.64	6.14	0.92	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.82	8.32	0.94	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

表 3-6 地盤定数 (Ss-5)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5 \text{kN/m}^2$)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5 \text{kN/m}^2$)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.114	0.369	0.31	16
+8.0		200	16.1	0.308	0.105	0.657	0.16	22
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.07	1.92	0.56	4
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.91	4.16	0.94	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.32	4.75	0.91	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.46	6.14	0.89	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.48	8.32	0.90	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

表 3-7 地盤定数 (Ss-6)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5 \text{kN/m}^2$)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5 \text{kN/m}^2$)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.114	0.369	0.31	18
+8.0		200	16.1	0.308	0.0919	0.657	0.14	24
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.09	1.92	0.57	4
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.95	4.16	0.95	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.32	4.75	0.91	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.52	6.14	0.90	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.65	8.32	0.92	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

表 3-8 地盤定数 (Ss-7)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.114	0.369	0.31	16
+8.0		200	16.1	0.308	0.105	0.657	0.16	21
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.09	1.92	0.57	3
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.91	4.16	0.94	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.27	4.75	0.90	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.40	6.14	0.88	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

表 3-9 地盤定数 (Ss-8)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.110	0.369	0.30	21
+8.0		200	16.1	0.308	0.0788	0.657	0.12	29
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.15	1.92	0.60	5
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.91	4.16	0.94	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.27	4.75	0.90	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.71	6.14	0.93	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.95	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

3.3 地盤応答

3.3.1 水平方向

水平方向の地盤応答は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動 S_s に対する地表面レベルでの地盤の応答として評価する。地盤応答の概念図を図3-1に示す。地盤応答の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。設定した地盤定数に基づき算定した地表面、サブドレンピット上部スラブ上面、底部スラブ上面及び原子炉建屋基礎スラブ底面の地盤の最大応答加速度を表3-10に、標準地盤における地盤の加速度応答スペクトルを図3-2～図3-3に示す。

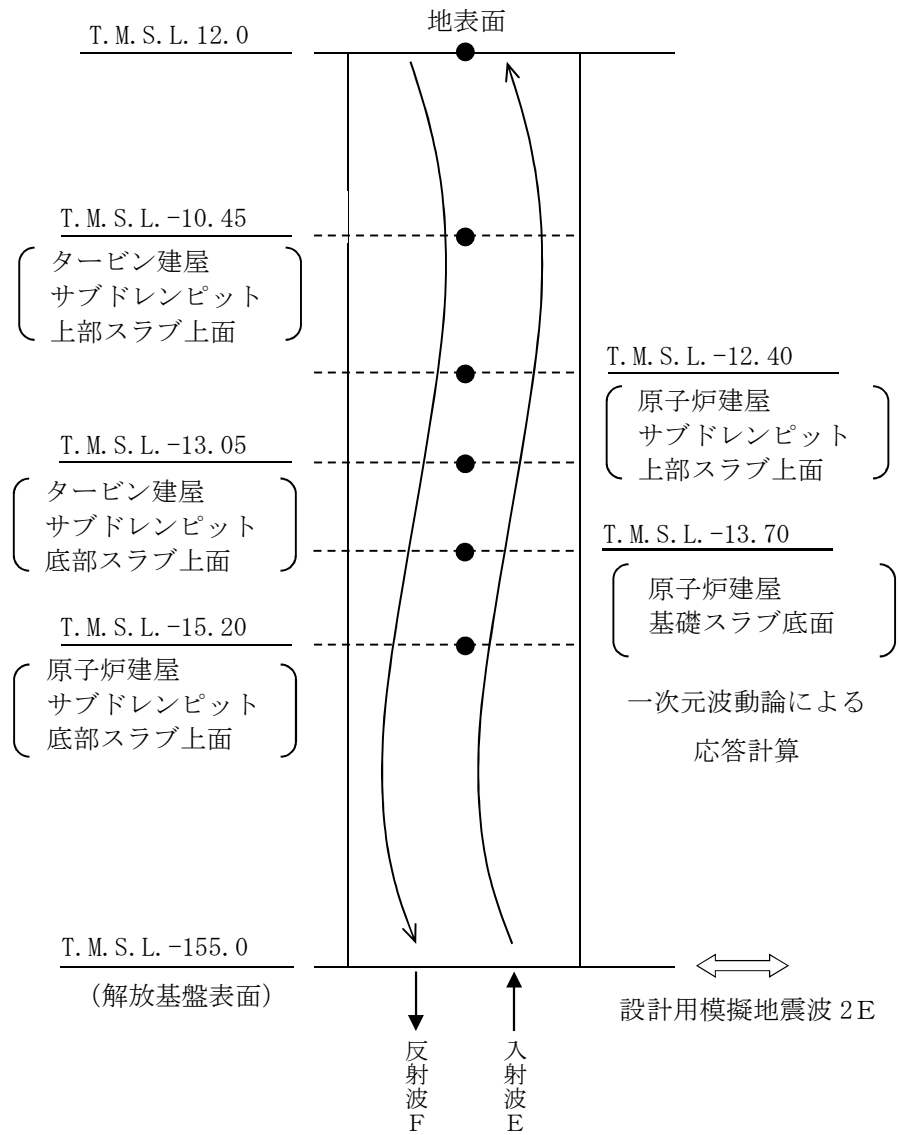


図 3-1 地盤応答の概念図 (水平方向) (単位 : m)

表 3-10 (1/3) 地盤の最大応答加速度 (標準地盤, 水平方向)

(単位: m/s²)

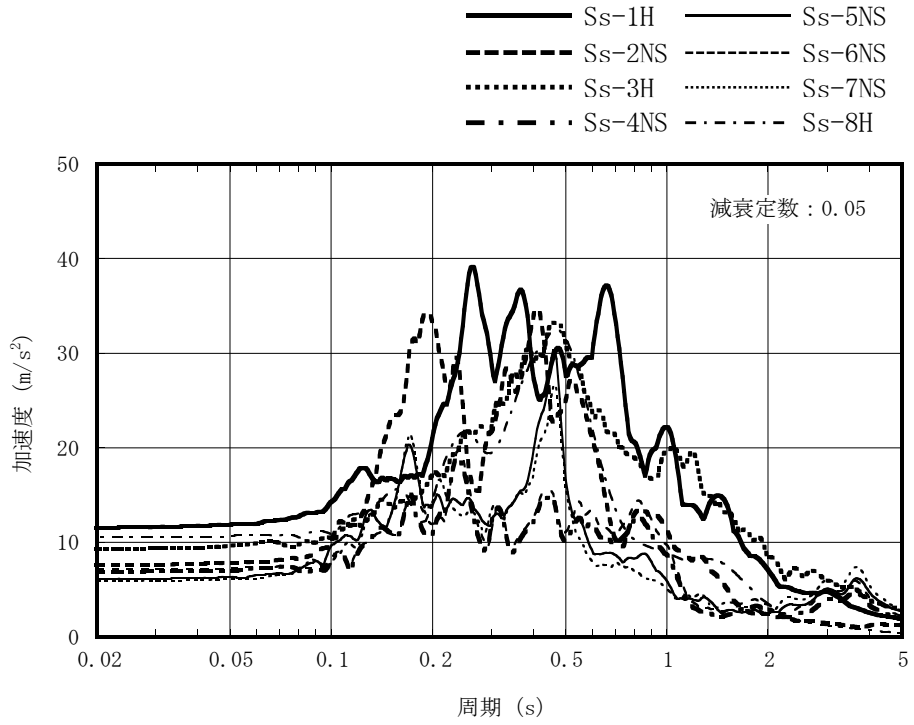
位置	方向	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
地表面 T. M. S. L. 12. 0m	NS	11. 53	7. 57	9. 30	6. 89	6. 12	7. 11	5. 90	10. 55
	EW		11. 35		9. 11	10. 22	9. 87	11. 37	
原子炉建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -12. 40m	NS	6. 49	4. 66	5. 90	2. 74	2. 58	2. 89	2. 41	4. 78
	EW		8. 42		4. 75	4. 78	4. 99	4. 94	
原子炉建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -15. 20m	NS	6. 07	4. 58	5. 93	2. 65	2. 46	2. 79	2. 30	4. 59
	EW		7. 71		4. 36	4. 37	4. 61	4. 71	
タービン建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -10. 45m	NS	6. 76	4. 62	5. 84	2. 79	2. 71	2. 96	2. 51	5. 14
	EW		8. 63		5. 03	5. 04	5. 28	5. 16	
タービン建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -13. 05m	NS	6. 37	4. 66	5. 91	2. 71	2. 55	2. 85	2. 38	4. 68
	EW		8. 29		4. 68	4. 68	4. 92	4. 87	
原子炉建屋 基礎スラブ底面 T. M. S. L. -13. 70m	NS	6. 24	4. 64	5. 92	2. 68	2. 52	2. 81	2. 36	4. 60
	EW		8. 14		4. 60	4. 59	4. 84	4. 81	

表 3-10 (2/3) 地盤の最大応答加速度 (地盤剛性+ σ , 水平方向)
(単位: m/s^2)

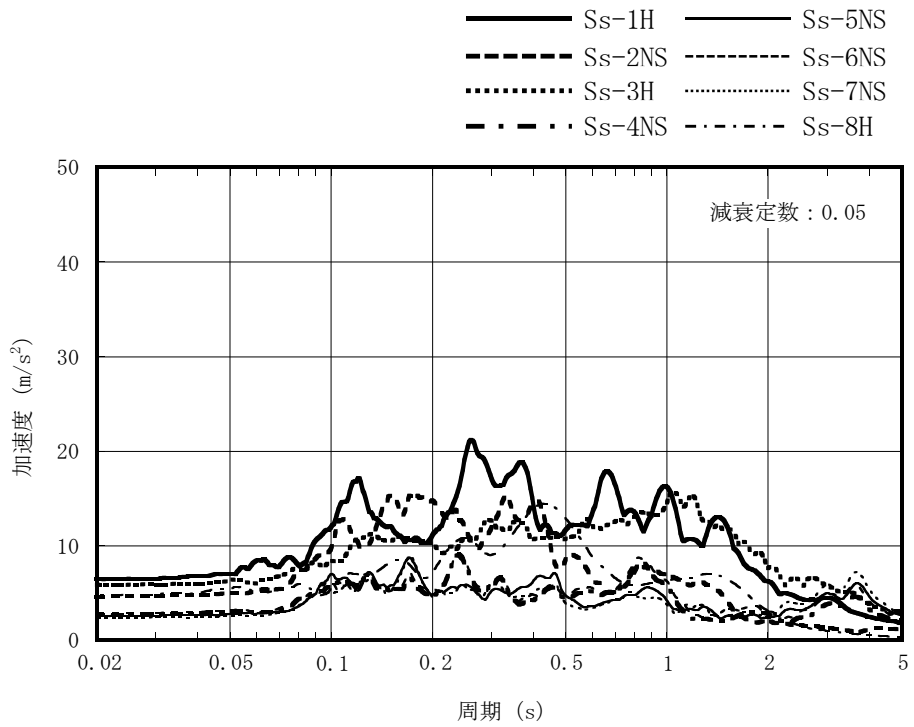
位置	方向	Ss-1	Ss-2
地表面 T. M. S. L. 12. 0m	NS	14. 13	7. 98
	EW		11. 74
原子炉建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -12. 40m	NS	6. 36	4. 52
	EW		7. 61
原子炉建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -15. 20m	NS	5. 68	4. 40
	EW		7. 96
タービン建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -10. 45m	NS	6. 90	4. 67
	EW		7. 19
タービン建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -13. 05m	NS	6. 17	4. 50
	EW		7. 72
原子炉建屋 基礎スラブ底面 T. M. S. L. -13. 70m	NS	5. 97	4. 48
	EW		7. 81

表 3-10 (3/3) 地盤の最大応答加速度 (地盤剛性 σ , 水平方向)
(単位: m/s^2)

位置	方向	Ss-1	Ss-2
地表面 T. M. S. L. 12. 0m	NS	10. 87	6. 60
	EW		10. 05
原子炉建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -12. 40m	NS	7. 07	5. 31
	EW		6. 67
原子炉建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -15. 20m	NS	6. 69	5. 11
	EW		6. 41
タービン建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -10. 45m	NS	7. 20	5. 37
	EW		7. 02
タービン建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -13. 05m	NS	7. 01	5. 29
	EW		6. 57
原子炉建屋 基礎スラブ底面 T. M. S. L. -13. 70m	NS	6. 94	5. 26
	EW		6. 47

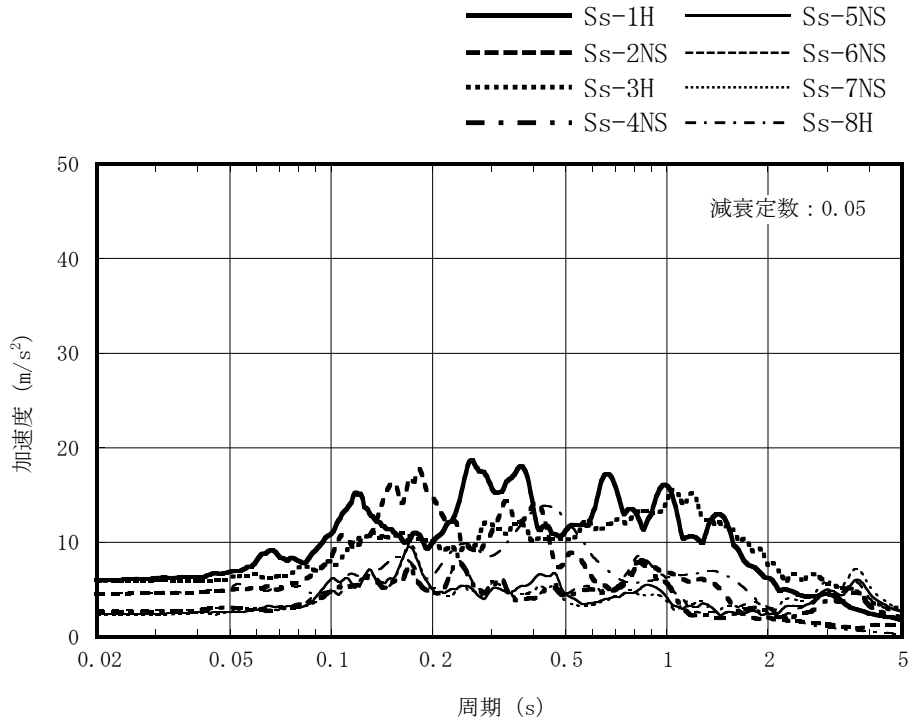


(a) 地表面 (T. M. S. L. 12. 0m)

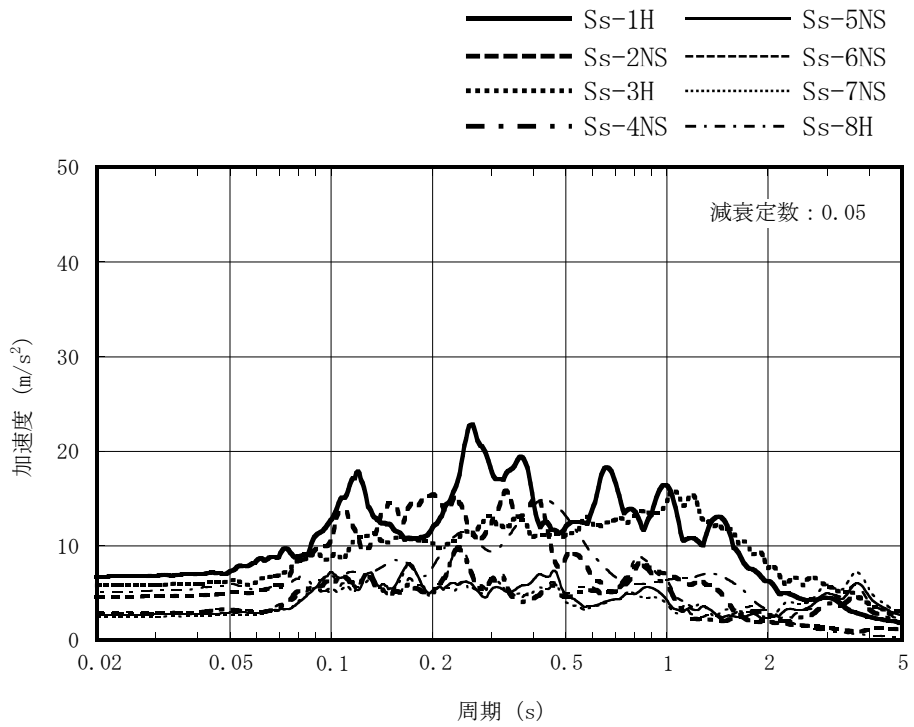


(b) 原子炉建屋サブドレンピット上部スラブ上面 (T. M. S. L. -12. 40m)

図 3-2 (1/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, NS 方向)

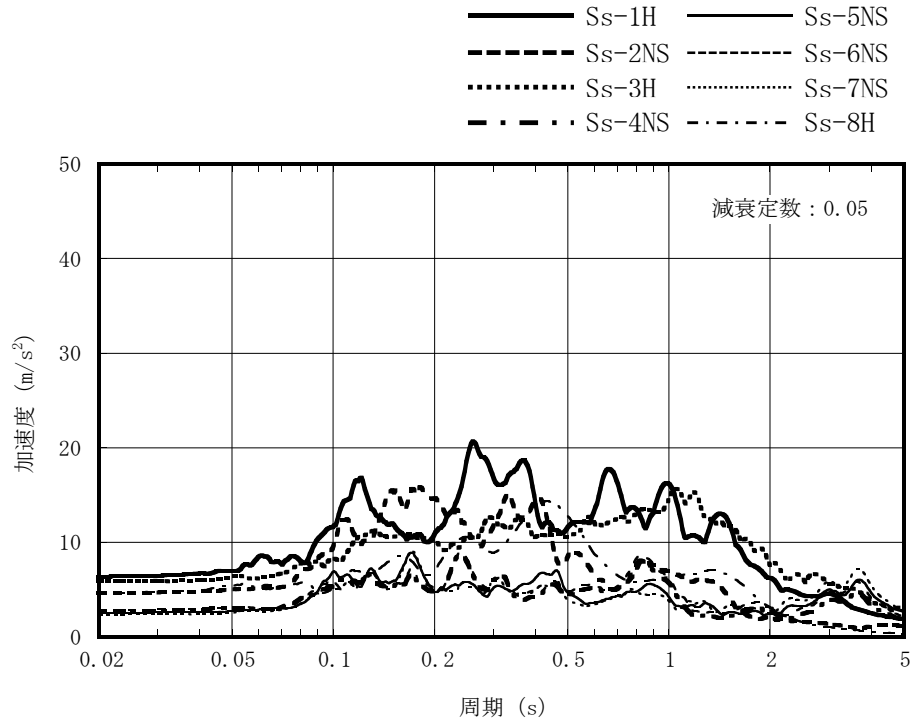


(c) 原子炉建屋サブドレンピット底部スラブ上面 (T. M. S. L. -15. 20m)



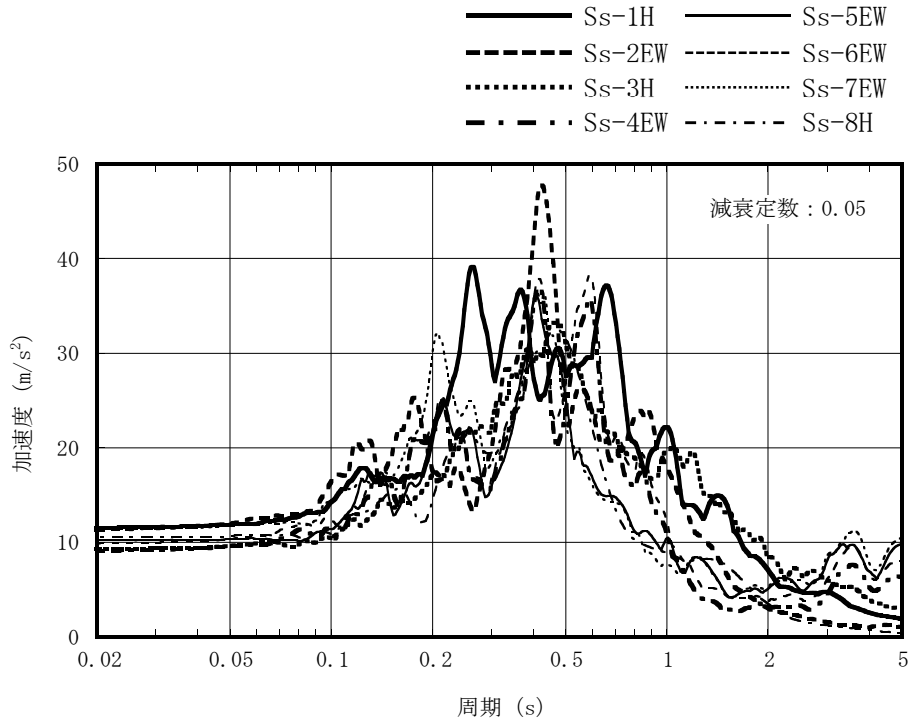
(d) タービン建屋サブドレンピット上部スラブ上面 (T. M. S. L. -10. 45m)

図 3-2 (2/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, NS 方向)

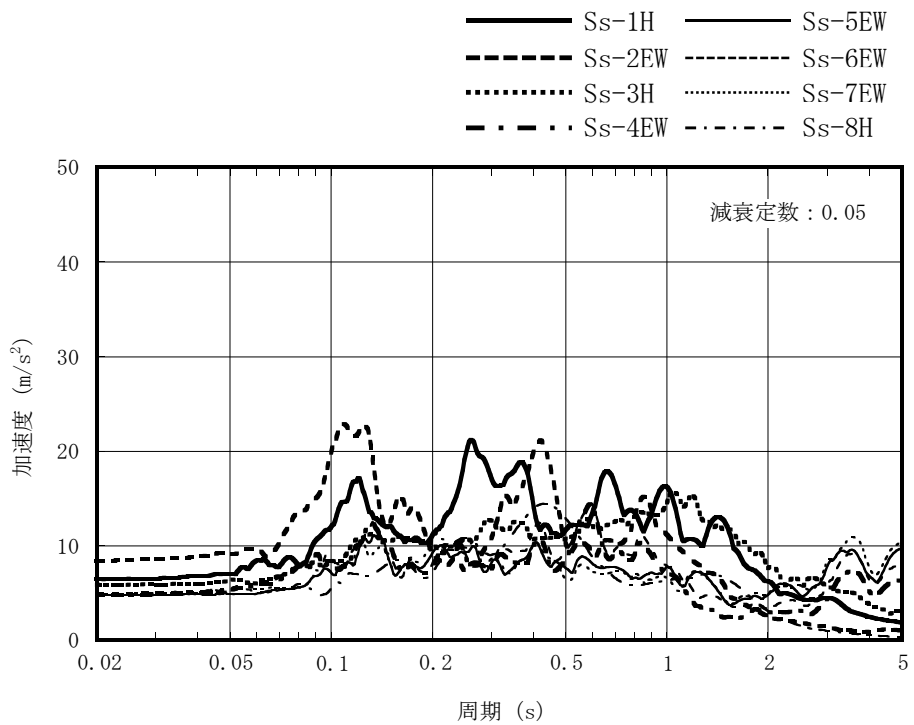


(e) タービン建屋サブドレンピット底部スラブ上面 (T. M. S. L. -13.05m)

図 3-2 (3/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, NS 方向)

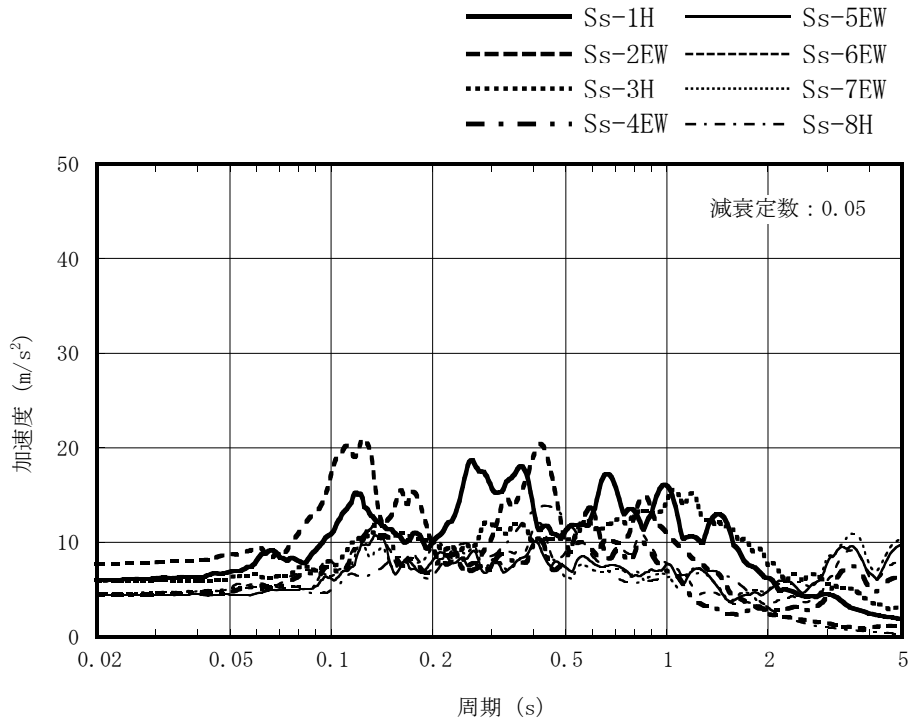


(a) 地表面 (T.M.S.L. 12.0m)

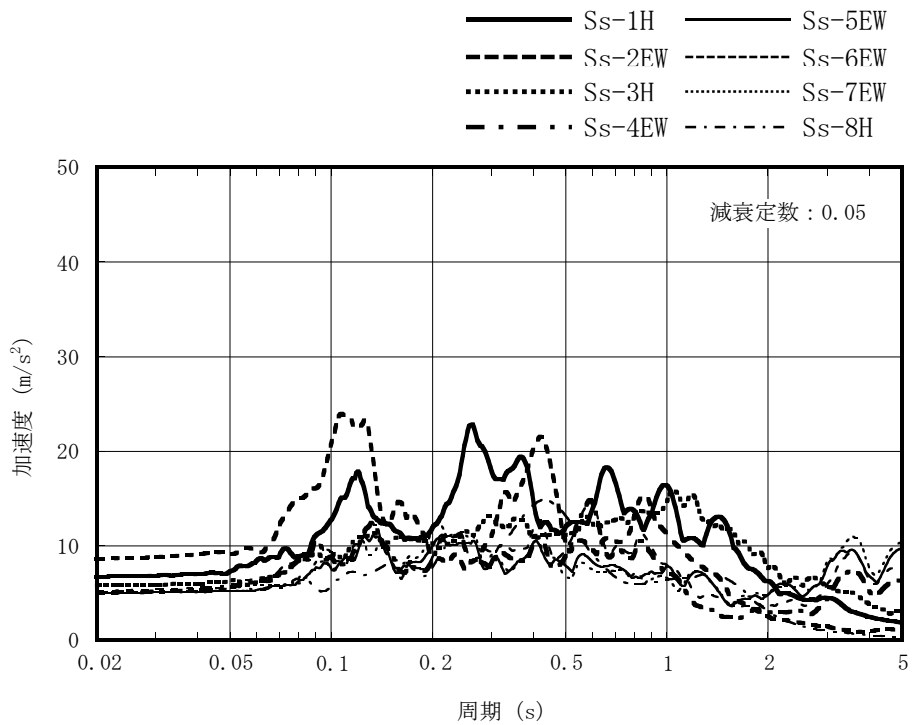


(b) 原子炉建屋サブドレンピット上部スラブ上面 (T.M.S.L. -12.40m)

図 3-3 (1/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, EW 方向)

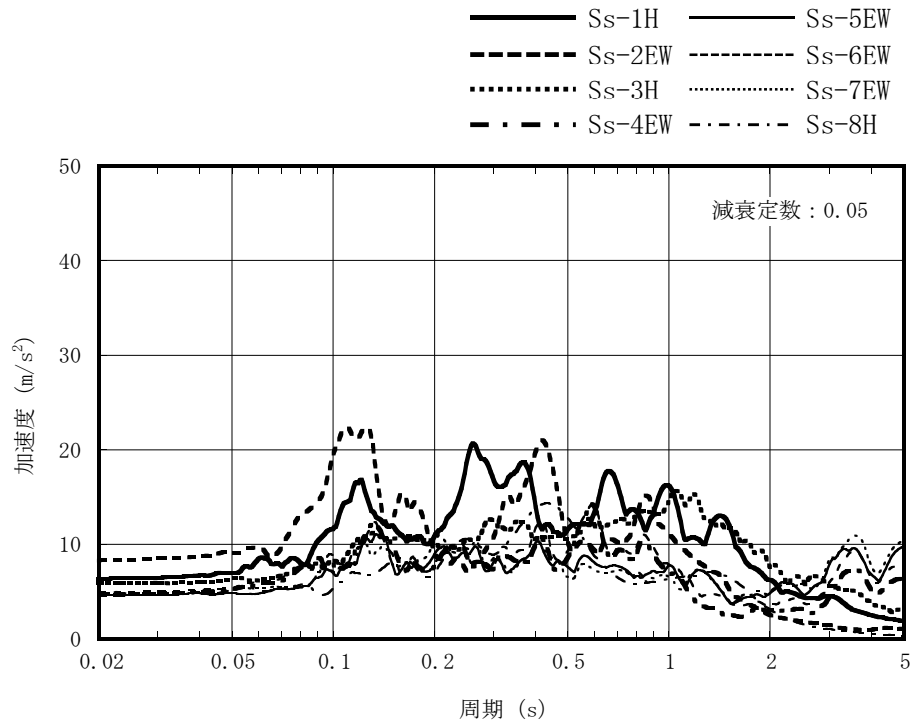


(c) 原子炉建屋サブドレンピット底部スラブ上面 (T. M. S. L. -15. 20m)



(d) タービン建屋サブドレンピット上部スラブ上面 (T. M. S. L. -10. 45m)

図 3-3 (2/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, EW 方向)



(e) タービン建屋サブドレンピット底部スラブ上面 (T. M. S. L. -13.05m)

図 3-3 (3/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, EW 方向)

3.3.2 鉛直方向

鉛直方向の地盤応答は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルで定義された基準地震動 S_s に対する地表面レベルでの地盤の応答として評価する。地盤応答の概念図を図3-4に示す。地盤応答の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。設定した地盤定数に基づき算定した地表面、サブドレンピット上部スラブ上面、底部スラブ上面及び原子炉建屋基礎スラブ底面の地盤の最大応答加速度を表3-11に、標準地盤における地盤の加速度応答スペクトルを図3-5に示す。

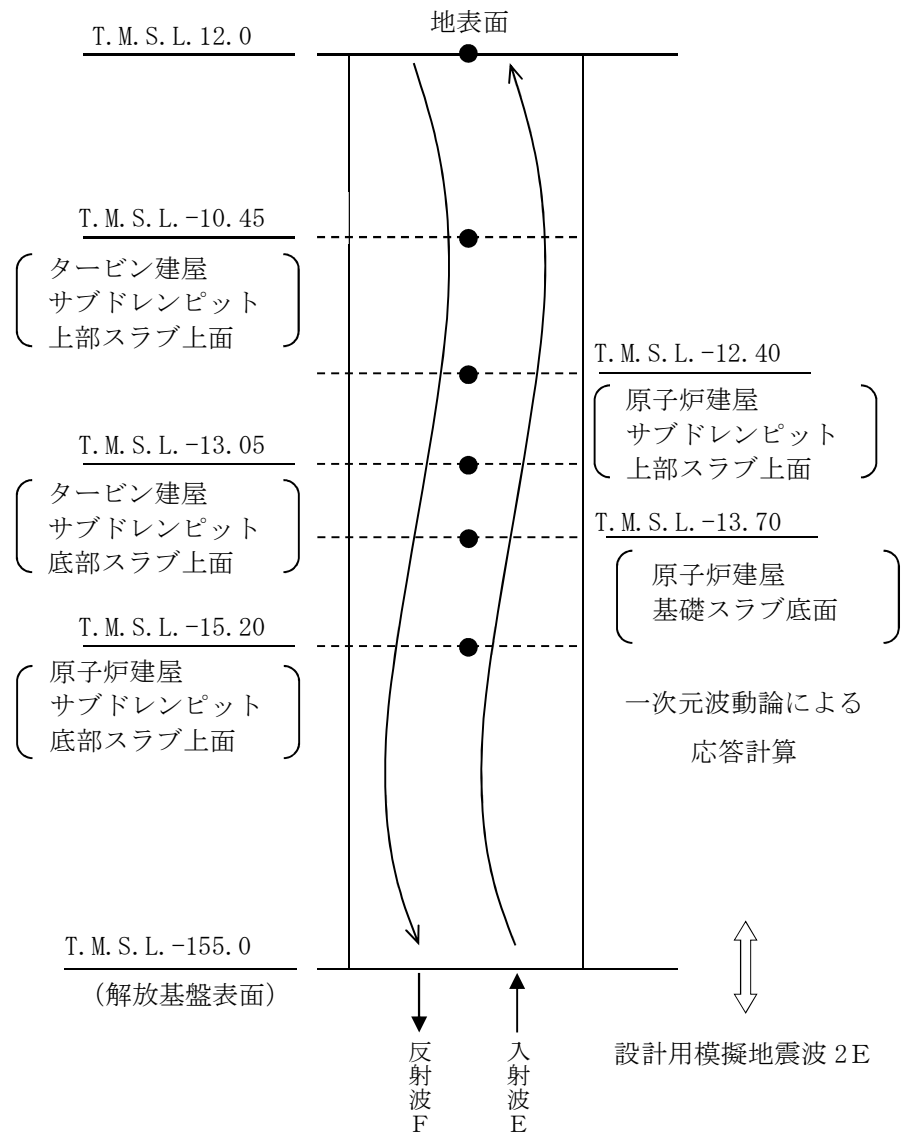


図 3-4 地盤応答の概念図 (鉛直方向) (単位 : m)

表 3-11 (1/3) 地盤の最大応答加速度 (標準地盤, 鉛直方向)

(単位: m/s²)

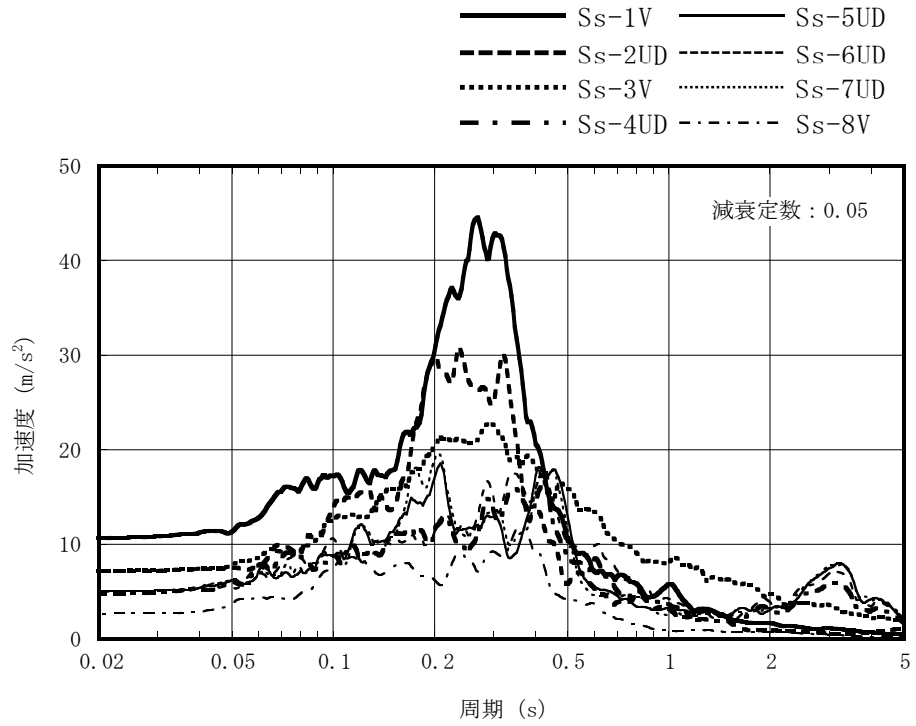
位置	方向	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
地表面 T. M. S. L. 12. 0m	鉛直	10. 64	7. 14	7. 21	4. 73	5. 01	5. 02	4. 99	2. 70
原子炉建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -12. 40m	鉛直	5. 80	4. 04	4. 68	2. 90	3. 08	3. 26	2. 91	2. 49
原子炉建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -15. 20m	鉛直	5. 80	3. 84	4. 65	2. 85	3. 04	3. 18	2. 82	2. 39
タービン建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -10. 45m	鉛直	5. 78	4. 15	4. 71	2. 94	3. 12	3. 31	2. 98	2. 55
タービン建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -13. 05m	鉛直	5. 80	3. 99	4. 67	2. 89	3. 07	3. 24	2. 89	2. 47
原子炉建屋 基礎スラブ底面 T. M. S. L. -13. 70m	鉛直	5. 80	3. 95	4. 66	2. 88	3. 06	3. 22	2. 87	2. 45

表 3-11 (2/3) 地盤の最大応答加速度 (地盤剛性+ σ , 鉛直方向)
(単位: m/s^2)

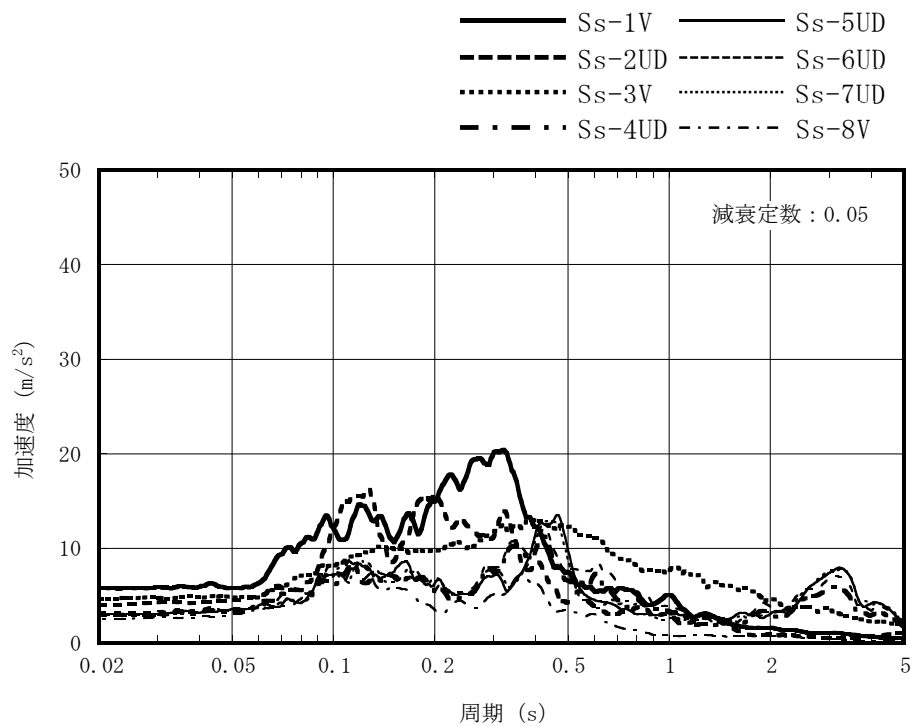
位置	方向	Ss-1	Ss-2
地表面 T. M. S. L. 12. 0m	鉛直	10. 54	7. 75
原子炉建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -12. 40m	鉛直	5. 46	3. 97
原子炉建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -15. 20m	鉛直	5. 47	3. 84
タービン建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -10. 45m	鉛直	5. 44	4. 05
タービン建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -13. 05m	鉛直	5. 46	3. 94
原子炉建屋 基礎スラブ底面 T. M. S. L. -13. 70m	鉛直	5. 46	3. 92

表 3-11 (3/3) 地盤の最大応答加速度 (地盤剛性 σ , 鉛直方向)
(単位: m/s^2)

位置	方向	Ss-1	Ss-2
地表面 T. M. S. L. 12. 0m	鉛直	9. 80	5. 49
原子炉建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -12. 40m	鉛直	6. 09	3. 65
原子炉建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -15. 20m	鉛直	6. 06	3. 54
タービン建屋 サブドレンピット 上部スラブ上面 T. M. S. L. -10. 45m	鉛直	6. 11	3. 72
タービン建屋 サブドレンピット 底部スラブ上面 T. M. S. L. -13. 05m	鉛直	6. 09	3. 62
原子炉建屋 基礎スラブ底面 T. M. S. L. -13. 70m	鉛直	6. 08	3. 60

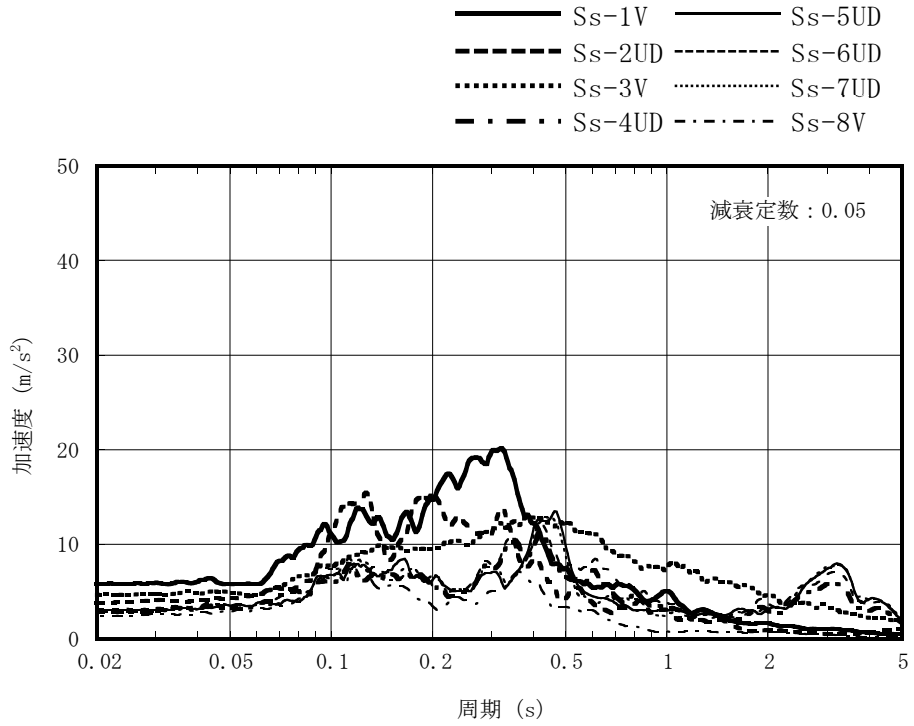


(a) 地表面 (T. M. S. L. 12. 0m)

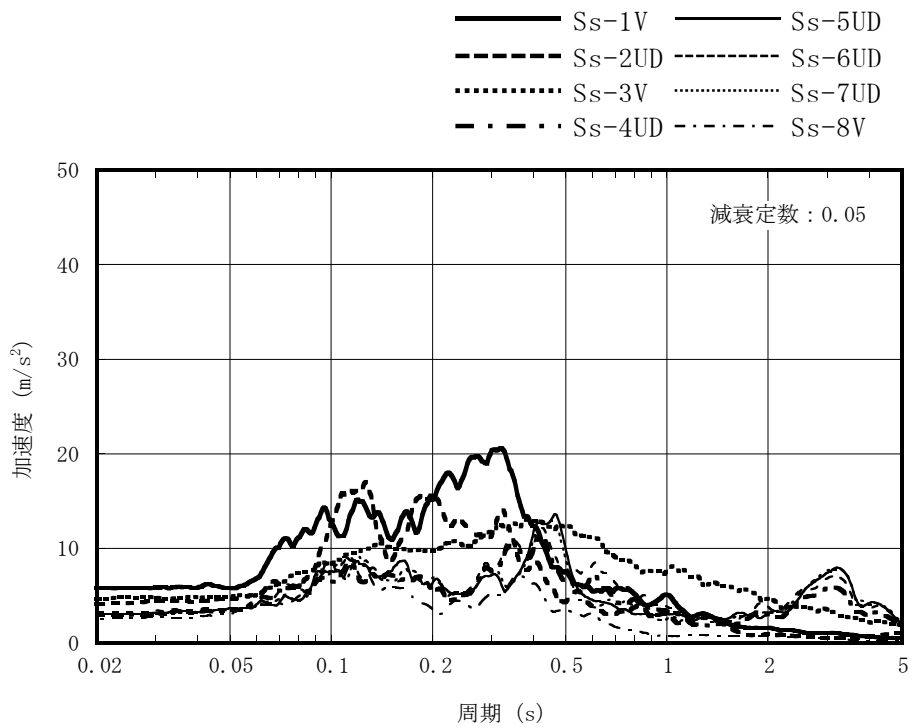


(b) 原子炉建屋サブドレンピット上部スラブ上面 (T. M. S. L. -12. 40m)

図 3-5 (1/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, 鉛直方向)

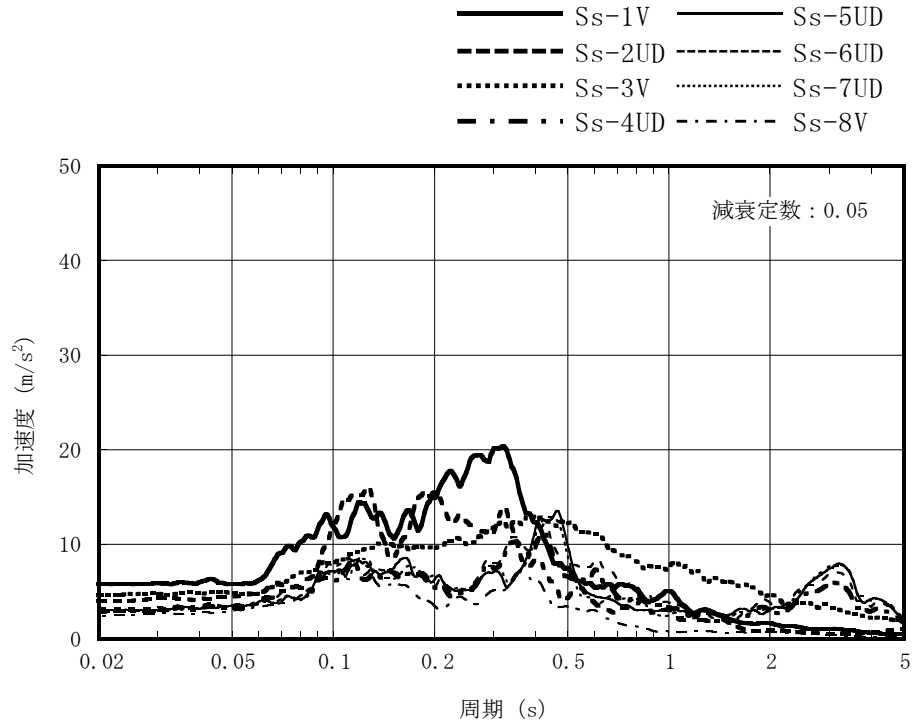


(c) 原子炉建屋サブドレンピット底部スラブ上面 (T.M.S.L. -15.20m)



(d) タービン建屋サブドレンピット上部スラブ上面 (T.M.S.L. -10.45m)

図 3-5 (2/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, 鉛直方向)



(e) タービン建屋サブドレンピット底部スラブ上面 (T.M.S.L. -13.05m)

図 3-5 (3/3) 地盤の加速度応答スペクトル (標準地盤, 鉛直方向)

VI-2-2-別添 1-2-2 サブドレンポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の測定方法	7
4.3 固有周期の測定結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2 許容応力	8
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
5.3 設計用地震力	11
5.4 計算方法	12
5.4.1 応力の計算方法	12
5.5 計算条件	15
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	15
5.5.2 取付ボルトの応力計算条件	15
5.6 応力の評価	15
5.6.1 ボルトの応力評価	15
6. 機能維持評価	16
6.1 動的機能維持評価方法	16
7. 評価結果	16

1. 概要

6号機地下水排水設備は、建屋の耐震性を確保するため地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有する。

6号機地下水排水設備の評価においては、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち、「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」及びVI-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、6号機地下水排水設備のうちサブドレンポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サブドレンポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
サブドレンポンプはポンプ取付ボルトで架台に固定する。架台は基礎ボルトで床に固定する。	水中ポンプ	<p>平面図 (A-A矢視)</p> <p>平面図 (B-B矢視)</p> <p>正面図</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

サブドレンポンプの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すサブドレンポンプの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、サブドレンポンプの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機器の機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

サブドレンポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

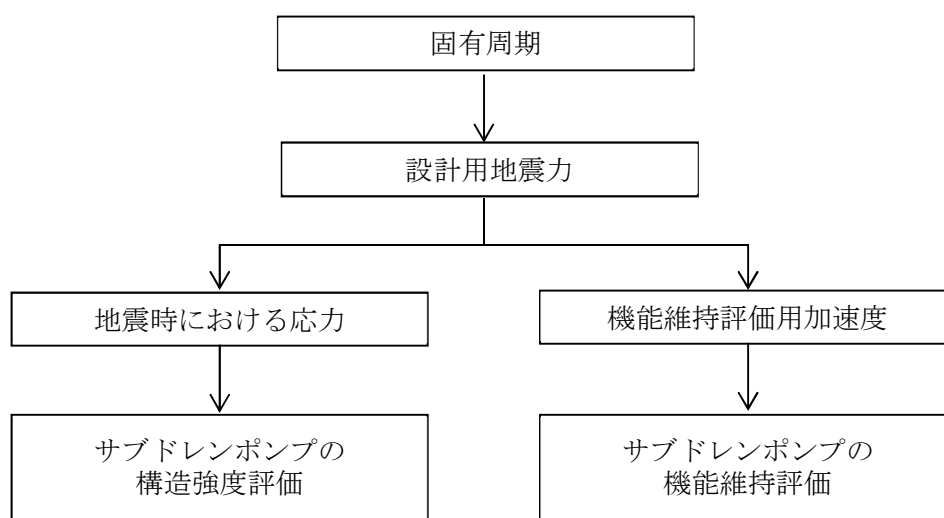


図2-1 サブドレンポンプの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版含む。)) J S M E S
N C 1-2005/2007) ((社) 日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	ボルトのピッチ円直径* ¹	mm
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H_P	予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
L_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
L_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m_i	運転時質量* ²	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , D_i , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , L_{1i} , L_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、次頁のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: ポンプ取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ポンプ取付面

*3 : $L_{1i} \leq L_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりにする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1 : 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2 : 絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

サブドレンポンプの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

サブドレンポンプの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

サブドレンポンプの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の測定方法

振動試験装置により固有周期を測定する。サブドレンポンプの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の測定結果

固有周期の測定結果を表 4-1 に示す。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛である事を確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	0.036
鉛直	0.024

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) ポンプは取付ボルトで架台に固定し、架台は基礎ボルトで基礎に固定する。
- (4) 転倒方向は表 2-1 概要構造図における正面方向及び平面方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 設計用地震力はVI-2-2-別添 1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」に基づき設定する。

なお、サブドレンポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の1.2倍の値を用いて評価する。

- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サブドレンポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

サブドレンポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サブドレンポンプの使用材料の許容応力の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
施設共通 (地震)	6号機地下水 排水設備	サブドレンポンプ	—	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
浸水防護施設	6号機地下水 排水設備	サブドレンポンプ	—	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 5-2 許容応力

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
基礎ボルト	SUS316L	最高使用温度	40	175	480	—
取付ボルト	SUS316L	最高使用温度	40	175	480	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-2-別添 1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度*1	鉛直方向 設計震度*1
原子炉建屋 サブドレンピット (6R-1) T.M.S.L. -15.20*2	0.036	0.024	—	—	C _H =1.02	C _V =0.75
タービン建屋 サブドレンピット (6T-7) T.M.S.L. -13.05*2	0.036	0.024	—	—	C _H =1.02	C _V =0.75

注記*1：設計震度は原子炉建屋及びタービン建屋を包絡したものを適用。

*2：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

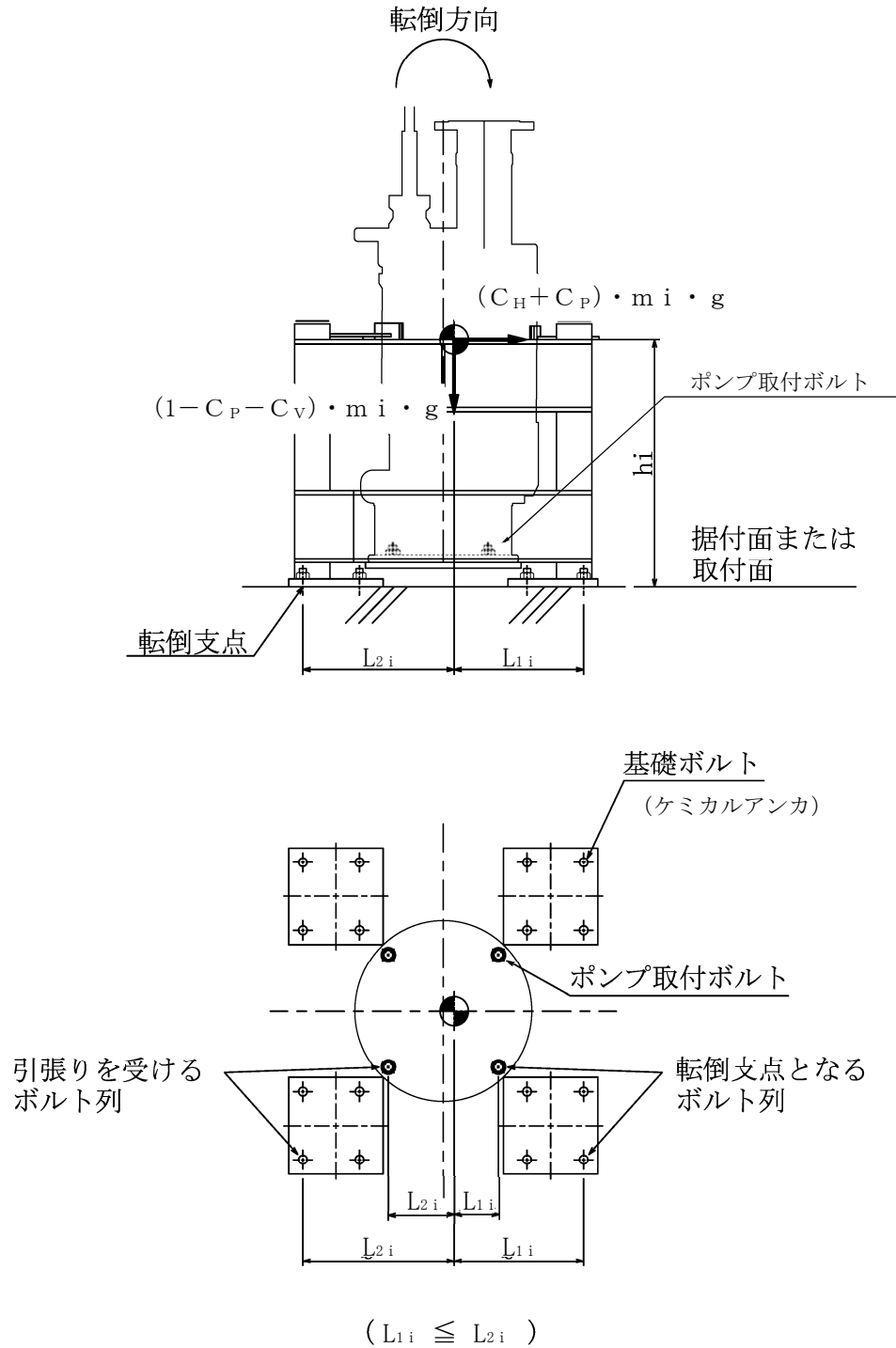


図 5-1 計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-1で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図5-1の引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_i - m_i \cdot g \cdot (1 - C_P - C_V) \cdot L_{1i}}{n_{fi} \cdot (L_{1i} + L_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_V \cdot L_{1i}) + m_i \cdot C_P \cdot g \cdot (h_i + L_{1i}) - m_i \cdot g \cdot L_{1i}}{n_{fi} \cdot (L_{1i} + L_{2i})}$$

..... (5.4.1.1.1)

また、 C_P はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000}$$

..... (5.4.1.1.2)

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{n_{fi} \cdot A_{bi}}$$

..... (5.4.1.1.3)

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2$$

..... (5.4.1.1.4)

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。なお、基礎ボルト($i=1$)については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

$$Q_{bi} = (C_H + C_P) \cdot m_i \cdot g$$

..... (5.4.1.1.5)

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + 2 \cdot M_P / D_i}{n_i \cdot A_{bi}}$$

..... (5.4.1.1.6)

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は次式で求める。

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

(1kW = 10^6 N · mm / s)

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【サブドレンポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【サブドレンポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

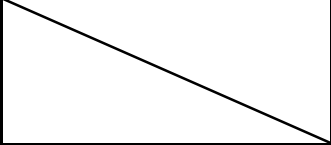
5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \cdots \cdots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

サブドレンポンプの動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-2-別添 1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」に基づき設定する。

サブドレンポンプの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同型式のポンプの加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
サブドレンポンプ	水平	0.86
	鉛直	0.99

7. 評価結果

サブドレンポンプの耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サブドレンポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度*2	鉛直方向設計震度*2			
原子炉建屋 (ピット 6R-1) サブドレンポンプ (A), (B)	—	地下水排水設備室 T.M.S.L. -15.20*1	0.036	0.024	—	—	C _H =1.02	C _V =0.75	C _P =0.21	40	—
タービン建屋 (ピット 6T-7) サブドレンポンプ (A), (B)	—	地下水排水設備室 T.M.S.L. -13.05*1	0.036	0.024	—	—	C _H =1.02	C _V =0.75	C _P =0.21	40	—

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計震度は原子炉建屋及びタービン建屋を包絡したものを適用。

2. 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	L _{1i} (mm)	L _{2i} (mm)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}
基礎ボルト (i=1)	341	345	286*	310*	—	16 (M16)	201	16	4
			306*	310*					
ポンプ取付ボルト (i=2)	179	398	94*	140*	330	16 (M16)	201	4	2
			115*	119*					

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は、短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は、長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)	H _P (μm)	N (rpm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s			
基礎ボルト (i=1)	175	480	—	210	—	水平	—	40	3000
ポンプ取付ボルト (i=2)	175	480	—	210	—	水平	4.775×10 ⁴	40	3000

3. 計算数値

3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	580.2	—	4.113×10 ³
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	1.827×10 ³	—	2.159×10 ³

4. 結論

4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SUS316L	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=1$	$f_{ts1}=126^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=96$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SUS316L	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=157^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=121$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

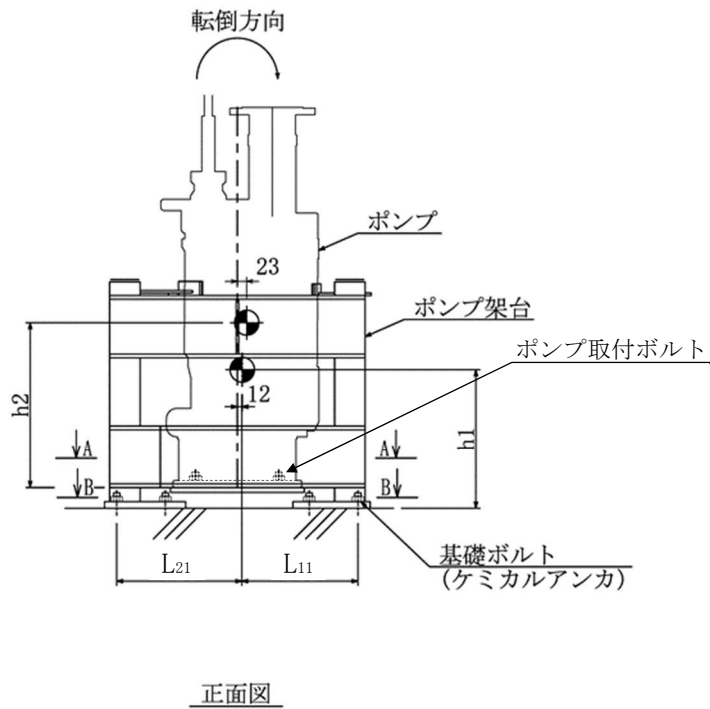
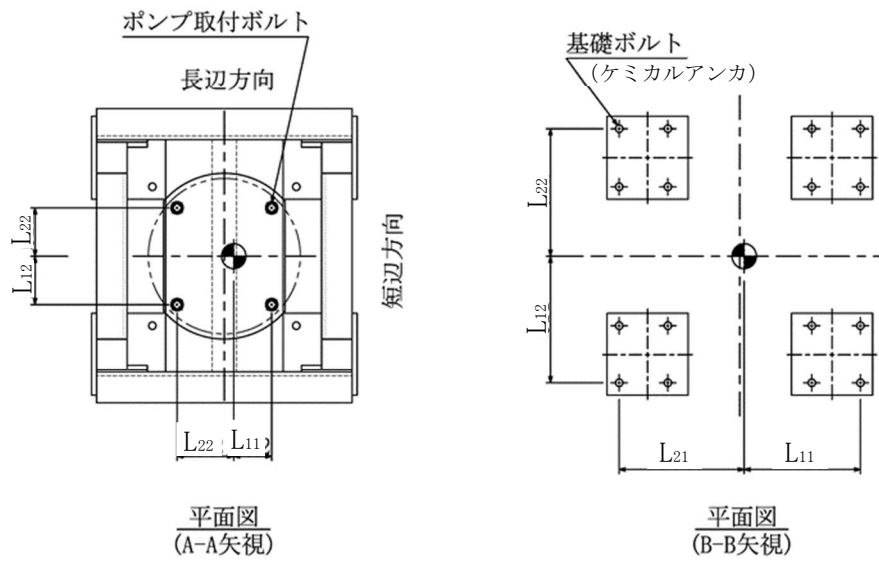
4.2 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
サブドレンポンプ	水平方向	0.85	0.86
	鉛直方向	0.62	0.99

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



(単位：mm)

VI-2-2-別添 1-2-3 管の耐震性についての計算書

設計基準対象設備

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	10
3.1 計算方法	10
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
3.3 設計条件	12
3.4 材料及び許容応力	24
3.5 設計用地震力	25
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	40
4.2.1 管の応力評価結果	40
4.2.2 支持構造物評価結果	41
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	42

1. 概要

6号機地下水排水設備は、建屋の耐震性を確保するため地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有する。

6号機地下水排水設備の評価においては、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち、「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」及びVI-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」、VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」及びVI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、6号機地下水排水設備のうち管及び支持構造物が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示す通り。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単元に記載する。また、全2モデルのうち各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.3に記載する。


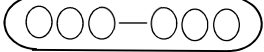
(2) 支持構造物

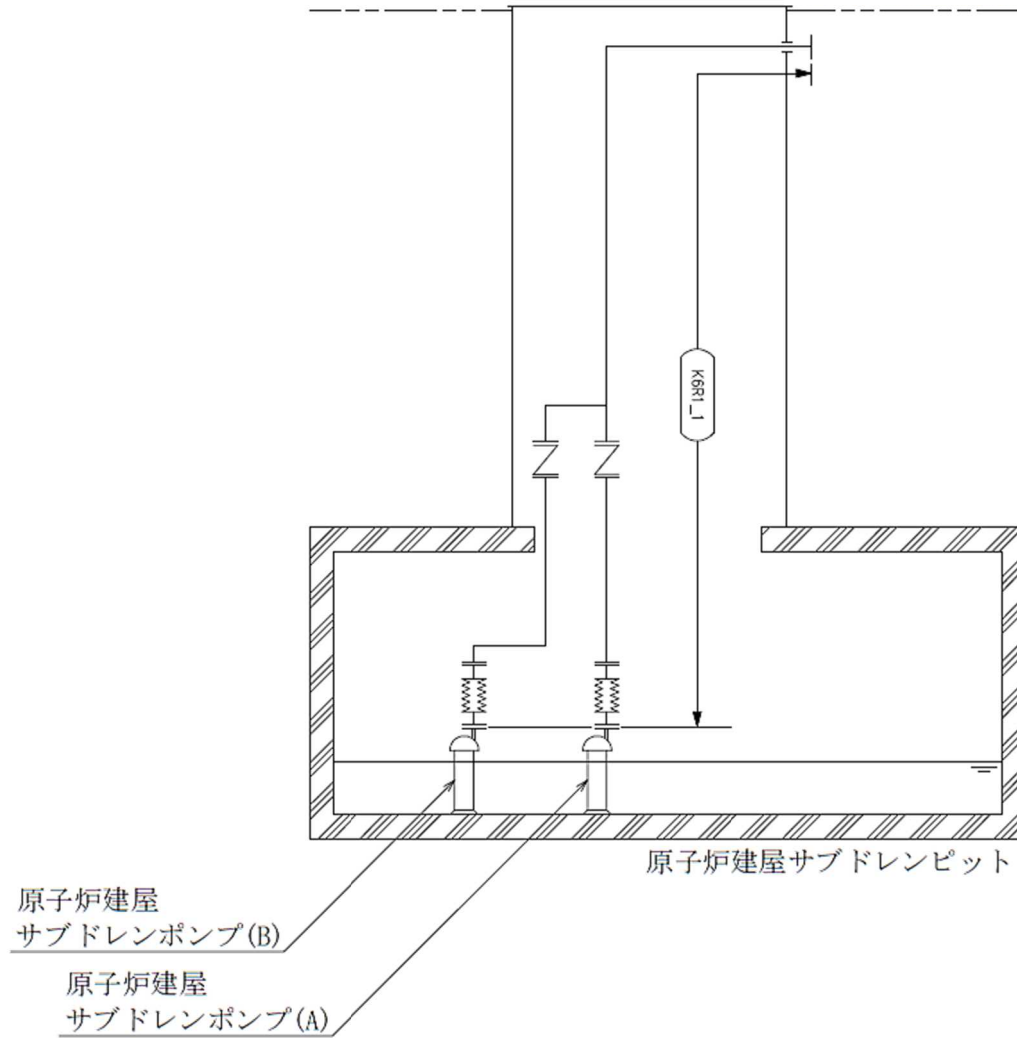
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとに反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

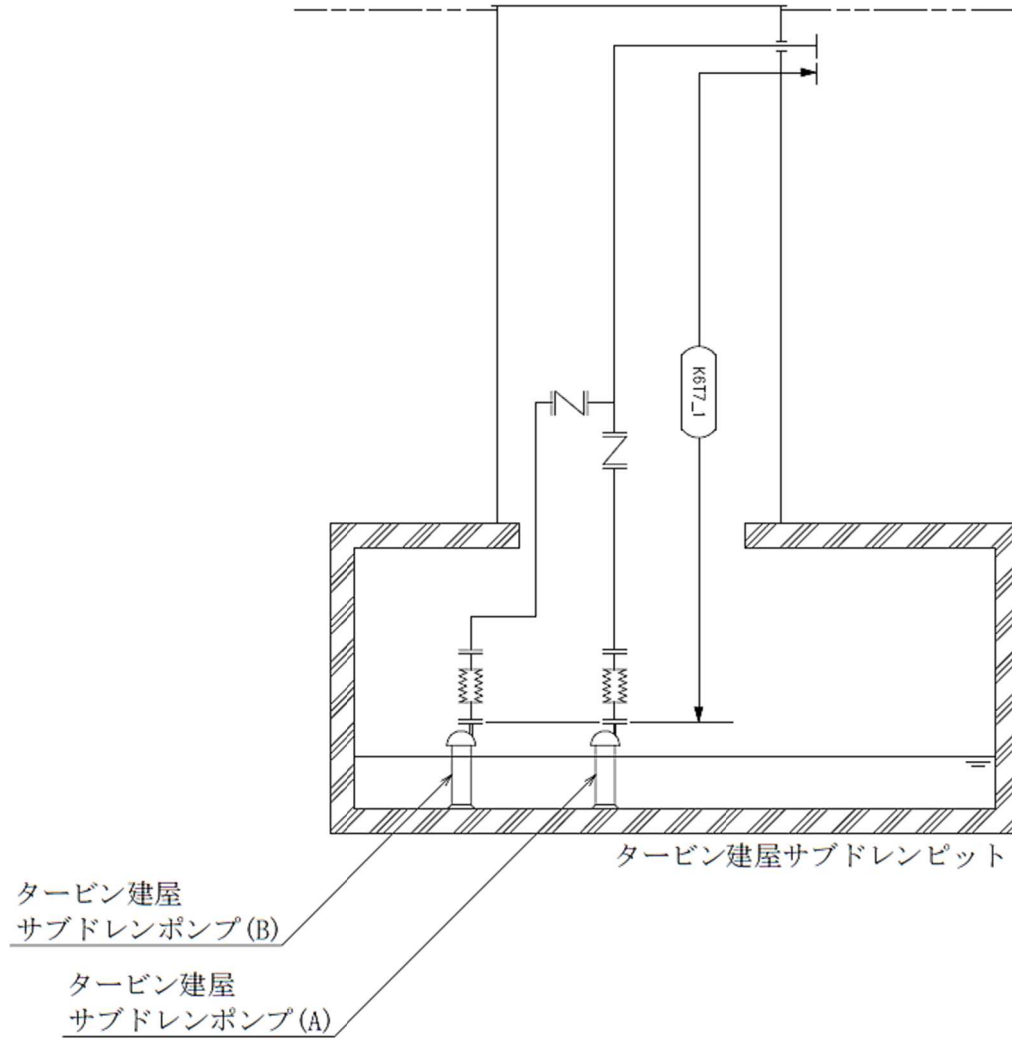
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち, 本計算書記載範囲の管
	鳥瞰図番号





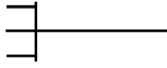
6号機地下水排水設備概略系統図

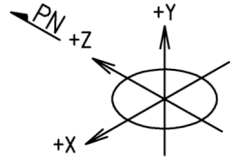


6号機地下水排水設備概略系統図

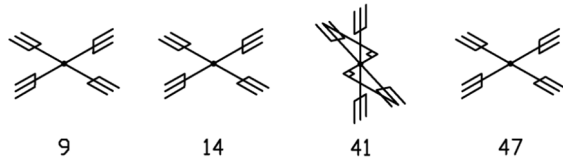
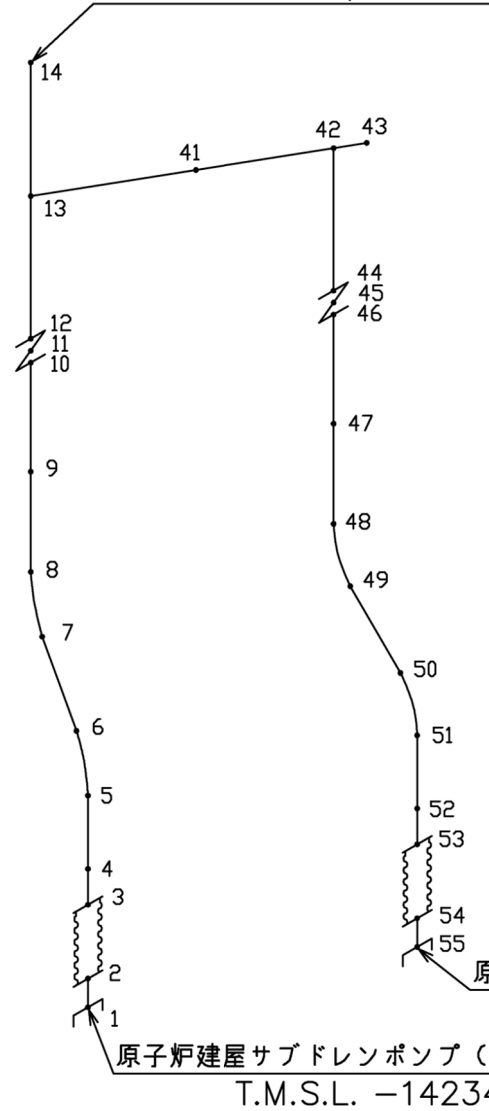
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち, 本計算書記載範囲の管
	質点
	レストレイント



鳥瞰図 K6R-1-2/2 に接続



解断点	より	解断点	実長 (mm)
1	-	5 6	1184
5	-	6 R	83
5 6	-	7 8	528
7	-	8 R	83
7 8	-	9	527
9	-	13	2300
13	-	14	600
13	-	41	450
41	-	42	226
42	-	43	151
42	-	47	2300
47	-	48 49	564
48	-	49 R	83
48 49	-	50 51	475
50	-	51 R	83
50 51	-	55	1184

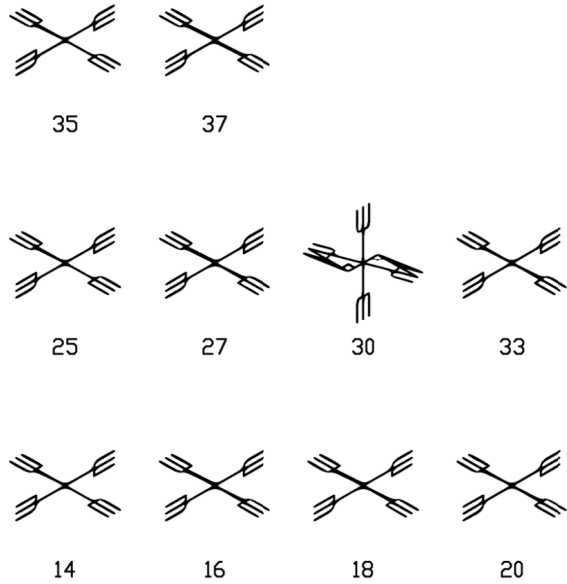
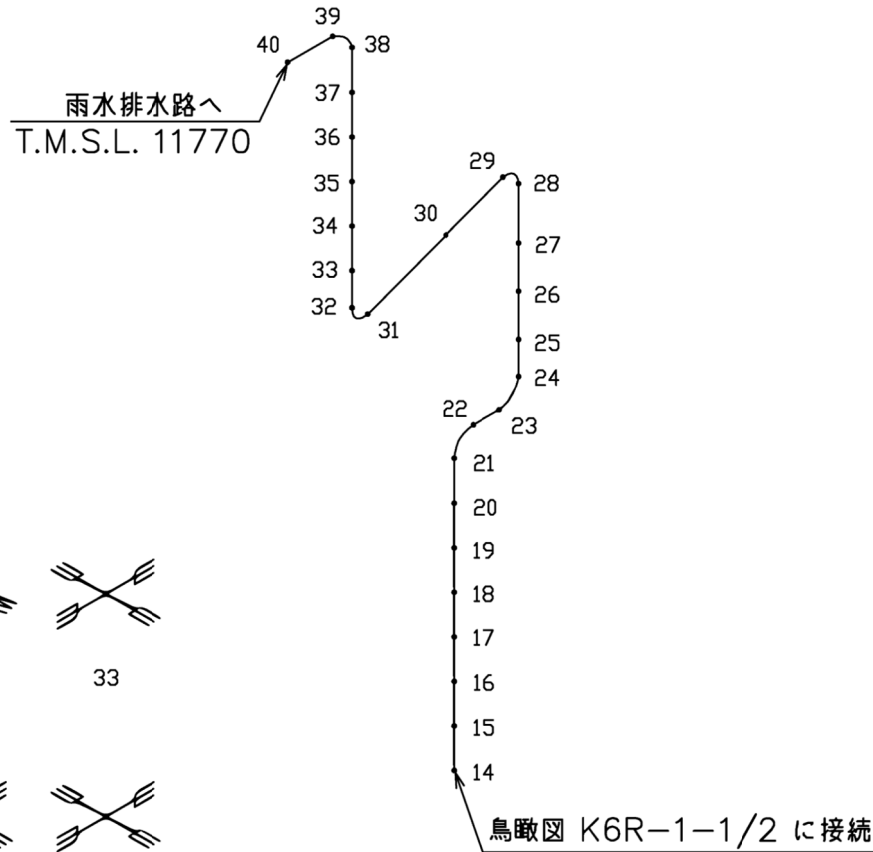
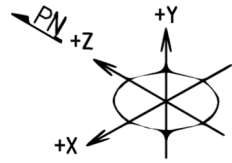
解断点を2つ表示しているのは、その点で構成するエルボのワーキングポイントを示す。

支持点番号	地震相対変位量 (mm)		
	X	Y	Z
9	1.6	-	1.6
14	3.7	-	3.7
41	3.3	-	3.3
47	1.6	-	1.6

原子炉建屋サブドレンポンプ (B) に接続
T.M.S.L. -14234

原子炉建屋サブドレンポンプ (A) に接続
T.M.S.L. -14234

鳥瞰図 K6R-1-1/2

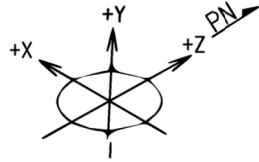


継断点	より	継断点	実長 (mm)
14	-	16	2700
16	-	18	3000
18	-	20	3000
20	-	21 22	700
21 22	-	23 24	550
23 24	-	25	500
25	-	27	2700
27	-	28 29	1450
28 29	-	30	650
30	-	31 32	253
31 32	-	33	1155
33	-	35	2600
35	-	37	2545
37	-	38 39	670
38 39	-	40	500

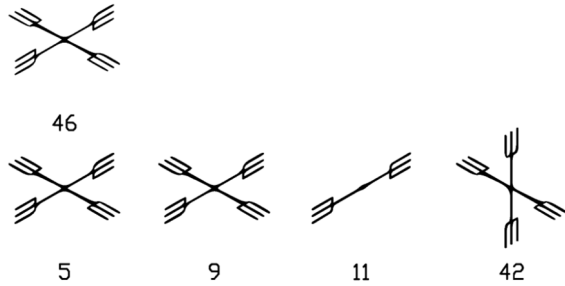
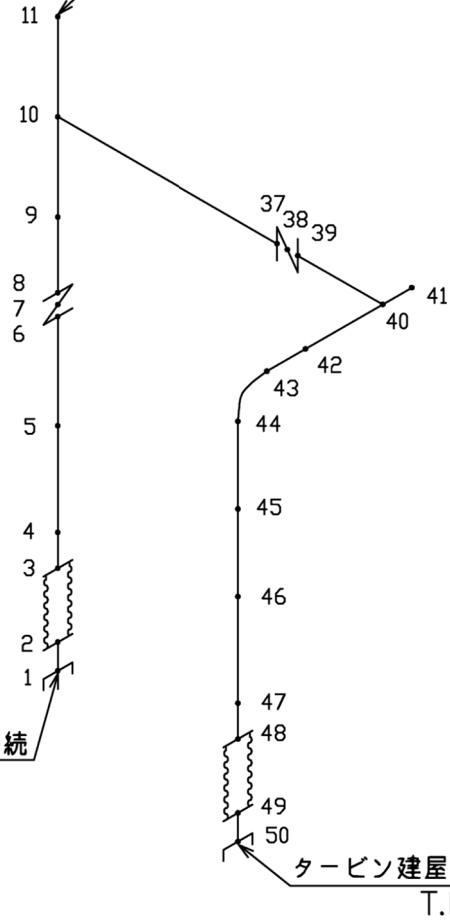
継断点を2つ表示しているのは、その点で構成するエルボのワーキングポイントを示す。

支持点 番号	地震相対変位量 (mm)		
	X	Y	Z
14	3,7	-	3,7
16	6,9	-	6,9
18	16,5	-	16,5
20	30,6	-	30,6
25	37,1	-	37,1
27	54,1	-	54,1
30	65,7	-	65,7
33	75,6	-	75,6
35	99,4	-	99,4
37	122,6	-	122,6

鳥瞰図 K6R-1-2/2



鳥瞰図 K6T-7-2/2 に接続



タービン建屋サブドレンポンプ (A) に接続
T.M.S.L. -12054

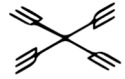
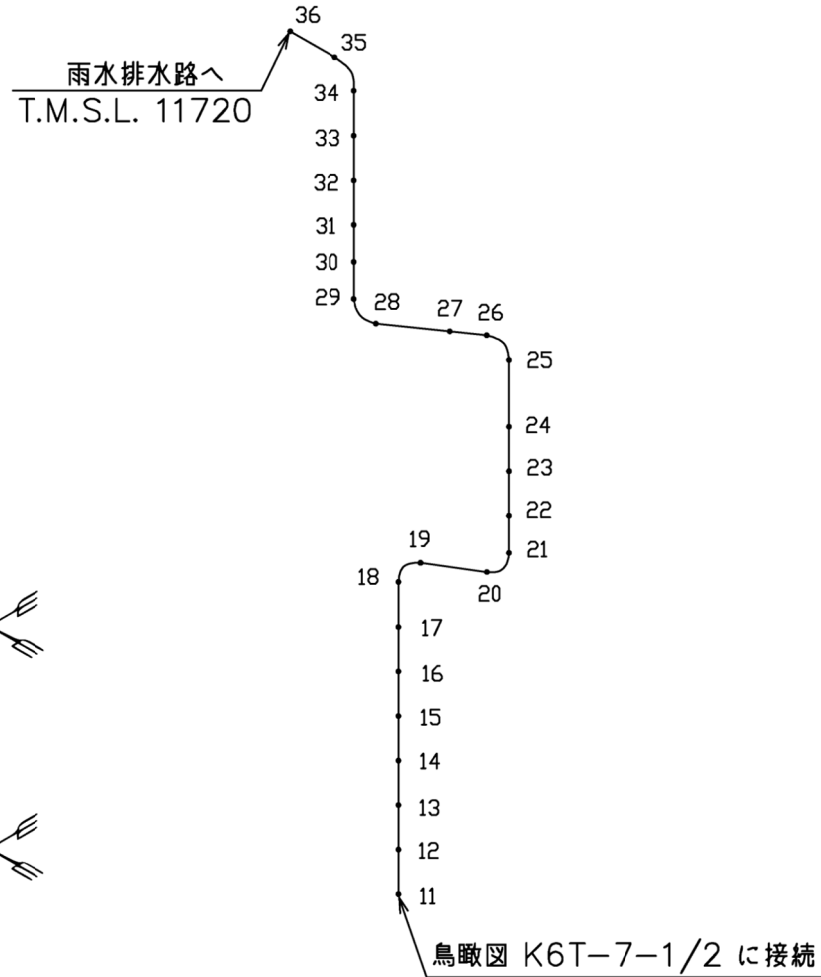
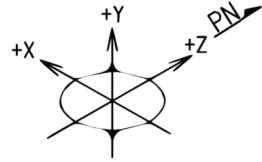
タービン建屋サブドレンポンプ (B) に接続
T.M.S.L. -12054

解断点	より	解断点	実長 (mm)
1	-	5	2276
5	-	9	1529
9	-	10	350
10	-	11	600
10	-	40	785
40	-	41	151
40	-	42	255
42	-	43 44	540
43 44	-	46	1879
46	-	50	2276

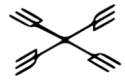
解断点を2つ表示しているのは、その点で構成するエルボのワーキングポイントを示す。

支筋点 番号	地震相対変位量 (mm)		
	X	Y	Z
5	1.7	-	1.7
9	2.9	-	2.9
11	-	-	3.9
42	3.2	-	-
46	1.7	-	1.7

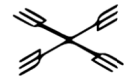
鳥瞰図 K6T-7-1/2



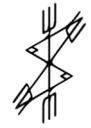
33



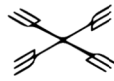
22



24



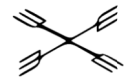
27



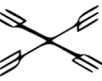
31



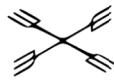
11



13



15



17

解断面	より	解断面	実長 (mm)
11	-	13	2615
13	-	15	2600
15	-	17	2750
17	-	18 19	665
18 19	-	20 21	884
20 21	-	22	550
22	-	24	2900
24	-	25 26	1550
25 26	-	27	450
27	-	28 29	549
28 29	-	31	2000
31	-	33	3000
33	-	34 35	400
34 35	-	36	500

解断面を2つ表示しているのは、その点で構成するエルボのワーキングポイントを示す。

支持点番号	地震相対変位量 (mm)		
	X	Y	Z
11	-	-	3,9
13	10,6	-	10,6
15	21,5	-	21,5
17	35,2	-	35,2
22	42,3	-	42,3
24	63,6	-	63,6
27	77,2	-	77,2
31	95,8	-	95,8
33	123,9	-	123,9

鳥瞰図 K6T-7-2/2

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「N u P I A S」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙 14「N u P I A S」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2	許容応力状態
施設共通 (地震)	6号機地下水排水設備	—	DB	—	—*3	C	I _L +S _s II _L +S _s	IV _A S
浸水防護施設	6号機地下水排水設備	—	DB	—	—*3	C	I _L +S _s II _L +S _s	IV _A S

注記*1：DBは設計基準対象施設。SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*3：クラス3相当として評価する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K6R1_1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.75	40	114.3	6.0	SUS316LTP	C	193667

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 K6R1_1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	

配管の質量(配管の付加質量及びフランジの質量を含む)

鳥 瞰 図 K6R1_1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4	10	15	33	25	21	35	32	46	20
5	6	16	35	26	33	36	31	47	20
6	6	17	37	27	32	37	23	48	8
7	6	18	37	28	19	38	9	49	6
8	7	19	37	29	9	39	7	50	6
9	20	20	26	30	7	40	8	51	6
10	20	21	9	31	4	41	8	52	10
12	16	22	6	32	15	42	15		
13	23	23	6	33	28	43	12		
14	24	24	7	34	32	44	16		

鳥 瞰 図 K6R1_1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
10	13	44	13
11	25	45	25
12	13	46	13

伸縮継手部の質量を下表に示す。

伸縮継手 1

伸縮継手 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1	26	52	26
2	0	53	0
3	0	54	0
4	26	55	26

鳥 瞰 図 K6R1_1

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	10～12	114.3	12.0	292
弁 2	44～46	114.3	12.0	292

伸縮継手部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
伸縮継手 1	1～4	114.3	6.0	735
伸縮継手 2	52～55	114.3	6.0	735

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 K6R1_1

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
9	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
14	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
16	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
18	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
20	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
25	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
27	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
30	—	1.0×10^{12}	—	—	—	—
** 30 **	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.3338	0.0000	0.9426	—	—	—
33	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
35	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
37	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
41	—	1.0×10^{12}	—	—	—	—
** 41 **	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.5678	0.0000	0.8231	—	—	—
47	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
55	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}

**印は斜め拘束を示しばね定数をXに示す。下段は方向余弦を示す。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K6T7_1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.75	40	114.3	6.0	SUS316LTP	C	193667

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 K6T7_1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	39	40	41	42	43	44	45	46	47						

配管の質量(配管の付加質量及びフランジの質量を含む)

鳥 瞰 図 K6T7_1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4	24	15	33	25	20	35	7	46	30
5	22	16	34	26	7	36	8	47	24
6	8	17	23	27	9	37	10		
8	18	18	9	28	8	39	8		
9	16	19	10	29	14	40	7		
10	16	20	10	30	23	41	12		
11	23	21	8	31	30	42	8		
12	32	22	23	32	37	43	7		
13	32	23	36	33	22	44	13		
14	32	24	35	34	6	45	22		

鳥 瞰 図 K6T7_1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
6	13	37	13
7	25	38	25
8	13	39	13

伸縮継手部の質量を下表に示す。

伸縮継手 1

伸縮継手 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1	26	47	26
2	0	48	0
3	0	49	0
4	26	50	26

鳥 瞰 図 K6T7_1

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	6～8	114.3	12.0	292
弁 2	37～39	114.3	12.0	292

伸縮継手部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
伸縮継手 1	1～4	114.3	6.0	735
伸縮継手 2	47～50	114.3	6.0	735

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 K6T7_1

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
5	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
9	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
11	—	—	1.0×10^{12}	—	—	—
13	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
15	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
17	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
22	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
24	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
27	—	1.0×10^{12}	—	—	—	—
** 27 **	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.2672	0.0000	0.9636	—	—	—
31	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
33	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
42	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
46	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
50	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}

**印は斜め拘束を示しばね定数をXに示す。下段は方向余弦を示す。

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
SUS316LTP	40	—	175	480	—

3.5 設計用地震力

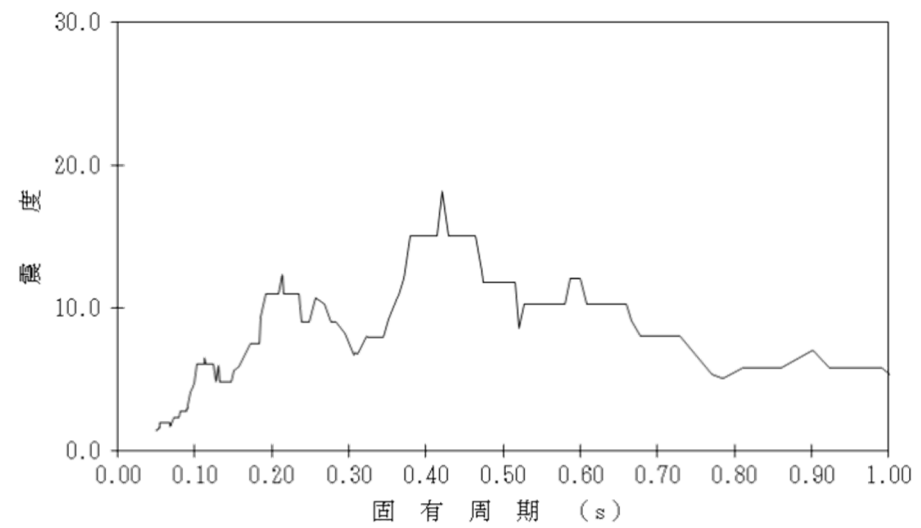
本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を以下に示す。なお、設計用床応答曲線はVI-2-2-別添 1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」の地盤応答解析の結果をVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高(m)	減衰定数(%)
K6R1_1	地下水排水設備	T. M. S. L. 12.00	0.5
		T. M. S. L. -10.15	
		T. M. S. L. -10.45	
		T. M. S. L. -12.40	
		T. M. S. L. -13.00	
		T. M. S. L. -13.05	
		T. M. S. L. -15.20	
		T. M. S. L. -15.25	
K6T7_1	地下水排水設備	T. M. S. L. 12.00	0.5
		T. M. S. L. -10.15	
		T. M. S. L. -10.45	
		T. M. S. L. -12.40	
		T. M. S. L. -13.00	
		T. M. S. L. -13.05	
		T. M. S. L. -15.20	
		T. M. S. L. -15.25	

設計用床応答曲線

構造物名：6号機地下水排水設備
減衰定数：0.5%

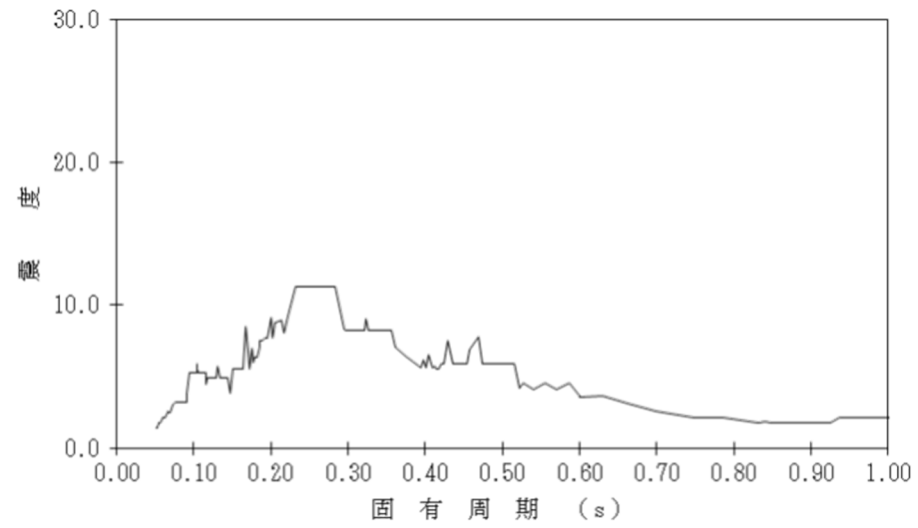
標高：T.M.S.L. 12.00m, -10.15m, -10.45m, -12.40m, -13.00m, -13.05m, -15.20m, -15.25m 包絡
波形名：基準地震動 S s



設計用床応答曲線 (水平方向)

構造物名：6号機地下水排水設備
減衰定数：0.5%

標高：T.M.S.L. 12.00m, -10.15m, -10.45m, -12.40m, -13.00m, -13.05m, -15.20m, -15.25m 包絡
波形名：基準地震動 S s



設計用床応答曲線 (鉛直方向)

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 K6R1_1

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1次	0.068	2.01	2.01	2.52
2次	0.059	2.01	2.01	2.09
3次	0.058	2.01	2.01	1.93
4次	0.054	1.59	1.59	1.59
5次	0.051	1.46	1.46	1.49
6次	0.045	—	—	—
動的震度*2		1.73	1.73	1.31
静的震度		—	—	—

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 K6R1_1

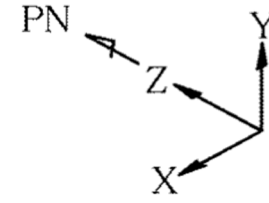
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.068	0.107	1.007	0.082
2次	0.059	0.202	0.454	0.000
3次	0.058	0.315	0.388	0.149
4次	0.054	0.165	0.694	0.385
5次	0.051	0.462	0.723	0.083

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

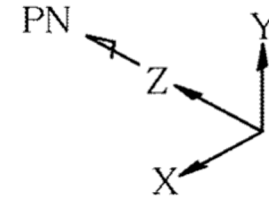
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



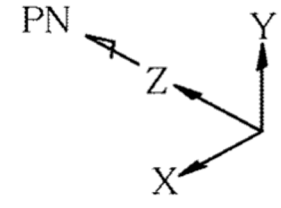
鳥瞰図	K6R1_1
-----	--------

代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図	K6R1_1
-----	--------

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図	K6R1_1
-----	--------

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 K6T7_1

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1次	0.085	2.78	2.78	3.27
2次	0.070	1.86	1.86	2.52
3次	0.069	1.76	1.76	2.52
4次	0.065	2.01	2.01	2.40
5次	0.062	2.01	2.01	2.20
6次	0.058	2.01	2.01	1.91
7次	0.058	2.01	2.01	1.90
8次	0.050	—	—	—
動的震度*2		1.73	1.73	1.31
静的震度		—	—	—

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 K6T7_1

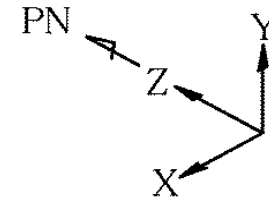
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.085	0.131	0.930	0.179
2次	0.070	0.316	0.463	0.519
3次	0.069	0.563	0.587	0.040
4次	0.065	0.614	0.347	0.005
5次	0.062	0.362	0.786	0.083
6次	0.058	0.550	0.164	0.249
7次	0.058	0.352	0.155	0.818

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

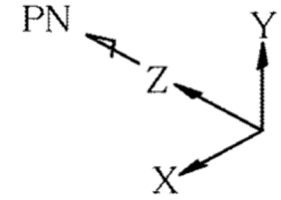
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



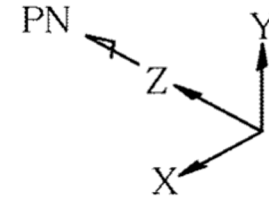
鳥瞰図	K6T7_1
-----	--------

代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図	K6T7_1
-----	--------

代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{p r m} (S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n (S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
K6T7_1	IV _A S	10	$S_{p r m} (S_s)$	74	432	—	—	—
K6R1_1	IV _A S	31	$S_n (S_s)$	—	—	112	350	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
6R1SS-03R	レストレイント	Uプレート	SUS316L	40	—	21	2	—	—	—	IV _A S	121	175

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス3の管)

No	配管 モデル	許容応力状態 IVAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	K6R1_1	13	49	432	8.81	—	31	112	350	3.12	○	—	—	—
2	K6T7_1	10	74	432	5.83	○	10	101	350	3.46	—	—	—	—