

建物・構築物及び機器・配管系の構造(耐震性)に関する説明書

【概要】

HAW 施設及び TVF について、廃止措置計画用設計地震動(以下、「設計地震動」という)に対して重要な安全機能(閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能)が損なわれることのないよう、建家並びに内部に設置されている重要な安全機能を担う施設の耐震性を確保する。

なお、TVF については 5 月までに評価を完了する予定である。

令和2年4月27日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

建物・構築物及び機器・配管系の構造(耐震性)
に関する説明書

1. 耐震設計基本方針

目 次

1. 概要	2
2. 耐震設計の基本方針.....	2
3. 設計用地震力	3
4. 機能維持の基本方針.....	3
5. 耐震計算の基本方針.....	5

1. 概要

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「再処理技術基準規則」という。）の第六条の一項及び二項に照らして、廃止措置段階にある東海再処理施設 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）の耐震設計について、地震による損傷の防止のために求められる性能を維持できることを説明するための方針を示すものである。

※ 原子力規制委員会より示された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所（再処理施設）の廃止措置計画の認可の審査に関する考え方」（平成 29 年 4 月）においては「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」に照らして審査するものとされているが、改正法第 3 条の施行の日（令和 2 年 4 月 1 日）から廃止措置計画の認可は再処理技術基準規則に従うこととされているため、本資料では従来までの性能維持基準規則を再処理技術基準規則で読み替える。

2. 耐震設計の基本方針

2.1 基本方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）において高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能にかかわる設備は、廃止措置計画用設計地震動 S_s による地震力に対して、その耐震安全性を確認した上で、建家及び事故対処設備の健全性を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。

- (1) 高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能にかかわる設備については、廃止措置計画用設計地震動による地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

建物・構築物については、構造物全体として変形能力に対して十分な余裕を有するように設計する。

建物・構築物のうち構築物（洞道）は、構造部材の曲げについては限界層間変形角または曲げ耐力、構造部材のせん断についてはせん断耐力に対して妥当な安全余裕を持たせる設計とする。

機器・配管系については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設の機能を保持できるように設計する。

- (2) 高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能にかかわる設備に対して、その他の設備の地震による損傷等により波及的影響が生じないように設計する。

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能にかかわる設備の耐震設計に用いる表 4.2 に示す動的地震力の算定は以下のとおりとする。

- (1) 廃止措置計画用設計地震動による地震力は、廃止措置計画用設計地震動を用いて、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。
- (2) 廃止措置計画用設計地震動による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮の上、適切な解析法を選定するとともに、十分な調査に基づく適切な解析条件を設定する。
- (3) 地震力の算定過程において建物・構築物の設置位置等で評価される入力地震動については、解放基盤表面からの地震波の伝播特性を適切に考慮するとともに、必要に応じて地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。

表 4.2 高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能にかかわる設備の設計に用いる地震力

項目	動的地震力	
	水平	鉛直
建物・構築物	$K_h (S_s)^{(1)}$	$K_v (S_s)^{(2)}$
機器・配管系	$K_h (S_s)^{(1)}$	$K_v (S_s)^{(2)}$

(1) $K_h (S_s)$ は、水平方向の廃止措置計画用設計地震動 S_s に基づく水平地震力。

(2) $K_v (S_s)$ は、鉛直方向の廃止措置計画用設計地震動 S_s に基づく鉛直地震力。

4. 機能維持の基本方針

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能にかかわる設備の安全機能維持は、設計用地震動に対して、施設の構造強度の確保を基本とする。

4.1 構造強度

設計用地震動に伴う地震力による荷重と地震力以外の荷重の組合せを適切に考慮した上で、構造強度を確保する設計とする。また、変位及び変形に対し、設計上考慮する。

(1) 荷重の種類

a. 建物，構築物

- (a) 建物，構築物のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重
- (b) 地震力

- b. 機器・配管系
 - (a) 運転時の状態で施設に作用する荷重
 - (b) 地震力

(2) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは以下による。

- a. 建物・構築物
 - 常時作用している荷重と地震力を組み合わせる。
- b. 機器・配管系
 - 運転時の状態で施設に作用する荷重と地震力を組み合わせる。
- c. 荷重の組合せ上の留意事項
 - (a) 動的地震力については、水平 2 方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせて影響検討を行うものとする。
 - (b) ある荷重の組合せ状態での評価が、その他の荷重の組合せ状態での評価より明らかに厳しいことが判明している場合には、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わない。
 - (c) 高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能にかかわる設備を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を確認する場合には、設計用地震力と、常時作用している荷重、運転時に施設に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

(3) 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし、JEAG4601 等の安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

- a. 建物・構築物
 - (a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界
 - 建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し、終局耐力に対して、妥当な安全余裕をもたせることとする。また、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式に基づき適切に定めるものとする。
 - 建物・構築物のうち構築物（洞道）は、構造部材のせん断についてはせん断耐力に対して妥当な安全余裕をもたせるものとする。
 - 当該施設を支持する建物・構築物の支持機能が損なわれないことを確認する際の地震動は、支持される施設に適用される地震動とする。

b. 機器・配管系

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないような応力、荷重等とすること。

c. 基礎地盤の支持性能

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有していること。

5. 耐震計算の基本方針

前述の耐震設計方針に基づいて設計した施設について、耐震計算を行うに当たり、既設工認で実績があり、かつ、最新の知見に照らしても妥当な手法及び条件を用いることを基本とする。一方、最新の知見を適用する場合は、その妥当性と適用可能性を確認した上で適用する。

耐震計算における動的地震力の水平方向及び鉛直方向の組合せについては、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せで実施した上で、その計算結果に基づき水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せが耐震性に及ぼす影響を評価する。

5. 1 建物・構築物

建物・構築物の評価は、「4. 機能維持の基本方針」で示す荷重条件に対して構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）が「4. 機能維持の基本方針」で示す許容限界内にあることを確認すること（解析による設計）により行う。

評価手法は構造材の非線形特性を扱うことのできる時刻歴応答解析法を用いることとし、JEAG4601に基づき実施することを基本とする。また、評価に当たっては材料物性の不確かさを適切に考慮する。

5. 2 機器・配管系

機器・配管系の評価は、「4. 設計用地震力」で示す設計用地震力による適切な応力解析に基づいた地震応力と、組み合わせすべき他の荷重による応力との組合せ応力が「5. 機能維持の基本方針」で示す許容限界内にあることを確認すること（解析による設計）により行う。許容限界は廃止措置計画用設計地震動により荷重を受ける構造の一部が降伏し、塑性変形する場合においても、過大な変形、き裂、破損等が生じてその設備の機能に影響を及ぼすことがなく、かつ変形後に想定される繰り返し応力範囲に対して塑性変形が進展しないもの（シェイクダウン範囲）として設定する。

評価手法は、以下に示す解析法により JEAG4601 に基づき実施することを基本とし、

その他の手法を適用する場合は適用性を確認の上適用することとする。なお、時刻歴応答解析法及び応答スペクトルモーダル解析法を用いる場合は材料物性の不確かさを適切に考慮する。また、剛性の高い機器・配管の静的解析に用いる震度は設置床面の最大応答加速度（ZPA）を 1.2 倍した値を用いる。ここで剛性が高いとは、機器・配管の一次固有振動数が 20Hz 以上のものをいう。

- ・ 応答スペクトルモーダル解析法
- ・ 時刻歴応答解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法（静的解析）

2. 高放射性廃液貯蔵場（HAW 施設）建家の地震応答計算書

目 次

1. 概要	2
2. 一般事項	9
2.1 位置	9
2.2 構造概要	10
2.3 評価方針	16
2.4 準拠規格・基準	17
2.5 使用材料	17
3. 入力地震動	18
3.1 水平方向の入力地震動	18
3.2 鉛直方向の入力地震動	28
4. 解析モデル	33
4.1 水平方向の解析モデル	33
4.2 鉛直方向の解析モデル	43
5. 解析結果	46
5.1 固有値解析結果	46
5.2 地震応答解析結果	56
6. 基礎浮き上がりの検討	63
7. 評価結果	65

1. 概要

本資料は、廃止措置計画用設計地震動(S_s)に対して、高放射性廃液貯蔵場(HAW) (以下「HAW施設」という)が耐震余裕を有することを説明するものである。

廃止措置計画用設計地震動は、令和2年2月10日付け原規規発第2002103号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」において策定した敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動とする。策定した廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトルを図1-1から図1-3に、時刻歴波形を図1-4から図1-6に示す。解放基盤表面は、S波速度が0.7 km/s以上であるT.P.*-303 m(G.L. -309 m)とする。

※T.P. : 東京湾平均海面

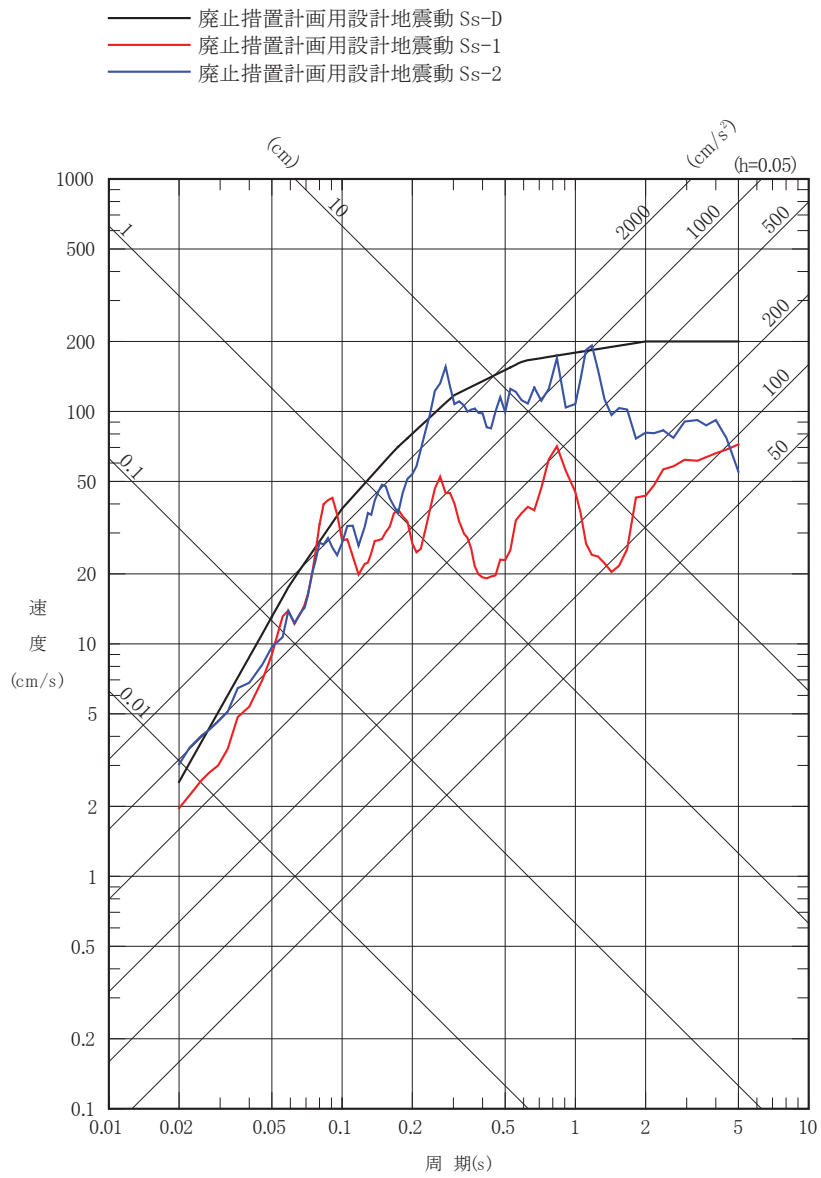


図 1-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(NS 成分)

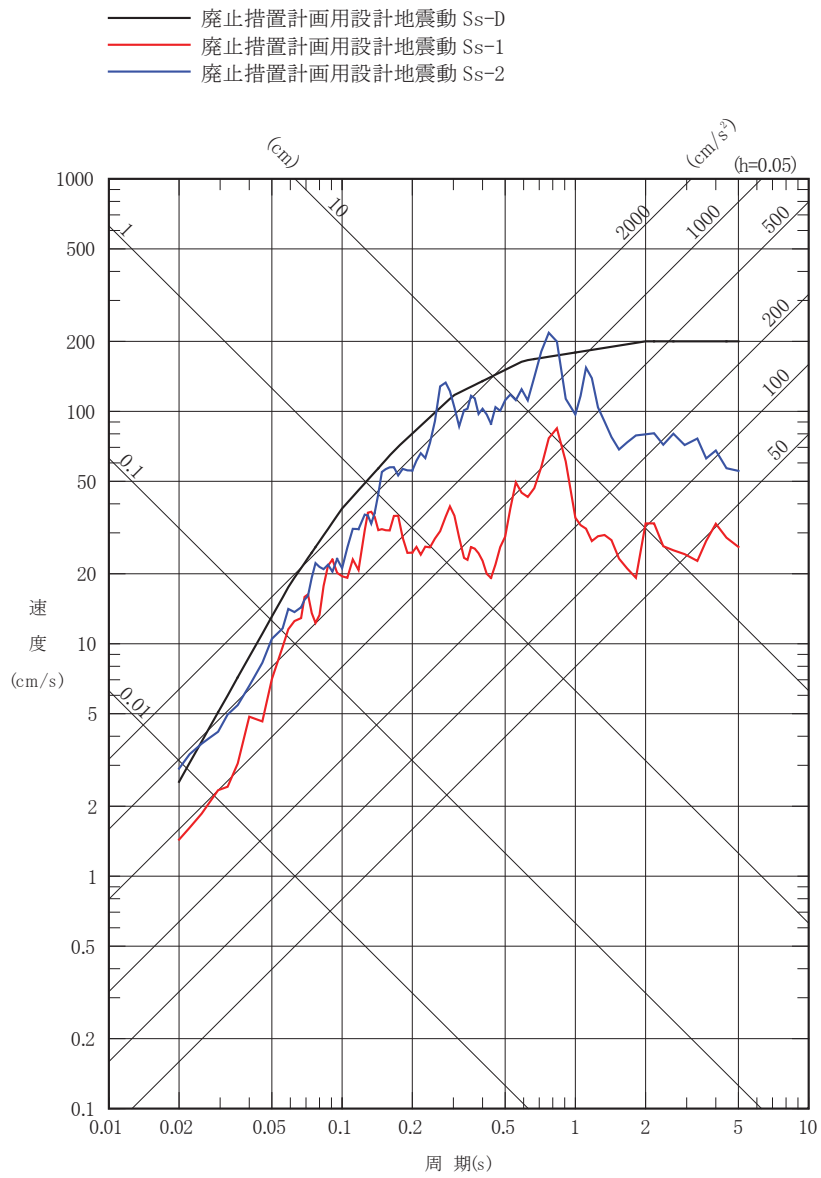


図 1-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(EW成分)

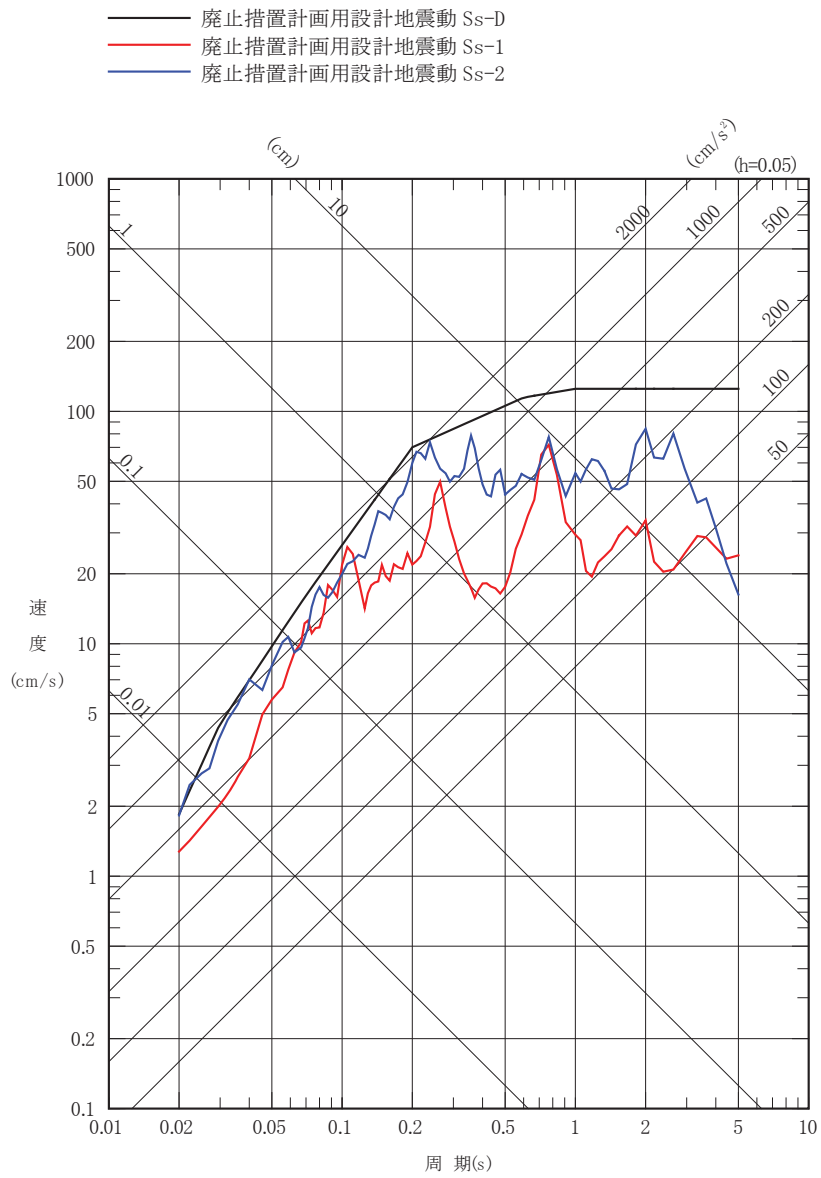


図 1-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(UD成分)

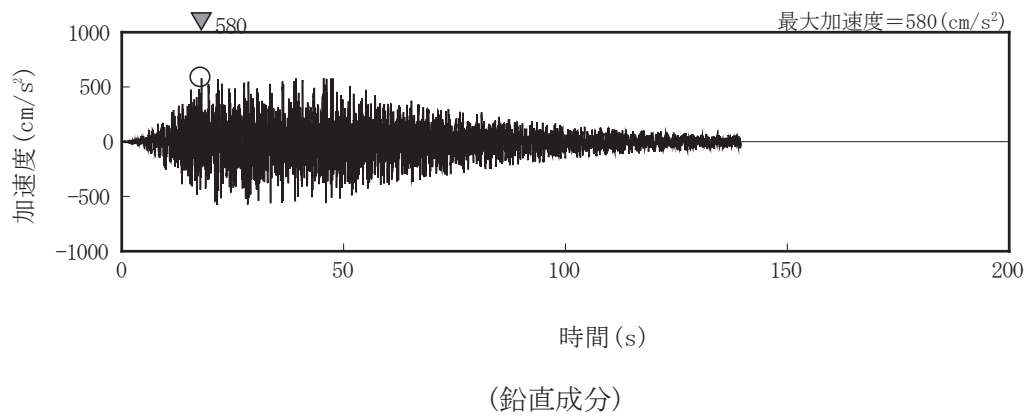
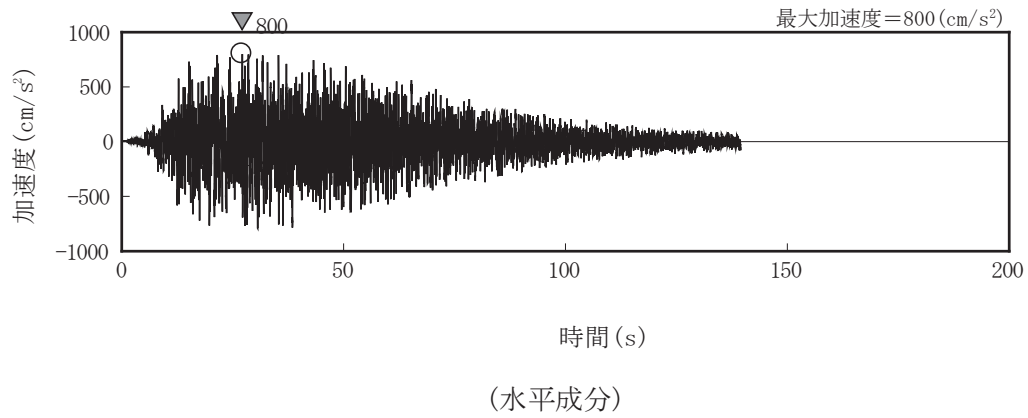


図 1-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D)の時刻歴波形

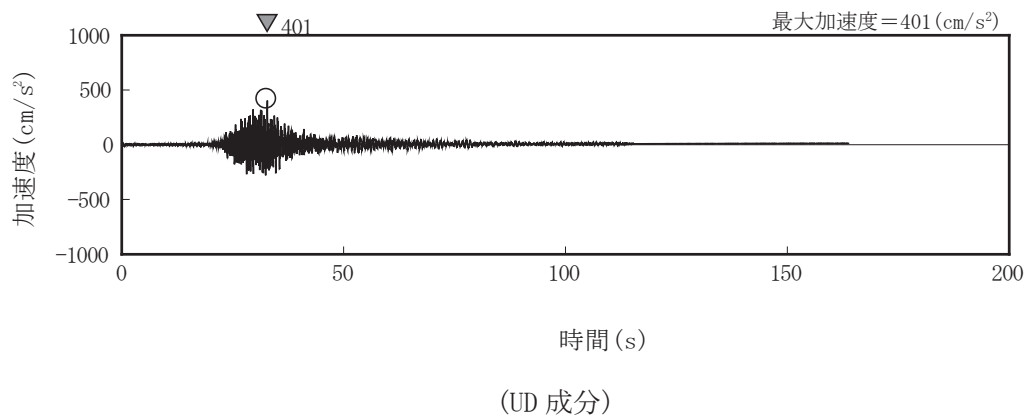
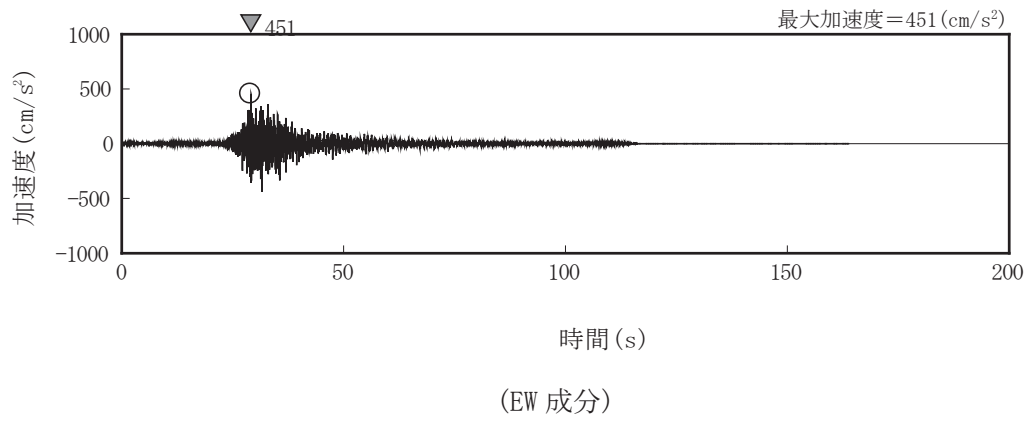
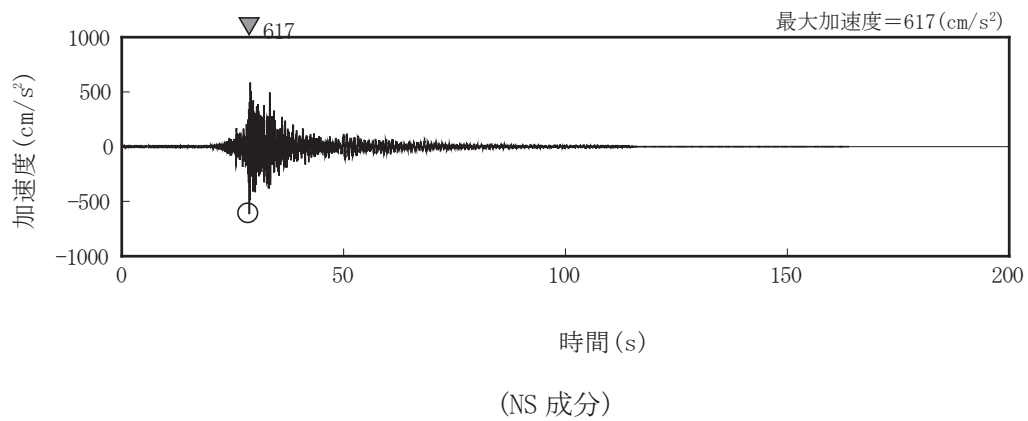


図 1-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-1)の時刻歴波形

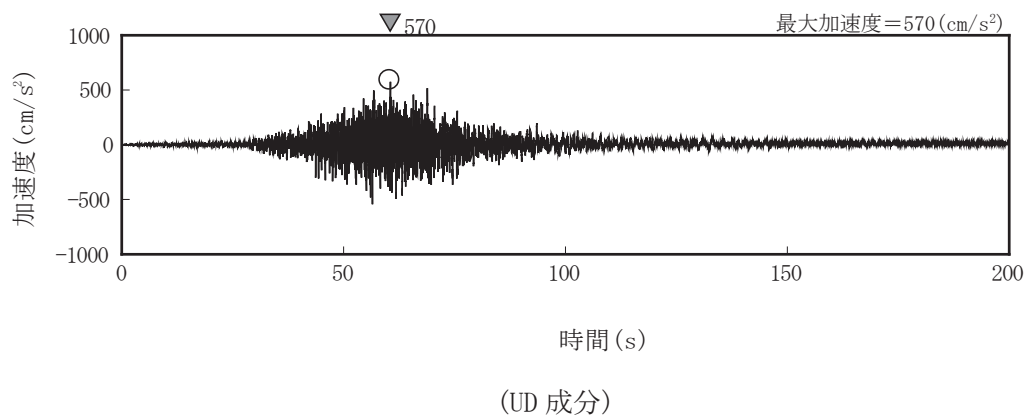
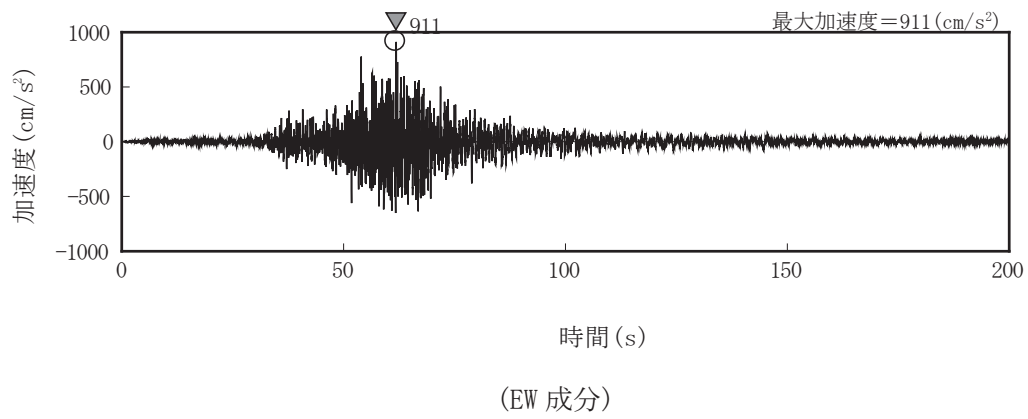
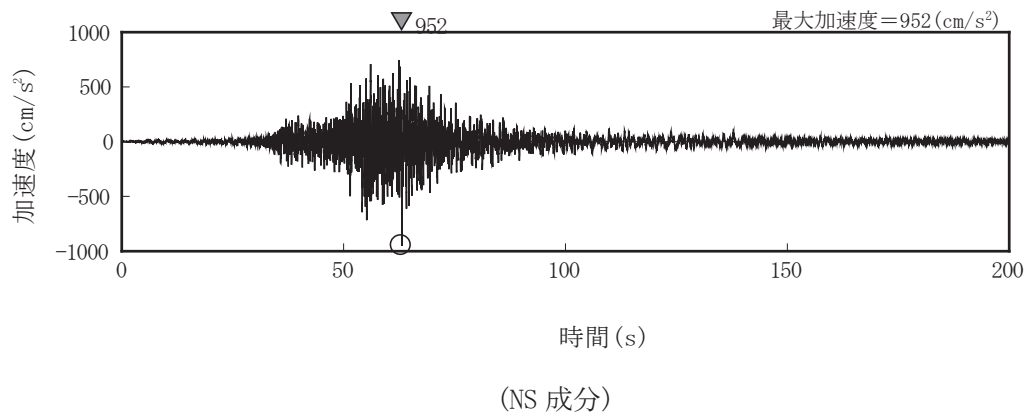


図 1-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-2)の時刻歴波形

2. 一般事項

2.1 位置

HAW 施設の位置を図 2-1 に示す。プラントノースと磁北方向の角度差は、 35.7° である。

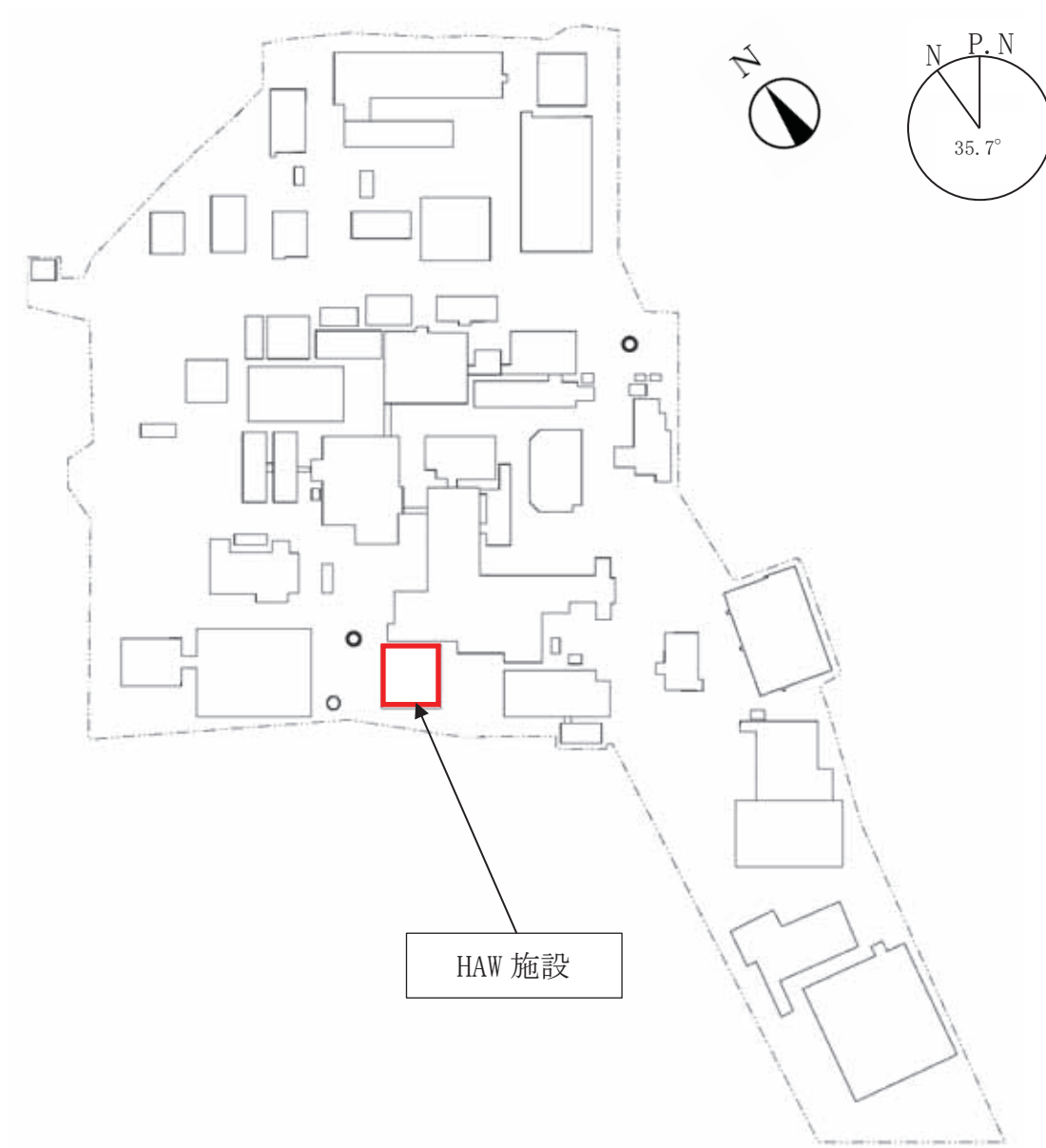


図 2-1 HAW 施設の位置

2.2 構造概要

HAW 施設は、平面形状が [] のほぼ正方形を成しており、地上高さ [] 地下深さ [] の鉄筋コンクリート造の建家である。基礎は、べた基礎とし、支持地盤である新第三系鮮新統の久米層に設置されている。

HAW 施設周辺において、地盤による拘束効果を高めるため、支持地盤の深さまで地盤改良を実施する。

建家の代表的な平面図及び断面図を図 2-2 から図 2-5 に、支持地盤(久米層)の等高線図及び断面図を図 2-6 及び図 2-7 に、HAW 施設周辺の地盤改良範囲を図 2-8 に示す。



図 2-2 HAW 施設平面図(地下 1 階)

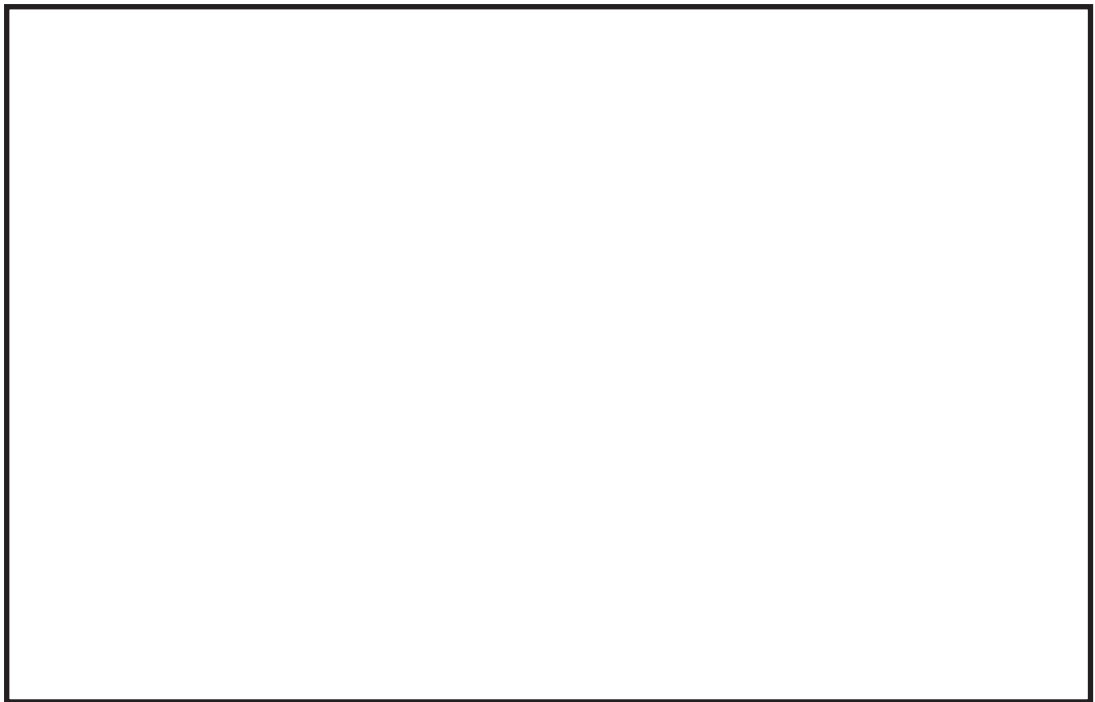


図 2-3 HAW 施設平面図(4 階)

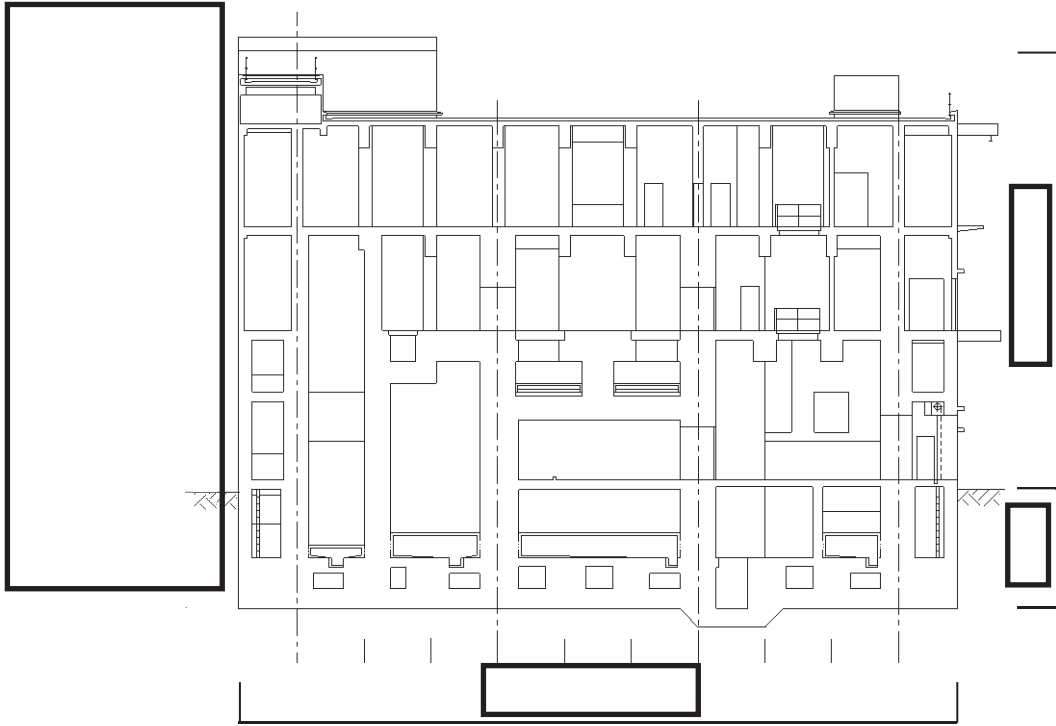


図 2-4 HAW 施設断面図 (NS 断面)

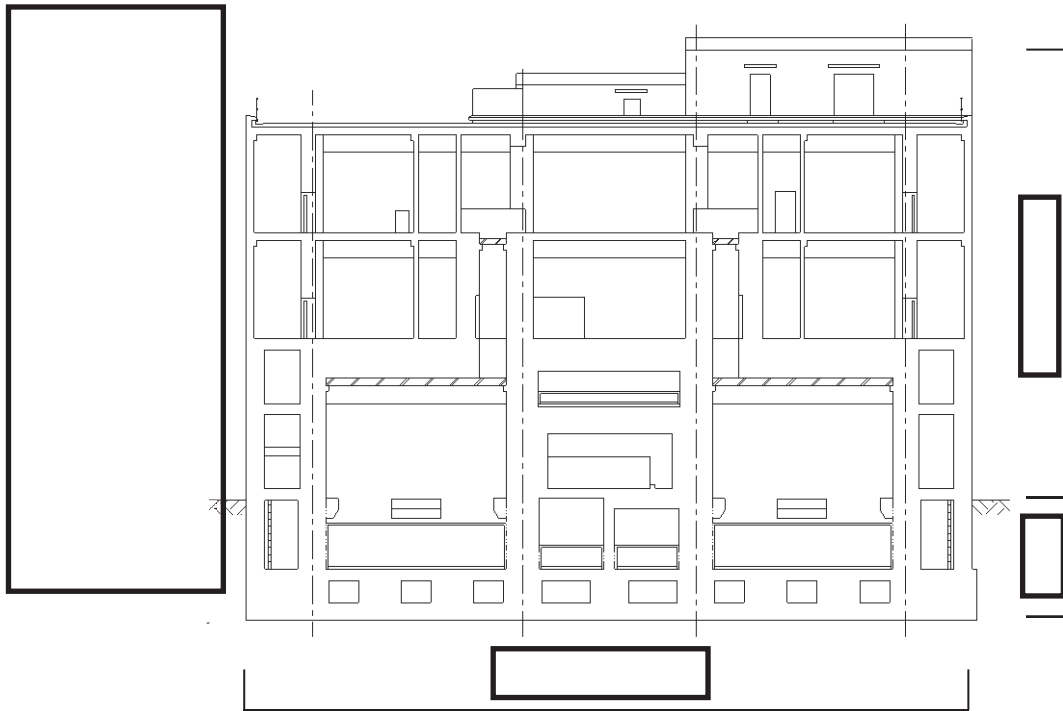


図 2-5 HAW 施設断面図 (EW 断面)

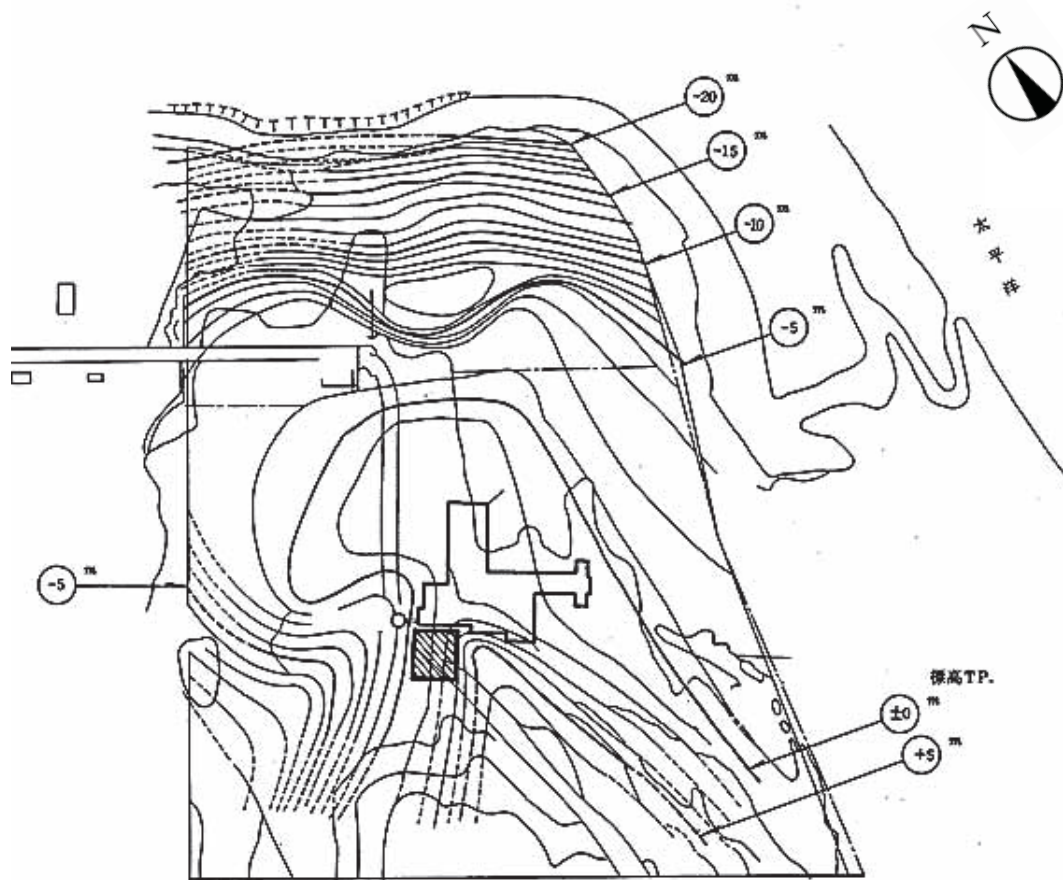


図 2-6 支持地盤(久米層)の等高線図

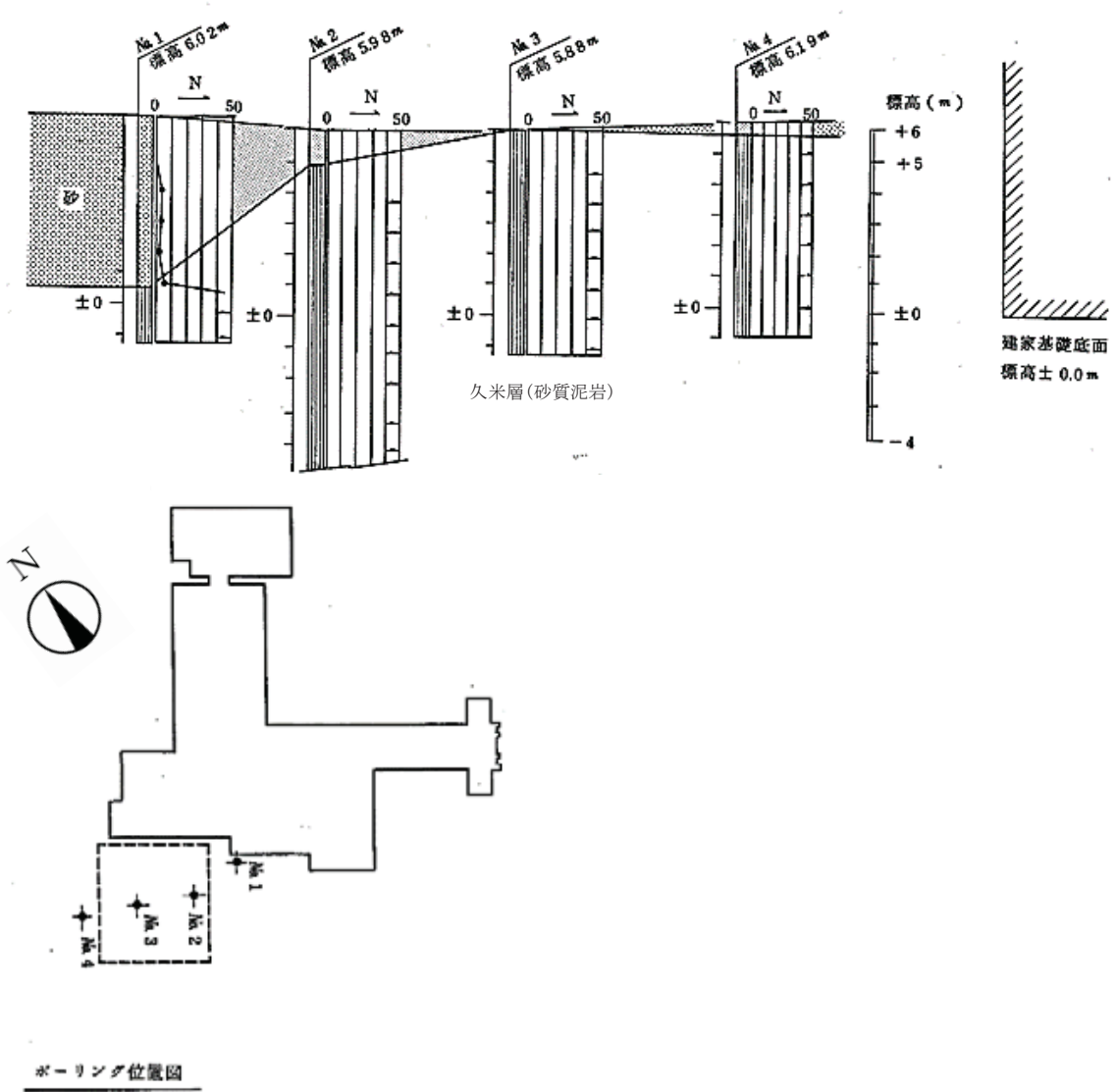


図 2-7 支持層(久米層)の断面図

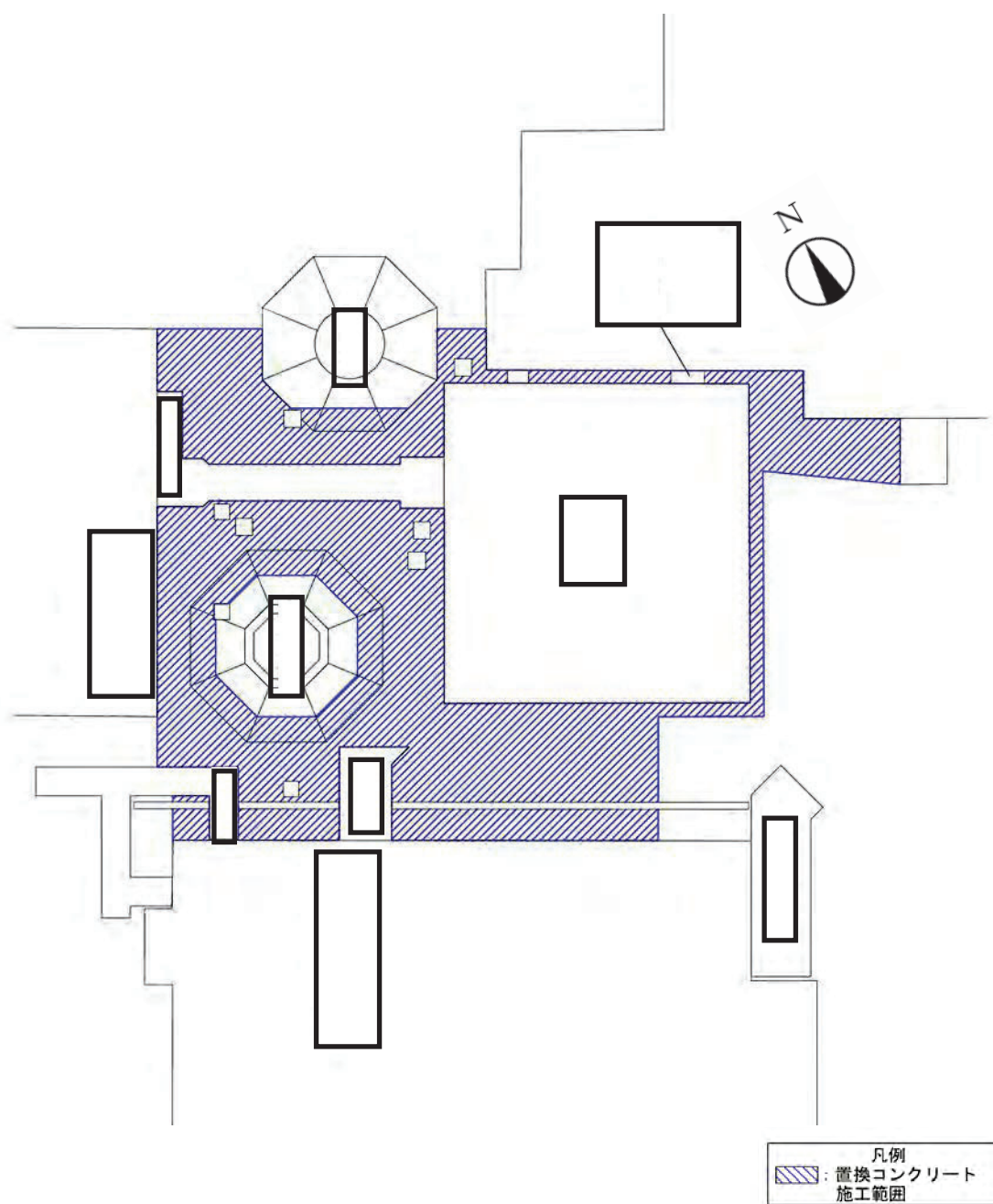


図 2-8 HAW 施設周辺の地盤改良範囲

2.3 評価方針

HAW 施設の評価は、廃止措置計画用設計地震動(S_s)による地震応答解析の結果に基づき実施する。

地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS, EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

評価は、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

なお、接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は、建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

HAW 施設の評価フローを図 2-9 に示す。

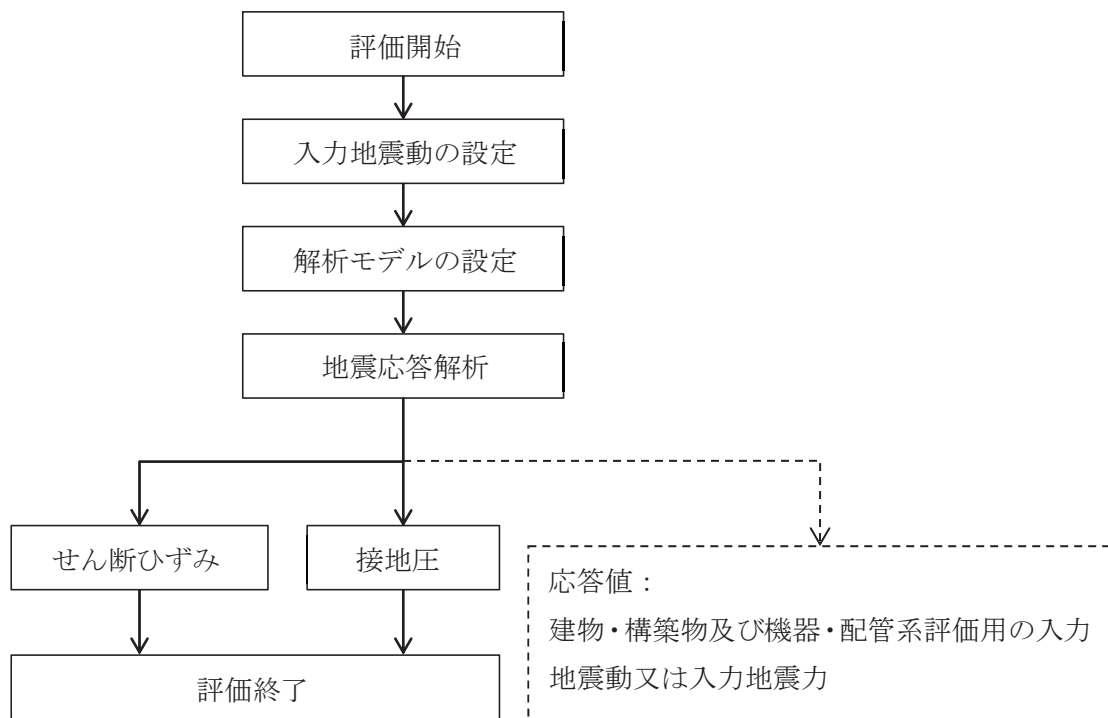


図 2-9 HAW 施設の評価フロー

2.4 準拠規格・基準

HAW 施設の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数を表 2-1 に示す。

表 2-1 コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
建家	20.6	2.15×10^4	0.2

3. 入力地震動

3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、廃止措置計画用設計地震動(Ss)を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

廃止措置計画用設計地震動のうち、NS 及び EW 方向で個別の地震動が定義されている Ss-1 及び Ss-2 については、解放基盤表面への入力前に建家座標系に方位変換する。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を図 3-1 に、地盤の物性値を表 3-1 に、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を図 3-2 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「DYNEQ[※]」である。

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地盤の地震応答解析結果を図 3-3 から図 3-7 に、建家の基礎底面位置における水平方向の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 3-8 から図 3-10 に示す。

※吉田望(2008): DYNEQ A computer program for DYNamic response analysis of level ground by EQuivalent linear method, 東北学院大学工学部

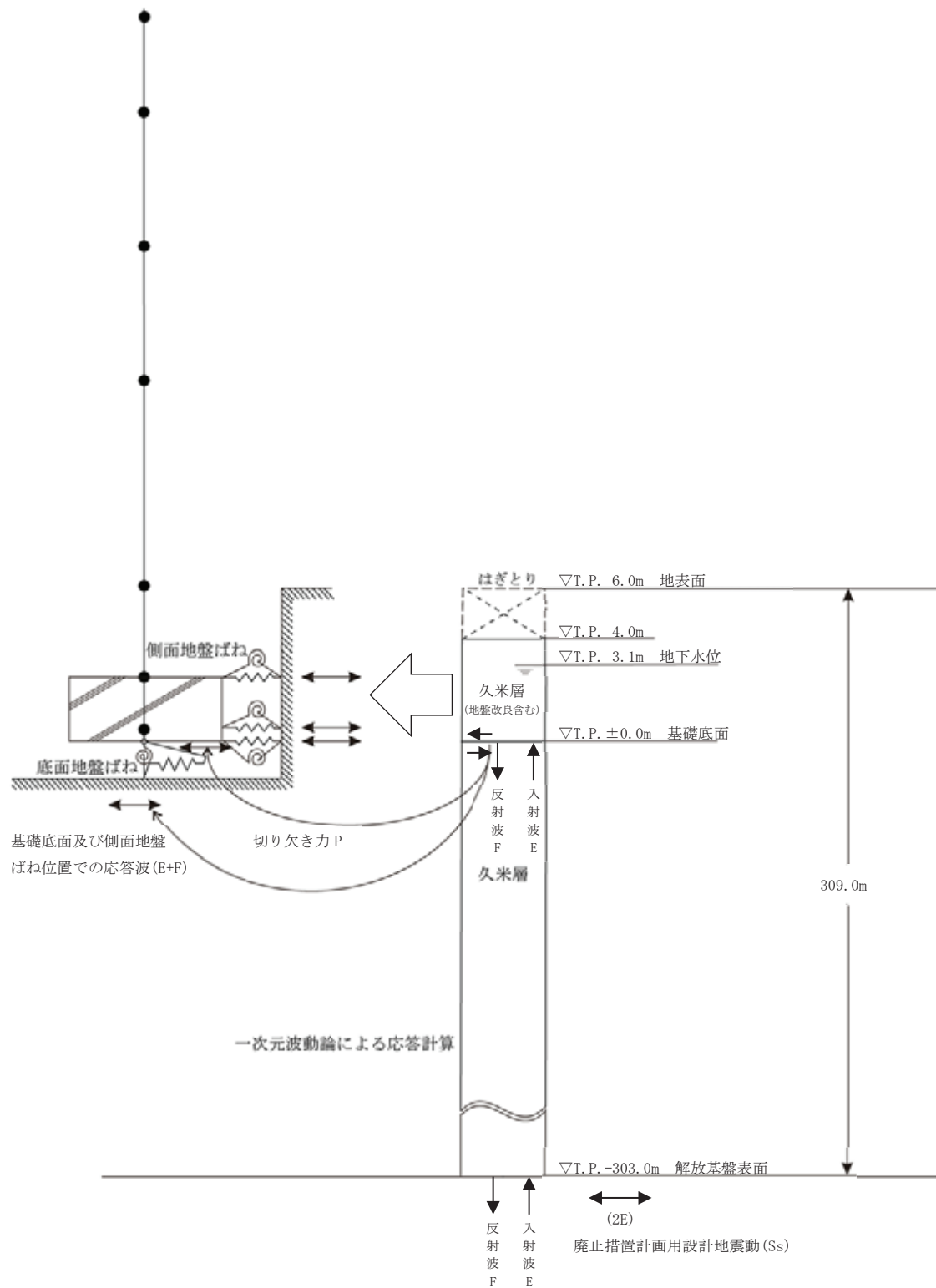
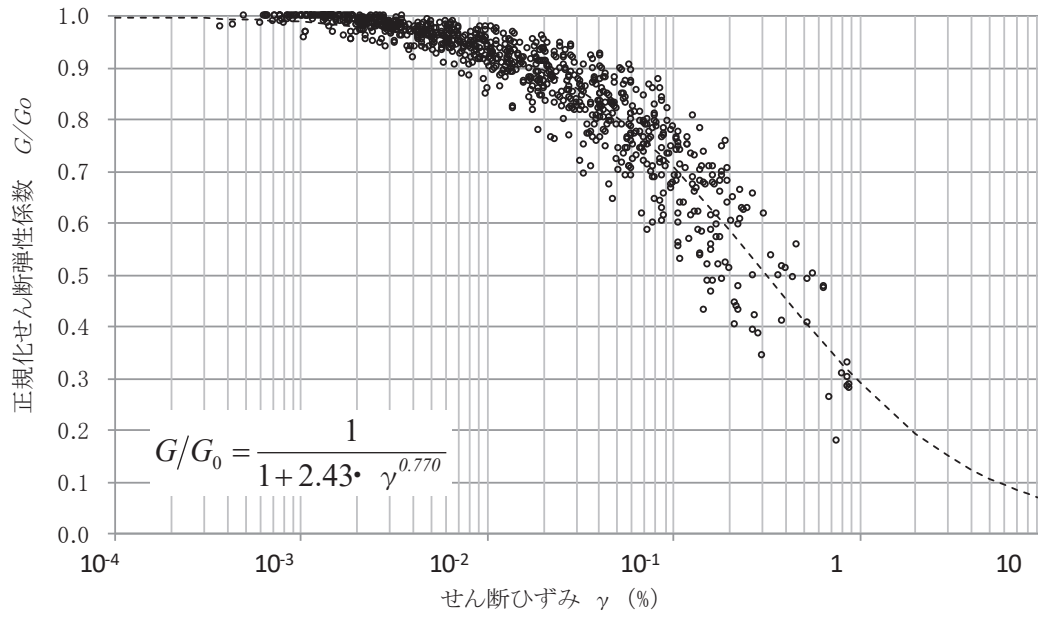


図 3-1 入力地震動算定の概要(水平方向)

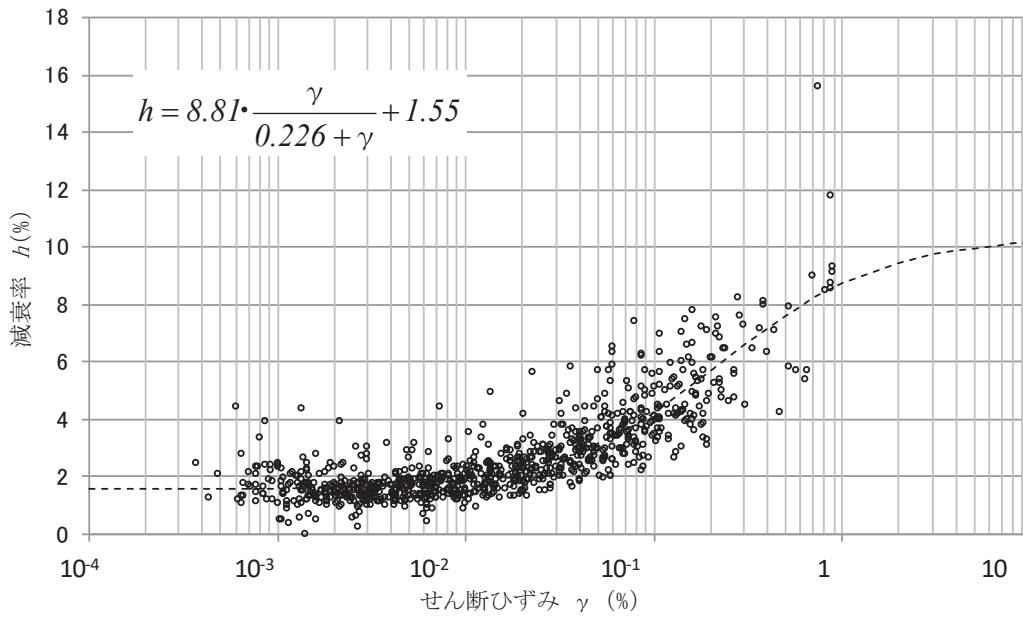
表 3-1 地盤の物性値

標高 T. P. (m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 G_0 (MN/m ²)
4.0					
3.1	久米層	Km1 [※]	1.77	0.455	426
0.0		Km1 [※]	1.77	0.455	426
-10.0		Km1	1.77	0.455	426
-62.0		Km2	1.77	0.451	466
-92.0		Km3	1.77	0.447	515
-118.0		Km4	1.77	0.444	549
-169.0		Km5	1.77	0.440	596
-215.0		Km6	1.77	0.436	655
-261.0		Km7	1.77	0.431	711
-303.0		▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426
	解放基盤		1.77	0.417	867

※建家周辺の地盤(T. P. +4.0～±0.0 m)について、Km1以上の動せん断弾性係数 G_0 を持つコンクリート(設計基準強度 18 N/mm²)で地盤を改良するため、当該層を Km1 でモデル化している。



(a) 動せん断弾性係数



(b) 減衰定数

図 3-2 動的せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)

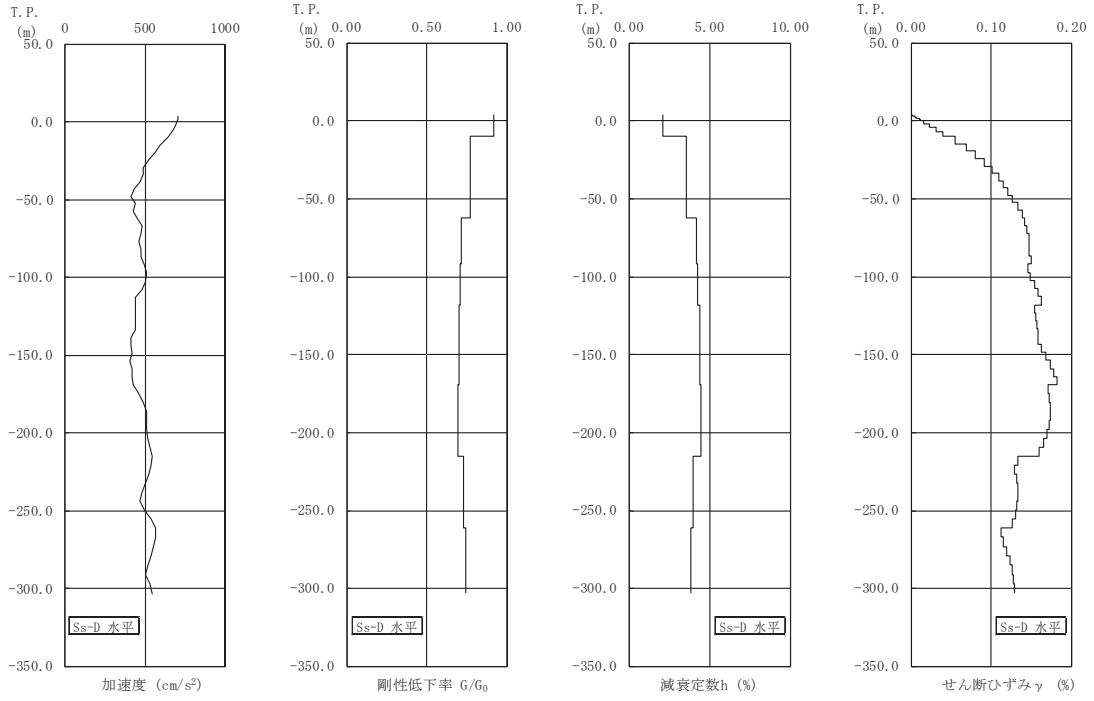


図 3-3 地盤の地震応答解析結果(水平方向, Ss-D)

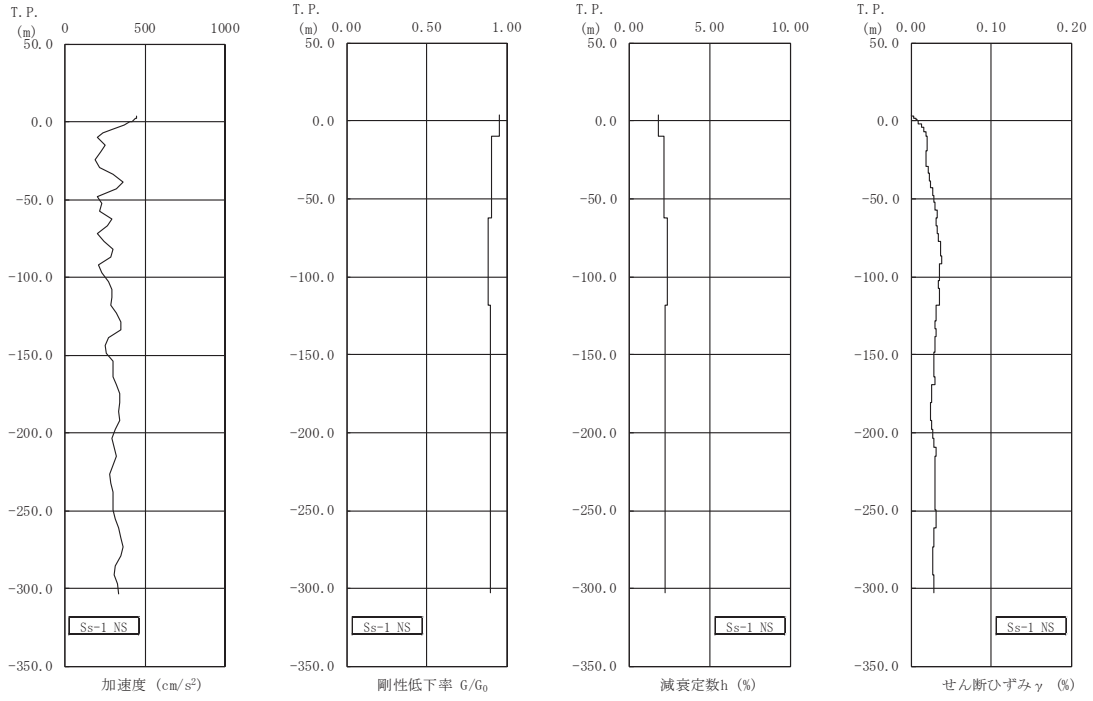


図 3-4 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-1)

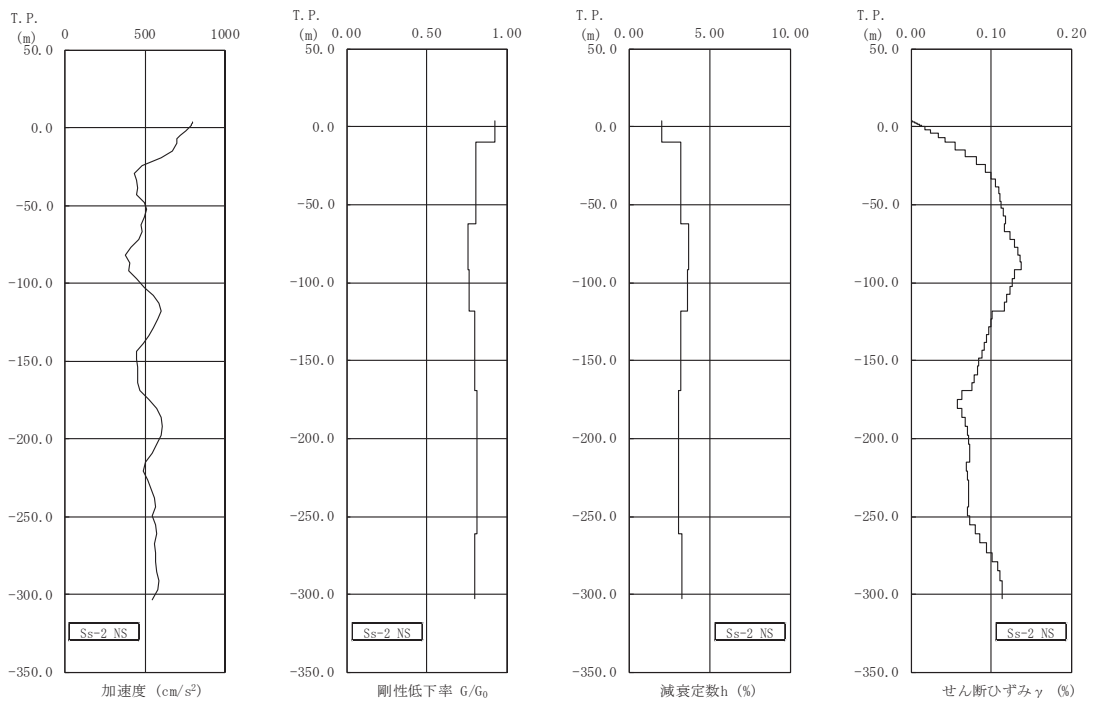


図 3-5 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-2)

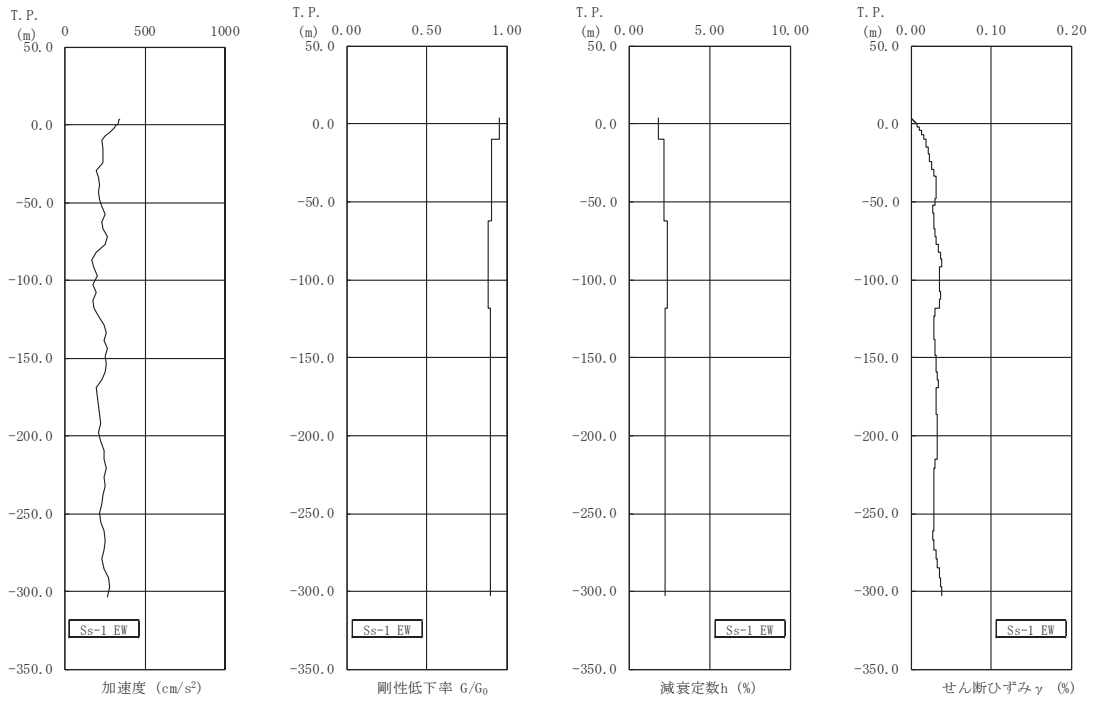


図 3-6 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-1)

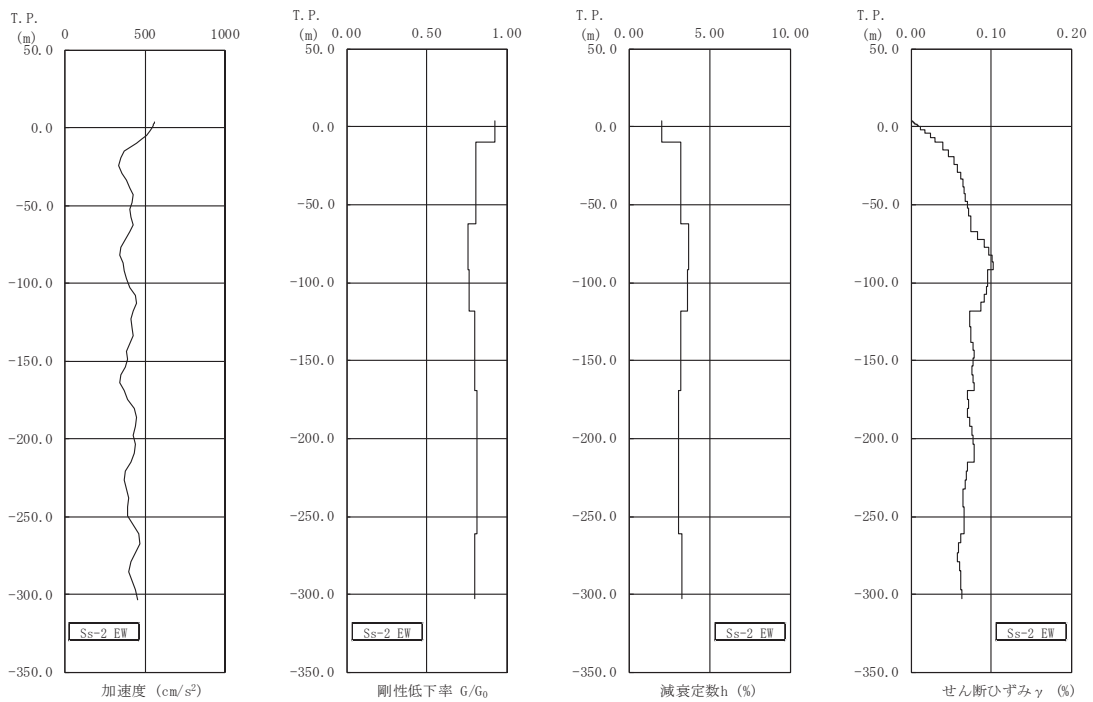


図 3-7 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-2)

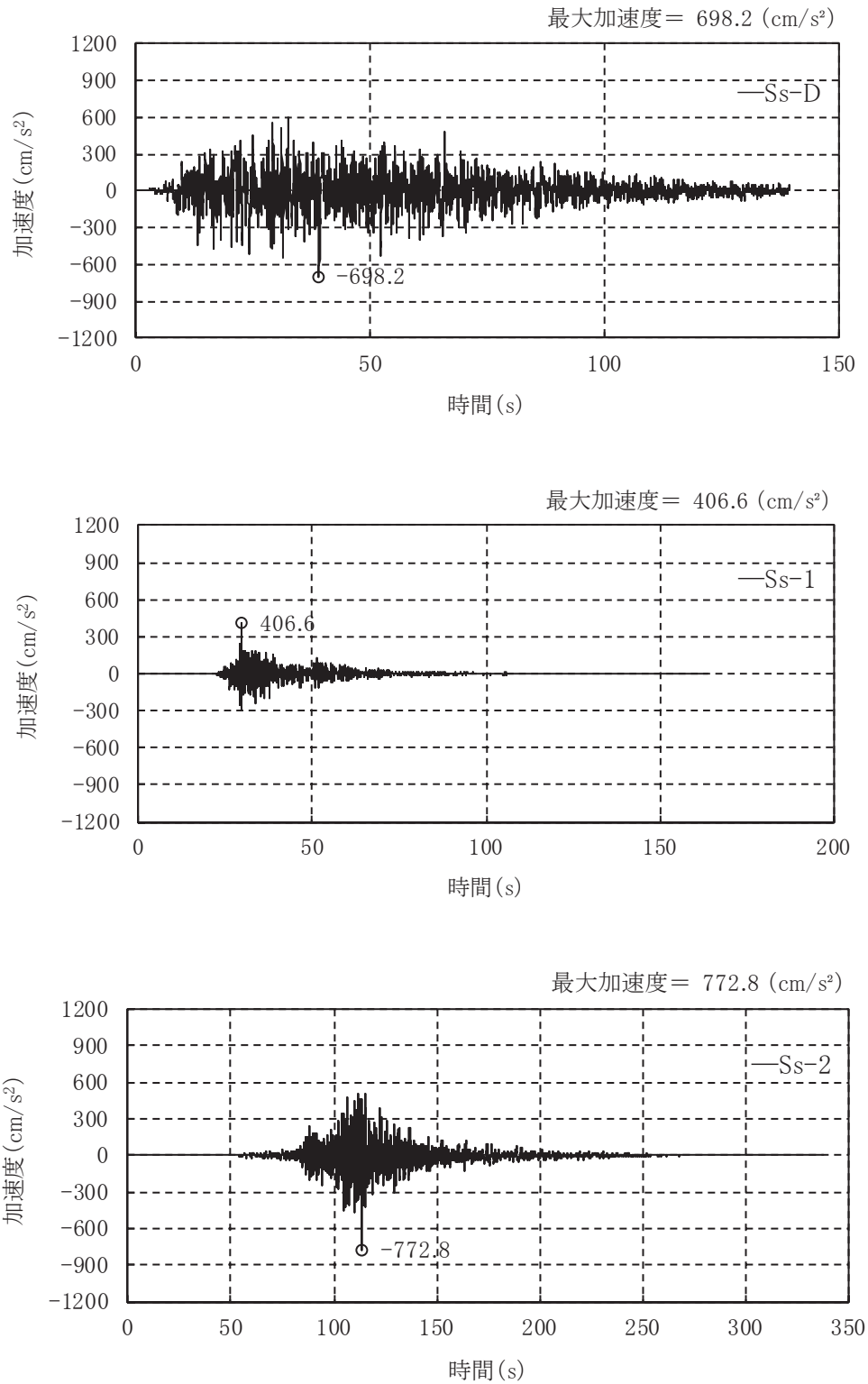


図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向, Ss, 基礎底面位置)

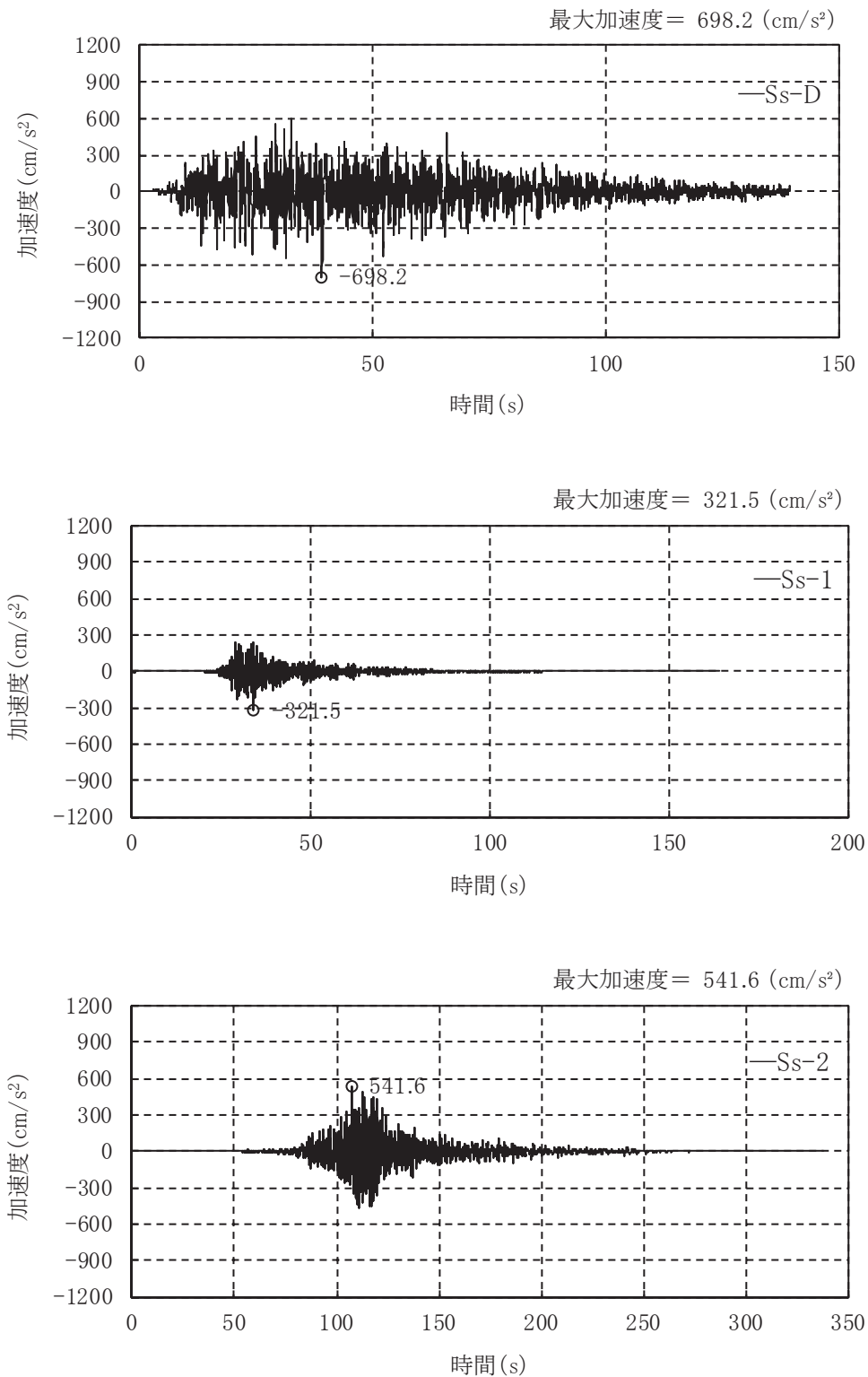
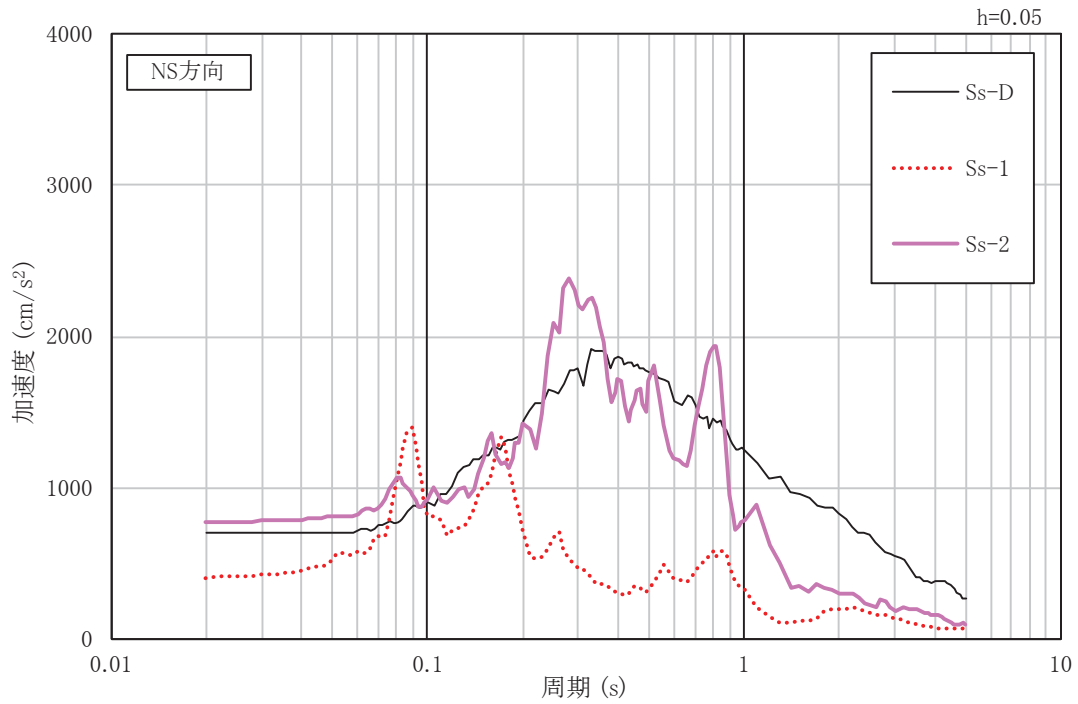
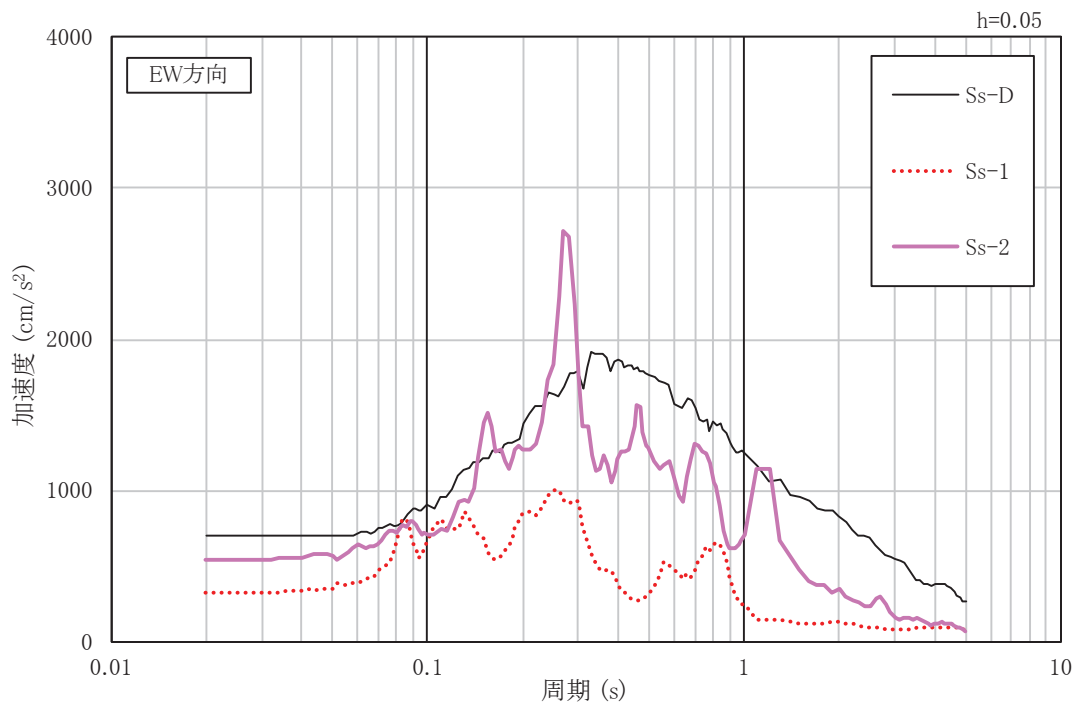


図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向, Ss, 基礎底面位置)



(a)NS 方向



(b)EW 方向

図 3-10 入力地震動の加速度応答スペクトル(水平方向, Ss, 基礎底面位置)

3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、廃止措置計画用設計地震動(Ss)を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を図 3-11 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「DYNEQ^{*}」である。

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地盤の地震応答解析結果を図 3-12 に、建家の基礎底面位置における鉛直方向の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 3-13 及び図 3-14 に示す。

※吉田望(2008): DYNEQ A computer program for DYNamic response analysis of level ground by EQuivalent linear method, 東北学院大学工学部

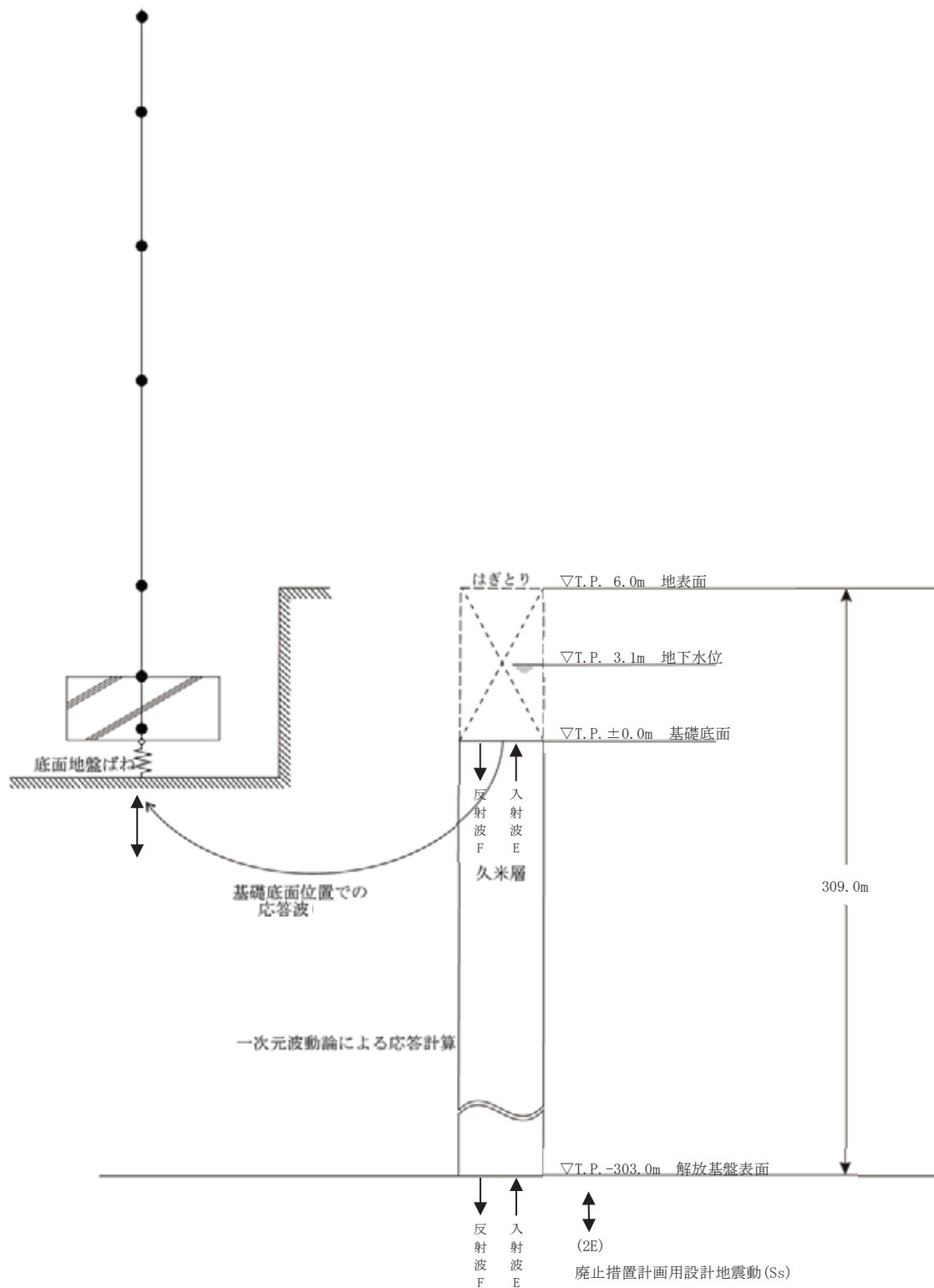


図 3-11 入力地震動算定の概要(鉛直方向)

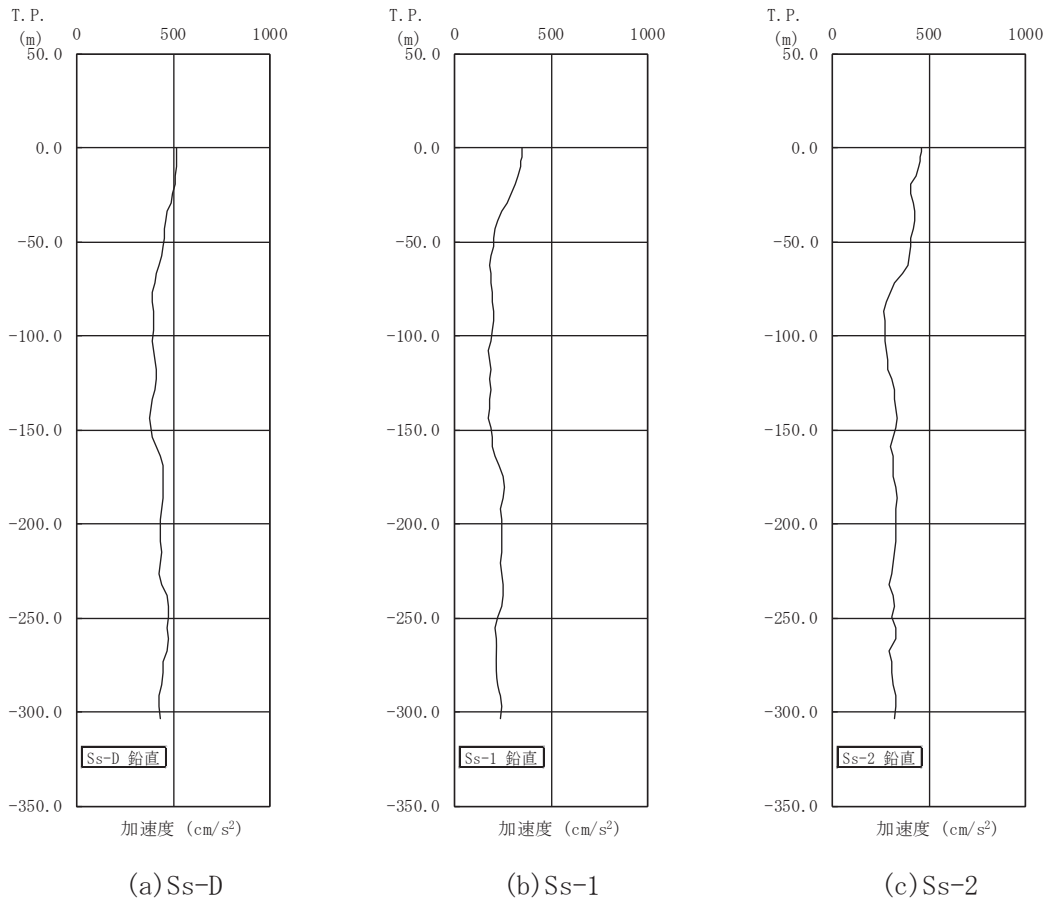


図 3-12 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向, Ss)

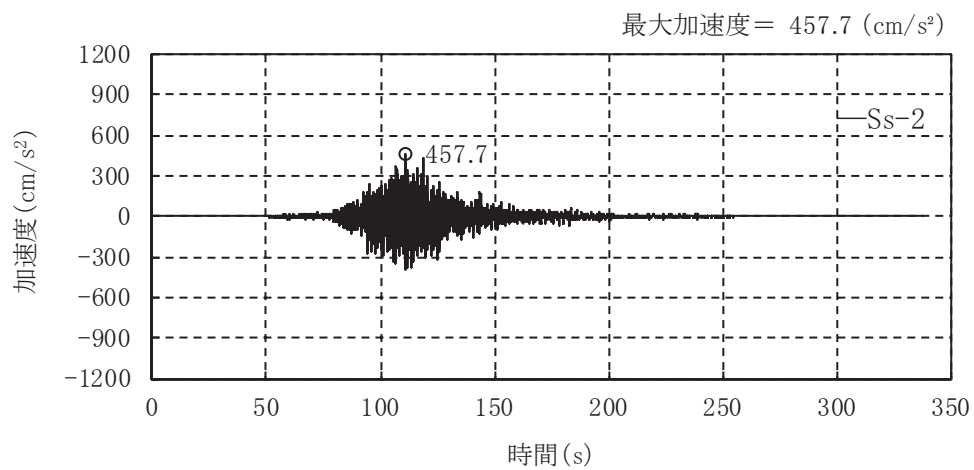
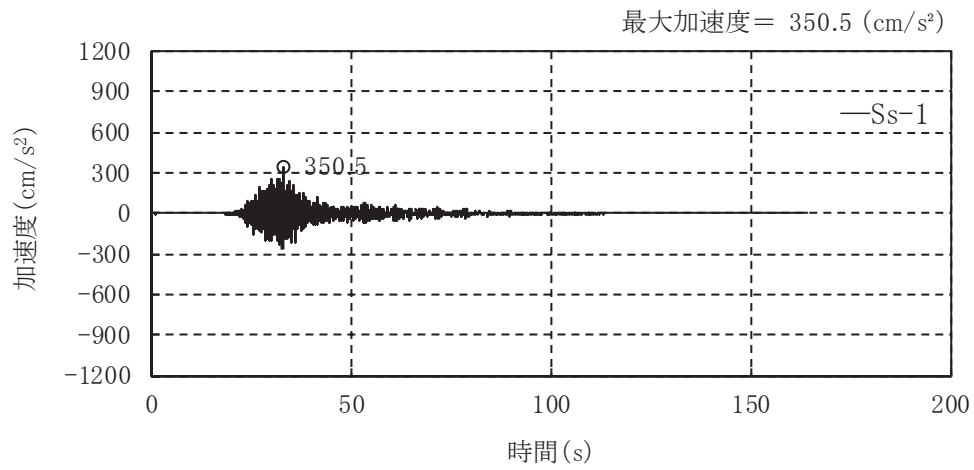
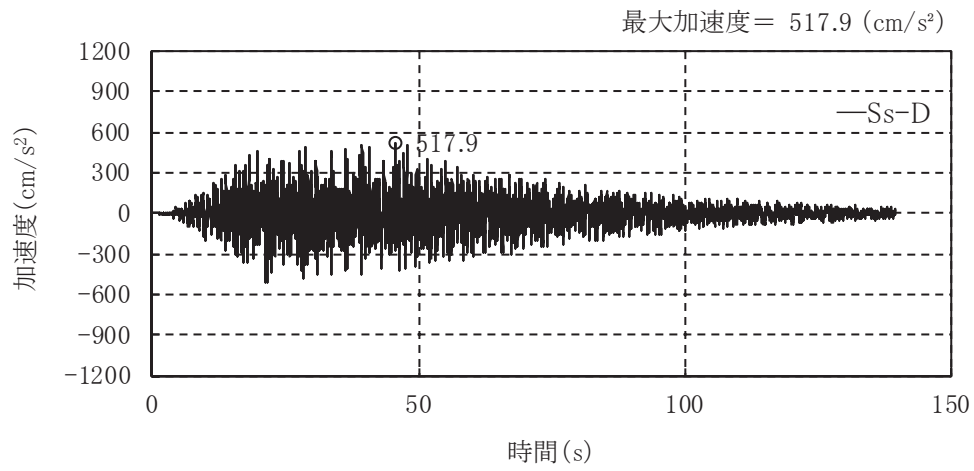


図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向, Ss, 基礎底面位置)

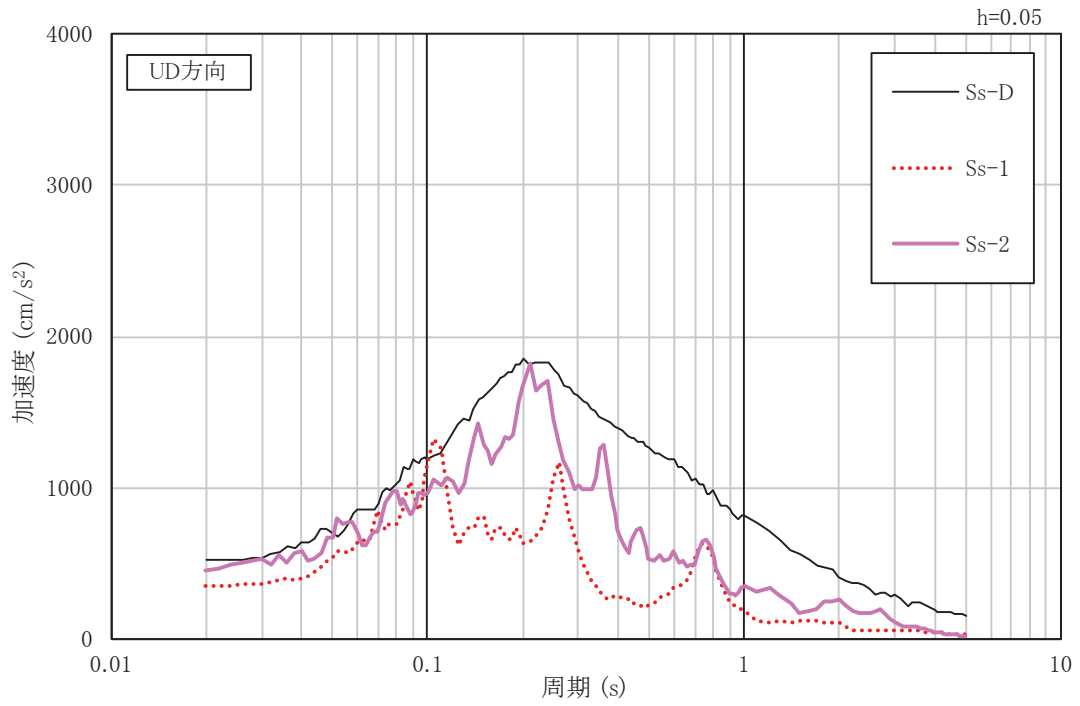


図 3-14 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向, Ss, 基礎底面位置)

4. 解析モデル

4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多質点系モデルとする。

水平方向の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの諸元を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

耐震壁のせん断の復元力特性は、図 4-2 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は、図 4-3 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。せん断及び曲げのスケルトンカーブを表 4-3 から表 4-6 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「ADMITK(株式会社構造計画研究所)」である。また、埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novak の方法により算定する。側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「K-NOVAK(株式会社構造計画研究所)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-7 及び表 4-8 に、地盤ばね定数及び減衰係数と理論解との関係を図 4-4 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家の減衰定数は 3 % (鉄筋コンクリート部分) とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「RESP-F3T(株式会社構造計画研究所)」である。

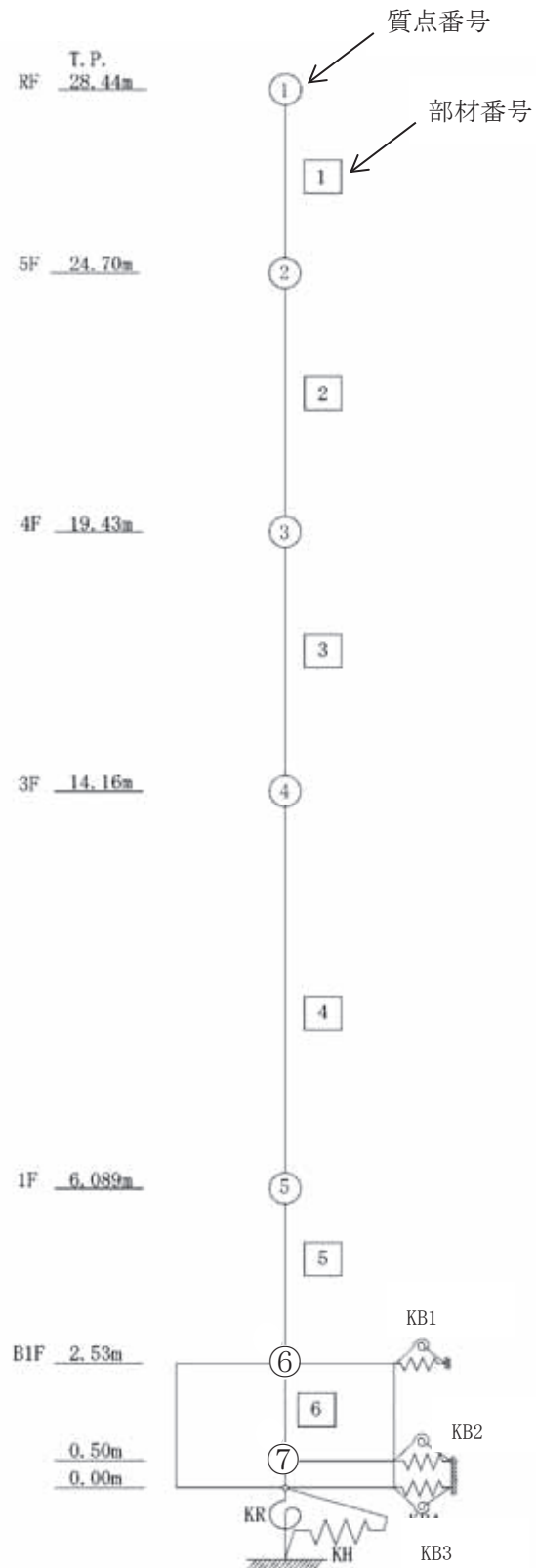


図 4-1 解析モデル(水平方向)

表 4-1 解析モデルの諸元 (NS 方向)

質点 番号	高さ T. P. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN \cdot m 2)	部材 番号	せん断 断面積 (m 2)	断面二次 モーメント (m 4)
1	28.44	4154.6	4712	—		
				1	4.5	27
2	24.70	36046.5	40490	2	65.2	6290
				3	87.1	8730
3	19.43	51038.2	57700	4	212.5	22330
				5	212.5	20650
4	14.16	121100.8	137800	6	790.6	92910
				—		
5	6.089	79292.5	90780	—		
				—		
6	2.53	72321.2	81070	—		
				—		
7	0.50	31655.0	35390	—		
				—		

表 4-2 解析モデルの諸元(EW 方向)

質点 番号	高さ T. P. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN \cdot m 2)	部材 番号	せん断 断面積 (m 2)	断面二次 モーメント (m 4)
1	28.44	4154.6	4328	—		
				1	5.5	79
2	24.70	36046.5	36830	2	39.9	3850
				3	93.2	6650
3	19.43	51038.2	52510	4	208.8	19550
				5	229.8	18020
4	14.16	121100.8	125500	6	830.9	92670
				—		
5	6.089	79292.5	82800	—		
				—		
6	2.53	72321.2	73670	—		
				—		
7	0.50	31655.0	32220	—		
				—		

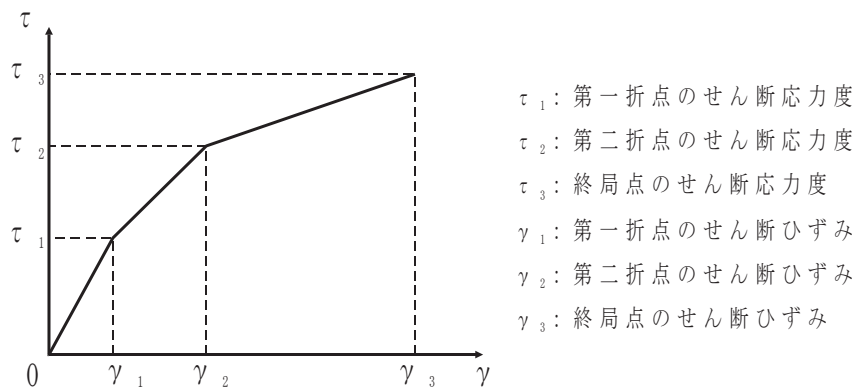


図 4-2 せん断のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

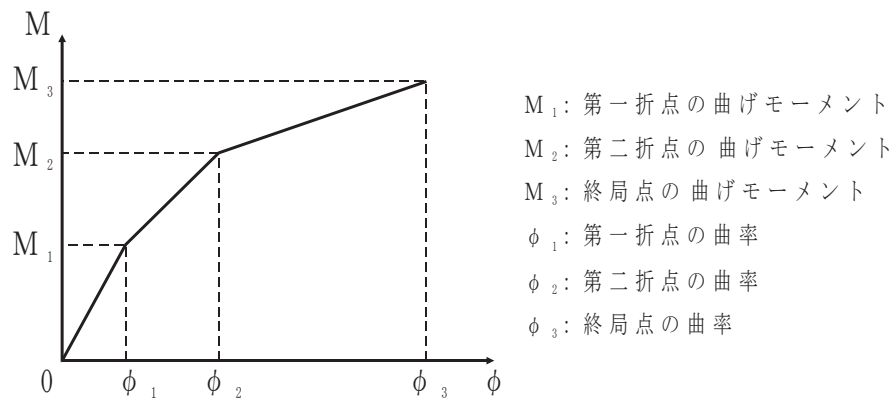


図 4-3 曲げのスケルトンカーブ ($M - \phi$ 関係)

表 4-3 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係, NS 方向)

部材 番号	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.57	0.175	2.12	0.525	4.15	4.00
2	1.57	0.175	2.12	0.526	4.63	4.00
3	1.65	0.184	2.23	0.551	4.83	4.00
4	1.66	0.185	2.24	0.554	4.25	4.00
5	1.72	0.192	2.33	0.576	4.27	4.00

表 4-4 曲げのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係, NS 方向)

部材 番号	M ₁ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-3}$ 1/m)
1	0.165	2.83	0.0401	26.3	0.0610	5.27
2	8.54	0.630	1.64	6.21	2.48	1.24
3	12.9	0.683	2.93	6.62	4.45	1.18
4	33.2	0.689	6.95	6.41	10.4	1.22
5	32.8	0.736	7.48	6.55	10.6	1.02

表 4-5 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係, EW 方向)

部材 番号	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.57	0.175	2.12	0.525	4.55	4.00
2	1.57	0.175	2.12	0.526	4.70	4.00
3	1.65	0.184	2.23	0.551	5.01	4.00
4	1.66	0.185	2.24	0.554	4.27	4.00
5	1.72	0.192	2.33	0.576	4.24	4.00

表 4-6 曲げのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係, EW 方向)

部材 番号	M ₁ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-3}$ 1/m)
1	0.321	1.89	0.0742	17.0	0.107	3.41
2	5.53	0.667	1.31	6.76	1.91	1.35
3	10.4	0.724	2.84	7.43	5.01	0.931
4	30.7	0.730	6.42	6.85	9.47	1.29
5	30.3	0.780	7.01	7.06	9.99	1.05

表 4-7 地盤ばね定数及び減衰係数 (NS 方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	KB1	4.177×10^6	4.922×10^5
			KB2	2.126×10^6	2.506×10^5
			KB3	4.202×10^5	4.952×10^4
		回転	KB1	1.235×10^9	4.354×10^7
			KB2	6.286×10^8	2.216×10^7
			KB3	1.242×10^8	4.380×10^6
	底面	水平	KH	3.942×10^7	1.016×10^6
		回転	KR	1.620×10^{10}	1.134×10^8
	Ss-1	側面	水平	KB1	4.327×10^6
KB2				2.203×10^6	2.552×10^5
KB3				4.353×10^5	5.043×10^4
回転			KB1	1.279×10^9	4.468×10^7
			KB2	6.512×10^8	2.275×10^7
			KB3	1.287×10^8	4.495×10^6
底面		水平	KH	4.427×10^7	1.076×10^6
		回転	KR	1.820×10^{10}	1.184×10^8
Ss-2		側面	水平	KB1	4.199×10^6
	KB2			2.137×10^6	2.513×10^5
	KB3			4.224×10^5	4.966×10^4
	回転		KB1	1.241×10^9	4.380×10^7
			KB2	6.318×10^8	2.230×10^7
			KB3	1.249×10^8	4.406×10^6
	底面	水平	KH	4.066×10^7	1.032×10^6
		回転	KR	1.671×10^{10}	1.148×10^8

表 4-8 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	KB1	4.177×10^6	4.923×10^5
			KB2	2.126×10^6	2.506×10^5
			KB3	4.202×10^5	4.952×10^4
		回転	KB1	1.235×10^9	4.341×10^7
			KB2	6.286×10^8	2.210×10^7
			KB3	1.242×10^8	4.368×10^6
	底面	水平	KH	3.960×10^7	1.025×10^6
		回転	KR	1.514×10^{10}	1.001×10^8
	Ss-1	側面	水平	KB1	4.327×10^6
KB2				2.203×10^6	2.552×10^5
KB3				4.353×10^5	5.044×10^4
回転			KB1	1.279×10^9	4.456×10^7
			KB2	6.512×10^8	2.268×10^7
			KB3	1.287×10^8	4.483×10^6
底面		水平	KH	4.445×10^7	1.085×10^6
		回転	KR	1.700×10^{10}	1.045×10^8
Ss-2		側面	水平	KB1	4.199×10^6
	KB2			2.137×10^6	2.513×10^5
	KB3			4.224×10^5	4.967×10^4
	回転		KB1	1.241×10^9	4.364×10^7
			KB2	6.318×10^8	2.222×10^7
			KB3	1.249×10^8	4.391×10^6
	底面	水平	KH	4.084×10^7	1.041×10^6
		回転	KR	1.561×10^{10}	1.011×10^8

4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した多質点系モデルとする。建家部分は質点を鉛直方向のばねで連結しモデル化する。

なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

鉛直方向の解析モデルを図 4-5 に、解析モデルの諸元を表 4-9 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「ADMITK(株式会社構造計画研究所)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-10 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算出する。建家の減衰定数は 3 % (鉄筋コンクリート部分) とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「RESP-F3T(株式会社構造計画研究所)」である。

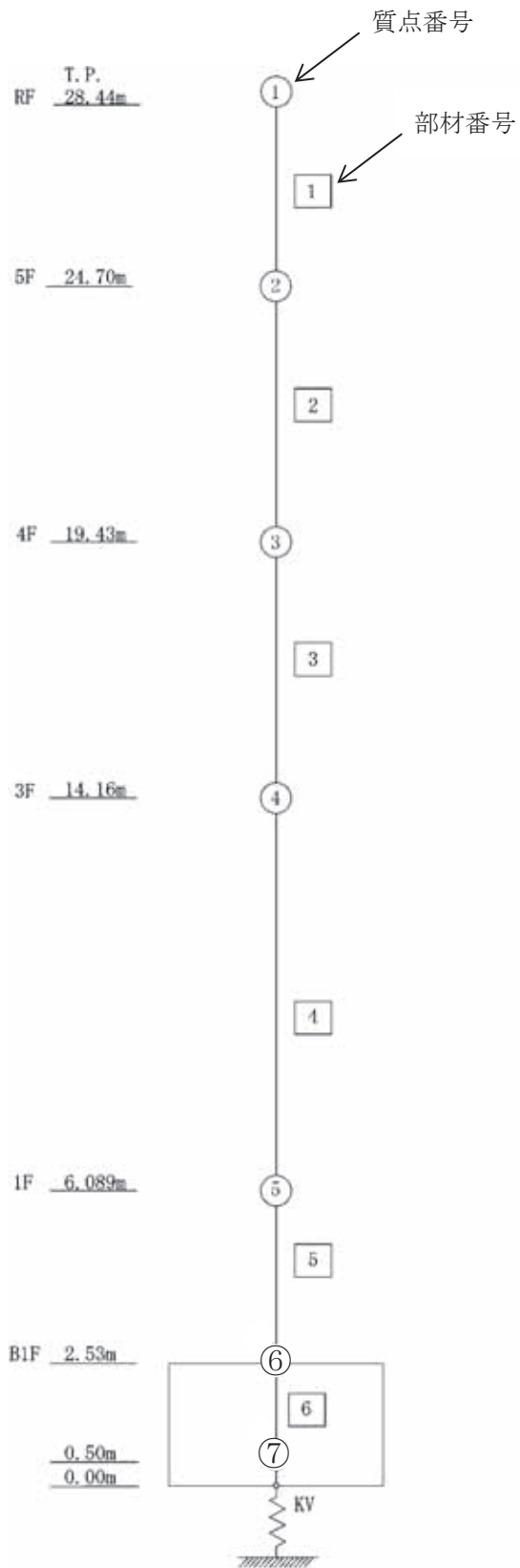


図 4-5 解析モデル(鉛直方向)

表 4-9 解析モデルの諸元(鉛直方向)

質点 番号	高さ T.P. (m)	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m ²)
1	28.44	4154.6	—	
			1	11.9
2	24.70	36046.5	2	114.2
			3	172.8
3	19.43	51038.2	4	387.8
			5	415.4
4	14.16	121100.8	6	1130.9
			—	
5	6.089	79292.5		
6	2.53	72321.2		
7	0.50	31655.0		

表 4-10 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向, S_s)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
S _s -D	底面	鉛直	KV	5.819×10^7	2.234×10^6
S _s -1	底面	鉛直	KV	6.769×10^7	2.403×10^6
S _s -2	底面	鉛直	KV	6.089×10^7	2.283×10^6

5. 解析結果

5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を表 5-1 から表 5-3 に示す。刺激関数を S_s-D の結果を代表として、図 5-1 から図 5-6 に示す。

表 5-1 固有値解析結果(Ss-D)

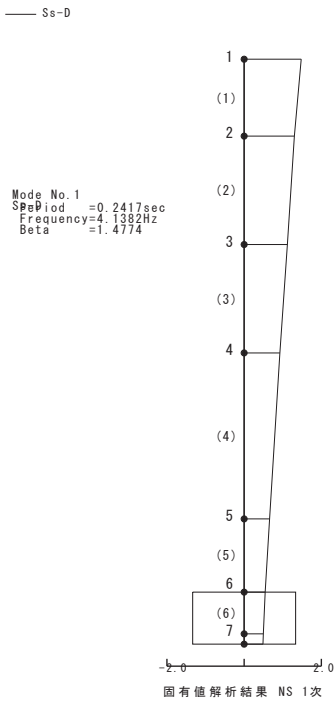
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.242	4.14	1.477	全体1次
	2	0.119	8.38	-0.625	
	3	0.106	9.40	0.202	
	4	0.049	20.37	-0.038	
	5	0.042	24.08	0.114	
	6	0.037	26.80	-0.054	
	7	0.030	33.77	0.012	
EW	1	0.244	4.10	1.485	全体1次
	2	0.114	8.76	-0.573	
	3	0.065	15.48	0.087	
	4	0.052	19.19	0.009	
	5	0.043	23.36	0.039	
	6	0.034	29.27	0.039	
	7	0.031	32.27	-0.048	
UD	1	0.169	5.93	1.053	全体1次
	2	0.028	36.32	-0.081	
	3	0.017	58.05	0.048	
	4	0.014	69.69	-0.022	
	5	0.011	91.54	0.002	
	6	0.008	126.58	-0.005	
	7	0.003	371.96	0.002	

表 5-2 固有値解析結果(Ss-1)

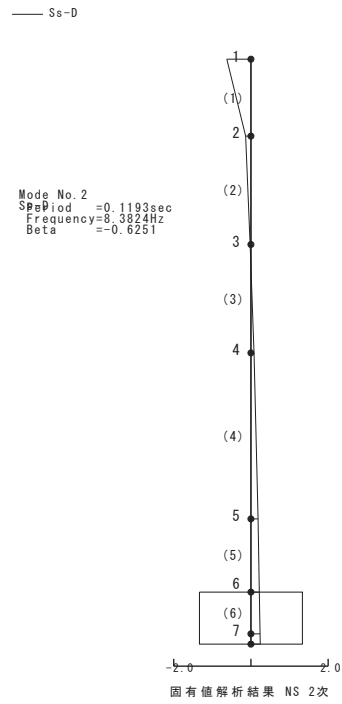
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.231	4.32	1.493	全体 1 次
	2	0.117	8.53	-0.551	
	3	0.104	9.64	0.282	
	4	0.049	20.49	-0.040	
	5	0.041	24.15	0.133	
	6	0.037	26.86	-0.065	
	7	0.030	33.89	0.013	
EW	1	0.234	4.28	1.499	全体 1 次
	2	0.110	9.12	-0.602	
	3	0.064	15.51	0.097	
	4	0.052	19.31	0.013	
	5	0.043	23.42	0.044	
	6	0.034	29.34	0.039	
	7	0.031	32.34	-0.051	
UD	1	0.157	6.37	1.061	全体 1 次
	2	0.027	36.40	-0.094	
	3	0.017	58.09	0.056	
	4	0.014	69.70	-0.025	
	5	0.011	91.54	0.003	
	6	0.008	126.62	-0.006	
	7	0.003	372.03	0.003	

表 5-3 固有値解析結果(Ss-2)

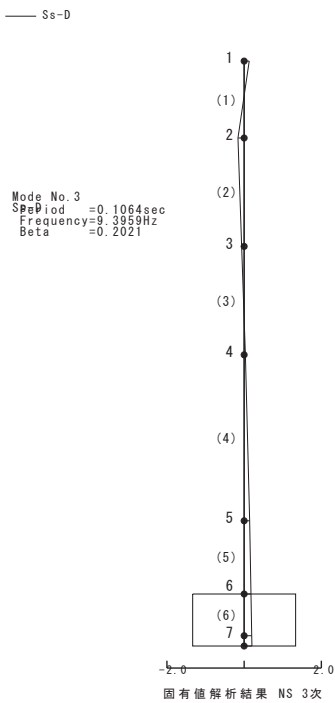
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.239	4.19	1.481	全体1次
	2	0.119	8.43	-0.610	
	3	0.106	9.45	0.224	
	4	0.049	20.40	-0.038	
	5	0.041	24.10	0.119	
	6	0.037	26.82	-0.057	
	7	0.030	33.80	0.013	
EW	1	0.241	4.14	1.488	全体1次
	2	0.113	8.85	-0.581	
	3	0.065	15.48	0.089	
	4	0.052	19.22	0.010	
	5	0.043	23.38	0.040	
	6	0.034	29.28	0.039	
	7	0.031	32.28	-0.049	
UD	1	0.165	6.06	1.055	全体1次
	2	0.028	36.34	-0.084	
	3	0.017	58.06	0.050	
	4	0.014	69.69	-0.023	
	5	0.011	91.54	0.002	
	6	0.008	126.59	-0.005	
	7	0.003	371.98	0.002	



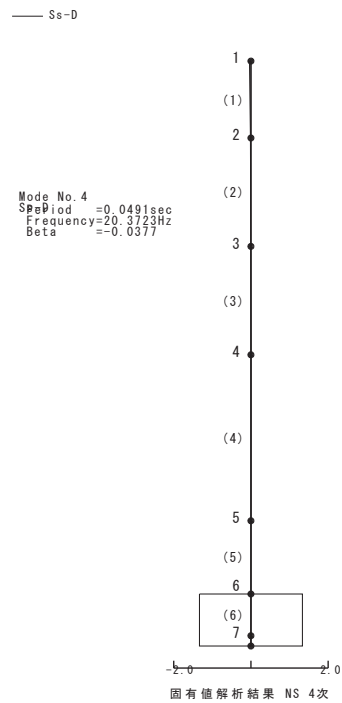
(1次)



(2次)

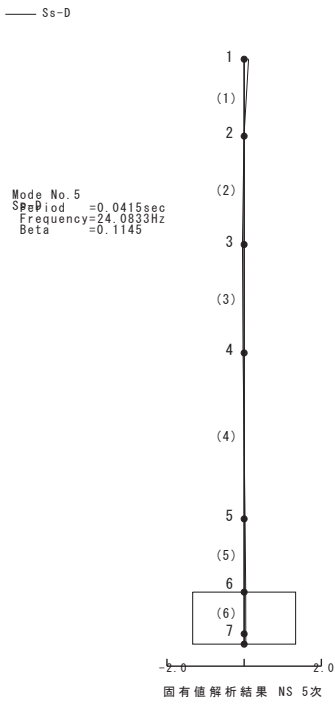


(3次)

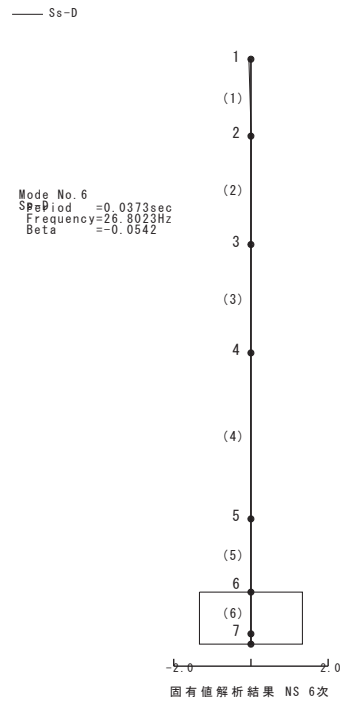


(4次)

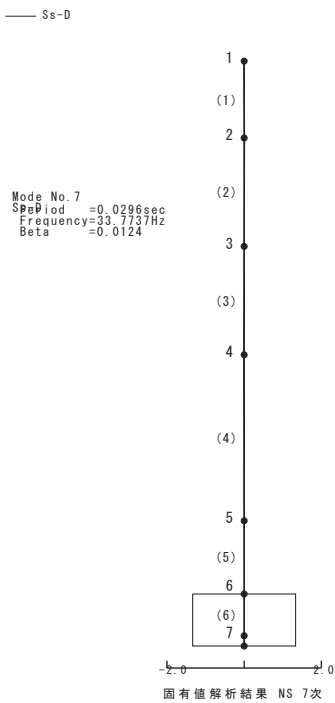
図 5-1 刺激関数(NS方向, Ss-D, 1~4次)



(5 次)

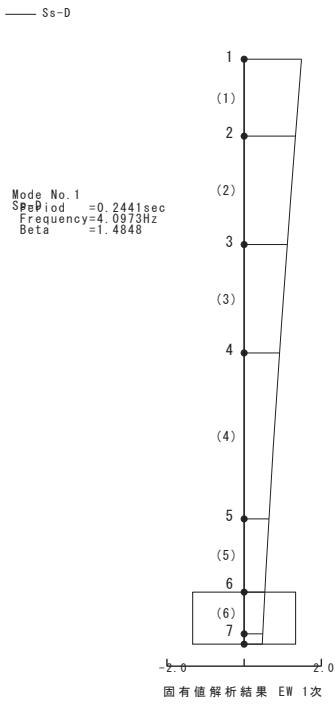


(6 次)

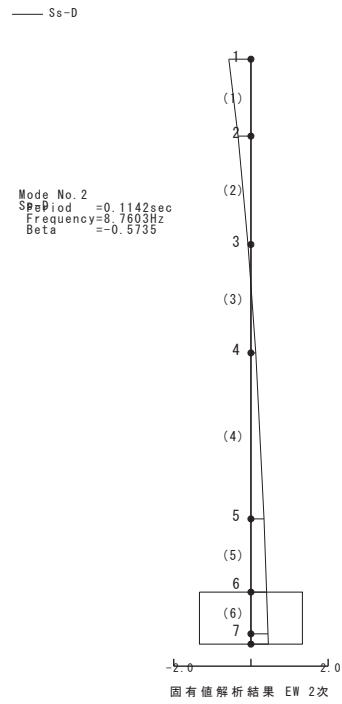


(7 次)

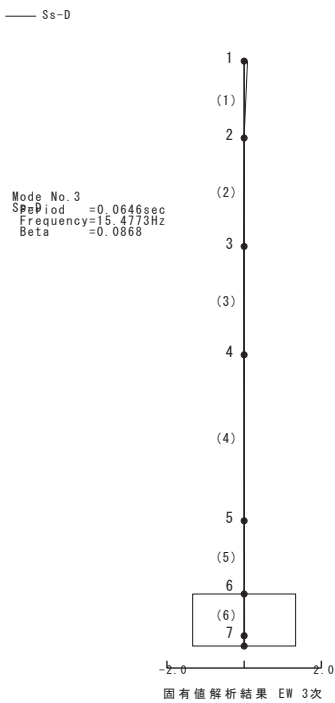
図 5-2 刺激関数(NS 方向, Ss-D, 5~7 次)



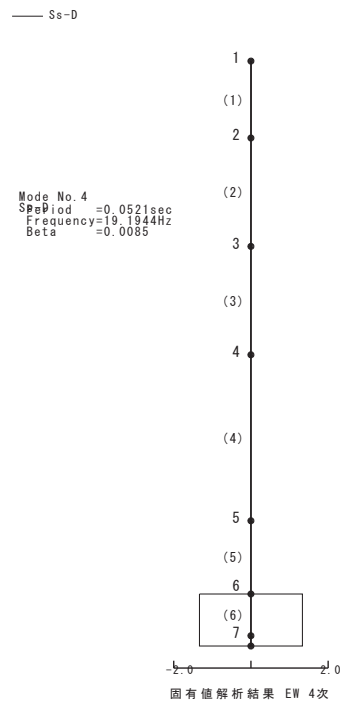
(1 次)



(2 次)

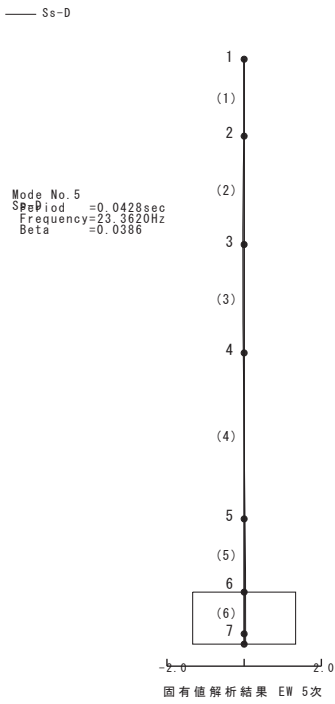


(3 次)

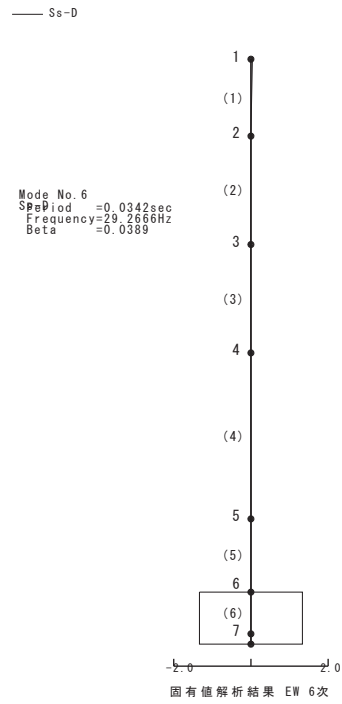


(4 次)

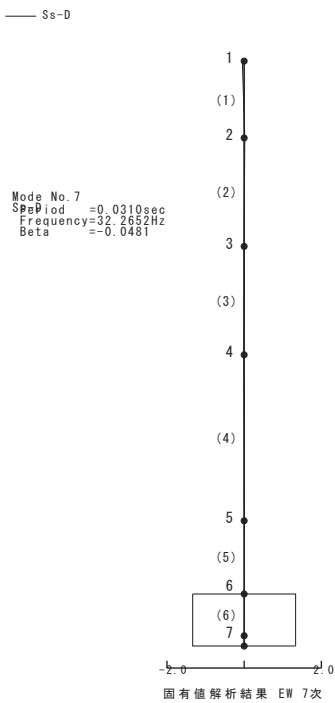
図 5-3 刺激関数(EW 方向, Ss-D, 1~4 次)



(5 次)

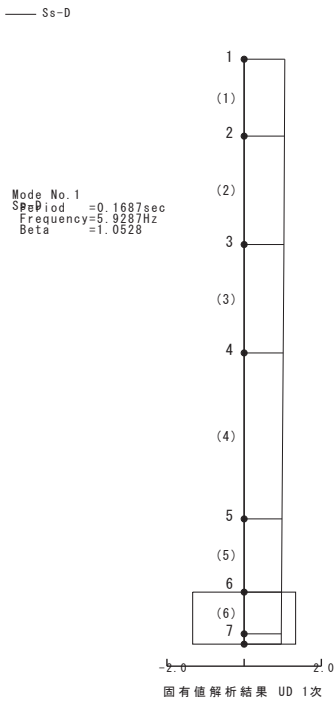


(6 次)

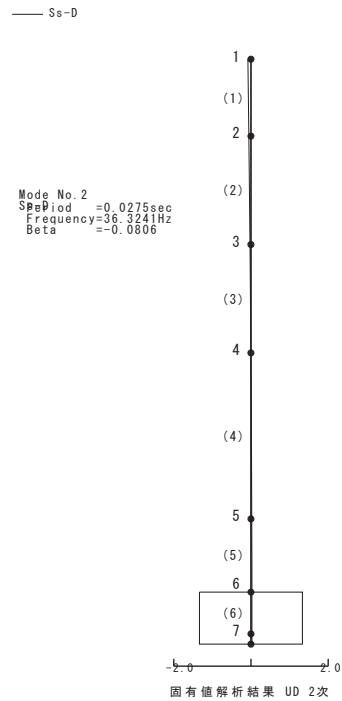


(7 次)

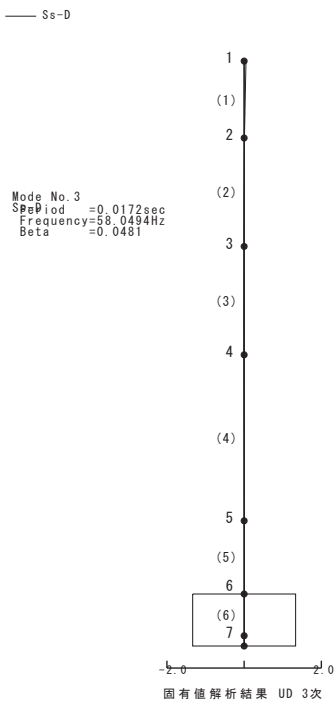
図 5-4 刺激関数(EW 方向, Ss-D, 5~7 次)



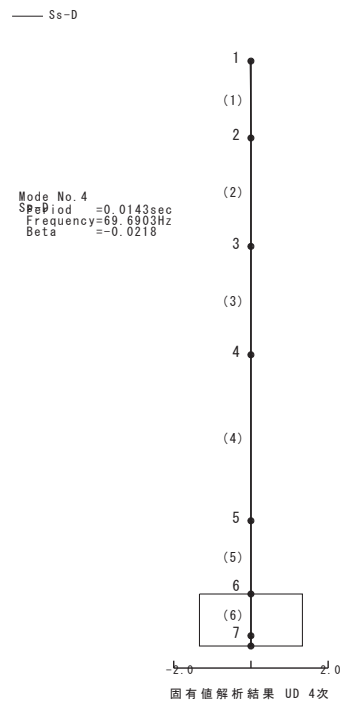
(1 次)



(2 次)

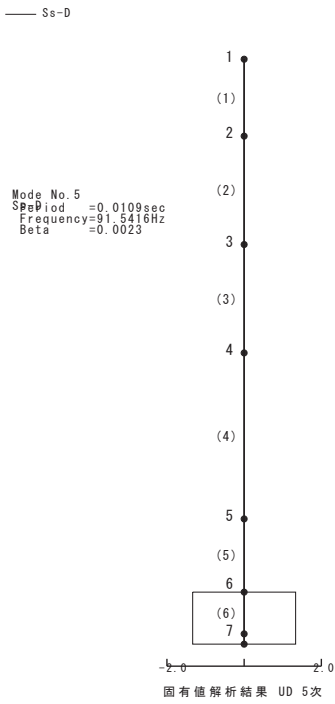


(3 次)

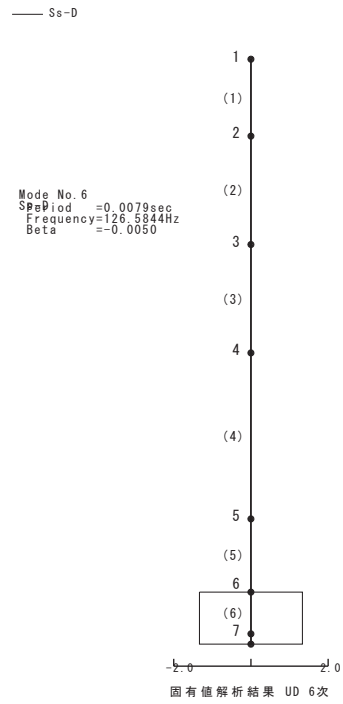


(4 次)

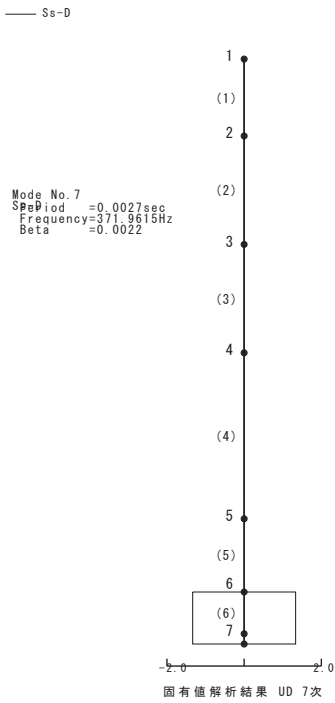
図 5-5 刺激関数(UD 方向, Ss-D, 1~4 次)



(5 次)



(6 次)



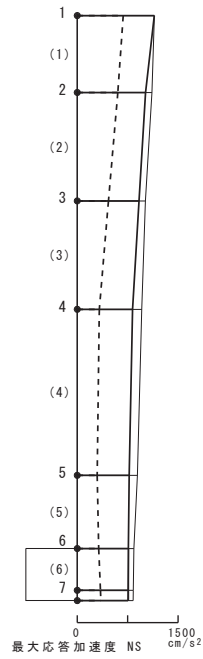
(7 次)

図 5-6 刺激関数(UD 方向, Ss-D, 5~7 次)

5.2 地震応答解析結果

廃止措置計画用設計地震動 (S_s) による水平方向の最大応答加速度, 最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを図 5-7 から図 5-12 に, 鉛直方向の最大応答加速度及び最大応答軸力を図 5-13 から図 5-14 に示す。また, 耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を図 5-15 及び図 5-16 に示す。せん断ひずみは最大で 0.15×10^{-3} であり, 評価基準値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

--- Ss-D
 - - - Ss-1
 --- Ss-2

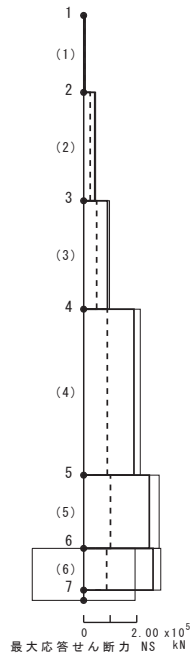


単位: cm/s²

質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	1,146	684	1,147
2	1,017	604	1,112
3	919	464	1,014
4	822	328	959
5	772	296	895
6	760	319	843
7	756	345	833

図 5-7 最大応答加速度 (Ss, NS 方向)

--- Ss-D
 - - - Ss-1
 --- Ss-2

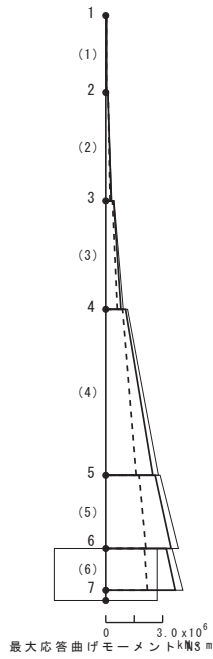


単位: $\times 10^4$ kN

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	0.49	0.29	0.49
2	4.18	2.47	4.50
3	8.96	4.89	9.74
4	18.96	8.92	21.35
5	24.76	10.09	28.45
6	26.16	8.67	29.07

図 5-8 最大応答せん断力 (Ss, NS 方向)

— Ss-D
 - - Ss-1
 - - Ss-2

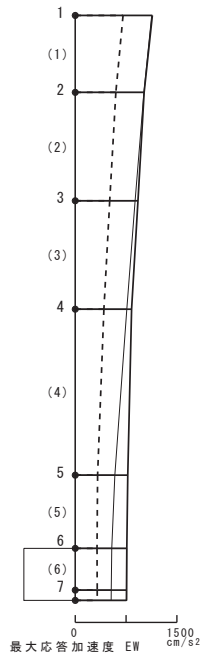


単位: $\times 10^4$ kN · m

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	4.8	3.6	4.4
	4.6	3.7	4.2
2	11.1	12.6	10.4
	28.3	22.4	32.1
3	41.3	35.1	43.6
	79.8	60.8	92.4
4	104.3	88.5	115.3
	248.5	160.4	277.9
5	260.3	175.7	286.8
	344.5	211.6	383.2
6	319.0	203.4	349.6
	366.8	219.6	407.0

図 5-9 最大応答曲げモーメント (Ss, NS 方向)

— Ss-D
 - - Ss-1
 - - Ss-2

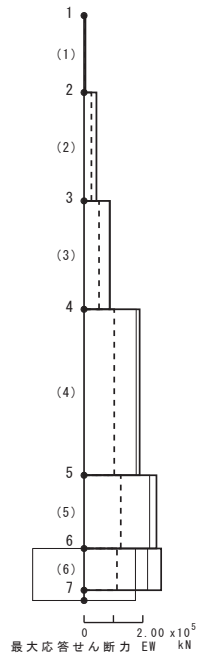


単位: cm/s^2

質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	1,138	705	1,128
2	1,017	599	1,013
3	925	509	883
4	832	423	761
5	775	330	585
6	761	321	539
7	756	324	531

図 5-10 最大応答加速度 (Ss, EW 方向)

--- S_s-D
 - - - S_s-1
 - - - S_s-2

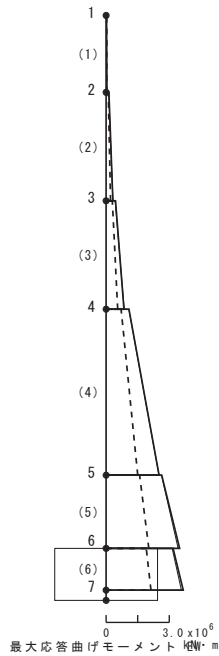


単位: $\times 10^4$ kN

部材	S _s -D	S _s -1	S _s -2
1	0.48	0.30	0.48
2	4.21	2.50	4.21
3	8.81	5.09	8.58
4	18.91	10.26	17.74
5	24.63	12.49	22.32
6	26.24	11.18	21.62

図 5-11 最大応答せん断力 (S_s, EW 方向)

--- S_s-D
 - - - S_s-1
 - - - S_s-2

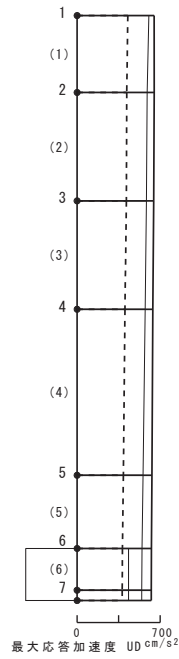


単位: $\times 10^4$ kN · m

部材	S _s -D	S _s -1	S _s -2
1	2.1 3.3	2.9 3.3	1.9 3.4
2	13.3 32.0	10.1 21.1	12.1 32.4
3	44.6 84.9	29.4 55.1	42.8 86.1
4	108.6 251.4	71.3 150.2	107.8 251.0
5	264.0 349.2	159.1 202.8	263.0 342.2
6	318.3 366.2	190.6 213.3	313.8 357.6

図 5-12 最大応答曲げモーメント (S_s, EW 方向)

$\text{---} S_s\text{-D}$
 $\text{- - -} S_s\text{-1}$
 $\text{---} S_s\text{-2}$

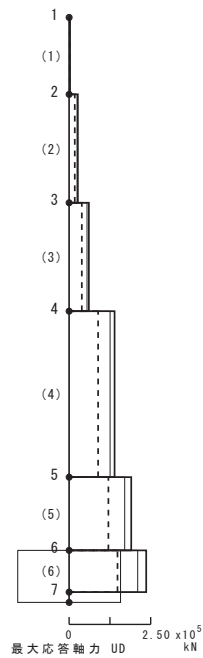


単位: cm/s^2

質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	650	427	605
2	650	418	591
3	646	415	585
4	638	403	574
5	631	390	556
6	626	382	547
7	625	380	545

図 5-13 最大応答加速度 (S_s , UD 方向)

$\text{---} S_s\text{-D}$
 $\text{- - -} S_s\text{-1}$
 $\text{---} S_s\text{-2}$



単位: $\times 10^2 \text{ kN}$

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	27.61	18.19	25.74
	27.61	18.19	25.74
2	267.24	172.63	243.66
	267.24	172.63	243.66
3	604.08	389.48	548.74
	604.08	389.48	548.74
4	1,393.33	888.36	1,256.31
	1,393.33	888.36	1,256.31
5	1,902.34	1,202.80	1,702.50
	1,902.34	1,202.80	1,702.50
6	2,361.95	1,482.17	2,101.32
	2,361.95	1,482.17	2,101.32

図 5-14 最大応答軸力 (S_s , UD 方向)

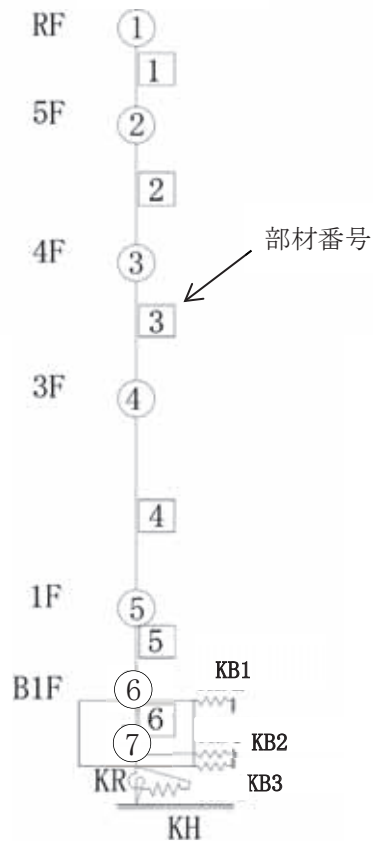
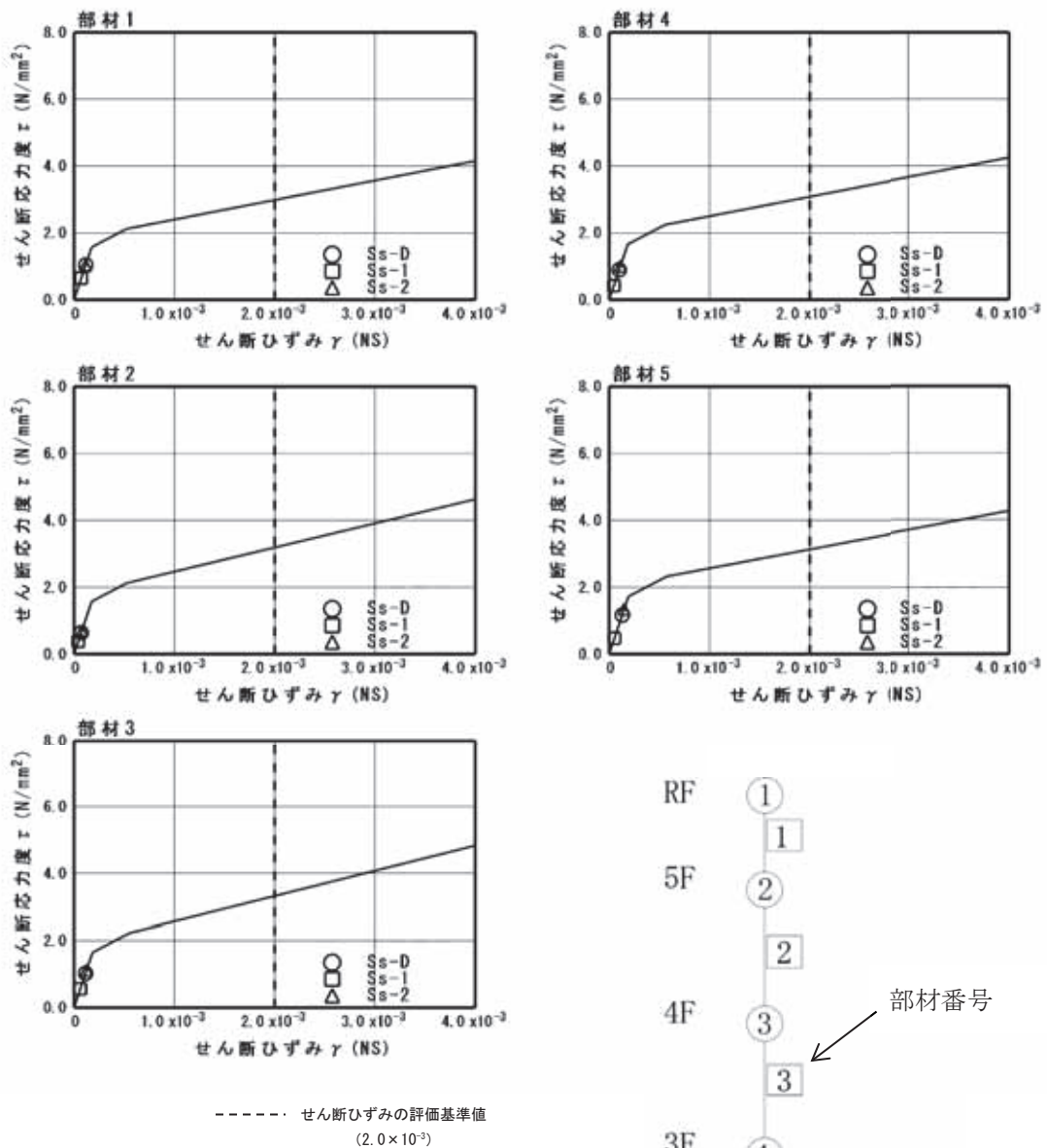
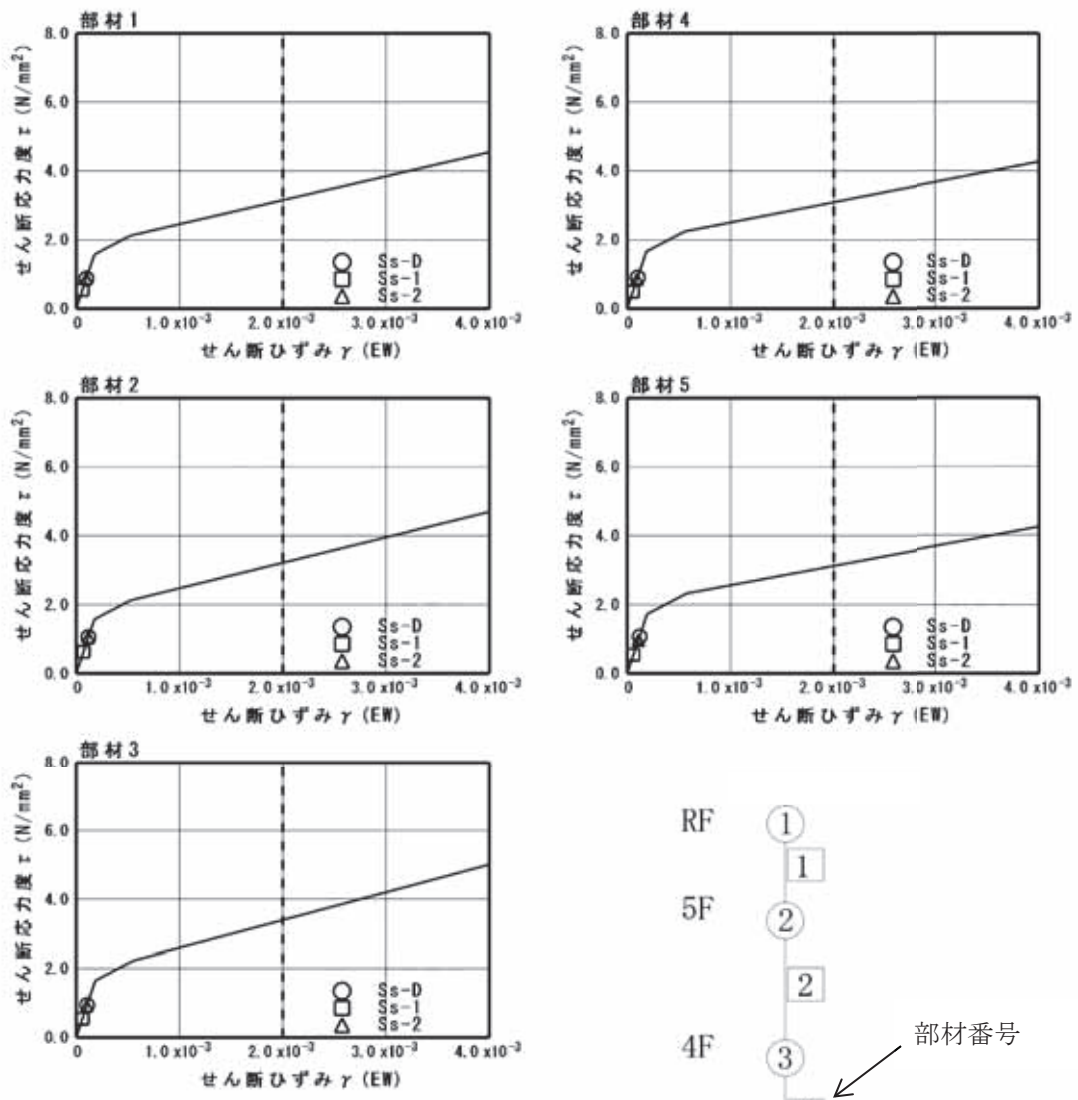


図 5-15 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向, Ss)



----- せん断ひずみの評価基準値
(2.0×10^{-3})

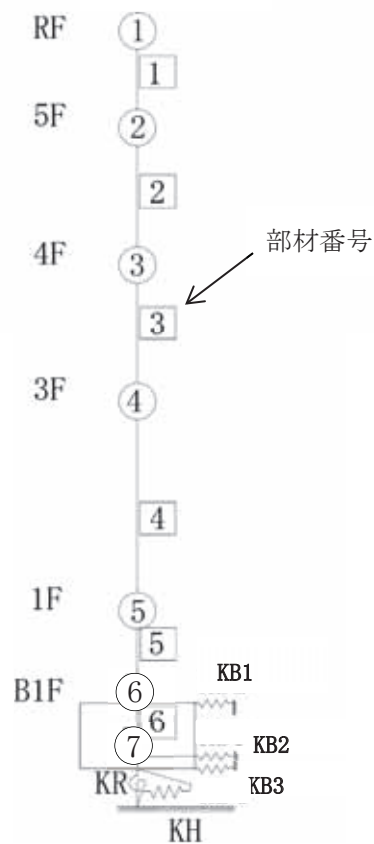


図 5-16 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向, Ss)

6. 基礎浮き上がりの検討

廃止措置計画用設計地震動(S_s)による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を表 6-1 に示す。地震時の最大接地圧は、地反力分布を三角形分布と仮定し、鉛直方向の地震力を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮して算定する。最大接地圧の一覧表を表 6-2 に示す。

接地率は、浮き上がり非線形ばねを用いた地震応答解析を適用できる基準値(65 %以上)を満足していることを確認した。

接地圧は、基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度 2350 kN/m²を超えないことを確認した。

表 6-1 最小接地率(Ss)

(a)NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	2.77	3.60	78.0
Ss-1		2.11	100.0
Ss-2		4.00	67.3

(b)EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	2.64	3.57	74.1
Ss-1		2.08	100.0
Ss-2		3.48	76.6

表 6-2 最大接地圧(Ss)

地震動	方向	最大接地圧 (kN/m ²)
Ss-D	NS	987
	EW	1092
Ss-1	NS	581
	EW	590
Ss-2	NS	1208
	EW	959

7. 評価結果

HAW 施設の耐震性評価として廃止措置計画用設計地震動(S_s)による地震応答解析を行い、接地率が浮き上がり非線形ばねを用いた地震応答解析を適用できる基準を満足していること、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。以上により、HAW 施設は廃止措置計画用設計地震動(S_s)に対して耐震余裕を有していることを確認した。

3. 高放射性廃液貯蔵場（HAW 施設）の
機器・配管系の耐震性計算書

3.1 高放射性廃液貯槽(272V31～V36)
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 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組み合わせ	3
4.2 許容応力	3
4.3 減衰定数	4
4.4 設計用地震力	4
4.5 計算方法	6
4.6 計算条件	6
4.7 固有周期	8
5. 評価結果	12

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する高放射性廃液貯槽(272V31～V36)について、「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の構造強度の評価は，有限要素法(FEM)解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)
- (5) 地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察
JAEA-Technology 2011-006

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_L	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める許容荷重	N
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
S_u	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
S_{yd}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める最高使用温度における材料の設計降伏点	MPa
S_{yt}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める試験温度における材料の設計降伏点	MPa
T_L	JSME S NC1-2012 SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重	N

3. 評価部位

高放射性廃液貯槽 (272V31~V36) の構造強度の評価は、評価上厳しくなる胴、ラグ、据付ボルトについて実施する。高放射性廃液貯槽 (272V31~V36) の概要図を図 3-1 に示す。

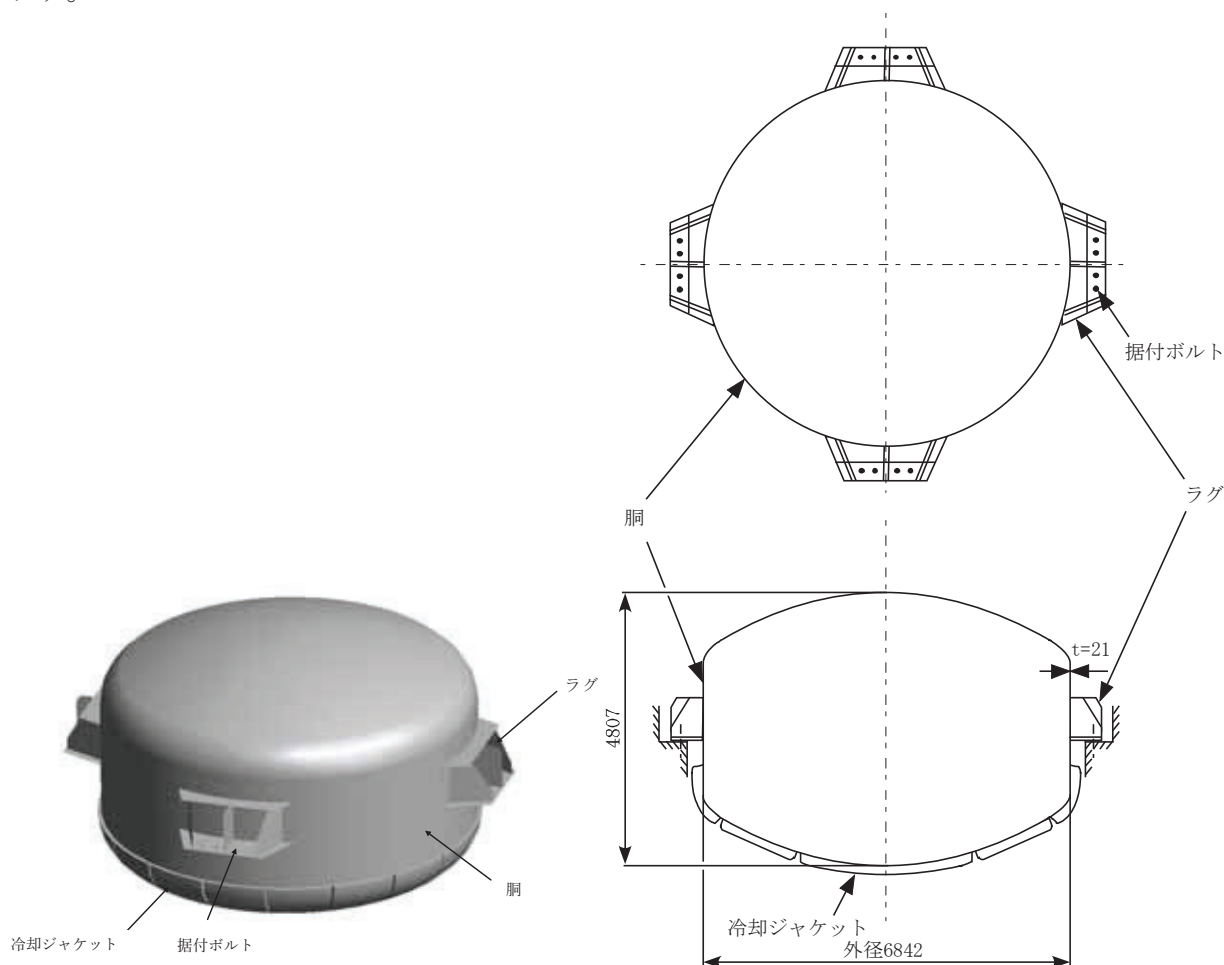


図 3-1 高放射性廃液貯槽 (272V31~V36) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価にあたっては供用状態 D_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自重については液量を満杯とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

据付ボルトのせん断応力の許容応力について、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012 SSB-3200」では、当該支持構造物と同一の材質及び形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができることとしていることから、当該規格に基づき、せん断試験を実施し、その試験から得られた値を用いた（「地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察 JAEA-Technology 2011-006」の供試体ボルト B のせん断試験結果参照）。

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	$0.6 S_u$
胴	一次応力	$0.9 S_u$
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	A_L (許容荷重) = $0.6 T_L S_{yd}/S_{yt}$

4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。

使用した減衰定数を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
高放射性廃液貯槽 (272V31~V36)	1.0	1.0

4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに、各階の床応答スペクトル (Ss-D, Ss-1, Ss-2 の 3 波包絡, 周期軸方向に±10%拡幅したもの) を作成し、これを評価に用いた。

高放射性廃液貯槽 (272V31~V36) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (1 階) のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-2, 図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-2 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
高放射性廃液貯槽 (272V31~V36)	解析用の床応答スペクトル (1 階, 減衰定数 1.0%)	解析用の床応答スペクトル (1 階, 減衰定数 1.0%)

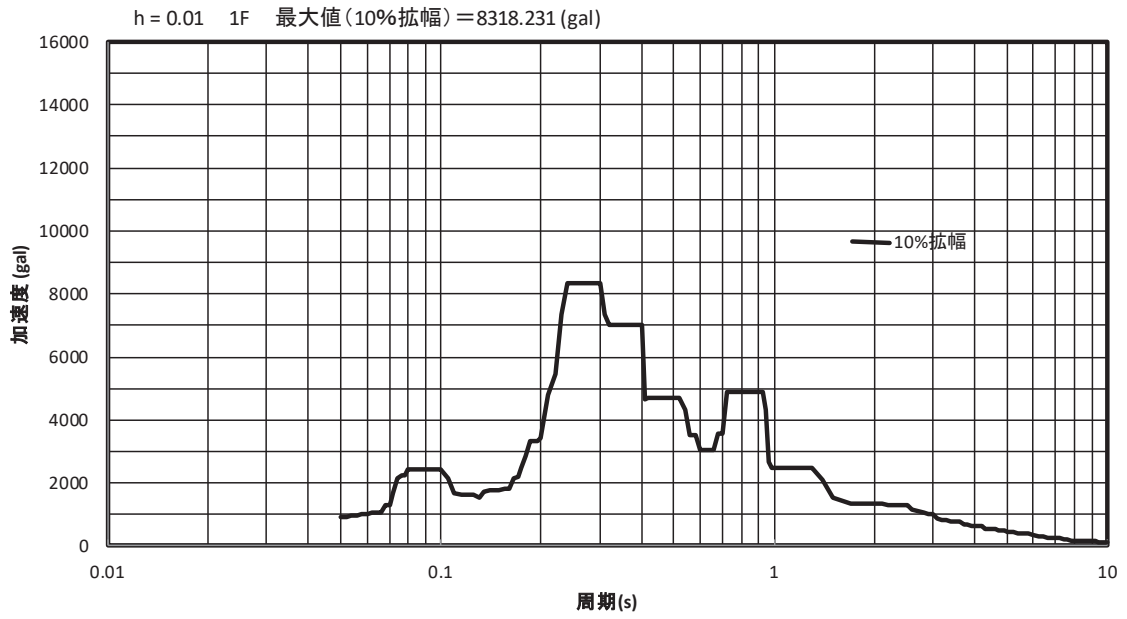


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，1階，減衰定数 1.0%）

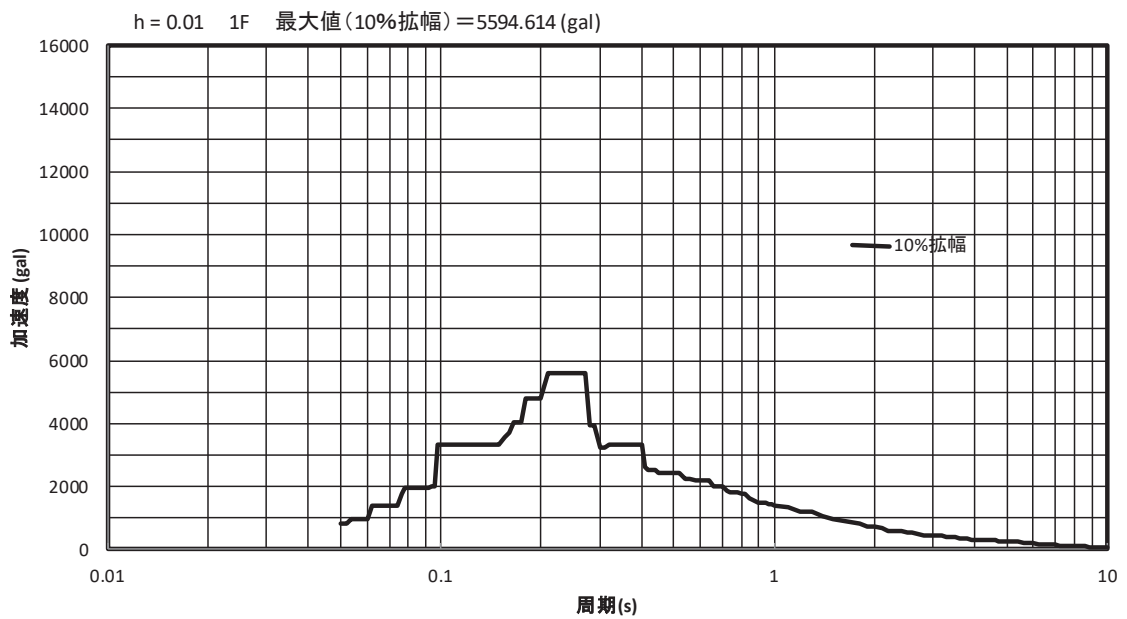


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，1階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の計算方法について、FEM 解析（スペクトルモード法）により発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。解析コードは FINAS^{※1} を用いた。

※1 日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”。

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の解析モデルを図 4-3 に、据付ボルトの拘束条件を図 4-4 に示す。FEM 解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

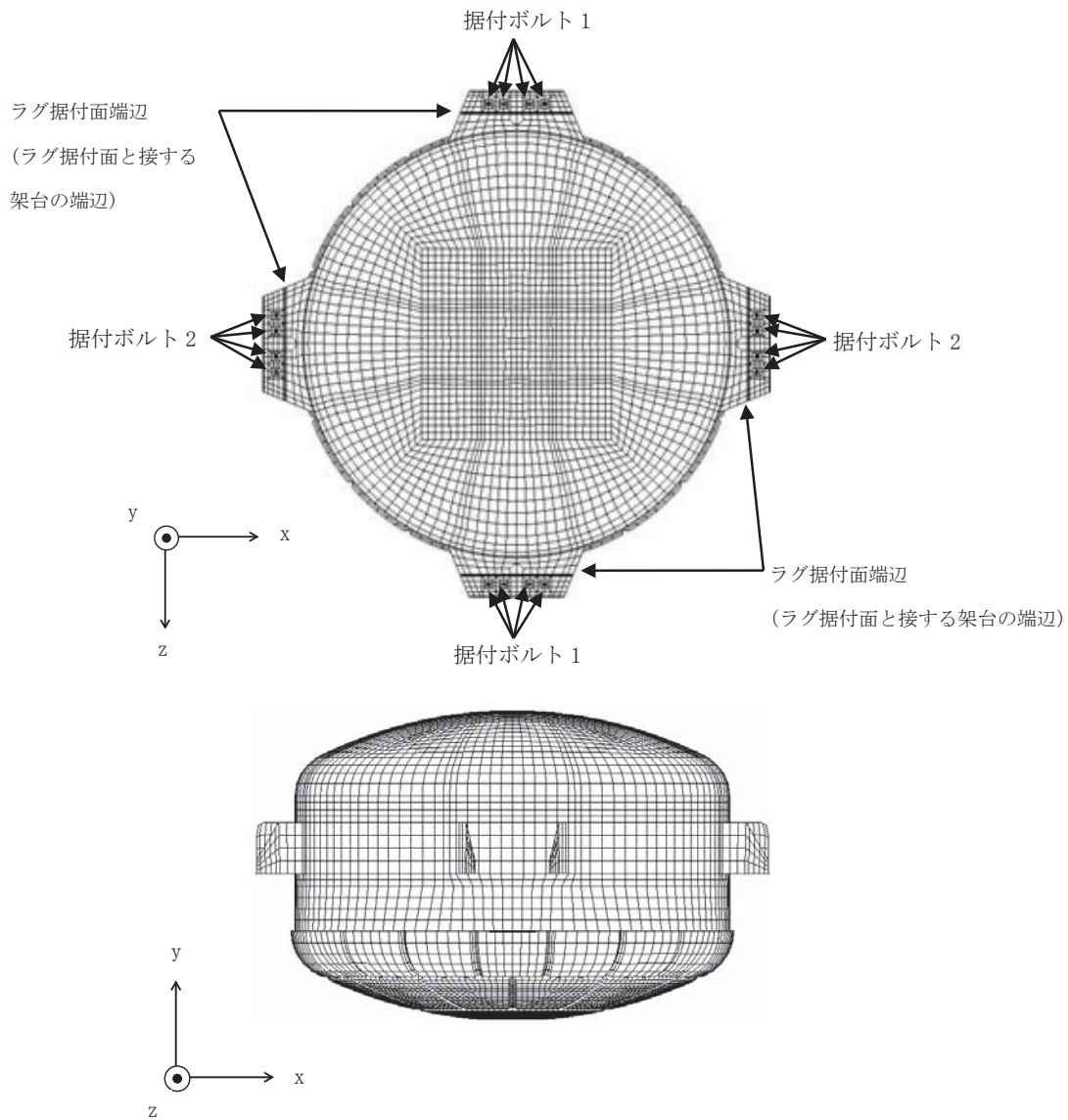
モデル化にあたって，空質量には槽内構造物等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。また，高放射性廃液の質量については，接液部分の胴板に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約 207 t となるように，胴板の密度を設定した。

4.6.2 諸元

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	耐震重要度分類	S クラス
	機器区分	クラス 3
	圧力（設計圧力）	0.049 (MPa)
	胴外径	6842 (mm)
	胴板厚さ	21 (mm)
	胴高さ（外側）	4807 (mm)
	胴材質	SUS316L
	胴温度（設計温度）	80 (°C)
	据付ボルト呼び径	M48
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	80 (°C)
	液量（満杯）	120 (m ³)
	液密度	1.28 (g/cm ³)
	空質量（設計質量）	約 53 (t)
	総質量（53 t + 1.28 g/cm ³ × 120 m ³ ）	約 207 (t)



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト 1	○	○	－	－	－	－
据付ボルト 2	－	○	○	－	－	－
ラグ据付面端辺	－	○	－	－	－	－

図 4-3 高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の解析モデル

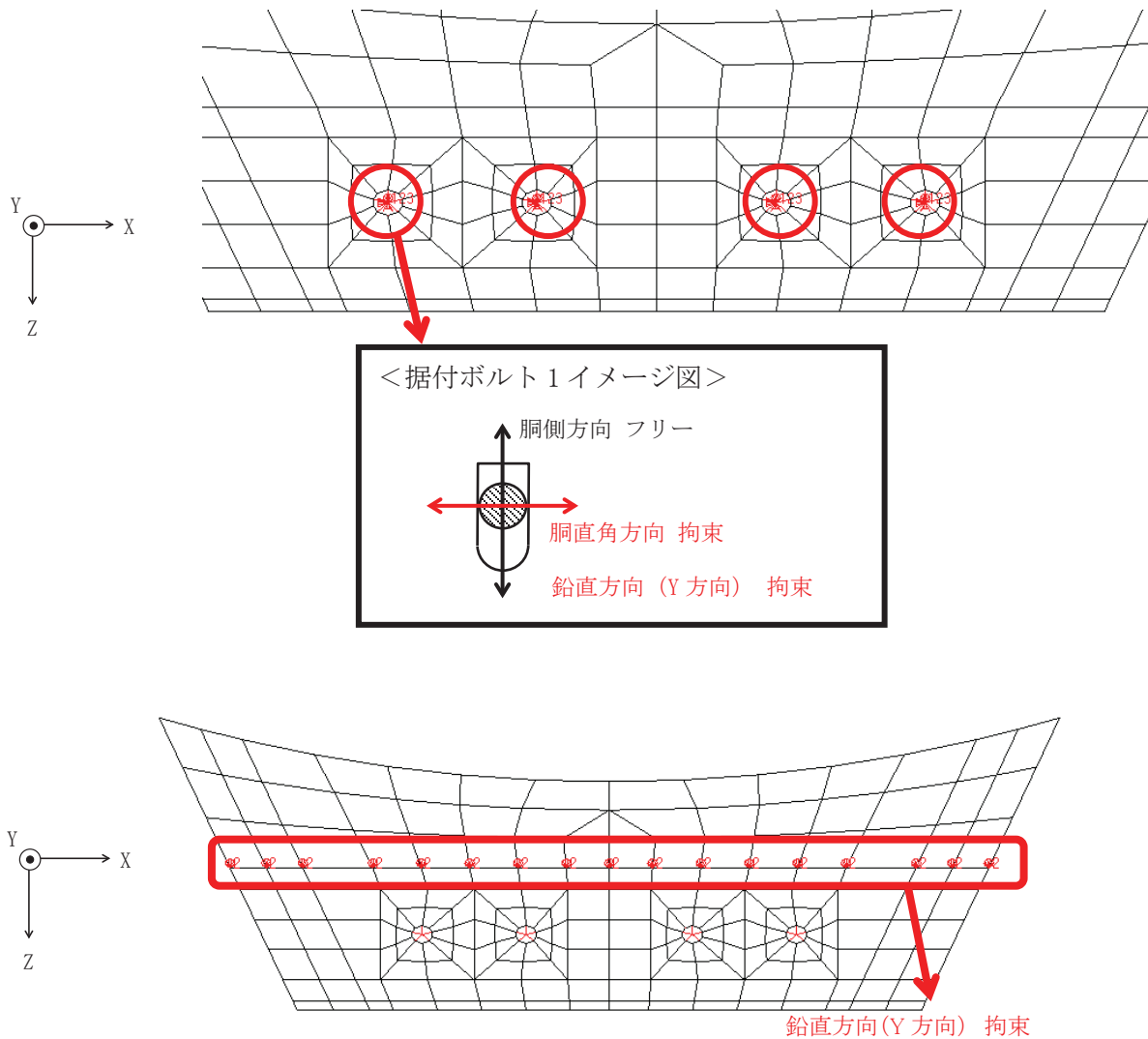


図 4-4 高放射性廃液貯槽（272V31～V36）解析モデルの拘束条件

4.7 固有周期

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の固有周期及び固有モードを図 4-5 に示す。

1次モード図 固有周期：0.071（秒）

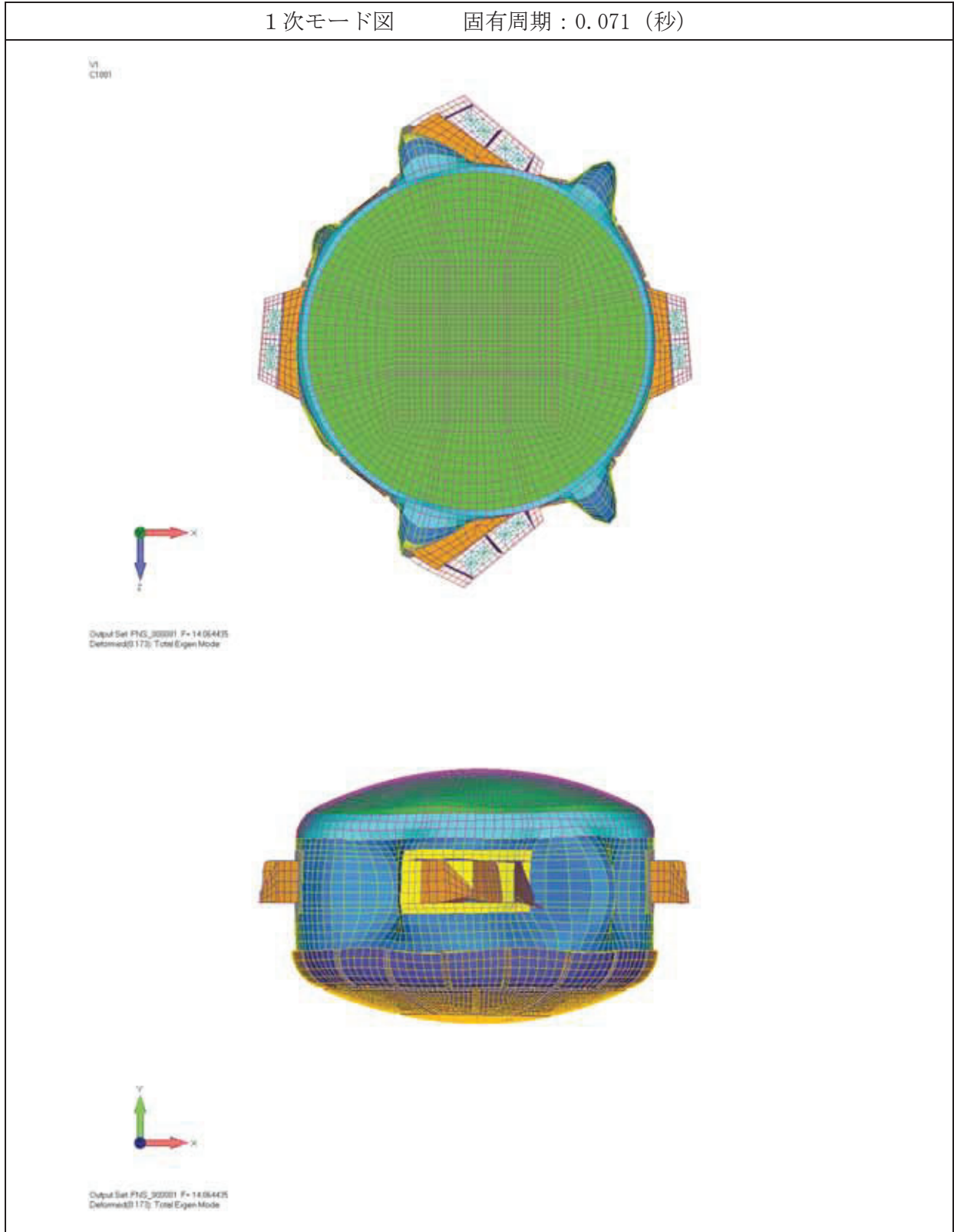


図 4-5 高放射性廃液貯槽（272V31～V36） 固有モード図（1/3）

2次モード図

固有周期：0.071（秒）

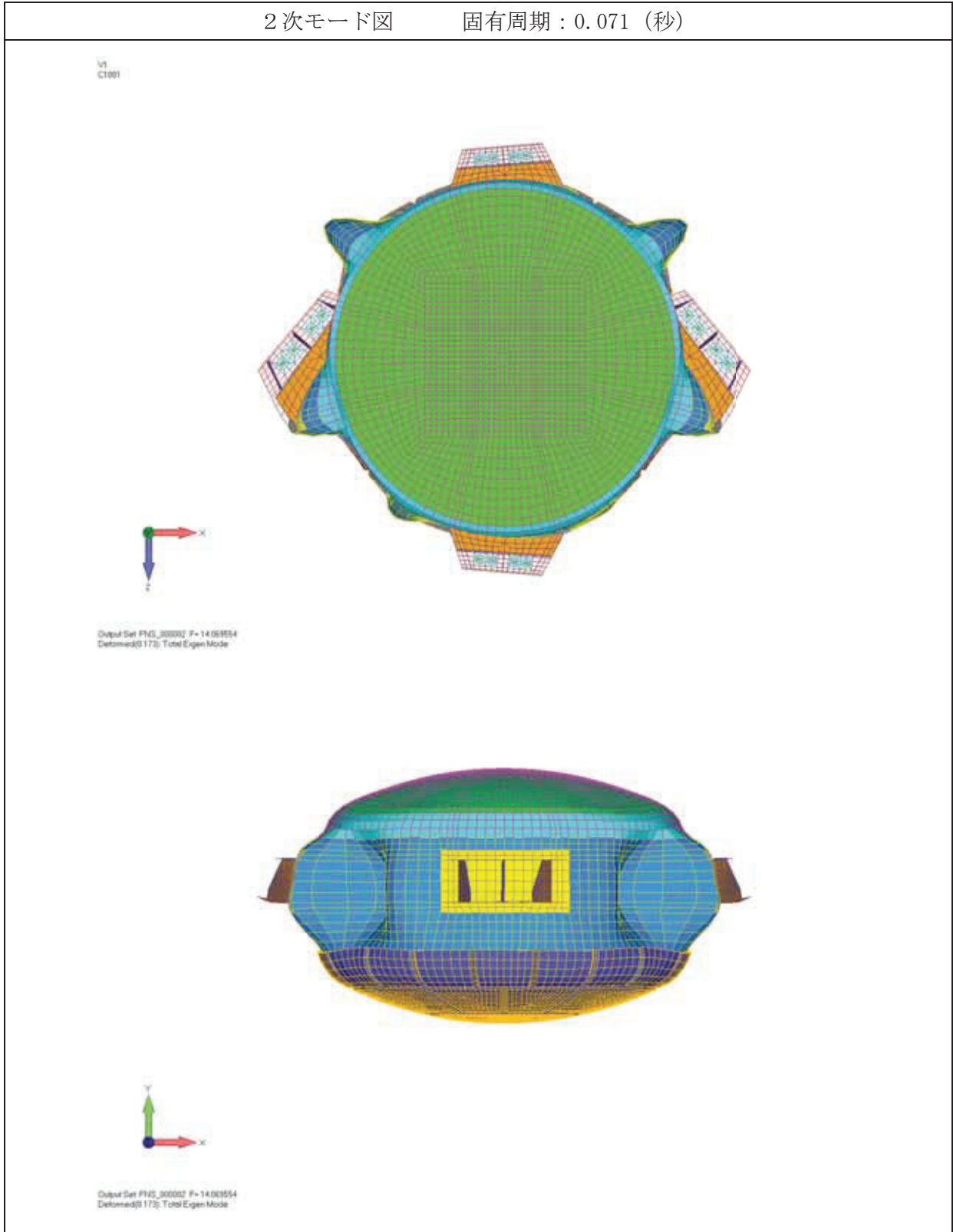


図 4-5 高放射性廃液貯槽（272V31～V36） 固有モード図（2/3）

3次モード図

固有周期：0.056（秒）

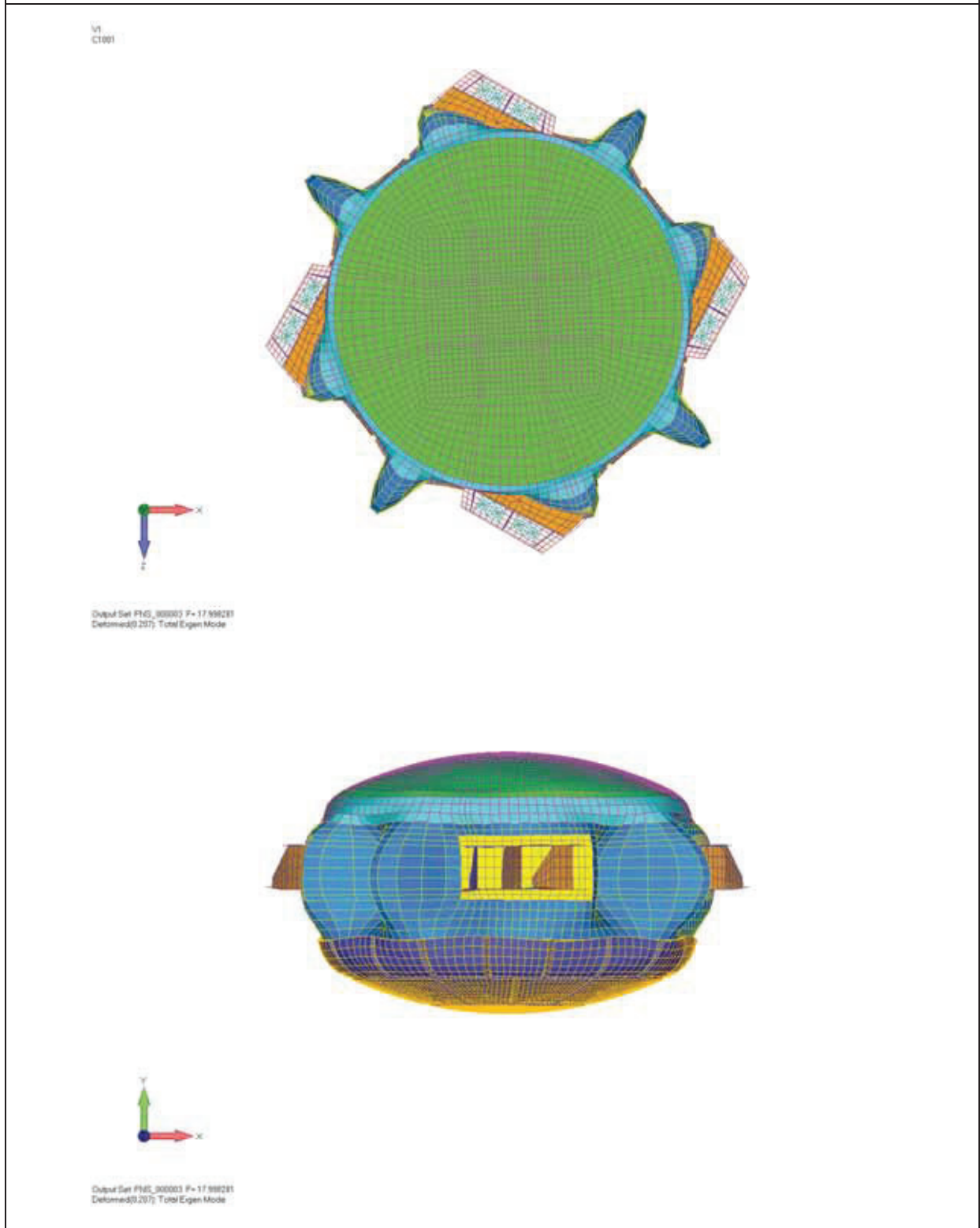


図 4-5 高放射性廃液貯槽（272V31～V36） 固有モード図（3/3）

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の高放射性廃液貯槽 (272V31～V36) の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	胴 (冷却ジャケットを含む)	一次一般膜	144	269	0.54
		一次	268	404	0.67
	ラグ	一次	127	205	0.62
	据付ボルト	引張	35	246	0.15
		せん断	191	232 ^{※2}	0.83

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

※2 JSME S NC1-2012 SSB-3200 に基づき実施したせん断試験から得られた A_L をボルトの断面積で除して算出した許容応力 (国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, “地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察”, JAEA-Technology 2011-006)。

3.2 中間貯槽(272V37, V38)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 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	1
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組み合わせ	2
4.2 許容応力	2
4.3 減衰定数	3
4.4 設計用地震力	3
4.5 計算方法	8
4.6 計算条件	8
4.7 固有周期	10
5. 評価結果	14

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する中間貯槽(272V37, V38)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の中間貯槽(272V37, V38)の構造強度の評価は、有限要素法(FEM)解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

中間貯槽(272V37, V38)の構造強度の評価は、評価上厳しくなる胴、ラグ、据付ボルトについて実施する。中間貯槽(272V37, V38)の概要図を図 3-1 に示す。

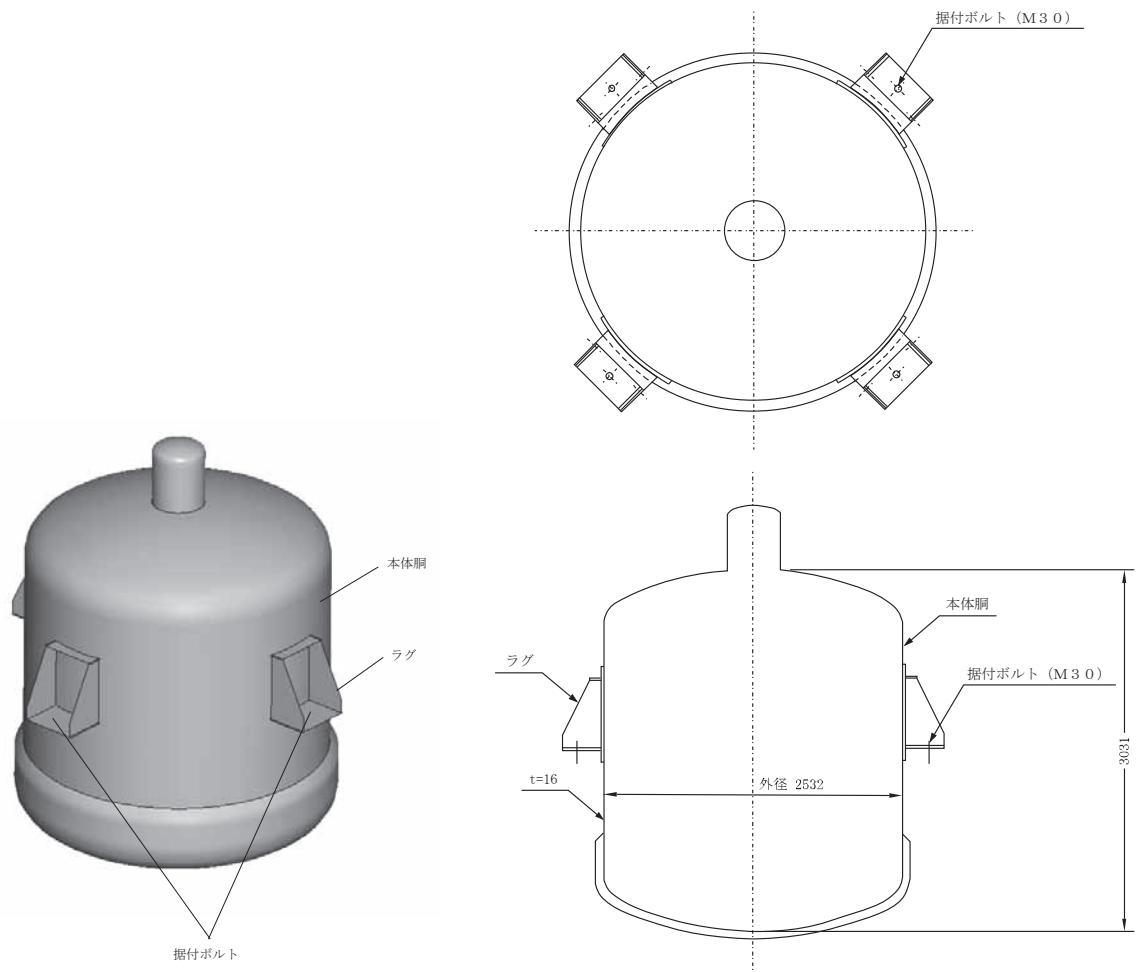


図 3-1 中間貯槽 (272V37, V38) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠し、供用状態 D_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s について、温度は設計温度、圧力に

については設計圧力，自重については液量を満杯とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

4.3 減衰定数

減衰定数は，「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。

使用した減衰定数を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
中間貯槽 (272V37, V38)	1.0	1.0

4.4 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答時刻歴波を評価に用いた。

中間貯槽(272V37, V38)の床応答時刻歴波は，機器据付階（1階）のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 4-2，図 4-1，図 4-2 及び図 4-3 に示す。

表 4-2 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
中間貯槽 (272V37, V38)	廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-2, Ss-2)による床応答 時刻歴波(1階)	廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応 答時刻歴波(1階)

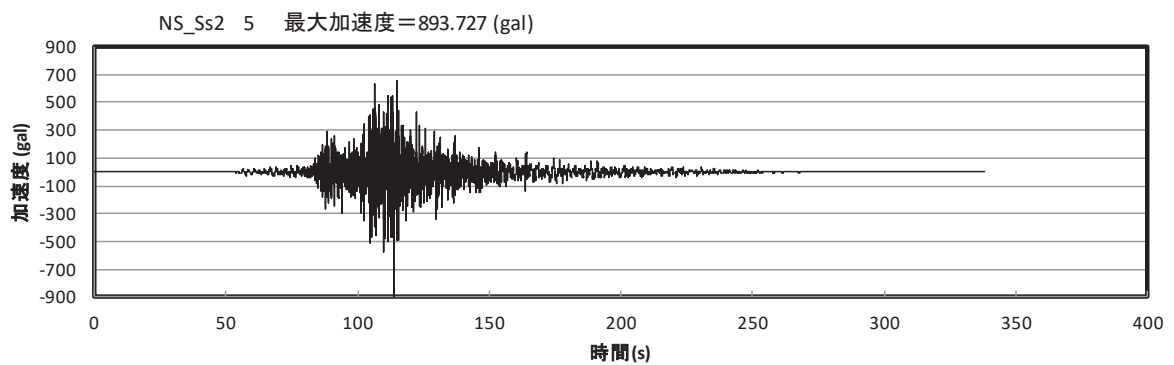
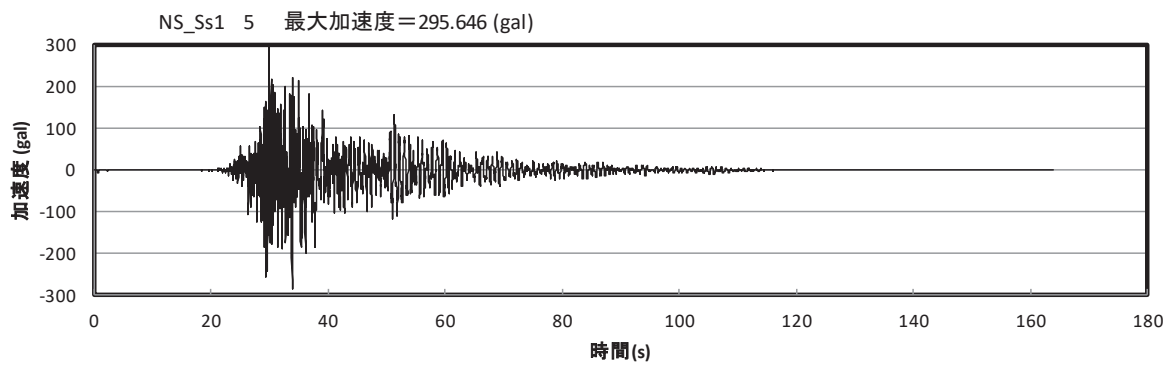
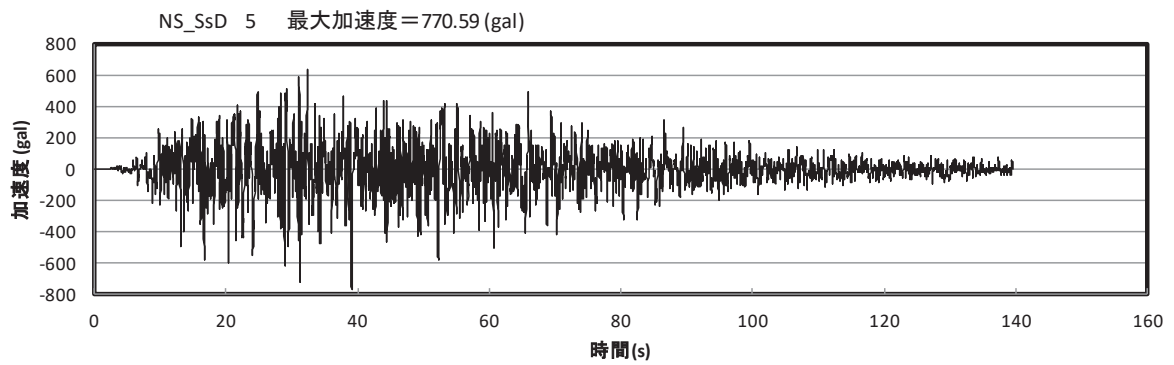


図 4-1 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1 階, 水平 NS 方向)

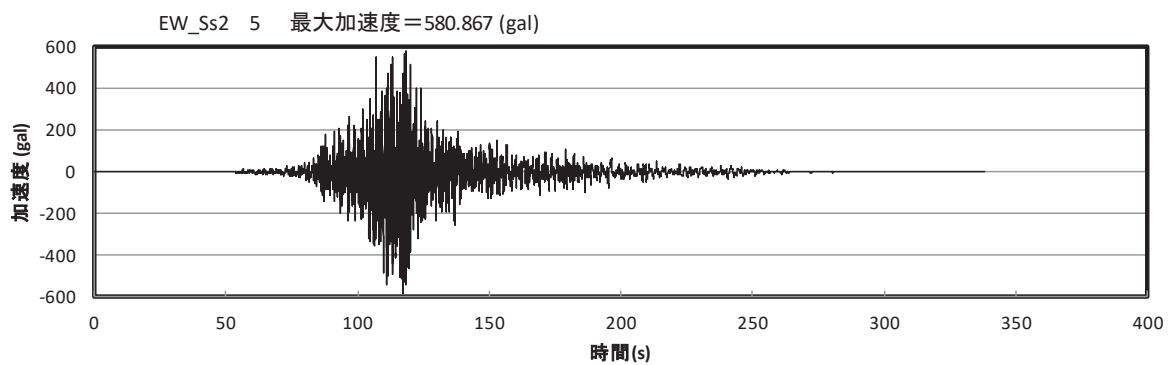
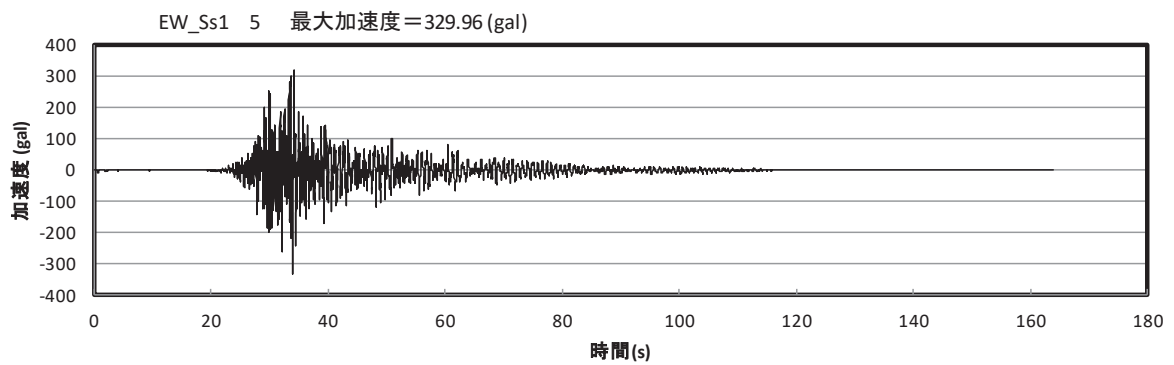
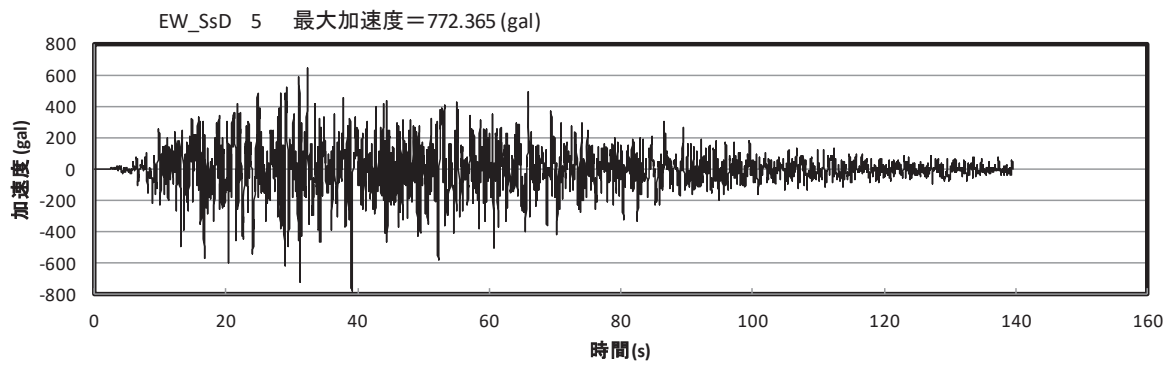


図 4-2 廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(1階, 水平 EW 方向)

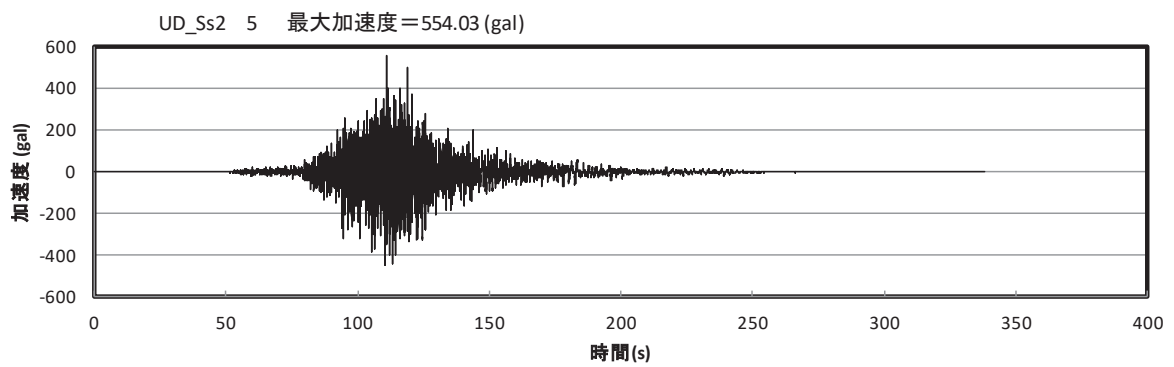
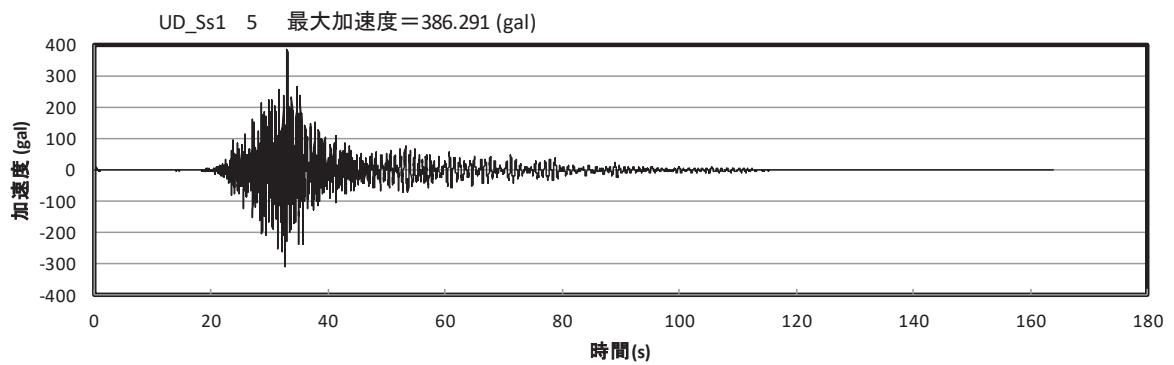
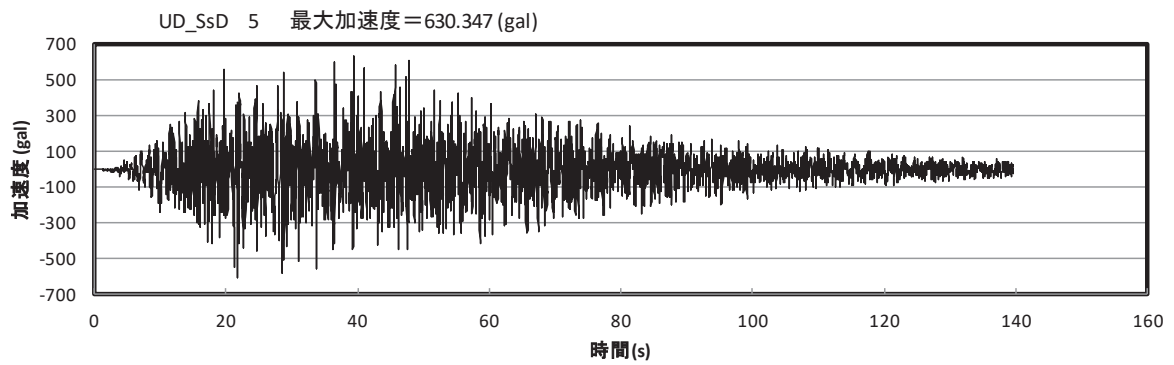


図 4-3 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1 階, 鉛直方向)

4.5 計算方法

中間貯槽(272V37, V38)の計算方法について、FEM解析(時刻歴応答解析)により発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。解析コードはFINAS^{※1}を用いた。

※1 日本原子力研究開発機構, 伊藤忠テクノソリューション株式会社, “FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”。

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

中間貯槽(272V37, V38)の解析モデルを図4-4に示す。FEM解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

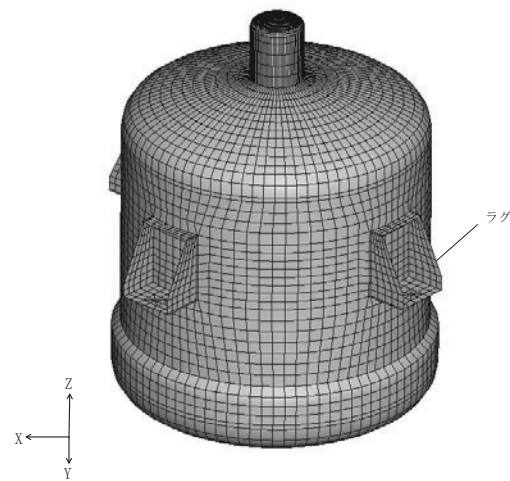
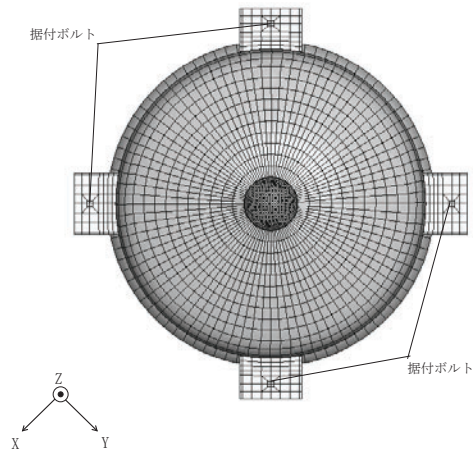
モデル化にあたって、総質量には槽内構造物、高放射性廃液等の質量が含まれているが、それらの質量は胴板全体に付加した。胴板への質量の付加においては、解析モデルの総質量が約22 tとなるように、胴板の密度を設定した。

4.6.2 諸元

中間貯槽(272V37, V38)の主要寸法・仕様を表4-3に示す。

表4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
中間貯槽 (272V37, V38)	耐震重要度分類	Sクラス
	機器区分	クラス3
	圧力(設計圧力)	0.049 (MPa)
	胴外径	2532 (mm)
	胴板厚さ	16 (mm)
	胴高さ(外側)	3031 (mm)
	胴材質	SUS316L
	胴温度(設計温度)	80 (°C)
	据付ボルト呼び径	M30
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	60 (°C)
	液量(満杯, (22 t - 7.9 t)/(1.28 g/cm ³))	11 (m ³)
	液密度	1.28 (g/cm ³)
	空質量(設計質量)	約7.9 (t)
	総質量(設計質量)	約22 (t)



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進			回転		
	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト部 (4箇所)	○	○	○	－	－	－
ラグ底面 (4箇所)	－	－	○	－	－	－

図 4-4 中間貯槽 (272V37, V38) の解析モデル

4.7 固有周期

中間貯槽 (272V37, V38) の固有周期及び固有モードを図 4-5 に示す。

1次モード図 固有周期：0.033（秒）

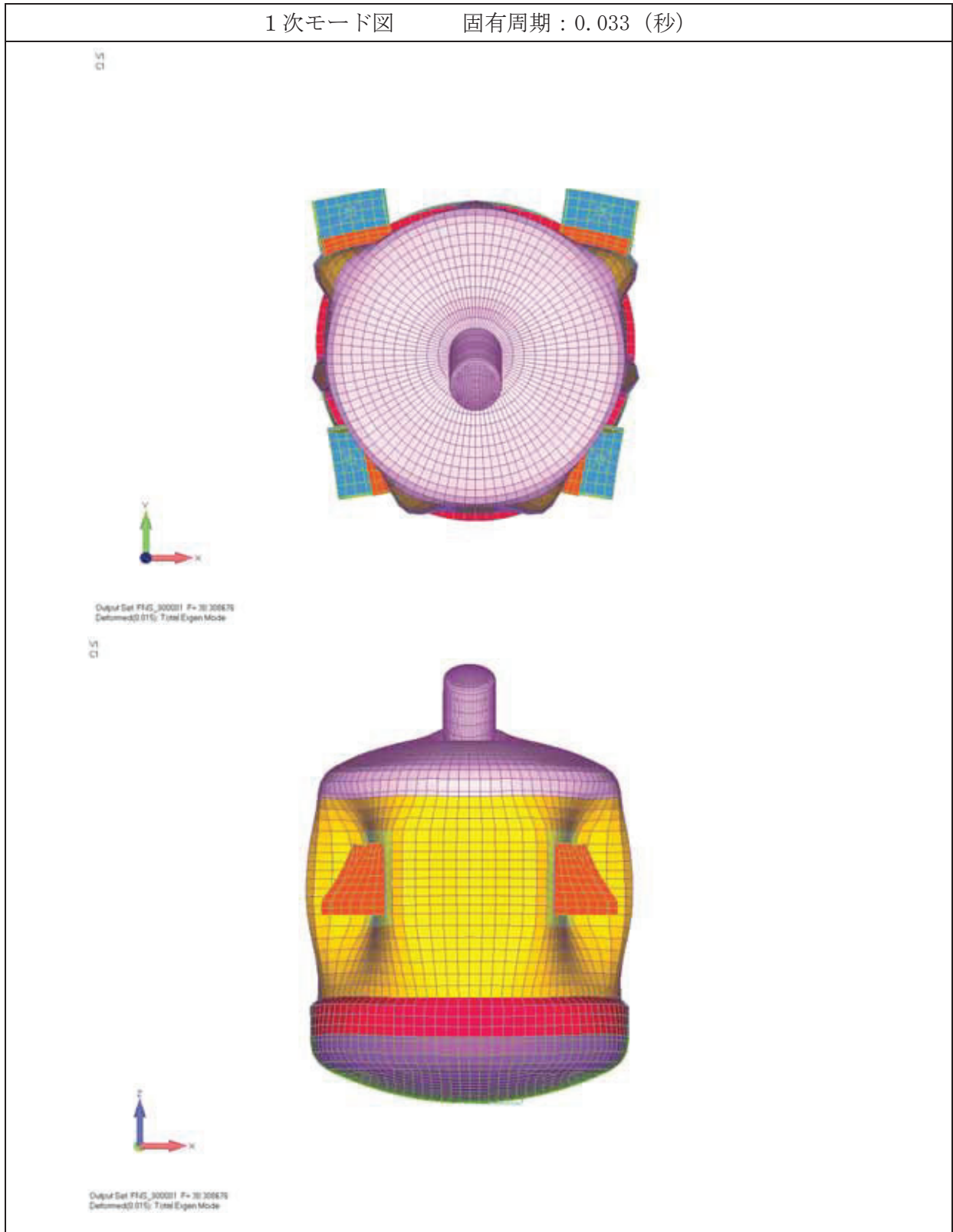


図 4-5 中間貯槽(272V37, V38) 固有モード図 (1/3)

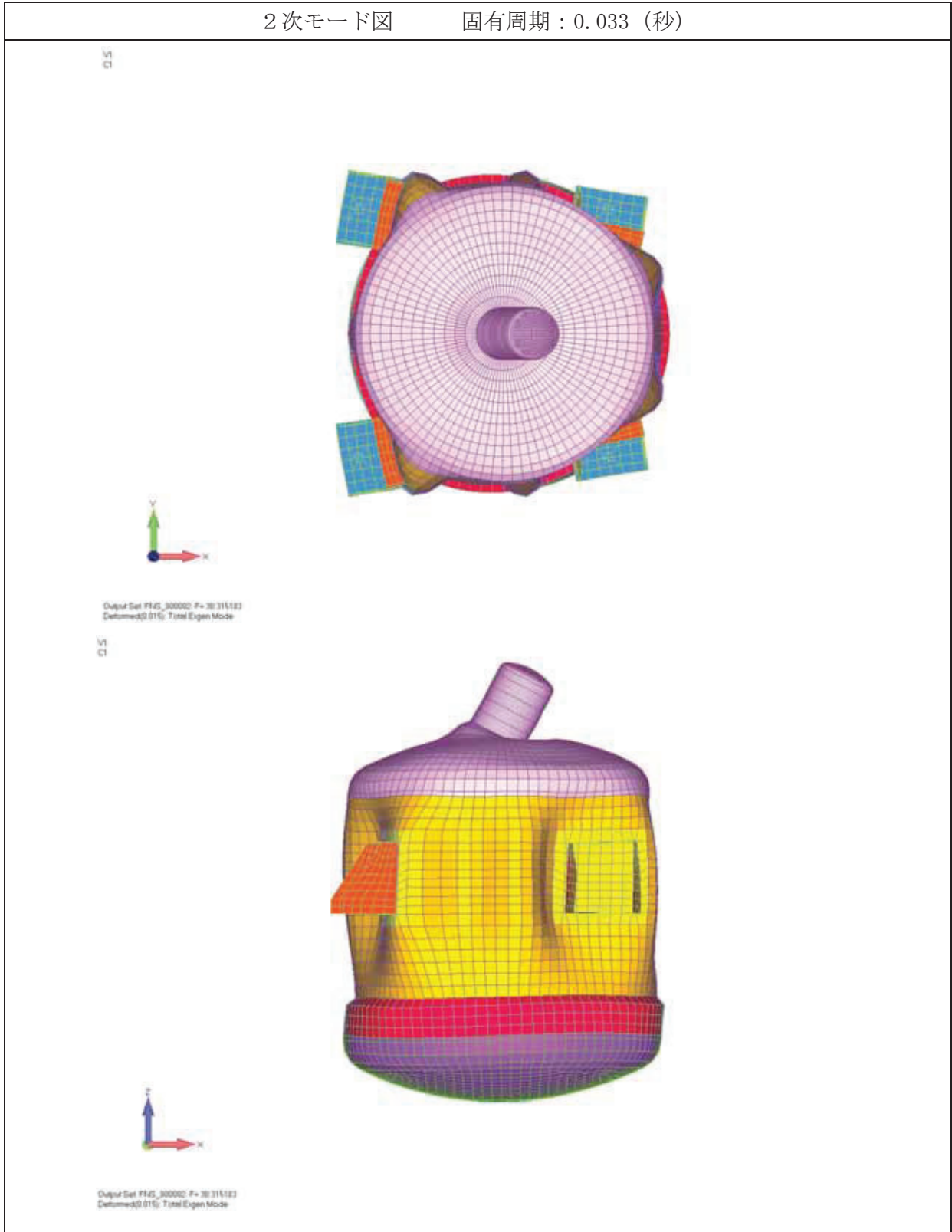


図 4-5 中間貯槽(272V37, V38) 固有モード図 (2/3)

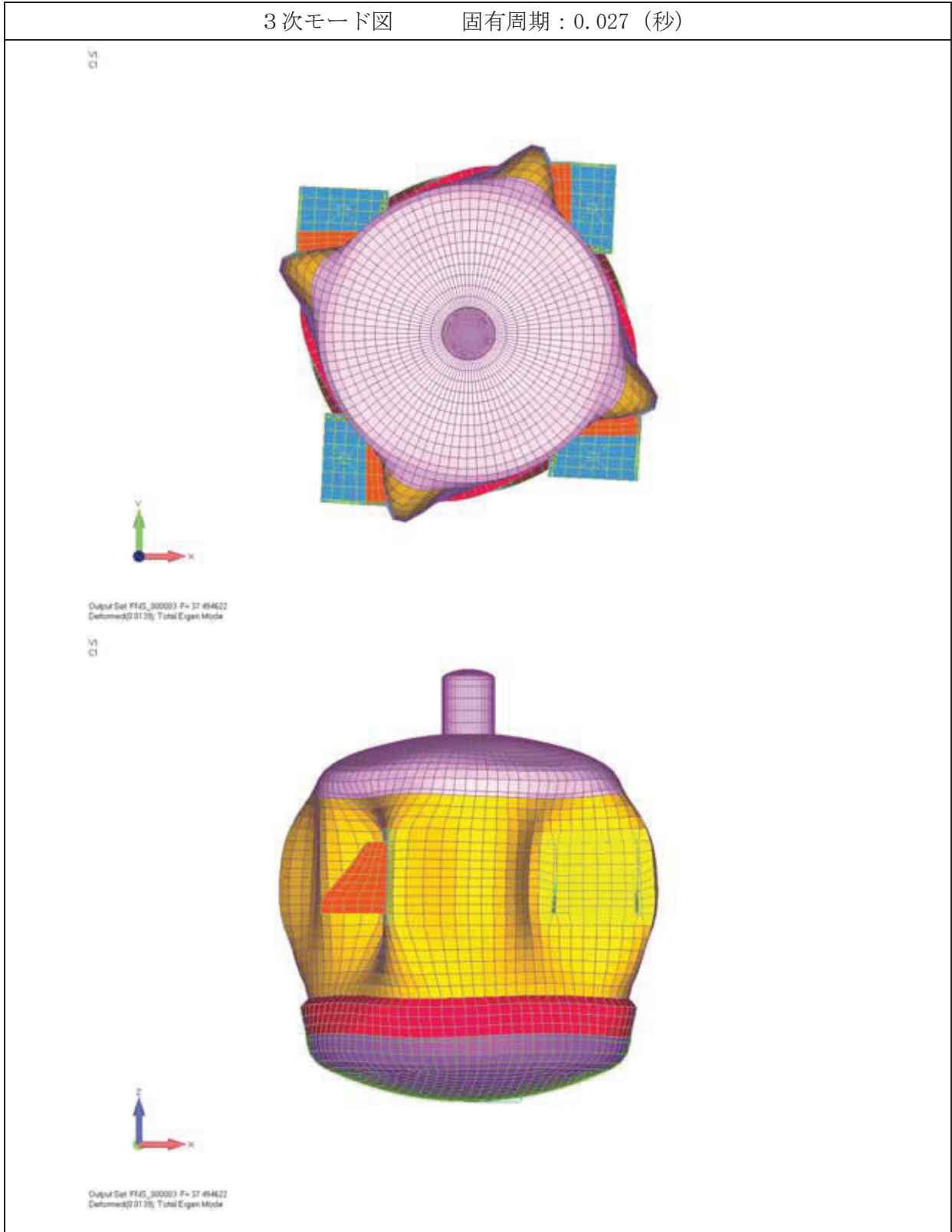


図 4-5 中間貯槽(272V37, V38) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の中間貯槽 (272V37, V38) の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
中間貯槽 (272V37, V38)	胴 (冷却ジャケットを含む)	一次一般膜	102	269	0.38
		一次	167	404	0.42
	ラグ	一次	66	210	0.32
	据付ボルト	引張	3	139	0.03
		せん断	108	142	0.77

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

3.3 水封槽(272V41, V42)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 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	3
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組み合わせ	3
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 計算方法	5
4.5 計算条件	5
4.6 固有周期	7
5. 評価結果	8

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する水封槽(272V41, V42)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の水封槽(272V41, V42)の構造強度の評価は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠し、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1)原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2)原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3)発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4)発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D_o	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
h	胴高さ	mm
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	胴板厚さ	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11} ～ σ_{16}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{17} ～ σ_{110}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1} ～ σ_{b3}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4} ～ σ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4} ～ τ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s

3. 評価部位

水封槽 (272V41, V42) の構造強度の評価は、評価上厳しくなる胴、据付ボルトについて実施する。水封槽 (272V41, V42) の概要図を図 3-1 に示す。

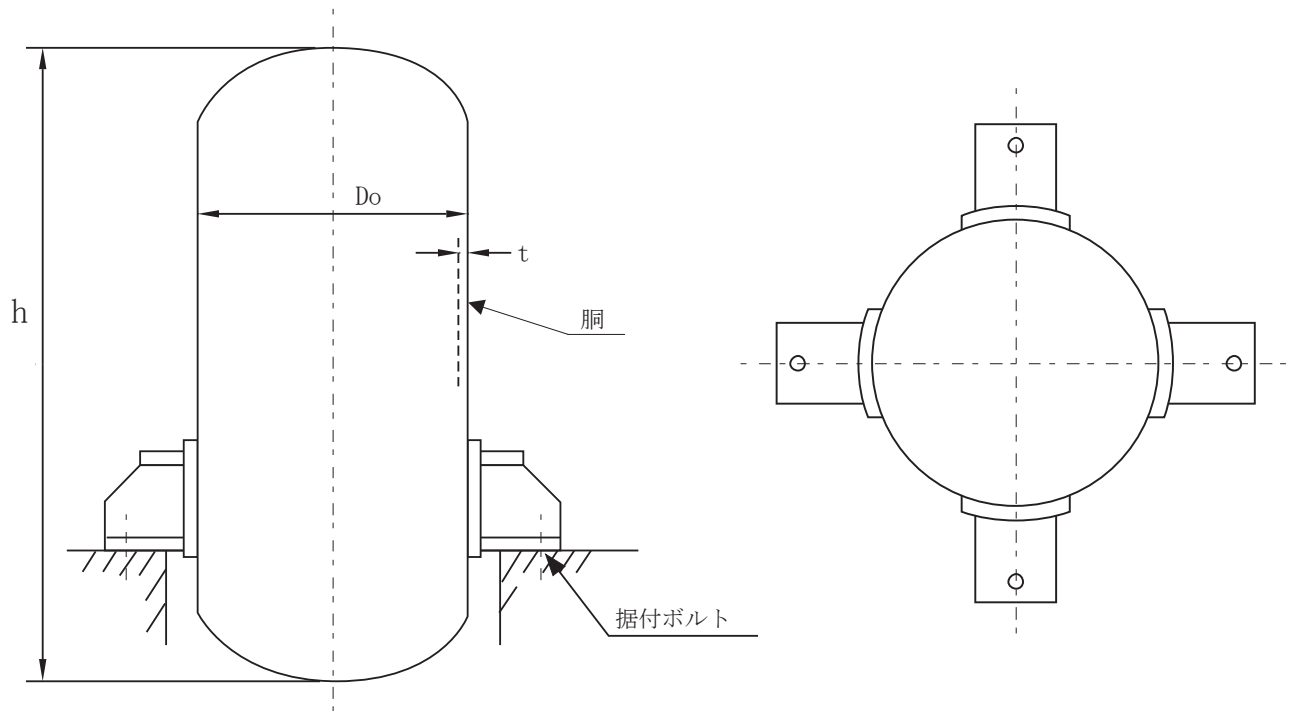


図 3-1 水封槽 (272V41, V42) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠し、供用

状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-1 に示す。

水封槽(272V41, V42)の静的解析用震度は、機器据付階のもの(4F, 水平方向:1.24, 鉛直方向:0.79)を用いた。

表 4-1 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4 計算方法

水封槽 (272V41, V42) の計算方法として、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用して発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}]$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x11}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴の一次応力：

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}]$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}]$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

水封槽 (272V41, V42) の解析モデルを図 4-1 に示す。

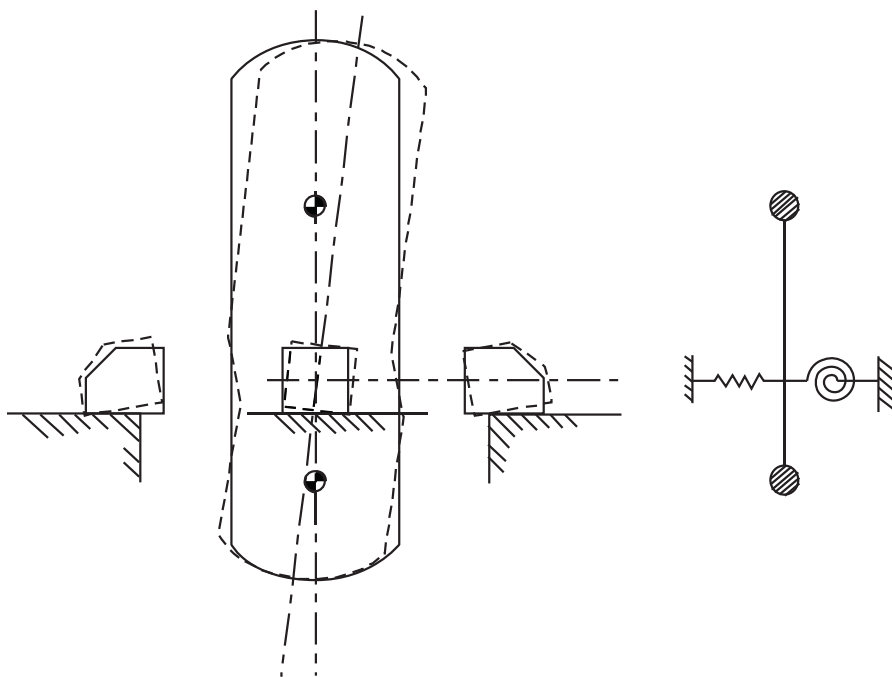


図 4-1 水封槽 (272V41, V42) の解析モデル

4.5.2 諸元

水封槽 (272V41, V42) の主要寸法・仕様を表 4-2 に示す。

表 4-2 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	記号	値
水封槽 (272V41, V42)	耐震重要度分類	—	S クラス
	機器区分	—	クラス 3
	圧力 (設計圧力)		0.049 (MPa)
	胴外径	D_o	816 (mm)
	胴板厚さ	t	6 (mm)
	胴高さ	h	1316 (mm)
	胴材質	—	SUS316L
	胴温度 (設計温度)	—	100 (°C)
	据付ボルト呼び径	—	M20
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度		100 (°C)
	総質量	—	600 (kg)

4.6 固有周期

水封槽(272V41, V42)の固有周期は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601－2008」のラグ支持たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H}$$

水封槽(272V41, V42)の固有周期を表 4-3 に示す。

表 4-3 固有周期

評価対象設備	固有周期
水封槽(272V41, V42)	0.028 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の水封槽(272V41, V42)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
水封槽 (272V41, V42)	胴	一次一般膜	4	263	0.02
		一次	9	395	0.03
	据付ボルト	引張	21	237	0.09
		せん断	15	137	0.11

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

3.4 緊急放出系フィルタユニット(272F480)
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 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組み合わせ	2
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	3
4.4 計算方法	4
4.5 計算条件	5
4.6 固有周期	6
5. 評価結果	9

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能（蒸発乾固発生時の影響緩和機能）を構成する緊急放出系フィルタユニット（272F480）について、「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の緊急放出系フィルタユニット（272F480）の構造強度の評価は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601（日本電気協会）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601（日本電気協会）
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1（日本機械学会）
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm ²
A_S	最小有効せん断断面積	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	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm ⁴
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離 ($l_1 \leq l_2$)	mm
L	据付ボルト間隔	mm
M	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の構造強度の評価は、評価上厳しくなる据付ボルトについて実施する。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組

み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-1 に示す。

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の静的解析用震度は、機器据付階のもの (4F, 水平方向 : 1.24, 鉛直方向 : 0.79) を用いた。

表 4-1 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4 計算方法

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の計算方法として、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用して発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。

引張力 (F_b) :

$$F_b = \frac{1}{L} \left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mgC_P(h + l_1) + M_P - mgl_1 \right\}$$

引張応力 (σ_b) :

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力 (Q_b) :

$$Q_b = mg(C_H + C_P)$$

せん断応力 (τ_b) :

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の解析モデルを図4-1に示す。

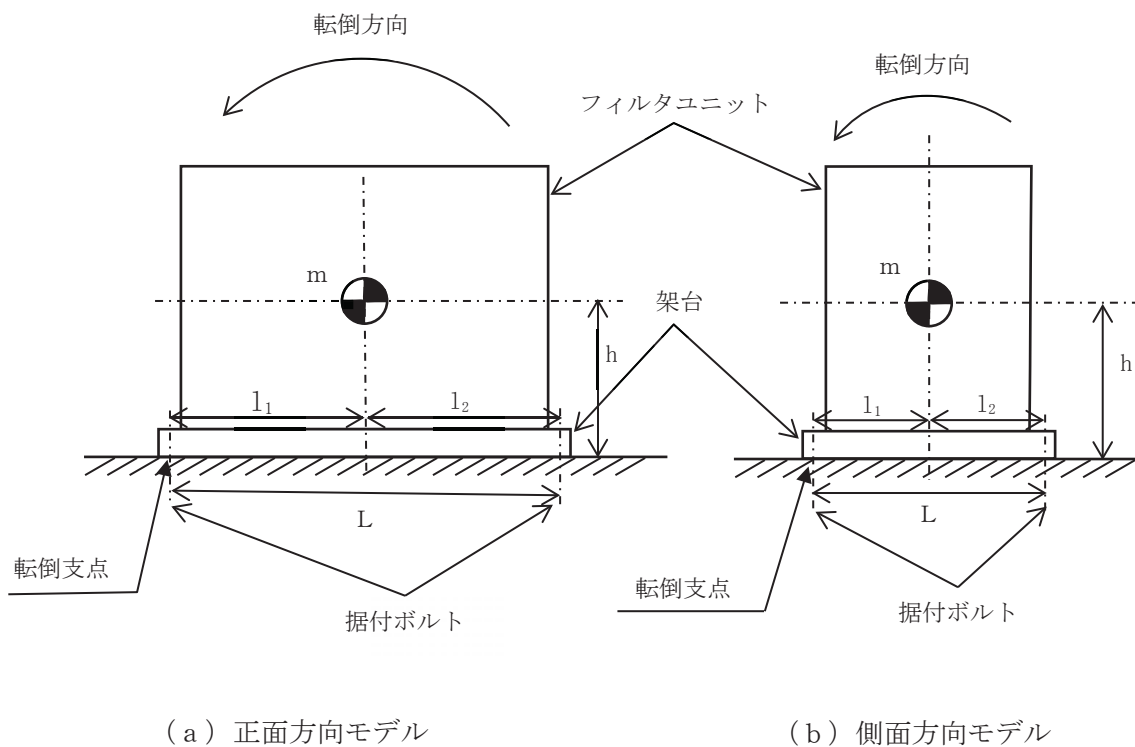


図4-1 解析モデル

4.5.2 諸元

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の主要寸法・仕様を表4-2に示す。

表 4-2 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	記号	値
緊急放出系フィルタユニット (272F480)	耐震重要度分類	—	Sクラス
	機器区分	—	クラス3
	据付ボルト間隔	L	810 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	110 (°C)
	据付面から重心までの距離	h	1100 (mm)
	総質量	m	1800 (kg)

4.6 固有周期

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の固有周期は、1 質点系振動モデルとして考え、以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m}{1000} \left(\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{A_S G_I} \right)}$$

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の固有周期を表 4-3 に示す。

表 4-3 固有周期

評価対象設備	固有周期
緊急放出系フィルタユニット (272F480)	0.029 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の緊急放出系フィルタユニット(272F480)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
緊急放出系フィル タユニット (272F480)	据付ボルト	引張	16	233	0.07
		せん断	7	134	0.06

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。