| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-6_改 4 |

# 補足-600-6　設計用床応答曲線の作成方法

目次

1. 概要 ..... 1
2. 設計用床応答曲線の作成方法 ..... 1
2.1 基本方針 ..... 1
2.2 地震応答解析の実施 ..... 2
2.3 応答スペクトルの作成 ..... 5
2.4 機器の固有周期のずれ等の影響 ..... 5
2.5 材料物性の不確かさ等の影響の考慮 ..... 5
2.6 誘発上下動の考慮 ..... 7

1. 概要

機器・配管系の評価においては，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に示すとおり，設計用床応答曲線を用いる。

ここで，設計用床応答曲線は，その作成過程において，応答スペクトルの拡幅や複数の応答スペクトルの包絡等の処理を行うことで，材料物性の不確かさ等が機器・配管系の評価に及ぼす影響を予め織り込めるように配慮して作成するものである。

本資料は，設計用床応答曲線の作成方法について説明するものである。ここで，設計用床応答曲線を作成する建物・構築物等を表 1-1 に整理する。

表 1-1　設計用床応答曲線を作成する建物・構築物等

| 分類 | 施設名称 |
|---|---|
| 建物・構築物 | 原子炉建屋<br>制御建屋<br>緊急用電気品建屋<br>緊急時対策建屋<br>大型機器系（原子炉本体の基礎等）<br>炉内構造物系（原子炉圧力容器内部構造物等）<br>サプレッションチェンバ* |
| 土木構造物 | 復水貯蔵タンク基礎<br>海水ポンプ室<br>原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）<br>軽油タンク室<br>軽油タンク室（H）<br>ガスタービン発電設備軽油タンク室<br>軽油タンク連絡ダクト<br>排気筒基礎<br>排気筒連絡ダクト |

注記＊：サプレッションチェンバの構造強度評価は，スペクトルモーダル解析から得られた地震荷重を用いる。ただし，サプレッションチェンバに設置される設備の評価に用いる設計用地震力（最大応答加速度及び床応答曲線）を作成するために，原子炉建屋の加速度応答時刻歴を用いた時刻歴応答解析を実施している。

2. 設計用床応答曲線の作成方法

2.1 基本方針

設計用床応答曲線の作成方法は，図 2-1 に示すとおりである。以降，2.2 項から 2.5 項で各項目の詳細な説明を行う。ここで，本資料では，各建屋，土木構造物において考慮する標準の初期剛性，標準地盤の解析を「基本ケース」，材料物性の不確かさ等を考慮したケースを「不確かさケース」として扱う。

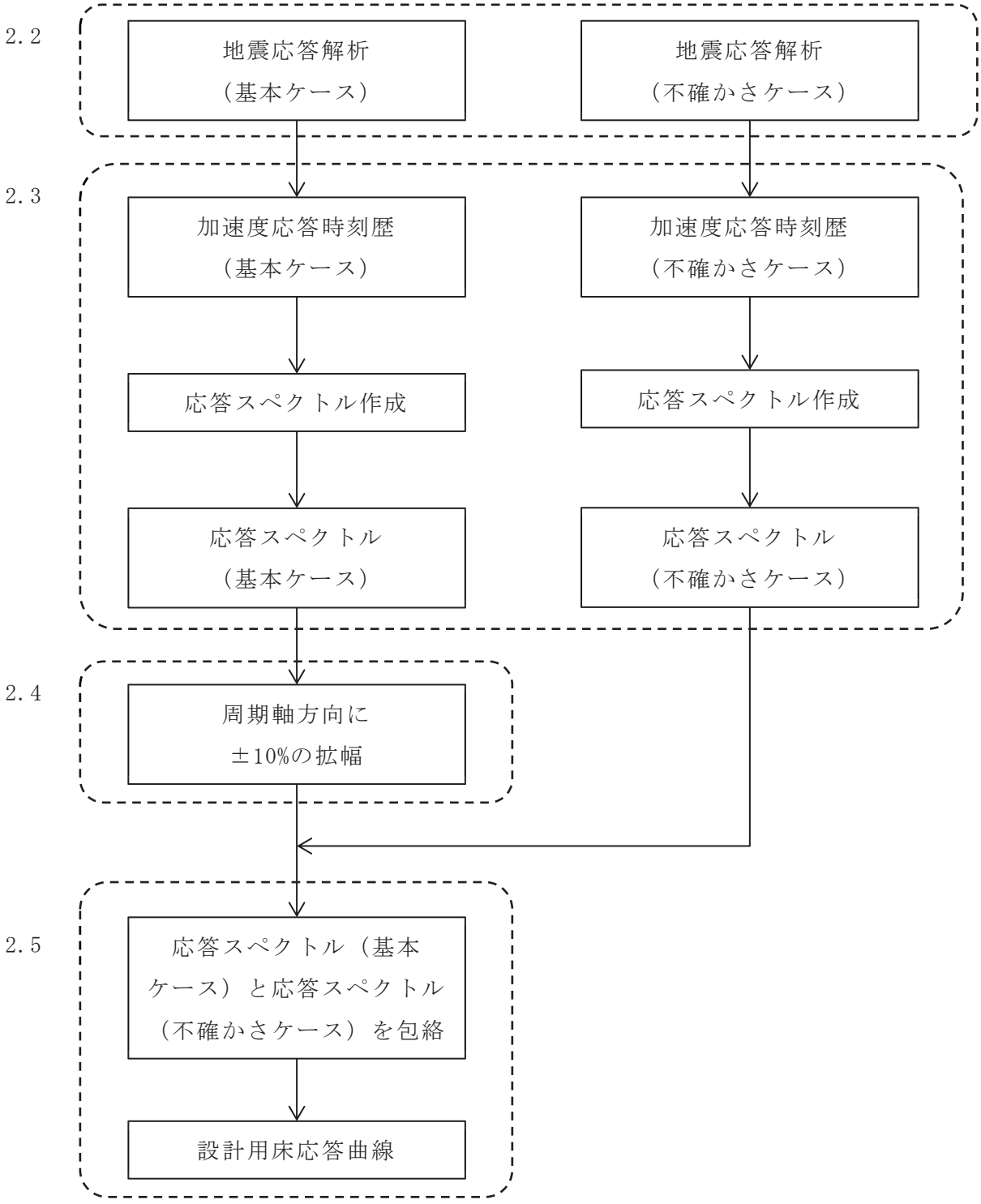



図 2-1　設計用床応答曲線の作成方法

2.2　地震応答解析の実施

地震応答解析は，表 2-2 及び表 2-3 の解析ケースで実施する。なお，表 2-2 及び表 2-3 は，各施設の地震応答計算書に記載される解析ケースを整理したものである。

表 2-2　地震応答解析を実施する解析ケースの整理（建物・構築物）

| 構造物名*1 | 基本ケース | 不確かさケース | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| | ・建屋初期剛性低下*3<br>・標準地盤 | ・建屋初期剛性低下*3<br>・地盤物性+σ | ・建屋初期剛性低下*3<br>・地盤物性−σ | ・基準地震動Ｓｓ入力後のｺﾝｸﾘｰﾄ剛性*5<br>・標準地盤 | ・基準地震動Ｓｓ入力後のｺﾝｸﾘｰﾄ剛性*5<br>・地盤物性+σ | ・基準地震動Ｓｓ入力後のｺﾝｸﾘｰﾄ剛性*5<br>・地盤物性−σ | ・建屋初期剛性低下*3<br>・標準地盤<br>・RPV ペデスタル初期剛性低下 |
| 原子炉建屋（Ⅵ-2-2-1） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 制御建屋（Ⅵ-2-2-3） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 緊急用電気品建屋（Ⅵ-2-2-21） | ○*4 | ○*4 | ○*4 | ○ | ○ | ○ | |
| 緊急時対策建屋（Ⅵ-2-2-23） | ○*4 | ○*4 | ○*4 | ○ | ○ | ○ | |
| 第 3 号機海水熱交換器建屋（Ⅵ-2-2-29）*2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 大型機器系地震応答解析モデル（原子炉圧力容器，原子炉格納容器，原子炉本体の基礎）（Ⅵ-2-3-2） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル（炉心，原子炉内部構造物）（Ⅵ-2-3-2） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| サプレッションチェンバ（Ⅵ-2-9-2-1-2） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

注記＊1：（　）内に当該構造物の地震応答計算書の添付書類番号を記載する。

＊2：今回工認においては，評価対象が剛である設備のみであり，床応答曲線を適用しないことから，最大応答加速度のみ整理

＊3：既設建屋については，地震観測記録を踏まえたシミュレーション解析に基づく初期剛性低下を考慮

＊4：新設建屋であることから，初期剛性低下は考慮せず，コンクリートの設計基準強度に基づく初期剛性を用いる。

＊5：基準地震動Ｓｓ入力前後の建屋の 1 次ピーク振動数の比から算定した剛性比によって補正

表 2-3　地震応答解析を実施する解析ケースの整理（土木構造物）

| 構造物名＊1 | 基本ケース | | 不確かさケース | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | ケース 8 | ケース 9 | ケース 10 |
| | ・設計基準強度<br>・標準地盤<br>・全応力解析 | ・設計基準強度<br>・標準地盤<br>・全応力解析<br>・水平動位相反転 | ・設計基準強度<br>・地盤物性+σ<br>・全応力解析 | ・設計基準強度<br>・地盤物性−σ<br>・全応力解析 | ・ｺﾝｸﾘｰﾄ実強度<br>・標準地盤<br>・全応力解析 | ・設計基準強度<br>・地盤物性+σ<br>・全応力解析<br>・水平動位相反転 | ・設計基準強度<br>・地盤物性−σ<br>・全応力解析<br>・水平動位相反転 | ・ｺﾝｸﾘｰﾄ実強度<br>・標準地盤<br>・全応力解析<br>・水平動位相反転 | ・設計基準強度<br>・地盤物性−σ<br>・有効応力解析 | ・設計基準強度<br>・地盤物性−σ<br>・有効応力解析<br>・水平動位相反転 |
| 復水貯蔵タンク基礎<br>（Ⅵ-2-2-5） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — |
| 海水ポンプ室<br>（Ⅵ-2-2-7） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 第 3 号機海水ポンプ室<br>（Ⅵ-2-2-9）＊2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — |
| 原子炉機器冷却海水<br>配管ダクト（水平部）<br>（Ⅵ-2-2-11） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — |
| 軽油タンク室<br>（Ⅵ-2-2-13） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — |
| 軽油タンク室（H）<br>（Ⅵ-2-2-15） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — |
| ガスタービン発電設備<br>軽油タンク室<br>（Ⅵ-2-2-17） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 軽油タンク連絡ダクト<br>（Ⅵ-2-2-19） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — |
| 排気筒基礎<br>（Ⅵ-2-2-25） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — |
| 排気筒連絡ダクト<br>（Ⅵ-2-2-27） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

注記＊1：（　）内に当該構造物の地震応答計算書の添付書類番号を記載する。

＊2：今回工認においては，評価対象が剛である設備のみであり，床応答曲線を適用しないことから，最大応答加速度のみ整理

2.3　応答スペクトルの作成

2.2 項で示した地震応答解析（基本ケース及び不確かさケース）から得られる加速度応答時刻歴を入力波として，応答スペクトルを作成する。以降，本資料では，基本ケースの地震応答解析に基づく応答スペクトルを「応答スペクトル（基本ケース）」，不確かさケースの地震応答解析に基づく応答スペクトルを「応答スペクトル（不確かさケース）」という。

2.4　機器の固有周期のずれ等の影響

2.3 項で作成した応答スペクトル（基本ケース）に対して，ＪＥＡＧ４６０１-1987 を参照し，機器の固有周期のずれや地盤物性，建屋剛性，地盤ばね定数の算出式，減衰定数，模擬地震波の位相特性等といった因子の変動に伴う応答スペクトルの変動の影響をカバーすることを目的として，周期軸方向に±10%拡幅することとする（図 2-2）。

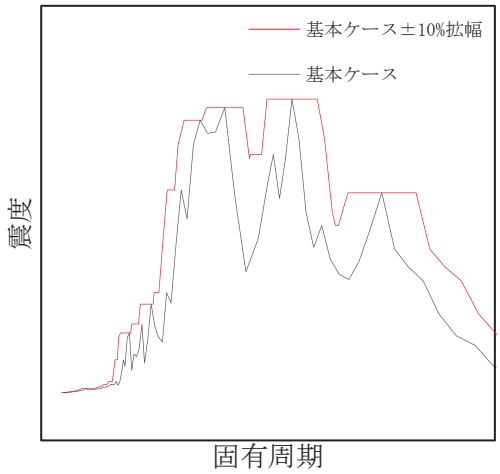



図 2-2　機器の固有周期のずれ等の影響を考慮した応答スペクトル

2.5　材料物性の不確かさ等の影響の考慮

2.4 項で作成したものと，2.3 項で作成した応答スペクトル（不確かさケース）を包絡させることにより，材料物性の不確かさ等の影響について配慮を行い，これを設計用床応答曲線とする（図 2-3）。

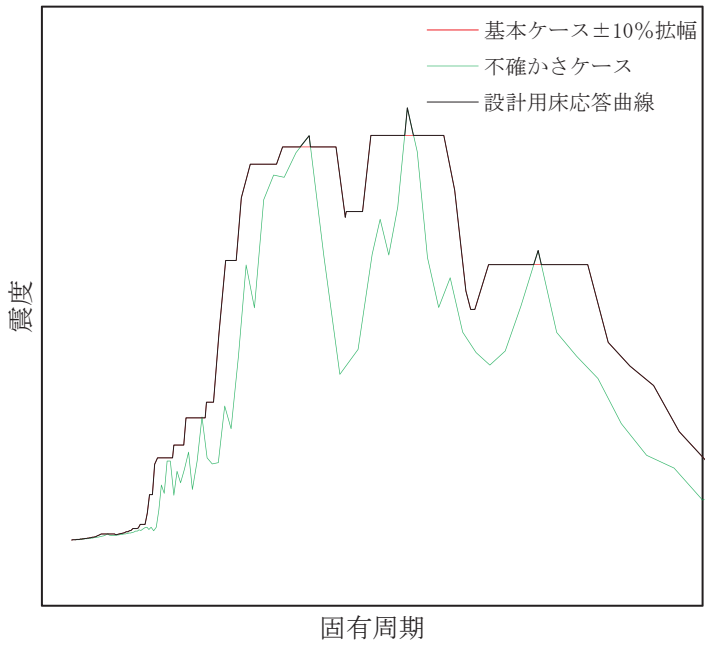



図 2-3　材料物性の不確かさ等の影響を考慮した応答スペクトル

## 2.6　誘発上下動の考慮

添付書類「Ⅵ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に基づき，地盤ばねには必要に応じて基礎浮上りによる非線形を考慮した解析を行うが，接地率が 65％未満の場合は，誘発上下動を考慮できる浮上り非線形解析を行う。誘発上下動を考慮する場合，水平加振により励起される上下応答を評価するため，水平方向と鉛直方向の地震応答解析モデルを，基礎底面で回転・鉛直連成ばねを用いて連成した解析モデルを用い，水平方向の地震動を入力とした浮上り非線形地震応答解析を行う。

鉛直方向地震動に対する鉛直方向の応答時刻歴に，以下のとおり誘発上下動の応答時刻歴を時々刻々加算及び減算をする。

・$V+V_{NS}$

・$V-V_{NS}$

・$V+V_{EW}$

・$V-V_{EW}$

ここで，

$V$　：鉛直方向地震動に対する鉛直方向の応答時刻歴

$V_{NS}$：NS 方向地震動に対する誘発上下動の応答時刻歴

$V_{EW}$：EW 方向地震動に対する誘発上下動の応答時刻歴

上記で得られた応答加速度時刻歴から最大応答加速度及び床応答曲線を算出し，包絡したものを設計に適用する。

基準地震動Ｓｓに対して誘発上下動を考慮した解析ケースを表 2-4～表 2-6 に示す。緊急用電気品建屋及び緊急時対策建屋については，すべての解析ケース及び入力地震動に対して接地率が 65％以上となるため，誘発上下動は考慮しない。

また，弾性設計用地震動Ｓｄによる地震応答解析においては，すべての解析ケース及び入力地震動に対して接地率が 65％以上となるため，誘発上下動は考慮しない。

なお，建屋－大型機器連成地震応答解析においては，補足説明資料「補足-600-8-1　建屋-機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について」に示すとおり，不確かさケースでは，鉛直方向は基準地震動Ｓｓ－Ｄ２の解析のみ実施しているが，Ｓｓ－Ｄ２において誘発上下動を考慮するケースはないため，誘発上下動は考慮しない。

表 2-4　原子炉建屋の解析において誘発上下動を考慮するケース及び地震動

| 地震動 | ケース 1 | | ケース 2 | | ケース 3 | | ケース 4 | | ケース 5 | | ケース 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| Ｓｓ－Ｄ１ | － | － | － | － | － | － | － | － | ○ | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｄ２ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｄ３ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｆ１ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｆ２ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｆ３ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｎ１ | － | － | － | － | － | － | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | － |

○：誘発上下動を考慮　　－：誘発上下動を考慮しない

表 2-5　制御建屋の解析において誘発上下動を考慮する解析ケース及び地震動

| 地震動 | ケース 1 | | ケース 2 | | ケース 3 | | ケース 4 | | ケース 5 | | ケース 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| Ｓｓ－Ｄ１ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ｓｓ－Ｄ２ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ｓｓ－Ｄ３ | － | ○ | － | ○ | － | ○ | － | ○ | － | ○ | － | ○ |
| Ｓｓ－Ｆ１ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｆ２ | ○ | － | － | － | － | － | － | ○ | － | ○ | － | ○ |
| Ｓｓ－Ｆ３ | － | ○ | － | － | － | － | － | ○ | － | ○ | － | ○ |
| Ｓｓ－Ｎ１ | ○ | － | － | － | － | － | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

○：誘発上下動を考慮　　－：誘発上下動を考慮しない

表 2-6　第 3 号機海水熱交換器建屋の解析において誘発上下動を考慮する解析ケース及び地震動

| 地震動 | ケース 1 | | ケース 2 | | ケース 3 | | ケース 4 | | ケース 5 | | ケース 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| Ｓｓ－Ｄ１ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | － | ○ | － | ○ | － | ○ |
| Ｓｓ－Ｄ２ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | － | ○ | － | ○ | － | ○ |
| Ｓｓ－Ｄ３ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ｓｓ－Ｆ１ | ○ | － | ○ | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｆ２ | ○ | － | ○ | － | － | － | － | － | － | － | － | － |
| Ｓｓ－Ｆ３ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | － | ○ | － | ○ | － | ○ |
| Ｓｓ－Ｎ１ | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － | － |

○：誘発上下動を考慮　　－：誘発上下動を考慮しない

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-7_改３ |

# 補足-600-7　機器・配管系の耐震設計における剛柔判定を行う固有周期について

目　次

1.　はじめに ..... 1
2.　剛柔判定を行う固有周期の考え方..... 1
3.　剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法..... 2
4.　実機に対する適用性..... 3
5.　剛柔判定に係る閾値の検討..... 10

1.　はじめに

女川原子力発電所第 2 号機における機器・配管系の耐震設計においては，当該設備が柔構造と判断される場合には，動的解析により地震力を算定し，剛構造と判断される場合には，機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度（1.2ZPA）とした静的解析により地震力を算定するが，この剛柔判定を行う閾値として固有周期 0.05 秒(20Hz)を適用している。

本検討においては，0.05 秒以下の領域も考慮した地震応答解析を行い，剛柔判定を行う閾値として固有周期 0.05 秒を適用していることの妥当性を検討する。

なお，本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

・「Ⅵ-2　耐震性に関する説明書」

2.　剛柔判定を行う固有周期の考え方

剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲の概要を図 1 に示す。剛柔判定の固有周期は，地震動による応答増幅が大きくなる建物・構築物の卓越周期から十分離隔した位置に設定し，動的解析の適用要否の決定に用いている。なお，この考え方は，ＪＥＡＧ４６０１－1970 に示されている。

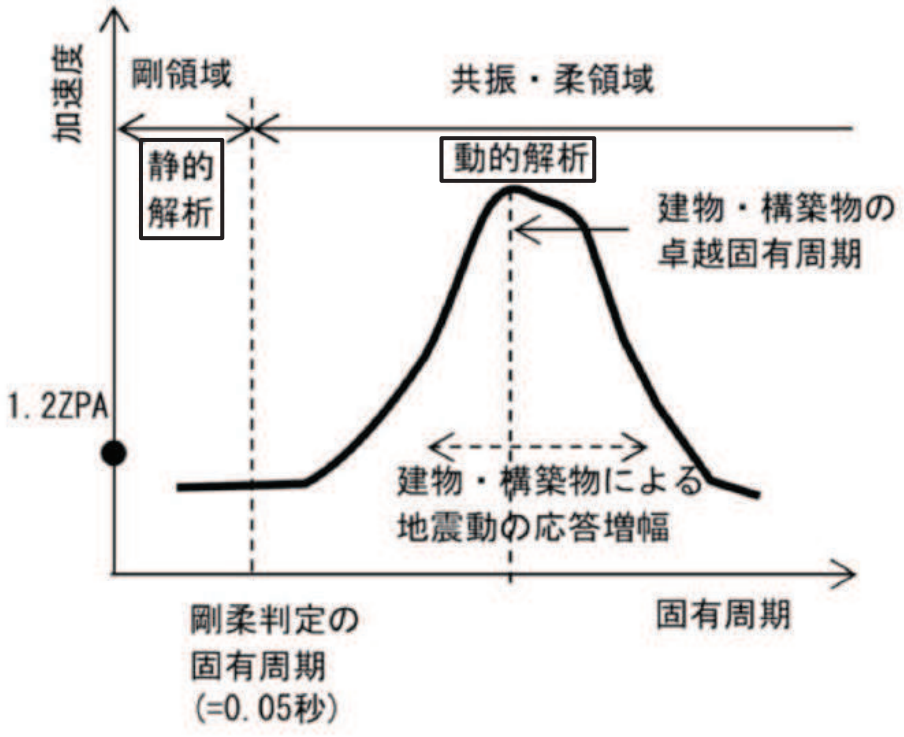



図 1　床応答スペクトルにおける剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲の概要

3.　剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法

ＪＥＡＧ４６０１－1987 の抜粋を図 2 に示す。機器・配管系の剛柔判定については，ＪＥＡＧ４６０１－1987 に例示されているとおり，機器・配管系の１次固有周期が 0.05 秒以下の場合は剛構造，0.05 秒を超える場合は柔構造とする。この方針は，既工認と同じである。

機器・配管系の耐震設計では，剛柔判定の固有周期 0.05 秒を超える場合は，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対して動的解析により行い水平及び鉛直方向の動的地震力を定める。固有周期が 0.05 秒以下の場合は，機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度（1.2ZPA）とした静的解析により地震力を算定する。

**6.4.3　動的地震力の概要**

機器・配管系の耐震設計に用いる動的地震力は，重要性の高い As クラス機器の地震力を基本に定めるものである。本項では，その概要を示し，地震力算定の詳細は「6.5 地震応答解析」に述べることとする。

(1)　As 及び A クラス機器

A クラス機器に関しては，基準地震動 $S_1$ に対し動的解析（地盤－建屋－機器連成の解析あるいは据付位置における設計用床応答スペクトルを用いた解析等）により算定される水平地震力を適用する。A クラス機器の中で特に重要な As クラス機器に関しては，さらに基準地震動 $S_2$ に対し動的解析によって得られる水平地震力をも適用する。ただし，その機器が剛構造と判断される場合（例えば機器の 1 次固有振動数が20Hz 以上，あるいは，設計用床応答スペクトルの卓越する領域より高い固有振動数を有する場合）には，その機器の据付位置における建物の応答加速度を基に定まる震度により地震力を算定する。なお，As，A クラスの機器については鉛直地震力をも考慮し，基準地震動の最大加速度を1/2とした鉛直震度（高さ方向については一定とする）より求まる鉛直地震力を水平地震力と同時に不利な方向で組合せる。

図 2　ＪＥＡＧ４６０１－1987（抜粋）

4.　実機に対する適用性

ＪＥＡＧ４６０１－1987 の記載は，水平方向の動的解析への適用として剛柔判定の固有周期 0.05 秒の考え方を示したものである。新規制基準においては，鉛直方向についても水平方向と同様に動的な扱いとするため，鉛直方向も含め剛柔判定の固有周期 0.05 秒が地震力算定に適用可能であることを検討した。本検討に際して参照したＪＥＡＧ４６０１－1970 の抜粋を図 3 に示す。ＪＥＡＧ４６０１－1970 には建物・構築物の卓越固有周期の 1／2 を剛柔判定の固有周期とするとの考え方が示されており，原子力発電所の建物・構築物の卓越周期は一般に，0.1～0.5 秒(2～10Hz)であることを考慮して，0.05 秒を剛柔判定の固有周期とすれば十分であると記載されている。

女川原子力発電所第 2 号機の原子炉建屋地震応答解析モデルに基づく，水平方向及び鉛直方向における固有周期を表 1 及び表 2 並びに図 4～図 6 に示す。建屋の卓越固有周期は水平方向は 0.2 秒以上，鉛直方向は 0.1 秒以上であり，剛柔判定の固有周期 0.05 秒は，原子炉建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔（卓越固有周期の 1/2 以下）をもって設定されている。なお，表 1 及び表 2 並びに図 4～図 6 に示した固有周期に係る詳細は添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。

加速度応答スペクトルを図 7 に，変位応答スペクトルを図 8 に示す。加速度応答スペクトルでは 0.05 秒未満で一定の加速度を有するが，変位応答スペクトルにおいては固有周期 0.05 秒で概ね収斂している。

上記の検討結果より，既工認と同じ剛柔判定の固有周期 0.05 秒は，建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔をもっており，女川原子力発電所第 2 号機の水平及び鉛直方向の地震力算定に適用可能であることを確認した。

原子力発電所の場合について一般的にみると，地盤の卓越振動数，構築物の固有振動数をあわせ考えて，２～１０Ｈｚが取付け点の卓越振動数域すなわち床応答曲線が持ち上る領域と考えられる。したがって動特性がまったく不明な場合には一応これより共振領域としては１～２０Ｈｚを考えれば一応十分であろう。

そこで固有振動数の評価に当って重要なことは，対象となっている機械系が固有振動数解析を必要とする範囲にあるか否かを判定することである。明らかに２０Ｈｚよりはるかに高い固有振動数を有すると推定される対象につき，多くの計算を行なう必要はない。その推定は在来の経験であってもよし，対象物あるいはそれと類似な機器についての試験の結果であってもよい。この試験もたとえば簡単に木槌でたたいてみるといったことであってよいのである。ときには，これによって支持金具の不完全さなどを見出すことができる。

図３　ＪＥＡＧ４６０１－1970（抜粋）

表 1　原子炉建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果（水平方向）

| 次数 | NS 方向 | | EW 方向 | |
|---|---|---|---|---|
| | 固有周期<br>(s) | 固有振動数<br>(Hz) | 固有周期<br>(s) | 固有振動数<br>(Hz) |
| 1 次 | 0.237 | 4.21 | 0.230 | 4.36 |
| 2 次 | 0.123 | 8.12 | 0.125 | 8.01 |

表 2　原子炉建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果（鉛直方向）

| 次数 | 固有周期<br>(s) | 固有振動数<br>(Hz) |
|---|---|---|
| 2 次* | 0.100 | 9.96 |

注記＊： 屋根トラス部が卓越するモード除く

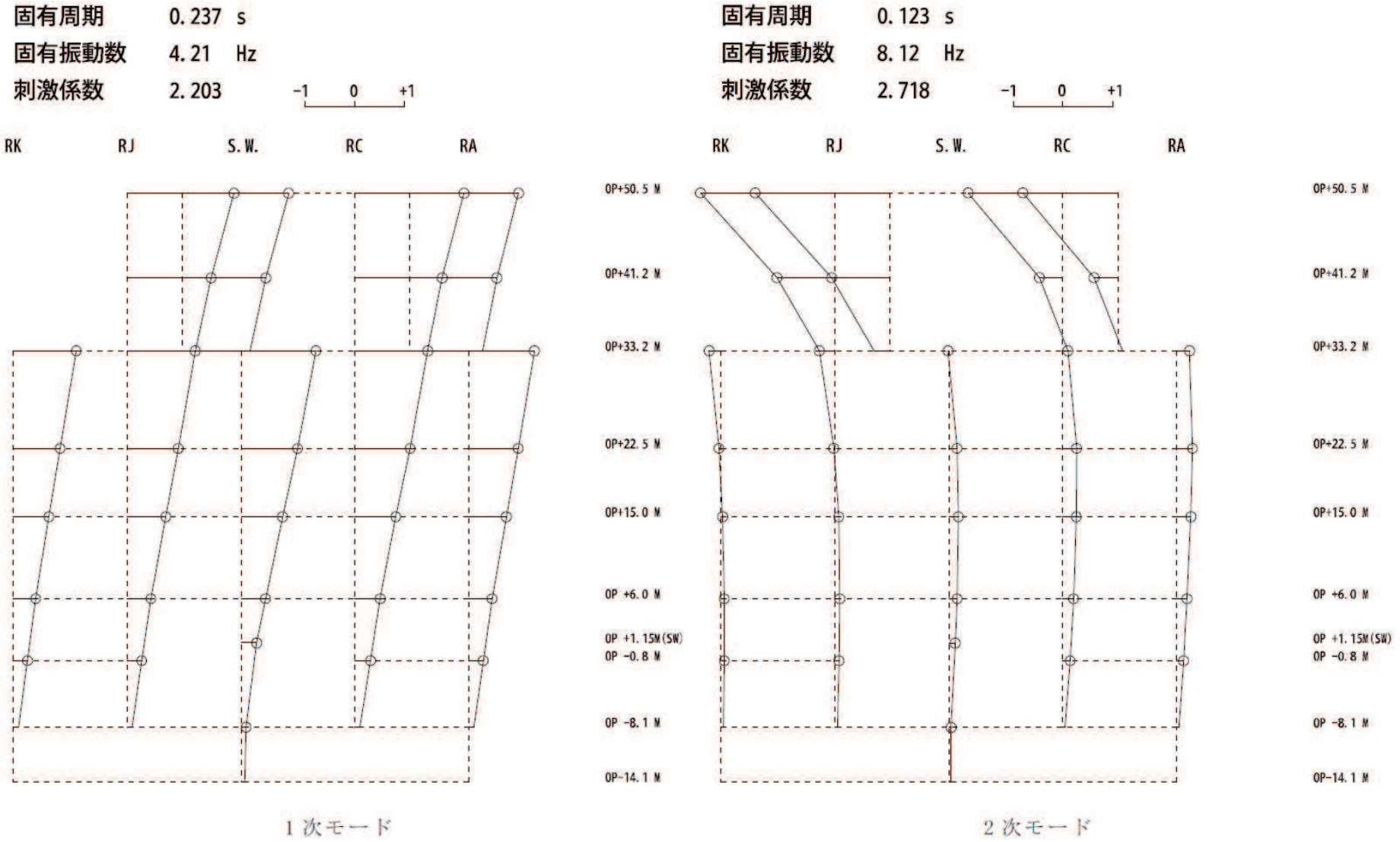



図 4　刺激関数図（NS 方向）

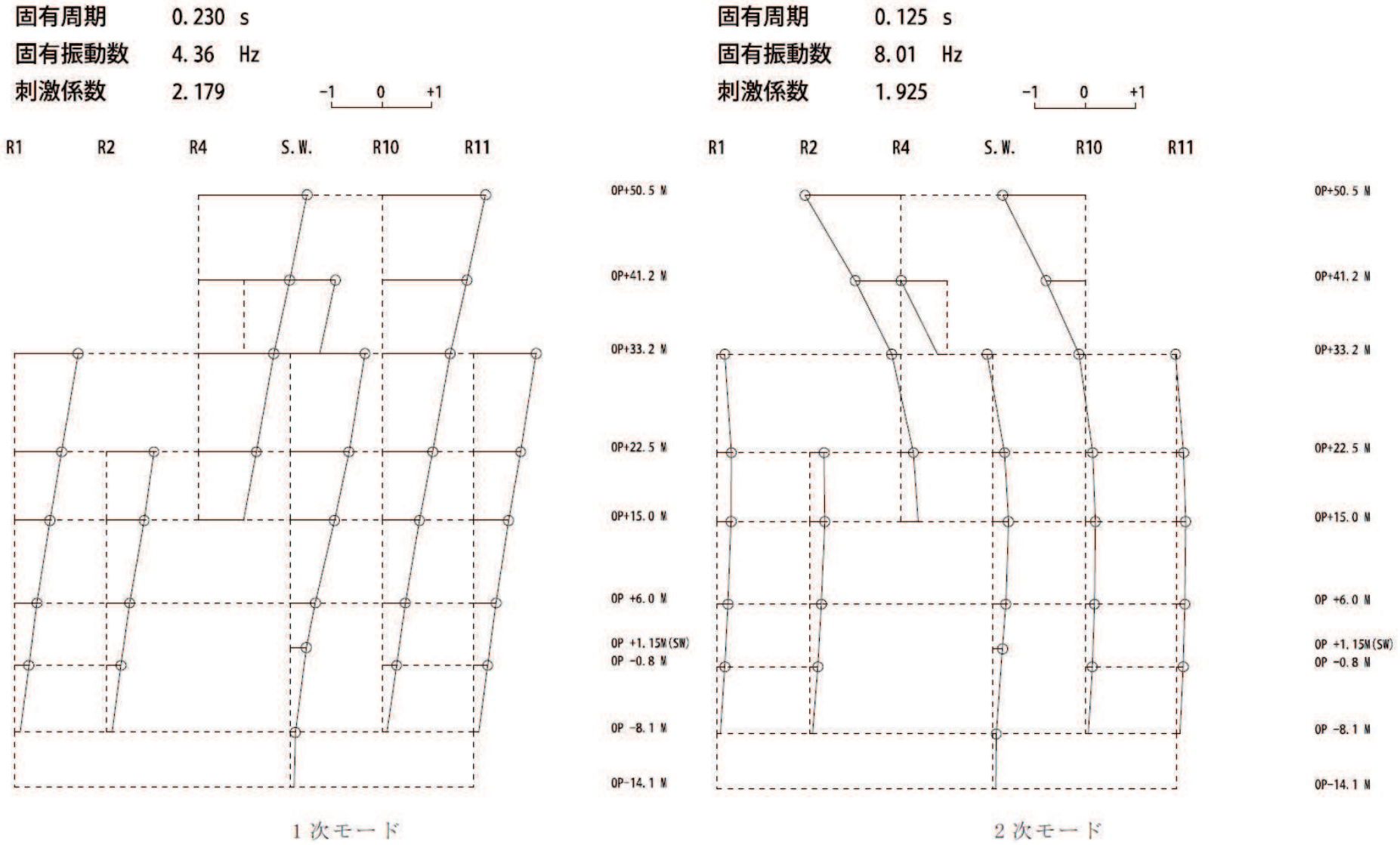
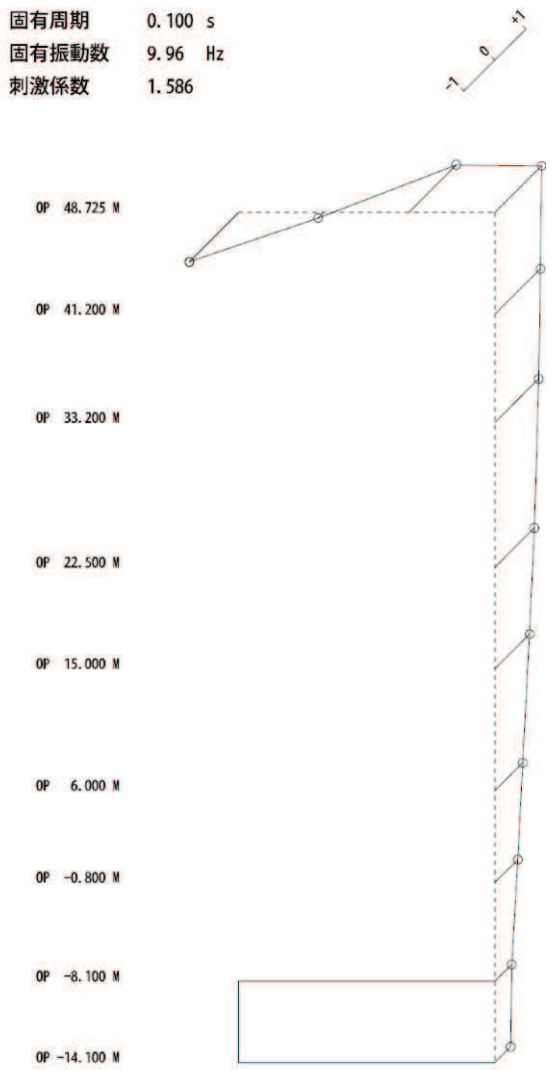



図 5　刺激関数図（EW 方向）




2 次モード

図 6　刺激関数図（鉛直方向）

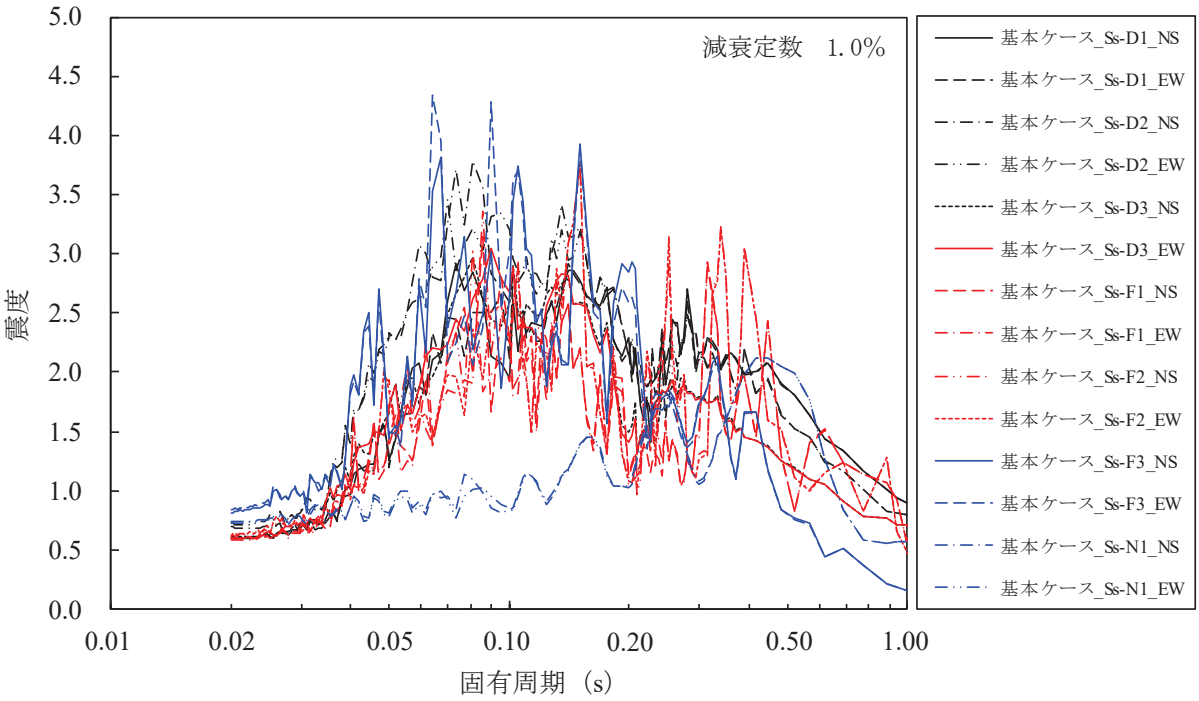



図 7-1　原子炉建屋（0.P. -8.100m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）

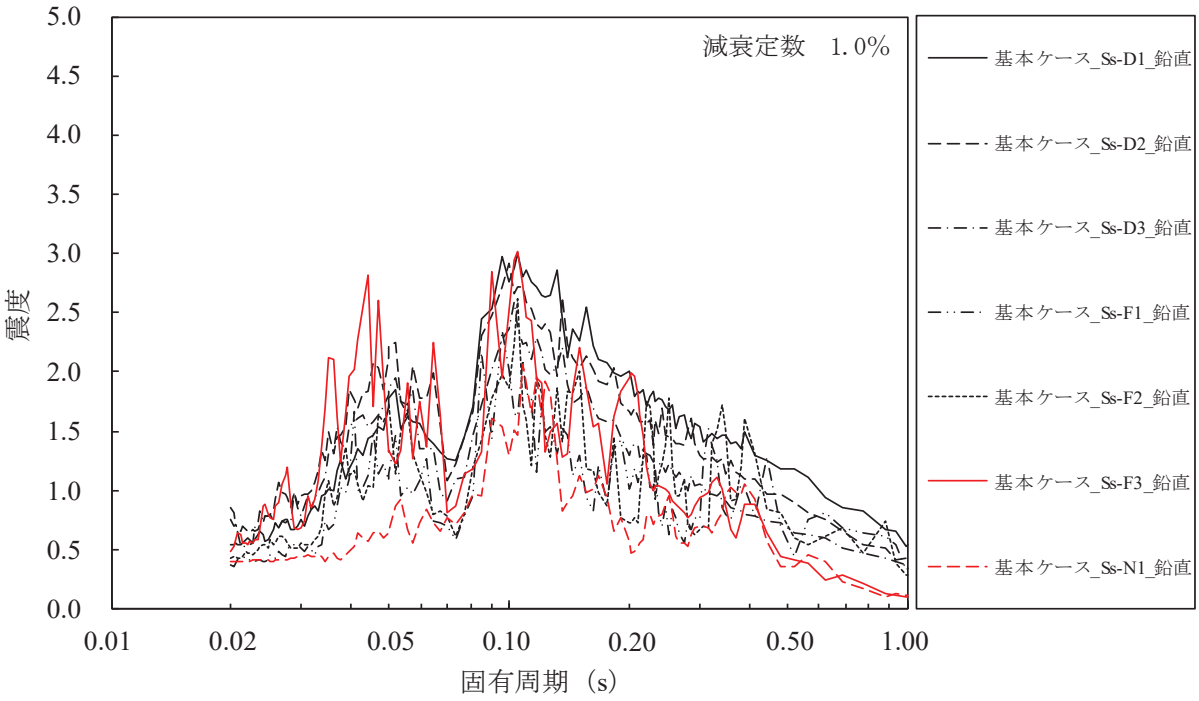



図 7-2　原子炉建屋（0.P. -8.100m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）

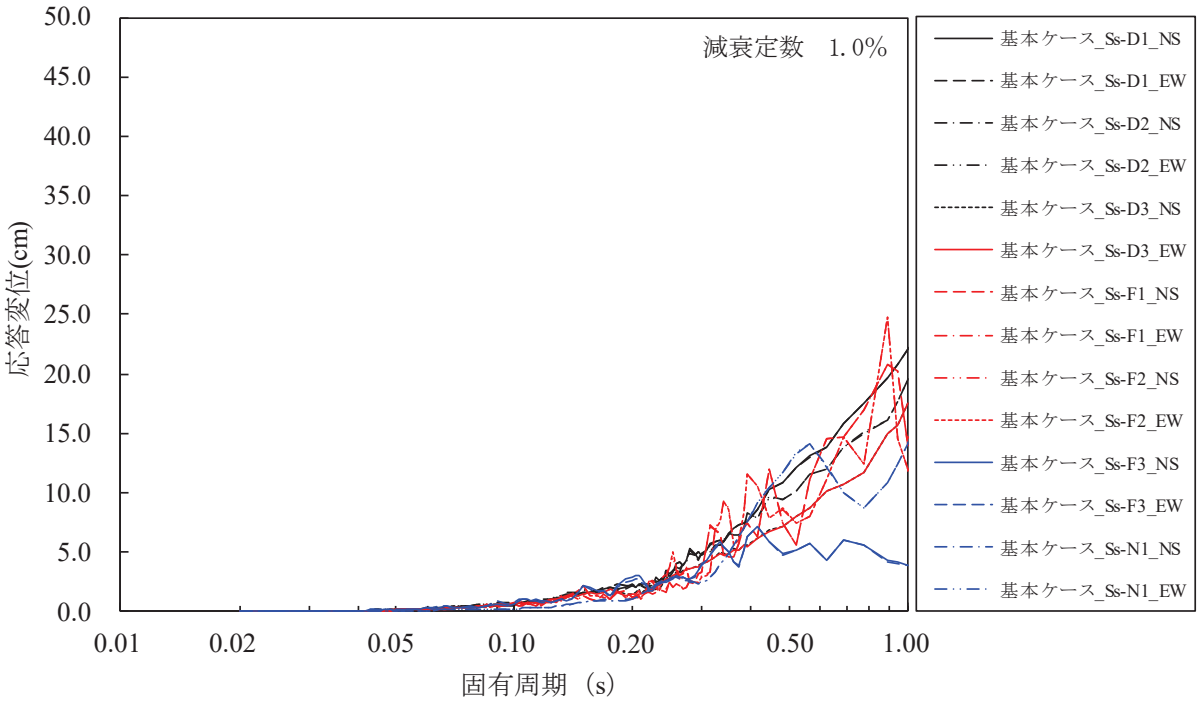



図 8-1　原子炉建屋（0.P. -8.100m）の変位応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）

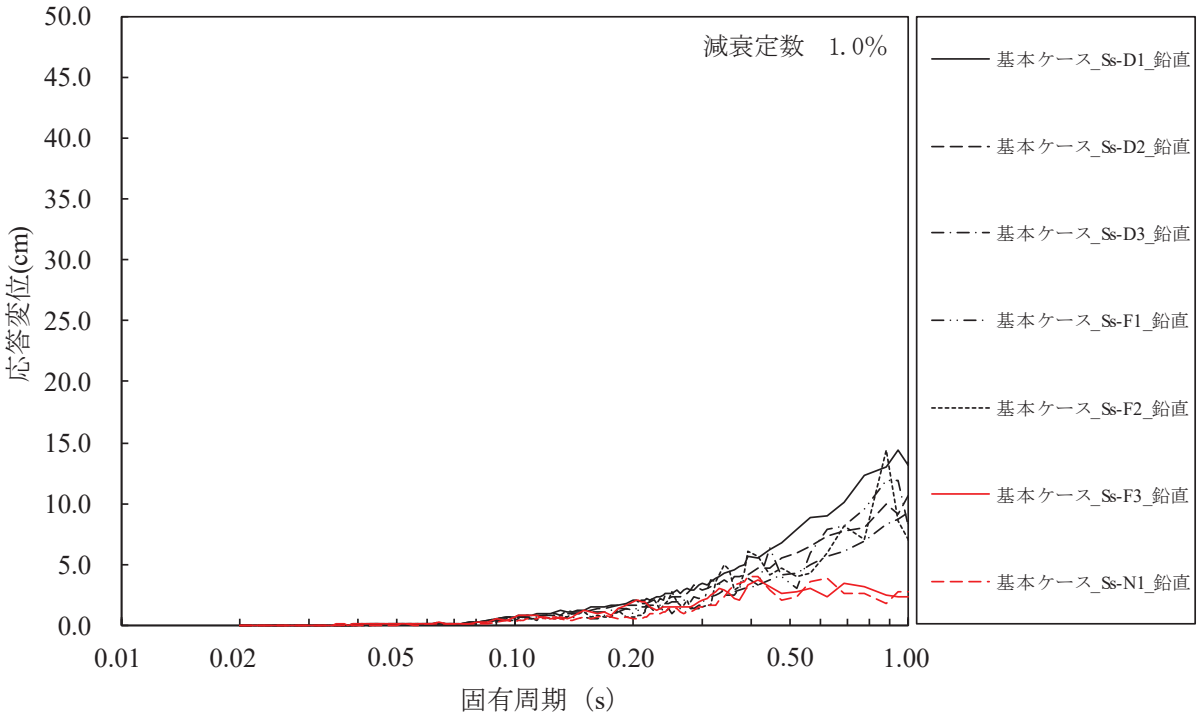



図 8-2　原子炉建屋（0.P. -8.100m）の変位応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）

5. 剛柔判定に係る閾値の検討

(1) 剛柔判断の閾値を 0.05 秒とすることに関連する知見

地震動の高振動数領域においては地震力が短い周期で交番することから地震による変位やエネルギーが小さくなる傾向があり，設備の損傷の観点からは影響は小さいと考えられることから，0.05 秒を剛柔判断の閾値としている。この地震動の高振動数領域が設備の損傷に与える影響は小さいとの考え方は，米国における地震時の点検・再起動等においても取り入れられている。

女川 2 号機の耐震評価において剛柔判定の閾値を 0.05 秒と設定することを踏まえ，地震動の 0.1 秒以下の高振動数領域が設備の損傷に与える影響は小さいと検討されている既往知見について以下に整理する。

a. ＪＥＡＧ４６０１－1987 版で機器が剛構造と判断される場合の例示として，１次固有振数が 20Hz 以上，あるいは，設計用床応答スペクトルの卓越する領域より高い振動数を有する場合を掲示している。また，ＪＥＡＧ４６０１－1970 では，一般的なものとして，2～10Hz が取付け点の卓越振動数域と考えられ，共振領域としては 1～20Hz を考えれば十分であろうとしている。（当該部分の抜粋は図 2，3 に示す。）

ＪＥＡＧ４６０１－1987 における剛柔判断の固有振動数 20Hz 以上の考え方は，水平方向の動的解析への適用として示したものであるが，鉛直方向においてもＪＥＡＧ４６０１－1970 の考え方に基づき，原子炉建屋の卓越固有周期が剛柔判断の固有周期 0.05 秒に対して，十分な離隔を有することを確認している。また，構造強度の評価に直接かかわる変位応答スペクトルにおける 0.1 秒での応答について概ね収斂していることを確認している。

b. 過去に，観測された地震動が 0.1 秒以下の周期領域のみで設計時に適用した地震応答スペクトルを超えた原子力発電所では，耐震設計上重要な施設（女川 2 号機においては耐震 S クラス及び波及的影響を考慮する設備）に対して被害の発生が無い。

【周期 0.1 秒以下で設計時の想定を超える地震動が観測された原子力発電所】

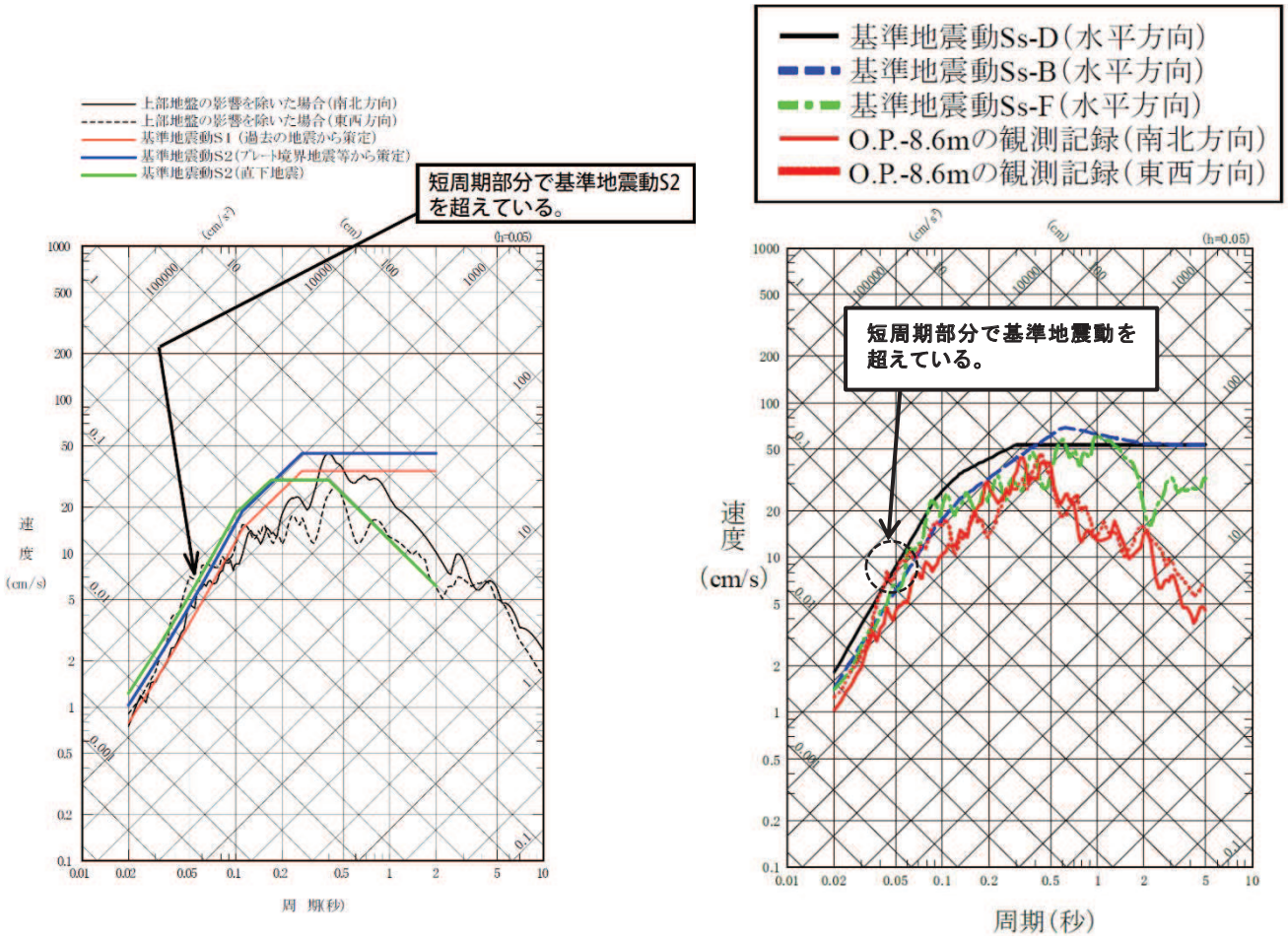
女川原子力発電所（2005 年宮城県沖地震，2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震）*1

米国 Perry 原子力発電所（1986 年 Leroy 地震）*2

米国 Summer 原子力発電所（1978 年小規模地震多数）*2

＊1：観測記録の分析結果について図 9 に示す。

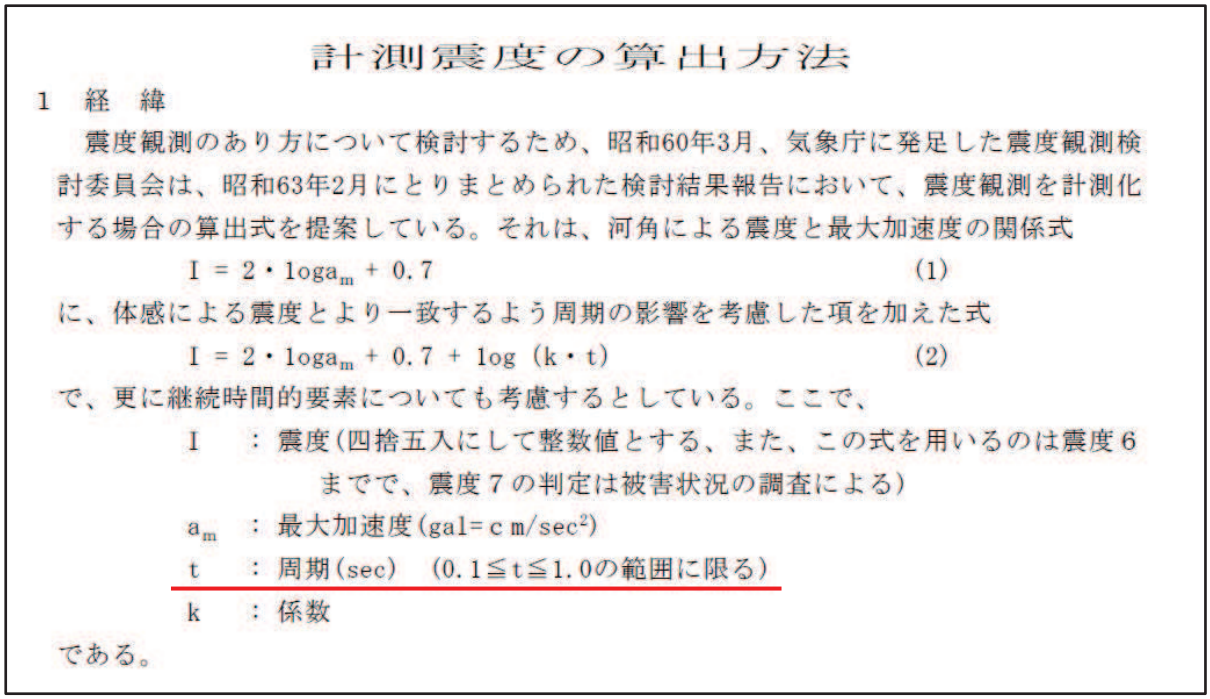
＊2：(出典) EPRI 1988.7 A Criterion for Determining Exceedance of the Operating Basis Earthquake




(2005 年宮城県沖地震)　　(2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震)

図 9　女川原子力発電所における過去の地震の観測記録分析結果

c.　気象庁の震度階：　近地地震などでは短周期成分が多く含まれており，日本では経験的に地振動と破壊の状態との関係を震度で示している。気象庁震度階の元となっている計測震度では，周期 0.1 秒よりも短周期側の地震動成分をフィルタでカットしている。計測震度の算出方法について，図 10 に気象庁ホームページに公開されている内容の抜粋を示す。



計測震度の算出方法

1　経　緯

震度観測のあり方について検討するため、昭和60年3月、気象庁に発足した震度観測検討委員会は、昭和63年2月にとりまとめられた検討結果報告において、震度観測を計測化する場合の算出式を提案している。それは、河角による震度と最大加速度の関係式

$$I = 2 \cdot \log a_m + 0.7 \qquad (1)$$

に、体感による震度とより一致するよう周期の影響を考慮した項を加えた式

$$I = 2 \cdot \log a_m + 0.7 + \log (k \cdot t) \qquad (2)$$

で、更に継続時間的要素についても考慮するとしている。ここで、

I　：震度(四捨五入にして整数値とする、また、この式を用いるのは震度６までで、震度７の判定は被害状況の調査による)

$a_m$　：最大加速度(gal=ｃｍ/sec$^2$)

t　：周期(sec)　(0.1≦t≦1.0の範囲に限る)

k　：係数

である。

図 10　計測震度の算出方法（抜粋）
（https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/study-panel/shindo-kentokai/hensen.pdf）より転載

d.　米国の規格：　地震後の対応に関する米国の規格：Nuclear Plant Response to an Earthquake（ANSI/ANS-2.23-2002）では，観測された地震が設計用の地震動を超えたか否かの判定（OBE Exceedance Criteria）で，応答スペクトルで 0.1 秒以下の周期帯について考慮外としている。本規格では，CAV（Cumulative Absolute Velocity）という指標を導入して観測された地震動の有効性（構造物の破壊に対する影響度）を判定している。

原波形と 0.1 秒のフィルタを掛けた波形について各々CAV を算出し，その比を地震による影響の程度を示す震度（米国では修正メルカリ震度を使用している）に対してプロットすると，破損が生じるといわれる修正メルカリ震度Ⅶ程度以上で安定し，0.1 秒のフィルタを掛けた波形が破損との関係をより良く表している。

e.　米国電力研究所の調査*：　10Hz を超える振動数領域における高加速度振動による設備の影響について調査を行い，一部の設備を除き影響は無視できると結論付けている。

固有振動数が低い設備は高振動数領域の加速度には影響を受けず，また，固有振動数が

高い設備についても，高振動数領域における加速度では変位や応力が小さくなるため，高振動数領域でSSE（Safety Shutdown Earthquake）を超える地震動に見舞われた米国内の発電所（上記b.の発電所）において，設備に影響が無かったことも紹介されている。

＊出典： EPRI 2006.12 Program on Criterion Technology Innovation: The Effects of High-Frequency Ground Motion on Structures, Components, and Equipment in Nuclear Power Plants

なお，b.～d.についての情報は，一般社団法人日本原子力技術協会（現一般社団法人原子力安全推進協会）地震後の機器健全性評価ガイドライン（平成24年3月）にまとめて記述されている。

(http://www.gengikyo.jp/archive/pdf/JANTI-SANE-G1.pdf)

(2)　変位応答スペクトルを踏まえた剛柔判定の検討

女川原子力発電所第2号機の原子炉圧力容器（0.P. 28.600m）における基準地震動Ｓｓによる加速度応答スペクトルを図11に示す。また，同様に変位応答スペクトルを図12に示す。

加速度応答スペクトルでは0.05秒未満で一定の加速度を有するが，構造強度の評価に直接かかわる変位応答スペクトル*の卓越周期に対し，剛柔判定の固有周期0.05秒は，十分な離隔をもって設定されていることが分かる。

＊：機器・配管系の動的解析に適用されるスペクトルモーダル解析（ＪＥＡＧ４６０１－1987 P565，567）では，加速度応答スペクトルから各モードに対応する応答変位を求め，この応答変位に剛性を乗じて部材力（曲げモーメント，せん断力等）を算出している。

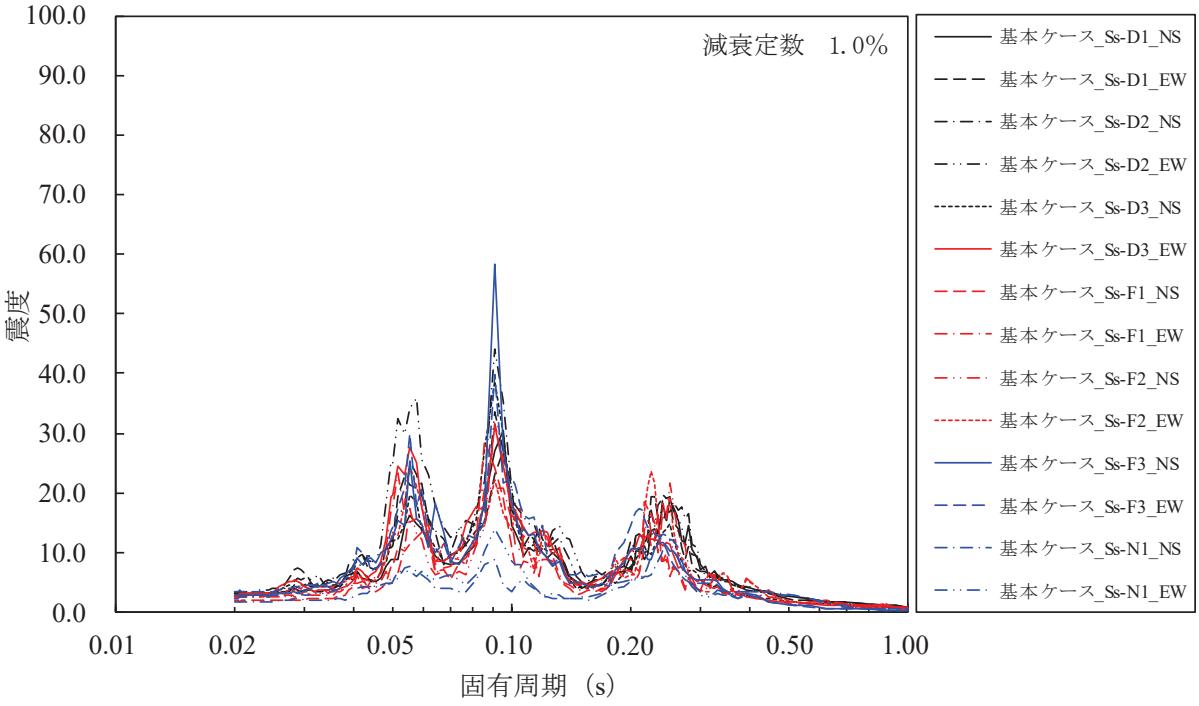



図 11-1　原子炉圧力容器（0.P. 28.600m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）

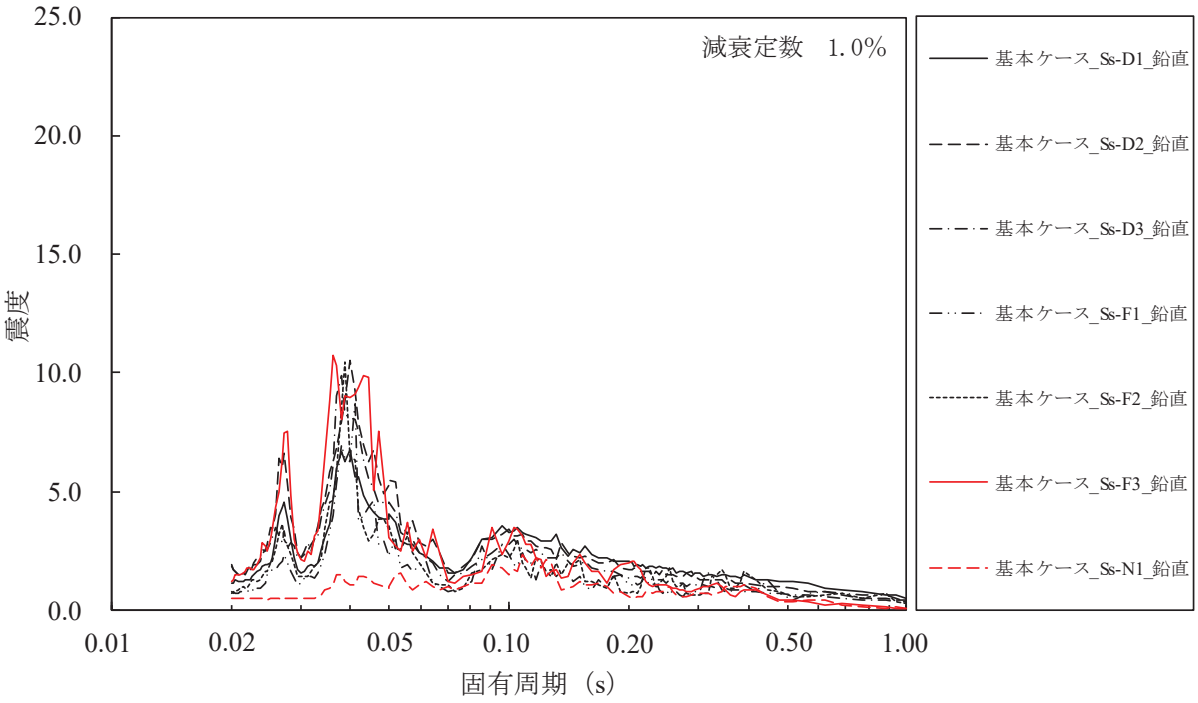



図 11-2　原子炉圧力容器（0.P. 28.600m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

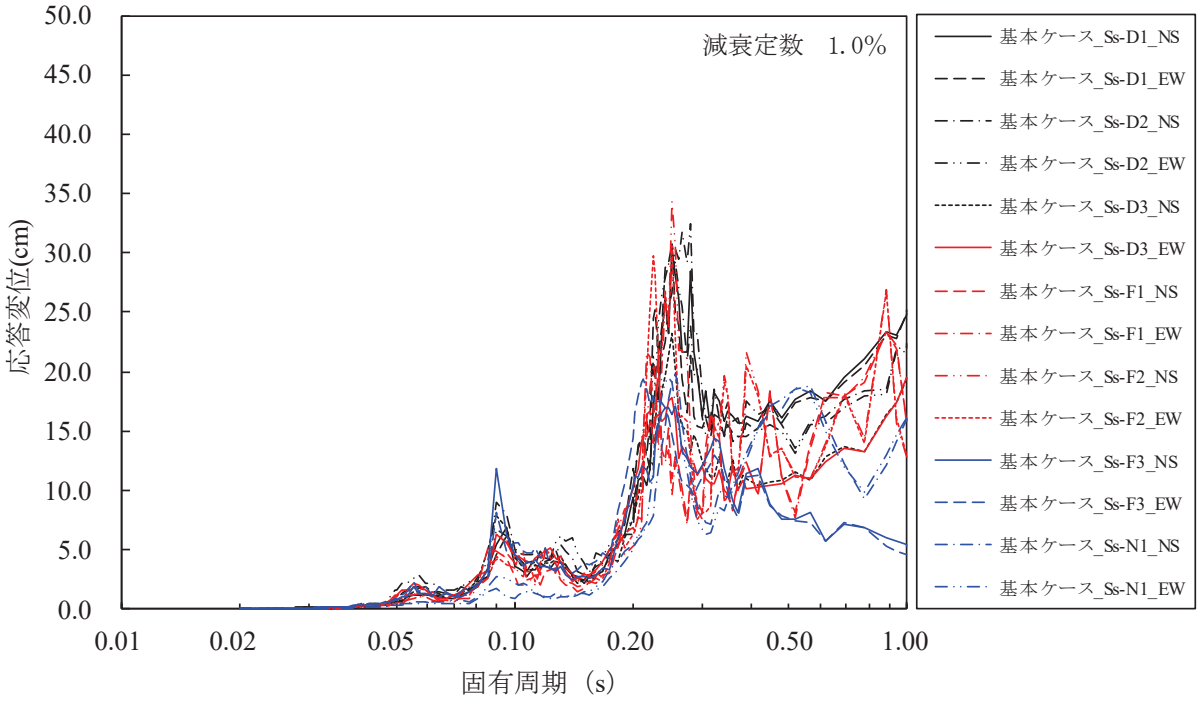



図 12-1　原子炉圧力容器（0.P. 28.600m）の変位応答ペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）

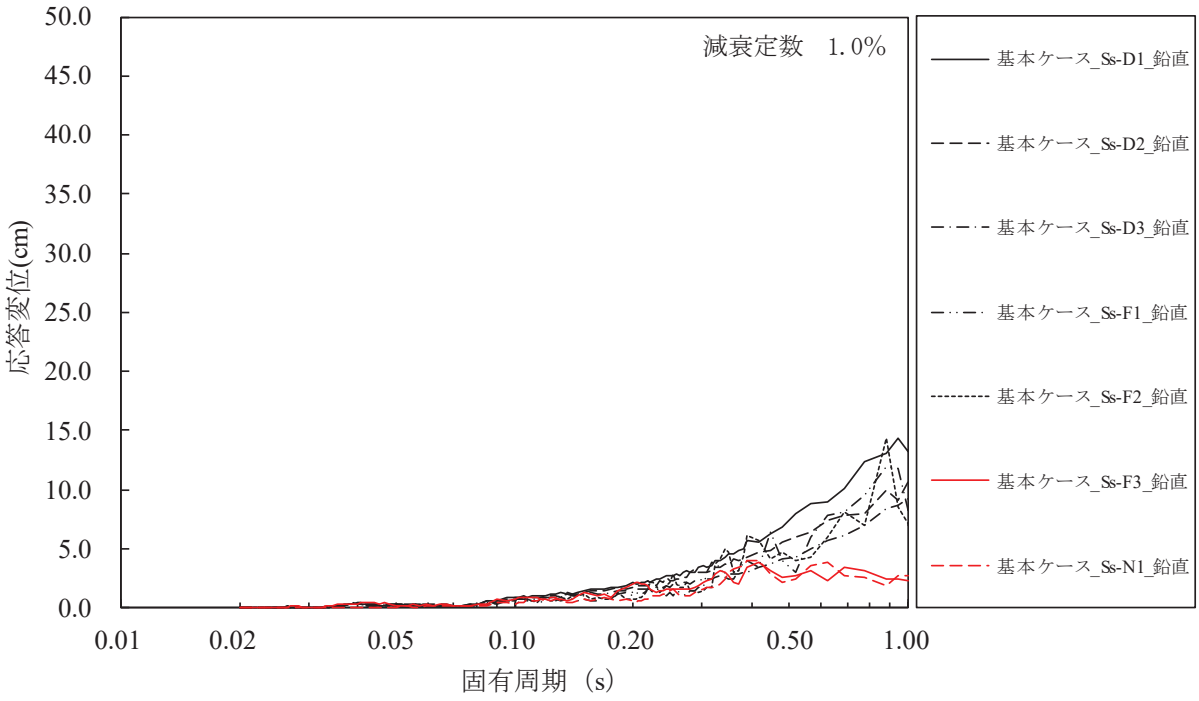



図 12-2　原子炉圧力容器（0.P. 28.600m）の変位応答ペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

(3)　動的解析において 0.05 秒を超える（20Hz 未満）範囲を考慮することの妥当性確認

本項では現行の動的解析において考慮する固有振動数の範囲は 0.05 秒を超える（20Hz 未満）範囲としていることについて，構造強度設計を行う上で妥当であること，すなわち，変位応答スペクトルをベースに設定した剛柔判定の固有周期が耐震設計を行う上で妥当性を有していることを確認する。なお，弁の動的機能維持評価に適用する加速度の算定方法については，「補足-600-14-2　弁の動的機能維持評価について」に示す。

a.　検討対象設備

検討対象設備は，20Hz 近傍に卓越する応答に対する検討を行う観点から 20Hz 近傍に卓越する応答を有する設計用床応答曲線を適用する設備を選定する。また，設計用床応答曲線を 20Hz までを使用していることを踏まえて，1 次固有振動数が 20Hz 近傍に有する設備を選定する。

(a)　20Hz 近傍に卓越する応答を有する設計用床応答曲線を適用する設備

耐震評価対象設備が最も多い原子炉建屋及び原子炉圧力容器等の大型機器類を代表として，以下の部位の床応答スペクトルについて確認した。加速度応答スペクトルを添付図 1～4，最大応答加速度（1.2ZPA）を添付表 1，2 に示す。

・原子炉建屋
・原子炉圧力容器
・原子炉格納容器
・原子炉しゃへい壁
・原子炉本体の基礎

添付図 1～4 より，水平及び鉛直方向ともに高振動数領域（50Hz）へ向かうにつれて加速度は低下傾向にあるものの，20Hz 近傍で応答が卓越している質点が複数あることが分かる。

そこで，各加速度応答スペクトルの結果から，20Hz 近傍で最も加速度が大きい原子炉圧力容器 O.P.28.600（水平方向）及び原子炉しゃへい壁 O.P.21.550（鉛直方向）の設計用床応答曲線を適用するもののうち，一次応力の裕度が最も小さい残留熱除去系配管（モデル No.RHR-004，No.RHR-005）を対象として検討する。

なお，原子炉圧力容器（水平方向）及び原子炉しゃへい壁（鉛直方向）の設計用床応答曲線を適用し耐震評価を実施する設備を表 3 に示す。

表 3　原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備（1/4）

| 設備名称（モデル No.） | 評価に適用する設計用<br>床応答曲線の作成位置 | 1 次固有周期<br>(s) |
|---|---|---|
| 主蒸気系配管（MS-001） | | |
| 主蒸気系配管（MS-002） | | |
| 主蒸気系配管（MS-003） | | |
| 主蒸気系配管（MS-004） | | |
| 原子炉再循環系配管<br>（PLR-001） | | |
| 原子炉再循環系配管<br>（PLR-002） | | |
| 復水給水系配管<br>（FDW-001） | | |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-001） | | |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-002） | | |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-003） | | |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-004） | | |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-005） | | |
| 高圧炉心スプレイ系配管<br>（HPCS-001） | | |
| 低圧炉心スプレイ系配管<br>（LPCS-001） | | |
| 原子炉冷却材浄化系配管<br>（CUW-001） | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3　原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備（2/4）

| 設備名称（モデル No.） | 評価に適用する設計用<br>床応答曲線の作成位置 | 1 次固有周期<br>(s) |
|---|---|---|
| 制御棒駆動水圧系配管<br>(CRD-004-2) | | |
| 制御棒駆動水圧系配管<br>(CRD-005-2) | | |
| 制御棒駆動水圧系配管<br>(CRD-006-2) | | |
| 制御棒駆動水圧系配管<br>(CRD-007-2) | | |
| 制御棒駆動水圧系配管<br>(CRD-003-3) | | |
| 制御棒駆動水圧系配管<br>(CRD-007-3) | | |
| 制御棒駆動水圧系配管<br>(CRD-017-3) | | |
| 放射性ドレン移送系配管<br>(RD-001) | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3　原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備（3/4）

| 設備名称（モデル No.） | 評価に適用する設計用<br>床応答曲線の作成位置 | 1 次固有周期<br>(s) |
|---|---|---|
| 放射性ドレン移送系配管<br>(RD-002) | | |
| ほう酸水注入系配管<br>(SLC-003) | | |
| ほう酸水注入系配管<br>(SLC-004) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN-01A) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN-02A) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN-03A) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN-04A) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN-05A) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN-06A) | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3　原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備（4/4）

| 設備名称（モデル No.） | 評価に適用する設計用<br>床応答曲線の作成位置 | 1 次固有周期<br>(s) |
|---|---|---|
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN1014) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN1033) | | |
| 高圧窒素ガス供給系配管<br>(HPIN2033) | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b)　1 次固有振動数が 20Hz 近傍に有する設備

20Hz 未満の範囲で 20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有し，2 次固有振動数が 20Hz 以上となる場合，2 次以降の固有振動数が耐震評価に及ぼす影響が大きい可能性があることから，この条件に該当する設備を検討対象として選定する。20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する配管系として，1 次として［　　］(Hz)，2 次として［　　］(Hz)の振動モードを有する制御棒駆動水圧系配管（モデル No.CRD-007-3）を選定する。なお，CRD-007-3 は原子炉格納容器内に設置された配管系であり，原子炉本体の基礎 O.P.4.950～7.040 と制御棒駆動機構ハウジング O.P.3.258 の設計用床応答を適用する設備となっている。

また，20Hz 以上の地震応答が剛性の大きい部位へ影響を及ぼす可能性を検討するため，サポートが多数設置され剛性が比較的大きくなる設備として弁を設置している配管を選定する。弁が設置された配管から 1 次固有振動数が 20Hz 近傍となっている残留熱除去系配管（モデル No.RHR-009）を選定する。

b.　確認方法

図 13 に検討における地震応答解析で考慮する固有振動数領域を示す。本検討は，50Hz の領域まで作成した検討用の床応答曲線を適用した地震応答解析結果を用いて行う。

また，従来の耐震設計で適用している 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果と比較する。なお，本検討における地震応答解析においては，水平 2 方向及び鉛直 1 方向を考慮した解析を実施する。

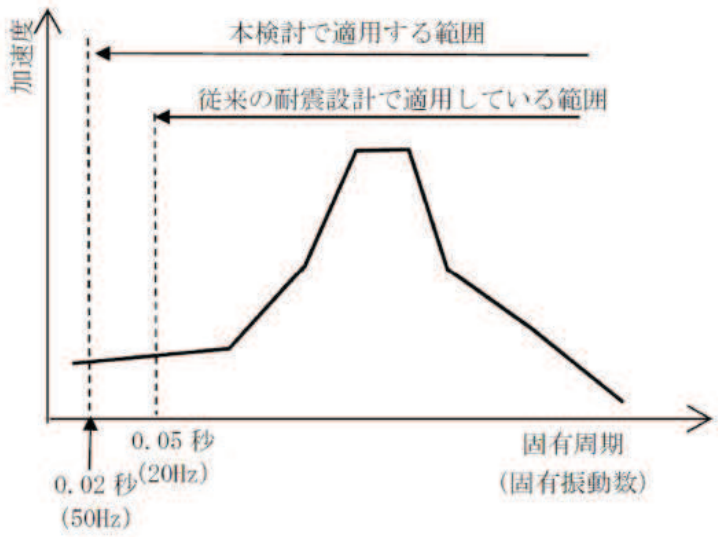



図 13　地震応答解析で考慮する固有振動数領域

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c.　検討用床応答曲線

地震応答解析に適用する検討用床応答曲線を図 14～図 16 に，検討用床応答曲線を包絡し解析に入力している包絡スペクトルを図 17 に示す。剛領域の設備応答の影響を確認する観点から，固有周期 0.02 秒（50Hz）まで作成するとともに，設計用床応答曲線と同様に基本ケースについては周期軸方向に 10%拡幅する。また，検討用床応答曲線の固有周期の計算間隔は，表 4 に示す計算間隔を用いる。

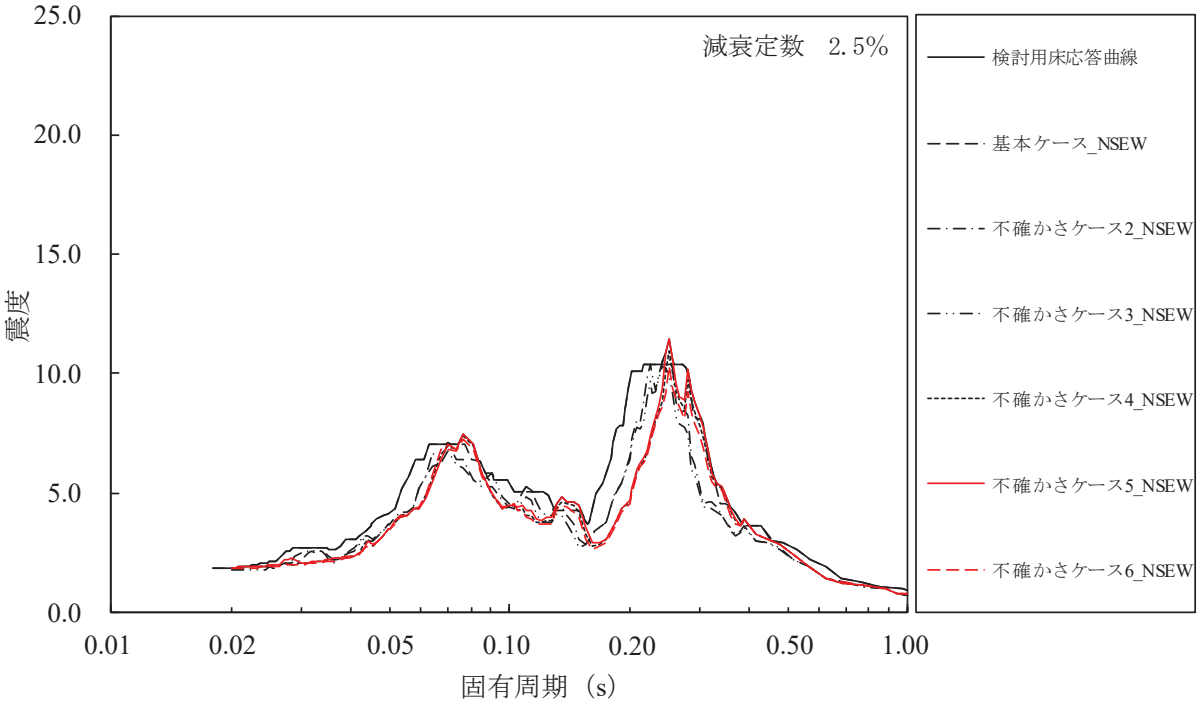



図 14-1　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（0.P.　22.500m，水平方向，減衰定数 2.5%）

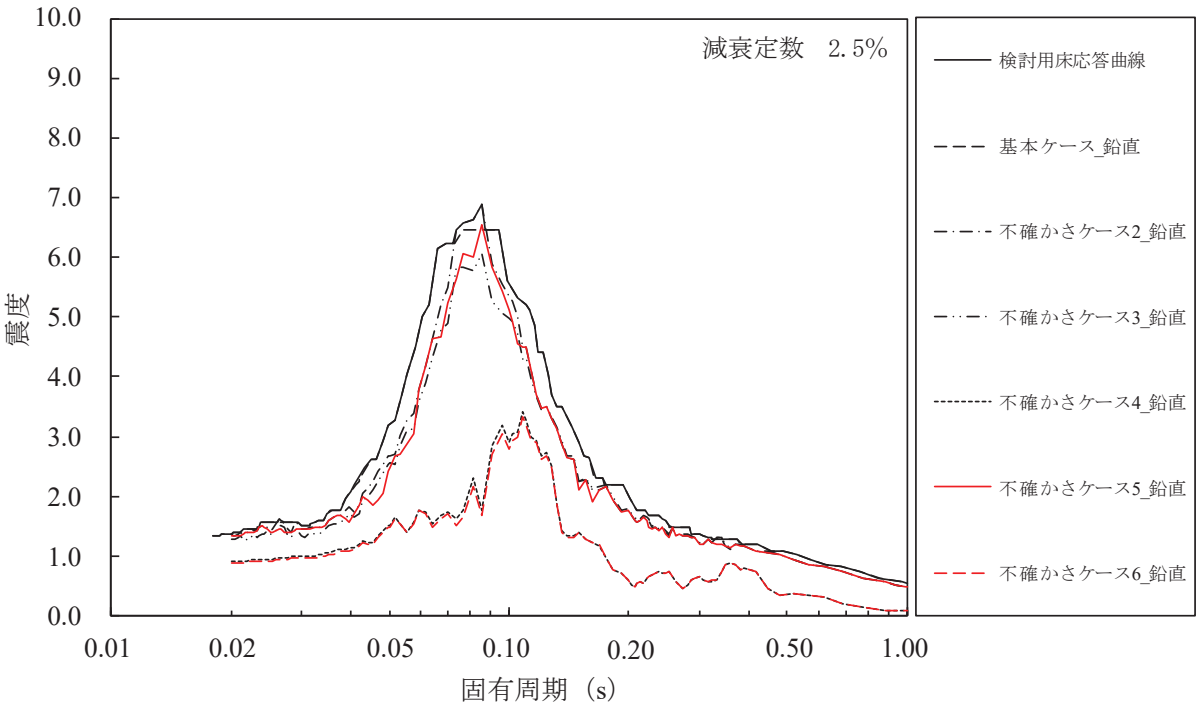



図 14-2　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（0.P.　22.500m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

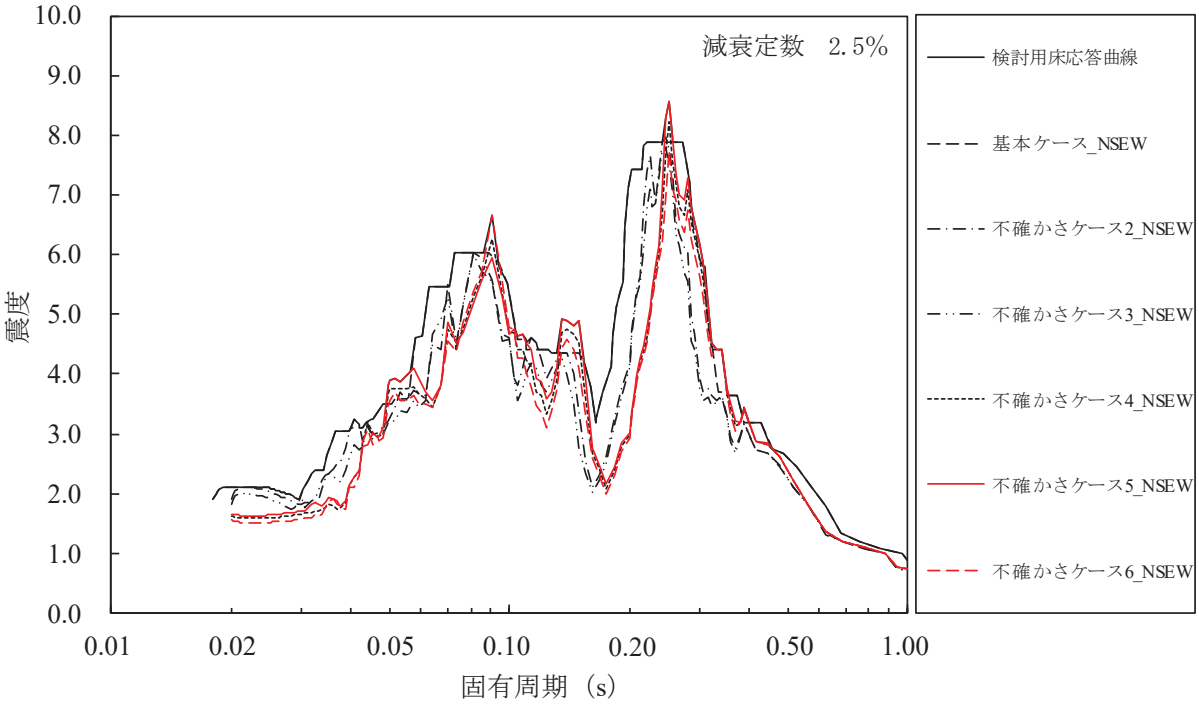



図 14-3　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（0.P.　15.000m，水平方向，減衰定数 2.5%）

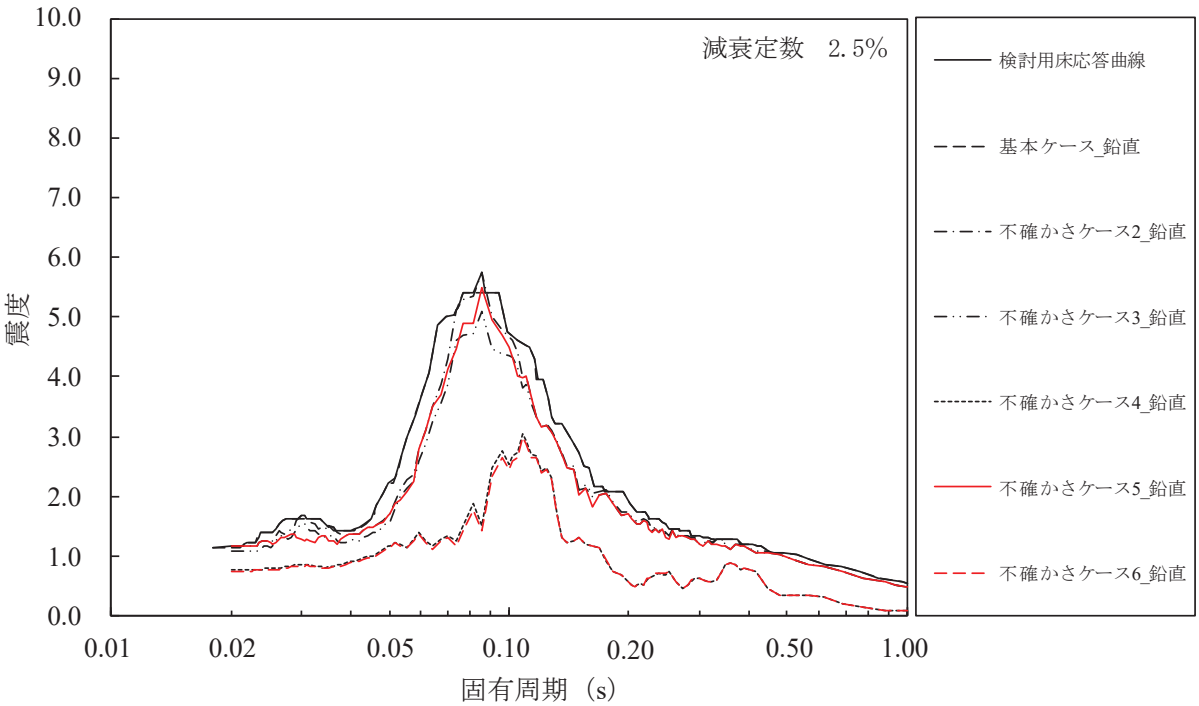



図 14-4　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（0.P.　15.000m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

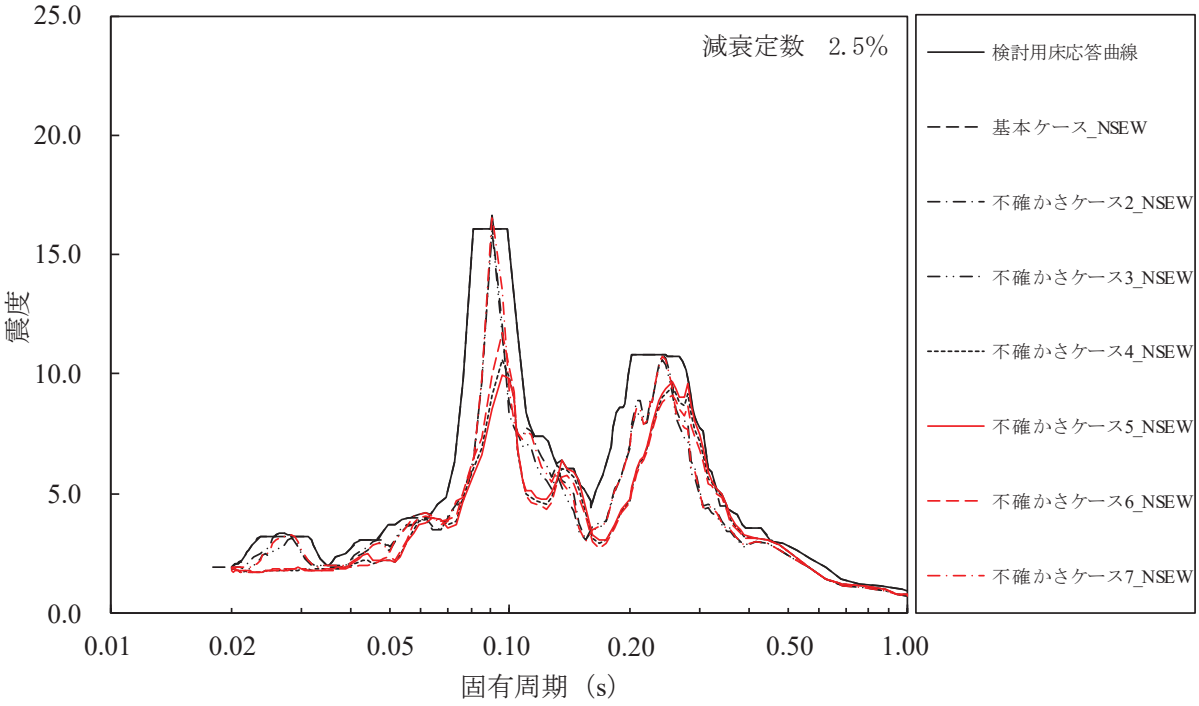



図 14-5　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（0.P. 21.550m，水平方向，減衰定数 2.5%）

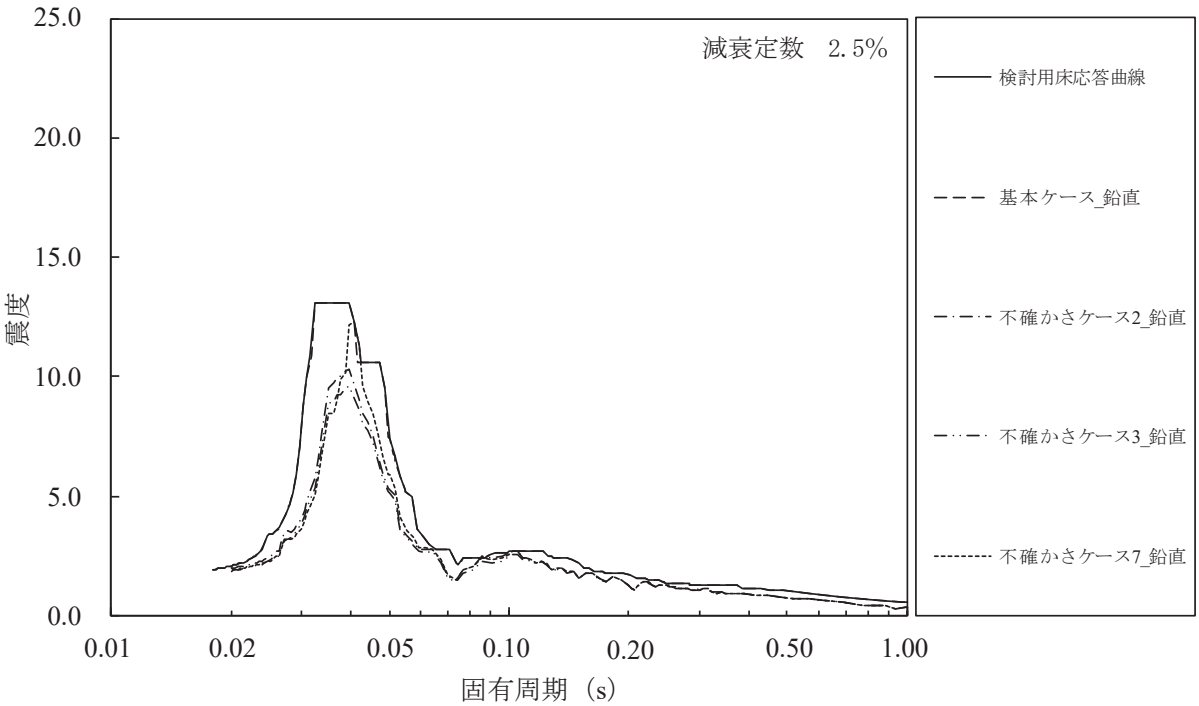



図 14-6　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（0.P. 21.550m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

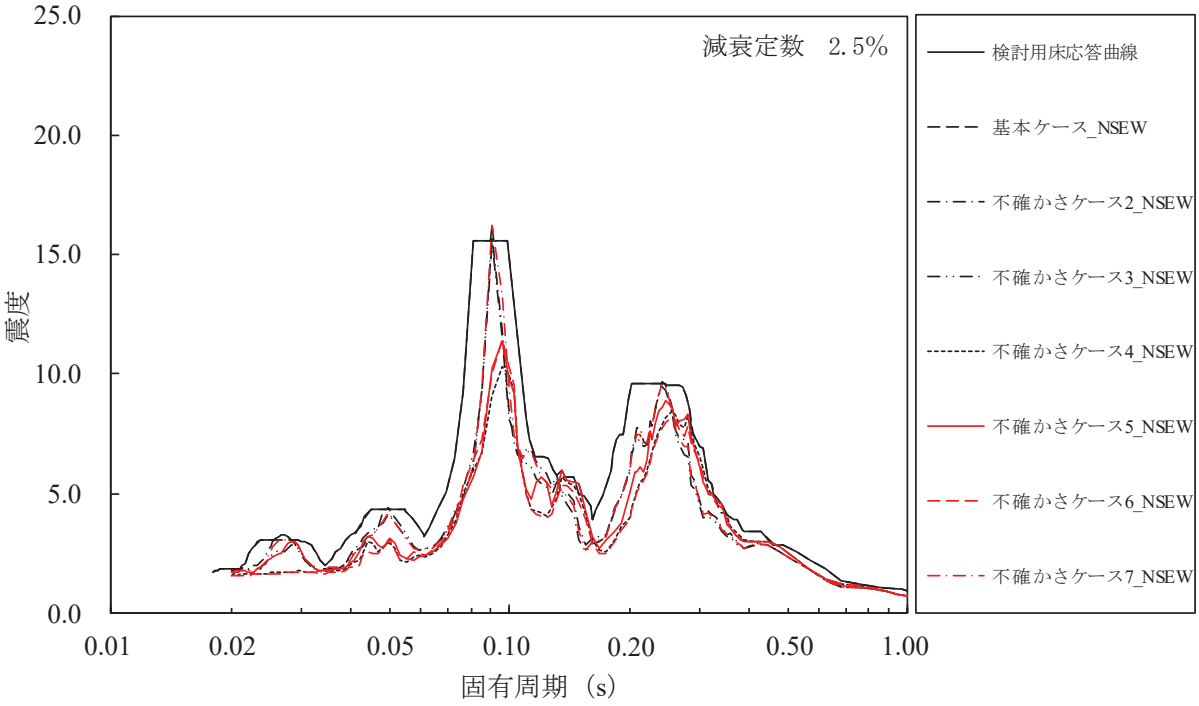



図 14-7　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（0.P.　18.790m，水平方向，減衰定数 2.5%）

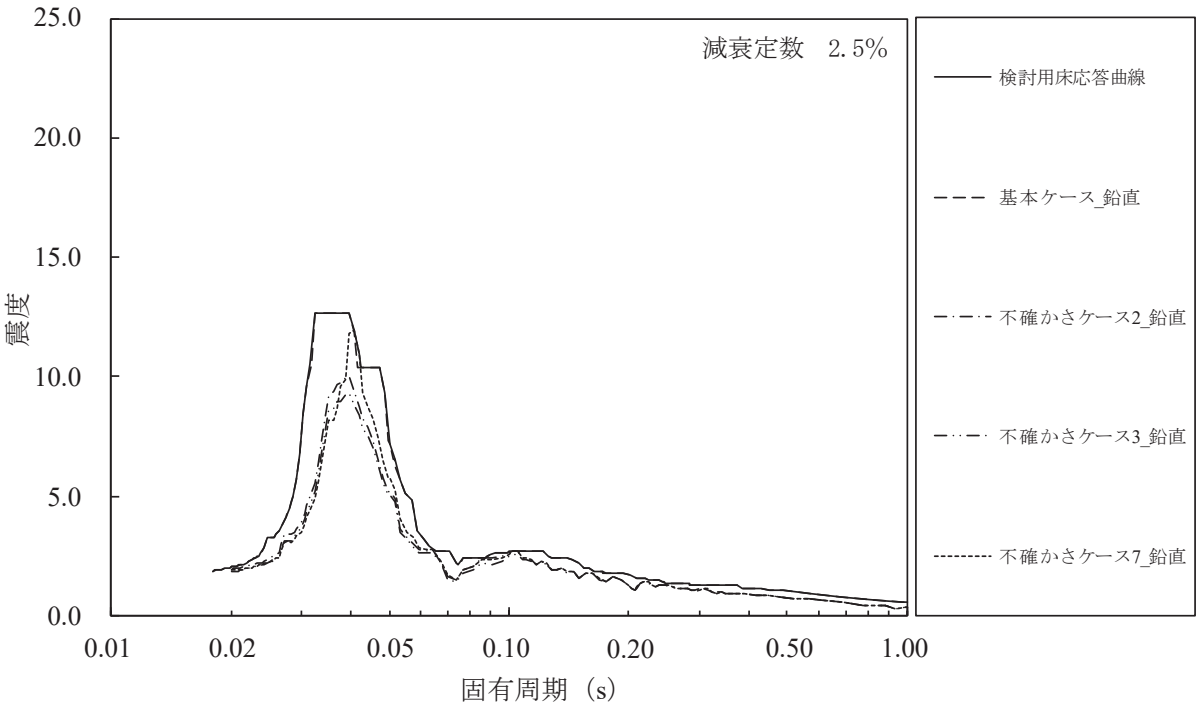



図 14-8　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（0.P.　18.790m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

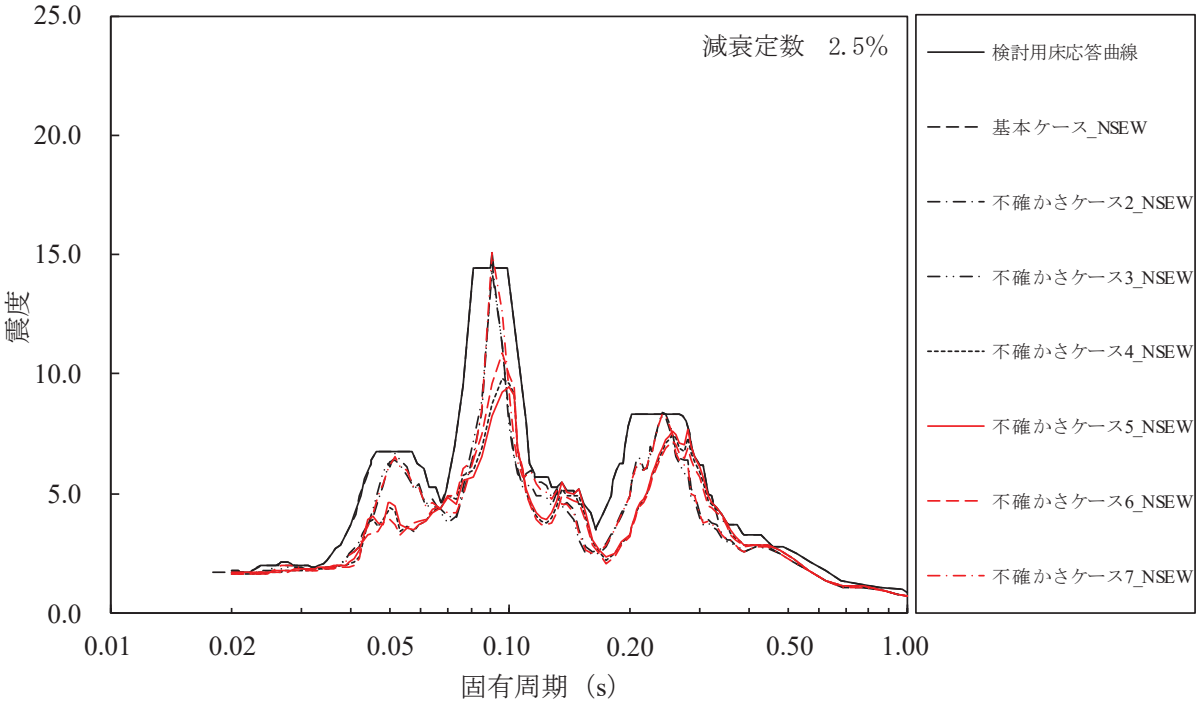



図 14-9　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（0.P. 15.950m，水平方向，減衰定数 2.5%）

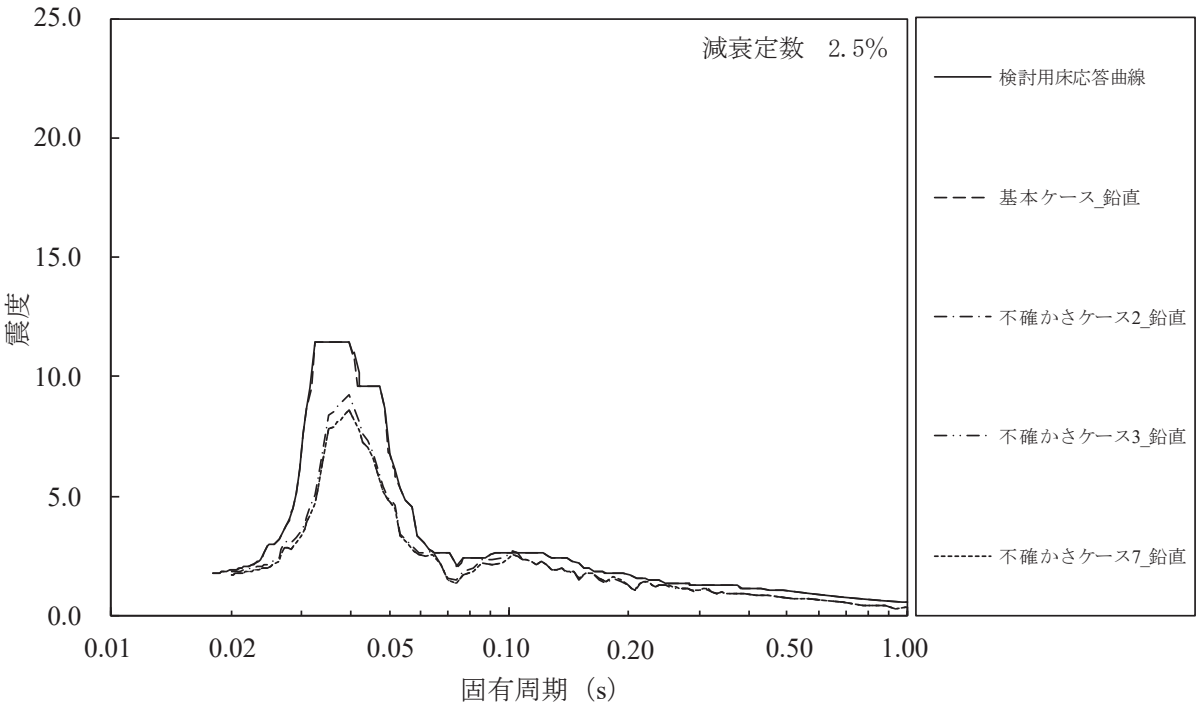



図 14-10　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（0.P. 15.950m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

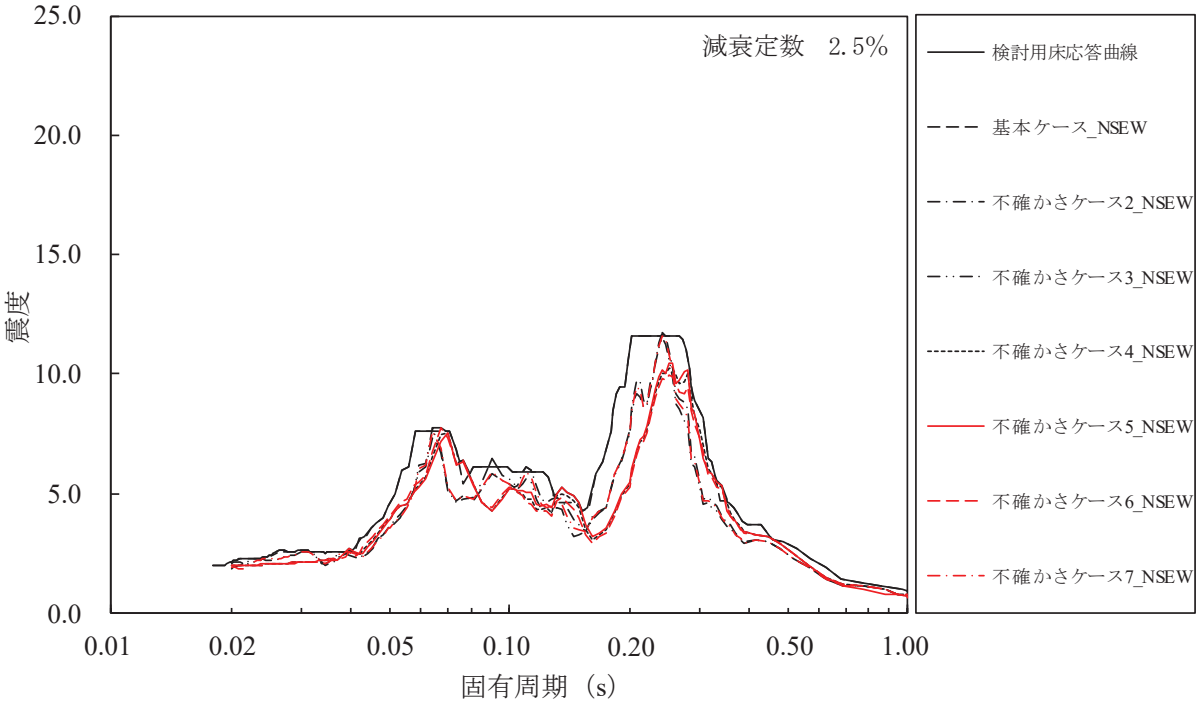



図 14-11　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004，RHR-005）
原子炉格納容器（0.P. 25.858m，水平方向，減衰定数 2.5%）

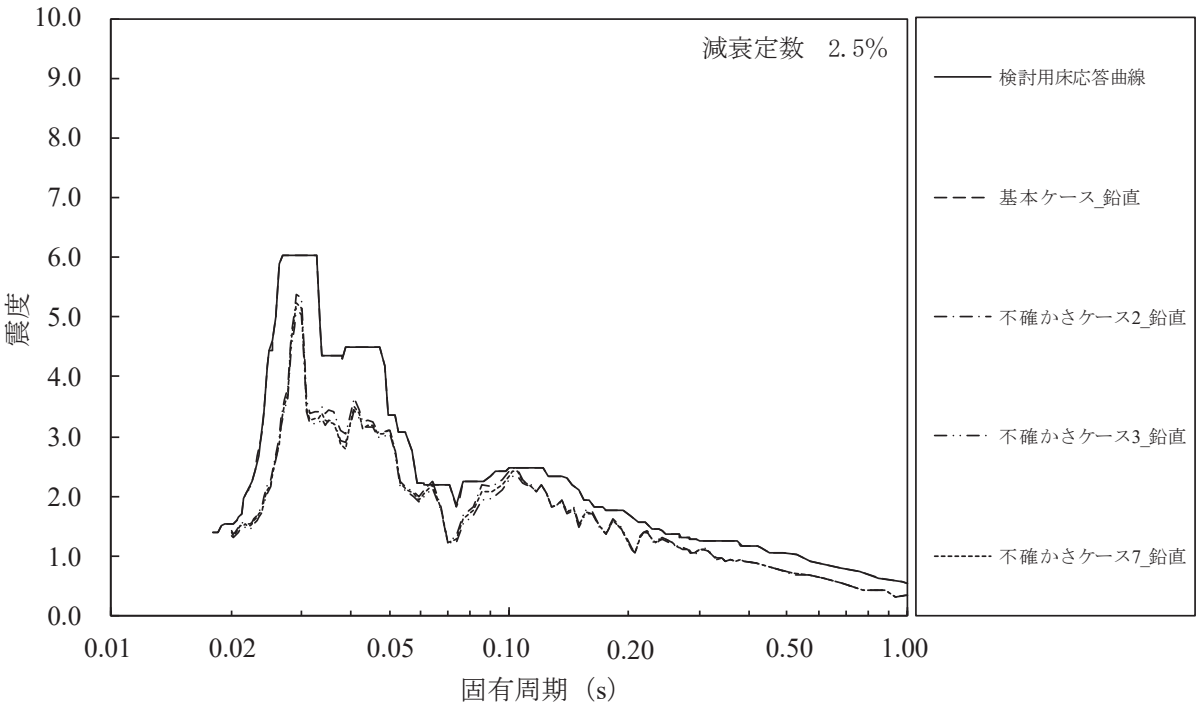



図 14-12　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004，RHR-005）
原子炉格納容器（0.P. 25.858m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

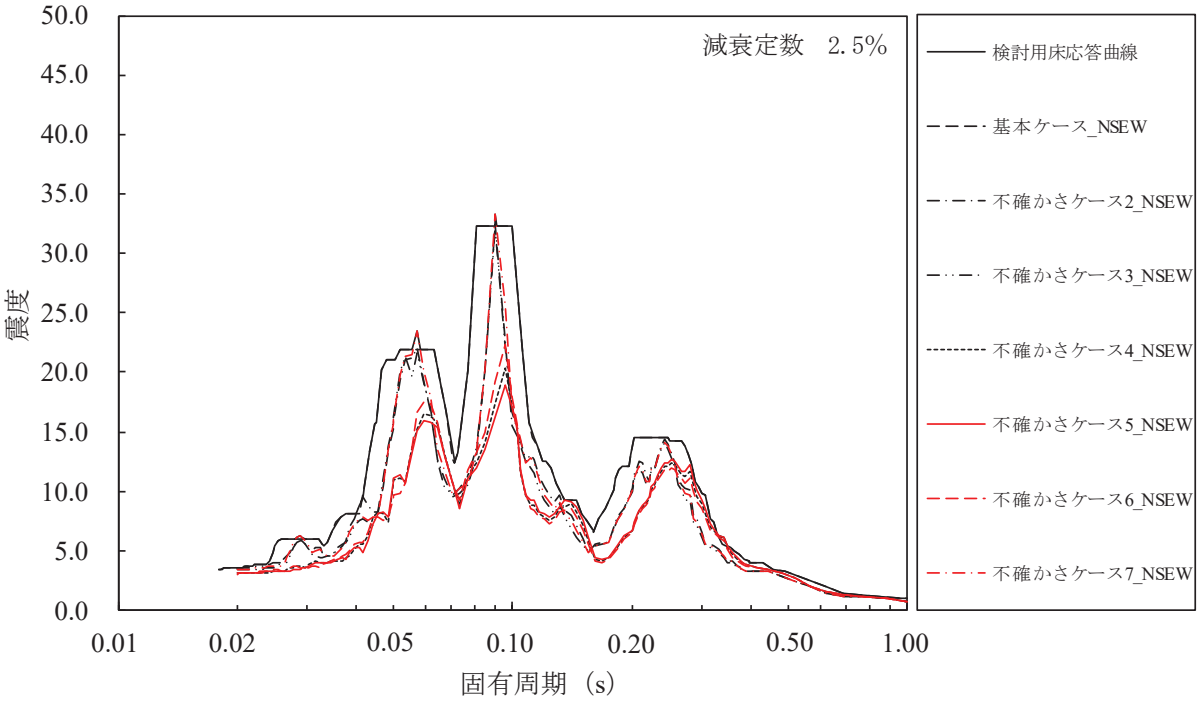



図 14-13　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-005）
原子炉圧力容器（0.P. 28.600m，水平方向，減衰定数 2.5%）

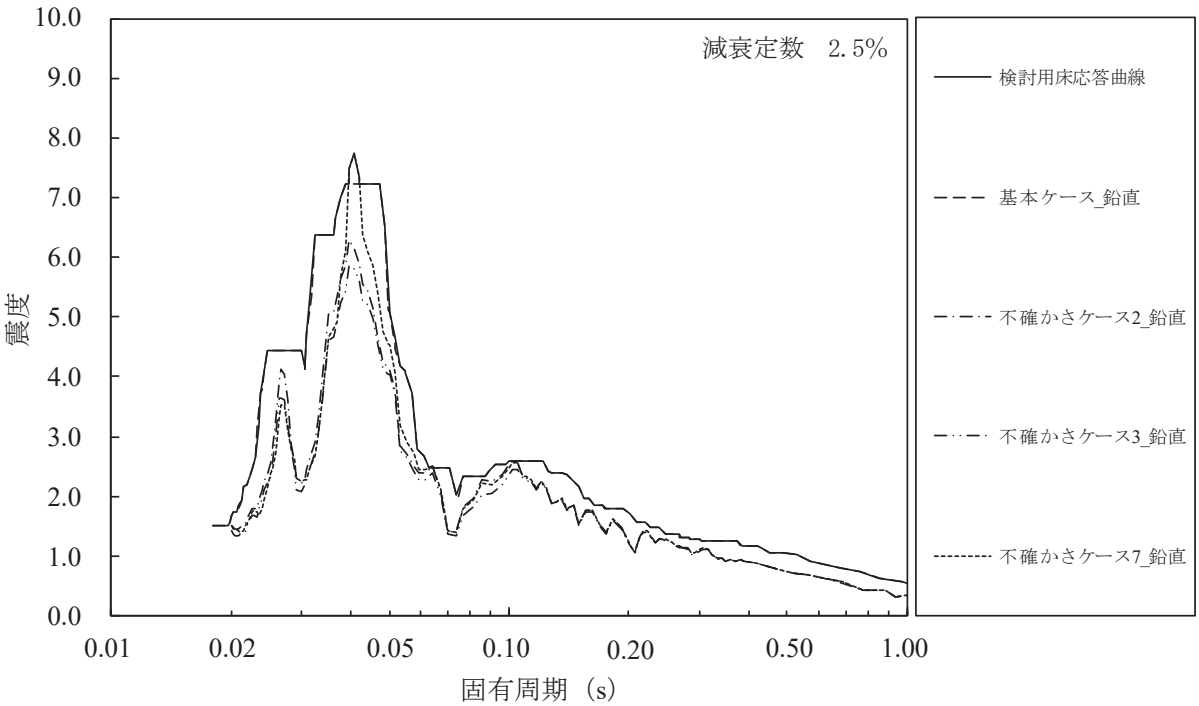



図 14-14　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-005）
原子炉圧力容器（0.P. 28.600m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

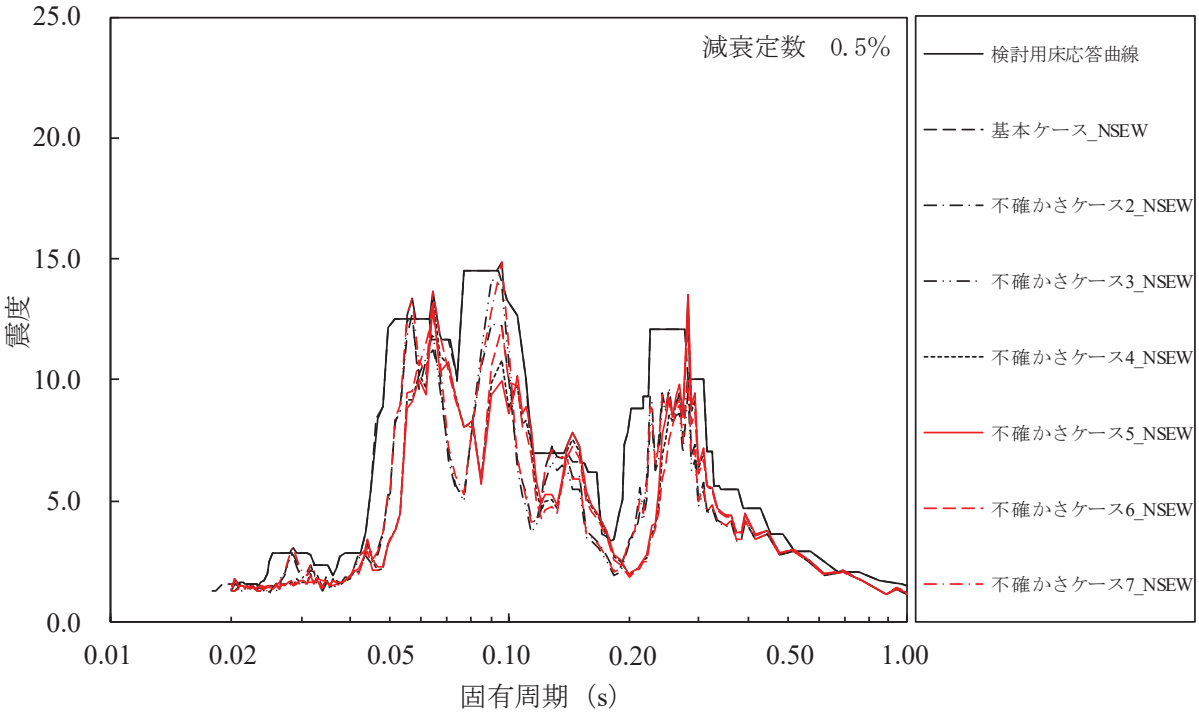



図 15-1　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 7.040m，水平方向，減衰定数 0.5%）

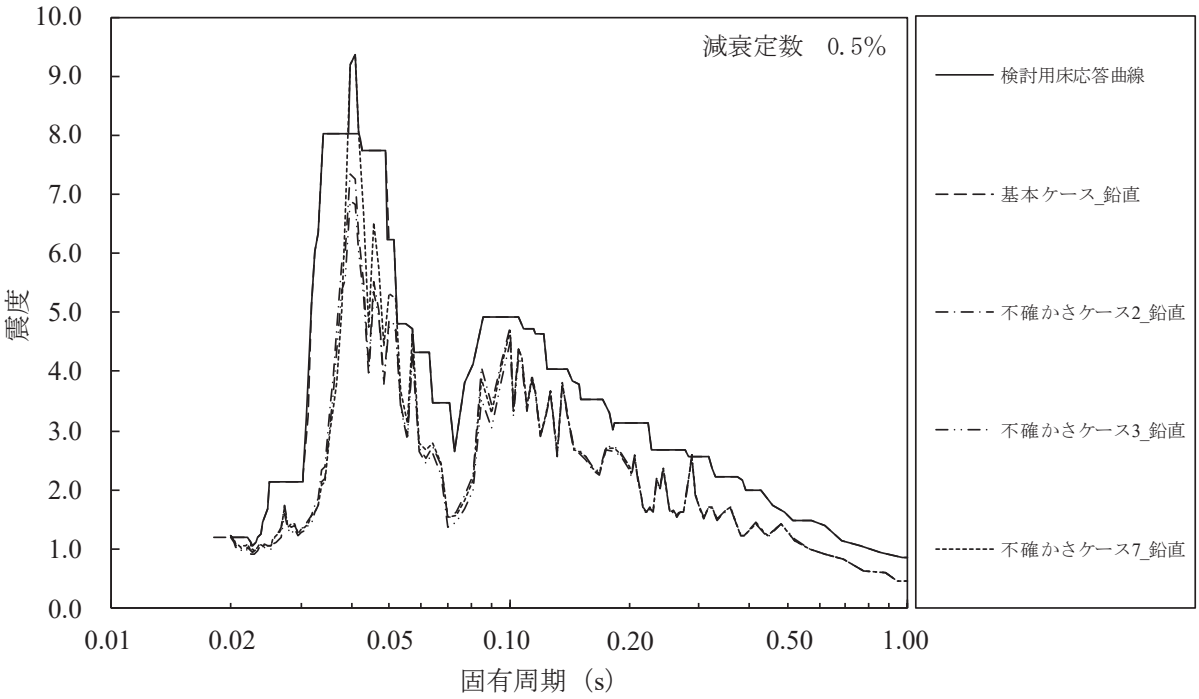



図 15-2　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 7.040m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

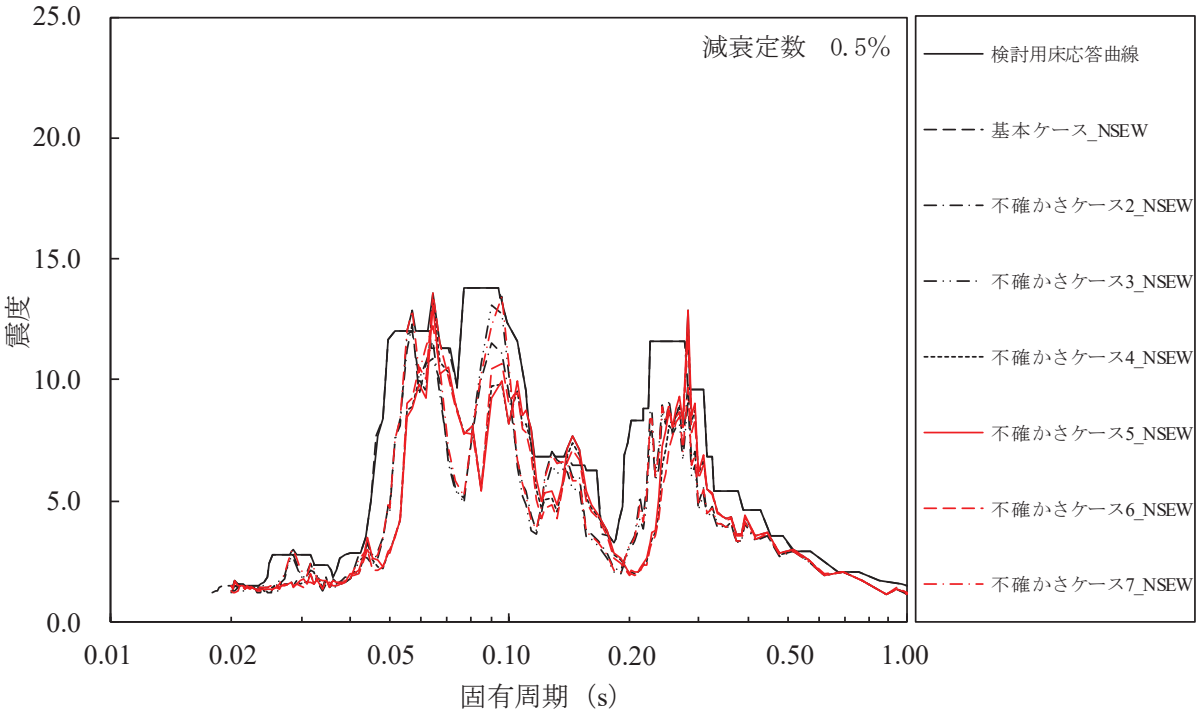



図 15-3　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m，水平方向，減衰定数 0.5%）

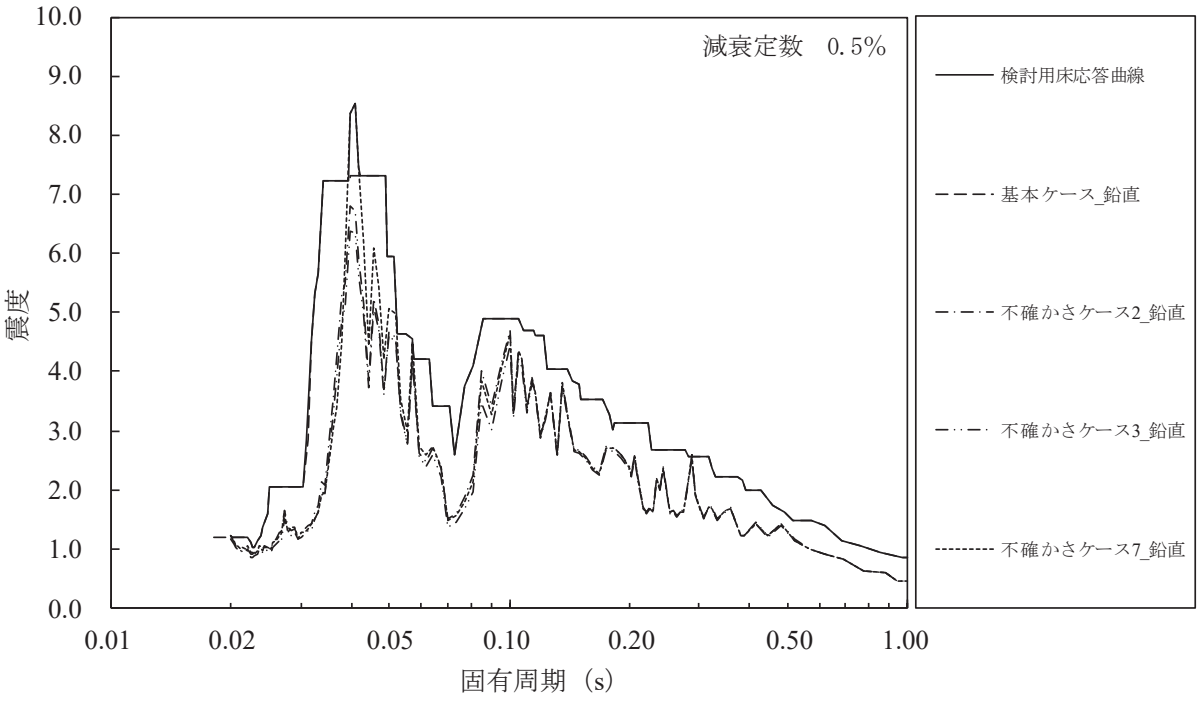



図 15-4　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

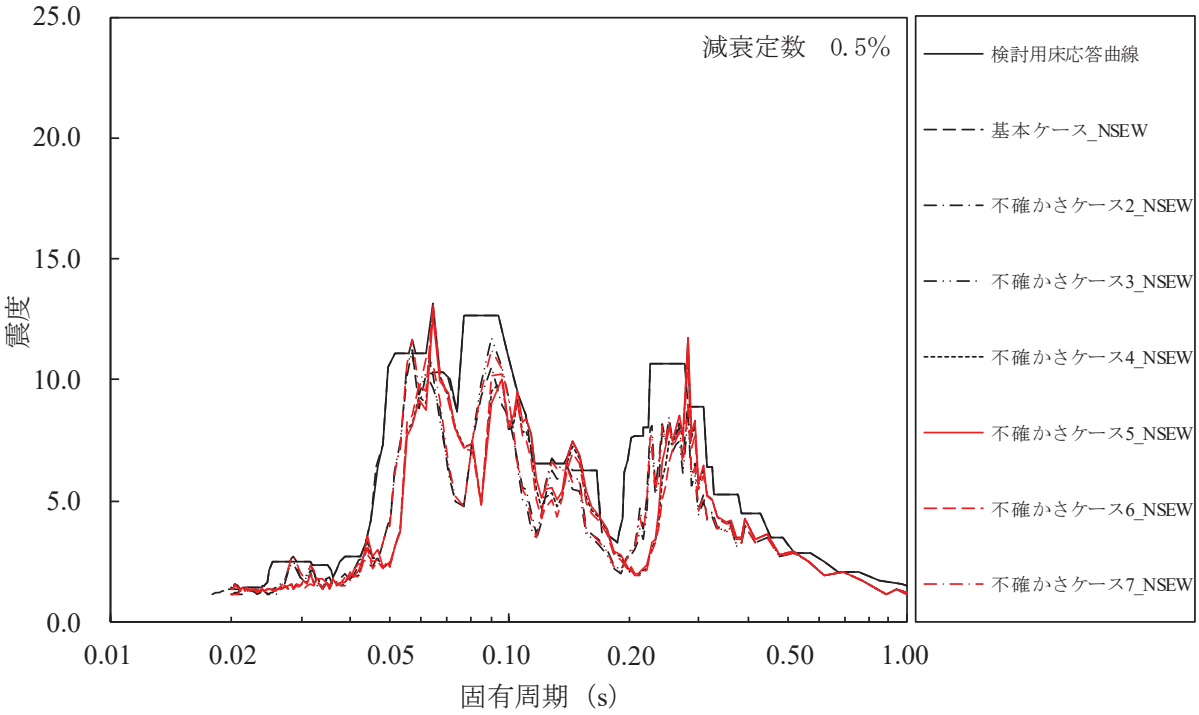



図 15-5　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m，水平方向，減衰定数 0.5%）

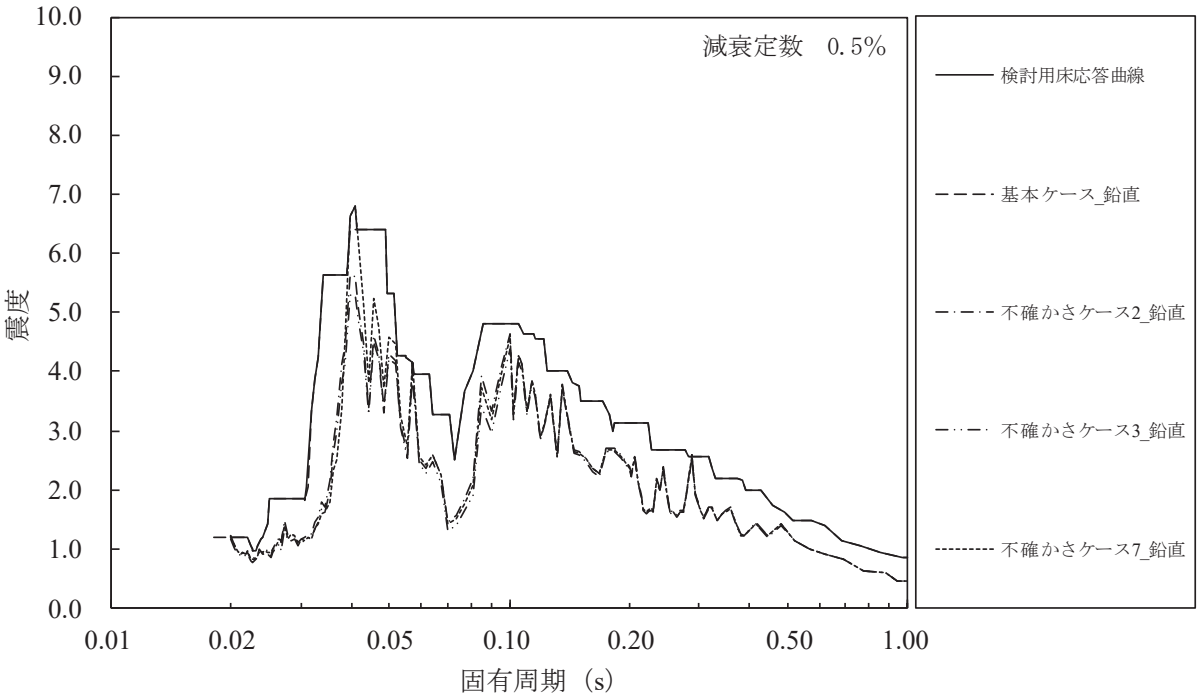



図 15-6　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

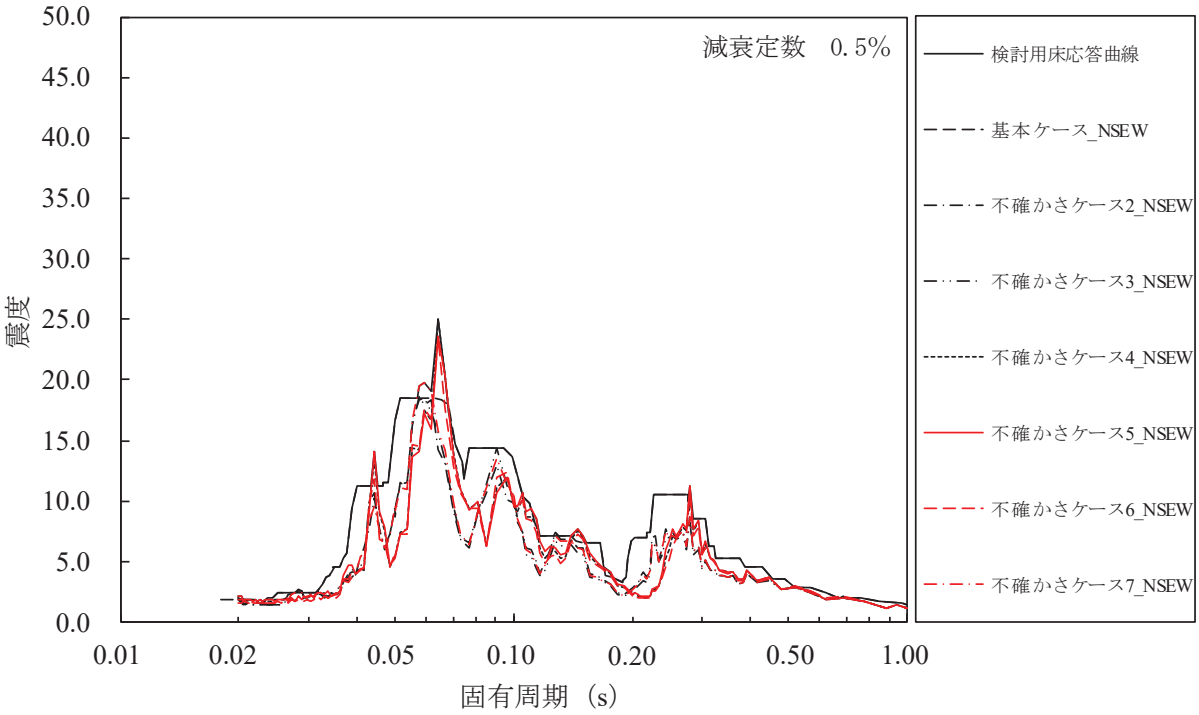



図 15-7　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
制御棒駆動機構ハウジング（0.P.　3.258m，水平方向，減衰定数 0.5%）

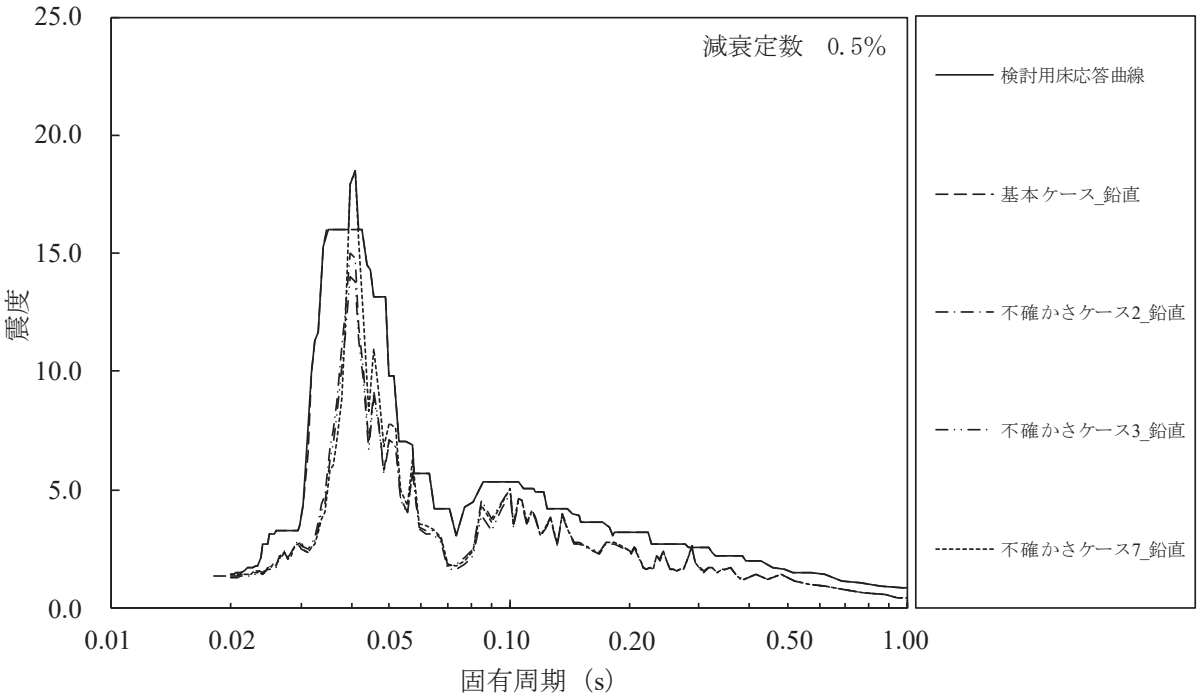



図 15-8　検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
制御棒駆動機構ハウジング（0.P.　3.258m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

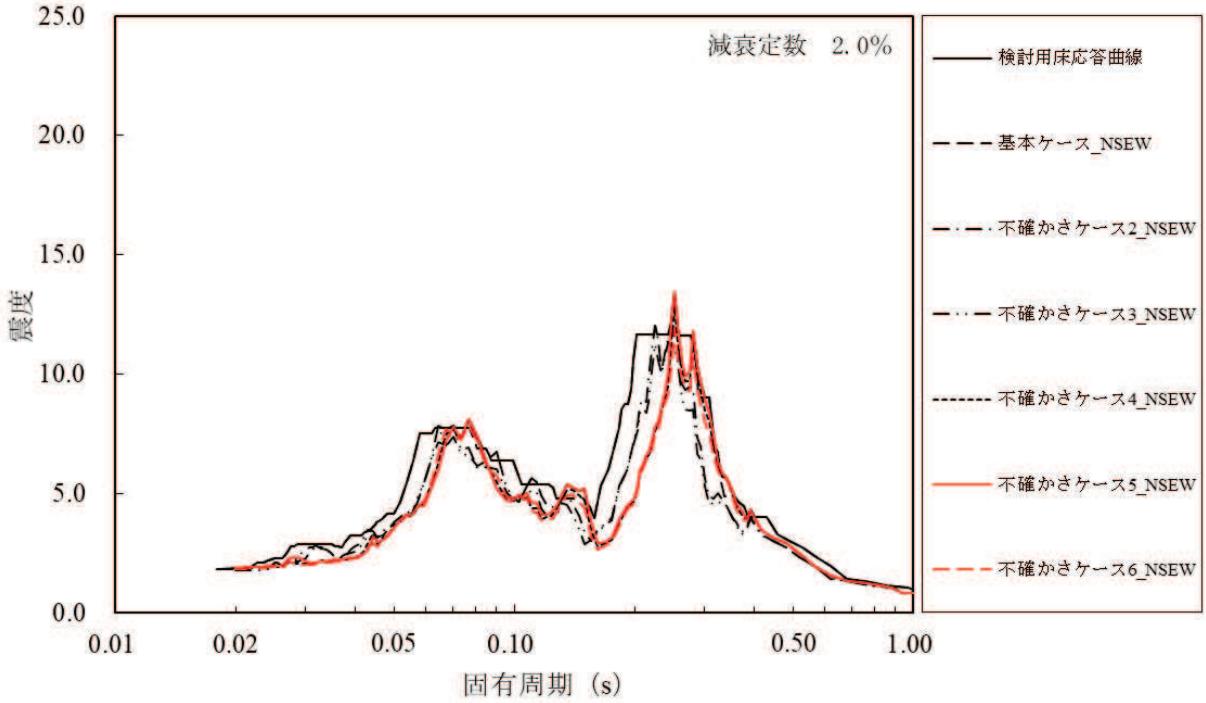



図 16-1　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉建屋（0.P. 22.500m，水平方向，減衰定数 2.0%）

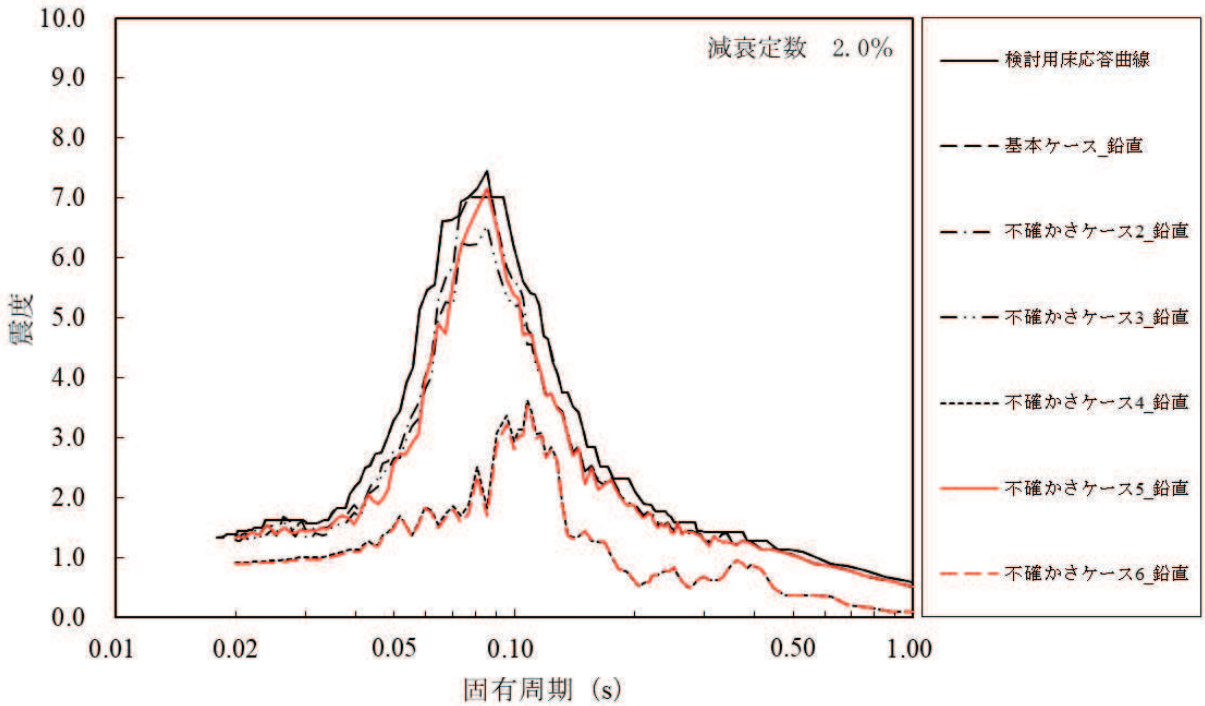



図 16-2　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉建屋（0.P. 22.500m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

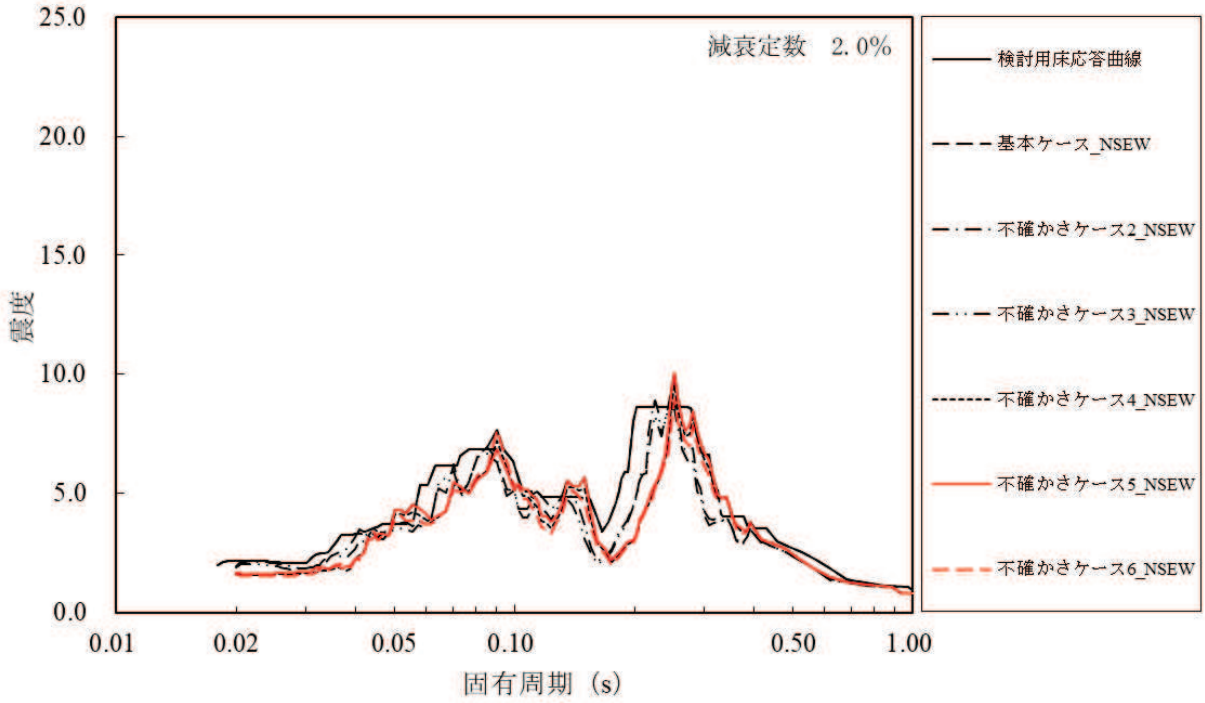



図 16-3　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉建屋（0.P.　15.000m，水平方向，減衰定数 2.0%）

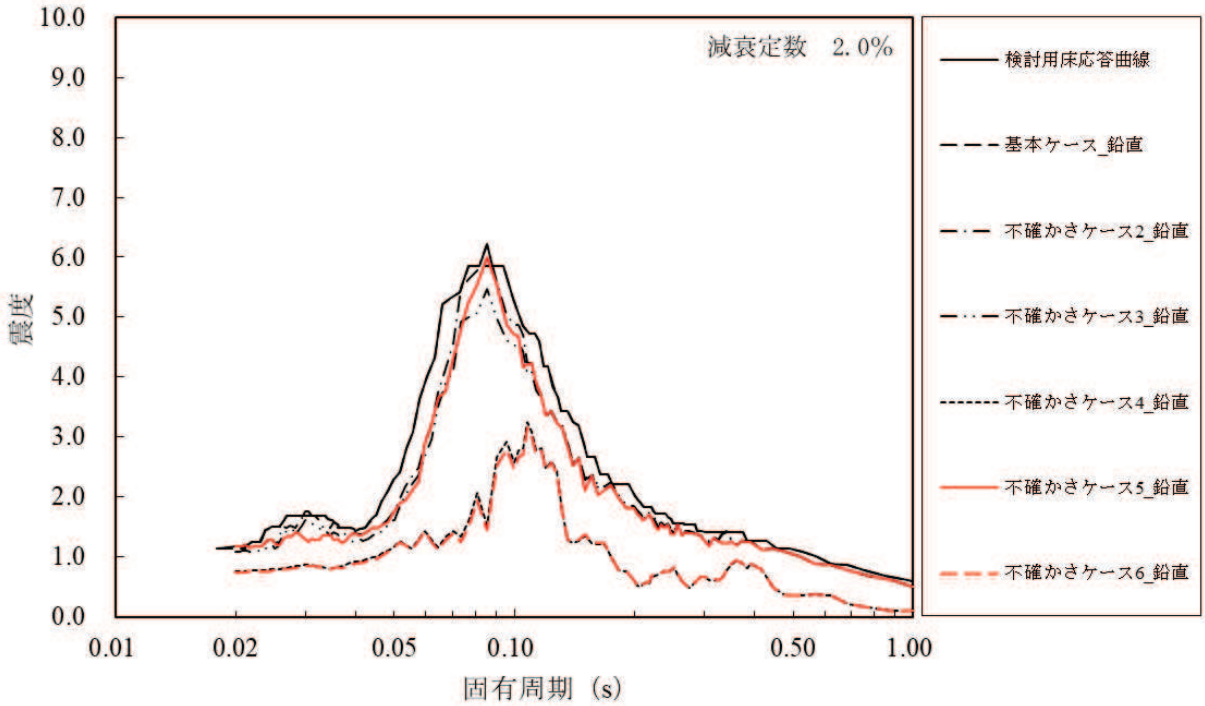



図 16-4　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉建屋（0.P.　15.000m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

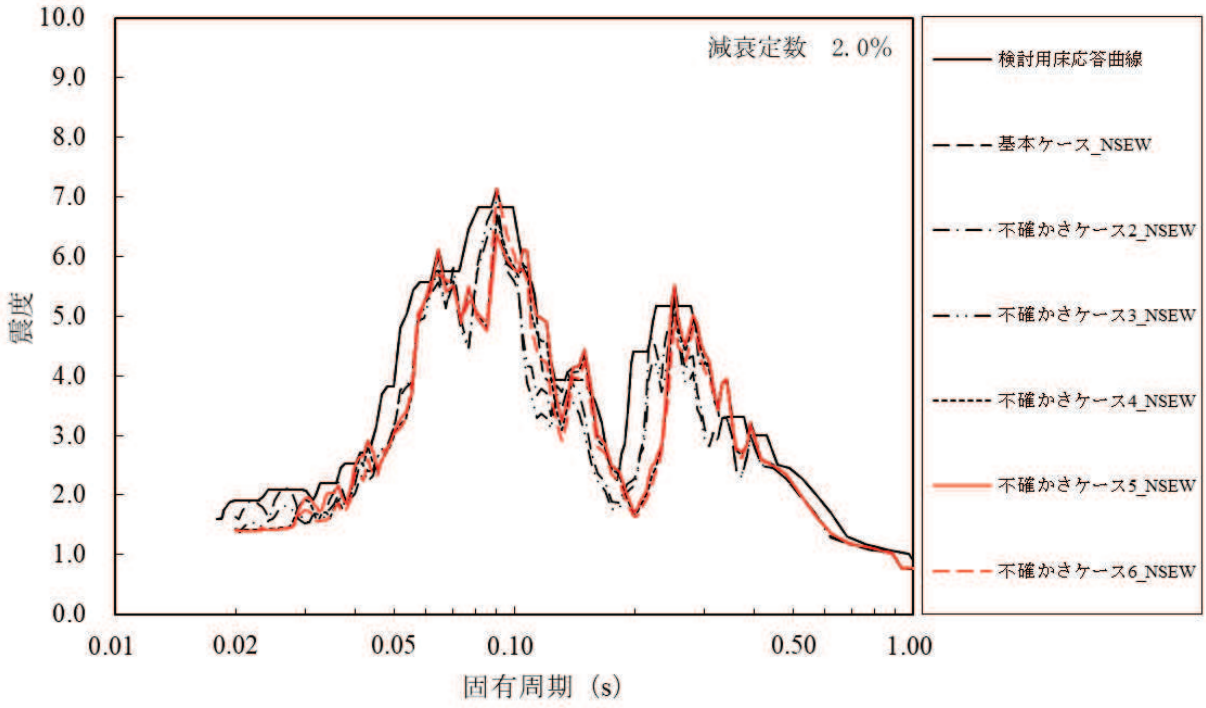



図 16-5　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉建屋（O.P.　6.000m，水平方向，減衰定数 2.0%）

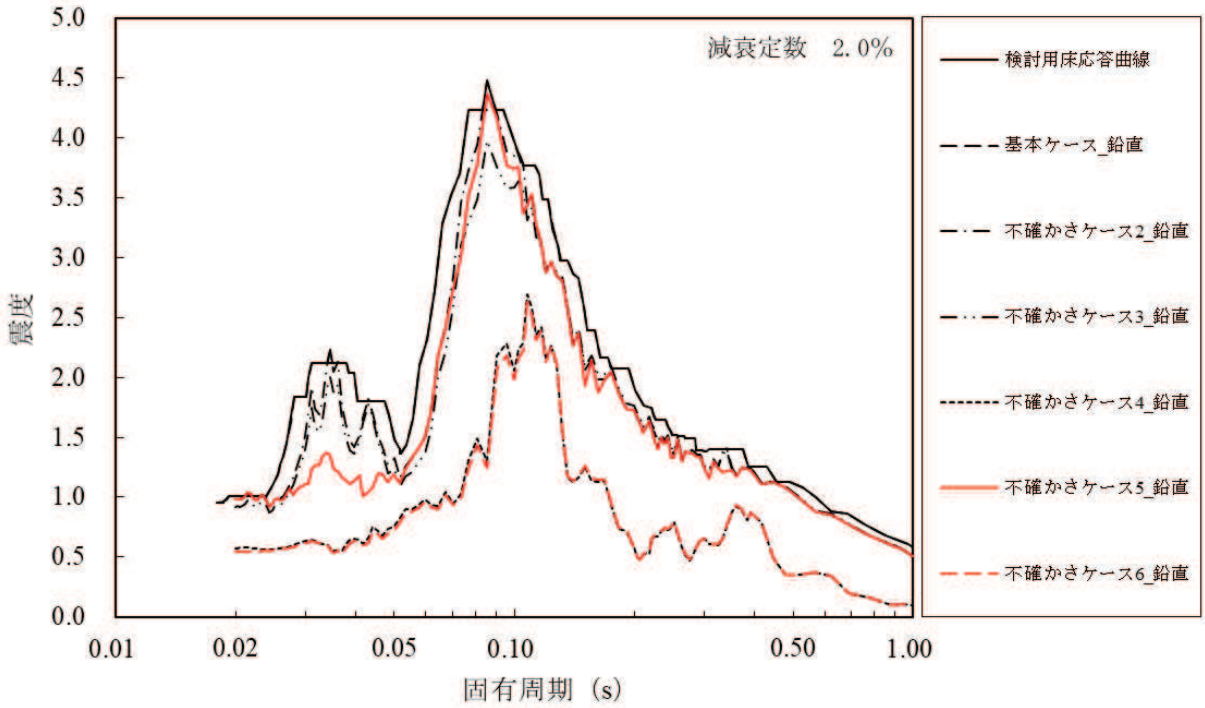



図 16-6　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉建屋（O.P.　6.000m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

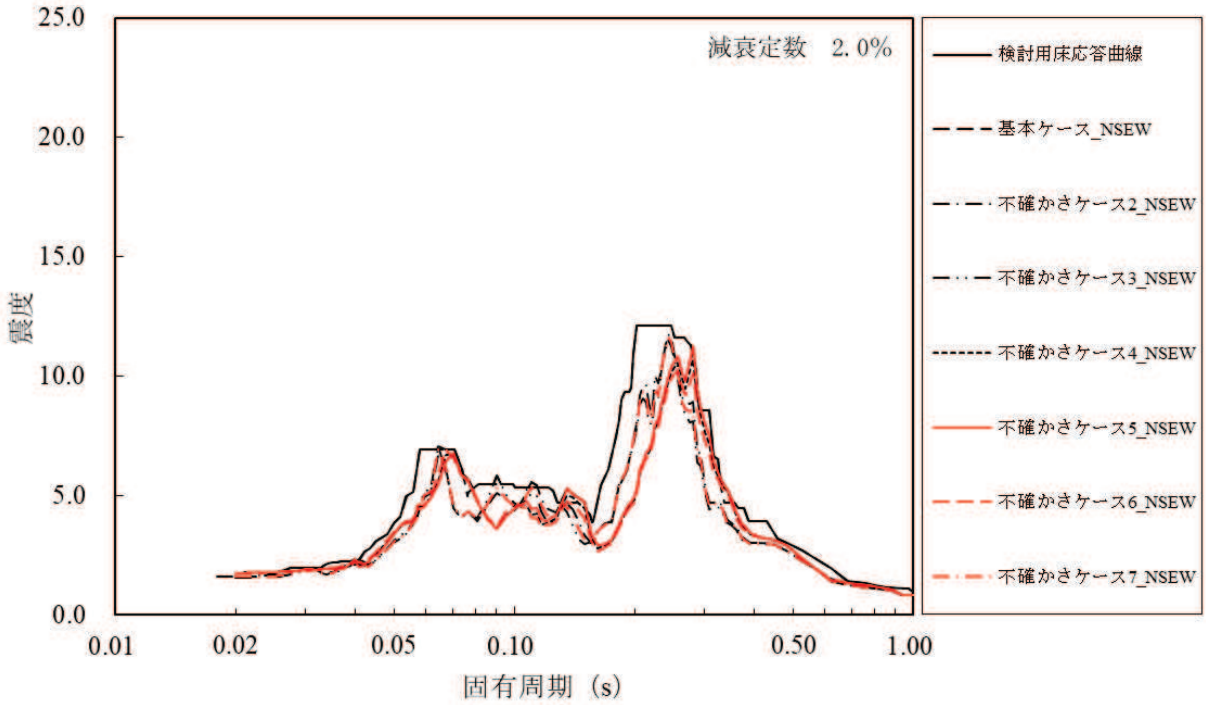



図 16-7　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉格納容器（0.P. 21.550m，水平方向，減衰定数 2.0%）

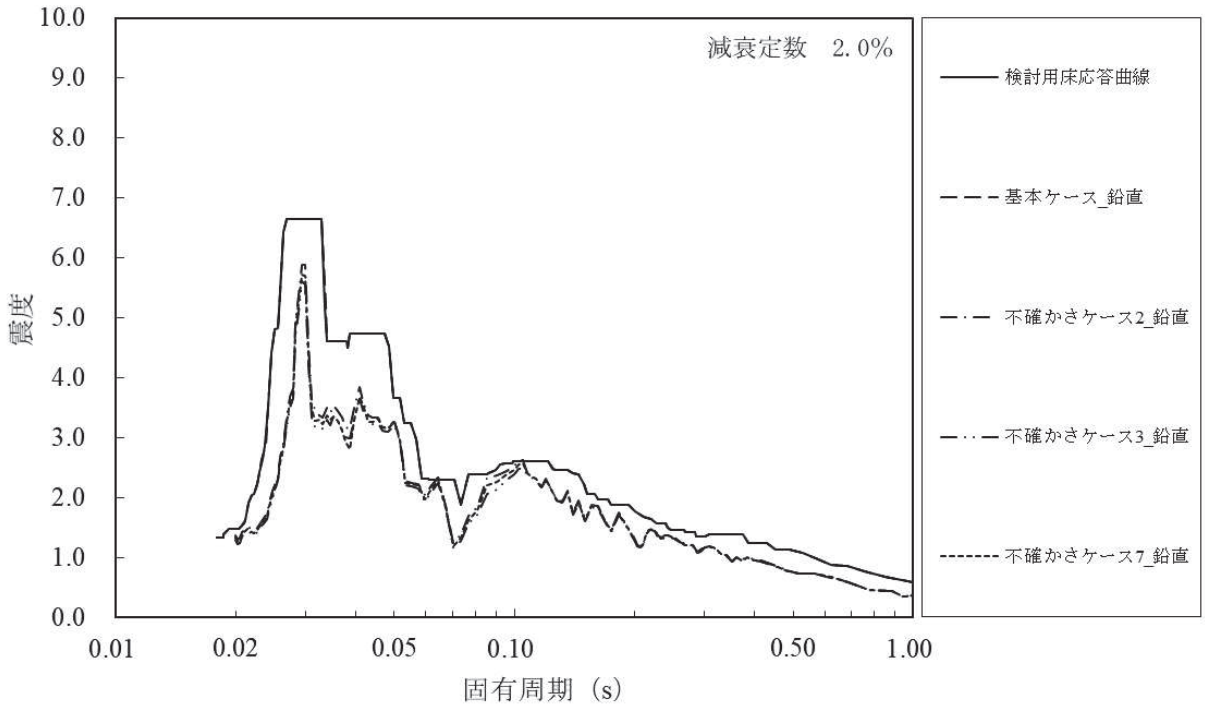



図 16-8　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉格納容器（0.P. 21.550m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

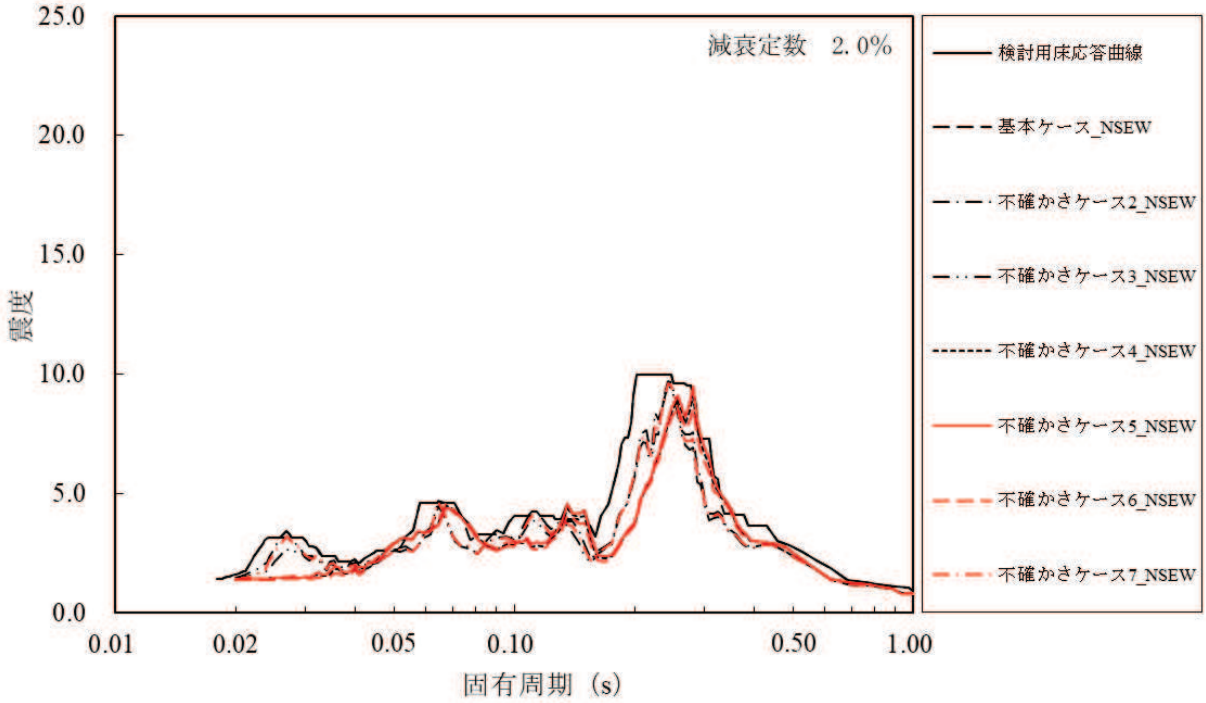



図 16-9　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉格納容器（0.P. 17.150m，水平方向，減衰定数 2.0%）

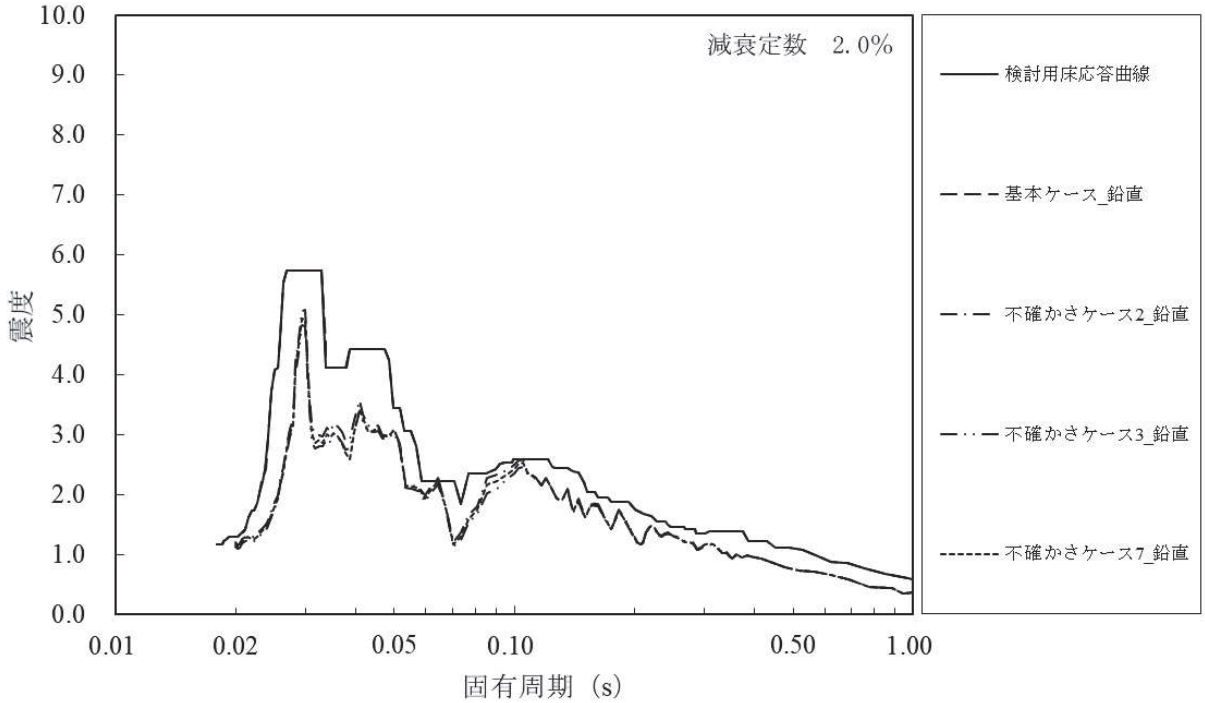



図 16-10　検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-009）
原子炉格納容器（0.P. 17.150m，鉛直方向，減衰定数 2.0%）

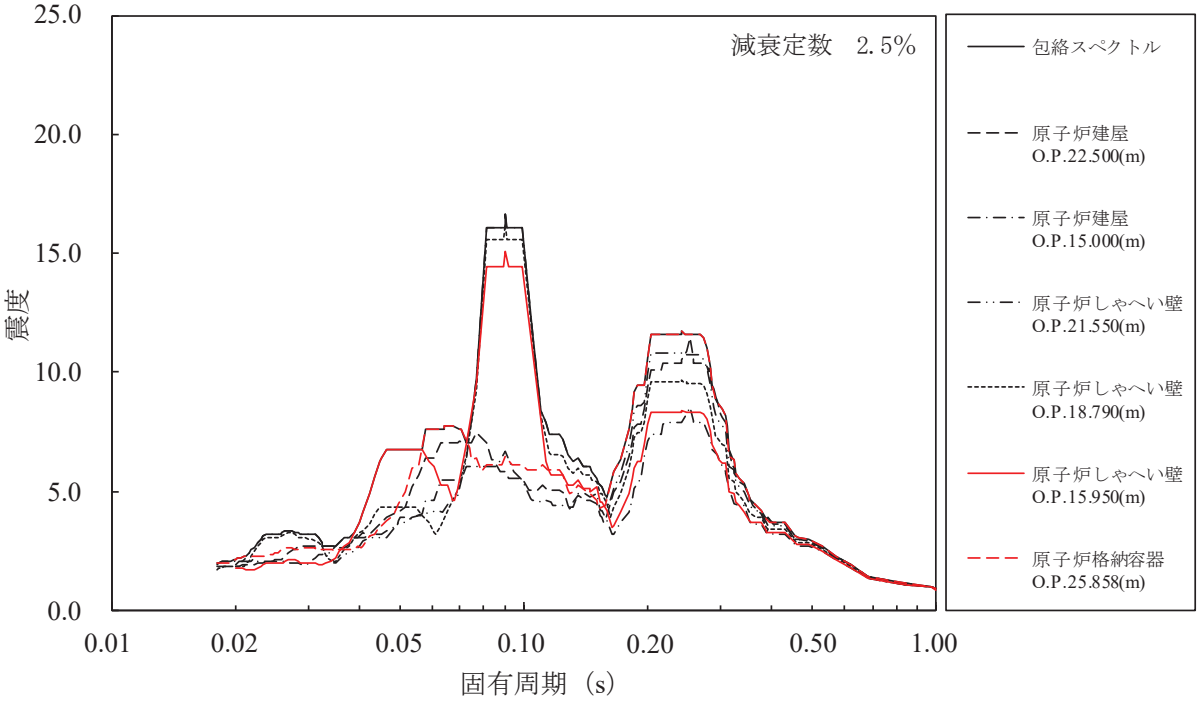



図 17-1　包絡スペクトル（残留熱除去系配管用，RHR-004）
（水平方向，減衰定数 2.5%）

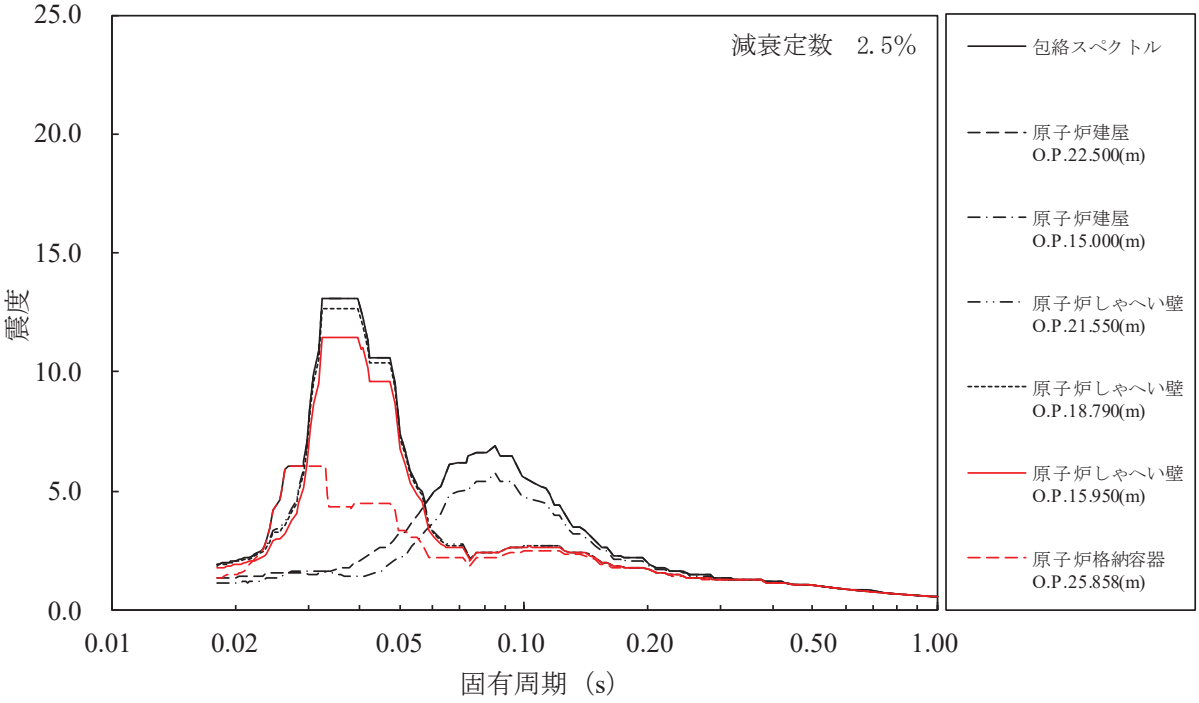



図 17-2　包絡スペクトル（残留熱除去系配管用，RHR-004）
（鉛直方向，減衰定数 2.5%）

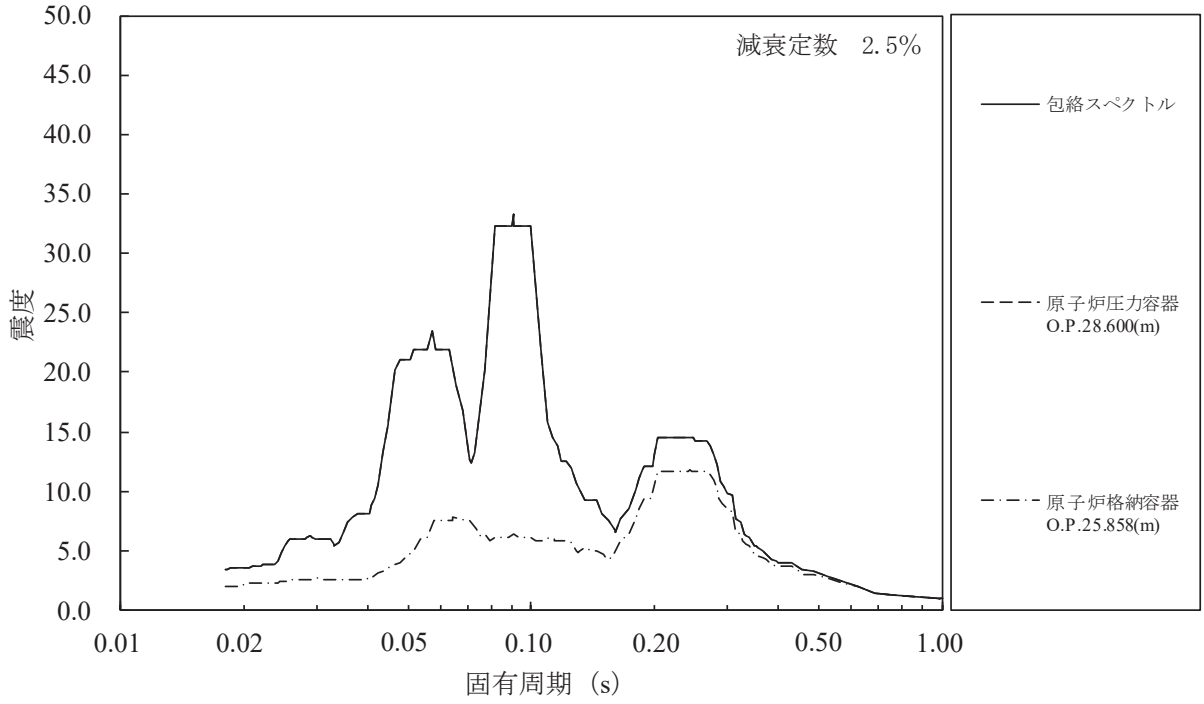



図 17-3　包絡スペクトル（残留熱除去系配管用，RHR-005）
（水平方向，減衰定数 2.5%）

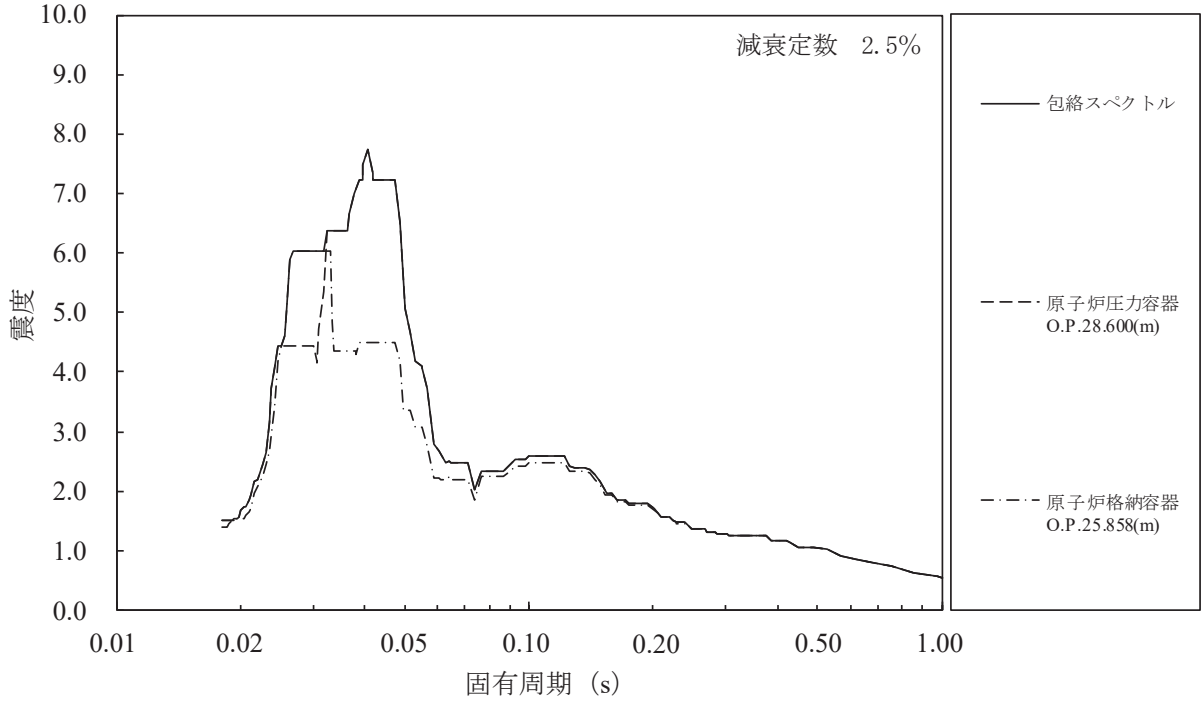



図 17-4　包絡スペクトル（残留熱除去系配管用，RHR-005）
（鉛直方向，減衰定数 2.5%）

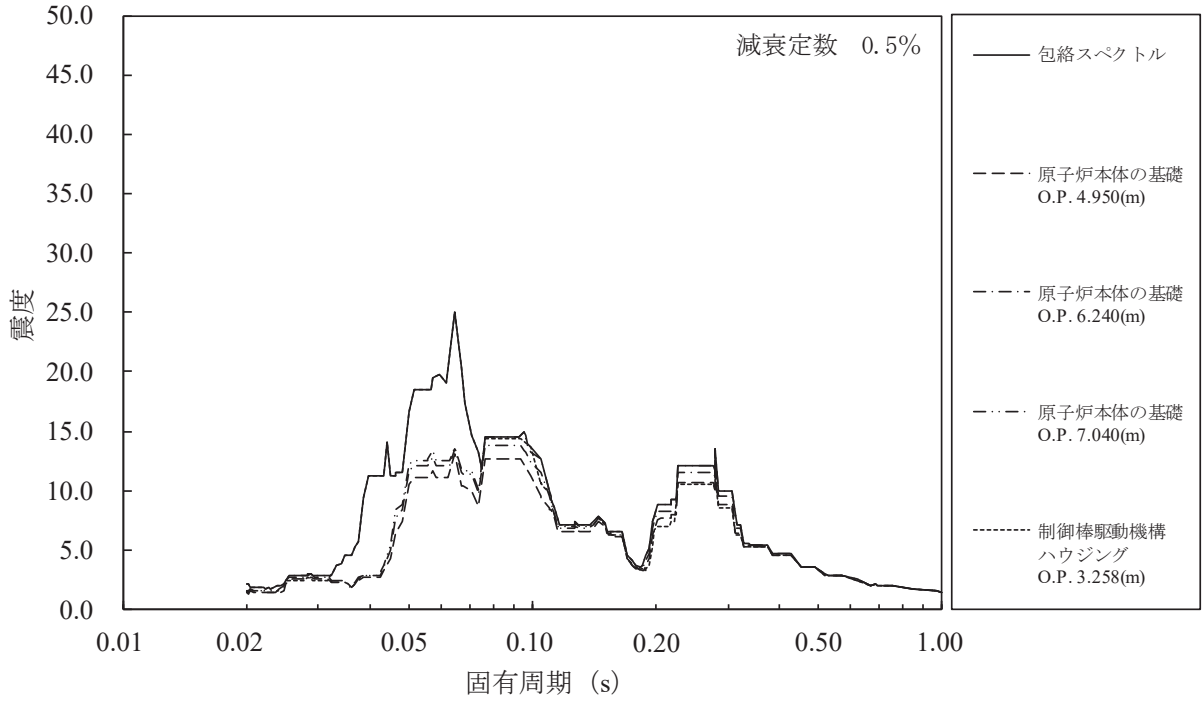



図 17-5　包絡スペクトル（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
（水平方向，減衰定数 0.5%）

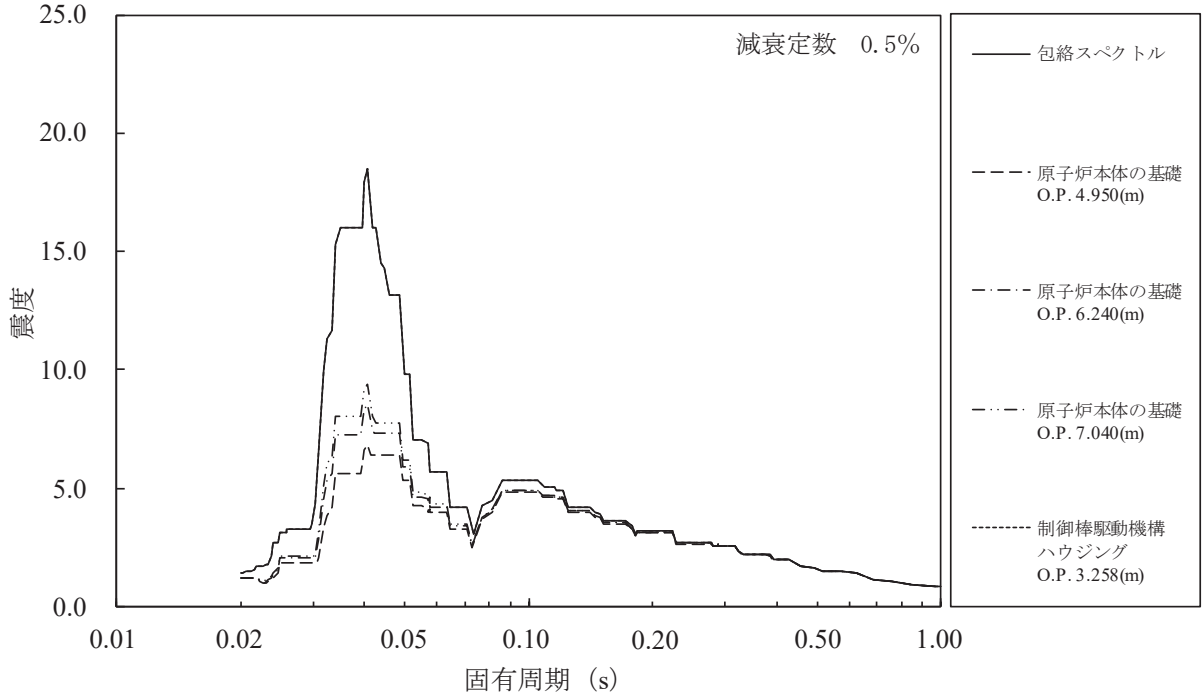



図 17-6　包絡スペクトル（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
（鉛直方向，減衰定数 0.5%）

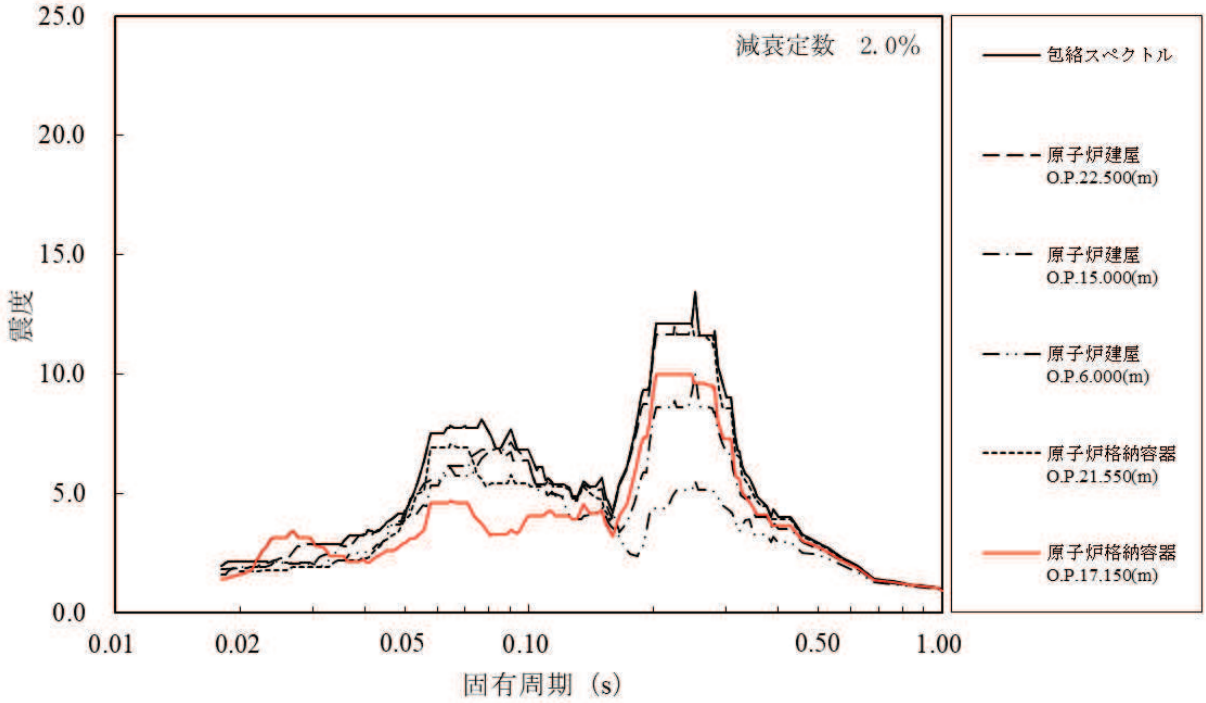



図 17-7　包絡スペクトル（残留熱除去系配管用，RHR-009）
（水平方向，減衰定数 2.0%）

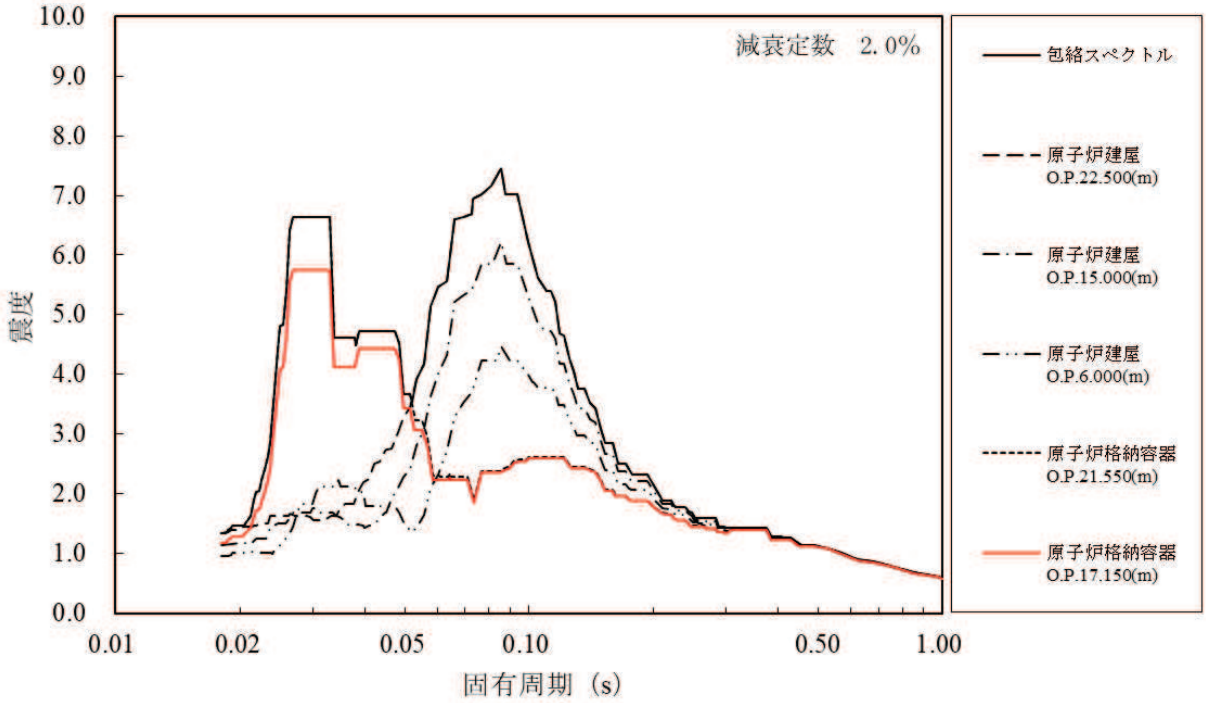



図 17-8　包絡スペクトル（残留熱除去系配管用，RHR-009）
（鉛直方向，減衰定数 2.0%）

表 4　固有周期の計算間隔

| 固有周期<br>(s) | 計算間隔<br>(⊿ω：rad/s) |
|---|---|
| 0.02～0.1 | 4.0 |
| 0.1～0.2 | 1.5 |
| 0.2～0.39 | 0.5 |
| 0.39～0.94 | 1.0 |
| 0.94～1.0 | 0.38 |

d.　検討対象設備の主要諸元，解析モデル

検討対象設備として残留熱除去系配管及び制御棒駆動水圧系配管の主要仕様，解析モデル図，固有振動数及び刺激係数，主要次数のモード図を示す。

(a)　残留熱除去系配管（RHR-004）

残留熱除去系配管の主要仕様を表5に，解析モデル図を図18に，固有振動数及び刺激係数を表6に，主要次数のモード図を図19に示す。

表 5　残留熱除去系配管（RHR-004）の主要仕様

| 項目 | 主要仕様 |
|---|---|
| 最高使用圧力<br>(MPa) | 8.62 |
| 最高使用温度<br>(℃) | 302 |
| 外径<br>(mm) | 114.3 |
| 厚さ<br>(mm) | 11.1 |
| 材料 | STS410 |

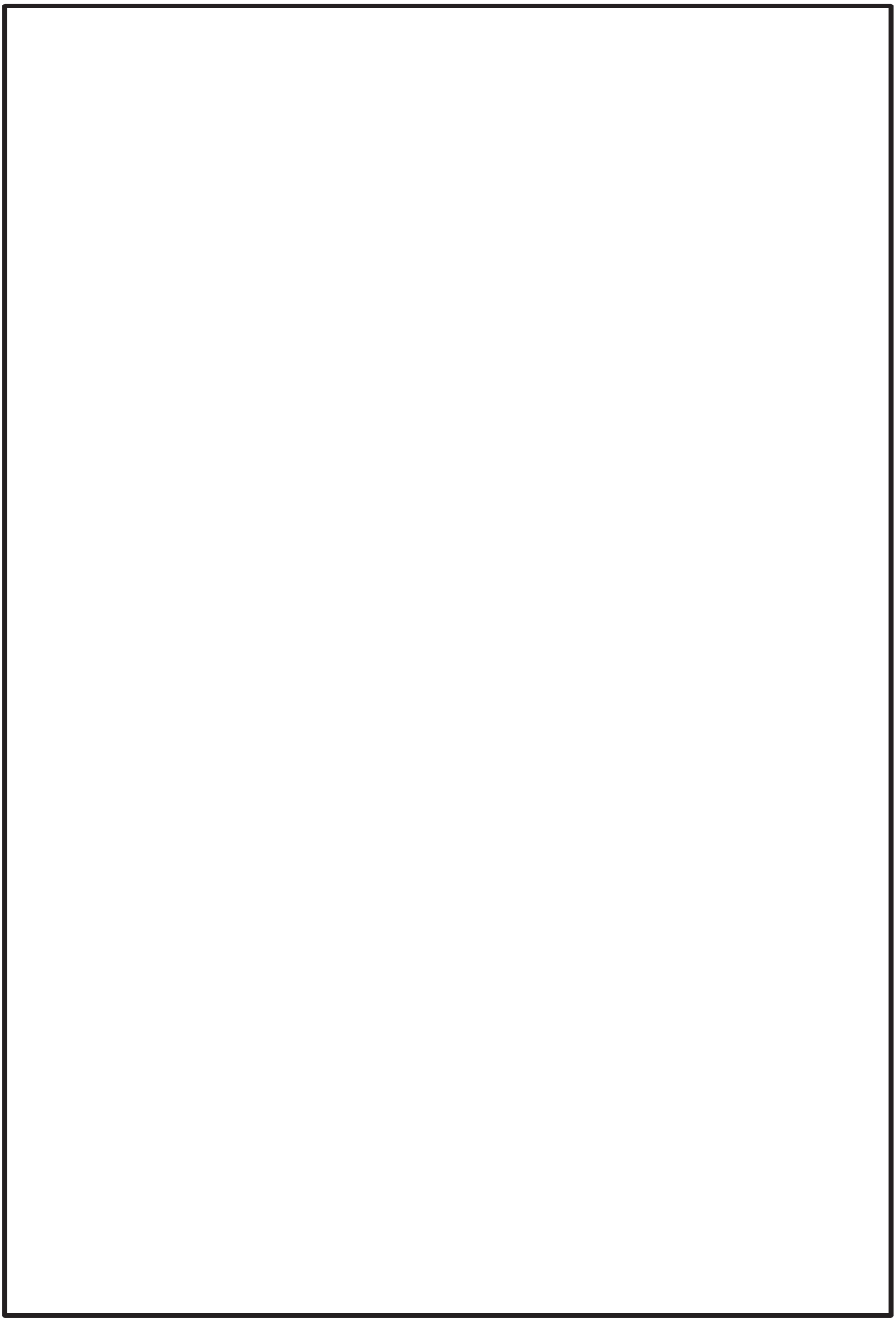


図 18　残留熱除去系配管（RHR-004）の解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6　残留熱除去系配管（RHR-004）の固有振動数及び刺激係数

| モード | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) | 刺激係数 * | | | 設計震度 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 水平方向 | | 鉛直方向 |
| | | | X方向 | Y 方向 | Z 方向 | X方向 | Z 方向 | Y 方向 |
| | | | | | | | | |

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

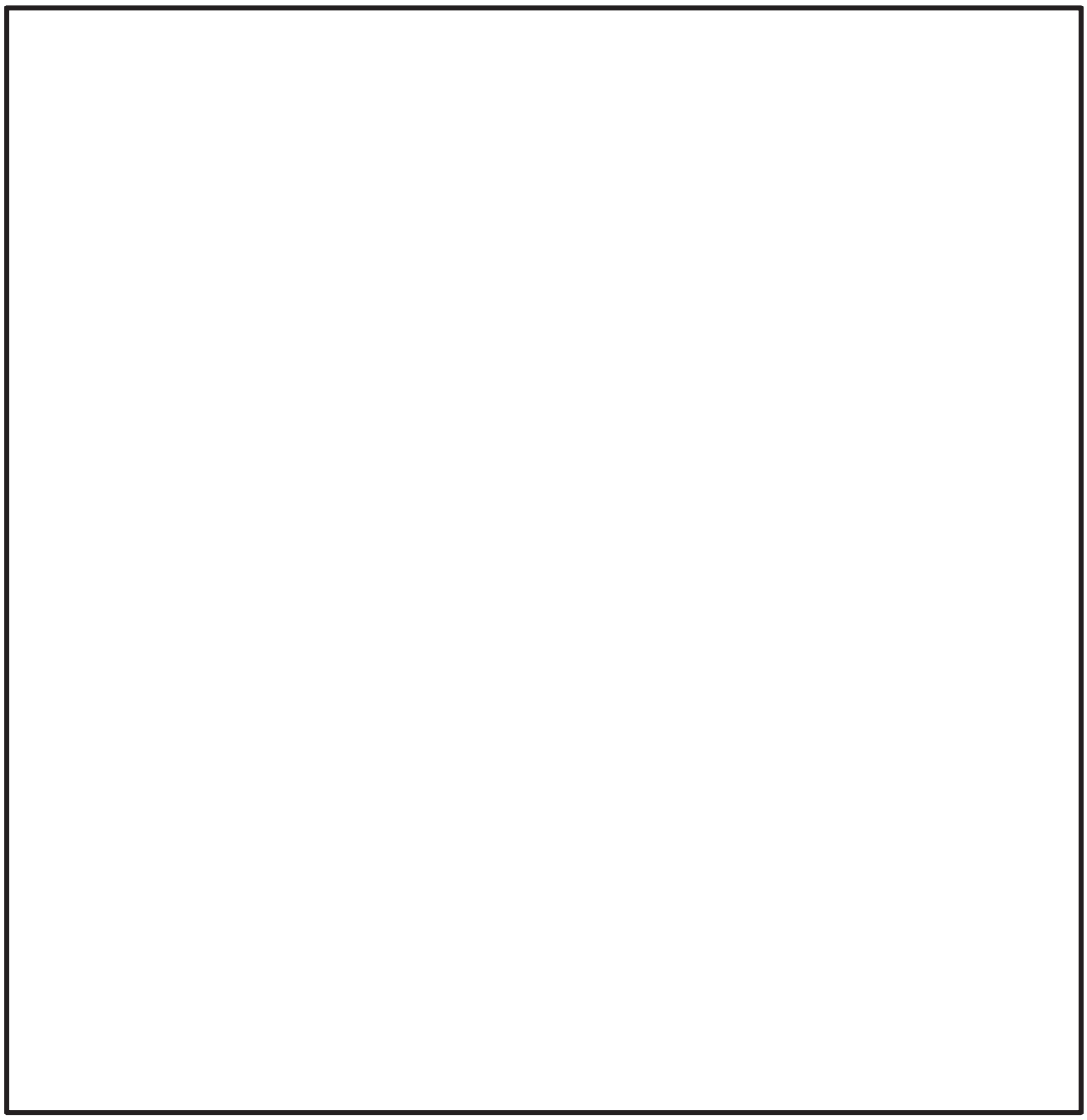


図 19-1　残留熱除去系配管（RHR-004）のモード図（1 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

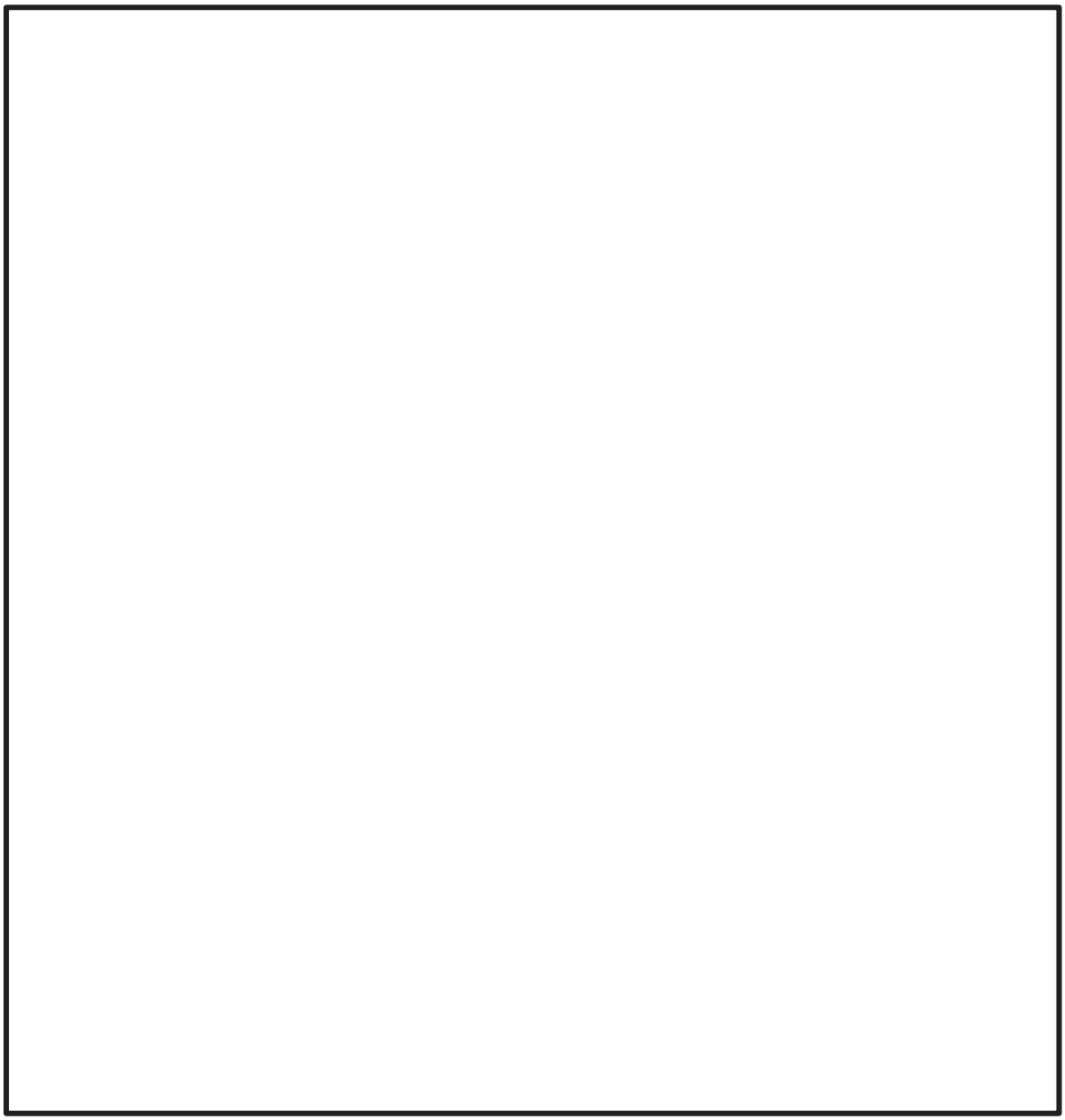


図 19-2　残留熱除去系配管（RHR-004）のモード図（2 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

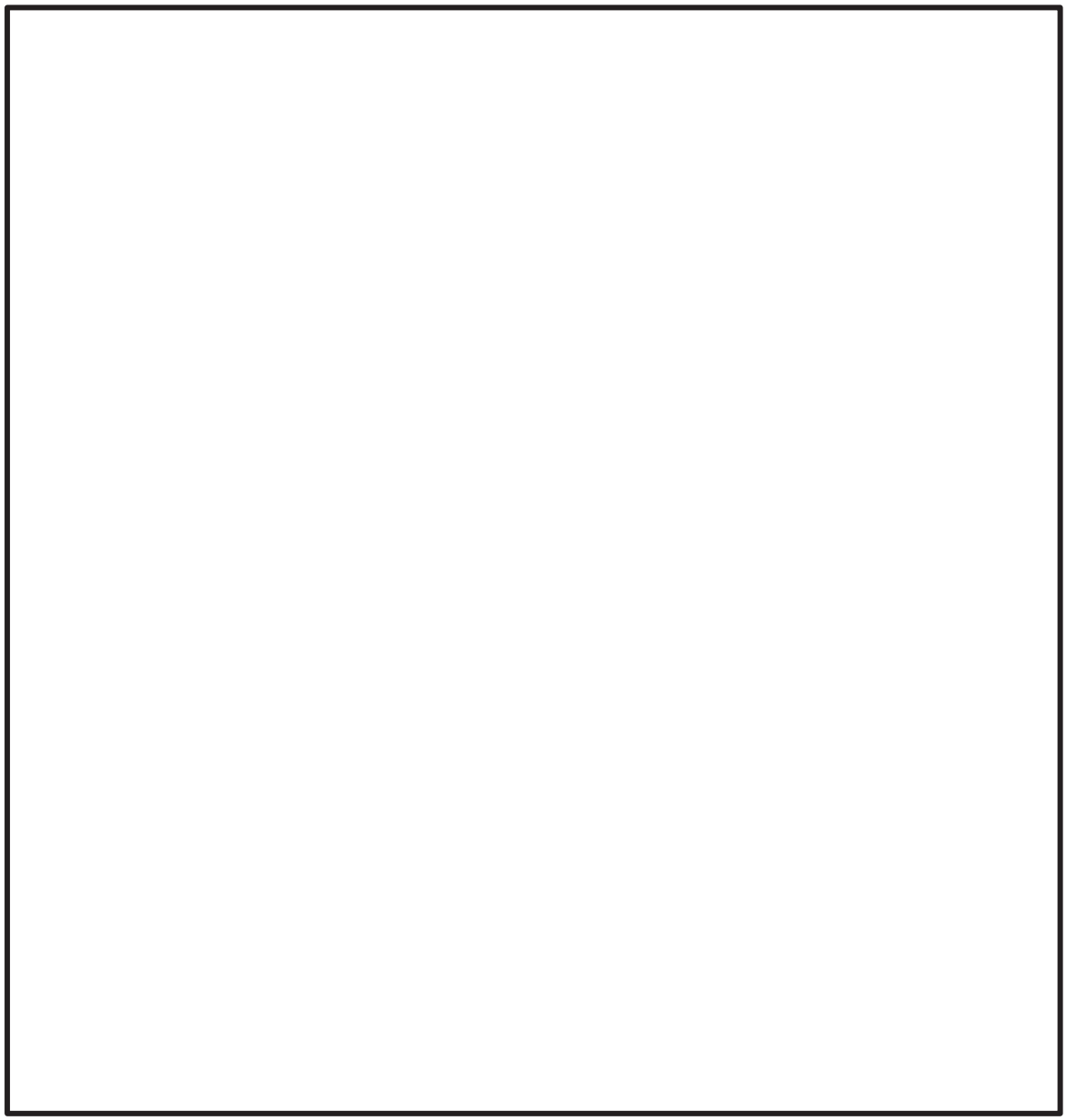


図 19-3　残留熱除去系配管（RHR-004）のモード図（3 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b)　残留熱除去系配管（RHR-005）

残留熱除去系配管の主要仕様を表7に，解析モデル図を図20に，固有振動数及び刺激係数を表8に，主要次数のモード図を図21に示す。

表 7　残留熱除去系配管（RHR-005）の主要仕様

| 項目 | 主要仕様 |
|---|---|
| 最高使用圧力<br>(MPa) | 8.62 |
| 最高使用温度<br>(℃) | 302 |
| 外径<br>(mm) | 114.3 |
| 厚さ<br>(mm) | 11.1 |
| 材料 | STS410 |

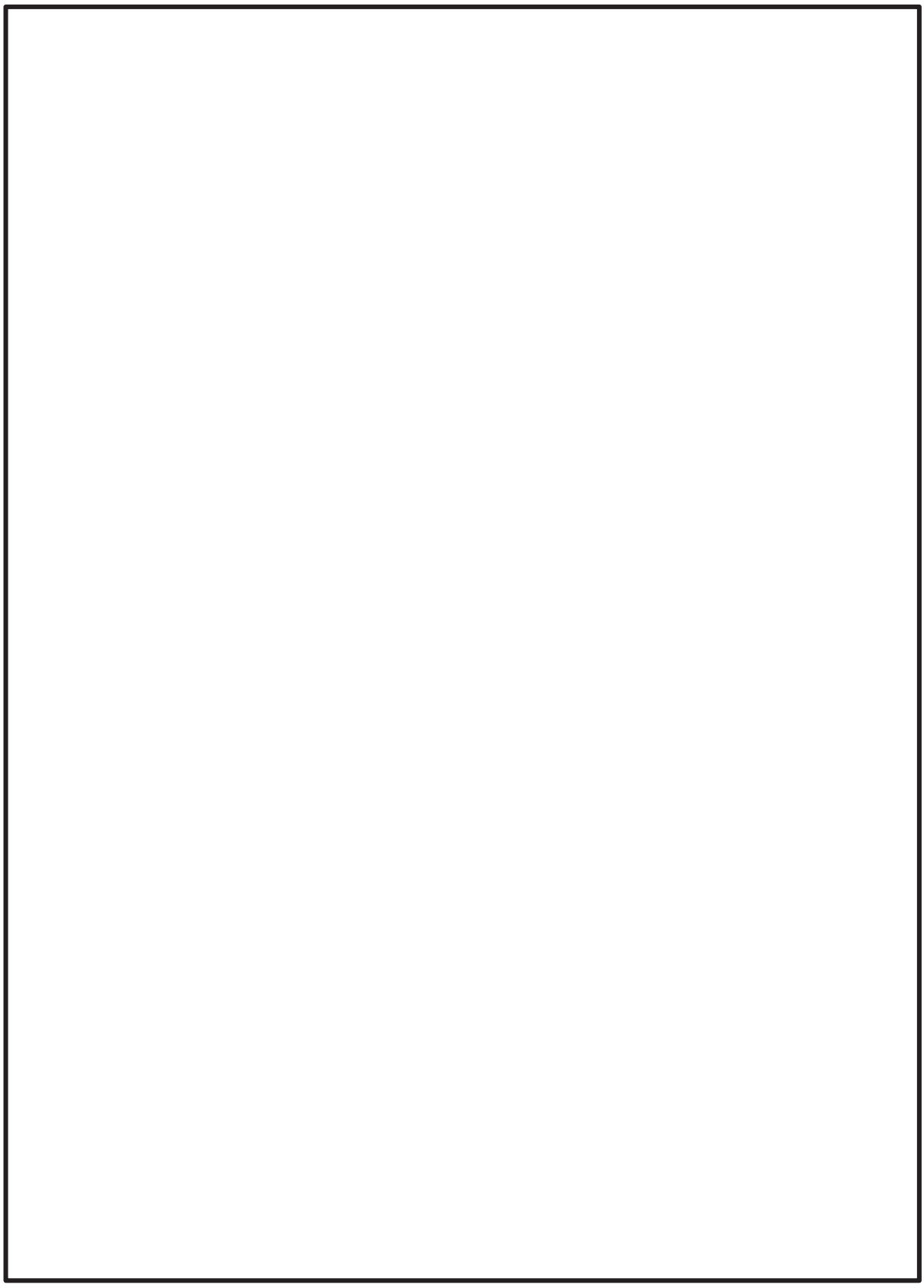


図 20　残留熱除去系配管（RHR-005）の解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表８　残留熱除去系配管（RHR-005）の固有振動数及び刺激係数

| モード | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) | 刺激係数＊ | | | 設計震度 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 水平方向 | | 鉛直方向 |
| | | | X 方向 | Y 方向 | Z 方向 | X 方向 | Z 方向 | Y 方向 |
| | | | | | | | | |

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

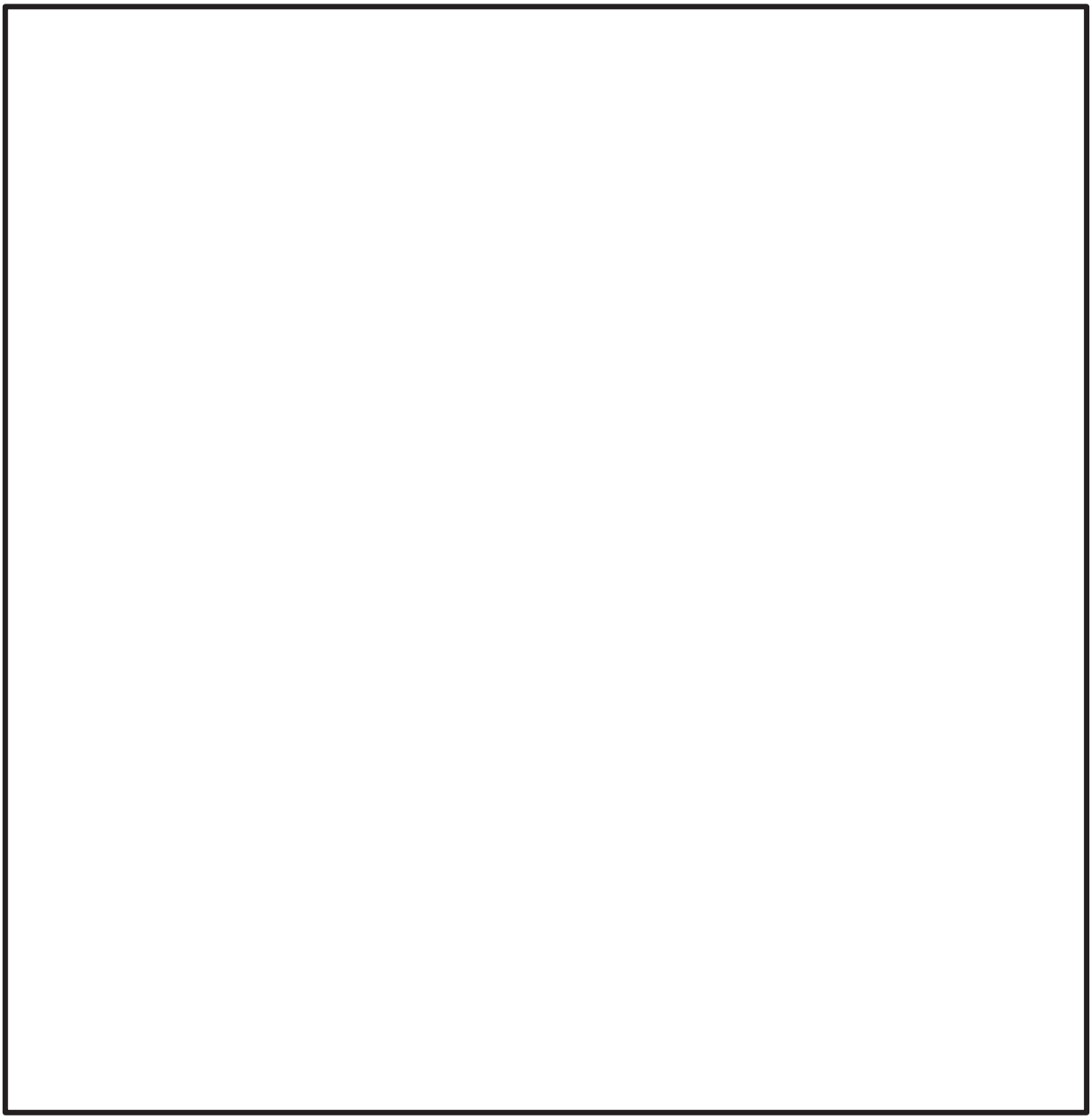


図 21-1　残留熱除去系配管（RHR-005）のモード図（1 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

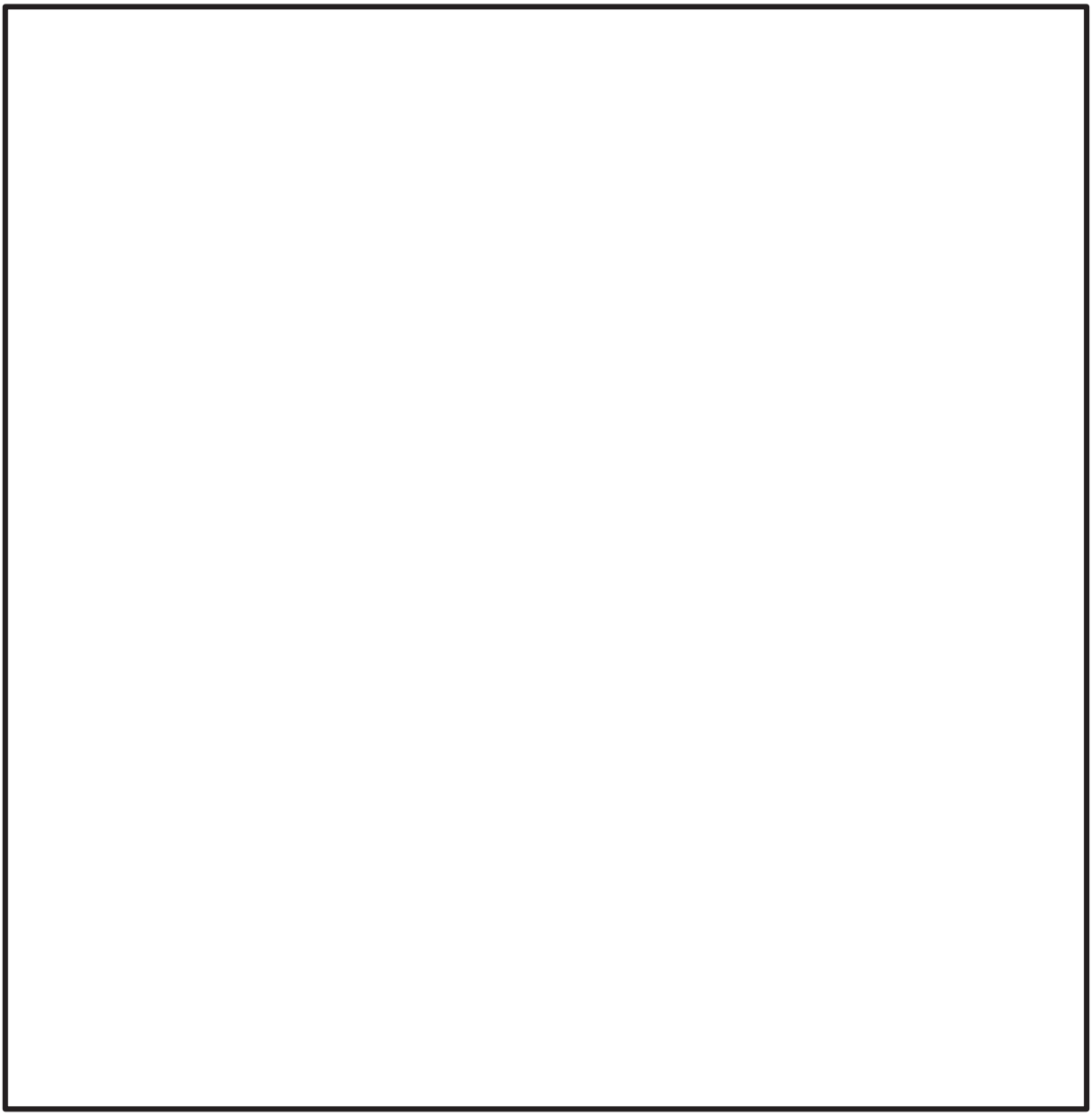


図 21-2　残留熱除去系配管（RHR-005）のモード図（2 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

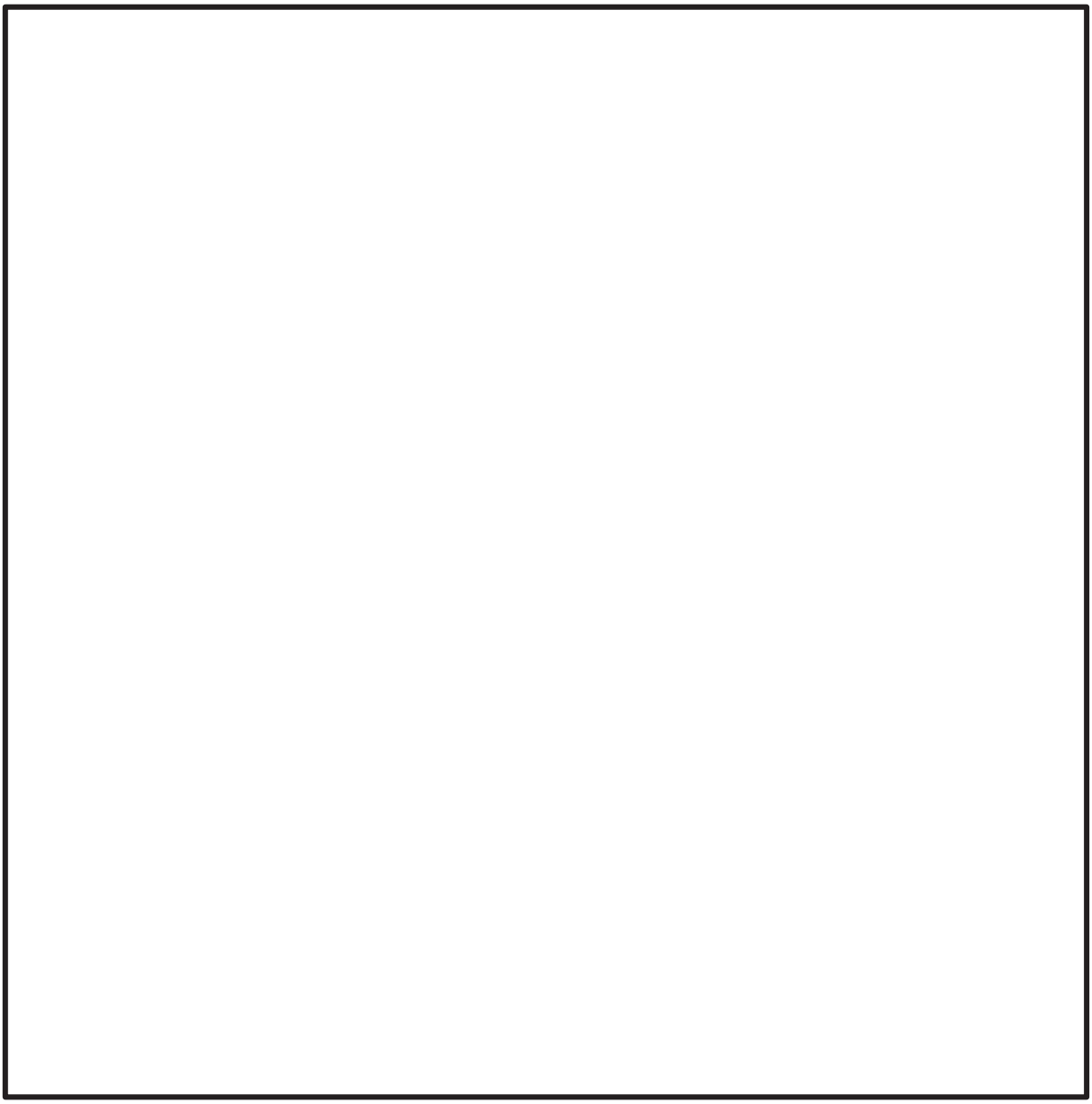


図 21-3　残留熱除去系配管（RHR-005）のモード図（3 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c)　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）

制御棒駆動水圧系配管の主要仕様を表9に，解析モデル図を図22に，固有振動数及び刺激係数を表10に，主要次数のモード図を図23に示す。

表 9　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）の主要仕様

| 項目 | 主要仕様 |
|---|---|
| 最高使用圧力<br>(MPa) | 13.83 |
| 最高使用温度<br>(℃) | 66 |
| 外径<br>(mm) | 34.0 |
| 厚さ<br>(mm) | 4.5 |
| 材料 | SUS316LTP |

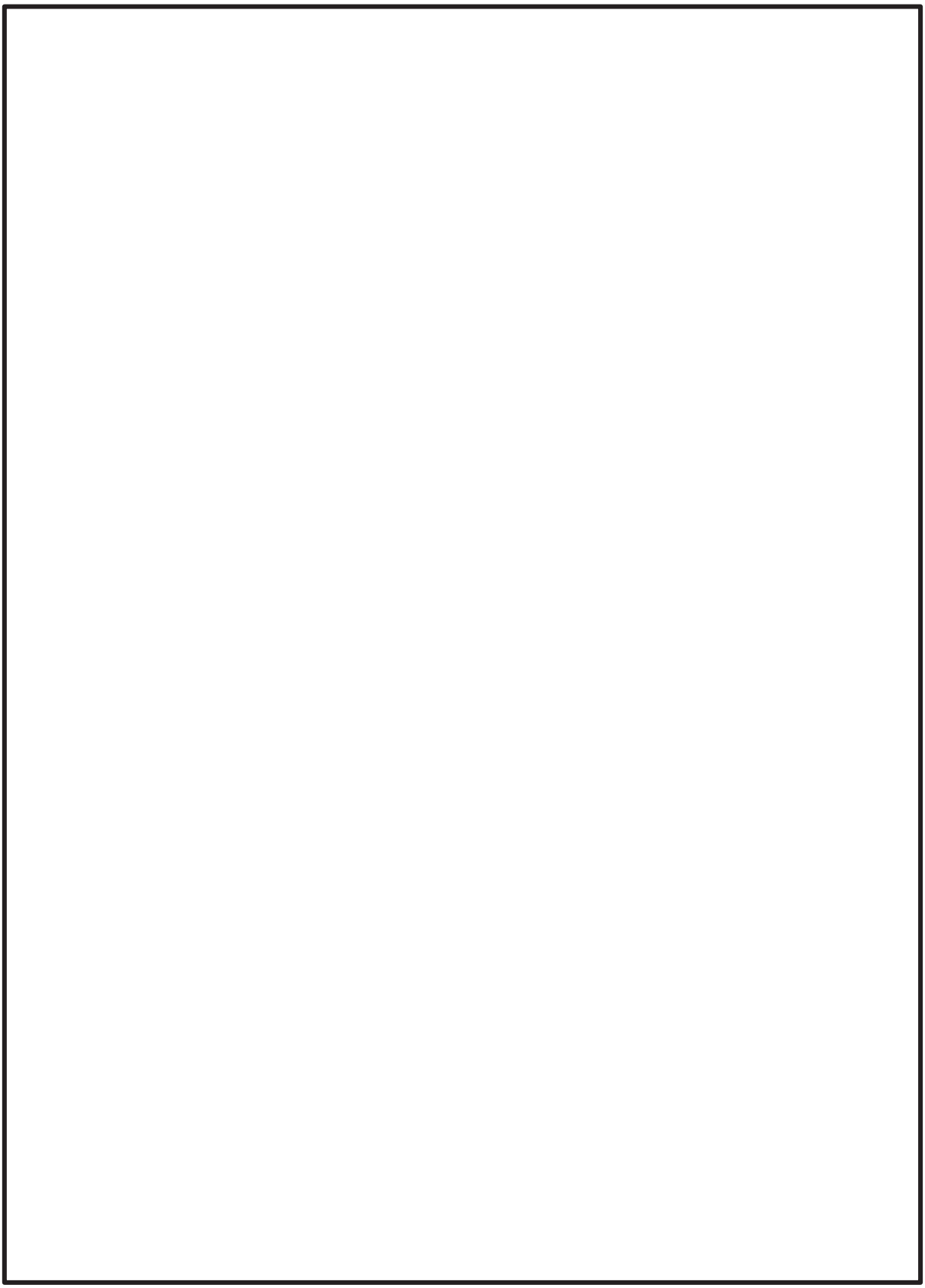


図 22　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）の解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 10　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）の固有振動数及び刺激係数

| モード | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) | 刺激係数 * | | | 設計震度 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 水平方向 | | 鉛直方向 |
| | | | X方向 | Y 方向 | Z 方向 | X方向 | Z 方向 | Y 方向 |
| | | | | | | | | |

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

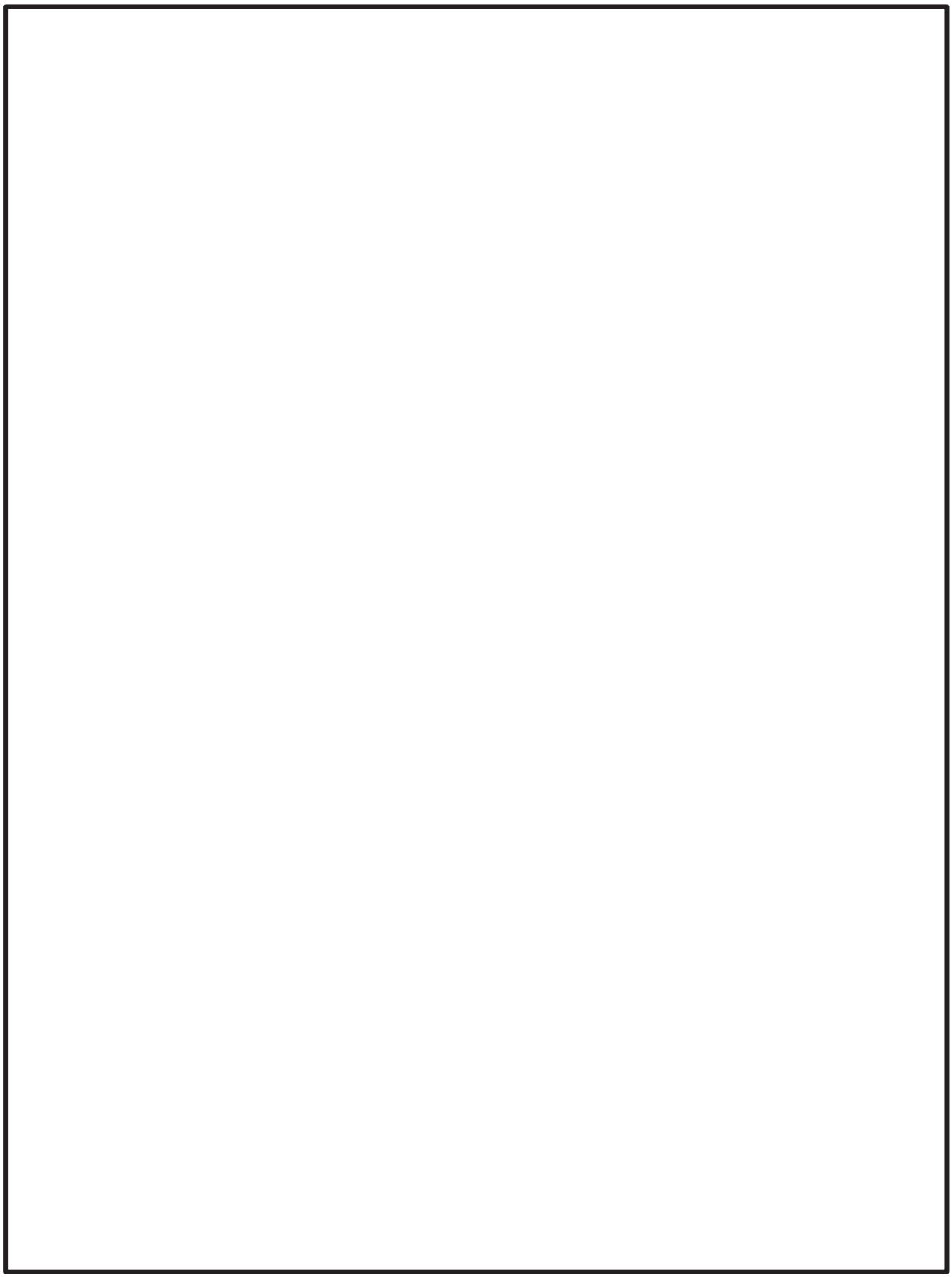


図 23-1　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）のモード図（1 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

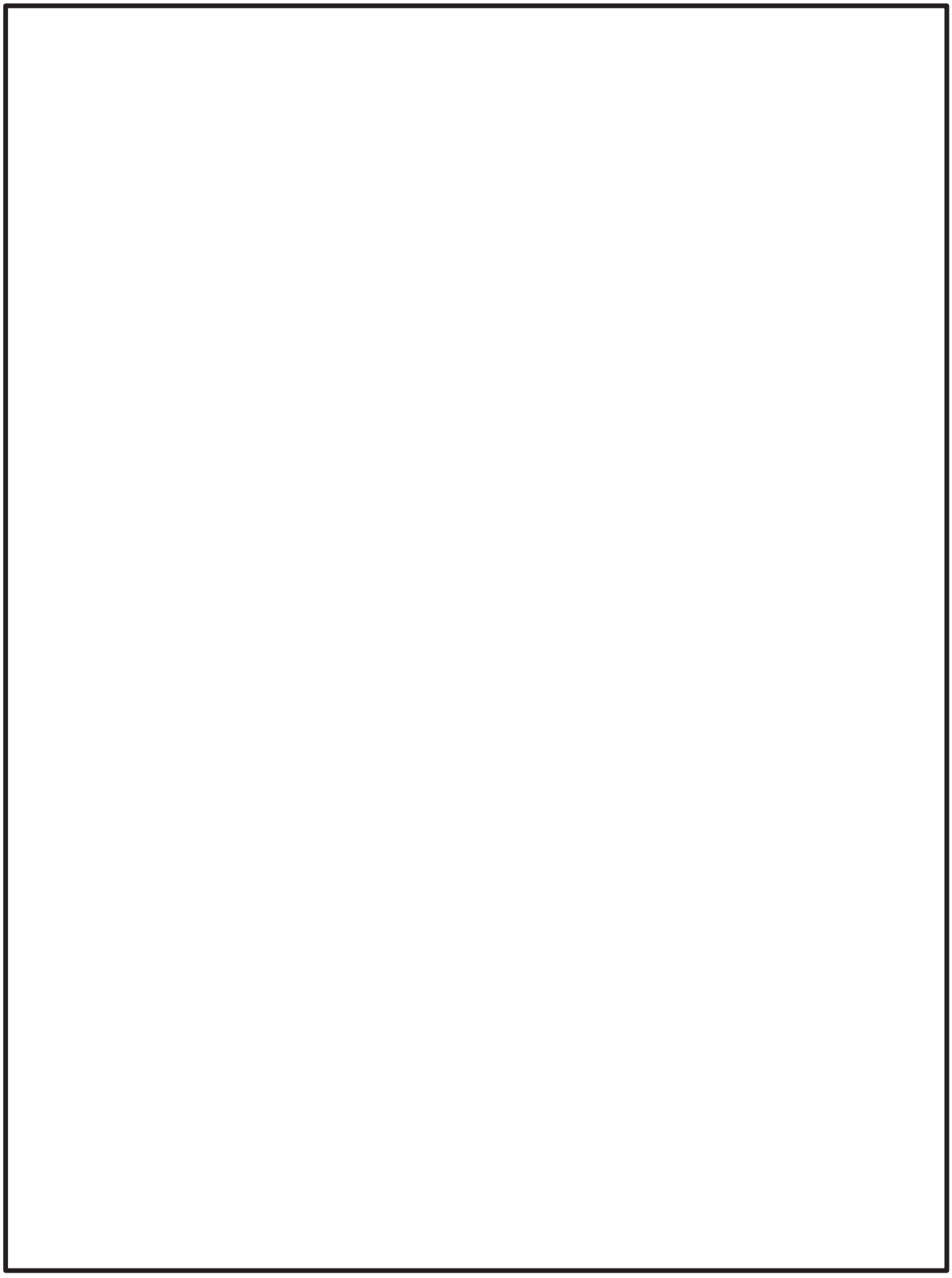


図 23-2　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）のモード図（2 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

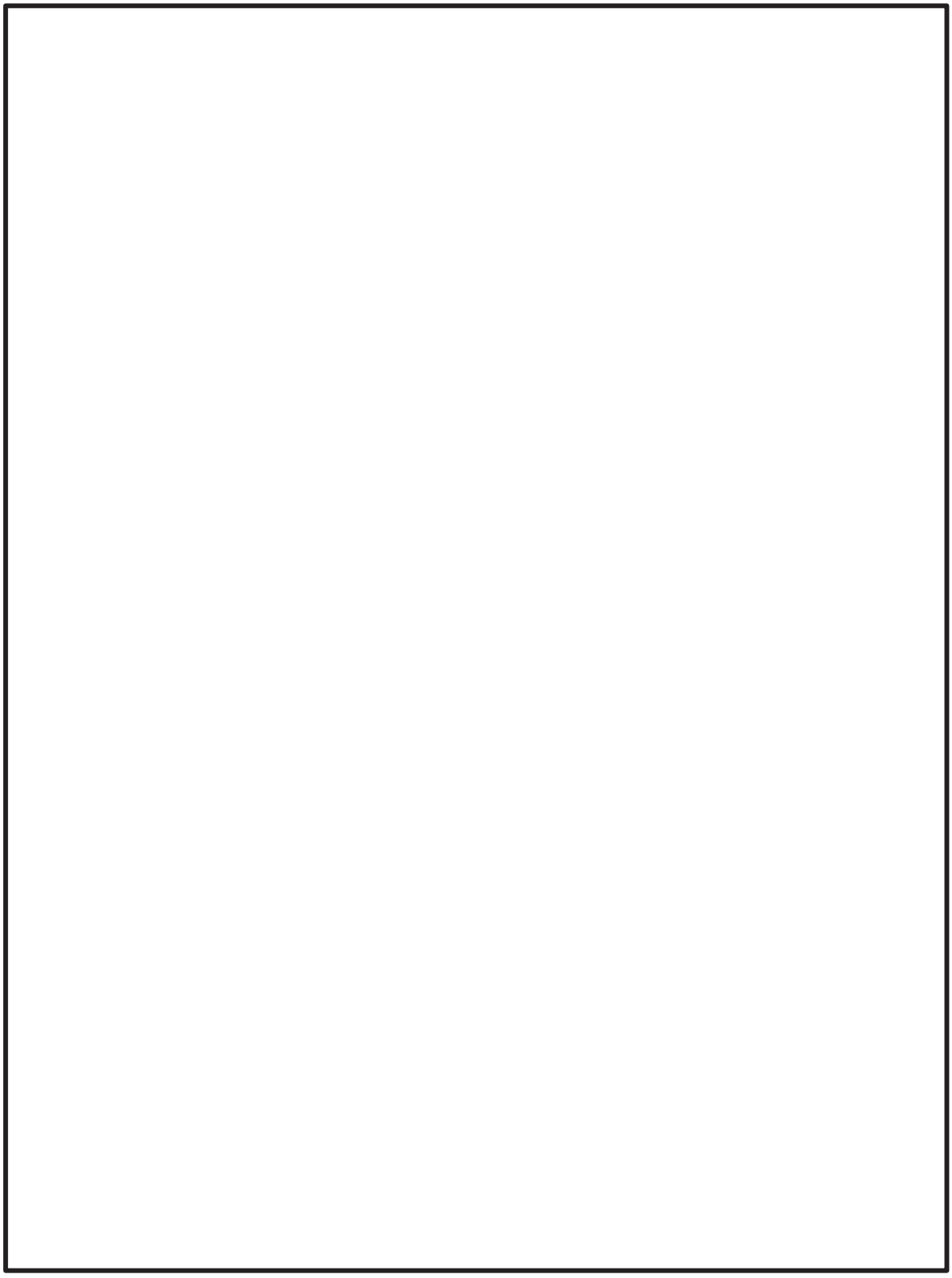


図 23-3　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）のモード図（3 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(d)　残留熱除去系配管（RHR-009）

残留熱除去系配管の主要仕様を表11に，解析モデル図を図24に，固有振動数及び刺激係数を表12に，主要次数のモード図を図25に示す。

表 11　残留熱除去系配管（RHR-009）の主要仕様

| 項目 | 主要仕様 |
|---|---|
| 最高使用圧力<br>(MPa) | 3.73 |
| 最高使用温度<br>(℃) | 186 |
| 外径<br>(mm) | 267.4 |
| 厚さ<br>(mm) | 9.3 |
| 材料 | STS410 |

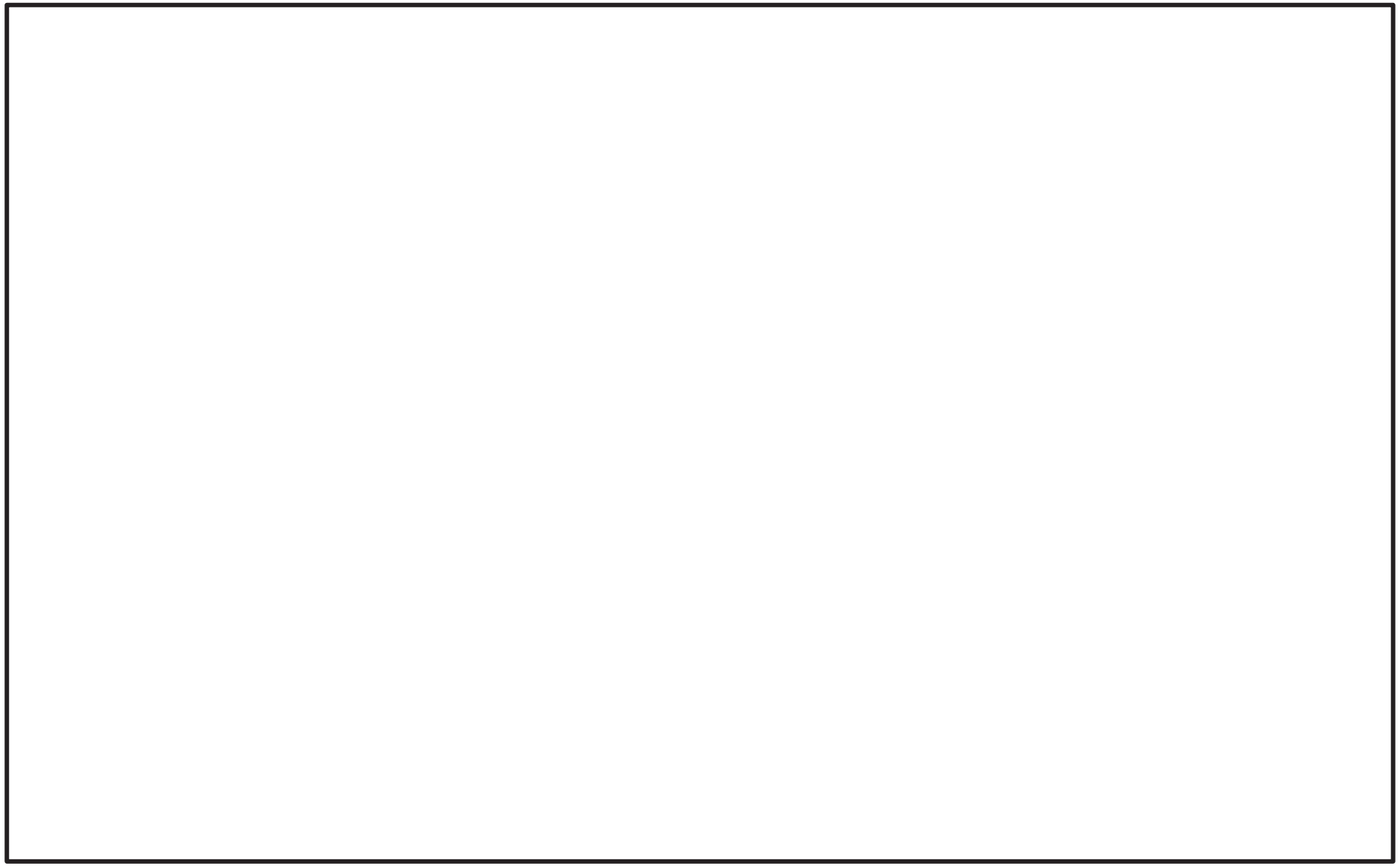


図 24-1　残留熱除去系配管（RHR-009）の解析モデル図（全体図）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

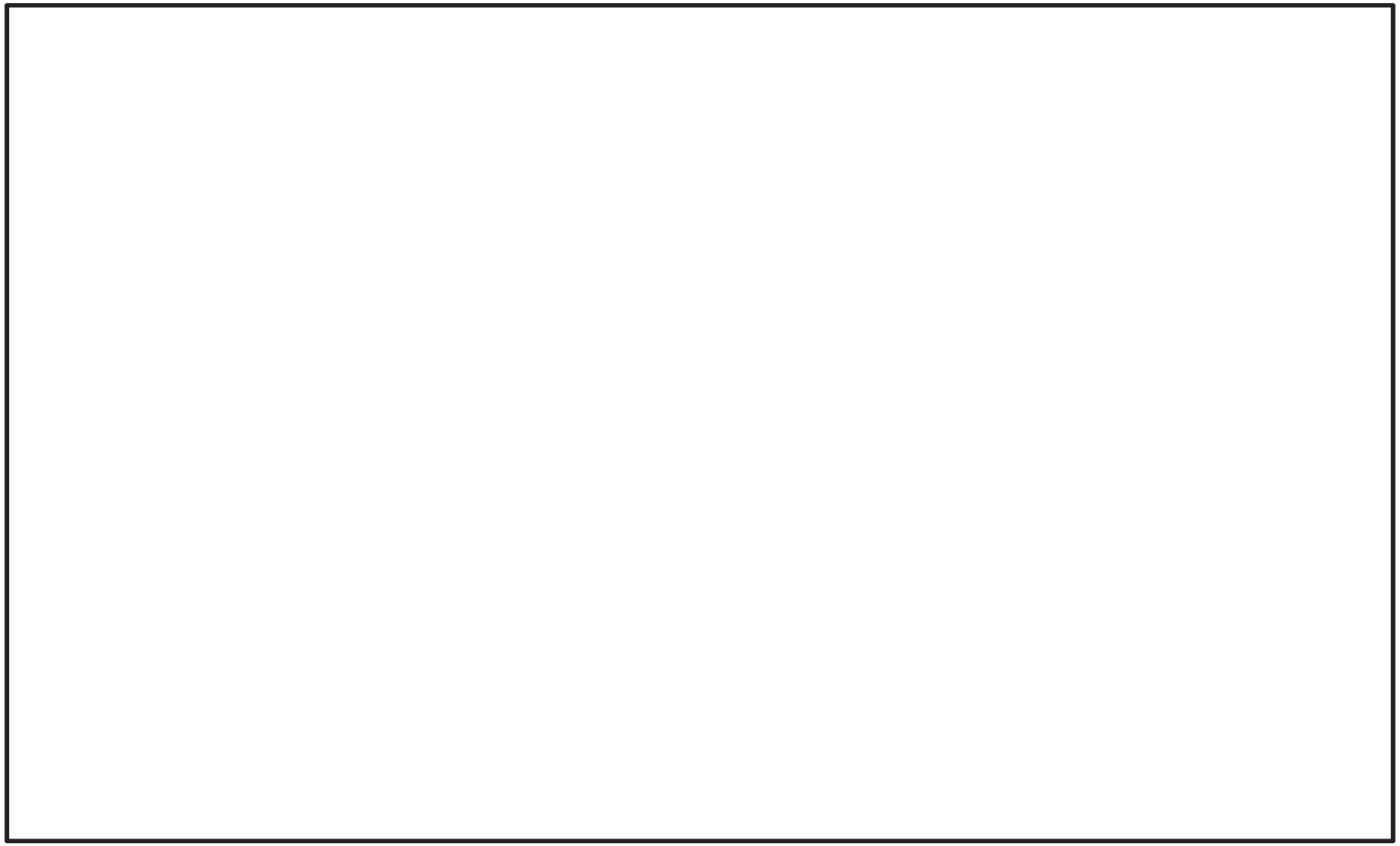


図 24-2　残留熱除去系配管（RHR-009）の解析モデル図（部分図）（1/4）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

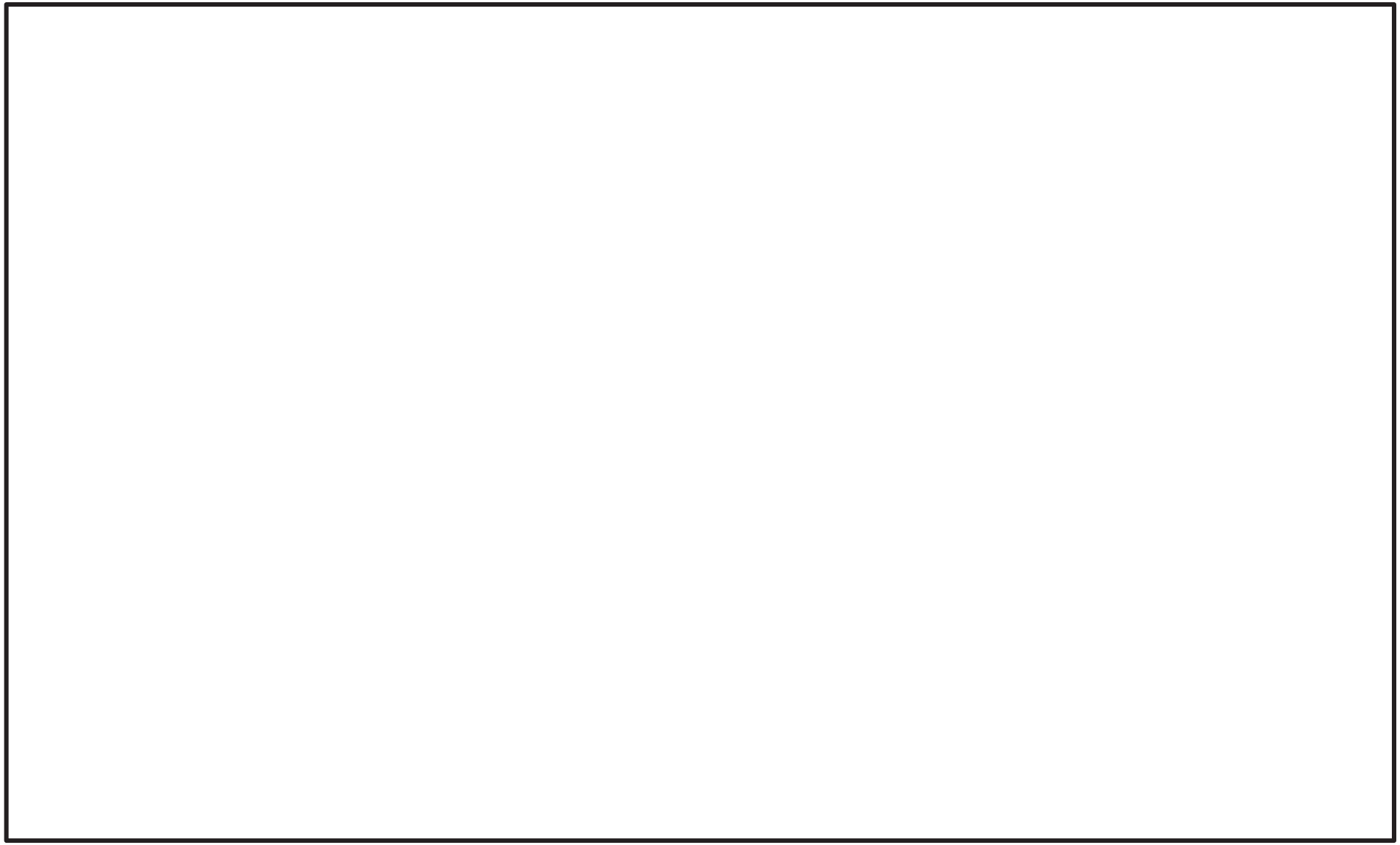


図 24-3　残留熱除去系配管（RHR-009）の解析モデル図（部分図）(2/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

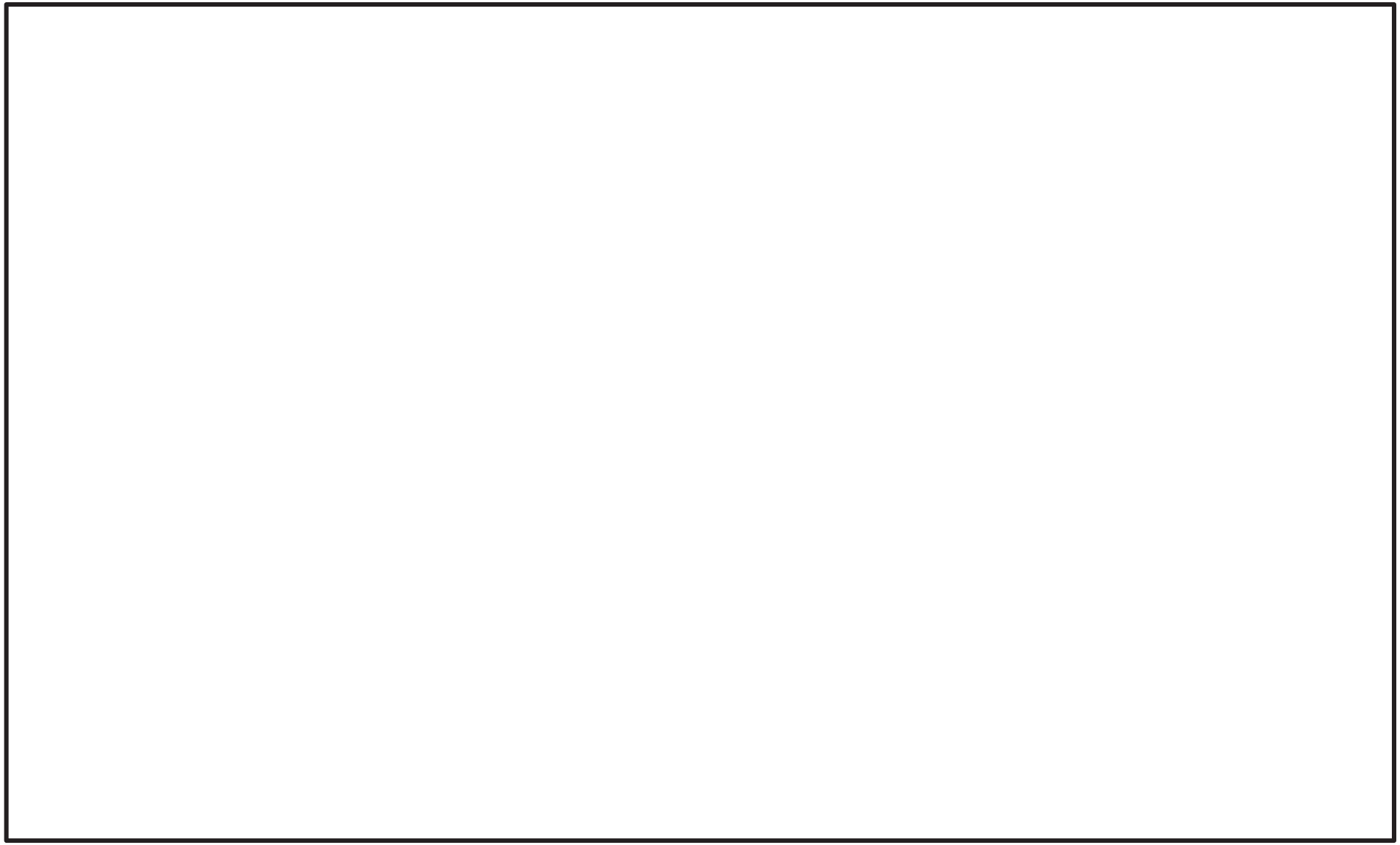


図 24-4　残留熱除去系配管（RHR-009）の解析モデル図（部分図）(3/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

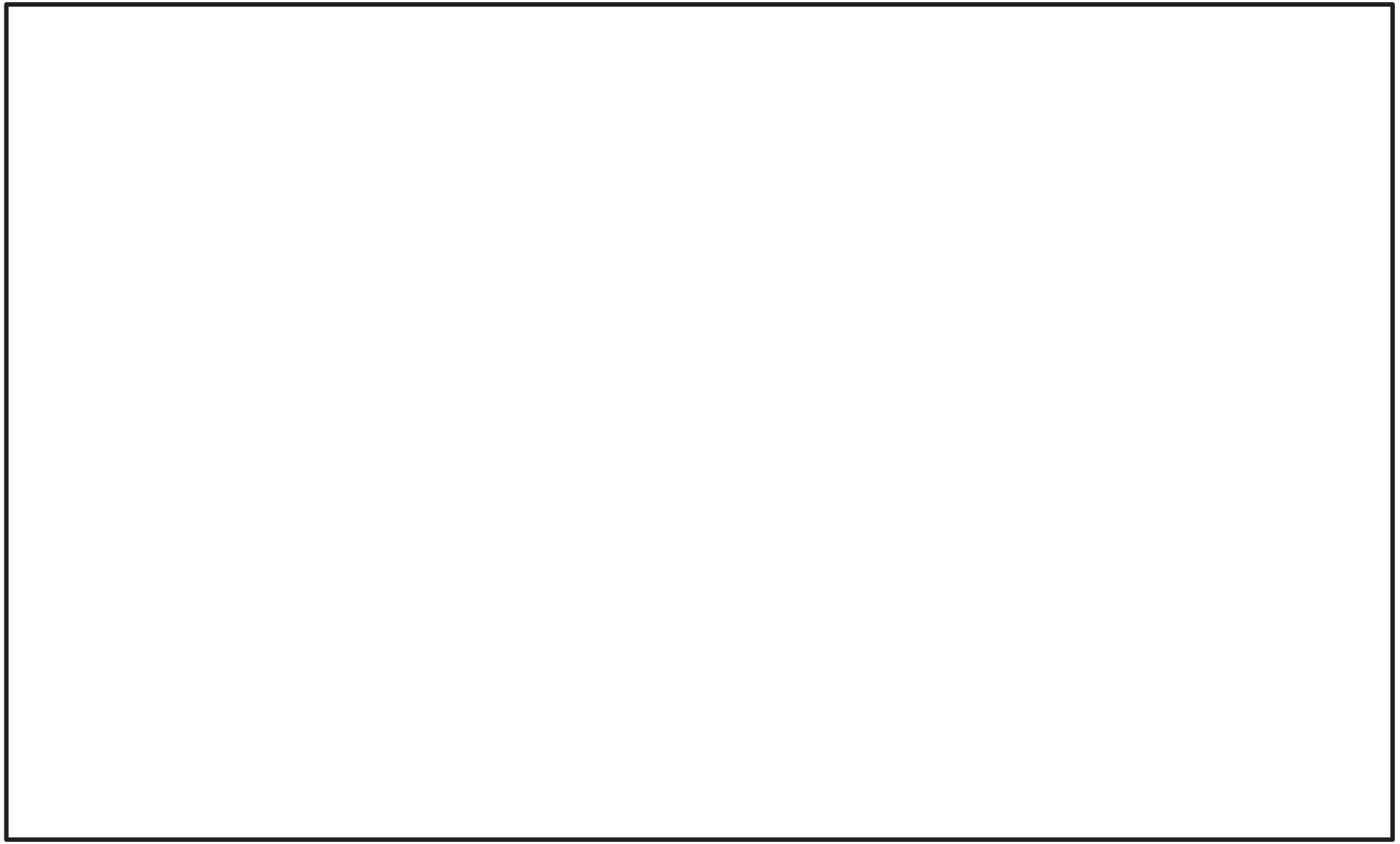


図 24-5　残留熱除去系配管（RHR-009）の解析モデル図（部分図）(4/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 12　残留熱除去系配管（RHR-009）の固有振動数及び刺激係数（1/2）

| モード | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) | 刺激係数 * | | | 設計震度 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 水平方向 | | 鉛直方向 |
| | | | X方向 | Y方向 | Z方向 | X方向 | Z方向 | Y方向 |
| | | | | | | | | |

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 12　残留熱除去系配管（RHR-009）の固有振動数及び刺激係数（2/2）

| モード | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) | 刺激係数 * | | | 設計震度 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 水平方向 | | 鉛直方向 |
| | | | X方向 | Y方向 | Z方向 | X方向 | Z方向 | Y方向 |
| | | | | | | | | |

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

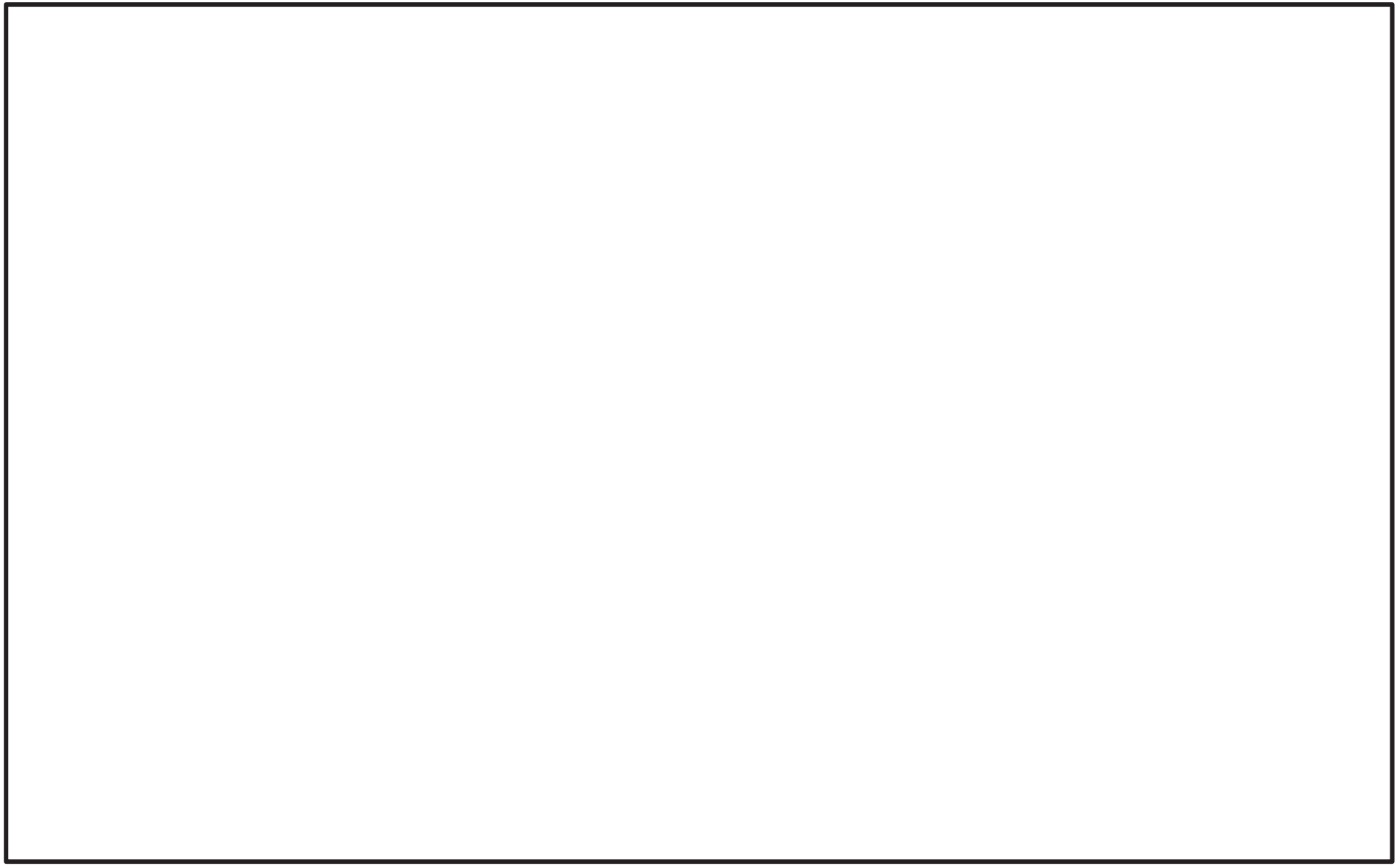


図 25-1　残留熱除去系配管（RHR-009）のモード図（1 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

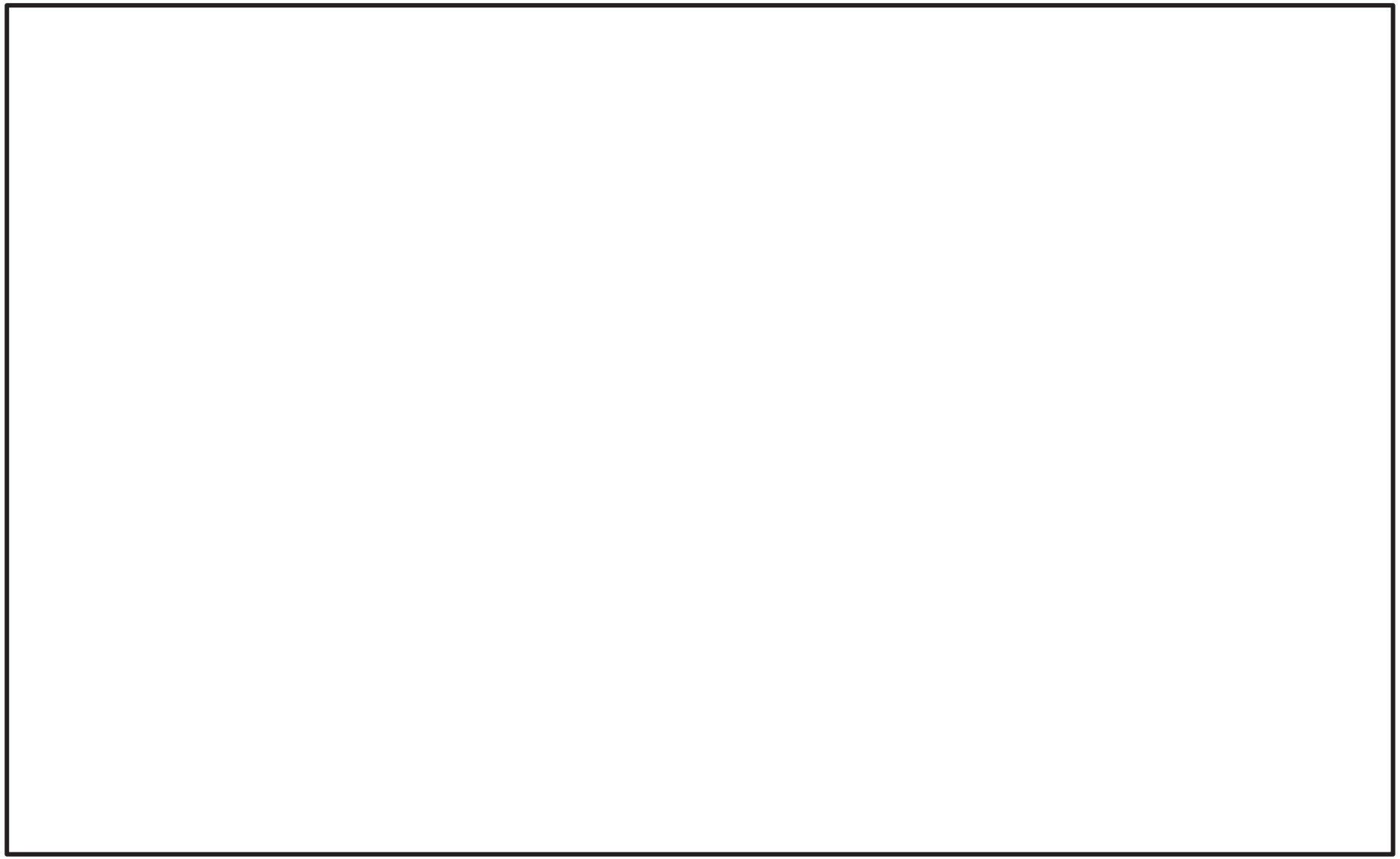


図 25-2　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）のモード図（2 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

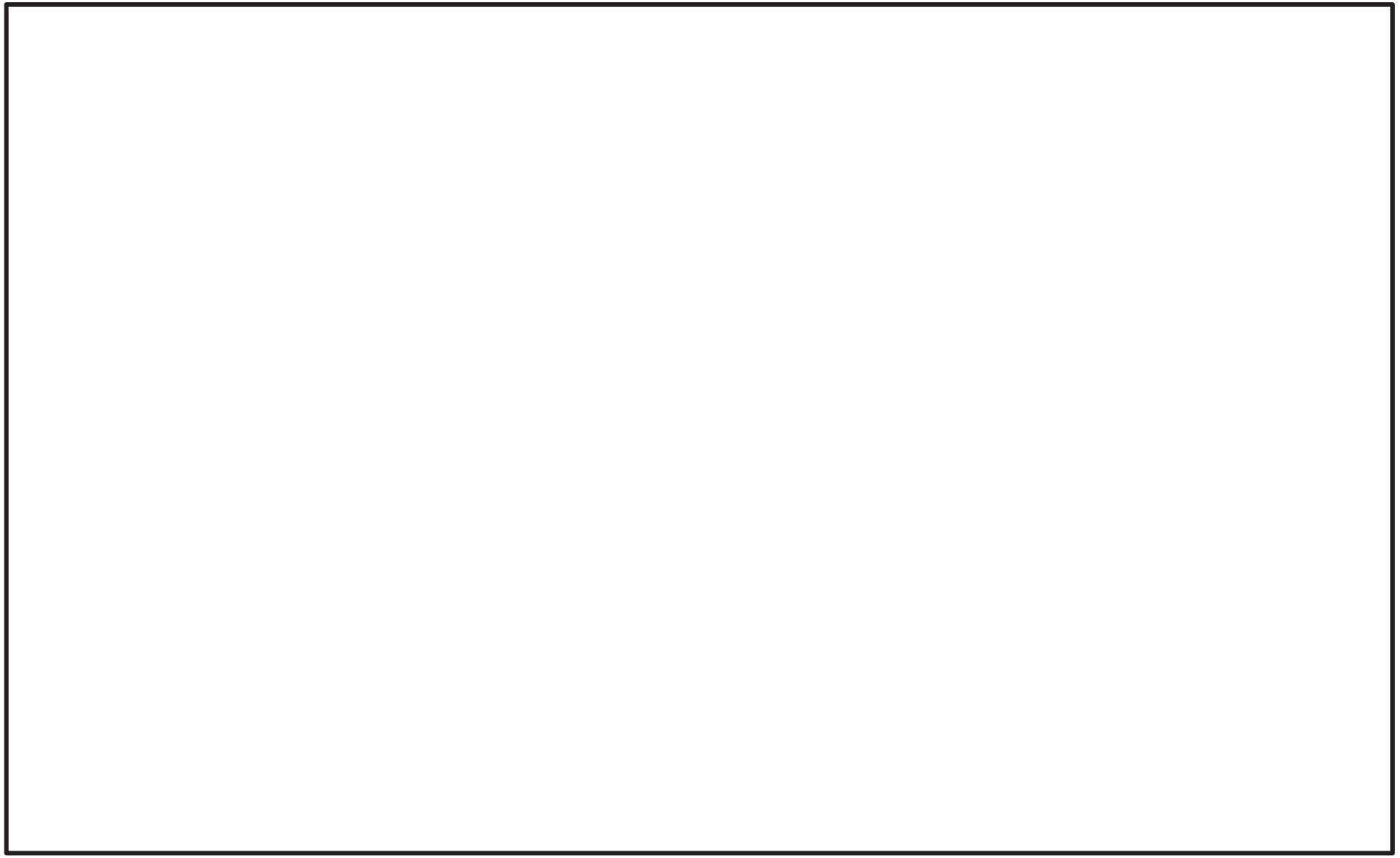


図 25-3　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）のモード図（3 次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

e. 解析結果

設計用床応答曲線を用いた地震応答解析結果，検討用床応答曲線を用いた地震応答解析結果及び静的解析結果を示す。

(a) 残留熱除去系配管（RHR-004）

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 13-1 に示す。また，固有値解析結果から表 13-1 に示した質点 19（最大応力発生位置，図 26 参照）へ影響の大きい振動モードとして 1 次モードが挙げられることから，質点 19 の近傍で 1 次モードによる加速度が大きい質点 11（加速度比較位置，図 26 参照）を抽出し，質点 11 での加速度を比較した結果を表 13-2 に示す。

表 13-1 より，現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 141MPa に対して，検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 142MPa と同等であり，許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また，表 13-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 13-1 残留熱除去系配管（RHR-004）の評価結果

| （質点 19） | | 一次応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|---|---|---|---|
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果（設計用床応答曲線） | 141 | 366 |
| | 静的解析 (1.2ZPA) | 73 | |
| | 包絡値 | 141 | |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果（検討用床応答曲線） | 142 | 366 |

表 13-2　最大応力発生時の各方向の発生加速度（RHR-004）

| (質点 11) | | 発生加速度(G) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | X 方向 | Y 方向 | Z 方向 |
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果（設計用床応答曲線） | 9.20 | 4.05 | 8.69 |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果（検討用床応答曲線） | 9.44 | 4.76 | 9.07 |

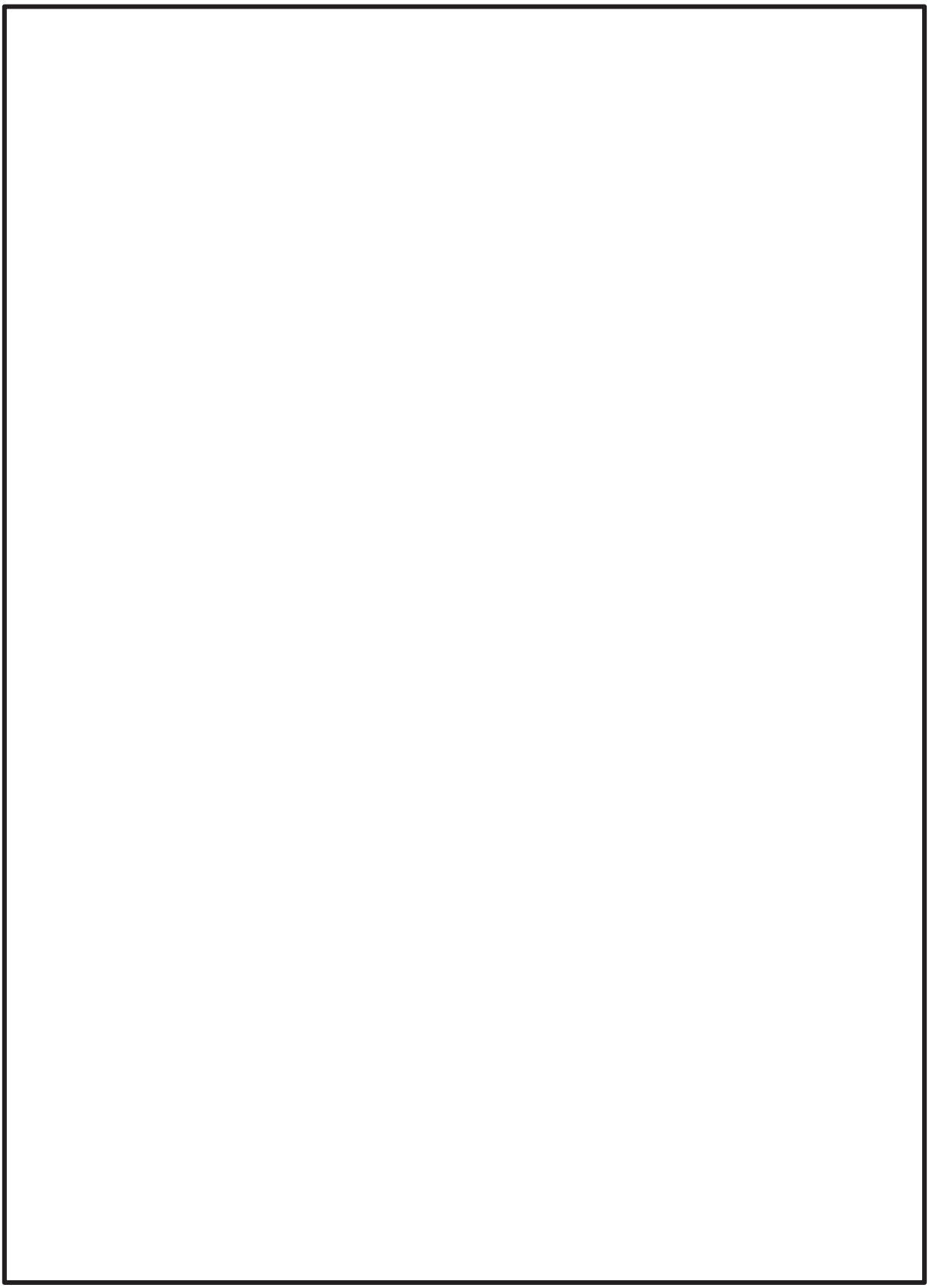


図 26　残留熱除去系配管（RHR-004）の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b)　残留熱除去系配管（RHR-005）

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 14-1 に示す。また，固有値解析結果から表 14-1 に示した質点 29（最大応力発生位置，図 27 参照）へ影響の大きい振動モードとして 1 次モードが挙げられることから，質点 29 の近傍で 1 次モードによる加速度が大きい質点 18（加速度比較位置，図 27 参照）を抽出し，質点 18 での加速度を比較した結果を表 14-2 に示す。

表 14-1 より，現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 197MPa に対して，検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 206MPa であり，応力は増加したものの，その増加は僅かであり許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また，表 14-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 14-1　残留熱除去系配管（RHR-005）の評価結果

| （質点 29） | | 一次応力<br>（MPa） | 許容応力<br>（MPa） |
|---|---|---|---|
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した<br>地震応答解析結果<br>（設計用床応答曲線） | 197 | 366 |
| | 静的解析<br>（1.2ZPA） | 97 | |
| | 包絡値 | 197 | |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した<br>地震応答解析結果<br>（検討用床応答曲線） | 206 | 366 |

表 14-2　最大応力発生時の各方向の発生加速度（RHR-005）

| （質点 18） | | 発生加速度(G) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | X 方向 | Y 方向 | Z 方向 |
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果<br>（設計用床応答曲線） | 0.16 | 7.97 | 1.05 |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果<br>（検討用床応答曲線） | 0.51 | 8.67 | 2.71 |

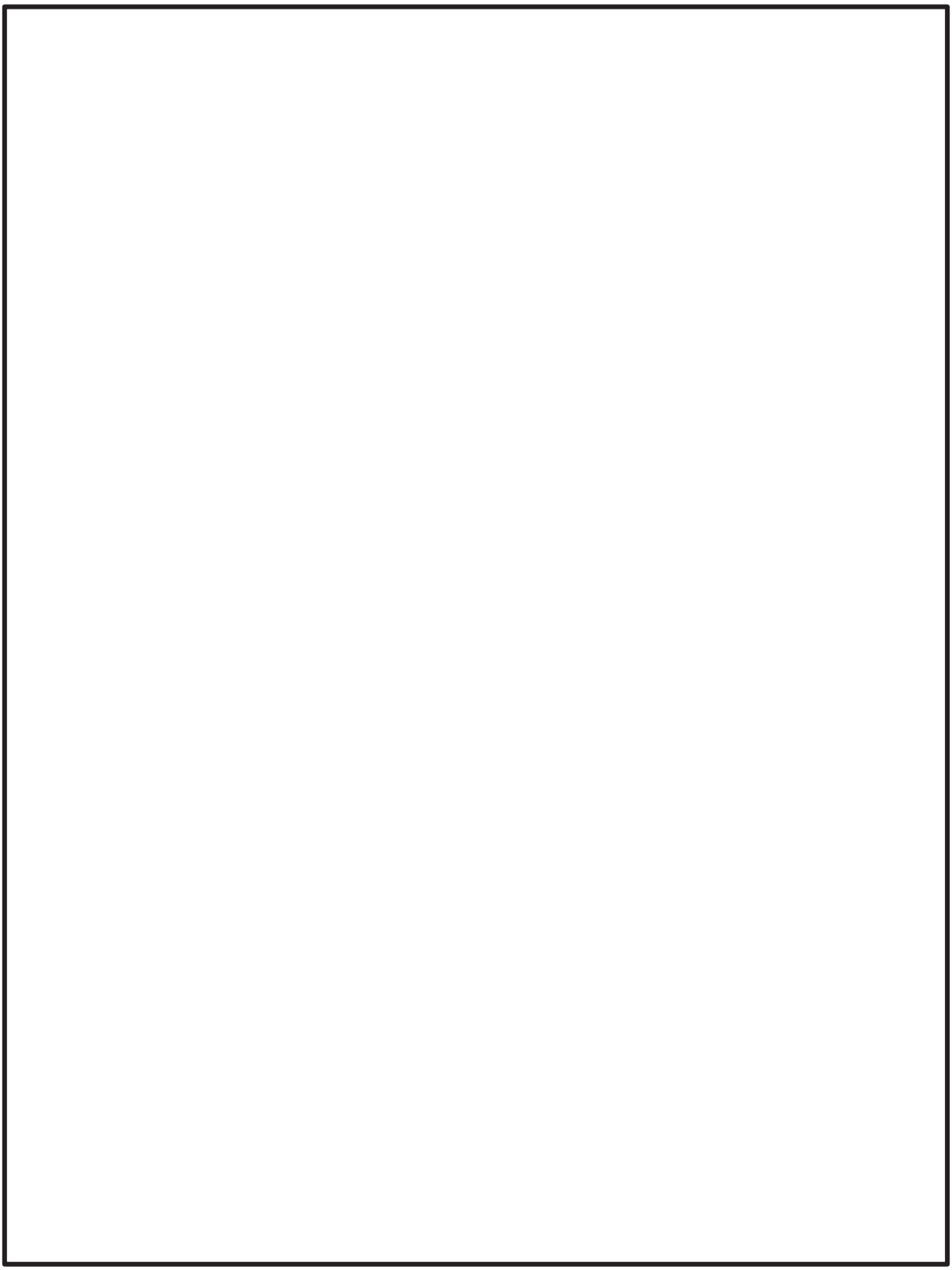


図 27　残留熱除去系配管（RHR-005）の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 15-1 に示す。また，固有値解析結果から表 15-1 に示した質点 16（最大応力発生位置，図 28 参照）へ影響の大きい振動モードとして 2 次モードが挙げられることから，質点 16 の近傍で 2 次モードによる加速度が大きい質点 7（加速度比較位置，図 28 参照）を抽出し，質点 7 での加速度を比較した結果を表 15-2 に示す。

表 15-1 より，現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 179MPa に対して，検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 187MPa であり，応力は増加したものの，その増加は僅かであり許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また，表 15-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 15-1　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）の評価結果

| （質点 16） | | 一次応力<br>（MPa） | 許容応力<br>（MPa） |
|---|---|---|---|
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した<br>地震応答解析結果<br>（設計用床応答曲線） | 179 | 413 |
| | 静的解析<br>（1.2ZPA） | 51 | |
| | 包絡値 | 179 | |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した<br>地震応答解析結果<br>（検討用床応答曲線） | 187 | 413 |

表 15-2　最大応力発生時の各方向の発生加速度（CRD-007-3）

| （質点 7） | | 発生加速度(G) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | X 方向 | Y 方向 | Z 方向 |
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果<br>（設計用床応答曲線） | 13.45 | 6.08 | 1.07 |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果<br>（検討用床応答曲線） | 13.61 | 9.11 | 2.73 |

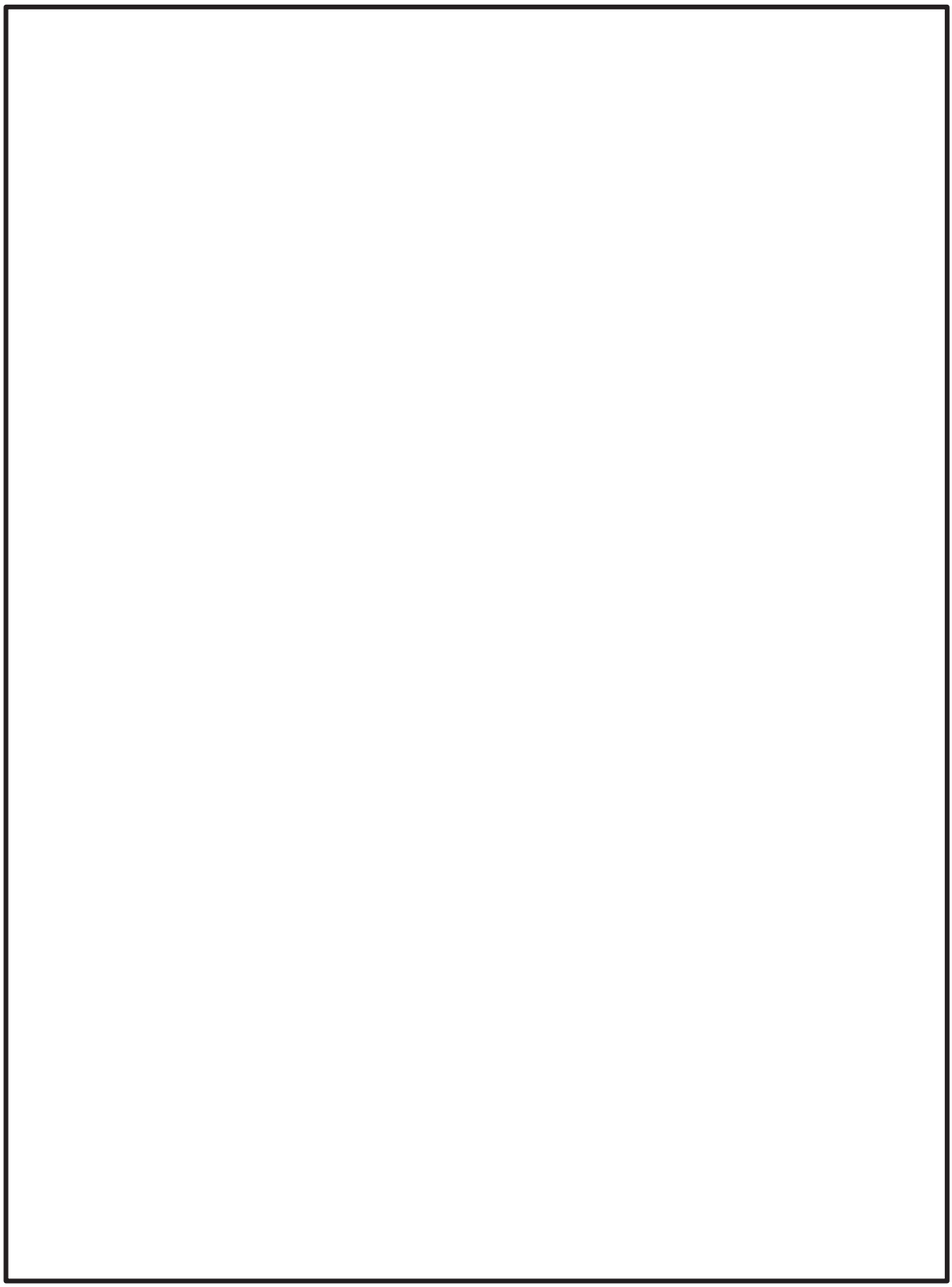


図 28　制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(d)　残留熱除去系配管（RHR-009）

20Hz 及び 50Hz までのそれぞれの領域を考慮した地震応答解析結果の比較を表 16-1 に示す。また，固有値解析結果から表 16-1 に示した質点 235（最大応力発生位置，図 29 参照）へ影響の大きい振動モードとして 1 次モードが挙げられることから，質点 235 の近傍で 1 次モードによる加速度が大きい質点 231（加速度比較位置，図 28 参照）を抽出し，質点 231 での加速度を比較した結果を表 16-2 に示す。

表 16-1 より，現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 104MPa に対して，検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 125MPa であり，応力は増加したものの，許容応力に対して十分に余裕があることを確認した。また，表 15-2 に示すとおり加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

表 16-1　残留熱除去系配管（RHR-009）の評価結果

| （質点 235） | | 一次応力<br>（MPa） | 許容応力<br>（MPa） |
|---|---|---|---|
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した<br>地震応答解析結果<br>（設計用床応答曲線） | 104 | 363 |
| | 静的解析<br>（1.2ZPA） | 90 | |
| | 包絡値 | 104 | |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した<br>地震応答解析結果<br>（検討用床応答曲線） | 125 | 363 |

表 16-2　最大応力発生時の各方向の発生加速度（RHR-009）

| （質点 231） | | 発生加速度(G) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | X 方向 | Y 方向 | Z 方向 |
| 現行の手法 | 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果<br>（設計用床応答曲線） | 5.57 | 2.73 | 6.25 |
| 妥当性検討用 | 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果<br>（検討用床応答曲線） | 5.80 | 7.72 | 6.80 |

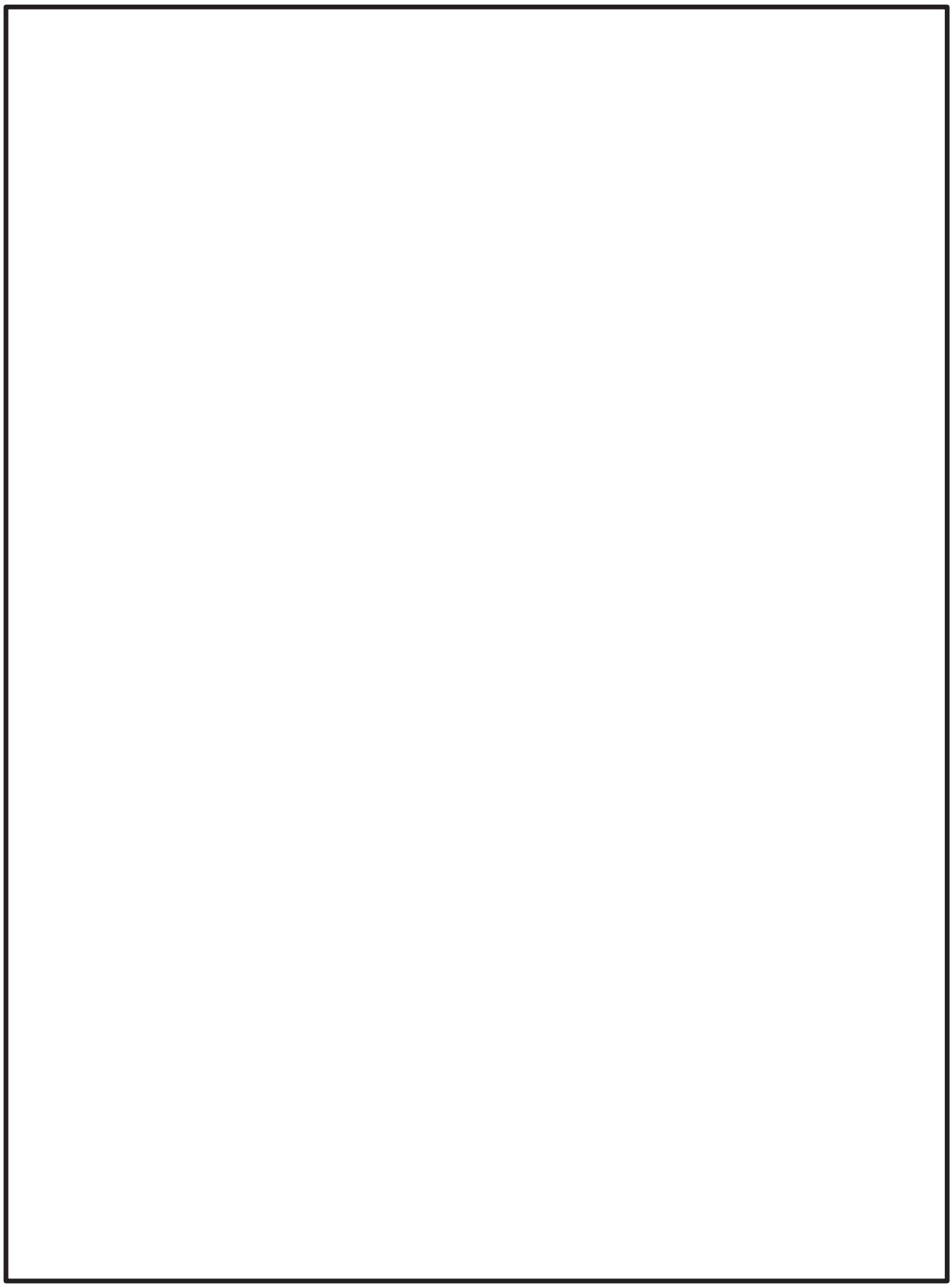


図 29　残留熱除去系配管（RHR-009）の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

以上のとおり，残留熱除去系配管及び制御棒駆動水圧系配管ともに現行の手法による評価結果に対して，妥当性検討として実施した 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果による応力の増加は僅か，若しくは同等であることを確認した。また，加速度の差異は応力に比べ大きいことを確認した。

加速度に差があるものの応力の増加が僅かである理由としては，図 12 の変位応答スペクトルで示したように，高振動数側では応答変位が小さく，機器に発生する応力への寄与は，低振動数側と比較しても相対的に小さくなるため，20Hz 未満の振動数領域での応力が支配的となり，20Hz 以上の振動数領域を考慮して加速度が大きくなった場合でも有意な応力の上昇が現れなかったものと考えられる。

(4) まとめ

現行手法の妥当性検討として，20Hz 近傍に卓越する応答を有する床応答スペクトルを適用する残留熱除去系配管及び 20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する制御棒駆動水圧系配管を対象に地震応答解析を実施した（表 17 参照)。

表 17　妥当性検討に用いた対象設備

| 対象設備 | 選定理由 |
|---|---|
| 残留熱除去系配管（RHR-004） | 鉛直方向で 20Hz 近傍の加速度が最も大きい原子炉しゃへい壁の設計用床応答曲線を適用し評価する設備のうち，一次応力の裕度が最も小さい設備として選定した。 |
| 残留熱除去系配管（RHR-005） | 水平方向で 20Hz 近傍の加速度が最も大きい原子炉圧力容器の設計用床応答曲線を適用し評価する設備のうち，一次応力の裕度が最も小さい設備として選定した。 |
| 制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3） | 20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する設備として選定した。1 次固有振動数 [redacted](Hz)，2 次固有振動数 [redacted](Hz)であり，現行手法では 1 次固有振動数のみ考慮される。 |
| 残留熱除去系配管（RHR-009） | 弁が設置され比較的剛性が大きい配管のうち，20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する設備として選定した。 |

解析結果のまとめを表 18 に示す。

残留熱除去系配管（RHR-004）は，現行手法による発生応力に対して，妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの，増分は僅かであった。これは，1～9 次の固有振動数（20Hz 未満）での応答の配管に発生する応力への寄与が，10 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

残留熱除去系配管（RHR-005）は，現行手法による発生応力に対して，妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの，増分は僅かであった。これは，1～2 次の固有振動数（20Hz 未満）での応答の配管に発生する応力への寄与が，3 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

制御棒駆動水圧系配管（CRD-007-3）は，現行手法による発生応力に対して，妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの，増分は僅かであった。これは，1 次の固有振動数（20Hz 未満）での応答の配管に発生する応力への寄与が，2 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

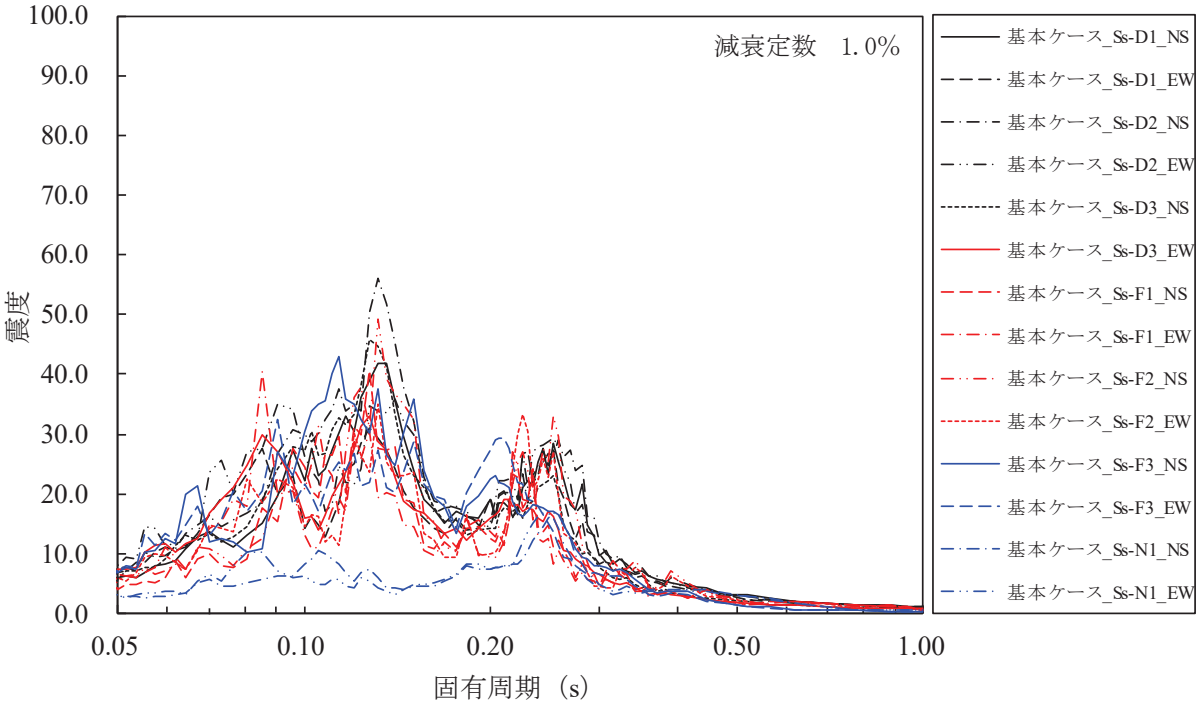
残留熱除去系配管（RHR-009）は，現行手法による発生応力に対して，妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの，増分は僅かであった。これは，1～3 次の固有振動数（20Hz 未満）での応答の配管に発生する応力への寄与が，4 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

以上のとおり，剛柔判定の固有周期を 20Hz とし，現行手法で解析を実施することは，耐震設計を行う上で妥当であると考える。

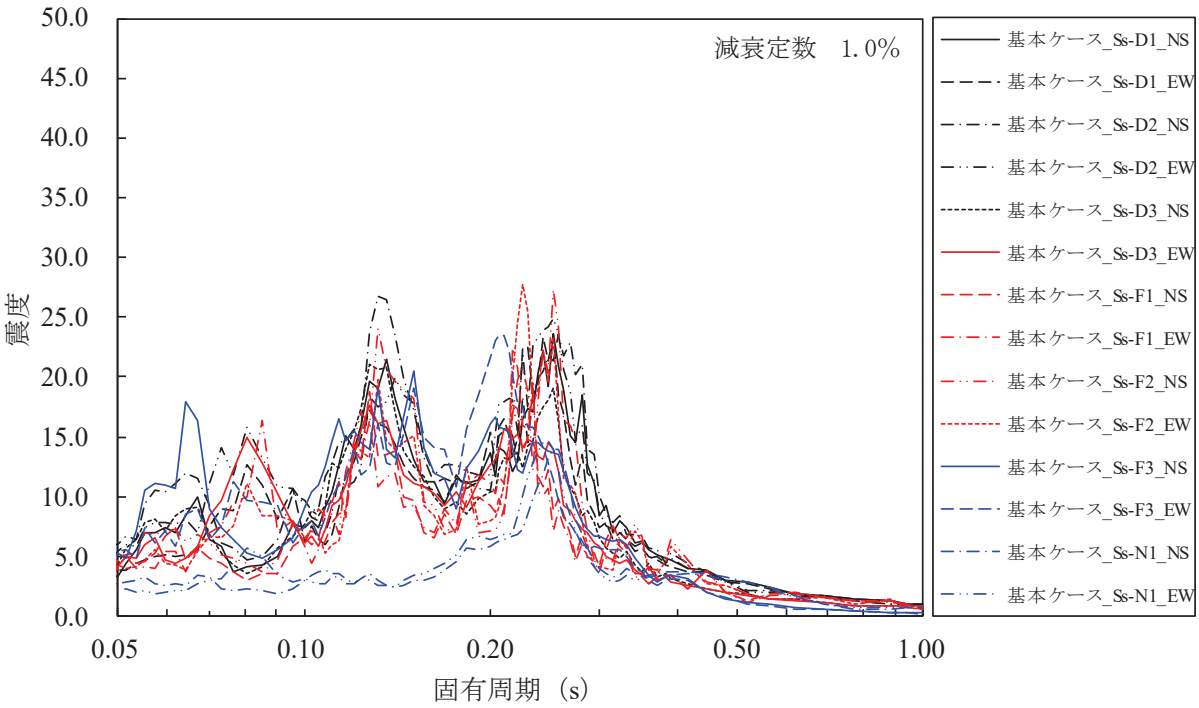
なお，弁の動的機能維持評価については，補足説明資料「補足-600-14-2　弁の応答加速度の算出について」に示すとおり，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正及びそれに伴い改正された耐震設計に係る工認審査ガイドの記載を踏まえて，20Hz を超える高振動数領域を考慮した地震応答解析により弁の応答加速度を算定し耐震評価を実施する。

表 18　現行手法及び妥当性検討の評価結果まとめ

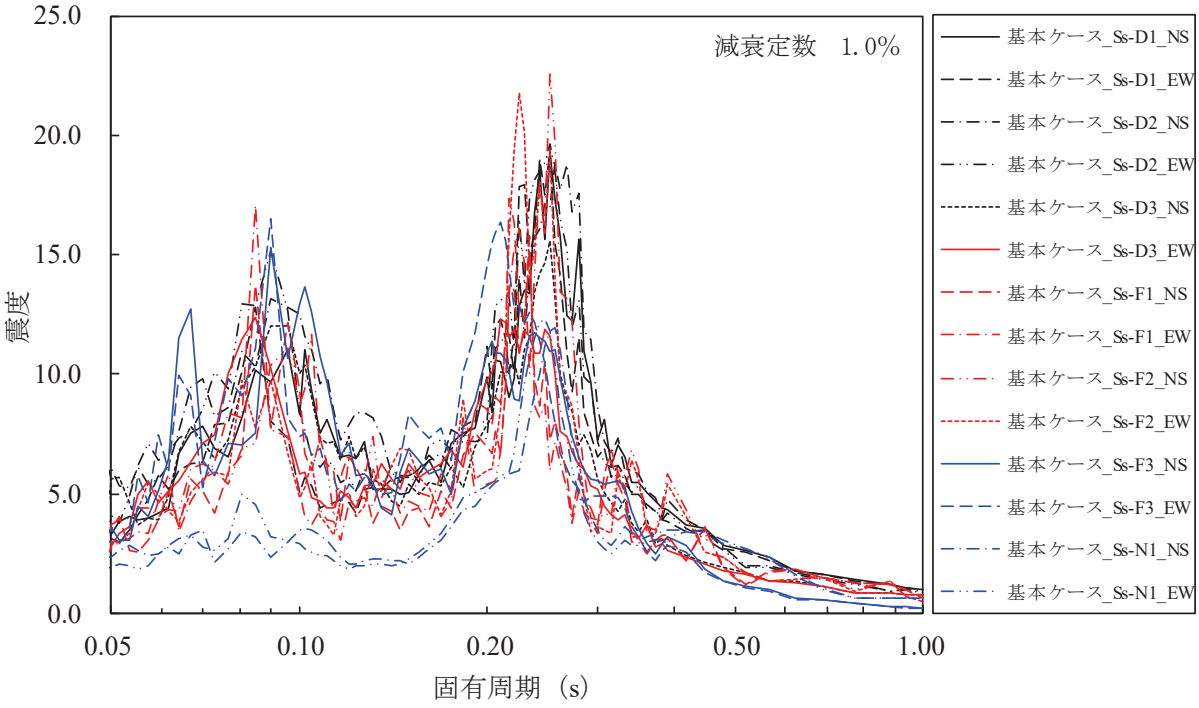
| 対象設備 | 発生応力（MPa） | | 許容応力（MPa） |
|---|---|---|---|
| | 現行手法 | 妥当性検討 | |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-004） | 141<br>［動的解析：141<br>静的解析：73］ | 142 | 366 |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-005） | 197<br>［動的解析：197<br>静的解析：97］ | 206 | 366 |
| 制御棒駆動水圧系配管<br>（CRD-007-3） | 179<br>［動的解析：179<br>静的解析：51］ | 187 | 413 |
| 残留熱除去系配管<br>（RHR-009） | 104<br>［動的解析：104<br>静的解析：90］ | 125 | 363 |



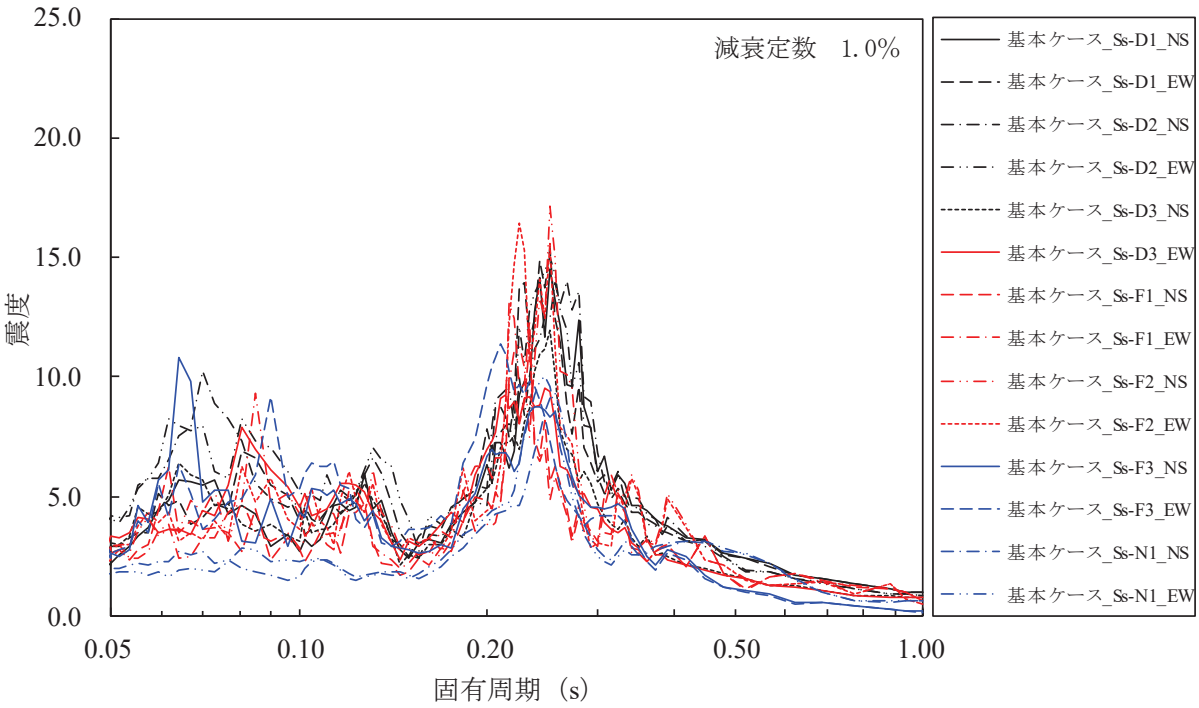

添付図 1-1　原子炉建屋（0.P.　50.500m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



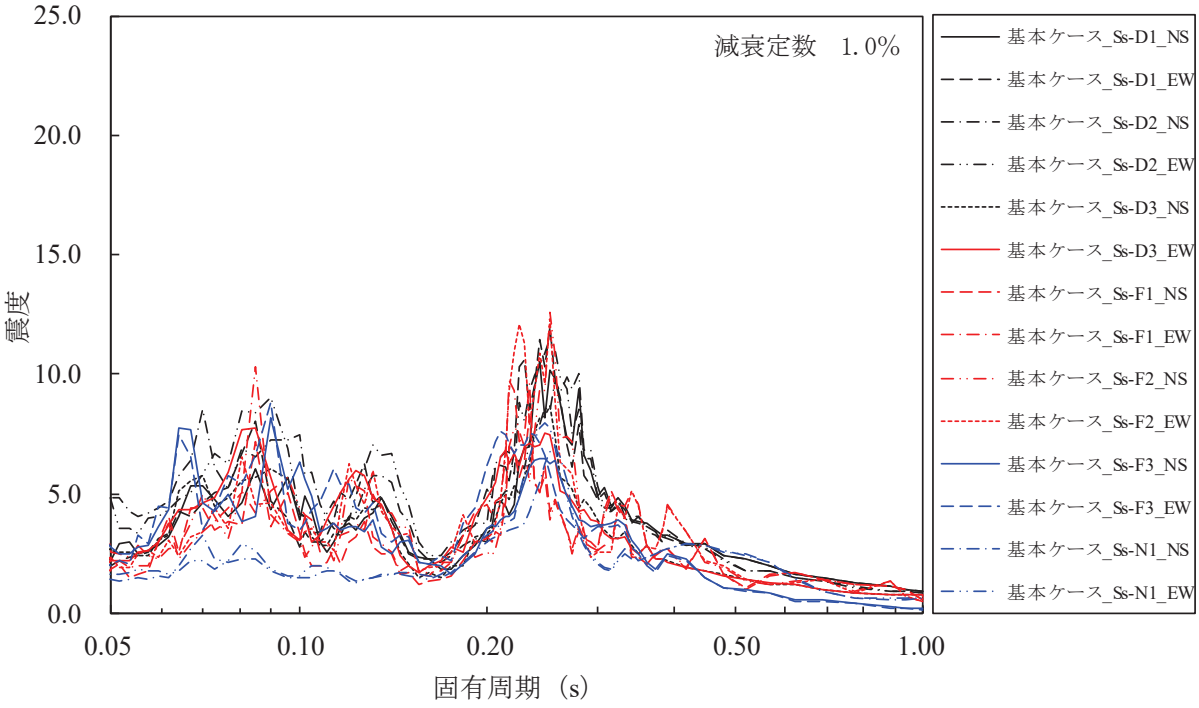

添付図 1-2　原子炉建屋（0.P.　41.200m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



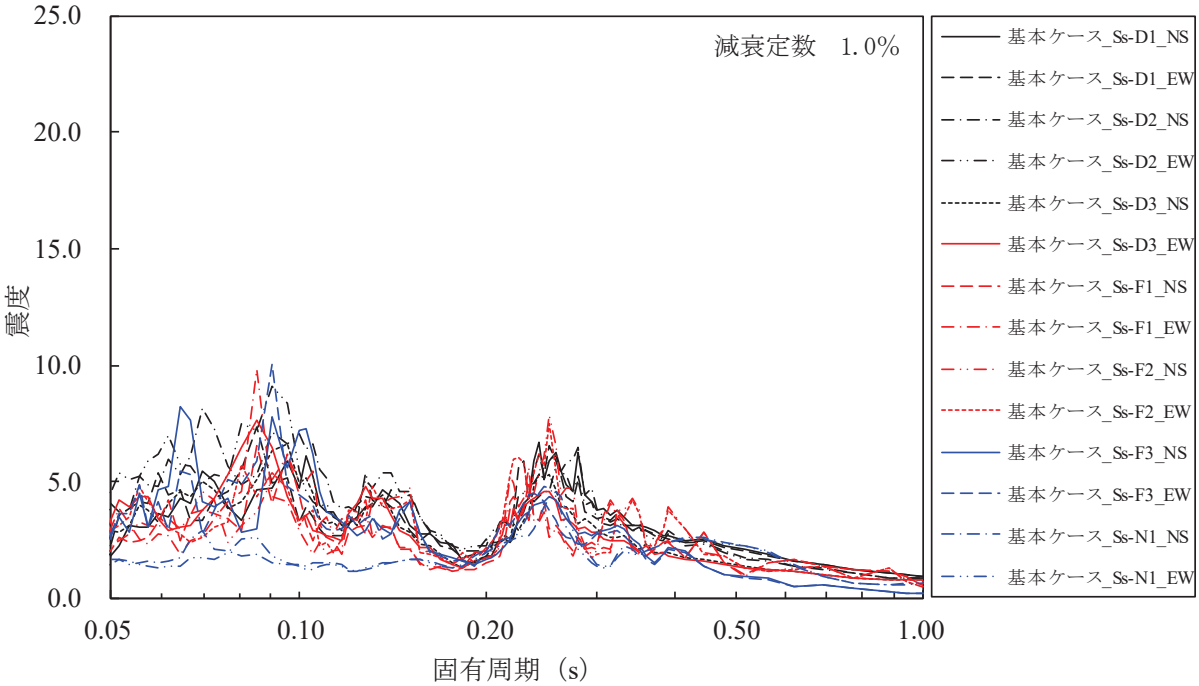

添付図 1-3　原子炉建屋（0.P.　33.200m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



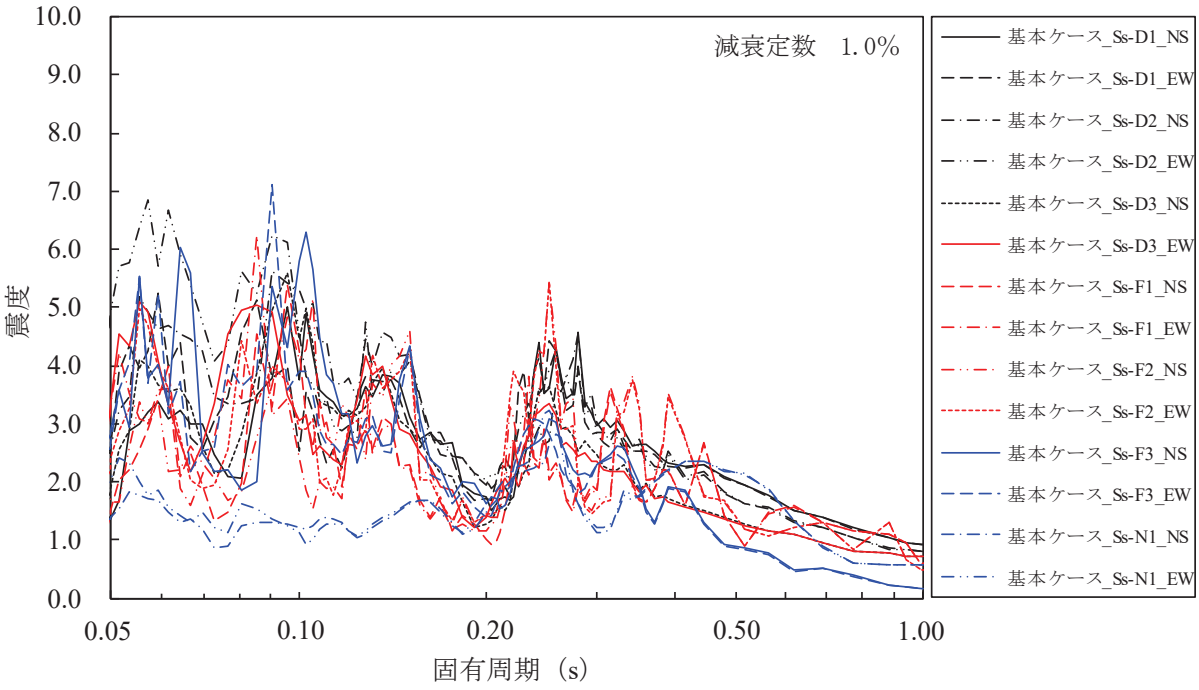

添付図 1-4　原子炉建屋（0.P.　22.500m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



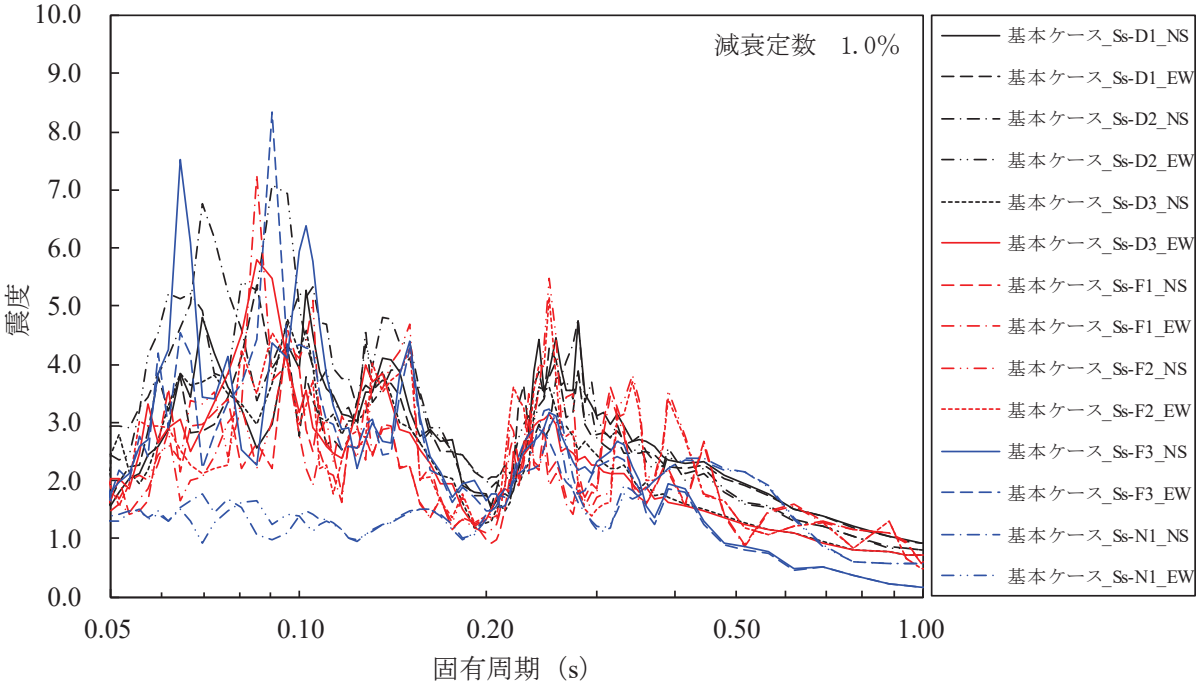

添付図 1-5　原子炉建屋（0.P.　15.000m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



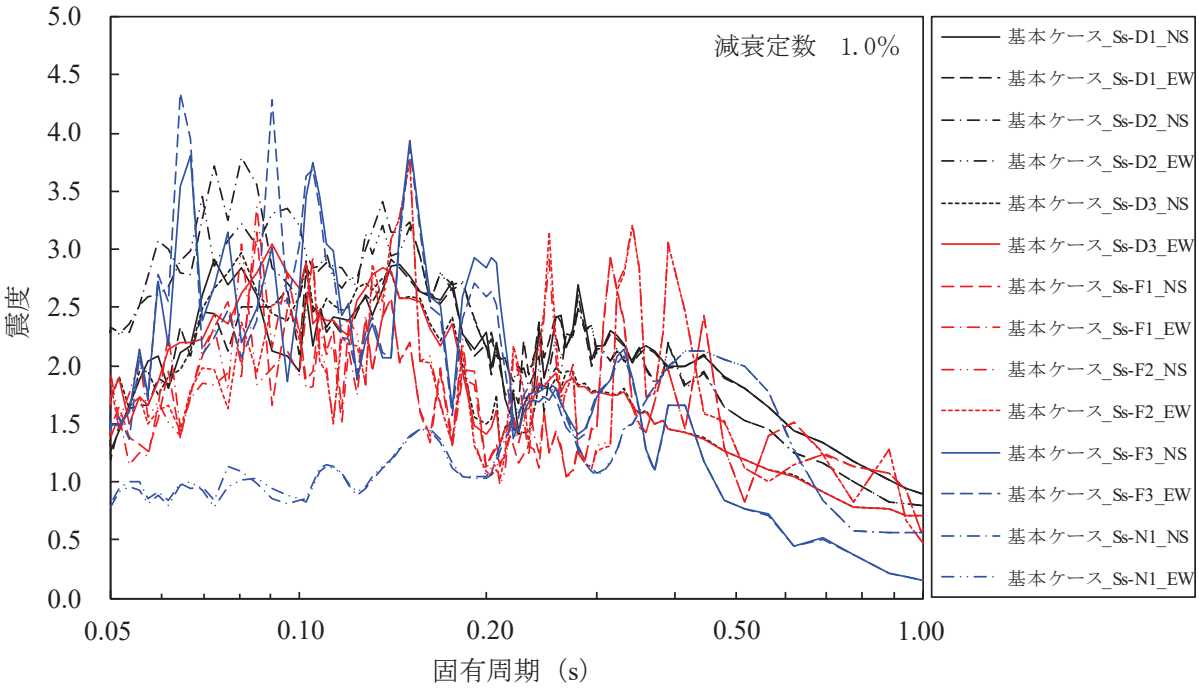

添付図 1-6　原子炉建屋（0.P.　6.000m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



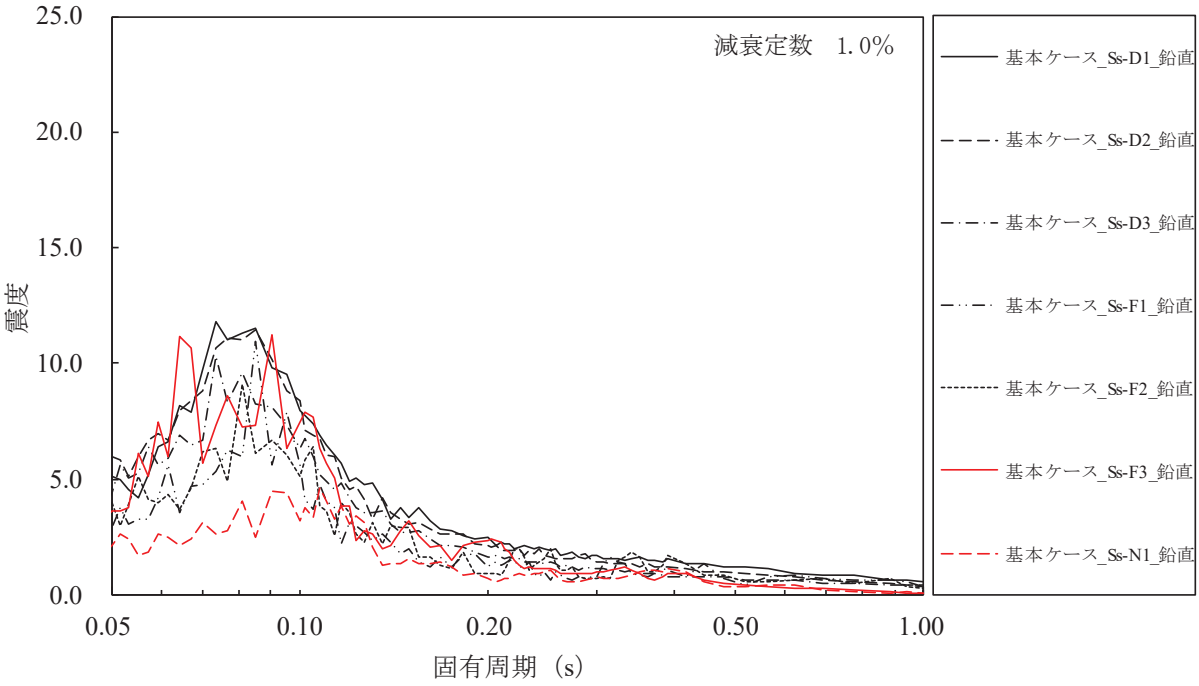

添付図 1-7　原子炉建屋（0.P.　1.150m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



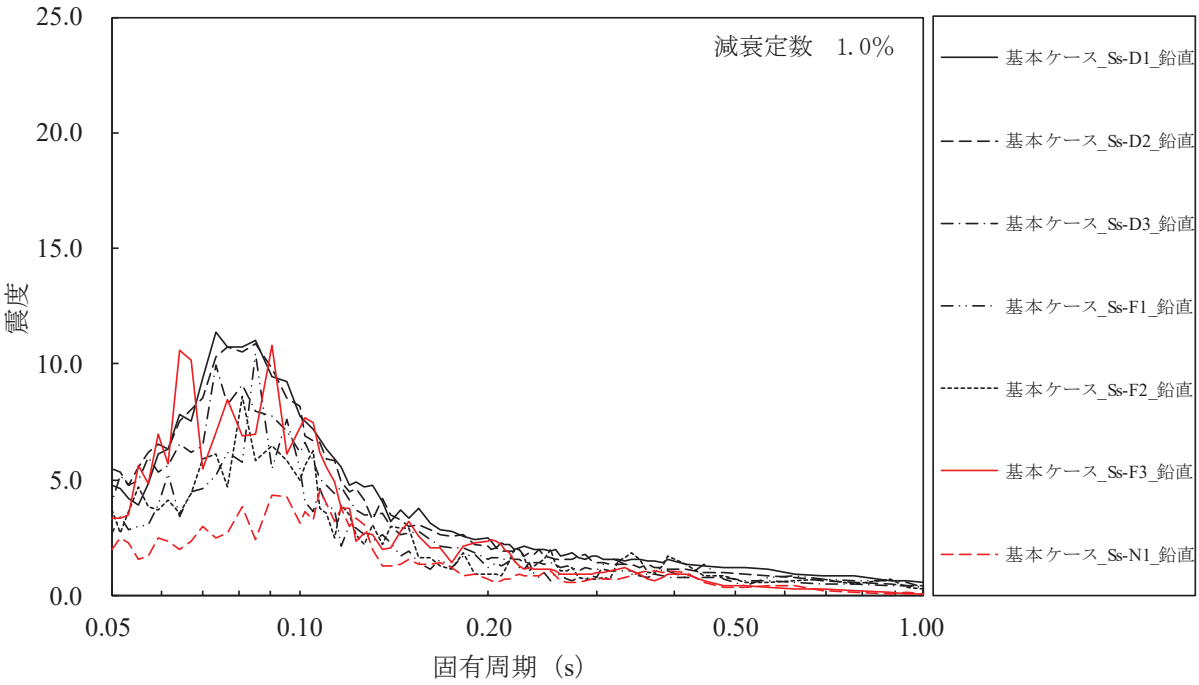

添付図 1-8　原子炉建屋（0.P.　-0.800m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



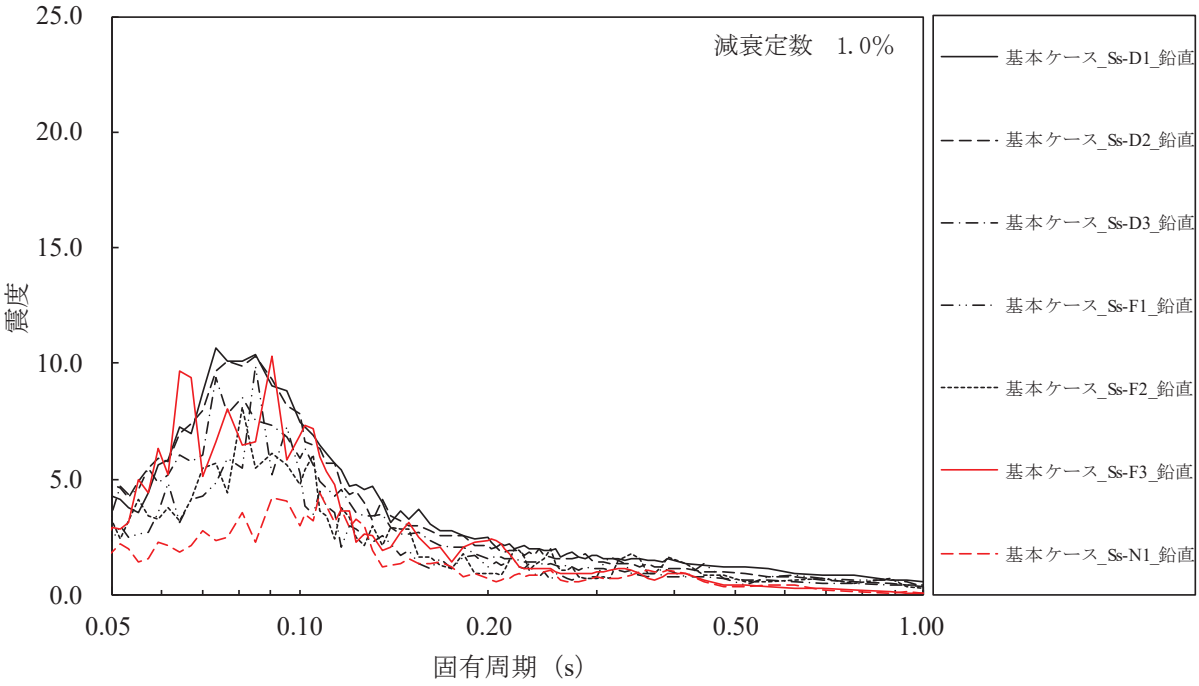

添付図 1-9　原子炉建屋（0.P. -8.100m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



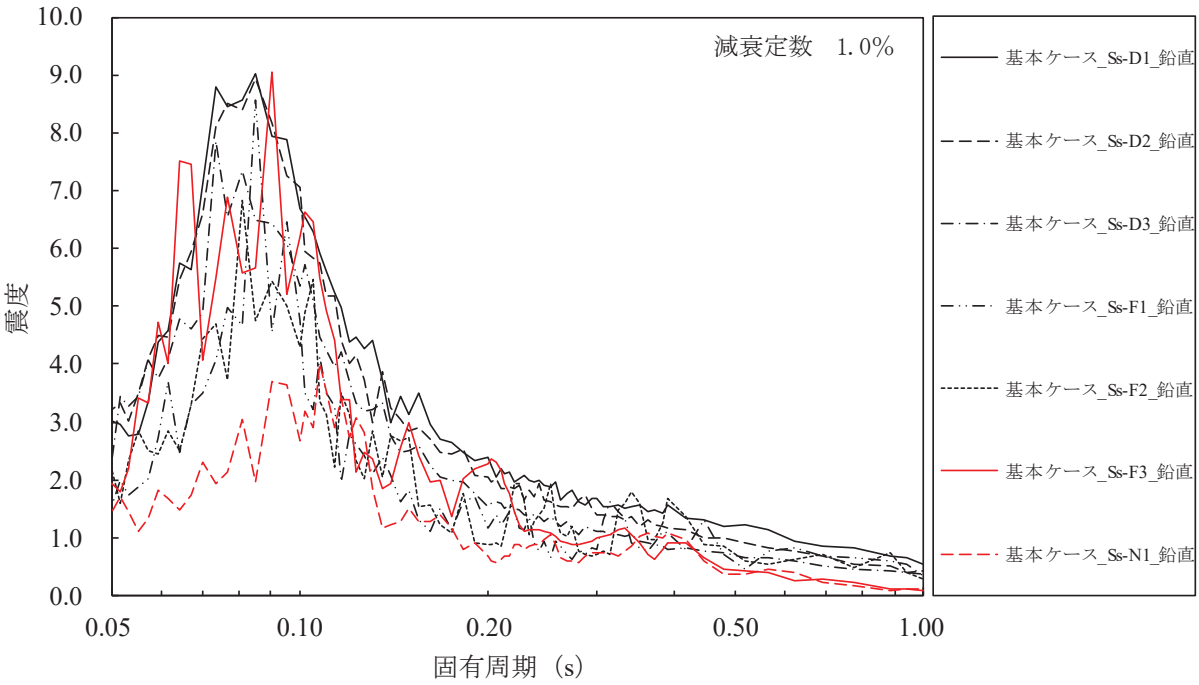

添付図 2-1　原子炉建屋（0.P.　48.725m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



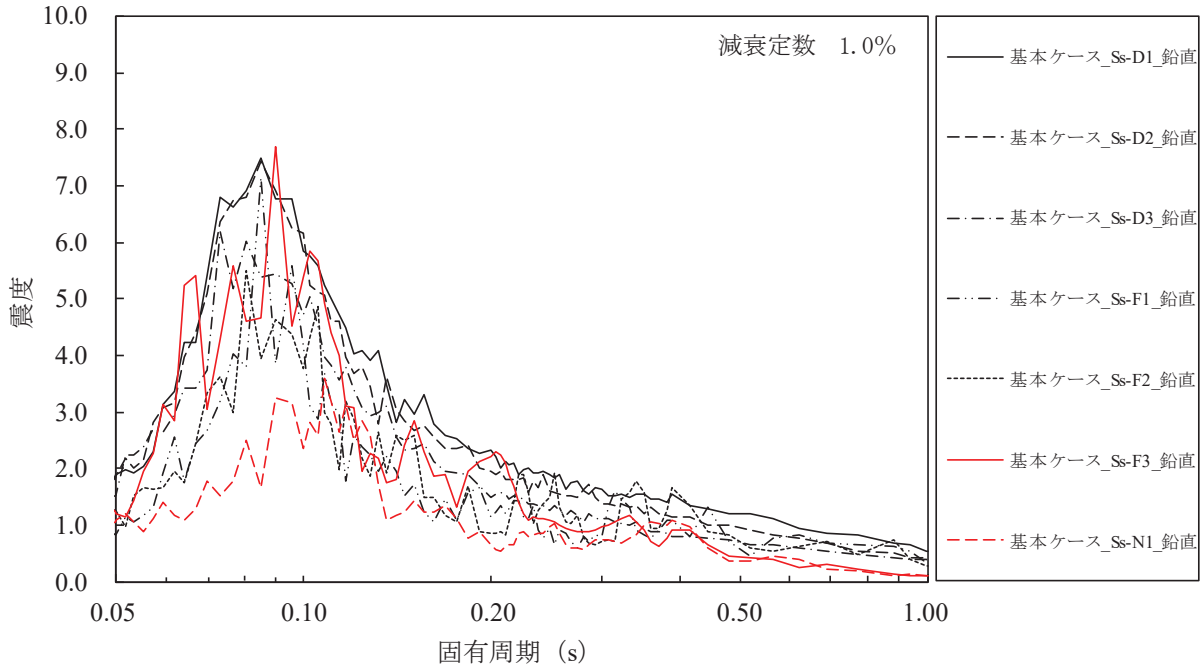

添付図 2-2　原子炉建屋（0.P.　41.200m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



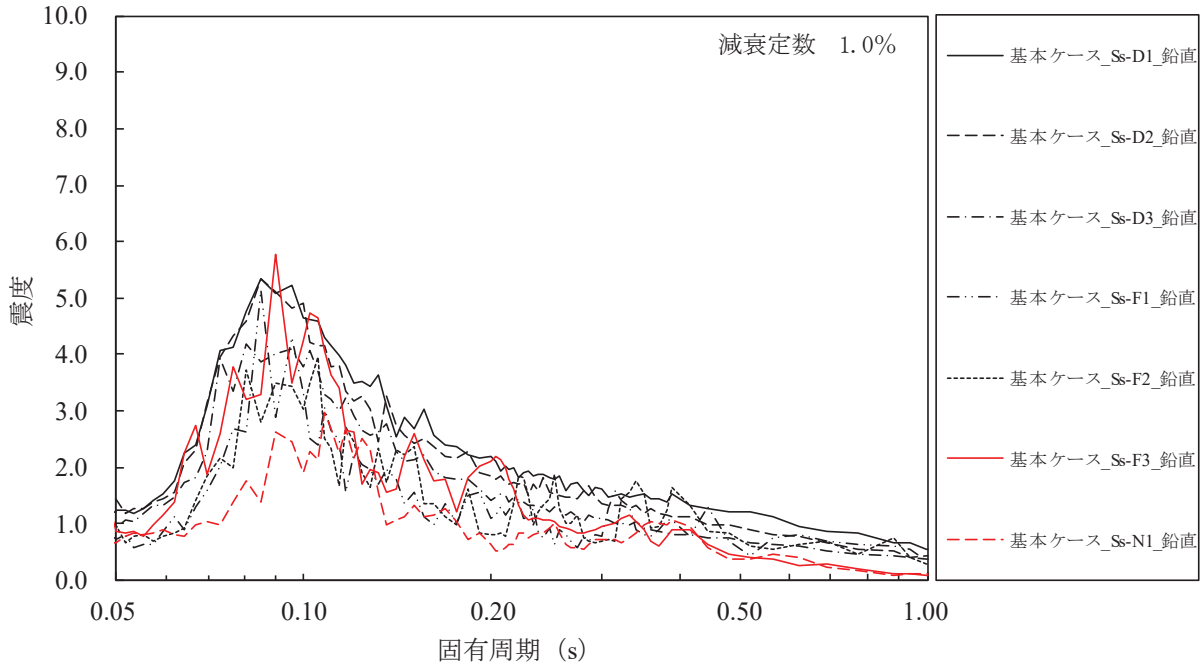

添付図 2-3　原子炉建屋（0.P.　33.200m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



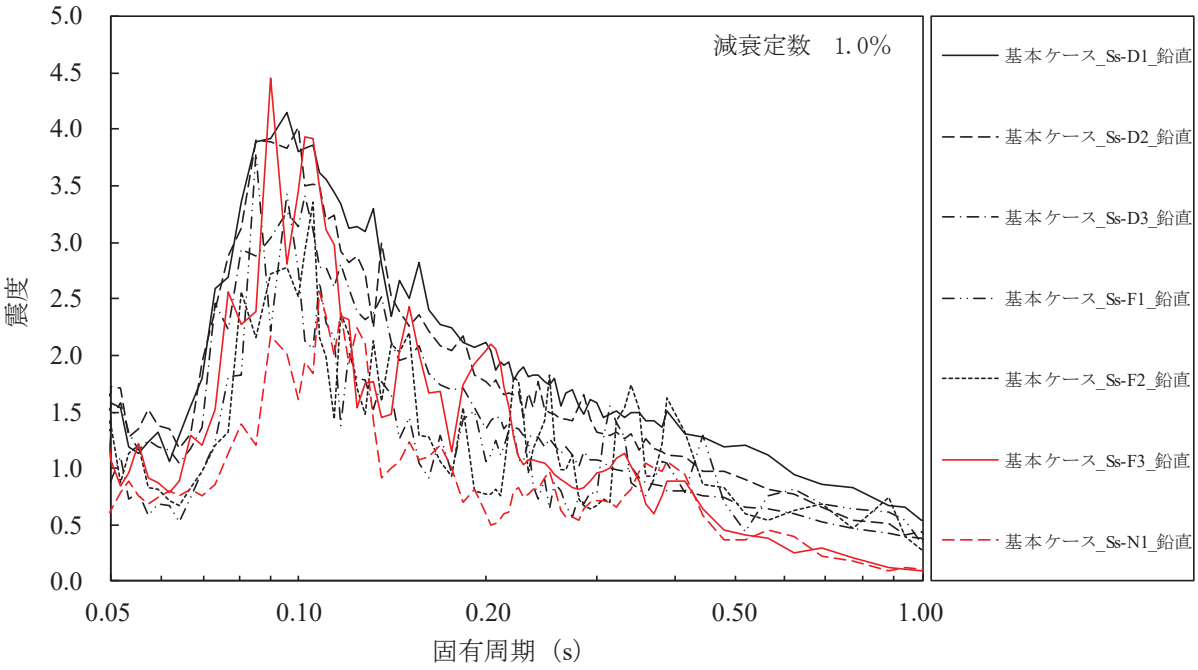

添付図 2-4　原子炉建屋（0.P.　22.500m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



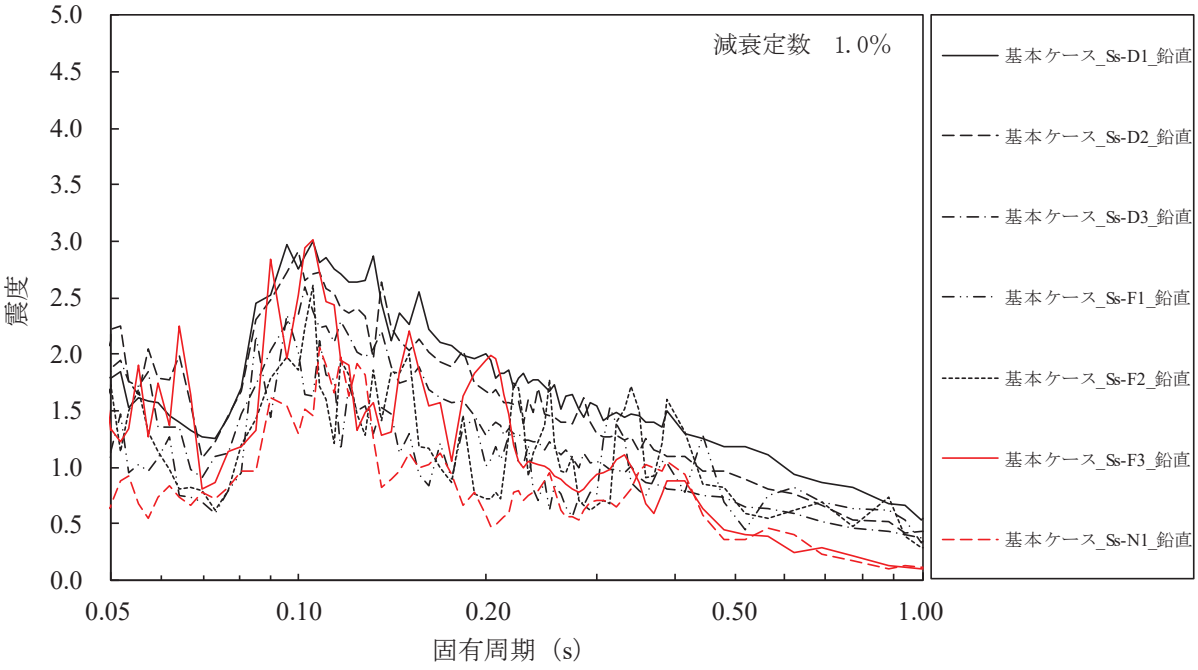

添付図 2-5　原子炉建屋（0.P.　15.000m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



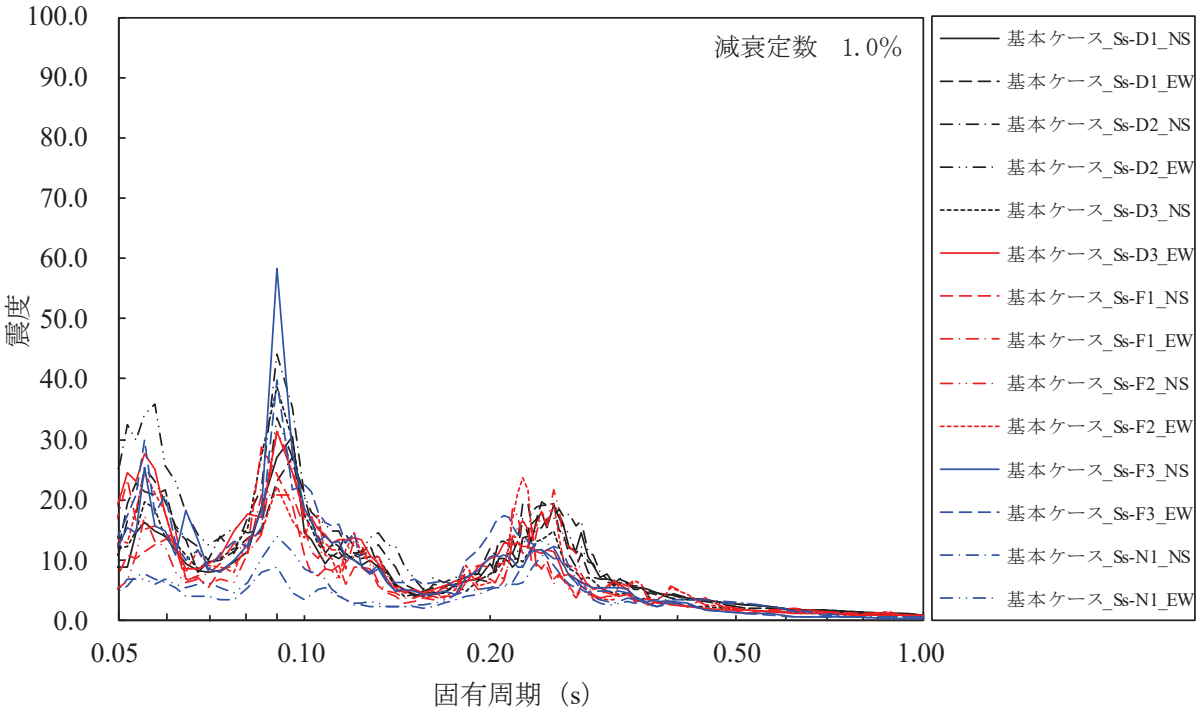

添付図 2-6　原子炉建屋（0.P.　6.000m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



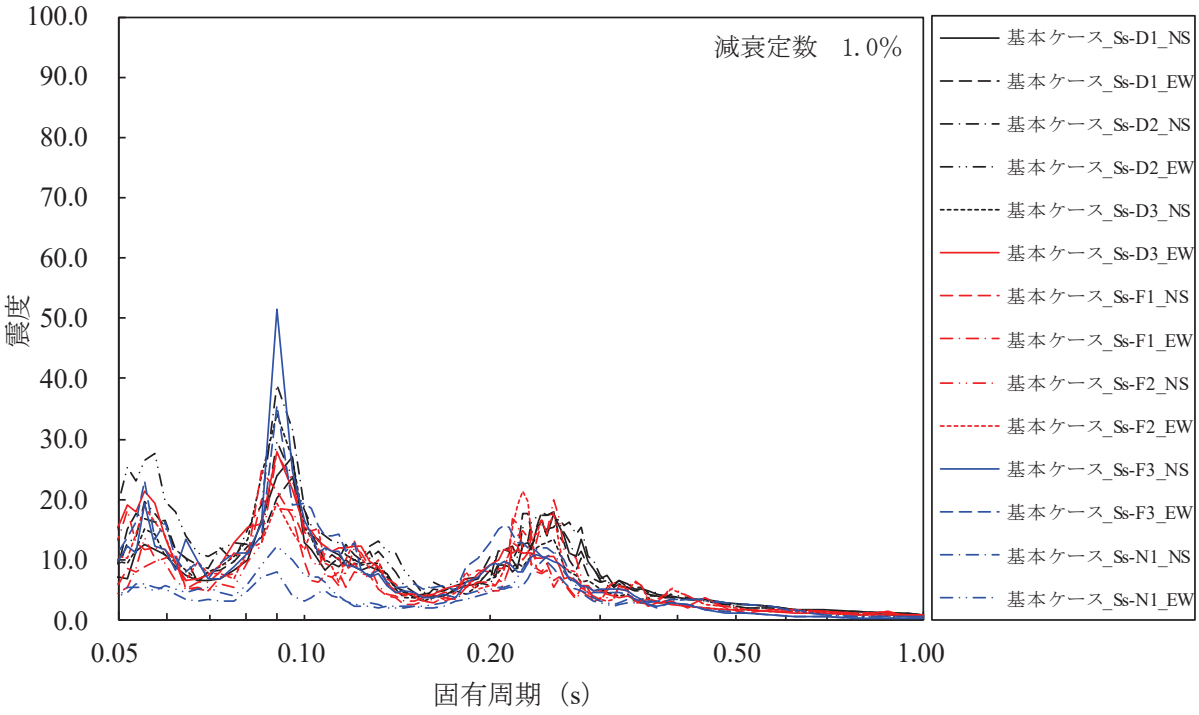

添付図 2-7　原子炉建屋（0.P. -0.800m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



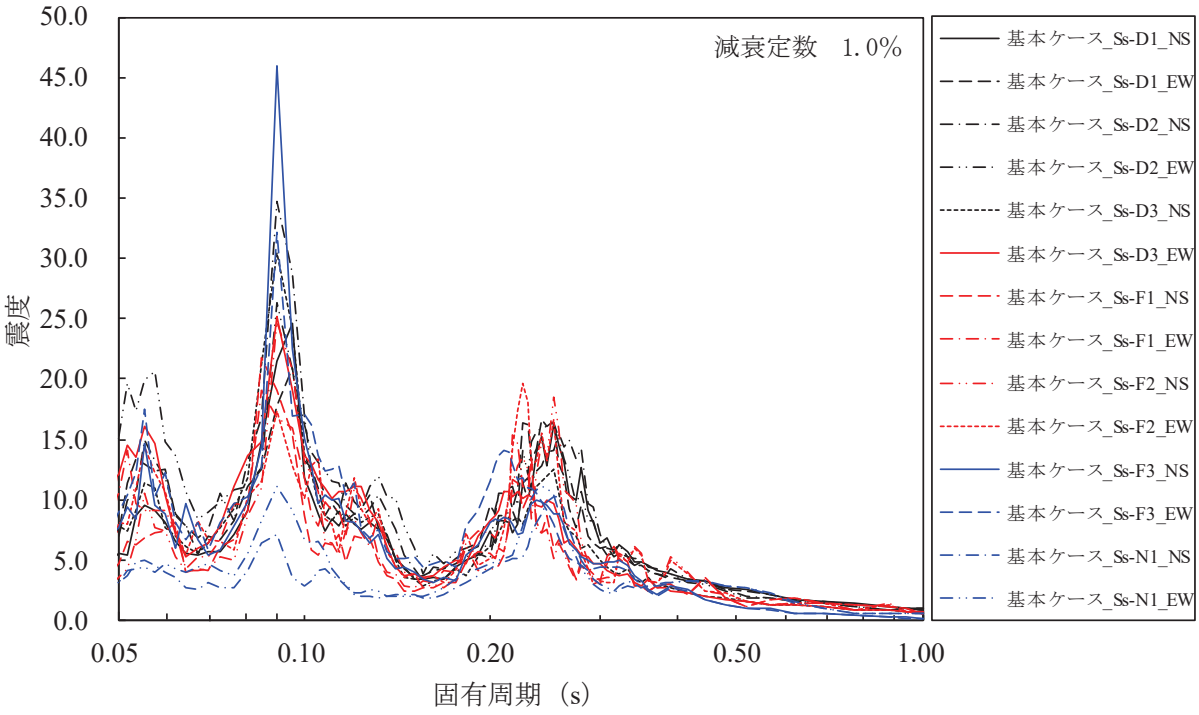

添付図 2-8　原子炉建屋（0.P. -8.100m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



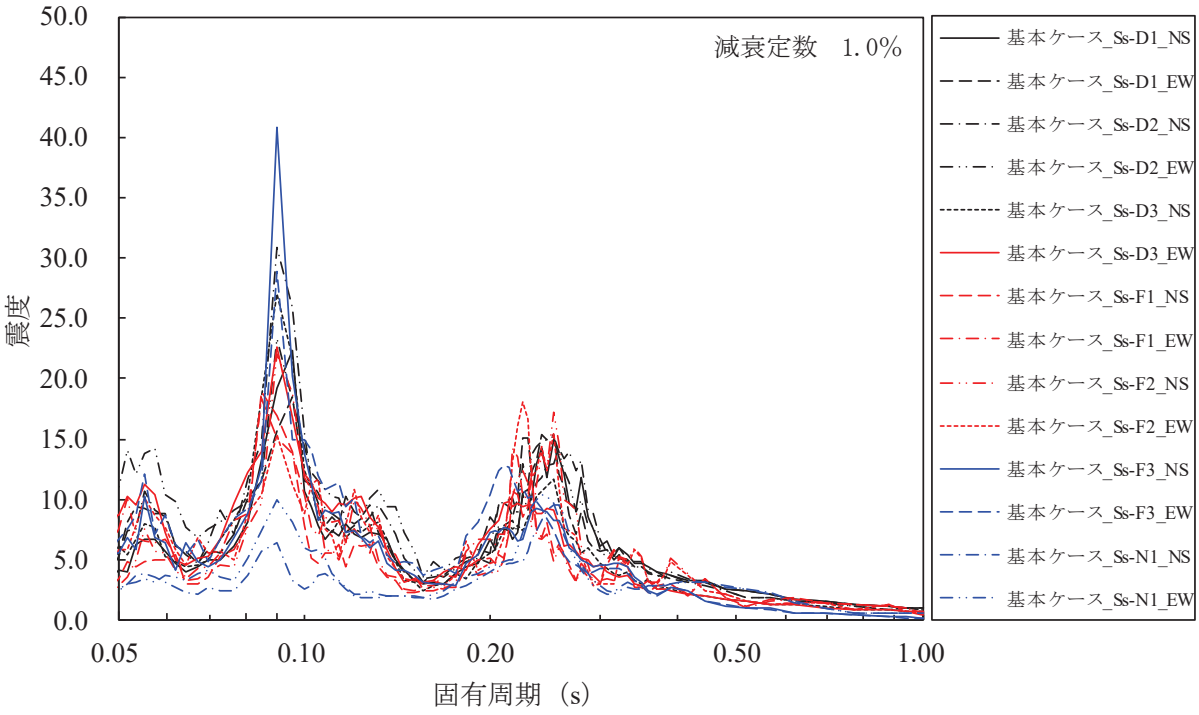

添付図 3-1　原子炉圧力容器（0.P. 28.600m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



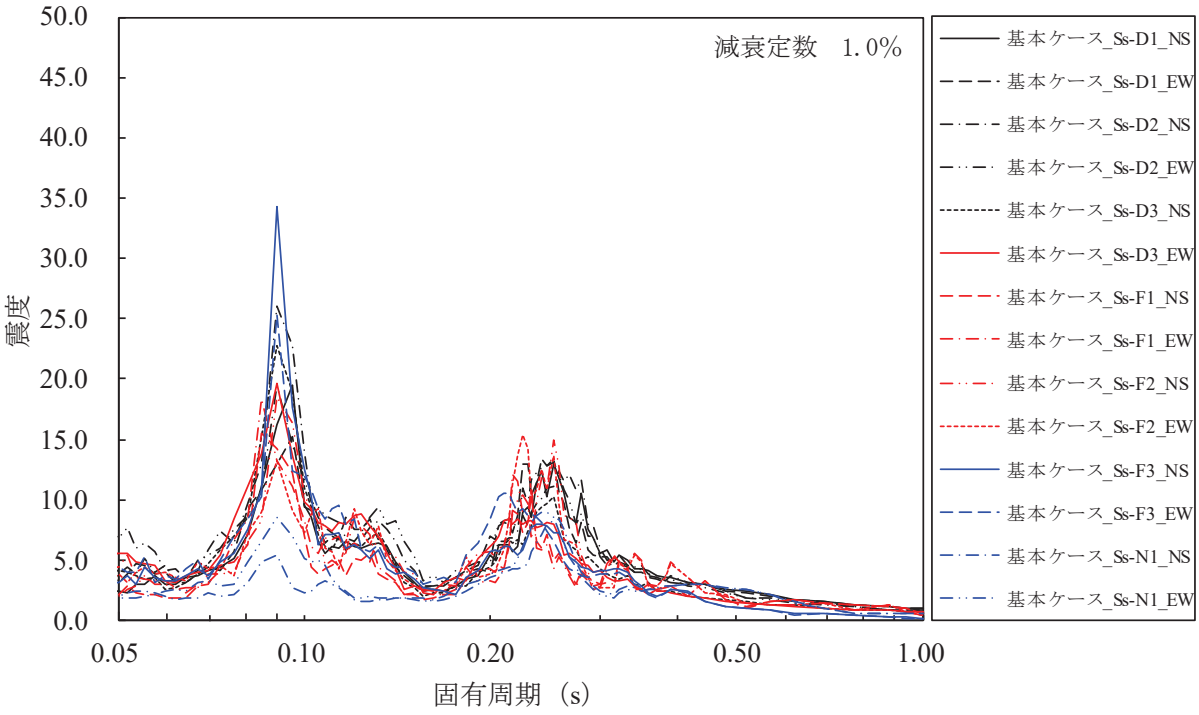

添付図 3-2　原子炉圧力容器（0.P. 25.858m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



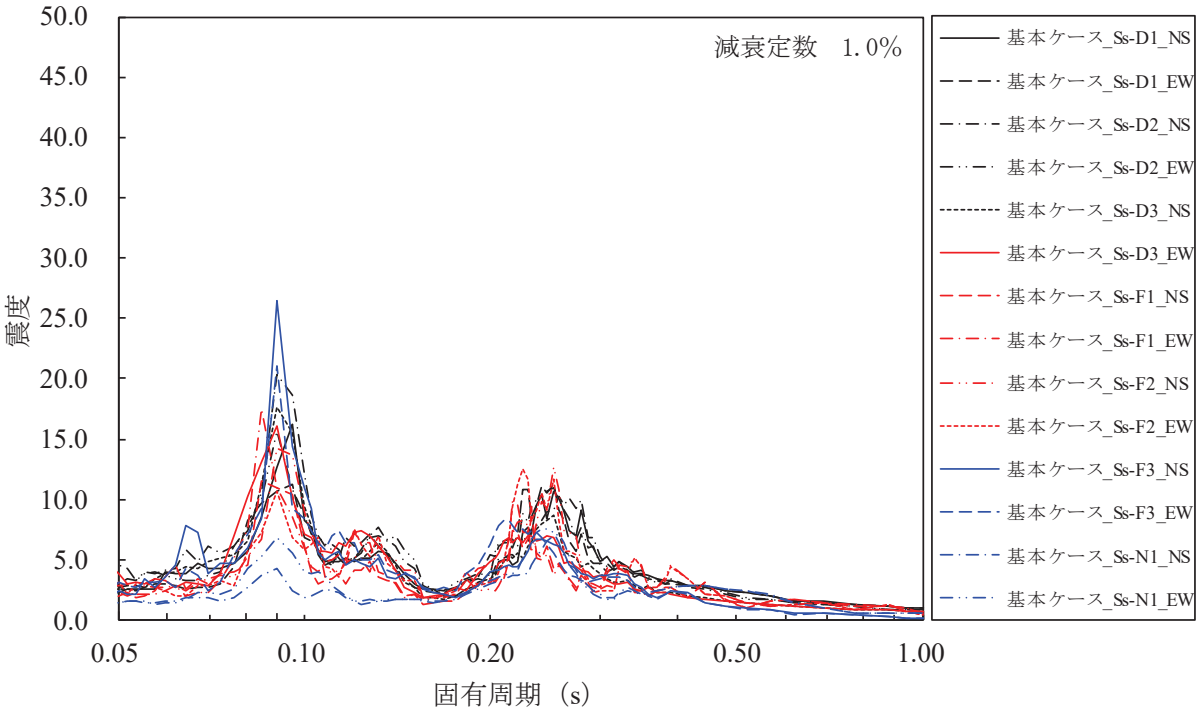

添付図 3-3　原子炉圧力容器（0.P. 23.667m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



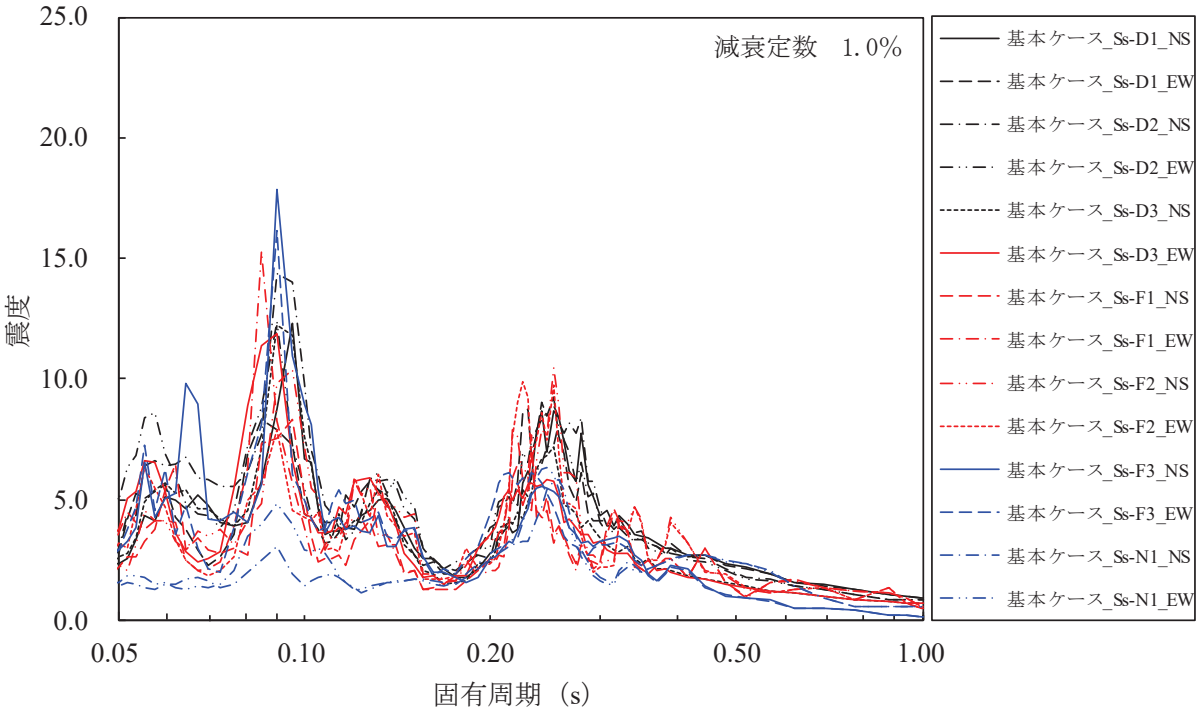

添付図 3-4　原子炉圧力容器（0.P. 21.770m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



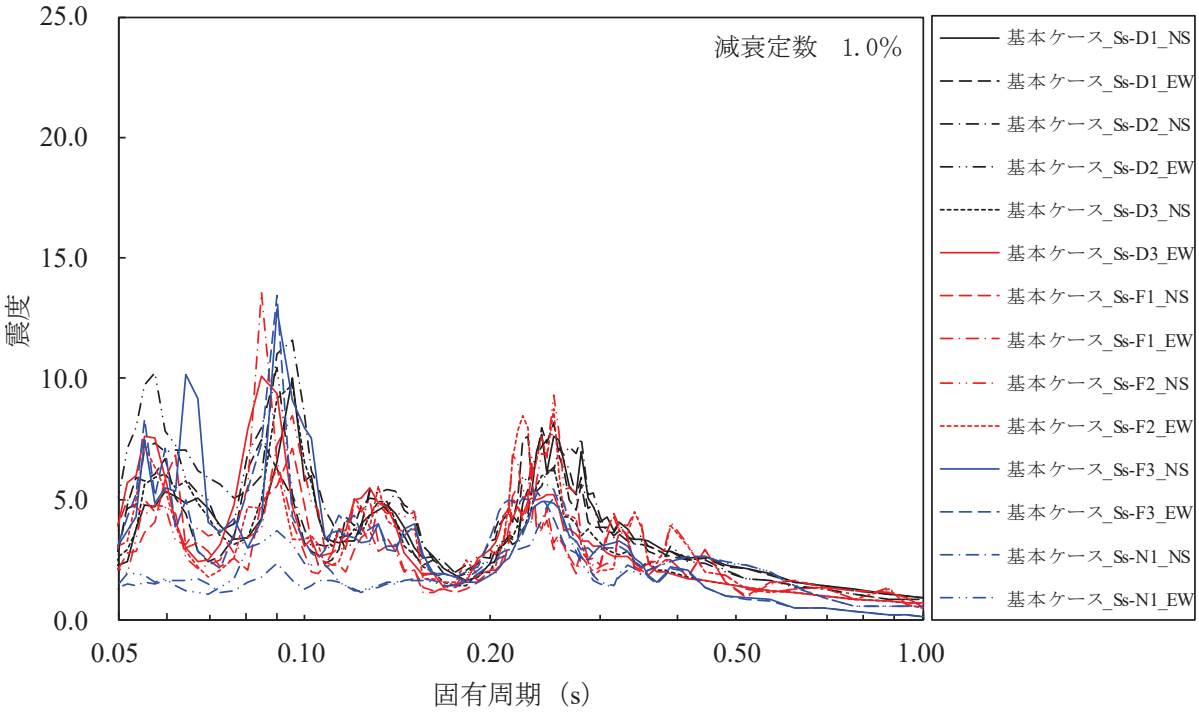

添付図 3-5　原子炉圧力容器（0.P.　18.417m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



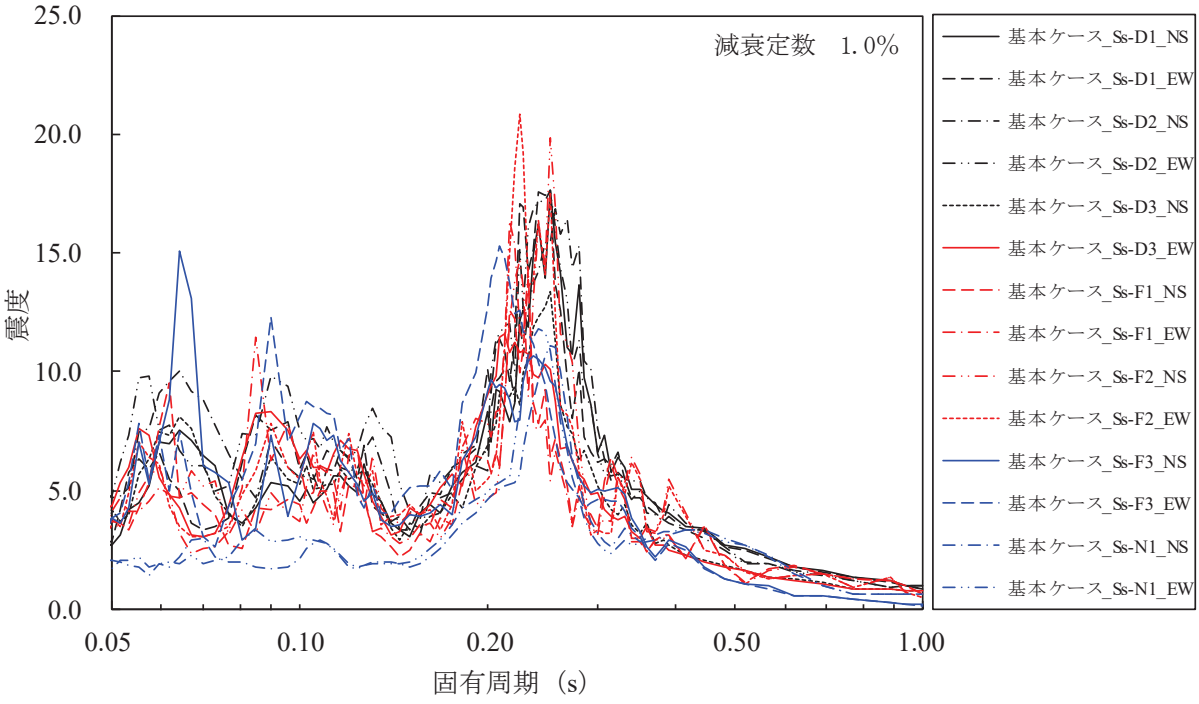

添付図 3-6　原子炉圧力容器（0.P.　14.776m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



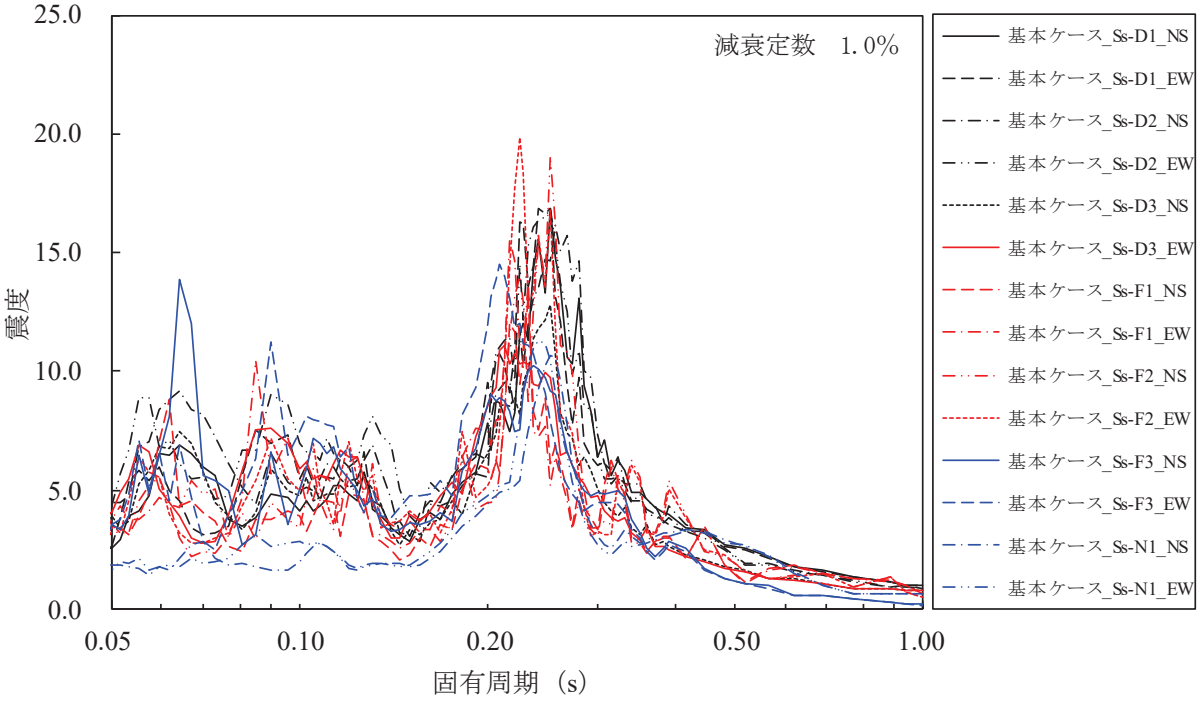

添付図 3-7　原子炉圧力容器（0.P.　11.310m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



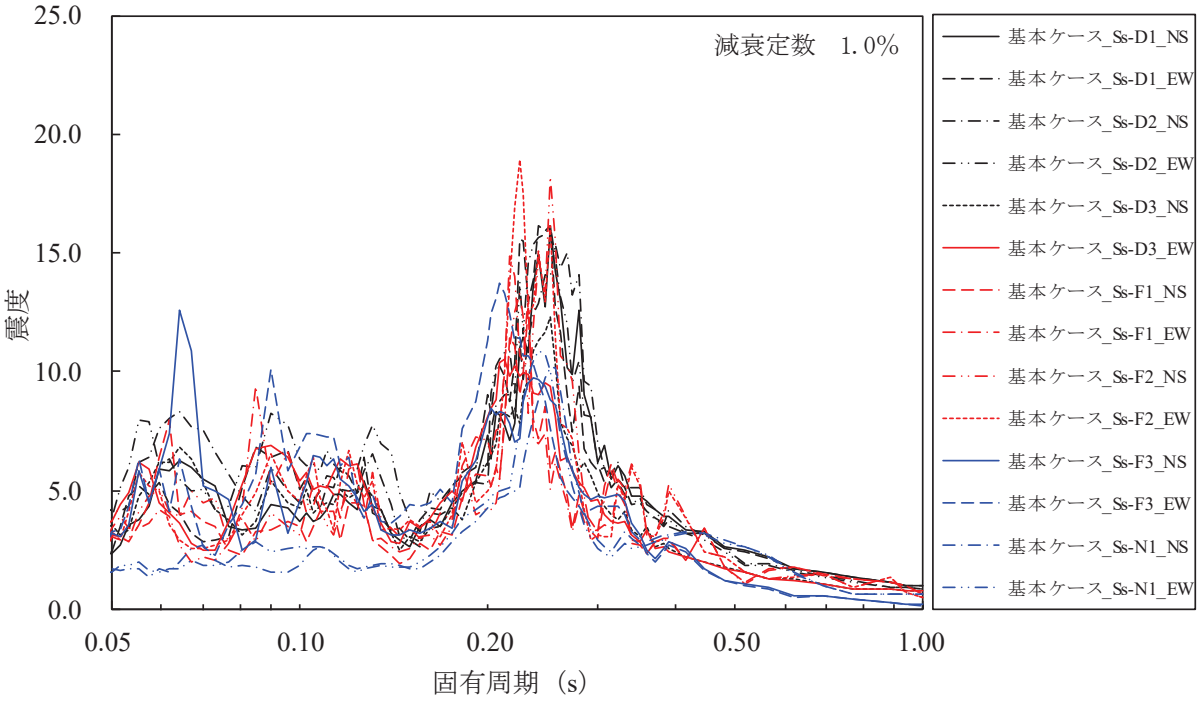

添付図 3-8　原子炉圧力容器（0.P.　9.334m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



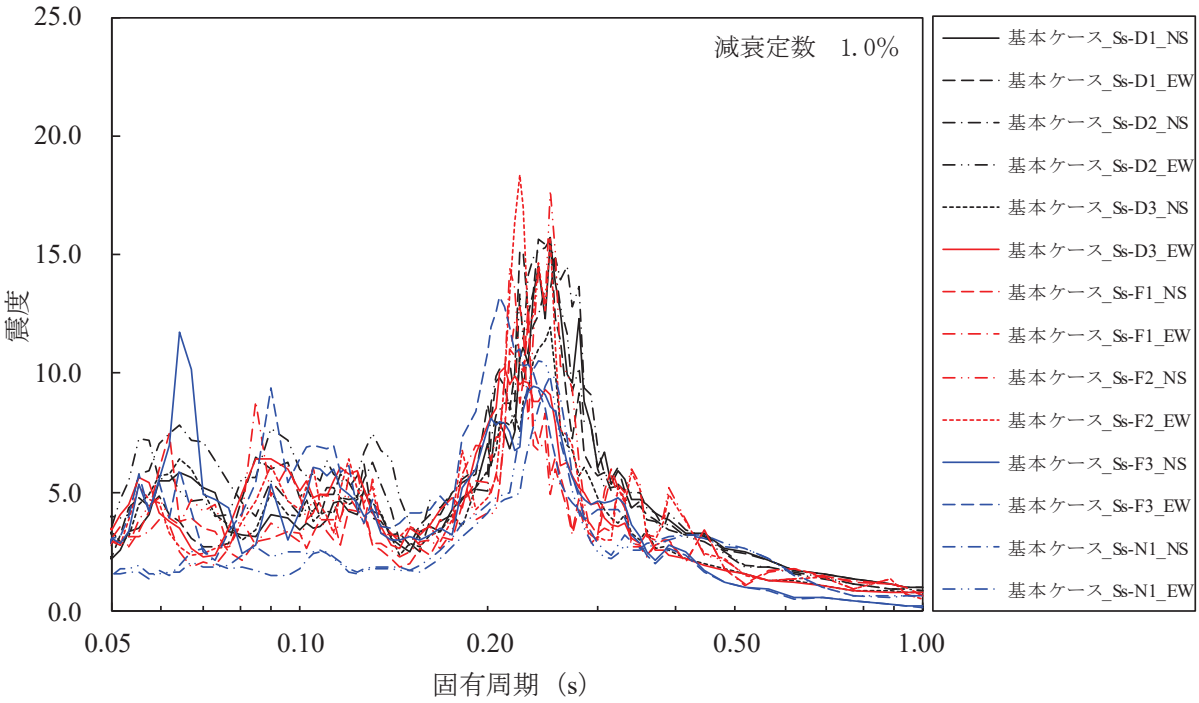

添付図 3-9　原子炉格納容器（0.P.　30.300m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



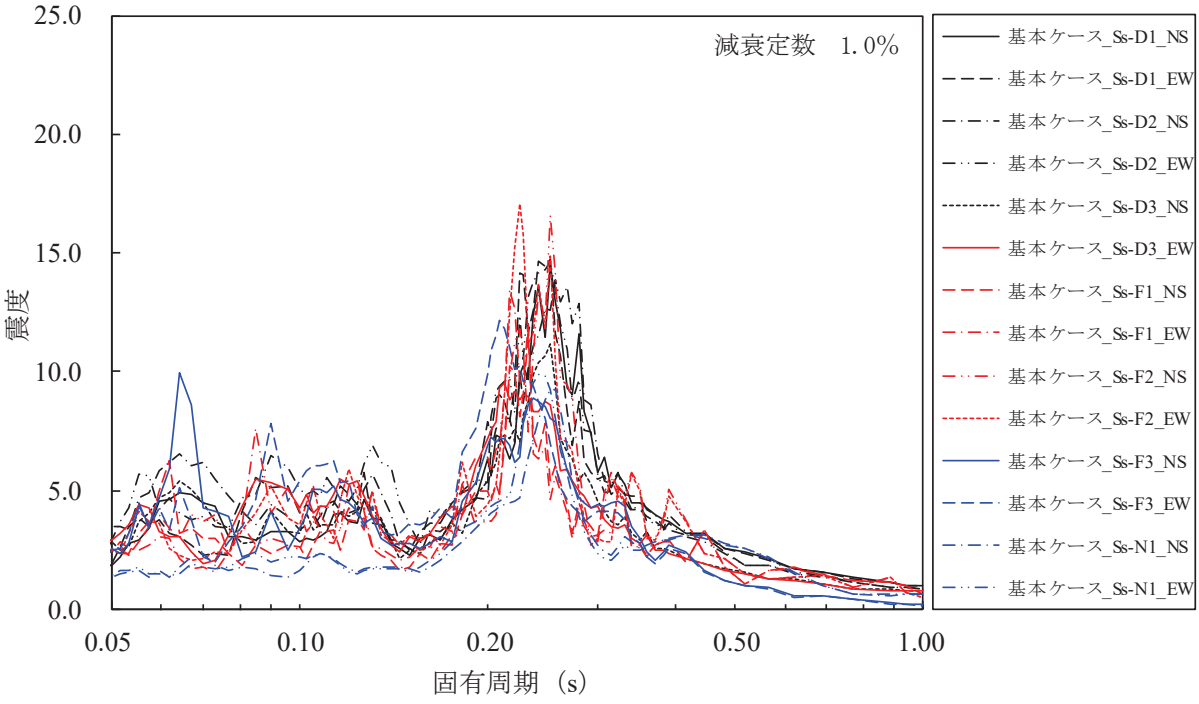

添付図 3-10　原子炉格納容器（0.P.　27.995m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



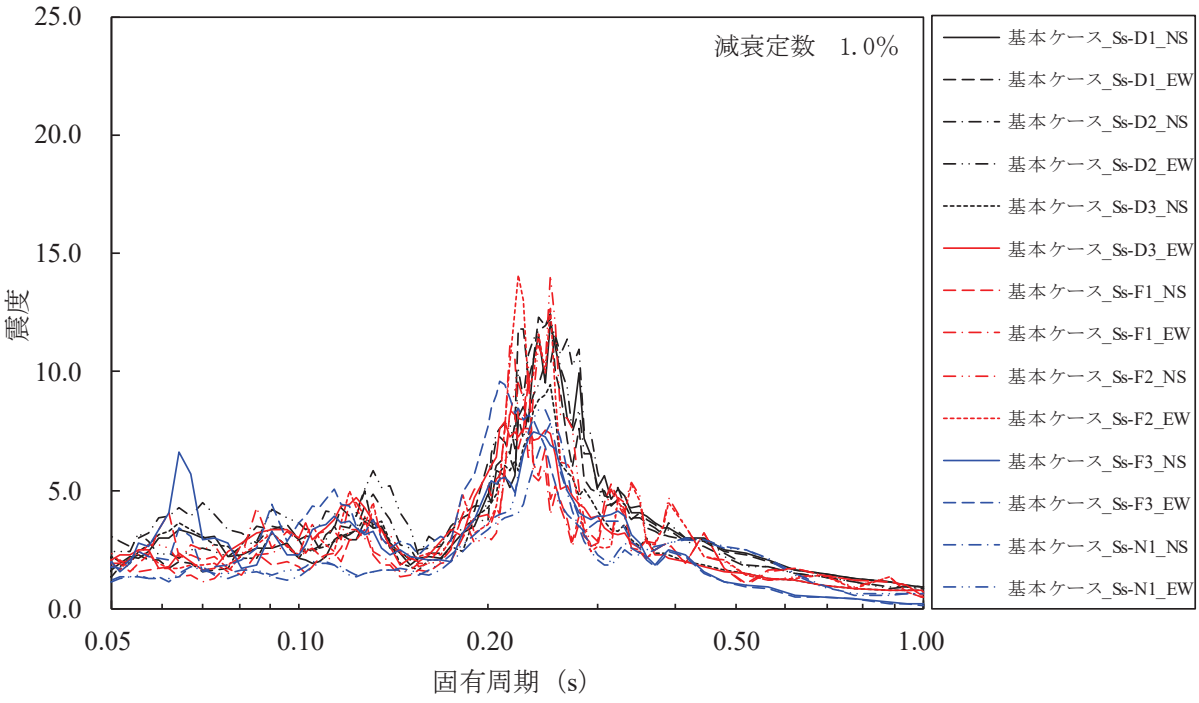

添付図 3-11　原子炉格納容器（0.P.　25.858m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



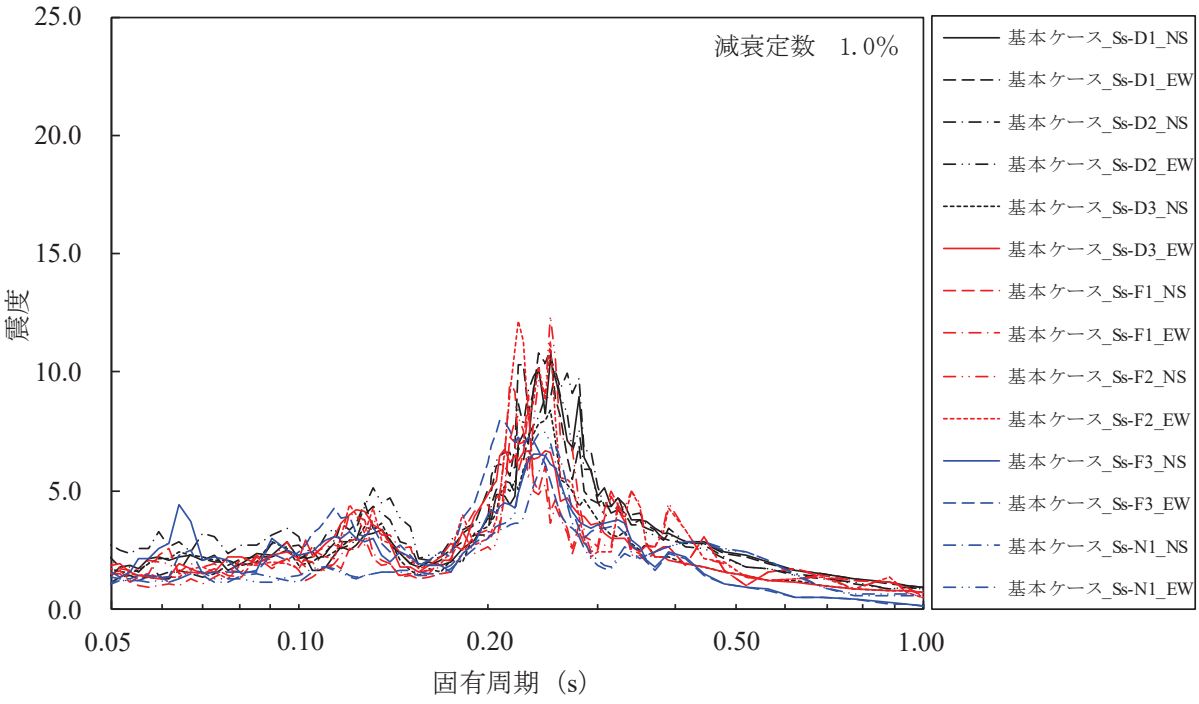

添付図 3-12　原子炉格納容器（0.P.　24.464m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



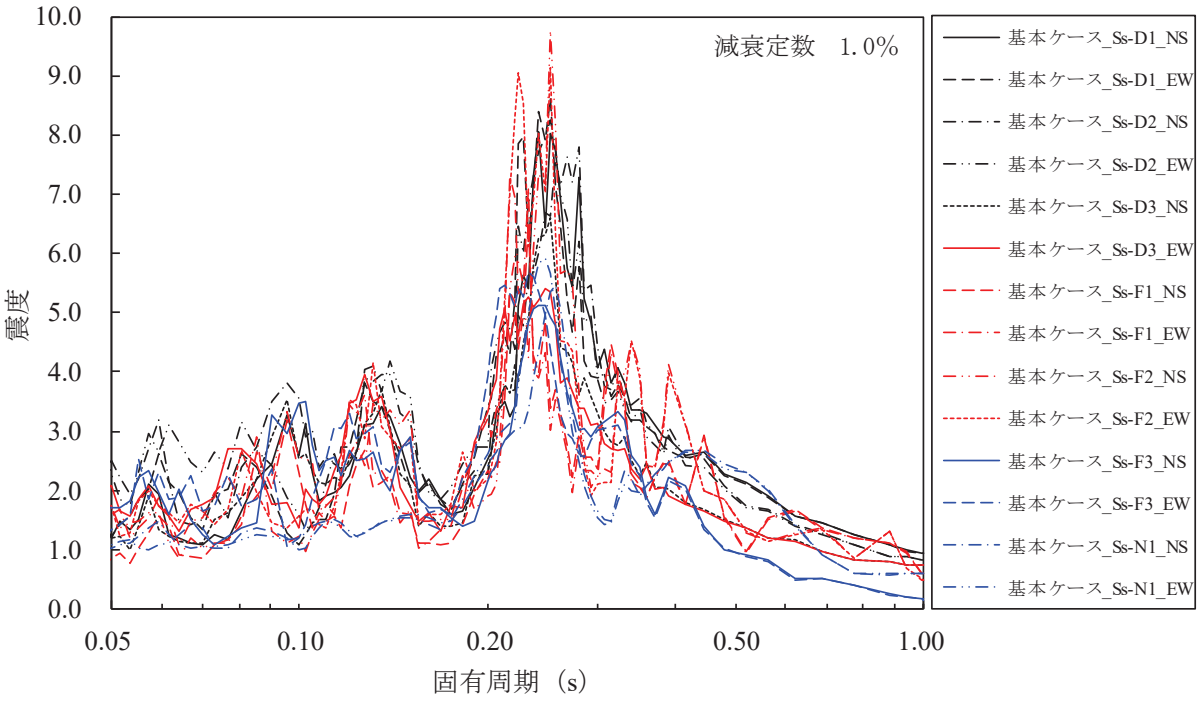

添付図 3-13　原子炉格納容器（0.P. 21.550m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



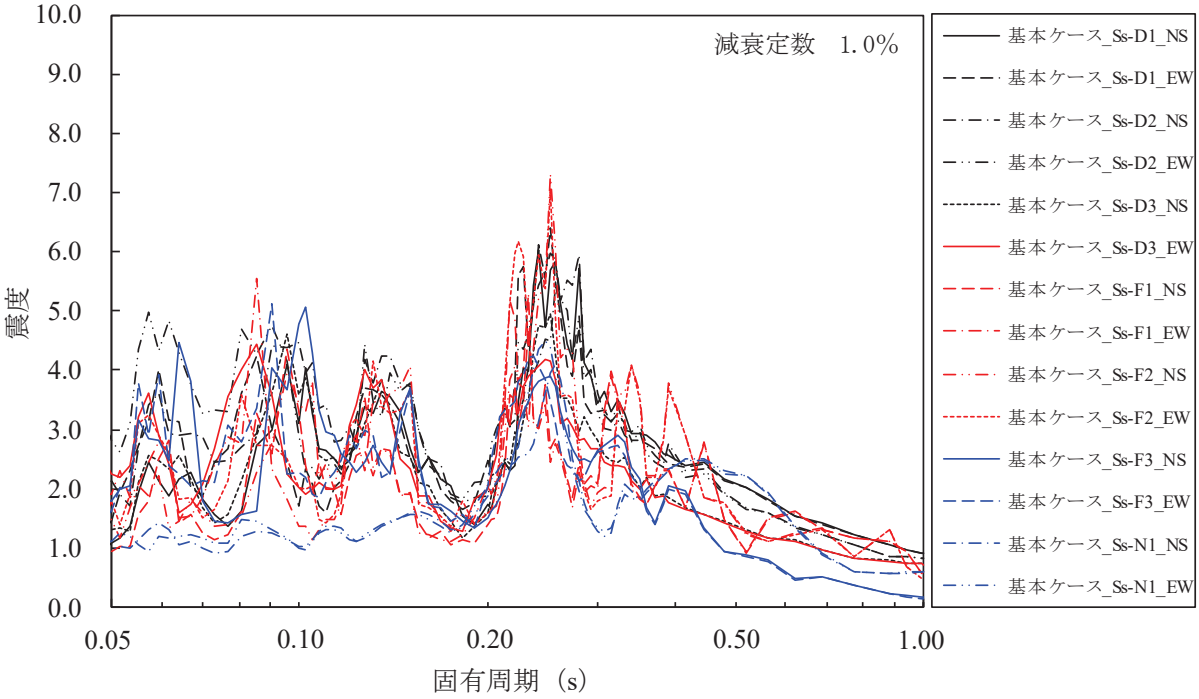

添付図 3-14　原子炉格納容器（0.P. 17.150m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



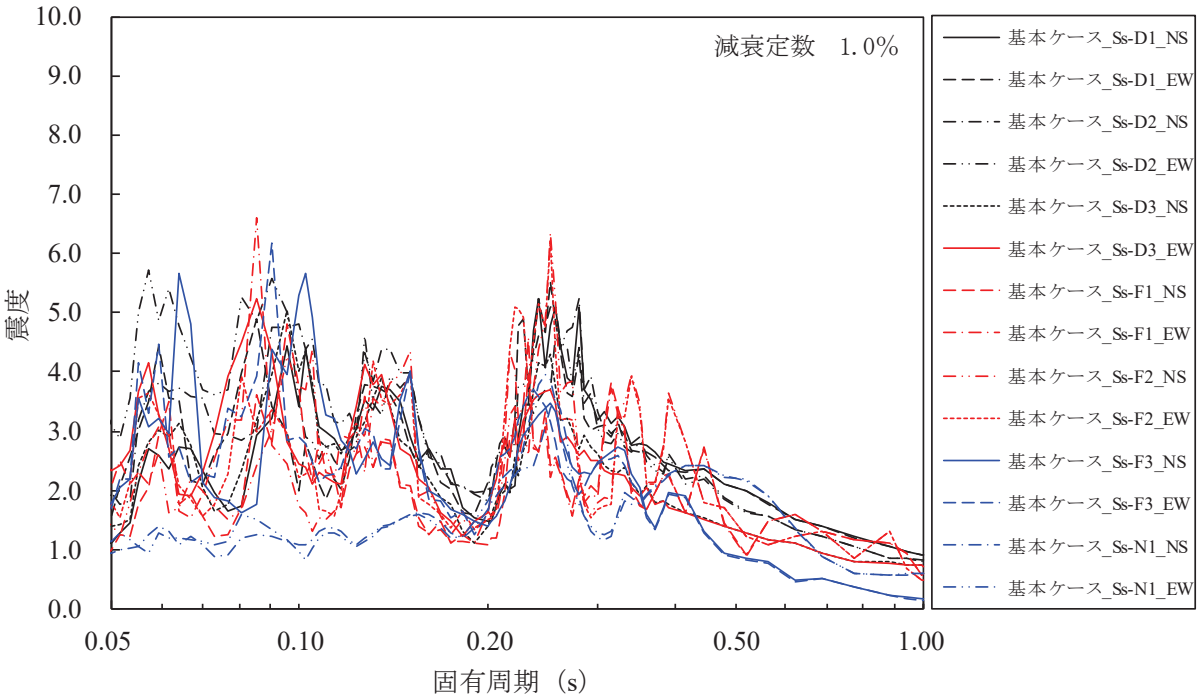

添付図 3-15　原子炉格納容器（0.P. 14.295m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



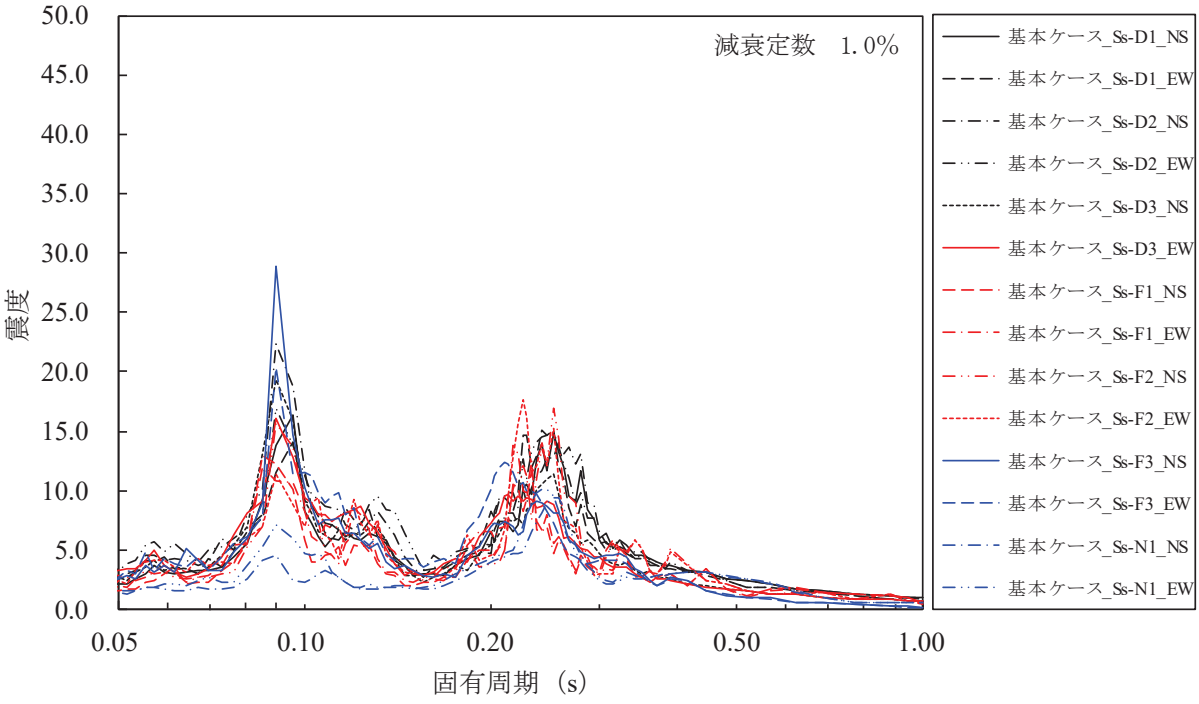

添付図 3-16　原子炉格納容器（0.P. 9.448m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



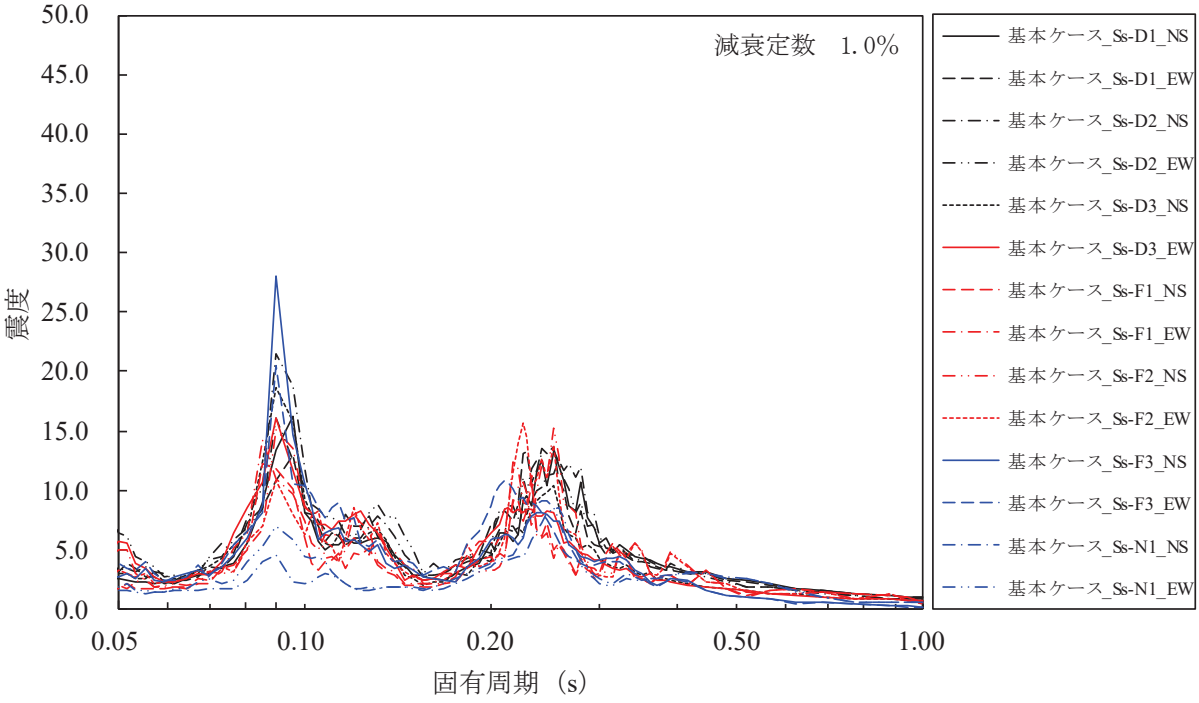

添付図 3-17　原子炉格納容器（0.P. 4.600m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



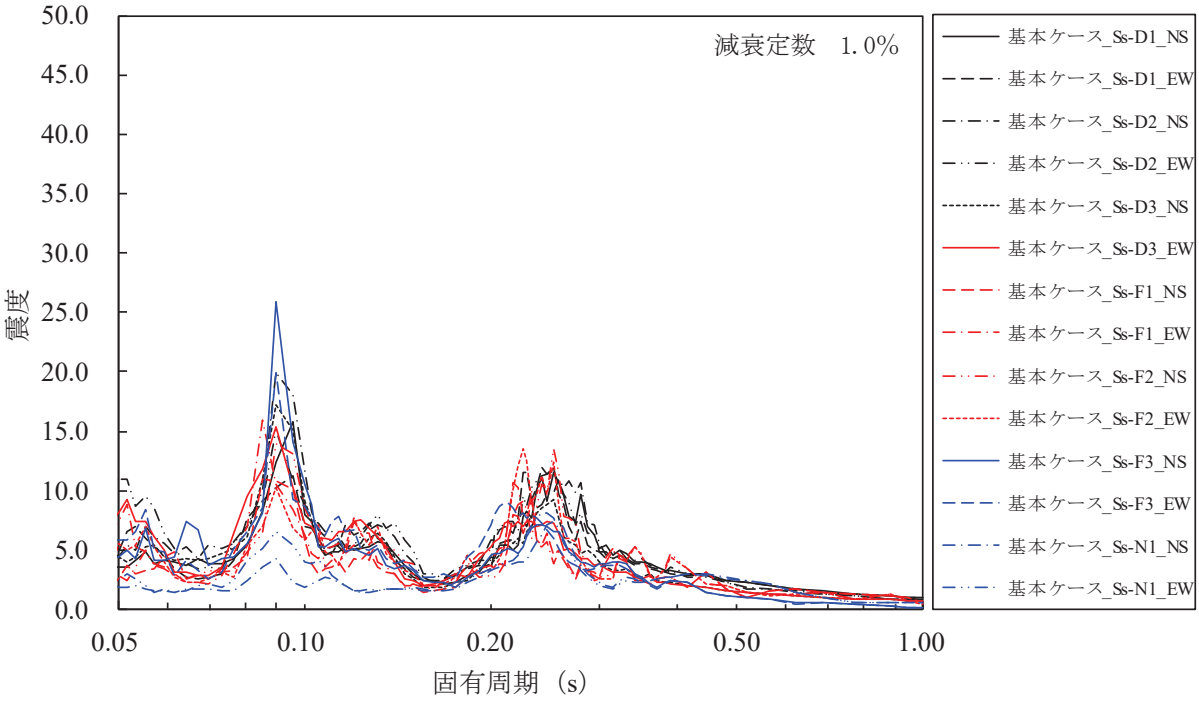

添付図 3-18　原子炉格納容器（0.P. 2.600m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



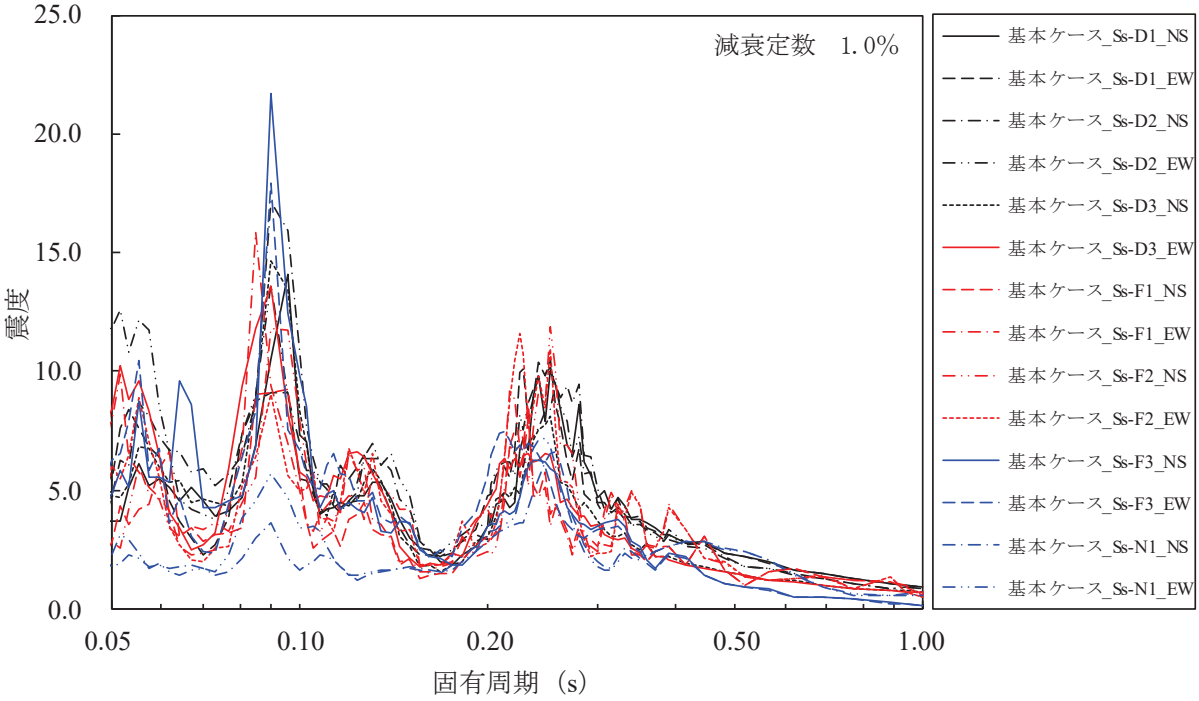

添付図 3-19　原子炉しゃへい壁（0.P. 21.550m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



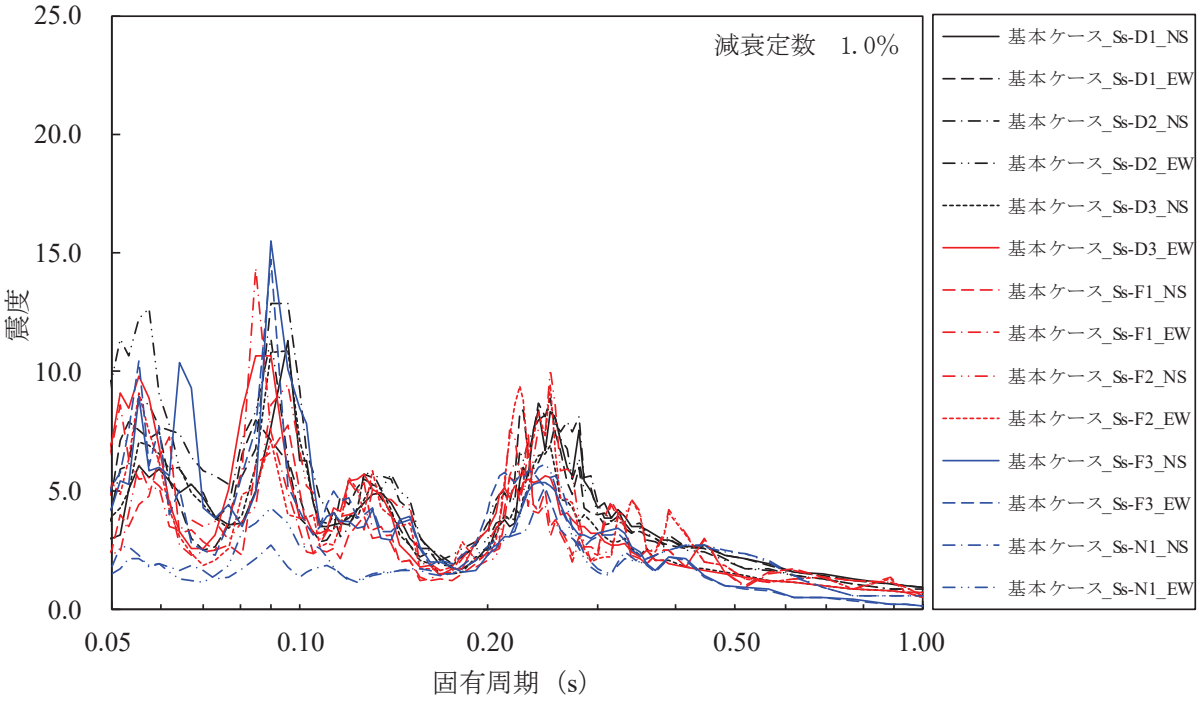

添付図 3-20　原子炉しゃへい壁（0.P. 18.790m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



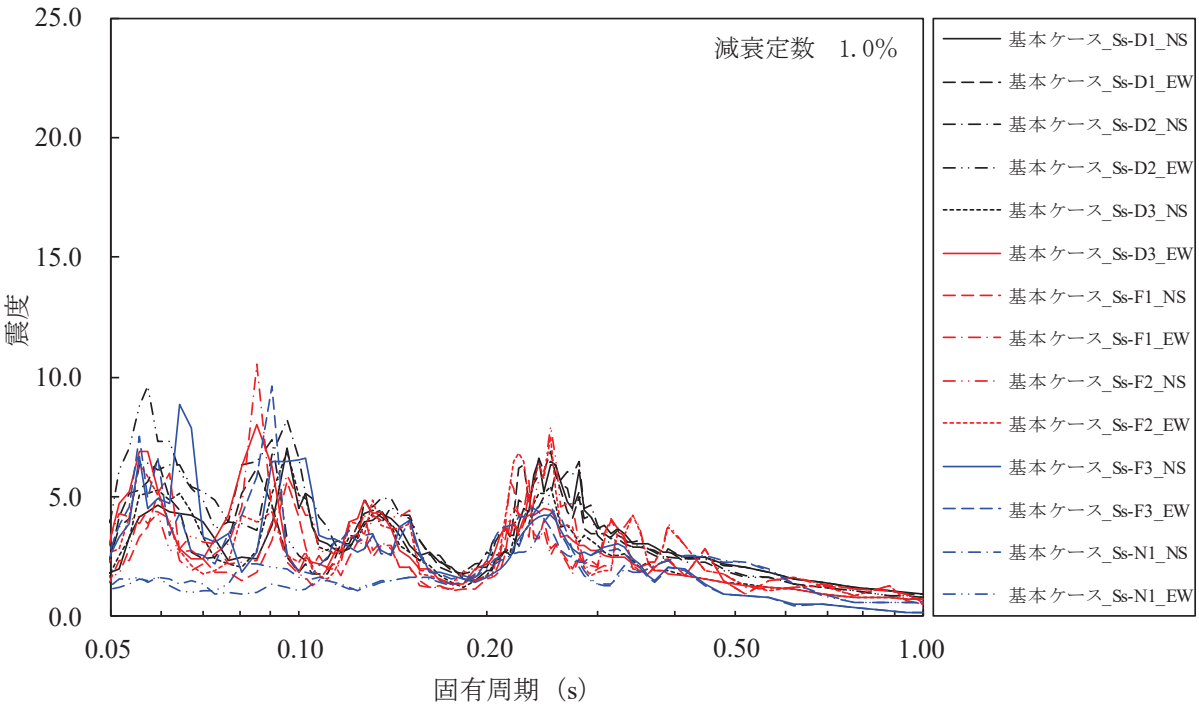

添付図 3-21　原子炉しゃへい壁（0.P. 15.950m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



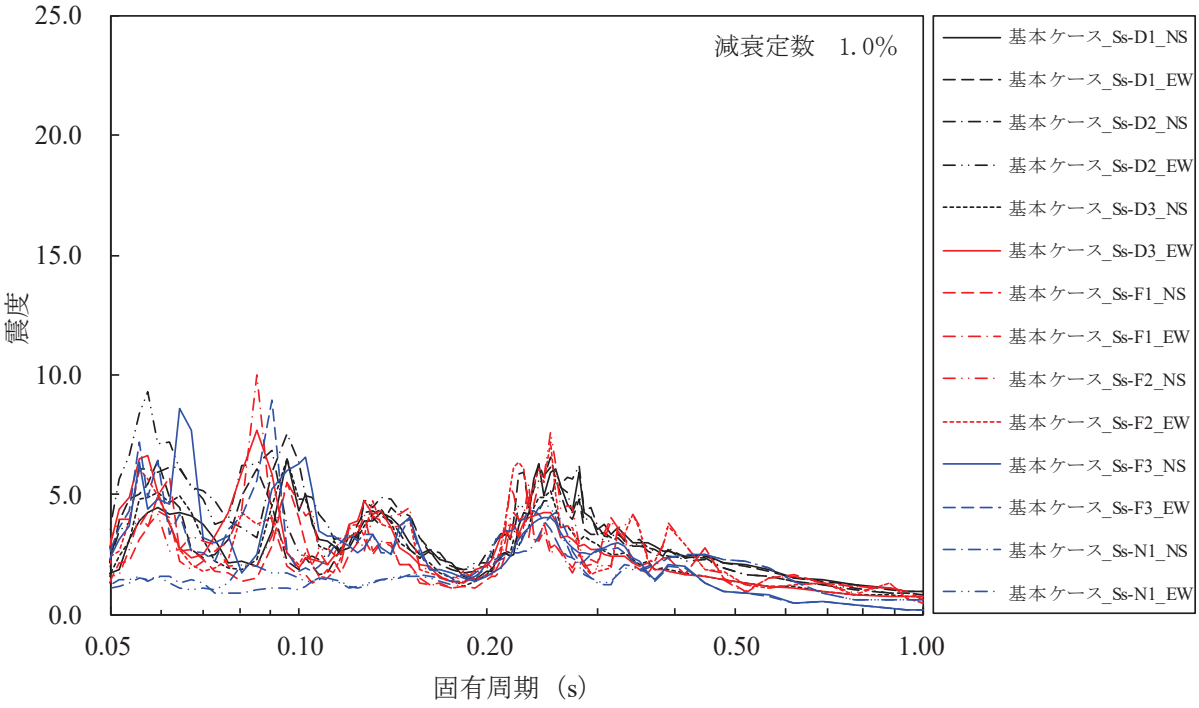

添付図 3-22　原子炉しゃへい壁（0.P. 13.400m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



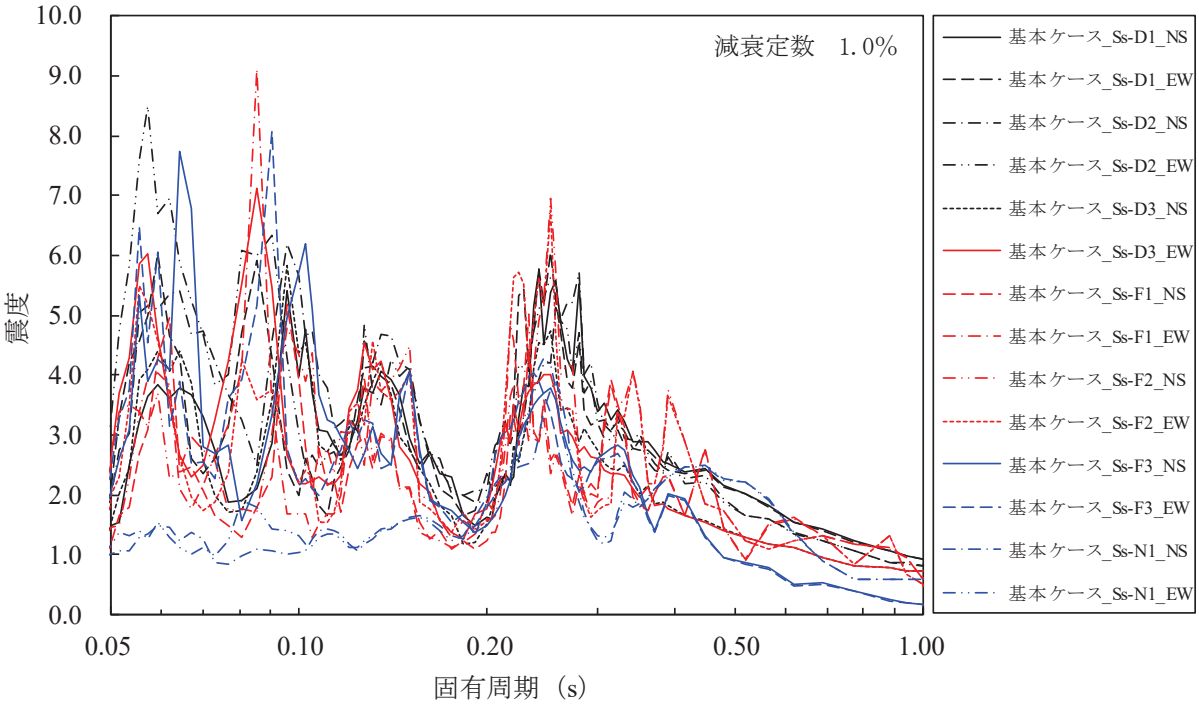

添付図 3-23　原子炉しゃへい壁（0.P. 10.600m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



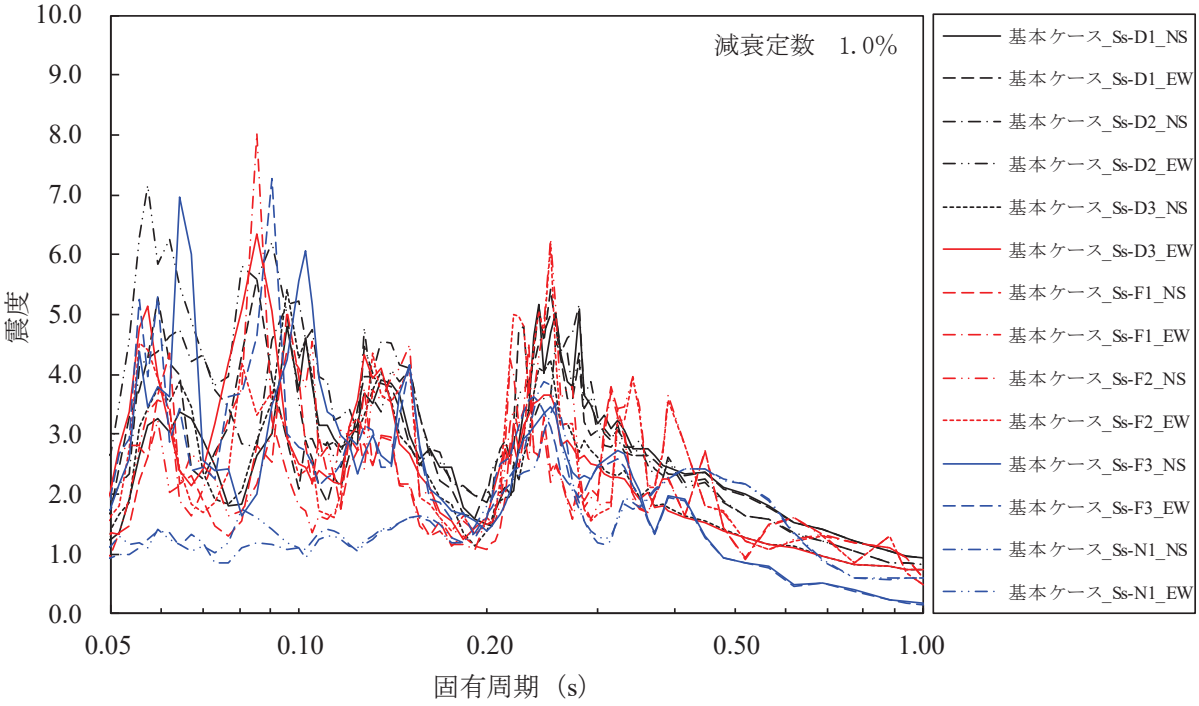

添付図 3-24　原子炉本体の基礎（0.P. 7.040m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



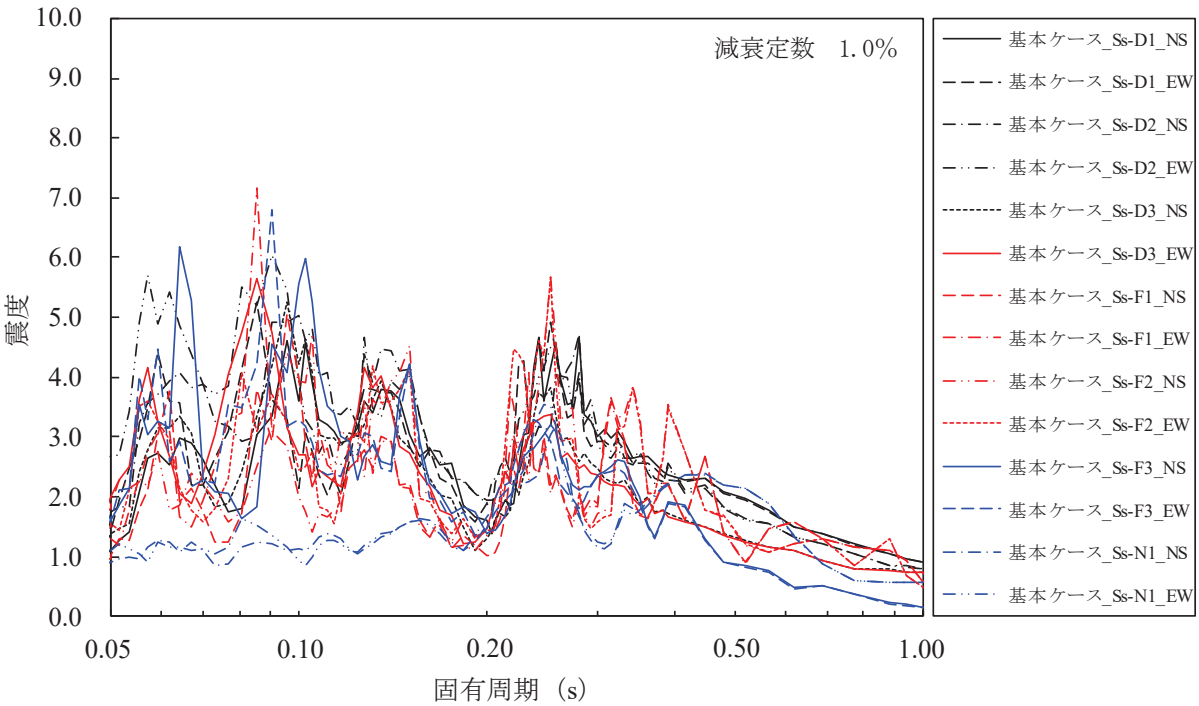

添付図 3-25　原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



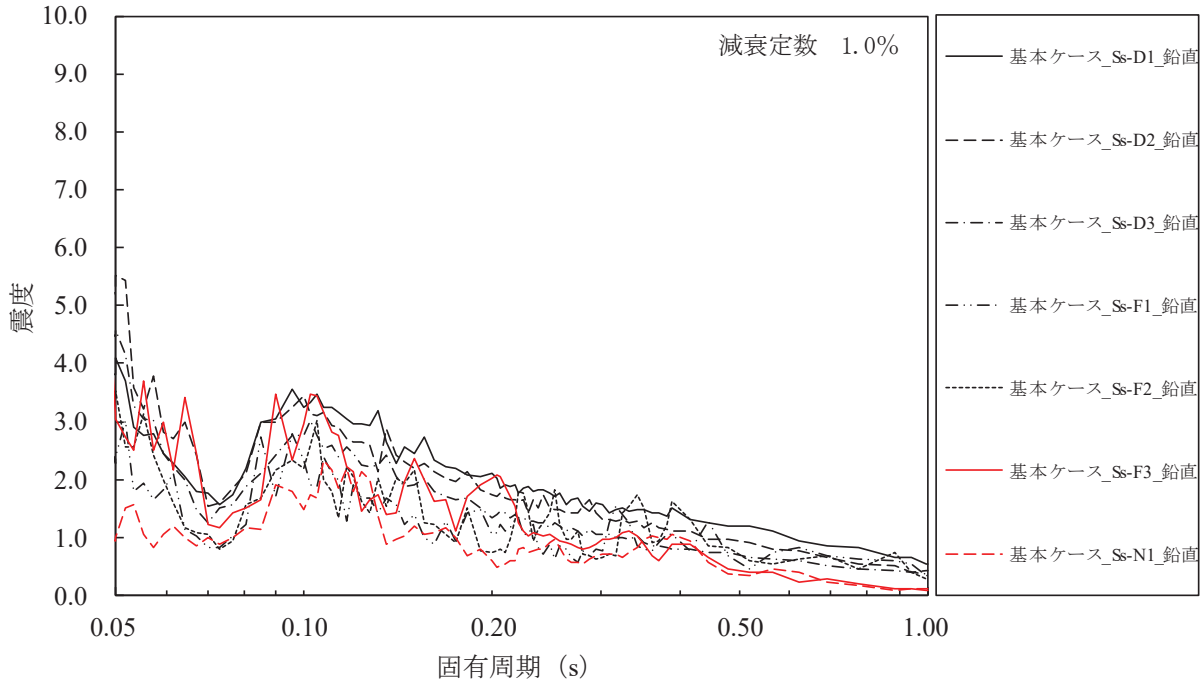

添付図 3-26　原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



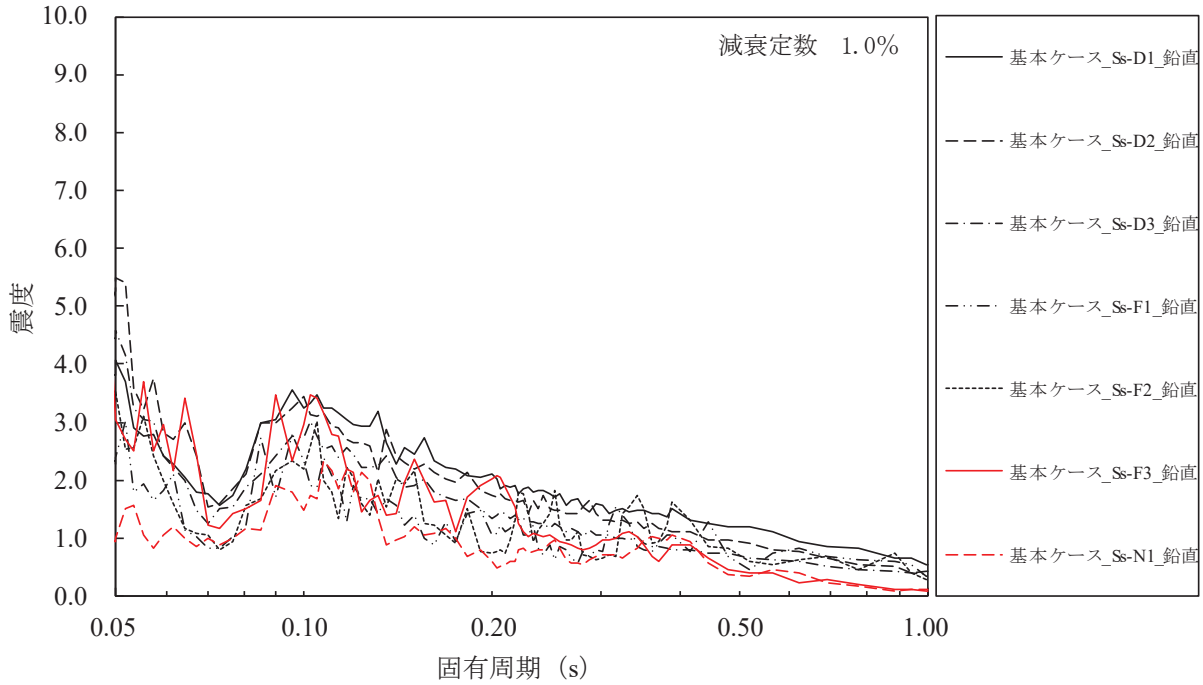

添付図 3-27　原子炉本体の基礎（O.P. 3.050m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



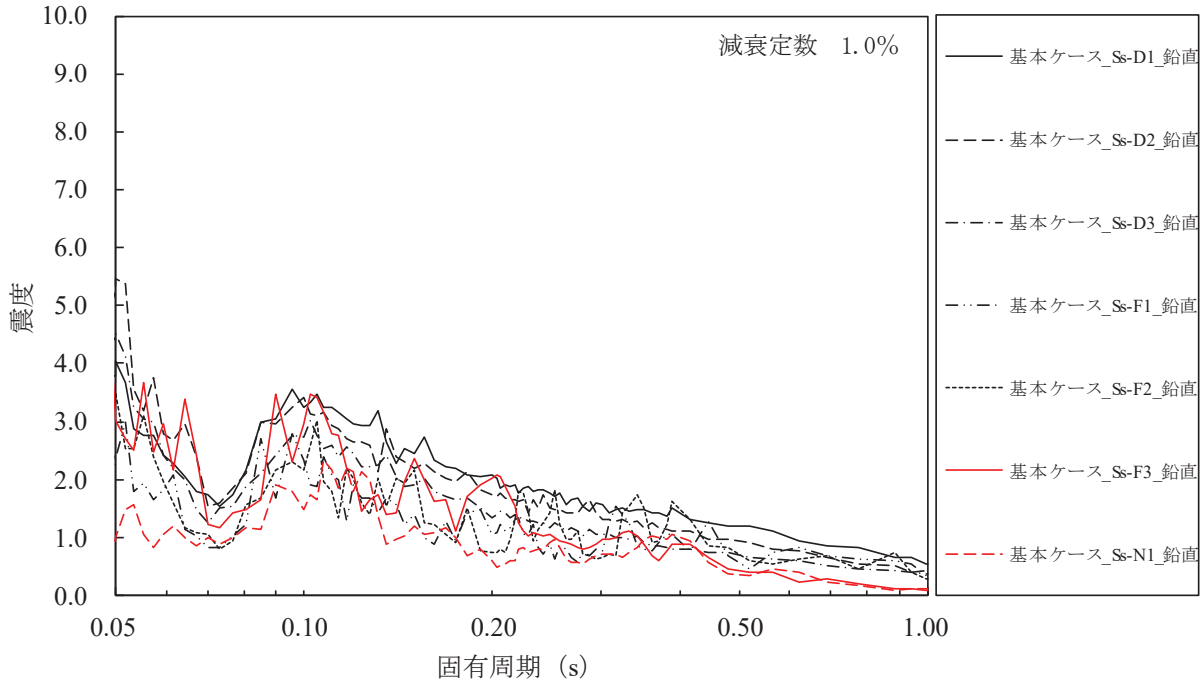

添付図 3-28　原子炉本体の基礎（O.P. 1.150m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



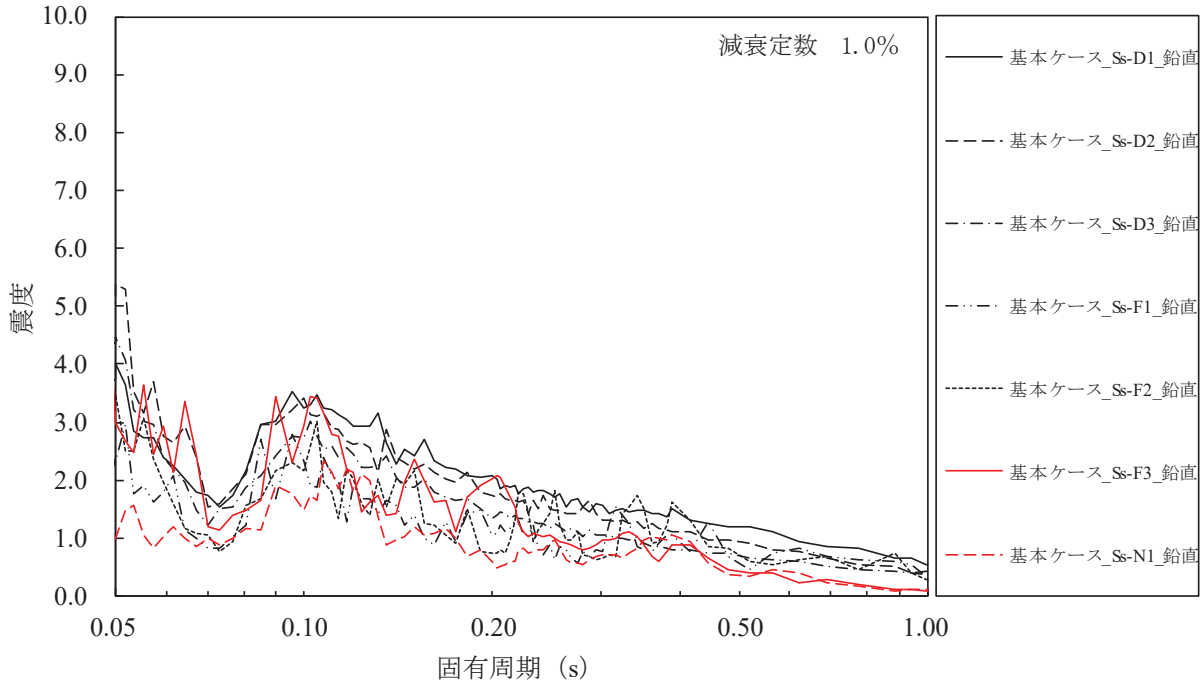

添付図 4-1　原子炉圧力容器（0.P. 28.600m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



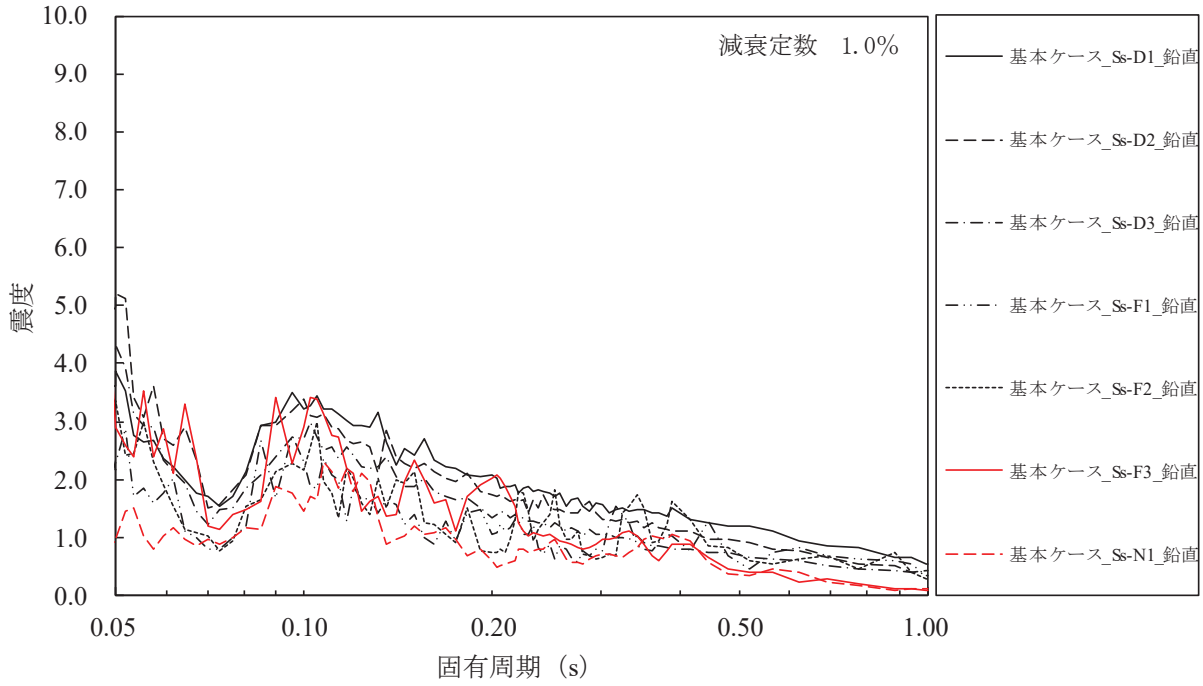

添付図 4-2　原子炉圧力容器（0.P. 25.858m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



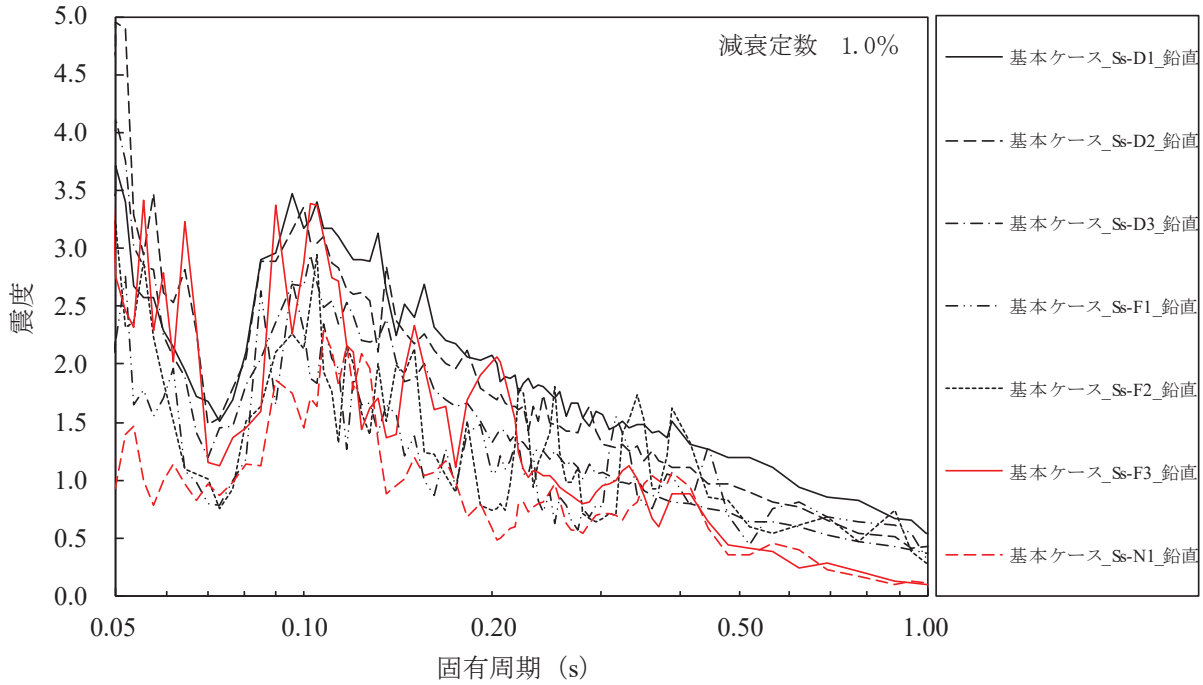

添付図 4-3　原子炉圧力容器（0.P. 23.667m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



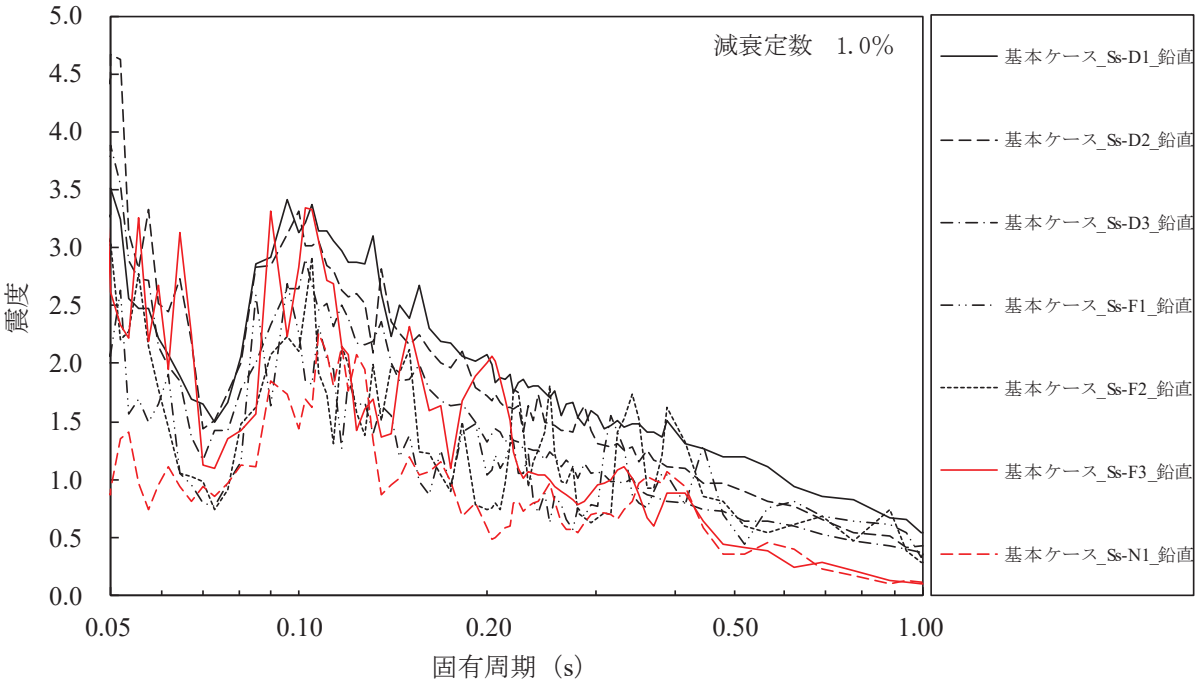

添付図 4-4　原子炉圧力容器（0.P. 21.770m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



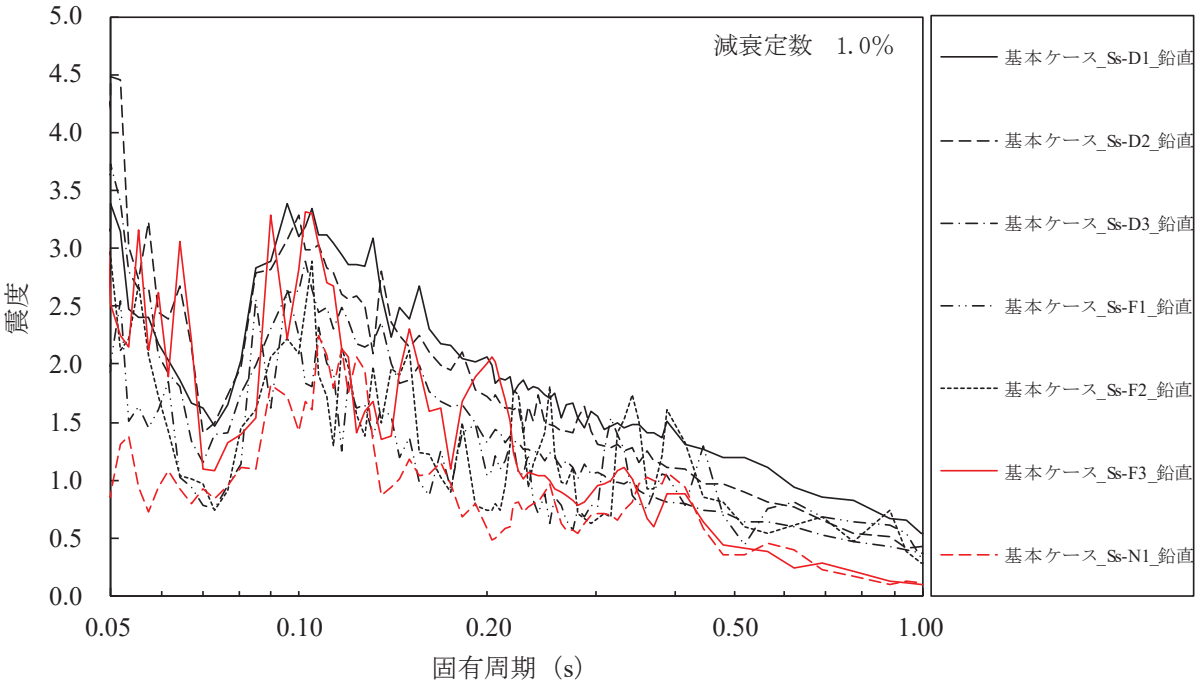

添付図 4-5　原子炉圧力容器（0.P.　18.417m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



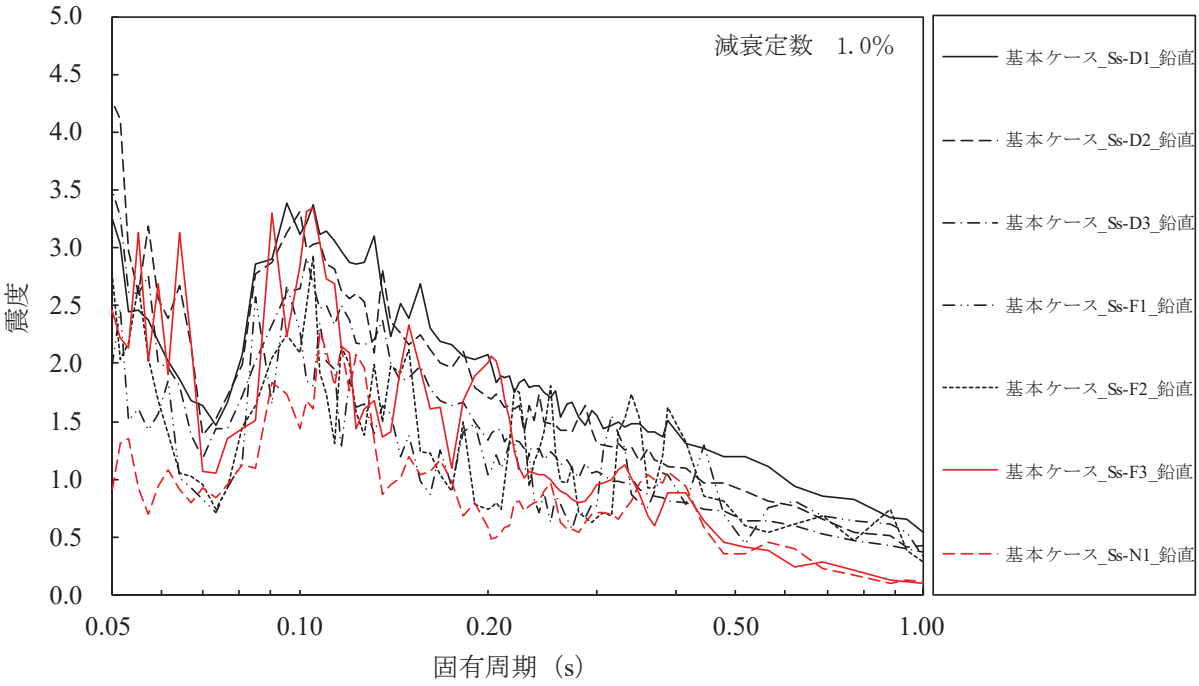

添付図 4-6　原子炉圧力容器（0.P.　14.776m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



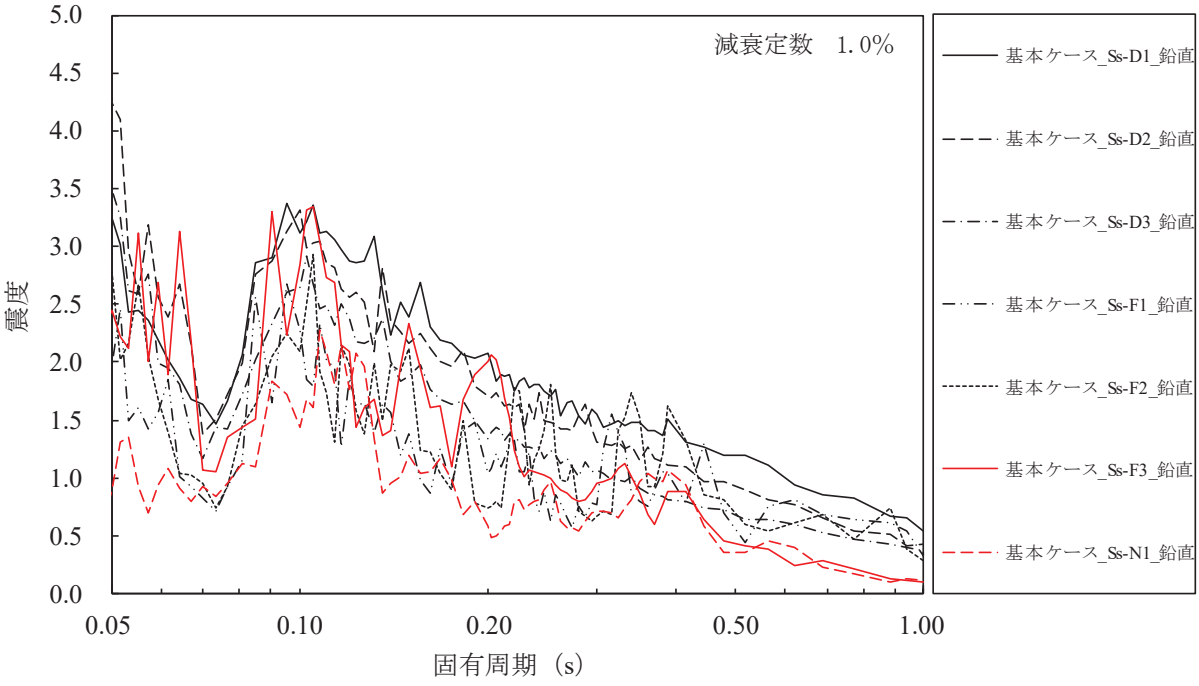

添付図 4-7　原子炉圧力容器（0.P.　11.310m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



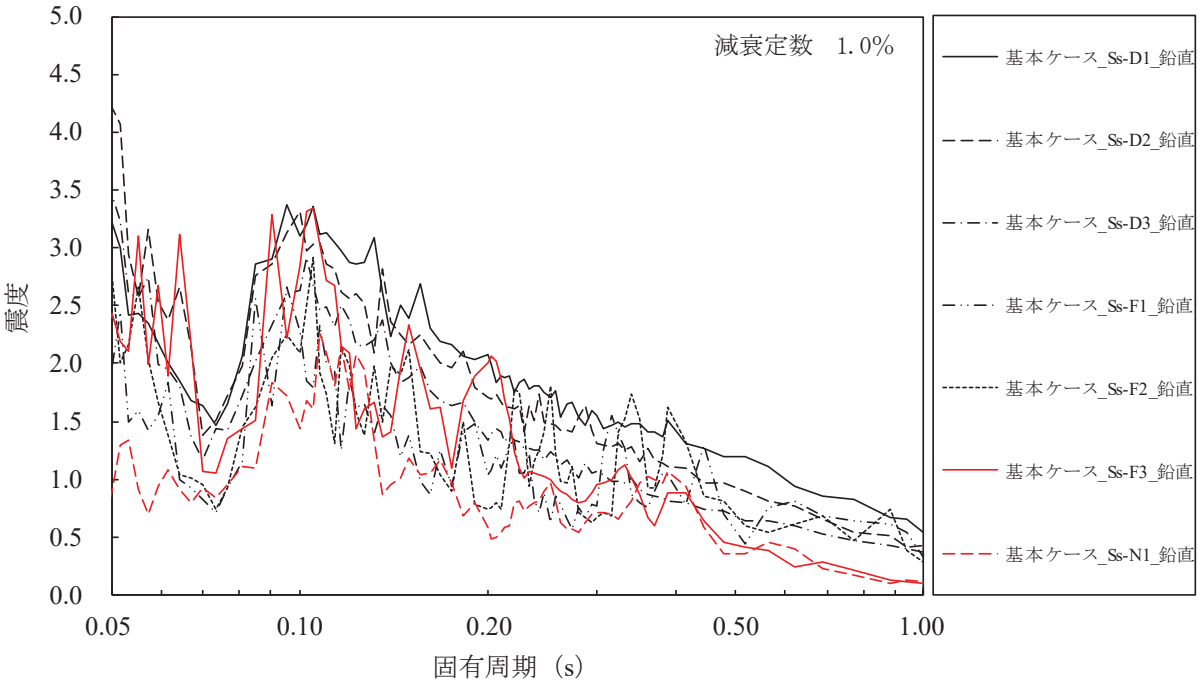

添付図 4-8　原子炉圧力容器（0.P.　9.334m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



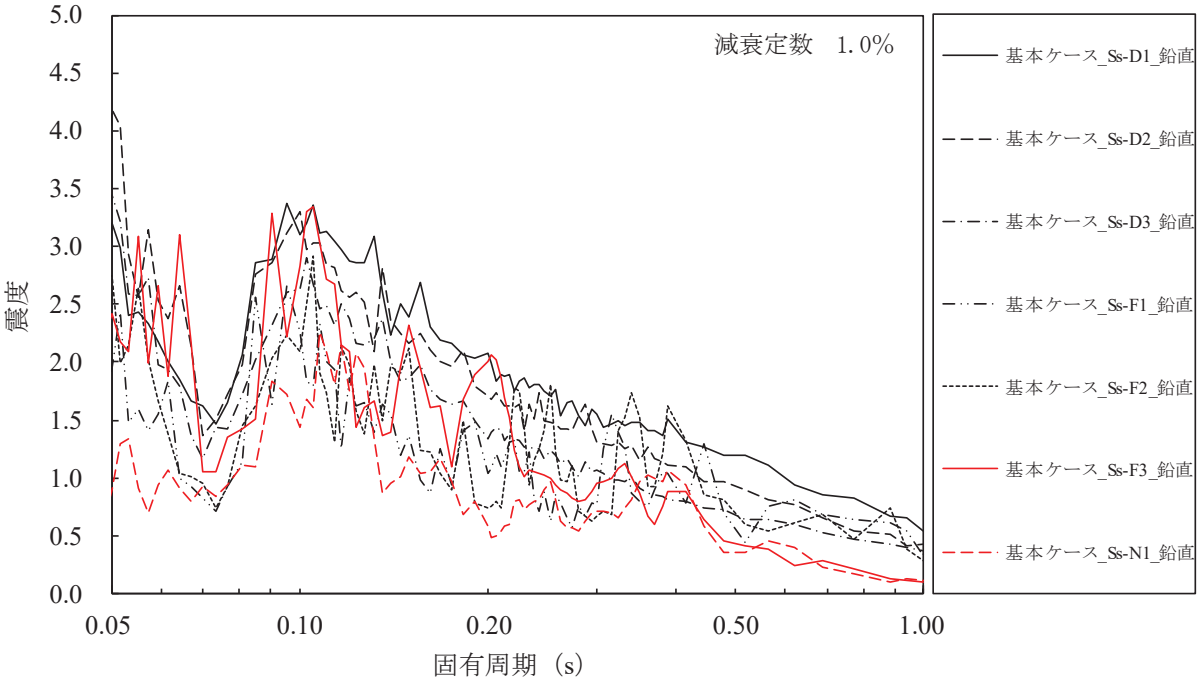

添付図 4-9　原子炉格納容器（0.P.　30.300m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



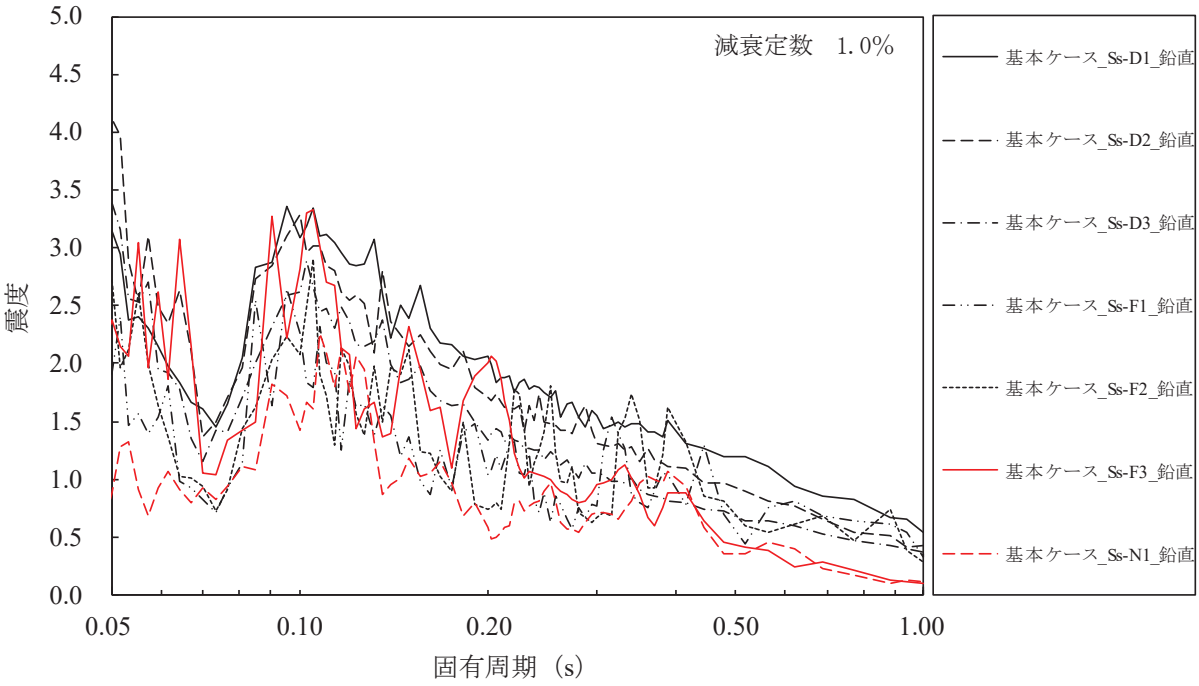

添付図 4-10　　原子炉格納容器（0.P.　27.995m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



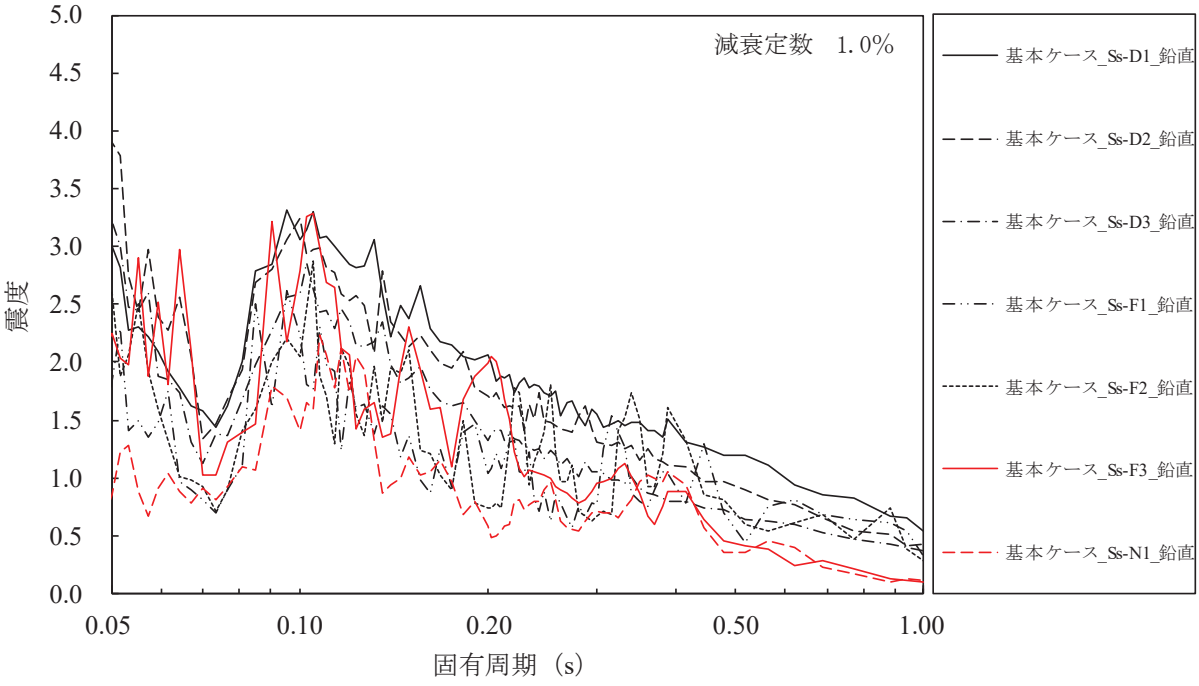

添付図 4-11　原子炉格納容器（0.P. 25.858m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



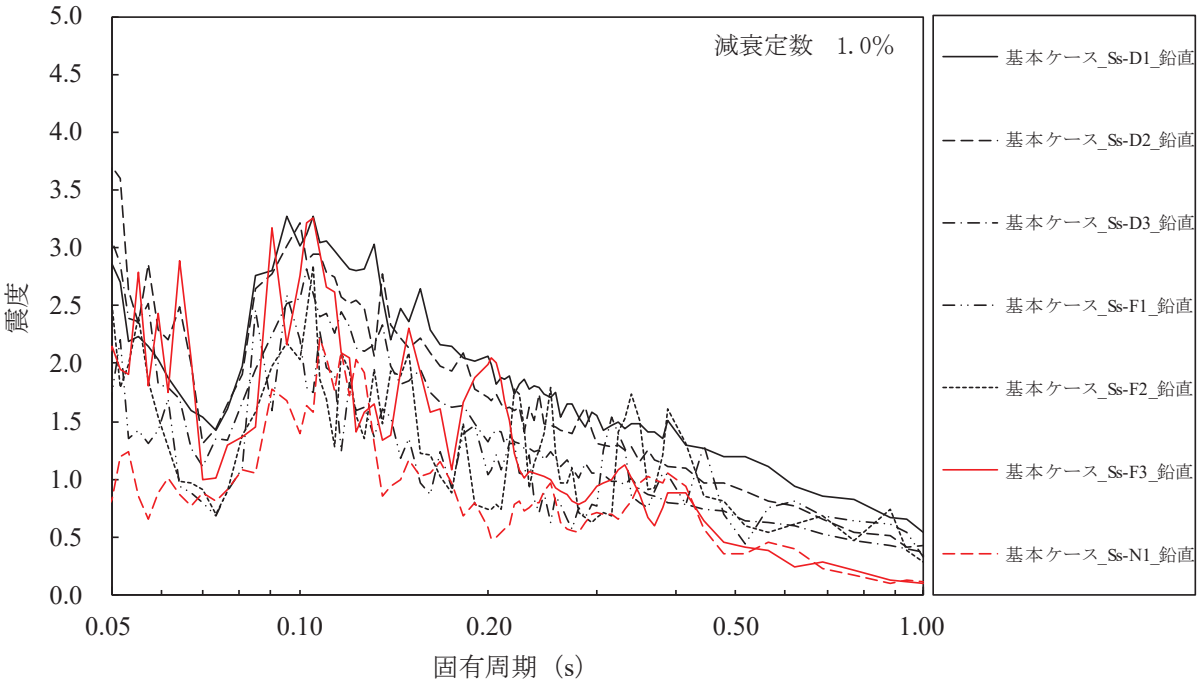

添付図 4-12　原子炉格納容器（0.P. 24.464m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



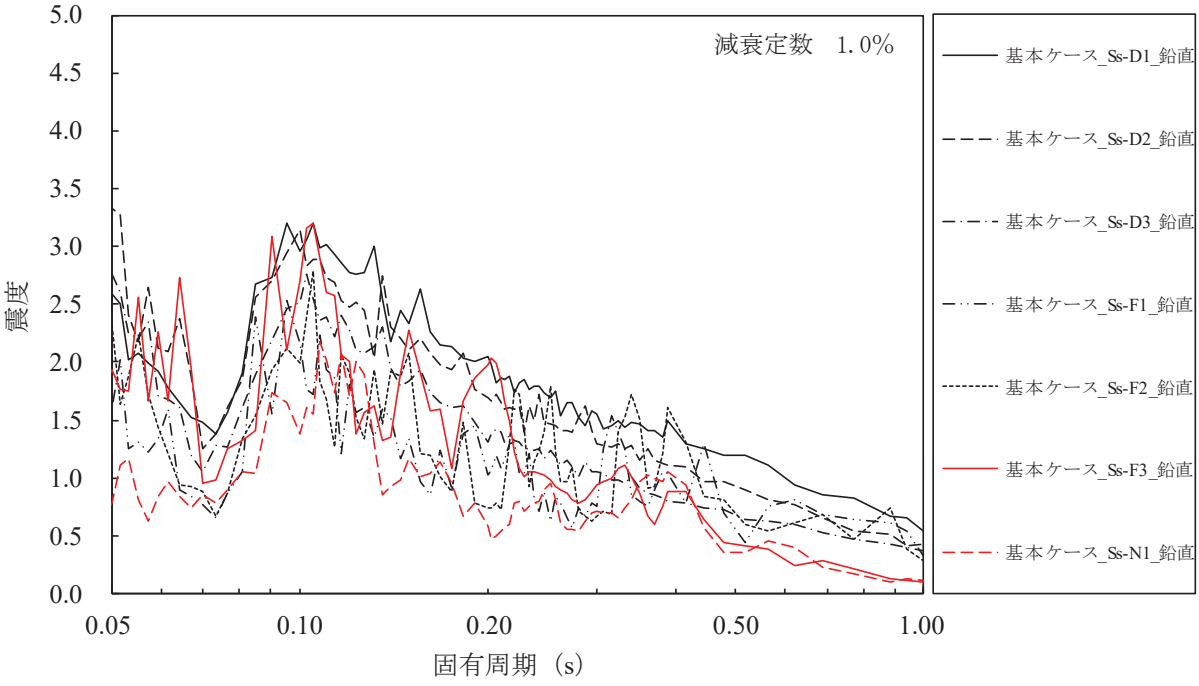

添付図 4-13　原子炉格納容器（0.P.　21.550m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



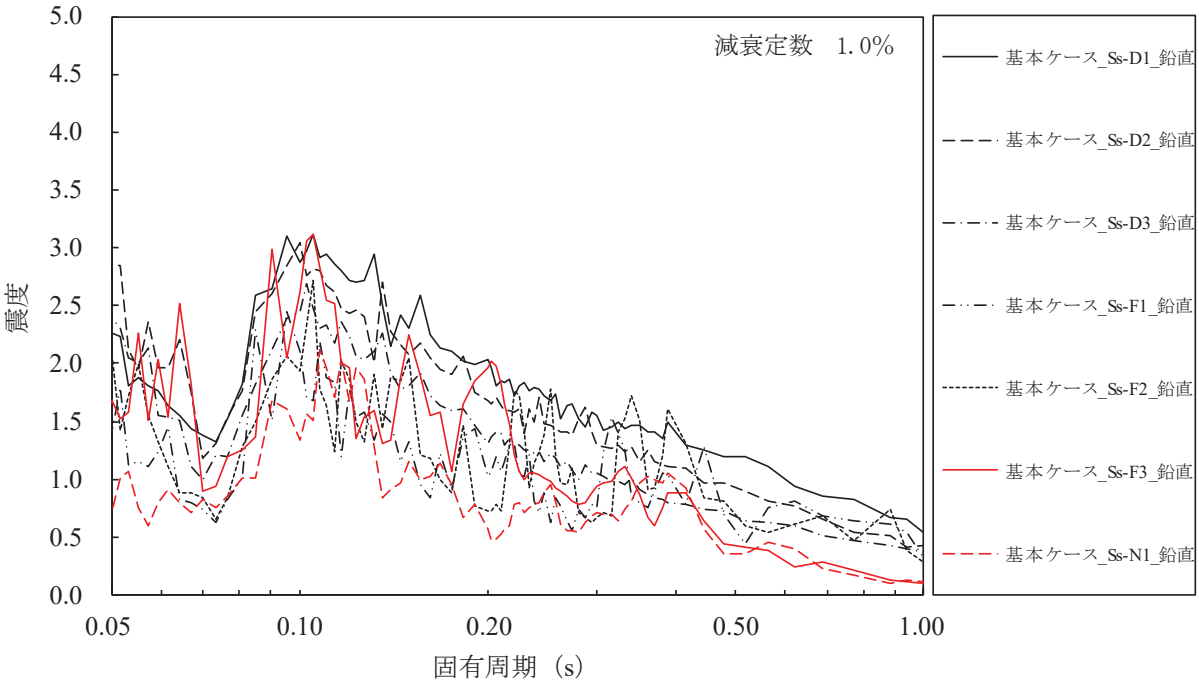

添付図 4-14　原子炉格納容器（0.P.　17.150m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



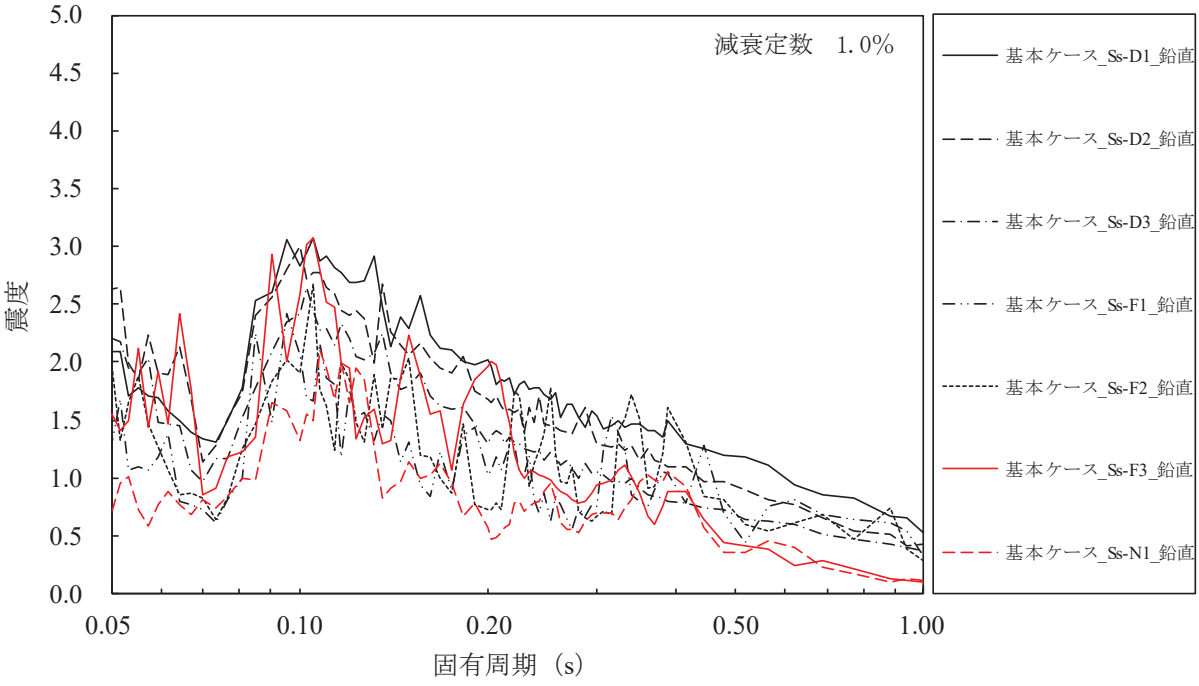

添付図 4-15　原子炉格納容器（0.P. 14.295m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



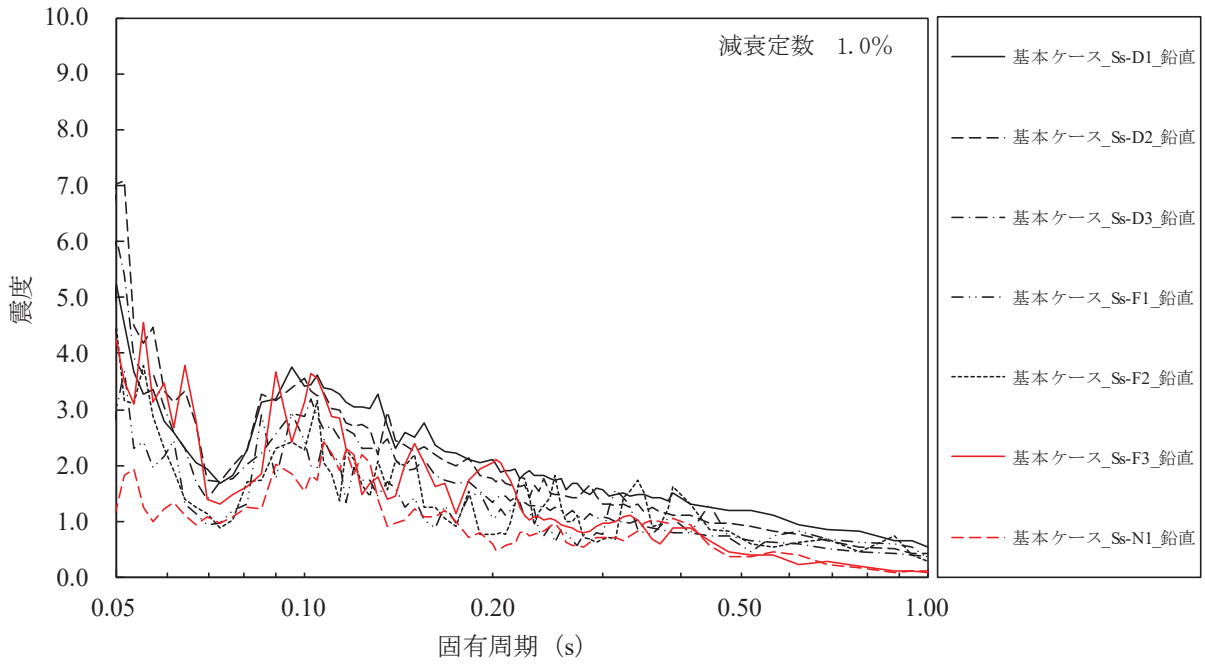

添付図 4-16　原子炉格納容器（0.P. 9.448m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



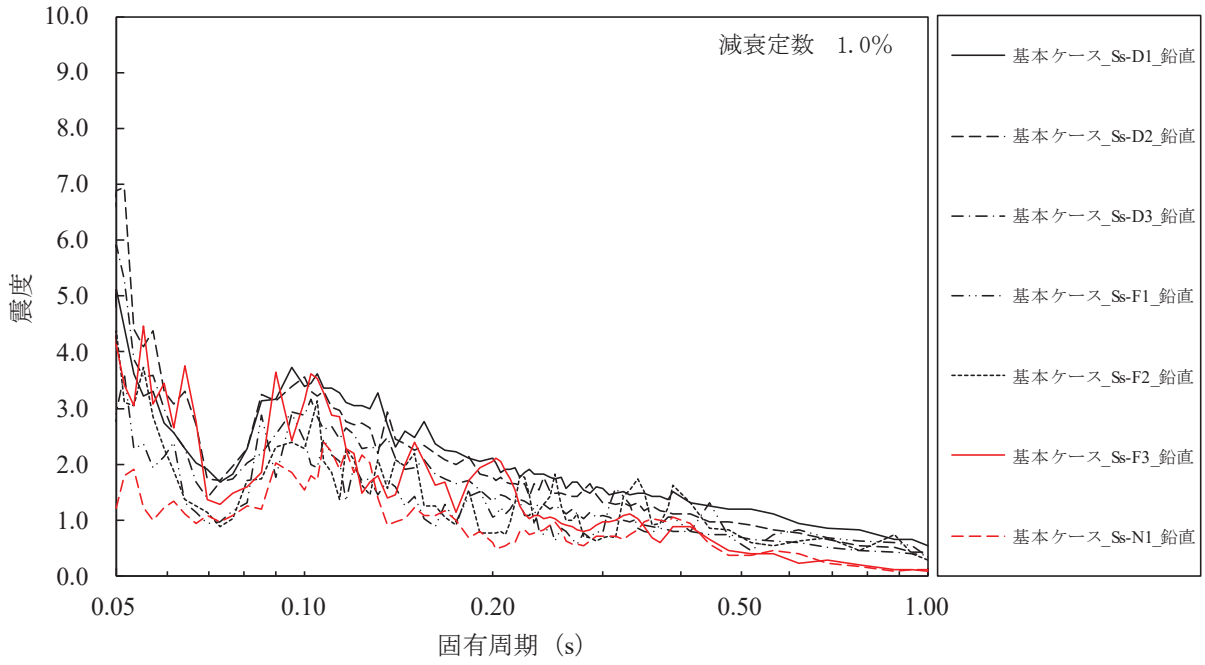

添付図 4-17　原子炉格納容器（0.P. 4.600m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



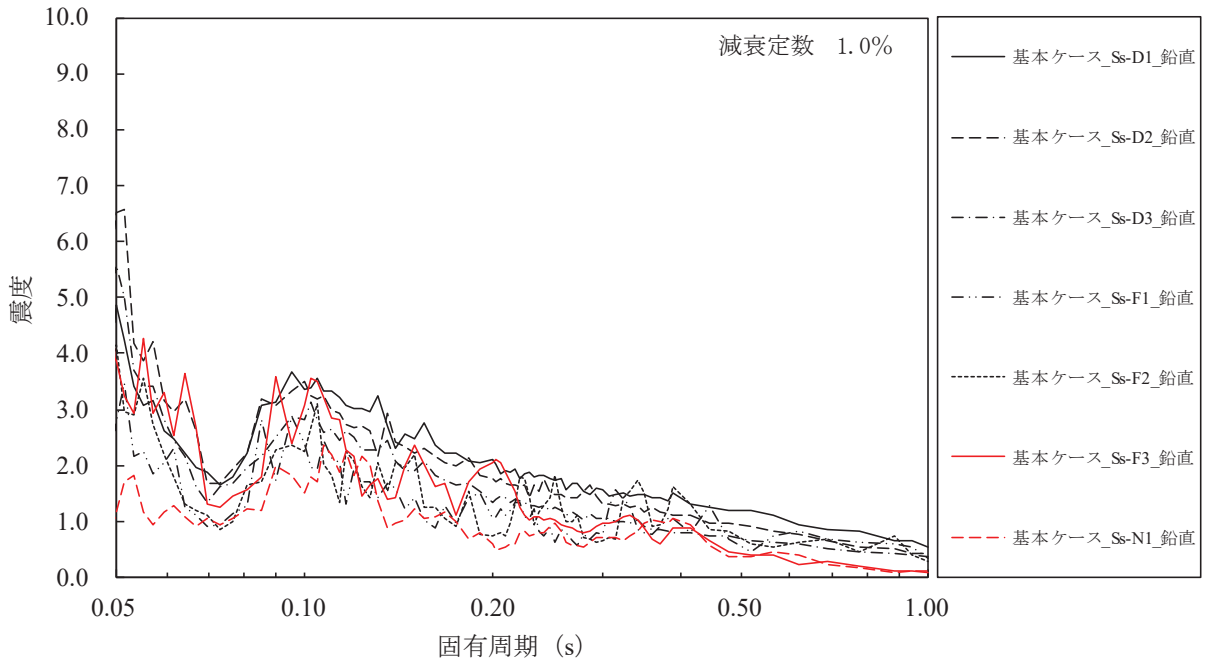

添付図 4-18　原子炉格納容器（0.P. 2.600m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



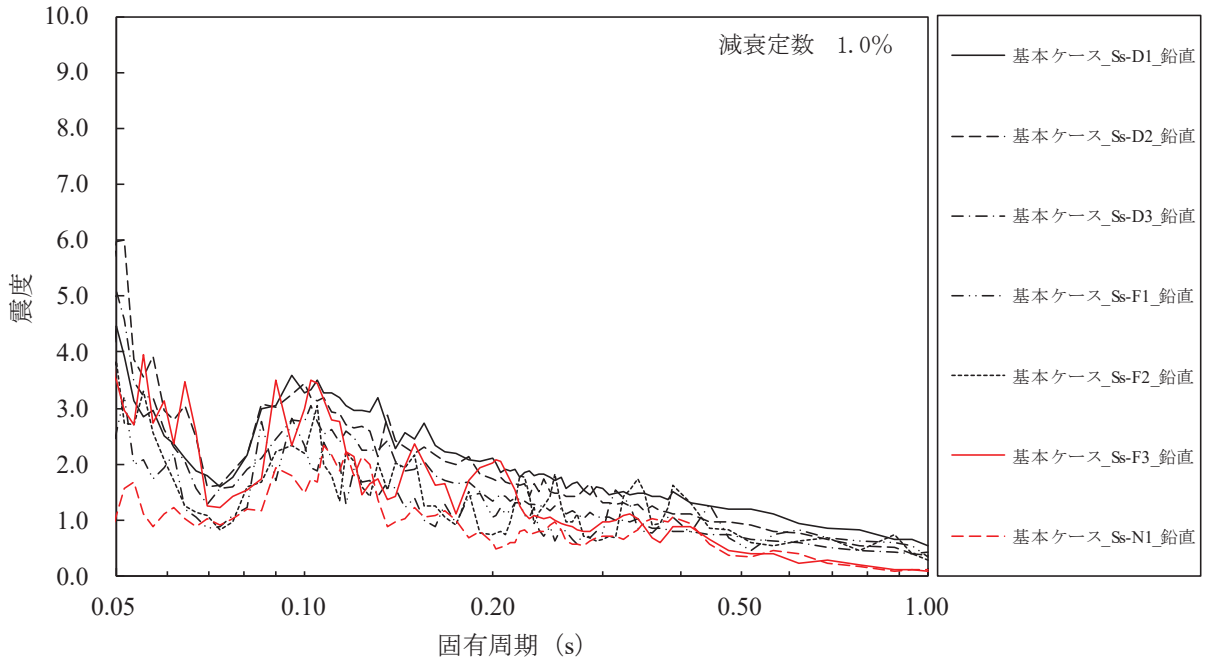

添付図 4-19　原子炉しゃへい壁（0.P. 21.550m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



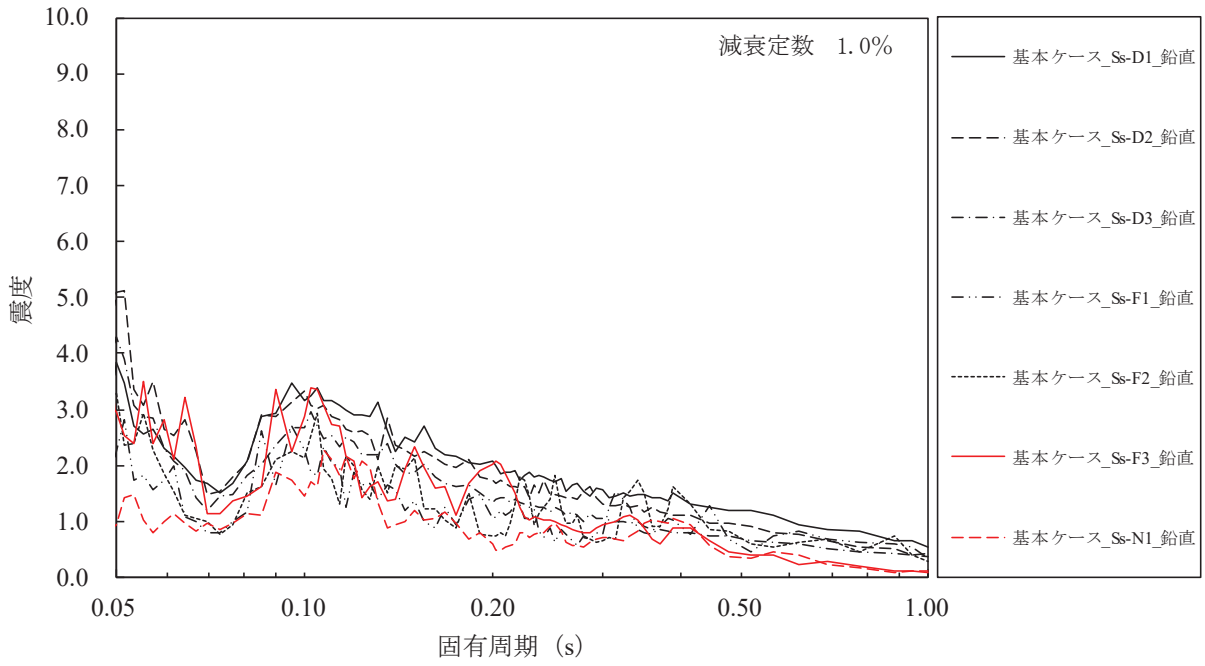

添付図 4-20　原子炉しゃへい壁（0.P. 18.790m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



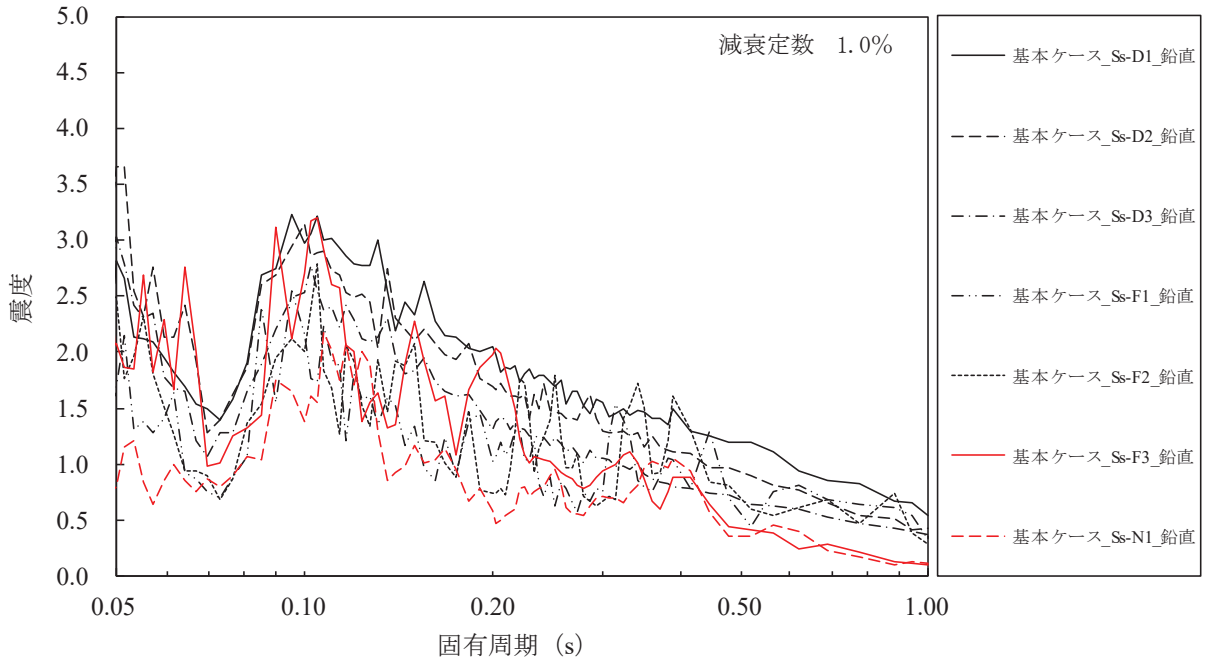

添付図 4-21　原子炉しゃへい壁（0.P. 15.950m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



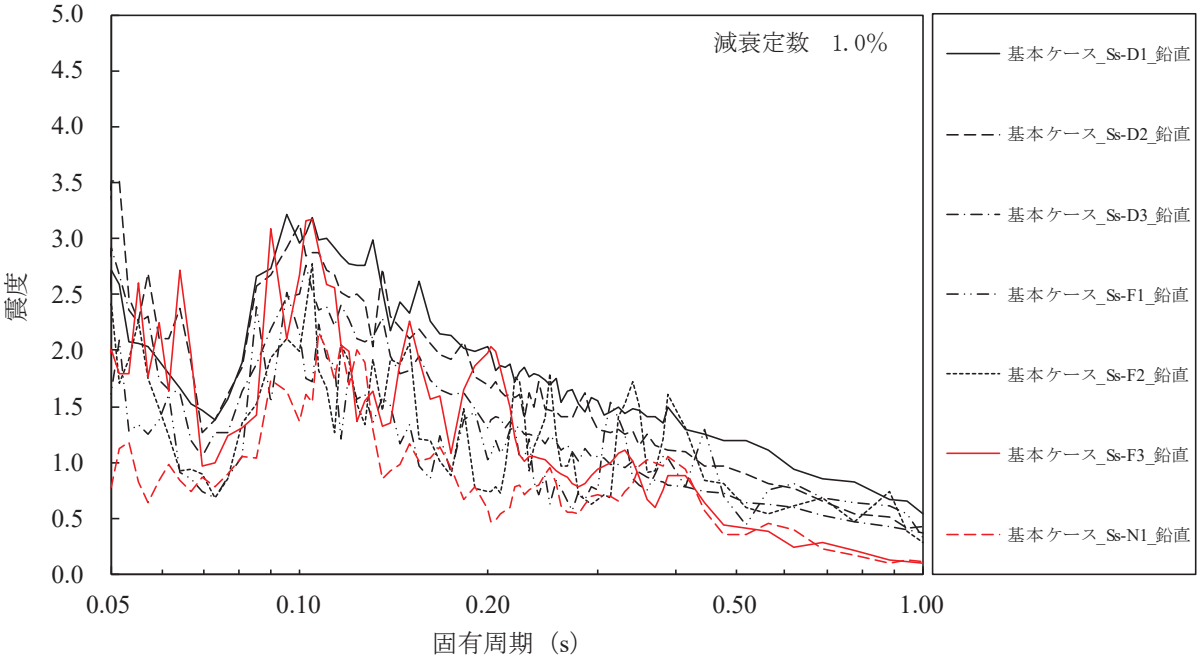

添付図 4-22　原子炉しゃへい壁（0.P. 13.400m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



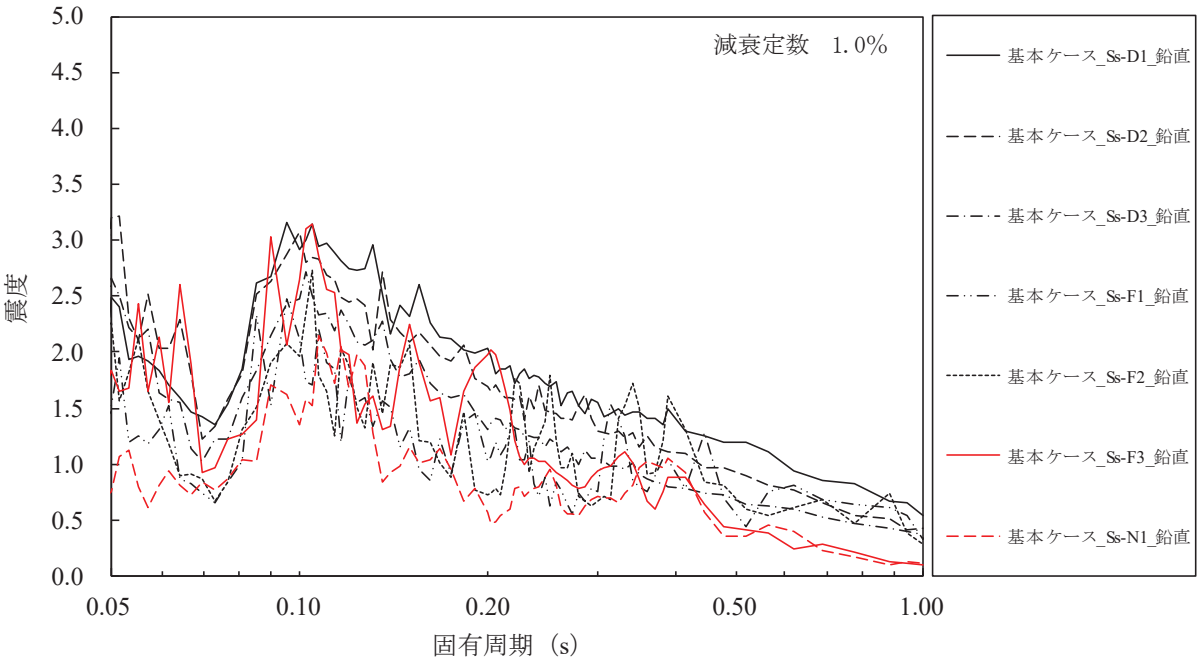

添付図 4-23　原子炉しゃへい壁（0.P. 10.600m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



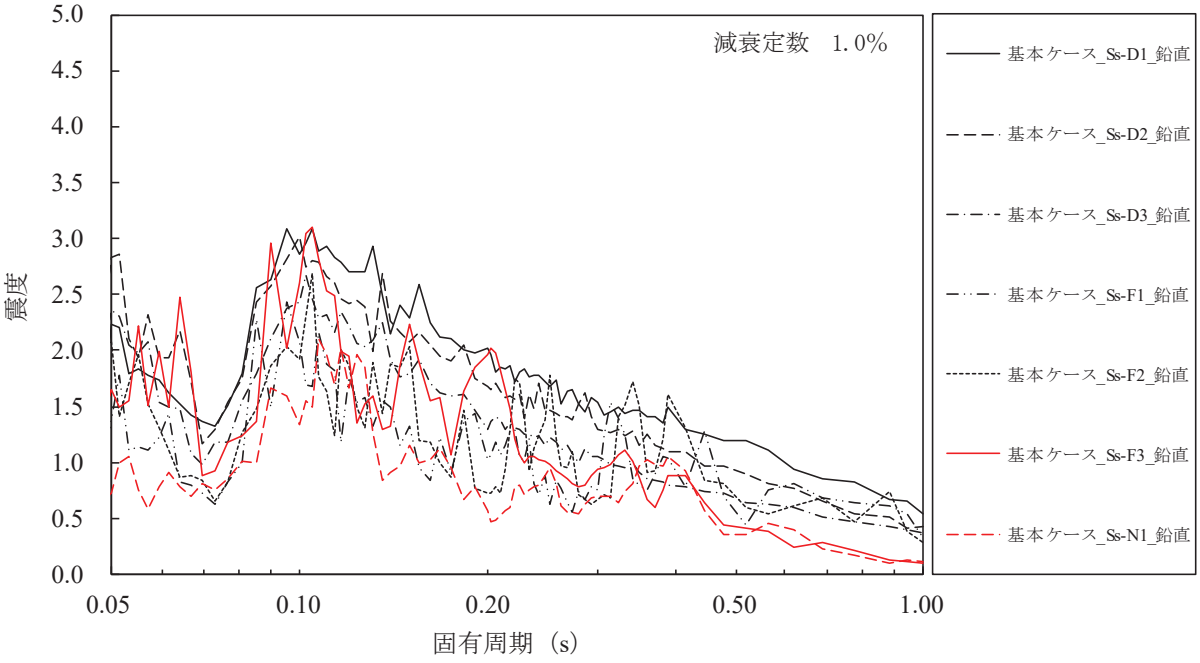

添付図 4-24　原子炉本体の基礎（0.P. 7.040m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）



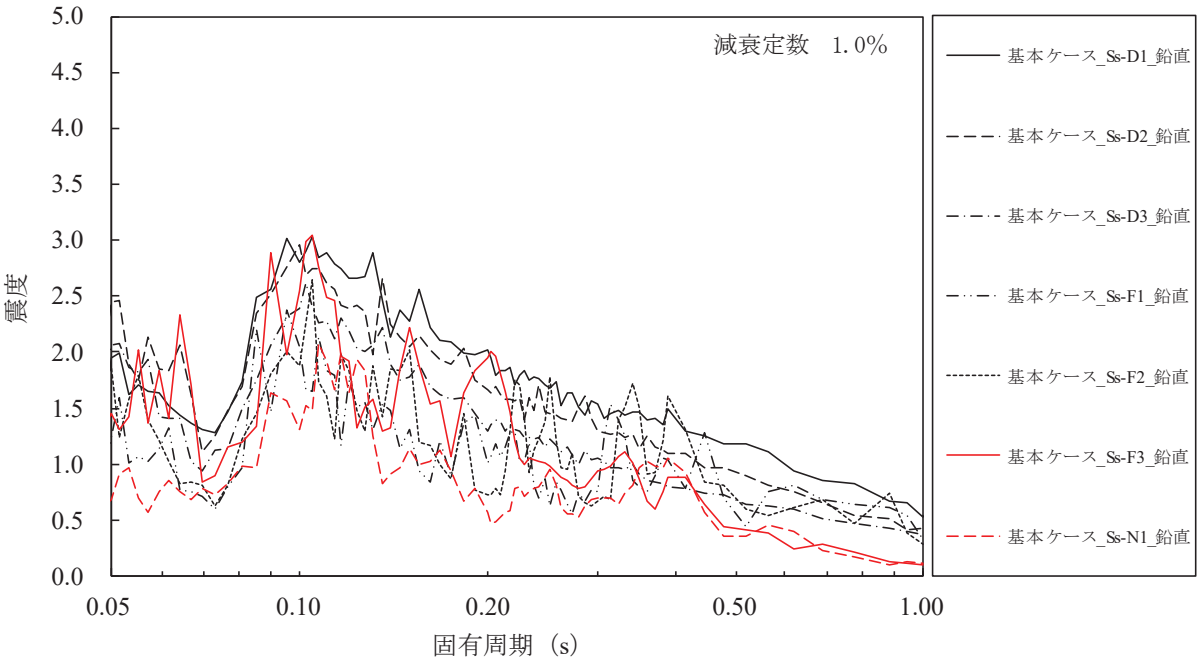

添付図 4-25　原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）




添付図 4-26　原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）




添付図 4-27　原子炉本体の基礎（O.P. 3.050m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）




添付図 4-28　原子炉本体の基礎（O.P. 1.150m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%，基本ケース）

添付表 1-1　原子炉建屋の最大応答加速度（水平方向，1.2ZPA）

| 構造物名 | 標高 O.P.(m) | 最大応答加速度（×9.8m/s²）×1.2 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ss-D1 | | Ss-D2 | | Ss-D3 | | Ss-F1 | | Ss-F2 | | Ss-F3 | | Ss-N1 | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉建屋 | 50.500 | 5.37 | 4.38 | 5.66 | 4.78 | 5.17 | 4.39 | 3.54 | 3.77 | 5.19 | 4.22 | 6.21 | 4.82 | 2.65 | 2.49 |
| | 41.200 | 2.61 | 2.59 | 3.07 | 2.90 | 2.47 | 2.42 | 2.05 | 2.52 | 2.84 | 2.56 | 3.15 | 2.95 | 2.14 | 2.14 |
| | 33.200 | 2.36 | 2.15 | 2.44 | 2.38 | 2.53 | 2.19 | 1.53 | 1.62 | 2.18 | 2.25 | 2.02 | 2.06 | 1.88 | 1.90 |
| | 22.500 | 1.53 | 1.61 | 2.09 | 2.06 | 1.45 | 1.86 | 1.17 | 1.18 | 1.48 | 1.56 | 1.30 | 1.43 | 1.63 | 1.57 |
| | 15.000 | 1.19 | 1.60 | 1.57 | 1.67 | 1.17 | 1.97 | 0.97 | 1.04 | 1.14 | 1.64 | 1.26 | 1.31 | 1.55 | 1.54 |
| | 6.000 | 1.00 | 1.08 | 1.55 | 1.44 | 1.06 | 1.05 | 0.92 | 0.87 | 1.16 | 1.10 | 1.27 | 1.06 | 1.20 | 1.15 |
| | 1.150 | 0.83 | 0.86 | 1.01 | 1.20 | 0.96 | 0.90 | 0.83 | 0.82 | 1.03 | 0.87 | 1.25 | 1.07 | 1.11 | 1.18 |
| | -0.800 | 0.87 | 0.78 | 1.16 | 1.18 | 0.94 | 0.89 | 0.87 | 0.72 | 0.89 | 0.91 | 1.28 | 0.95 | 1.11 | 1.09 |
| | -8.100 | 0.69 | 0.66 | 0.75 | 0.79 | 0.71 | 0.69 | 0.70 | 0.67 | 0.74 | 0.75 | 0.91 | 0.93 | 0.82 | 0.80 |

添付表 1-2　原子炉建屋の最大応答加速度（鉛直方向，1.2ZPA）

| 構造物名 | 標高 O.P.(m) | 最大応答加速度（×9.8m/s²）×1.2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ss-D1 | Ss-D2 | Ss-D3 | Ss-F1 | Ss-F2 | Ss-F3 | Ss-N1 |
| 原子炉建屋 | 48.725 | 1.84 | 1.90 | 2.03 | 1.00 | 1.13 | 1.52 | 1.15 |
| | 41.200 | 1.78 | 1.75 | 1.84 | 0.93 | 1.06 | 1.38 | 1.11 |
| | 33.200 | 1.69 | 1.66 | 1.63 | 0.83 | 0.96 | 1.22 | 1.05 |
| | 22.500 | 1.50 | 1.46 | 1.29 | 0.67 | 0.79 | 0.95 | 0.92 |
| | 15.000 | 1.32 | 1.19 | 0.95 | 0.56 | 0.67 | 0.79 | 0.79 |
| | 6.000 | 1.06 | 0.90 | 0.71 | 0.48 | 0.58 | 0.62 | 0.60 |
| | -0.800 | 0.86 | 0.74 | 0.60 | 0.43 | 0.53 | 0.50 | 0.51 |
| | -8.100 | 0.62 | 0.66 | 0.53 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.46 |

添付表 2-1　原子炉圧力容器，原子炉しゃへい壁，原子炉本体の基礎及び
原子炉格納容器の最大応答加速度（水平方向，1.2ZPA）

| 構造物名 | 標高<br>O.P.(m) | 最大応答加速度（×9.8m/s$^2$）×1.2 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ss-D1 | | Ss-D2 | | Ss-D3 | | Ss-F1 | | Ss-F2 | | Ss-F3 | | Ss-N1 | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉<br>圧力容器 | 28.600 | 3.48 | 3.36 | 3.63 | 3.88 | 3.56 | 3.33 | 2.13 | 2.91 | 2.98 | 3.21 | 3.16 | 3.82 | 2.02 | 2.22 |
| | 25.858 | 3.05 | 2.90 | 3.20 | 3.22 | 3.20 | 2.85 | 1.82 | 2.51 | 2.62 | 2.81 | 2.70 | 3.26 | 1.88 | 1.94 |
| | 23.667 | 2.70 | 2.68 | 2.85 | 2.78 | 2.93 | 2.51 | 1.58 | 2.19 | 2.34 | 2.49 | 2.37 | 2.81 | 1.78 | 1.76 |
| | 21.770 | 2.38 | 2.47 | 2.53 | 2.45 | 2.68 | 2.24 | 1.42 | 1.89 | 2.07 | 2.21 | 2.08 | 2.39 | 1.71 | 1.59 |
| | 18.417 | 2.08 | 2.23 | 2.11 | 2.24 | 2.32 | 1.85 | 1.26 | 1.51 | 1.71 | 1.86 | 1.72 | 1.88 | 1.65 | 1.52 |
| | 14.776 | 1.82 | 1.99 | 1.67 | 1.96 | 1.81 | 1.65 | 1.29 | 1.35 | 1.44 | 1.53 | 1.64 | 1.52 | 1.51 | 1.42 |
| | 11.310 | 1.54 | 1.62 | 1.40 | 1.51 | 1.36 | 1.35 | 1.23 | 1.25 | 1.21 | 1.28 | 1.64 | 1.21 | 1.32 | 1.35 |
| | 9.334 | 1.39 | 1.39 | 1.25 | 1.29 | 1.23 | 1.21 | 1.16 | 1.13 | 1.17 | 1.18 | 1.58 | 1.25 | 1.22 | 1.25 |
| 原子炉<br>本体の基礎 | 7.040 | 1.22 | 1.16 | 1.13 | 1.23 | 1.08 | 1.14 | 1.00 | 0.97 | 1.07 | 0.99 | 1.37 | 1.19 | 1.12 | 1.14 |
| | 6.240 | 1.17 | 1.11 | 1.09 | 1.22 | 1.06 | 1.06 | 0.97 | 0.91 | 1.05 | 0.94 | 1.35 | 1.17 | 1.09 | 1.09 |
| | 4.950 | 1.11 | 1.03 | 1.04 | 1.19 | 0.99 | 1.00 | 0.91 | 0.86 | 1.01 | 0.87 | 1.28 | 1.14 | 1.03 | 1.05 |
| | 3.050 | 1.00 | 0.94 | 0.98 | 1.13 | 0.94 | 0.88 | 0.85 | 0.79 | 0.99 | 0.83 | 1.24 | 1.08 | 0.99 | 1.06 |
| | 1.150 | 0.88 | 0.85 | 0.92 | 1.07 | 0.89 | 0.86 | 0.82 | 0.74 | 0.98 | 0.82 | 1.21 | 1.01 | 0.96 | 1.00 |
| 原子炉<br>しゃへい壁 | 21.550 | 1.98 | 2.11 | 2.04 | 2.02 | 2.28 | 1.97 | 1.22 | 1.42 | 1.65 | 1.88 | 1.58 | 1.70 | 1.61 | 1.58 |
| | 18.790 | 1.86 | 1.99 | 1.90 | 1.79 | 2.00 | 1.67 | 1.19 | 1.38 | 1.51 | 1.87 | 1.53 | 1.64 | 1.58 | 1.55 |
| | 15.950 | 1.75 | 1.95 | 1.76 | 1.79 | 1.72 | 1.59 | 1.23 | 1.40 | 1.47 | 1.82 | 1.41 | 1.60 | 1.55 | 1.49 |
| | 13.400 | 1.72 | 1.85 | 1.57 | 1.70 | 1.42 | 1.53 | 1.22 | 1.38 | 1.38 | 1.62 | 1.40 | 1.42 | 1.47 | 1.39 |
| | 10.600 | 1.53 | 1.55 | 1.41 | 1.48 | 1.25 | 1.35 | 1.15 | 1.24 | 1.26 | 1.31 | 1.42 | 1.36 | 1.30 | 1.31 |
| 原子炉<br>格納容器 | 30.300 | 1.88 | 2.01 | 2.32 | 2.27 | 2.08 | 2.38 | 1.34 | 1.33 | 1.71 | 1.90 | 1.77 | 1.72 | 1.59 | 1.71 |
| | 27.995 | 1.77 | 1.90 | 2.20 | 2.14 | 1.96 | 2.25 | 1.29 | 1.28 | 1.59 | 1.81 | 1.64 | 1.64 | 1.56 | 1.67 |
| | 25.858 | 1.67 | 1.80 | 2.08 | 2.01 | 1.83 | 2.11 | 1.24 | 1.23 | 1.51 | 1.72 | 1.51 | 1.57 | 1.52 | 1.62 |
| | 24.464 | 1.61 | 1.73 | 2.00 | 1.92 | 1.74 | 2.03 | 1.21 | 1.20 | 1.46 | 1.67 | 1.43 | 1.51 | 1.50 | 1.59 |
| | 21.550 | 1.52 | 1.61 | 1.81 | 1.73 | 1.56 | 1.84 | 1.13 | 1.13 | 1.36 | 1.56 | 1.25 | 1.38 | 1.44 | 1.52 |
| | 17.150 | 1.26 | 1.41 | 1.43 | 1.51 | 1.28 | 1.46 | 1.00 | 1.00 | 1.19 | 1.38 | 1.15 | 1.15 | 1.36 | 1.38 |
| | 14.295 | 1.15 | 1.37 | 1.19 | 1.32 | 1.11 | 1.28 | 0.90 | 0.92 | 1.09 | 1.24 | 1.11 | 0.99 | 1.31 | 1.30 |
| | 9.448 | 1.04 | 1.22 | 1.01 | 0.99 | 0.88 | 1.09 | 0.75 | 0.80 | 0.92 | 1.04 | 1.03 | 0.92 | 1.20 | 1.20 |
| | 4.600 | 0.94 | 0.93 | 0.90 | 1.06 | 0.81 | 0.82 | 0.77 | 0.78 | 0.97 | 0.85 | 1.07 | 1.00 | 1.06 | 1.09 |
| | 2.600 | 0.90 | 0.89 | 0.93 | 1.08 | 0.85 | 0.85 | 0.80 | 0.77 | 0.98 | 0.81 | 1.16 | 1.03 | 1.01 | 1.03 |

添付表 2-2　原子炉圧力容器，原子炉しゃへい壁，原子炉本体の基礎及び
原子炉格納容器の最大応答加速度（鉛直方向，1.2ZPA）

| 構造物名 | 標高 O.P.(m) | 最大応答加速度（×9.8m/s$^2$）×1.2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ss-D1 | Ss-D2 | Ss-D3 | Ss-F1 | Ss-F2 | Ss-F3 | Ss-N1 |
| 原子炉圧力容器 | 28.600 | 1.09 | 1.36 | 1.30 | 0.74 | 0.74 | 1.23 | 0.54 |
| | 25.858 | 1.09 | 1.35 | 1.30 | 0.74 | 0.74 | 1.22 | 0.54 |
| | 23.667 | 1.08 | 1.34 | 1.28 | 0.73 | 0.74 | 1.21 | 0.54 |
| | 21.770 | 1.07 | 1.33 | 1.24 | 0.71 | 0.72 | 1.18 | 0.54 |
| | 18.417 | 1.04 | 1.29 | 1.15 | 0.68 | 0.70 | 1.12 | 0.53 |
| | 14.776 | 1.02 | 1.26 | 1.05 | 0.64 | 0.67 | 1.03 | 0.53 |
| | 11.310 | 0.99 | 1.21 | 0.93 | 0.61 | 0.64 | 0.95 | 0.52 |
| | 9.334 | 0.96 | 1.18 | 0.87 | 0.60 | 0.62 | 0.90 | 0.52 |
| 原子炉本体の基礎 | 7.040 | 0.77 | 0.92 | 0.72 | 0.53 | 0.57 | 0.78 | 0.50 |
| | 6.240 | 0.74 | 0.89 | 0.70 | 0.52 | 0.56 | 0.75 | 0.50 |
| | 4.950 | 0.68 | 0.81 | 0.64 | 0.50 | 0.54 | 0.68 | 0.49 |
| | 3.050 | 0.62 | 0.74 | 0.57 | 0.48 | 0.52 | 0.61 | 0.48 |
| | 1.150 | 0.62 | 0.68 | 0.54 | 0.46 | 0.49 | 0.54 | 0.47 |
| 原子炉しゃへい壁 | 21.550 | 1.38 | 1.88 | 1.57 | 0.98 | 1.01 | 1.77 | 0.55 |
| | 18.790 | 1.36 | 1.84 | 1.51 | 0.97 | 0.99 | 1.71 | 0.55 |
| | 15.950 | 1.30 | 1.73 | 1.39 | 0.92 | 0.93 | 1.59 | 0.54 |
| | 13.400 | 1.19 | 1.54 | 1.23 | 0.84 | 0.83 | 1.42 | 0.54 |
| | 10.600 | 1.04 | 1.29 | 1.04 | 0.72 | 0.68 | 1.18 | 0.53 |
| 原子炉格納容器 | 30.300 | 0.90 | 1.15 | 1.06 | 0.60 | 0.68 | 0.80 | 0.54 |
| | 27.995 | 0.90 | 1.13 | 1.06 | 0.60 | 0.68 | 0.80 | 0.54 |
| | 25.858 | 0.88 | 1.12 | 1.05 | 0.59 | 0.68 | 0.80 | 0.54 |
| | 24.464 | 0.87 | 1.10 | 1.04 | 0.58 | 0.68 | 0.80 | 0.54 |
| | 21.550 | 0.86 | 1.06 | 1.01 | 0.57 | 0.67 | 0.79 | 0.54 |
| | 17.150 | 0.82 | 0.99 | 0.90 | 0.53 | 0.64 | 0.75 | 0.53 |
| | 14.295 | 0.78 | 0.94 | 0.84 | 0.51 | 0.62 | 0.71 | 0.53 |
| | 9.448 | 0.71 | 0.86 | 0.75 | 0.47 | 0.58 | 0.65 | 0.52 |
| | 4.600 | 0.66 | 0.77 | 0.63 | 0.46 | 0.53 | 0.59 | 0.50 |
| | 2.600 | 0.64 | 0.73 | 0.58 | 0.46 | 0.51 | 0.56 | 0.48 |

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-8_改１ |

# 補足-600-8　建屋－機器連成解析に関する補足説明資料

東北電力株式会社

工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

| 工認添付書類 | 補足説明資料 |
|---|---|
| VI-2-3-2<br>炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書 | 補足-600-8-1<br>建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について |
| | 補足-600-8-2<br>建屋－機器連成解析における解析モデルの設定に係る補足説明資料 |
| | 補足-600-8-3<br>建屋－機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の非線形復元力特性等の設定に関する補足説明資料 |
| | 補足-600-8-4<br>耐震評価に適用する鉛直方向地震荷重に関する補足説明資料 |

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-8-1_改 6 |

# 補足-600-8-1　建屋-機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について

目次

1. 概要 ..... 1
2. 建屋－機器連成地震応答解析における材料物性の不確かさ等の考慮 ..... 8
2.1 材料物性の不確かさ等を考慮したケースに用いる入力地震動 ..... 10
2.2 炉心シュラウド溶接線の分離想定ケース ..... 30
2.2.1 各設備の考慮する地震荷重 ..... 32
2.2.2 各設備の地震荷重が最大となる分離想定ケース ..... 33
2.2.3 炉心シュラウド溶接線の分離想定ケースのまとめ ..... 50
2.3 材料物性の不確かさ等を踏まえた設計用地震力の設定 ..... 52

別紙1 制御棒案内管の水平方向の地震応答の差異に関する考察
別紙2 解析ケースの違いによる燃料集合体相対変位の差異に関する考察

1.　概要

スペクトルモーダル解析による機器・配管系の耐震評価においては，周期軸方向に±10%拡幅させた設計用床応答曲線を用いることにより材料物性の不確かさ等による影響を考慮している。

本資料は，建屋－機器連成地震応答解析モデルを用いる時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定方法を示すものである。建屋－機器連成地震応答解析モデルとしては，原子炉建屋，原子炉圧力容器，原子炉格納容器，原子炉しゃへい壁,原子炉本体の基礎等を連成させた大型機器系地震応答解析モデル(以下，図表中では「大型機器系」と省略する場合がある。）及び原子炉建屋，炉心，原子炉圧力容器，原子炉内部構造物等を連成させた炉内構造物系地震応答解析モデル（以下，図表中では「炉内構造物系」と省略する場合がある。）の 2 つのモデルを設定する（図 1-1 から図 1-6 参照)。また，炉内構造物系地震応答解析モデルにおいて，炉心シュラウド溶接線の分離を想定した地震荷重の設定方法について示す。

なお，本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

・「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| \| | はり |
| ～～～ | 水平ばね |
| ◎ | 回転ばね |

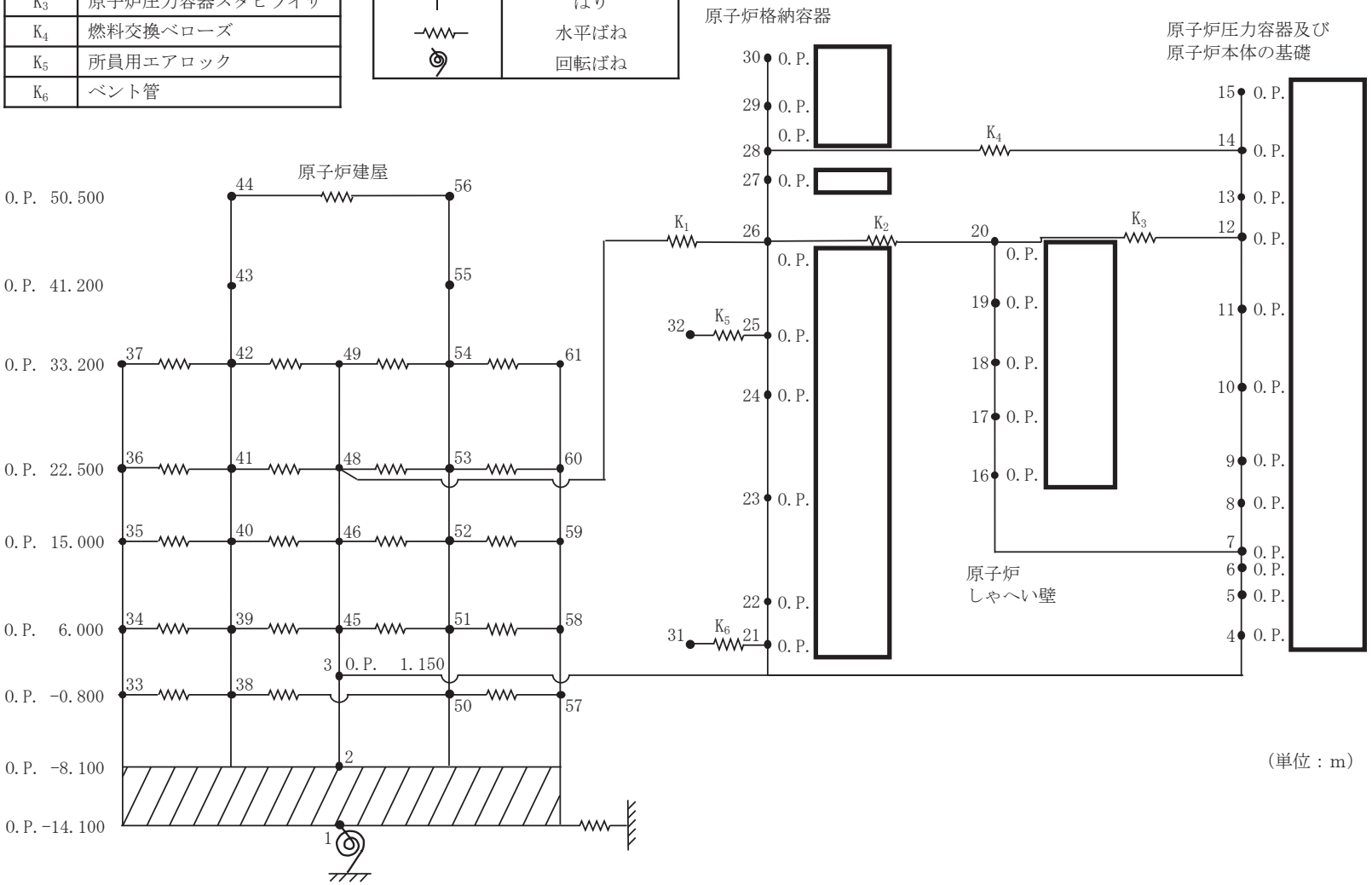



図 1-1　水平方向地震応答解析モデル（大型機器系，NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| ｜ | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

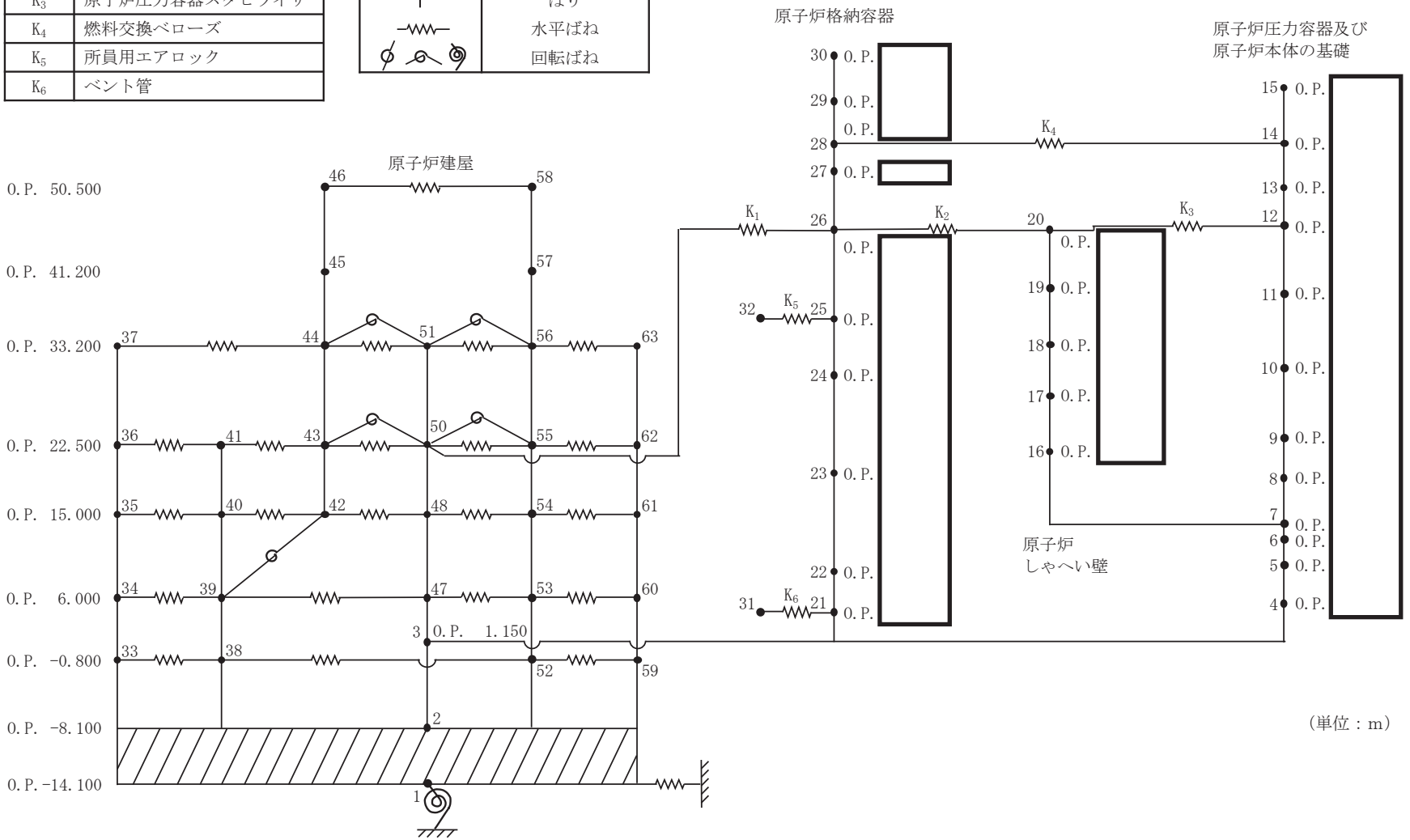



図 1-2　水平方向地震応答解析モデル（大型機器系，EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム |
| $K_4$ | シュラウドサポート |
| $K_5$ | 上部サポート |
| $K_6$ | 下部スタビライザ |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点（ピン結合以外） |
| ○ | 質点（ピン結合） |
| ｜ | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

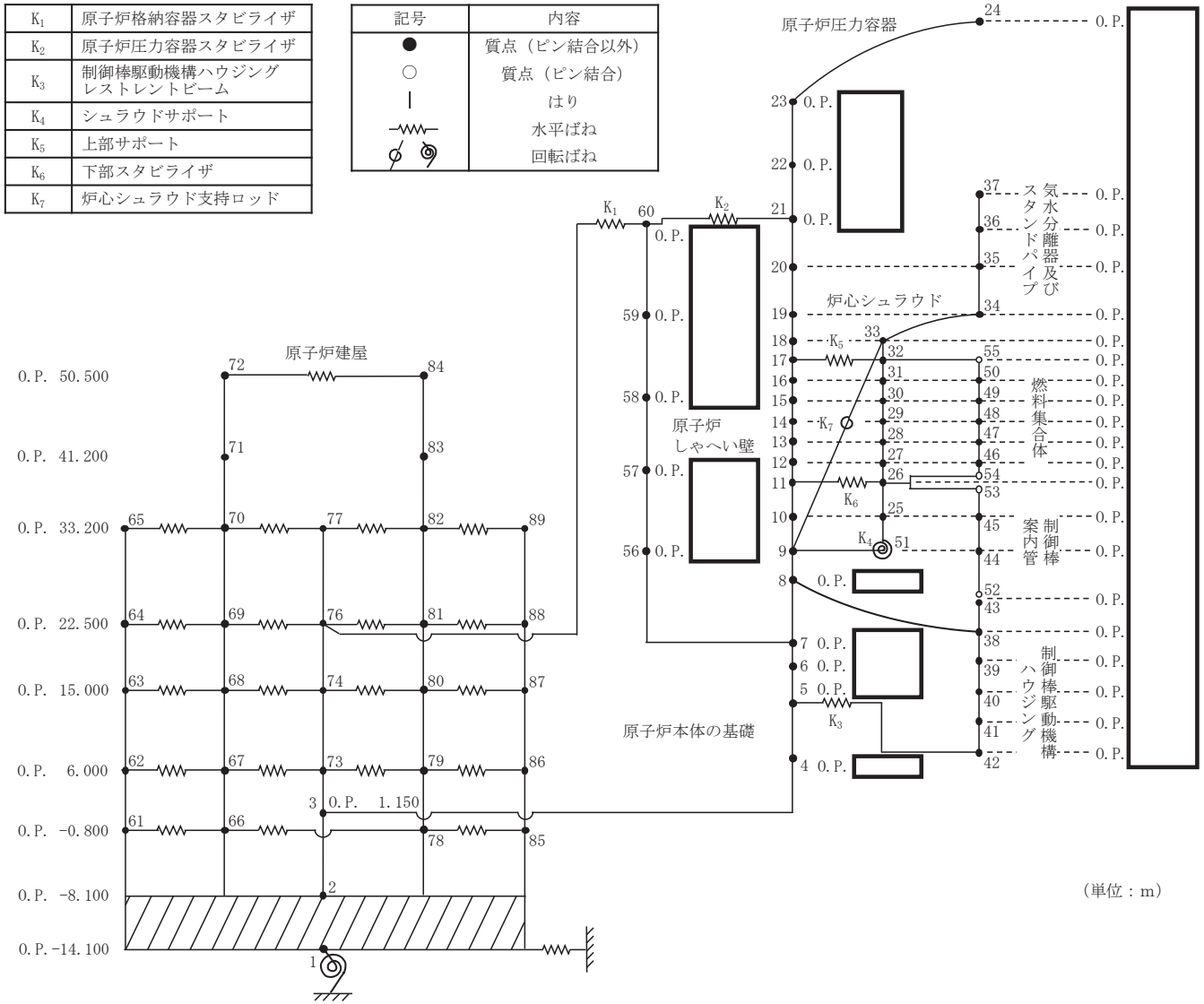



図 1-3　水平方向地震応答解析モデル（炉内構造物系，NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム |
| $K_4$ | シュラウドサポート |
| $K_5$ | 上部サポート |
| $K_6$ | 下部スタビライザ |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点（ピン結合以外） |
| ○ | 質点（ピン結合） |
| \| | はり |
| ～～～ | 水平ばね |
| | 回転ばね |

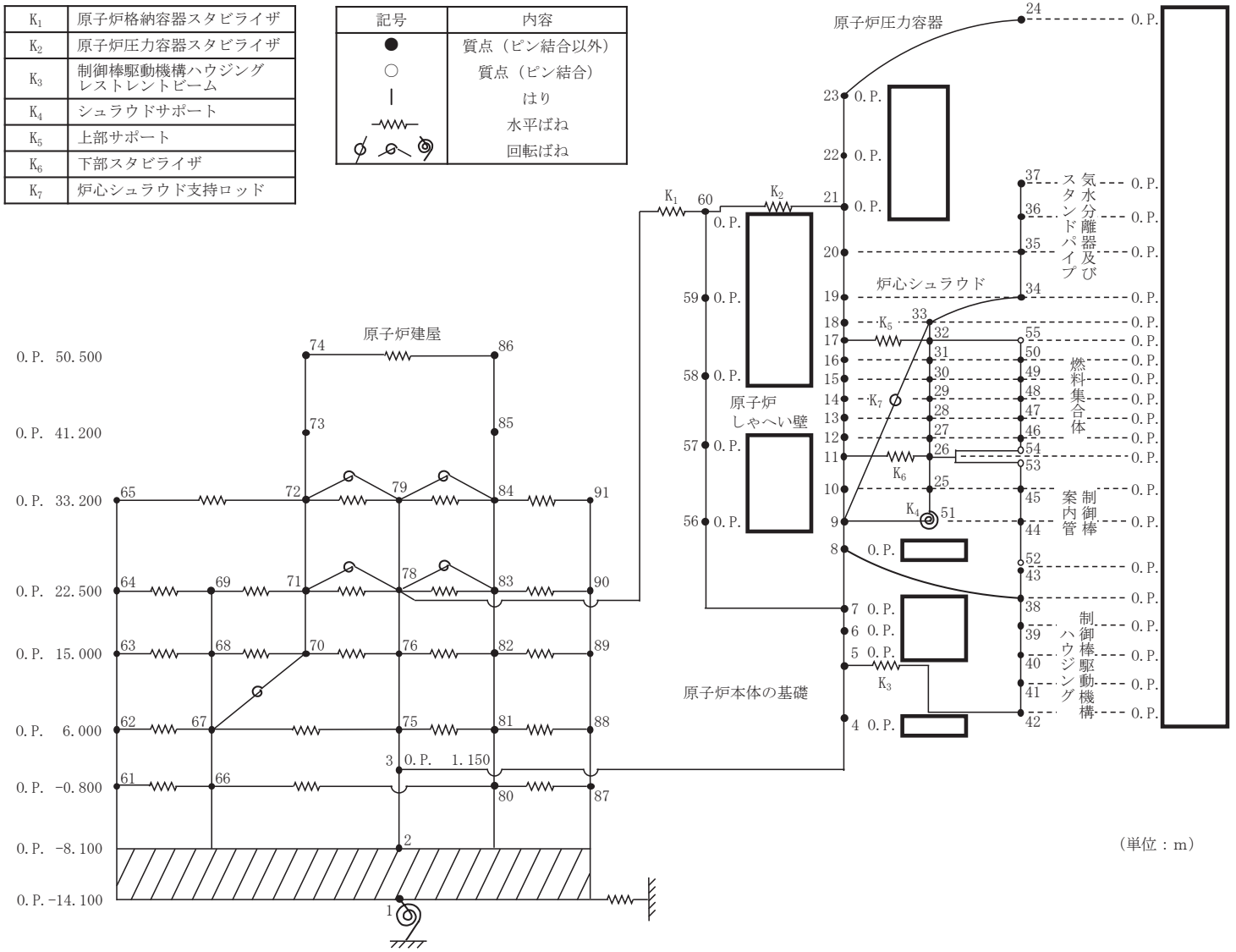



図 1-4　水平方向地震応答解析モデル（炉内構造物系，EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| $K_\theta$ | トラス端部回転拘束ばね |
|---|---|

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| \| | 軸ばね（構造物） |
| — | はり（屋根トラス部） |
| | 回転ばね |
| | 鉛直ばね（地盤） |

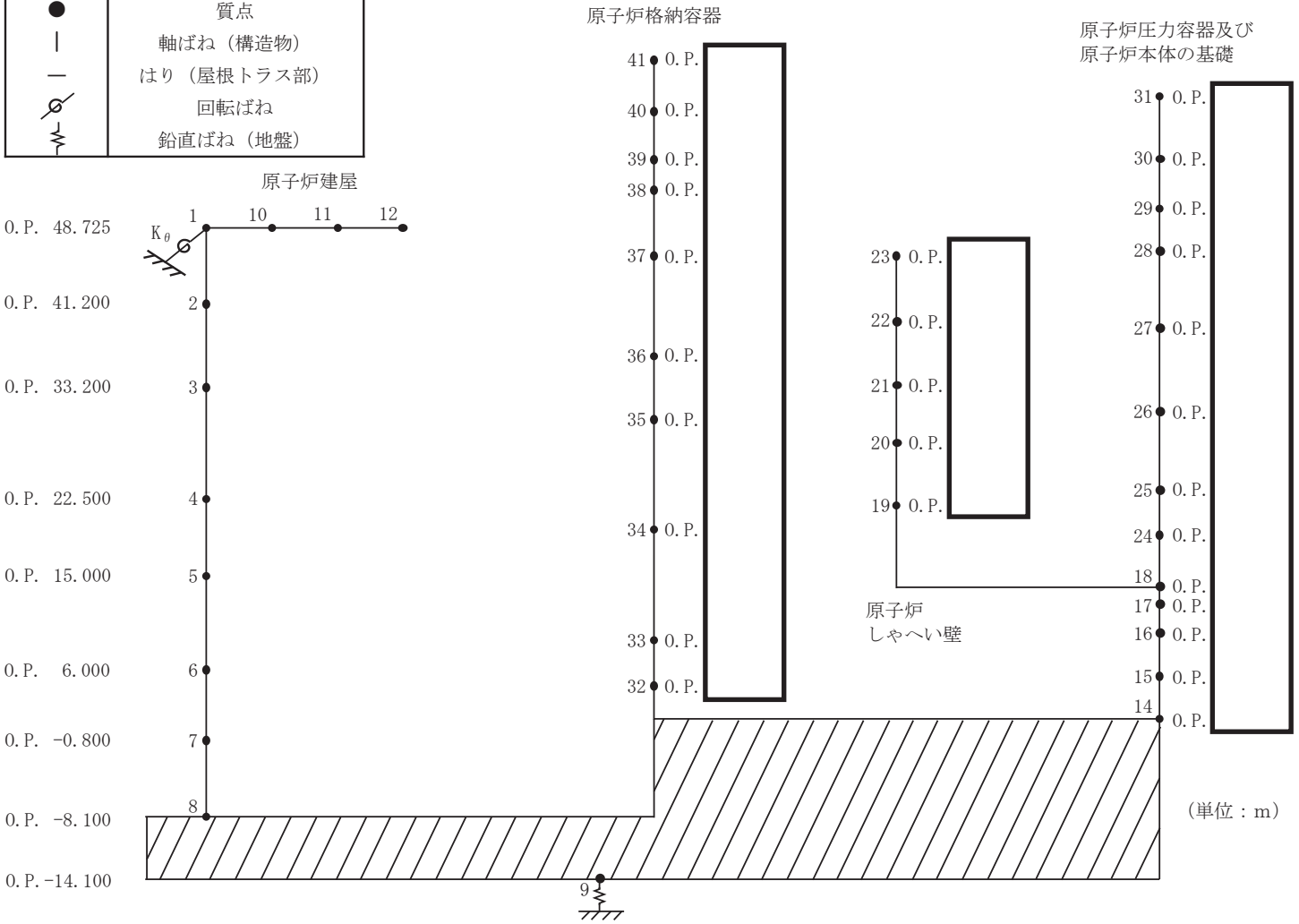



図 1-5　鉛直方向地震応答解析モデル（大型機器系）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

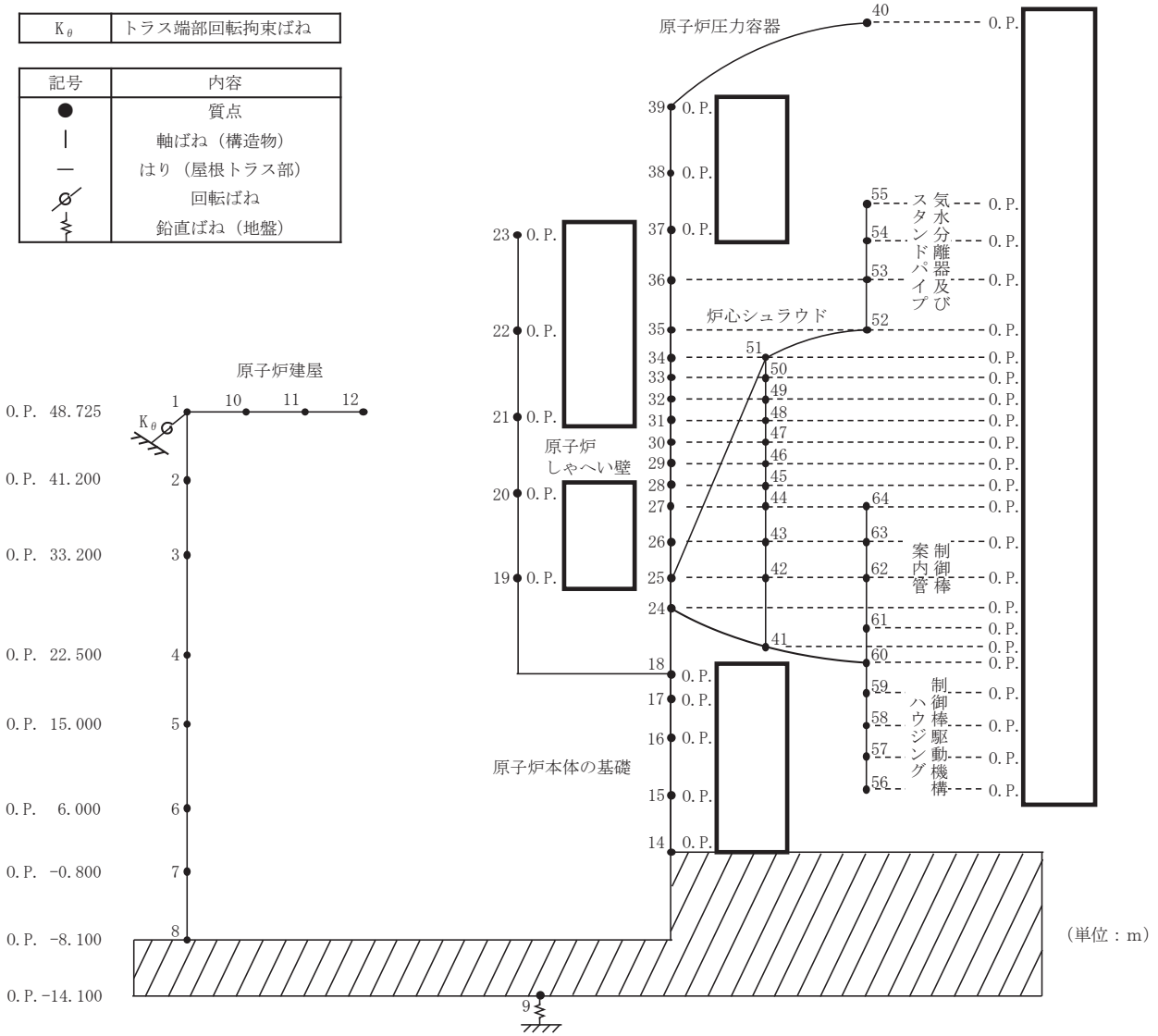



図 1-6　鉛直方向地震応答解析モデル（炉内構造物系）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2. 建屋－機器連成地震応答解析における材料物性の不確かさ等の考慮

建屋－機器連成地震応答解析における材料物性の不確かさ等の考慮には，材料物性の不確かさ等を考慮した建屋－機器連成地震応答解析の結果を踏まえる。具体的には，添付書類「Ⅵ-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づいた材料物性の不確かさに加え，原子炉本体の基礎に充填されたコンクリートの初期剛性低下を考慮したケースの地震応答解析結果を考慮する。

表 2-1 に基本ケース及び材料物性の不確かさ等を考慮する検討ケースの諸元を示す。

表 2-1　建屋-機器連成地震応答解析において材料物性の不確かさ等を考慮する検討ケース

| 検討ケース | 建屋初期剛性 | 地盤物性 | | 原子炉本体の基礎の初期剛性 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 入力地震動 | 底面地盤ばね | | |
| ケース１<br>（基本ケース） | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 | コンクリート強度：設計基準強度<br>初期剛性低下：考慮しない | |
| ケース２ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ | 同上 | |
| ケース３ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ | 同上 | |
| ケース４ | 基本ケースの 0.78 倍*2 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 | 同上 | 基準地震動Ｓｓ<br>固有の解析ケース |
| ケース５ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ | 同上 | 基準地震動Ｓｓ<br>固有の解析ケース |
| ケース６ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ | 同上 | 基準地震動Ｓｓ<br>固有の解析ケース |
| ケース７ | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 | コンクリート強度：設計基準強度<br>初期剛性低下：原子炉建屋地下 3 階から地上 2 階の補正係数を適用 | 建屋-機器連成地震応答解析固有の解析ケース |

注記＊1：コンクリート強度は設計基準強度とし，添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数（地上 3 階及びクレーン階：NS 方向 0.30，EW 方向 0.50，地下 3 階から地上 2 階：NS 方向 0.75，EW 方向 0.80）を適用して初期剛性を設定する。

＊2：原子炉建屋の基準地震動Ｓｓ入力前後の 1 次ピーク振動数の比から算定した剛性比（補足-620-1「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」参照）

2.1　材料物性の不確かさ等を考慮したケースに用いる入力地震動

入力地震動は，基本ケースについては，全ての弾性設計用地震動Ｓｄ及び基準地震動Ｓｓを用いる。また，材料物性の不確かさ等を考慮したケース（ケース 2～ケース 7）については，基準地震動Ｓｓの基本ケースの各質点で地震力が最大となる地震動を用いることとし，水平方向はＳｓ-Ｄ１，Ｓｓ-Ｄ２，Ｓｓ-Ｄ３，Ｓｓ-Ｆ３及びＳｓ-Ｎ１並びにＳｄ-Ｄ１，Ｓｄ-Ｄ２，Ｓｄ-Ｄ３，Ｓｄ-Ｆ３及びＳｄ-Ｎ１，鉛直方向はＳｓ-Ｄ２及びＳｄ-Ｄ２を用いる。

材料物性の不確かさ等を考慮したケースの解析に用いる入力地震動を表 2-2 及び表 2-3 に示す。また，基準地震動Ｓｓの基本ケースによる地震力が最大となる地震動を整理した結果を表 2-4 に示す。

表 2-2　材料物性の不確かさ等を考慮したケースの解析に用いる入力地震動（水平方向）

| 検討ケース | 基準地震動及び弾性設計用地震動 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ｓｓ-Ｄ１<br>Ｓｄ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２<br>Ｓｄ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３<br>Ｓｄ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１<br>Ｓｄ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２<br>Ｓｄ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３<br>Ｓｄ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１<br>Ｓｄ-Ｎ１ |
| ケース 1<br>（基本ケース） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ケース 2 | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース 3 | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース 4 | ○* | ○* | ○* | | | ○* | ○* |
| ケース 5 | ○* | ○* | ○* | | | ○* | ○* |
| ケース 6 | ○* | ○* | ○* | | | ○* | ○* |
| ケース 7 | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |

注記＊：ケース 4～ケース 6 は基準地震動Ｓｓ固有のケースのため，弾性設計用地震動Ｓｄについては実施しない。

表 2-3　材料物性の不確かさ等を考慮したケースの解析に用いる入力地震動（鉛直方向）

| 検討ケース | 基準地震動及び弾性設計用地震動 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ｓｓ-Ｄ１<br>Ｓｄ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２<br>Ｓｄ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３<br>Ｓｄ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１<br>Ｓｄ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２<br>Ｓｄ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３<br>Ｓｄ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１<br>Ｓｄ-Ｎ１ |
| ケース 1<br>（基本ケース） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ケース 2 | | ○ | | | | | |
| ケース 3 | | ○ | | | | | |
| ケース 4 | | | | | | | |
| ケース 5 | | | | | | | |
| ケース 6 | | | | | | | |
| ケース 7 | | ○ | | | | | |

表 2-4（1）地震力（水平加速度）が最大となる基準地震動Ｓｓ（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 水平加速度（m/s²） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉圧力容器 | | 28.5 | 27.4 | 29.7 | 31.7 | 29.1 | 27.3 | 17.4 | 23.8 | 24.3 | 26.2 | 25.9 | 31.2 | 16.6 | 18.1 |
| | | 24.9 | 23.7 | 26.2 | 26.3 | 26.2 | 23.3 | 14.9 | 20.6 | 21.4 | 22.9 | 22.0 | 26.6 | 15.4 | 15.9 |
| | | 22.1 | 21.9 | 23.3 | 22.8 | 23.9 | 20.6 | 12.9 | 17.9 | 19.1 | 20.4 | 19.4 | 22.9 | 14.5 | 14.4 |
| | | 19.4 | 20.2 | 20.7 | 20.0 | 21.9 | 18.3 | 11.6 | 15.5 | 16.9 | 18.1 | 17.0 | 19.5 | 14.0 | 13.0 |
| | | 17.0 | 18.2 | 17.2 | 18.3 | 19.0 | 15.1 | 10.3 | 12.4 | 14.0 | 15.2 | 14.1 | 15.4 | 13.5 | 12.4 |
| | | 14.9 | 16.3 | 13.6 | 16.0 | 14.8 | 13.5 | 10.6 | 11.0 | 11.8 | 12.5 | 13.4 | 12.4 | 12.4 | 11.6 |
| | | 12.6 | 13.2 | 11.4 | 12.4 | 11.1 | 11.0 | 9.98 | 10.2 | 9.89 | 10.5 | 13.4 | 9.84 | 10.8 | 11.0 |
| | | 11.4 | 11.4 | 10.2 | 10.6 | 10.1 | 9.88 | 9.43 | 9.23 | 9.50 | 9.62 | 12.9 | 10.2 | 9.94 | 10.2 |
| 原子炉本体の基礎 | | 9.90 | 9.45 | 9.20 | 10.0 | 8.80 | 9.27 | 8.10 | 7.91 | 8.72 | 8.07 | 11.2 | 9.72 | 9.15 | 9.28 |
| | | 9.52 | 9.03 | 8.91 | 9.93 | 8.63 | 8.64 | 7.88 | 7.41 | 8.57 | 7.66 | 11.0 | 9.57 | 8.84 | 8.88 |
| | | 9.00 | 8.39 | 8.47 | 9.71 | 8.08 | 8.11 | 7.37 | 6.96 | 8.22 | 7.03 | 10.5 | 9.25 | 8.37 | 8.58 |
| | | 8.15 | 7.68 | 8.01 | 9.24 | 7.64 | 7.20 | 6.95 | 6.46 | 8.03 | 6.76 | 10.1 | 8.75 | 8.10 | 8.65 |
| | | 7.12 | 6.88 | 7.51 | 8.71 | 7.25 | 6.96 | 6.64 | 6.05 | 7.96 | 6.69 | 9.85 | 8.25 | 7.84 | 8.17 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 16.2 | 17.2 | 16.7 | 16.6 | 18.6 | 16.1 | 9.90 | 11.6 | 13.5 | 15.3 | 12.9 | 13.9 | 13.2 | 12.9 |
| | | 15.2 | 16.3 | 15.5 | 14.6 | 16.3 | 13.6 | 9.71 | 11.3 | 12.3 | 15.3 | 12.5 | 13.4 | 12.9 | 12.7 |
| | | 14.3 | 15.9 | 14.4 | 14.6 | 14.0 | 13.0 | 10.1 | 11.5 | 12.0 | 14.9 | 11.5 | 13.1 | 12.7 | 12.2 |
| | | 14.1 | 15.1 | 12.8 | 13.9 | 11.6 | 12.5 | 9.93 | 11.3 | 11.3 | 13.3 | 11.4 | 11.6 | 12.0 | 11.4 |
| | | 12.5 | 12.7 | 11.5 | 12.1 | 10.3 | 11.1 | 9.35 | 10.1 | 10.3 | 10.7 | 11.6 | 11.1 | 10.6 | 10.7 |
| | | 9.90 | 9.45 | 9.20 | 10.0 | 8.80 | 9.27 | 8.10 | 7.91 | 8.72 | 8.07 | 11.2 | 9.72 | 9.15 | 9.28 |
| 原子炉格納容器 | | 15.4 | 16.5 | 19.0 | 18.5 | 17.0 | 19.4 | 10.9 | 10.9 | 14.0 | 15.5 | 14.4 | 14.1 | 13.0 | 14.0 |
| | | 14.5 | 15.5 | 18.0 | 17.5 | 16.0 | 18.4 | 10.5 | 10.4 | 13.0 | 14.8 | 13.4 | 13.4 | 12.8 | 13.6 |
| | | 13.6 | 14.7 | 17.0 | 16.4 | 15.0 | 17.3 | 10.1 | 9.99 | 12.3 | 14.1 | 12.4 | 12.8 | 12.5 | 13.2 |
| | | 13.1 | 14.2 | 16.3 | 15.7 | 14.3 | 16.6 | 9.81 | 9.75 | 11.9 | 13.6 | 11.7 | 12.3 | 12.3 | 13.0 |
| | | 12.4 | 13.2 | 14.8 | 14.2 | 12.7 | 15.0 | 9.23 | 9.23 | 11.1 | 12.8 | 10.2 | 11.3 | 11.8 | 12.4 |
| | | 10.3 | 11.5 | 11.7 | 12.3 | 10.4 | 12.0 | 8.10 | 8.13 | 9.71 | 11.2 | 9.36 | 9.38 | 11.2 | 11.3 |
| | | 9.38 | 11.2 | 9.72 | 10.8 | 9.01 | 10.5 | 7.33 | 7.44 | 8.84 | 10.2 | 9.04 | 8.06 | 10.7 | 10.6 |
| | | 8.50 | 9.93 | 8.23 | 8.07 | 7.17 | 8.86 | 6.11 | 6.47 | 7.50 | 8.42 | 8.40 | 7.46 | 9.79 | 9.75 |
| | | 7.64 | 7.58 | 7.28 | 8.63 | 6.57 | 6.65 | 6.28 | 6.31 | 7.89 | 6.89 | 8.74 | 8.17 | 8.63 | 8.88 |
| | | 7.30 | 7.23 | 7.56 | 8.82 | 6.89 | 6.91 | 6.54 | 6.25 | 8.00 | 6.55 | 9.41 | 8.35 | 8.19 | 8.38 |
| | | 7.12 | 6.88 | 7.51 | 8.71 | 7.25 | 6.96 | 6.64 | 6.05 | 7.96 | 6.69 | 9.85 | 8.25 | 7.84 | 8.17 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（1）地震力（水平加速度）が最大となる基準地震動Ｓｓ（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 水平加速度(m/s²) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 炉心シュラウド | | 52.4 | 76.0 | 67.1 | 75.8 | 61.7 | 74.5 | 42.2 | 48.8 | 52.2 | 54.1 | 62.0 | 67.5 | 27.6 | 31.4 |
| | | 36.0 | 45.7 | 43.9 | 36.4 | 41.4 | 43.3 | 31.1 | 30.3 | 34.2 | 35.3 | 42.4 | 42.0 | 20.2 | 17.9 |
| | | 25.4 | 32.8 | 27.3 | 22.6 | 27.3 | 29.8 | 23.4 | 23.3 | 23.1 | 24.0 | 31.7 | 30.2 | 17.7 | 16.4 |
| | | 19.8 | 27.1 | 23.8 | 20.3 | 19.0 | 24.3 | 18.0 | 19.3 | 17.5 | 20.0 | 24.9 | 26.8 | 16.5 | 15.2 |
| | | 18.3 | 24.5 | 22.5 | 18.9 | 18.4 | 21.8 | 15.4 | 18.0 | 16.4 | 18.9 | 21.6 | 25.1 | 16.2 | 14.7 |
| | | 17.6 | 22.4 | 21.2 | 17.9 | 18.0 | 20.0 | 14.1 | 17.0 | 16.0 | 18.0 | 19.6 | 23.7 | 15.7 | 14.4 |
| | | 16.8 | 20.3 | 19.6 | 16.8 | 17.0 | 18.7 | 13.2 | 16.1 | 15.2 | 17.1 | 18.2 | 22.2 | 14.8 | 14.0 |
| | | 16.1 | 18.4 | 18.8 | 15.5 | 15.9 | 17.4 | 12.4 | 15.1 | 14.5 | 16.2 | 16.6 | 20.8 | 14.1 | 13.7 |
| | | 15.4 | 16.6 | 17.9 | 14.2 | 14.8 | 15.9 | 11.5 | 14.0 | 13.7 | 15.1 | 15.0 | 19.2 | 13.5 | 13.3 |
| | | 14.7 | 14.7 | 16.8 | 13.7 | 13.8 | 14.7 | 10.7 | 12.9 | 13.0 | 13.9 | 13.8 | 17.6 | 12.9 | 12.8 |
| | | 14.0 | 13.7 | 15.6 | 13.2 | 12.8 | 13.9 | 9.81 | 11.8 | 12.2 | 12.7 | 13.1 | 16.1 | 12.8 | 12.3 |
| | | 14.2 | 13.6 | 14.5 | 12.9 | 11.8 | 13.2 | 9.22 | 10.7 | 11.2 | 11.7 | 13.3 | 14.7 | 12.5 | 11.9 |
| | | 13.5 | 12.9 | 12.7 | 12.1 | 10.7 | 11.8 | 9.34 | 9.48 | 9.98 | 10.5 | 13.2 | 12.5 | 11.5 | 11.6 |
| | | 12.3 | 11.7 | 11.5 | 11.2 | 9.99 | 10.6 | 9.19 | 9.32 | 9.21 | 9.44 | 12.5 | 10.8 | 10.7 | 11.2 |
| 制御棒案内管 | | 14.2 | 13.6 | 14.5 | 12.9 | 11.8 | 13.2 | 9.22 | 10.7 | 11.2 | 11.7 | 13.3 | 14.7 | 12.5 | 11.9 |
| | | 22.6 | 13.8 | 24.6 | 18.7 | 20.8 | 13.7 | 12.9 | 11.2 | 17.9 | 11.1 | 39.5 | 13.1 | 14.2 | 10.7 |
| | | 25.4 | 13.8 | 30.5 | 23.6 | 25.2 | 15.4 | 15.6 | 11.9 | 20.5 | 11.4 | 50.1 | 14.6 | 14.5 | 10.1 |
| | | 17.4 | 12.0 | 15.3 | 13.0 | 14.2 | 10.7 | 8.36 | 9.81 | 13.1 | 9.26 | 24.5 | 10.4 | 11.6 | 10.4 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 17.4 | 12.0 | 15.3 | 13.0 | 14.2 | 10.7 | 8.36 | 9.81 | 13.1 | 9.26 | 24.5 | 10.4 | 11.6 | 10.4 |
| | | 11.2 | 10.5 | 10.9 | 11.0 | 9.71 | 9.66 | 8.87 | 8.76 | 8.99 | 8.49 | 13.0 | 10.8 | 9.94 | 10.7 |
| | | 13.6 | 11.9 | 15.2 | 14.6 | 11.6 | 12.5 | 10.1 | 10.5 | 10.1 | 10.2 | 17.2 | 12.2 | 10.4 | 11.4 |
| | | 16.3 | 15.2 | 21.2 | 20.2 | 14.2 | 17.8 | 11.8 | 12.8 | 13.0 | 13.9 | 26.6 | 16.2 | 10.8 | 14.3 |
| | | 14.6 | 14.4 | 19.6 | 18.6 | 13.2 | 16.6 | 11.3 | 11.8 | 12.4 | 13.1 | 24.7 | 15.6 | 10.8 | 13.3 |
| | | 9.07 | 9.37 | 10.9 | 11.7 | 9.16 | 9.15 | 8.20 | 8.08 | 8.87 | 8.05 | 12.2 | 10.6 | 9.69 | 10.6 |
| 燃料集合体 | | 17.6 | 22.4 | 21.2 | 17.9 | 18.0 | 20.0 | 14.1 | 17.0 | 16.0 | 18.0 | 19.6 | 23.7 | 15.7 | 14.4 |
| | | 29.7 | 23.4 | 30.4 | 25.8 | 24.5 | 17.7 | 18.8 | 16.5 | 25.5 | 20.3 | 24.3 | 21.0 | 21.3 | 18.1 |
| | | 38.6 | 32.7 | 39.9 | 33.9 | 31.3 | 24.6 | 24.8 | 21.4 | 32.8 | 28.8 | 30.3 | 23.9 | 26.5 | 22.9 |
| | | 40.2 | 35.7 | 42.0 | 36.9 | 31.9 | 26.2 | 27.1 | 23.7 | 35.5 | 32.1 | 32.4 | 26.5 | 28.1 | 24.9 |
| | | 34.9 | 31.2 | 38.1 | 33.3 | 27.7 | 22.7 | 23.9 | 21.1 | 31.1 | 28.7 | 29.8 | 24.1 | 25.0 | 21.6 |
| | | 23.7 | 20.3 | 28.1 | 22.3 | 19.1 | 15.6 | 16.5 | 12.9 | 21.5 | 19.6 | 22.3 | 17.3 | 18.8 | 15.6 |
| | | 14.2 | 13.6 | 14.5 | 12.9 | 11.8 | 13.2 | 9.22 | 10.7 | 11.2 | 11.7 | 13.3 | 14.7 | 12.5 | 11.9 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（2）地震力（鉛直加速度）が最大となる基準地震動Ｓｓ（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 鉛直加速度(m/s²) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１ |
| | | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 |
| 原子炉圧力容器 | | 8.87 | 11.1 | 10.7 | 6.02 | 6.05 | 10.0 | 4.40 |
| | | 8.85 | 11.1 | 10.6 | 5.99 | 6.03 | 10.0 | 4.39 |
| | | 8.79 | 11.0 | 10.4 | 5.91 | 5.98 | 9.84 | 4.37 |
| | | 8.69 | 10.8 | 10.1 | 5.78 | 5.88 | 9.60 | 4.35 |
| | | 8.50 | 10.6 | 9.38 | 5.50 | 5.67 | 9.09 | 4.29 |
| | | 8.29 | 10.3 | 8.52 | 5.16 | 5.41 | 8.41 | 4.26 |
| | | 8.01 | 9.85 | 7.60 | 4.97 | 5.17 | 7.70 | 4.24 |
| | | 7.80 | 9.58 | 7.09 | 4.90 | 5.03 | 7.28 | 4.22 |
| 原子炉本体の基礎 | | 6.26 | 7.50 | 5.89 | 4.30 | 4.59 | 6.34 | 4.05 |
| | | 6.04 | 7.21 | 5.66 | 4.23 | 4.52 | 6.09 | 4.03 |
| | | 5.55 | 6.62 | 5.16 | 4.08 | 4.36 | 5.56 | 3.97 |
| | | 5.06 | 5.97 | 4.66 | 3.91 | 4.18 | 4.97 | 3.90 |
| | | 5.05 | 5.51 | 4.35 | 3.71 | 3.97 | 4.37 | 3.81 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 11.3 | 15.3 | 12.9 | 8.01 | 8.23 | 14.5 | 4.45 |
| | | 11.1 | 15.0 | 12.3 | 7.87 | 8.04 | 14.0 | 4.44 |
| | | 10.6 | 14.2 | 11.4 | 7.49 | 7.53 | 13.0 | 4.41 |
| | | 9.70 | 12.6 | 10.1 | 6.86 | 6.76 | 11.6 | 4.37 |
| | | 8.43 | 10.5 | 8.42 | 5.83 | 5.51 | 9.64 | 4.27 |
| | | 6.26 | 7.50 | 5.89 | 4.30 | 4.59 | 6.34 | 4.05 |
| 原子炉格納容器 | | 7.35 | 9.35 | 8.64 | 4.90 | 5.53 | 6.52 | 4.38 |
| | | 7.28 | 9.24 | 8.62 | 4.86 | 5.52 | 6.49 | 4.37 |
| | | 7.14 | 9.08 | 8.57 | 4.78 | 5.51 | 6.50 | 4.36 |
| | | 7.10 | 8.97 | 8.49 | 4.73 | 5.49 | 6.49 | 4.35 |
| | | 6.98 | 8.62 | 8.22 | 4.60 | 5.44 | 6.43 | 4.35 |
| | | 6.66 | 8.09 | 7.29 | 4.31 | 5.23 | 6.07 | 4.31 |
| | | 6.36 | 7.65 | 6.84 | 4.11 | 5.04 | 5.74 | 4.27 |
| | | 5.78 | 6.98 | 6.10 | 3.82 | 4.71 | 5.28 | 4.19 |
| | | 5.33 | 6.29 | 5.14 | 3.75 | 4.33 | 4.80 | 4.02 |
| | | 5.19 | 5.93 | 4.67 | 3.75 | 4.14 | 4.57 | 3.92 |
| | | 5.05 | 5.51 | 4.35 | 3.71 | 3.97 | 4.37 | 3.81 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（2）地震力（鉛直加速度）が最大となる基準地震動Ｓｓ（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 鉛直加速度(m/s²) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１ |
| | | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 |
| 炉心シュラウド | | 10.3 | 13.1 | 10.9 | 7.06 | 6.46 | 11.8 | 4.56 |
| | | 10.3 | 13.1 | 10.9 | 7.05 | 6.45 | 11.8 | 4.55 |
| | | 10.2 | 13.0 | 10.8 | 7.01 | 6.42 | 11.7 | 4.55 |
| | | 10.1 | 12.8 | 10.7 | 6.94 | 6.36 | 11.6 | 4.53 |
| | | 9.37 | 11.8 | 9.81 | 6.36 | 5.90 | 10.9 | 4.40 |
| | | 9.28 | 11.6 | 9.71 | 6.29 | 5.84 | 10.9 | 4.39 |
| | | 9.15 | 11.5 | 9.56 | 6.19 | 5.78 | 10.7 | 4.38 |
| | | 9.02 | 11.3 | 9.42 | 6.09 | 5.70 | 10.6 | 4.37 |
| | | 8.88 | 11.1 | 9.26 | 5.98 | 5.63 | 10.5 | 4.37 |
| | | 8.75 | 10.9 | 9.12 | 5.87 | 5.56 | 10.4 | 4.36 |
| | | 8.63 | 10.7 | 8.99 | 5.76 | 5.48 | 10.2 | 4.35 |
| | | 8.50 | 10.5 | 8.86 | 5.65 | 5.40 | 10.1 | 4.34 |
| | | 8.23 | 10.2 | 8.57 | 5.45 | 5.30 | 9.72 | 4.32 |
| | | 7.95 | 9.78 | 8.28 | 5.25 | 5.24 | 9.42 | 4.29 |
| | | 7.53 | 9.21 | 7.82 | 4.91 | 5.13 | 8.87 | 4.26 |
| 制御棒案内管 | | 10.1 | 12.9 | 10.9 | 6.95 | 6.48 | 11.5 | 4.50 |
| | | 9.58 | 12.2 | 10.3 | 6.56 | 6.15 | 11.1 | 4.46 |
| | | 9.07 | 11.4 | 9.69 | 6.17 | 5.84 | 10.7 | 4.42 |
| | | 8.40 | 10.4 | 8.90 | 5.59 | 5.42 | 10.1 | 4.35 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 8.40 | 10.4 | 8.90 | 5.59 | 5.42 | 10.1 | 4.35 |
| | | 8.16 | 10.1 | 8.64 | 5.39 | 5.34 | 9.80 | 4.33 |
| | | 8.20 | 10.2 | 8.69 | 5.41 | 5.36 | 9.90 | 4.33 |
| | | 8.24 | 10.2 | 8.74 | 5.43 | 5.38 | 10.0 | 4.33 |
| | | 8.28 | 10.3 | 8.79 | 5.45 | 5.39 | 10.1 | 4.33 |
| | | 8.31 | 10.4 | 8.83 | 5.48 | 5.41 | 10.2 | 4.33 |

注：ハッチング箇所はＳｓ7波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（3）地震力（せん断力）が最大となる基準地震動Ｓｓ（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | せん断力（×10² kN） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉圧力容器 | | 4.82 | 4.68 | 5.10 | 5.36 | 4.95 | 4.63 | 3.01 | 3.99 | 4.10 | 4.41 | 4.45 | 5.30 | 2.81 | 3.20 |
| | | 16.9 | 18.9 | 18.9 | 21.3 | 17.8 | 18.8 | 12.3 | 15.5 | 14.9 | 17.3 | 18.9 | 20.6 | 9.74 | 12.3 |
| | | 38.0 | 37.6 | 39.6 | 42.1 | 39.9 | 37.7 | 23.8 | 32.5 | 32.0 | 35.0 | 35.4 | 42.6 | 23.3 | 25.2 |
| | | 32.0 | 25.6 | 30.5 | 25.5 | 27.9 | 27.7 | 18.6 | 23.0 | 30.0 | 19.5 | 30.4 | 27.8 | 19.7 | 17.2 |
| | | 30.2 | 31.3 | 32.7 | 32.0 | 23.3 | 26.0 | 21.1 | 21.2 | 28.5 | 27.7 | 27.7 | 24.9 | 29.2 | 26.0 |
| | | 58.5 | 59.7 | 61.5 | 64.8 | 63.6 | 57.0 | 38.7 | 42.6 | 54.4 | 51.4 | 45.7 | 51.9 | 56.2 | 55.0 |
| | | 82.7 | 85.5 | 82.6 | 89.3 | 83.1 | 78.5 | 52.1 | 62.0 | 72.8 | 70.4 | 59.6 | 69.4 | 77.0 | 74.9 |
| | | 106 | 109 | 102 | 111 | 99.5 | 98.7 | 69.9 | 80.3 | 89.2 | 89.5 | 84.5 | 83.4 | 96.6 | 95.4 |
| 原子炉本体の基礎 | | 287 | 291 | 283 | 270 | 259 | 262 | 187 | 217 | 245 | 253 | 218 | 218 | 273 | 269 |
| | | 312 | 316 | 302 | 291 | 271 | 280 | 206 | 237 | 261 | 274 | 237 | 239 | 296 | 293 |
| | | 337 | 340 | 322 | 312 | 280 | 297 | 226 | 256 | 275 | 295 | 263 | 262 | 318 | 317 |
| | | 360 | 360 | 341 | 328 | 288 | 310 | 243 | 272 | 287 | 312 | 286 | 281 | 340 | 338 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 67.9 | 49.8 | 68.4 | 60.4 | 56.6 | 58.1 | 33.9 | 46.6 | 62.7 | 46.0 | 64.1 | 57.7 | 36.6 | 34.0 |
| | | 59.1 | 52.6 | 61.9 | 66.4 | 47.4 | 48.7 | 37.6 | 44.9 | 55.5 | 54.9 | 65.0 | 56.4 | 50.8 | 44.5 |
| | | 82.9 | 89.1 | 85.6 | 86.1 | 77.5 | 79.4 | 54.2 | 53.9 | 74.0 | 73.8 | 68.7 | 64.8 | 78.2 | 75.4 |
| | | 114 | 117 | 125 | 117 | 114 | 107 | 72.5 | 81.0 | 107 | 107 | 97.8 | 87.6 | 112 | 111 |
| | | 156 | 164 | 166 | 149 | 146 | 146 | 98.9 | 118 | 143 | 147 | 132 | 124 | 154 | 151 |
| 原子炉格納容器 | | 2.28 | 2.44 | 2.86 | 2.69 | 2.50 | 2.88 | 1.65 | 1.68 | 2.11 | 2.29 | 2.20 | 2.09 | 1.87 | 2.07 |
| | | 4.43 | 4.75 | 5.56 | 5.22 | 4.85 | 5.60 | 3.24 | 3.23 | 4.07 | 4.46 | 4.23 | 4.08 | 3.71 | 4.07 |
| | | 28.5 | 30.6 | 31.0 | 32.2 | 33.9 | 31.9 | 18.5 | 20.5 | 23.4 | 27.0 | 23.2 | 27.4 | 22.7 | 23.8 |
| | | 34.0 | 36.7 | 39.2 | 39.8 | 40.8 | 39.9 | 23.0 | 24.6 | 27.9 | 32.6 | 28.8 | 33.4 | 28.4 | 30.2 |
| | | 260 | 289 | 251 | 262 | 196 | 221 | 139 | 144 | 221 | 223 | 218 | 183 | 267 | 251 |
| | | 273 | 303 | 265 | 273 | 208 | 236 | 148 | 154 | 231 | 235 | 226 | 195 | 279 | 263 |
| | | 282 | 312 | 274 | 281 | 215 | 246 | 155 | 161 | 237 | 244 | 232 | 202 | 287 | 272 |
| | | 295 | 328 | 287 | 294 | 225 | 261 | 166 | 174 | 246 | 257 | 245 | 214 | 302 | 286 |
| | | 300 | 334 | 292 | 298 | 227 | 267 | 171 | 179 | 249 | 262 | 251 | 218 | 308 | 292 |
| | | 310 | 343 | 302 | 314 | 232 | 278 | 180 | 189 | 250 | 278 | 272 | 227 | 323 | 304 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（3）地震力（せん断力）が最大となる基準地震動Ｓｓ（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | せん断力（×10² kN） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 炉心シュラウド | | 4.23 | 6.08 | 5.20 | 6.03 | 4.95 | 5.96 | 3.39 | 3.95 | 4.12 | 4.31 | 4.92 | 5.32 | 2.23 | 2.51 |
| | | 9.87 | 13.4 | 12.1 | 11.9 | 11.7 | 12.9 | 8.37 | 8.75 | 9.43 | 9.92 | 11.7 | 11.9 | 5.33 | 5.15 |
| | | 19.8 | 22.6 | 24.3 | 15.6 | 20.6 | 20.7 | 15.0 | 14.8 | 18.8 | 16.9 | 19.3 | 18.0 | 8.03 | 8.35 |
| | | 24.9 | 28.5 | 30.1 | 19.7 | 25.5 | 25.6 | 19.3 | 19.1 | 23.5 | 22.5 | 24.3 | 23.3 | 10.4 | 10.3 |
| | | 31.6 | 37.5 | 35.9 | 24.6 | 31.5 | 33.3 | 24.2 | 24.8 | 28.4 | 29.8 | 31.1 | 30.7 | 13.1 | 12.1 |
| | | 29.8 | 34.7 | 34.8 | 29.7 | 26.6 | 24.7 | 27.0 | 26.3 | 33.5 | 31.8 | 35.7 | 28.9 | 24.0 | 19.9 |
| | | 32.5 | 39.1 | 36.2 | 30.1 | 30.0 | 29.7 | 28.6 | 28.3 | 35.3 | 32.2 | 37.2 | 30.8 | 23.6 | 20.1 |
| | | 33.8 | 42.4 | 35.7 | 29.4 | 34.4 | 34.2 | 29.3 | 29.2 | 35.1 | 33.0 | 39.6 | 36.1 | 21.7 | 18.9 |
| | | 35.9 | 45.3 | 39.8 | 30.3 | 38.8 | 38.5 | 29.0 | 31.3 | 33.7 | 35.8 | 41.6 | 41.0 | 19.3 | 17.1 |
| | | 38.2 | 50.0 | 43.9 | 33.5 | 42.9 | 43.9 | 30.9 | 34.3 | 33.7 | 38.5 | 43.1 | 45.1 | 17.5 | 16.2 |
| | | 40.1 | 54.8 | 47.2 | 35.9 | 46.1 | 47.8 | 33.5 | 36.7 | 34.9 | 41.4 | 44.5 | 48.1 | 17.0 | 17.3 |
| | | 52.2 | 61.1 | 62.5 | 55.1 | 45.4 | 48.8 | 45.1 | 42.0 | 51.2 | 47.2 | 59.8 | 58.6 | 39.9 | 32.5 |
| | | 52.4 | 62.4 | 63.0 | 55.2 | 47.0 | 50.5 | 45.3 | 42.5 | 51.9 | 48.1 | 60.8 | 59.8 | 39.9 | 32.7 |
| 制御棒案内管 | | 5.73 | 3.37 | 7.42 | 6.60 | 6.57 | 3.34 | 3.94 | 2.29 | 4.37 | 2.41 | 13.0 | 3.45 | 2.25 | 1.61 |
| | | 1.49 | 0.886 | 1.89 | 1.79 | 1.72 | 0.817 | 0.996 | 0.555 | 1.09 | 0.546 | 3.41 | 0.817 | 0.465 | 0.384 |
| | | 4.89 | 2.89 | 6.32 | 5.70 | 5.63 | 2.80 | 3.35 | 1.89 | 3.70 | 2.01 | 11.2 | 2.90 | 1.84 | 1.34 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 7.36 | 4.20 | 9.49 | 8.40 | 8.38 | 4.16 | 4.98 | 2.95 | 5.68 | 2.86 | 16.7 | 4.20 | 3.14 | 1.98 |
| | | 3.74 | 3.43 | 4.56 | 4.40 | 3.26 | 3.81 | 2.77 | 2.89 | 2.89 | 2.97 | 5.52 | 3.41 | 2.82 | 3.27 |
| | | 2.00 | 1.90 | 2.63 | 2.55 | 1.78 | 2.22 | 1.51 | 1.62 | 1.76 | 1.71 | 3.34 | 2.11 | 1.52 | 1.92 |
| | | 0.181 | 0.191 | 0.205 | 0.207 | 0.180 | 0.193 | 0.102 | 0.125 | 0.162 | 0.185 | 0.185 | 0.160 | 0.187 | 0.205 |
| | | 1.95 | 1.92 | 2.57 | 2.38 | 1.79 | 2.18 | 1.42 | 1.55 | 1.56 | 1.70 | 3.17 | 2.02 | 1.25 | 1.63 |
| 燃料集合体 | | 31.7 | 30.0 | 33.3 | 31.3 | 25.2 | 22.8 | 22.2 | 20.9 | 28.5 | 27.0 | 25.3 | 22.2 | 21.9 | 21.1 |
| | | 21.8 | 21.5 | 22.9 | 22.0 | 17.2 | 16.1 | 16.7 | 15.7 | 19.9 | 19.2 | 18.1 | 16.1 | 15.2 | 14.9 |
| | | 7.62 | 7.94 | 8.47 | 8.63 | 6.51 | 5.84 | 6.35 | 6.53 | 7.29 | 7.26 | 7.36 | 6.40 | 5.37 | 5.34 |
| | | 8.51 | 7.93 | 9.05 | 8.46 | 7.00 | 6.34 | 6.13 | 5.87 | 7.54 | 7.50 | 7.69 | 6.24 | 5.63 | 5.61 |
| | | 22.0 | 21.5 | 23.1 | 22.0 | 17.3 | 16.1 | 16.5 | 15.6 | 20.0 | 19.3 | 17.9 | 16.1 | 15.2 | 15.0 |
| | | 30.5 | 30.0 | 32.1 | 31.1 | 24.2 | 22.1 | 22.6 | 21.7 | 27.7 | 26.8 | 25.2 | 22.6 | 21.6 | 20.6 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（4）地震力（モーメント）が最大となる基準地震動Ｓｓ（1/2）

| 構造物 | 標高 0.P.（m） | モーメント（×10⁶ kN･mm） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉圧力容器 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 1.32 | 1.29 | 1.40 | 1.47 | 1.36 | 1.27 | 0.824 | 1.10 | 1.13 | 1.21 | 1.22 | 1.46 | 0.769 | 0.878 |
| | | 5.02 | 5.41 | 5.40 | 6.12 | 5.13 | 5.38 | 3.41 | 4.48 | 4.35 | 4.99 | 5.33 | 5.95 | 2.84 | 3.57 |
| | | 12.3 | 12.6 | 12.7 | 14.1 | 12.7 | 12.6 | 7.81 | 10.7 | 10.4 | 11.5 | 12.1 | 14.1 | 7.25 | 8.35 |
| | | 13.0 | 15.6 | 16.1 | 16.9 | 12.2 | 14.3 | 10.8 | 12.8 | 12.7 | 16.0 | 16.9 | 14.4 | 10.7 | 10.5 |
| | | 23.6 | 25.2 | 27.5 | 27.9 | 19.0 | 21.9 | 18.4 | 20.1 | 23.0 | 26.0 | 26.8 | 22.5 | 21.2 | 19.9 |
| | | 42.0 | 45.2 | 46.7 | 45.0 | 38.5 | 40.7 | 29.3 | 29.9 | 38.6 | 39.0 | 38.2 | 35.9 | 37.0 | 36.8 |
| | | 55.9 | 59.7 | 59.5 | 57.5 | 54.9 | 54.7 | 37.8 | 38.7 | 49.8 | 49.3 | 46.2 | 47.5 | 49.9 | 49.7 |
| | | 74.6 | 79.6 | 77.8 | 77.8 | 77.7 | 74.4 | 50.1 | 53.3 | 69.2 | 66.4 | 60.1 | 64.0 | 70.9 | 69.8 |
| 原子炉本体の基礎 | | 190 | 207 | 199 | 195 | 185 | 184 | 126 | 129 | 172 | 167 | 157 | 148 | 185 | 182 |
| | | 206 | 226 | 222 | 214 | 206 | 203 | 138 | 144 | 190 | 186 | 173 | 164 | 205 | 203 |
| | | 240 | 259 | 261 | 246 | 240 | 236 | 161 | 174 | 222 | 220 | 202 | 191 | 243 | 239 |
| | | 301 | 311 | 321 | 298 | 293 | 291 | 197 | 222 | 272 | 275 | 248 | 232 | 303 | 298 |
| | | 369 | 368 | 385 | 360 | 347 | 349 | 237 | 273 | 326 | 333 | 297 | 277 | 368 | 362 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 18.8 | 13.8 | 18.9 | 16.7 | 15.7 | 16.1 | 9.34 | 12.9 | 17.3 | 12.7 | 17.7 | 16.0 | 10.1 | 9.38 |
| | | 32.3 | 25.0 | 32.2 | 35.3 | 27.0 | 27.3 | 19.1 | 24.5 | 33.0 | 28.3 | 36.1 | 32.0 | 24.5 | 20.5 |
| | | 47.5 | 45.4 | 50.9 | 53.3 | 37.8 | 38.7 | 31.3 | 34.4 | 44.8 | 43.6 | 49.6 | 43.4 | 43.8 | 38.2 |
| | | 73.8 | 77.4 | 76.8 | 75.3 | 56.6 | 63.7 | 48.9 | 45.9 | 67.2 | 63.7 | 63.7 | 59.4 | 70.9 | 64.7 |
| | | 118 | 128 | 122 | 121 | 108 | 110 | 76.2 | 76.7 | 106 | 106 | 101 | 89.8 | 116 | 113 |
| 原子炉格納容器 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 0.525 | 0.563 | 0.657 | 0.619 | 0.576 | 0.663 | 0.381 | 0.386 | 0.486 | 0.527 | 0.506 | 0.481 | 0.431 | 0.476 |
| | | 1.47 | 1.58 | 1.85 | 1.74 | 1.62 | 1.86 | 1.08 | 1.08 | 1.36 | 1.48 | 1.41 | 1.36 | 1.23 | 1.35 |
| | | 5.23 | 5.67 | 6.16 | 6.21 | 6.33 | 6.27 | 3.56 | 3.76 | 4.42 | 5.07 | 4.58 | 5.14 | 4.35 | 4.66 |
| | | 15.2 | 16.3 | 17.6 | 17.8 | 18.3 | 17.9 | 10.3 | 11.0 | 12.5 | 14.6 | 13.0 | 14.9 | 12.6 | 13.5 |
| | | 127 | 142 | 124 | 129 | 103 | 115 | 69.5 | 72.1 | 109 | 111 | 103 | 91.9 | 128 | 123 |
| | | 205 | 228 | 200 | 207 | 163 | 183 | 112 | 116 | 174 | 178 | 167 | 148 | 207 | 198 |
| | | 342 | 379 | 332 | 343 | 266 | 302 | 186 | 194 | 289 | 296 | 279 | 246 | 346 | 329 |
| | | 484 | 538 | 471 | 484 | 375 | 428 | 267 | 278 | 408 | 420 | 397 | 349 | 492 | 468 |
| | | 544 | 604 | 529 | 543 | 420 | 481 | 301 | 314 | 458 | 472 | 446 | 392 | 553 | 526 |
| | | 589 | 654 | 573 | 587 | 454 | 520 | 327 | 341 | 494 | 512 | 485 | 425 | 600 | 570 |

注：ハッチング箇所はＳｓ7波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（4）地震力（モーメント）が最大となる基準地震動Ｓｓ（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | モーメント（×10$^5$ kN･mm） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 炉心シュラウド | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 5.42 | 7.79 | 6.66 | 7.73 | 6.34 | 7.64 | 4.35 | 5.06 | 5.29 | 5.53 | 6.30 | 6.82 | 2.85 | 3.21 |
| | | 18.1 | 25.0 | 22.1 | 23.0 | 21.3 | 24.1 | 15.1 | 16.2 | 17.3 | 18.3 | 21.2 | 22.1 | 9.57 | 9.81 |
| | | 51.1 | 62.4 | 62.5 | 46.6 | 51.9 | 58.8 | 38.8 | 39.5 | 48.3 | 45.2 | 53.4 | 49.6 | 22.6 | 23.8 |
| | | 72.9 | 87.1 | 88.9 | 59.8 | 74.3 | 81.0 | 55.7 | 55.4 | 68.9 | 63.2 | 73.6 | 68.5 | 33.8 | 33.5 |
| | | 46.5 | 99.5 | 58.7 | 64.8 | 43.1 | 90.4 | 28.1 | 60.8 | 58.8 | 71.4 | 50.0 | 78.2 | 29.8 | 35.2 |
| | | 61.0 | 115 | 75.5 | 71.2 | 55.2 | 104 | 37.7 | 74.8 | 76.4 | 88.8 | 64.9 | 91.7 | 43.4 | 48.4 |
| | | 76.8 | 142 | 92.3 | 86.6 | 72.1 | 121 | 56.2 | 91.8 | 94.9 | 110 | 81.0 | 113 | 56.6 | 61.0 |
| | | 93.3 | 171 | 108 | 103 | 89.5 | 139 | 76.6 | 112 | 113 | 133 | 99.5 | 134 | 68.6 | 72.0 |
| | | 111 | 201 | 122 | 120 | 111 | 162 | 96.9 | 134 | 131 | 157 | 129 | 162 | 79.2 | 81.6 |
| | | 138 | 233 | 144 | 136 | 141 | 190 | 117 | 157 | 147 | 184 | 159 | 193 | 88.5 | 92.6 |
| | | 166 | 266 | 176 | 157 | 172 | 223 | 137 | 183 | 163 | 212 | 191 | 227 | 98.1 | 104 |
| | | 216 | 335 | 238 | 208 | 225 | 274 | 189 | 232 | 215 | 265 | 261 | 295 | 144 | 137 |
| | | 277 | 406 | 302 | 260 | 279 | 330 | 242 | 281 | 275 | 320 | 332 | 364 | 189 | 170 |
| 制御棒案内管 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 6.71 | 3.94 | 8.69 | 7.73 | 7.70 | 3.92 | 4.61 | 2.68 | 5.11 | 2.83 | 15.2 | 4.04 | 2.63 | 1.88 |
| | | 8.43 | 4.98 | 10.9 | 9.82 | 9.70 | 4.83 | 5.77 | 3.25 | 6.38 | 3.46 | 19.2 | 4.99 | 3.17 | 2.30 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 8.09 | 4.61 | 10.5 | 9.23 | 9.21 | 4.57 | 5.47 | 3.30 | 6.24 | 3.49 | 18.3 | 4.62 | 3.45 | 3.85 |
| | | 0.546 | 0.570 | 0.591 | 0.598 | 0.498 | 0.526 | 0.306 | 0.323 | 0.476 | 0.450 | 0.485 | 0.398 | 0.504 | 0.552 |
| | | 2.17 | 2.11 | 2.81 | 2.63 | 1.97 | 2.37 | 1.53 | 1.66 | 1.64 | 1.85 | 3.41 | 2.14 | 1.17 | 1.72 |
| | | 2.07 | 2.04 | 2.73 | 2.52 | 1.90 | 2.31 | 1.51 | 1.64 | 1.65 | 1.81 | 3.37 | 2.14 | 1.33 | 1.73 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 22.3 | 21.1 | 23.4 | 22.0 | 17.7 | 16.0 | 15.6 | 14.7 | 20.0 | 19.0 | 17.8 | 15.6 | 15.4 | 14.8 |
| | | 37.6 | 36.2 | 39.5 | 37.4 | 29.7 | 27.3 | 27.3 | 25.4 | 34.0 | 32.5 | 29.8 | 26.7 | 25.9 | 25.3 |
| | | 42.7 | 41.7 | 45.0 | 42.7 | 33.6 | 31.1 | 31.6 | 29.8 | 38.8 | 37.3 | 34.4 | 30.9 | 29.7 | 28.9 |
| | | 36.8 | 36.2 | 38.8 | 37.3 | 29.1 | 26.7 | 27.5 | 26.2 | 33.5 | 32.4 | 30.1 | 27.1 | 25.8 | 25.0 |
| | | 21.4 | 21.1 | 22.6 | 21.9 | 17.0 | 15.5 | 15.9 | 15.3 | 19.5 | 18.9 | 17.7 | 15.9 | 15.2 | 14.5 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（5）地震力（軸力）が最大となる基準地震動Ｓｓ（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 軸力（×10² kN） | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１ |
| 原子炉圧力容器 | | 1.55 | 1.93 | 1.81 | 1.04 | 1.04 | 1.71 | 0.756 |
| | | 11.3 | 14.1 | 13.1 | 7.51 | 7.53 | 12.5 | 5.52 |
| | | 19.6 | 24.3 | 22.7 | 13.1 | 13.1 | 21.6 | 9.60 |
| | | 25.1 | 31.0 | 29.0 | 16.7 | 16.8 | 27.6 | 12.4 |
| | | 32.4 | 40.0 | 37.0 | 21.4 | 21.6 | 35.4 | 16.1 |
| | | 39.1 | 48.1 | 43.9 | 25.5 | 26.0 | 42.3 | 19.6 |
| | | 45.8 | 56.4 | 50.4 | 29.5 | 30.4 | 48.9 | 23.2 |
| | | 96.0 | 118 | 95.9 | 59.3 | 62.4 | 96.1 | 50.7 |
| 原子炉本体の基礎 | | 259 | 322 | 266 | 175 | 165 | 292 | 127 |
| | | 275 | 340 | 282 | 185 | 177 | 309 | 138 |
| | | 290 | 358 | 297 | 196 | 190 | 326 | 149 |
| | | 304 | 374 | 310 | 205 | 202 | 340 | 160 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 19.0 | 25.8 | 21.2 | 13.5 | 13.8 | 24.2 | 7.50 |
| | | 43.0 | 57.9 | 47.2 | 30.6 | 31.0 | 54.4 | 17.2 |
| | | 84.4 | 113 | 90.0 | 59.9 | 60.2 | 105 | 34.5 |
| | | 116 | 153 | 123 | 82.2 | 82.3 | 143 | 48.9 |
| | | 148 | 191 | 156 | 105 | 104 | 181 | 65.7 |
| 原子炉格納容器 | | 1.10 | 1.40 | 1.29 | 0.735 | 0.822 | 0.990 | 0.652 |
| | | 2.19 | 2.78 | 2.58 | 1.47 | 1.65 | 1.98 | 1.31 |
| | | 8.46 | 10.7 | 10.1 | 5.68 | 6.47 | 7.74 | 5.13 |
| | | 12.0 | 15.1 | 14.3 | 8.05 | 9.20 | 11.0 | 7.31 |
| | | 23.3 | 29.0 | 27.6 | 15.6 | 18.1 | 21.6 | 14.5 |
| | | 31.9 | 39.0 | 37.1 | 21.2 | 24.9 | 29.5 | 20.1 |
| | | 38.1 | 46.4 | 43.4 | 25.1 | 29.8 | 35.2 | 24.2 |
| | | 49.0 | 59.3 | 53.8 | 32.1 | 38.7 | 45.1 | 31.9 |
| | | 53.8 | 65.0 | 58.7 | 35.2 | 42.8 | 49.6 | 35.6 |
| | | 64.3 | 77.6 | 68.8 | 42.2 | 52.0 | 59.8 | 44.2 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（5）地震力（軸力）が最大となる基準地震動Ｓｓ（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 軸力（×$10^2$ kN） | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１ |
| 炉心シュラウド | | 0.811 | 1.03 | 0.850 | 0.555 | 0.513 | 0.922 | 0.362 |
| | | 2.43 | 3.09 | 2.55 | 1.66 | 1.54 | 2.77 | 1.09 |
| | | 3.75 | 4.76 | 3.93 | 2.56 | 2.37 | 4.26 | 1.68 |
| | | 5.30 | 6.73 | 5.55 | 3.62 | 3.35 | 6.04 | 2.37 |
| | | 7.72 | 9.77 | 8.08 | 5.27 | 4.89 | 8.86 | 3.51 |
| | | 9.06 | 11.5 | 9.48 | 6.18 | 5.74 | 10.5 | 4.15 |
| | | 9.33 | 11.8 | 9.77 | 6.37 | 5.91 | 10.8 | 4.28 |
| | | 9.60 | 12.2 | 10.1 | 6.55 | 6.08 | 11.1 | 4.41 |
| | | 9.87 | 12.5 | 10.4 | 6.73 | 6.25 | 11.4 | 4.55 |
| | | 10.2 | 12.8 | 10.6 | 6.91 | 6.42 | 11.7 | 4.68 |
| | | 10.4 | 13.2 | 10.9 | 7.08 | 6.59 | 12.1 | 4.81 |
| | | 12.9 | 16.3 | 13.5 | 8.77 | 8.19 | 15.1 | 6.11 |
| | | 13.2 | 16.5 | 13.8 | 8.92 | 8.34 | 15.3 | 6.23 |
| | | 13.3 | 16.7 | 13.9 | 8.99 | 8.41 | 15.5 | 6.29 |
| 制御棒案内管 | | 19.1 | 24.4 | 20.3 | 13.1 | 12.4 | 21.7 | 8.55 |
| | | 19.7 | 25.1 | 20.9 | 13.5 | 12.7 | 22.2 | 8.78 |
| | | 20.1 | 25.7 | 21.4 | 13.8 | 13.0 | 22.8 | 9.02 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 20.7 | 26.4 | 22.0 | 14.2 | 13.4 | 23.5 | 9.33 |
| | | 5.33 | 6.62 | 5.71 | 3.52 | 3.51 | 6.54 | 2.82 |
| | | 4.86 | 6.05 | 5.21 | 3.21 | 3.20 | 5.97 | 2.57 |
| | | 4.39 | 5.46 | 4.70 | 2.90 | 2.89 | 5.40 | 2.32 |
| | | 3.92 | 4.88 | 4.20 | 2.59 | 2.58 | 4.82 | 2.07 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4（6）地震力（ばね反力）が最大となる基準地震動Ｓｓ

| 名称 | ばね反力（$\times 10^3$　kN） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉圧力容器スタビライザ | 6.69 | 7.20 | 7.70 | 7.35 | 7.42 | 6.77 | 4.45 | 5.63 | 6.26 | 6.09 | 6.87 | 6.98 | 3.77 | 4.28 |
| 原子炉格納容器スタビライザ | 14.8 | 13.2 | 13.3 | 12.8 | 13.2 | 13.2 | 8.26 | 9.05 | 10.9 | 10.6 | 13.6 | 12.9 | 6.16 | 6.65 |
| 原子炉格納容器シヤラグ | 24.7 | 22.5 | 24.2 | 25.8 | 21.9 | 21.6 | 13.1 | 15.5 | 22.6 | 15.9 | 20.7 | 20.0 | 24.8 | 21.3 |
| 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム | 0.278 | 0.278 | 0.352 | 0.331 | 0.262 | 0.300 | 0.218 | 0.217 | 0.225 | 0.242 | 0.421 | 0.267 | 0.213 | 0.237 |
| 炉心シュラウド回転ばね［$\times 10^7$　kN･mm］ | 2.77 | 4.06 | 3.02 | 2.60 | 2.79 | 3.30 | 2.42 | 2.81 | 2.75 | 3.20 | 3.32 | 3.64 | 1.89 | 1.70 |
| 上部サポート | 5.15 | 4.32 | 5.47 | 4.64 | 3.86 | 2.90 | 3.15 | 2.50 | 4.45 | 3.52 | 4.10 | 3.43 | 3.48 | 2.79 |
| 下部スタビライザ | 1.40 | 1.14 | 1.48 | 1.26 | 1.01 | 0.752 | 0.809 | 0.651 | 1.18 | 0.910 | 1.08 | 0.903 | 0.903 | 0.723 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

表 2-4（7）地震力（相対変位）が最大となる基準地震動Ｓｓ

| 名称 | 標高 O.P.（m） | 相対変位（mm） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｓ-Ｄ１ | | Ｓｓ-Ｄ２ | | Ｓｓ-Ｄ３ | | Ｓｓ-Ｆ１ | | Ｓｓ-Ｆ２ | | Ｓｓ-Ｆ３ | | Ｓｓ-Ｎ１ | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 22.9 | 22.1 | 24.0 | 22.8 | 18.0 | 16.6 | 16.7 | 15.6 | 20.7 | 19.8 | 18.2 | 16.3 | 15.9 | 15.4 |
| | | 39.4 | 38.2 | 41.5 | 39.3 | 31.0 | 28.6 | 28.9 | 27.1 | 35.7 | 34.3 | 31.4 | 28.3 | 27.4 | 26.6 |
| | | 45.3 | 44.1 | 47.7 | 45.3 | 35.7 | 32.9 | 33.4 | 31.4 | 41.2 | 39.5 | 36.4 | 32.7 | 31.6 | 30.6 |
| | | 39.2 | 38.2 | 41.3 | 39.2 | 30.9 | 28.4 | 28.9 | 27.3 | 35.6 | 34.2 | 31.6 | 28.4 | 27.4 | 26.5 |
| | | 22.6 | 22.1 | 23.8 | 22.7 | 17.9 | 16.4 | 16.7 | 15.8 | 20.6 | 19.8 | 18.3 | 16.5 | 15.8 | 15.3 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

注：ハッチング箇所はＳｓ７波の最大値を示す。

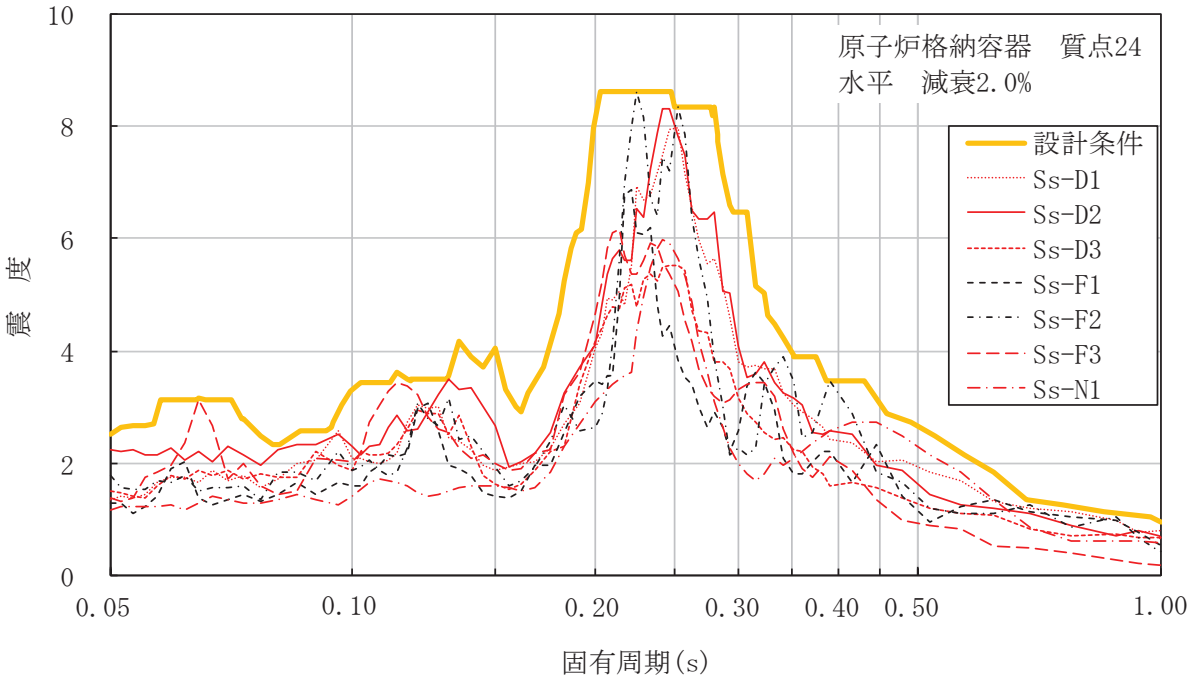


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

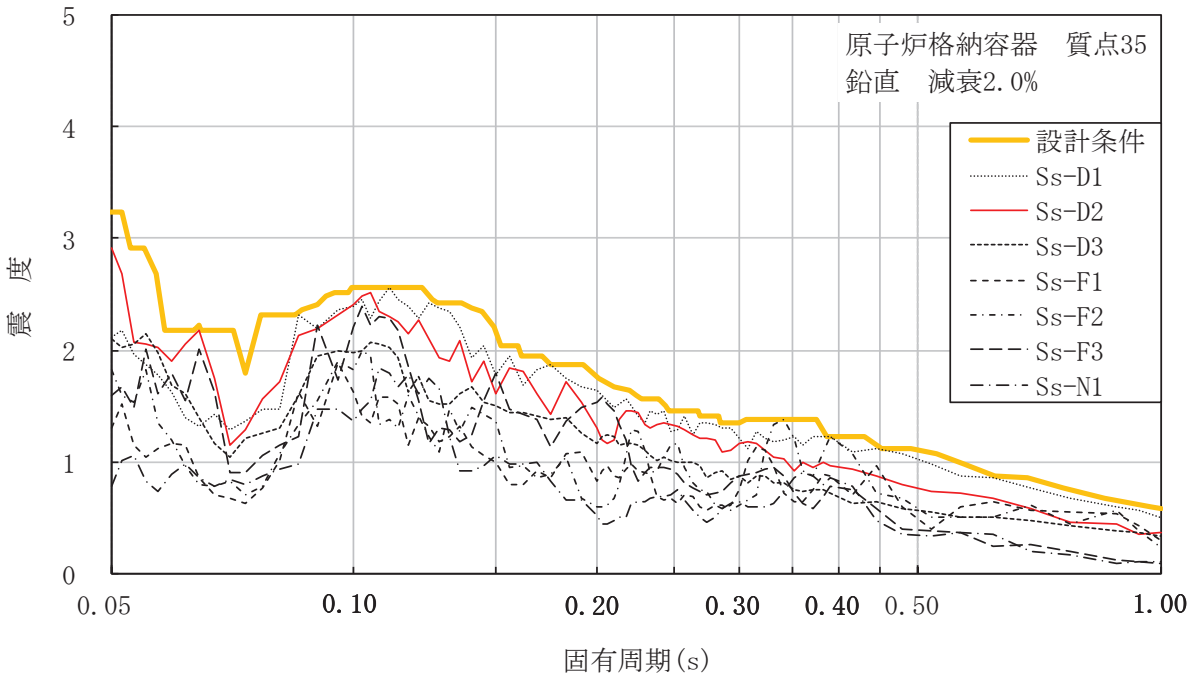
上記の方針によって選定した地震動について，配管系の耐震評価に使用している大型機器系地震応答解析モデルの床応答曲線を確認した。基準地震動Ｓｓに対する設計用床応答曲線と基準地震動Ｓｓ７波の基本ケースの床応答曲線を比較した結果を図 2-1 から図 2-4 に示す。代表として選定した地震動を赤線で，不確かさケースにおいて対象外とした地震動を黒線で示している。

水平方向においては，代表とした地震動が広い周期帯で支配的又は対象外とした地震動と同等になっている。

鉛直方向においては，長周期側で対象外とした地震動が支配的な周期帯があるものの，機器・配管系の耐震設計に当たっては，設置位置での応答増幅が起きないように，できる限り剛側の設計とすることや設置建屋の固有周期よりも設備の固有周期が短周期側となるように配慮している。鉛直方向の代表として選定した基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対して，基本ケースの床応答曲線を±10%拡幅したものと不確かさケースの床応答曲線の比較を図 2-5 から図 2-8 に示す。不確かさケースの床応答曲線は，基本ケースの床応答曲線におおむね包絡されており，鉛直方向における不確かさケースの影響は小さいといえる。さらに，基本ケースについては全ての基準地震動を対象として±10%拡幅した床応答曲線を設計条件として考慮していることから，不確かさケースにおいて代表地震動のみの解析としても，大きな影響はないものと考える。

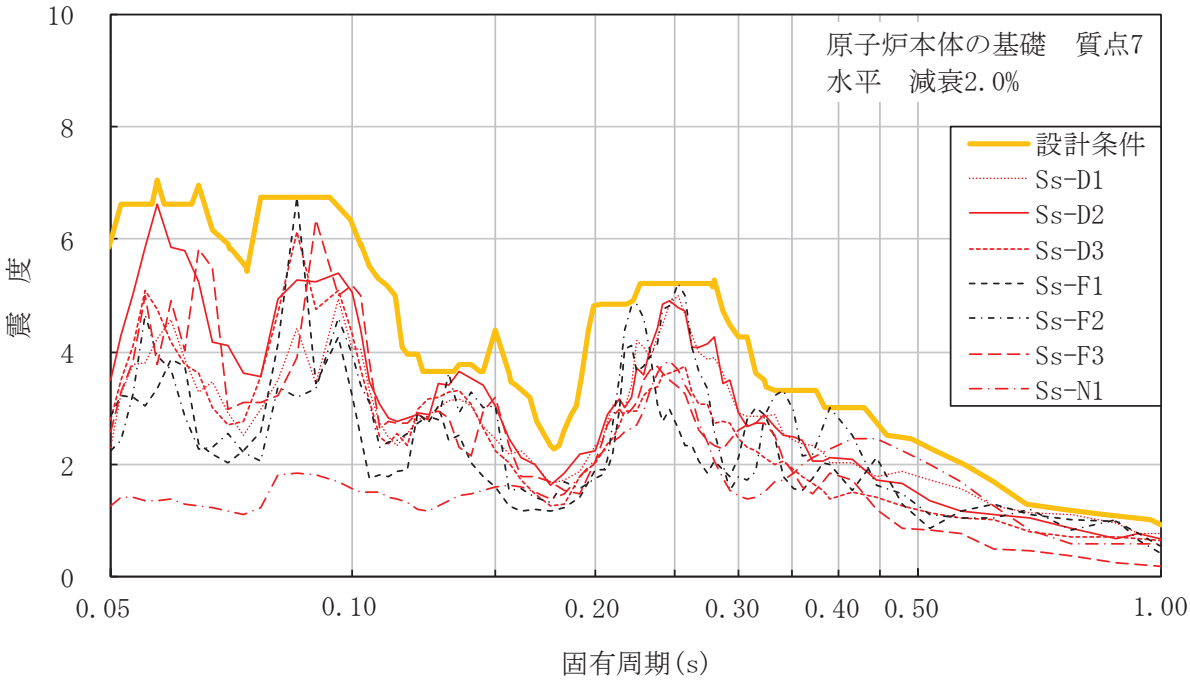



水平方向

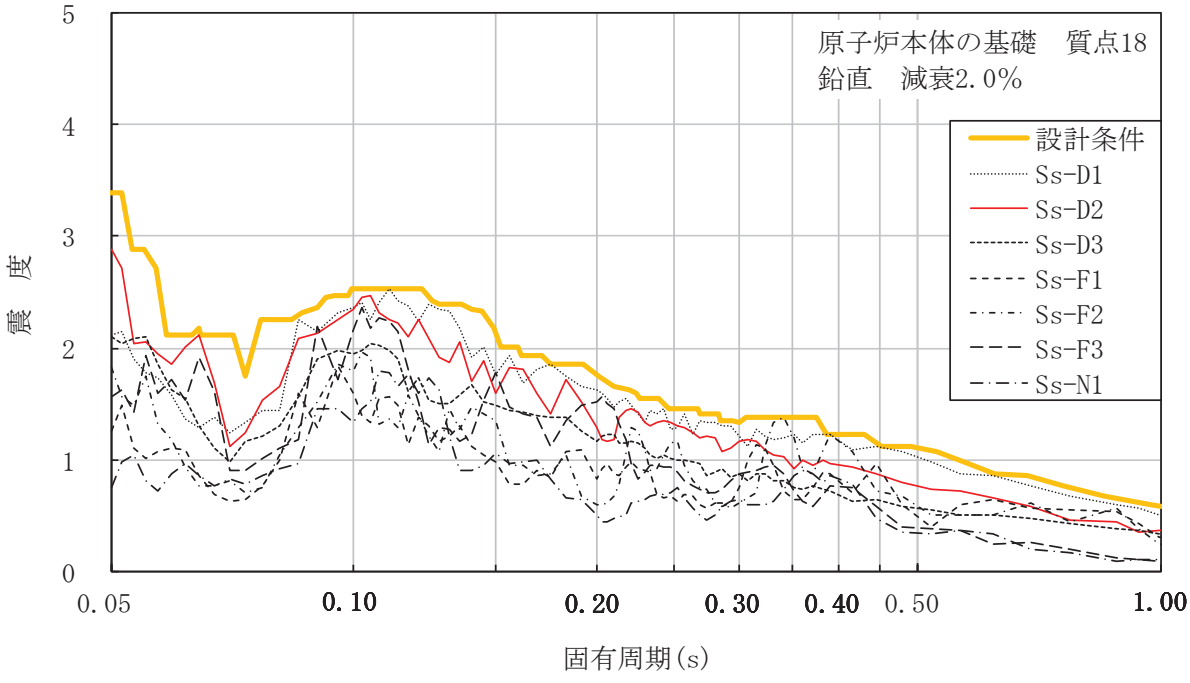



鉛直方向

図 2-1　設計条件と基本ケースの床応答曲線の比較（原子炉格納容器）

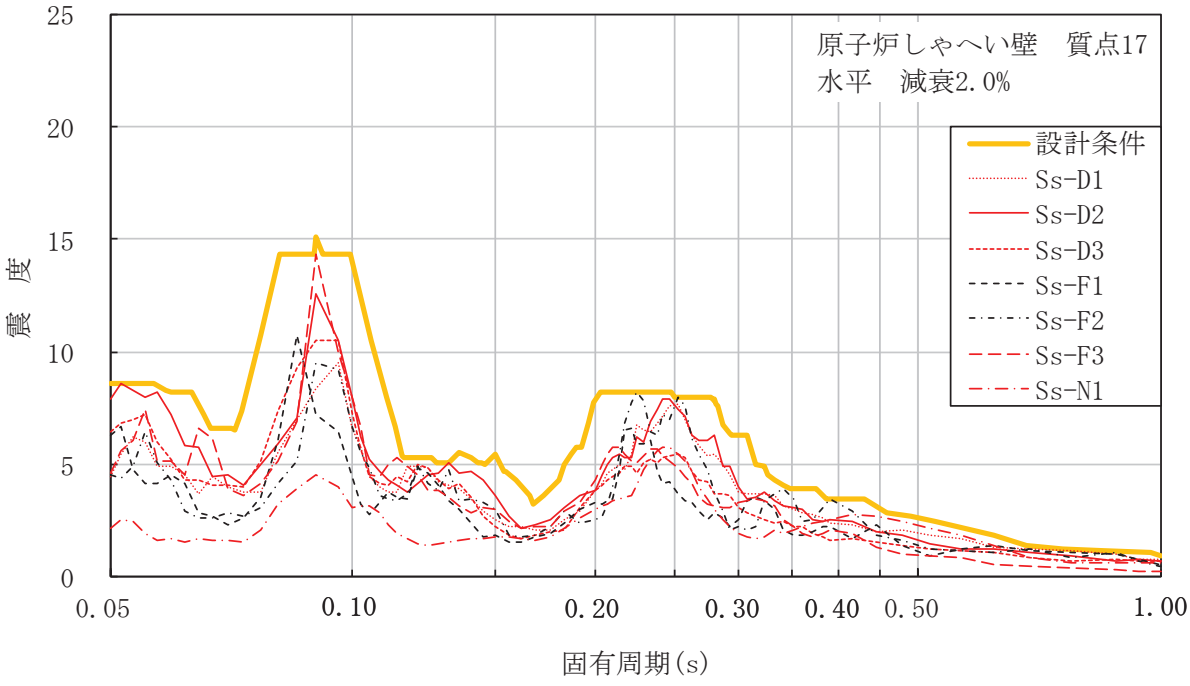



水平方向

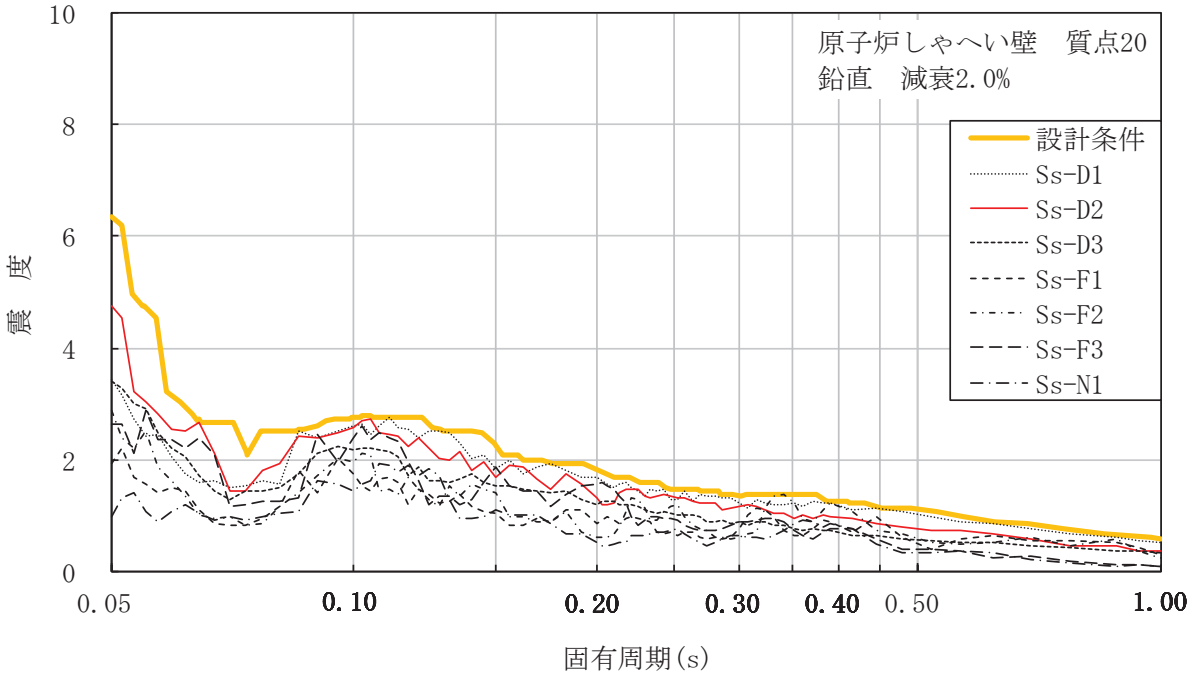



鉛直方向

図 2-2　設計条件と基本ケースの床応答曲線の比較（原子炉本体の基礎）

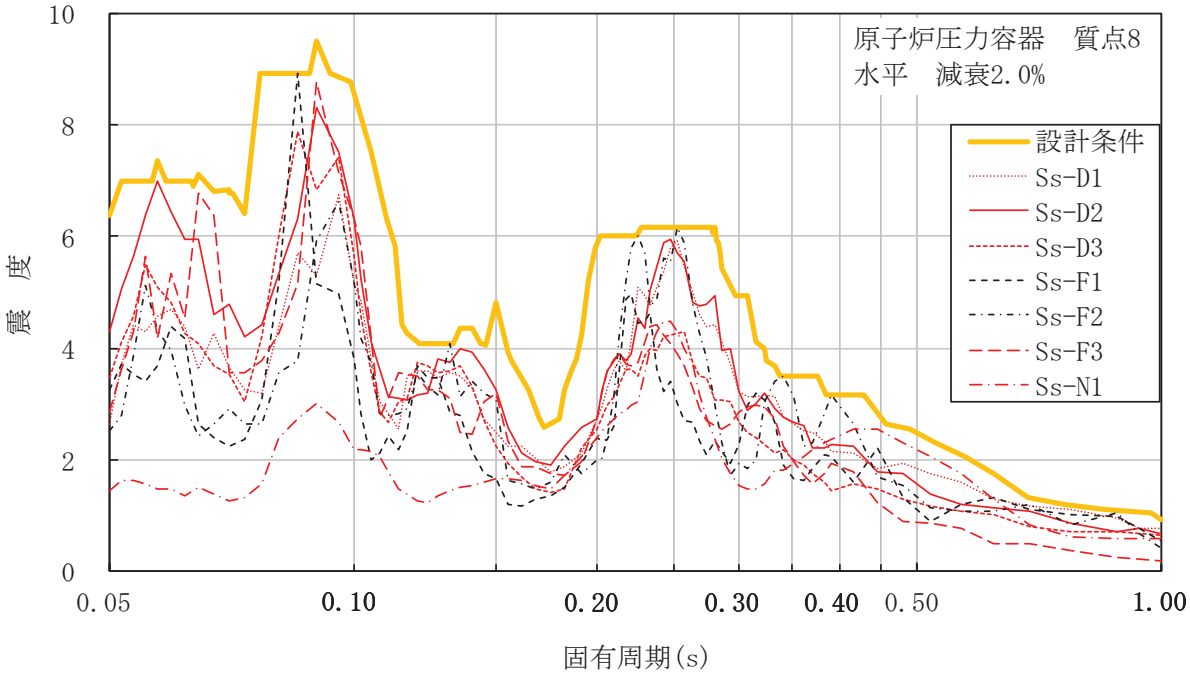



水平方向

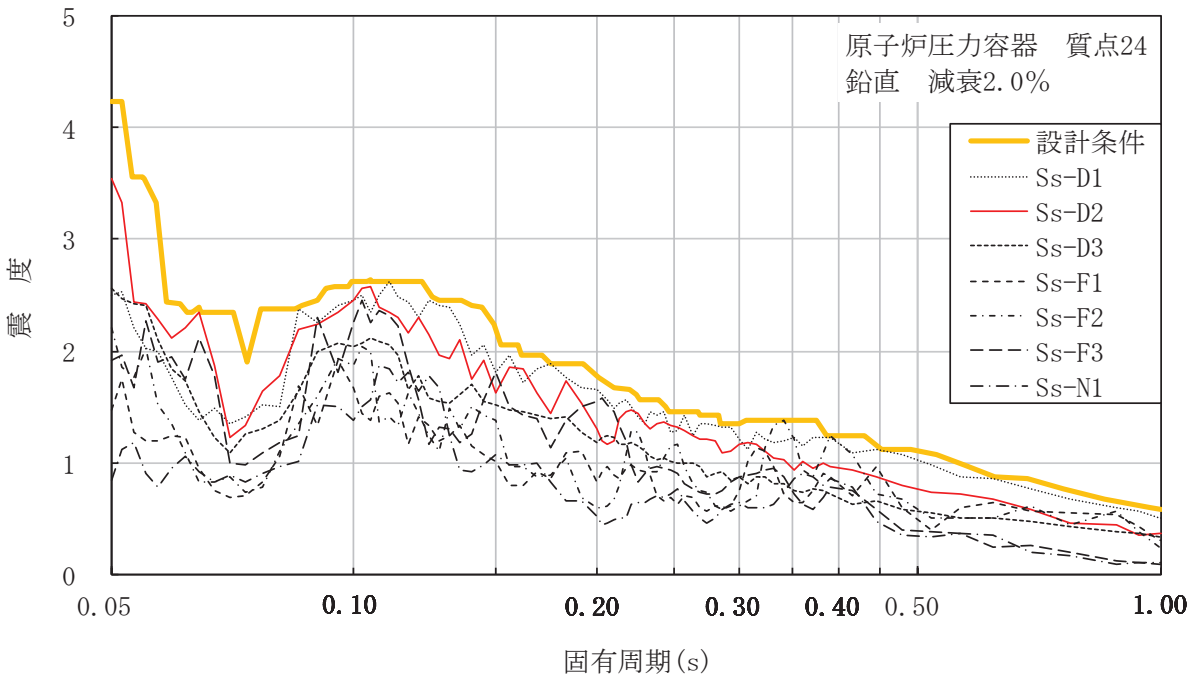



鉛直方向

図 2-3　設計条件と基本ケースの床応答曲線の比較（原子炉しゃへい壁）




水平方向




鉛直方向

図 2-4　設計条件と基本ケースの床応答曲線の比較（原子炉圧力容器）

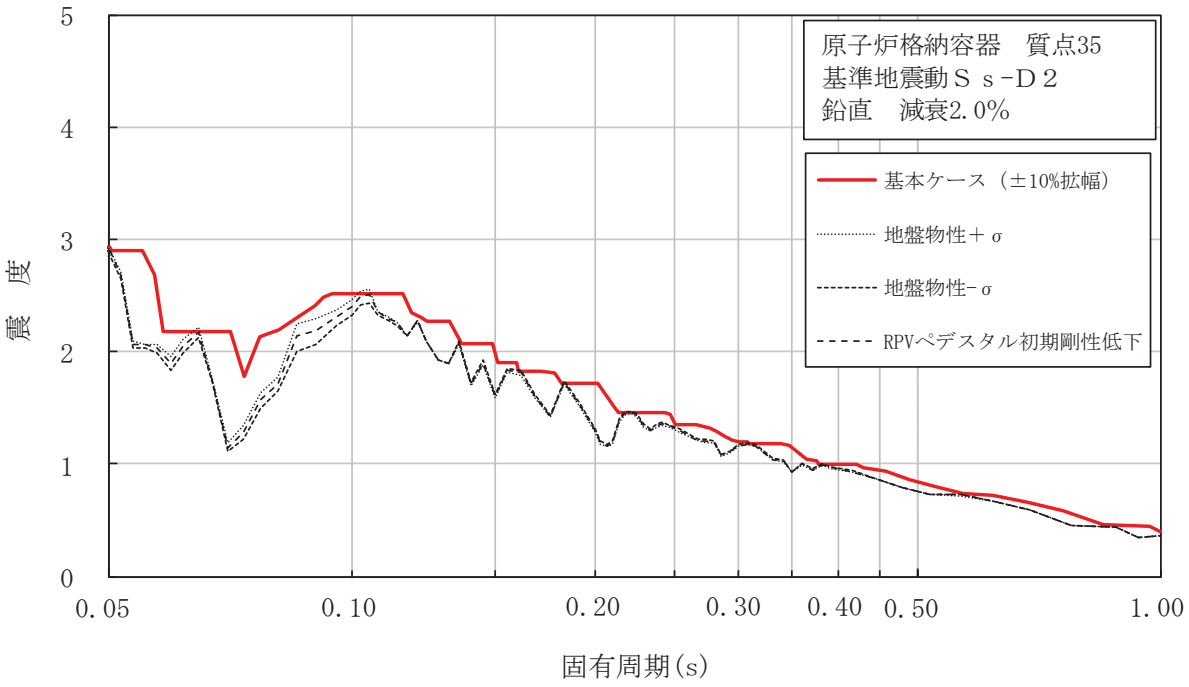



図 2-5　基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対する基本ケースと不確かさケースの床応答曲線の比較
（原子炉格納容器）

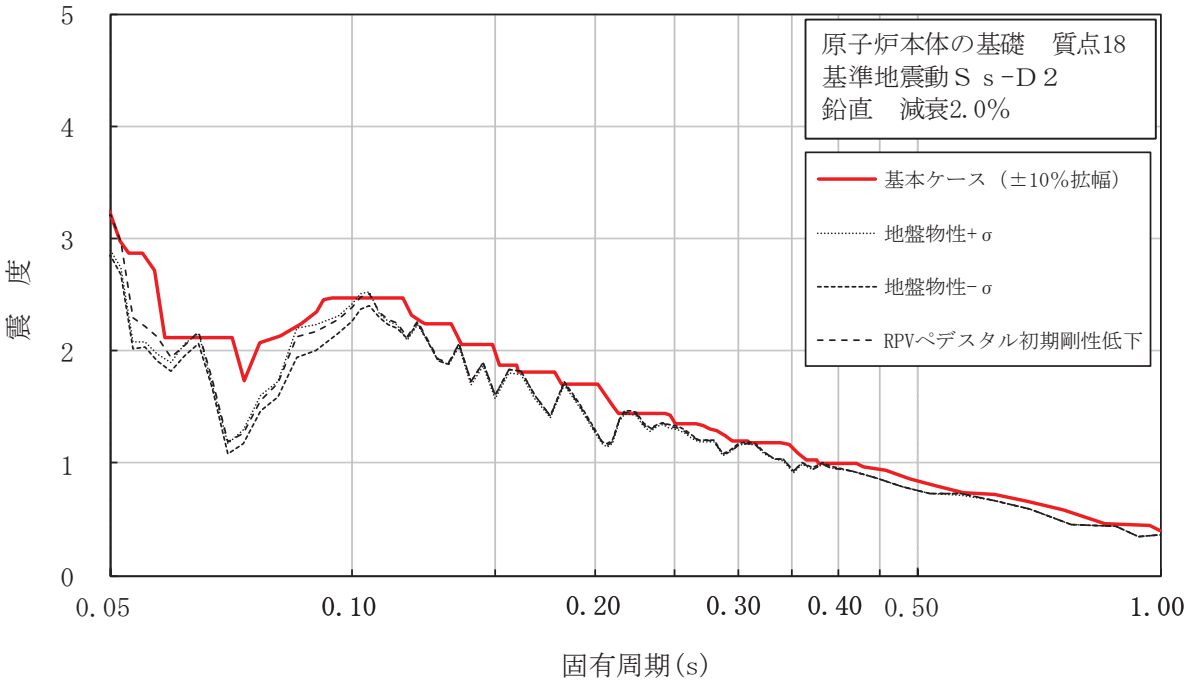



図 2-6　基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対する基本ケースと不確かさケースの床応答曲線の比較
（原子炉本体の基礎）

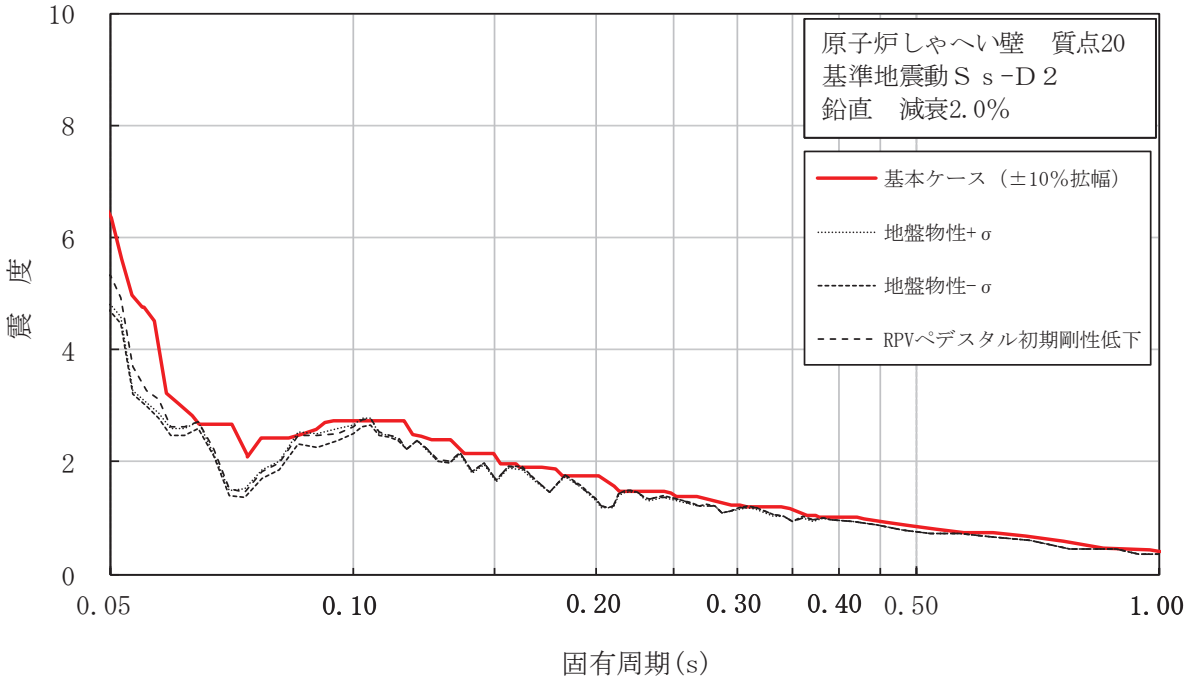



図 2-7　基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対する基本ケースと不確かさケースの床応答曲線の比較
（原子炉しゃへい壁）

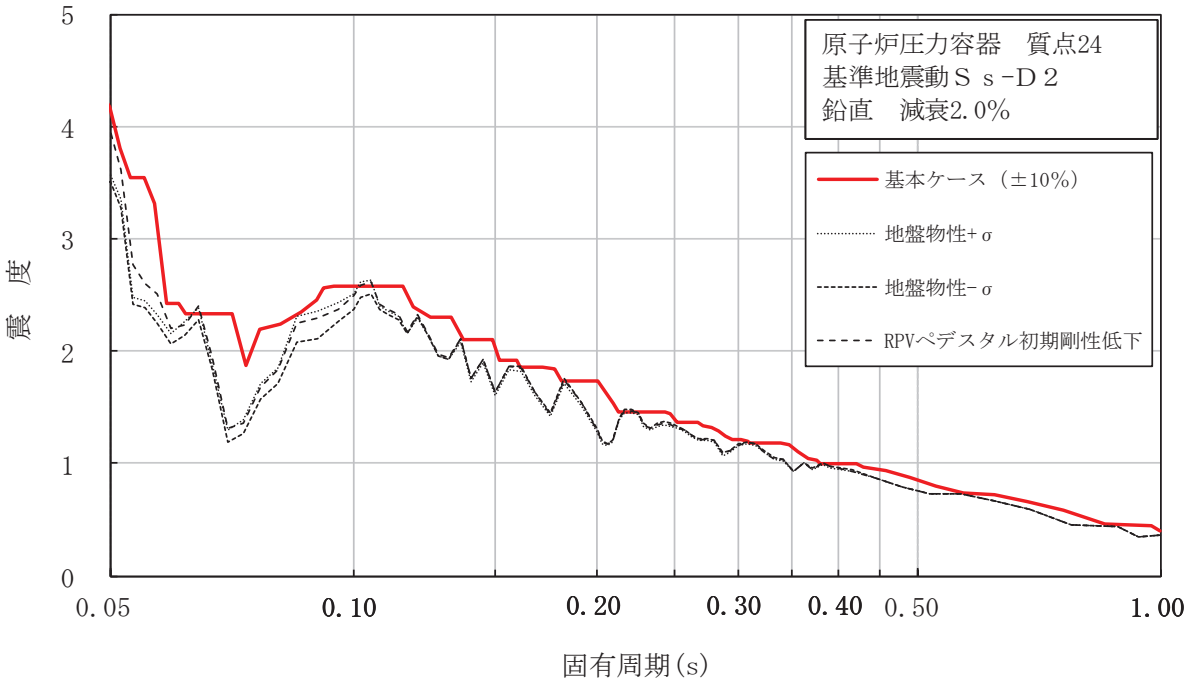



図 2-8　基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対する基本ケースと不確かさケースの床応答曲線の比較
（原子炉圧力容器）

## 2.2　炉心シュラウド溶接線の分離想定ケース

女川原子力発電所第2号機の炉心シュラウド及び炉心シュラウド支持ロッドは，炉内構造物系地震応答解析モデルの地震応答解析により得られる各種荷重を考慮して設計する。

炉心シュラウドについては，第6回定期検査（平成15年5月22日から平成15年12月25日）において，溶接線の目視点検を行ったところ，溶接部の一部*1にひびが発生していることを確認しており，炉心シュラウド支持ロッドを取り付ける補修を実施している*2。炉心シュラウド支持ロッドは，炉心シュラウド全ての周方向溶接線が全周破断した状態においても，炉心シュラウド支持ロッドによる拘束力により，炉心シュラウドの機能を維持し得る設計としているため，炉心シュラウド支持ロッド施工後は，炉心シュラウド全ての周方向溶接部の構造健全性及び構造強度を期待しない構造となっている。ただし，炉内構造物系地震応答解析モデルを用いた解析においては，炉心シュラウド周方向溶接線の分離（炉心シュラウド溶接線の分離想定ケース）を考慮し，炉心シュラウド及び炉心シュラウド支持ロッドの評価で考慮する地震荷重が最も厳しくなる分離想定ケースを選定する。

各設備の概略形状図及び炉心シュラウドの周方向溶接線の位置を図2-9に示す。

なお，炉心シュラウドの溶接線のひびについての状況等を確認するため，現在実施中の第11回定期事業者検査において，外観検査及び超音波探傷検査を実施し，ひびの進展がごくわずかなものであることを確認している（予測値33.5㎜に対して実測値8.5㎜）。

注記＊1：シュラウドサポートリング溶接部（H7溶接線）内側

＊2：東北電原第145号（平成17年2月4日）にて工事計画届出

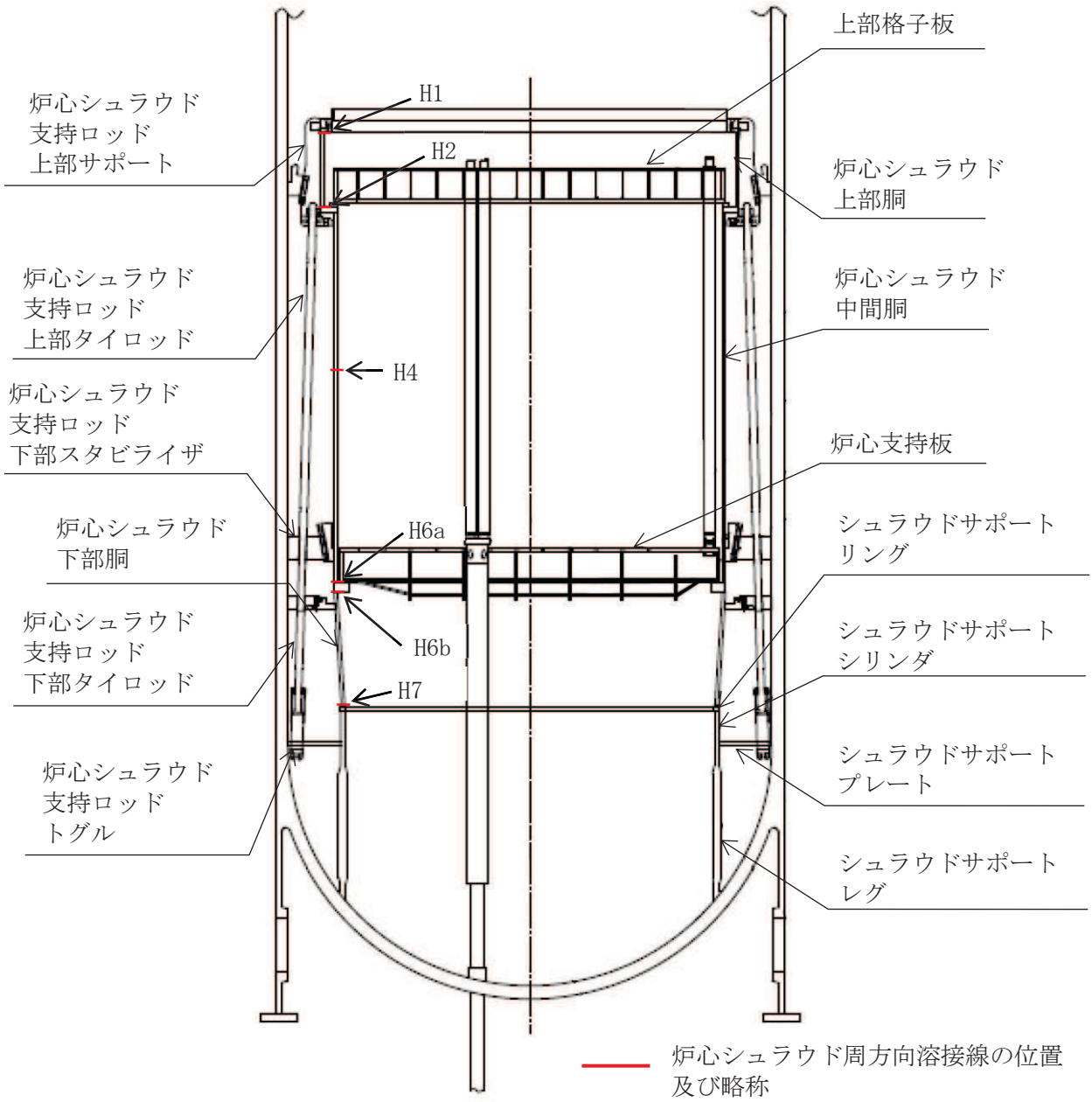



図 2-9　炉心シュラウド，炉心シュラウド支持ロッド及びシュラウドサポートの概略形状並びに炉心シュラウド周方向溶接線の位置

2.2.1　各設備の考慮する地震荷重

炉心シュラウド，炉心シュラウド支持ロッド，上部サポート及び下部スタビライザについて，考慮する地震荷重を表 2-5 に示す。

表 2-5　各設備の考慮する地震荷重

| 設備名 | 考慮する地震荷重 | | | | 備　考 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 曲げ | せん断 | 軸力*1 | 反力*2 | |
| 炉心シュラウド | ○ | ○ | － | － | 炉心シュラウドは，薄肉円筒容器で下端はシュラウドサポートを介して原子炉圧力容器（RPV）に固定される構造となっている。<br>下端固定の片持ち梁構造であることから，炉心シュラウドが転倒するようなモードに対する曲げ・せん断変形が支配的となるため，地震時の曲げ，せん断荷重に対する評価を行う。 |
| 炉心シュラウド<br>支持ロッド | ○ | ○ | ○ | － | 炉心シュラウド支持ロッドは，シュラウド上部胴とシュラウドサポート間を連結する棒状部材である。<br>炉心シュラウド支持ロッドは炉心シュラウド転倒時の回転変位を拘束するため，回転変位の拘束反力として水平方向モデルの回転ばねから求めた軸力と鉛直方向モデルの軸力を足し合わせた鉛直力を考慮する。<br>また，炉心シュラウド支持ロッドは長尺の棒状部材であることから，曲げに対する評価として，炉心シュラウド支持ロッド単独モデルにより算出した曲げ，せん断荷重も考慮する（添付書類「Ⅵ-2-3-3-2-4　炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書」参照）。 |
| 上部サポート<br>下部スタビライザ | － | － | － | ○ | 上部サポート及び下部スタビライザは，炉心シュラウドと RPV の間に設置される水平支持部材である。<br>上部サポート及び下部スタビライザは，炉心シュラウドの水平変位を拘束し慣性力を RPV 側に伝達して支持することから，地震時の反力に対する評価を行う。 |

注記＊1：炉心シュラウド支持ロッド回転ばね反力

＊2：上部サポート，下部スタビライザばね反力

### 2.2.2　各設備の地震荷重が最大となる分離想定ケース

#### (1)　炉心シュラウド

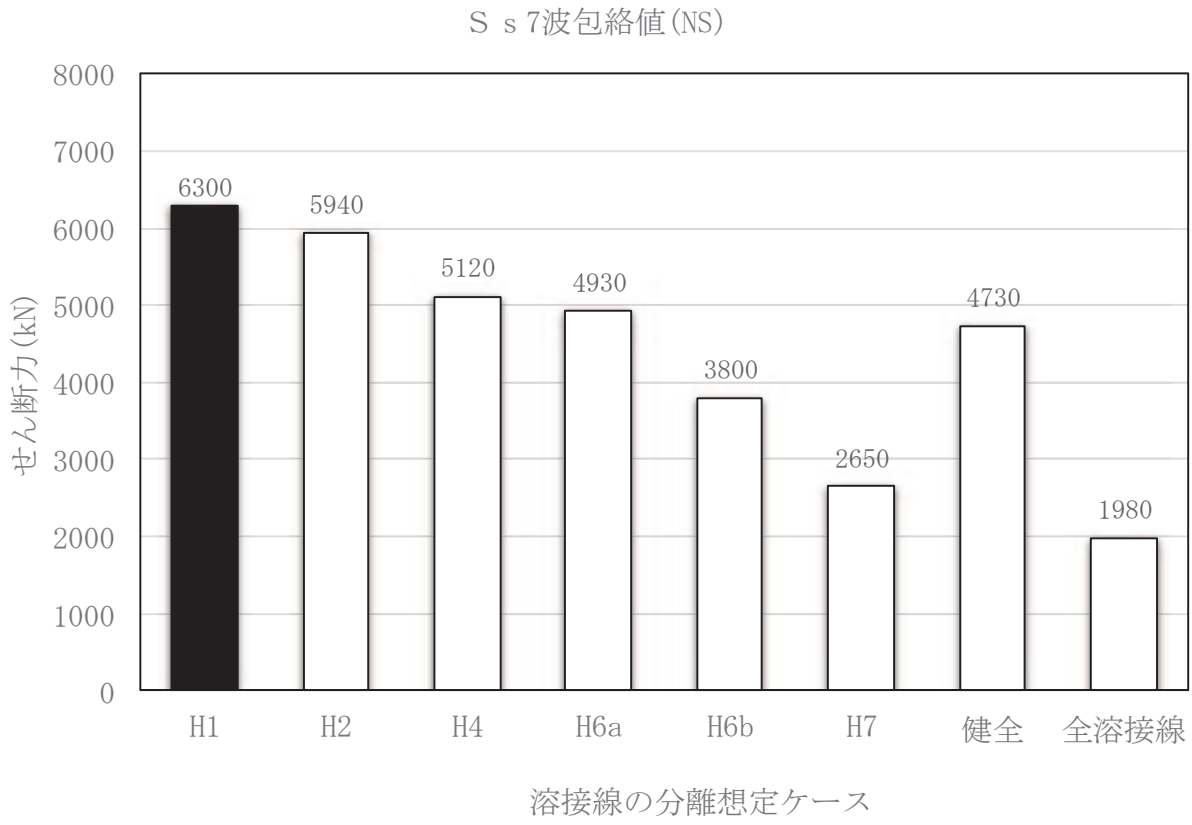
炉心シュラウドの代表応答として炉心シュラウド下部胴のせん断力及びモーメント並びに上部に設置されるスタンドパイプのせん断力及びモーメントに着目し，これらが最大となる溶接線の分離想定ケースを選定する。

炉心シュラウドが健全な場合には，炉心シュラウドは炉心シュラウド支持ロッド及びスタビライザよりも剛性が高いため，慣性力の多くを炉心シュラウド本体が負担する。一方，溶接線の分離想定ケースでは，転倒により分離部の一端が開くことになるため，分離部より上部のせん断力は下方に伝達されるものの，回転によるモーメントは伝達できなくなり，下方に流れなくなった力は炉心シュラウド支持ロッド，上部サポート及び下部スタビライザ側に流れ，炉心シュラウド本体が負担する慣性力は健全な状態に比べ少なくなる。

基準地震動Ｓｓ７波に対する炉心シュラウド下部胴のせん断力とモーメントのNS方向及びEW方向別の包絡値を図2-10及び図2-11に示す。図2-10及び図2-11から，健全ケース及び炉心シュラウド上部の溶接線であるH1分離ケースで炉心シュラウドに発生する地震荷重が大きいことが分かる。NS方向においては，健全ケースよりもH1分離ケースの方が地震荷重が大きくなっているが，これは建屋との共振によるものと考えられる。表2-6及び表2-7に健全ケースとH1分離ケースのNS方向，EW方向の固有値解析結果を示す。H1分離ケースにおける炉心シュラウドの固有周期は，健全ケースにおける固有周期よりもわずかに短周期となっている。これは健全ケースと溶接線分離ケースでは，回転軸の違いによって炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数が異なることから生じたものと考えられる（「補足-600-8-2　建屋-機器連成解析における解析モデルの設定に係る補足説明資料」参照)。NS方向，EW方向ともに炉心シュラウドの固有周期と原子炉建屋の固有周期（4次と5次）は近接しており，応答が大きくなる傾向がある。当該の次数における刺激係数はEW方向よりもNS方向の方が大きく，NS方向では健全ケースよりもH1分離ケースで大きい値を示すことから，NS方向において，より顕著な傾向を示し，健全ケースよりもH1分離ケースの方が地震荷重が大きくなったものと考えられる。

基準地震動Ｓｓ７波に対するスタンドパイプのせん断力とモーメントのNS方向及びEW方向別の包絡値を図2-12及び図2-13に示す。スタンドパイプについても炉心シュラウド下部胴と同様の傾向を示しており，NS方向ではH1分離ケース，EW方向では健全ケースで地震荷重が大きいことが分かる。

したがって，炉心シュラウドの応答の観点からは，健全ケースとH1分離ケースを選定する。



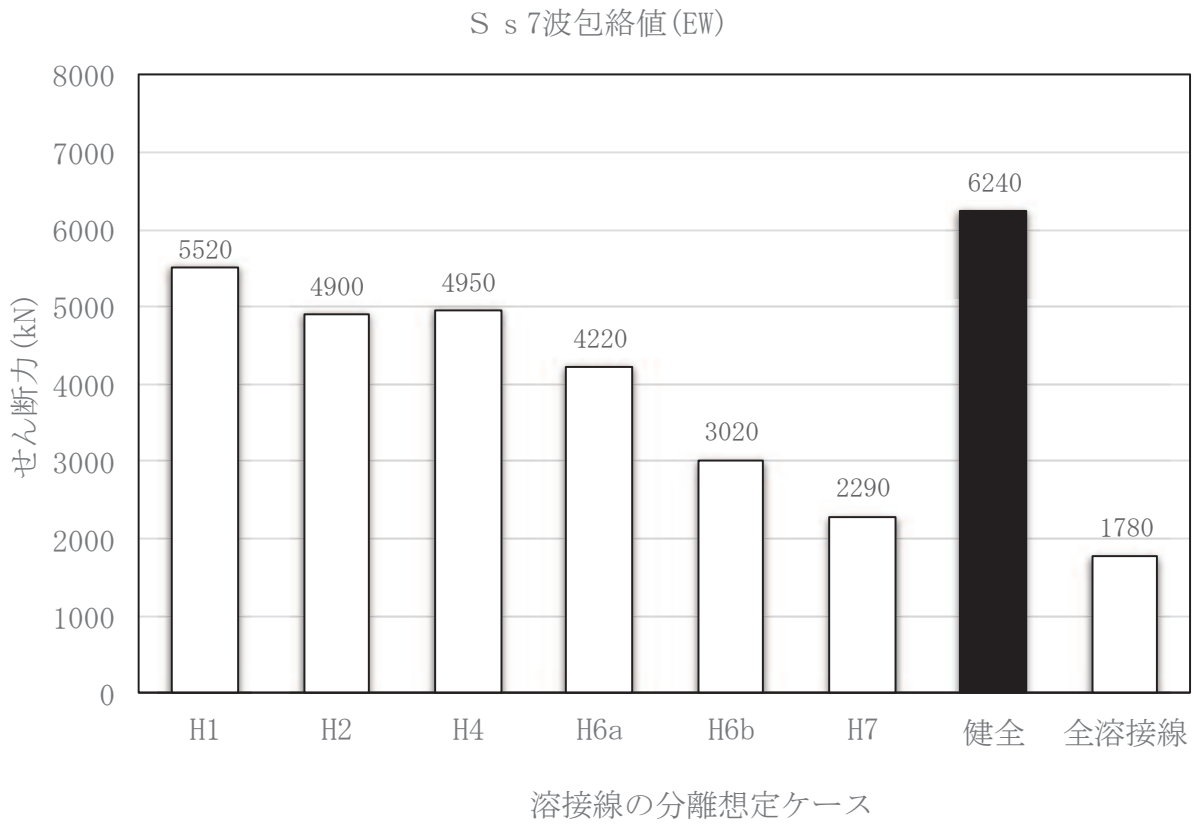




図 2-10　炉心シュラウド下部胴せん断力最大値の比較

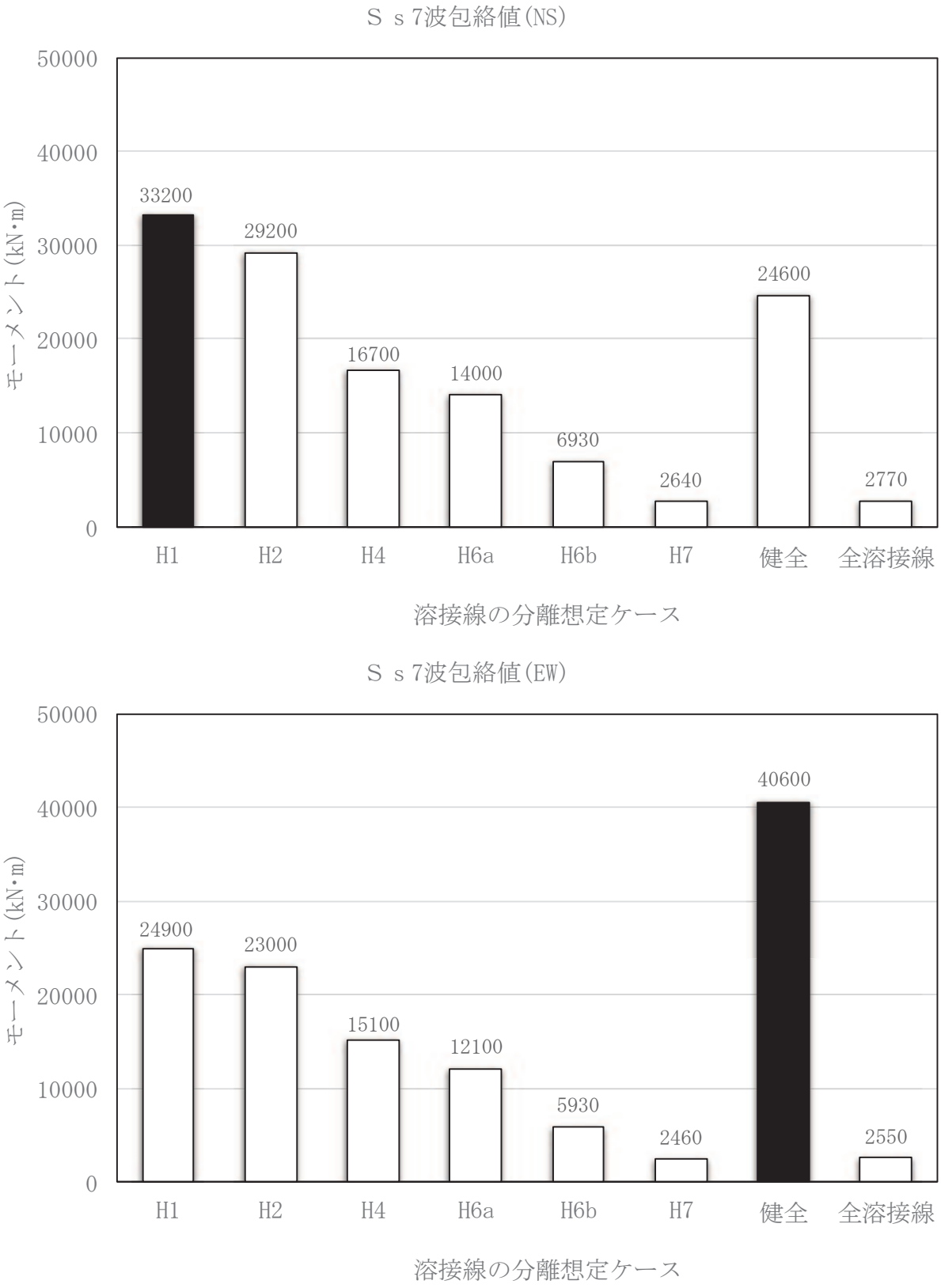
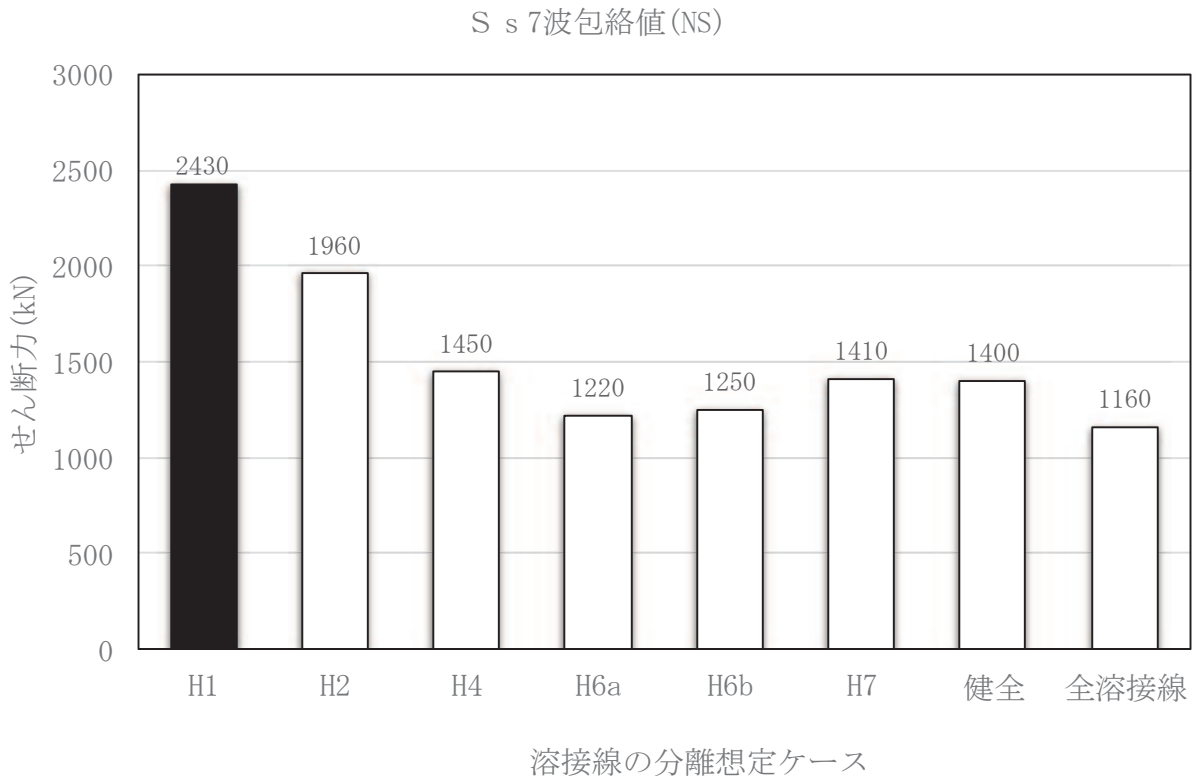



図 2-11　炉心シュラウド下部胴モーメント最大値の比較



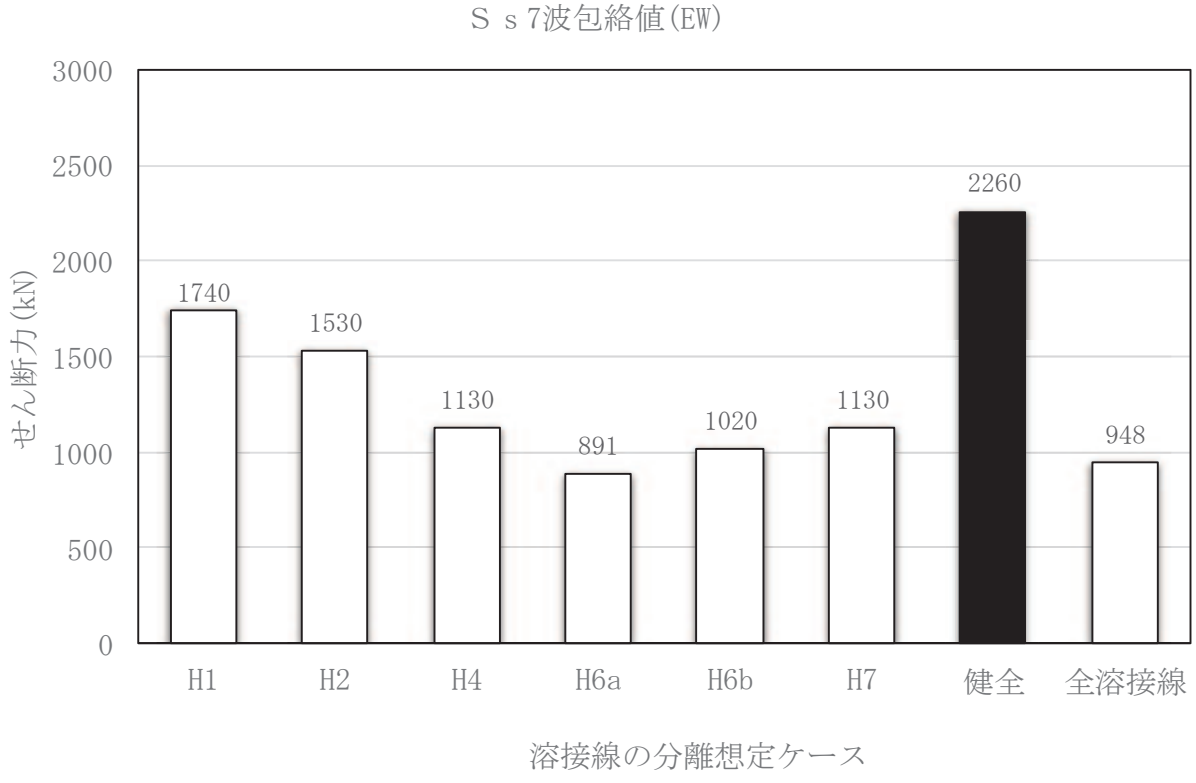
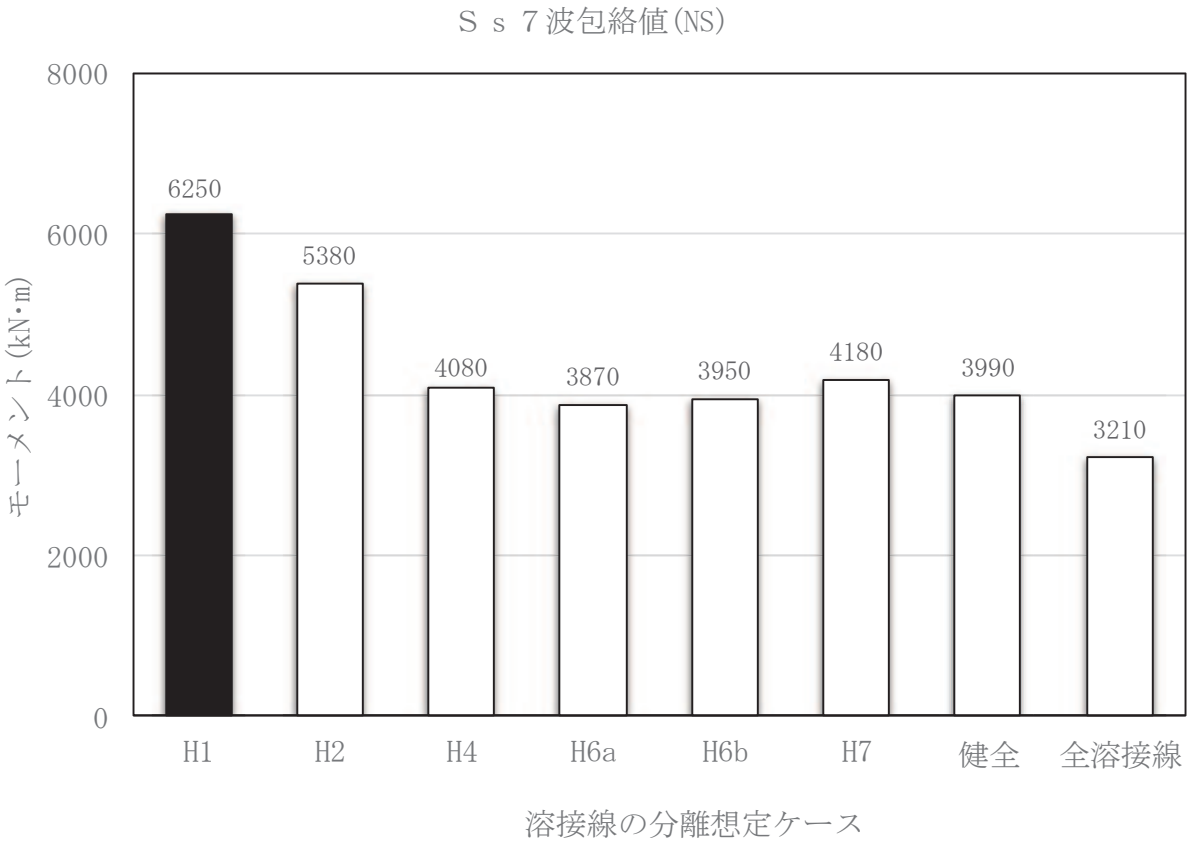




図 2-12　スタンドパイプのせん断力最大値の比較



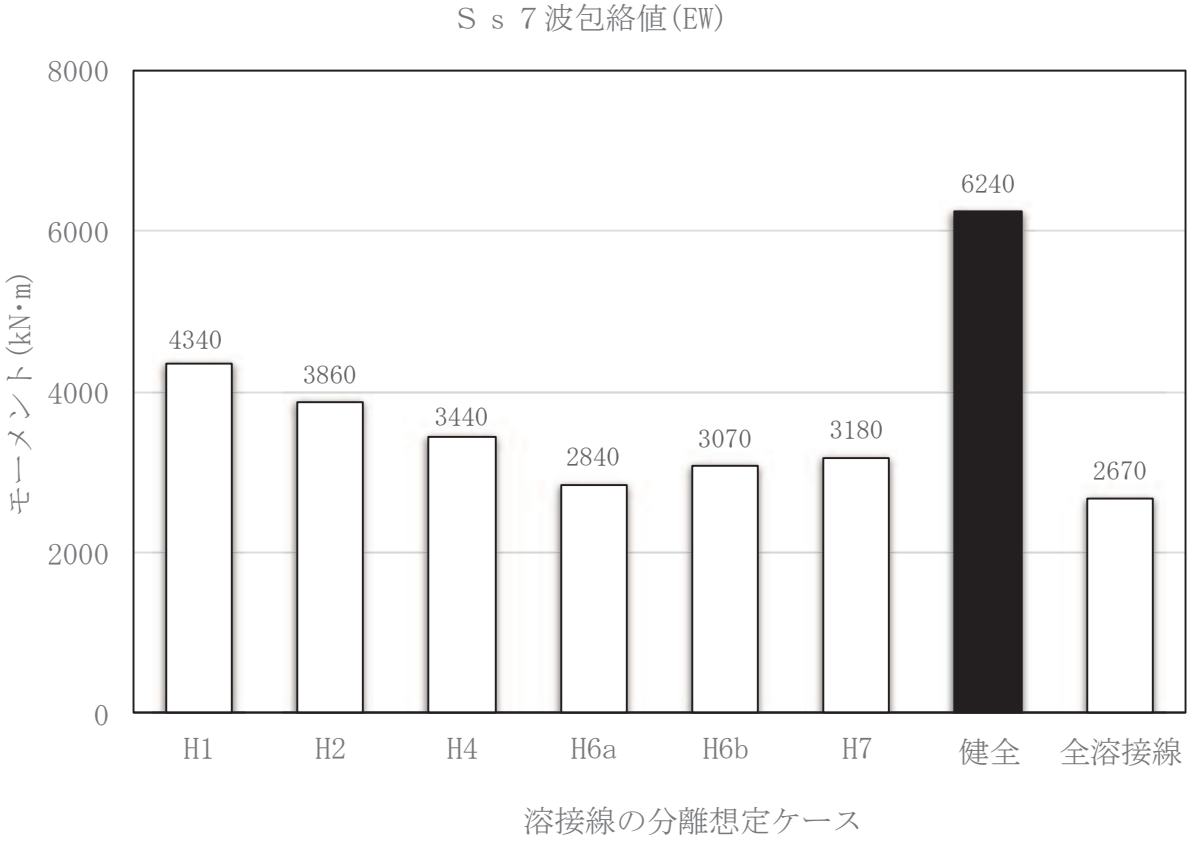




図 2-13　スタンドパイプのモーメント最大値の比較

表 2-6　健全ケースと分離ケースの固有値の比較（NS 方向）

| 次数 | 健全ケース(NS 方向) | | | H1 分離ケース（NS 方向） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 固有周期 | 刺激係数* | 卓越部位 | 固有周期 | 刺激係数* | 卓越部位 |
| 1 | 0.237 | 9.023 | 原子炉建屋 | 0.237 | -8.900 | 原子炉建屋 |
| 2 | 0.229 | 7.968 | 燃料集合体 | 0.229 | -7.845 | 燃料集合体 |
| 3 | 0.123 | 2.705 | 原子炉建屋 | 0.123 | -2.720 | 原子炉建屋 |
| 4 | 0.118 | -1.519 | 炉心シュラウド | 0.117 | 4.039 | 原子炉建屋 |
| 5 | 0.116 | -3.848 | 原子炉建屋 | 0.115 | 5.785 | 炉心シュラウド |
| 6 | 0.097 | -2.066 | 原子炉建屋 | 0.097 | 2.066 | 原子炉建屋 |

注記＊：刺激係数は，各次の固有ベクトルを最大振幅が 1.0 となるように正規化して算出した値を示す。

表 2-7　健全ケースと分離ケースの固有値の比較（EW 方向）

| 次数 | 健全ケース(EW 方向) | | | H1 分離ケース（EW 方向） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 固有周期 | 刺激係数* | 卓越部位 | 固有周期 | 刺激係数* | 卓越部位 |
| 1 | 0.231 | 18.712 | 原子炉建屋 | 0.231 | -18.78 | 原子炉建屋 |
| 2 | 0.227 | 17.658 | 燃料集合体 | 0.227 | -17.33 | 燃料集合体 |
| 3 | 0.125 | 2.617 | 原子炉建屋 | 0.125 | 2.131 | 原子炉建屋 |
| 4 | 0.117 | 2.888 | 炉心シュラウド | 0.116 | 1.095 | 原子炉建屋 |
| 5 | 0.116 | -0.130 | 原子炉建屋 | 0.115 | 1.179 | 炉心シュラウド |
| 6 | 0.098 | 0.630 | 原子炉建屋 | 0.098 | 0.6306 | 原子炉建屋 |

注記＊：刺激係数は，各次の固有ベクトルを最大振幅が 1.0 となるように正規化して算出した値を示す。

(2)　炉心シュラウド支持ロッド

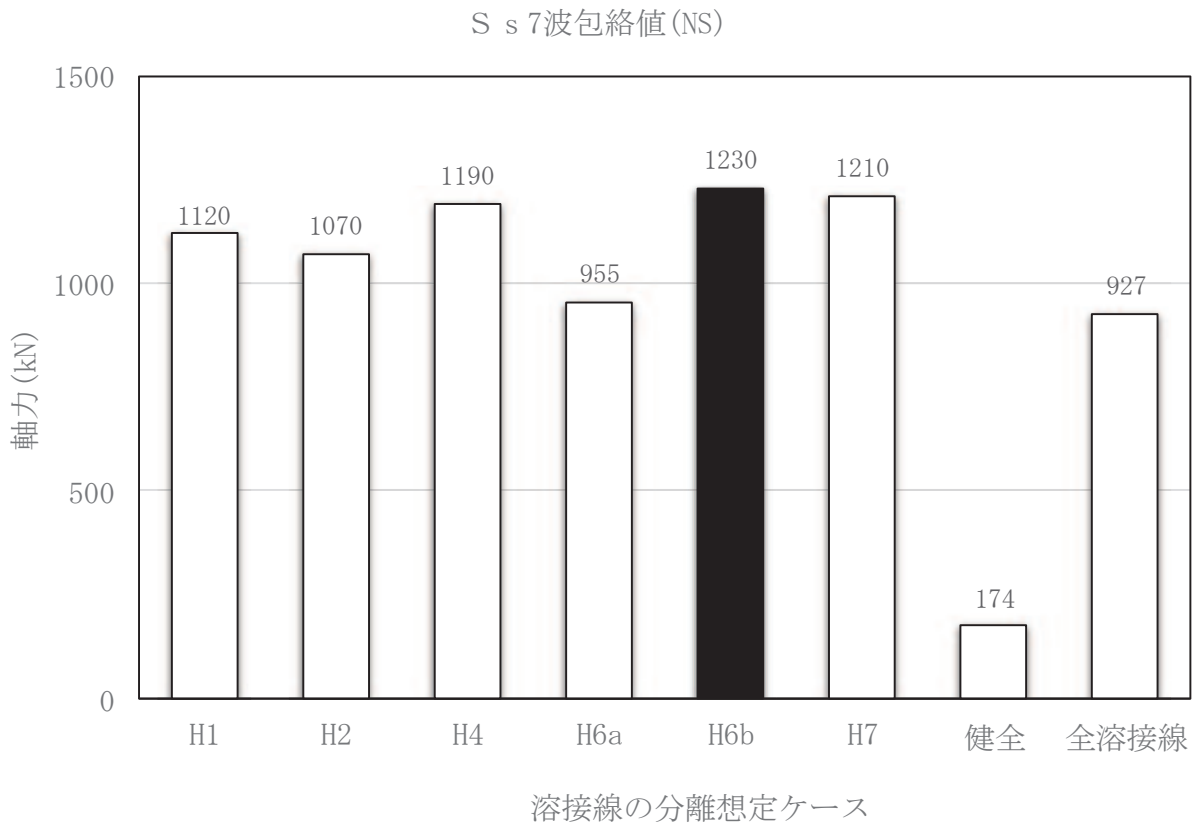
炉心シュラウド支持ロッドの代表応答として炉心シュラウド支持ロッドの軸力，せん断力及びモーメントに着目し，これらが最大となる溶接線の分離想定ケースを選定する。

a.　炉心シュラウド支持ロッドの軸力

炉心シュラウド支持ロッドが支える回転変位の拘束反力は，分離部より上部の炉心シュラウドの大きさによる。分離位置を徐々に変えた場合，分離部より上部にある炉心シュラウドの転倒によるモーメントは，炉心シュラウドの全長と分離部高さの比で表すことができるため，分離部より上部の質量が大きいほどモーメントは大きくなる。また，複数の溶接線の分離を考慮する場合，単独の溶接線の分離を考慮した場合と比較して，分離部より上部の質量が小さくなるため，モーメントも小さくなる（表 2-8)。

基準地震動Ｓｓ７波に対する炉心シュラウド支持ロッド軸力の NS 方向及び EW 方向別の包絡値を図 2-14 に示す。図 2-14 から，炉心シュラウド下部の溶接線である H6b 分離ケースで炉心シュラウド支持ロッドの軸力が大きいことが分かる。

したがって，炉心シュラウド支持ロッドの軸力の観点からは，H6b 分離ケースを選定する。



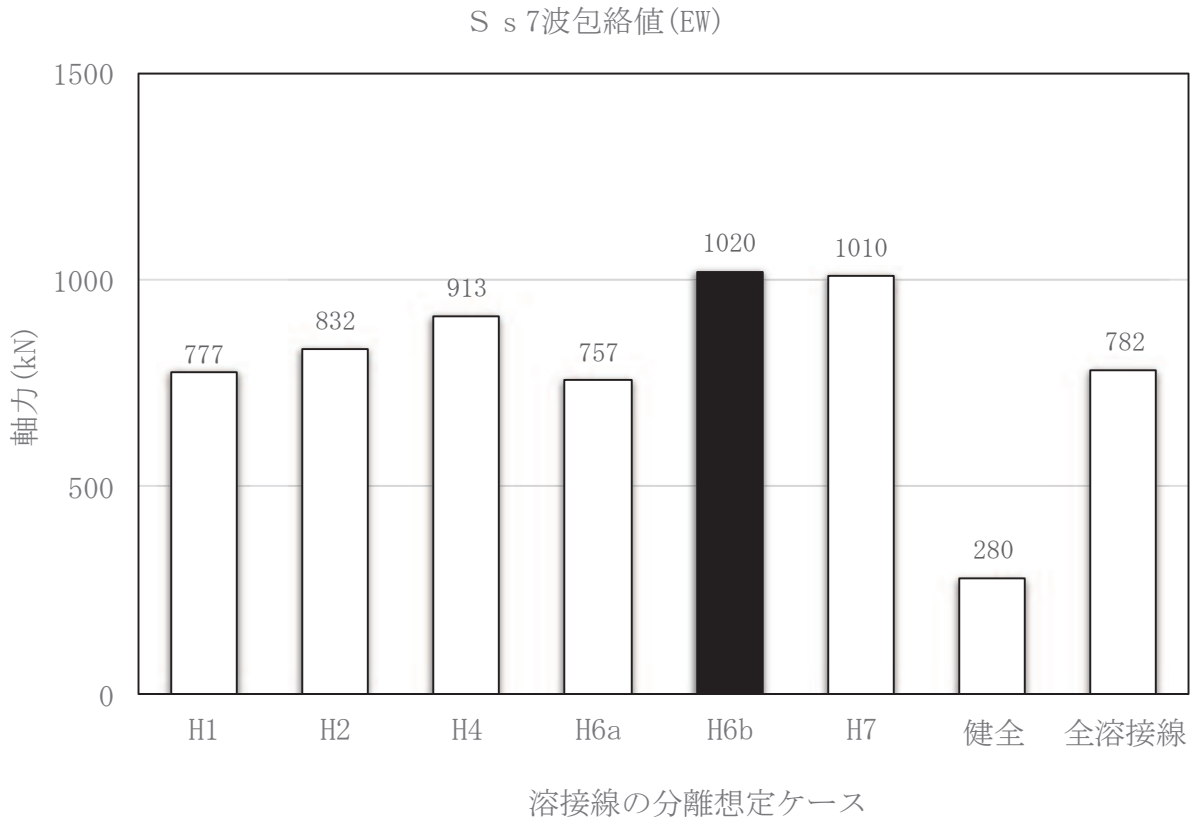
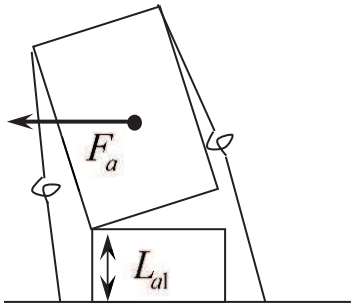
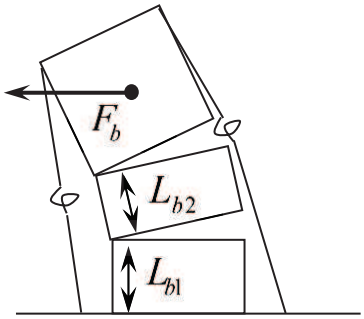
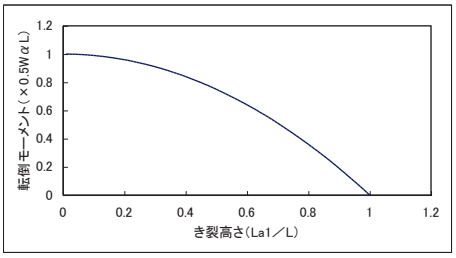




図 2-14　炉心シュラウド支持ロッド軸力最大値の比較

表 2-8　単独分離と複数溶接線分離の比較

<table>
<tr><th>単独分離を想定する場合</th><th>複数分離を想定する場合</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">炉心シュラウドに作用する加速度：α,　炉心シュラウドの全長：$L$,　炉心シュラウドの重量：$W$</td></tr>
<tr><td>炉心シュラウド分離部でのモーメントは伝達しないため，炉心シュラウド支持ロッド取付部に働くモーメントは分離部より上部の部分のモーメントのみとなる。<br>炉心シュラウド支持ロッドに働くモーメントは下記より求まる。<br><br>炉心シュラウド支持ロッド取付部に働く水平力$F_a$：<br>$$F_a = W \times \left(\frac{L - L_{a1}}{L}\right) \times \alpha$$<br>$$= W \times \left(1 - \frac{L_{a1}}{L}\right) \times \alpha$$<br>炉心シュラウド支持ロッド取付部の重心高さ$G_a$：<br>$$G_a = L_{a1} + (L - L_{a1}) \times \frac{1}{2}$$<br>$$= \frac{1}{2} \times (L + L_{a1})$$<br>炉心シュラウド支持ロッドに働くモーメント$M_a$：<br>$$M_a = W \times \left(1 - \frac{L_{a1}}{L}\right) \times \alpha \times \frac{1}{2} \times (L + L_{a1})$$<br>$$= \frac{1}{2} \times W \times \alpha \times L \times \left[1 - \left(\frac{L_{a1}}{L}\right)^2\right]$$</td><td>炉心シュラウド分離部でのモーメントは伝達しないため，炉心シュラウド支持ロッド取付部に働くモーメントは最上段の分離部より上部の部分のモーメントのみとなる。<br>炉心シュラウド支持ロッドに働くモーメントは下記より求まる。<br><br>炉心シュラウド支持ロッド取付部に働く水平力$F_b$：<br>$$F_b = W \times \left(\frac{L - (L_{b1} + L_{b2})}{L}\right) \times \alpha$$<br>$$= W \times \left(1 - \frac{L_{b1} + L_{b2}}{L}\right) \times \alpha$$<br>炉心シュラウド支持ロッド取付部の重心高さ$G_b$：<br>$$G_b = L_{b1} + L_{b2} + [L - (L_{b1} + L_{b2})] \times \frac{1}{2}$$<br>$$= \frac{1}{2} \times (L + L_{b1} + L_{b2})$$<br>炉心シュラウド支持ロッドに働くモーメント$M_b$：<br>$$M_b = W \times \left(1 - \frac{L_{b1} + L_{b2}}{L}\right) \times \alpha \times \frac{1}{2} \times (L + L_{b1} + L_{b2})$$<br>$$= \frac{1}{2} \times W \times \alpha \times L \times \left[1 - \left(\frac{L_{b1} + L_{b2}}{L}\right)^2\right]$$</td></tr>
<tr><td>$L_{a1}$が小さいほど（分離部が下にあるほど）モーメントは大きくなる。<br>炉心シュラウド支持ロッドは，取付部に働くモーメントを支持するので，モーメントが大きくなれば炉心シュラウド支持ロッドの軸力も大きくなる。<br> 
</td><td>ここで，シュラウドサポート取付位置からH7溶接線までの距離を$L_{a1} = L_{b1}$とすると，<br>$$1 - \left(\frac{L_{a1}}{L}\right)^2 > 1 - \left(\frac{L_{b1} + L_{b2}}{L}\right)^2$$<br>となる。したがって，<br>$$M_a > M_b$$<br><br>となり，複数分離を想定する場合に比べて「H7溶接線分離」を想定する場合の方が，炉心シュラウド支持ロッド取付部に働くモーメントが大きくなる。<br>炉心シュラウド支持ロッドは，取付部に働くモーメントを支持するので，モーメントが大きくなれば炉心シュラウド支持ロッドの軸力も大きくなる。</td></tr>
<tr><td colspan="2">したがって，炉心シュラウド支持ロッドの軸力は，複数分離を想定する場合よりも単独分離を想定する場合の方が大きくなり，また，下部の溶接線の分離を想定する場合に大きくなる。</td></tr>
</table>

b.　炉心シュラウド支持ロッドのせん断力，モーメント

炉心シュラウド支持ロッドに発生するせん断力，モーメントは，図 2-15 に示す炉心シュラウド支持ロッド単独の地震応答解析モデルを用いて算出する（添付書類「Ⅵ-2-3-3-2-4　炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書」参照）。

炉心シュラウド支持ロッドに発生するせん断力，モーメントは，炉心シュラウド支持ロッドが取付く炉心シュラウドの振動特性の影響を受ける。そこで，炉心シュラウド支持ロッド取付点である炉心シュラウド位置の床応答曲線において，炉心シュラウド支持ロッドの固有周期における加速度が最大となる溶接線の分離想定ケースを選定する。

炉心シュラウド支持ロッドは，上部サポートの構造及び上部タイロッドの直径が異なるタイプ 1 とタイプ 2 の 2 種類があり，既工認では質量の大きいタイプ 2 を対象に地震応答解析を行っている。今回工認では，タイプ 1 とタイプ 2 の両方を対象に床応答曲線が最大となる溶接線の分離想定ケースを検討する。タイプ 1 の固有周期は 0.080 秒，タイプ 2 の固有周期は 0.070 秒であり，固有周期における応答が大きくなる溶接線の分離想定ケースは，タイプ 1 ではＳｓ-Ｄ２（NS 方向）の H2 分離ケース及びＳｓ-Ｄ３（EW 方向）の H2 分離ケース，タイプ 2 ではＳｓ-Ｄ２（NS 方向）の H1 分離ケース及びＳｓ-Ｄ２（NS 方向）の H2 分離ケースとなる（図 2-16）。図 2-16 に示すとおり，固有周期においてはタイプ 1 の震度よりもタイプ 2 の震度が大きいことから，タイプ 2 で震度が大きくなるケースでの炉心シュラウド支持ロッドの応答値（せん断力及びモーメント）を比較する。Ｓｓ-Ｄ２（NS 方向）における H1 分離ケースと H2 分離ケースの炉心シュラウド応答を用いて算出した炉心シュラウド支持ロッドすべての質点のせん断力及びモーメントを表 2-9 及び表 2-10 に示す。炉心シュラウド支持ロッドに発生するせん断力とモーメントは，震度と同様に H1 分離ケースで最大となることが分かる。

したがって，炉心シュラウド支持ロッドの固有周期における加速度の観点からは，H1 分離ケースを選定する。

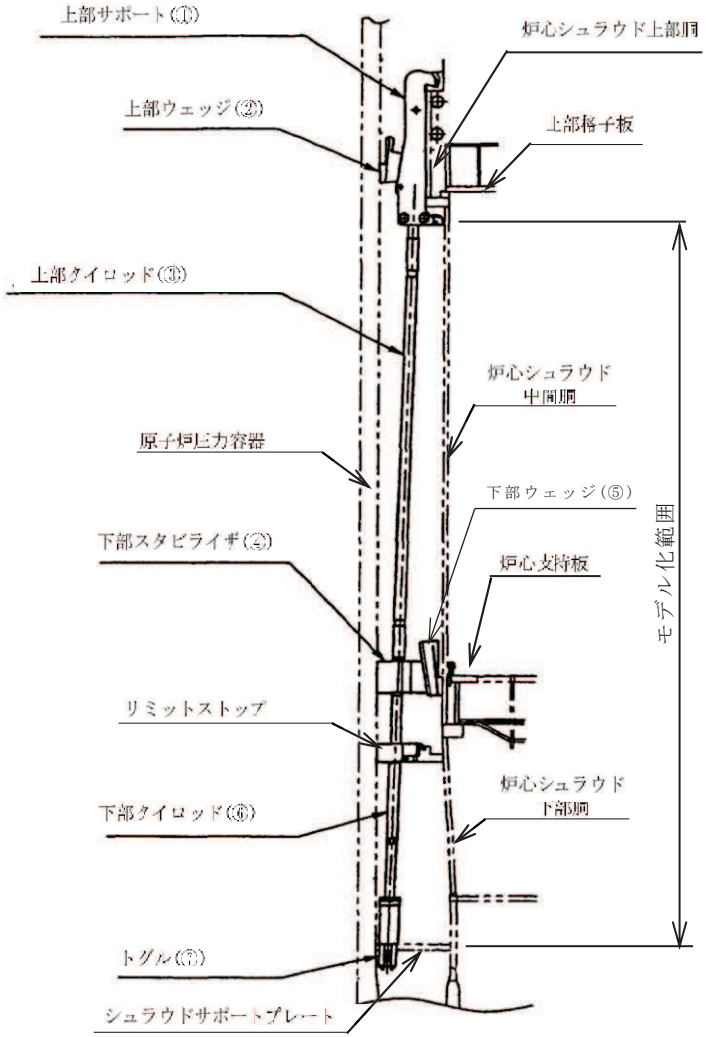



図 2-15　炉心シュラウド支持ロッドの解析モデル（添付書類「Ⅵ-2-3-3-2-4　炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書」参照）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-9　炉心シュラウド支持ロッドに発生するせん断力（Ｓｓ－Ｄ２，NS 方向）

| 質点番号 | せん断力（N） | | | |
|---|---|---|---|---|
| | タイプ 1 | | タイプ 2 | |
| | H1 分離 | H2 分離 | H1 分離 | H2 分離 |
| T1 | 2490<br>(0.24) | 2630<br>(0.26) | 10320<br>(1.00) | 9650<br>(0.94) |
| T2 | 2470<br>(0.24) | 2600<br>(0.25) | 10200<br>(1.00) | 9620<br>(0.94) |
| T3 | 2430<br>(0.24) | 2560<br>(0.25) | 10200<br>(1.00) | 9550<br>(0.94) |
| T4 | 2300<br>(0.23) | 2410<br>(0.25) | 9820<br>(1.00) | 9240<br>(0.94) |
| T5 | 2160<br>(0.23) | 2270<br>(0.24) | 9430<br>(1.00) | 8850<br>(0.94) |
| T6 | 1790<br>(0.22) | 2250<br>(0.27) | 8200<br>(1.00) | 7660<br>(0.93) |
| T7 | 726<br>(0.18) | 974<br>(0.24) | 4040<br>(1.00) | 3750<br>(0.93) |
| T8 | 607<br>(0.55) | 551<br>(0.50) | 1110<br>(1.00) | 1050<br>(0.95) |
| T9 | 1760<br>(0.29) | 2020<br>(0.33) | 6090<br>(1.00) | 5720<br>(0.94) |
| T10 | 2690<br>(0.27) | 3170<br>(0.32) | 9920<br>(1.00) | 9350<br>(0.94) |
| T11 | 3010<br>(0.27) | 3520<br>(0.32) | 11000<br>(1.00) | 10400<br>(0.95) |
| T12 | 3140<br>(0.28) | 3670<br>(0.32) | 11400<br>(1.00) | 10800<br>(0.95) |
| T13 | 3230<br>(0.28) | 3750<br>(0.32) | 11600<br>(1.00) | 11000<br>(0.95) |
| T14 | 3280<br>(0.28) | 3800<br>(0.32) | 11700<br>(1.00) | 11100<br>(0.95) |
| T15 | 2530<br>(0.90) | 2240<br>(0.80) | 2810<br>(1.00) | 2490<br>(0.89) |
| T16 | 2320<br>(0.90) | 2080<br>(0.81) | 2570<br>(1.00) | 2260<br>(0.88) |
| T17 | 1600<br>(1.00) | 1440<br>(0.90) | 1570<br>(0.98) | 1370<br>(0.86) |
| T18 | 740<br>(0.50) | 839<br>(0.56) | 1490<br>(1.00) | 1420<br>(0.95) |
| T19 | 722<br>(0.38) | 878<br>(0.46) | 1900<br>(1.00) | 1750<br>(0.92) |
| T20 | 772<br>(0.35) | 901<br>(0.41) | 2190<br>(1.00) | 2000<br>(0.91) |
| T21 | 1340<br>(0.46) | 1220<br>(0.42) | 2930<br>(1.00) | 2570<br>(0.88) |
| T22 | | | | |

注 1：最大となるケースをハッチングで示す。

2：（　）内は最大となるケースに対する比率を示す。

表 2-10　炉心シュラウド支持ロッドに発生するモーメント（Ｓｓ－Ｄ２，NS 方向）

| 質点番号 | モーメント（N･m） | | | |
|---|---|---|---|---|
| | タイプ 1 | | タイプ 2 | |
| | H1 分離 | H2 分離 | H1 分離 | H2 分離 |
| T1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T2 | 200<br>(0.24) | 210<br>(0.26) | 818<br>(1.00) | 772<br>(0.94) |
| T3 | 232<br>(0.24) | 244<br>(0.26) | 950<br>(1.00) | 897<br>(0.94) |
| T4 | 571<br>(0.24) | 601<br>(0.25) | 2370<br>(1.00) | 2240<br>(0.95) |
| T5 | 1010<br>(0.24) | 1060<br>(0.25) | 4240<br>(1.00) | 3990<br>(0.94) |
| T6 | 1150<br>(0.24) | 1210<br>(0.25) | 4840<br>(1.00) | 4560<br>(0.94) |
| T7 | 2190<br>(0.23) | 2510<br>(0.26) | 9600<br>(1.00) | 9010<br>(0.94) |
| T8 | 2600<br>(0.22) | 3080<br>(0.26) | 12000<br>(1.00) | 11200<br>(0.93) |
| T9 | 2290<br>(0.20) | 2760<br>(0.24) | 11400<br>(1.00) | 10600<br>(0.93) |
| T10 | 1300<br>(0.17) | 1590<br>(0.20) | 7780<br>(1.00) | 7260<br>(0.93) |
| T11 | 582<br>(0.28) | 498<br>(0.24) | 2080<br>(1.00) | 1880<br>(0.90) |
| T12 | 740<br>(0.50) | 659<br>(0.44) | 1490<br>(1.00) | 1320<br>(0.89) |
| T13 | 1360<br>(0.88) | 1370<br>(0.88) | 1550<br>(1.00) | 1400<br>(0.90) |
| T14 | 1390<br>(0.82) | 1410<br>(0.83) | 1690<br>(1.00) | 1540<br>(0.91) |
| T15 | 1780<br>(0.56) | 1920<br>(0.60) | 3190<br>(1.00) | 3060<br>(0.96) |
| T16 | 1550<br>(0.49) | 1780<br>(0.56) | 3180<br>(1.00) | 3020<br>(0.95) |
| T17 | 1210<br>(0.38) | 1480<br>(0.46) | 3210<br>(1.00) | 2950<br>(0.92) |
| T18 | 1140<br>(0.36) | 1360<br>(0.43) | 3140<br>(1.00) | 2860<br>(0.91) |
| T19 | 935<br>(0.39) | 909<br>(0.38) | 2400<br>(1.00) | 2120<br>(0.88) |
| T20 | 904<br>(0.40) | 871<br>(0.38) | 2270<br>(1.00) | 2010<br>(0.89) |
| T21 | 560<br>(0.46) | 509<br>(0.41) | 1230<br>(1.00) | 1080<br>(0.88) |
| T22 | 0 | 0 | 0 | 0 |

注 1：最大となるケースをハッチングで示す。

2：（　）内は最大となるケースに対する比率を示す。

| 凡例 | 溶接線の分離想定位置 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基準地震動 | H1 | H2 | H4 | H6a | H6 b | H7 |
| Ｓｓ－Ｄ１ | Ss-D1_H1_NS<br>Ss-D1_H1_EW | Ss-D1_H2_NS<br>Ss-D1_H2_EW | Ss-D1_H4_NS<br>Ss-D1_H4_EW | Ss-D1_H6a_NS<br>Ss-D1_H6a_EW | Ss-D1_H6b_NS<br>Ss-D1_H6b_EW | Ss-D1_H7_NS<br>Ss-D1_H7_EW |
| Ｓｓ－Ｄ２ | Ss-D2_H1_NS<br>Ss-D2_H1_EW | Ss-D2_H2_NS<br>Ss-D2_H2_EW | Ss-D2_H4_NS<br>Ss-D2_H4_EW | Ss-D2_H6a_NS<br>Ss-D2_H6a_EW | Ss-D2_H6b_NS<br>Ss-D2_H6b_EW | Ss-D2_H7_NS<br>Ss-D2_H7_EW |
| Ｓｓ－Ｄ３ | Ss-D3_H1_NS<br>Ss-D3_H1_EW | Ss-D3_H2_NS<br>Ss-D3_H2_EW | Ss-D3_H4_NS<br>Ss-D3_H4_EW | Ss-D3_H6a_NS<br>Ss-D3_H6a_EW | Ss-D3_H6b_NS<br>Ss-D3_H6b_EW | Ss-D3_H7_NS<br>Ss-D3_H7_EW |
| Ｓｓ－Ｆ１ | Ss-F1_H1_NS<br>Ss-F1_H1_EW | Ss-F1_H2_NS<br>Ss-F1_H2_EW | Ss-F1_H4_NS<br>Ss-F1_H4_EW | Ss-F1_H6a_NS<br>Ss-F1_H6a_EW | Ss-F1_H6b_NS<br>Ss-F1_H6b_EW | Ss-F1_H7_NS<br>Ss-F1_H7_EW |
| Ｓｓ－Ｆ２ | Ss-F2_H1_NS<br>Ss-F2_H1_EW | Ss-F2_H2_NS<br>Ss-F2_H2_EW | Ss-F2_H4_NS<br>Ss-F2_H4_EW | Ss-F2_H6a_NS<br>Ss-F2_H6a_EW | Ss-F2_H6b_NS<br>Ss-F2_H6b_EW | Ss-F2_H7_NS<br>Ss-F2_H7_EW |
| Ｓｓ－Ｆ３ | Ss-F3_H1_NS<br>Ss-F3_H1_EW | Ss-F3_H2_NS<br>Ss-F3_H2_EW | Ss-F3_H4_NS<br>Ss-F3_H4_EW | Ss-F3_H6a_NS<br>Ss-F3_H6a_EW | Ss-F3_H6b_NS<br>Ss-F3_H6b_EW | Ss-F3_H7_NS<br>Ss-F3_H7_EW |
| Ｓｓ－Ｎ１ | Ss-N1_H1_NS<br>Ss-N1_H1_EW | Ss-N1_H2_NS<br>Ss-N1_H2_EW | Ss-N1_H4_NS<br>Ss-N1_H4_EW | Ss-N1_H6a_NS<br>Ss-N1_H6a_EW | Ss-N1_H6b_NS<br>Ss-N1_H6b_EW | Ss-N1_H7_NS<br>Ss-N1_H7_EW |

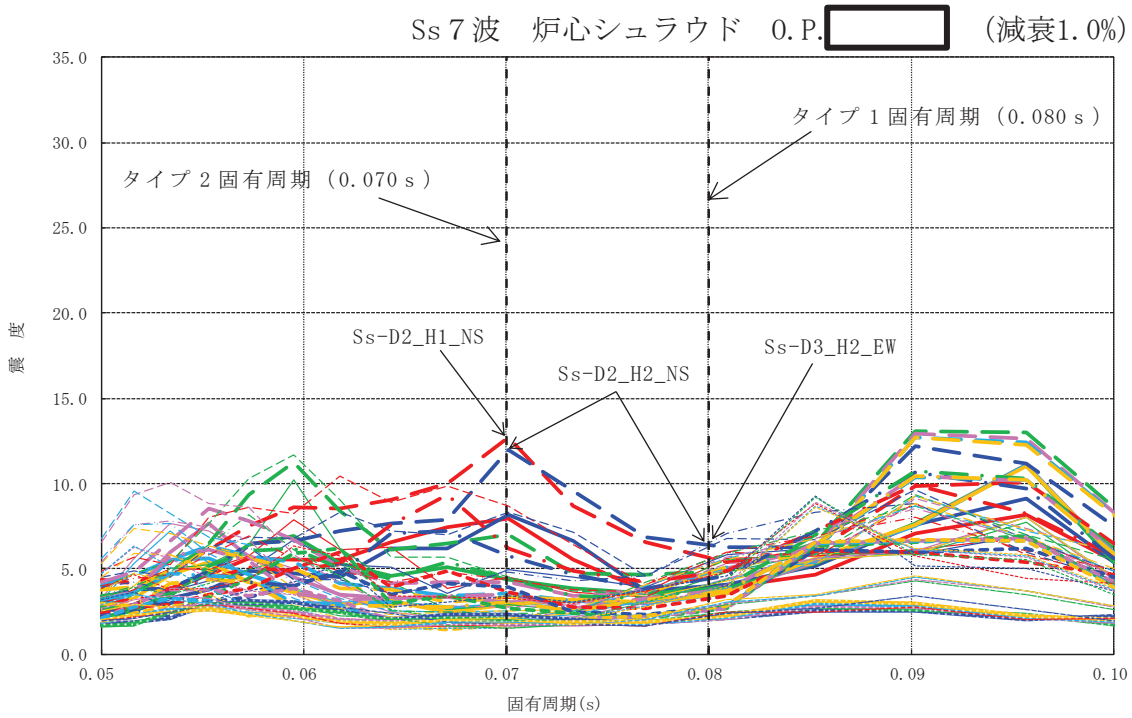



図 2-16　炉心シュラウド支持ロッド固有周期における床応答曲線最大値



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

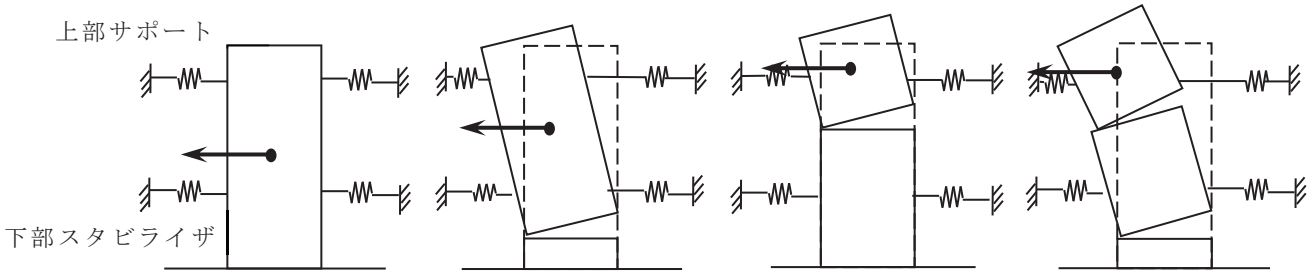
(3)　上部サポート及び下部スタビライザ

上部サポート及び下部スタビライザは，炉心シュラウド転倒時の水平方向荷重を支持するもので，当該部の水平変位の大きさで反力が決まる。

上部サポートと下部スタビライザの間で分離を想定する場合(例えば H4 分離・図 2-17（3）参照)，炉心シュラウド下部の剛性が効くため，上部サポート及び下部スタビライザ位置での変位は比較的小さく抑えられる。一方，下部スタビライザの下方に分離を想定した場合（例えば H7 分離・図 2-17（2）参照)，炉心シュラウド下部の剛性が効かないため，上部サポート及び下部スタビライザ位置での変位は大きくなる。さらに，全溶接線分離を想定した場合（図 2-17（4）参照）には，下部スタビライザ下方に H7 分離を想定した場合に比べ，上部サポートと下部スタビライザの間のシュラウド剛性も小さくなるため，水平変位がより大きくなる。これらのことから，上部サポート及び下部スタビライザの水平変位は，全溶接線分離のケースが最も大きくなると考えられる。

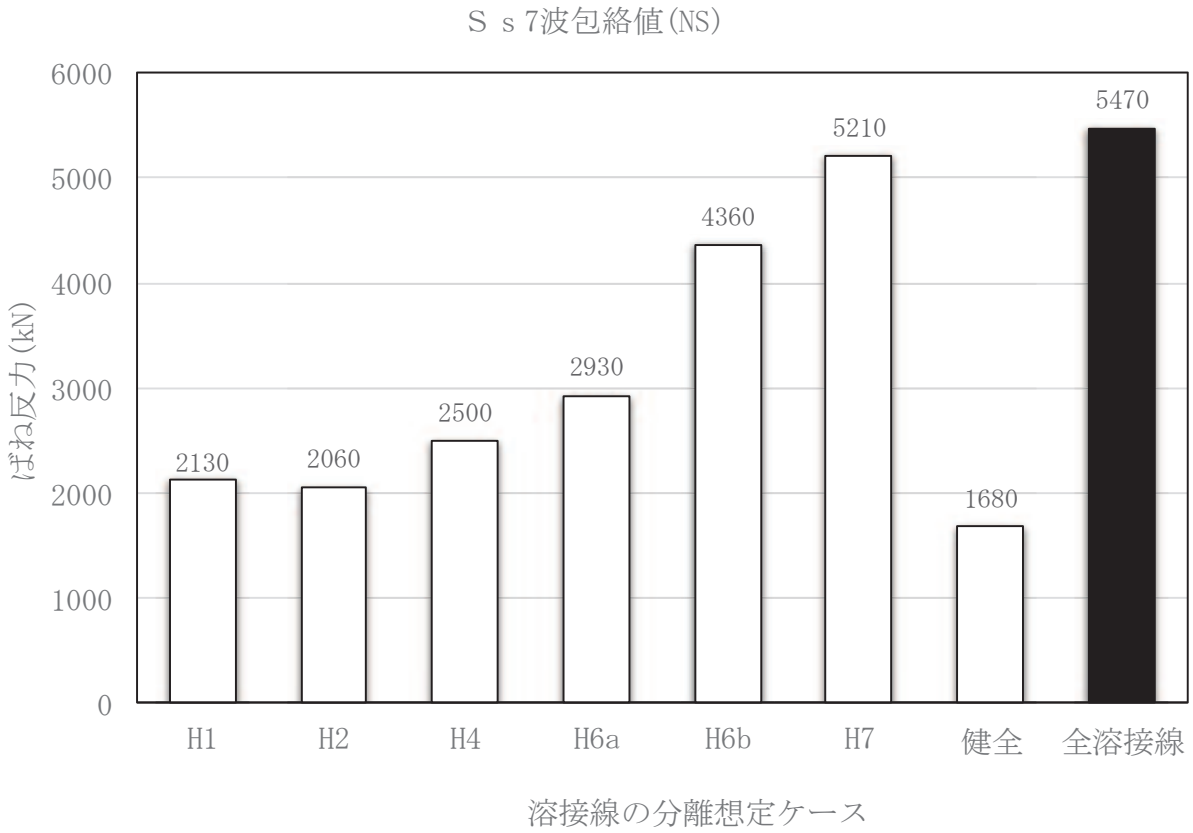
基準地震動Ｓｓ７波に対する上部サポート反力の NS 方向及び EW 方向の包絡値を図 2-18 に，下部スタビライザ反力の NS 方向及び EW 方向の包絡値を図 2-19 に示す。図 2-18 及び図 2-19 から，上部サポート及び下部スタビライザの反力は，全溶接線分離ケースが大きいことが分かる。

したがって，上部サポート及び下部スタビライザの反力の観点からは，全溶接線分離ケースを選定する。




(1)シュラウド健全　(2)シュラウド下部の分離　(3)シュラウド上部の分離　(4)複数位置分離

図 2-17　炉心シュラウドの分離想定概念図



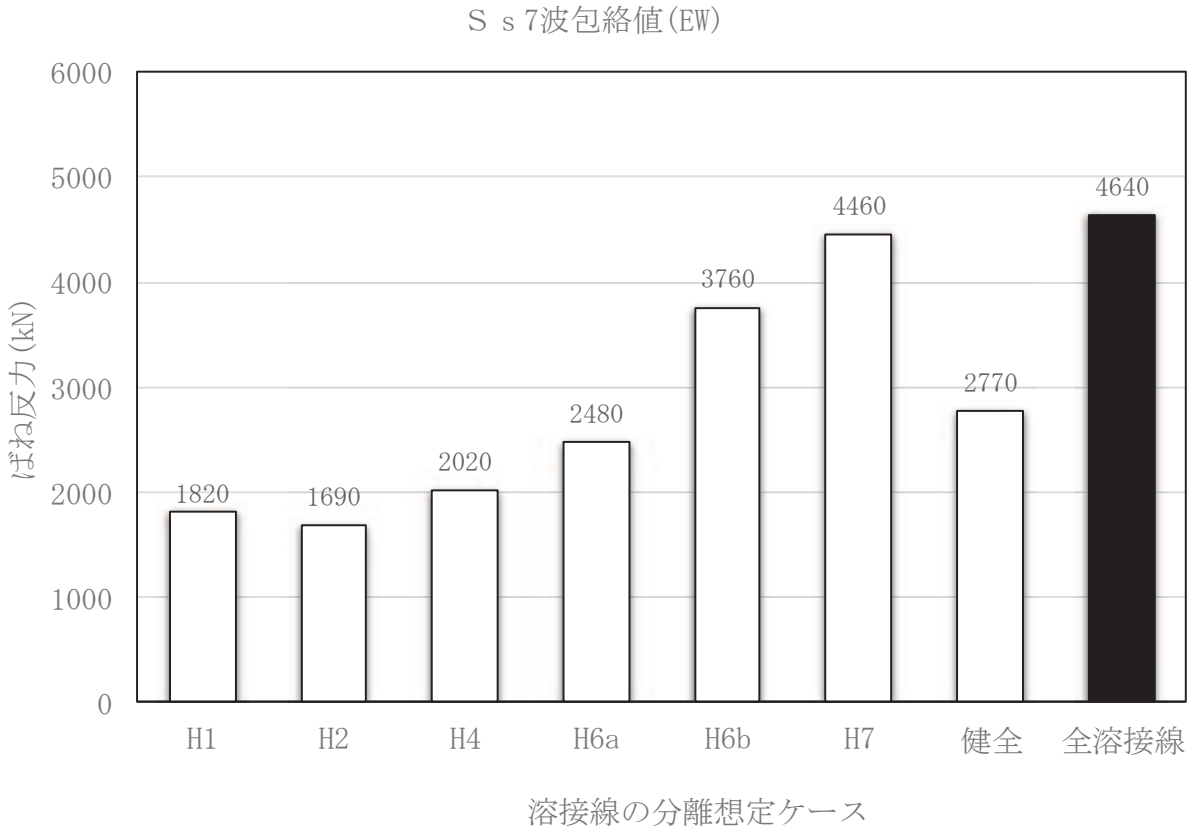
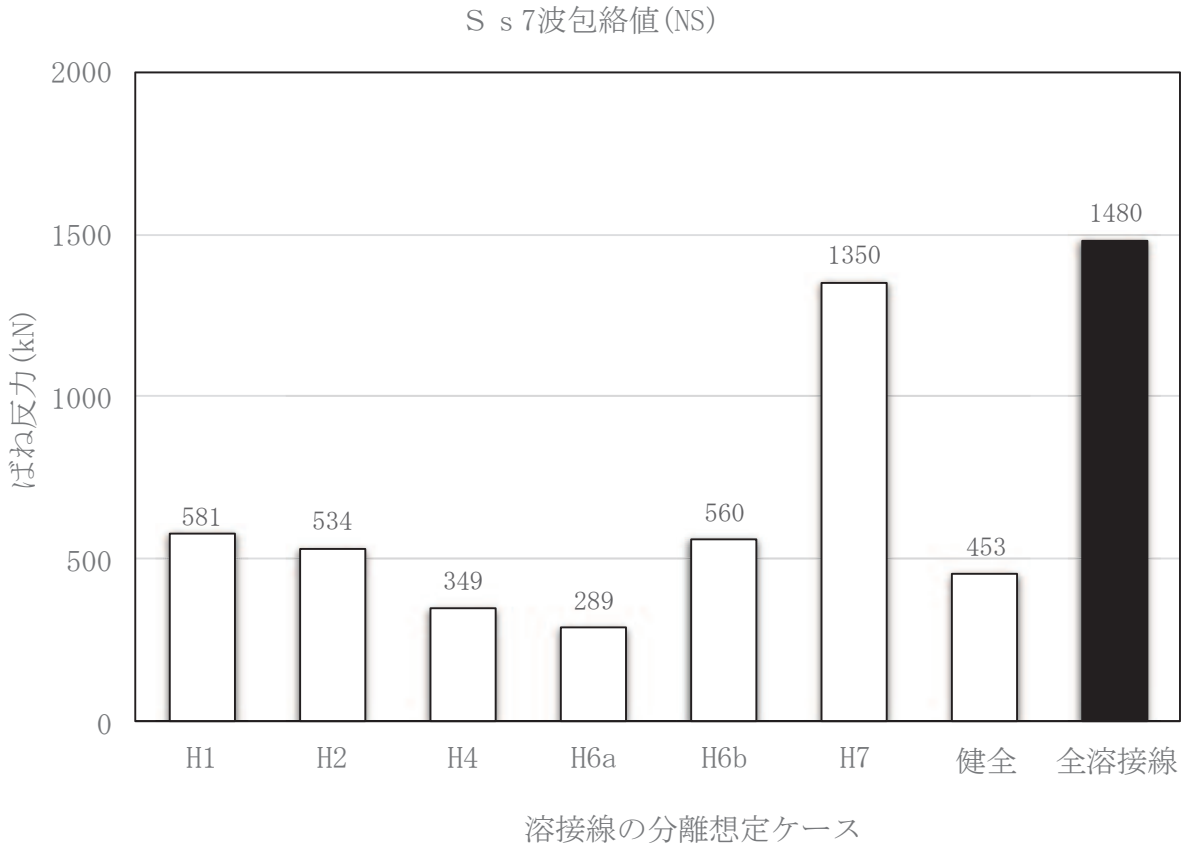




図 2-18　上部サポート反力最大値の比較



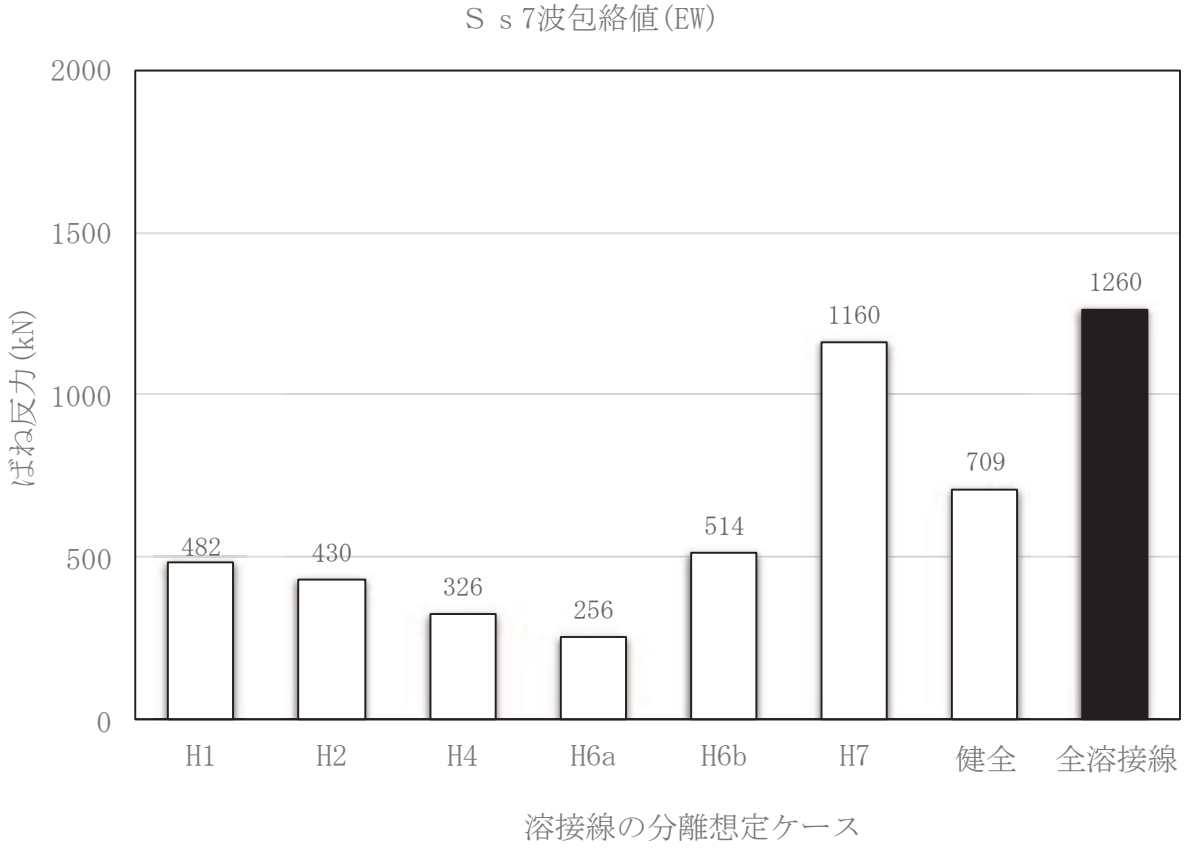




図 2-19　下部スタビライザ反力最大値の比較

### 2.2.3　炉心シュラウド溶接線の分離想定ケースのまとめ

材料物性の不確かさ等を考慮する検討ケースのうち，基本ケースについては，全ての炉心シュラウド溶接線の分離想定ケースの解析条件を用いて地震応答解析を実施し，炉心シュラウド，炉心シュラウド支持ロッド，上部サポート及び下部スタビライザについて，考慮する地震荷重が支配的となる炉心シュラウド溶接線の分離想定ケースを選定した（表 2-11)。材料物性の不確かさ等を考慮した解析においては，以下の 4 つの溶接線の分離想定ケースについて設計条件を設定するための地震応答解析を実施する（表 2-12)。

- 健全ケース
- H1 分離ケース
- H6b 分離ケース
- 全溶接線分離ケース

表 2-11　炉心シュラウドの状態と最大地震荷重が発生する溶接線の分離想定ケース

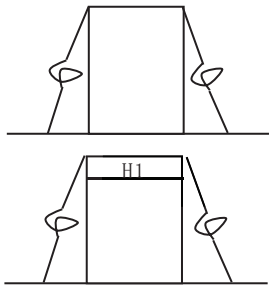
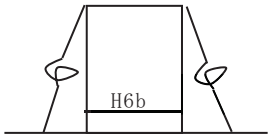
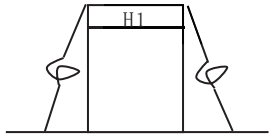
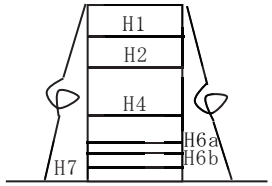
| 考慮する地震荷重 | 炉心シュラウド溶接線の分離想定ケース | イメージ図 | 選定した考え方 | 備考 |
|---|---|---|---|---|
| 炉心シュラウドのせん断力，モーメント | 健全ケース及び H1 分離ケース |  | 炉心シュラウドの曲げ剛性は炉心シュラウド支持ロッドの曲げ剛性に比べて十分に大きいので，炉心シュラウドが多くの荷重を負担し，炉心シュラウド支持ロッドが負担する荷重は少ない。<br>炉心シュラウドの曲げ剛性 EI：$10^{11}$(N･m$^2$)オーダー<br>炉心シュラウド支持ロッドの曲げ剛性 EI：$10^{5}$(N･m$^2$)オーダー | 2.2.2(1)参照 |
| 炉心シュラウド支持ロッドの軸力 | H6b 分離ケース |  | 炉心シュラウド支持ロッド取付部付近に働くモーメントが最大となる。そのため，炉心シュラウド支持ロッドの軸力が最大となる。 | 2.2.2(2)a 参照 |
| 炉心シュラウド支持ロッドのせん断力，モーメント | H1 分離ケース |  | 本ケースは，炉心シュラウド支持ロッドの固有周期付近の応答スペクトルが他の溶接線の分離想定ケースと比較し，大きくなることによる。 | 2.2.2(2)b 参照 |
| 上部サポート，下部スタビライザの反力 | 全溶接線分離ケース |  | 上部サポート及び下部スタビライザは水平方向地震荷重を支える設備である。<br>炉心シュラウドの全ての周方向溶接線に分離を想定した場合は，炉心シュラウド全体の剛性が最も小さくなり，炉心シュラウドが負担する荷重が最も少なくなる。そのため，上部サポート及び下部スタビライザの反力が最大となる。 | 2.2.2(3)参照 |

表 2-12　設計条件として考慮する地震応答解析ケース

| 検討ケース* | 炉心シュラウド溶接線の分離想定ケース | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 健全 | H1 | H2 | H4 | H6a | H6b | H7 | 全溶接線分離 |
| ケース 1<br>(基本ケース) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ケース 2 | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ |
| ケース 3 | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ |
| ケース 4 | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ |
| ケース 5 | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ |
| ケース 6 | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ |
| ケース 7 | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ |

＊：炉内構造物系地震応答解析モデルにおいては，表 2-1 に示す検討ケースそれぞれに対してさらに炉心シュラウド溶接線の分離を想定したケースでの解析を実施する。

2.3　材料物性の不確かさ等を踏まえた設計用地震力の設定

材料物性の不確かさ等を考慮したケースの地震応答解析結果を踏まえ，全てのケースの包絡値を設計用地震力として設定する。

弾性設計用地震動Ｓｄに対する設計用地震力を表 2-13 に，基準地震動Ｓｓに対する設計用地震力を表 2-14 に示す。

表 2-13（1）設計用地震力（水平加速度，Ｓｄ）(1/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 水平加速度(m/s²) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | | ケース 2 | | ケース 3 | | ケース 4 | | ケース 5 | | ケース 6 | | ケース 7 | | 設計用地震力 | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉圧力容器 | | 18.0 | 23.8 | 18.5 | 22.9 | 18.4 | 24.9 | － | － | － | － | － | － | 19.0 | 23.5 | 19.0 | 24.9 |
| | | 15.9 | 20.5 | 16.4 | 19.7 | 16.1 | 21.4 | － | － | － | － | － | － | 16.8 | 20.2 | 16.8 | 21.4 |
| | | 14.2 | 17.9 | 14.8 | 17.2 | 14.2 | 18.5 | － | － | － | － | － | － | 15.1 | 17.6 | 15.1 | 18.5 |
| | | 12.7 | 15.4 | 13.2 | 15.0 | 12.4 | 15.8 | － | － | － | － | － | － | 13.5 | 15.2 | 13.5 | 15.8 |
| | | 10.6 | 11.9 | 11.1 | 11.8 | 10.1 | 12.1 | － | － | － | － | － | － | 11.2 | 12.1 | 11.2 | 12.1 |
| | | 8.43 | 8.64 | 8.95 | 8.77 | 7.99 | 8.49 | － | － | － | － | － | － | 9.06 | 8.89 | 9.06 | 8.89 |
| | | 7.12 | 7.43 | 7.53 | 7.44 | 6.88 | 7.34 | － | － | － | － | － | － | 7.89 | 7.52 | 7.89 | 7.52 |
| | | 6.63 | 7.06 | 6.74 | 7.08 | 6.43 | 6.85 | － | － | － | － | － | － | 7.35 | 6.73 | 7.35 | 7.08 |
| | | 5.68 | 5.94 | 5.93 | 5.93 | 5.53 | 5.82 | － | － | － | － | － | － | 6.03 | 5.89 | 6.03 | 5.94 |
| 原子炉本体の基礎 | | 5.68 | 5.94 | 5.93 | 5.93 | 5.53 | 5.82 | － | － | － | － | － | － | 6.03 | 5.89 | 6.03 | 5.94 |
| | | 5.53 | 5.87 | 5.77 | 5.86 | 5.43 | 5.73 | － | － | － | － | － | － | 5.83 | 5.83 | 5.83 | 5.87 |
| | | 5.06 | 5.64 | 5.22 | 5.66 | 5.10 | 5.52 | － | － | － | － | － | － | 5.17 | 5.62 | 5.22 | 5.66 |
| | | 4.80 | 5.19 | 4.91 | 5.22 | 4.79 | 5.08 | － | － | － | － | － | － | 4.78 | 5.15 | 4.91 | 5.22 |
| | | 4.65 | 4.65 | 4.78 | 4.68 | 4.61 | 4.62 | － | － | － | － | － | － | 4.63 | 4.57 | 4.78 | 4.68 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 10.6 | 11.8 | 11.0 | 11.8 | 10.4 | 11.9 | － | － | － | － | － | － | 11.0 | 11.5 | 11.0 | 11.9 |
| | | 9.47 | 10.0 | 9.74 | 10.1 | 9.27 | 10.2 | － | － | － | － | － | － | 9.62 | 9.69 | 9.74 | 10.2 |
| | | 8.33 | 10.1 | 8.78 | 10.1 | 8.25 | 10.2 | － | － | － | － | － | － | 9.06 | 9.64 | 9.06 | 10.2 |
| | | 8.04 | 9.60 | 8.27 | 9.48 | 7.77 | 9.64 | － | － | － | － | － | － | 8.87 | 9.18 | 8.87 | 9.64 |
| | | 7.38 | 8.18 | 7.55 | 8.10 | 7.20 | 8.15 | － | － | － | － | － | － | 8.14 | 7.86 | 8.14 | 8.18 |
| | | 5.68 | 5.94 | 5.93 | 5.93 | 5.53 | 5.82 | － | － | － | － | － | － | 6.03 | 5.89 | 6.03 | 5.94 |
| 原子炉格納容器 | | 11.3 | 11.2 | 11.5 | 11.5 | 10.9 | 11.0 | － | － | － | － | － | － | 11.2 | 11.2 | 11.5 | 11.5 |
| | | 10.7 | 10.6 | 10.9 | 10.9 | 10.3 | 10.5 | － | － | － | － | － | － | 10.7 | 10.6 | 10.9 | 10.9 |
| | | 10.1 | 10.1 | 10.3 | 10.4 | 9.73 | 9.84 | － | － | － | － | － | － | 10.1 | 10.0 | 10.3 | 10.4 |
| | | 9.69 | 9.64 | 9.91 | 9.93 | 9.37 | 9.45 | － | － | － | － | － | － | 9.68 | 9.59 | 9.91 | 9.93 |
| | | 8.87 | 8.81 | 9.08 | 9.09 | 8.57 | 8.60 | － | － | － | － | － | － | 8.86 | 8.76 | 9.08 | 9.09 |
| | | 7.19 | 7.08 | 7.51 | 7.37 | 6.96 | 6.86 | － | － | － | － | － | － | 7.19 | 6.99 | 7.51 | 7.37 |
| | | 6.38 | 5.96 | 6.66 | 6.23 | 6.00 | 5.76 | － | － | － | － | － | － | 6.39 | 5.97 | 6.66 | 6.23 |
| | | 5.03 | 5.04 | 5.24 | 5.13 | 4.86 | 4.97 | － | － | － | － | － | － | 5.05 | 5.03 | 5.24 | 5.13 |
| | | 4.45 | 4.47 | 4.54 | 4.52 | 4.36 | 4.47 | － | － | － | － | － | － | 4.41 | 4.43 | 4.54 | 4.52 |
| | | 4.44 | 4.68 | 4.57 | 4.73 | 4.44 | 4.59 | － | － | － | － | － | － | 4.41 | 4.59 | 4.57 | 4.73 |
| | | 4.65 | 4.65 | 4.78 | 4.68 | 4.61 | 4.62 | － | － | － | － | － | － | 4.63 | 4.57 | 4.78 | 4.68 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13（1）設計用地震力（水平加速度，Ｓｄ）(2/2)

| 構造物 | 標高 0.P. (m) | 水平加速度(m/s²) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | | ケース 2 | | ケース 3 | | ケース 4 | | ケース 5 | | ケース 6 | | ケース 7 | | 設計用地震力 | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 炉心シュラウド | | 46.8 | 53.9 | 46.5 | 57.3 | 46.7 | 49.5 | － | － | － | － | － | － | 46.5 | 55.8 | 46.8 | 57.3 |
| | | 30.4 | 29.7 | 30.5 | 31.9 | 30.2 | 27.4 | － | － | － | － | － | － | 28.7 | 30.9 | 30.5 | 31.9 |
| | | 21.3 | 19.8 | 21.6 | 21.0 | 20.9 | 18.5 | － | － | － | － | － | － | 20.1 | 20.6 | 21.6 | 21.0 |
| | | 15.6 | 17.1 | 15.9 | 17.9 | 15.0 | 16.2 | － | － | － | － | － | － | 14.9 | 17.6 | 15.9 | 17.9 |
| | | 13.2 | 15.9 | 13.4 | 16.5 | 12.8 | 15.1 | － | － | － | － | － | － | 12.7 | 16.3 | 13.4 | 16.5 |
| | | 11.7 | 14.9 | 12.0 | 15.5 | 11.5 | 14.2 | － | － | － | － | － | － | 11.6 | 15.3 | 12.0 | 15.5 |
| | | 11.0 | 14.0 | 11.2 | 14.5 | 10.9 | 13.4 | － | － | － | － | － | － | 10.8 | 14.4 | 11.2 | 14.5 |
| | | 10.4 | 13.0 | 10.4 | 13.4 | 10.2 | 12.5 | － | － | － | － | － | － | 10.0 | 13.3 | 10.4 | 13.4 |
| | | 9.54 | 11.9 | 9.54 | 12.3 | 9.46 | 11.5 | － | － | － | － | － | － | 9.27 | 12.2 | 9.54 | 12.3 |
| | | 8.76 | 10.7 | 8.77 | 11.1 | 8.70 | 10.4 | － | － | － | － | － | － | 8.77 | 11.0 | 8.77 | 11.1 |
| | | 8.02 | 9.48 | 8.13 | 9.74 | 7.98 | 9.18 | － | － | － | － | － | － | 8.32 | 9.64 | 8.32 | 9.74 |
| | | 7.53 | 8.26 | 7.76 | 8.46 | 7.45 | 8.05 | － | － | － | － | － | － | 8.00 | 8.39 | 8.00 | 8.46 |
| | | 7.21 | 7.02 | 7.54 | 6.95 | 6.87 | 7.18 | － | － | － | － | － | － | 7.85 | 6.86 | 7.85 | 7.18 |
| | | 6.83 | 6.96 | 7.12 | 6.90 | 6.59 | 6.87 | － | － | － | － | － | － | 7.40 | 6.72 | 7.40 | 6.96 |
| 制御棒案内管 | | 7.53 | 8.26 | 7.76 | 8.46 | 7.45 | 8.05 | － | － | － | － | － | － | 8.00 | 8.39 | 8.00 | 8.46 |
| | | 15.6 | 9.41 | 14.2 | 9.24 | 18.8 | 9.11 | － | － | － | － | － | － | 16.9 | 9.31 | 18.8 | 9.41 |
| | | 19.9 | 10.2 | 18.1 | 10.2 | 24.1 | 10.1 | － | － | － | － | － | － | 21.4 | 10.2 | 24.1 | 10.2 |
| | | 11.2 | 7.70 | 10.7 | 7.80 | 12.5 | 7.53 | － | － | － | － | － | － | 11.5 | 7.87 | 12.5 | 7.87 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 11.2 | 7.70 | 10.7 | 7.80 | 12.5 | 7.53 | － | － | － | － | － | － | 11.5 | 7.87 | 12.5 | 7.87 |
| | | 6.65 | 7.04 | 6.97 | 7.03 | 6.37 | 6.85 | － | － | － | － | － | － | 6.97 | 7.03 | 6.97 | 7.04 |
| | | 8.82 | 9.74 | 8.43 | 9.81 | 8.84 | 9.46 | － | － | － | － | － | － | 8.71 | 9.84 | 8.84 | 9.84 |
| | | 12.6 | 13.4 | 11.9 | 12.8 | 12.6 | 12.6 | － | － | － | － | － | － | 12.2 | 13.1 | 12.6 | 13.4 |
| | | 11.4 | 12.0 | 10.7 | 12.1 | 11.4 | 12.0 | － | － | － | － | － | － | 11.0 | 12.1 | 11.4 | 12.1 |
| | | 6.20 | 7.64 | 6.43 | 7.69 | 6.25 | 7.48 | － | － | － | － | － | － | 6.40 | 7.67 | 6.43 | 7.69 |
| 燃料集合体 | | 11.7 | 14.9 | 12.0 | 15.5 | 11.5 | 14.2 | － | － | － | － | － | － | 11.6 | 15.3 | 12.0 | 15.5 |
| | | 18.7 | 14.2 | 20.1 | 14.6 | 17.6 | 17.2 | － | － | － | － | － | － | 18.9 | 14.4 | 20.1 | 17.2 |
| | | 25.2 | 20.0 | 27.0 | 21.3 | 22.9 | 24.1 | － | － | － | － | － | － | 25.4 | 20.3 | 27.0 | 24.1 |
| | | 26.4 | 22.2 | 28.4 | 23.3 | 24.1 | 25.7 | － | － | － | － | － | － | 26.6 | 22.5 | 28.4 | 25.7 |
| | | 23.2 | 20.1 | 25.0 | 21.2 | 21.2 | 22.6 | － | － | － | － | － | － | 23.4 | 20.1 | 25.0 | 22.6 |
| | | 16.1 | 13.6 | 17.4 | 13.9 | 14.8 | 15.3 | － | － | － | － | － | － | 16.3 | 13.7 | 17.4 | 15.3 |
| | | 7.53 | 8.26 | 7.76 | 8.46 | 7.45 | 8.05 | － | － | － | － | － | － | 8.00 | 8.39 | 8.00 | 8.46 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13 (2) 設計用地震力（鉛直加速度，Ｓｄ）(1/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 鉛直加速度(m/s²) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| | | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 |
| 原子炉圧力容器 | | 6.41 | 6.60 | 6.33 | － | － | － | 6.83 | 6.83 |
| | | 6.39 | 6.56 | 6.31 | － | － | － | 6.80 | 6.80 |
| | | 6.34 | 6.48 | 6.26 | － | － | － | 6.74 | 6.74 |
| | | 6.27 | 6.36 | 6.17 | － | － | － | 6.65 | 6.65 |
| | | 6.11 | 6.22 | 6.01 | － | － | － | 6.43 | 6.43 |
| | | 5.94 | 6.05 | 5.82 | － | － | － | 6.21 | 6.21 |
| | | 5.72 | 5.85 | 5.59 | － | － | － | 5.95 | 5.95 |
| | | 5.56 | 5.68 | 5.42 | － | － | － | 5.78 | 5.78 |
| | | 4.35 | 4.45 | 4.24 | － | － | － | 4.50 | 4.50 |
| 原子炉本体の基礎 | | 4.35 | 4.45 | 4.24 | － | － | － | 4.50 | 4.50 |
| | | 4.18 | 4.27 | 4.08 | － | － | － | 4.29 | 4.29 |
| | | 3.84 | 3.94 | 3.75 | － | － | － | 3.88 | 3.94 |
| | | 3.47 | 3.58 | 3.36 | － | － | － | 3.42 | 3.58 |
| | | 3.20 | 3.30 | 3.08 | － | － | － | 3.17 | 3.30 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 8.87 | 9.11 | 8.64 | － | － | － | 8.99 | 9.11 |
| | | 8.70 | 8.94 | 8.45 | － | － | － | 8.82 | 8.94 |
| | | 8.19 | 8.43 | 7.93 | － | － | － | 8.31 | 8.43 |
| | | 7.27 | 7.50 | 7.05 | － | － | － | 7.47 | 7.50 |
| | | 6.09 | 6.29 | 5.91 | － | － | － | 6.28 | 6.29 |
| | | 4.35 | 4.45 | 4.24 | － | － | － | 4.50 | 4.50 |
| 原子炉格納容器 | | 5.42 | 5.56 | 5.27 | － | － | － | 5.43 | 5.56 |
| | | 5.36 | 5.49 | 5.21 | － | － | － | 5.38 | 5.49 |
| | | 5.27 | 5.41 | 5.11 | － | － | － | 5.29 | 5.41 |
| | | 5.20 | 5.34 | 5.05 | － | － | － | 5.22 | 5.34 |
| | | 5.00 | 5.14 | 4.85 | － | － | － | 5.01 | 5.14 |
| | | 4.70 | 4.83 | 4.54 | － | － | － | 4.64 | 4.83 |
| | | 4.44 | 4.57 | 4.29 | － | － | － | 4.38 | 4.57 |
| | | 4.05 | 4.18 | 3.89 | － | － | － | 4.02 | 4.18 |
| | | 3.65 | 3.77 | 3.51 | － | － | － | 3.61 | 3.77 |
| | | 3.44 | 3.55 | 3.31 | － | － | － | 3.40 | 3.55 |
| | | 3.20 | 3.30 | 3.08 | － | － | － | 3.17 | 3.30 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13（2）設計用地震力（鉛直加速度，Ｓｄ）(2/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 鉛直加速度(m/s²) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| | | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 |
| 炉心シュラウド | | 7.56 | 7.70 | 7.40 | － | － | － | 7.93 | 7.93 |
| | | 7.55 | 7.69 | 7.39 | － | － | － | 7.92 | 7.92 |
| | | 7.51 | 7.65 | 7.35 | － | － | － | 7.87 | 7.87 |
| | | 7.43 | 7.57 | 7.27 | － | － | － | 7.78 | 7.78 |
| | | 6.79 | 6.94 | 6.65 | － | － | － | 7.08 | 7.08 |
| | | 6.72 | 6.86 | 6.57 | － | － | － | 7.00 | 7.00 |
| | | 6.62 | 6.76 | 6.47 | － | － | － | 6.89 | 6.89 |
| | | 6.52 | 6.65 | 6.37 | － | － | － | 6.78 | 6.78 |
| | | 6.41 | 6.54 | 6.27 | － | － | － | 6.66 | 6.66 |
| | | 6.30 | 6.43 | 6.16 | － | － | － | 6.55 | 6.55 |
| | | 6.19 | 6.31 | 6.06 | － | － | － | 6.42 | 6.42 |
| | | 6.08 | 6.22 | 5.95 | － | － | － | 6.30 | 6.30 |
| | | 5.88 | 6.01 | 5.74 | － | － | － | 6.07 | 6.07 |
| | | 5.67 | 5.80 | 5.54 | － | － | － | 5.84 | 5.84 |
| | | 5.34 | 5.47 | 5.20 | － | － | － | 5.45 | 5.47 |
| 制御棒案内管 | | 7.48 | 7.62 | 7.32 | － | － | － | 7.82 | 7.82 |
| | | 7.04 | 7.17 | 6.89 | － | － | － | 7.36 | 7.36 |
| | | 6.61 | 6.75 | 6.46 | － | － | － | 6.89 | 6.89 |
| | | 6.03 | 6.16 | 5.88 | － | － | － | 6.24 | 6.24 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 6.03 | 6.16 | 5.88 | － | － | － | 6.24 | 6.24 |
| | | 5.84 | 5.97 | 5.70 | － | － | － | 6.04 | 6.04 |
| | | 5.88 | 6.00 | 5.74 | － | － | － | 6.10 | 6.10 |
| | | 5.91 | 6.03 | 5.77 | － | － | － | 6.15 | 6.15 |
| | | 5.94 | 6.06 | 5.81 | － | － | － | 6.20 | 6.20 |
| | | 5.98 | 6.10 | 5.85 | － | － | － | 6.25 | 6.25 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13 (3) 設計用地震力 (せん断力, Ｓｄ) (1/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | せん断力(×$10^2$ kN) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器 | | 4.02 | 3.90 | 4.22 | － | － | － | 4.00 | 4.22 |
| | | 16.1 | 16.1 | 16.1 | － | － | － | 16.6 | 16.6 |
| | | 32.3 | 30.9 | 33.7 | － | － | － | 31.9 | 33.7 |
| | | 18.7 | 19.2 | 19.8 | － | － | － | 19.6 | 19.8 |
| | | 21.1 | 20.9 | 21.0 | － | － | － | 20.3 | 21.1 |
| | | 41.3 | 41.5 | 41.3 | － | － | － | 41.8 | 41.8 |
| | | 52.5 | 52.7 | 52.2 | － | － | － | 52.6 | 52.7 |
| | | 61.8 | 63.1 | 60.1 | － | － | － | 61.2 | 63.1 |
| 原子炉本体の基礎 | | 165 | 169 | 162 | － | － | － | 166 | 169 |
| | | 175 | 182 | 176 | － | － | － | 179 | 182 |
| | | 188 | 195 | 191 | － | － | － | 192 | 195 |
| | | 200 | 205 | 203 | － | － | － | 203 | 205 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 43.1 | 42.6 | 44.1 | － | － | － | 42.6 | 44.1 |
| | | 42.1 | 41.8 | 42.5 | － | － | － | 41.2 | 42.5 |
| | | 53.6 | 55.4 | 52.8 | － | － | － | 54.0 | 55.4 |
| | | 77.7 | 78.5 | 74.3 | － | － | － | 75.4 | 78.5 |
| | | 103 | 103 | 98.3 | － | － | － | 99.4 | 103 |
| 原子炉格納容器 | | 1.71 | 1.75 | 1.65 | － | － | － | 1.70 | 1.75 |
| | | 3.32 | 3.40 | 3.21 | － | － | － | 3.32 | 3.40 |
| | | 20.7 | 21.7 | 20.5 | － | － | － | 20.7 | 21.7 |
| | | 25.0 | 26.2 | 24.2 | － | － | － | 25.0 | 26.2 |
| | | 137 | 140 | 134 | － | － | － | 136 | 140 |
| | | 145 | 149 | 142 | － | － | － | 145 | 149 |
| | | 150 | 154 | 147 | － | － | － | 150 | 154 |
| | | 157 | 162 | 153 | － | － | － | 157 | 162 |
| | | 158 | 164 | 154 | － | － | － | 158 | 164 |
| | | 160 | 168 | 155 | － | － | － | 160 | 168 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13 (3) 設計用地震力 (せん断力, Ｓｄ) (2/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | せん断力 ($\times 10^2$ kN) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 炉心シュラウド | | 4.33 | 4.60 | 3.93 | - | - | - | 4.48 | 4.60 |
| | | 9.05 | 9.68 | 8.32 | - | - | - | 9.39 | 9.68 |
| | | 16.4 | 16.4 | 16.2 | - | - | - | 15.3 | 16.4 |
| | | 20.4 | 20.5 | 20.0 | - | - | - | 19.3 | 20.5 |
| | | 25.0 | 25.5 | 24.4 | - | - | - | 24.8 | 25.5 |
| | | 23.2 | 24.8 | 22.0 | - | - | - | 22.9 | 24.8 |
| | | 23.4 | 25.3 | 22.3 | - | - | - | 23.1 | 25.3 |
| | | 25.1 | 26.0 | 24.2 | - | - | - | 24.8 | 26.0 |
| | | 27.5 | 28.7 | 26.6 | - | - | - | 28.1 | 28.7 |
| | | 31.5 | 33.4 | 29.5 | - | - | - | 32.6 | 33.4 |
| | | 34.5 | 36.7 | 32.1 | - | - | - | 35.8 | 36.7 |
| | | 37.0 | 38.4 | 35.9 | - | - | - | 36.5 | 38.4 |
| | | 37.5 | 38.8 | 37.0 | - | - | - | 37.1 | 38.8 |
| 制御棒案内管 | | 5.21 | 4.78 | 6.24 | - | - | - | 5.49 | 6.24 |
| | | 1.39 | 1.28 | 1.65 | - | - | - | 1.45 | 1.65 |
| | | 4.48 | 4.11 | 5.35 | - | - | - | 4.71 | 5.35 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 6.65 | 6.07 | 8.03 | - | - | - | 7.07 | 8.03 |
| | | 2.82 | 2.83 | 2.75 | - | - | - | 2.84 | 2.84 |
| | | 1.64 | 1.60 | 1.57 | - | - | - | 1.60 | 1.64 |
| | | 0.127 | 0.125 | 0.137 | - | - | - | 0.102 | 0.137 |
| | | 1.59 | 1.60 | 1.56 | - | - | - | 1.60 | 1.60 |
| 燃料集合体 | | 21.0 | 22.5 | 21.0 | - | - | - | 21.2 | 22.5 |
| | | 14.9 | 16.0 | 14.9 | - | - | - | 15.0 | 16.0 |
| | | 5.30 | 5.93 | 5.44 | - | - | - | 5.40 | 5.93 |
| | | 5.81 | 6.20 | 5.98 | - | - | - | 5.85 | 6.20 |
| | | 14.9 | 16.0 | 14.9 | - | - | - | 15.0 | 16.0 |
| | | 20.4 | 22.0 | 20.2 | - | - | - | 20.7 | 22.0 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13（4）設計用地震力（モーメント，Ｓｄ）（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | モーメント（×$10^6$ kN･mm） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器 | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 1.10 | 1.07 | 1.16 | － | － | － | 1.10 | 1.16 |
| | | 4.59 | 4.58 | 4.67 | － | － | － | 4.72 | 4.72 |
| | | 10.6 | 10.5 | 11.1 | － | － | － | 10.8 | 11.1 |
| | | 11.0 | 11.2 | 11.3 | － | － | － | 11.4 | 11.4 |
| | | 18.6 | 18.4 | 18.8 | － | － | － | 18.0 | 18.8 |
| | | 29.6 | 29.6 | 30.0 | － | － | － | 29.7 | 30.0 |
| | | 39.9 | 40.0 | 40.1 | － | － | － | 40.0 | 40.1 |
| | | 53.8 | 54.0 | 53.9 | － | － | － | 53.9 | 54.0 |
| 原子炉本体の基礎 | | 128 | 130 | 127 | － | － | － | 129 | 130 |
| | | 140 | 143 | 139 | － | － | － | 141 | 143 |
| | | 161 | 164 | 160 | － | － | － | 163 | 164 |
| | | 193 | 196 | 191 | － | － | － | 195 | 196 |
| | | 226 | 233 | 222 | － | － | － | 228 | 233 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 11.9 | 11.8 | 12.2 | － | － | － | 11.8 | 12.2 |
| | | 21.9 | 21.4 | 22.4 | － | － | － | 21.6 | 22.4 |
| | | 33.7 | 33.7 | 33.9 | － | － | － | 33.1 | 33.9 |
| | | 47.3 | 47.9 | 46.9 | － | － | － | 46.3 | 47.9 |
| | | 75.4 | 78.0 | 73.0 | － | － | － | 74.6 | 78.0 |
| 原子炉格納容器 | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 0.393 | 0.402 | 0.379 | － | － | － | 0.392 | 0.402 |
| | | 1.11 | 1.13 | 1.07 | － | － | － | 1.10 | 1.13 |
| | | 3.87 | 4.05 | 3.73 | － | － | － | 3.86 | 4.05 |
| | | 11.2 | 11.7 | 10.8 | － | － | － | 11.2 | 11.7 |
| | | 68.3 | 71.6 | 65.1 | － | － | － | 68.3 | 71.6 |
| | | 109 | 114 | 106 | － | － | － | 109 | 114 |
| | | 181 | 189 | 177 | － | － | － | 181 | 189 |
| | | 257 | 267 | 250 | － | － | － | 256 | 267 |
| | | 288 | 300 | 281 | － | － | － | 288 | 300 |
| | | 311 | 324 | 303 | － | － | － | 311 | 324 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13（4）設計用地震力（モーメント，Ｓｄ）(2/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | モーメント(×$10^5$ kN･mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 炉心シュラウド | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 5.55 | 5.90 | 5.04 | － | － | － | 5.74 | 5.90 |
| | | 17.2 | 18.3 | 15.6 | － | － | － | 17.8 | 18.3 |
| | | 42.7 | 42.6 | 42.4 | － | － | － | 41.6 | 42.7 |
| | | 60.7 | 60.6 | 60.0 | － | － | － | 57.6 | 60.7 |
| | | 62.6 | 66.3 | 58.1 | － | － | － | 64.7 | 66.3 |
| | | 73.1 | 77.6 | 68.0 | － | － | － | 75.5 | 77.6 |
| | | 87.2 | 92.5 | 81.4 | － | － | － | 89.9 | 92.5 |
| | | 104 | 111 | 97.3 | － | － | － | 107 | 111 |
| | | 123 | 130 | 116 | － | － | － | 127 | 130 |
| | | 144 | 152 | 136 | － | － | － | 148 | 152 |
| | | 167 | 176 | 157 | － | － | － | 171 | 176 |
| | | 203 | 215 | 192 | － | － | － | 209 | 215 |
| | | 241 | 255 | 229 | － | － | － | 248 | 255 |
| 制御棒案内管 | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 6.10 | 5.60 | 7.31 | － | － | － | 6.43 | 7.31 |
| | | 7.72 | 7.09 | 9.23 | － | － | － | 8.11 | 9.23 |
| | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 7.31 | 6.67 | 8.83 | － | － | － | 7.77 | 8.83 |
| | | 0.302 | 0.318 | 0.292 | － | － | － | 0.282 | 0.318 |
| | | 1.75 | 1.75 | 1.70 | － | － | － | 1.77 | 1.77 |
| | | 1.69 | 1.70 | 1.65 | － | － | － | 1.70 | 1.70 |
| | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 14.8 | 15.8 | 14.8 | － | － | － | 15.0 | 15.8 |
| | | 25.0 | 26.9 | 25.1 | － | － | － | 25.2 | 26.9 |
| | | 28.7 | 30.9 | 28.5 | － | － | － | 29.0 | 30.9 |
| | | 24.8 | 26.7 | 24.5 | － | － | － | 25.1 | 26.7 |
| | | 14.4 | 15.5 | 14.2 | － | － | － | 14.6 | 15.5 |
| | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13（5）設計用地震力（軸力，Ｓｄ）（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 軸力（×10² kN） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器 | | 1.12 | 1.16 | 1.10 | － | － | － | 1.19 | 1.19 |
| | | 8.14 | 8.39 | 7.95 | － | － | － | 8.60 | 8.60 |
| | | 14.1 | 14.6 | 13.9 | － | － | － | 15.0 | 15.0 |
| | | 18.0 | 18.6 | 17.7 | － | － | － | 19.2 | 19.2 |
| | | 23.2 | 23.7 | 22.9 | － | － | － | 24.7 | 24.7 |
| | | 27.9 | 28.4 | 27.5 | － | － | － | 29.6 | 29.6 |
| | | 32.7 | 33.3 | 32.2 | － | － | － | 34.6 | 34.6 |
| | | 68.3 | 69.6 | 66.8 | － | － | － | 71.3 | 71.3 |
| 原子炉本体の基礎 | | 187 | 191 | 183 | － | － | － | 196 | 196 |
| | | 198 | 202 | 193 | － | － | － | 207 | 207 |
| | | 208 | 212 | 204 | － | － | － | 218 | 218 |
| | | 217 | 221 | 213 | － | － | － | 228 | 228 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 15.0 | 15.3 | 14.6 | － | － | － | 15.2 | 15.3 |
| | | 33.6 | 34.4 | 32.8 | － | － | － | 34.2 | 34.4 |
| | | 65.1 | 66.8 | 63.3 | － | － | － | 66.2 | 66.8 |
| | | 88.3 | 90.6 | 85.9 | － | － | － | 90.5 | 90.6 |
| | | 111 | 114 | 108 | － | － | － | 115 | 115 |
| 原子炉格納容器 | | 0.810 | 0.829 | 0.787 | － | － | － | 0.812 | 0.829 |
| | | 1.61 | 1.65 | 1.57 | － | － | － | 1.62 | 1.65 |
| | | 6.19 | 6.34 | 6.02 | － | － | － | 6.20 | 6.34 |
| | | 8.75 | 8.96 | 8.51 | － | － | － | 8.78 | 8.96 |
| | | 16.8 | 17.3 | 16.3 | － | － | － | 16.9 | 17.3 |
| | | 22.6 | 23.3 | 21.9 | － | － | － | 22.6 | 23.3 |
| | | 26.9 | 27.7 | 26.1 | － | － | － | 26.6 | 27.7 |
| | | 34.4 | 35.4 | 33.3 | － | － | － | 34.0 | 35.4 |
| | | 37.7 | 38.8 | 36.5 | － | － | － | 37.2 | 38.8 |
| | | 45.0 | 46.4 | 43.6 | － | － | － | 44.4 | 46.4 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13 (5) 設計用地震力 (軸力, Ｓｄ) (2/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 軸力 ($\times 10^2$ kN) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 炉心シュラウド | | 0.598 | 0.609 | 0.587 | － | － | － | 0.626 | 0.626 |
| | | 1.79 | 1.83 | 1.76 | － | － | － | 1.88 | 1.88 |
| | | 2.76 | 2.82 | 2.71 | － | － | － | 2.89 | 2.89 |
| | | 3.90 | 3.98 | 3.83 | － | － | － | 4.09 | 4.09 |
| | | 5.67 | 5.78 | 5.55 | － | － | － | 5.92 | 5.92 |
| | | 6.64 | 6.77 | 6.50 | － | － | － | 6.93 | 6.93 |
| | | 6.84 | 6.97 | 6.70 | － | － | － | 7.14 | 7.14 |
| | | 7.04 | 7.17 | 6.89 | － | － | － | 7.34 | 7.34 |
| | | 7.23 | 7.37 | 7.08 | － | － | － | 7.54 | 7.54 |
| | | 7.42 | 7.56 | 7.27 | － | － | － | 7.74 | 7.74 |
| | | 7.61 | 7.75 | 7.45 | － | － | － | 7.93 | 7.93 |
| | | 9.41 | 9.58 | 9.22 | － | － | － | 9.81 | 9.81 |
| | | 9.57 | 9.74 | 9.38 | － | － | － | 9.98 | 9.98 |
| | | 9.65 | 9.82 | 9.45 | － | － | － | 10.1 | 10.1 |
| 制御棒案内管 | | 14.2 | 14.5 | 13.9 | － | － | － | 14.8 | 14.8 |
| | | 14.6 | 14.9 | 14.3 | － | － | － | 15.2 | 15.2 |
| | | 14.9 | 15.2 | 14.6 | － | － | － | 15.6 | 15.6 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 15.4 | 15.7 | 15.0 | － | － | － | 16.0 | 16.0 |
| | | 3.84 | 3.91 | 3.77 | － | － | － | 4.02 | 4.02 |
| | | 3.51 | 3.57 | 3.44 | － | － | － | 3.67 | 3.67 |
| | | 3.17 | 3.23 | 3.11 | － | － | － | 3.32 | 3.32 |
| | | 2.83 | 2.88 | 2.78 | － | － | － | 2.96 | 2.96 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-13（6）設計用地震力（ばね反力，Ｓｄ）

| 名称 | ばね反力（$\times 10^3$ kN） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器<br>スタビライザ | 5.81 | 5.63 | 6.05 | － | － | － | 5.48 | 6.05 |
| 原子炉格納容器<br>スタビライザ | 8.56 | 8.20 | 9.04 | － | － | － | 8.31 | 9.04 |
| 原子炉格納容器シヤラグ | 14.6 | 14.4 | 14.8 | － | － | － | 14.1 | 14.8 |
| 制御棒駆動機構<br>ハウジング<br>レストレントビーム | 0.230 | 0.231 | 0.224 | － | － | － | 0.231 | 0.231 |
| 炉心シュラウド回転ばね<br>［$\times 10^7$ kN･mm］ | 2.41 | 2.55 | 2.29 | － | － | － | 2.48 | 2.55 |
| 上部サポート | 3.19 | 3.41 | 2.92 | － | － | － | 3.17 | 3.41 |
| 下部スタビライザ | 0.816 | 0.874 | 0.749 | － | － | － | 0.813 | 0.874 |

表 2-13（7）設計用地震力（燃料集合体相対変位，Ｓｄ）

| 名称 | 標高<br>O.P.<br>（m） | 相対変位（mm） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |
| | | 15.2 | 16.4 | 15.2 | － | － | － | 15.4 | 16.4 |
| | | 26.3 | 28.3 | 26.2 | － | － | － | 26.6 | 28.3 |
| | | 30.4 | 32.7 | 30.2 | － | － | － | 30.6 | 32.7 |
| | | 26.3 | 28.3 | 26.0 | － | － | － | 26.5 | 28.3 |
| | | 15.2 | 16.3 | 15.0 | － | － | － | 15.3 | 16.3 |
| | | 0 | 0 | 0 | － | － | － | 0 | 0 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（1）設計用地震力（水平加速度，Ｓｓ）(1/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 水平加速度(m/s²) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | | ケース 2 | | ケース 3 | | ケース 4 | | ケース 5 | | ケース 6 | | ケース 7 | | 設計用地震力 | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 原子炉圧力容器 | | 29.7 | 31.7 | 30.2 | 30.8 | 30.3 | 33.0 | 27.0 | 28.5 | 26.6 | 28.5 | 27.3 | 29.1 | 30.3 | 30.5 | 30.3 | 33.0 |
| | | 26.2 | 26.6 | 27.2 | 26.4 | 26.5 | 27.4 | 23.5 | 24.1 | 23.0 | 24.1 | 24.6 | 24.9 | 27.0 | 26.1 | 27.2 | 27.4 |
| | | 23.9 | 22.9 | 24.8 | 22.9 | 23.5 | 23.6 | 21.5 | 21.0 | 20.8 | 21.0 | 22.5 | 21.5 | 24.6 | 22.4 | 24.8 | 23.6 |
| | | 21.9 | 20.2 | 22.7 | 20.4 | 21.1 | 20.7 | 19.7 | 18.2 | 19.1 | 18.2 | 20.5 | 18.4 | 22.3 | 19.4 | 22.7 | 20.7 |
| | | 19.0 | 18.3 | 19.8 | 18.9 | 18.1 | 18.1 | 17.4 | 14.1 | 17.0 | 14.1 | 17.9 | 14.0 | 19.0 | 17.9 | 19.8 | 18.9 |
| | | 14.9 | 16.3 | 15.6 | 17.0 | 14.3 | 16.3 | 16.7 | 11.9 | 16.3 | 12.5 | 16.8 | 11.5 | 16.2 | 15.6 | 16.8 | 17.0 |
| | | 13.4 | 13.2 | 13.6 | 13.1 | 13.1 | 13.1 | 16.1 | 11.7 | 15.8 | 12.5 | 16.2 | 10.9 | 13.7 | 13.0 | 16.2 | 13.2 |
| | | 12.9 | 11.4 | 13.1 | 11.4 | 12.6 | 11.3 | 15.3 | 12.1 | 15.1 | 12.8 | 15.4 | 11.4 | 13.2 | 11.2 | 15.4 | 12.8 |
| | | 11.2 | 10.0 | 11.1 | 10.2 | 11.0 | 9.62 | 13.3 | 11.8 | 13.0 | 12.2 | 13.4 | 11.2 | 11.5 | 10.3 | 13.4 | 12.2 |
| 原子炉本体の基礎 | | 11.2 | 10.0 | 11.1 | 10.2 | 11.0 | 9.62 | 13.3 | 11.8 | 13.0 | 12.2 | 13.4 | 11.2 | 11.5 | 10.3 | 13.4 | 12.2 |
| | | 11.0 | 9.93 | 11.0 | 10.1 | 10.8 | 9.57 | 13.0 | 11.8 | 12.7 | 12.2 | 13.1 | 11.2 | 11.3 | 10.2 | 13.1 | 12.2 |
| | | 10.5 | 9.71 | 10.5 | 9.83 | 10.3 | 9.38 | 12.2 | 11.7 | 11.8 | 12.0 | 13.0 | 11.2 | 10.7 | 9.88 | 13.0 | 12.0 |
| | | 10.1 | 9.24 | 10.1 | 9.32 | 9.87 | 8.96 | 11.4 | 11.5 | 11.1 | 11.7 | 11.4 | 11.0 | 10.2 | 9.33 | 11.4 | 11.7 |
| | | 9.85 | 8.71 | 9.85 | 8.72 | 9.61 | 8.62 | 10.8 | 11.1 | 10.5 | 11.3 | 10.8 | 10.7 | 9.86 | 8.67 | 10.8 | 11.3 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 18.6 | 17.2 | 19.1 | 17.5 | 17.9 | 17.2 | 15.8 | 15.2 | 16.2 | 15.4 | 16.1 | 14.9 | 18.5 | 16.4 | 19.1 | 17.5 |
| | | 16.3 | 16.3 | 16.7 | 16.5 | 15.6 | 16.1 | 15.2 | 13.3 | 15.3 | 13.7 | 15.3 | 13.1 | 16.4 | 15.7 | 16.7 | 16.5 |
| | | 14.4 | 15.9 | 14.9 | 15.8 | 14.4 | 16.3 | 15.4 | 12.5 | 15.7 | 12.9 | 15.3 | 12.3 | 15.5 | 15.2 | 15.7 | 16.3 |
| | | 14.1 | 15.1 | 14.4 | 14.8 | 13.8 | 15.4 | 15.1 | 12.3 | 15.1 | 12.6 | 15.1 | 12.0 | 14.9 | 14.5 | 15.1 | 15.4 |
| | | 12.5 | 12.7 | 12.8 | 12.5 | 12.2 | 13.0 | 14.7 | 12.2 | 14.5 | 12.4 | 14.8 | 11.9 | 13.3 | 12.3 | 14.8 | 13.0 |
| | | 11.2 | 10.0 | 11.1 | 10.2 | 11.0 | 9.62 | 13.3 | 11.8 | 13.0 | 12.2 | 13.4 | 11.2 | 11.5 | 10.3 | 13.4 | 12.2 |
| 原子炉格納容器 | | 19.0 | 19.4 | 19.2 | 19.7 | 18.6 | 19.1 | 20.9 | 19.5 | 20.7 | 19.8 | 20.8 | 19.0 | 19.2 | 19.5 | 20.9 | 19.8 |
| | | 18.0 | 18.4 | 18.3 | 18.7 | 17.6 | 18.0 | 19.9 | 18.5 | 19.7 | 18.7 | 19.7 | 18.0 | 18.2 | 18.4 | 19.9 | 18.7 |
| | | 17.0 | 17.3 | 17.3 | 17.5 | 16.6 | 17.0 | 18.8 | 17.4 | 18.7 | 17.7 | 18.6 | 17.0 | 17.1 | 17.3 | 18.8 | 17.7 |
| | | 16.3 | 16.6 | 16.6 | 16.8 | 15.9 | 16.3 | 18.1 | 16.7 | 18.0 | 16.9 | 17.9 | 16.3 | 16.4 | 16.6 | 18.1 | 16.9 |
| | | 14.8 | 15.0 | 15.0 | 15.2 | 14.4 | 14.8 | 16.4 | 15.1 | 16.4 | 15.3 | 16.2 | 14.7 | 14.8 | 15.0 | 16.4 | 15.3 |
| | | 11.7 | 12.3 | 11.9 | 12.7 | 11.2 | 12.3 | 13.3 | 11.8 | 13.4 | 12.1 | 13.0 | 11.6 | 11.6 | 12.3 | 13.4 | 12.7 |
| | | 10.7 | 11.2 | 11.0 | 11.5 | 10.3 | 10.8 | 11.1 | 11.2 | 11.4 | 11.4 | 10.7 | 11.1 | 10.7 | 11.2 | 11.4 | 11.5 |
| | | 9.79 | 9.93 | 10.1 | 10.3 | 9.45 | 9.65 | 9.09 | 10.1 | 9.21 | 10.3 | 9.10 | 10.1 | 9.79 | 10.1 | 10.1 | 10.3 |
| | | 8.74 | 8.88 | 8.90 | 8.87 | 8.40 | 8.86 | 10.2 | 10.6 | 9.83 | 10.7 | 10.2 | 10.0 | 8.75 | 8.85 | 10.2 | 10.7 |
| | | 9.41 | 8.82 | 9.40 | 8.91 | 9.12 | 8.55 | 10.6 | 10.9 | 10.3 | 11.0 | 10.6 | 10.4 | 9.41 | 8.83 | 10.6 | 11.0 |
| | | 9.85 | 8.71 | 9.85 | 8.72 | 9.61 | 8.62 | 10.8 | 11.1 | 10.5 | 11.3 | 10.8 | 10.7 | 9.86 | 8.67 | 10.8 | 11.3 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（1）設計用地震力（水平加速度，Ｓｓ）(2/2)

| 構造物 | 標高 0.P. (m) | 水平加速度(m/s²) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | | ケース 2 | | ケース 3 | | ケース 4 | | ケース 5 | | ケース 6 | | ケース 7 | | 設計用地震力 | |
| | | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW | NS | EW |
| 炉心シュラウド | | 67.1 | 76.0 | 66.4 | 83.0 | 67.4 | 75.2 | 46.8 | 57.6 | 44.9 | 69.5 | 49.2 | 55.2 | 66.2 | 77.3 | 67.4 | 83.0 |
| | | 43.9 | 45.7 | 43.6 | 49.5 | 43.5 | 42.0 | 28.8 | 32.9 | 27.6 | 38.1 | 29.2 | 28.9 | 41.8 | 46.1 | 43.9 | 49.5 |
| | | 31.7 | 32.8 | 32.3 | 34.0 | 30.4 | 30.6 | 20.4 | 23.0 | 20.7 | 23.7 | 19.8 | 21.8 | 30.4 | 33.3 | 32.3 | 34.0 |
| | | 24.9 | 27.1 | 25.5 | 28.8 | 23.5 | 25.3 | 17.8 | 20.5 | 18.1 | 20.8 | 17.3 | 20.5 | 24.0 | 27.8 | 25.5 | 28.8 |
| | | 22.5 | 25.1 | 22.7 | 26.9 | 22.1 | 23.3 | 16.5 | 19.2 | 16.8 | 19.9 | 16.2 | 19.7 | 22.5 | 26.0 | 22.7 | 26.9 |
| | | 21.2 | 23.7 | 21.4 | 25.2 | 20.8 | 22.0 | 16.1 | 18.1 | 16.0 | 19.5 | 16.2 | 18.8 | 21.5 | 24.4 | 21.5 | 25.2 |
| | | 19.6 | 22.2 | 19.9 | 23.5 | 19.2 | 20.8 | 16.3 | 16.9 | 16.3 | 18.9 | 15.4 | 17.8 | 20.0 | 22.9 | 20.0 | 23.5 |
| | | 18.8 | 20.8 | 19.1 | 21.8 | 18.0 | 19.5 | 15.7 | 16.3 | 15.9 | 18.3 | 15.1 | 16.8 | 19.2 | 21.3 | 19.2 | 21.8 |
| | | 17.9 | 19.2 | 18.2 | 20.0 | 17.2 | 18.1 | 15.5 | 15.7 | 15.6 | 17.6 | 14.3 | 15.6 | 18.4 | 19.7 | 18.4 | 20.0 |
| | | 16.8 | 17.6 | 17.0 | 18.3 | 16.3 | 16.8 | 15.3 | 15.1 | 15.4 | 16.8 | 14.9 | 14.5 | 17.4 | 18.1 | 17.4 | 18.3 |
| | | 15.6 | 16.1 | 15.9 | 16.6 | 15.2 | 15.5 | 15.5 | 14.4 | 15.2 | 15.9 | 15.5 | 13.5 | 16.2 | 16.5 | 16.2 | 16.6 |
| | | 14.5 | 14.7 | 14.8 | 15.1 | 14.3 | 14.2 | 16.0 | 13.7 | 15.3 | 14.9 | 16.0 | 12.9 | 15.0 | 15.0 | 16.0 | 15.1 |
| | | 13.5 | 12.9 | 13.7 | 12.8 | 13.2 | 13.1 | 16.0 | 13.1 | 15.4 | 14.5 | 15.9 | 11.7 | 14.3 | 12.7 | 16.0 | 14.5 |
| | | 12.5 | 11.7 | 12.5 | 11.5 | 12.4 | 11.8 | 15.6 | 13.3 | 15.2 | 14.2 | 15.3 | 12.2 | 13.1 | 11.4 | 15.6 | 14.2 |
| 制御棒案内管 | | 14.5 | 14.7 | 14.8 | 15.1 | 14.3 | 14.2 | 16.0 | 13.7 | 15.3 | 14.9 | 16.0 | 12.9 | 15.0 | 15.0 | 16.0 | 15.1 |
| | | 39.5 | 18.7 | 36.2 | 20.0 | 46.3 | 18.2 | 36.5 | 21.8 | 34.1 | 47.8 | 38.9 | 41.1 | 42.1 | 19.0 | 46.3 | 47.8 |
| | | 50.1 | 23.6 | 46.0 | 25.1 | 58.9 | 22.9 | 46.3 | 26.3 | 43.0 | 61.8 | 49.4 | 53.8 | 53.3 | 24.9 | 58.9 | 61.8 |
| | | 24.5 | 13.0 | 23.1 | 13.2 | 27.5 | 12.6 | 22.9 | 17.9 | 21.5 | 31.8 | 24.3 | 22.7 | 25.8 | 13.1 | 27.5 | 31.8 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 24.5 | 13.0 | 23.1 | 13.2 | 27.5 | 12.6 | 22.9 | 17.9 | 21.5 | 31.8 | 24.3 | 22.7 | 25.8 | 13.1 | 27.5 | 31.8 |
| | | 13.0 | 11.0 | 13.0 | 11.6 | 13.0 | 10.7 | 15.3 | 14.6 | 14.9 | 15.7 | 14.9 | 13.2 | 13.6 | 11.3 | 15.3 | 15.7 |
| | | 17.2 | 14.6 | 16.5 | 15.0 | 17.0 | 14.4 | 19.1 | 18.7 | 18.4 | 20.7 | 17.1 | 17.1 | 16.8 | 15.3 | 19.1 | 20.7 |
| | | 26.6 | 20.2 | 22.7 | 21.2 | 25.7 | 19.6 | 23.7 | 24.6 | 22.4 | 27.2 | 19.9 | 23.9 | 25.6 | 21.2 | 26.6 | 27.2 |
| | | 24.7 | 18.6 | 21.4 | 19.4 | 24.0 | 18.3 | 22.2 | 23.1 | 21.1 | 25.4 | 18.7 | 22.2 | 23.3 | 19.6 | 24.7 | 25.4 |
| | | 12.2 | 11.7 | 12.4 | 12.1 | 11.7 | 11.5 | 15.0 | 15.4 | 14.6 | 16.0 | 13.9 | 14.1 | 12.3 | 11.9 | 15.0 | 16.0 |
| 燃料集合体 | | 21.2 | 23.7 | 21.4 | 25.2 | 20.8 | 22.0 | 16.1 | 18.1 | 16.0 | 19.5 | 16.2 | 18.8 | 21.5 | 24.4 | 21.5 | 25.2 |
| | | 30.4 | 25.8 | 31.7 | 25.9 | 29.2 | 33.2 | 20.9 | 25.8 | 21.4 | 26.1 | 20.4 | 25.5 | 30.4 | 25.9 | 31.7 | 33.2 |
| | | 39.9 | 33.9 | 41.7 | 34.5 | 37.7 | 44.6 | 24.9 | 32.5 | 25.7 | 32.9 | 24.5 | 31.9 | 40.3 | 34.2 | 41.7 | 44.6 |
| | | 42.0 | 36.9 | 44.2 | 37.8 | 39.8 | 46.9 | 26.0 | 34.5 | 26.7 | 35.0 | 25.8 | 34.2 | 42.3 | 36.9 | 44.2 | 46.9 |
| | | 38.1 | 33.3 | 39.9 | 33.6 | 36.2 | 41.3 | 23.2 | 30.4 | 23.8 | 30.7 | 23.3 | 30.3 | 38.4 | 33.2 | 39.9 | 41.3 |
| | | 28.1 | 22.3 | 29.4 | 21.7 | 26.7 | 29.5 | 18.7 | 20.8 | 19.0 | 20.7 | 17.6 | 20.9 | 28.6 | 22.2 | 29.4 | 29.5 |
| | | 14.5 | 14.7 | 14.8 | 15.1 | 14.3 | 14.2 | 16.0 | 13.7 | 15.3 | 14.9 | 16.0 | 12.9 | 15.0 | 15.0 | 16.0 | 15.1 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14 (2) 設計用地震力 (鉛直加速度, Ｓｓ) (1/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 鉛直加速度(m/s²) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| | | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 |
| 原子炉圧力容器 | | 11.1 | 11.4 | 11.0 | － | － | － | 11.8 | 11.8 |
| | | 11.1 | 11.4 | 10.9 | － | － | － | 11.8 | 11.8 |
| | | 11.0 | 11.2 | 10.8 | － | － | － | 11.7 | 11.7 |
| | | 10.8 | 11.0 | 10.7 | － | － | － | 11.5 | 11.5 |
| | | 10.6 | 10.8 | 10.4 | － | － | － | 11.1 | 11.1 |
| | | 10.3 | 10.5 | 10.1 | － | － | － | 10.7 | 10.7 |
| | | 9.85 | 10.1 | 9.64 | － | － | － | 10.3 | 10.3 |
| | | 9.58 | 9.80 | 9.35 | － | － | － | 10.0 | 10.0 |
| | | 7.50 | 7.67 | 7.31 | － | － | － | 7.75 | 7.75 |
| 原子炉本体の基礎 | | 7.50 | 7.67 | 7.31 | － | － | － | 7.75 | 7.75 |
| | | 7.21 | 7.37 | 7.03 | － | － | － | 7.40 | 7.40 |
| | | 6.62 | 6.78 | 6.45 | － | － | － | 6.68 | 6.78 |
| | | 5.97 | 6.17 | 5.80 | － | － | － | 5.89 | 6.17 |
| | | 5.51 | 5.69 | 5.31 | － | － | － | 5.46 | 5.69 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 15.3 | 15.8 | 14.9 | － | － | － | 15.5 | 15.8 |
| | | 15.0 | 15.5 | 14.6 | － | － | － | 15.2 | 15.5 |
| | | 14.2 | 14.6 | 13.7 | － | － | － | 14.4 | 14.6 |
| | | 12.6 | 13.0 | 12.2 | － | － | － | 12.9 | 13.0 |
| | | 10.5 | 10.9 | 10.2 | － | － | － | 10.9 | 10.9 |
| | | 7.50 | 7.67 | 7.31 | － | － | － | 7.75 | 7.75 |
| 原子炉格納容器 | | 9.35 | 9.58 | 9.08 | － | － | － | 9.37 | 9.58 |
| | | 9.24 | 9.47 | 8.97 | － | － | － | 9.28 | 9.47 |
| | | 9.08 | 9.32 | 8.81 | － | － | － | 9.12 | 9.32 |
| | | 8.97 | 9.20 | 8.70 | － | － | － | 9.00 | 9.20 |
| | | 8.62 | 8.85 | 8.36 | － | － | － | 8.63 | 8.85 |
| | | 8.09 | 8.33 | 7.82 | － | － | － | 8.00 | 8.33 |
| | | 7.65 | 7.87 | 7.39 | － | － | － | 7.55 | 7.87 |
| | | 6.98 | 7.21 | 6.71 | － | － | － | 6.92 | 7.21 |
| | | 6.29 | 6.50 | 6.05 | － | － | － | 6.23 | 6.50 |
| | | 5.93 | 6.12 | 5.70 | － | － | － | 5.86 | 6.12 |
| | | 5.51 | 5.69 | 5.31 | － | － | － | 5.46 | 5.69 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（2）設計用地震力（鉛直加速度，Ｓｓ）(2/2)

| 構造物 | 標高 0.P.(m) | 鉛直加速度(m/s²) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| | | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 | 鉛直 |
| 炉心シュラウド | | 13.1 | 13.3 | 12.8 | － | － | － | 13.7 | 13.7 |
| | | 13.1 | 13.3 | 12.8 | － | － | － | 13.7 | 13.7 |
| | | 13.0 | 13.2 | 12.7 | － | － | － | 13.6 | 13.6 |
| | | 12.8 | 13.1 | 12.6 | － | － | － | 13.5 | 13.5 |
| | | 11.8 | 12.0 | 11.5 | － | － | － | 12.3 | 12.3 |
| | | 11.6 | 11.9 | 11.4 | － | － | － | 12.1 | 12.1 |
| | | 11.5 | 11.7 | 11.2 | － | － | － | 11.9 | 11.9 |
| | | 11.3 | 11.5 | 11.0 | － | － | － | 11.7 | 11.7 |
| | | 11.1 | 11.3 | 10.8 | － | － | － | 11.5 | 11.5 |
| | | 10.9 | 11.1 | 10.7 | － | － | － | 11.3 | 11.3 |
| | | 10.7 | 10.9 | 10.5 | － | － | － | 11.1 | 11.1 |
| | | 10.5 | 10.8 | 10.3 | － | － | － | 10.9 | 10.9 |
| | | 10.2 | 10.4 | 9.89 | － | － | － | 10.5 | 10.5 |
| | | 9.78 | 10.0 | 9.54 | － | － | － | 10.1 | 10.1 |
| | | 9.21 | 9.42 | 8.97 | － | － | － | 9.40 | 9.42 |
| 制御棒案内管 | | 12.9 | 13.2 | 12.7 | － | － | － | 13.5 | 13.5 |
| | | 12.2 | 12.4 | 11.9 | － | － | － | 12.7 | 12.7 |
| | | 11.4 | 11.7 | 11.2 | － | － | － | 11.9 | 11.9 |
| | | 10.4 | 10.7 | 10.2 | － | － | － | 10.8 | 10.8 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 10.4 | 10.7 | 10.2 | － | － | － | 10.8 | 10.8 |
| | | 10.1 | 10.3 | 9.82 | － | － | － | 10.5 | 10.5 |
| | | 10.2 | 10.4 | 9.89 | － | － | － | 10.6 | 10.6 |
| | | 10.2 | 10.4 | 9.94 | － | － | － | 10.6 | 10.6 |
| | | 10.3 | 10.5 | 10.1 | － | － | － | 10.7 | 10.7 |
| | | 10.4 | 10.6 | 10.1 | － | － | － | 10.8 | 10.8 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（3）設計用地震力（せん断力，Ｓｓ）（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | せん断力（×$10^2$ kN） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器 | | 5.36 | 5.24 | 5.59 | 4.82 | 4.91 | 4.90 | 5.23 | 5.59 |
| | | 21.3 | 21.1 | 22.2 | 21.2 | 21.3 | 21.0 | 20.7 | 22.2 |
| | | 42.6 | 42.1 | 44.0 | 40.5 | 40.5 | 40.5 | 41.8 | 44.0 |
| | | 32.0 | 31.8 | 31.7 | 36.3 | 35.7 | 36.9 | 34.8 | 36.9 |
| | | 32.7 | 33.1 | 32.2 | 38.0 | 39.0 | 36.7 | 32.5 | 39.0 |
| | | 64.8 | 67.2 | 63.6 | 66.1 | 67.4 | 64.8 | 63.9 | 67.4 |
| | | 89.3 | 93.0 | 87.5 | 88.2 | 88.7 | 87.5 | 87.8 | 93.0 |
| | | 111 | 115 | 108 | 114 | 114 | 113 | 113 | 115 |
| 原子炉本体の基礎 | | 291 | 298 | 289 | 303 | 306 | 301 | 304 | 306 |
| | | 316 | 324 | 313 | 333 | 332 | 333 | 331 | 333 |
| | | 340 | 350 | 338 | 363 | 364 | 363 | 357 | 364 |
| | | 360 | 373 | 358 | 393 | 392 | 393 | 378 | 393 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 68.4 | 69.8 | 67.6 | 73.3 | 74.0 | 72.7 | 74.1 | 74.1 |
| | | 66.4 | 66.8 | 66.3 | 75.9 | 78.4 | 74.6 | 66.9 | 78.4 |
| | | 89.1 | 91.3 | 86.8 | 98.2 | 102 | 96.4 | 88.6 | 102 |
| | | 125 | 126 | 123 | 131 | 135 | 128 | 125 | 135 |
| | | 166 | 167 | 164 | 172 | 175 | 171 | 168 | 175 |
| 原子炉格納容器 | | 2.88 | 2.91 | 2.84 | 3.12 | 3.12 | 3.11 | 2.90 | 3.12 |
| | | 5.60 | 5.66 | 5.51 | 6.09 | 6.03 | 6.05 | 5.62 | 6.09 |
| | | 33.9 | 34.6 | 32.8 | 32.6 | 32.5 | 32.5 | 33.9 | 34.6 |
| | | 40.8 | 41.7 | 39.8 | 41.6 | 41.4 | 41.4 | 40.8 | 41.7 |
| | | 289 | 297 | 281 | 333 | 345 | 316 | 289 | 345 |
| | | 303 | 311 | 295 | 345 | 357 | 328 | 303 | 357 |
| | | 312 | 320 | 304 | 353 | 365 | 338 | 313 | 365 |
| | | 328 | 335 | 320 | 368 | 379 | 353 | 328 | 379 |
| | | 334 | 341 | 326 | 375 | 385 | 360 | 334 | 385 |
| | | 343 | 350 | 336 | 388 | 399 | 373 | 343 | 399 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（3）設計用地震力（せん断力，Ｓｓ）(2/2)

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | せん断力（×$10^2$ kN） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 炉心シュラウド | | 6.08 | 6.65 | 6.00 | 4.65 | 5.35 | 4.48 | 6.16 | 6.65 |
| | | 13.4 | 14.7 | 12.5 | 9.19 | 11.0 | 8.82 | 13.5 | 14.7 |
| | | 24.3 | 24.1 | 24.1 | 14.3 | 16.9 | 13.1 | 23.4 | 24.3 |
| | | 30.1 | 29.9 | 29.7 | 17.4 | 19.6 | 16.7 | 29.0 | 30.1 |
| | | 37.5 | 38.8 | 36.9 | 21.3 | 21.7 | 20.8 | 37.4 | 38.8 |
| | | 35.7 | 37.5 | 37.1 | 28.0 | 30.6 | 25.9 | 34.9 | 37.5 |
| | | 39.1 | 40.8 | 38.7 | 27.8 | 30.1 | 26.4 | 38.8 | 40.8 |
| | | 42.4 | 43.9 | 41.9 | 26.0 | 27.9 | 25.6 | 42.0 | 43.9 |
| | | 45.3 | 46.9 | 44.9 | 26.2 | 28.3 | 26.1 | 46.2 | 46.9 |
| | | 50.0 | 51.5 | 48.5 | 28.9 | 31.1 | 28.9 | 50.1 | 51.5 |
| | | 54.8 | 57.2 | 51.8 | 31.7 | 33.2 | 32.1 | 54.7 | 57.2 |
| | | 62.5 | 63.4 | 63.0 | 46.7 | 47.0 | 51.3 | 61.5 | 63.4 |
| | | 63.0 | 64.6 | 64.5 | 46.6 | 48.3 | 49.6 | 62.7 | 64.6 |
| 制御棒案内管 | | 13.0 | 12.1 | 15.2 | 12.1 | 15.4 | 15.3 | 13.7 | 15.4 |
| | | 3.41 | 3.15 | 4.00 | 3.14 | 4.03 | 4.06 | 3.60 | 4.06 |
| | | 11.2 | 10.3 | 13.1 | 10.4 | 13.2 | 13.1 | 11.8 | 13.2 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 16.7 | 15.3 | 19.5 | 15.2 | 20.0 | 19.4 | 17.6 | 20.0 |
| | | 5.52 | 4.82 | 5.40 | 5.51 | 6.08 | 5.22 | 5.30 | 6.08 |
| | | 3.34 | 2.85 | 3.24 | 3.14 | 3.45 | 3.04 | 3.19 | 3.45 |
| | | 0.207 | 0.221 | 0.205 | 0.261 | 0.274 | 0.237 | 0.204 | 0.274 |
| | | 3.17 | 2.71 | 3.09 | 2.96 | 3.28 | 2.83 | 3.02 | 3.28 |
| 燃料集合体 | | 33.3 | 35.2 | 38.1 | 27.4 | 27.9 | 26.9 | 33.5 | 38.1 |
| | | 22.9 | 24.7 | 26.2 | 19.2 | 19.6 | 18.7 | 23.1 | 26.2 |
| | | 8.63 | 9.41 | 9.81 | 6.95 | 7.03 | 6.64 | 8.65 | 9.81 |
| | | 9.05 | 9.57 | 10.5 | 7.08 | 7.27 | 6.88 | 9.10 | 10.5 |
| | | 23.1 | 24.7 | 26.3 | 19.3 | 19.7 | 18.8 | 23.3 | 26.3 |
| | | 32.1 | 34.3 | 36.2 | 27.2 | 27.7 | 26.6 | 32.2 | 36.2 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（4）設計用地震力（モーメント，Ｓｓ）(1/2)

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | モーメント（$\times 10^6$ kN･mm） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 1.47 | 1.44 | 1.54 | 1.32 | 1.35 | 1.35 | 1.44 | 1.54 |
| | | 6.12 | 5.90 | 6.38 | 5.96 | 6.00 | 5.89 | 5.92 | 6.38 |
| | | 14.1 | 13.8 | 14.8 | 13.7 | 13.7 | 13.5 | 13.8 | 14.8 |
| | | 16.9 | 17.4 | 17.7 | 19.7 | 19.3 | 19.2 | 17.4 | 19.7 |
| | | 27.9 | 28.8 | 27.9 | 32.5 | 32.6 | 31.9 | 28.3 | 32.6 |
| | | 46.7 | 47.0 | 46.0 | 51.6 | 52.1 | 50.4 | 47.3 | 52.1 |
| | | 59.7 | 60.9 | 58.5 | 64.6 | 65.9 | 63.1 | 60.6 | 65.9 |
| | | 79.6 | 80.9 | 78.2 | 86.4 | 89.1 | 83.7 | 79.2 | 89.1 |
| 原子炉本体の基礎 | | 207 | 211 | 203 | 226 | 234 | 219 | 206 | 234 |
| | | 226 | 230 | 222 | 249 | 257 | 239 | 225 | 257 |
| | | 261 | 265 | 256 | 288 | 296 | 279 | 260 | 296 |
| | | 321 | 326 | 314 | 352 | 360 | 343 | 323 | 360 |
| | | 385 | 390 | 377 | 420 | 428 | 411 | 389 | 428 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 18.9 | 19.3 | 18.7 | 20.3 | 20.5 | 20.1 | 20.5 | 20.5 |
| | | 36.1 | 35.8 | 36.4 | 40.5 | 41.6 | 39.5 | 37.1 | 41.6 |
| | | 53.3 | 53.7 | 53.1 | 61.6 | 63.7 | 60.1 | 52.3 | 63.7 |
| | | 77.4 | 79.7 | 75.5 | 88.3 | 91.1 | 84.6 | 77.3 | 91.1 |
| | | 128 | 130 | 125 | 140 | 145 | 137 | 127 | 145 |
| 原子炉格納容器 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 0.663 | 0.671 | 0.653 | 0.720 | 0.718 | 0.716 | 0.667 | 0.720 |
| | | 1.86 | 1.88 | 1.83 | 2.02 | 2.01 | 2.01 | 1.87 | 2.02 |
| | | 6.33 | 6.45 | 6.22 | 6.57 | 6.52 | 6.54 | 6.36 | 6.57 |
| | | 18.3 | 18.6 | 17.9 | 18.7 | 18.6 | 18.6 | 18.2 | 18.7 |
| | | 142 | 145 | 138 | 158 | 164 | 152 | 142 | 164 |
| | | 228 | 234 | 222 | 256 | 265 | 245 | 228 | 265 |
| | | 379 | 389 | 369 | 427 | 442 | 409 | 379 | 442 |
| | | 538 | 551 | 523 | 605 | 625 | 580 | 538 | 625 |
| | | 604 | 619 | 588 | 680 | 702 | 652 | 605 | 702 |
| | | 654 | 670 | 637 | 736 | 759 | 705 | 655 | 759 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（4）設計用地震力（モーメント，Ｓｓ）(2/2)

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | モーメント（×$10^5$ kN･mm） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 炉心シュラウド | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 7.79 | 8.53 | 7.69 | 5.96 | 6.85 | 5.75 | 7.90 | 8.53 |
| | | 25.0 | 27.3 | 23.3 | 17.8 | 20.7 | 16.9 | 25.2 | 27.3 |
| | | 62.5 | 67.2 | 62.1 | 38.8 | 47.2 | 38.4 | 63.2 | 67.2 |
| | | 88.9 | 93.4 | 88.2 | 54.0 | 64.5 | 51.7 | 88.4 | 93.4 |
| | | 99.5 | 107 | 92.4 | 57.3 | 62.6 | 56.5 | 101 | 107 |
| | | 115 | 121 | 109 | 68.2 | 69.2 | 68.1 | 114 | 121 |
| | | 142 | 149 | 134 | 81.3 | 83.4 | 80.2 | 141 | 149 |
| | | 171 | 179 | 162 | 95.0 | 98.8 | 92.2 | 169 | 179 |
| | | 201 | 210 | 193 | 110 | 116 | 105 | 199 | 210 |
| | | 233 | 243 | 226 | 127 | 136 | 123 | 231 | 243 |
| | | 266 | 277 | 261 | 145 | 157 | 141 | 266 | 277 |
| | | 335 | 348 | 334 | 185 | 196 | 175 | 338 | 348 |
| | | 406 | 421 | 409 | 227 | 237 | 226 | 411 | 421 |
| 制御棒案内管 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 15.2 | 14.1 | 17.8 | 14.2 | 18.1 | 17.9 | 16.1 | 18.1 |
| | | 19.2 | 17.8 | 22.5 | 17.9 | 22.8 | 22.6 | 20.3 | 22.8 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 18.3 | 16.8 | 21.4 | 16.7 | 21.9 | 21.3 | 19.4 | 21.9 |
| | | 0.598 | 0.651 | 0.587 | 0.755 | 0.790 | 0.712 | 0.585 | 0.790 |
| | | 3.41 | 2.91 | 3.32 | 3.35 | 3.51 | 3.05 | 3.28 | 3.51 |
| | | 3.37 | 2.88 | 3.29 | 3.14 | 3.49 | 3.01 | 3.21 | 3.49 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 23.4 | 24.8 | 26.8 | 19.3 | 19.6 | 18.9 | 23.6 | 26.8 |
| | | 39.5 | 41.8 | 45.2 | 32.7 | 33.3 | 32.0 | 39.8 | 45.2 |
| | | 45.0 | 47.6 | 51.1 | 37.6 | 38.2 | 36.7 | 45.2 | 51.1 |
| | | 38.8 | 41.4 | 43.8 | 32.7 | 33.2 | 31.9 | 39.0 | 43.8 |
| | | 22.6 | 24.1 | 25.4 | 19.2 | 19.5 | 18.7 | 22.7 | 25.4 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14 (5) 設計用地震力 (軸力, Ｓｓ) (1/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 軸力(×10² kN) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器 | | 1.93 | 2.00 | 1.89 | − | − | − | 2.04 | 2.04 |
| | | 14.1 | 14.5 | 13.7 | − | − | − | 14.9 | 14.9 |
| | | 24.3 | 25.1 | 23.8 | − | − | − | 25.8 | 25.8 |
| | | 31.0 | 32.0 | 30.6 | − | − | − | 33.0 | 33.0 |
| | | 40.0 | 40.9 | 39.4 | − | − | − | 42.5 | 42.5 |
| | | 48.1 | 48.9 | 47.4 | − | − | − | 51.0 | 51.0 |
| | | 56.4 | 57.4 | 55.4 | − | − | − | 59.6 | 59.6 |
| | | 118 | 120 | 116 | − | − | − | 123 | 123 |
| 原子炉本体の基礎 | | 322 | 330 | 315 | − | − | − | 338 | 338 |
| | | 340 | 348 | 333 | − | − | − | 357 | 357 |
| | | 358 | 366 | 351 | − | − | − | 376 | 376 |
| | | 374 | 381 | 366 | − | − | − | 392 | 392 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 25.8 | 26.4 | 25.1 | − | − | − | 26.1 | 26.4 |
| | | 57.9 | 59.2 | 56.5 | − | − | − | 58.9 | 59.2 |
| | | 113 | 116 | 110 | − | − | − | 115 | 116 |
| | | 153 | 157 | 149 | − | − | − | 156 | 157 |
| | | 191 | 196 | 186 | − | − | − | 198 | 198 |
| 原子炉格納容器 | | 1.40 | 1.43 | 1.36 | − | − | − | 1.40 | 1.43 |
| | | 2.78 | 2.85 | 2.70 | − | − | − | 2.79 | 2.85 |
| | | 10.7 | 11.0 | 10.4 | − | − | − | 10.7 | 11.0 |
| | | 15.1 | 15.5 | 14.7 | − | − | − | 15.2 | 15.5 |
| | | 29.0 | 29.7 | 28.1 | − | − | − | 29.1 | 29.7 |
| | | 39.0 | 40.1 | 37.8 | − | − | − | 39.0 | 40.1 |
| | | 46.4 | 47.7 | 45.0 | − | − | − | 45.8 | 47.7 |
| | | 59.3 | 61.0 | 57.4 | − | − | − | 58.5 | 61.0 |
| | | 65.0 | 66.9 | 62.9 | − | − | − | 64.2 | 66.9 |
| | | 77.6 | 79.9 | 75.1 | − | − | − | 76.6 | 79.9 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14 (5) 設計用地震力（軸力，Ｓｓ）(2/2)

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 軸力(×10² kN) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 炉心シュラウド | | 1.03 | 1.05 | 1.02 | － | － | － | 1.08 | 1.08 |
| | | 3.09 | 3.15 | 3.03 | － | － | － | 3.24 | 3.24 |
| | | 4.76 | 4.85 | 4.67 | － | － | － | 4.98 | 4.98 |
| | | 6.73 | 6.86 | 6.60 | － | － | － | 7.04 | 7.04 |
| | | 9.77 | 9.96 | 9.56 | － | － | － | 10.2 | 10.2 |
| | | 11.5 | 11.7 | 11.3 | － | － | － | 12.0 | 12.0 |
| | | 11.8 | 12.1 | 11.6 | － | － | － | 12.3 | 12.3 |
| | | 12.2 | 12.4 | 11.9 | － | － | － | 12.7 | 12.7 |
| | | 12.5 | 12.7 | 12.3 | － | － | － | 13.0 | 13.0 |
| | | 12.8 | 13.1 | 12.6 | － | － | － | 13.4 | 13.4 |
| | | 13.2 | 13.4 | 12.9 | － | － | － | 13.7 | 13.7 |
| | | 16.3 | 16.6 | 15.9 | － | － | － | 17.0 | 17.0 |
| | | 16.5 | 16.8 | 16.2 | － | － | － | 17.2 | 17.2 |
| | | 16.7 | 17.0 | 16.3 | － | － | － | 17.4 | 17.4 |
| 制御棒案内管 | | 24.4 | 24.9 | 23.9 | － | － | － | 25.5 | 25.5 |
| | | 25.1 | 25.6 | 24.5 | － | － | － | 26.2 | 26.2 |
| | | 25.7 | 26.2 | 25.1 | － | － | － | 26.8 | 26.8 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 26.4 | 27.0 | 25.9 | － | － | － | 27.6 | 27.6 |
| | | 6.62 | 6.73 | 6.50 | － | － | － | 6.93 | 6.93 |
| | | 6.05 | 6.15 | 5.93 | － | － | － | 6.33 | 6.33 |
| | | 5.46 | 5.56 | 5.36 | － | － | － | 5.72 | 5.72 |
| | | 4.88 | 4.96 | 4.79 | － | － | － | 5.11 | 5.11 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-14（6）設計用地震力（ばね反力，Ｓｓ）

| 名称 | ばね反力（$\times 10^3$ kN） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 原子炉圧力容器<br>スタビライザ | 7.70 | 7.81 | 7.68 | 7.26 | 7.02 | 7.61 | 8.25 | 8.25 |
| 原子炉格納容器<br>スタビライザ | 14.8 | 15.0 | 14.5 | 13.4 | 13.0 | 14.2 | 15.8 | 15.8 |
| 原子炉格納容器シヤラグ | 25.8 | 26.2 | 25.6 | 33.3 | 34.1 | 32.5 | 25.9 | 34.1 |
| 制御棒駆動機構<br>ハウジング<br>レストレントビーム | 0.421 | 0.371 | 0.407 | 0.432 | 0.473 | 0.394 | 0.404 | 0.473 |
| 炉心シュラウド回転ばね<br>［$\times 10^7$ kN･mm］ | 4.06 | 4.21 | 4.09 | 2.27 | 2.37 | 2.26 | 4.11 | 4.21 |
| 上部サポート | 5.47 | 5.72 | 5.91 | 4.29 | 4.30 | 4.26 | 5.43 | 5.91 |
| 下部スタビライザ | 1.48 | 1.58 | 1.61 | 1.13 | 1.14 | 1.16 | 1.48 | 1.61 |

表 2-14（7）設計用地震力（燃料集合体相対変位，Ｓｓ）

| 名称 | 標高<br>O.P.（m） | 相対変位（mm） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 | 設計用地震力 |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 24.0 | 25.4 | 27.4 | 20.0 | 20.4 | 19.6 | 24.2 | 27.4 |
| | | 41.5 | 43.9 | 47.2 | 34.6 | 35.2 | 33.8 | 41.7 | 47.2 |
| | | 47.7 | 50.5 | 54.2 | 39.9 | 40.6 | 39.0 | 48.0 | 54.2 |
| | | 41.3 | 43.7 | 46.8 | 34.6 | 35.2 | 33.8 | 41.5 | 46.8 |
| | | 23.8 | 25.2 | 27.0 | 20.0 | 20.3 | 19.5 | 24.0 | 27.0 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

注：ハッチング箇所は，最大となるケースを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙１　制御棒案内管の水平方向の地震応答の差異に関する考察

炉内構造物系地震応答解析モデルにおける制御棒案内管の地震応答(加速度,せん断力,モーメント）は，表１に示すとおり，NS 方向ではＳｓ－Ｆ３，EW 方向ではＳｓ－Ｄ２で最大となっている（本文中の表 2-4 (1)，(3)，(4)）。ここでは，方向によって応答が最大となる地震動が異なる理由について考察する。

表１　制御棒案内管の地震応答が最大となる地震動及び応答値

| 方向 | 水平加速度<br>($m/s^2$) | せん断力<br>($\times 10^2$ kN) | モーメント<br>($\times 10^5$ kN・mm) |
|---|---|---|---|
| NS 方向 | Ｓｓ－Ｆ３<br>50.1 | Ｓｓ－Ｆ３<br>13.0 | Ｓｓ－Ｆ３<br>19.2 |
| EW 方向 | Ｓｓ－Ｄ２<br>23.6 | Ｓｓ－Ｄ２<br>6.60 | Ｓｓ－Ｄ２<br>9.82 |

制御棒案内管は，原子炉圧力容器底部に溶接されている制御棒駆動機構ハウジングの上端に接続されていることから，原子炉圧力容器底部の基準地震動Ｓｓ７波のケース１（基本ケース）に対する床応答曲線を用いて応答の傾向を確認する。原子炉圧力容器底部の床応答曲線を図１及び図２に示す。

制御棒案内管の固有周期（NS 方向，EW 方向いずれも 0.066 秒）において，NS 方向ではＳｓ－Ｆ３，EW 方向ではＳｓ－Ｄ２で震度が最大となっている。これは，原子炉建屋の NS 方向と EW 方向の固有値解析結果，地震動の周期成分の違いによるものと考えられる。

また，制御棒案内管の固有周期 0.066 秒における刺激係数は，NS 方向 2.206 に対し，EW 方向は-0.366 である（添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」参照）。NS 方向の方が EW 方向よりも固有周期における刺激係数が大きいため，NS 方向の応答が EW 方向よりも大きくなったものと考えられる。

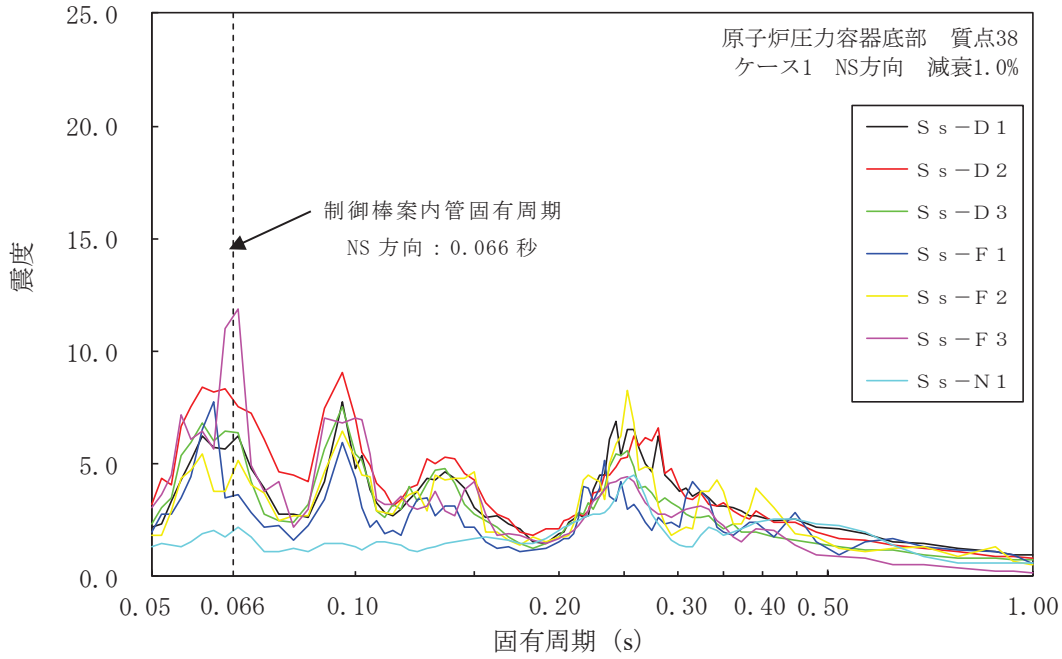



図 1　原子炉圧力容器底部の床応答曲線（NS 方向）

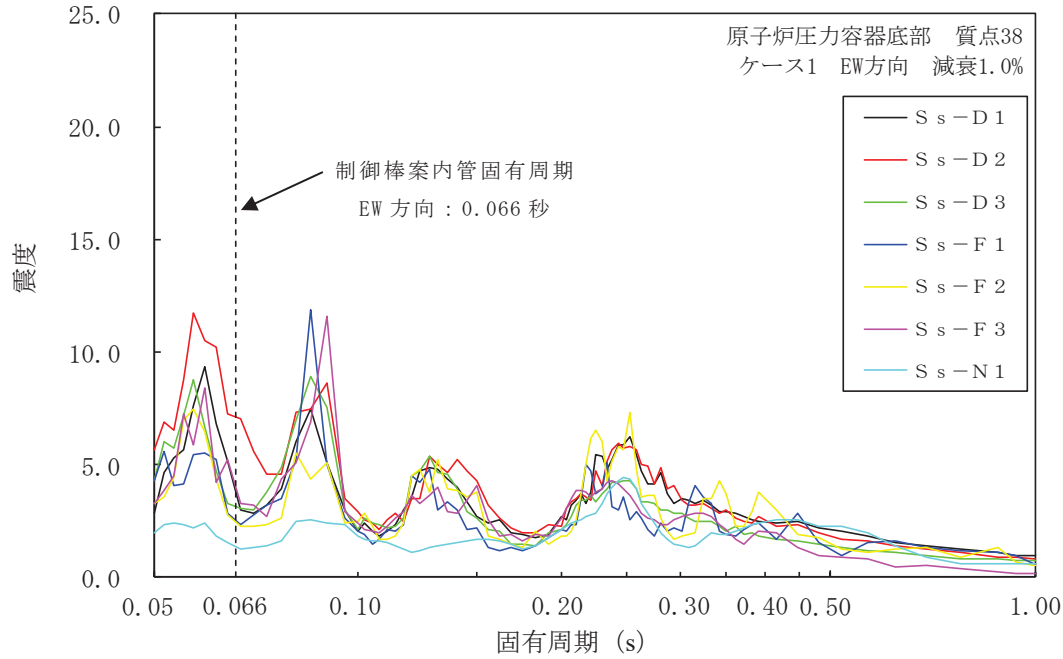



図 2　原子炉圧力容器底部の床応答曲線（EW 方向）

別紙２　解析ケースの違いによる燃料集合体相対変位の差異に関する考察

炉内構造物系地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓの地震応答解析で，燃料集合体相対変位が最大となる解析条件を表１に示す。基準地震動Ｓｓで燃料集合体相対変位が最大となるのは，いずれのケースにおいてもＳｓ－Ｄ２，全溶接線分離を想定した場合である。ここで，ケース３における燃料集合体相対変位が，他のケースと比較して大きくなる理由について考察する。

表１　燃料集合体相対変位が最大となる解析条件

| ケース | 地震動 | シュラウド溶接線<br>分離状態 | 方向 | 燃料集合体<br>相対変位　(mm) |
|---|---|---|---|---|
| ケース１ | Ｓｓ－Ｄ２ | 全溶接線分離 | NS | 47.7 |
| ケース２ | Ｓｓ－Ｄ２ | 全溶接線分離 | NS | 50.5 |
| ケース３ | Ｓｓ－Ｄ２ | 全溶接線分離 | EW | 54.2 |
| ケース４ | Ｓｓ－Ｄ２ | 全溶接線分離 | EW | 39.9 |
| ケース５ | Ｓｓ－Ｄ２ | 全溶接線分離 | EW | 40.6 |
| ケース６ | Ｓｓ－Ｄ２ | 全溶接線分離 | EW | 39.0 |
| ケース７ | Ｓｓ－Ｄ２ | 全溶接線分離 | NS | 48.0 |

燃料集合体は炉心支持板に支持された構造であることから，燃料集合体相対変位が最大となるケースにおける炉心支持板位置の床応答曲線を用いて応答の傾向を確認する。炉心支持板位置の床応答曲線を図１及び図２に示す。図２から，燃料集合体の固有周期（NS 方向：0.229 秒，EW 方向：0.231 秒）での震度の大小関係は以下のとおりであり，表１に示す燃料集合体相対変位の大小関係と一致している。

ケース３＞ケース２＞（ケース１，ケース７）＞（ケース４，ケース５，ケース６）

したがって，燃料集合体相対変位は，燃料集合体を支持する炉心支持板の応答の影響を受けており，ケース３では，他のケースと比較して燃料集合体の固有周期における炉心支持板の応答が大きいため，変位が大きくなったと考えられる。

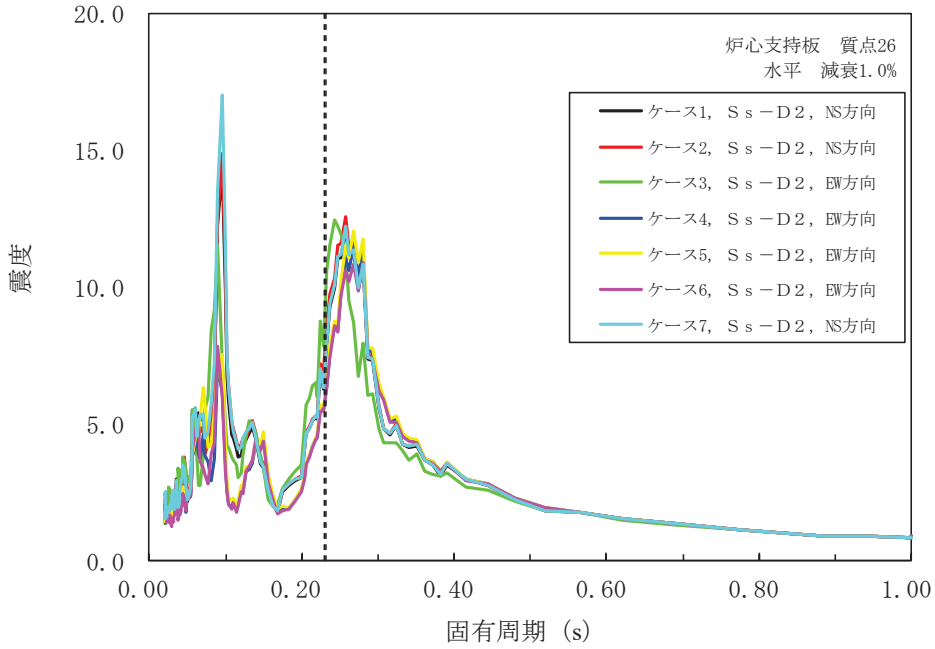



図１　燃料集合体相対変位が最大となるケースにおける炉心支持板位置の床応答曲線

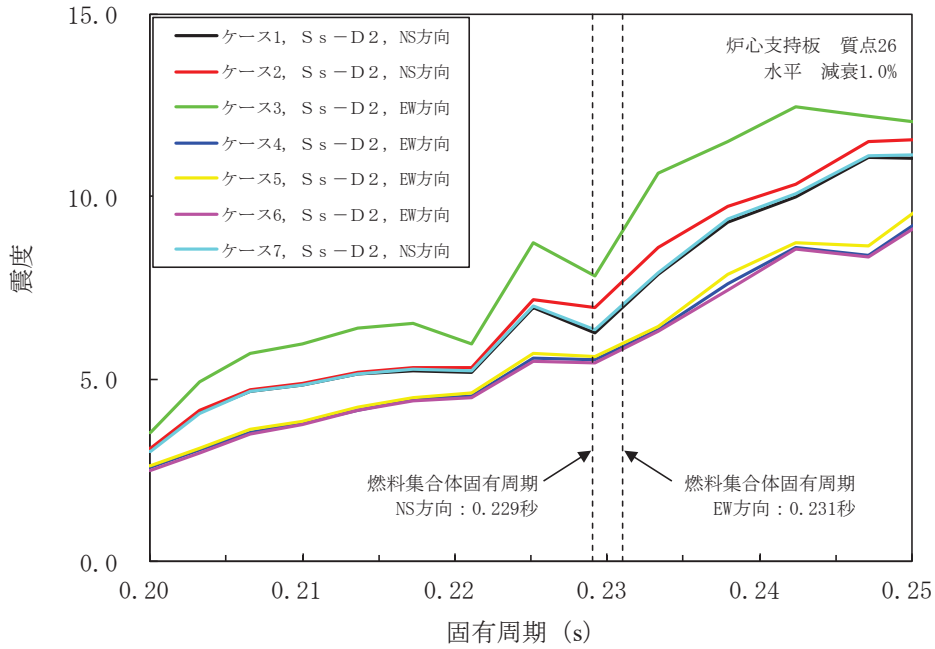



図２　燃料集合体相対変位が最大となるケースにおける炉心支持板位置の床応答曲線
（燃料集合体固有周期近傍を拡大）

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-8-2_改 6 |

# 補足-600-8-2　建屋-機器連成解析における解析モデルの設定に係る補足説明資料

目次

1.　建屋-機器連成地震応答解析モデル ..... 1
2　水平方向地震応答解析モデル ..... 8
2.1　水平方向地震応答解析モデルの設定 ..... 8
2.1.1　質点位置 ..... 8
2.1.2　質点質量 ..... 11
2.1.3　断面剛性（有効せん断断面積及び断面二次モーメント） ..... 11
2.1.4　構造物間ばね定数 ..... 12
2.1.5　材料物性値（縦弾性係数，ポアソン比） ..... 79
2.1.6　シュラウド溶接線分離ケースのモデル化 ..... 82
2.2　水平方向地震応答解析モデルの変更の妥当性確認 ..... 94
2.2.1　大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデル ... 94
2.2.2　今回工認における地震応答解析モデルの設定変更 ..... 104
2.2.3　今回工認における地震応答解析モデルに係る妥当性検討 ..... 106
3.　鉛直方向地震応答解析モデル ..... 135
3.1　鉛直方向地震応答解析モデルの扱い ..... 135
3.2　鉛直方向地震応答解析モデルの設定 ..... 138
3.2.1　質点質量 ..... 141
2.2.2　ばね定数 ..... 142
3.2.3　原子炉格納容器の球殻部分におけるばね定数の考え方 ..... 147

1. 建屋-機器連成地震応答解析モデル

建屋-機器連成地震応答解析モデルは，添付書類「Ⅵ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づいて設定されており，建屋-機器連成地震応答解析モデルとしては，原子炉建屋，原子炉圧力容器，原子炉格納容器，原子炉しゃへい壁，原子炉本体の基礎等を連成させた大型機器系地震応答解析モデル及び原子炉建屋，炉心，原子炉圧力容器，原子炉内部構造物等を連成させた炉内構造物系モデルを用いる。設定内容は，添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」で説明している。

ここで，今回工認の地震応答解析モデルは，既工認のモデル諸元を適用することを基本とするが，適正な地震応答解析を実施する観点及び鉛直方向応答を適切に評価する観点から，新たに原子炉本体の基礎（以下「RPV ペデスタル」という。）への非線形復元力特性の考慮（詳細は「補足 600-8-3 建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の非線形復元力特性等の設定に関する補足説明資料」参照。）と鉛直方向地震応答解析モデルの追加を行っている。今回工認での水平方向の地震応答解析モデルを図 1-1～図 1-4 に，鉛直方向の地震応答解析モデルを図 1-5 及び図 1-6 に示す。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| \| | はり |
| -\/\/\/- | 水平ばね |
| ◎ | 回転ばね |

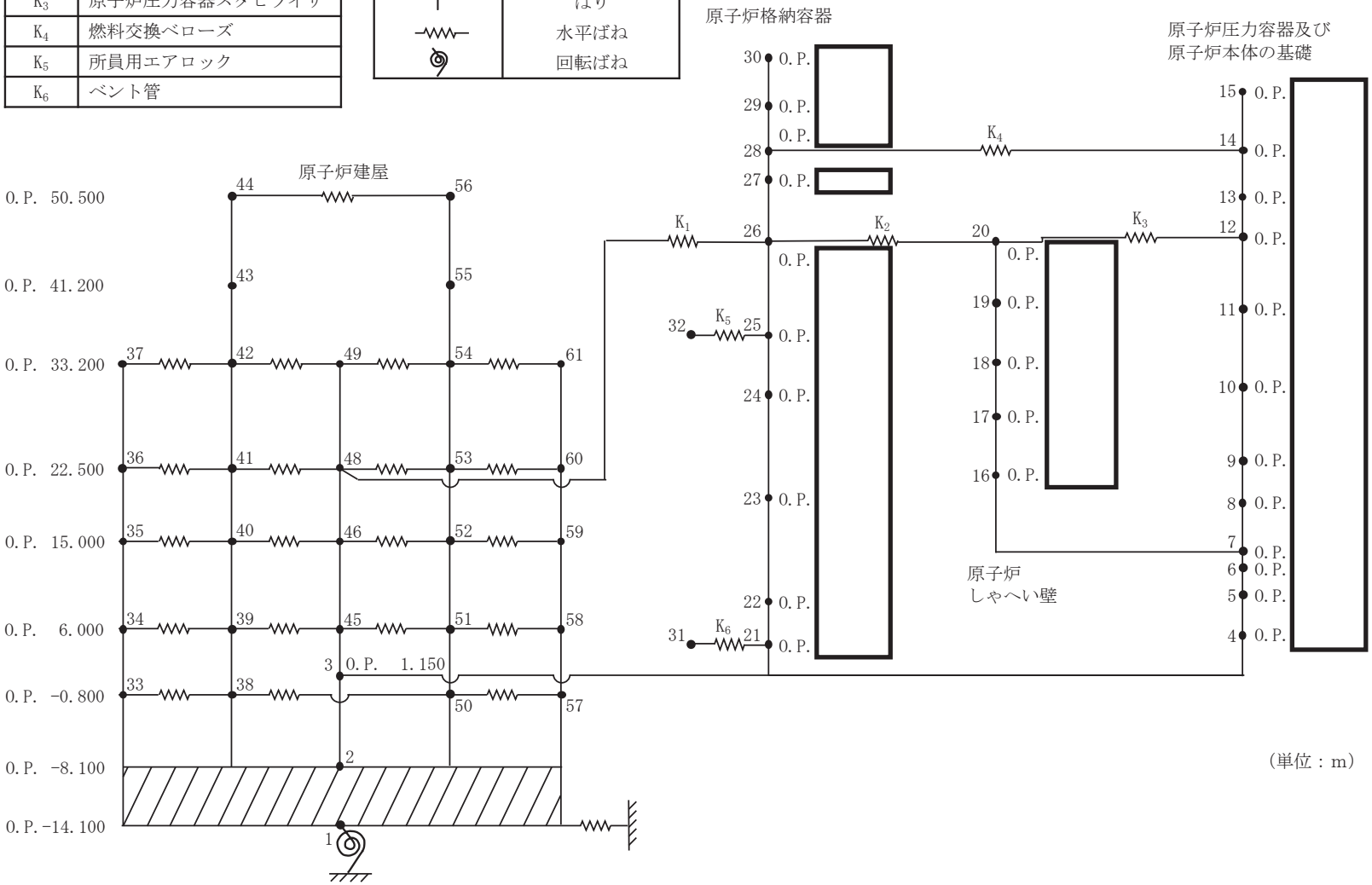



図 1-1　大型機器系地震応答解析モデル（NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| ｜ | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

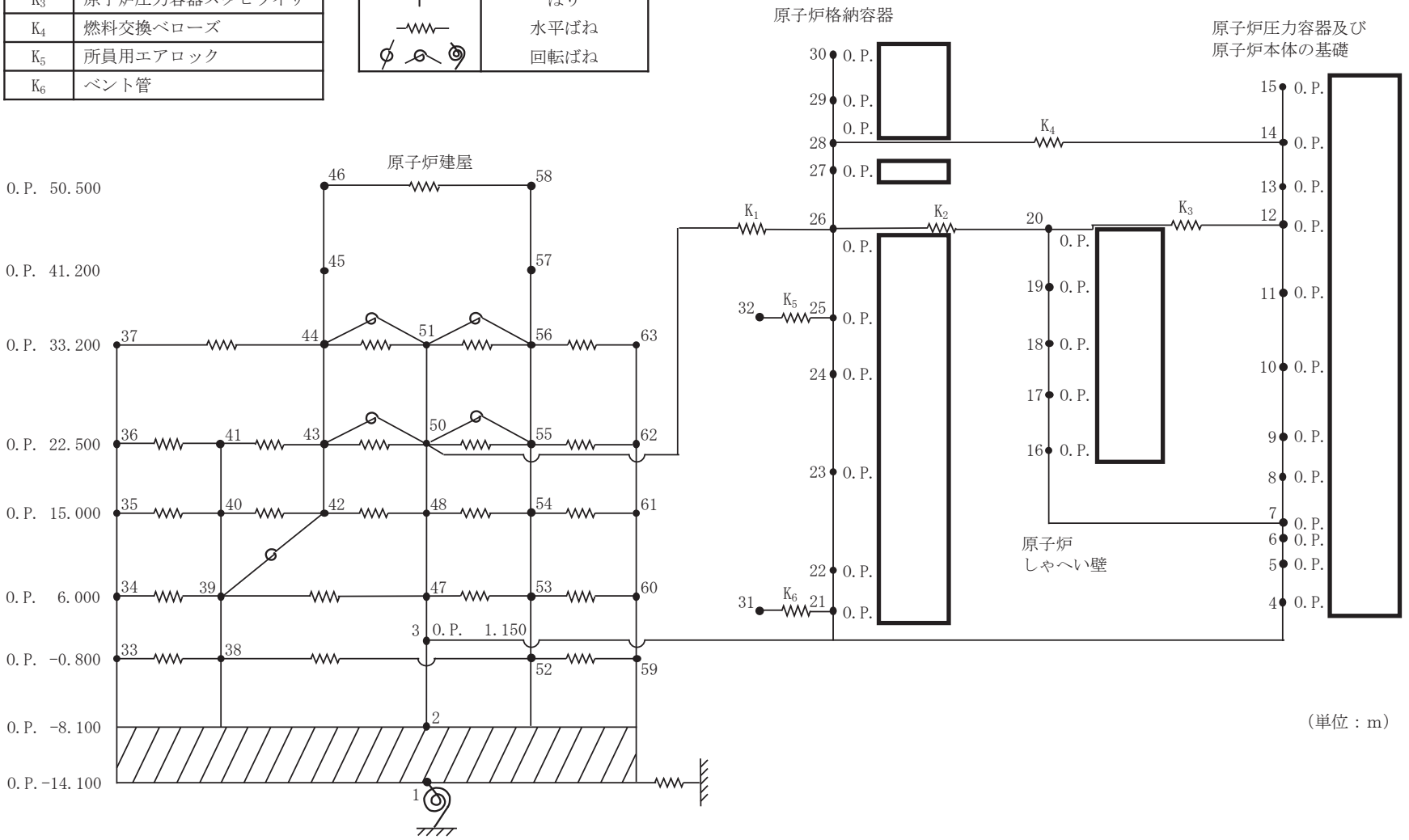



図 1-2　大型機器系地震応答解析モデル（EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム |
| $K_4$ | シュラウドサポート |
| $K_5$ | 上部サポート |
| $K_6$ | 下部スタビライザ |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点（ピン結合以外） |
| ○ | 質点（ピン結合） |
| \| | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

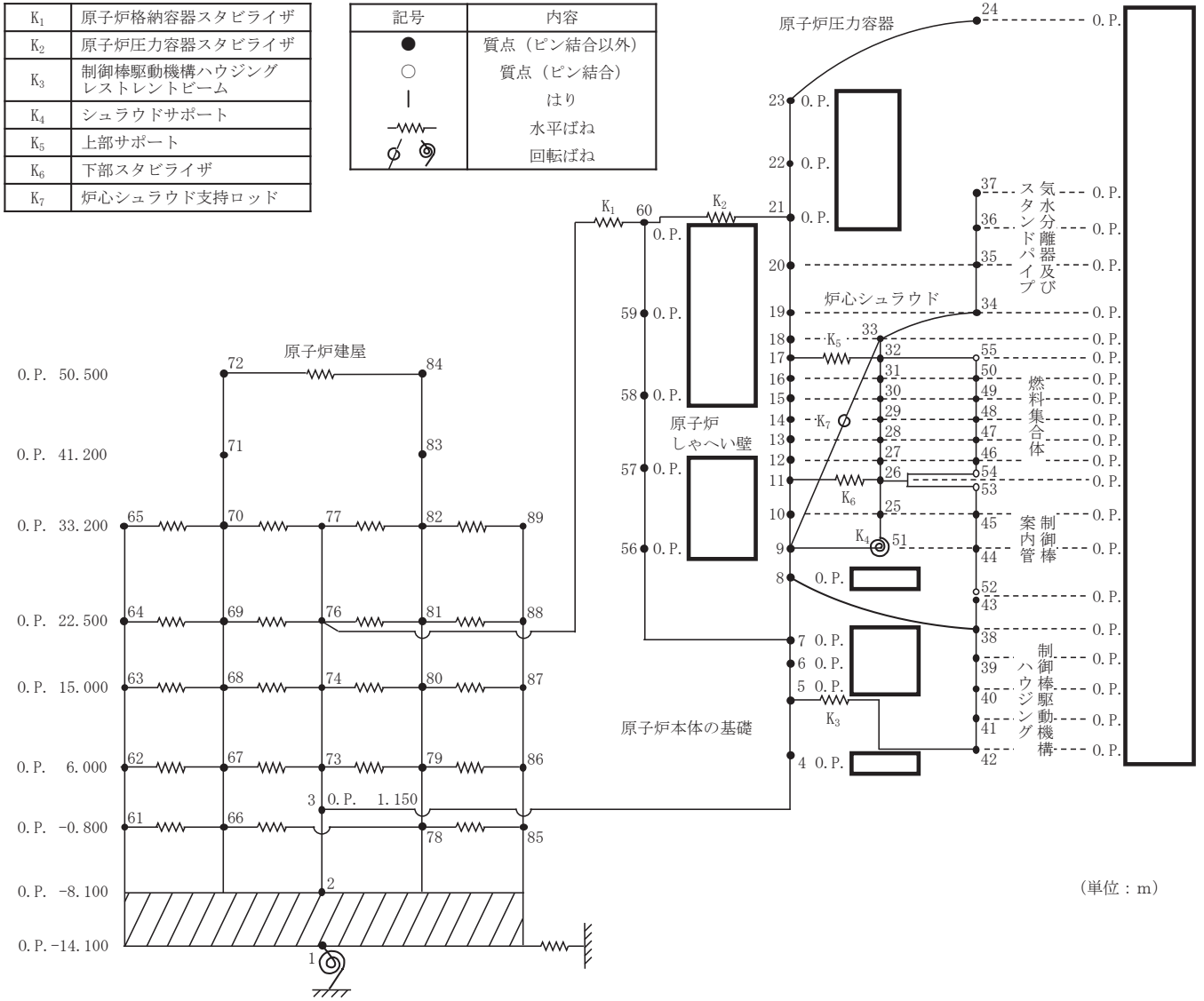



図 1-3　炉内構造物系地震応答解析モデル（NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム |
| $K_4$ | シュラウドサポート |
| $K_5$ | 上部サポート |
| $K_6$ | 下部スタビライザ |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点（ピン結合以外） |
| ○ | 質点（ピン結合） |
| ｜ | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

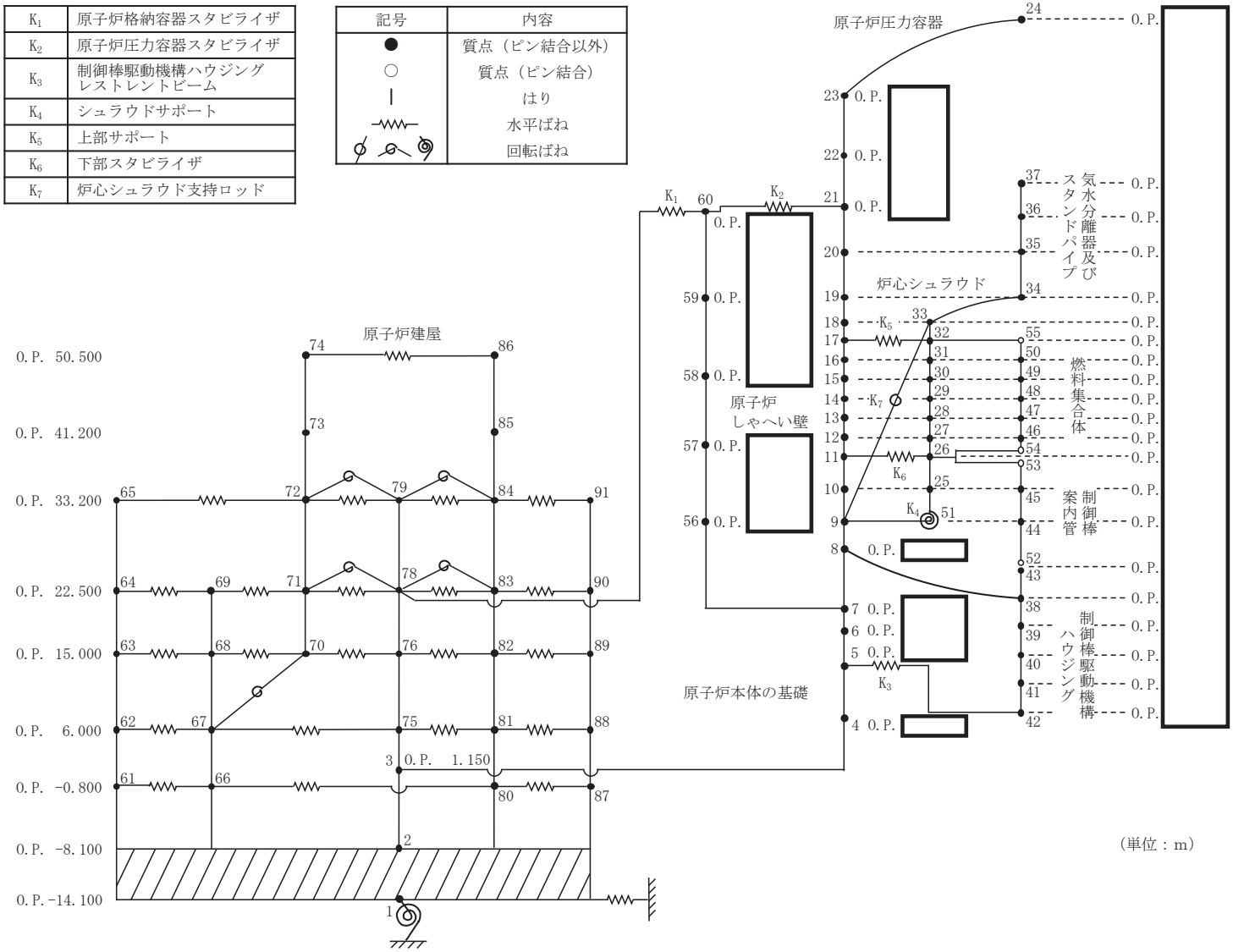



図 1-4　炉内構造物系地震応答解析モデル（EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

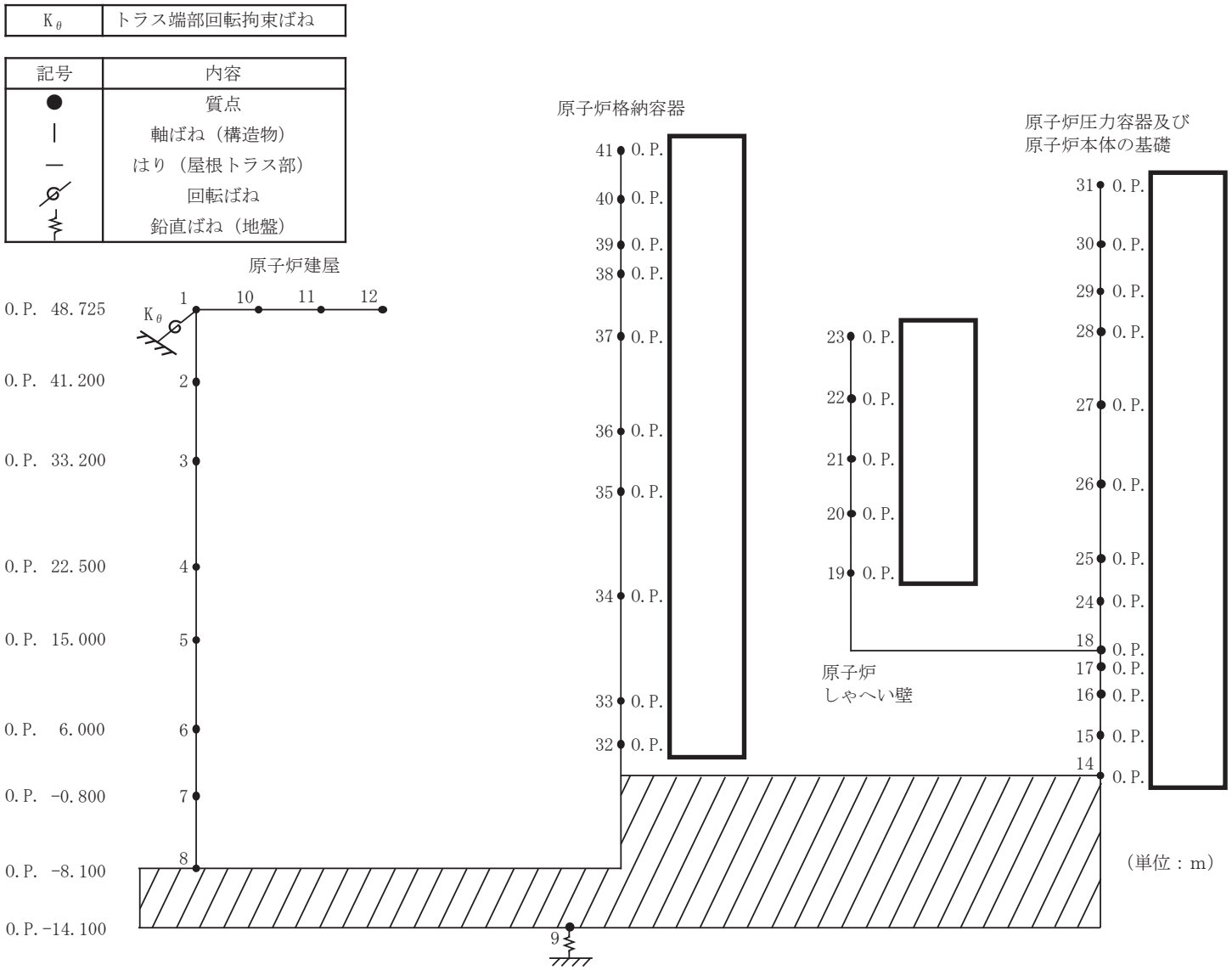



図 1-5　大型機器系地震応答解析モデル（鉛直方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

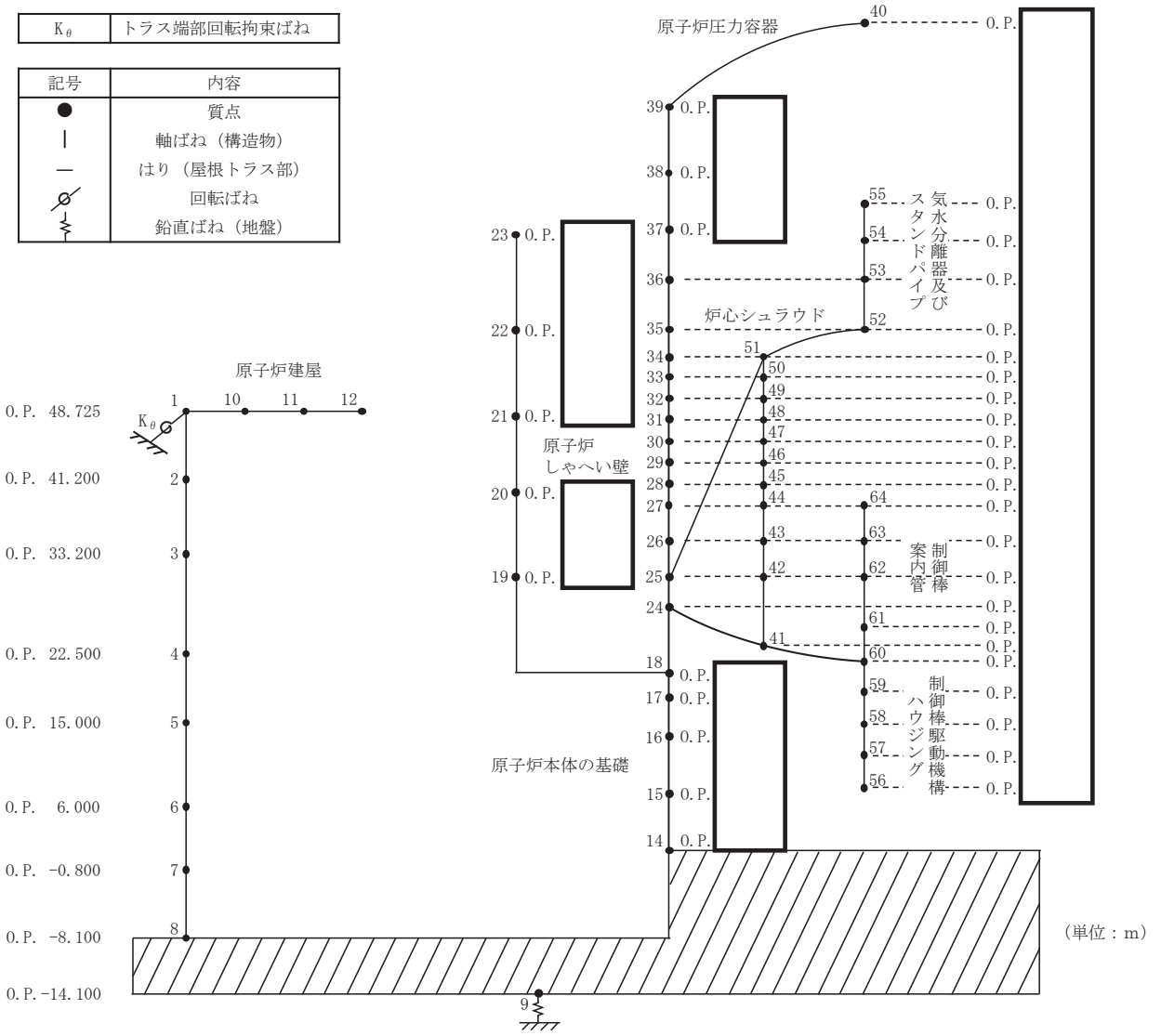



図 1-6　炉内構造物系地震応答解析モデル（鉛直方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2　水平方向地震応答解析モデル

### 2.1　水平方向地震応答解析モデルの設定

本章では，水平方向地震応答解析モデルに関して，既工認での設定内容及び今回工認での設定内容等について説明する。

#### 2.1.1　質点位置

解析モデルの質点位置は，各構造物の振動性状を適切に評価できるよう配慮するとともに，部材の剛性が変化する点，構造的に不連続となる位置，応力評価点等を考慮して設定する。なお，炉内構造物系の解析モデルの原子炉圧力容器胴板の質点位置は，大型機器系の質点位置をベースとして炉水の付加質量効果の反映を簡便に算定するため，原子炉圧力容器内部構造物の質点位置と同一標高となるように設定する。大型機器系及び炉内構造物系の質点位置と実機構造の関係を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

| 構造物 | 質点番号 | 標高 O.P. (m) | 設定根拠 |
|---|---|---|---|
| 原子炉格納容器 | 30 | | トップヘッド頂部 |
| | 29 | | トップヘッド円筒部/上部変曲部 |
| | 28 | | トップヘッドフランジシール面 |
| | 27 | | 溶接線位置 |
| | 26 | | 原子炉格納容器シヤラグ取付位置 |
| | 25 | | 所員用エアロック位置 |
| | 24 | | 溶接線位置 |
| | 23 | | 円筒部を等間隔に分割 |
| | 22 | | 溶接線位置 |
| | 21 | | ベント管取付位置 |
| | 3 | | サンドクッション位置 |
| 原子炉しゃへい壁 | 20 | | 質点番号26と同一標高 |
| | 19 | | 質点18と質点20の間に設定 |
| | 18 | | パイプホイップストラクチャレベル |
| | 17 | | |
| | 16 | | |
| | 7 | | 原子炉本体の基礎頂部 |
| 原子炉圧力容器及び原子炉本体の基礎 | 15 | | 上蓋頂部内面 |
| | 14 | | 上蓋フランジと胴フランジシール面 |
| | 13 | | 主蒸気ノズル位置 |
| | 12 | | ＲＰＶスタビライザ取付位置 |
| | 11 | | スタンドパイプ付根 |
| | 10 | | 燃料集合体中央 |
| | 9 | | 再循環水出口ノズル位置 |
| | 8 | | 支持スカート付根 |
| | 7 | | 原子炉本体の基礎頂部 |
| | 6 | | 水平鋼板位置 |
| | 5 | | 水平鋼板位置 |
| | 4 | | 中間位置 |
| | 3 | | サンドクッション位置 |

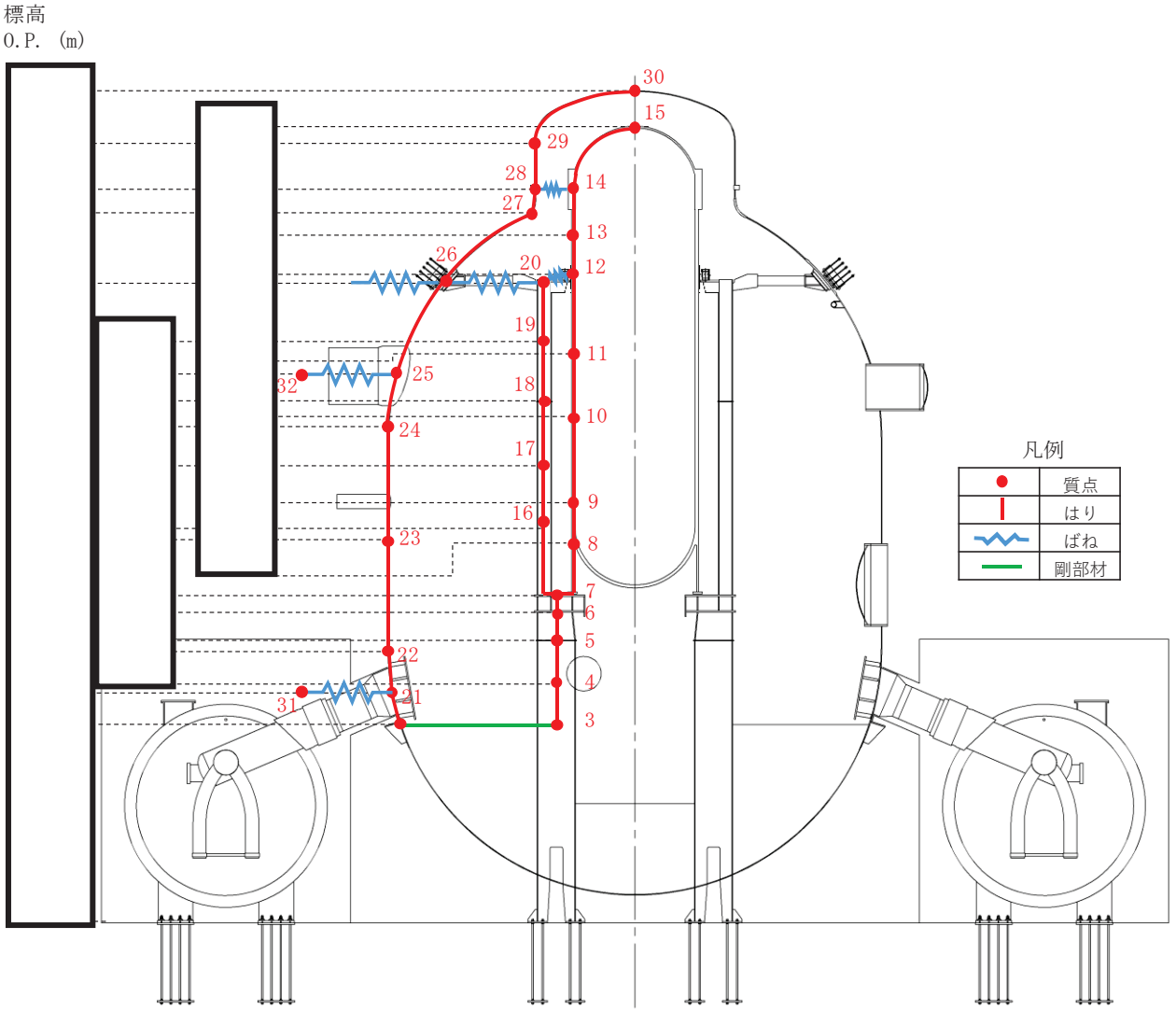



図 2-1　大型機器系地震応答解析モデルの質点位置と実機構造の関係

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| 構造物 | 質点番号 | 標高 O.P.（m） | 設定根拠 |
|---|---|---|---|
| 原子炉圧力容器 | 24 | | 上蓋頂部内面 |
| | 23 | | 上蓋フランジと胴フランジのシール面 |
| | 22 | | 主蒸気ノズル位置 |
| | 21 | | RPVスタビライザ取付位置 |
| | 20 | | 質点番号35と同一標高 |
| | 19 | | 質点番号34と同一標高 |
| | 18 | | 質点番号33と同一標高 |
| | 17 | | 質点番号55と同一標高 |
| | 16 | | 燃料集合体と同一標高 |
| | 15 | | |
| | 14 | | |
| | 13 | | |
| | 12 | | |
| | 11 | | 質点番号54と同一標高 |
| | 10 | | 質点番号45と同一標高 |
| | 9 | | 質点番号51と同一標高 |
| | 8 | | 支持スカート付根 |
| | 38 | | RPV底部 |
| 原子炉圧力容器支持スカート | 8 | | 支持スカート付根 |
| | 7 | | 原子炉本体の基礎頂部 |

| 構造物 | 質点番号 | 標高 O.P.（m） | 設定根拠 |
|---|---|---|---|
| 気水分離器 | 37 | | 気水分離器頂部 |
| | 36 | | 気水分離器中央部 |
| | 35 | | 気水分離器底部 |
| | 34 | | シュラウドヘッド鏡板頂部 |
| シュラウド | 33 | | シュラウドヘッド下端 |
| | 32 | | 質点番号55と同一標高 |
| | 31 | | 燃料集合体と同一標高 |
| | 30 | | |
| | 29 | | |
| | 28 | | |
| | 27 | | |
| | 26 | | 質点番号54と同一標高 |
| | 25 | | シュラウド下部中央 |
| | 51 | | バッフルプレート頂部 |
| 燃料集合体 | 55 | | 上部格子板位置 |
| | 50 | | 等間隔に分割 |
| | 49 | | |
| | 48 | | |
| | 47 | | |
| | 46 | | |
| | 54 | | 炉心支持板位置 |
| 制御棒案内管 | 53 | | 炉心支持板位置 |
| | 45 | | 質点番号25と同一標高 |
| | 44 | | 質点番号51と同一標高 |
| | 52 | | CRDハウジング上端 |
| 制御棒駆動機構ハウジング＊ | 43 | | CRDハウジング上端 |
| | 38 | | RPV底部 |
| | 39 | | 等間隔に分割 |
| | 40 | | |
| | 41 | | |
| | 42 | | CRDハウジング下端 |

注記＊：制御棒駆動機構ハウジングは最外周に配置される最長のものをモデル化

凡例

| | |
|---|---|
| ● | 質点 |
| ｜ | はり |
| ～～ | ばね |
| ― | 剛部材 |

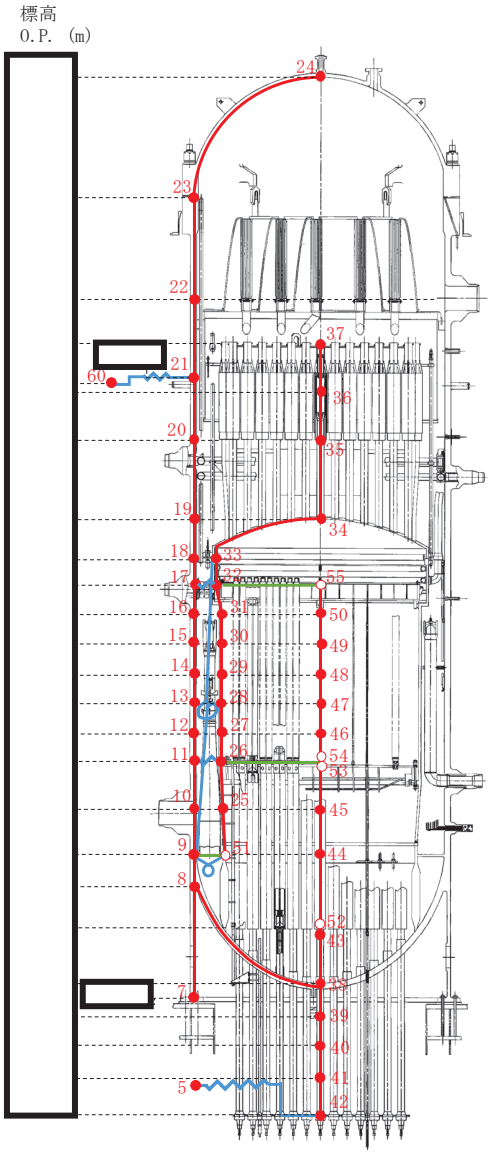



図 2-2　炉内構造物系地震応答解析モデルの質点位置と実機構造の関係

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.2　質点質量

質点質量は，各構造物の連続する 2 質点間の質量の 1/2 を各質点に加え，2 質点間の付加物等の質量も考慮する。なお，質量は定格運転時質量を使用する。

2.1.3　断面剛性（有効せん断断面積及び断面二次モーメント）

各構造物の連続する質点間のはりは，等価な曲げ及びせん断剛性を有するようモデル化している。円筒形またはそれに準ずる構造物について，断面二次モーメント及び有効せん断断面積は下式により算定している。なお，算定に際しては原則として，公称寸法を使用し，部材中央の断面で評価する。また，モデルの設定における各数値は，既工認においては工学単位系で扱っていたため，計算過程は工学単位系のままの記載とし，今回工認のモデル諸元となるばね定数や縦弾性係数は SI 単位系に換算した結果を併記する。

断面二次モーメント：$I=\frac{\pi}{64}\left(D_o^{\,4}-D_i^{\,4}\right)$

有効せん断断面積：$A_s=\frac{1}{2}\times\frac{\pi}{4}\left(D_o^{\,2}-D_i^{\,2}\right)$

ここで，

$D_o$：外径（m）

$D_i$：内径（m）

断面剛性（断面二次モーメント及び有効せん断断面積）の算定例を以下に示す。

(1) 原子炉圧力容器胴板（炉内構造物系地震応答解析モデルでの質点番号：18-19）

原子炉圧力容器胴板の構造概要を図 2-3 に示す。原子炉圧力容器胴板の断面剛性は，部材の諸元を用いて，以下のとおり算定する。

$D_o =$ [redacted] (m)

$D_i =$ [redacted] (m)

よって，

$$I = \frac{\pi}{64}\left(D_o^{\,4} - D_i^{\,4}\right)$$

$$= \frac{\pi}{64}\left([\text{redacted}]^4 - [\text{redacted}]^4\right) = [\text{redacted}]$$

$$A_s = \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{4}\left(D_o^{\,2} - D_i^{\,2}\right)$$

$$= \frac{\pi}{8}\left([\text{redacted}]^2 - [\text{redacted}]^2\right) = [\text{redacted}]$$

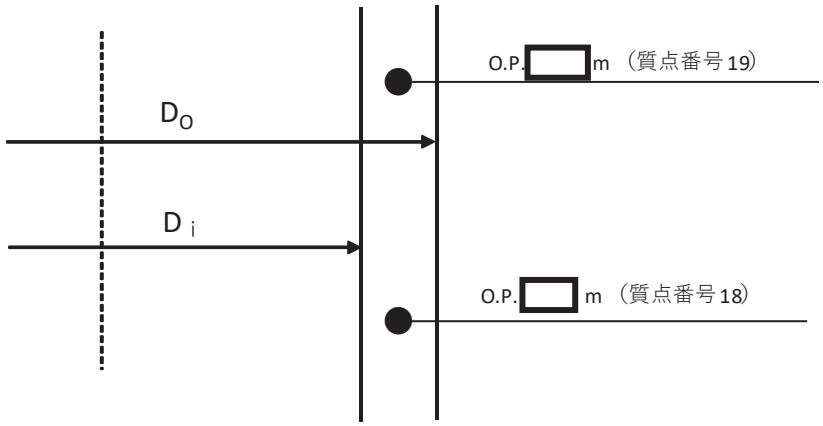



図 2-3　原子炉圧力容器胴板（質点番号：18-19）の構造概要

2.1.4　構造物間ばね定数

各構造物間を接続する各機器を等価なばねでモデル化する。ばね定数の設定に際しては，ばねとしてモデル化する部材の形状を考慮して，材料力学のはりの公式，文献等による理論式又は FEM 解析によりばね定数を算定する。以下に，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルに用いているばね定数の算出過程を示す。


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.4.1　大型機器系地震応答解析モデル

大型機器系地震応答解析モデルに用いているばね定数の数値一覧を表 2-1 に，ばね定数の算定方法の詳細を以下に示す。

表 2-1　大型機器系のばね定数

| No. | 名称 | ばね定数 (N/mm) | |
|---|---|---|---|
| | | NS 方向 | EW 方向 |
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ | | |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ | | |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ | | |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ | | |
| $K_5$ | 所員用エアロック | | |
| $K_6$ | ベント管 | | |

(1) 原子炉格納容器シヤラグ：$K_1$

a. 原子炉格納容器シヤラグの構造

原子炉格納容器シヤラグは，原子炉格納容器の上部球形部の周方向に 8 ヶ所設置され，原子炉格納容器の外側メイルシヤラグが原子炉建屋の外側フィメイルシヤラグと嵌め合い構造となっており，水平方向変位を拘束する。原子炉格納容器シヤラグの構造概要を図 2-4 に示す。

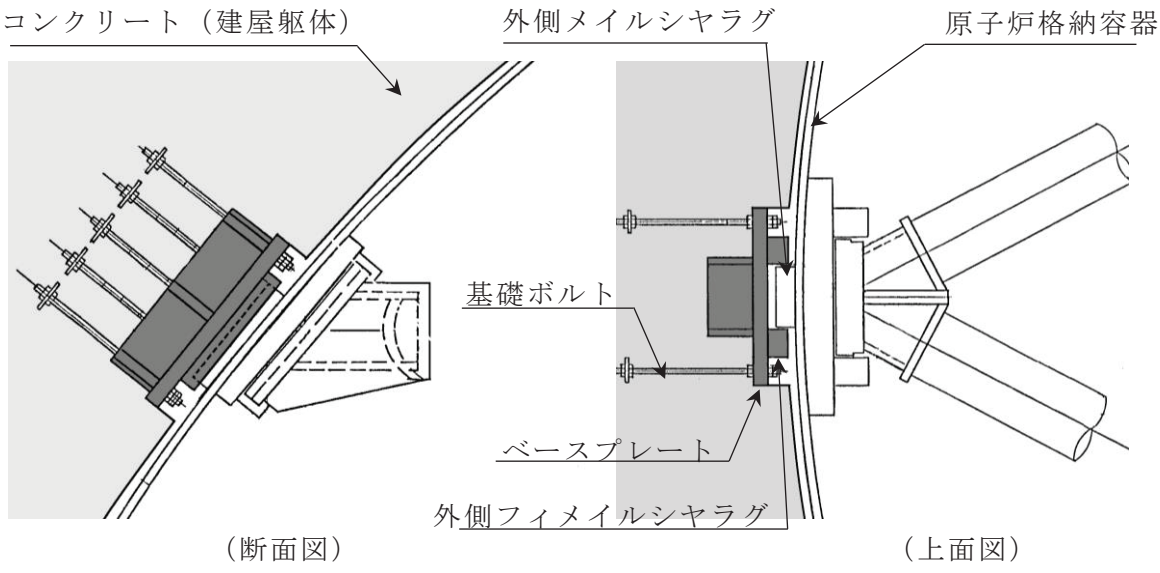


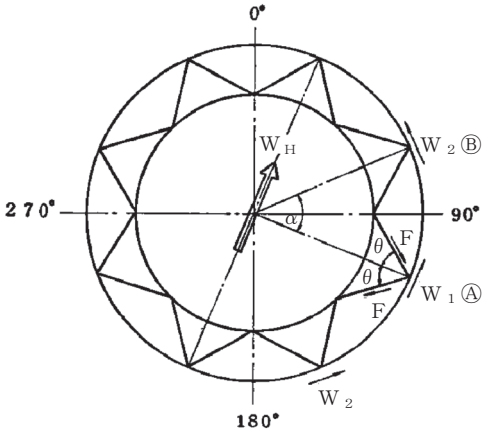

図 2-4　原子炉格納容器シヤラグの構造概要


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b．原子炉格納容器シヤラグのばね定数算定方法

（a）全体でのばね定数算定方法

原子炉格納容器シヤラグは，ドライウェル周方向に 45° ピッチで 8 個配置されていることから，任意の方向の荷重に対して有効なシヤラグ個数は 4 個である。




原子炉格納容器シヤラグに最大反力が生じる，図に示す方向に荷重が作用する場合の各位置における荷重の分配は次式による。

$W_H = 2\cdot(W_1 + 2\cdot W_2 \cos\alpha)$

ここに，

$W_1$ ：Ⓐ点に作用する力

$W_2$ ：Ⓑ点に作用する力

α：

θ：

$W_2 = W_1 \cdot \cos\alpha$ から

$W_H = 2\cdot W_1 \cdot (1 + 2\cos^2\alpha) = 4\cdot W_1$

よって，原子炉格納容器シヤラグ全体のばね定数$K_1$は以下の式により求められる。

$K_1 = 4 \times K_c$

$=$ [　　] (kgf/mm)

$=$ [　　] (N/mm)

（b）合成ばね定数算定方法

原子炉格納容器シヤラグのばね定数は外側フィメイルシヤラグ及び外側メイルシヤラグのばね定数を連結して求める。

合成ばね定数$K_c$は，以下の式により求められる。

$$K_c = \frac{1}{\frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_b}}$$

$=$ [　　]

$=$ [　　] (kgf/mm)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ここで，

$K_a$ ：外側フィメイルシヤラグのばね定数

$K_b$ ：外側メイルシヤラグのばね定数

(c) フィメイルシヤラグ及びメイルシヤラグのばね定数算定方法

フィメイルシヤラグ及びメイルシヤラグのばね定数（各々$K_a$及び$K_b$とする）は，いずれもせん断変形が支配的であると仮定して算出する。

せん断力によるせん断ひずみδは，

$$\delta = \frac{6}{5 \cdot A \cdot G} \int_{X_1}^{X_2} F \cdot dx$$

よって，ばね定数Kは，

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{5 \cdot A \cdot G}{6(X_2 - X_1)}$$

ここで，

A：せん断断面積（㎜$^2$）

$A_1 = \ell_5 \times \ell_7 =$ [redacted] （外側フィメイルシヤラグ）

$A_2 = \ell_4 \times \ell_6 =$ [redacted] （外側メイルシヤラグ）

G： せん断弾性係数 $= \frac{E}{2(1+\nu)}$ （kgf/㎟）

$\nu$： ポアソン比 = [redacted] （－）

E： 縦弾性係数 = [redacted] （kgf/㎟）

$(X_2 - X_1)$：せん断長さ（㎜） [redacted] （外側フィメイルシヤラグ）

[redacted] （外側メイルシヤラグ）



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

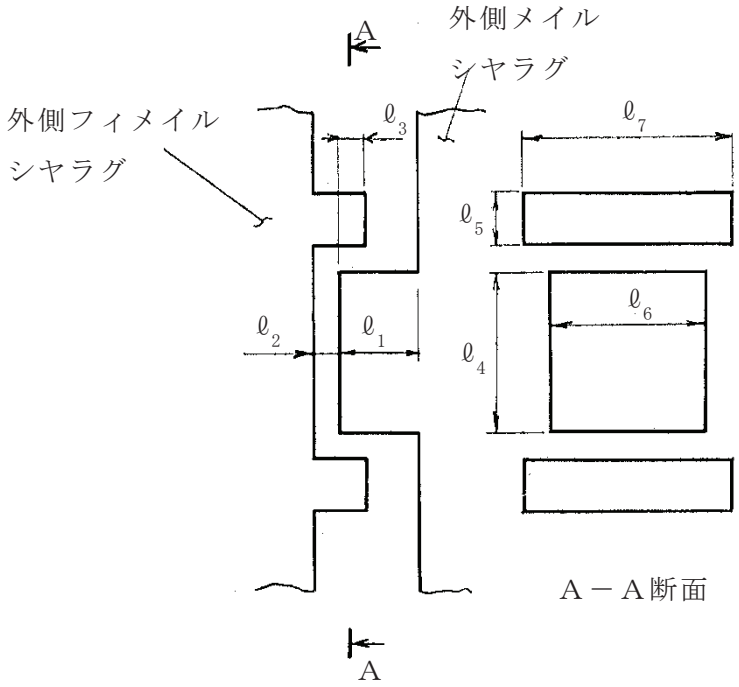



図 2-5　外側フィメイルシヤラグと外側メイルシヤラグの嵌め合い構造

各部の長さ　$\ell_1$= [　　] (mm)　$\ell_2$= [　　] (mm)　$\ell_3$= [　　] (mm)

$\ell_4$= [　　] (mm)　$\ell_5$= [　　] (mm)　$\ell_6$= [　　] (mm)

$\ell_7$= [　　] (mm)

外側フィメイルシヤラグのばね定数：　$K_a$ = [　　] (kgf/mm)

外側メイルシヤラグのばね定数：　$K_b$ = [　　] (kgf/mm)


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 原子炉格納容器スタビライザ：$K_2$

a. 原子炉格納容器スタビライザの構造

原子炉格納容器スタビライザは，パイプを主たる構造とする 8 組のトラス構造で，原子炉しゃへい壁頂部に溶接接続され，他方の端部は原子炉格納容器シヤラグと水平方向の嵌め合い構造となっており，水平方向地震荷重を伝達する。

原子炉格納容器スタビライザの構造概要を図 2-6 に示す。

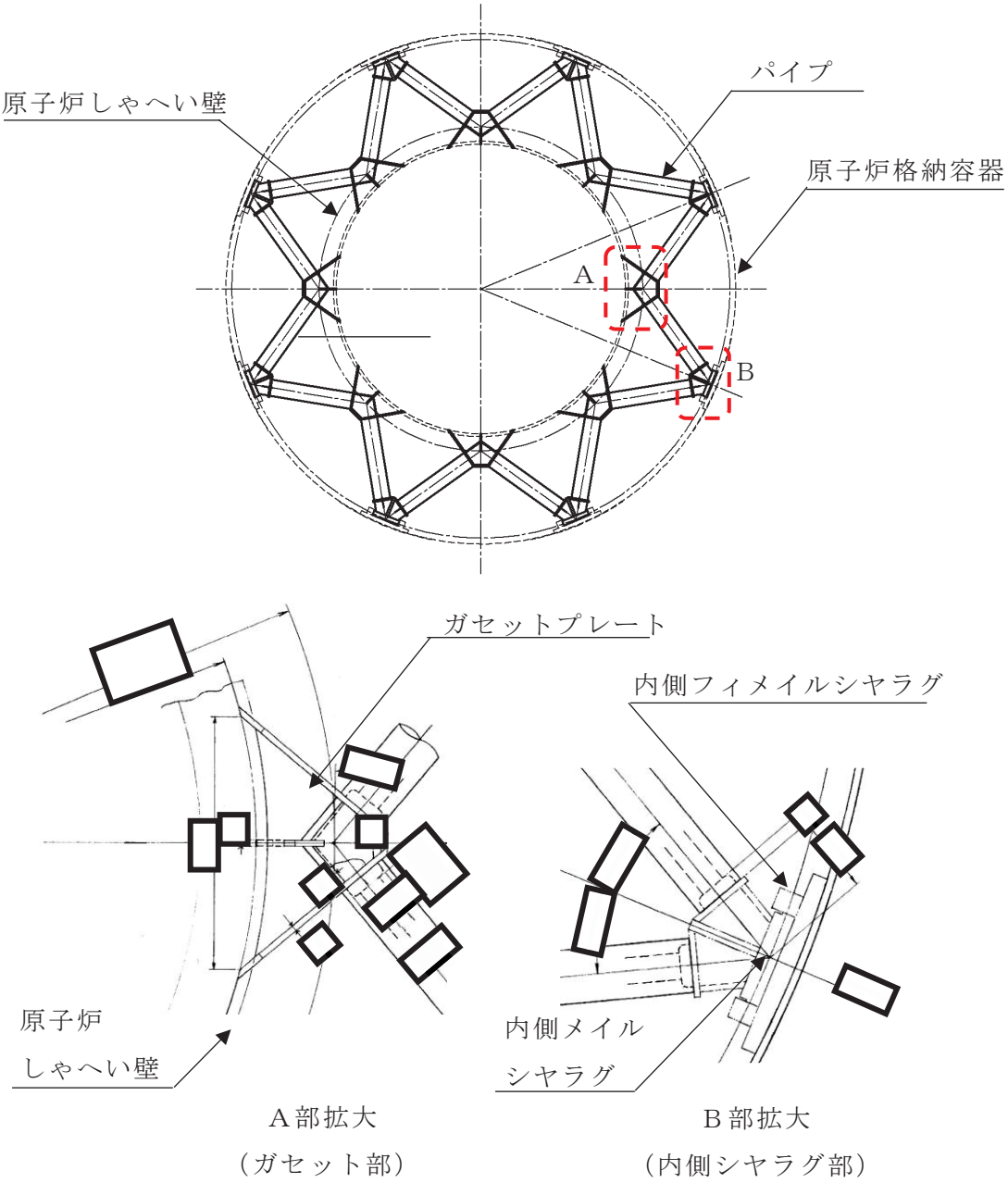



図 2-6　原子炉格納容器スタビライザの構造概要（平面図）



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b．原子炉格納容器スタビライザのばね定数算定方法

（a）全体でのばね定数算定方法

原子炉格納容器スタビライザのばね定数$K_2$は，

$$K_2=\frac{1}{\frac{1}{K_P}+\frac{1}{K_G}+\frac{1}{K_S}}$$

$=$ [redacted] (kgf/mm)

$=$ [redacted] (N/mm)

ここで，

$K_P$：パイプ部全体のばね定数

$K_G$：ガセット部のばね定数

$K_S$：内側メイルシヤラグ部のばね定数

（b）パイプ部全体のばね定数　$K_P$

パイプ部全体のばね定数は，以下の式に基づき算定する。パイプ部全体の形状及び主要寸法を図 2-7 に示す。

$$K_P=\frac{F}{\delta}=8\sin^2\theta\cdot\frac{E}{\left(\frac{\ell_1}{A_1}+\frac{\ell_2}{A_2}+\frac{\ell_3}{A_3}+\frac{\ell_4}{A_4}+\frac{\ell_5}{A_5}+\frac{\ell_6}{A_6}+\frac{\ell_7}{A_7}+\frac{\ell_8}{A_8}\right)}$$

$=$ [redacted] (kgf/mm)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

パイプ取付角度（シヤラグ側）　$\theta$ = [　　]

ガセットの断面積　$A_1$ = [　　] ($mm^2$)

プレートの断面積　$A_2$=$A_4$ = [　　] ($mm^2$)

パイプ本体部の断面積　$A_3$ = [　　] ($mm^2$)

パイプ両端部の断面積　$A_7$=$A_8$ = [　　] ($mm^2$)

シヤラグ取付パイプの断面積　$A_5$ = [　　] ($mm^2$)

シヤラグ（プレート部）の断面積　$A_6$ = [　　] ($mm^2$)

各部の長さ

$\ell_1$ = [　　] (mm)　$\ell_2$ = [　　] (mm)　$\ell_3$ = [　　] (mm)

$\ell_4$ = [　　] (mm)　$\ell_5$ = [　　] (mm)　$\ell_6$ = [　　] (mm)

$\ell_7$ = [　　] (mm)　$\ell_8$ = [　　] (mm)

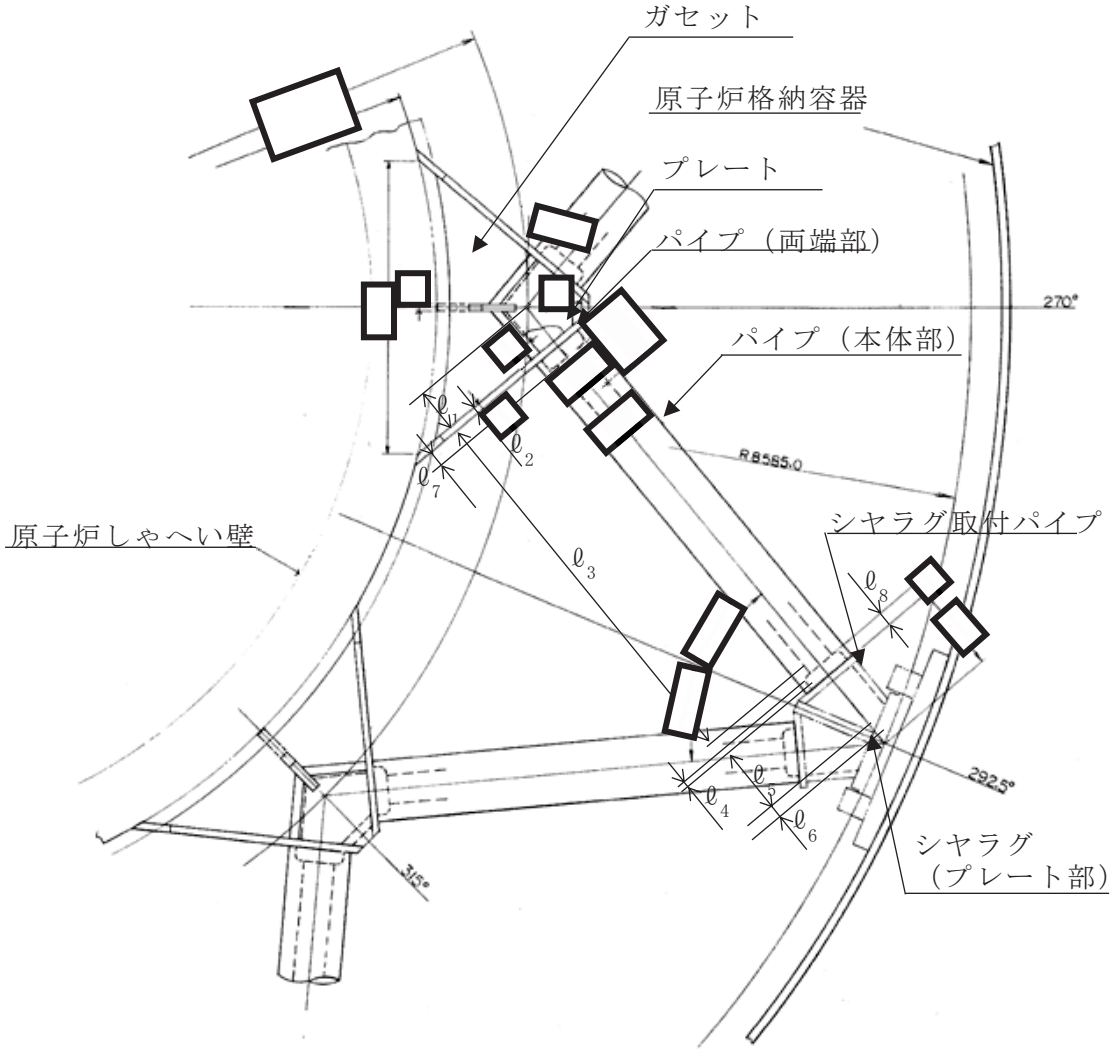


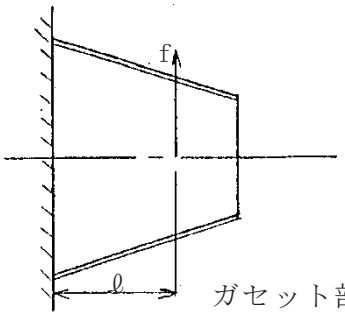

図 2-7　パイプ部全体の形状及び主要寸法（単位：mm）



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) ガセット部のばね定数　$K_G$

各ガセット部の接線方向のばね定数を$K_g$とする。



ガセット部

せん断力によるガセット部のたわみを考慮したときの，各ガセット部接線方向のばね定数$K_g$は，

$$K_g=\frac{5\cdot G\cdot A}{6\cdot \ell}$$

ガセット部のばね定数は，以下の式に基づき算定する。

$$K_G=\frac{F}{\delta}=\frac{16}{\left(\frac{\cos\beta}{\sin\theta}\right)^2(1+2\cos\alpha+2\cos^2\alpha)}\cdot\frac{5\cdot G\cdot A}{6\cdot \ell}$$

$$=\boxed{\phantom{0000}}\ (\mathrm{kgf/mm})$$

取付角度　　$\alpha=\boxed{\phantom{00}}$　$\beta=\boxed{\phantom{000}}$　$\theta=\boxed{\phantom{000}}$

せん断弾性係数　　$G=\frac{E}{2(1+\nu)}\ (\mathrm{kgf/mm^2})$

ポアソン比　　$\nu=\boxed{\phantom{00}}$（－）

縦弾性係数　　$E=\boxed{\phantom{000}}\ (\mathrm{kgf/mm^2})$

せん断断面積　　$A=\boxed{\phantom{000}}\ (\mathrm{mm^2})$（ガセット部）

せん断長さ　　$\ell=\boxed{\phantom{00}}\ (\mathrm{mm})$（ガセット部）

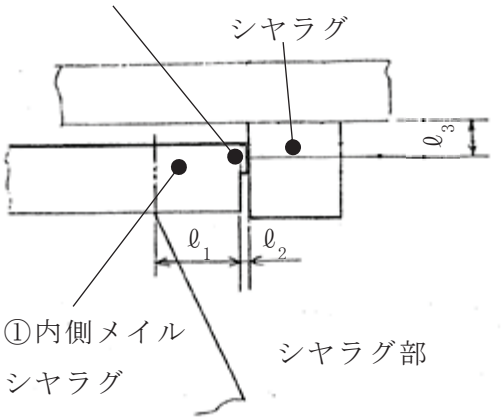

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

（d）内側シヤラグ部のばね定数　$K_S$

内側シヤラグ部１箇所あたりのばね定数を$K_o$とする。

②内側メイルシヤラグ

（機械加工部）③内側フィメイル




①のばね定数$k_1$は，

$$k_1=\frac{E\cdot A_1}{\ell_1}$$

②のばね定数$k_2$は，

$$k_2=\frac{E\cdot A_2}{\ell_2}$$

③のばね定数$k_3$は，

$$k_3=\frac{5\cdot A_3\cdot G}{6\cdot \ell_3}$$

内側シヤラグ部１箇所当たりのばね定数$K_o$は，

$$K_o=\frac{1}{\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\frac{1}{k_3}}$$

内側シヤラグ部全体のばね定数は，以下の式に基づき算定する。

$$K_S=\frac{F}{\delta}=\frac{4}{\frac{\ell_1}{E\cdot A_1}+\frac{\ell_2}{E\cdot A_2}+\frac{6\cdot \ell_3}{5\cdot A_3\cdot G}}$$

$=$ [　　] (kgf/mm)

内側メイルシヤラグの断面積　$A_1=$ [　　] ($mm^2$)

内側メイルシヤラグ（機械加工部）の断面積　$A_2=$ [　　] ($mm^2$)

内側フィメイルシヤラグのせん断断面積　$A_3=$ [　　] ($mm^2$)

せん断弾性係数　$G=\frac{E}{2(1+\nu)}$ ($kgf/mm^2$)

ポアソン比　$\nu=$ [　] (－)

縦弾性係数　$E=$ [　　] ($kgf/mm^2$)

各部の長さ　$\ell_1=$ [　　] (mm)　$\ell_2=$ [　] (mm)　$\ell_3=$ [　] (mm)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 原子炉圧力容器スタビライザ：$K_3$

a. 原子炉圧力容器スタビライザの構造

原子炉圧力容器スタビライザ（以下「RPV スタビライザ」という。）は，原子炉しゃへい壁頂部に円周状に 8 箇所設置され，原子炉圧力容器付属構造物であるスタビライザブラケットを，あらかじめ初期締付荷重を与えた 2 組の皿ばねを介して両側から挟み込む構造であり，原子炉圧力容器と原子炉しゃへい壁との水平方向地震荷重を伝達する。RPV スタビライザの構造概要を図 2-8 に示す。

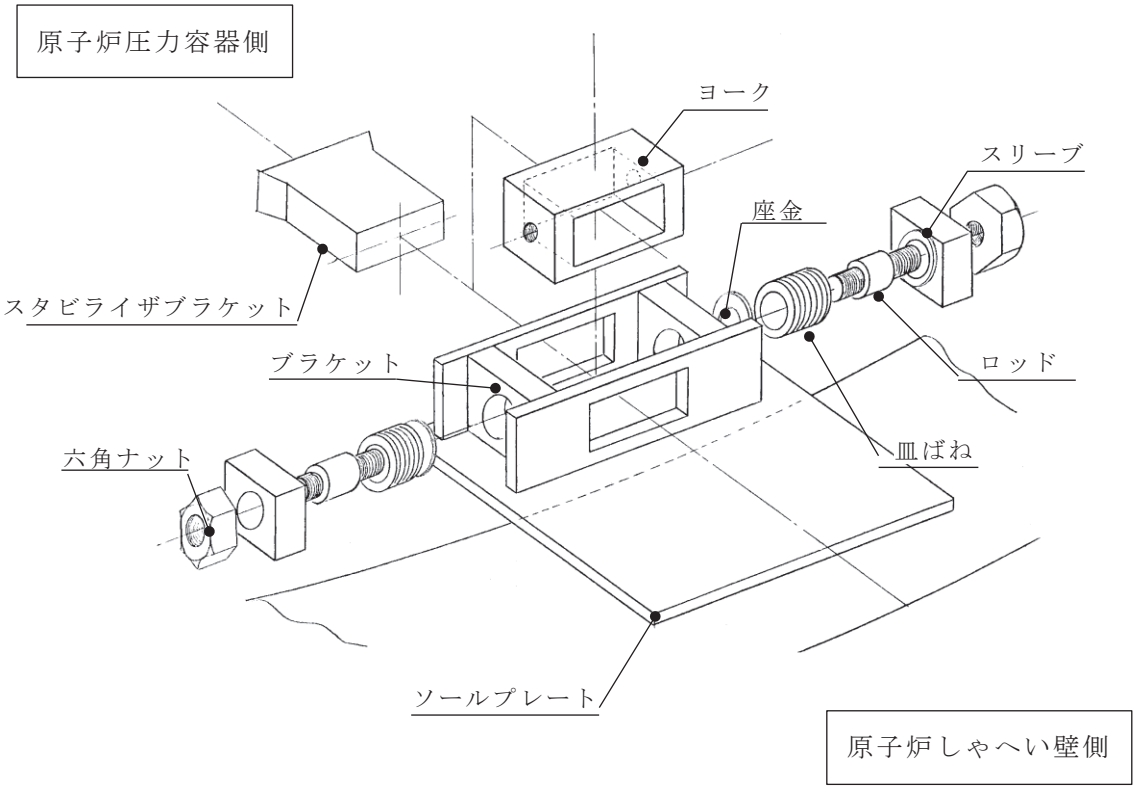



図 2-8　RPV スタビライザの構造概要

b. RPV スタビライザのばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

RPV スタビライザのばね定数$K_3$は，RPV スタビライザの構成部材のうち，スタビライザブラケットからの水平方向荷重に対して寄与する部材を対象とし，これらの構成要素のばね定数を並列及び直列に組み合わせて算定する。

図 2-9 に全体ばねの模式図を示す。

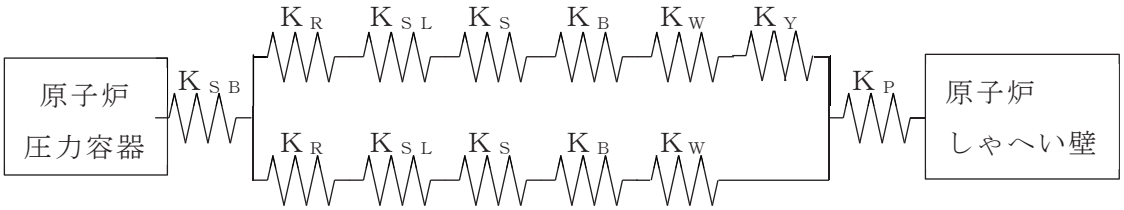



図 2-9　全体ばねの模式図

RPV スタビライザ１基当たりのばね定数をＫとすると，Ｋは次式により算定される。

$$K=\frac{1}{\frac{1}{K_{SB}}+\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{K_R}+\frac{1}{K_{SL}}+\frac{1}{K_S}+\frac{1}{K_B}+\frac{1}{K_W}+\frac{1}{K_Y}}+\frac{1}{\frac{1}{K_R}+\frac{1}{K_{SL}}+\frac{1}{K_S}+\frac{1}{K_B}+\frac{1}{K_W}}}+\frac{1}{K_P}}$$

RPV スタビライザ８基分の全体でのばね定数$K_3$は，１基当たりのばね定数Ｋから，荷重－変位の関係により算定する。図 2-10 に示すとおり，RPV スタビライザに強制変位ｘを負荷した場合に強制変位と同じ方向に生じる全体荷重Ｗを算出する。90°及び 270°の位置に設置された RPV スタビライザに生じる荷重を$W_1$，45°，135°，225°及び 315°の位置に設置された RPV スタビライザに生じる荷重を$W_2$’とし，荷重$W_2$’の強制変位ｘと同じ方向の分力を$W_2$とする。強制変位ｘを負荷したときの 45°，135°，225°及び 315°の位置に設置された RPV スタビライザに生じる接線方向の変位はｘ・$\cos\alpha$であることから，荷重$W_2$’は以下のとおりとなる。

$$W_2' = K \cdot x \cdot \cos\alpha$$

図 2-10 内の拡大図の関係から強制変位ｘと同じ方向の分力$W_2$は以下のとおりとなる。

$$W_2 = W_2' \cdot \cos\alpha = K \cdot x \cdot \cos^2\alpha$$

したがって，RPV スタビライザ８基（全体）のばね定数$K_5$は以下のとおりとなる。

$$W = 2 \cdot W_1 + 4 \cdot W_2 = 2 \cdot (K \cdot x) + 4 \cdot (K \cdot x \cdot \cos^2\alpha) = 4 \cdot K \cdot x$$

$$K_3 = \frac{W}{x} = 4 \cdot K$$

ここで，

$K_S$　：皿ばねのばね定数

$K_W$　：座金のばね定数

$K_{SL}$：スリーブのばね定数

$K_R$　：ロッドのばね定数

$K_Y$　：ヨークのばね定数

$K_{SB}$：スタビライザブラケットのばね定数

$K_B$　：ブラケットのばね定数

$K_P$　：ソールプレートのばね定数

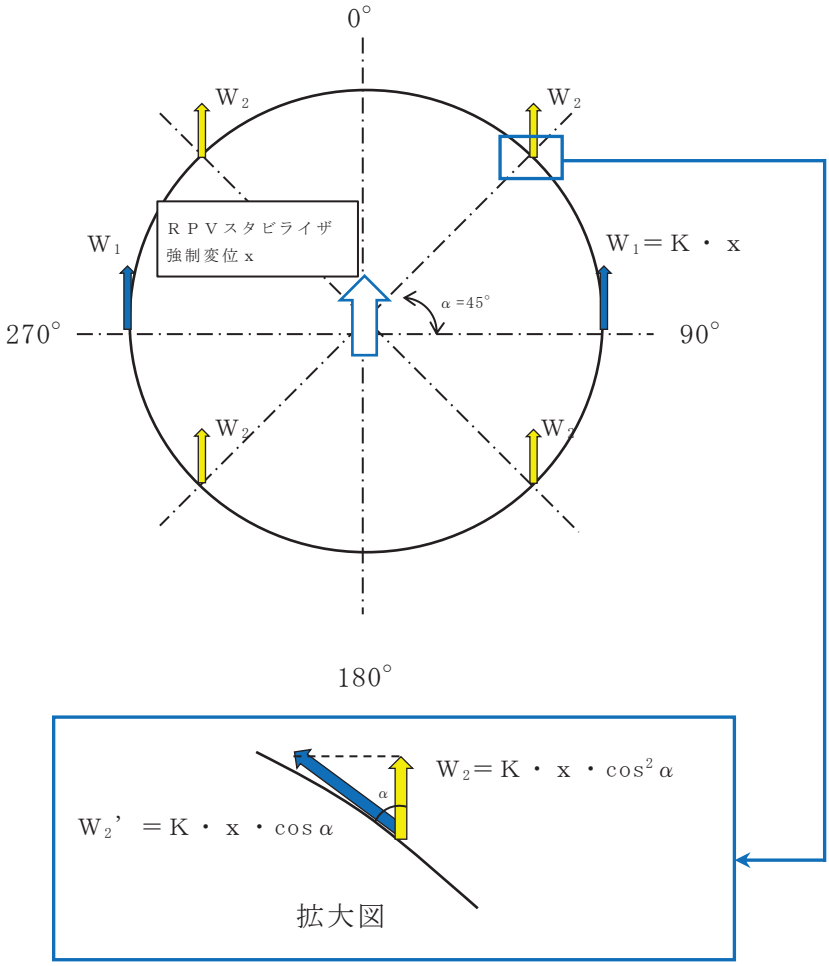



図 2-10　水平荷重の分配

(b)　評価部材のばね定数算定方法

イ．　皿ばね　$K_S$

皿ばねのばね定数は，以下の式に基づき算定する。

$$K_S = n \cdot K_{S1}$$

ここで，

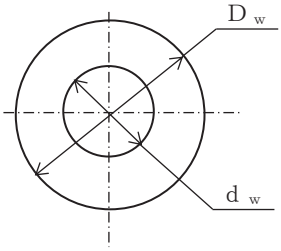
$K_{S1}$：1 枚当たりのばね定数＝［　　］(kgf/mm)

$n$　：皿ばねの積層枚数＝［　］(－)

ロ．　座金　$K_W$

座金の軸方向ばね定数は，以下の式に基づき算定する。

$$K_W = \frac{A_W \cdot E}{L_W}$$




ここで，

$A_W$　：断面積 $= \dfrac{\pi \cdot (D_W^2 - d_W^2)}{4}$ ＝［　　］(mm²)

$L_W$　：板厚（2 枚分）＝［　　］(mm)

$E$　　：縦弾性係数＝［　　］(kgf/mm²)

［単位：mm］

$D_w$ ＝

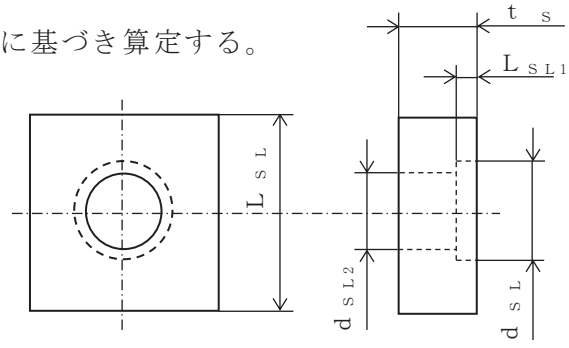
$d_w$ ＝

$t$ ＝　［　　］

ハ．　スリーブ　$K_{SL}$

スリーブのばね定数は，以下の式に基づき算定する。

$$K_{SL} = \frac{E}{\dfrac{L_{SL1}}{A_{SL1}} + \dfrac{L_{SL2}}{A_{SL2}}}$$




ここで，

$A_{SL1}$　：座繰り穴側の断面積

$= L_{SL3}^2 - \dfrac{\pi \cdot d_{SL1}^2}{4}$ ＝［　　］(mm²)

$A_{SL2}$　：ねじ穴側の断面積

$= L_{SL3}^2 - \dfrac{\pi \cdot d_{SL2}^2}{4}$ ＝［　　］(mm²)

$L_{SL2}$　：ねじ穴深さ＝$t_{SL} - L_{SL1}$＝［　］(mm)

$E$　　：縦弾性係数＝［　　］(kgf/mm²)

［単位：mm］

$L_{SL3}$ ＝

$d_{SL1}$ ＝

$d_{SL2}$ ＝

$t_{SL}$ ＝

$L_{SL1}$ ＝　［　　］

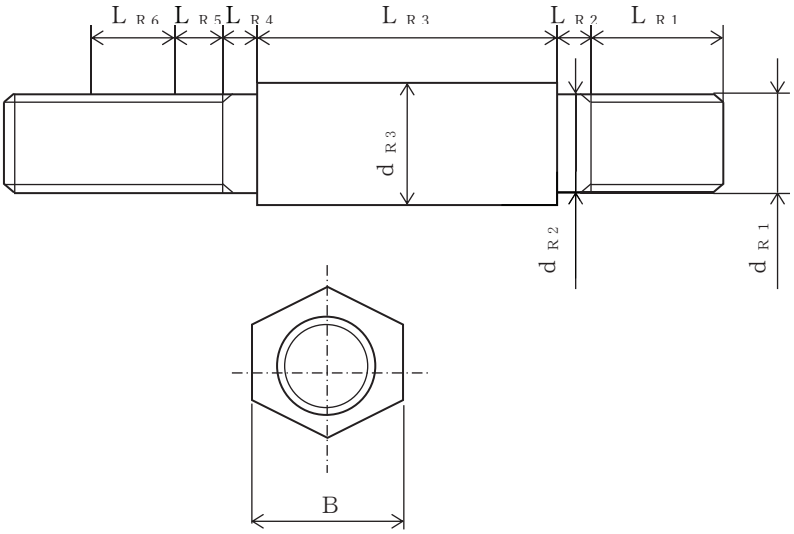


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ニ．　ロッド　$K_R$

ロッドのばね定数は，以下の式に基づき算定する。

［単位：mm］




$d_{R1}$＝
$d_{R2}$＝
$d_{R3}$＝
$L_{R1}$＝
$L_{R2}$＝
$L_{R3}$＝
$L_{R4}$＝
B　＝

$$K_R = \frac{E}{\frac{0.6 \cdot L_{R1}}{A_{R1}} + \frac{L_{R2}}{A_{R2}} + \frac{L_{R3}}{A_{R3}} + \frac{L_{R4}}{A_{R4}} + \frac{L_{R5}}{A_{R5}} + \frac{0.6 \cdot L_{R6}}{A_{R6}} + \frac{0.6 \cdot L_{R6}}{A_N}}$$

ここで，

$A_{R1}$，$A_{R5}$及び$A_{R6}$：ねじ部断面積

$$= \frac{\pi \cdot d_{R1}^{\,2}}{4} = \square \ (mm^2)$$

$A_{R2}$及び$A_{R4}$：非ねじ部断面積

$$= \frac{\pi \cdot d_{R2}^{\,2}}{4} = \square \ (mm^2)$$

$A_{R3}$：丸棒部断面積

$$= \frac{\pi \cdot d_{R3}^{\,2}}{4} = \square \ (mm^2)$$

$A_N$：ナットの断面積

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot B^2}{2} - \frac{\pi \cdot d_{R1}^{\,2}}{4} = \square \ (mm^2)$$

B　：ナットの２面幅寸法＝□ (mm)

$L_{R5}$：丸棒部先端からスリーブの六角ナット側端面の距離

＝□ (mm)

$L_{R6}$：ナット高さ＝□ (mm)

E　：縦弾性係数＝□ (kgf/mm²)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ホ．　ヨーク　$K_Y$

ヨークのばね定数は，以下の式に基づき算定する。

$$K_Y = \frac{1}{\frac{1}{K_{Y1}} + 2 \cdot \frac{1}{K_{Y2}}}$$

ここで，

① 及び②：図 2-11 に示すヨークのばね定数算定のための計算モデル分割による。

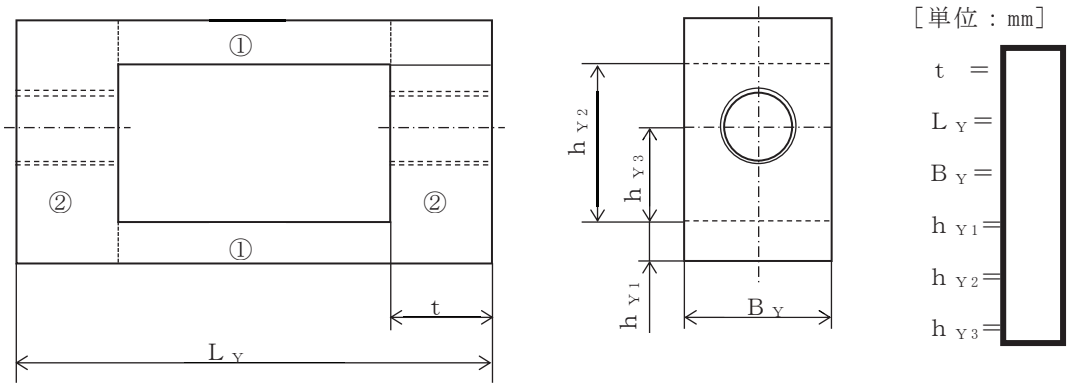



図 2-11　ヨークのばね定数算定のための計算モデル分割

$K_{Y1}$　：①のばね定数 $= \dfrac{2 \cdot A_1 \cdot E}{L_Y - 2 \cdot t}$ ＝［　　］(kgf/mm)

$A_1$　：①の断面積＝$h_{Y1} \cdot B_Y$＝［　　］($mm^2$)

E　：縦弾性係数＝［　　］($kgf/mm^2$)

$K_{Y2}$：②のばね定数

$$= \frac{E}{\frac{8 \cdot (h_{Y2} - h_{Y3})^2 \cdot h_{Y3}^3}{(h_{Y2} + 2 \cdot h_{Y3})^2 \cdot A_2 \cdot t^2} + \frac{k \cdot (h_{Y2} - h_{Y3}) \cdot (1 + \nu) \cdot h_{Y3}}{B_Y \cdot t \cdot h_{Y2}}}$$

＝［　　］(kgf/mm)

$A_2$　：②の断面積＝$t \cdot B_Y$＝［　　］($mm^2$)

k　：［1］に定める係数＝［　　］(－)

$\nu$　：ポアソン比＝［　　］(－)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

へ．　ブラケット　$K_B$

ブラケットのばね定数は，以下の式に基づき算定する。

$$K_B = \frac{1}{\frac{1}{K_{B1}} + \frac{1}{K_{B2}}}$$

ここで，

① 及び②：図 2-12 に示すブラケットのばね定数算定のため，スタビライザ中央で対称境界とした計算モデル分割による。

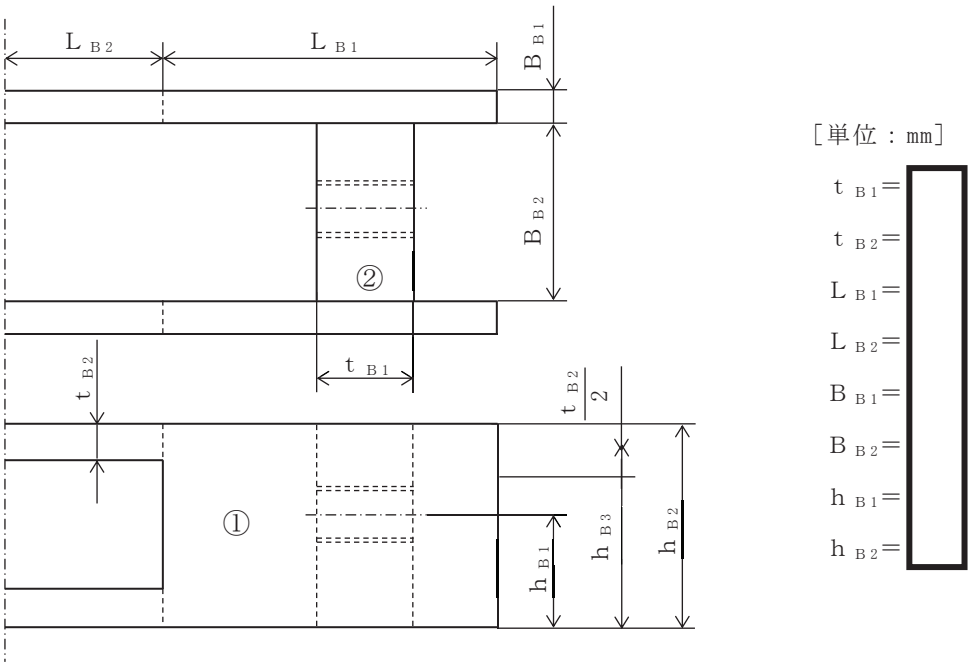



図 2-12　ブラケットのばね定数算定のための計算モデル分割

$K_{B1}$：①のばね定数

$$= \frac{1}{\frac{h_{B1}^2}{6 \cdot E \cdot I}\{2 \cdot h_{B1} - \varepsilon \cdot (3 \cdot h_{B3} - h_{B1})\} + \frac{2 \cdot (1+\nu) \cdot k \cdot h_{B1}}{A_1 \cdot E} \cdot (1-\varepsilon)}$$

I　：断面二次モーメント＝［　　］($mm^4$)

k　：係数＝［　］(－)

E　：縦弾性係数＝［　　］($kgf/mm^2$)

$\nu$　：ポアソン比＝［　］(－)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

なお，以下の各記号は図 2-13 に示す①のばね定数計算モデルによる。

$\varepsilon$ ：Q点における荷重$W_Q$とP点における荷重$W_P$の比

$$= \frac{W_Q}{W_P} = \frac{\dfrac{h_{B1}^2}{6 \cdot I} \cdot (3 \cdot h_{B3} - h_{B1}) + \dfrac{2 \cdot (1+\nu) \cdot k \cdot h_{B1}}{A_1}}{\dfrac{h_{B3}^3}{3 \cdot I} + \dfrac{2 \cdot (1+\nu) \cdot k \cdot h_{B3}}{A_1} + \dfrac{L_{B2}}{A_2}} = \square \ (-)$$

$A_1$ ：①の断面積＝$2 \cdot B_{B1} \cdot L_{B1}$＝□ $(mm^2)$

$A_2$ ：②の断面積＝$2 \cdot B_{B1} \cdot t_{B2}$＝□ $(mm^2)$

$h_{B3}$：支持端からQ点までの距離＝□ $(mm)$

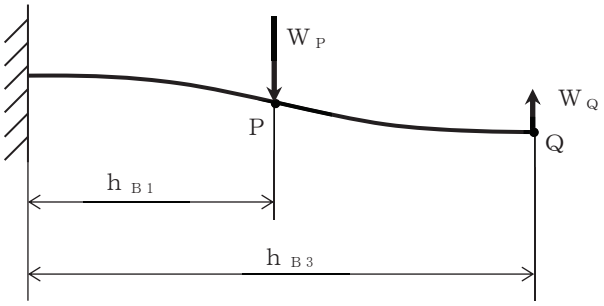



図 2-13　①のばね定数計算モデル

$$K_{B2} \ ：②のばね定数 = \frac{E \cdot t_{B1} \cdot h_{B2}}{\dfrac{B_{B2}^3}{16 \cdot t_{B1}^2} + \dfrac{(1+\nu) \cdot B_{B2}}{2}}$$

なお，図 2-14 に②のばね定数計算モデルを示す。

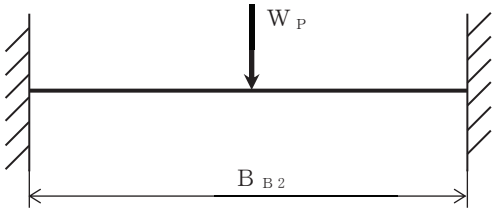



図 2-14　②のばね定数計算モデル

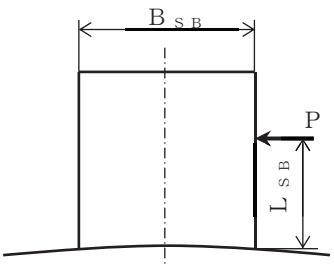


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ト．　スタビライザブラケット　$K_{SB}$

スタビライザブラケットのばね定数は，以下の式[1]に基づき算定する。

$$K_{SB}=\frac{A\cdot E}{2\cdot L_{SB}\cdot\{2\cdot(\frac{L_{SB}}{B_{SB}})^2+k\cdot(1+\nu)\}}$$




ここで，

$A$　：断面積＝$t_{SB}\cdot B_{SB}$＝[　　]　($mm^2$)

$k$　：係数＝[　]　(－)

$E$　：縦弾性係数＝[　　]　($kgf/mm^2$)

$\nu$　：ポアソン比＝[　]　(－)

［単位：mm］

$L_{SB}$＝

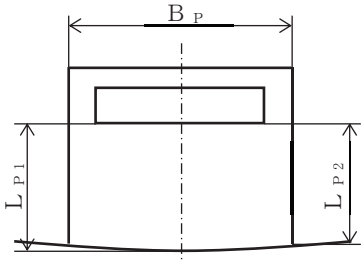
$t_{SB}$＝

$B_{SB}$＝

チ．　ソールプレート　$K_P$

ソールプレートのばね定数は，以下の式[1]に基づき算定する。

$$K_P=\frac{A_P\cdot E}{k\cdot 2\cdot(1+\nu)\cdot L_P}$$




ここで，

$A_P$：断面積＝$B_P\cdot t_P$＝[　　]　($mm^2$)

$L_P$：原子炉しゃへい壁からの距離

＝($L_{P1}$＋$L_{P2}$)／2＝[　　]　(mm)

$k$　：係数＝[　]　(－)

$E$　：縦弾性係数＝[　　]　($kgf/mm^2$)

$\nu$　：ポアソン比＝[　]　(－)

［単位：mm］

$t_P$ ＝

$L_{P1}$＝

$L_{P2}$＝

$B_P$ ＝



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c.　RPV スタビライザのばね定数算定結果

以上より算定した構成部材，RPV スタビライザ 1 基及び全体のばね定数の算定結果を表 2-2 に示す。

表 2-2　RPV スタビライザのばね定数

| | 記号 | ばね定数 |
|---|---|---|
| 皿ばねのばね定数 | $K_S$ | |
| 座金のばね定数 | $K_W$ | |
| スリーブのばね定数 | $K_{SL}$ | |
| ロッドのばね定数 | $K_R$ | |
| ヨークのばね定数 | $K_Y$ | |
| スタビライザブラケットのばね定数 | $K_{SB}$ | |
| ブラケットのばね定数 | $K_B$ | |
| ソールプレートのばね定数 | $K_P$ | |
| RPV スタビライザ 1 基分のばね定数 | K | |
| RPV スタビライザ全体のばね定数 | $K_3$ | |

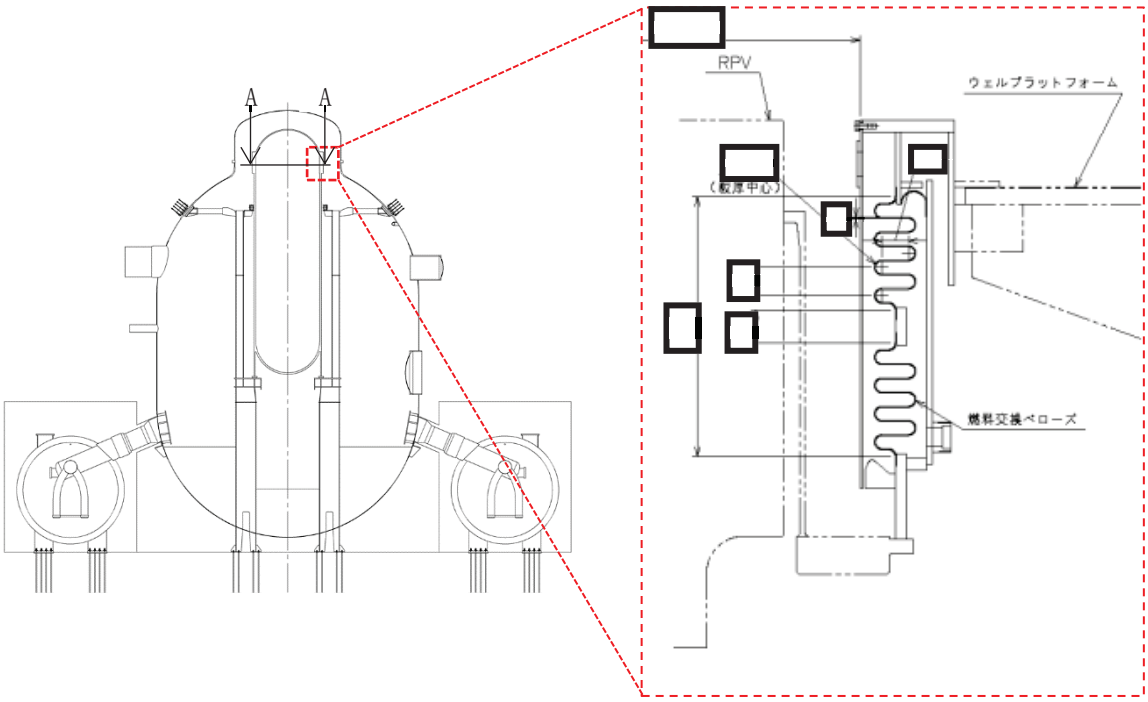


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

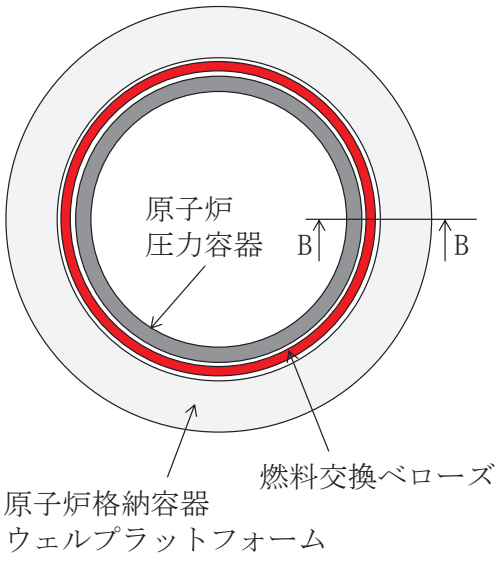
(4) 燃料交換ベローズ：$K_4$

a. 燃料交換ベローズの構造

燃料交換ベローズは，燃料取替時にウェルプラットフォーム上部へ水張りを行う際に，原子炉圧力容器と原子炉格納容器の間を接続するためのステンレス製の構造物であり，運転時の原子炉圧力容器と原子炉格納容器との熱移動量を吸収できるよう蛇腹構造としている。燃料交換ベローズの構造概要を図 2-15 に示す。




B-B 断面




A-A 矢視

図 2-15　燃料交換ベローズの構造概要



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b.　燃料交換ベローズのばね定数算定方法

燃料交換ベローズのばね定数$K_4$は，文献から導出される計算式の組合せで算定する。

(a)　1山当たりの鉛直方向ばね定数[3]：$K_V$

$$K_V = \frac{E \cdot \pi \cdot D_m \cdot t^3}{24 \cdot \left\{ \frac{a^3}{12} + \frac{\pi}{4} \cdot a^2 \cdot r + 2 \cdot a \cdot r^2 + \frac{\pi}{2} \cdot r^3 \right\}}$$

(b)　水平方向変位 1mm（単位長さ）に対する鉛直方向変位[4]：$\delta_y$

$$\delta_y = \frac{3 \cdot D_m}{N \cdot \left\{ L + \ell \cdot \left( \frac{\ell}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c)　径方向ばね定数[5]：$K_4$

$$K_4 = \frac{K_V \cdot D_m \cdot \delta_y}{2 \cdot L}$$

ここで，

$E$　：縦弾性係数＝[redacted] (kgf/mm$^2$)
$D_m$：平均径　＝[redacted] (mm)
$L$　：長さ　＝[redacted] (mm)
$t$　：板厚　＝[redacted] (mm)
$a$　：円板部の厚さ　＝[redacted] (mm)
$r$　：山・谷の半径　＝[redacted] (mm)
$\ell$　：中間長さ　＝[redacted] (mm)
$N$　：山の個数　＝[redacted] (−)

c.　燃料交換ベローズのばね定数算定結果

燃料交換ベローズのばね定数の算定結果を表 2-3 に示す。

表 2-3　燃料交換ベローズのばね定数

| 部位 | 記号 | ばね定数 |
|---|---|---|
| 燃料交換ベローズ | $K_4$ | [redacted] |

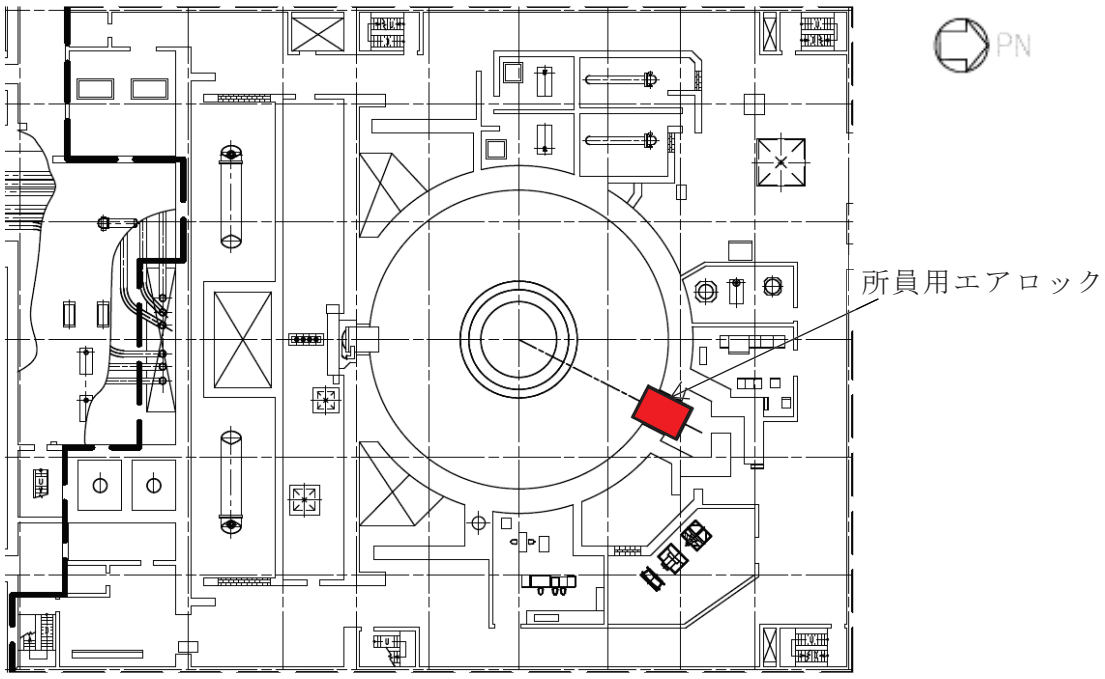

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

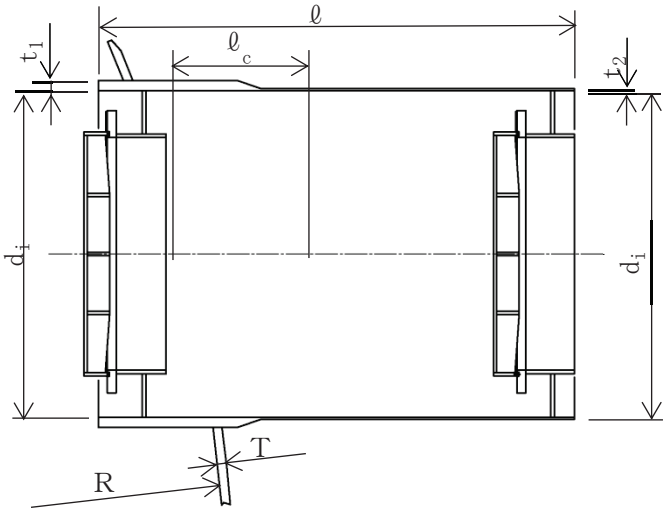
(5) 所員用エアロック：$K_5$

a. 所員用エアロックの構造

所員用エアロックは，ドライウェル球形部に設置される円筒形の構造物である。

所員用エアロックの位置及び構造概要を図 2-16 に示す。




R = (mm)
T = (mm)
$d_i$ = (mm)
$t_1$ = (mm)
$t_2$ = (mm)
$\ell_c$ = (mm)

$\ell_c$：所員用エアロック中心高さにおけるドライウェル内面から所員用エアロック重心までの距離

図 2-16　所員用エアロックの位置及び構造概要



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b．所員用エアロックのばね定数算定方法

（a）ばね定数算定方法

所員用エアロックのばね定数$K_5$は，所員用エアロック取付部のばね定数$K_S$と，所員用エアロック自体の変位に伴うばね定数$K_L$を用い，以下の式により求められる。なお，図 2-16 に示すとおり，所員用エアロックは NS 方向に対して角度をつけて設置されているが，地震応答解析モデル上は，軸方向を NS 方向，軸直角方向を EW 方向として扱うものとする。

$$K_5=\frac{1}{\frac{1}{K_S}+\frac{1}{K_L}}$$

| 所員用エアロック軸方向（NS 方向）のばね定数$K_5$ | 所員用エアロック軸直角方向（EW 方向）のばね定数$K_5$ |
|---|---|
| $K_5=\frac{1}{\frac{1}{K_{S1}}+\frac{1}{K_{L1}}}$<br>$=$ [ ]<br>$=$ [ ] (kgf/mm)<br>$=$ [ ] (N/mm) | $K_5=\frac{1}{\frac{1}{K_{S2}}+\frac{1}{K_{L2}}}$<br>$=$ [ ]<br>$=$ [ ] (kgf/mm)<br>$=$ [ ] (N/mm) |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 所員用エアロック取付部のドライウェル変位に伴うばね定数$K_S$

所員用エアロック取付部のドライウェル変位に伴うばね定数は，文献［6］により単位荷重による変位量を算出し求める。

| 軸方向のばね定数$K_{S1}$ | 軸直角方向のばね定数$K_{S2}$ |
|---|---|
| $K_{S1}=\left(\frac{\delta_1}{P}\right)^{-1}$<br>$=$ [　　] (kgf/mm) | $K_{S2}=\left(\frac{\delta_2}{M}\right)^{-1}\cdot\frac{(d_i/2+t_1)}{\ell_c^{\,2}}$<br>$=$ [　　] (kgf/mm) |

ここで，

P　：軸力　(kgf)

M　：モーメント　(kgf・mm)

E　：縦弾性係数 [　　] ($kgf/mm^2$)

$\delta_n$　：変位（n=1, 2）　(mm)

(c) 所員用エアロック自体の変位に伴うばね定数$K_L$

| 軸方向のばね定数$K_{L1}$ | 軸直角方向のばね定数$K_{L2}$ |
|---|---|
| 断面積<br>$A=\pi\cdot\frac{(d_i+2\cdot t_2)^2-d_i^2}{4}$<br>所員用エアロック自体の変位に伴うばね定数<br>$K_{L1}=\frac{A\cdot E}{\ell_c}$<br>$=$ [　　]<br>$=$ [　　] (kgf/mm) | 断面二次モーメント<br>$I=\pi\cdot\frac{(d_i+2\cdot t_2)^4-d_i^4}{64}$<br>所員用エアロック自体のたわみによるばね定数<br>$K_{L2}=\frac{3\cdot E\cdot I}{\ell_c^{\,3}}$<br>$=$ [　　]<br>$=$ [　　] (kgf/mm) |

ここで，

E　：縦弾性係数 [　　] ($kgf/mm^2$)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(6) ベント管：$K_6$

a. ベント管の構造

ベント管は，ドライウェル下鏡とサプレッションチェンバとの間に 8 個設置される円筒形の構造物である。ベント管の構造概要を図 2-17 に示す。

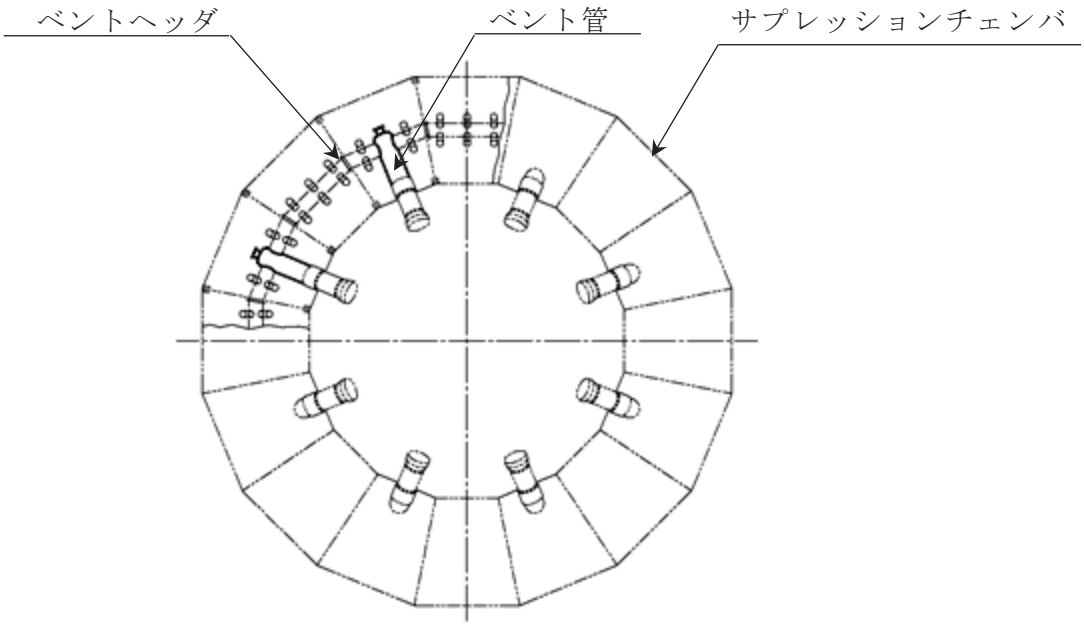



図 2-17　ベント管の構造概要

b. ベント管のばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

ベント管は，ドライウェル周方向に 45° ピッチで 8 個配置されていることより，任意の方向の荷重に対して有効なベント管個数は 4 個である。

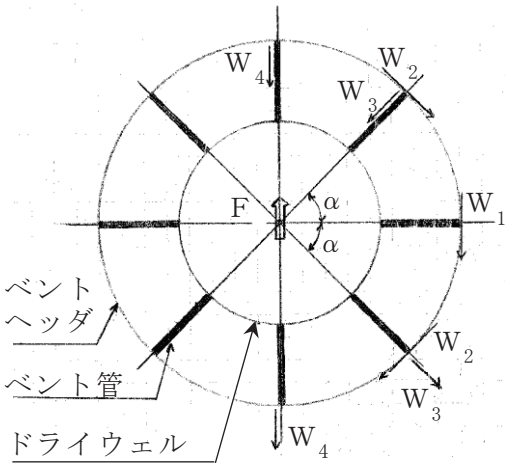
$$F = 2W_1 + 4\left(W_2 \cdot \cos\alpha + W_3 \cdot \sin\alpha\right) + 2W_4$$

$$W_2 = W_1 \cdot \cos\alpha$$

$$W_3 = W_4 \cdot \sin\alpha$$

$$F = 2W_1 \cdot \left(1 + 2\cos^2\alpha\right) + 2W_4\left(1 + 2\sin^2\alpha\right)$$

$$= 4\left(W_1 + W_4\right)$$



よって，ベント管全体のばね定数$K_6$は，ベント管１個あたりのばね定数を用い，以下の式により求められる。

$K_6=4\cdot(K_L+K_A)$

$=4\times($ [　　] $)$

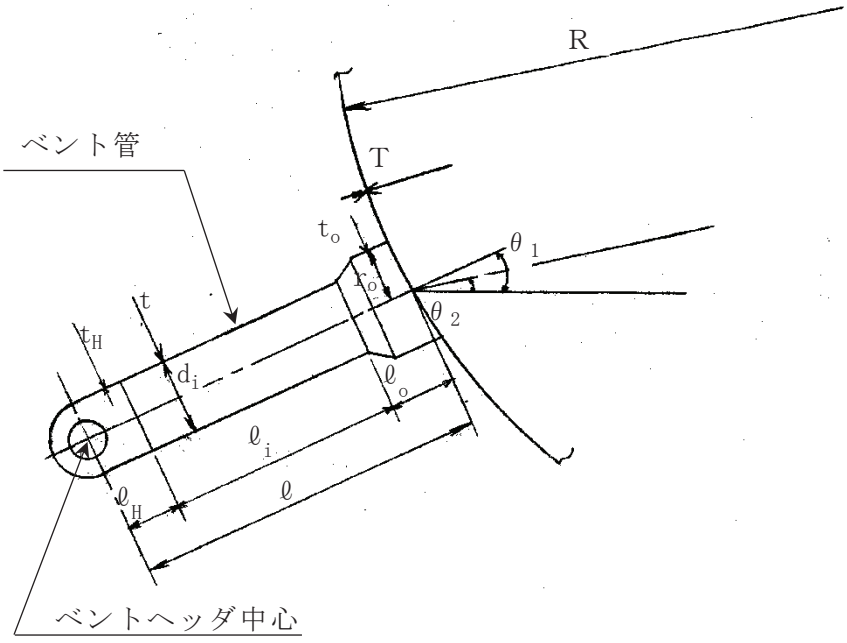
$=$ [　　] (kgf/mm)

$=$ [　　] (N/mm)

ここで，

$K_L$ ：接線方向のばね定数（kgf/mm）

$K_A$ ：軸方向のばね定数（kgf/mm）




| | | |
|---|---|---|
| R = | | (mm) |
| T = | | (mm) |
| $d_i$ = | | (mm) |
| t = | | (mm) |
| $t_H$ = | | (mm) |
| $t_o$ = | | (mm) |
| $\ell$ = | | (mm) |
| $\ell_H$ = | | (mm) |
| $\ell_o$ = | | (mm) |
| $r_o$ = | | (mm) |
| $\theta_1$ = | | (°) |
| $\theta_2$ = | | (°) |

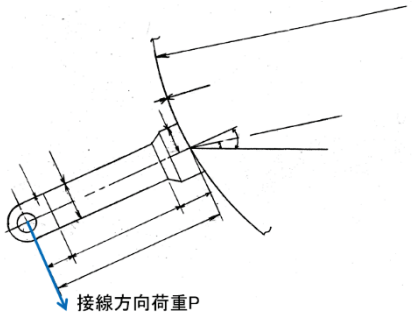


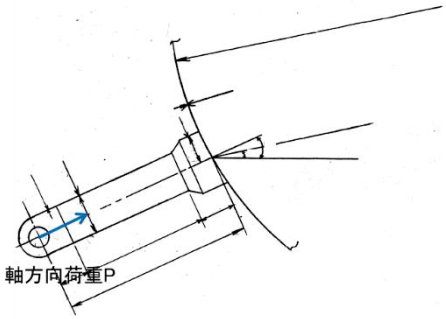
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

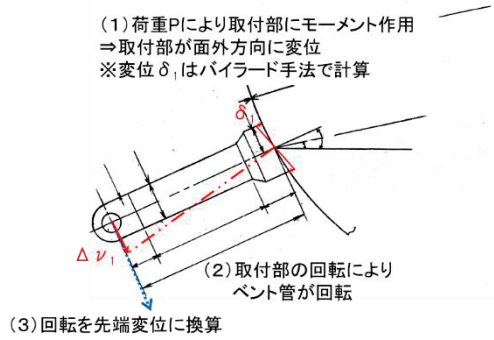
(b) 各方向のばね定数算定方法

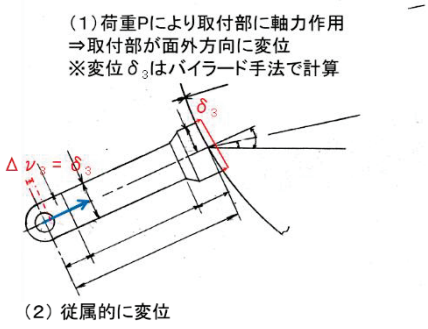
接線方向，軸方向とも，荷重 P = [　　] (kgf)を仮定する。

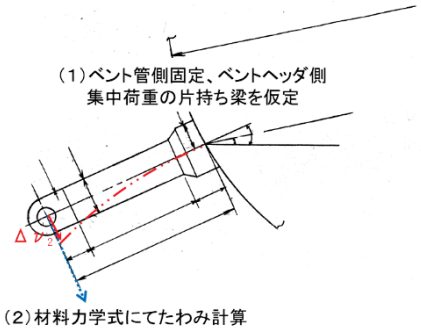
| 接線方向のばね定数 $K_L$ | 軸方向のばね定数 $K_A$ |
|---|---|
| $K_L = \dfrac{P}{\Delta\nu_1 + \Delta\nu_2}$<br>$= \dfrac{[\quad]}{[\quad]}$<br>$= [\quad]$ (kgf/mm)<br>ここで，<br>P　：接線方向に作用する荷重（荷重作用点はベントヘッダ中心）<br>$\Delta\nu_1$　：ベント管取付部の回転に伴う変位<br>$\Delta\nu_2$　：ベント管自体のたわみによる変位 | $K_A = \dfrac{P}{\Delta\nu_3 + \Delta\nu_4}$<br>$= \dfrac{[\quad]}{[\quad]}$<br>$= [\quad]$ (kgf/mm)<br>ここで，<br>P　：軸方向に作用する荷重（荷重作用点はベントヘッダ中心）<br>$\Delta\nu_3$　：ベント管取付部の軸方向変位<br>$\Delta\nu_4$　：ベント管自体の軸方向変位 |

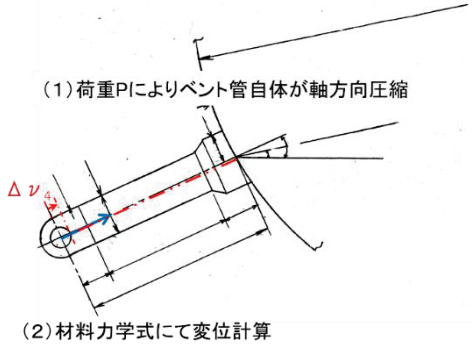





枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) ベント管取付部のドライウェル変位及びベント管自体の変位

ベント管取付部のドライウェル変位及びベント管自体の変位は，文献［6］により単位荷重による変位量を求める。

| 軸直角方向の変位 $\delta_1$ | 軸方向の変位 $\delta_3$ |
|---|---|
| $\delta_1=$ [ ] (mm) | $\delta_3=$ [ ] (mm) |

ここで，

E ：縦弾性係数 [ ] ($kgf/mm^2$)

$\delta_n$ ：変位（n=1, 3） (mm)

| 接線方向の変位 $\Delta\nu_1$, $\Delta\nu_2$ | 軸方向の変位 $\Delta\nu_3$, $\Delta\nu_4$ |
|---|---|
| ベント管取付部の回転角<br>$\Delta\theta_1=\tan^{-1}\dfrac{\lvert\delta_1\rvert}{r_o+t_o/2}$<br>ベント管取付部の回転に伴う荷重作用点の変位<br>$\Delta\nu_1=\ell\cdot\Delta\theta_1$<br>=[ ]<br>=[ ] (mm) | ベント管取付部の変位<br>$\Delta\nu_3=\lvert\delta_3\rvert=$ [ ] (mm) |
| 断面二次モーメント<br>$I=\pi\cdot\dfrac{(d_i+2\cdot t)^4-d_i^4}{64}$<br>ベント管自体のたわみによる変位<br>$\Delta\nu_2=\dfrac{P\cdot\ell^3}{3\cdot E\cdot I}$<br>=[ ]<br>=[ ] (mm) | ベント管各部の断面積<br>$A_H, A_o, A_i$<br>ベント管自体の変位<br>$\Delta\nu_4=\dfrac{P\cdot\ell_H}{A_H\cdot E}+\dfrac{P\cdot\ell_o}{A_o\cdot E}+\dfrac{P\cdot\ell_i}{A_i\cdot E}$<br>=[ ]<br>=[ ] (mm) |

ここで，

$A_H$ ：厚さ $t_H=$ [ ] におけるベント管の断面積 ($mm^2$)

$A_o$ ：厚さ $t_o=$ [ ] におけるベント管の断面積 ($mm^2$)

$A_i$ ：厚さ $t=$ [ ] におけるベント管の断面積 ($mm^2$)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.4.2　炉内構造物系地震応答解析モデル

炉内構造物系地震応答解析モデルに用いているばね定数の数値一覧を表 2-4 に，ばね定数の算定方法の詳細を以下に示す。なお，原子炉格納容器スタビライザ及び原子炉圧力容器スタビライザのばね定数は大型機器系地震応答解析モデルと同じであるため，ばね定数の算定方法は 2.1.4.1 の大型機器系地震応答解析モデルを参照する。

表 2-4　炉内構造物系地震応答解析モデルのばね定数

| No. | 名称 | ばね定数 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | NS 方向 | EW 方向 | 単位 |
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ | | | (N/mm) |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ | | | (N/mm) |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム | | | (N/mm) |
| $K_4$ | シュラウドサポート | | | (N･mm/rad) |
| $K_5$ | 上部サポート | | | (N/mm) |
| $K_6$ | 下部スタビライザ | | | (N/mm) |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド | | | (N･mm/rad) |

(1) 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム：$K_3$

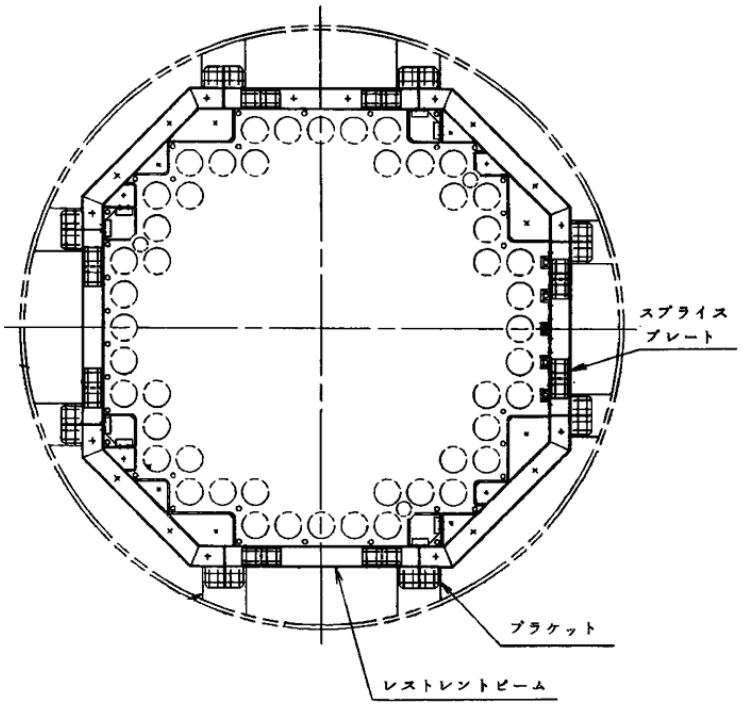
a. 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームの構造

制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム（以下「CRDH レストレントビーム」という。）は，原子炉本体の基礎に対し，ブラケットを介して設置され，ブラケットは原子炉本体の基礎に溶接接続された構造物である。構成部材としては CRDH レストレントビーム，ブラケット，スプライスプレートからなる。

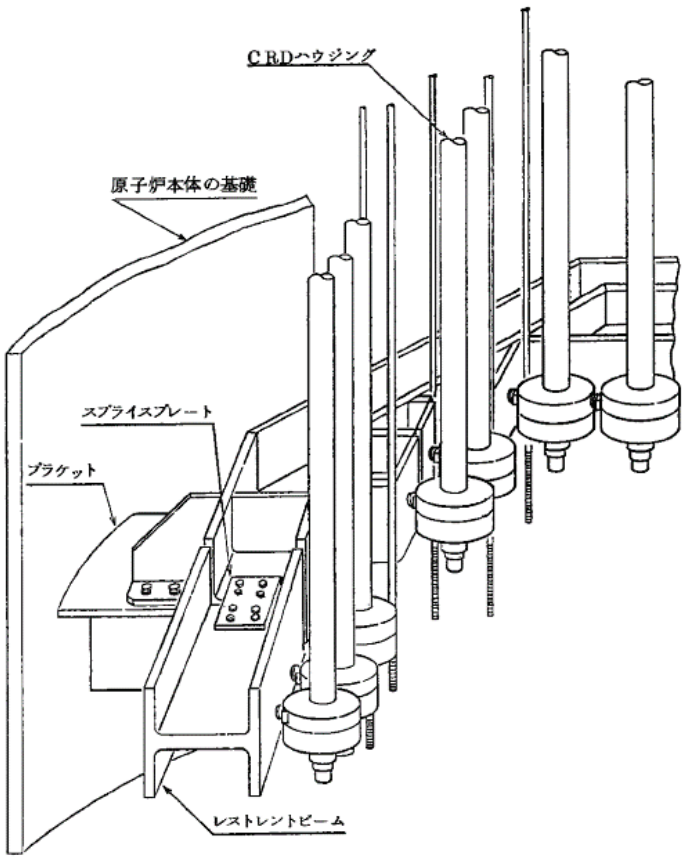
CRDH レストレントビームは，制御棒駆動機構ハウジングの水平方向地震荷重を受けるが，CRDH レストレントビームは制御棒駆動機構ハウジングを接触のみで支持しているため，圧縮方向の荷重は伝達するが引張方向の荷重は伝達しない構造である。制御棒駆動機構ハウジングは，CRDH レストレントビームに囲まれており，一体で動くと考えられることから，1 本に集約してモデル化している。なお，制御棒駆動機構ハウジングの一次固有周期が 0.05s 以下であることから，最大の応答が生じるように最長の制御棒駆動機構ハウジング（最外周に設置されるもの）の長さを解析モデルに採用している。

CRDH レストレントビームの構造概要を図 2-18 に示す。また，各部材の断面寸法形状を図 2-19 に示す。


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

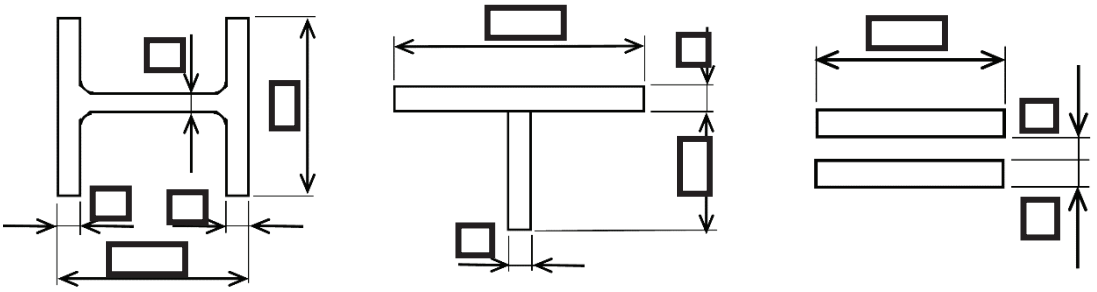



(a) 構造概要




(b) 概略形状

図 2-18　CRDH レストレントビームの構造概要



(a)レストレントビーム　　(b)ブラケット　　(c)スプライスプレート

図 2-19　各部材の断面寸法

b.CRDH レストレントビームのばね定数算定方法

CRDH レストレントビームのばね定数$K_3$は，FEM 解析により算定する。具体的には，制御棒駆動機構ハウジングの列ごとに設定した水平荷重を静的に付加した際の 13 列の平均変位量を全水平荷重で除することにより算定する。

c.計算方法

計算機コード「ＳＡＰ－Ｖ」により，各部材に断面積,断面二次モーメント，重量等を与えるビーム要素モデルで解析する。

d.計算条件

（ａ）解析モデル

CRDH レストレントビームの解析モデルを図 2-20 に示す。

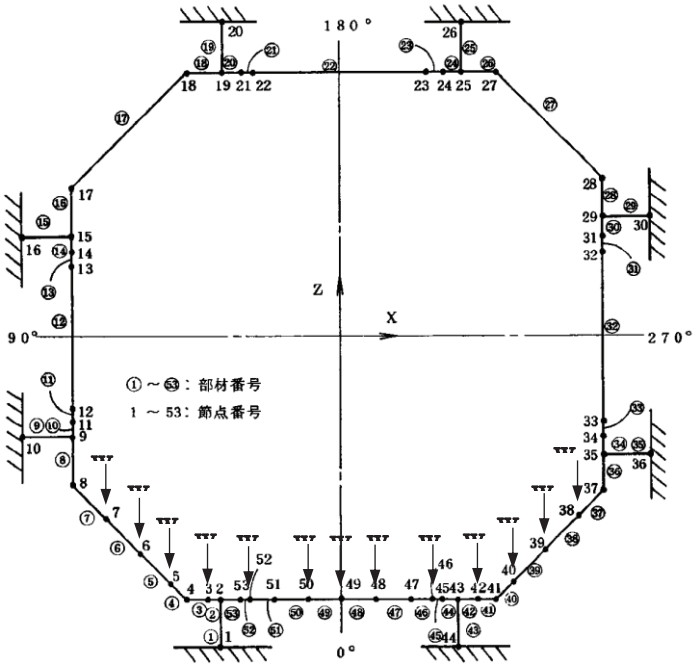



図 2-20　CRDH レストレントビーム解析モデル



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

（ｂ）各構成部材の材料物性

解析に用いる材料物性を以下に示す。

縦弾性係数　Ｅ＝[　　](kgf/mm$^2$)

ポアソン比　$\nu$＝[　]

（ｃ）荷重条件

CRDH レストレントビームに作用する全ての水平荷重Ｗを，制御棒駆動機構ハウジングの列ごとの本数に応じて分配した荷重Ｗｉを付加する。荷重の分配は以下に示すとおりである。

ＣＲＤ13 本：$W_1$＝[　] (kgf)

ＣＲＤ11 本：$W_2$＝[　] (kgf)

ＣＲＤ 9 本：$W_3$＝[　] (kgf)

ＣＲＤ 5 本：$W_4$＝[　] (kgf)

（ｄ）境界条件

ブラケット端部は原子炉本体の基礎に溶接されていることから境界条件は固定とする。

ｅ.CRDH レストレントビームのばね定数算定結果

ばね定数は次式にて算定し，その算定結果を表 2-5 に示す。

$$K_3 = \frac{W}{\delta}$$

表 2-5　CRDH レストレントビームのばね定数

| 全水平荷重　Ｗ(kgf) | 平均変位量　δ(mm) | ばね定数　$K_3$ |
|---|---|---|
| | | (kgf/mm) |
| | | (N/mm) |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) シュラウドサポート（回転ばね）：$K_4$

a. シュラウドサポートの構造

シュラウドサポートは，シュラウドサポートシリンダ，シュラウドサポートプレート及びシュラウドサポートレグからなる溶接構造物である。シュラウドサポートレグ下端及びシュラウドサポートプレート外周が原子炉圧力容器に溶接されており，シュラウドサポートシリンダを介して炉心シュラウドを支持する。

シュラウドサポートの構造概要を図 2-21 に示す。

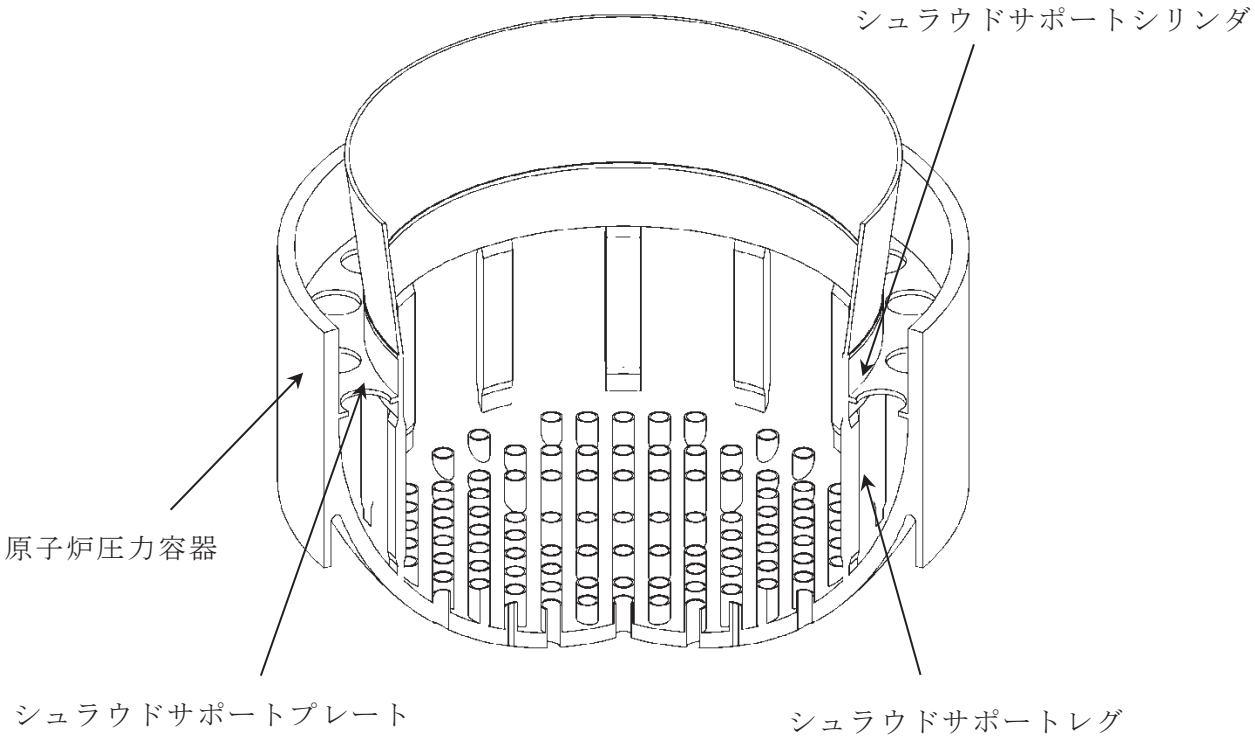



図 2-21　シュラウドサポートの構造概要

b. シュラウドサポートのばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

シュラウドサポート全体でのばね定数$K_4$は，シュラウドサポートシリンダ，シュラウドサポートレグ及びシュラウドサポートプレートの回転ばね定数を算出し，以下のとおり組み合わせて算定する。図 2-22 にばね全体の模式図を示す。

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{K_{MA1}} + \frac{1}{K_{MA2}}} + K_{MB}$$

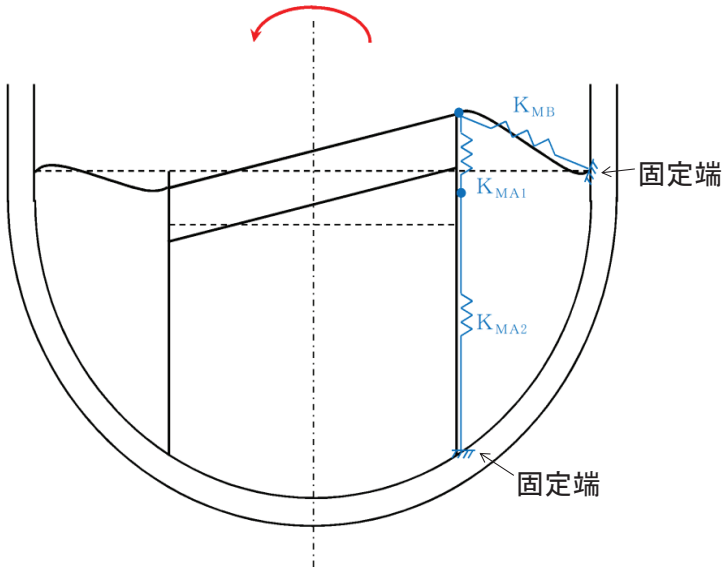



図 2-22　ばね全体の模式図

ここで，

$K_{MA1}$　：シュラウドサポートシリンダのばね定数

$K_{MA2}$　：シュラウドサポートレグのばね定数

$K_{MB}$　：シュラウドサポートプレートのばね定数

(b) 構成部材のばね定数算定方法

イ．　シュラウドサポートシリンダ　$K_{MA1}$

シュラウドサポートシリンダのばね定数$K_{MA1}$は，以下の式に基づき算定する。

$$K_{MA1} = \frac{R_m^2 \cdot A_1 \cdot E}{2L_1}$$

ロ．　シュラウドサポートレグ　$K_{MA2}$

シュラウドサポートレグのばね定数$K_{MA2}$は，以下の式に基づき算定する。

$$K_{MA2}=\frac{1}{\dfrac{1}{\dfrac{R_m^2\cdot A_2\cdot E}{2L_2}}+\dfrac{1}{\dfrac{R_m^2\cdot A_3\cdot E}{2L_3}}+\dfrac{1}{\dfrac{R_m^2\cdot A_4\cdot E}{2L_4}}+\dfrac{1}{\dfrac{R_m^2\cdot A_5\cdot E}{2L_5}}}$$

ハ．　シュラウドサポートプレート　$K_{MB}$

シュラウドサポートプレートのばね定数$K_{MB}$は，以下の式[7]に基づき算定する。

$$K_{MB}=\alpha_2\cdot E\cdot t_5^3$$

ここで，以下の各記号は図 2-23 に示す原子炉圧力容器断面図による。

$R_m$：$=\frac{1}{2}(D_i-t_1)=$ [redacted] (m)

$A_1$　：シュラウドサポートシリンダ断面積

$A_1=\pi\cdot t_1\cdot(D_i-t_1)$　$=$ [redacted] ($m^2$)

$A_2$～$A_5$　：シュラウドサポートレグ断面積

$A_2=N\cdot B\cdot(t_2+t_3)/2=$ [redacted] ($m^2$)

$A_3=N\cdot B\cdot t_3=$ [redacted] ($m^2$)

$A_4=N\cdot B\cdot(t_3+t_4)/2=$ [redacted] ($m^2$)

$A_5=N\cdot B\cdot t_4=$ [redacted] ($m^2$)

$L_1$　：シュラウドサポートシリンダ長さ＝ [redacted] (m)

$L_2$　：シュラウドサポートレグ長さ　＝ [redacted] (m)

$L_3$　：シュラウドサポートレグ長さ　＝ [redacted] (m)

$L_4$　：シュラウドサポートレグ長さ　＝ [redacted] (m)

$L_5$　：シュラウドサポートレグ長さ　＝ [redacted] (m)

$t_1$　：シュラウドサポートシリンダ厚さ＝ [redacted] (m)

$t_2$　：シュラウドサポートレグ厚さ　＝ [redacted] (m)

$t_3$　：シュラウドサポートレグ厚さ　＝ [redacted] (m)

$t_4$　：シュラウドサポートレグ厚さ　＝ [redacted] (m)

$t_5$　：シュラウドサポートプレート厚さ＝ [redacted] (m)

$D_i$　：シュラウドサポートシリンダ外径＝ [redacted] (m)

B　：シュラウドサポートレグ幅　＝ [redacted] (m)

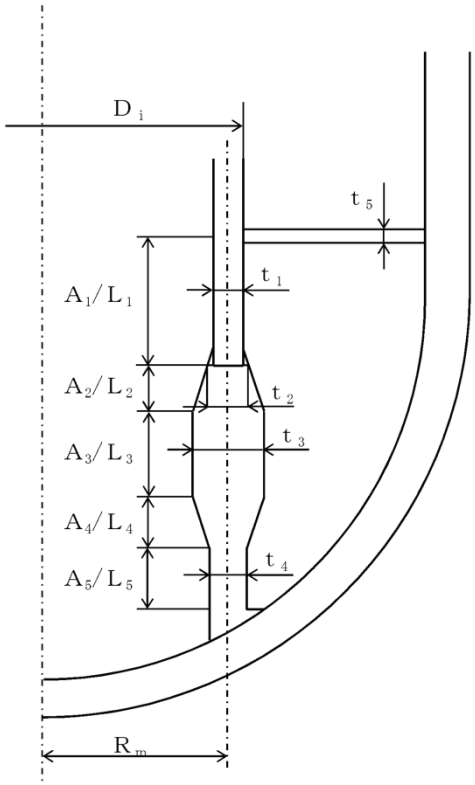
N　：シュラウドサポートレグ個数　＝ [redacted] (－)

E　：縦弾性係数　＝ [redacted] ($kgf/mm^2$)

$\alpha_2$　：[7] に定める値　＝ [redacted] (－)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。




［単位：m］

図 2-23　原子炉圧力容器断面図

c.　シュラウドサポートのばね定数算定結果

以上より算定した構成部材及び全体のばね定数の算定結果を表 2-6 に示す。

表 2-6　シュラウドサポートのばね定数

| | 記号 | ばね定数 |
|---|---|---|
| シュラウドサポートシリンダのばね定数 | $K_{MA1}$ | |
| シュラウドサポートレグのばね定数 | $K_{MA2}$ | |
| シュラウドサポートプレートのばね定数 | $K_{MB}$ | |
| シュラウドサポートのばね定数 | $K_4$ | |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 炉心シュラウド支持ロッド上部サポートの水平ばね：$K_5$

炉心シュラウド支持ロッドは炉心シュラウド及びシュラウドサポートに対して設置され，炉心シュラウドの溶接線が分離した際の炉心シュラウドの炉心支持機能を保持するために設置される構造物である。構成部材としては，主に，上部サポート，上部タイロッド，下部タイロッドからなる。

鉛直方向において，炉心シュラウド支持ロッドは，炉心シュラウドとシュラウドサポートプレートを締め付けるため，軸方向の引張荷重を受ける構造である。また，水平方向において，炉心シュラウド支持ロッドのうち上部サポートは，炉心シュラウド上部胴と原子炉圧力容器の地震による水平荷重圧縮を伝達する構造であり，炉心シュラウド支持ロッドのうち下部スタビライザは，炉心シュラウド中間胴と原子炉圧力容器の地震による水平荷重圧縮を伝達する構造である。

炉心シュラウド支持ロッドの構造概要を図 2-24 に示す（構造の詳細は補足説明資料「補足-600-40-45　炉心シュラウド支持ロッドの構造及び耐震評価に関する補足説明資料」参照）。

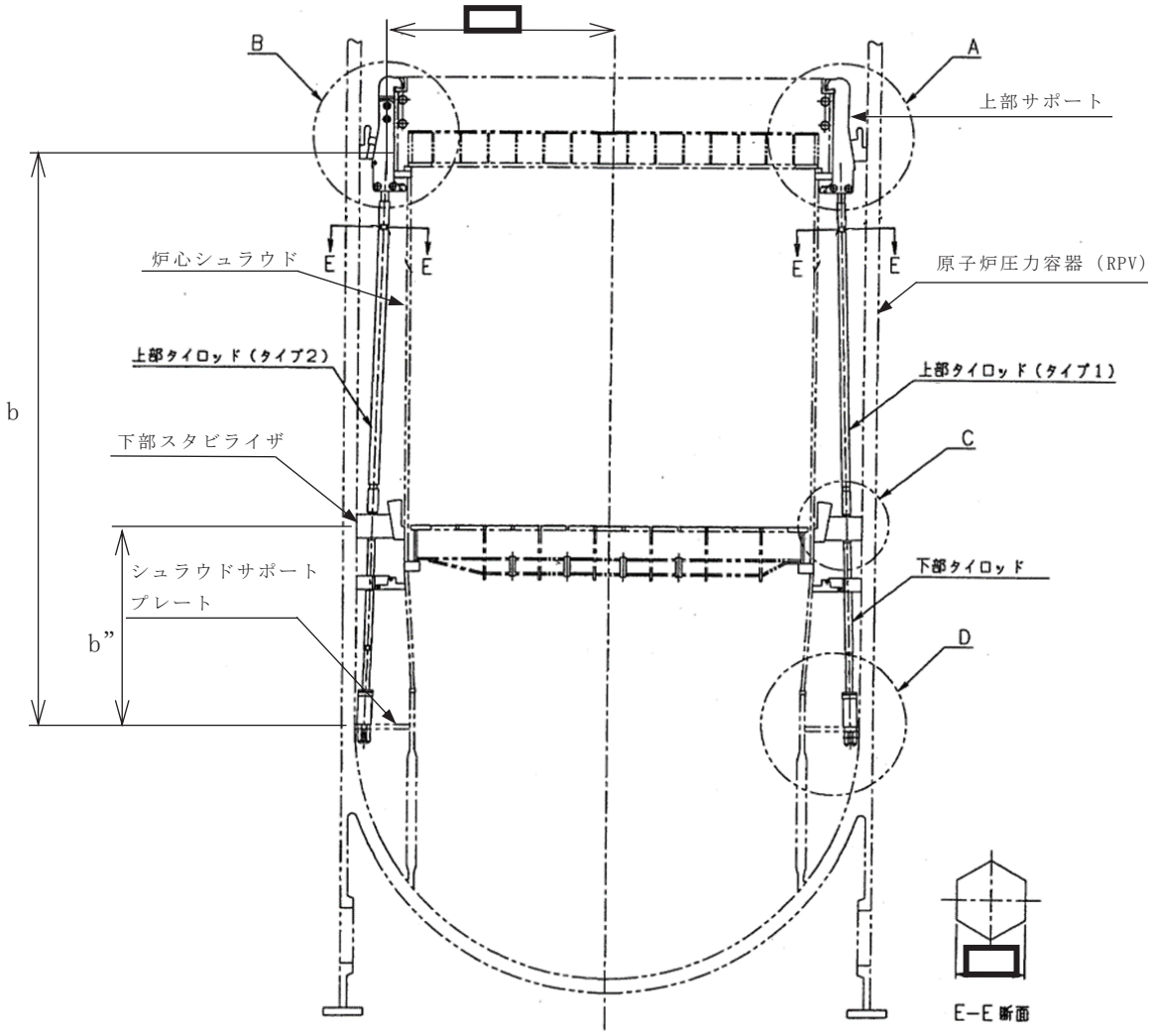
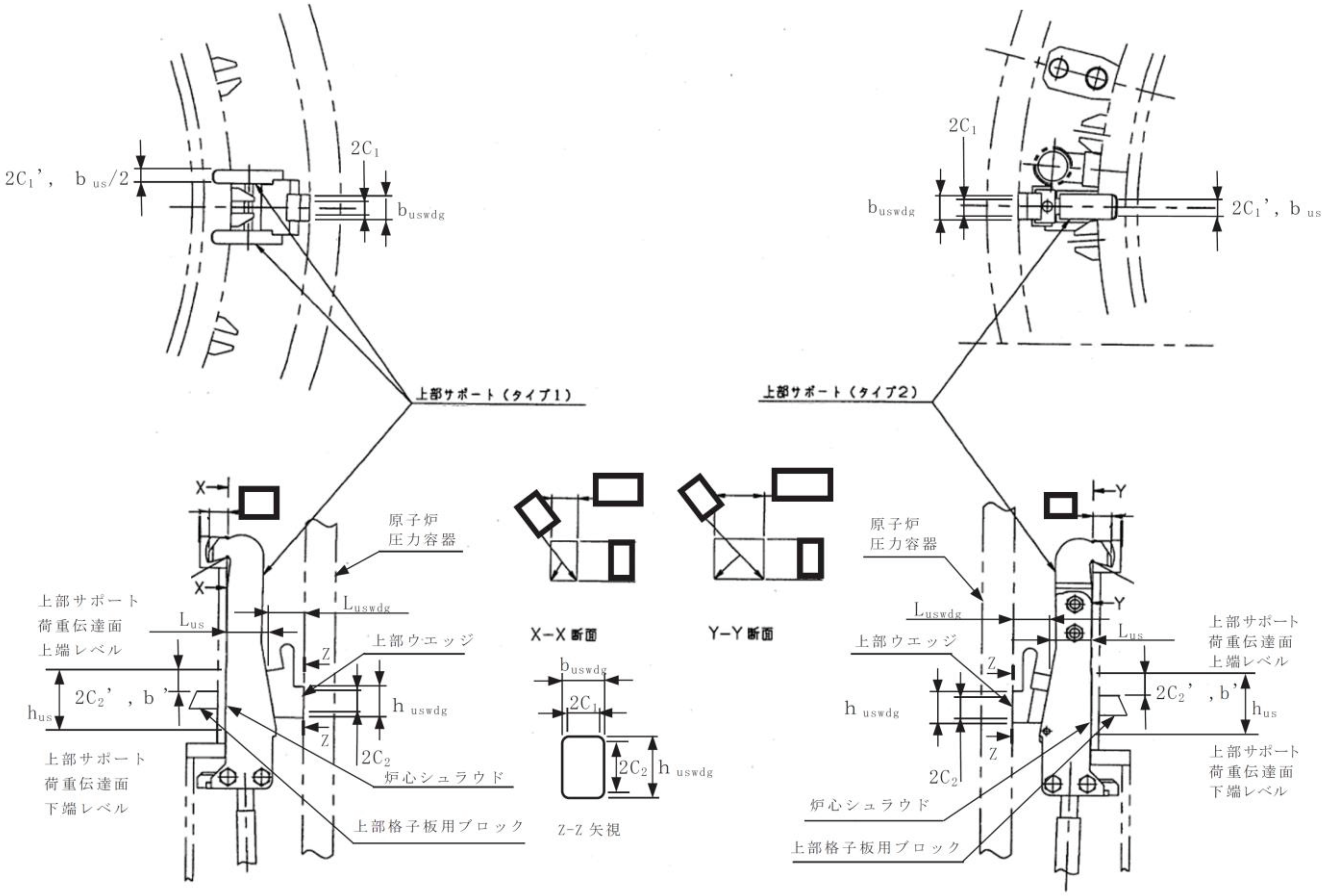


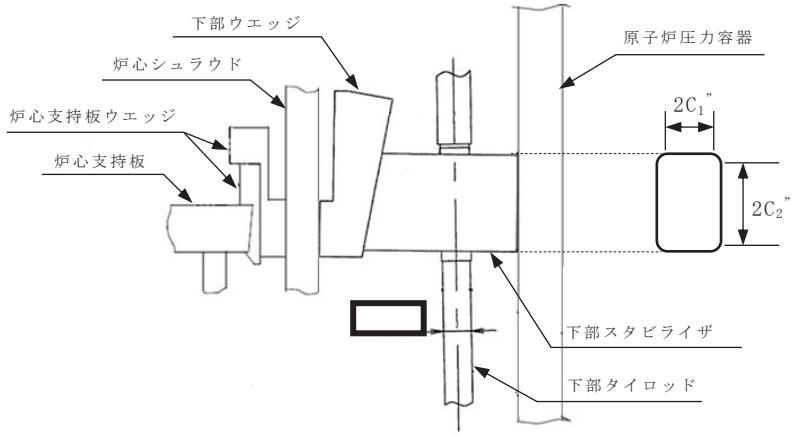

図 2-24(1)　炉心シュラウド支持ロッドの概要構造



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。




A部詳細（タイプ１）　　B部詳細（タイプ２）

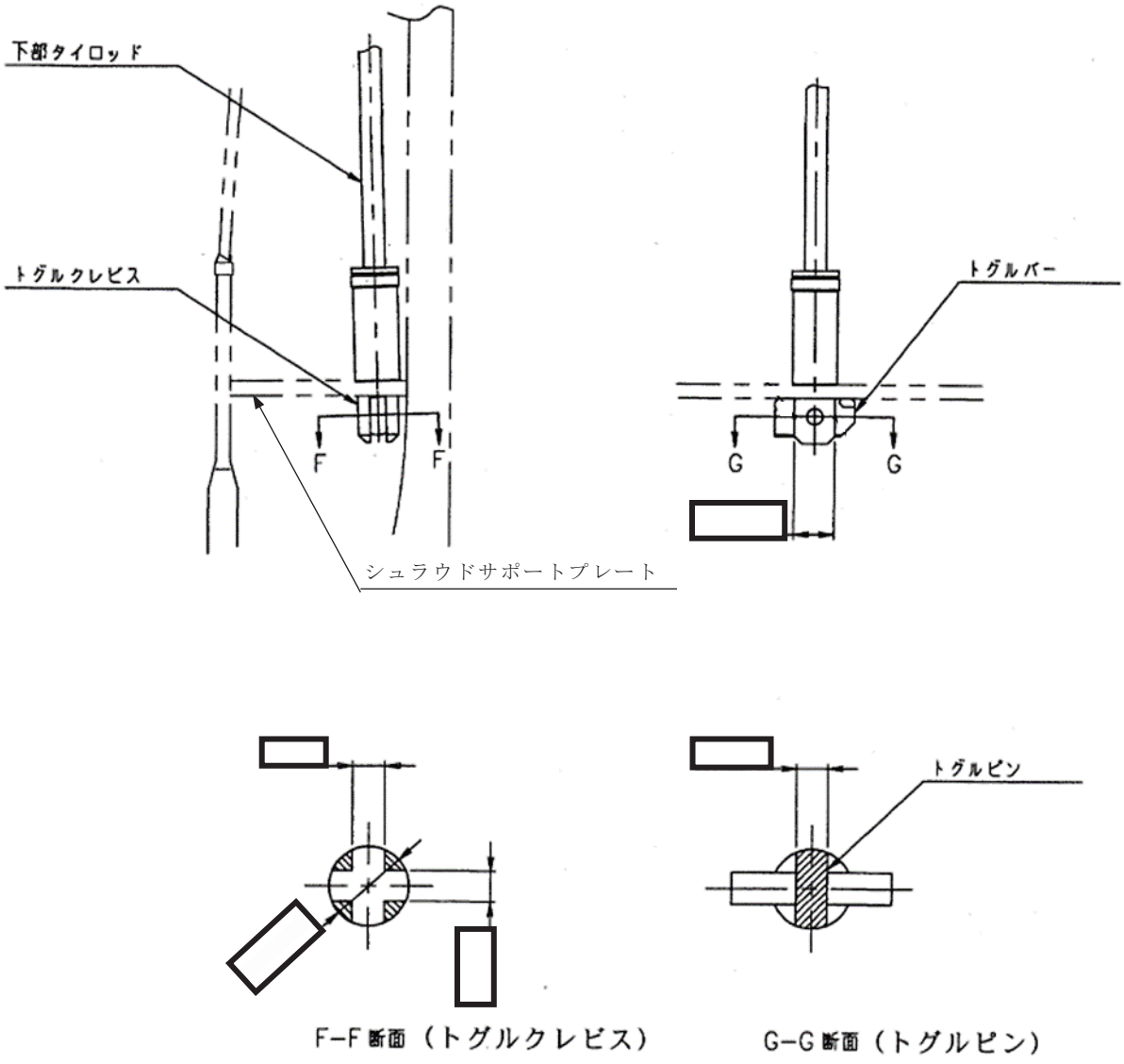



C部詳細

図2-24(2)　炉心シュラウド支持ロッドの概要構造



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。




D部詳細

注：斜線部はトグルクレビス及びトグルピンの評価対象部を示す。

図2-24(3)　炉心シュラウド支持ロッドの概要構造

a．炉心シュラウド支持ロッド上部サポートの構造

図 2-24(2)に示すように，炉心シュラウド支持ロッドのうち上部サポートは炉心シュラウド及びRPVに対して設置され，炉心シュラウド支持ロッドの上下方向拘束の上端の固定機能及び炉心シュラウドとRPV間の水平方向の位置決め機能を有する。構


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

成部材としては，上部サポート，上部ウエッジからなる。炉心シュラウド支持ロッドの上部サポートにはタイプ１とタイプ２の２種類が存在する。

b．炉心シュラウド支持ロッド上部サポートの水平方向ばね定数算出方法

（a）全体でのばね定数算定方法

上部サポート部の水平方向ばね定数は，上部ウエッジと上部サポートのばね定数，及び上部サポートを介して荷重が伝達されるRPVの局所変形によるばね定数，さらに上部サポートと接触する炉心シュラウド上部胴の局所変形によるばね定数を合成して算出したものである。

図2-25に上部サポート部のばね定数算定で考慮した評価モデルを示す。

$$K_5=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{rpvup}}+\frac{1}{K_{usshr}}+\frac{1}{K_{us}}+\frac{1}{K_{uswdg}}\right)}$$

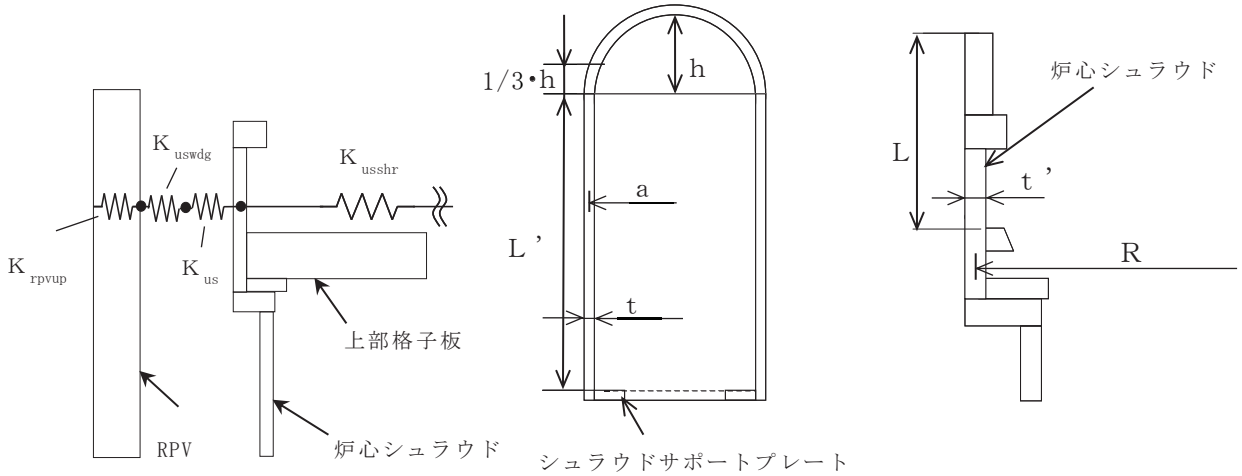
ここで，

$K_{rpvup}$：上部サポート起因のRPVの局所変形によるばね定数（kgf/mm）

$K_{usshr}$：上部サポート起因のシュラウドの局所変形ばね定数（kgf/mm）

$K_{us}$：上部サポートのばね定数（kgf/mm）

$K_{uswdg}$：上部ウエッジのばね定数（kgf/mm）




炉心シュラウド支持ロッド
上部サポート部モデル

RPV 円筒モデル高さ：
ℓ= 1/3×ｈ ＋ Ｌ’
RPV 円筒モデル

Ｌ：炉心シュラウド上部胴
円筒モデル高さ
炉心シュラウド円筒モデル

図2-25　炉心シュラウド支持ロッド上部サポートの解析モデル図

(b)構成部材のばね定数算出方法

イ．上部サポート起因のRPVの局所変形によるばね定数：$K_{rpvup}$

上部サポート位置においてRPVには上部ウエッジの荷重伝達面を介して荷重が付与され，これによりRPVは局所的なひずみを生じる。ここでは，図2-26のような円筒の端からbの位置にある$2C_1 \times 2C_2$の面にpの分布荷重が作用した場合の荷重点での変位量wを基に，ばね定数を文献［8］による円筒の弾性解析モデルの理論式を適用し，以下の式から求める。

$$K_{rpvup}=(1+(1-2C_3{}^2))K_1/2$$

$$K_1=F/w$$

$$F=2C_1 \times 2C_2 \times p$$

$$w=\frac{\ell^4}{2D}\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\Phi_{mn}Z_{mn}\sin\frac{n\pi}{\ell}b$$

ここで，

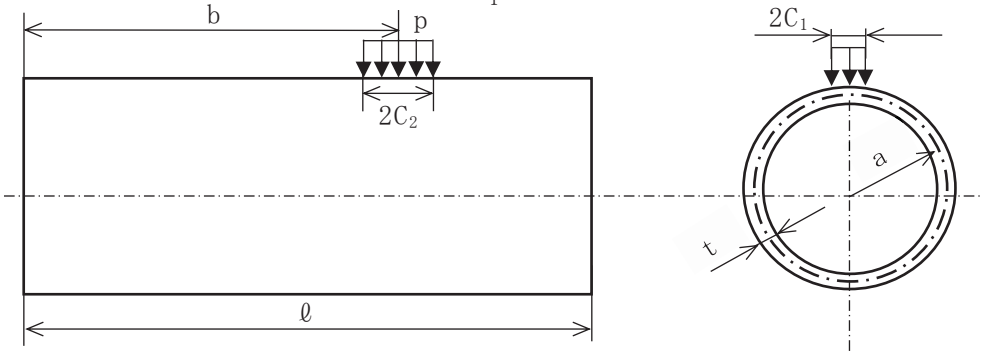
$$D=\frac{Et^3}{12\left(1-\nu^2\right)}$$

$$\Phi_{mn}=\frac{2\left(m^2\alpha^2+n^2\pi^2\right)^2}{\left(m^2\alpha^2+n^2\pi^2\right)^4+12\left(1-\nu^2\right)n^4\pi^4\alpha^4\gamma^2-m^2\alpha^4\left[2m^4\alpha^4+\left(6+\nu-\nu^2\right)n^4\pi^4+(7+\nu)m^2\alpha^2n^2\pi^2\right]}$$

$$Z_{mn}=\begin{cases}\dfrac{4\beta_1 p}{\pi^2 n}\sin\dfrac{n\pi C_2}{\ell}\sin\dfrac{n\pi b}{\ell} & \begin{pmatrix}m=0\\ n=1,2,3,\cdots\end{pmatrix}\\ \dfrac{8p}{\pi^2 mn}\sin(m\beta_1)\sin\dfrac{n\pi C_2}{\ell}\sin\dfrac{n\pi b}{\ell} & \begin{pmatrix}m=1,2,3,\cdots\\ n=1,2,3,\cdots\end{pmatrix}\end{cases}$$

ただし，

$\alpha=\ell/a$，　$\gamma=a/t$，　$\beta_1=C_1/a$，　$C_3=C_2/C_1$




ℓ：円筒長さ　a：円筒半径　$2C_1$：荷重面幅　b：荷重中心までの距離　$2C_2$：荷重面長さ

t：板厚　E：縦弾性係数　w：変位　p：分布荷重（便宜的に1MPaと仮定）

$\nu$：ポアソン比　□）　m,n：フーリエ級数の次数(周方向，軸方向)

図2-26　円筒の弾性解析モデル



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各部の評価に用いた諸元及び算定したばね定数を表2-7に示す。

表2-7　上部ウエッジ／RPV側評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | |
|---|---|---|
| ウエッジ荷重伝達面寸法 | 幅　$2・C_1$（mm） | |
| | 高さ $2・C_2$（mm） | |
| | シュラウドサポートプレート上面から荷重点までの距離 b（mm） | |
| RPV 円筒モデル寸法 | 半径　a（mm） | |
| | 長さ（高さ）ℓ（mm） | |
| | 板厚　t（mm） | |
| | 縦弾性係数 E（$kgf/mm^2$） | |
| ばね定数 | $K_{rpvup}$（kgf/mm） | |

ロ．上部サポート起因のシュラウドの局所変形ばね定数：$K_{usshr}$

炉心シュラウド支持ロッドの上部サポート位置において炉心シュラウドには2体から成る上部サポート胴部の荷重伝達面を介して荷重が付与され，これにより局所的なひずみが生じる。したがってイ項と同様に円筒の弾性解析モデルを適用し，ばね定数を算出する。

各部の評価に用いたモデル諸元及び算定したばね定数を表2-8に示す。

表2-8　上部サポート／シュラウド側評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | |
|---|---|---|
| 上部サポート荷重伝達面寸法 | 幅　$2・C_1$’（mm） | |
| | 高さ $2・C_2$’（mm） | |
| | 上部サポート荷重伝達面上端レベルから荷重点までの距離 b’（mm） | |
| 炉心シュラウド円筒モデル寸法 | 半径　R（mm） | |
| | 長さ（高さ）L（mm） | |
| | 板厚　t’（mm） | |
| | 縦弾性係数 E（$kgf/mm^2$） | |
| ばね定数 | $K_{usshr}$（kgf/mm） | |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ハ．上部サポートのばね定数：$K_{us}$

上部サポートの水平方向ばね定数は以下の式より算定する。

$$K_{us}=\frac{EA}{L} \qquad (1)$$

ここで，

E ： 縦弾性係数

A ： 断面積（＝ｂｈ）

L ： 対象部位長さ

ｂ ： 幅

ｈ ： 高さ

各部の評価に用いたモデル諸元及び算定したばね定数を表2-9に示す。

表2-9　上部サポート評価モデル諸元及びばね定数

| パラメータ | |
|---|---|
| 幅　$b_{us}$(mm) | |
| 高さ　$h_{us}$(mm) | |
| 長さ　$L_{us}$(mm) | |
| 縦弾性係数　E(kgf/mm$^2$) | |
| ばね定数　$K_{us}$(kgf/mm) | |

ニ．上部ウエッジのばね定数　：$K_{uswdg}$

上部サポートと同様にハ項の(1)式を用いて算定する。

各部の評価に用いたモデル諸元及び算定したばね定数を表2-10に示す。

表2-10　上部ウエッジ評価モデル諸元及びばね定数

| パラメータ | 寸法 |
|---|---|
| 幅　$b_{uswdg}$(mm) | |
| 高さ　$h_{uswdg}$(mm) | |
| 長さ　$L_{uswdg}$(mm) | |
| 縦弾性係数　E(kgf/mm$^2$) | |
| ばね定数　$K_{uswdg}$(kgf/mm) | |

以上より，上部サポート部の連成ばね定数は次のように求まる。

$K_5$＝　(kgf/mm)

＝　(N/mm)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 炉心シュラウド支持ロッド下部スタビライザの水平ばね：$K_6$

a. 炉心シュラウド支持ロッド下部スタビライザの構造

下部スタビライザ部は，RPV に接触し荷重伝達を担う下部スタビライザ，炉心シュラウドに接する下部ウエッジ，さらに炉心シュラウドと炉心支持板との間に設置される炉心支持板ウエッジから構成されている。

図 2-27 に下部スタビライザの構造を示す。

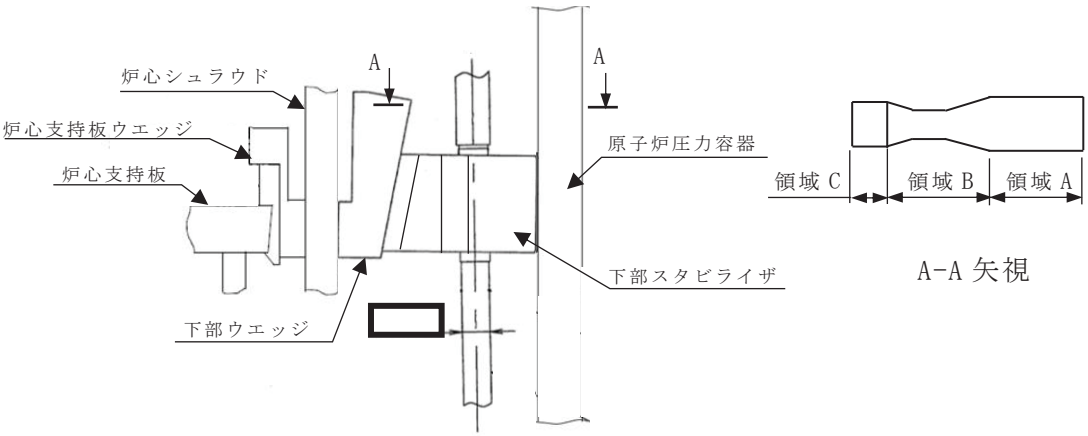



図2-27　炉心シュラウド支持ロッドのうち下部スタビライザの構造

b. 炉心シュラウド支持ロッド下部スタビライザのばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

炉心シュラウド支持ロッド下部スタビライザのばね定数算出式を以下に，図 2-28 に下部スタビライザ部ばね定数算定モデルを示す。

$$K_6 = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{rpv1}} + \frac{1}{K_{cp}} + \frac{1}{K_{lswsc}}\right)}$$

$$K_{lswsc} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{lsa}} + \frac{1}{K_{lsb}} + \frac{1}{K_{lsc}} + \frac{1}{K_{lsw}} + \frac{1}{K_{shr}} + \frac{1}{K_{cpw}}\right)}$$

ここで，

$K_{rpv1}$ ：RPV局所変形ばね定数 (kgf/mm)

$K_{cp}$ ：炉心支持板ばね定数 (kgf/mm)

$K_{lswsc}$ ：下部スタビライザ部連成ばね定数 (kgf/mm)

$K_{lsa}$ ：下部スタビライザ部領域Ａ(RPV側部材)のばね定数 (kgf/mm)

$K_{lsb}$ ：下部スタビライザ部領域Ｂ(中間部材)のばね定数(kgf/mm)


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$K_{lsc}$ ：下部スタビライザ部領域Ｃ(炉心シュラウド側部材)のばね定数(kgf/mm)

$K_{lsw}$ ：下部ウエッジ部のばね定数(kgf/mm)

$K_{shr}$ ：炉心シュラウド部のばね定数(kgf/mm)

$K_{cpw}$ ：炉心支持板ウエッジのばね定数(kgf/mm)

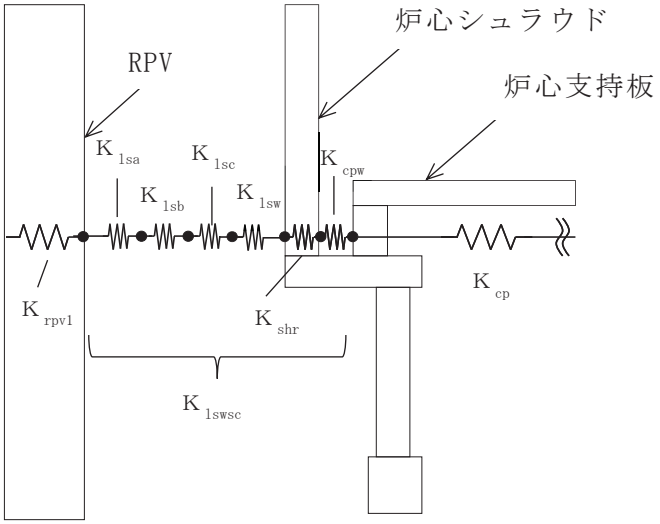



図2-28　下部スタビライザ部ばね定数算定モデル

イ．RPV 局所変形ばね定数：$K_{rpv1}$

下部スタビライザ位置においてRPVには下部スタビライザの荷重伝達面を介して荷重が付与され，これによりRPVは局所的なひずみが生じる。したがって，ここでは文献［8］による円筒の弾性解析モデルを適用し，評価した。

各部の評価モデル諸元及びばね定数算定結果を表2-11に示す。

表2-11　下部スタビライザ／RPV側評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | 寸法 |
|---|---|---|
| 下部スタビライザ荷重伝達面寸法 | 幅 2・$C_1$”（mm） | |
| | 高さ 2・$C_2$”（mm） | |
| | シュラウドサポートプレート上面から荷重点までの距離 b”（mm） | |
| RPV 円筒モデル寸法 | 半径 a（mm） | |
| | 長さ（高さ）ℓ(mm) | |
| | 板厚 t（mm） | |
| | 縦弾性係数（kgf/mm$^2$） | |
| ばね定数 | $K_{rpvl}$（kgf/mm） | |

ロ．炉心支持板ばね定数：$K_{cp}$

炉心支持板には炉心支持板ウエッジを介して局所的に水平方向への荷重が負荷される。

炉心支持板の孔による剛性の低下は，リガメントの最小割合に比例するものと仮定し，以下の式にて剛性の補正を行う。

ここで，

E　：母材の縦弾性係数

E’：補正後の炉心支持板の縦弾性係数

t　：炉心支持板の板厚

h　：孔間隔

p　：孔ピッチ

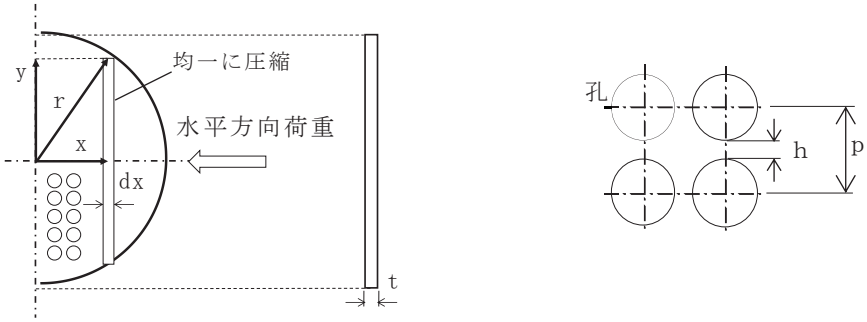



図 2-29　炉心支持板モデル図



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

多孔円板のばね定数は，以下のように算定した。微小長さｄｘの剛性ｄＫは次のように求める。

これより炉心支持板半分の剛性$K_{1/2}$は次式のように求められる。

以上より炉心支持板全体のばね定数$K_{cp}$は以下のように求められる。

$$K_{cp}=\frac{1}{\frac{1}{K_{1/2}}+\frac{1}{K_{1/2}}}=\frac{2h\,E\,t}{\pi\,p}$$

炉心支持板の評価寸法及びばね定数算定結果を表2-12に示す。

表2-12　炉心支持板評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | | 寸法 |
|---|---|---|---|
| 炉心支持板 | 板厚 | t (mm) | |
| | 孔ピッチ | p (mm) | |
| | 孔間隔 (mm) | h (mm) | |
| | 縦弾性係数 | E (kgf/mm$^2$) | |
| ばね定数 | $K_{cp}$ (kgf/mm) | | |

ハ．下部スタビライザ部連成ばね定数：$K_{lswsc}$

各部位のばね定数は(3)b.(b)ハ項の(1)式により算出する。

各部位の評価モデル諸元及びばね定数算定結果を表2-13にまとめて示す。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-13　下部スタビライザ部の評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | | パラメータ | | | | ばね定数 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 高さ h (mm) | 幅 b (mm) | 長さ (厚さ) L (mm) | 縦弾性係数 E (kgf/mm$^2$) | | |
| 下部スタビライザ | 領域A | | | | | $K_{lsa}$ | |
| | 領域B | | | | | $K_{lsb}$ | |
| | 領域C | | | | | $K_{lsc}$ | |
| 下部ウエッジ | | | | | | $K_{lsw}$ | |
| 炉心シュラウド | | | | | | $K_{shr}$ | |
| 炉心支持板ウエッジ | | | | | | $K_{cpw}$ | |
| | | | | | | $K_{lswsc}$ | |

以上より下部スタビライザ部の連成ばね定数は，各部のばね定数を組み合わせて次のように求まる。

$K_6$ ≒ [redacted] (kgf/mm)

≒ [redacted] (N/mm)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね：$K_7$

a. 炉心シュラウド支持ロッドのばね定数算定方法

(a) 全体でのばね定数算定方法

一般に，図 2-30(a)に示すようにシュラウドを円筒の構造物としてみなし，円筒胴のある方向に炉心シュラウド支持ロッドによる補強材が設けられると想定した場合，シュラウドの倒れこみにより炉心シュラウド支持ロッドには［　　］の力が発生する（［　　］）。この時の回転力（モーメン ト）は［　　］となる。ここで，シュラウド中心線の倒れこむ角度Φは微小であるので（図 2-30(b)），炉心シュラウド支持ロッドの伸びは［　　］として求められ，回転力は［　　］となる（図 2-30(c)）。

したがって，単位角度当たりの回転ばね力（回転ばね定数）は［　　］となる。

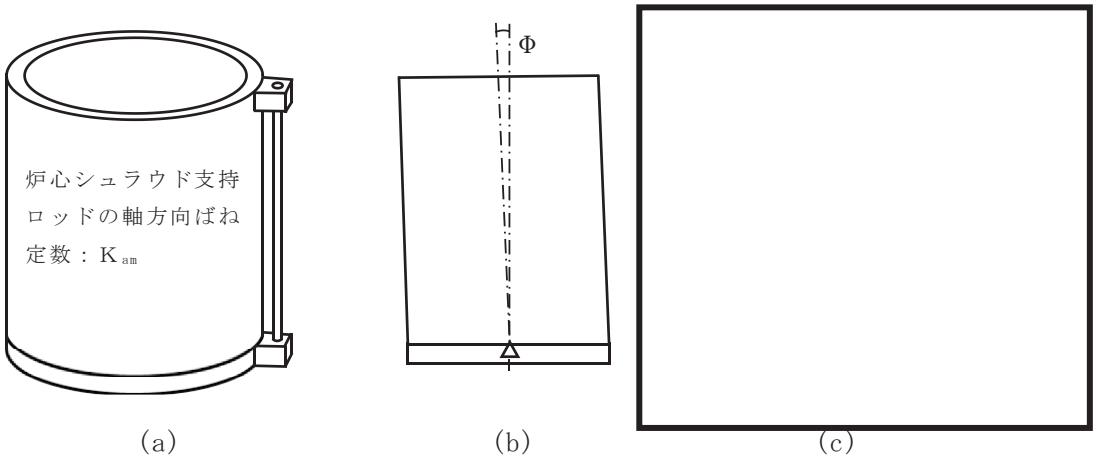



図 2-30　シュラウド溶接線分離のモデル化概要（健全）

実際には炉心シュラウド支持ロッドは 4 本あるので，前述の内容を踏まえて回転ばね定数$K_7$を求めると次のようになる。

$R_1 =$［　　］，$R_2 =$［　　］

$R_3 =$［　　］，$R_4 =$［　　］

$K_7 =$［　　］

$= 2K_{am}R^2$



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

図 2-31　炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数算定概要（健全）

軸方向ばね定数の算出に当たっては，荷重伝達経路に相当する各部位ごとにばね定数を算出した後に，全体を直列ばねとして組み合わせて評価する。評価対象は上部から上部サポート（サポートブロックを含む），上部タイロッド，下部タイロッド及びシュラウドサポートプレート（トグル貫通部）である。以下にそれぞれの算定方法を示す。図2-32に炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数評価モデルを示す。

$$K_{am}=\frac{K_{axial1}+K_{axial2}}{2}$$

$$K_{axial1}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{us1}}+\frac{1}{K_{utr1}}+\frac{1}{K_{ltr}}+\frac{1}{K_{LP}}\right)},\quad K_{axial2}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{us2}}+\frac{1}{K_{utr2}}+\frac{1}{K_{ltr}}+\frac{1}{K_{LP}}\right)}$$

ここで，

$K_{am}$　：タイプ1とタイプ2の炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数の平均値

R　：支持ロッドの据付半径

$K_{axial1}$：タイプ1の炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数

$K_{axial2}$：タイプ2の炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数

$K_{us1}$　：タイプ1の上部サポートの軸方向ばね定数

$K_{us2}$　：タイプ2の上部サポートの軸方向ばね定数

$K_{utr1}$　：タイプ1の上部タイロッドの軸方向ばね定数


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$K_{utr2}$　：タイプ2の上部タイロッドの軸方向ばね定数

$K_{ltr}$　：下部タイロッドの軸方向ばね定数

$K_{LP}$　：シュラウドサポートプレートの軸方向局部ばね定数

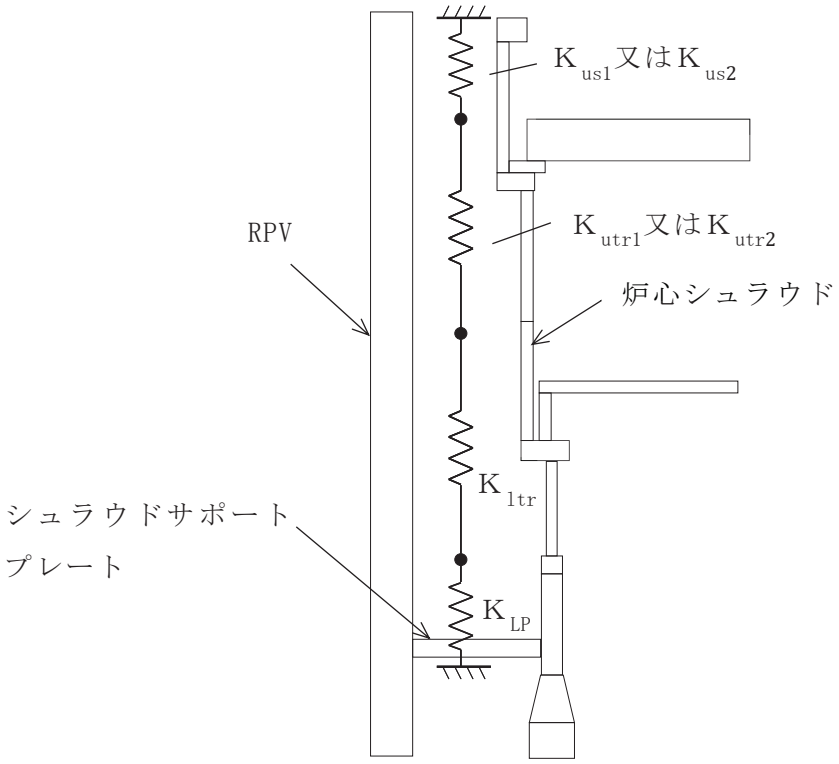



図2-32　炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数評価モデル

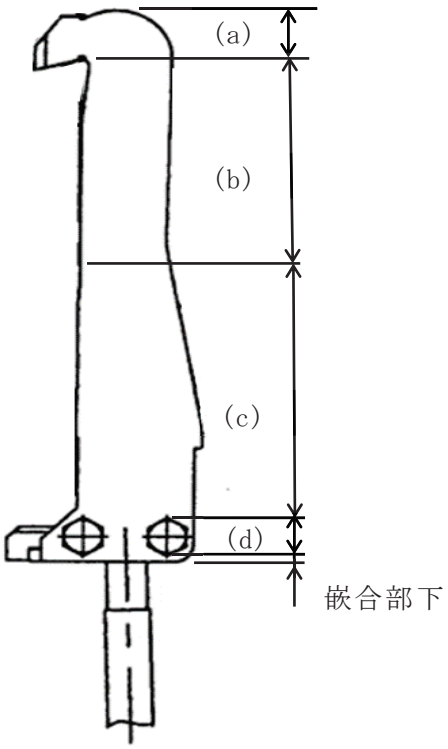
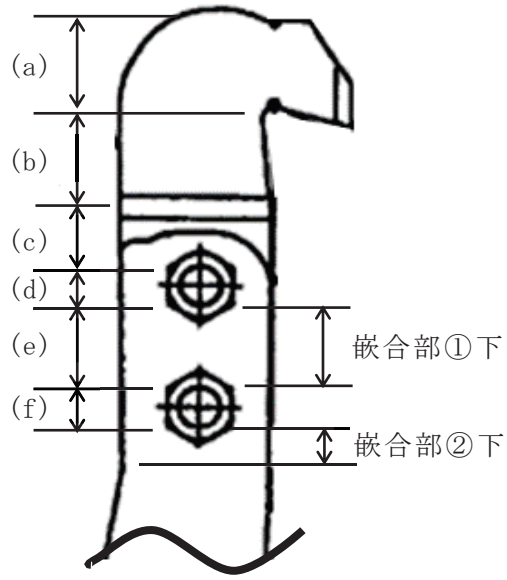
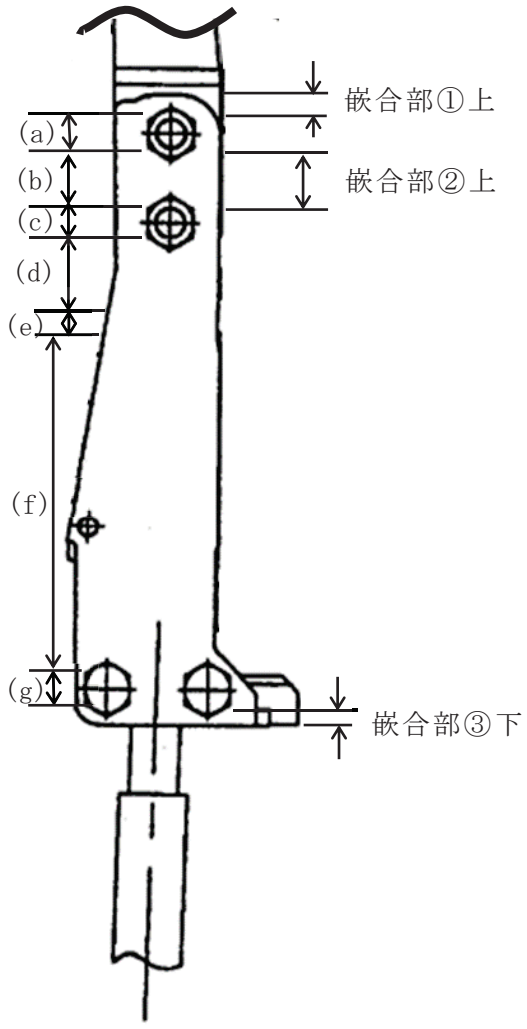



図2-33　上部サポート（タイプ1）の領域説明図




クリフハンガー部




サポート胴部

図2-34　上部サポート（タイプ2）の領域説明図

(b)構成部材のばね定数算出方法

イ．上部サポート(タイプ1) $K_{usl}$

上部サポート(タイプ1)が2体からなることを考慮して，軸方向ばね定数は次式にて求まる。

$$K_{usl}=\frac{2}{\left(\frac{1}{K_{usla}}+\frac{1}{K_{uslm}}\right)}$$

$$K_{usla}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{usla}(a)}+\frac{1}{K_{usla}(b)}+\frac{1}{K_{usla}(c)}+\frac{1}{K_{usla}(d)}\right)}$$

$$K_{uslm}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{uslb}}+\frac{1}{K_{usls}}\right)}$$

ここで，

$K_{usla}$：上部サポート(タイプ1)引張荷重に対するばね定数

$K_{uslm}$：嵌合部下における曲げ，せん断荷重に対するばね定数

$K_{usla}(a)$，$K_{usla}(b)$，$K_{usla}(c)$，$K_{usla}(d)$：

引張荷重に対する領域(a)，(b)，(c)，(d)におけるばね定数

$(=EA_{usla}/L_{usla})$

$K_{uslb}$：嵌合部下における曲げに対するばね定数（$=1296EI_{uslb}/5L_{uslb}^{3}$）

このばね定数の算出は文献[1]A4-31，No.16 式より，

$$\nu_1=\frac{W_1\cdot L_1^{2}\cdot(3L_2-L_1)}{48EI}=\frac{W_1\cdot\left(\frac{L}{3}\right)^{2}\cdot\left(3\times\frac{2}{3}L-\frac{L}{3}\right)}{48EI}=\frac{5W_1L^{3}}{1296EI}$$

$$\nu_2=\frac{W_2\cdot L_2^{2}\cdot(3L_1-L_2)}{48EI}=\frac{W_2\cdot\left(\frac{L}{3}\right)^{2}\cdot\left(3\times\frac{2}{3}L-\frac{L}{3}\right)}{48EI}=\frac{5W_2L^{3}}{1296EI}$$

$\nu_1$：荷重作用点$L_1=L/3$の位置に荷重$W_1$を作用させた時の位置$L/2$におけるたわみ量

$\nu_2$：荷重作用点$L_2=2L/3$の位置に荷重$W_2$を作用させた時の位置$L/2$におけるたわみ量

ここで，位置Ｌ/2におけるたわみ量νは重ね合わせ法により，

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 = \frac{5\,(W_1 + W_2)\,L^3}{1296\,E\,I} = \frac{5L^3}{1296\,E\,I}\,F$$

ただし，$W_1 = W_2 = \frac{F}{2}$とする。

$$K = \frac{F}{\nu} = \frac{F}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{1296\,E\,I}{5L^3}$$

$K_{us1s}$：嵌合部下におけるせん断に対するばね定数（＝16/3 Ｇ$A_{us1s}$/$L_{us1s}$）

せん断に対するばね定数は，文献[1]のせん断弾性係数Ｇより，

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{F/A_s}{\Delta L/L}$$

ここで，τ：せん断応力（＝Ｆ/Ａｓ）

γ：せん断ひずみ（＝Δ Ｌ/Ｌ）

Ａｓ：有効せん断断面積（＝$\frac{2}{3}$Ａ）

$$F = \frac{G\,A_s}{L}\,\Delta L$$

として，嵌合部のボルトとボルト穴の接触箇所（4 箇所）それぞれに対して 2 つのせん断面を考慮すると，ばね定数Ｋは次のように求まる。

$$K = 2\times4\times\frac{G\,A_s}{L} = 2\times4\times\frac{G\cdot\frac{2}{3}A}{L} = \frac{16GA}{3L}$$

Ｅ　　：縦弾性係数（＝[redacted]kgf/mm$^2$）

$A_{us1a}$：上部サポート（タイプ1）の断面積（＝$b_{us1a}\times h_{us1a}$）

$L_{us1a}$：上部サポート（タイプ1）の対象部位長さ

$b_{us1a}$：上部サポート（タイプ1）の幅

$h_{us1a}$：上部サポート（タイプ1）の高さ

$I_{us1b}$：上部サポート（タイプ1）の嵌合部下の断面二次モーメント（＝$b_{us1b}\times h_{us1b}^3/12$）

$L_{us1b}$：上部サポート（タイプ1）の嵌合部下の対象部位長さ（＝$L_{us1s}$）

Ｇ　　：せん断弾性係数　（＝Ｅ/2（1+ν））

$A_{us1s}$：上部サポート（タイプ1）の嵌合部下の断面積（＝$b_{us1s}\times h_{us1s}$）

ν　　：ポアソン比（＝[redacted]）

$b_{us1s}$：上部サポート（タイプ1）の嵌合部下の幅（＝$b_{us1b}$）

$h_{us1s}$：上部サポート（タイプ1）の嵌合部下の高さ（＝$h_{us1b}$）



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各部の評価に用いた諸元及び各部位ごとに算定したばね定数を表2-14及び表2-15に示す。

表2-14　上部サポート（タイプ1）の引張荷重に対するモデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | | | ばね定数 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 高さ（長さ） $L_{usla}$ (mm) | 幅 $b_{usla}$ (mm) | 厚さ $h_{usla}$ (mm) | | |
| (a) 上端からR部中心点の高さまで | | | | $K_{usla}$(a) | |
| (b) R部中心から厚板部下端 | | | | $K_{usla}$(b) | |
| (c) 厚板部下端からピン孔上端 | | | | $K_{usla}$(c) | |
| (d) 嵌合部 | | | | $K_{usla}$(d) | |

表2-15　上部サポート(タイプ1)の曲げ及びせん断荷重に対するモデル諸元及びばね定数

| 部位 | | パラメータ | | | ばね定数 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 高さ $h_{uslb}$ $h_{usls}$ (mm) | 幅 $b_{uslb}$ $b_{usls}$ (mm) | 長さ $L_{uslb}$ $L_{usls}$ (mm) | | |
| 嵌合部下 | 曲げ | | | | $K_{uslb}$ | |
| | せん断 | | | | $K_{usls}$ | |

ロ．上部サポート(タイプ2) $K_{us2}$

上部サポート(タイプ2)は短尺のクリフハンガーの下部を2つの胴板が挟み，ピンにより固定される構成となっている。したがってばね定数の算出は，クリフハンガー部とサポート胴部の2つの部位に分けて評価し，次式により組み合わせて算定する。


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$K_{us2}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{us2ca}}+\frac{1}{K_{us2cm}}+\frac{1}{\frac{1}{K_{us2fa}}+\frac{1}{K_{us2fm}}}\right)}$$

$$K_{us2ca}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{us2ca}(a)}+\frac{1}{K_{us2ca}(b)}+\frac{1}{K_{us2ca}(c)}+\frac{1}{K_{us2ca}(d)}+\frac{1}{K_{us2ca}(e)}+\frac{1}{K_{us2ca}(f)}\right)}$$

$$K_{us2cm}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{b1}}+\frac{1}{K_{s1}}+\frac{1}{K_{b2}}+\frac{1}{K_{s2}}\right)}$$

$$K_{us2fa}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{us2fa}(a)}+\frac{1}{K_{us2fa}(b)}+\frac{1}{K_{us2fa}(c)}+\frac{1}{K_{us2fa}(d)}+\frac{1}{K_{us2fa}(e)}+\frac{1}{K_{us2fa}(f)}+\frac{1}{K_{us2fa}(g)}\right)}$$

$$K_{us2fm}=\frac{1}{\left(\frac{1}{K_{us2b}}+\frac{1}{K_{us2b1}}+\frac{1}{K_{us2s1}}+\frac{1}{K_{us2b2}}+\frac{1}{K_{us2s2}}+\frac{1}{K_{us2b3}}+\frac{1}{K_{us2s3}}\right)}$$

ここで,

$K_{us2ca}$：クリフハンガー部の軸方向荷重に対するばね定数

$K_{us2cm}$：クリフハンガー部における曲げ，せん断荷重に対するばね定数

$K_{us2fa}$：サポート胴部の軸方向荷重に対するばね定数

$K_{us2fm}$：サポート胴部における曲げ，せん断荷重に対するばね定数

$K_{us2ca}(a)$，$K_{us2ca}(b)$，$K_{us2ca}(c)$，$K_{us2ca}(d)$，$K_{us2ca}(e)$，$K_{us2ca}(f)$：クリフハンガー部の領域(a)，(b)，(c)，(d)，(e)，(f)の軸方向ばね定数

$$(=\alpha_{us2ca}\times E\times(b_{us2ca}\times h_{us2ca})/L_{us2ca})$$

$K_{b1}$，$K_{b2}$：クリフハンガー嵌合部①下及び②下の曲げに対するばね定数

$$(=2\times 192E\times(b_{us2cm}\times h_{us2cm}^{3}/12)/L_{us2cm}^{3})$$

このばね定数の算出において，文献[1]A4-31，No.15 式を用い，たわみ量 $\nu$ は，

$$\nu=\frac{FL^{3}}{192EI}$$

ここで,

F：荷重

I：断面二次モーメント（$=b\times h^{3}/12$）

$$K = 2 \times \frac{F}{\nu} = \frac{2 \times 192E \times \frac{b \times h^3}{12}}{L^3}$$

$K_{s1}$，$K_{s2}$：クリフハンガー嵌合部①下及び②下のせん断に対するばね定数

（$= 2 \times 2G \times 2/3A_{us2cm} / L_{us2cm}$）

算出過程は，$K_{us1s}$と基本的に同じであるが，ボルト本数の違いにより係数が異なる。

$K_{us2fa}$(a)，$K_{us2fa}$(b)，$K_{us2fa}$(c)，$K_{us2fa}$(d)，$K_{us2fa}$(e)，$K_{us2fa}$(f)，$K_{us2fa}$(g)：サポート胴部の領域(a)，(b)，(c)，(d)，(e)，(f)，(g)の軸方向ばね定数（$=\alpha_{us2fa} \times E \times (b_{us2fa} \times h_{us2fa}) / L_{us2fa}$）

$K_{us2b}$：膨出部の曲げに対するばね定数

$$(= 3E \times (b_{us2fm} \times h_{us2fm}^3 / 12) / L_{us2fm}^3)$$

このばね定数の算出において，文献[1]A4-27，No.1 式を用い，たわみ量 $\nu$ は，

$$\nu = \frac{F L^3}{3E I}$$

ここで，F：荷重

I：断面二次モーメント（$= b \times h^3 / 12$）

$$K = \frac{F}{\nu} = \frac{3E \times \frac{b \times h^3}{12}}{L^3}$$

$K_{us2b1}$，$K_{us2b2}$：サポート胴部嵌合部①上及び②上の曲げに対するばね定数

$$(= 2 \times 192E \times (b_{us2fam} \times h_{us2fm}^3 / 12) / L_{us2fm}^3)$$

算出過程は，$K_{s1}$と同様である。

$K_{us2s1}$，$K_{us2s2}$：サポート胴部嵌合部①上及び②上のせん断に対するばね定数

（$= 2 \times 2G \times 2/3A_{us2fm} / L_{us2fm}$）

算出過程は，$K_{s1}$，$K_{s2}$と同様である。

$K_{us2b3}$：サポート胴部嵌合部③下の曲げに対するばね定数

$$(= 1296E (b_{us2fm} \times h_{us2fm}^3 / 12) / 5L_{us2fm}^3)$$

算出過程は，$K_{us1b}$と同様である。

$K_{us2s3}$：サポート胴部嵌合部③下のせん断に対するばね定数

（$= 2 \times 4G \times 2/3A_{us2fm} / L_{us2fm}$）

算出過程は，$K_{us1s}$と同様である。

$L_{us2ca}$，$b_{us2ca}$，$h_{us2ca}$：表2-16に記載のパラメータ

$A_{us2ca}$：クリフハンガー部の断面積（＝$h_{us2cm}$×$b_{us2cm}$）

$L_{us2cm}$，$b_{us2cm}$，$h_{us2cm}$：表2-17に記載のパラメータ

$A_{us2cm}$：クリフハンガー嵌合部下の断面積（＝$h_{us2cm}$×$b_{us2cm}$）

$A_{us2fm}$：サポート胴部の断面積（＝$h_{us2fm}$×$b_{us2fm}$）

$b_{us2fa}$，$h_{us2fa}$，$L_{us2fa}$：表2-18に記載のパラメータ

$b_{us2fm}$，$h_{us2fm}$，$L_{us2fm}$：表2-19に記載のパラメータ

E：縦弾性係数（＝[redacted] kgf/mm$^2$）

G：せん断弾性係数　（＝E/2（1+$\nu$））

$\nu$：ポアソン比（＝[redacted]）

$\alpha_{us2ca}$，$\alpha_{us2fa}$：荷重配分に関する係数（全荷重を負担する場合は1，負担する荷重が1/2の場合は2とする。）

各部の評価に用いた諸元及び各部位毎に算定したばね定数を表2-16から表2-20に示す。

表2-16　上部サポート（タイプ2（クリフハンガー部））の軸方向評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | | | | ばね定数 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 高さ $L_{us2ca}$ (mm) | 幅 $b_{us2ca}$ (mm) | 厚さ $h_{us2ca}$ (mm) | 係数 $\alpha_{us2ca}$ | | |
| (a)上端からR部中心点の高さまで | [redacted] | | | | $K_{us2ca}$(a) | [redacted] |
| (b)R部中心から厚板部下端 | | | | | $K_{us2ca}$(b) | |
| (c)厚板部下端からピン孔上端 | | | | | $K_{us2ca}$(c) | |
| (d)嵌合部① | | | | | $K_{us2ca}$(d) | |
| (e)嵌合部①下端から嵌合部②上端 | | | | | $K_{us2ca}$(e) | |
| (f)嵌合部② | | | | | $K_{us2ca}$(f) | |
| | | | | | $K_{us2ca}$ | |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-17　上部サポート（タイプ 2（クリフハンガー部））の曲げ，せん断に対する評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | | パラメータ | | | ばね定数 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 高さ $h_{us2cm}$ (mm) | 幅 $b_{us2cm}$ (mm) | 長さ $L_{us2cm}$ (mm) | | |
| 嵌合部①下 | 曲げ | | | | $K_{b1}$ | |
| | せん断 | | | | $K_{s1}$ | |
| 嵌合部②下 | 曲げ | | | | $K_{b2}$ | |
| | せん断 | | | | $K_{s2}$ | |
| | | | | | $K_{us2cm}$ | |

表2-18　上部サポート(タイプ2（サポート胴部）)の軸方向評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | | | | ばね定数 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 高さ $L_{us2fa}$ (mm) | 幅 $b_{us2fa}$ (mm) | 厚さ $h_{us2fa}$ (mm) | 係数 $\alpha_{us2fa}$ | | |
| (a)嵌合部① | | | | | $K_{us2fa}$（a） | |
| (b)嵌合部①-②間 | | | | | $K_{us2fa}$（b） | |
| (c)嵌合部② | | | | | $K_{us2fa}$（c） | |
| (d)嵌合部②下端から膨出部上端まで | | | | | $K_{us2fa}$（d） | |
| (e)膨出部 | | | | | $K_{us2fa}$（e） | |
| (f)膨出部下端から嵌合部③上端まで | | | | | $K_{us2fa}$（f） | |
| (g)嵌合部③ | | | | | $K_{us2fa}$（g） | |
| | | | | | $K_{us2fa}$ | |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-19　上部サポート（タイプ2（サポート胴部））曲げ及びせん断に対する評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | | パラメータ | | | ばね定数 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 高さ $h_{us2fm}$ (mm) | 幅 $b_{us2fm}$ (mm) | 長さ $L_{us2fm}$ (mm) | | |
| 膨出部 | 曲げ | | | | $K_{us2b}$ | |
| 嵌合部①上 | 曲げ | | | | $K_{us2b1}$ | |
| | せん断 | | | | $K_{us2s1}$ | |
| 嵌合部②上 | 曲げ | | | | $K_{us2b2}$ | |
| | せん断 | | | | $K_{us2s2}$ | |
| 嵌合部③下 | 曲げ | | | | $K_{us2b3}$ | |
| | せん断 | | | | $K_{us2s3}$ | |
| | | | | | $K_{us2fm}$ | |

表2-20　上部サポート(タイプ2)のばね定数まとめ

| 部位 | ばね定数（kgf/mm） |
|---|---|
| クリフハンガー部軸方向に対するばね定数　$K_{us2ca}$ | |
| 嵌合部下における曲げ，せん断荷重に対するばね定数　$K_{us2cm}$ | |
| 上部サポート胴部の軸方向荷重に対するばね定数　$K_{us2fa}$ | |
| 嵌合部下における曲げ，せん断荷重に対するばね定数　$K_{us2fm}$ | |
| 上部サポートのばね定数　$K_{us2}$ | |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ハ．炉心シュラウド支持ロッド $K_{tr}$

炉心シュラウド支持ロッドは上部及び下部の2本のロッドが下部スタビライザを挟んで連結される構造となっており，上部タイロッドはタイプ1及びタイプ2により外径が異なる。

図2-35に示すように断面形状ごとに区分し，各区分における長さを算出する。

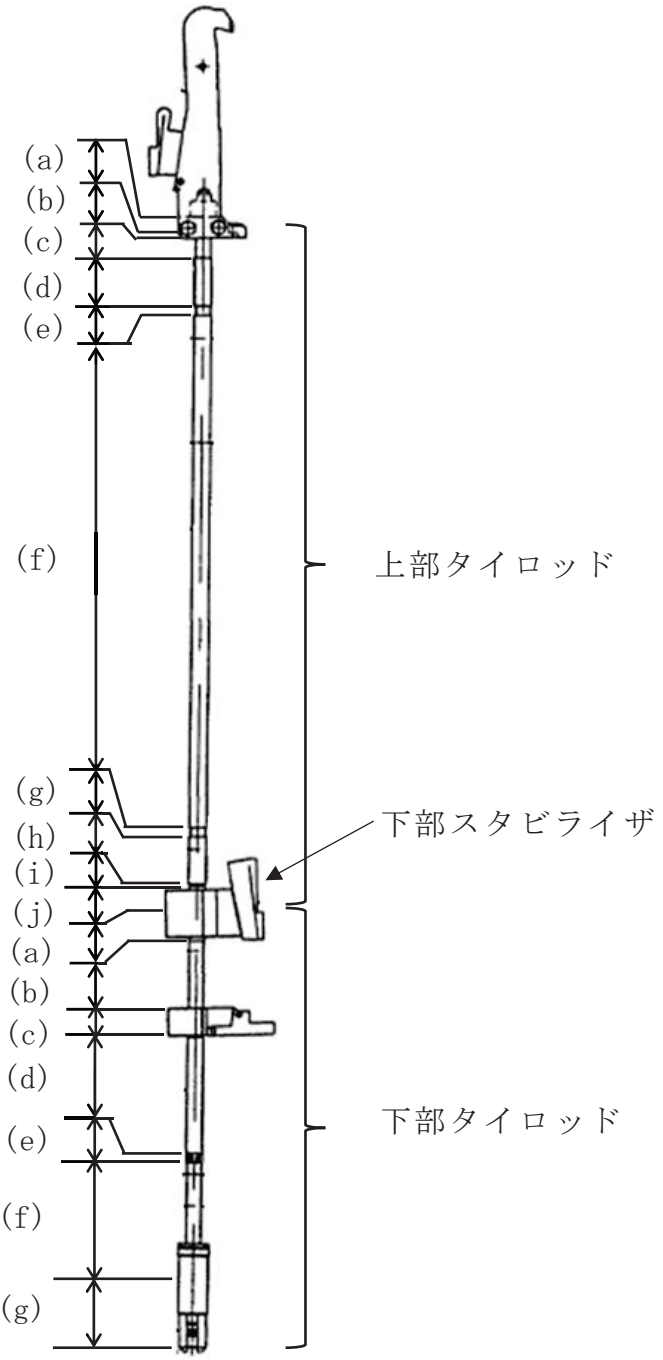



図2-35　炉心シュラウド支持ロッドの領域説明図

タイプ1及びタイプ2の上部タイロッドのばね定数はそれぞれの上部タイロッドのばね定数と下部タイロッドのばね定数を組み合わせて次式に示す式により求める。

$$K_{tr} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{utr}} + \frac{1}{K_{ltr}}\right)}$$

$$K_{utr1} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{utr}(a)} + \frac{1}{K_{utr}(b)} + \frac{1}{K_{utr}(c)} + \frac{1}{K_{utr}(d)} + \frac{1}{K_{utr}(e)} + \frac{1}{K_{utr}(f)} + \frac{1}{K_{utr}(g)} + \frac{1}{K_{utr}(h)} + \frac{1}{K_{utr}(i)} + \frac{1}{K_{utr}(j)}\right)}$$

$$K_{utr2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{utr}(a)} + \frac{1}{K_{utr}(b)} + \frac{1}{K_{utr}(c)} + \frac{1}{K_{utr}(d)'} + \frac{1}{K_{utr}(e)} + \frac{1}{K_{utr}(f)'} + \frac{1}{K_{utr}(g)} + \frac{1}{K_{utr}(h)'} + \frac{1}{K_{utr}(i)} + \frac{1}{K_{utr}(j)}\right)}$$

$$K_{ltr} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{ltr}(a)} + \frac{1}{K_{ltr}(b)} + \frac{1}{K_{ltr}(c)} + \frac{1}{K_{ltr}(d)} + \frac{1}{K_{ltr}(e)} + \frac{1}{K_{ltr}(f)} + \frac{1}{K_{ltr}(g)}\right)}$$

ここで，

$K_{utr}$：上部タイロッドのばね定数

$K_{ltr}$：下部タイロッドのばね定数

$K_{utr1}$：タイプ1の上部タイロッドのばね定数

$K_{utr2}$：タイプ2の上部タイロッドのばね定数

$K_{utr}(a)$～$K_{utr}(j)$：領域Ａ～Ｊのばね定数（＝ＥＡ／Ｌ）

（$K_{utr}(d)$，$K_{utr}(f)$，$K_{utr}(h)$において「’」無しはタイプ1を示し，「’」有はタイプ2を示す）

$K_{ltr}(a)$～$K_{ltr}(g)$：領域Ａ～Ｇのばね定数（＝ＥＡ／Ｌ）

Ｅ：縦弾性係数（＝ [redacted] kgf/mm$^2$）

Ａ：断面積（＝$\pi D^2/4$）

（ただし，六角部は$A_{hex}$＝ [redacted]

Ｌ：対象部位長さ

Ｄ：口径

図2-35に示す各領域ごと（上部タイロッドは(a)～(j)，下部タイロッドは(a)～(g)）に算定したばね定数を表2-21及び表2-22に示す。これらの結果から，タイロッドのばね定数$K_{tr}$は次のように求まる。

タイプ1：$K_{tr1}$＝ [redacted] (kgf/mm)

タイプ2：$K_{tr2}$＝ [redacted] (kgf/mm)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-21　上部タイロッドの評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | | ばね定数（kgf/mm） |
|---|---|---|---|
| | 口径<br>D（mm） | 長さ<br>L（mm） | |
| (a)領域 A | | | $K_{utr}$(a) |
| (b)領域 B | | | $K_{utr}$(b) |
| (c)領域 C | | | $K_{utr}$(c) |
| (d)領域 D（タイプ 1） | | | $K_{utr}$(d) |
| (d)領域 D’（タイプ 2） | | | $K_{utr}$(d)’ |
| (e)領域 E 六角部 | | | $K_{utr}$(e) |
| (f)領域 F（タイプ 1） | | | $K_{utr}$(f) |
| (f)領域 F’（タイプ 2） | | | $K_{utr}$(f)’ |
| (g)領域 G 六角部 | | | $K_{utr}$(g) |
| (h)領域 H（タイプ 1） | | | $K_{utr}$(h) |
| (h)領域 H’（タイプ 2） | | | $K_{utr}$(h)’ |
| (i)領域 I | | | $K_{utr}$(i) |
| (j)領域 J | | | $K_{utr}$(j) |
| | | | $K_{utr1}$ |
| | | | $K_{utr2}$ |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-22　下部タイロッドの評価モデル諸元及びばね定数

| 部位 | パラメータ | | ばね定数（kgf/mm） |
|---|---|---|---|
| | 口径 D（mm） | 長さ L（mm） | |
| (a)領域 A | | | $K_{ltr}$(a) |
| (b)領域 B | | | $K_{ltr}$(b) |
| (c)領域 C | | | $K_{ltr}$(c) |
| (d)領域 D | | | $K_{ltr}$(d) |
| (e)領域 H 六角部 | | | $K_{ltr}$(e) |
| (f)領域 F | | | $K_{ltr}$(f) |
| (g)領域 G | | | $K_{ltr}$(g) |
| | | | $K_{ltr}$ |

ニ．シュラウドサポートプレート（トグル貫通部）$K_{LP}$

シュラウドサポートプレートには炉心シュラウド支持ロッド貫通孔のトグルとの接触部において上方への引き上げ荷重が付与される。これを外周単純支持円板にモデル化（図2-36参照）し，文献[1]A4-55，No.9 より次式を用いてばね定数を算出する。

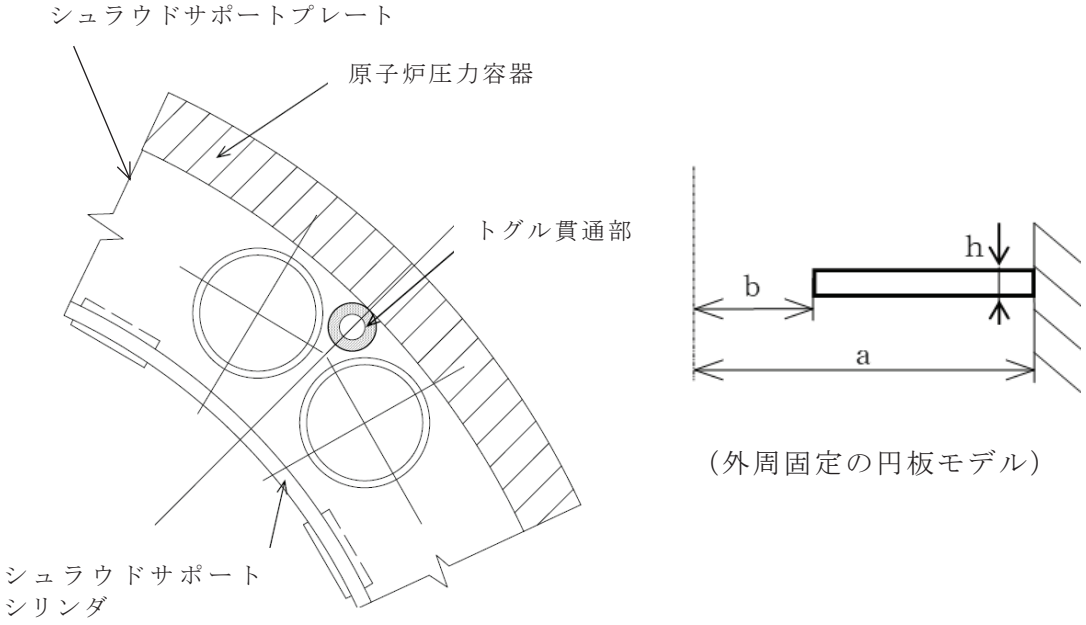



図2-36シュラウドサポート（トグル貫通部）のモデル化概要



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$K_{LP}=\frac{E\,h^{3}}{\alpha_{9}\,a^{2}}$$

ここで，

E　：　縦弾性係数

h　：　板厚

$\alpha_9$：　たわみ係数　[　]（図2-37）

a　：　外半径

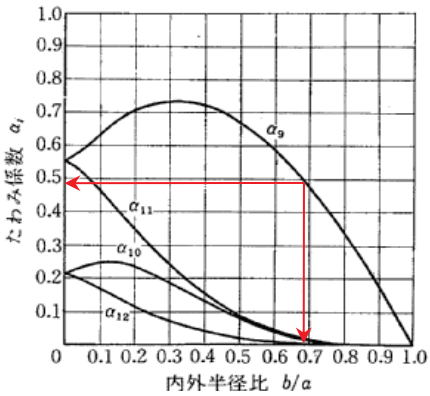



図 2-37　たわみ係数と半径比の関係

評価モデル諸元及びばね定数算定結果を表2-23に示す。

表2-23　シュラウドサポートプレート局部評価モデル諸元及びばね定数

| | |
|---|---|
| 孔直径　2b(mm) | [　] |
| 外半径　a(mm)＊1 | |
| 板厚　h(mm) | |
| 内外半径比：b／a | |
| たわみ係数 | |
| 縦弾性係数E(kgf/mm$^2$) | |
| ばね定数　$K_{LP}$(kgf/mm) | |

注記＊1：RPV内壁までの距離


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

以上より，タイプごとの炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数$K_{axial}$及び回転ばね定数$K_7$をまとめて，表2-24及び表2-25に示す。

表2-24　炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数

| 部位 | タイプ 1 | タイプ 2 |
|---|---|---|
| 上部サポート　$K_{us}$(kgf/mm) | | |
| 上部タイロッド軸ばね　$K_{utr}$(kgf/mm) | | |
| 下部タイロッド軸ばね　$K_{ltr}$(kgf/mm) | | |
| シュラウドサポートプレート局部ばね　$K_{LP}$(kgf/mm) | | |
| 炉心シュラウド支持ロッド軸方向ばね　$K_{axial}$(kgf/mm) | | |
| 炉心シュラウド支持ロッド軸方向ばね（平均値）　$K_{am}$ (kgf/mm) | | |

表2-25　炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数評価結果

| パラメータ | タイプ 1／タイプ 2 |
|---|---|
| 炉心シュラウド支持ロッド軸方向ばね（平均値）　$K_{am}$ | |
| 据付半径　　R（上部サポートブロック嵌合ピン中間） | |
| $K_7$ | |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.5　材料物性値（縦弾性係数，ポアソン比）

大型機器，炉内構造物系の材料物性値（縦弾性係数，ポアソン比）は，適用する規格・基準に基づき，表 2-26，表 2-27 に示す値を使用する。また，原子炉建屋の材料物性値（縦弾性係数，ポアソン比）は，Ⅵ-2-3-2「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき，表 2-28～表 2-30 に示す値を使用する。

表 2-26　解析に用いる大型機器系の物性値（水平方向）

| 名称 | 材料 | 縦弾性係数 E ($N/mm^2$) | 温度 (℃) | ポアソン比 $\nu$ | 出典 |
|---|---|---|---|---|---|
| 原子炉しゃへい壁 | SM400B | | | | （縦弾性係数）<br>昭和 55 年　告示 501 号<br>（ポアソン比）<br>日本建築学会<br>2005 年　鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- |
| 原子炉本体の基礎 | SPV490 | | | | |
| 原子炉圧力容器 | SQV2A<br>SFVQ1A | | | | |
| 原子炉圧力容器<br>支持スカート | SGV480 | | | | |
| 原子炉格納容器 | SGV480<br>SPV490 | | | | |


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-27　解析に用いる炉内構造物系の物性値（水平方向）

| 名称 | 材料 | 縦弾性係数 E<br>(N/mm²) | 温度<br>(℃) | ポアソン比<br>$\nu$ | 出典 |
|---|---|---|---|---|---|
| 原子炉しゃへい壁 | SM400B | | | | （縦弾性係数）<br>昭和 55 年　告示 501 号<br>（ポアソン比）<br>日本建築学会<br>2005 年　鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- |
| 原子炉本体の基礎 | SPV490 | | | | |
| 原子炉圧力容器 | SQV2A<br>SFVQ1A | | | | |
| 原子炉圧力容器<br>支持スカート | SGV480 | | | | |
| 炉心シュラウド | SUS316L | | | | |
| 原子炉圧力容器<br>下部鏡板 | SFVQ1A | | | | |
| 制御棒案内管 | SUS316L | | | | |
| 制御棒駆動機構<br>ハウジング | SUSF316 | | | | |
| 燃料集合体 | ジルカロイ | | | | 文献に基づくメーカ採用値 |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-28　解析に用いる建屋の物性値（NS 方向）

| 名称 | 縦弾性係数 E<br>($N/mm^2$) | ポアソン比 $\nu$ | 出典 |
|---|---|---|---|
| 原子炉建屋 | $1.99\times10^4$ * | 0.167 | 日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 |
| 原子炉建屋<br>（オペフロ上部） | $7.94\times10^3$ * | 0.167 | 日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 |
| 原子炉建屋<br>（補強耐震壁） | $2.52\times10^4$ | 0.2 | 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<br>-許容応力度設計法- |
| 原子炉建屋<br>（鉄骨ブレース） | $2.05\times10^5$ | 0.3 | 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- |

表 2-29　解析に用いる建屋の物性値（EW 方向）

| 名称 | 縦弾性係数 E<br>($N/mm^2$) | ポアソン比 $\nu$ | 出典 |
|---|---|---|---|
| 原子炉建屋 | $2.12\times10^4$ * | 0.167 | 日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 |
| 原子炉建屋<br>（オペフロ上部） | $1.32\times10^4$ * | 0.167 | 日本建築学会 1988 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 |
| 原子炉建屋<br>（補強耐震壁） | $2.52\times10^4$ | 0.2 | 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<br>-許容応力度設計法- |

表 2-30　解析に用いる建屋の物性値（鉛直方向）

| 名称 | 縦弾性係数 E<br>($N/mm^2$) | ポアソン比 $\nu$ | 出典 |
|---|---|---|---|
| 原子炉建屋(鉄筋コンクリート造) | － | － | － |
| 原子炉建屋(屋根トラス部) | $2.65\times10^4$ | 0.3 | 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- |

注記＊：既設部材については，乾燥収縮及び地震影響による剛性低下を考慮した値

2.1.6　シュラウド溶接線分離ケースのモデル化

炉心シュラウド支持ロッドは，炉心シュラウド全ての溶接線が分離した状態においても，炉心シュラウド支持ロッドによる拘束力により，炉心シュラウドの機能を維持し得る設計としている。そのため，炉心シュラウド支持ロッド施工後は，炉心シュラウド全ての溶接部の構造健全性及び構造強度を期待しない構造となっている。ただし，炉内構造物系地震応答解析モデルを用いた解析においては，シュラウド溶接線の分離（シュラウド溶接線の分離想定ケース）を考慮し，炉心シュラウド及び炉心シュラウド支持ロッドの評価で考慮する地震荷重が最も厳しくなる分離想定ケースを選定する。

具体的には，炉内構造物系の地震応答解析においては，補足説明資料「補足-600-8-1　建屋-機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について」に示したように４つのシュラウド溶接線分離ケースを想定しており，溶接線が分離していることを仮定して，分離部における力の伝達等を考慮した地震応答解析モデルを設定している。

以下にシュラウド溶接線が健全な場合及びシュラウド溶接線の分離を想定した場合のモデル化設定を示す。

2.1.6.1　シュラウド溶接線が健全な場合

シュラウド溶接線が健全な場合のモデル化については，2.1.4.2（5）a.（a）に示す。

2.1.6.2　シュラウド溶接線の分離を想定した場合

（1）炉心シュラウド支持ロッド

シュラウド溶接線の分離を想定した場合は，図 2-38 のようにシュラウドは［　　］する。これを考慮して，2.1.4.2 と同様の考え方で回転ばね定数$K_7$を求めると次のようになる。

［　　］

図 2-38　シュラウド溶接線分離のモデル化概要



［枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。］

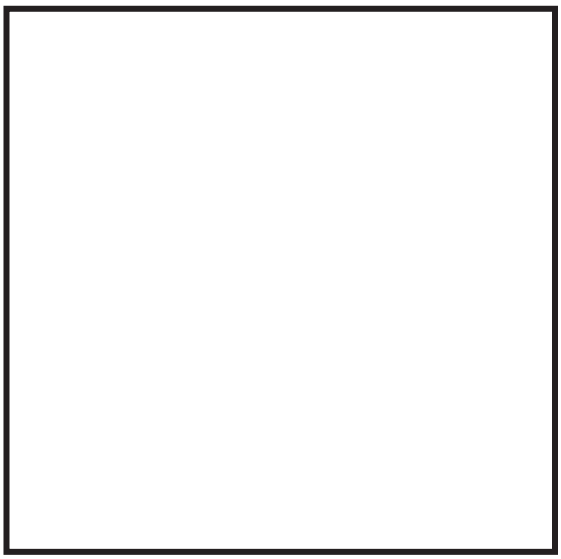


図 2-39　炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数算定概要

$R_1 =$ ［　　］，$R_2 =$ ［　　］，

$R_3 =$ ［　　］，$R_4 =$ ［　　］

$K_7 =$ ［　　］

$= 6 K_{am} R^2$

(2) 炉心シュラウド

シュラウド溶接線の分離を想定した場合において，解析に用いる炉心シュラウドの荷重-変位関係を図 2-40 に示す。なお，炉心シュラウド端部における口開きの角度 $\theta_s$ は，以下のとおり設定される。

$\delta_s =$ ［　　］

$\theta_s =$ ［　　］

［　　］



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

図 2-40　炉心シュラウドの荷重変位関係

なお，$\delta_s$は次のように算定する。溶接線が口開きするまで生じている力としては，[redacted]がある。[redacted]までが力の伝達が考慮できる範囲とする。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a．炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数$K_{am}$

計算条件を以下のとおり設定する（図 2-41）。

| | |
|---|---|
| [redacted] | ：F（kgf） |
| 炉心シュラウド半径 | ：$R_s$（mm） |
| 炉心シュラウド高さ | ：L（mm） |
| 炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数 | ：$K_{am}$（N/mm） |
| 縦弾性係数 | ：E（$N/mm^2$） |
| 炉心シュラウド断面積 | ：A（$mm^2$） |

炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数は，炉心シュラウド支持ロッドが４本あるため，計４$K_{am}$（N/mm）となる。

[redacted]

図 2-41　炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数算定概要

b．炉心シュラウド自体の引張に対するばね定数Ｋｓ

炉心シュラウド自体の引張に対するばね定数Ｋｓは，以下のとおりとなる。（図 2-42）

$$K_S = \frac{E A}{L}$$

[redacted] Ｆによる炉心シュラウドの鉛直方向変位量δは，炉心シュラウド支持ロッドの軸方向ばね定数と炉心シュラウド自体のばね定数により算出される。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$F = K\delta$$

ここで，

$$K = \boxed{\phantom{xxxxxxxx}}$$

よって，炉心シュラウドの鉛直方向変位量$\delta_s$は，$\boxed{\phantom{xxxxxxxxxxxx}}$ $\boxed{\phantom{xxxxxxxx}}$ $F_s$を用いて以下のとおり表される。

$$\delta_s = \boxed{\phantom{xxxxxxxx}}$$

鉛直方向変位量が$\delta_s$となるまでシュラウド溶接線に分離が生じないものとする。

図 2-42　炉心シュラウドの変位量$\delta_s$の概要

なお，炉心シュラウド支持ロッドは鉛直軸に対して斜めにとりついているが，その角度は鉛直方向に対して$\boxed{\phantom{xxxx}}$と小さく，応答に及ぼす影響は小さいと考えられるため，軸方向を鉛直方向として扱っている（補足説明資料「補足-600-40-45　炉心シュラウド支持ロッドの構造及び耐震評価に関する補足説明資料」参照）。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 炉心シュラウドの荷重-変位特性（M-φ関係）の設定

炉内構造物系地震応答解析モデルのうち,炉心シュラウドに設定する第1折点までの荷重-変位特性は，以下のとおり設定する。

なお，溶接線の位置に基づき，H1分離ケースでは要素32，H6b分離ケースでは要素25のみ第1折点を設定し，全溶接線分離ケースでは全ての要素に非線形の荷重-変位特性を設定する（要素番号は表2-32参照)。また，H1分離ケース，H6b分離ケースにおいて溶接線の分離を想定しない要素及び健全ケースの各要素においては線形の荷重－変位特性を設定する。

a. シュラウド溶接線が口開きするときの曲げモーメント$M_s$

シュラウド溶接線が口開きするときの曲げモーメント$M_s$は，以下のとおり算定する。算定に用いた諸元及び算定結果を表2-31に示す。なお，曲げモーメントはシュラウド中間胴の諸元を代表として算定しており，溶接線分離位置によらず，一定の値を設定する。

$$K_S = \frac{E\,A}{L}$$

ここで,

$\theta_s$：炉心シュラウド端部における口開きの角度（rad)

$\delta_s$：炉心シュラウドの鉛直方向変位量（mm)

$K_s$：炉心シュラウド自体の引張に対するばね定数（kgf/mm)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-31　シュラウド溶接線が口開きするときに炉心シュラウドに生じる曲げモーメント算定の諸元及び算定結果

| | | |
|---|---|---|
| E：縦弾性係数　(kgf/mm$^2$) | | |
| I：断面二次モーメント　(mm$^4$) | | |
| L：炉心シュラウド高さ　(mm) | | |
| $R_s$：炉心シュラウド半径　(mm) | | |
| $F_s$： | (kgf) | |
| $K_{am}$：炉心シュラウド支持ロッド軸方向ばね定数　(kgf/mm) | | |
| A：炉心シュラウド断面積　(mm$^2$) | | |
| $\theta_s$：炉心シュラウド端部における口開きの角度 (rad) | | |
| $\delta_s$：炉心シュラウドの鉛直方向変位量 (mm) | | |
| $K_s$:炉心シュラウド自体の引張に対するばね定数 (kgf/mm) | | |
| $M_s$：シュラウド溶接線が口開きするときに | (kgf/mm) | |
| 炉心シュラウドに生じる曲げモーメント | (kN/mm) | |

b. シュラウド溶接線が口開きするときの曲率$\phi_s$

シュラウド溶接線が口開きするときの炉心シュラウドの曲率$\phi_s$は，上記 a. で算定した曲げモーメント$M_s$に基づき，以下のとおり要素ごとに設定する。

$$\phi_s = \frac{M_s}{E\,I}$$



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-32　シュラウド溶接線が口開きするときの炉心シュラウドの曲率算定の諸元及び算定結果

| 質点番号* | 要素番号 | 縦弾性係数E ($\times 10^4$ kgf/mm$^2$) | 断面二次モーメントI ($\times 10^{12}$ mm$^4$) | 曲げモーメント$M_s$ ($\times 10^8$ kgf･mm) | 曲率$\phi_s$ ($\times 10^{-9}$ 1/mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 33 | 32 | | | | |
| 32 | 31 | | | | |
| 31 | 30 | | | | |
| 30 | 29 | | | | |
| 29 | 28 | | | | |
| 28 | 27 | | | | |
| 27 | 26 | | | | |
| 26 | 25 | | | | |
| 25 | 24 | | | | |
| 51 | | | | | |

注記＊：質点番号は，図 1-3 及び図 1-4 に対応する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.6.3　シュラウド溶接線分離ケースの設定について

補足説明資料「補足-600-8-1　建屋-機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について」に示したようにシュラウド溶接線の分離ケースは，健全ケース，H1 分離ケース，H6b 分離ケース及び全溶接線分離ケースの 4 つの溶接線の分離ケースを設定している。各溶接線の分離ケースの地震応答解析を実施するにあたり，以下のように条件を設定した。

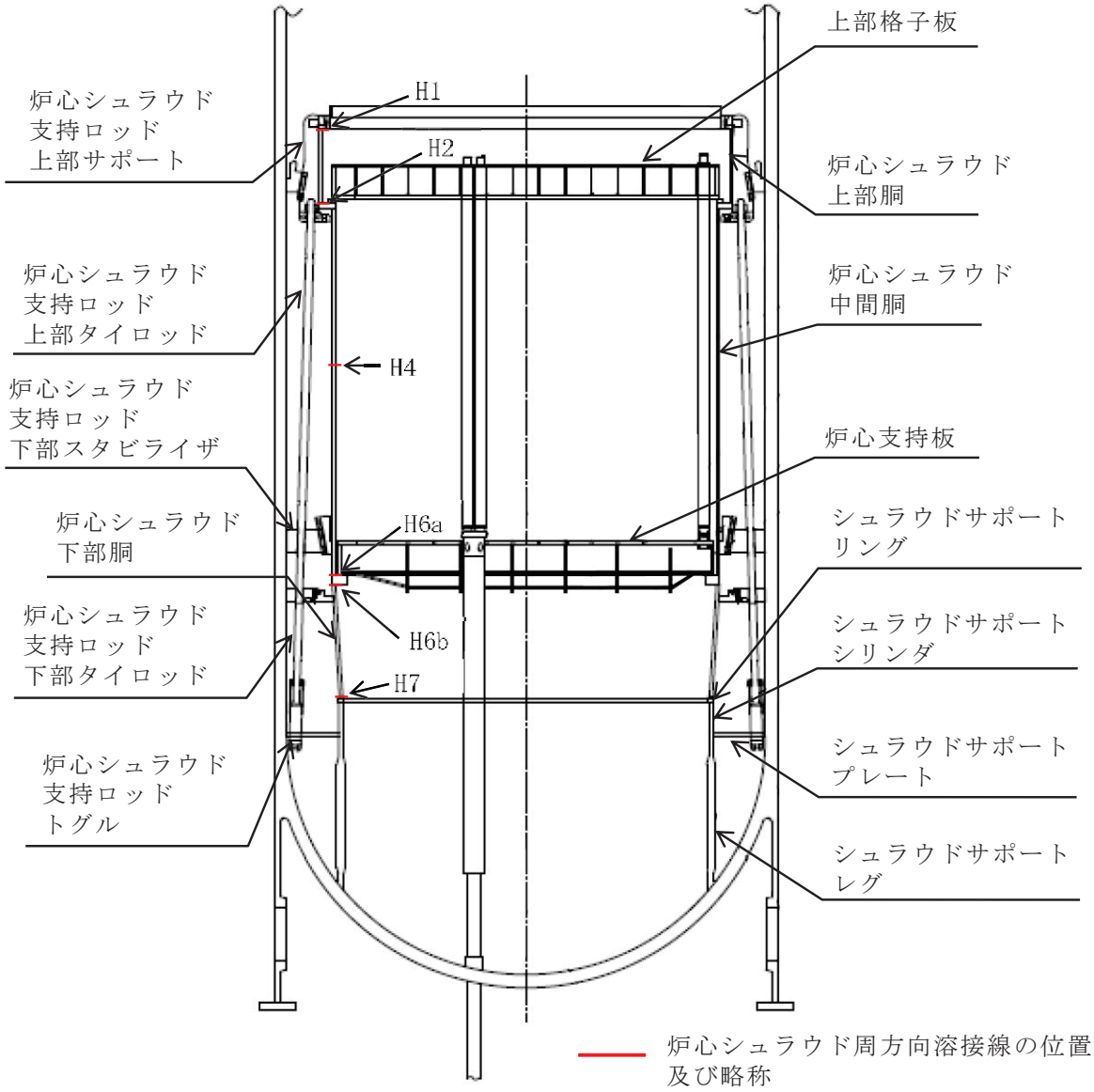



図 2-43　炉心シュラウド，炉心シュラウド支持ロッド及びシュラウドサポートの概略形状並びにシュラウド溶接線の位置

(1) 水平方向地震応答解析モデルにおける溶接線分離ケースの扱い

a. 健全ケースの場合

2.1.6.1 の考え方に基づき，炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数及び炉心シュラウドの荷重-変位特性は以下とする。

- 炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数：$2K_{am}R^2$
- 炉心シュラウドの荷重-変位特性：線形として設定

b. 溶接線分離ケースの場合（H1 分離，H6b 分離及び全溶接線分離ケース）

2.1.6.2 の考え方に基づき，炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数及び炉心シュラウドの荷重-変位特性は以下とする。

- 炉心シュラウド支持ロッドの回転ばね定数：$6K_{am}R^2$
- 炉心シュラウドの荷重-変位特性：非線形特性を設定

  H1 分離，H6b 分離及び全溶接線分離ケースともに，図 2-40 に示す非線形特性を溶接線分離位置の各要素に対し設定する。

なお，実機で確認されている溶接線のひびは，シュラウドサポートリング溶接部（H7）の内側に点在しているものであり，全周が完全に分断されるようなものではない。また，水平方向地震動によって，炉心シュラウドが転倒する方向の力が作用した場合においても，溶接線が口開きしようとする動きを炉心シュラウド支持ロッドが軸方向に機械的に拘束するため，実際に溶接線が口開きするものではないため，健全ケースが実態に近い条件設定となる。

一方，炉心シュラウドの溶接線の分離を想定したケースは，炉心シュラウド支持ロッドの耐震評価に適用する地震荷重が大きくなるように設定した保守的な条件設定である。

(2) 鉛直方向地震応答解析モデルにおける溶接線分離ケースの扱い

炉心シュラウドの溶接線の分離時に，鉛直方向地震動により負荷される上向き荷重が下向き荷重を上回る場合は，炉心シュラウドの溶接線の口開きが生じ，炉心シュラウド自体の荷重負担がなくなり，炉心シュラウド支持ロッドのみで荷重を受ける状態となる。

一方，評価の結果から表 2-33 に示すように，炉心シュラウドに生じる差圧荷重及び鉛直地震荷重（基準地震動Ｓｓ）により負荷される上向き荷重[redacted]は，炉心シュラウドに負荷される下向き荷重である死荷重[redacted]より小さいため，炉心シュラウドの溶接線は口開きすることなく，炉心シュラウドの剛性は健全ケースと同様である。したがって，鉛直方向の地震応答解析においては，炉心シュラウド溶接線の分離想定ケースは実施しない。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-33　炉心シュラウドに作用する上向き荷重及び下向き荷重

| | 荷重の種類 | 荷重（kN） | 荷重の合計（kN） |
|---|---|---|---|
| 上向き荷重 | 差圧荷重 | | |
| | 鉛直地震荷重*1 | | |
| 下向き荷重 | 死荷重 | | |

注記　＊1：「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた基準地震動Ｓｓに対する地震荷重を示す。

＊2：



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2　水平方向地震応答解析モデルの変更の妥当性確認

### 2.2.1　大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデル

大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルの水平方向の地震応答解析モデルにおいて，RPV ペデスタルの地震応答解析モデルは，原子炉建屋基礎版を介して原子炉建屋から地震の入力があることを考慮して，原子炉建屋と RPV ペデスタルを連成させている。また，原子炉格納容器，原子炉圧力容器，圧力容器内部構造物等の機器は，構造体としての規模が大きく，支持構造上からも原子炉建屋との相互作用を考慮するため，これらの機器と原子炉建屋を連成させた解析モデル（大型機器系及び炉内構造物系）を用いている。今回工認では，解析モデルにおける RPV ペデスタルの復元力特性として非線形を考慮するとともに，実機の構造特徴等を踏まえて地震応答解析モデルを設定した。

既工認及び今回工認の耐震評価に用いた大型機器系地震応答解析モデルを図 2-44～図 2-47，炉内構造物系地震応答解析モデルを図 2-48～図 2-51 に示す。また，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルの今回工認における変更点を表 2-34 及び表 2-35 に示す。

表 2-34　大型機器系地震応答解析モデルの変更点

| No. | 項目 | 既工認 | 今回工認 |
|---|---|---|---|
| 1 | RPV ペデスタルの復元力特性* | 線形 | 非線形 |
| 2 | RPV ペデスタルの質点位置* | 均等に分割<br>（NS 方向:62,4,5,6,7）<br>（EW 方向:64,4,5,6,7） | 実機の構造特徴を考慮して設定<br>（NS 方向:3,4,5,6,7）<br>（EW 方向:3,4,5,6,7） |
| 3 | RPV ペデスタル下端の原子炉建屋側との接続位置 | 原子炉建屋基礎版に接続<br>（NS 方向:62,2）<br>（EW 方向:64,2） | 原子炉建屋（1 次しゃへい壁）に接続<br>（NS 方向:3）<br>（EW 方向:3） |
| 4 | 原子炉格納容器の原子炉建屋側との接続位置 | 原子炉格納容器（シヤラグ）の高さに相当する位置に接点（質量なし）を設けて接続<br>（NS 方向：26,47）<br>（EW 方向：26,49） | 原子炉格納容器（シヤラグ）の高さ近傍に位置する原子炉建屋側の質点に接続<br>（NS 方向：26,48）<br>（EW 方向：26,50） |

注記＊：RPV ペデスタルのモデル化については補足説明資料「補足-600-8-3　建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の復元力特性等の設定に関する補足説明資料」参照

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| ｜ | はり |
| ⊸⊸ | 水平ばね |
| ⊚ | 回転ばね |

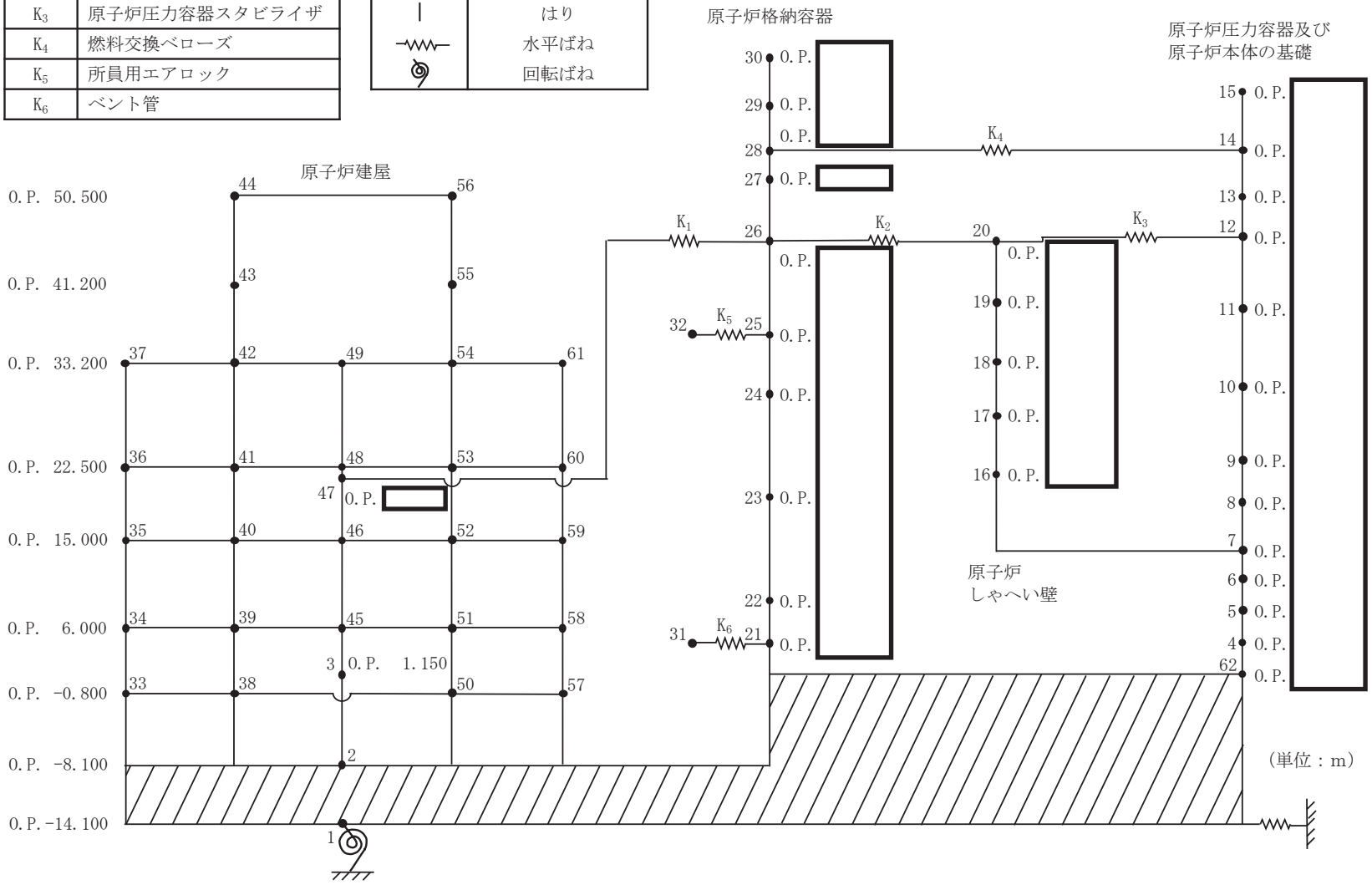



図 2-44　既工認における大型機器系地震応答解析モデル（NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| \| | はり |
| ⊸⊸ | 水平ばね |
| ⌀ ⌀ ⌀ | 回転ばね |

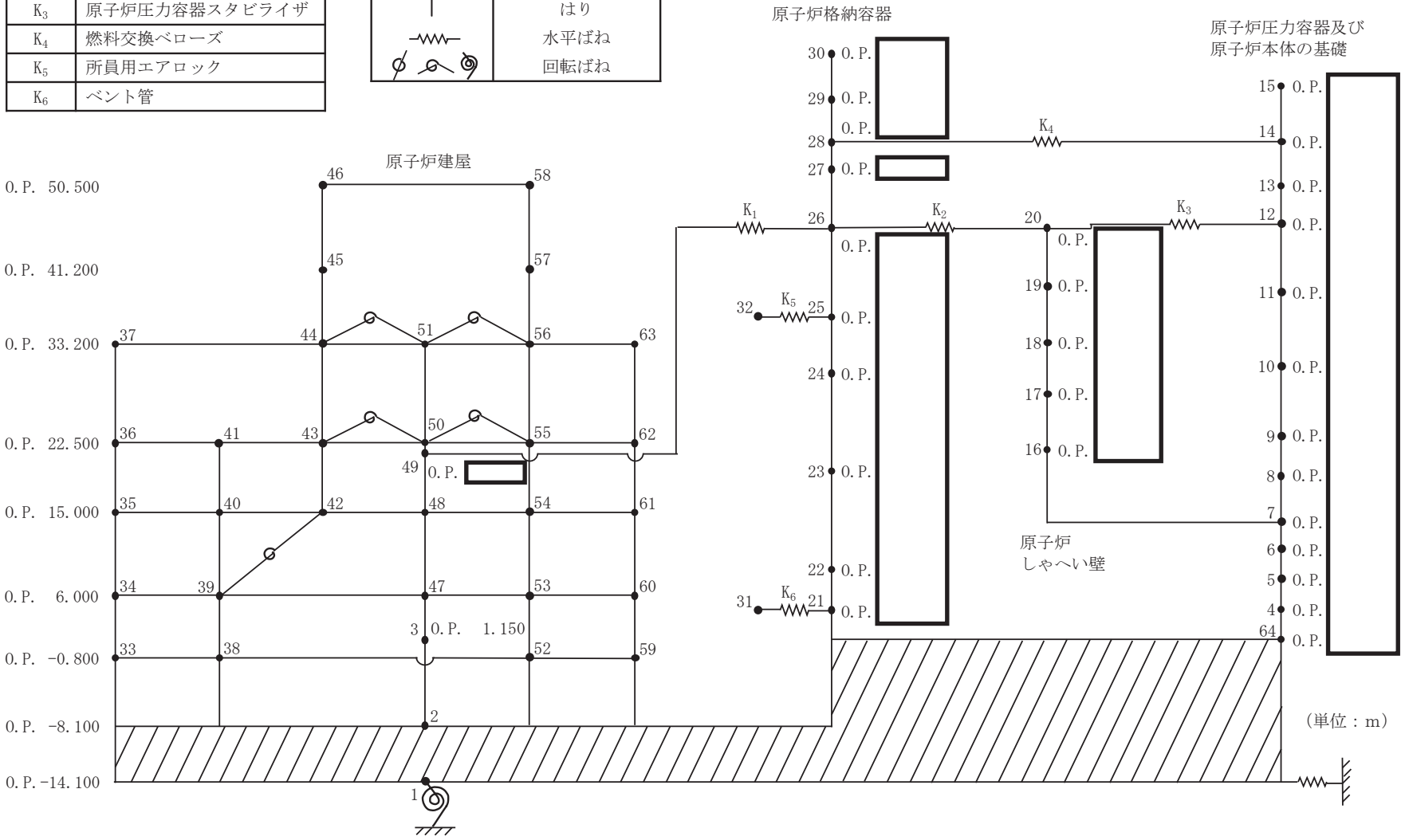



図 2-45　既工認における大型機器系地震応答解析モデル（EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| \| | はり |
| ⌇ | 水平ばね |
| ⊚ | 回転ばね |

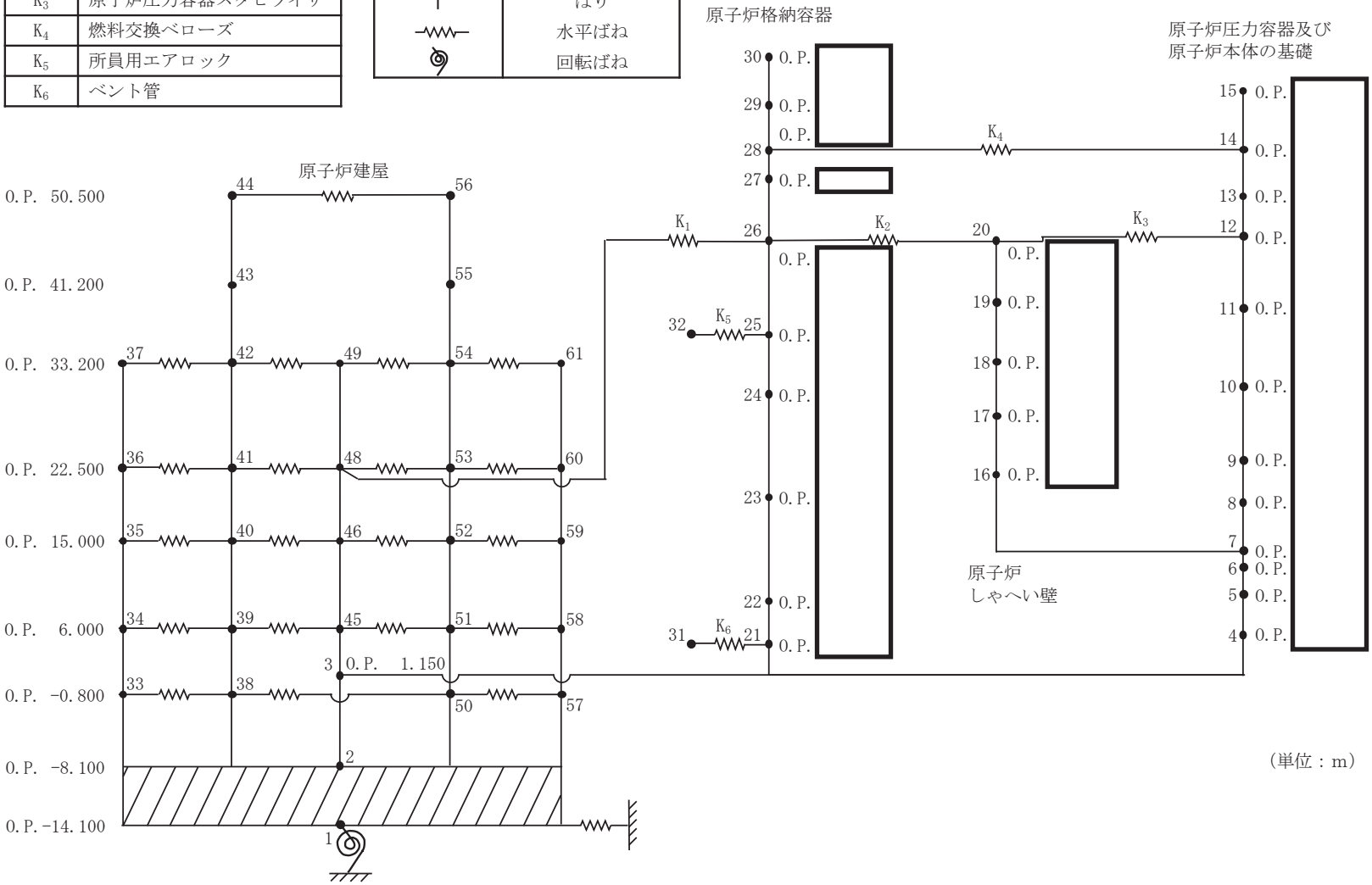



図 2-46　今回工認における大型機器系地震応答モデル（NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器シヤラグ |
| $K_2$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ |
| $K_5$ | 所員用エアロック |
| $K_6$ | ベント管 |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点 |
| \| | はり |
| ～～～ | 水平ばね |
| | 回転ばね |

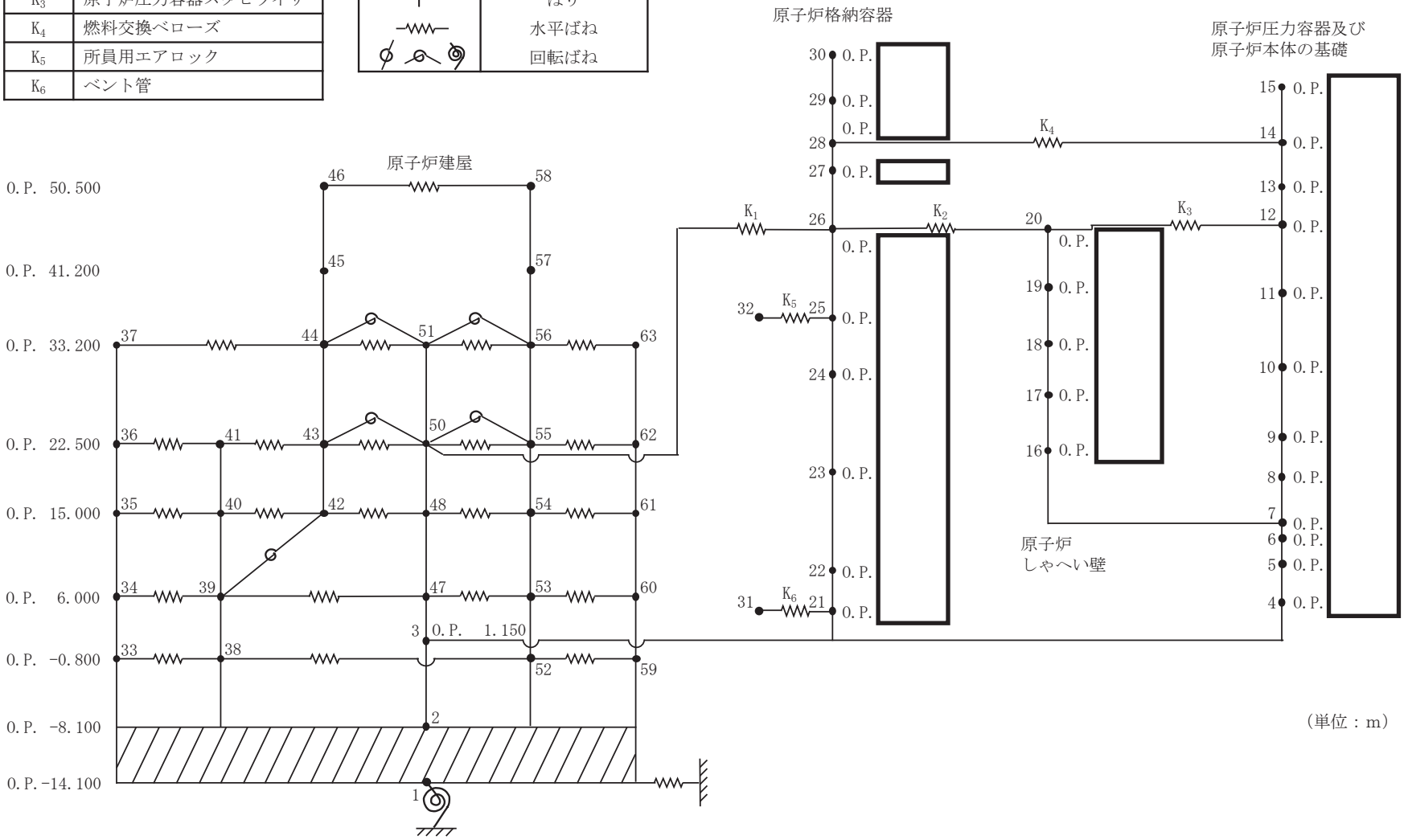



図 2-47　今回工認における大型機器系地震応答モデル（EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-35　炉内構造物系地震応答解析モデルの変更点

| No. | 項目 | 既工認 | 今回工認 |
|---|---|---|---|
| 1 | RPV ペデスタルの復元力特性* | 線形 | 非線形 |
| 2 | RPV ペデスタルの質点位置* | 均等に分割<br>(NS 方向:90,4,5,6,7)<br>(EW 方向:92,4,5,6,7) | 実機構造に合わせて設定<br>(NS 方向:3,4,5,6,7)<br>(EW 方向:3,4,5,6,7) |
| 3 | RPV ペデスタル下端の原子炉建屋側との接続位置 | 原子炉建屋基礎版に接続<br>(NS 方向:90,2)<br>(EW 方向:92,2) | 原子炉建屋（1 次しゃへい壁）に接続<br>(NS 方向:3)<br>(EW 方向:3) |
| 4 | 原子炉しゃへい壁の原子炉建屋側との接続位置 | 原子炉しゃへい壁（原子炉格納容器スタビライザ）の高さに相当する位置に接点（質量なし）を設けて接続<br>(NS 方向：60,75)<br>(EW 方向：60,77) | 原子炉しゃへい壁（原子炉格納容器スタビライザ）の高さ近傍に位置する原子炉建屋の質点に接続<br>(NS 方向：60,76)<br>(EW 方向：60,78) |

注記＊：RPV ペデスタルのモデル化については補足説明資料「補足-600-8-3　建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の復元力特性等の設定に関する補足説明資料」参照

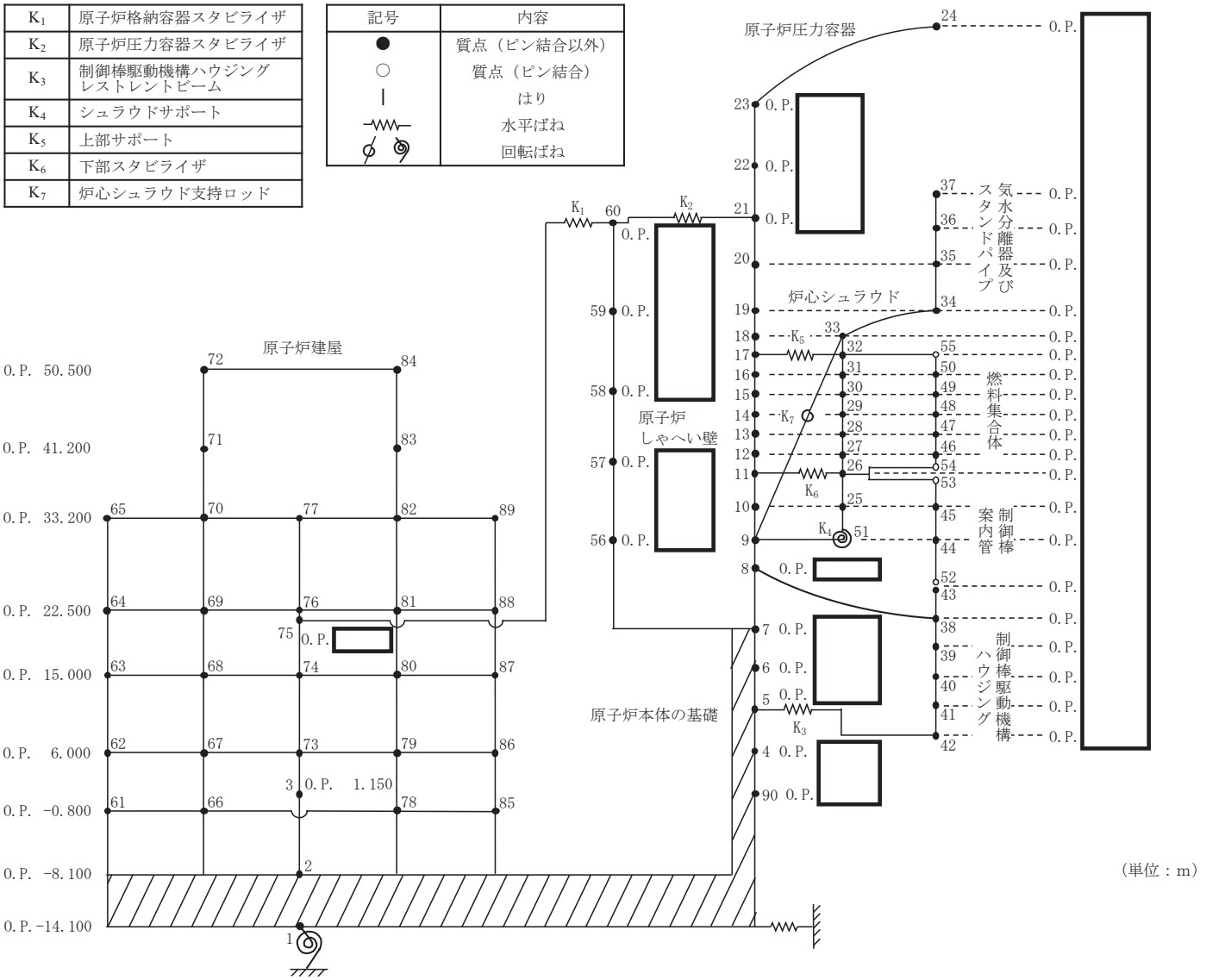



図 2-48　既工認における炉内構造物系地震応答解析モデル（NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム |
| $K_4$ | シュラウドサポート |
| $K_5$ | 上部サポート |
| $K_6$ | 下部スタビライザ |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点（ピン結合以外） |
| ○ | 質点（ピン結合） |
| ｜ | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

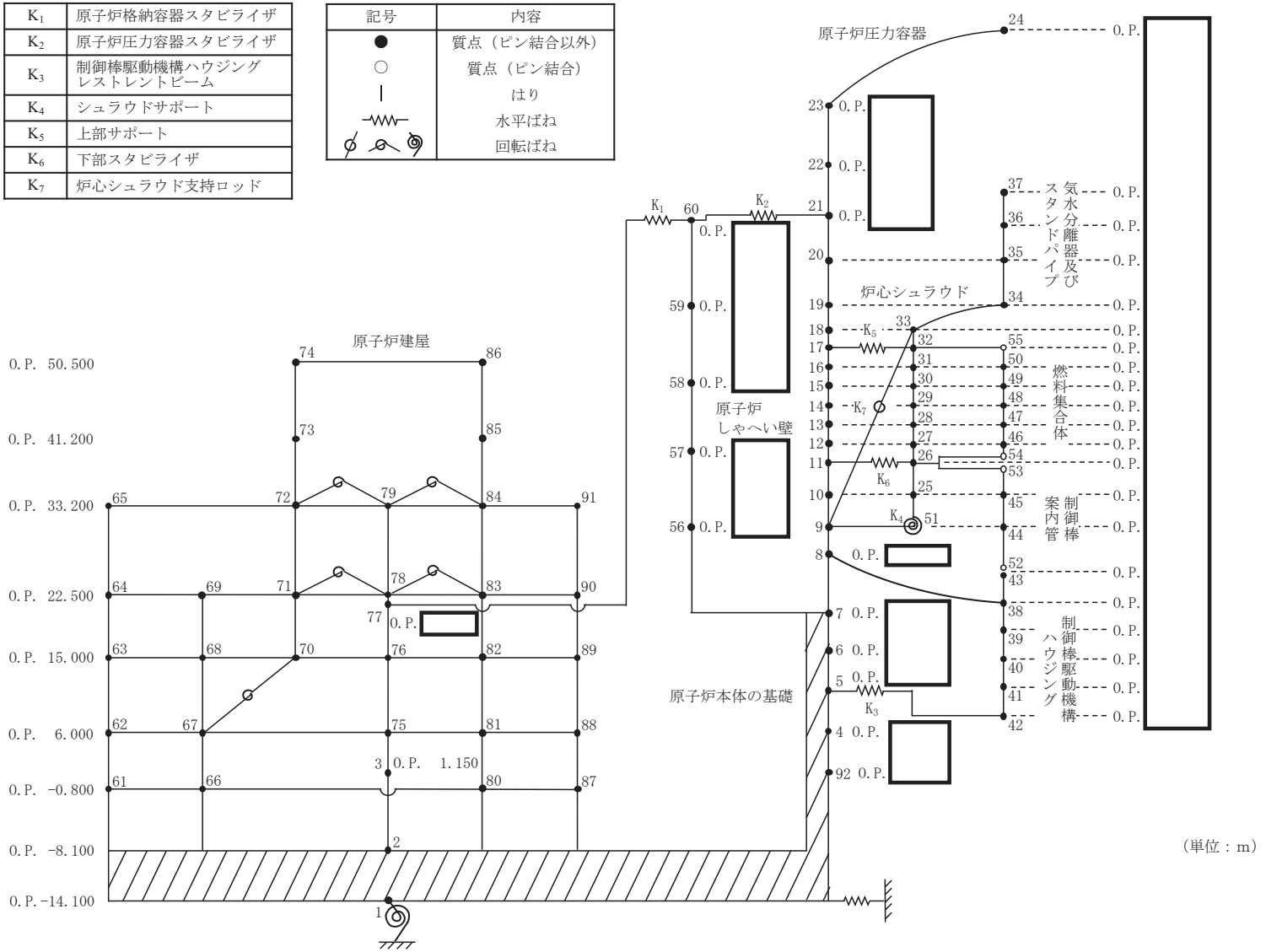



図 2-49　既工認における炉内構造物系地震応答解析モデル（EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム |
| $K_4$ | シュラウドサポート |
| $K_5$ | 上部サポート |
| $K_6$ | 下部スタビライザ |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点（ピン結合以外） |
| ○ | 質点（ピン結合） |
| | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

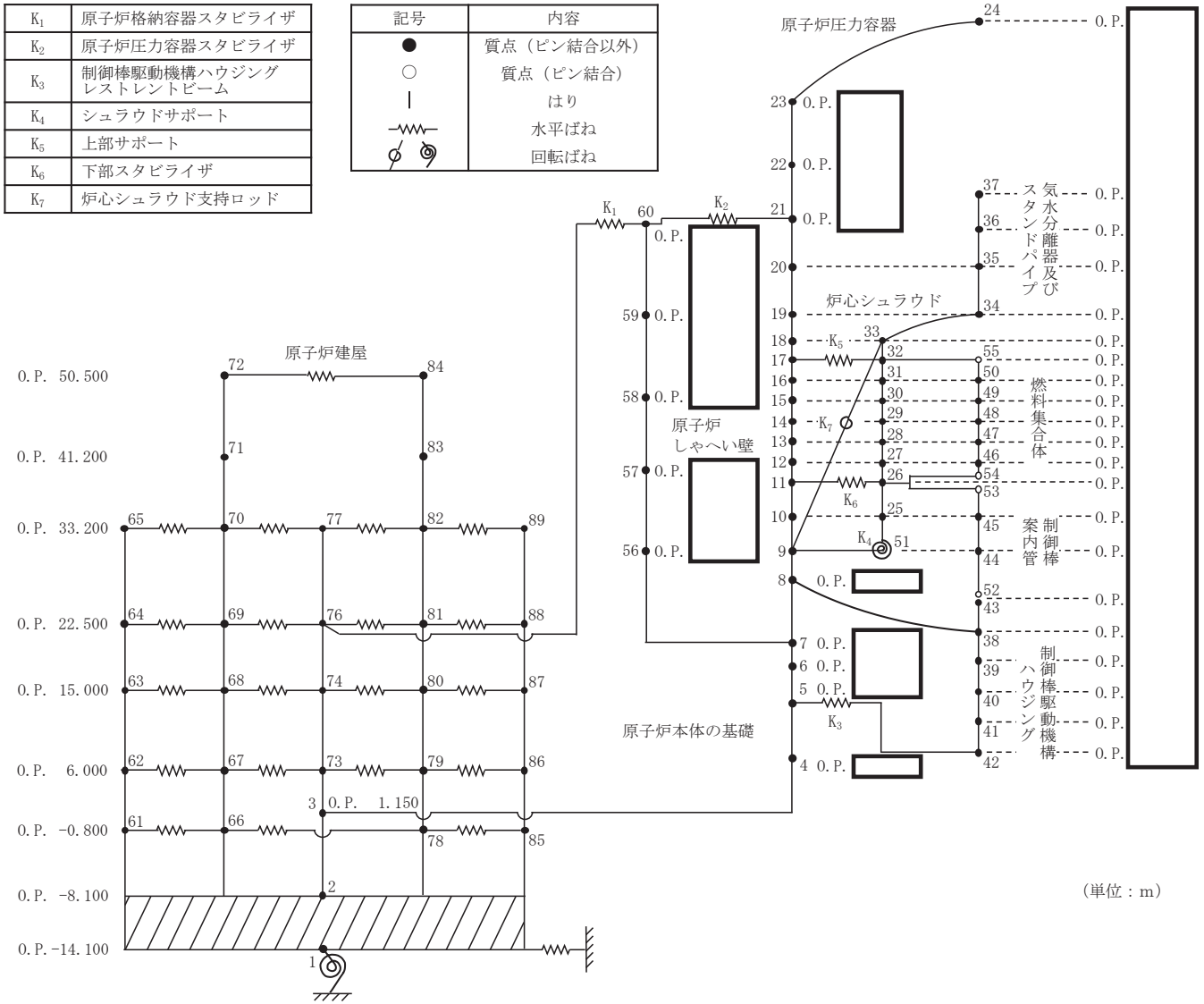



図 2-50　今回工認における炉内構造物系地震応答解析モデル（NS 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器スタビライザ |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器スタビライザ |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム |
| $K_4$ | シュラウドサポート |
| $K_5$ | 上部サポート |
| $K_6$ | 下部スタビライザ |
| $K_7$ | 炉心シュラウド支持ロッド |

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ● | 質点（ピン結合以外） |
| ○ | 質点（ピン結合） |
| | はり |
| | 水平ばね |
| | 回転ばね |

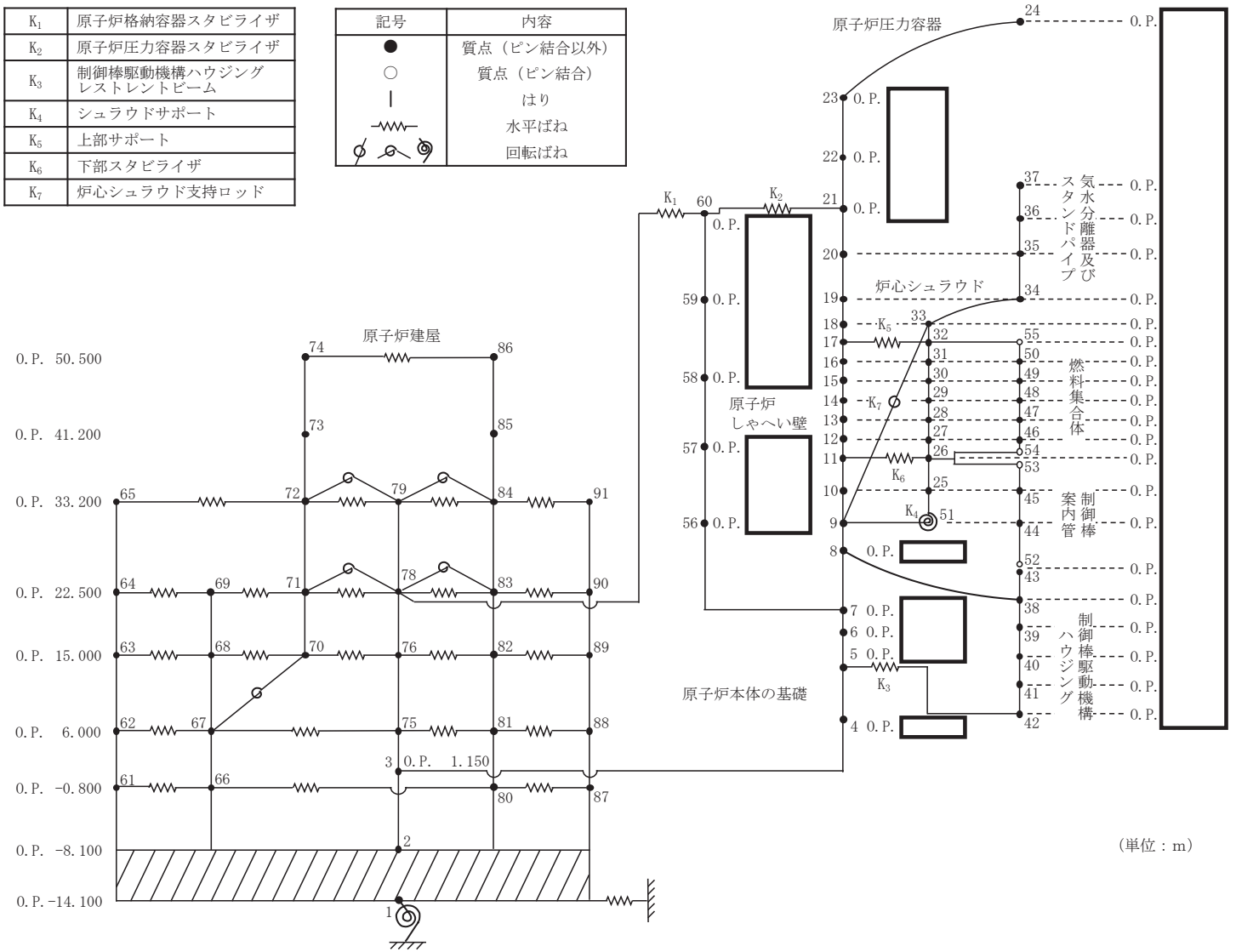



図 2-51　今回工認における炉内構造物系地震応答解析モデル（EW 方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.2　今回工認における地震応答解析モデルの設定変更

今回工認における地震応答解析モデルの設定変更について，大型機器系の地震応答解析モデルを例として，表 2-34 に示した変更点に着目し，既工認及び今回工認における地震応答解析モデルを図 2-51 に示す。なお，図 2-52 における質点，はり及びばねの図示は，原子炉建屋（1 次しゃへい壁），原子炉格納容器，原子炉しゃへい壁，原子炉圧力容器，RPV ペデスタル及びこれらを接続するばねを対象とし，その他の部分は記載を省略している。

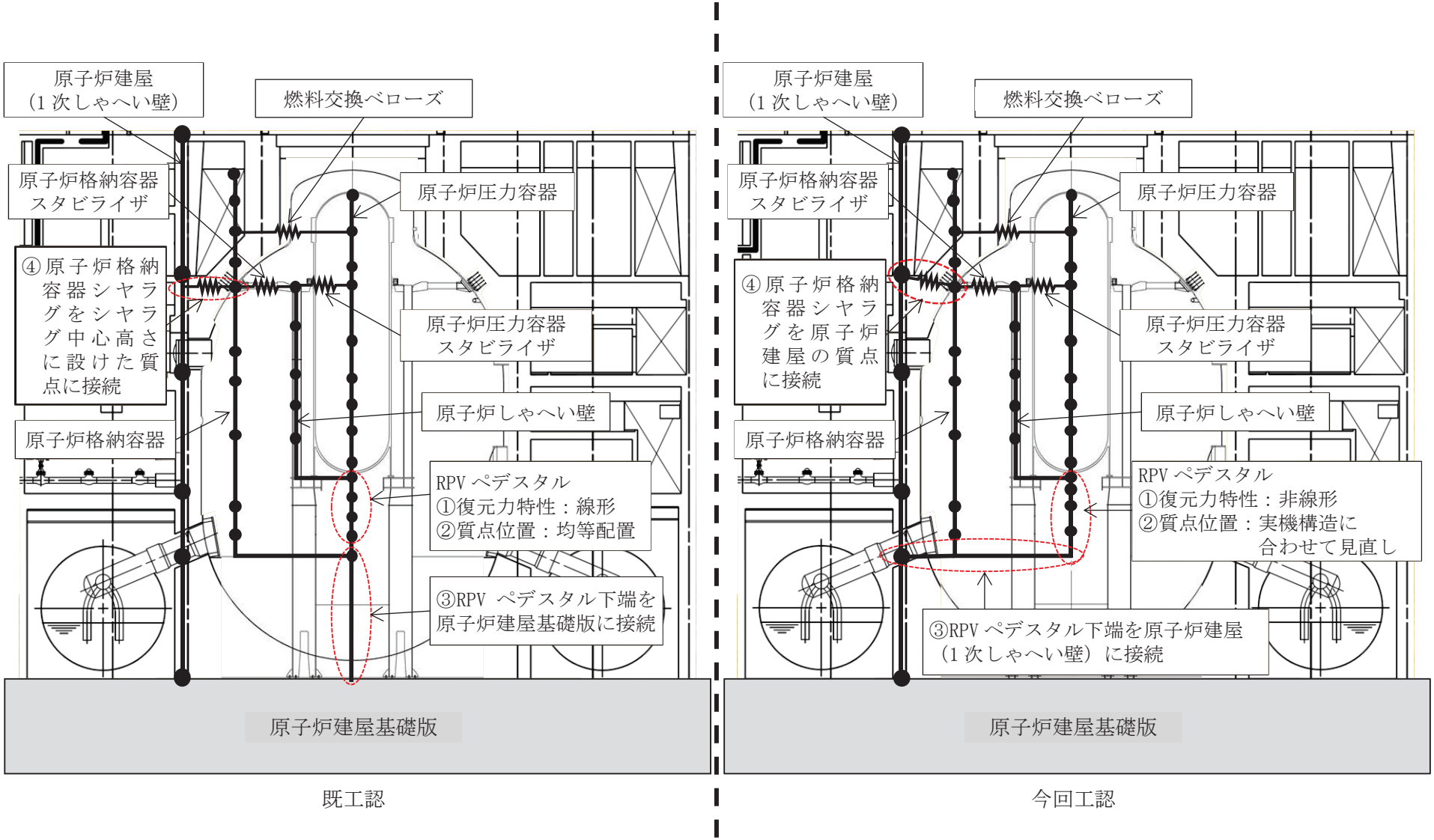
(1)RPV ペデスタルの復元力特性については，既工認では線形としていたが，今回工認においては，RPV ペデスタルに非線形の復元力特性を適用するとともに，非線形の復元力特性の適用に当たっては，剛性を算定する際の断面形状を詳細に考慮するために，RPV ペデスタルの質点位置についても実機構造に合わせて変更した(変更点①，②)。

(2)RPV ペデスタル下端の原子炉建屋側との接続位置については，既工認では原子炉建屋と原子炉格納容器及び RPV ペデスタル下端を接続するために原子炉建屋基礎版（O.P.－8.100m）からドライウェル床面（O.P.1.150m）までの独立した基礎を設定していたが，今回工認においては，RPV ペデスタルに非線形の復元力特性を適用するに当たり，原子炉建屋の挙動を含めた機器系の応答を現実的に表現する（RPV ペデスタル下部と原子炉建屋が一体で挙動する）ために，原子炉建屋の 1 次しゃへい壁に原子炉格納容器及び RPV ペデスタル下端を接続した（変更点③)。

(3)大型機器系における原子炉格納容器シヤラグと原子炉建屋の接続位置については，既工認では原子炉格納容器シヤラグの中心高さに設けた接点（NS 方向：質点番号 47（図 2-44)，EW 方向：質点番号 49（図 2-45））としていた。なお，当該接点[redacted]については，近傍の原子炉建屋地上 2 階（O.P.22.500m）の質点で質量を設定していることから，当該接点[redacted]の質量は 0 である。一方，今回工認においては，当社の最新プラントである東通原子力発電所第 1 号機のモデル設定と同様に，接続位置を原子炉格納容器シヤラグの中心高さ近傍である質量を持つ原子炉建屋地上 2 階の質点(NS 方向：質点番号 48（図 2-46)，EW 方向：質点番号 50（図 2-47)）に統合した。また，炉内構造物系における原子炉しゃへい壁と原子炉建屋の接続位置についても同様に変更した。(変更点④)。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。




注記＊：図中の丸数字は，表 2-34 の番号と対応している。

図 2-52　既工認及び今回工認における大型機器系解析モデル（水平方向）の概要

2.2.3　今回工認における地震応答解析モデルに係る妥当性検討

(1)　原子炉建屋単独モデルと建屋-機器連成地震応答解析モデルの比較

大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルにおいて考慮している機器の質量は，原子炉建屋単独の地震応答解析モデル（添付書類「VI-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に記載する解析モデル（図 2-53～図 2-55））においては１次しゃへい壁の質点質量として考慮されている。したがって，原子炉建屋単独モデルによる地震応答に対して，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルにおける建屋（1 次しゃへい壁）部分の地震応答を比較することによって，建屋と機器の相互作用を考慮した地震応答解析モデルに係る設定(原子炉建屋側との接続)の妥当性が判断できると考えられる。

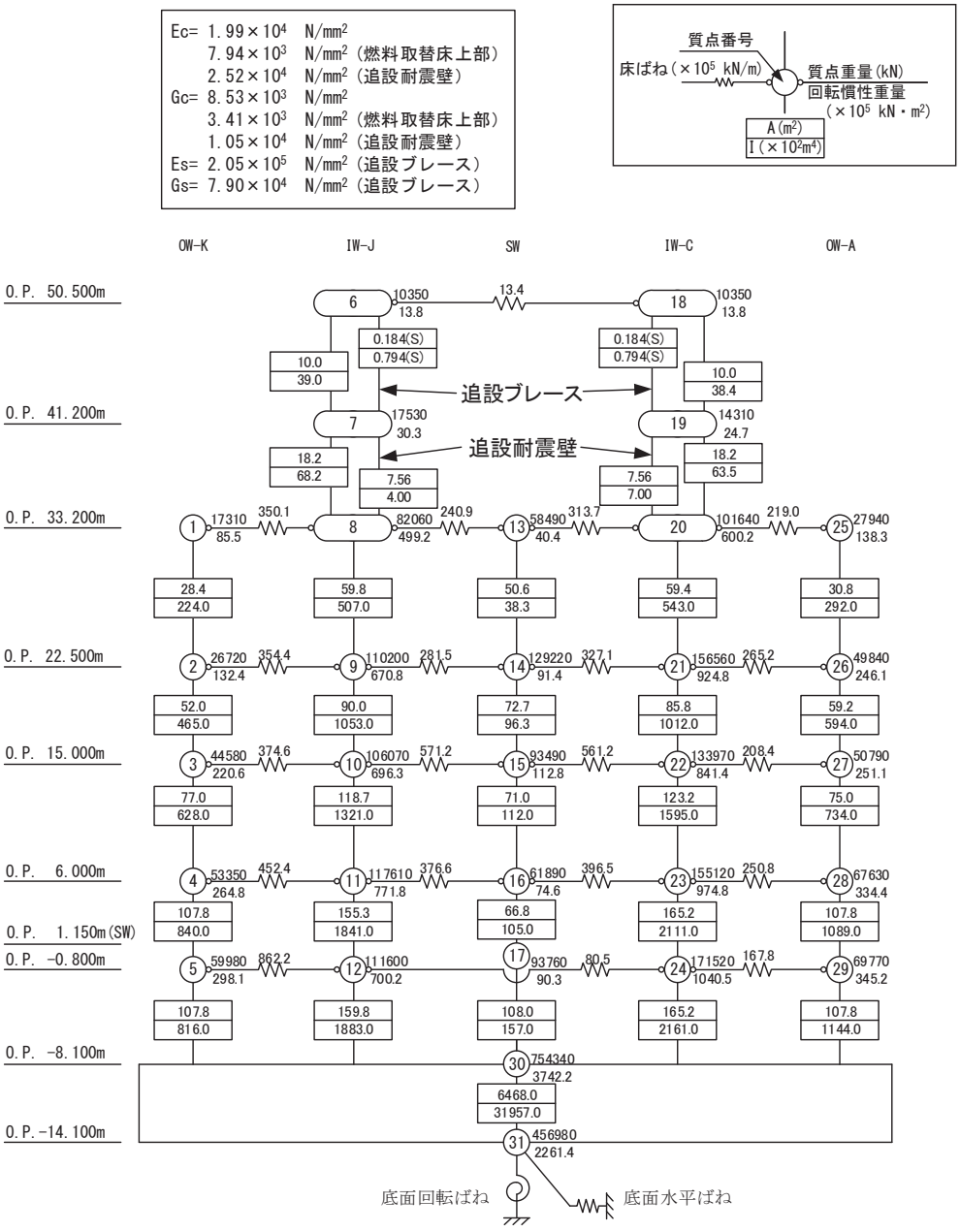
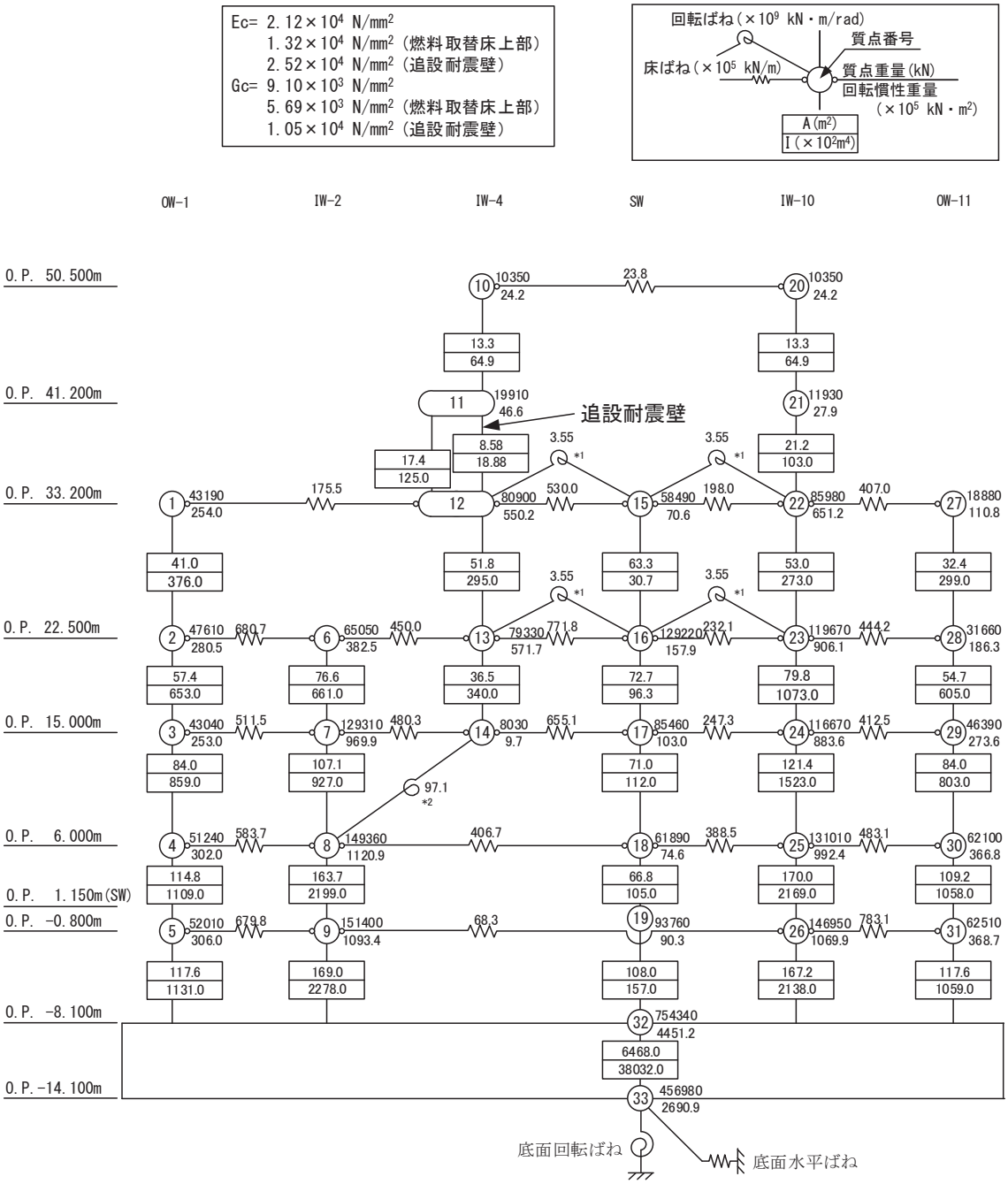


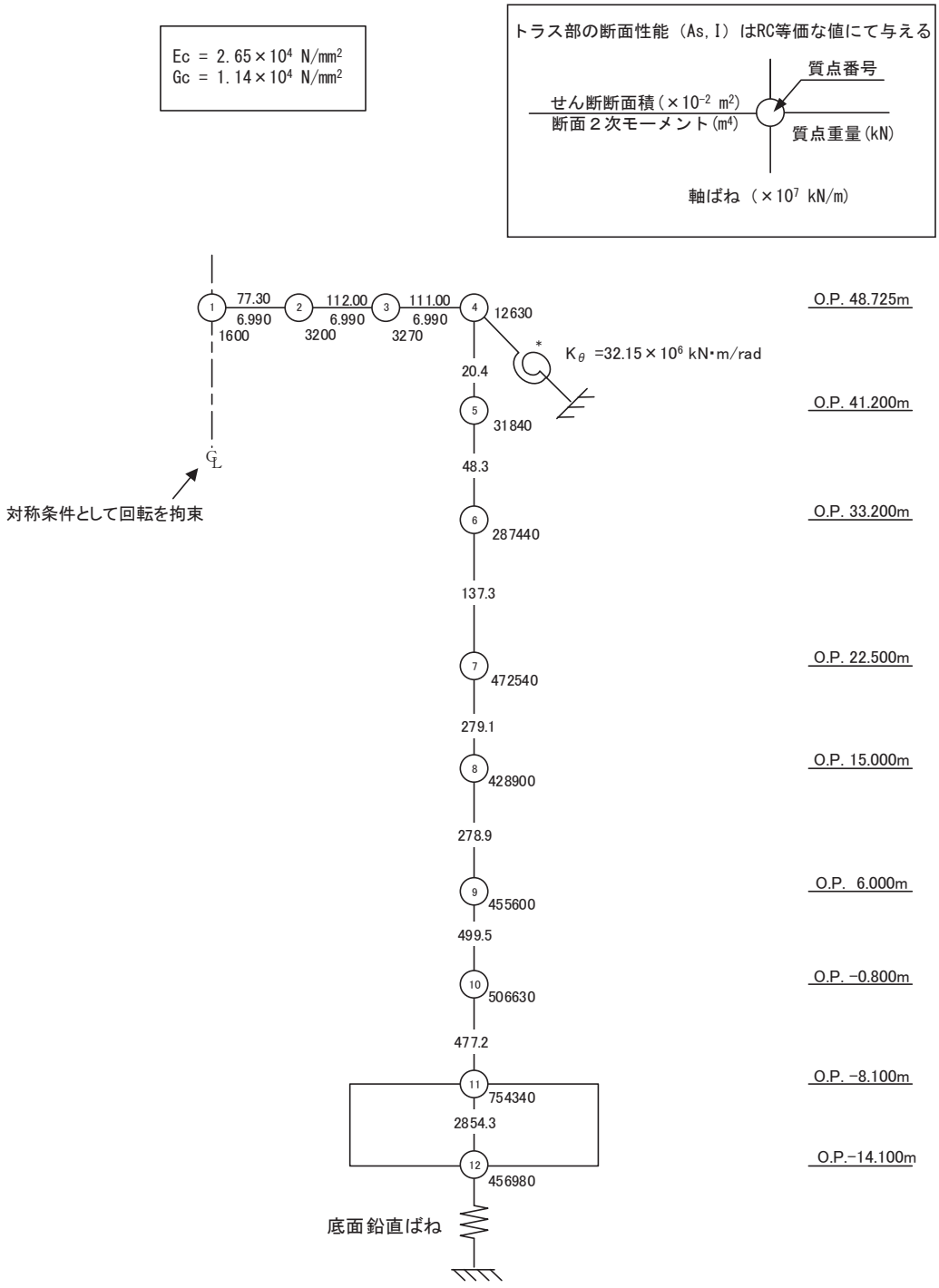

図 2-53　原子炉建屋単独モデル（NS 方向）




注記＊1：プール壁の回転ばね

注記＊2：内部ボックス壁の軸抵抗を考慮した回転ばね

図 2-54　原子炉建屋単独モデル（EW 方向）




注記＊：屋根トラス端部回転拘束ばね

図 2-55　原子炉建屋単独モデル（鉛直方向）

a. 固有値解析結果の比較

原子炉建屋単独モデルと大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルによる固有値解析結果を比較する。大型機器系地震応答解析モデルの比較表を表 2-36～表 2-38 に，炉内構造物系地震応答解析モデルの比較表を表 2-39～表 2-41 に示す。大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルの固有値解析においては，原子炉建屋単独モデルの振動モードに加えて，機器が卓越する振動モードとして，原子炉建屋単独モデルでは発生しない振動モードが発生する。表 2-36～表 2-41 の「卓越部位」の欄には，原子炉建屋単独モデルで発生する振動モードの場合は「原子炉建屋」，機器が卓越する振動モードの場合は機器名称を記載する。なお，同一の固有周期において，建屋と大型機器でそれぞれ卓越する部位がある場合は，両者を記載する。

表 2-36～表 2-41 に示すとおり，原子炉建屋単独モデルによる固有周期は，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルで算出された原子炉建屋部分の固有周期とおおむね整合している。

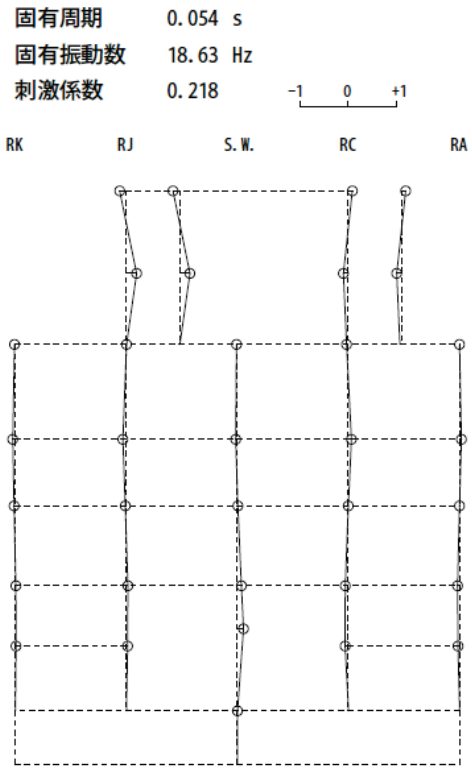
表 2-36　大型機器系地震応答解析モデルに対する固有値比較（NS 方向）

| ①原子炉建屋<br>単独モデル*1 | | ②大型機器系<br>地震応答解析モデル*2 | | 比率<br>②/① | 卓越部位 |
|---|---|---|---|---|---|
| 次数 | 固有周期（秒） | 次数 | 固有周期（秒） | | |
| 1 | 0.237 | 1 | 0.236 | 0.996 | 原子炉建屋 |
| 2 | 0.123 | 2 | 0.123 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 3 | 0.116 | 3 | 0.116 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 4 | 0.097 | 4 | 0.097 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 5 | 0.093 | 5 | 0.093 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 6 | 0.090 | － | 原子炉圧力容器 |
| 6 | 0.089 | 7 | 0.089 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 7 | 0.082 | 8 | 0.082 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 8 | 0.074 | 9 | 0.074 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 9 | 0.072 | 10 | 0.071 | 0.986 | 原子炉建屋 |
| 10 | 0.068 | 11 | 0.068 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 11 | 0.066 | 12 | 0.065 | 0.985 | 原子炉建屋 |
| 12 | 0.064 | 13 | 0.063 | 0.984 | 原子炉建屋 |
| 13 | 0.060 | 14 | 0.060 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 14 | 0.059 | 15 | 0.058 | 0.983 | 原子炉建屋 |
| 15*3 | 0.054 | 16*3 | 0.055 | 1.019 | 原子炉建屋 |
| － | － | 16*3 | 0.055 | － | 原子炉圧力容器 |
| 16 | 0.052 | 17 | 0.052 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 17 | 0.051 | 18 | 0.051 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 18 | 0.050 | 19 | 0.050 | 1.000 | 原子炉建屋 |

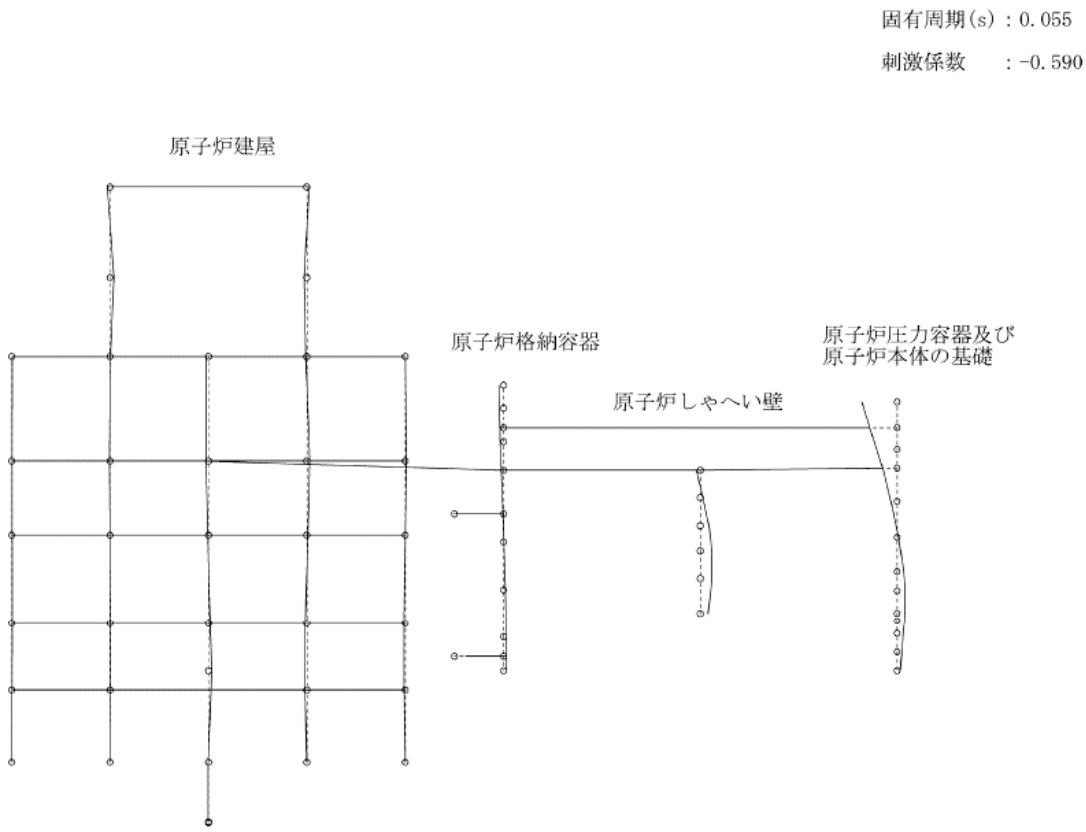
注記＊1：添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の値

＊2：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の値

＊3：原子炉建屋単独モデルでは地上 3 階（O.P.33.200m）より上部の応答が卓越し，大型機器系地震応答解析モデルでは地上 3 階（O.P.33.200m）より上部及び原子炉圧力容器の応答が卓越（図 2-56 参照）




建屋単独モデル（NS 方向 15 次）




大型機器系地震応解析モデル（NS 方向 16 次）

図 2-56　建屋単独モデルと大型機器系地震応答解析モデルの振動モードの比較（NS 方向）

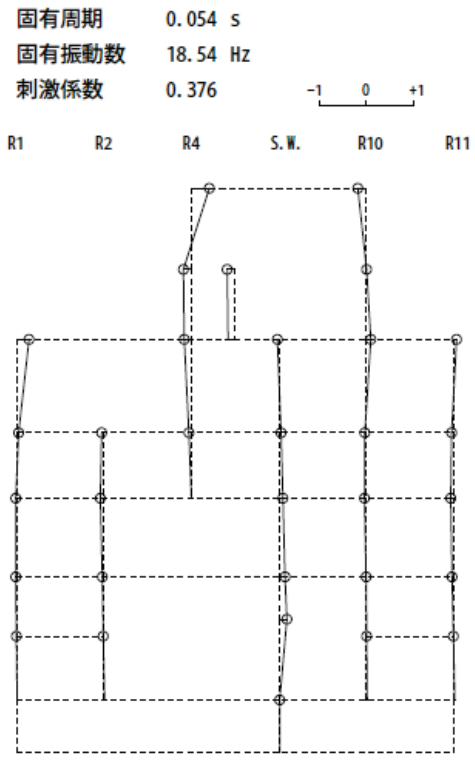
表 2-37　大型機器系地震応答解析モデルに対する固有値比較（EW 方向）

| ①原子炉建屋<br>単独モデル*1 | | ②大型機器系<br>地震応答解析モデル*2 | | 比率<br>②/① | 卓越部位 |
|---|---|---|---|---|---|
| 次数 | 固有周期（秒） | 次数 | 固有周期（秒） | | |
| 1 | 0.230 | 1 | 0.228 | 0.991 | 原子炉建屋 |
| 2 | 0.125 | 2 | 0.125 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 3 | 0.116 | 3 | 0.116 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 4 | 0.098 | 4 | 0.098 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 5 | 0.091 | 5 | 0.091 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 6 | 0.090 | － | 原子炉圧力容器 |
| 6 | 0.087 | 7 | 0.086 | 0.989 | 原子炉建屋 |
| 7 | 0.078 | 8 | 0.077 | 0.987 | 原子炉建屋 |
| 8 | 0.074 | 9 | 0.074 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 9 | 0.070 | 10 | 0.070 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 10 | 0.068 | 11 | 0.067 | 0.986 | 原子炉建屋 |
| 11 | 0.064 | 12 | 0.064 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 12 | 0.062 | 13 | 0.062 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 13 | 0.060 | 14 | 0.060 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 14 | 0.059 | 15 | 0.059 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 15 | 0.055 | 16 | 0.055 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 16*3 | 0.054 | 17*3 | 0.055 | 1.019 | 原子炉建屋 |
| － | － | 17*3 | 0.055 | － | 原子炉圧力容器 |
| 17 | 0.050 | 18 | 0.052 | 1.040 | 原子炉建屋 |

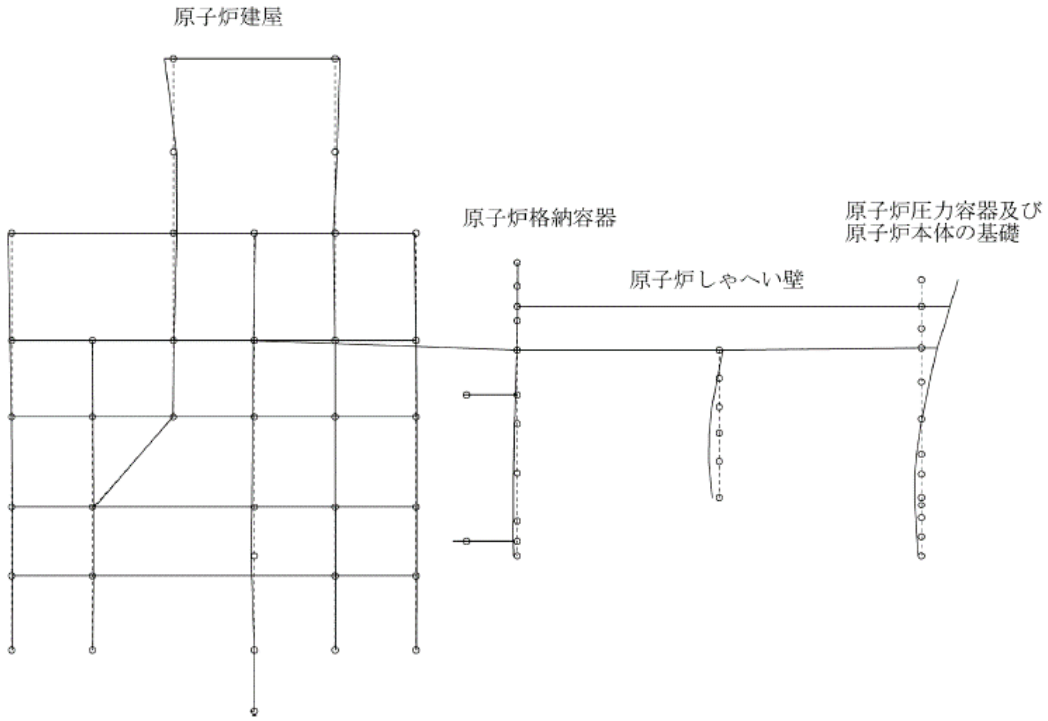
注記＊1：添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の値

＊2：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の値

＊3：原子炉建屋単独モデルでは地上 3 階（O.P.33.200m）より上部の応答が卓越し，大型機器系地震応答解析モデルでは地上 3 階（O.P.33.200m）より上部及び原子炉圧力容器の応答が卓越（図 2-57 参照）




建屋単独モデル（EW 方向 16 次）




大型機器系地震応解析モデル（EW 方向 17 次）

図 2-57　建屋単独モデルと大型機器系地震応答解析モデルの振動モードの比較（EW 方向）

表 2-38　大型機器系地震応答解析モデルに対する固有値比較（UD 方向）

| ①原子炉建屋<br>単独モデル*1 | | ②大型機器系<br>地震応答解析モデル*2 | | 比率<br>②/① | 卓越部位 |
|---|---|---|---|---|---|
| 次数 | 固有周期（秒） | 次数 | 固有周期（秒） | | |
| 1 | 0.339 | 1 | 0.339 | 1.000 | 原子炉建屋<br>（屋根トラス） |
| 2 | 0.100 | 2 | 0.100 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 3 | 0.079 | 3 | 0.079 | 1.000 | 原子炉建屋<br>（屋根トラス） |
| 4 | 0.051 | 4 | 0.051 | 1.000 | 原子炉建屋 |

注記＊1：添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の値

＊2：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の値

表 2-39　炉内構造物系地震応答解析モデルに対する固有値比較（NS 方向）

| ①原子炉建屋<br>単独モデル*1 | | ②炉内構造物系<br>地震応答解析モデル*2 | | 比率<br>②/① | 卓越部位 |
|---|---|---|---|---|---|
| 次数 | 固有周期（秒） | 次数 | 固有周期（秒） | | |
| 1 | 0.237 | 1 | 0.237 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 2 | 0.229 | － | 燃料集合体 |
| 2 | 0.123 | 3 | 0.123 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 4 | 0.118 | － | 炉心シュラウド |
| 3 | 0.116 | 5 | 0.116 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 4 | 0.097 | 6 | 0.097 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 5 | 0.093 | 7 | 0.093 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 8 | 0.090 | － | 原子炉圧力容器 |
| 6 | 0.089 | 9 | 0.089 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 7 | 0.082 | 10 | 0.082 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 8 | 0.074 | 11 | 0.074 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 9 | 0.072 | 12 | 0.071 | 0.986 | 原子炉建屋 |
| 10 | 0.068 | 13 | 0.068 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 14 | 0.066 | － | 制御棒案内管 |
| 11 | 0.066 | 15 | 0.065 | 0.985 | 原子炉建屋 |
| 12 | 0.064 | 16 | 0.063 | 0.984 | 原子炉建屋 |
| 13 | 0.060 | 17 | 0.060 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 14 | 0.059 | 18 | 0.059 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 19 | 0.058 | － | 燃料集合体 |
| － | － | 20 | 0.056 | － | 炉心シュラウド |
| 15*3 | 0.054 | 21*3 | 0.053 | － | 原子炉建屋 |
| － | － | 21*3 | 0.053 | － | 原子炉圧力容器 |
| 16 | 0.052 | 22 | 0.052 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 17 | 0.051 | 23 | 0.051 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 18 | 0.050 | 24 | 0.050 | 1.000 | 原子炉建屋 |

注記＊1：添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の値

＊2：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の値

＊3：原子炉建屋単独モデルでは地上 3 階（0.P.33.200m）より上部の応答が卓越し，炉内構造物系地震応答解析モデルでは地上 3 階（0.P.33.200m）より上部及び原子炉圧力容器の応答が卓越

表 2-40　炉内構造物系地震応答解析モデルに対する固有値比較（EW 方向）

| ①原子炉建屋<br>単独モデル*1 | | ②炉内構造物系<br>地震応答解析モデル*2 | | 比率<br>②/① | 卓越部位 |
|---|---|---|---|---|---|
| 次数 | 固有周期（秒） | 次数 | 固有周期（秒） | | |
| 1 | － | 1 | 0.231 | － | 燃料集合体 |
| － | 0.230 | 2 | 0.227 | 0.987 | 原子炉建屋 |
| 2 | 0.125 | 3 | 0.125 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 4 | 0.117 | － | 炉心シュラウド |
| 3 | 0.116 | 5 | 0.116 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 4 | 0.098 | 6 | 0.098 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 5 | 0.091 | 7 | 0.091 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 8 | 0.090 | － | 原子炉圧力容器 |
| 6 | 0.087 | 9 | 0.086 | 0.989 | 原子炉建屋 |
| 7 | 0.078 | 10 | 0.077 | 0.987 | 原子炉建屋 |
| 8 | 0.074 | 11 | 0.074 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 9 | 0.070 | 12 | 0.070 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 10 | 0.068 | 13 | 0.067 | 0.985 | 原子炉建屋 |
| － | － | 14 | 0.066 | － | 制御棒案内管 |
| 11 | 0.064 | 15 | 0.064 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 12 | 0.062 | 16 | 0.062 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 13 | 0.060 | 17 | 0.060 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 14 | 0.059 | 18 | 0.059 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| － | － | 19 | 0.058 | － | 燃料集合体 |
| － | － | 20 | 0.056 | － | 炉心シュラウド |
| 15 | 0.055 | 21 | 0.055 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 16*3 | 0.054 | 22*3 | 0.053 | 0.981 | 原子炉建屋 |
| － | － | 22*3 | 0.053 | － | 原子炉圧力容器 |
| 17 | 0.050 | 23 | 0.052 | 1.040 | 原子炉建屋 |

注記＊1：添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の値

＊2：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の値

＊3：原子炉建屋単独モデルでは地上 3 階（O.P.33.200m）より上部の応答が卓越し，炉内構造物系地震応答解析モデルでは地上 3 階（O.P.33.200m）より上部及び原子炉圧力容器の応答が卓越

表 2-41　炉内構造物系地震応答解析モデルに対する固有値比較（UD 方向）

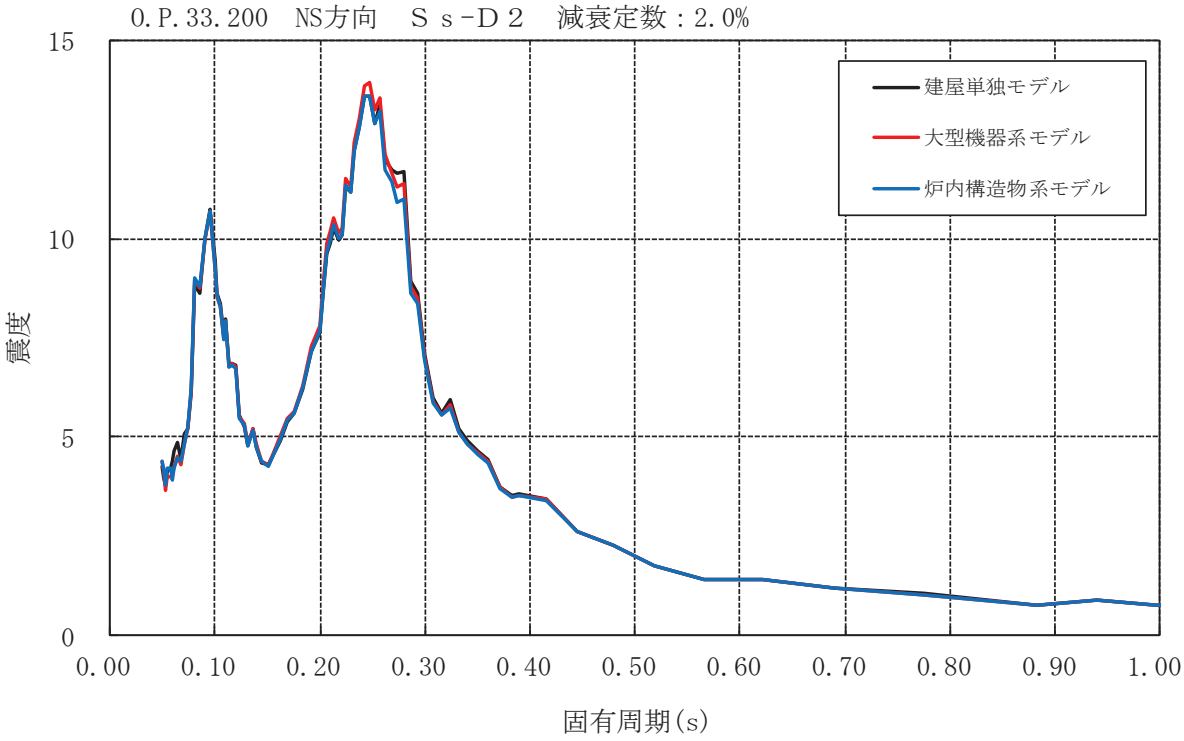
| ①原子炉建屋<br>単独モデル*1 | | ②炉内構造物系<br>地震応答解析モデル*2 | | 比率<br>②/① | 卓越部位 |
|---|---|---|---|---|---|
| 次数 | 固有周期（秒） | 次数 | 固有周期（秒） | | |
| 1 | 0.339 | 1 | 0.339 | 1.000 | 原子炉建屋<br>（屋根トラス） |
| 2 | 0.100 | 2 | 0.100 | 1.000 | 原子炉建屋 |
| 3 | 0.079 | 3 | 0.079 | 1.000 | 原子炉建屋<br>（屋根トラス） |
| 4 | 0.051 | 4 | 0.051 | 1.000 | 原子炉建屋 |

注記＊1：添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の値

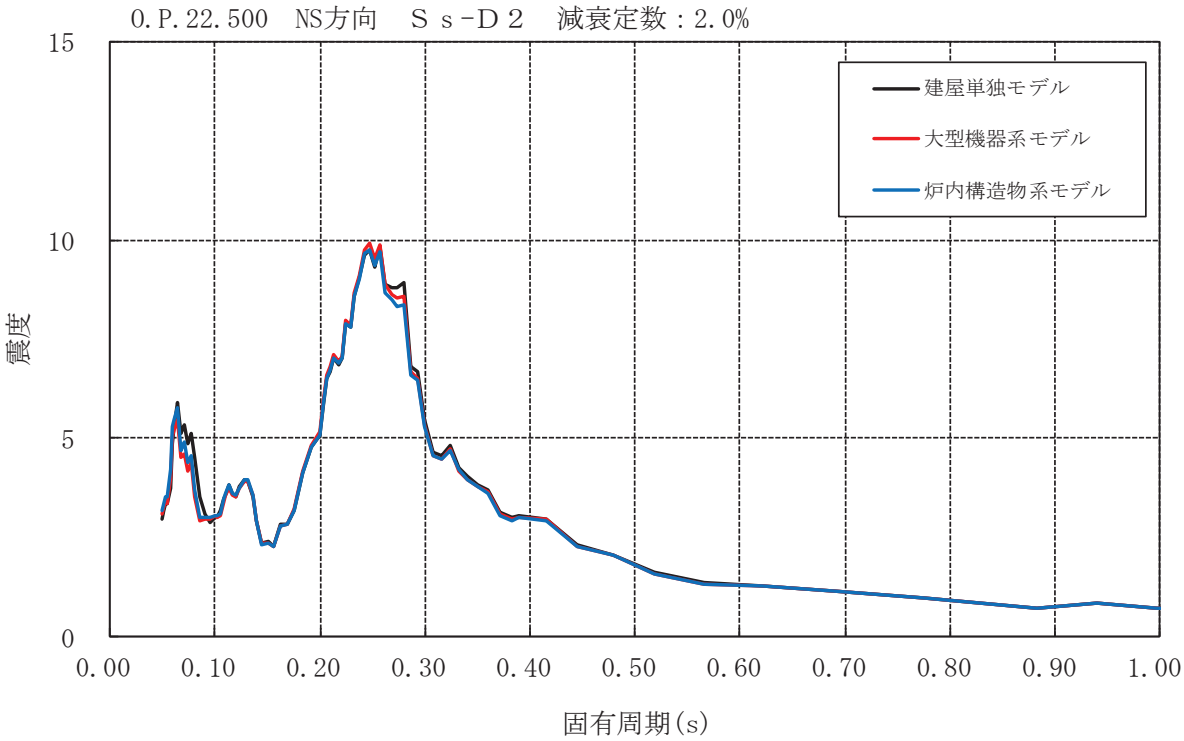
＊2：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の値

b.　床応答曲線及び最大応答加速度の比較

原子炉建屋単独モデル，大型機器系及び炉内構造物系の地震応答解析モデルにおける原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線の比較（設備評価に支配的な基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対する比較，減衰 2.0％）を図 2-58 及び図 2-59 に示す。図 2-58 及び図 2-59 に示すとおり，床応答曲線及び最大応答加速度は 3 つのモデルにおいておおむね一致しており，モデル化範囲の違いが応答に及ぼす影響は小さい。

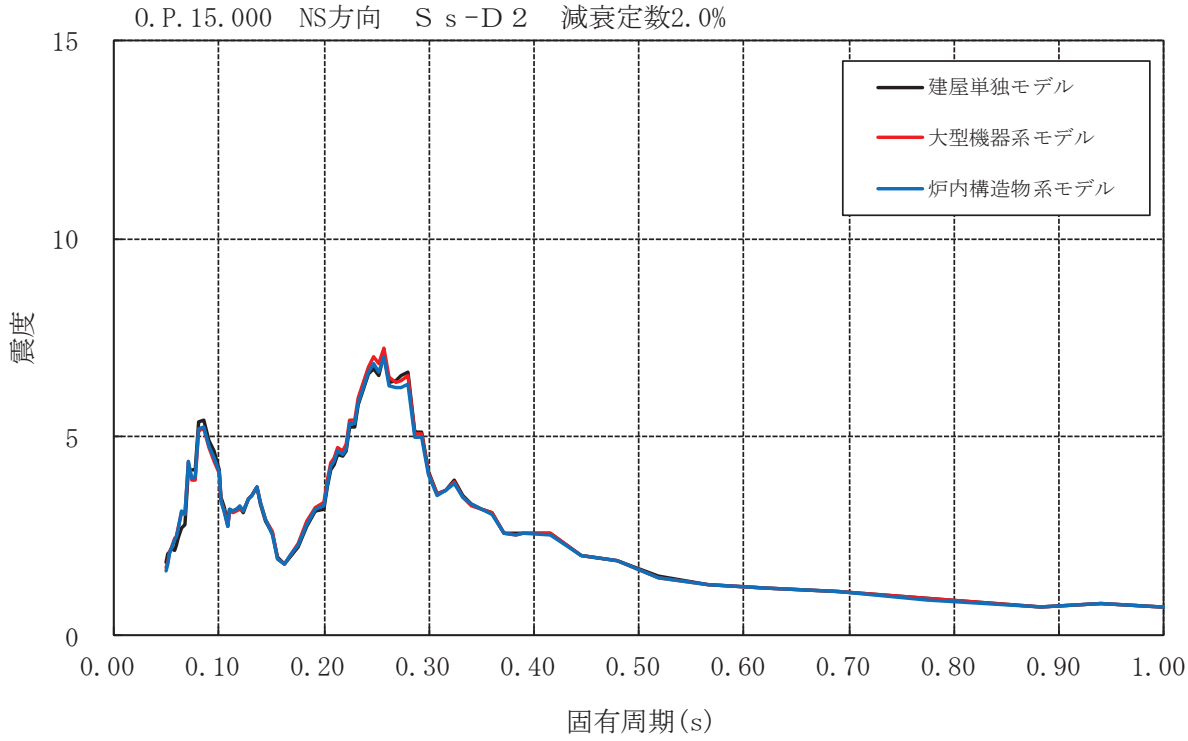



（建屋単独：質点 13，大型機器系：質点 49，炉内構造物系：質点 77）

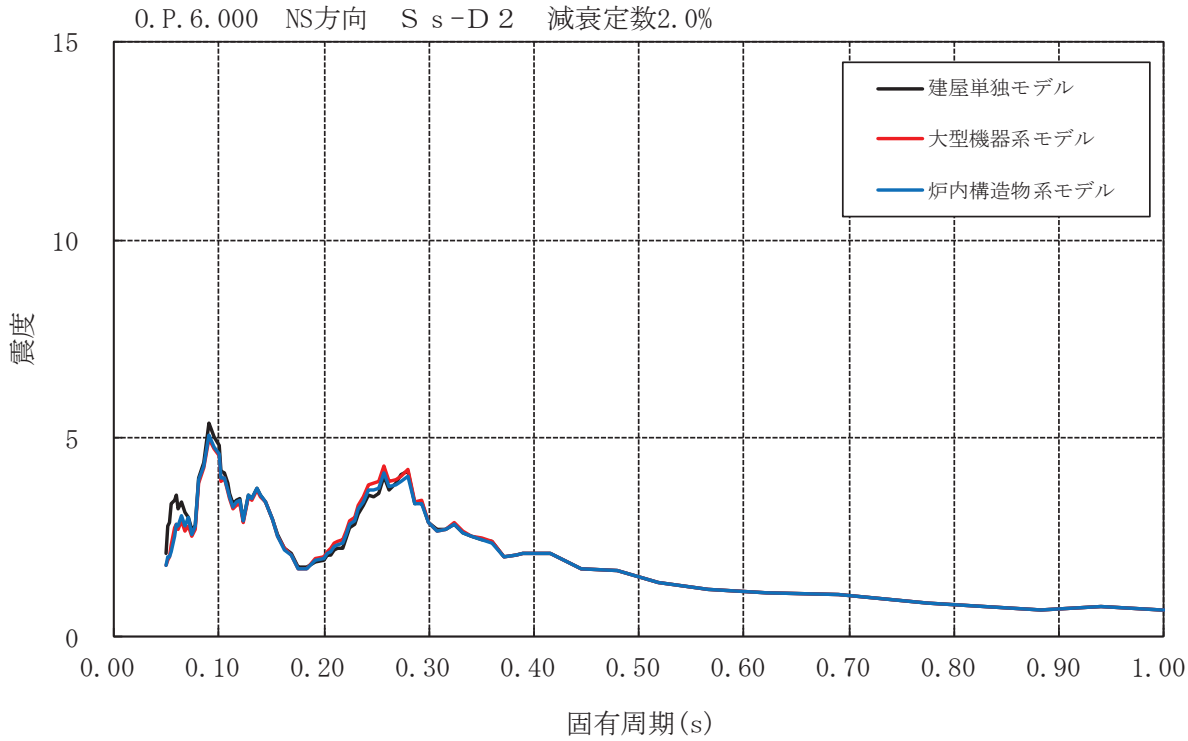



（建屋単独：質点 14，大型機器系：質点 48，炉内構造物系：質点 76）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（1/9）

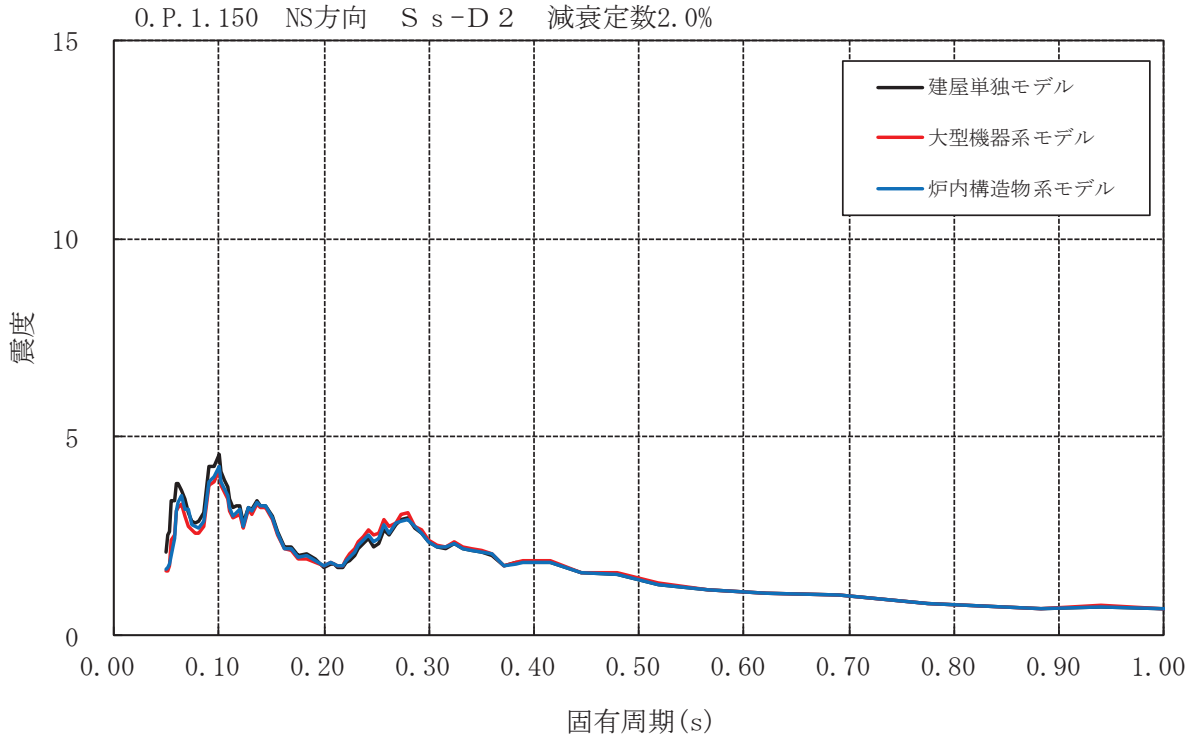



（建屋単独：質点 15，大型機器系：質点 46，炉内構造物系：質点 74）

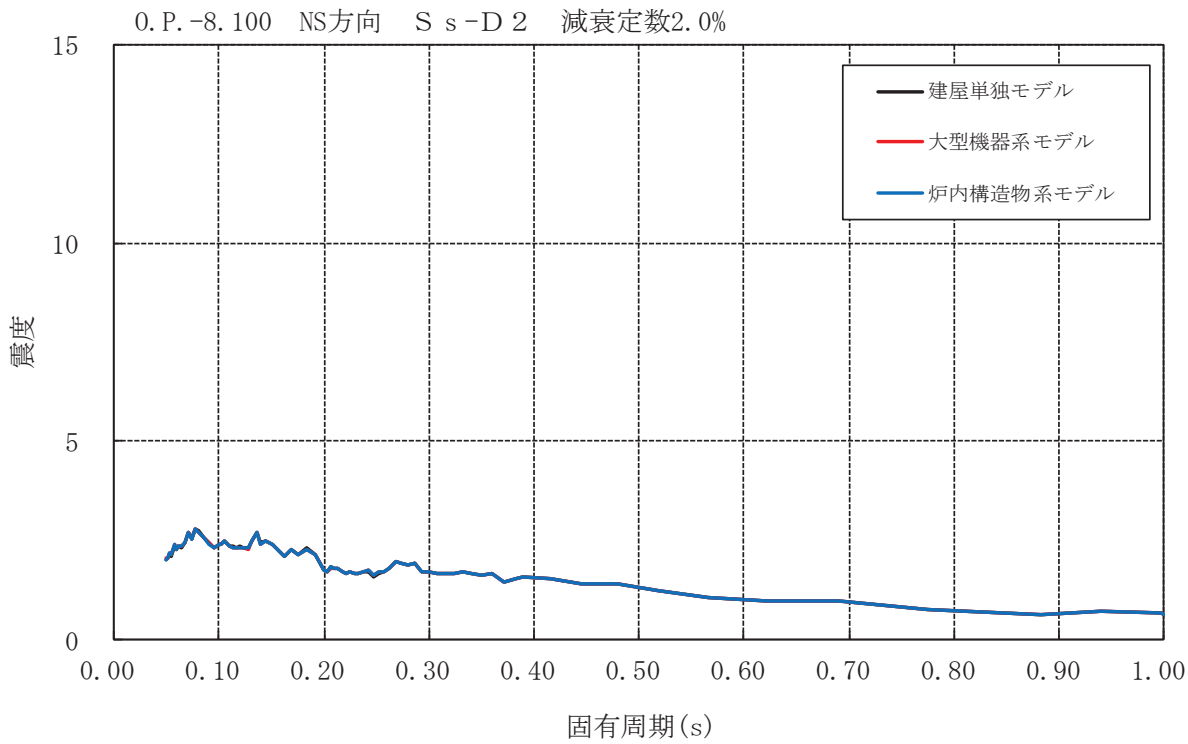



（建屋単独：質点 16，大型機器系：質点 45，炉内構造物系：質点 73）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（2/9）

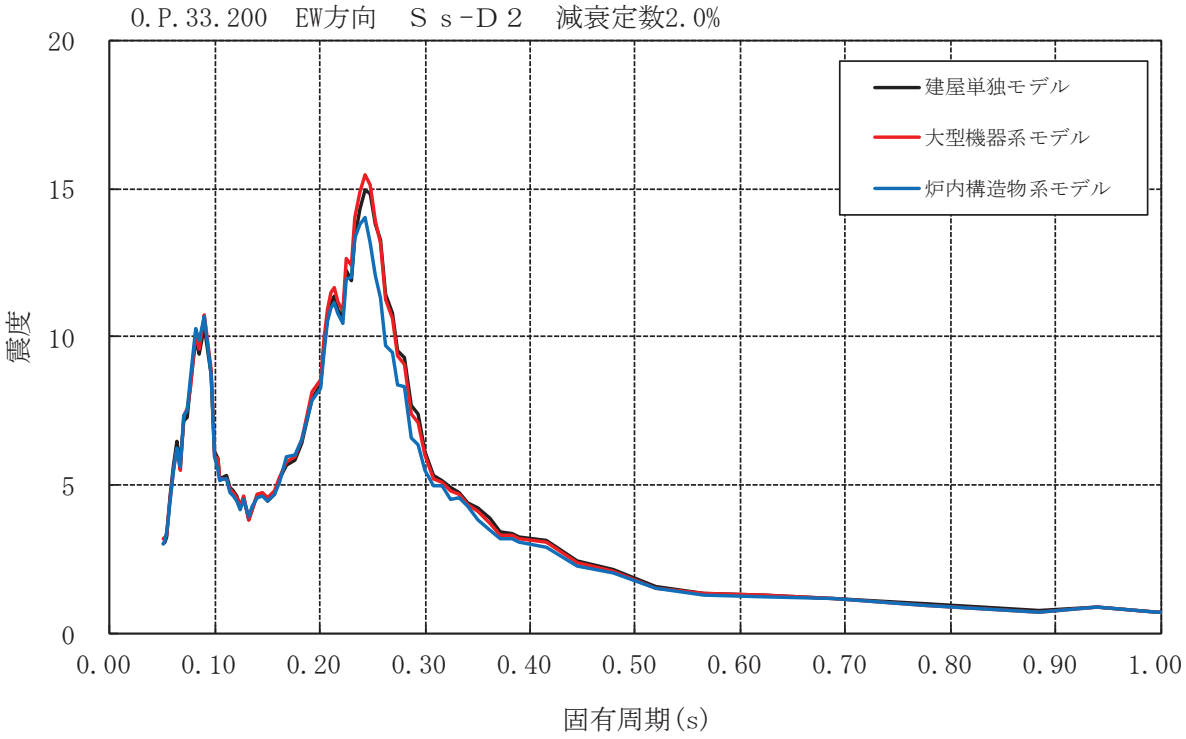



（建屋単独：質点 17，大型機器系：質点 3，炉内構造物系：質点 3）

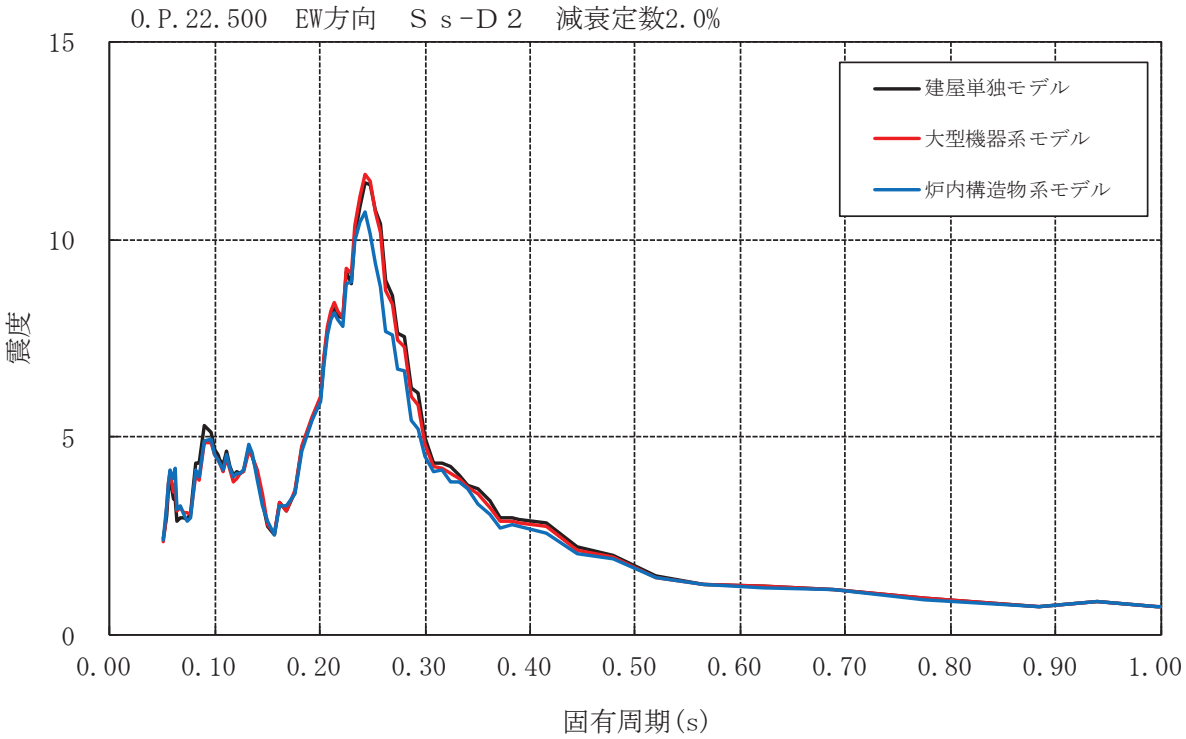



（建屋単独：質点 30，大型機器系：質点 2，炉内構造物系：質点 2）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（3/9）

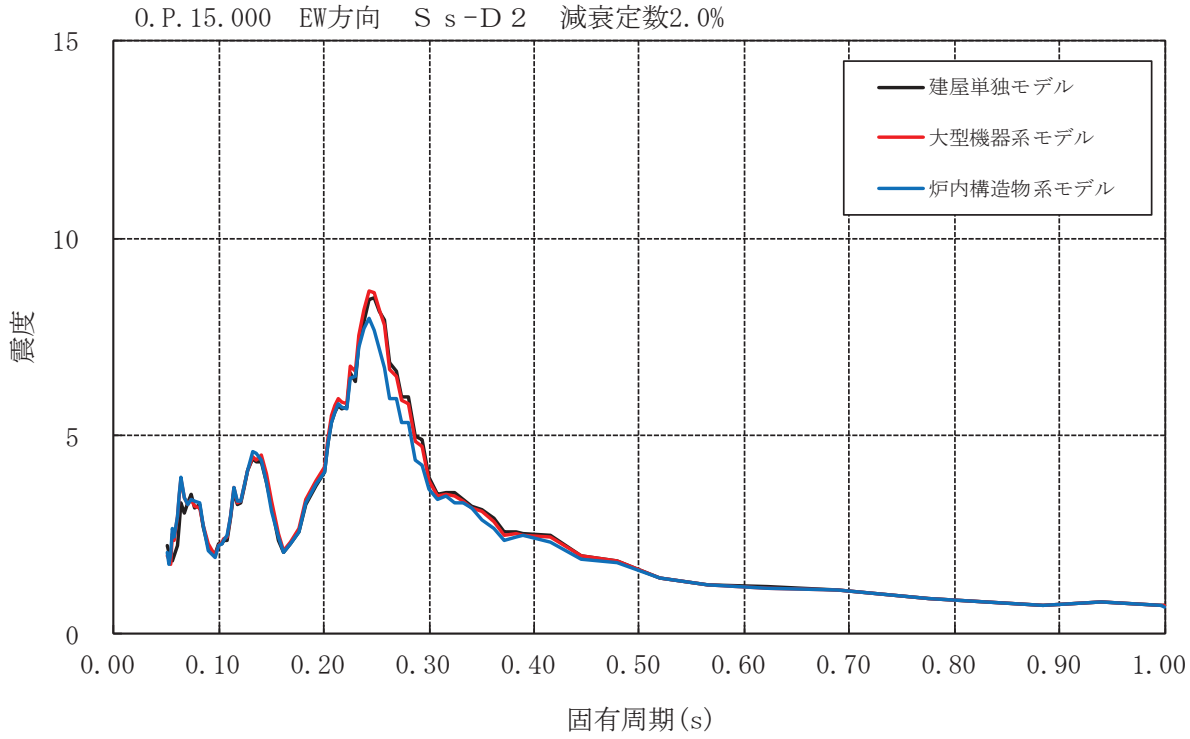



（建屋単独：質点 15，大型機器系：質点 51，炉内構造物系：質点 79）

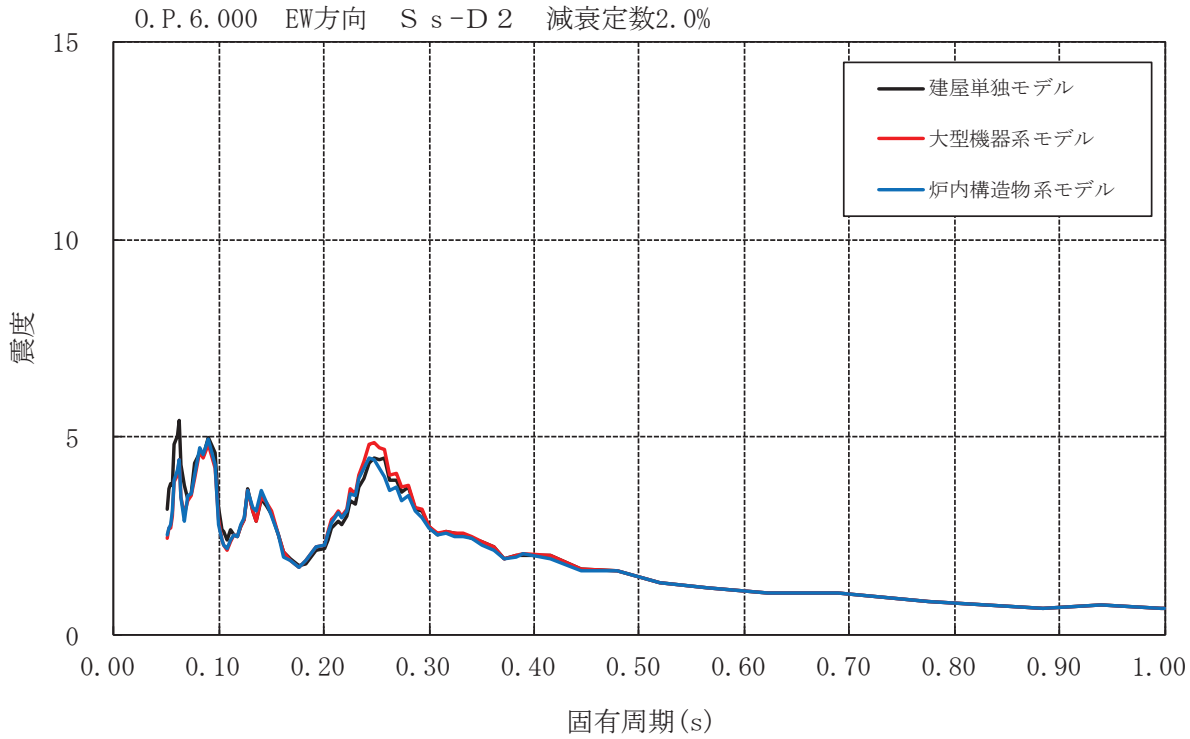



（建屋単独：質点 16，大型機器系：質点 50，炉内構造物系：質点 78）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（4/9）

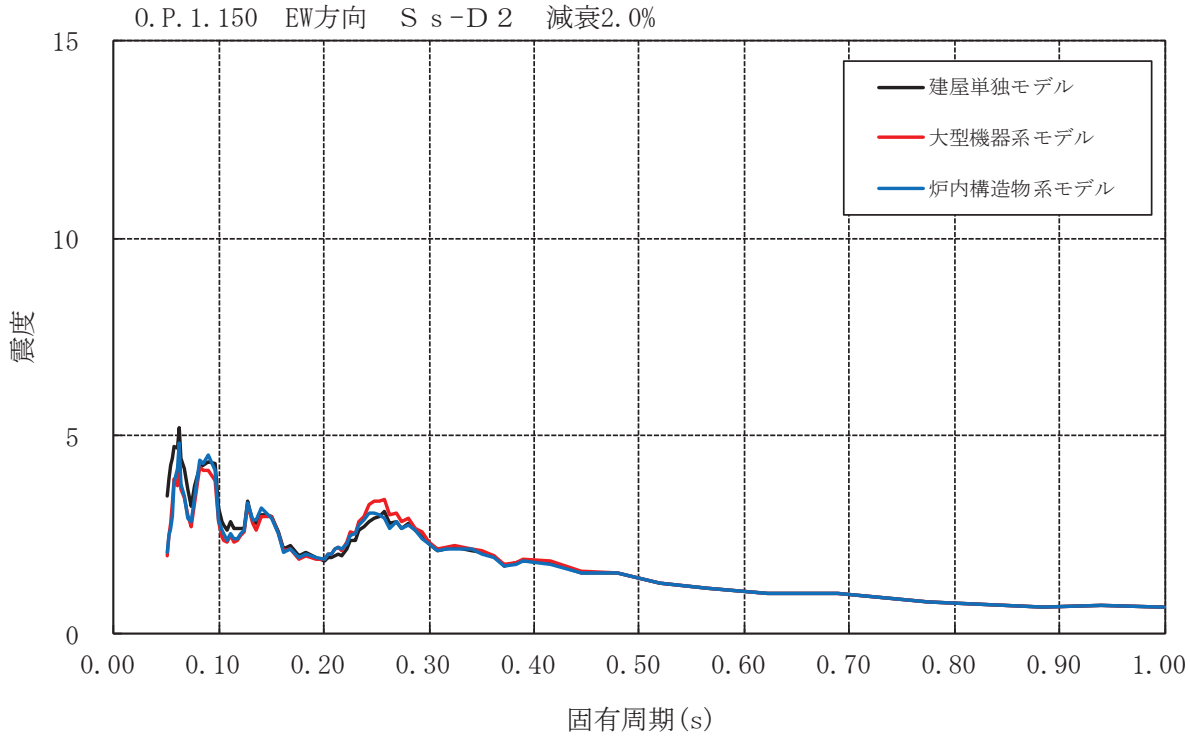



（建屋単独：質点 17，大型機器系：質点 48，炉内構造物系：質点 76）

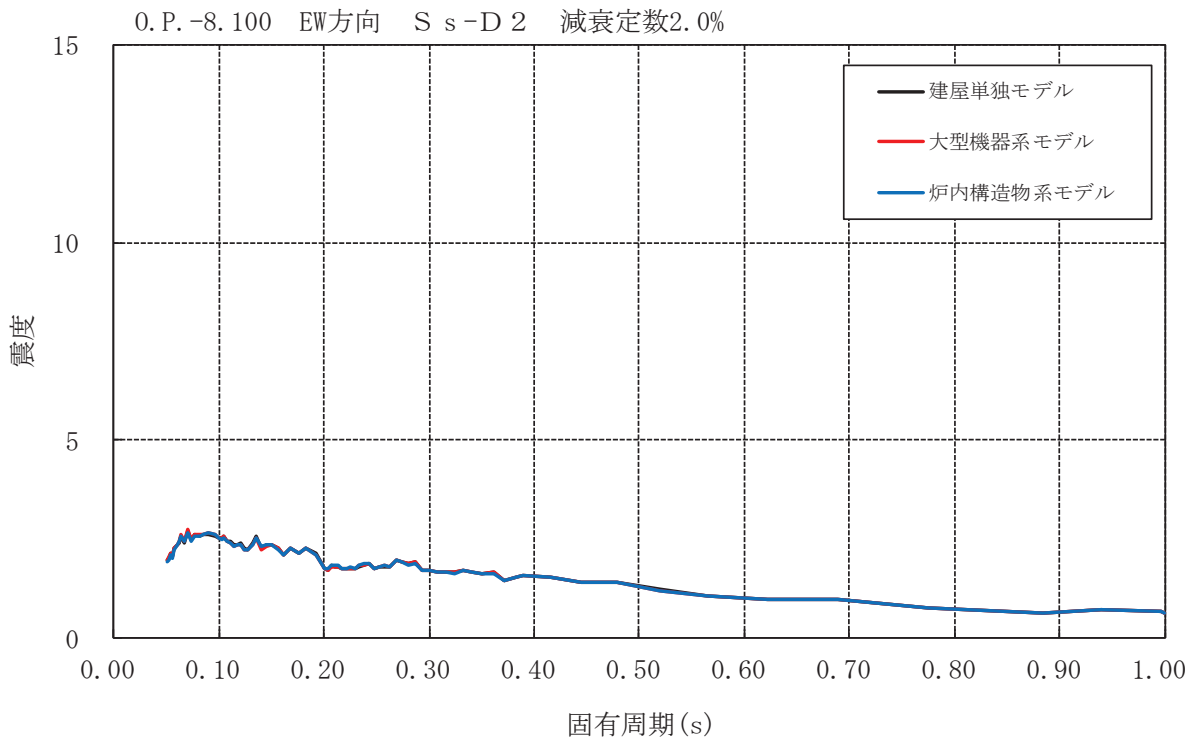



（建屋単独：質点 18，大型機器系：質点 47，炉内構造物系：質点 75）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（5/9）

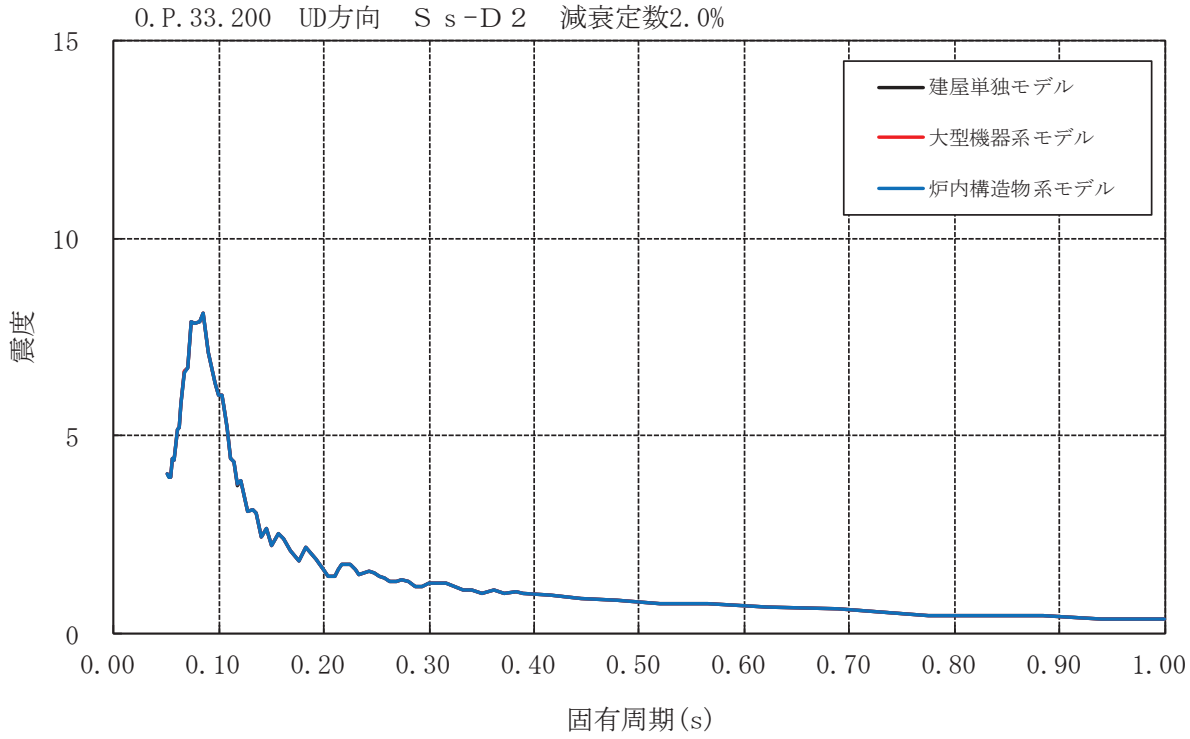



（建屋単独：質点 19，大型機器系：質点 3，炉内構造物系：質点 3）

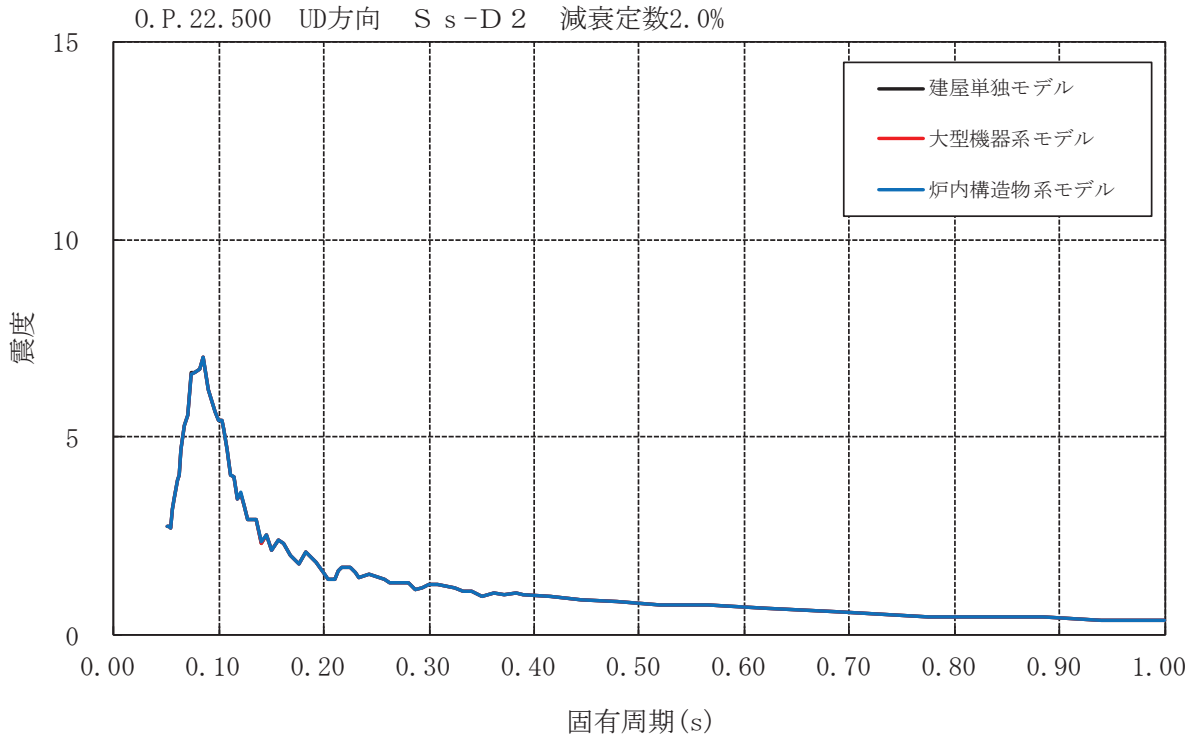



（建屋単独：質点 32，大型機器系：質点 2，炉内構造物系：質点 2）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（6/9）

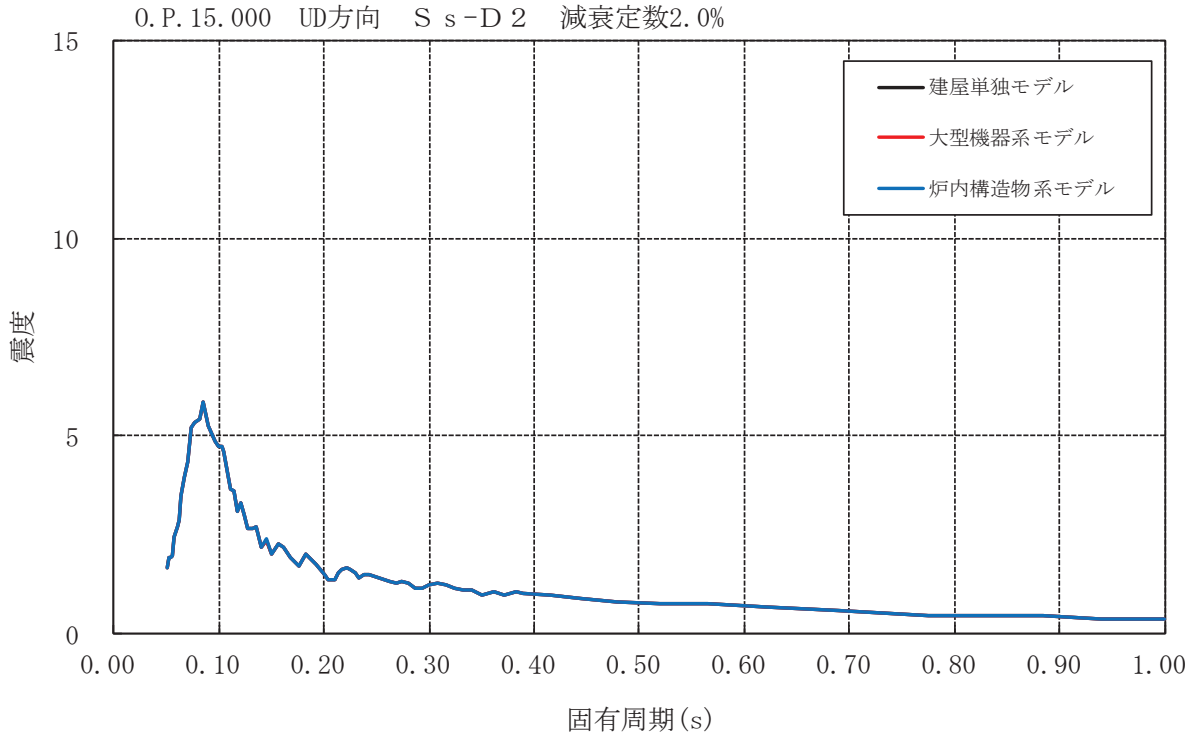



（建屋単独：質点 6，大型機器系：質点 3，炉内構造物系：質点 3）

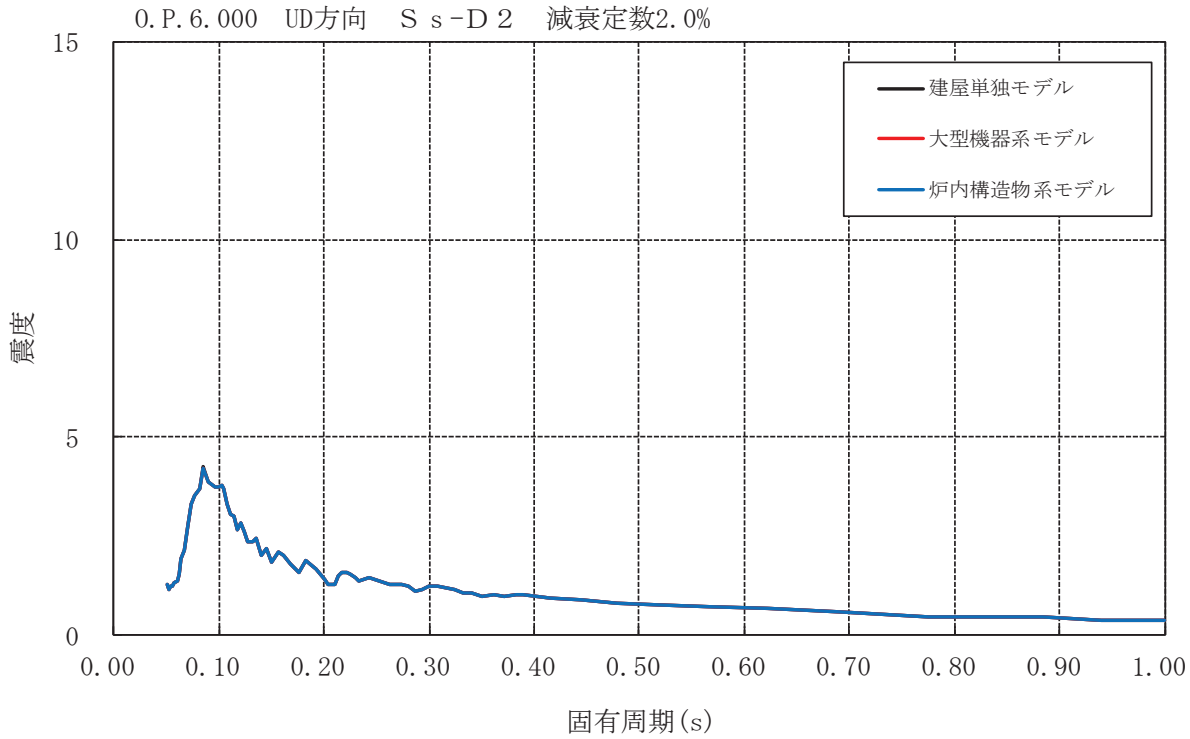



（建屋単独：質点 7，大型機器系：質点 4，炉内構造物系：質点 4）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（7/9）

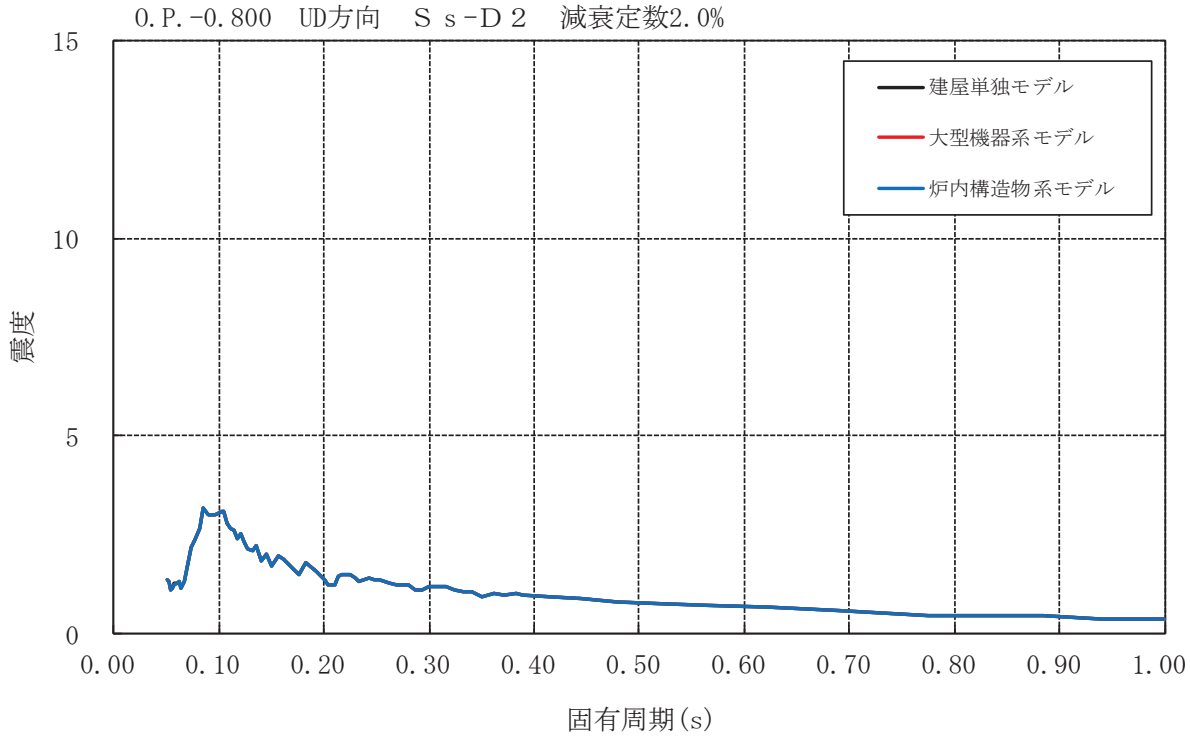



（建屋単独：質点 8，大型機器系：質点 5，炉内構造物系：質点 5）

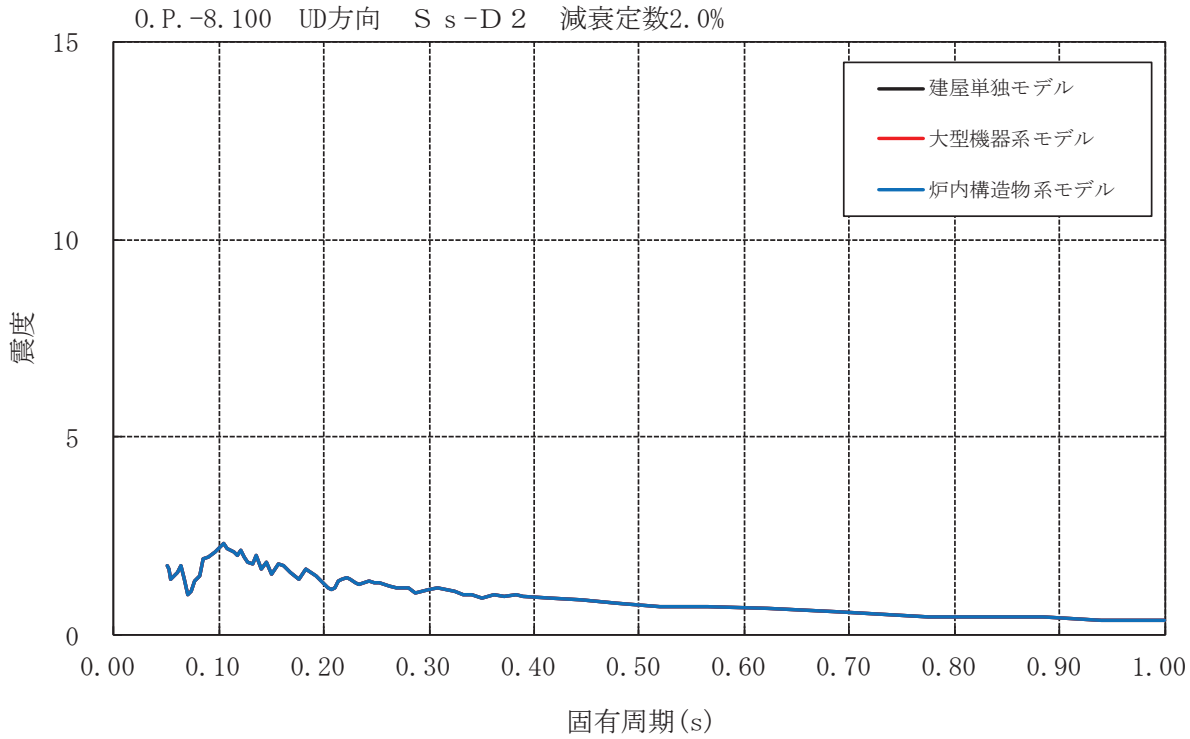



（建屋単独：質点 9，大型機器系：質点 6，炉内構造物系：質点 6）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（8/9）

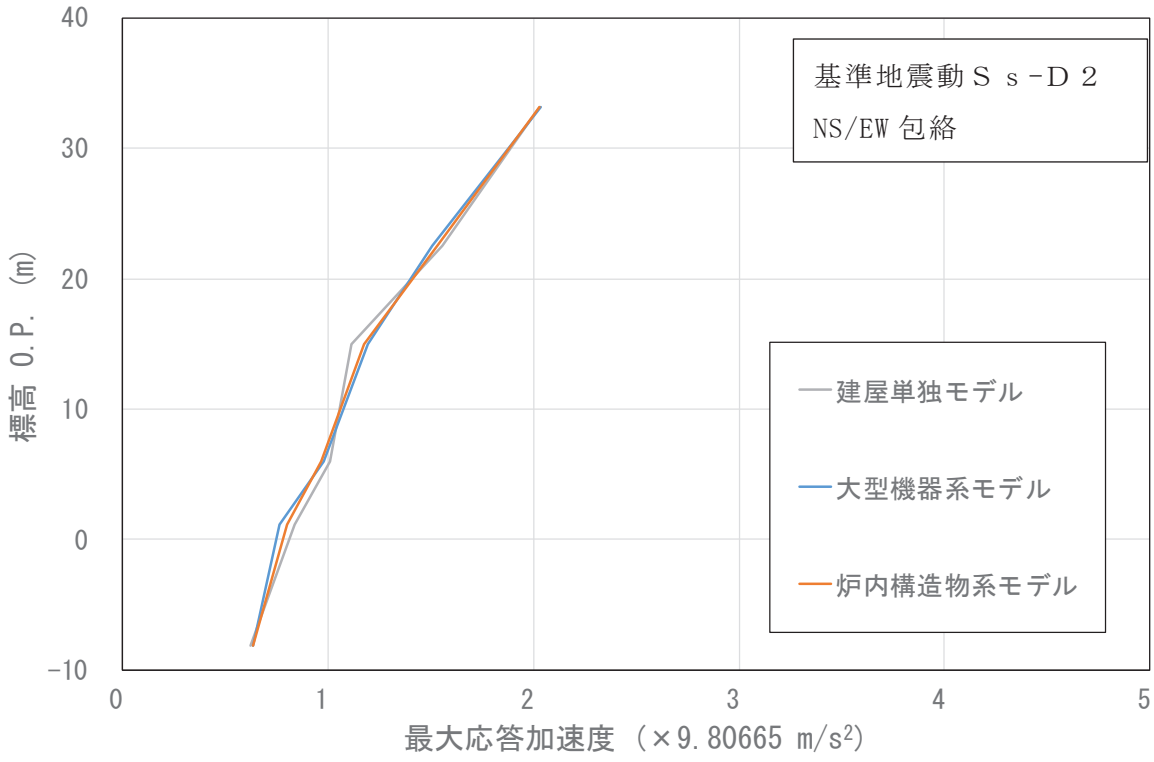



（建屋単独：質点 10，大型機器系：質点 7，炉内構造物系：質点 7）

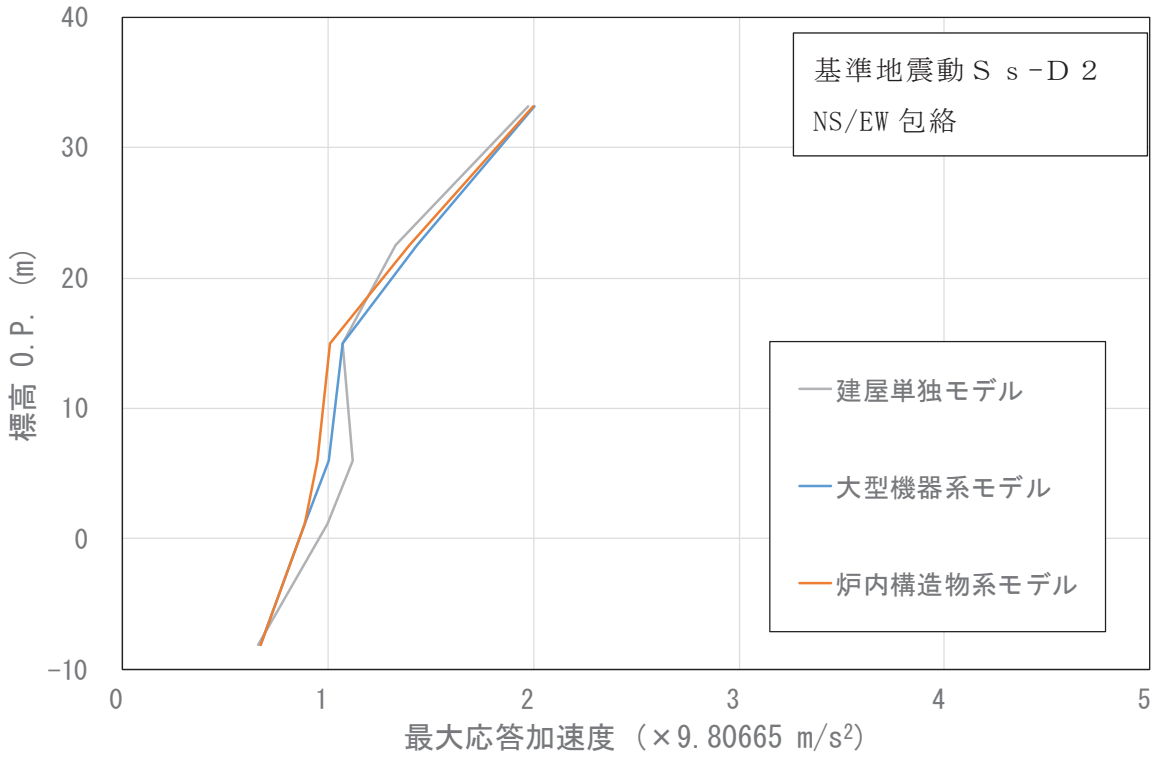



（建屋単独：質点 11，大型機器系：質点 8，炉内構造物系：質点 8）

図 2-58　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の床応答曲線（9/9）




（NS 方向）




（EW 方向）

図 2-59　原子炉建屋（1 次しゃへい壁）の最大応答加速度の比較

(2)　建設時と今回工認の建屋-機器連成地震応答解析モデルの比較

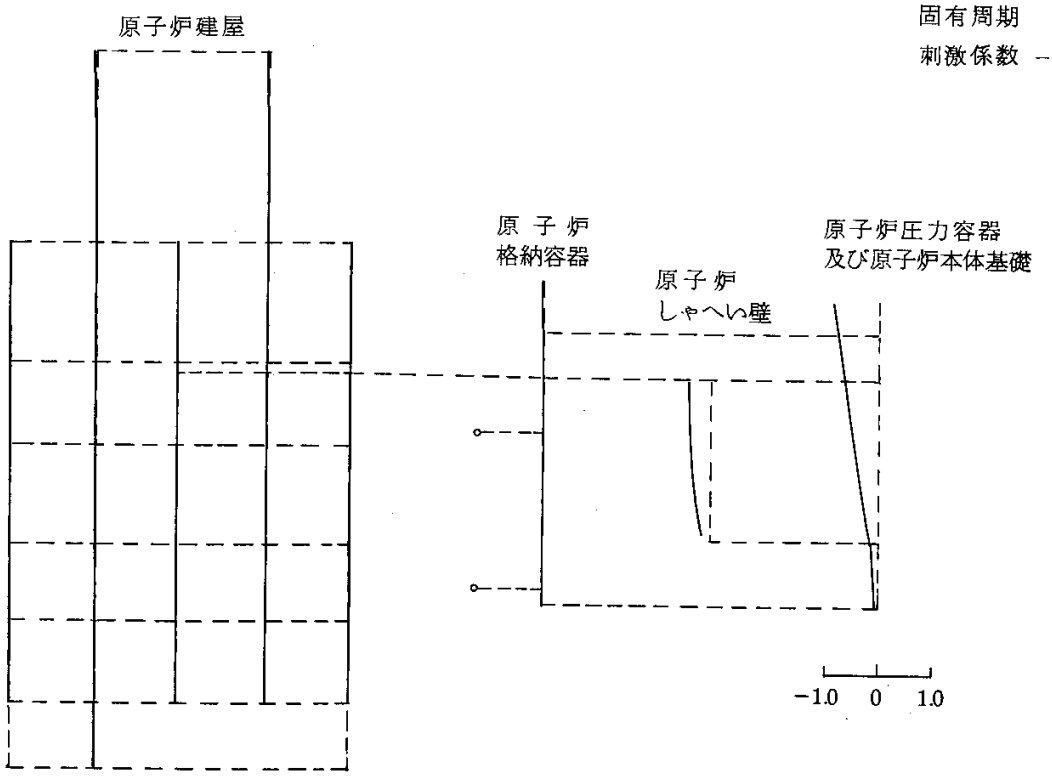
建設時と今回工認の建屋-機器連成地震応答解析モデルにおいて，機器の卓越固有周期を比較する。表 2-42 に大型機器系地震応答解析モデル，表 2-43 に炉内構造物系地震応答解析モデルの比較結果を示す。また，大型機器系地震応答解析モデルにおける原子炉圧力容器の 1 次，2 次の振動モードの比較結果を図 2-60～図 2-63 に示す。

表 2-42 及び表 2-43 に示すとおり，各機器の固有周期は建設時と今回工認において，おおむね一致している。炉心シュラウドについては，炉心シュラウド支持ロッドを取り付ける改造を実施しているため，建設時よりも今回工認の固有周期が短くなっている。

大型機器系地震応答解析モデルの原子炉圧力容器の振動モードは，1 次，2 次ともに建設時と今回工認で同様の傾向を示している。今回工認モデルの固有周期は方向，次数によらず，建設時よりも長くなっているが，地震及び乾燥収縮によるコンクリートのひび割れの影響によって原子炉建屋の固有周期が長くなったことに伴い長周期化したものであり，建屋-大型機器連成地震応答解析モデルの変更の影響ではないと考えられる。

表 2-42　建設時モデルと今回工認モデルの機器の固有周期の比較
（大型機器系地震応答解析モデル）

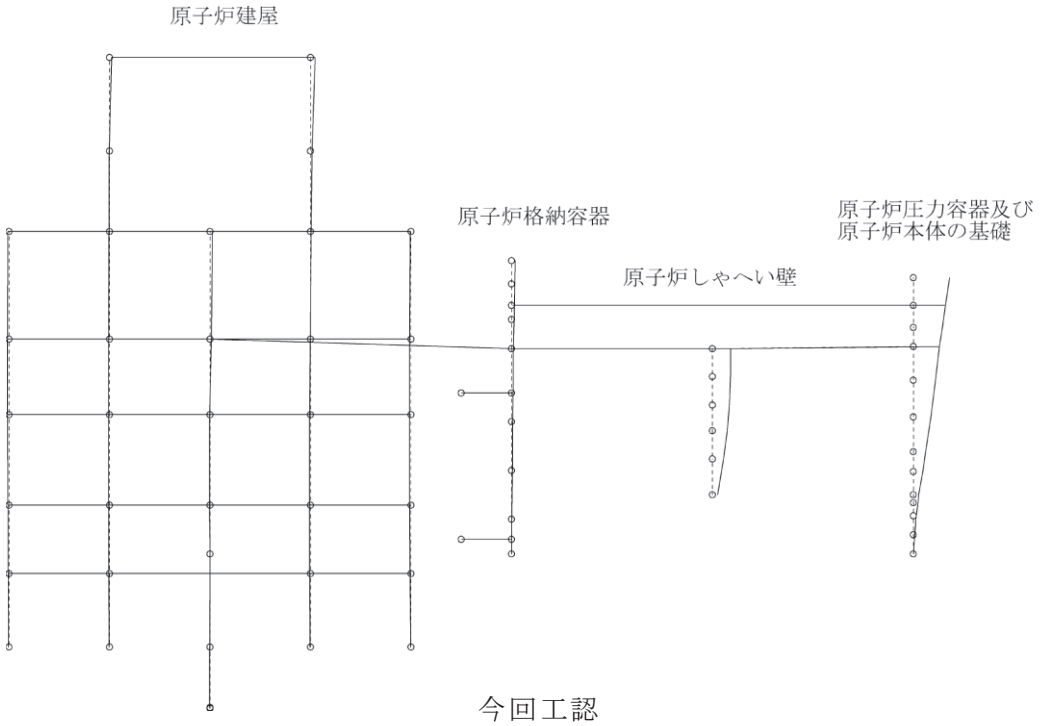
| 機器名称 | 方向 | 固有周期（秒） | | 比率 |
|---|---|---|---|---|
| | | ①建設時 | ②今回工認 | ②/① |
| 原子炉圧力容器 | NS(1 次) | 0.087 | 0.090 | 1.034 |
| | NS(2 次) | 0.052 | 0.055 | 1.058 |
| | EW(1 次) | 0.088 | 0.090 | 1.023 |
| | EW(2 次) | 0.051 | 0.055 | 1.078 |




建設時

固有周期(s)：0.090

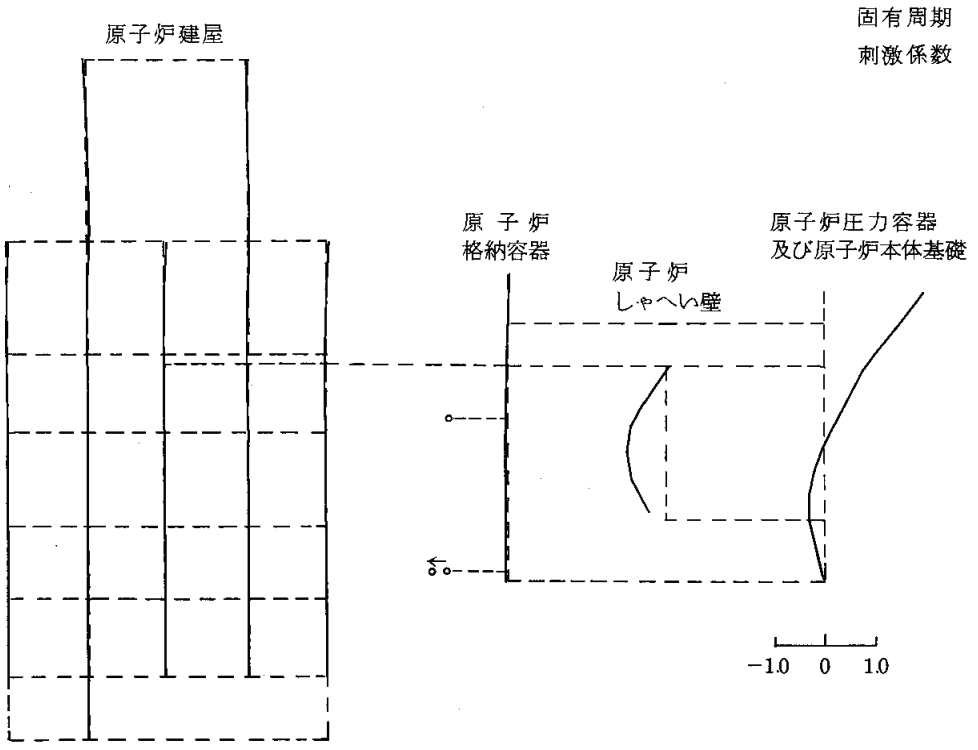
刺激係数　　：−1.774



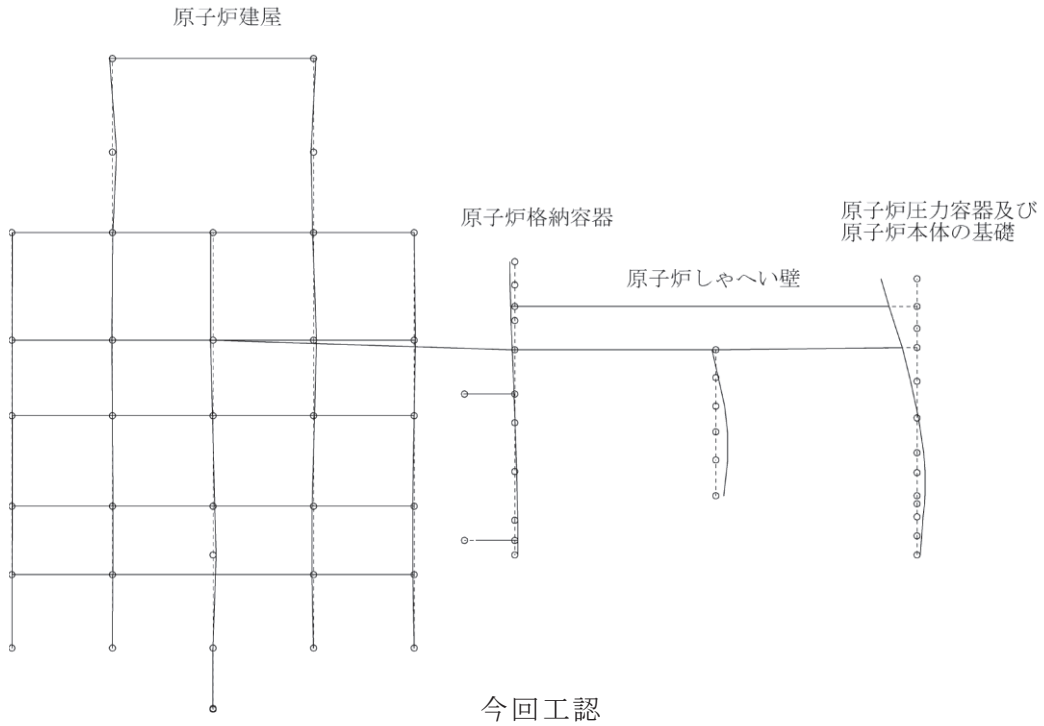

今回工認

図 2-60　建設時モデルと今回工認モデルの原子炉圧力容器の振動モードの比較

（NS 方向 1 次）

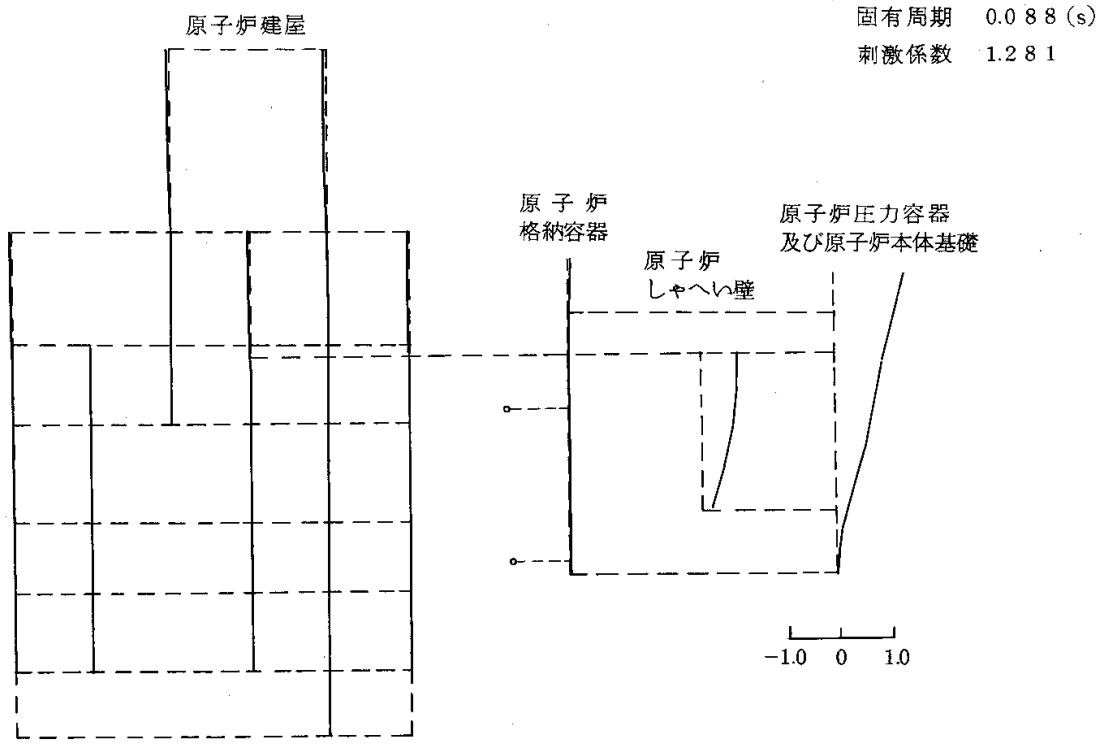



建設時

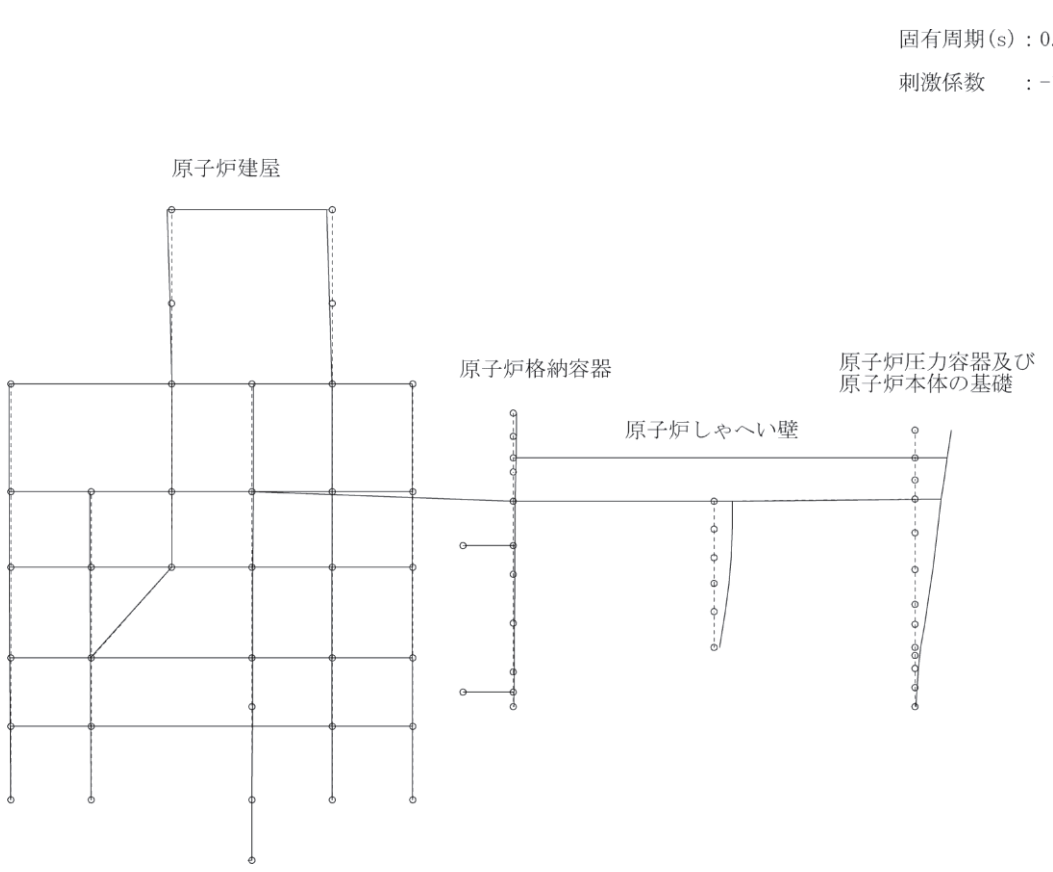



今回工認

図 2-61　建設時モデルと今回工認モデルの原子炉圧力容器の振動モードの比較
（NS 方向 2 次）

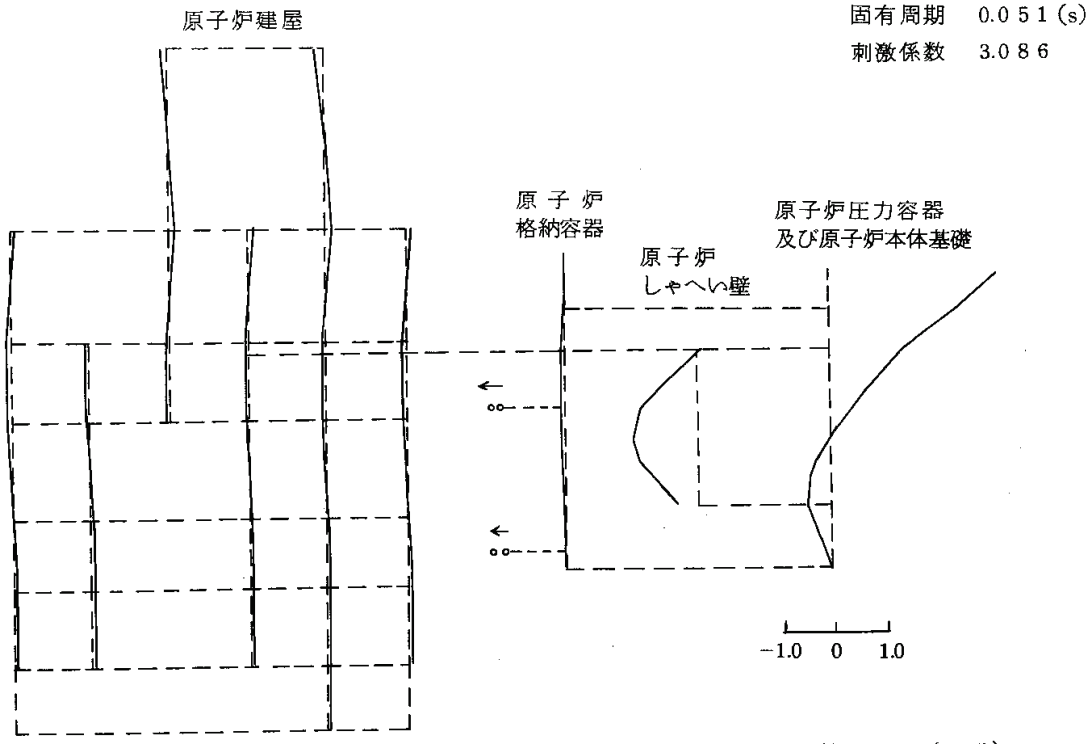



建設時

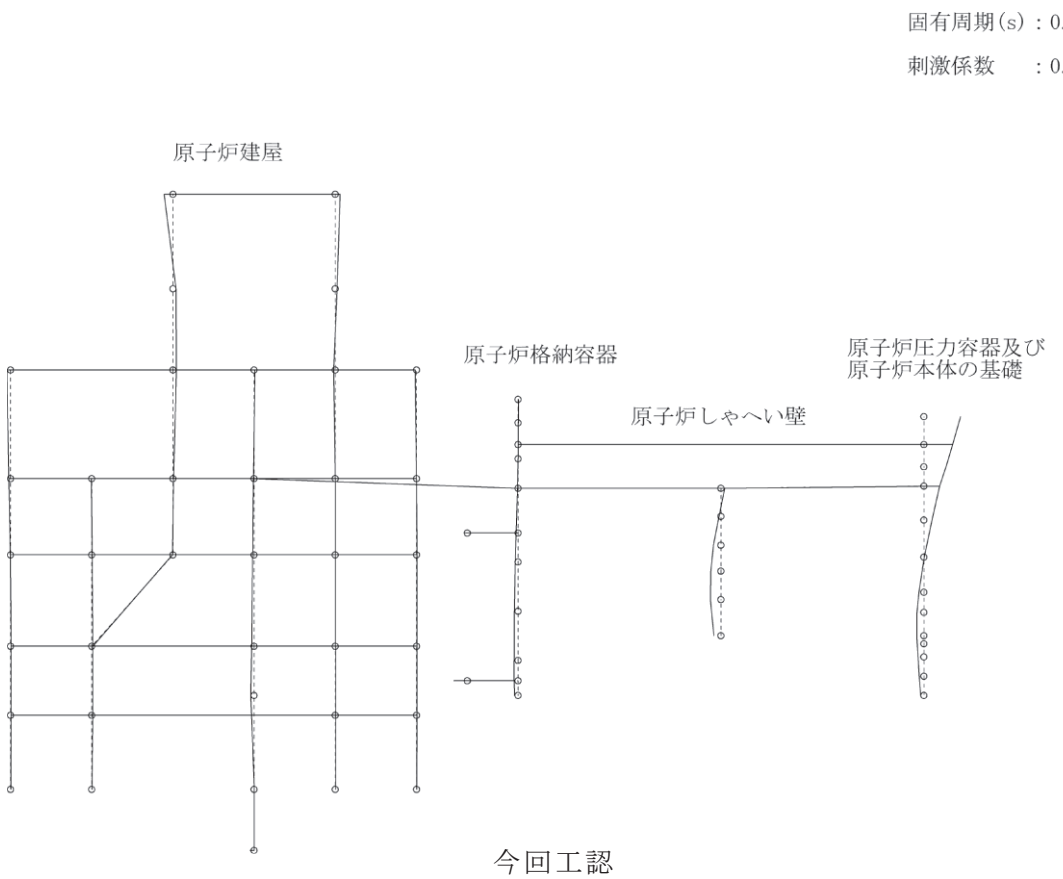



今回工認

図 2-62　建設時モデルと今回工認モデルの原子炉圧力容器の振動モードの比較
（EW 方向 1 次）




建設時




今回工認

図 2-63　建設時モデルと今回工認モデルの原子炉圧力容器の振動モードの比較
（EW 方向 2 次）

表 2-43　建設時モデルと今回工認モデルの機器の固有周期の比較（炉内構造物系）

| 機器名称 | 方向 | 固有周期（秒） | | 比率 |
|---|---|---|---|---|
| | | ①建設時 | ②今回工認 | ②/① |
| 燃料集合体 | NS | 0.231 | 0.229 | 0.991 |
| | EW | 0.231 | 0.231 | 1.000 |
| 炉心シュラウド* | NS | 0.141 | 0.118 | 0.837 |
| | EW | 0.141 | 0.117 | 0.830 |
| 原子炉圧力容器 | NS | 0.088 | 0.090 | 1.023 |
| | EW | 0.089 | 0.090 | 1.011 |
| 制御棒案内管 | NS | 0.066 | 0.066 | 1.000 |
| | EW | 0.066 | 0.066 | 1.000 |

注記＊：炉心シュラウド支持ロッドを取り付けたことにより，建設時よりも今回工認の固有周期が短くなっている。

(3)　大型機器系地震応答解析モデルと炉内構造物系地震応答解析モデルの比較

原子炉圧力容器については大型機器系地震応答解析モデル，炉内構造物系地震応答解析モデルの両方でモデル化していることから，2 つの解析モデルにおける原子炉圧力容器の固有周期及び基準地震動Ｓｓ7 波に対する最大応答加速度（NS,EW 方向包絡）を比較する。

表 2-44 に示すとおり，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルにおける原子炉圧力容器の固有周期を比較した結果，両者は一致している。

図 2-64 に示すとおり，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルにおける原子炉圧力容器の最大応答加速度はおおむね一致している。上部においてわずかに差が生じているが，大型機器系地震応答解析モデルは，炉内構造物系地震応答解析モデルと異なり，燃料交換ベローズをモデル化しており，原子炉圧力容器上部及び原子炉格納容器上部がばねで結合されている。燃料交換ベローズのばね定数（$3.73\times10^{5}$N/mm）は原子炉格納容器スタビライザのばね定数（$6.37\times10^{6}$N/mm）及び原子炉圧力容器スタビライザのばね定数（$7.30\times10^{6}$N/mm）と比べて１桁小さい値であるものの，燃料交換ベローズがあることによって，原子炉圧力容器から原子炉格納容器に荷重が伝達する。したがって，燃料交換ベローズをモデル化している大型機器系地震応答解析モデルでは，燃料交換ベローズをモデル化していない炉内構造物系地震応答解析モデルと比較して原子炉圧力容器上部の応答が低下しているものと考えられる。評価対象となる炉内構造物が位置する標高においては，両者の応答は同程度であるため，炉内構造物系

地震応答解析モデルにおいて燃料交換ベローズをモデル化しないことによる影響はない。なお，炉内構造物系地震応答解析モデルは炉内構造物の詳細挙動を確認するために燃料集合体や炉内構造物を詳細にモデル化したものであるため，原子炉格納容器及び燃料交換ベローズはモデル化していない。

表 2-44　大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルにおける原子炉圧力容器の固有周期の比較

| 機器名称 | 方向 | 固有周期　（秒） | | 比率 |
|---|---|---|---|---|
| | | ①大型機器系<br>地震応答解析モデル | ②炉内構造物系<br>地震応答解析モデル | ②/① |
| 原子炉圧力容器 | NS | 0.090 | 0.090 | 1.000 |
| | EW | 0.090 | 0.090 | 1.000 |

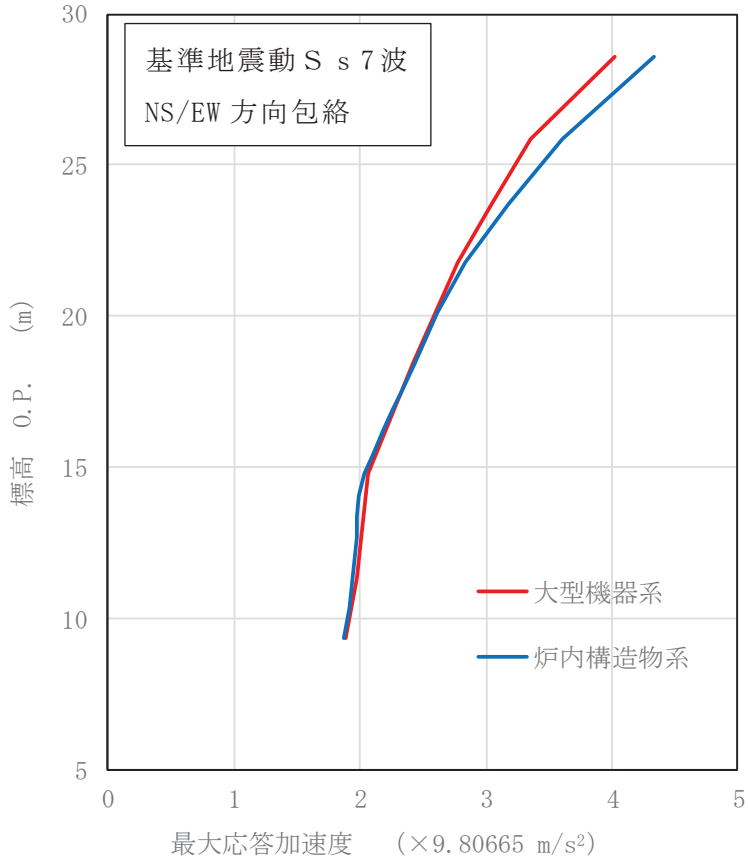



図 2-64　大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物地震応答解析モデル系における原子炉圧力容器の最大応答加速度の比較

以上のことから，今回工認で設定した大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルは，振動特性を適切に表現できており，妥当性があるものと判断した。

## 3. 鉛直方向地震応答解析モデル

### 3.1 鉛直方向地震応答解析モデルの扱い

既工認においては，動的地震動を水平方向に対してのみ考慮すればよく，設計の進捗にあわせて，段階的に以下の大型機器系地震応答解析モデルと炉内構造物系地震応答解析モデルの 2 種類の水平方向地震応答解析解析モデルを用いて分割申請を行っていた。

大型機器系地震応答解析モデル

原子炉建屋～原子炉格納容器～原子炉しゃへい壁・原子炉本体の基礎～原子炉圧力容器

炉内構造物系地震応答解析モデル

原子炉建屋～原子炉しゃへい壁・原子炉本体の基礎～原子炉圧力容器～炉内構造物（気水分離器，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管）～制御棒駆動機構ハウジング

これに対して，今回工認では，鉛直動的地震動が導入されたことから，原子炉本体及び炉内構造物について，鉛直方向応答を適切に評価する観点で，水平方向地震応答解析モデルとは別に鉛直方向地震応答解析モデル（図 3-1 及び図 3-2 参照）を新たに作成し，鉛直地震動に対する評価を実施している。

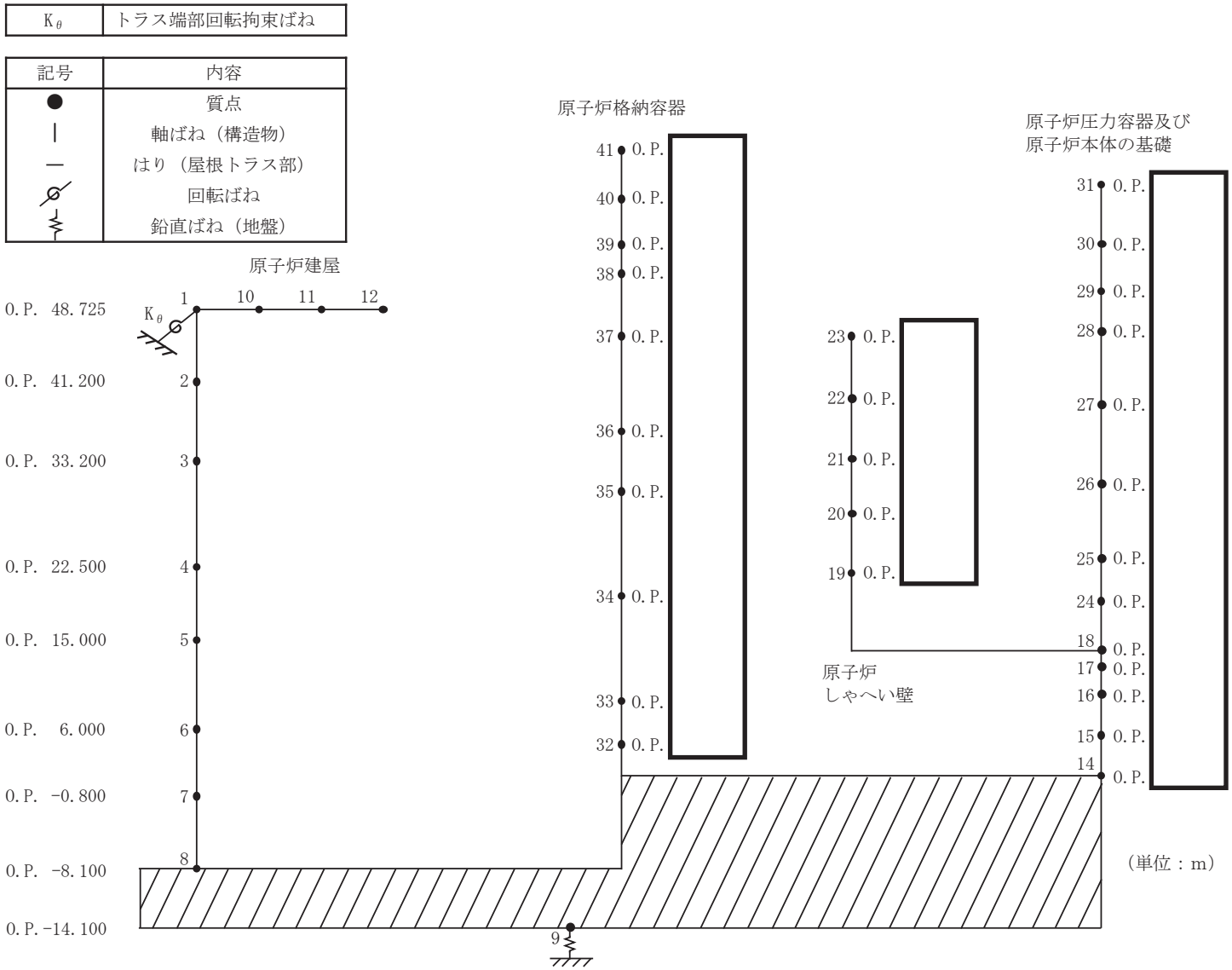



図 3-1　大型機器系地震応答解析モデル（鉛直方向，今回工認）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

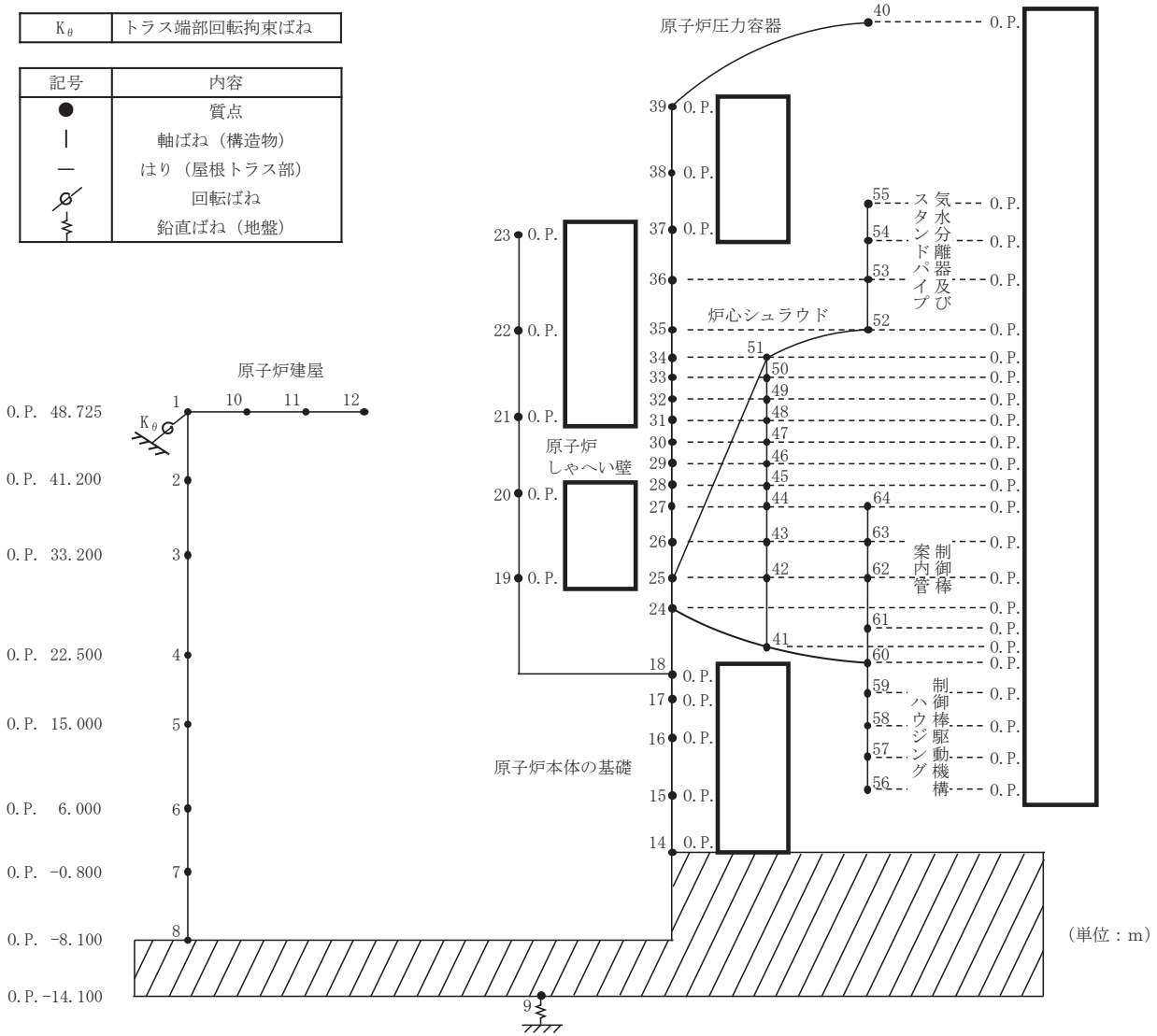



図 3-2　炉内構造物系地震応答解析モデル（鉛直方向，今回工認）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.2　鉛直方向地震応答解析モデルの設定

新たに作成する鉛直方向地震応答解析モデルは，水平方向地震応答解析モデルとの整合を図ることを基本とし，上下方向の自由度のみを有する，集中質量質点と軸圧縮引張りばねで構成されるモデルとして作成している。ここで，水平方向地震応答解析モデルでばねとして考慮している設備は，表 3-1 及び表 3-2 に示す理由により鉛直方向の振動特性には影響を与えないことから，鉛直方向地震応答解析モデルではばねとしてモデル化していない。

なお，燃料集合体は燃料支持金具上に置かれているだけであり，制御棒案内管の鉛直方向の動きに燃料集合体が追従するだけのため，制御棒案内管の鉛直方向荷重（軸力）に影響を与えるのは燃料集合体質量のみとの考え方に基づき，燃料集合体はモデル化をせず，制御棒案内管の上端に質量のみ付加している。今回工認における設計用地震力は，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に示すとおり，鉛直方向最大応答震度が 1G を超えており燃料集合体の浮上りが生じる可能性がある。燃料集合体の浮上り評価では，補足説明資料「補足-600-16 制御棒の挿入性評価について」に記載のとおり，水平及び鉛直方向加速度による浮上り量は小さく，浮上りによる燃料支持金具からの離脱の影響がないことから，鉛直方向加速度が制御棒挿入評価に影響を与えないことを確認している。

表 3-1　鉛直方向地震応答解析モデルではばねとしてモデル化していない設備
（大型機器系地震応答解析モデル）

| No. | 名称 | ばねとしてモデル化していない理由 |
|---|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器<br>シヤラグ | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_2$ | 原子炉格納容器<br>スタビライザ | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_3$ | 原子炉圧力容器<br>スタビライザ | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_4$ | 燃料交換ベローズ | 燃料交換ベローズは，図 2-15 に示すとおり，鉛直方向に伸縮する構造であり，鉛直方向の剛性は小さいため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_5$ | 所員用エアロック | 所員用エアロックは建設時に水平方向でモデル化し，軸方向，軸直角方向ともに剛であることを確認しているが，水平方向では当時のモデルを踏襲し，ばねとしてモデル化したままである。鉛直方向については水平方向モデルにおける軸直角方向と同様に剛であり，PCV と一体となって振動すると考えられるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_6$ | ベント管 | ベント管は個別に解析モデルを作成して応答評価することから，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない（ベント管の解析モデルは，添付書類「Ⅵ-2-9-4-2　ベント管の耐震性についての計算書」参照）。 |

表 3-2　鉛直方向地震応答解析モデルではばねとしてモデル化していない設備
（炉内構造物系地震応答解析モデル）

| No. | 名称 | ばねとしてモデル化していない理由 |
|---|---|---|
| $K_1$ | 原子炉格納容器<br>スタビライザ | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_2$ | 原子炉圧力容器<br>スタビライザ | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_3$ | 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_4$ | シュラウドサポート | 水平方向地震応答解析モデルでは，原子炉圧力容器とシュラウドサポートの結合部を完全拘束している。水平方向の荷重を受けるシュラウドサポートシリンダ及びシュラウドサポートレグは，円筒胴の断面をもつ片持ちはりとみなし，はりの先端にモーメントを付加したときの変形，シュラウドサポートプレートは，外周が完全固定された円板の中央部にモーメントを付加したときの変形を考慮し，それぞれを組み合わせた回転ばねとしてモデル化している。<br>鉛直方向では炉心シュラウドの荷重はシュラウドサポートリング，シュラウドサポートシリンダ及びシュラウドサポートレグを介して部材の軸方向に原子炉圧力容器下部鏡板に伝達されることから，鉛直方向地震応答解析モデルでは，シュラウドサポートレグ，シュラウドサポートシリンダ及びシュラウドサポートリングを軸圧縮引張りばねとしてモデル化している。なお，シュラウドサポートプレートは鉛直方向の剛性がシュラウドサポートシリンダ及びシュラウドサポートレグに比べ低くモデル化していない。 |
| $K_5$ | 上部サポート | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |
| $K_6$ | 下部スタビライザ | 鉛直方向に対しては部材に拘束力が作用せず，荷重を伝達しない構造であるため，鉛直方向地震応答解析モデルではモデル化していない。 |

鉛直方向地震応答解析モデルの質点質量算定の基本方針は，水平方向地震応答解析モデルと同様とし，炉水の質量は炉水を支持する部位の面積に対応して配分する等，荷重伝達経路を考慮して振り分けを行う。

鉛直方向地震応答解析モデルの断面剛性算定の基本方針は，円筒形またはそれに準ずる構造物について，下式により全断面を用いてばね定数を算定している。

$$K = \frac{A E}{L}$$

ここで，

Ａ：断面積（$m^2$）

Ｅ：縦弾性係数（$kgf/m^2$）

Ｌ：部材長（m）

なお，スタンドパイプを支持するシュラウドヘッドと CRD ハウジングを支持する原子炉圧力容器下部鏡板については，シェルの理論式でばね定数を算定する。

質点質量及びばね定数の算定例を以下に示す。

### 3.2.1　質点質量

(1) 原子炉圧力容器胴板

原子炉圧力容器胴板を例として，質点質量の算定例を示す。鉛直方向地震応答解析モデルにおける原子炉圧力容器胴板の質点質量は，水平方向地震応答解析モデルにおいて考慮している質量のうち，本体質量及び付加物質量を考慮することにより算定している。なお，原子炉圧力容器胴板の質点質量は，本体質量及び付加物質量に加え，炉水質量も考慮して算定している。

水平方向地震応答解析モデル（質点番号：20）及び鉛直方向地震応答解析モデル（質点番号：36）における原子炉圧力容器胴板の質点質量の算定結果を表 3-3 に示す。

表 3-3　原子炉圧力容器胴板の質点質量算定結果

| | | 水平方向<br>地震応答<br>解析モデル | 鉛直方向<br>地震応答<br>解析モデル | 備考 |
|---|---|---|---|---|
| 質点番号 | | 20 | 36 | |
| 標高　O.P.(m) | | | | |
| 本体質量(×$10^3$kg) | | | | |
| 付加物<br>質量(×$10^3$kg) | 配管 | | | |
| | 炉内機器 | | | |
| 炉水質量(×$10^3$kg) | | | | 鉛直方向振動に対しては，胴板では炉水質量による荷重を負担せず，シュラウドサポートプレート位置の質点及び下鏡に設置される制御棒案内管，炉心シュラウド及び制御棒駆動機構ハウジングの質点において炉水質量を考慮。 |
| 質点質量(×$10^3$kg) | | 125.48 | 47.08 | |

2.2.2　ばね定数

(1) 原子炉圧力容器胴板（質点番号：34-35）

原子炉圧力容器胴板の全断面によるばね定数を，部材の諸元を用いて，以下のとおり算定する。

A＝（NS 方向有効せん断断面積）＋（EW 方向有効せん断断面積）

＝□＋□＝□ ($m^2$)

E＝□ (kgf/$m^2$)

L＝□ (m)

よって，

$$K = \frac{AE}{L}$$

＝□＝□ (kgf/m)

＝□ (N/m)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

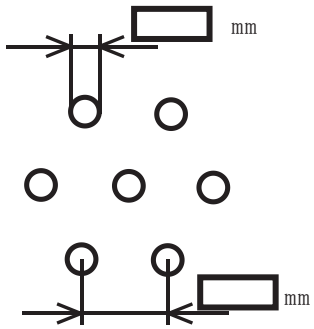
(2) シュラウドヘッド（質点番号：51-52）

シュラウドヘッドの剛性評価には，スタンドパイプの貫通孔による剛性低下の効果を,物性値を補正することにより模擬し,貫通孔なしとして評価を行う。

$\eta$ =（P－D）/ P

=

=




スタンドパイプ貫通孔の配置

よって右下表より

$$\frac{E^*}{E} = 0.529+(0.79-0.529)\times\frac{\square-0.5}{0.7-0.5}$$

= =

$$\nu^* = 0.319+(0.308-0.319)\times\frac{\square-0.5}{0.7-0.5}$$

= =

| $\eta$ | 0.333 | 0.5 | 0.7 | 1.0 |
|---|---|---|---|---|
| $E^*/E$ | 0.311 | 0.529 | 0.79 | 1.0 |
| $\nu^*$ | 0.363 | 0.319 | 0.308 | 0.3 |

出典：[9]

ここに,

$\eta$ ：リガメント効率

P ：スタンドパイプ間隔（mm）

D ：スタンドパイプ外径（mm）

$E^*$：補正後の縦弾性係数（$kgf/m^2$）

E ：補正前の縦弾性係数（$kgf/m^2$）

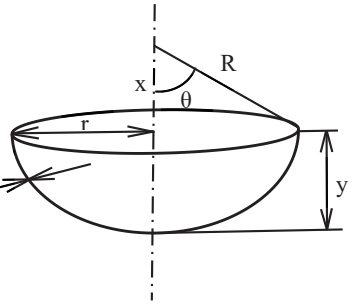
$\nu^*$：補正後のポアソン比



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

理論式に使用する寸法は板厚中心とした。

右図に理論式[2]に使用する諸元を示す。




R = [ ] + ( [ ] ／2 ) = [ ] mm = [ ] m

r = ( [ ] − 2×( [ ] ／2 )) /2 = [ ] mm = [ ] m

x = √[ ]

= [ ] m

t = [ ] mm = [ ] m

E = [ ] (kgf/m$^2$) より

$E^*$ = [ ] (kgf/m$^2$)

理論式[2]による剛性

$$\Delta y = \frac{\rho R^2}{E^*}\left[\sin^2\theta + (1+\nu^*)\ln\frac{2}{1+\cos\theta}\right]$$

$$P = 2\pi R^2(1-\cos\theta)\ t\ \rho \quad \text{（自重）}$$

$$K = \frac{P}{\Delta y}$$

$$= \frac{2\ \pi\ (1-\cos\theta)\ t\ E^*}{\sin^2\theta\ +(1+\nu^*)\ln\frac{2}{1+\cos\theta}}$$

$$= \frac{2\ \pi\ \times\ \left(1-\boxed{\ }\right)\ \times\boxed{\ }\ \times\boxed{\ }\ \times\boxed{\ }}{\boxed{\ }^2\ +\ (1\ +\boxed{\ })\ \ln\frac{2}{1+\boxed{\ }}}$$

= [ ]

= [ ] (kgf/m)

= [ ] (N/m)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

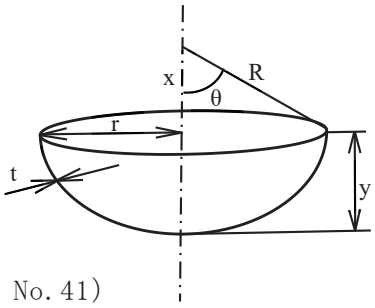
(3) 原子炉圧力容器下部鏡板

a. シュラウドサポート取付質点～RPV 下端（質点番号：41-60）

貫通孔部は補強されているため，貫通孔による剛性低下は考慮しない。

理論式[2]に適用する寸法は板厚中心とした。

右図に理論式に適用する諸元を示す。



上端支持

R = □ + □ /2 = □ (mm)

= □ (m)

y = □ (m)（シュラウドサポート取付質点　No.41）

x = □ − □ = □ (m)

r = $\sqrt{\square^2 - \square^2}$

= □ (m)

t = □ (mm) = □ (m)

E = □ (kgf/m$^2$)　　$\nu$ = □

理論式[2]による剛性

$$\Delta y = \frac{\rho R^2}{E}\left[\sin^2\theta + (1+\nu)\ln\frac{2}{1+\cos\theta}\right]$$

$$P = 2\pi R^2(1-\cos\theta)\,t\,\rho \quad \text{（自重）}$$

$$K = \frac{P}{\Delta y}$$

$$= \frac{2\pi(1-\cos\theta)\,tE}{\sin^2\theta + (1+\nu)\ln\frac{2}{1+\cos\theta}}$$

$$= \frac{2\pi \times \left(1-\square\right) \times \square \times \square}{\left(\square\right)^2 + (1+\square)\ln\frac{2}{1+\square}}$$

= □

= □ (kgf/m)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b．シュラウドサポート取付部～RPV スカート付根位置（質点番号：24-41）

理論式[2]に適用する諸元を示す。

$R = R' =$ [ ] (m)

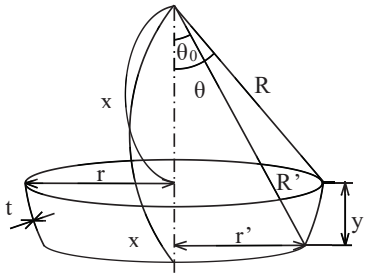
$x_1 = x_2 - y =$ [ ] − [ ] = [ ] (m)

$r =$ [ ]

= [ ] (m)

$t =$ [ ] (mm) = [ ] (m)

$E =$ [ ] (kgf/m$^2$)　$\nu =$ [ ]




$y =$ [ ] (m)　(= [ ])

$R' =$ [ ] (m)

$x_2 =$ [ ] (m)

$r' =$ [ ] (m)

理論式[2]による剛性

$$\Delta y = \frac{P(1+\nu)}{2\pi E t}\left[\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right) - \ln\left(\tan\frac{\theta_0}{2}\right)\right]$$

$$K = \frac{P}{\Delta y} = \frac{P}{\dfrac{P(1+\nu)}{2\pi E t}\left[\ln\left(\tan\dfrac{\theta}{2}\right) - \ln\left(\tan\dfrac{\theta_0}{2}\right)\right]}$$

$$= \frac{2\pi E t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\tan\dfrac{\theta}{2}\right) - \ln\left(\tan\dfrac{\theta_0}{2}\right)}$$

$$K = \frac{2\pi E t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\dfrac{\sin\theta}{1+\cos\theta}\right) - \ln\left(\dfrac{\sin\theta_0}{1+\cos\theta_0}\right)}$$

$$= \frac{2\pi E t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\dfrac{\dfrac{r}{R}}{1+\dfrac{x_1}{R}}\right) - \ln\left(\dfrac{\dfrac{r'}{R'}}{1+\dfrac{x_2}{R'}}\right)}$$



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$= \frac{2\pi E\ t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\frac{r}{R+x_1}\right) - \ln\left(\frac{r'}{R'+x_2}\right)}$$

$$= \frac{2\pi \times \square \times \square}{1+\square} \times \frac{1}{\square}$$

$$= \square$$

$$= \square \text{(kgf/m)}$$

$$= \square \text{(N/mm)}$$

3.2.3　原子炉格納容器の球殻部分におけるばね定数の考え方

原子炉格納容器において球殻形状となっている範囲と大型機器系地震応答解析モデルの位置関係について表した図を図 3-3 に示す。図に示すとおり，複数の軸ばね要素部が実機では球殻形状になっている。

今回工認の大型機器系地震応答解析モデルにおいては，該当する軸ばね要素について実機は球殻形状であるものの，3.2 項に示す円筒形構造の考え方を準用し，ばね定数を算定した上でモデル化している。そこで，本項では原子炉格納容器の球殻部について，実際の形状を考慮したばね定数を設定した場合の地震応答を算出し設備評価へ及ぼす影響を確認した結果をまとめるものである。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

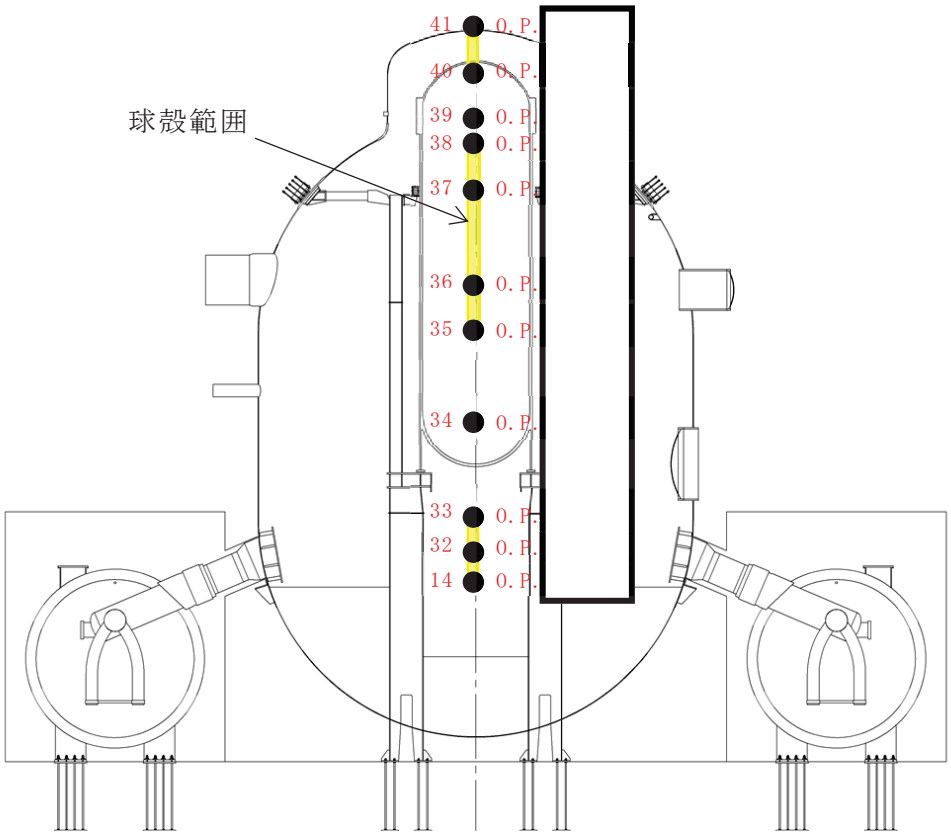



図 3-3　原子炉格納容器の球殻形状部と大型機器系地震応答解析モデルの質点位置との位置関係図

(1)　モデル化の方針

今回工認での大型機器系地震応答解析モデルでの球殻部のモデル化方針と影響確認用の大型機器系地震応答解析モデルでのモデル化方針を以下に示す。

a.　今回工認での大型機器系地震応答解析モデル

今回工認での球殻部のばね定数は，3.2 項に示す円筒形構造の考え方を準用して，下式によりばね定数を算定している。ばね定数の算定には質点間の中心位置における断面積を用いる。

$$K = \frac{AE}{L}$$



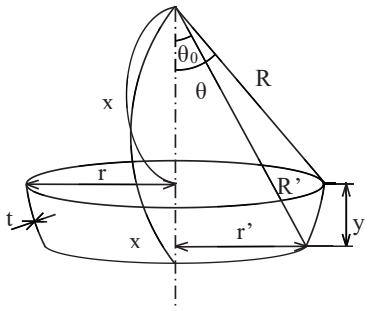
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b.　影響確認用の大型機器系地震応答解析モデル

影響確認用のモデルでは球殻部については，3.2 項に示すシュラウドヘッド等と同じく薄肉シェルの理論式よりばね定数を算定している。なお，原子炉格納容器には円筒部，球殻部ともに配管貫通部のような複数の開口部があり，開口部周りは板厚を厚くし剛性を増していることから，今回のばね定数算出においては実際の板厚を考慮した設定とした。

(a)　節点 14～33 間及び節点 35～38 間

$$\Delta y = \frac{P(1+\nu)}{2\pi E t}\left[\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)-\ln\left(\tan\frac{\theta_0}{2}\right)\right]$$




$$K = \frac{P}{\Delta y} = \frac{P}{\frac{P(1+\nu)}{2\pi E t}\left[\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)-\ln\left(\tan\frac{\theta_0}{2}\right)\right]}$$

$$= \frac{2\pi E t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)-\ln\left(\tan\frac{\theta_0}{2}\right)}$$

$$K = \frac{2\pi E t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\frac{\sin\theta}{1+\cos\theta}\right)-\ln\left(\frac{\sin\theta_0}{1+\cos\theta_0}\right)}$$

$$= \frac{2\pi E t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\frac{\frac{r}{R}}{1+\frac{x_1}{R}}\right)-\ln\left(\frac{\frac{r'}{R'}}{1+\frac{x_2}{R'}}\right)}$$

$$= \frac{2\pi E t}{1+\nu} \times \frac{1}{\ln\left(\frac{r}{R+x_1}\right)-\ln\left(\frac{r'}{R'+x_2}\right)}$$

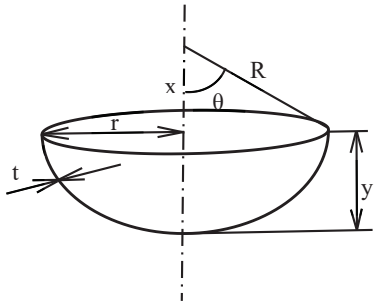
(b)　節点 40～41 間

$$\Delta y = \frac{\rho R^{2}}{E^{*}}\left[\sin^{2}\theta + (1+\nu^{*})\ln\frac{2}{1+\cos\theta}\right]$$

$$P = 2\pi R^{2}(1-\cos\theta)\ t\ \rho \quad (\text{自重})$$

$$K = \frac{P}{\Delta y}$$

$$= \frac{2\ \pi\ (1-\cos\theta)\ t\ E^{*}}{\sin^{2}\theta\ +\ (1+\nu^{*})\ln\frac{2}{1+\cos\theta}}$$




(2)　地震応答解析結果の比較

(1)に示すモデル化の方針をそれぞれ適用した，今回工認用の大型機器系地震応答解析モデルと影響確認用の大型機器系地震応答解析モデルを用いて，地震応答解析を実施した結果の比較を以下に示す。

a.　ばね定数と固有値解析結果の比較

ばね定数の比較を表 3-4 に，固有値解析結果の比較を表 3-5 に示す。

球殻部については，シェルの理論式でばね定数を設定した影響確認用モデルにおいてばね定数が低下する傾向となっている。また，下部の球殻部に比べ上部の球殻部の方が低下率は大きくなっている。一方，円筒部については，影響確認用モデルにおいて開口部周りの板厚を考慮したことで全体的にばね定数が増加する傾向となっている。

また，ばね定数の設定方法の違いによる固有周期の差異は，表 3-5 に示すとおり 0.002 秒程度であり影響が小さいことが分かった。

表 3-4　今回工認モデルと影響確認用モデルのばね定数

| 質点番号 | | 構造 | ばね定数（N/mm） | | 比率 (B) /(A) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 今回工認モデル（A） | 影響確認用モデル（B） | |
| 41 | 40 | 球殻部 | $7.46\times10^{7}$ | $1.02\times10^{7}$ | 0.14 |
| 40 | 39 | 円筒部 | $6.27\times10^{7}$ | $6.54\times10^{7}$ | 1.04 |
| 39 | 38 | | $3.43\times10^{8}$ | $3.60\times10^{8}$ | 1.05 |
| 38 | 37 | 球殻部 | $1.60\times10^{8}$ | $5.16\times10^{7}$ | 0.32 |
| 37 | 36 | | $1.06\times10^{8}$ | $7.29\times10^{7}$ | 0.69 |
| 36 | 35 | | $1.64\times10^{8}$ | $1.38\times10^{8}$ | 0.84 |
| 35 | 34 | 円筒部 | $1.02\times10^{8}$ | $1.07\times10^{8}$ | 1.05 |
| 34 | 33 | | $1.02\times10^{8}$ | $1.26\times10^{8}$ | 1.23 |
| 33 | 32 | 球殻部 | $2.33\times10^{8}$ | $2.27\times10^{8}$ | 0.97 |
| 32 | 14 | | $3.22\times10^{8}$ | $2.97\times10^{8}$ | 0.92 |

表 3-5　今回工認モデルと影響確認用モデルでの原子炉格納容器の固有値解析結果

| 次数 | 今回工認モデル | | 影響確認用モデル | |
|---|---|---|---|---|
| | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
| 1 | 33.51 | 0.030 (0.0298) | 32.77 | 0.031 (0.0305) |
| 2 | 97.74 | 0.010 (0.0102) | 81.90 | 0.012 (0.0122) |

b.　最大応答加速度の比較

今回工認モデルと影響確認用モデルに対して，設備評価に支配的な基準地震動Ｓｓ－Ｄ２を用いた地震応答解析を実施し，算出された最大応答加速度の比較を表 3-6 に示す。

今回工認モデルと影響確認用モデルの結果を比較すると，全体的に影響確認用モデルの応答が大きくなっている。また，上部位置になるほど比率は大きくなる傾向である。これは，表 3-6 に示したとおり，下部の球殻部に比べて上部の球殻部の方がばね定数の低下率が大きいことから上部の応答増加率が大きくなったものと考えられる。応答増分が 10%を超過する質点 38～41 に着目して設備評価への影響を検討する。

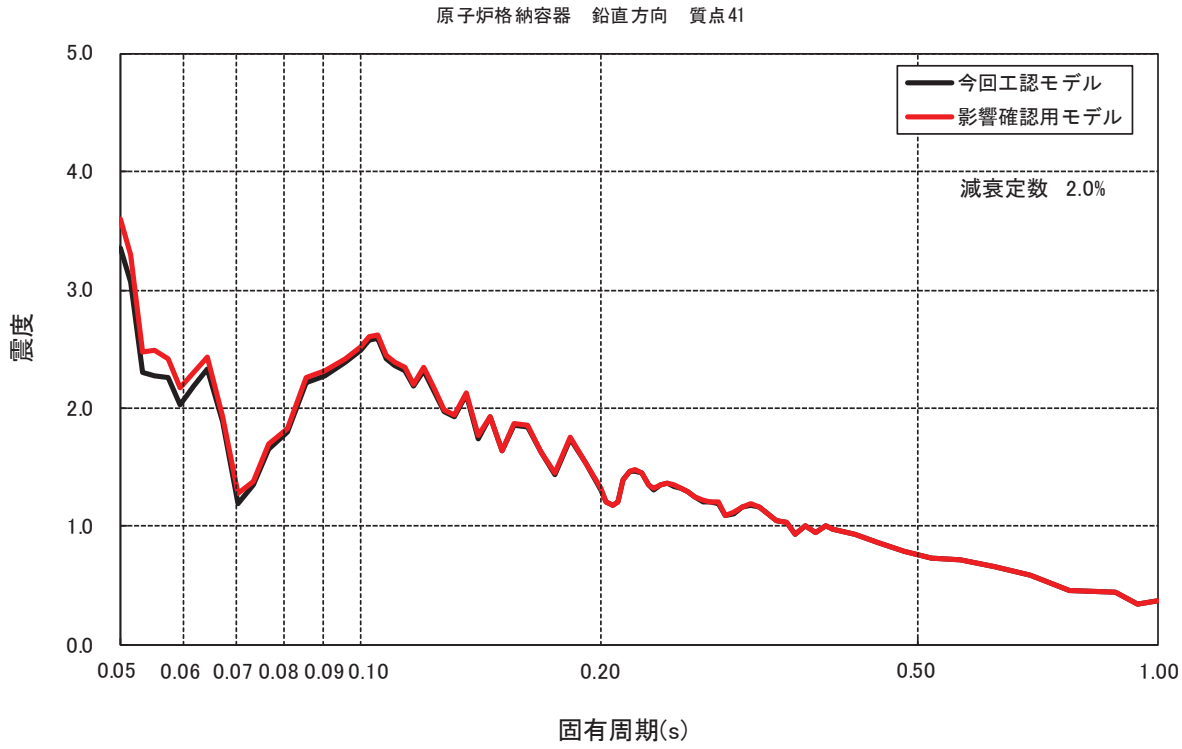
表 3-6　今回工認モデルと影響確認用モデルでの基準地震動Ｓｓ－Ｄ２による最大応答加速度

| 質点番号 | 加速度（m/s$^2$） | | 比率 (B) / (A) |
|---|---|---|---|
| | 今回工認モデル (A) | 影響確認用モデル (B) | |
| 41 | 9.35 | 11.31 | 1.21 |
| 40 | 9.24 | 10.39 | 1.13 |
| 39 | 9.08 | 10.16 | 1.12 |
| 38 | 8.97 | 10.03 | 1.12 |
| 37 | 8.62 | 9.12 | 1.06 |
| 36 | 8.09 | 8.54 | 1.06 |
| 35 | 7.65 | 8.17 | 1.07 |
| 34 | 6.98 | 7.53 | 1.08 |
| 33 | 6.29 | 6.67 | 1.06 |
| 32 | 5.93 | 6.09 | 1.03 |
| 14 | 5.51 | 5.53 | 1.01 |

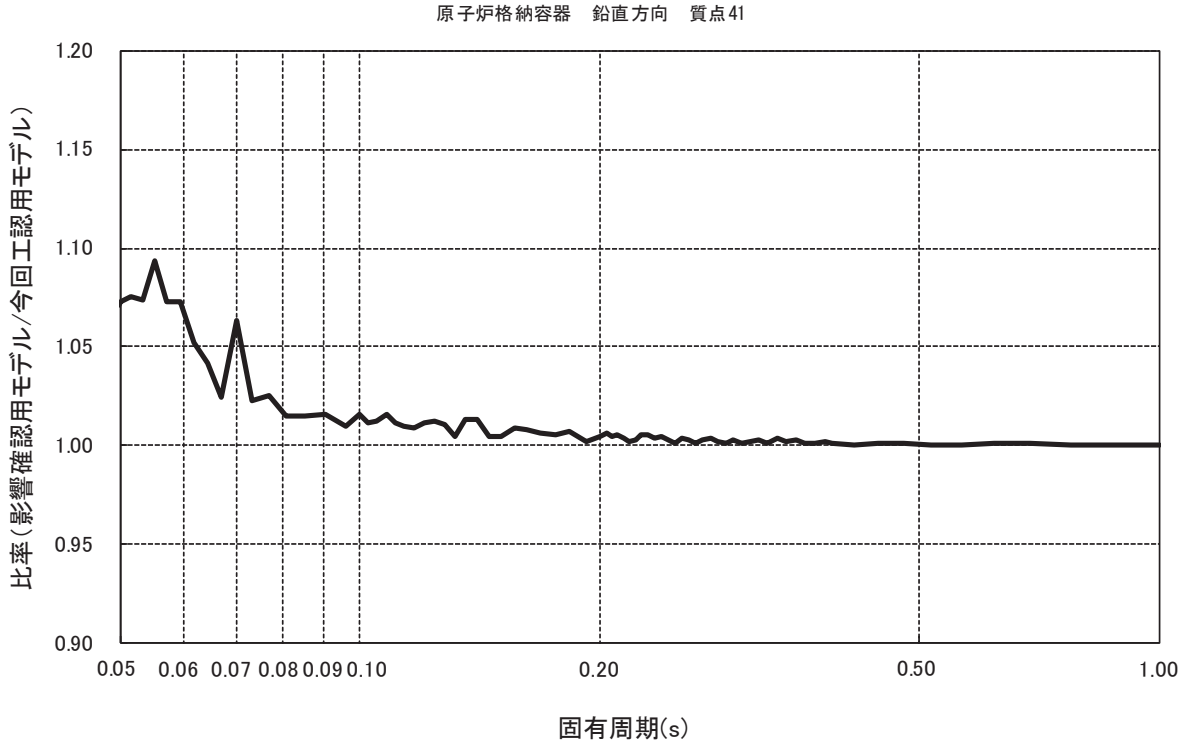
c.　床応答曲線の比較

今回工認モデルと影響確認用モデルに対して，設備評価に支配的な基準地震動Ｓｓ－Ｄ２を用いた地震応答解析を実施し，算出された応答を用いて床応答曲線を作成し比較した結果を図 3-4 に示す。床応答曲線を用いた評価を実施する代表的な設備として，配管系を想定し，配管系で使用頻度が高い減衰定数 2.0%の床応答曲線の比較を行った。

今回工認モデルと影響確認用モデルの床応答曲線を比較すると，0.1 秒以下の短周期領域で影響確認用モデルがやや大きくなる傾向となっているものの，その比率は 10%を超過しない程度である。また，最大応答加速度と同様に，原子炉格納容器下部に比べ上部の方の比率が大きい傾向となっている。

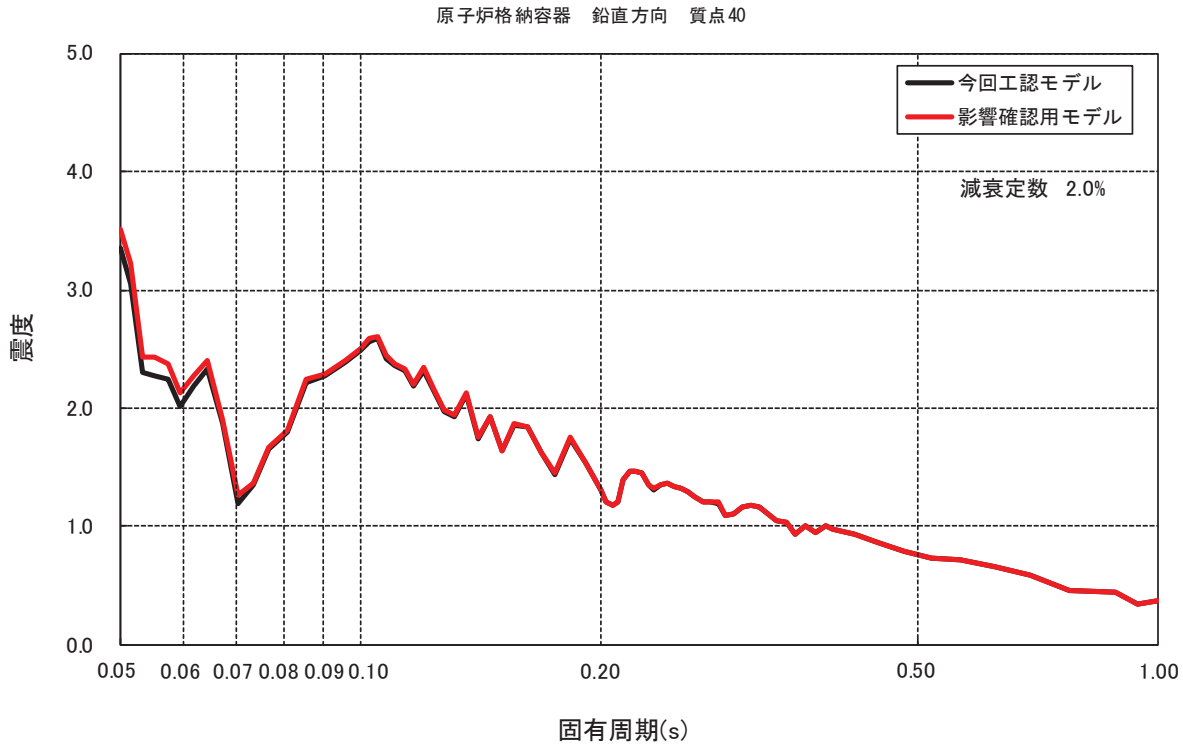



（質点 41 の床応答曲線の比較）

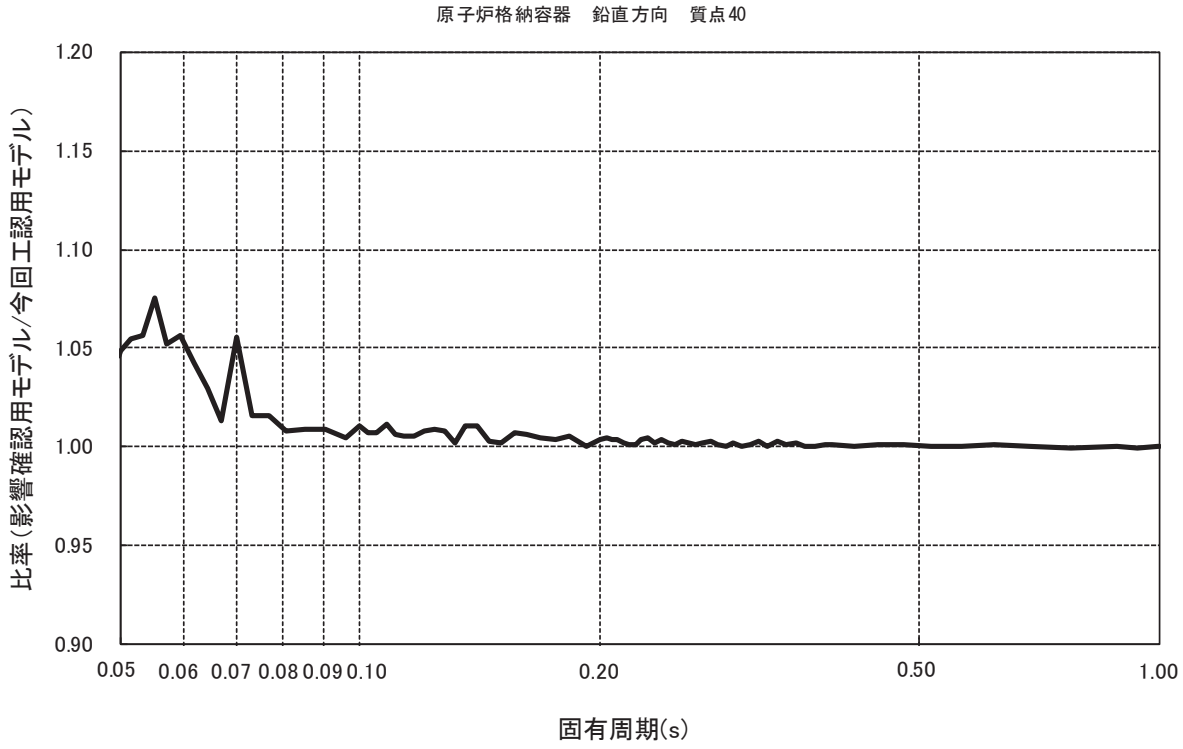



（質点 41 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（1/11）

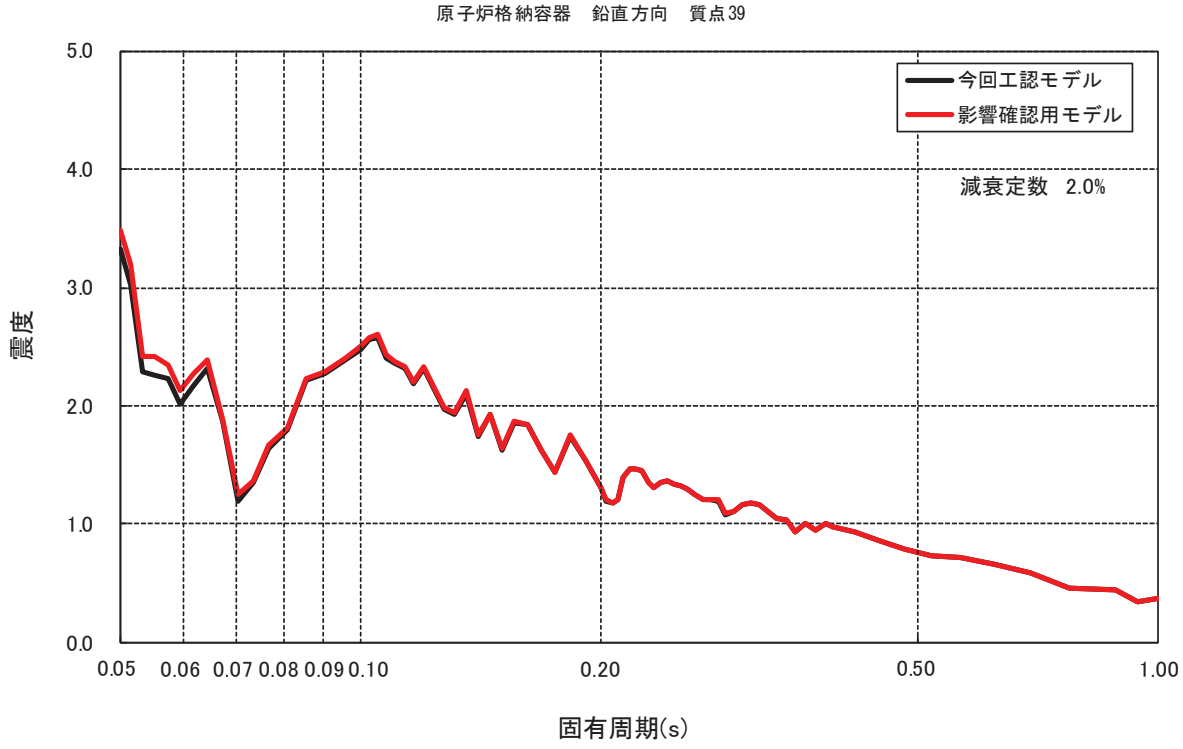



（質点 40 の床応答曲線の比較）

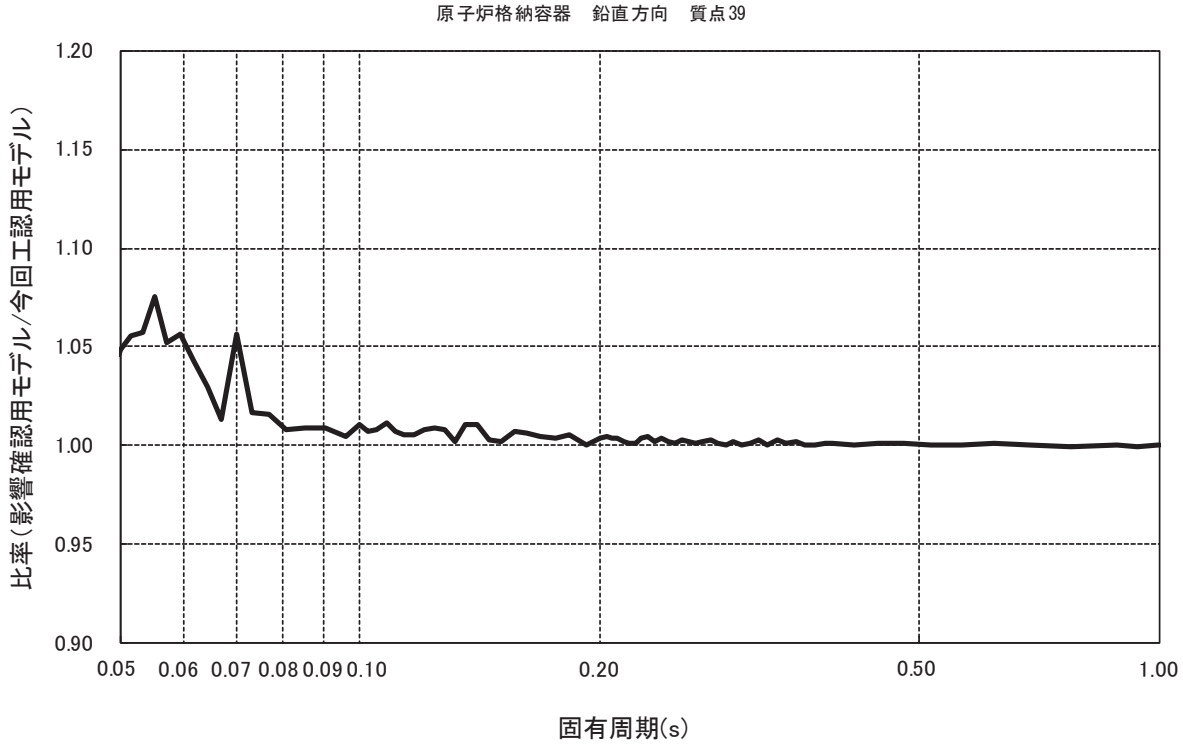



（質点 40 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（2/11）

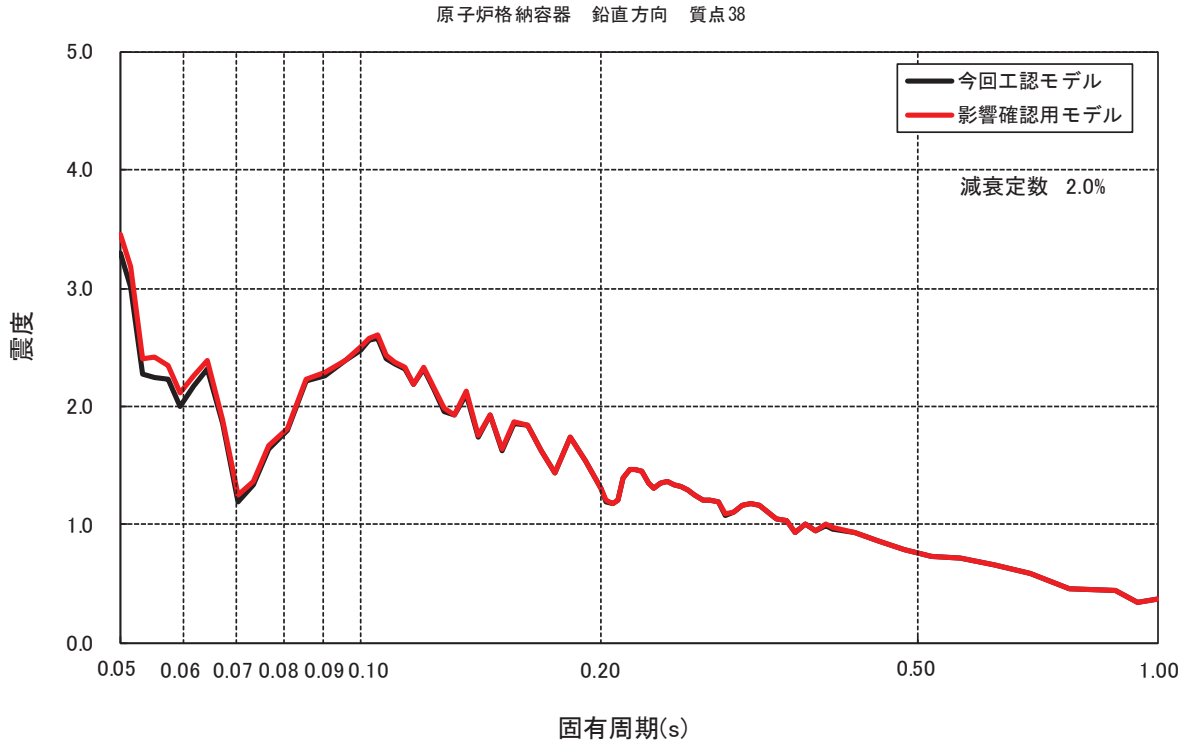



（質点 39 の床応答曲線の比較）

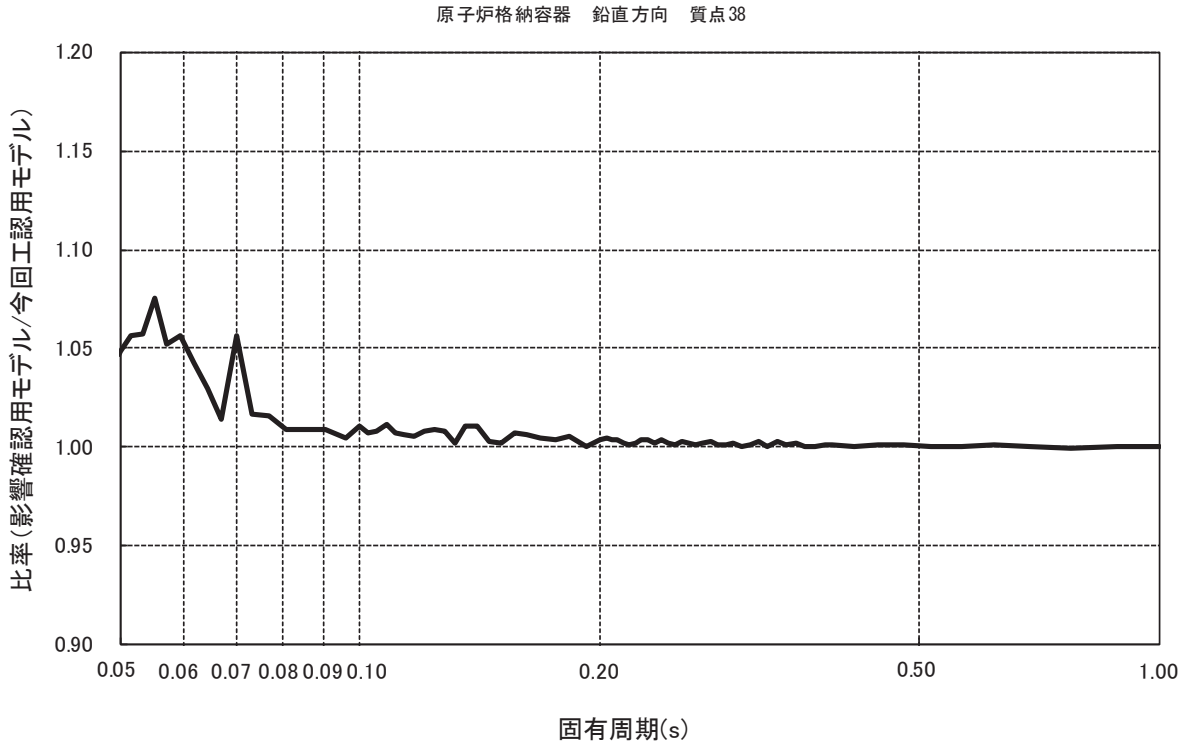



（質点 39 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（3/11）

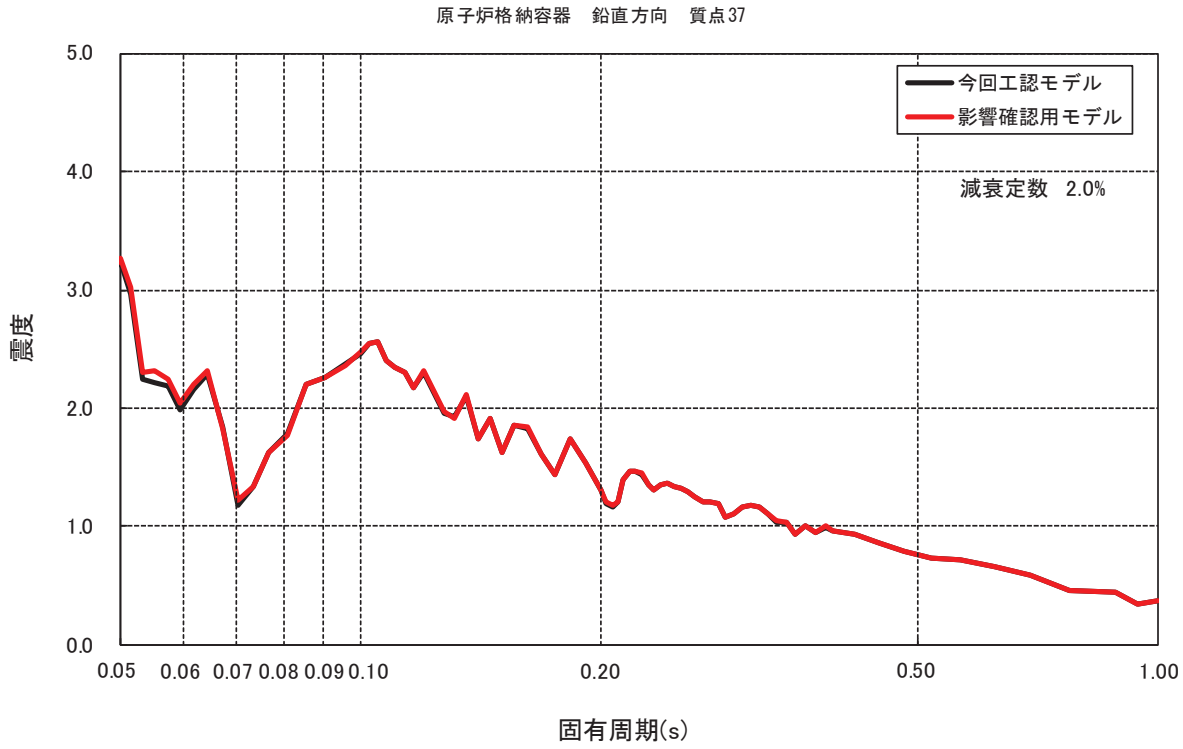



（質点 38 の床応答曲線の比較）

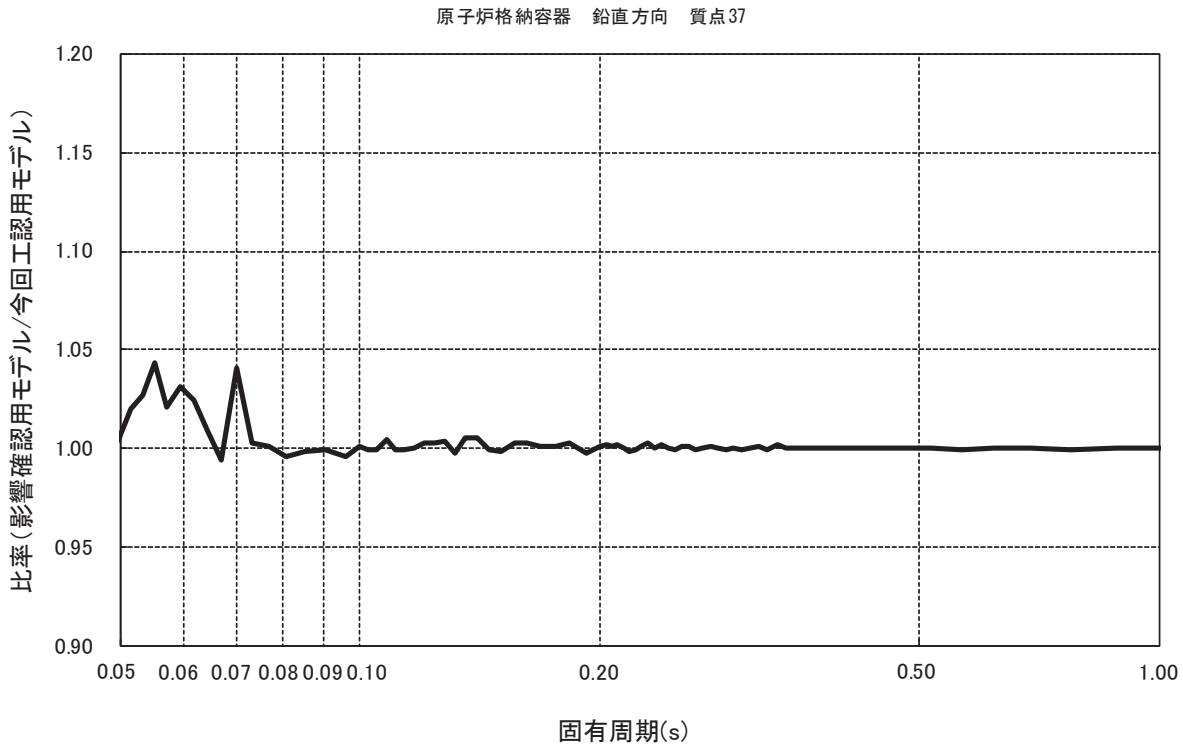



（質点 38 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（4/11）

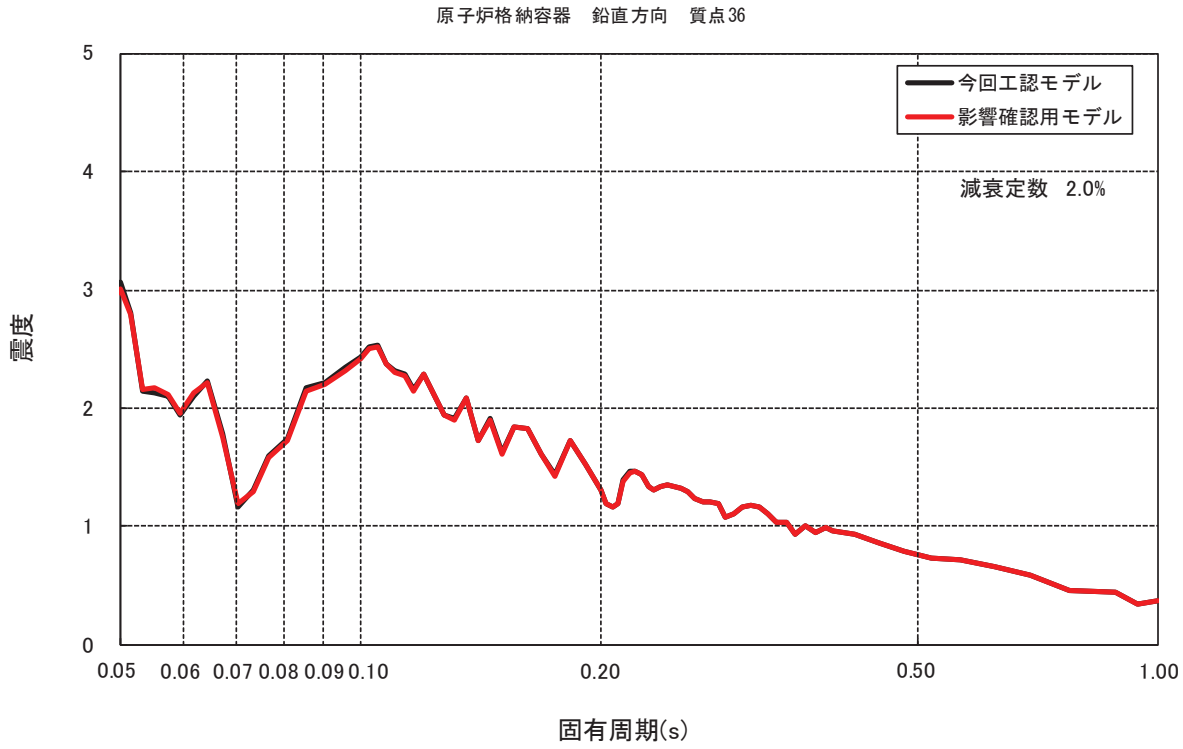



（質点 37 の床応答曲線の比較）

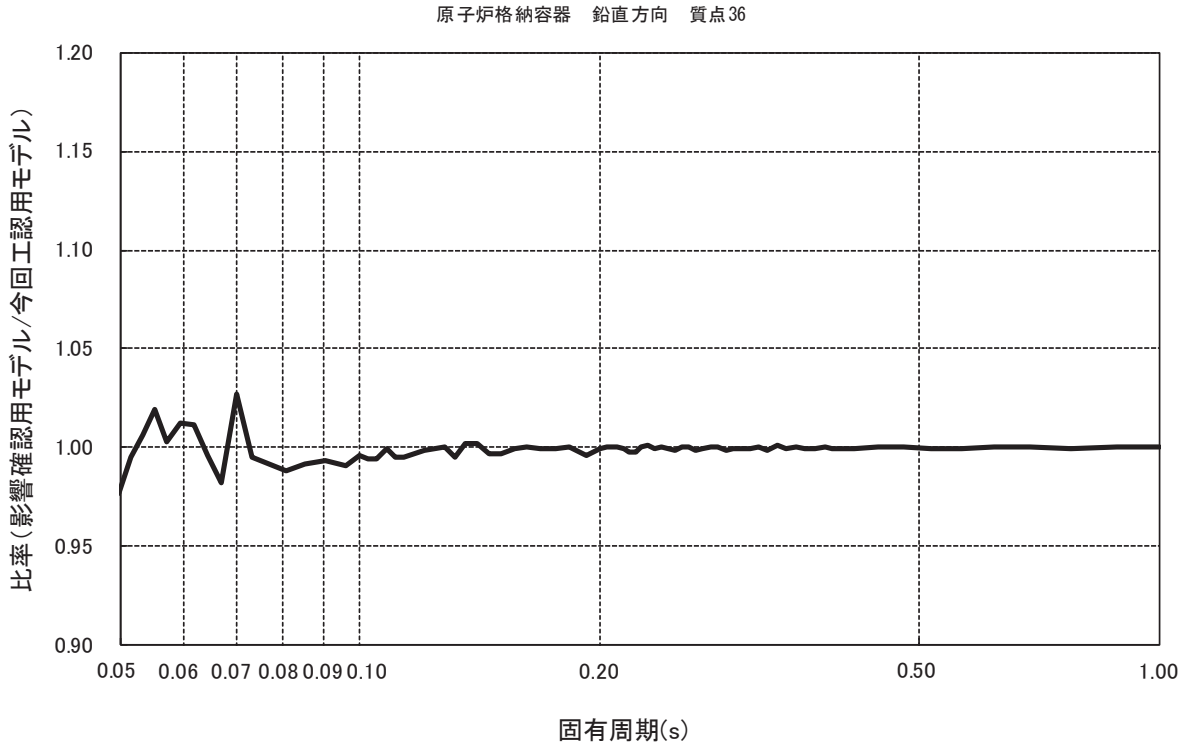



（質点 37 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（5/11）

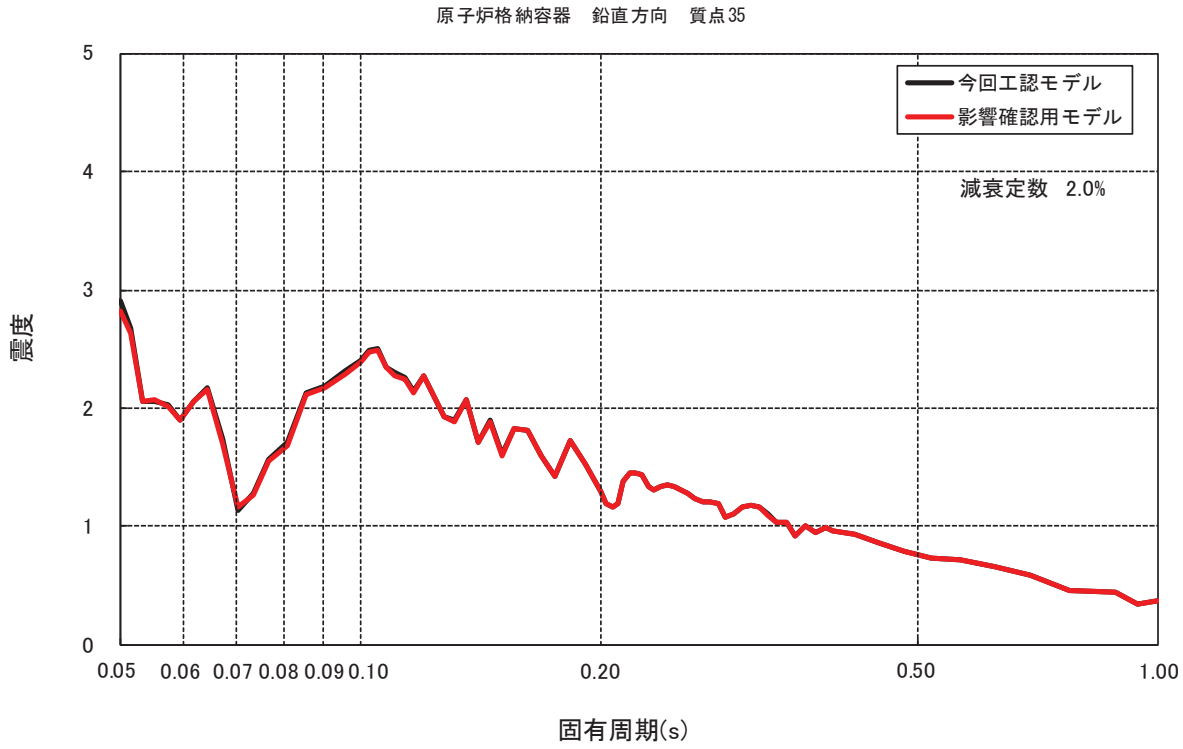



（質点 36 の床応答曲線の比較）

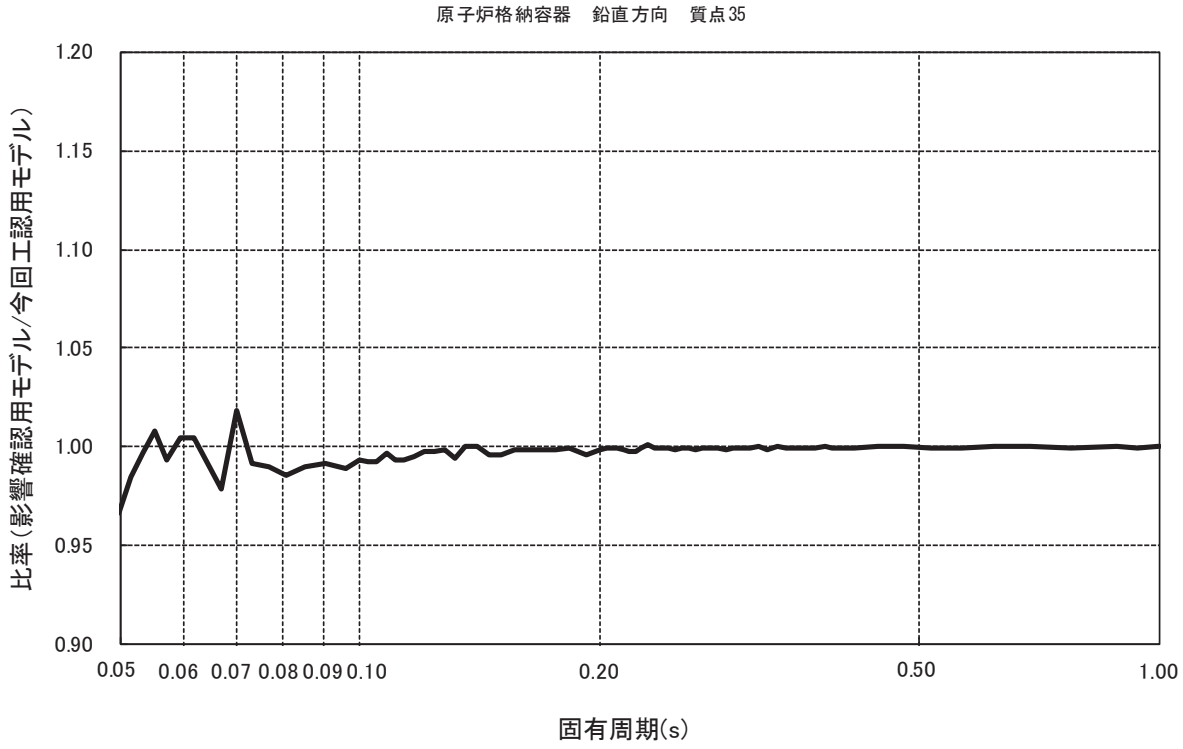



（質点 36 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（6/11）

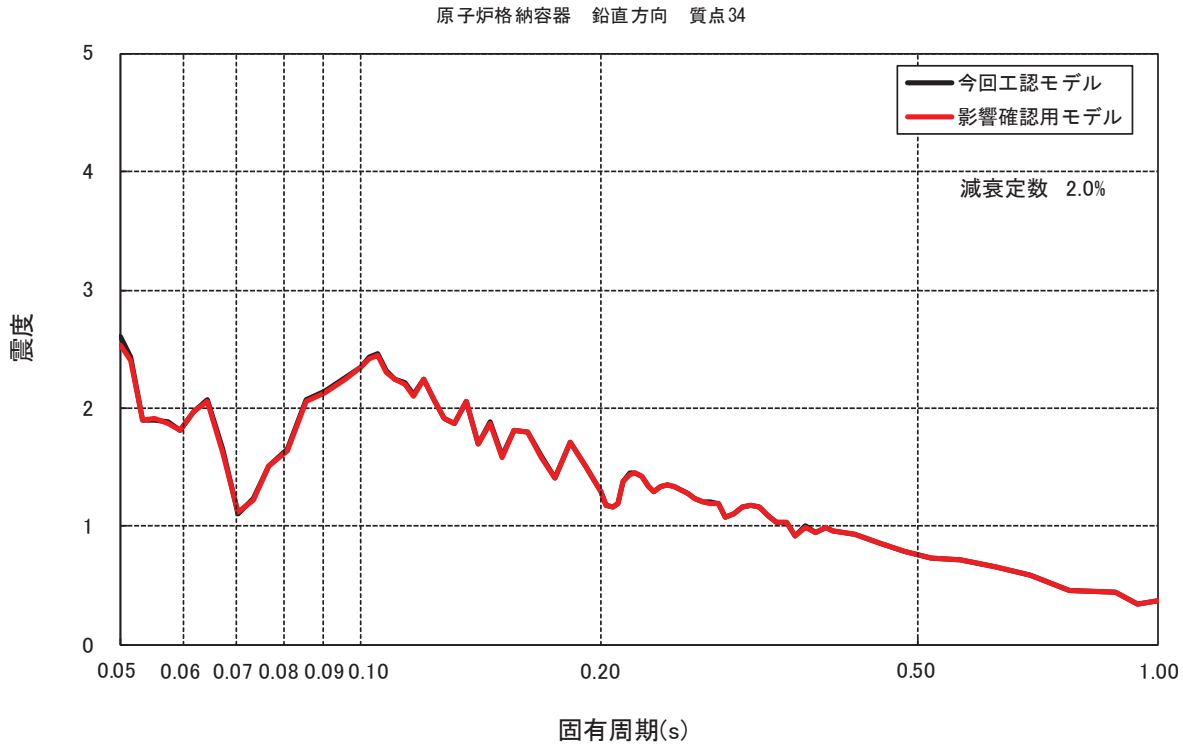



（質点 35 の床応答曲線の比較）

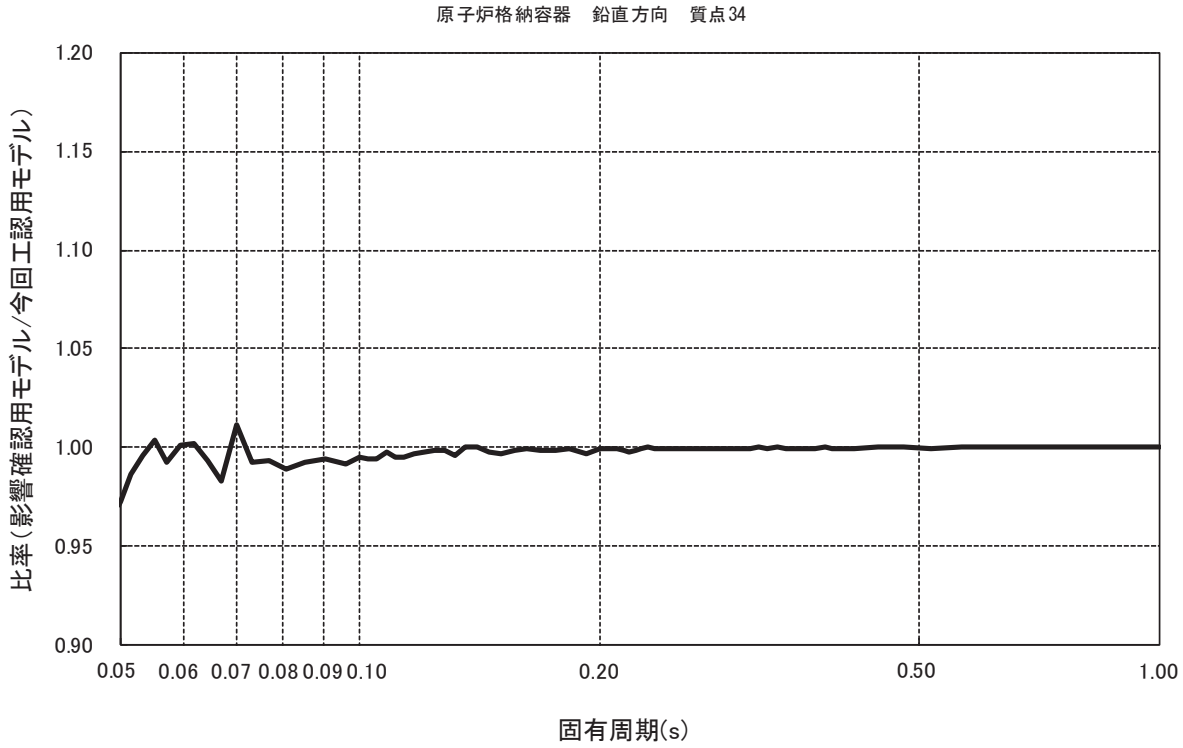



（質点 35 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（7/11）

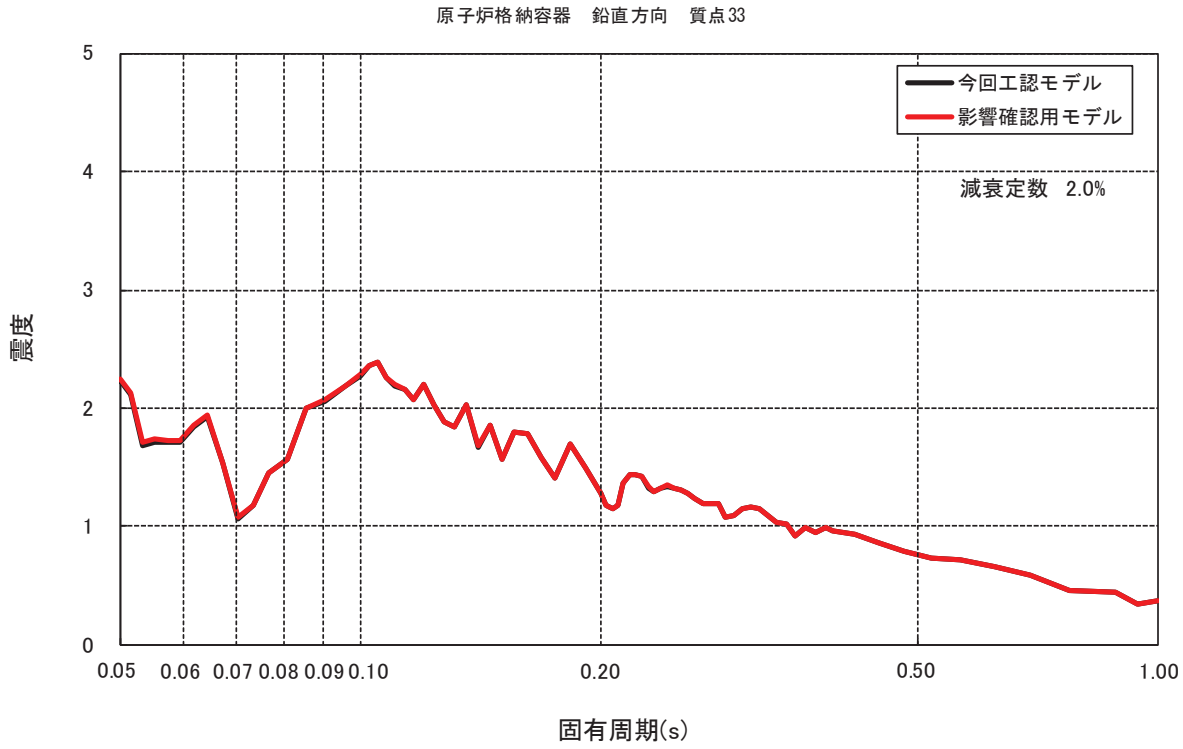



（質点 34 の床応答曲線の比較）

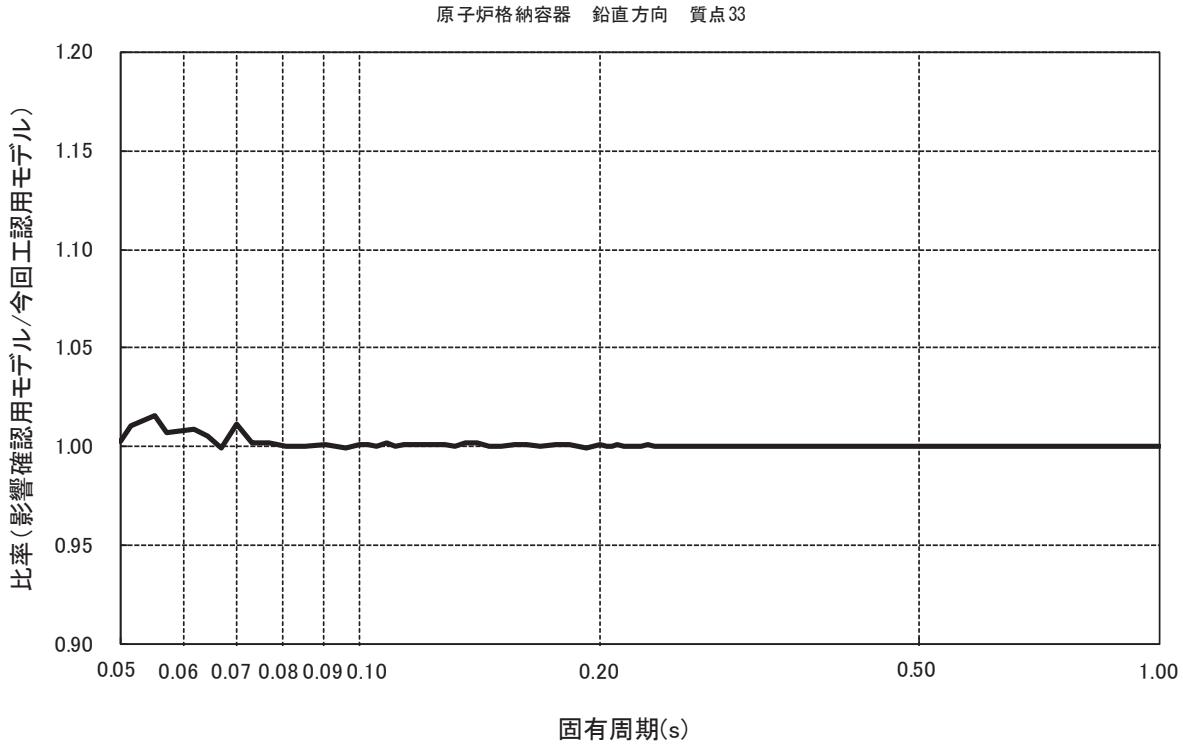



（質点 34 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（8/11）

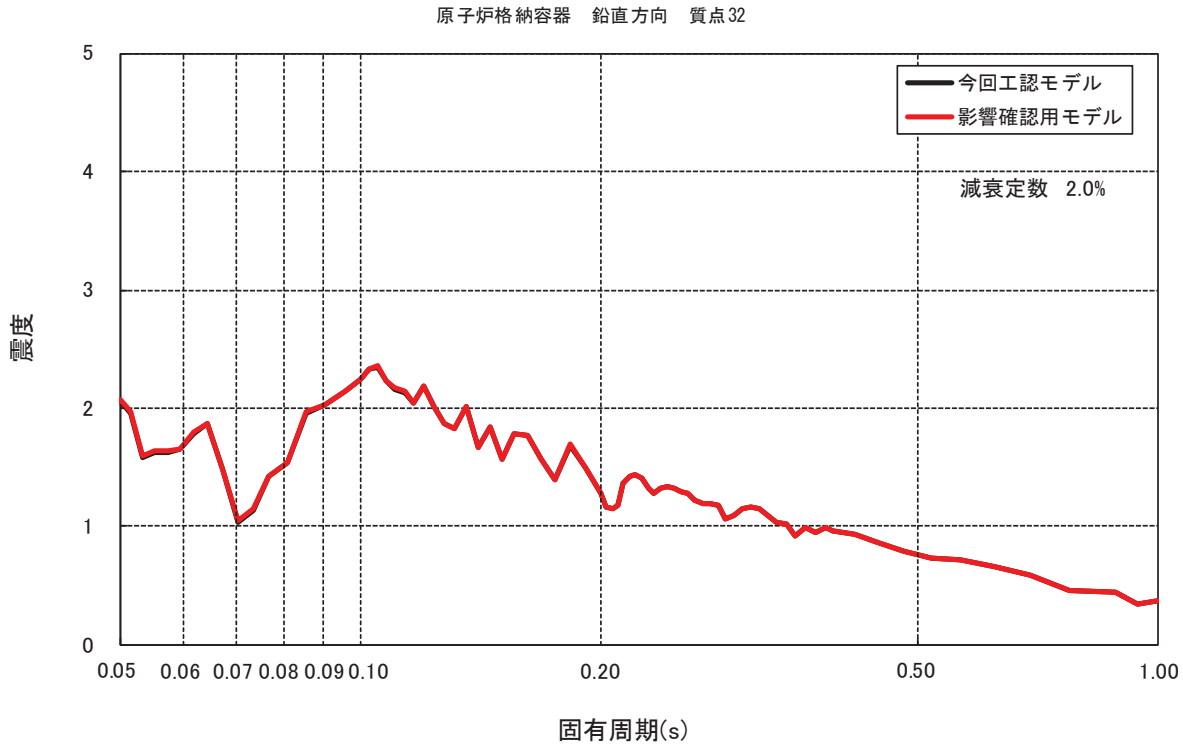



（質点 33 の床応答曲線の比較）

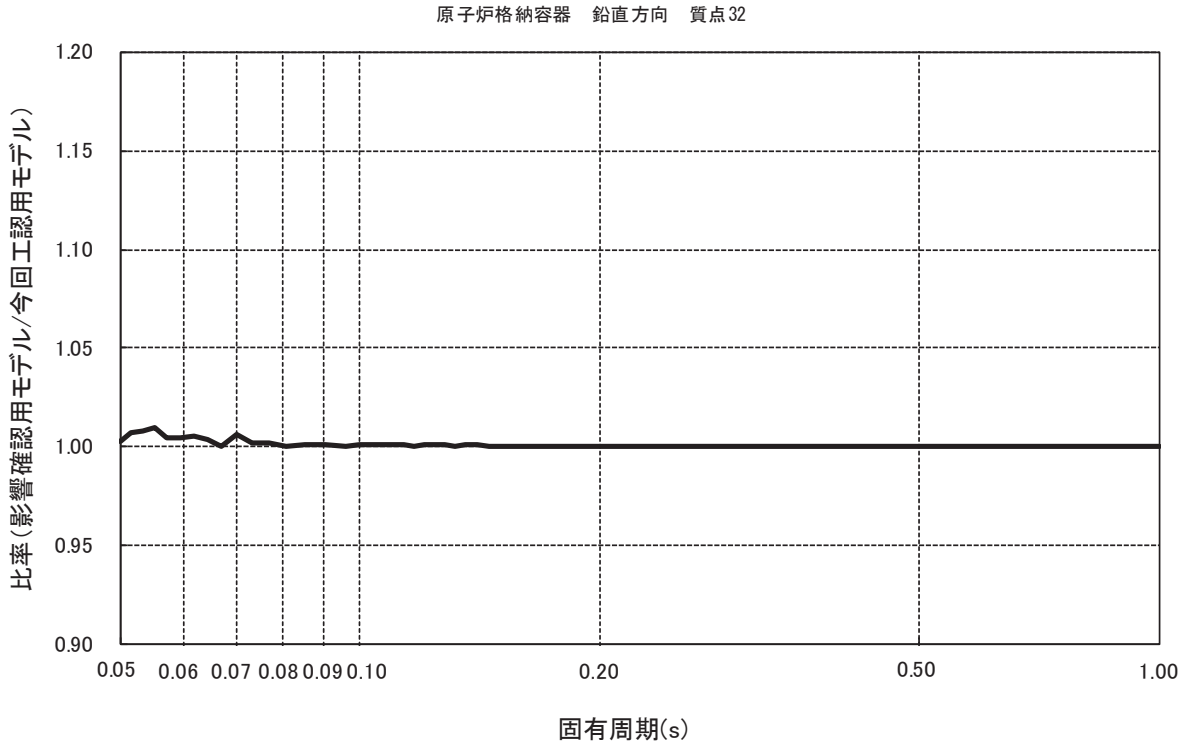



（質点 33 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（9/11）

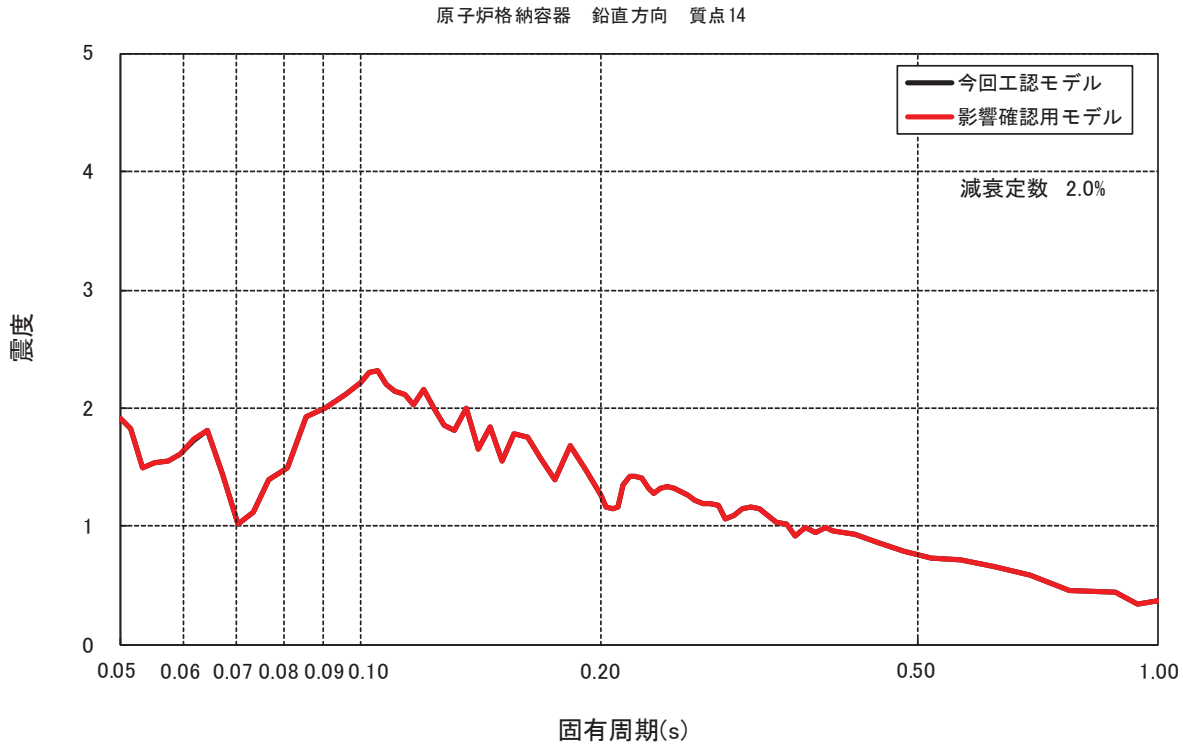



（質点 32 の床応答曲線の比較）

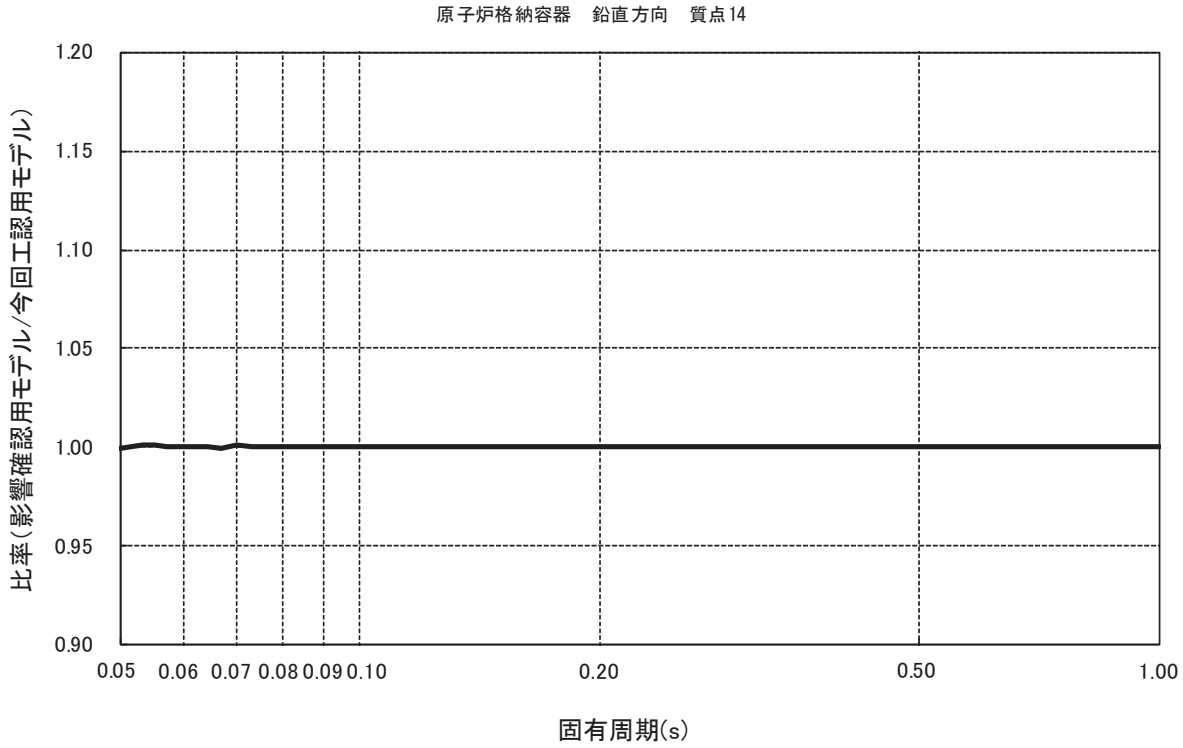



（質点 32 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（10/11）




（質点 14 の床応答曲線の比較）




（質点 14 の床応答曲線の比率）

図 3-4　今回工認モデル及び影響確認用モデルの床応答曲線（11/11）

(3)　設備評価への影響確認

(2)に示す評価結果を用いて，設備評価に及ぼす影響を確認する。

a.　最大応答加速度を用いて耐震評価を実施する設備

原子炉格納容器の最大応答加速度を用いて評価を実施する設備への影響を確認するため，表 3-6 に示す今回工認モデルと影響検討用モデルの最大応答加速度の比率を用いて検討を行う。最大応答加速度の比率は，表 3-6 に示すとおり，質点 14～37 は今回工認モデルと影響確認用モデルの応答増分が 10%未満であり設備評価に及ぼす影響は軽微であることから，応答増分が 10%を超過する質点 38～41 に着目して影響検討を行う。

質点 38～41 の最大応答加速度を適用して評価する設備はドライウェルのみであることから，以下にドライウェルへの影響検討結果を示す。

添付書類「Ⅵ-2-9-2-1-1　ドライウェルの耐震性についての計算書」より，ドライウェルの応力評価点を図 3-5 に示す。図 3-3 及び図 3-5 より質点 38～41 の最大加速度を適用する位置にある応力評価点は P1～P6 であることが分かる。そこで，応力評価点 P1～P6 についての耐震評価結果を表 3-7 に示す。なお，表 3-7 には裕度が小さい重大事故等対処設備としての評価結果を示している。

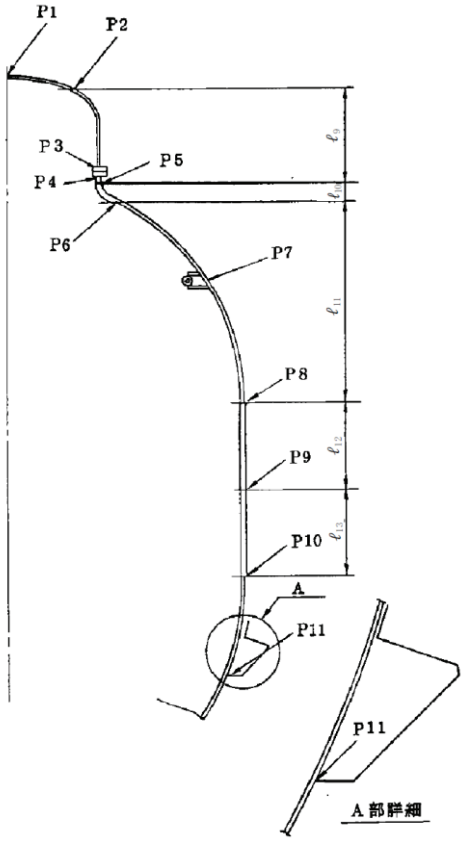



図 3-5　ドライウェルの応力評価点

表 3-7　ドライウェル応力評価点 P1～P6 の耐震評価結果（SA 条件）

| 評価部位 | | 応力分類 | 算出応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 裕度 |
|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 上鏡球形部 | 一次一般膜応力 | 74 | 253 | 3.41 |
| | | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 74 | 379 | 5.12 |
| | | 一次＋二次応力 | 0 | 393 | － |
| P2 | 上鏡球形部と上鏡ナックル部の接合部 | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 109 | 379 | 3.47 |
| | | 一次＋二次応力 | 10 | 393 | 39.3 |
| P3 | 円筒部と上フランジの接合部 | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 45 | 379 | 8.42 |
| | | 一次＋二次応力 | 10 | 393 | 39.3 |
| P4 | 下フランジと円筒部の接合部 | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 36 | 379 | 10.52 |
| | | 一次＋二次応力 | 30 | 393 | 13.1 |
| P5 | 円筒部とナックル部の接合部 | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 55 | 379 | 6.89 |
| | | 一次＋二次応力 | 30 | 393 | 13.1 |
| P6 | ナックル部と上部球形部の接合部 | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 158 | 379 | 2.39 |
| | | 一次＋二次応力 | 32 | 393 | 12.2 |

表 3-7 に示すとおり，応力評価点 P1～P6 については，最小裕度でも 2.0 以上となっており，十分に大きな裕度を有していることから，今回工認モデルと影響確認用モデルの最大比率である 1.21 を考慮した場合でも耐震評価において問題がないことを確認した。

b.　床応答曲線を用いて耐震評価を実施する設備

原子炉格納容器の床応答曲線を用いて評価を実施する設備への影響を確認するため，図 3-4 に示す今回工認モデルと影響検討用モデルの床応答曲線の比率を用いて検討を行う。

図 3-4 より，原子炉格納容器の上部の方が比率は大きくなっていることから，原子炉格納容器の床応答曲線を適用している設備のうち最も上部の応答を適用している設備として，質点 39 の応答を適用している残留熱除去系配管 RHR-004,005 を対象に検討する。

残留熱除去系配管 RHR-004,005 は，原子炉格納容器外側から原子炉圧力容器へ接続する配管であり，耐震評価においては原子炉格納容器の床応答曲線だけでなく原子炉圧力容器等の応答も含めた床応答曲線を包絡した条件で評価を実施している。そこで，耐震評価に適用している床応答曲線と影響確認用モデルの質点 39 の床応答曲線を比較した結果を図 3-6 に示

す。なお，同じ条件での比較とするため基準地震動Ｓｓ－Ｄ２の応答のみで耐震評価用の包絡条件と影響確認用モデルの結果とを比較する。

図 3-6 に示すとおり，RHR-004,005 それぞれに適用している耐震評価用の包絡条件は影響確認用モデルの質点 39 の床応答曲線を上回っていることから，影響確認用モデルの床応答曲線を適用した場合でも耐震評価において問題がないことを確認した。

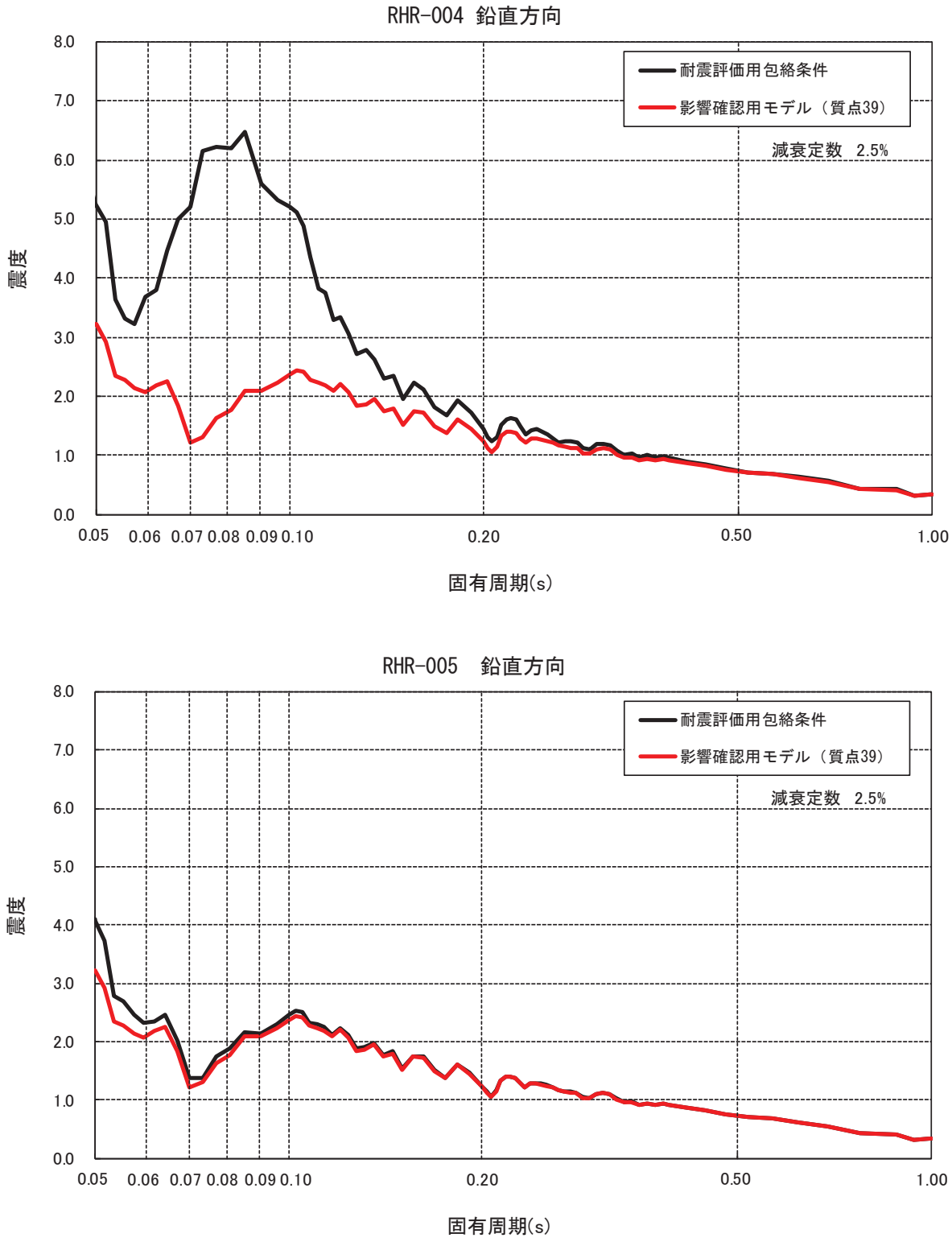



図 3-6　残留熱除去系配管（RHR-004, 005）の耐震評価用包絡条件と
影響確認用モデル（質点 39）の床応答曲線

参考文献

[1]：機械工学便覧（日本機械学会）

[2]：Roark‘FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN’

[3]：配管技術(1967)

[4]：The M.W.Kellogg Co. ‘Design of Piping Systems’

[5]：Expansion Joint Manufacturers Association‘STANDARD OF THE EXPANSION JOINT MANUFACTURERS ASSOCIATION, 5th edition’Table Ⅲ

[6]：P.P. Bijlaard; ‘Computation of the Stresses from Local Loads in Spherical Pressure Vessels or Pressure Vessel Heads’

[7]：STEPHEN P. TIMOSHENKO, S. WOINOWSKY-KRIEGER ‘THEORY OF PLATES AND SHELLS, SECOND EDITON’

[8]：P.P. Bijlaad, Ithaca N.Y. ‘stress from local loadings in cylindrical pressure vessels’, TRANSACTIONS OF THE ASME, (1995)805

[9]：Journal of Engineering for Industry(1971)

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-03-0600-8-3_改 6 |

# 補足-600-8-3　建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の非線形復元力特性等の設定に関する補足説明資料

目次

1. はじめに ..... 1
2. RPV ペデスタルの構造概要 ..... 1
2.1 RPV ペデスタルの構造 ..... 1
2.2 RPV ペデスタルの設計フロー及び今回工認の変更点 ..... 5
2.3 RPV ペデスタルの構造強度評価 ..... 5
2.4 先行プラントとの RPV ペデスタルの構造の比較 ..... 7
3 詳細化の目的と効果 ..... 9
3.1 詳細化の目的 ..... 9
3.2 詳細化の効果 ..... 10
4. RPV ペデスタルのスケルトンカーブの設定方法 ..... 13
4.1 せん断力－せん断変形角関係（Q－γ 関係） ..... 13
4.1.1 第 1 折点の設定 ..... 14
4.1.2 第 2 折点の設定 ..... 15
4.2 せん断力－せん断変形角関係の履歴特性 ..... 16
4.3 曲げモーメント－曲率関係（M－φ 関係） ..... 17
4.3.1 第 1 折点の設定 ..... 18
4.3.2 第 2 折点の設定 ..... 19
4.3.3 今回工認におけるスケルトンカーブの設定方法 ..... 20
4.4 曲げモーメント－曲率関係の履歴特性 ..... 21
5. 評価に適用する RPV ペデスタルのスケルトンカーブ ..... 22
5.1 使用材料の物性値 ..... 22
5.2 スケルトンカーブの設定方法 ..... 23
5.3 せん断力のスケルトンカーブ ..... 27
5.4 曲げモーメントのスケルトンカーブ ..... 32
5.5 RPV ペデスタルの剛性に対する影響確認 ..... 37

別紙-1 RPV ペデスタルの復元力特性の設定の考え方及び妥当性検証
別紙-2 地震応答解析モデルにおける RPV ペデスタルの減衰定数
別紙-3 SC 規程を参考にした RPV ペデスタルのスケルトンカーブ導出過程
別紙-4 SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブに基づく試験体の荷重変位特性の作成方法
別紙-5 既往試験の概要，信頼性及び実機への適用性
別紙-6 コンクリートせん断ひび割れ後の RPV ペデスタルの支持性能
別紙-7 コンクリートせん断ひび割れ後の剛性評価の理論式

別紙-8　隔壁方式の鋼板コンクリート構造に関する理論式と試験結果の比較
別紙-9　地震応答解析における RPV ペデスタル下部の扱いについて
別紙-10　RPV ペデスタル復元力特性の直線近似の影響検討
別紙-11　復元力特性の設定における温度に応じた材料物性値の設定

1.　はじめに

女川原子力発電所第 2 号機の原子炉本体の基礎（以下「RPV ペデスタル」という。）は，鋼板とコンクリートで構成されており，構造強度上は，鋼板によって地震等の荷重に耐える鋼構造として設計している。コンクリートは構造強度部材として期待していないものの，万が一の配慮として，終局耐力の向上を目的として充填している。

一方で，地震時の振動特性を考慮するとコンクリートは無視できないものであり，RPV ペデスタルの地震応答解析モデルとしては，コンクリートの剛性及び重量もモデルに取り込んでいる。

地震応答解析は，原子炉建屋と RPV ペデスタルを連成させて行っている。女川原子力発電所第 2 号機の建設時工認（以下「既工認」という。）で用いた基準地震動のレベルにおいては，原子炉建屋は非線形領域付近であったため非線形特性，RPV ペデスタルはおおむね線形領域に収まっていたことから，剛性一定の線形特性と仮定していた。

しかしながら，今回工認では基準地震動のレベルが増大し，RPV ペデスタルの地震応答が線形領域を超えることから，適正な地震応答に基づく評価を行うために，原子炉建屋の地震応答解析モデルだけでなく，RPV ペデスタルにもコンクリートの剛性変化を考慮した非線形解析モデルを採用する。

非線形解析モデルの評価は，鉄筋コンクリートの評価手法として実績のある手法に加え，鋼板とコンクリートの複合構造としての特徴に留意した既往の知見を参考にして行い，実物の RPV ペデスタルを模擬した試験体による加力試験結果を用いてその妥当性を確認している（別紙 1 参照）。

構造強度設計は，今回工認においても既工認と同様に，鋼板のみで地震等の荷重に耐える設計とする。なお，基準地震動Ｓｓによる RPV ペデスタルの応答は鋼板の降伏点に対して大きな余裕を有する範囲にとどまる。

表 1-1　RPV ペデスタルの耐震評価条件に関する比較

| | 既工認 | 今回工認 |
|---|---|---|
| 地震応答解析 | 原子炉建屋と連成してモデル化 | 同左 |
| | 剛性は鋼板及びコンクリートをともに考慮 | 同左 |
| | 線形解析 | **非線形解析＊** |
| 構造強度評価 | 鋼構造として，鋼板のみで耐えるよう設計 | 同左 |

＊：コンクリートひび割れ後の剛性低下を考慮（鋼板は降伏に至らない範囲で設定）

2.　RPV ペデスタルの構造概要

2.1　RPV ペデスタルの構造

RPV ペデスタルは，原子炉圧力容器及び原子炉しゃへい壁を支持する円筒状の構造

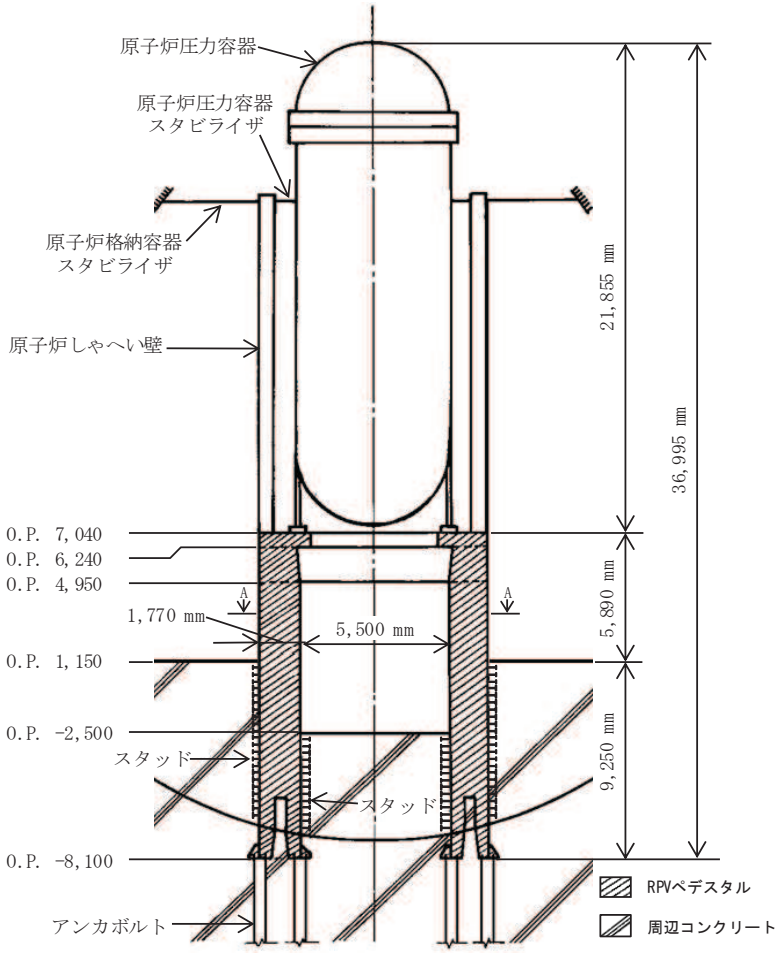
物である。図 2-1 に RPV ペデスタルの構造概要図を示す。

RPV ペデスタルは，内外の円筒鋼板とそれらを一体化するための放射状の縦リブ鋼板（隔壁）で構成され，内部にコンクリートを充填している*。

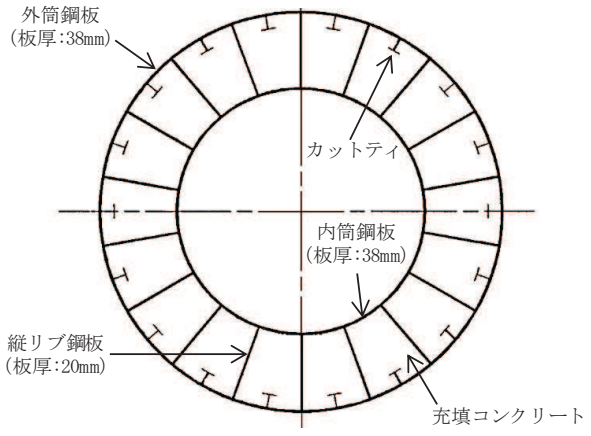
RPV ペデスタルには，制御棒駆動水圧系配管の貫通部（以下「CRD 開口」という。），制御棒駆動機構の搬出入のための開口（以下「CRD 搬出入口」という。）等の開口部があり，RPV ペデスタルの上部には CRD 開口の補強のための水平鋼板が設置されている。また，内筒鋼板及び外筒鋼板の補強のため，各部に水平リブ及びカットティが設置されている。RPV ペデスタルの下端はアンカボルトによって原子炉建屋基礎版に定着されている。さらに RPV ペデスタルの下部は，コンクリートに埋没されており，内筒鋼板及び外筒鋼板に取り付けたスタッドにより，原子炉格納容器底部の周辺コンクリートと強固に固定している。

図 2-2 に RPV ペデスタルの構造詳細図を示す。

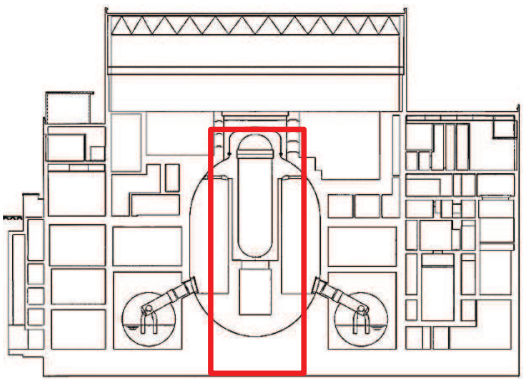
注記＊:RPV ペデスタルは，当社 BWR プラントの初期では鉄筋コンクリート構造としていたが，女川原子力発電所第 2 号機においては，施工性改善の観点から，内外の円筒鋼板の間にコンクリートを充填した構造を採用している。




赤枠部拡大図




A-A断面図



原子炉建屋断面図

図 2-1　RPV ペデスタルの構造概要図

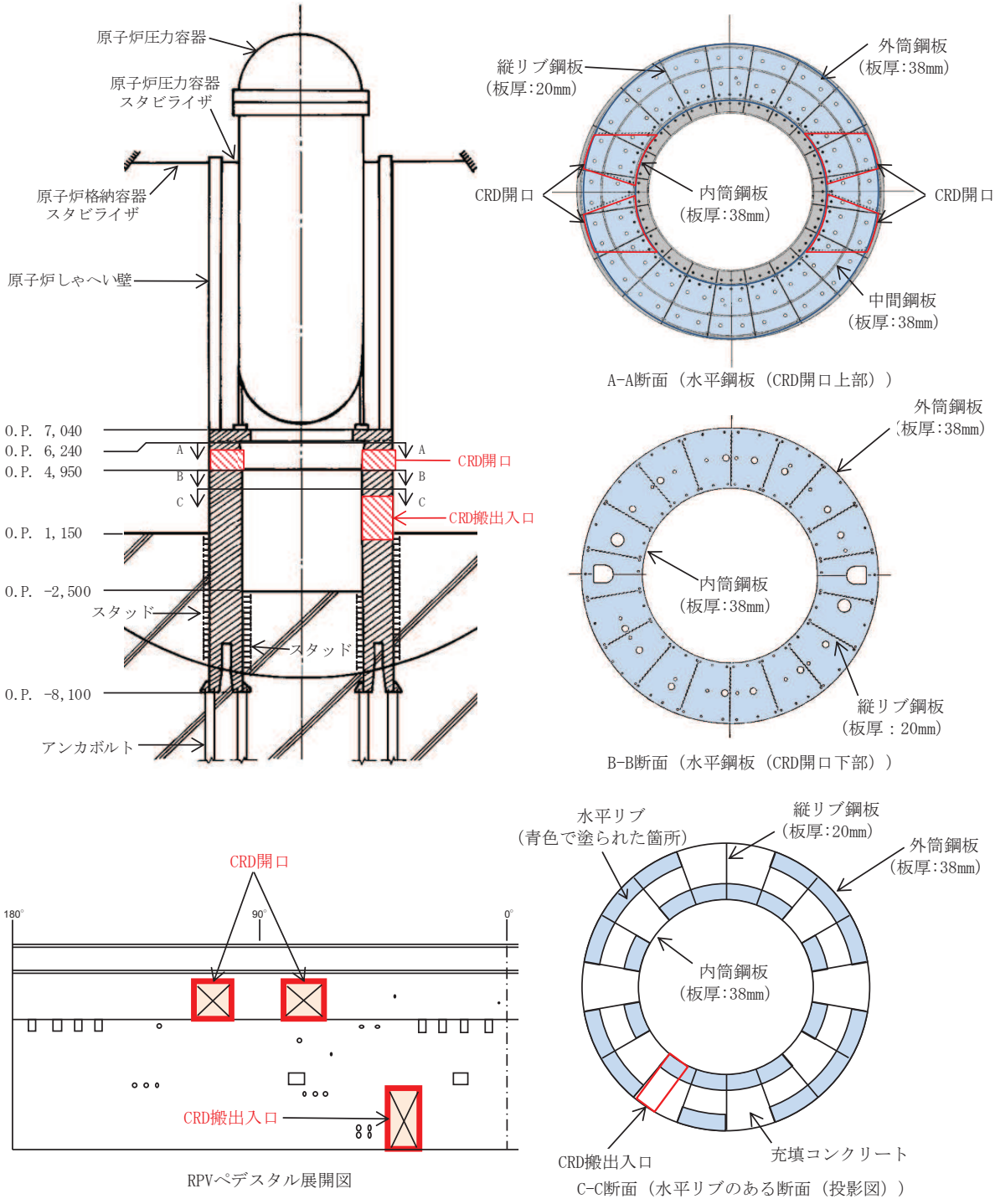



図 2-2　RPV ペデスタルの構造詳細図

2.2　RPV ペデスタルの設計フロー及び今回工認の変更点

RPV ペデスタルに作用する地震力は，原子炉建屋内の原子炉圧力容器，原子炉しゃへい壁，RPV ペデスタル等の大型機器・構築物及び原子炉建屋を連成させた地震応答解析モデルを用いて算定している。

地震時の振動特性を考慮すると RPV ペデスタルの鋼板内に充填したコンクリートは無視できないものであることから，RPV ペデスタルの地震応答解析モデルとしては，鋼板に加えてコンクリートの剛性及び重量もモデルに取り込んでいる。

既工認では，RPV ペデスタルを剛性一定としてモデル化していたが，今回工認ではコンクリートひび割れによる剛性変化を考慮し，より詳細なモデル化を行う。

構造強度評価では，地震力及びその他の荷重に対して鋼板内部に充填されたコンクリートの強度には期待せず，鋼板のみ（外筒鋼板，内筒鋼板，中間鋼板，縦リブ鋼板及び水平鋼板）で耐える設計とし，既工認からの変更はない（図 2-3)。

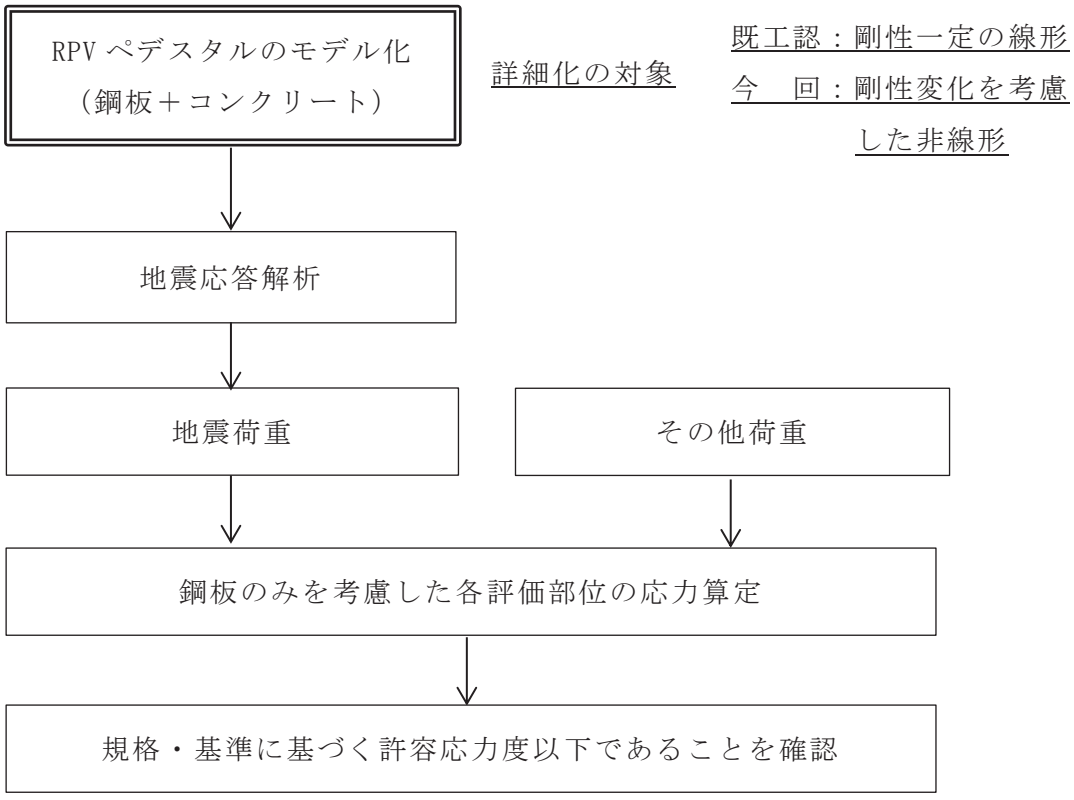



図 2-3　RPV ペデスタルの設計フロー

2.3　RPV ペデスタルの構造強度評価

RPV ペデスタルの構造強度評価は，地震応答解析により得られた地震荷重を用いて行っており，評価部位は CRD 開口まわり，円筒部（内筒鋼板，外筒鋼板及び縦リブ鋼板）及びアンカ部である（図 2-4)。

このうち，CRD 開口まわり及び円筒部については，鋼構造設計規準に準拠し，鋼板のみでおおむね弾性状態で耐えるように設計する。アンカ部は，コンクリートに埋没されていることから，せん断力は作用しないものとし，曲げモーメントと鉛直力に対してアンカボルトが許容値を満足する設計とする。

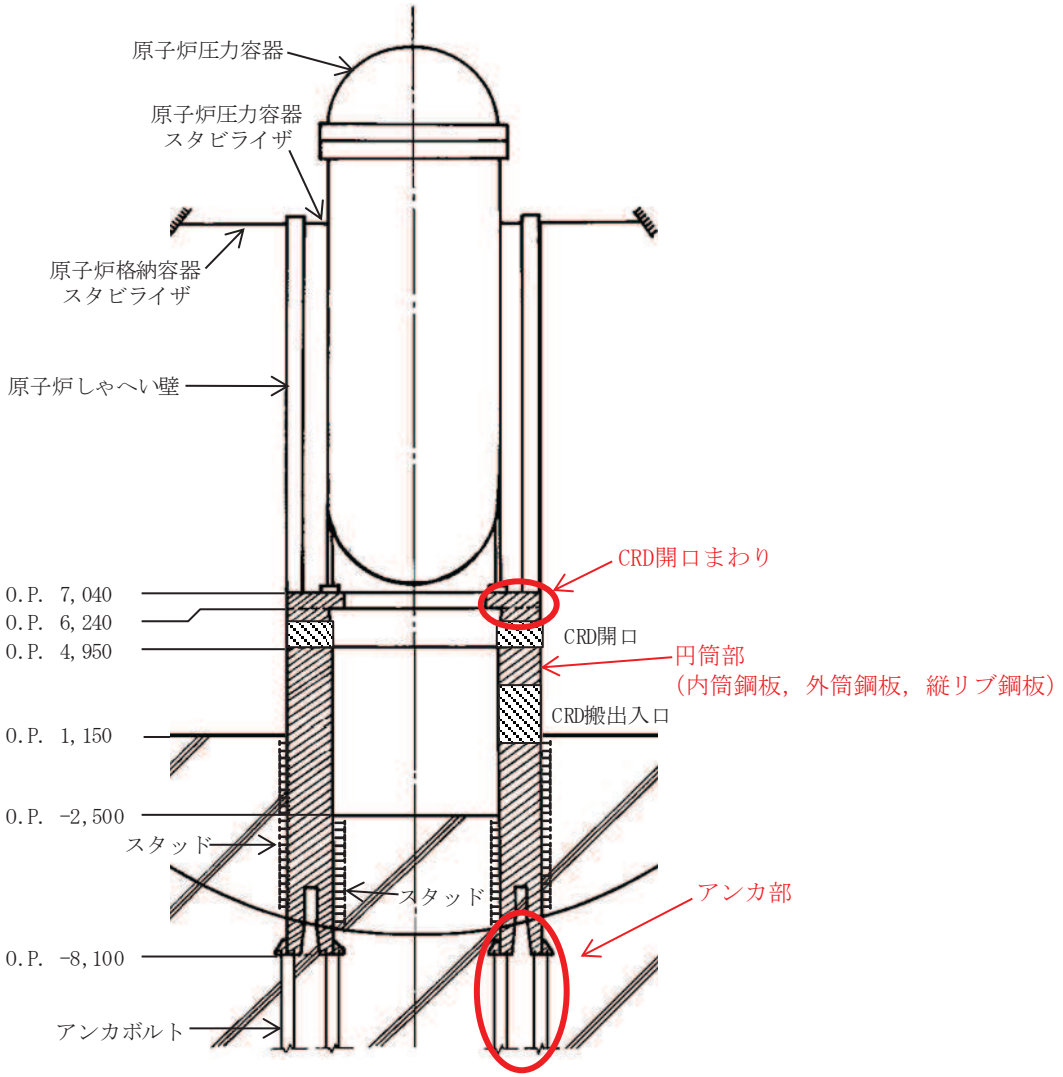



図 2-4　RPV ペデスタルの構造強度評価部位

## 2.4　先行プラントとの RPV ペデスタルの構造の比較

女川原子力発電所第 2 号機の RPV ペデスタルの構造概要を図 2-5 に，柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の RPV ペデスタルの構造概要を図 2-6 に示す。

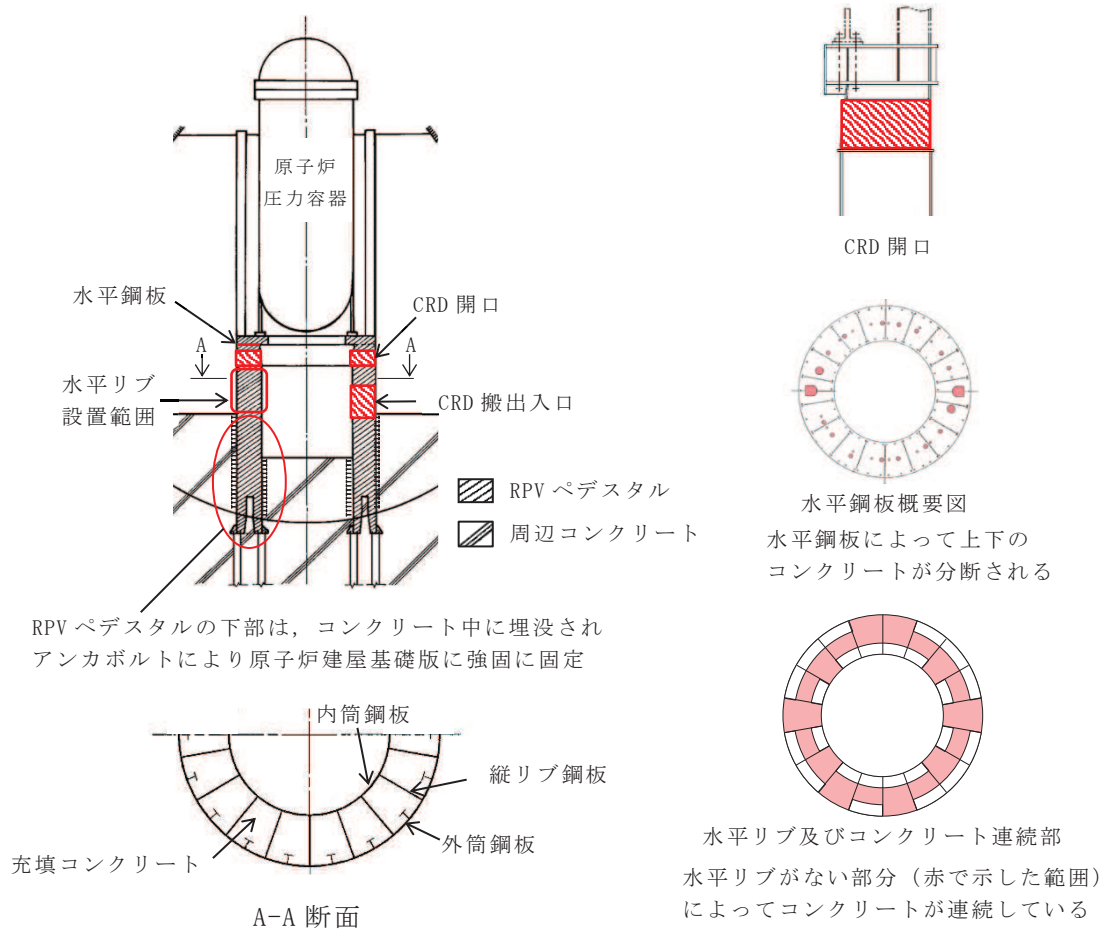



図 2-5　女川原子力発電所第 2 号機の RPV ペデスタルの構造概要

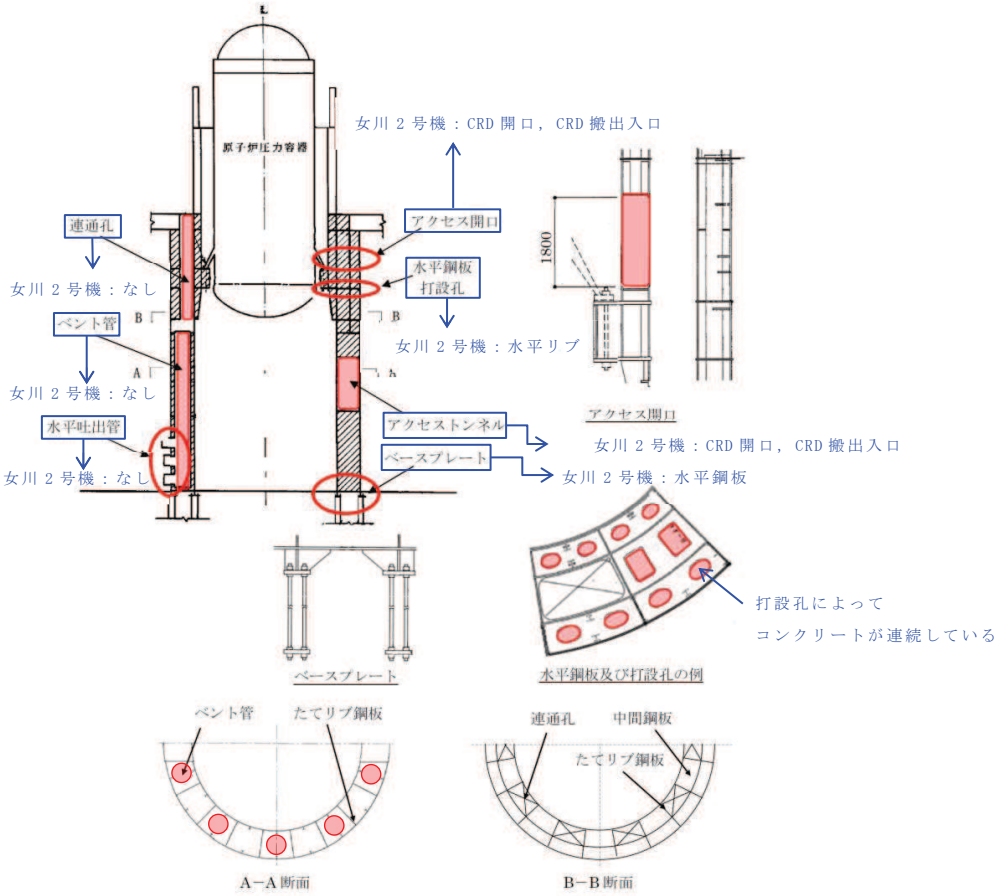



図 2-6　柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の RPV ペデスタルの構造概要
（第 442 回原子力発電所の新規制基準に係る審査会合資料 1-1-3 (H29.2.14)より引用，一部加筆）

沸騰水型原子炉（BWR-5）である女川原子力発電所第 2 号機と改良型沸騰水型原子炉（ABWR）である柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の RPV ペデスタルの構造は，原子炉の形式の差による差はあるものの，復元力特性を設定する際の基本的な考え方（開口部の考慮，鋼板等によるコンクリートの分断）は同様である。

一方，構造の差異として，女川原子力発電所第 2 号機の RPV ペデスタル下部は，コンクリート中に埋没され，アンカボルトによって原子炉建屋基礎版に固定されているため，女川原子力発電所第 2 号機の地震応答解析モデルにおいては，RPV ペデスタルの下部を原子炉建屋基礎版と一体として扱い，周辺コンクリートの上端位置で原子炉建屋基礎版に剛として結合させている。この扱いについては，RPV ペデスタル下部に対する周辺コンクリートを考慮した剛性及び周辺コンクリートとの定着の観点で確認するとともに，3 次元 FEM による静的弾性解析を実施し，RPV ペデスタル下部を原子炉建屋基礎版と一体として扱うことが妥当であることを検証している（別紙 9）。

3　詳細化の目的と効果

3.1　詳細化の目的

既工認では，地震動レベルが小さく，RPV ペデスタルの地震応答はおおむね弾性領域と考えられたことから，RPV ペデスタルは剛性一定の線形仮定としていた。

今回工認では，既工認に比べ，地震動レベルが増大していることから，原子炉建屋の地震応答解析モデルだけでなく，RPV ペデスタルにもコンクリートの剛性変化を考慮した非線形解析モデルを採用する。

RPV ペデスタルの剛性を既工認のまま変更せず線形とする場合，原子炉建屋がコンクリートのひび割れ点である第 1 折点を超え剛性低下した際（図 3-1 中の①）に，原子炉建屋と並列ばねを構成する RPV ペデスタルが過大な地震荷重を計算上受け持つこととなり，原子炉建屋と RPV ペデスタルの荷重分担のバランスが実態と異なることとなる（図 3-1 中の②）。

したがって，より現実に近い，詳細化した地震応答解析モデルを用いて，プラント全体の安全性向上を適切に行うことを目的として，RPV ペデスタルに対しても原子炉建屋と同様にコンクリートの剛性変化を考慮した復元力特性を導入する（図 3-1 中の③）。

なお，剛性変化の要因となるコンクリートのひび割れは，コンクリートの一部に微細なひび割れが発生する程度であり，遮蔽性能に影響を与えるものではない。

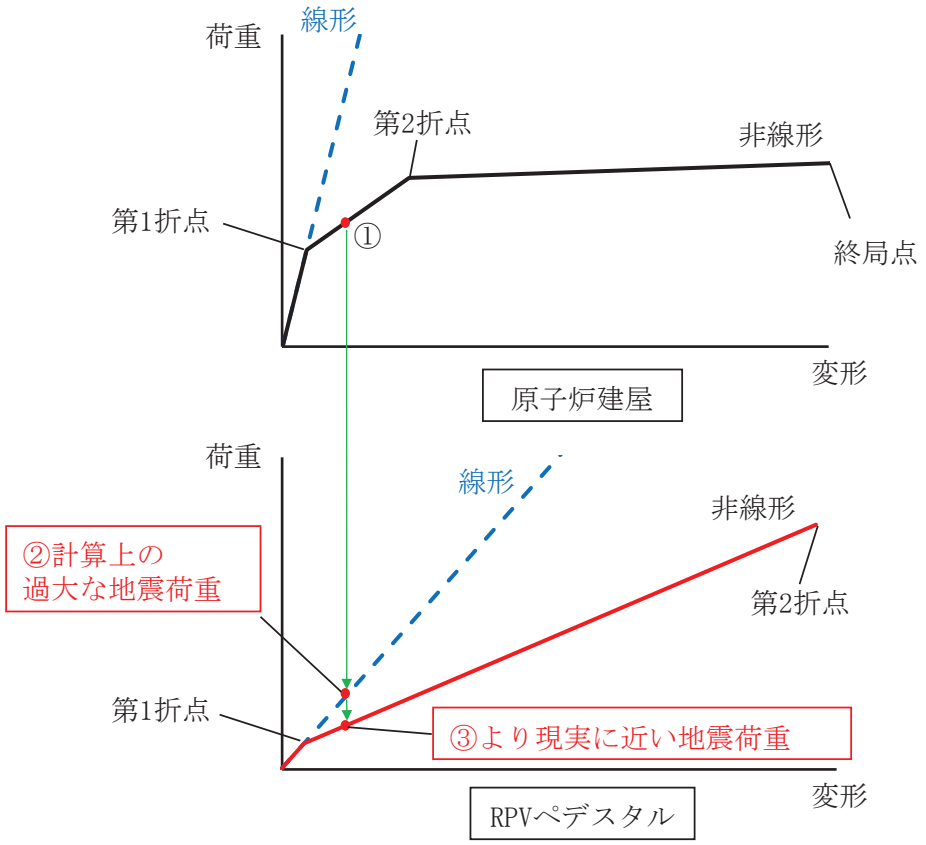



図 3-1　地震力の増大に伴う RPV ペデスタルの応答増加の概念図

3.2　詳細化の効果

RPV ペデスタルにコンクリートの剛性低下を考慮した復元力特性を導入することで，より現実に近い地震荷重を計算でき，原子炉建屋の地震荷重分担割合が増加し，RPV ペデスタル荷重分担が減少した（表 3-1)。

また，表 3-2 及び図 3-2 に基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対する各部位の地震応答を示す。基準地震動 Ss に対する原子炉圧力容器，原子炉しゃへい壁及び RPV ペデスタルの曲げモーメント及びせん断力は低減する傾向を示す。

表 3-1　原子炉建屋と RPV ペデスタルの荷重分担の比較

| モデル化方法 | 原子炉建屋：非線形<br>RPV ペデスタル：**線形**<br>（既工認） | | 原子炉建屋：非線形<br>RPV ペデスタル：**非線形**<br>（今回工認） | |
|---|---|---|---|---|
| 地震動 | 基準地震動Ｓｓ－Ｄ２ | | 基準地震動Ｓｓ－Ｄ２ | |
| 部位 | 原子炉建屋（原子炉格納容器部の荷重を含む。） | RPV ペデスタル | 原子炉建屋（原子炉格納容器部の荷重を含む。） | RPV ペデスタル |
| 曲げモーメント［×$10^3$ kN･m］ | 58,840 | 460 | 58,940 | 380 |
| 曲げモーメントの分担割合[%]* | 99.2 | 0.8 | 99.4 | 0.6 |
| せん断力［×$10^3$ kN］ | 1,853 | 37 | 1,847 | 34 |
| せん断力の分担割合[%]* | 98.0 | 2.0 | 98.2 | 1.8 |

＊：原子炉建屋と RPV ペデスタルの合計を 100%とした場合の荷重の割合

表 3-2　基準地震動Ｓｓ－Ｄ２に対する各部位の地震応答

| 評価部位 | 曲げモーメント（kN･m） | | 非線形/線形 |
|---|---|---|---|
| | 線形 | 非線形 | （%） |
| RPV ペデスタル | 449,000 | 379,000 | 84.4 |
| 原子炉しゃへい壁 | 150,000 | 119,000 | 79.3 |
| 原子炉格納容器 | 567,000 | 573,000 | 101.1 |
| 原子炉圧力容器 | 97,500 | 76,200 | 78.2 |

| 評価部位 | せん断力（kN） | | 非線形/線形 |
|---|---|---|---|
| | 線形 | 非線形 | （%） |
| RPV ペデスタル | 36,700 | 34,000 | 92.6 |
| 原子炉しゃへい壁 | 18,400 | 16,400 | 89.1 |
| 原子炉格納容器 | 30,000 | 30,300 | 101.0 |
| 原子炉圧力容器 | 11,800 | 10,100 | 85.6 |

| 評価部位 | 評価用ばね反力（kN） | | 非線形/線形 |
|---|---|---|---|
| | 線形 | 非線形 | （%） |
| PCV スタビライザ | 13,200 | 13,800 | 104.5 |
| RPV スタビライザ | 7,480 | 7,810 | 104.5 |
| シヤラグ | 26,500 | 23,800 | 89.8 |

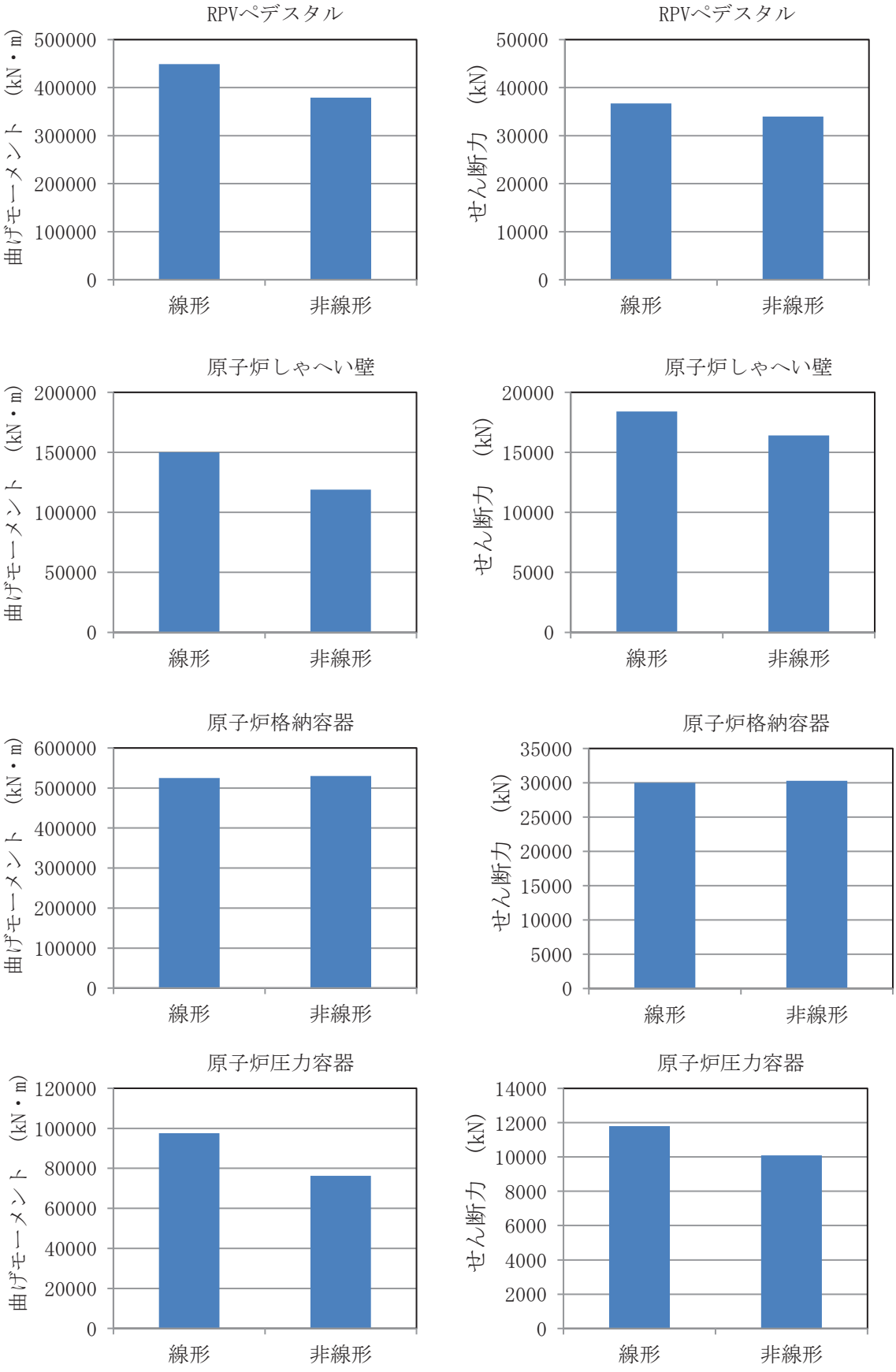
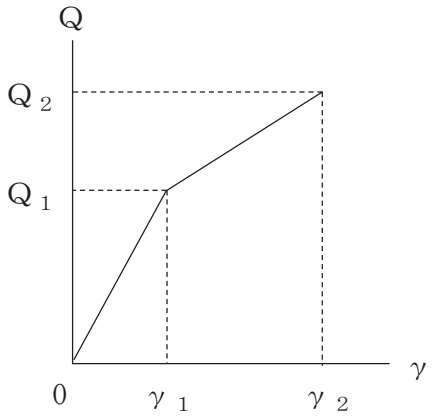



図 3-2　基準地震動 Ss - D2 に対する各部位の地震応答の比較

4.　RPV ペデスタルのスケルトンカーブの設定方法

4.1　せん断力－せん断変形角関係（Q－γ関係）

RPV ペデスタルのせん断力－せん断変形角関係（Q－γ関係）は，コンクリートのひび割れを表す第 1 折点と鋼板の降伏を表す第 2 折点までを設定する。RPV ペデスタルのせん断力－せん断変形角関係を図 4-1 に示す。




$Q_1$ ：第 1 折点のせん断力

$Q_2$ ：第 2 折点のせん断力

$\gamma_1$ ：第 1 折点のせん断変形角

$\gamma_2$ ：第 2 折点のせん断変形角

図 4-1　RPV ペデスタルのせん断力－せん断変形角関係

4.1.1　第 1 折点の設定

RPV ペデスタルにおけるせん断力のスケルトンカーブの第 1 折点は，以下の式より算出している。

$$Q_1 = \left( A_C + \left( \frac{G_S}{G_C} \right) \cdot A_S \right) \cdot \tau_{cr}$$

$$\gamma_1 = \tau_{cr} / G_C$$

ただし，$\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot \left( 0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v \right)}$

ここで，

$A_C$ ：コンクリートのせん断断面積（$mm^2$）

$A_S$ ：鋼板のせん断断面積（$mm^2$）

$G_C$ ：コンクリートのせん断弾性係数（$N/mm^2$）

$G_S$ ：鋼板のせん断弾性係数（$N/mm^2$）

$\sigma_B$ ：コンクリートの圧縮強度（$N/mm^2$）

$\sigma_v$ ：鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度（圧縮を正，$N/mm^2$）

4.1.2　第 2 折点の設定

RPV ペデスタルにおけるせん断力のスケルトンカーブの第 2 折点は，以下の式より算出している。

$$Q_2 = \frac{\left(K_\alpha + K_\beta\right)}{\sqrt{\left(3 \cdot K_\alpha^{\,2} + K_\beta^{\,2}\right)}} \cdot A_S \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{\left(K_\alpha + K_\beta\right)}$$

ただし，$K_\alpha = A_S \cdot G_S$

$$K_\beta = \frac{\left(\cos\theta\right)^2 \cdot H}{2\left[\dfrac{1-\nu_C^{\,2}}{E_C' \cdot t_C \cdot \sin 2\theta} + \dfrac{1}{2 \cdot E_S}\left(C1 + C2\right)\right]}$$

ここで，

$A_S$　：鋼板のせん断断面積($mm^2$)

$G_S$　：鋼板のせん断弾性係数($N/mm^2$)

$E_C'$：ひび割れを考慮したコンクリートの縦弾性係数($N/mm^2$)

$E_S$　：鋼板の縦弾性係数($N/mm^2$)

$K_\alpha$　：鋼板のせん断剛性(N)

$K_\beta$　：ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性(N)

$\sigma_y$　：鋼板の降伏点強度($N/mm^2$)

$\nu_C$　：コンクリートのポアソン比

H　：コンクリートの高さ（mm）

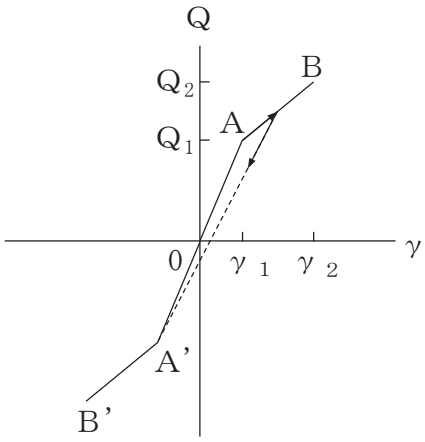
$t_C$　：コンクリート板厚（mm）

$\theta$　：圧縮ストラット角度

C1, C2　：寸法及び $\theta$ から定まる係数

4.2　せん断力－せん断変形角関係の履歴特性

RPV ペデスタルのせん断力－せん断変形角関係の履歴特性は，最大点指向型モデルとする。RPV ペデスタルのせん断力-せん断変形角関係の履歴特性を図 4-2 に示す。




a．0－Ａ間　：弾性範囲

b．Ａ－Ｂ間　：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし，負側最大点が第 1 折点を超えていなければ，負側第 1 折点に向かう。

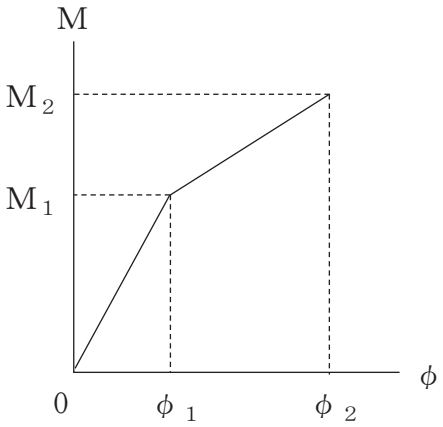
c．各最大点は，スケルトン上を移動することにより更新される。

d．安定ループは面積を持たない。

図 4-2　RPV ペデスタルのせん断力－せん断変形角関係の履歴特性

4.3　曲げモーメントー曲率関係（Mー φ関係）

RPV ペデスタルの曲げモーメントー曲率関係（Mー φ関係）は，コンクリートのひび割れを表す第 1 折点と鋼板の降伏を表す第 2 折点までを設定する。RPV ペデスタルの曲げモーメント-曲率関係を図 4-3 に示す。




$M_1$：第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$：第 2 折点の曲げモーメント

$\phi_1$：第 1 折点の曲率

$\phi_2$：第 2 折点の曲率

図 4-3　RPV ペデスタルの曲げモーメントー曲率関係

4.3.1　第 1 折点の設定

RPV ペデスタルにおける曲げモーメントのスケルトンカーブの第 1 折点は，以下の式より算出している。

$$M_1 = Z_e \left( \alpha \cdot f_t + \sigma_v \right)$$

$$\phi_1 = M_1 / \left( E_C \cdot I_e \right)$$

ここで，

$Z_e$ ：鋼板を考慮した断面係数（$mm^3$）

$\alpha$　：RPV ペデスタルの水平断面積に対する開口部の面積の比率
（図 4-4 及び図 4-5 参照）

$f_t$ ：コンクリートの曲げ引張強度（$N/mm^2$）

$\sigma_v$ ：鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度（圧縮を正，$N/mm^2$）

$E_C$ ：コンクリートの縦弾性係数（$N/mm^2$）

$I_e$ ：鋼板を考慮した断面二次モーメント（$mm^4$）

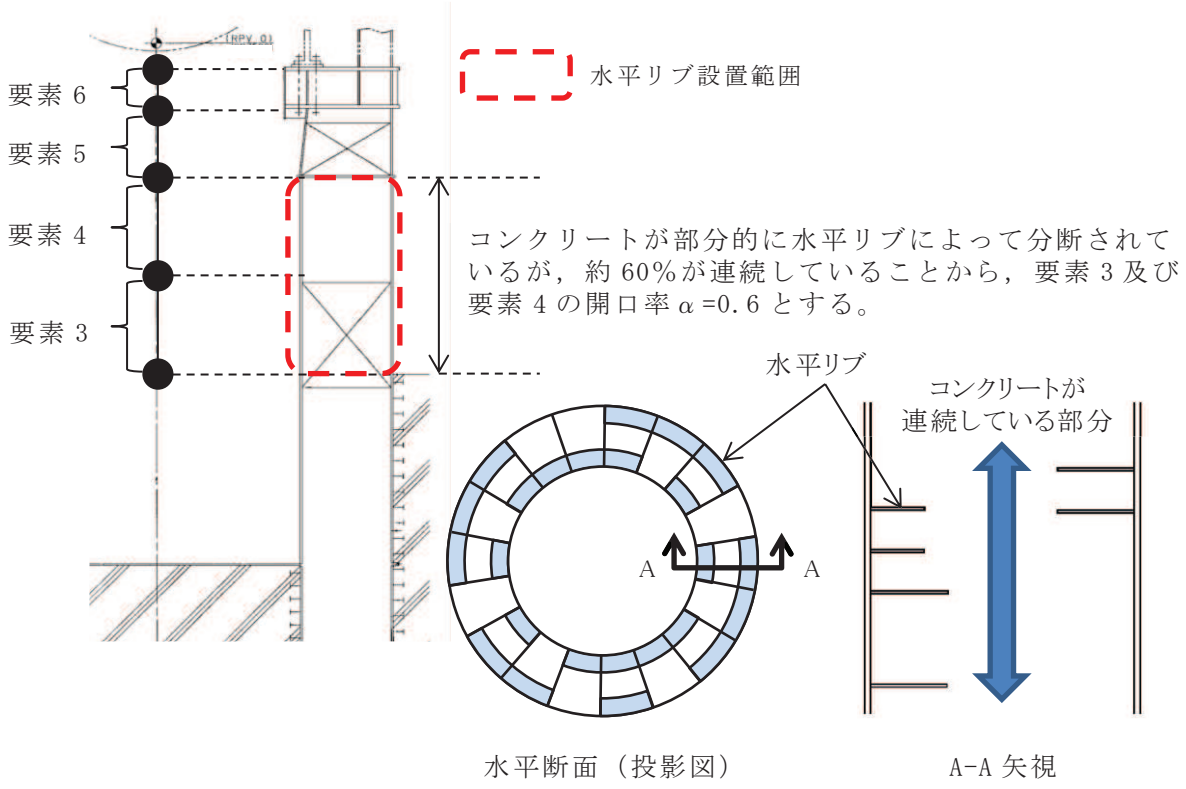



図 4-4　水平リブがある場合の開口率の考え方

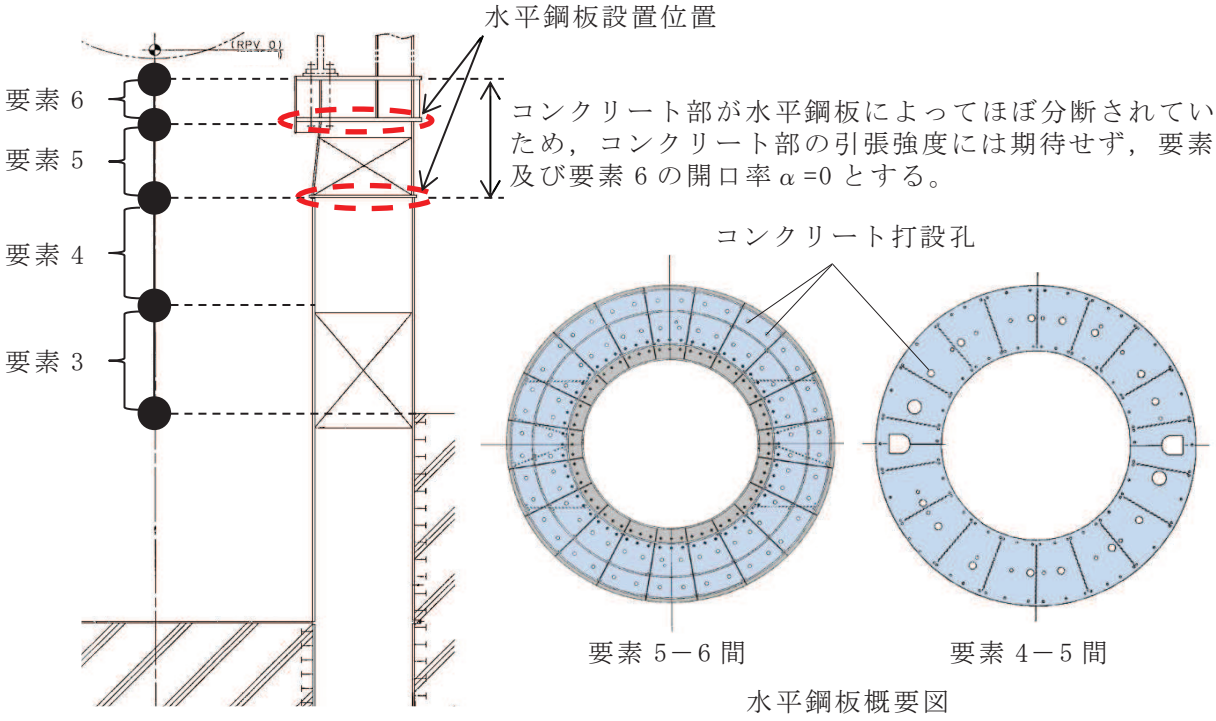



図 4-5　水平鋼板がある場合の開口率の考え方

4.3.2　第 2 折点の設定

RPV ペデスタルにおける曲げモーメントのスケルトンカーブの第 2 折点は，以下の式より算出している。

$$M_2 = M_y$$

$$\phi_2 = \phi_y$$

ここで，

$M_y$　：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$　：鋼板降伏時曲率（1/mm）

鋼板降伏時のモーメント$M_y$及び鋼板降伏時の曲率$\phi_y$は，断面の平面保持を仮定し，引張側の鋼板が降伏状態になる場合の応力及びひずみを中立軸を変えながら収束計算することで算出する（別紙 3 参照）。

応力計算に用いるコンクリート及び鋼板の応力-ひずみ関係を図 4-6 及び図 4-7 に示す。

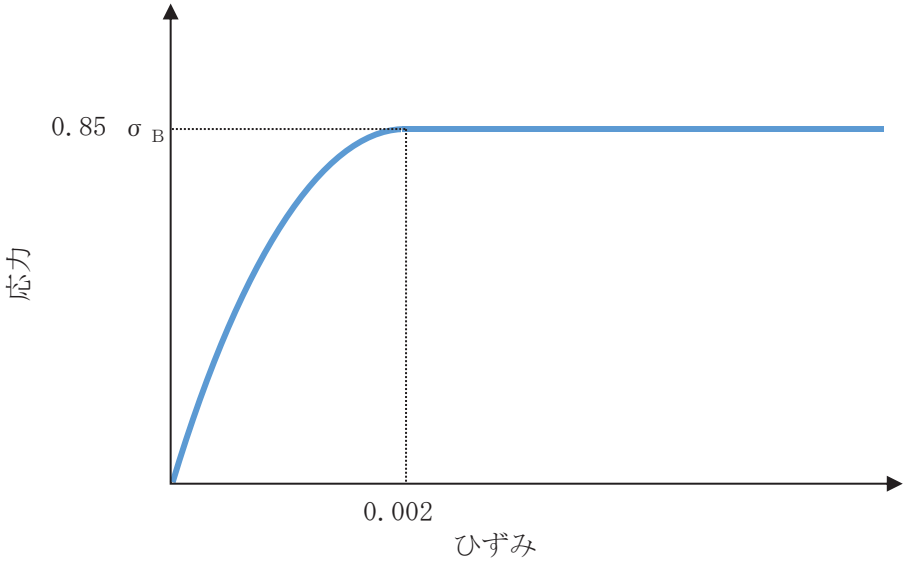



図 4-6　コンクリートの応力－ひずみ関係

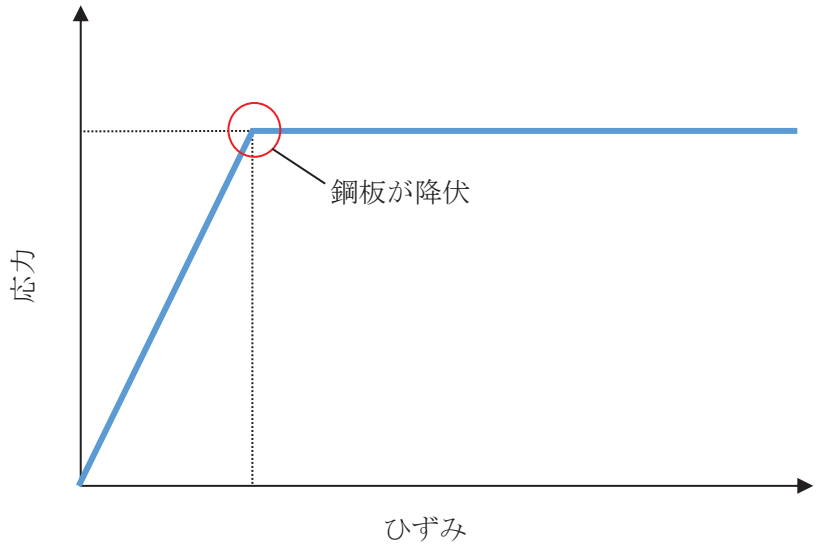



図 4-7　鋼板の応力－ひずみ関係

4.3.3　今回工認におけるスケルトンカーブの設定方法

RPV ペデスタルの曲げ・せん断のスケルトンカーブは，第 1 折点から第 2 折点の区間を直線近似としているが，実現象としては第 1 折点で内部コンクリートの初期ひび割れが生じ，その後も荷重の増加に伴うひび割れが徐々に増加することによってコンクリートの剛性が低下していくため，徐々に剛性が低下（スケルトンカーブの勾配が低下）する曲線で近似した方が直線近似よりも実現象に近いと考えられる。

RPV ペデスタルについて曲線近似した曲げスケルトンカーブとの比較により，直線近似よりも曲線近似の荷重が大きく算定されることを確認したことから（別紙 10），今回工認の設計としては，図 4-8 に示すように曲線近似のスケルトンカーブを包絡するように設定した折線のスケルトンカーブ（曲線包絡スケルトンカーブ）を用いている。

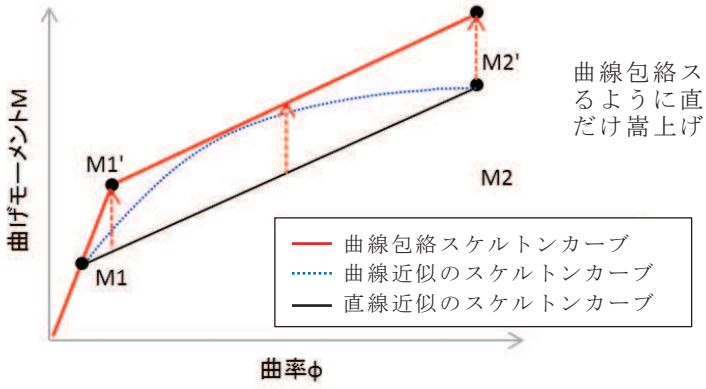
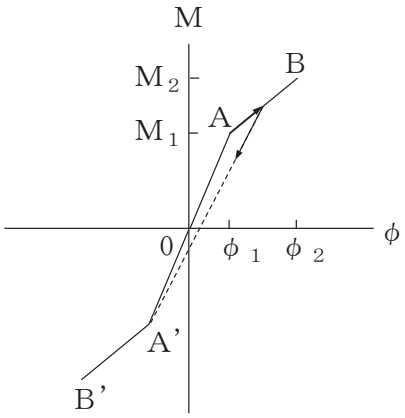



図 4-8　曲線包絡スケルトンカーブの概念図

## 4.4　曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

RPV ペデスタルの曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は，最大点指向型モデルとする。RPV ペデスタルの曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 4-9 に示す。




a.　0−A 間：弾性範囲

b.　A−B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし，負側最大点が第 1 折点を超えていなければ，負側第 1 折点に向かう。

c.　各最大点は，スケルトン上を移動することにより更新される。

d.　安定ループは面積を持たない。

図 4-9　RPV ペデスタルの曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

## 5. 評価に適用するRPVペデスタルのスケルトンカーブ

### 5.1 使用材料の物性値

RPV ペデスタルのスケルトンカーブの設定に用いるコンクリート強度の設計条件は，既工認と同様に設計基準強度を用いることとする。一方，建屋側でコンクリートの乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響として，初期剛性低下が確認されていることに対して，RPV ペデスタルの内部に充填されたコンクリートは，鋼板に囲まれており，乾燥収縮の影響はないと考えられるが，建屋側と同様に初期剛性低下を考慮した地震応答解析を行い，影響を確認する。RPV ペデスタルは原子炉建屋と一体となって地震力を受けていること等を踏まえ，RPVペデスタルの初期剛性低下の検討に当たっては，原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を適用する。また，RPV ペデスタルのコンクリート強度を実強度とした場合の影響についても確認する。

各ケースの地震応答解析に用いるRPVペデスタルの使用材料の物性値を表5-1及び表5-2に示す。また，各ケースにおけるモデルの設定の考え方を表5-3に示す。

表5-1 使用材料の物性値（コンクリート）

| スケルトンカーブ | 圧縮強度 | 縦弾性係数 $E_C$ ($N/mm^2$) | せん断弾性係数 $G_C$ ($N/mm^2$) |
|---|---|---|---|
| 基本ケース | $\sigma_B$＝32.3($N/mm^2$)＊2 | $2.65\times10^4$ | $1.14\times10^4$ |
| 初期剛性低下＊1 | | NS方向：$1.99\times10^4$ | NS方向：$0.853\times10^4$ |
| | | EW方向：$2.12\times10^4$ | EW方向：$0.908\times10^4$ |
| 実強度 | $\sigma_B$＝51.2($N/mm^2$)＊3 | $3.33\times10^4$ | $1.43\times10^4$ |

注記＊1：添付書類「Ⅵ-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数（地下3階から地上2階：NS方向0.75，EW方向0.80）を適用して縦弾性係数及びせん断弾性係数を設定

＊2：設計基準強度に基づくコンクリートの圧縮強度

＊3：建設時におけるRPVペデスタルのコンクリートの圧縮強度試験結果（材令91日）に基づくコンクリートの圧縮強度

表5-2 使用材料の物性値（鋼板）

| 使用材料 | 縦弾性係数 $E_S$ ($N/mm^2$) | せん断弾性係数 $G_S$ ($N/mm^2$) |
|---|---|---|
| 鋼板：SPV50<br>(SPV490相当) | $1.91\times10^5$ | $7.35\times10^4$ |

5.2　スケルトンカーブの設定方法

(1) 初期剛性低下を考慮したスケルトンカーブ

コンクリートの初期剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定に当たっては，原子炉建屋の初期剛性低下の考慮方法に合わせ，耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を考慮してコンクリートの縦弾性係数及びせん断弾性係数を設定した。縦弾性係数が変わることによって曲げの第 1 折点が，せん断弾性係数が変わることによってせん断の第 1 折点がそれぞれ設計条件から変更される。図 5-1 に示すように，初期剛性低下を考慮した第 1 勾配と基本ケースのスケルトンカーブにおける第 2 勾配の交点を新たな第 1 折点とし，第 1 折点以降は基本ケースのスケルトンカーブと同様の設定とする（原子炉建屋と同様の設定）。

なお，曲げのスケルトンカーブは，図 4-8 に示すとおり，曲線近似のスケルトンカーブを包絡するように設定した曲線包絡スケルトンカーブを用いる。

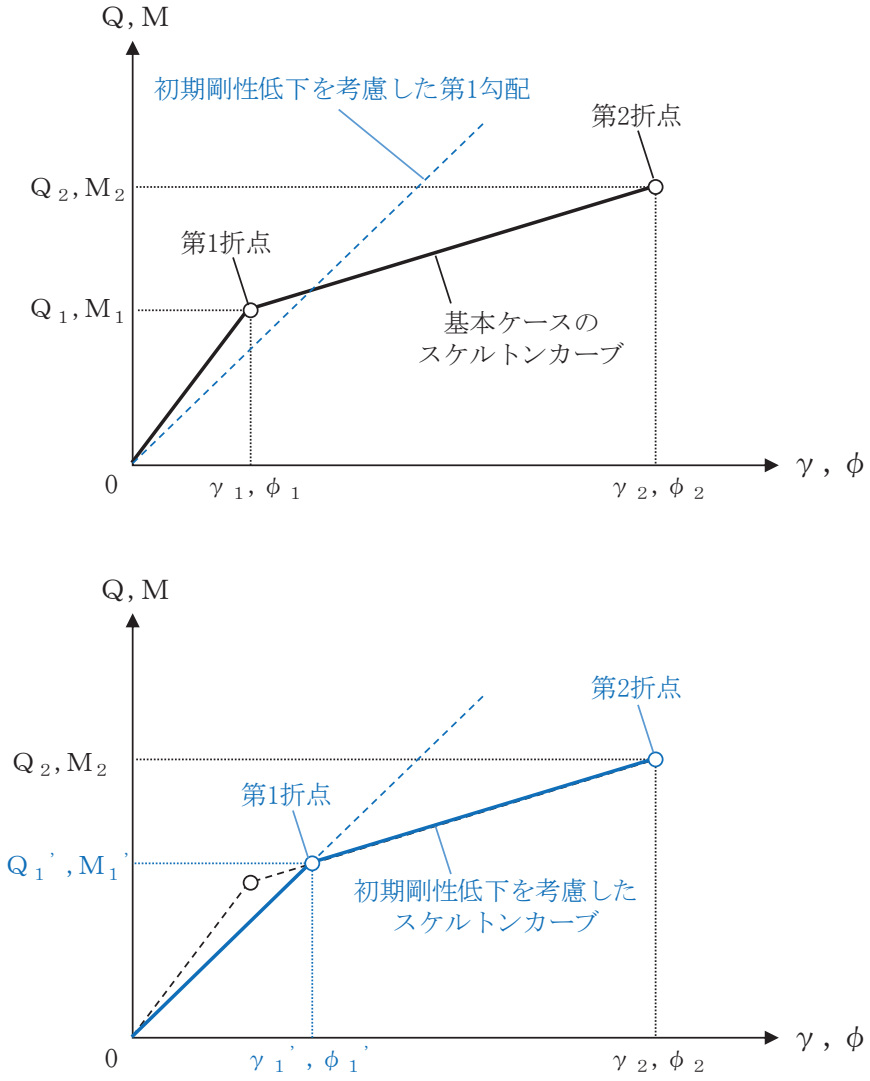



図 5-1　初期剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定方法（イメージ）

(2) コンクリート実強度を考慮したスケルトンカーブ

コンクリート実強度を考慮したスケルトンカーブの設定に当たっては，建設時における RPV ペデスタルのコンクリート圧縮強度試験結果に基づくコンクリートの圧縮強度を用いて縦弾性係数及びせん断弾性係数を設定した。初期剛性低下ケースと同様に，縦弾性係数が変わることによって曲げの第 1 折点が，せん断弾性係数が変わることによってせん断の第 1 折点がそれぞれ設計条件から変更される。また，コンクリートの圧縮強度が変わることにより，曲げ及びせん断の第 2 折点も変動する（図 5-2)。

なお，曲げのスケルトンカーブは，図 4-8 に示すとおり，曲線近似のスケルトンカーブを包絡するように設定した曲線包絡スケルトンカーブを用いる。

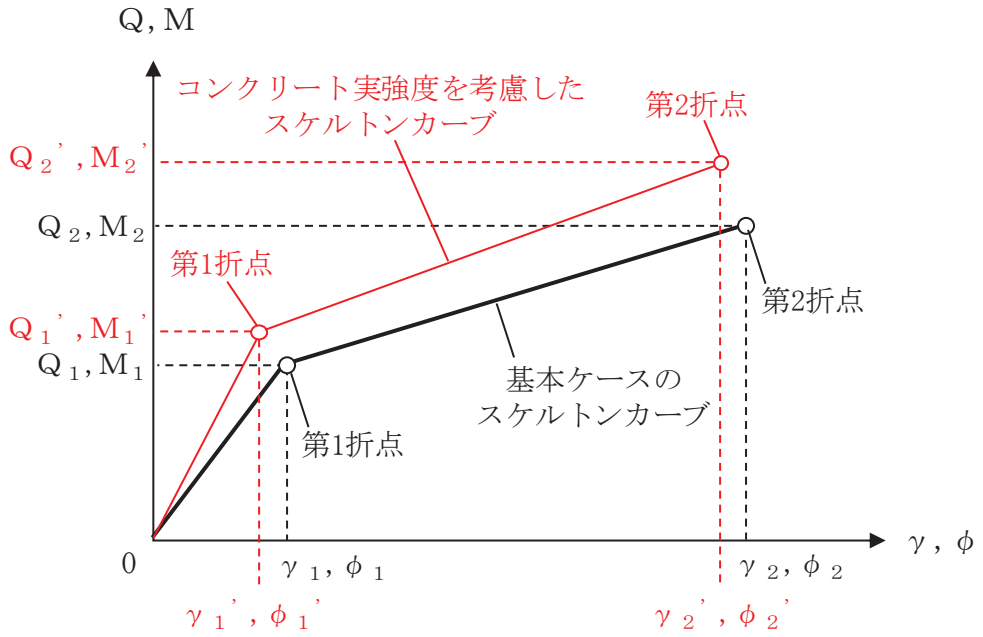



図 5-2　コンクリート実強度を考慮したスケルトンカーブの設定方法（イメージ）

なお,既設構造物である原子炉本体の基礎に対して鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（1999 年版）を適用し，ポアソン比を 0.2 とした場合，コンクリートの縦弾性係数及びせん断弾性係数は表 5-3 のとおりとなる。コンクリートの縦弾性係数及びせん断弾性係数は基本ケースと比較して小さい値になるが，その変動幅は初期剛性低下ケースの方が大きいことから，地震応答解析への影響については，初期剛性低下ケースに対する確認によって包絡されるものと考えられる。

表 5-3　ポアソン比の違いによるコンクリートの縦弾性係数及びせん断弾性係数

| | ポアソン比 | 圧縮強度 | 縦弾性係数 $E_C$ ($N/mm^2$) | せん断弾性係数 $G_C$ ($N/mm^2$) | 適用基準 |
|---|---|---|---|---|---|
| 設計条件<br>（基本ケース） | 0.167 | 330($kgf/cm^2$)<br>(32.3($N/mm^2$)) | $2.65\times10^4$ | $1.14\times10^4$ | 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　1988 年 |
| 影響検討条件<br>（ポアソン比を変更） | 0.200 | 32.3($N/mm^2$) | $2.50\times10^4$ | $1.04\times10^4$ | 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-<br>1999 年 |
| 設計条件<br>（初期剛性低下） | 0.167 | 330($kgf/cm^2$)<br>(32.3($N/mm^2$)) | NS 方向<br>$1.99\times10^4$<br>EW 方向<br>$2.12\times10^4$ | NS 方向<br>$0.853\times10^4$<br>EW 方向<br>$0.908\times10^4$ | 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　1988 年 |

表 5-4　建屋-機器連成地震応答解析の各検討ケースにおける RPV ペデスタル及び原子炉建屋のモデル設定

| 検討ケース | RPV ペデスタル | | | 建屋初期剛性 | 地盤物性 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | コンクリート強度 | 初期剛性低下 | スケルトンカーブ | | 入力地震動 | 底面地盤ばね |
| ケース 1<br>(基本ケース) | 設計基準強度 | 初期剛性低下を考慮しない | 基本 | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 |
| ケース 2 | | | | | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ |
| ケース 3 | | | | | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ |
| ケース 4 | | | | 基本ケースの 0.78 倍*2 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 |
| ケース 5 | | | | | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ |
| ケース 6 | | | | | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ |
| ケース 7 | 設計基準強度 | 原子炉建屋地下 3 階から地上 2 階の補正係数を適用*1 | 初期剛性低下 | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 |
| ケース 8 | 実強度 | 初期剛性低下を考慮しない | 実強度 | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 |

注記＊1：コンクリート強度は設計基準強度とし，添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数（地上 3 階及びクレーン階：NS 方向 0.30，EW 方向 0.50，地下 3 階から地上 2 階：NS 方向 0.75，EW 方向 0.80）を適用して初期剛性を設定する。

＊2：原子炉建屋の基準地震動Ｓｓ入力前後の 1 次ピーク振動数の比から算定した剛性比（補足-620-1「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」参照）

5.3　せん断力のスケルトンカーブ

基本ケース，初期剛性低下ケース及び実強度ケースにおける RPV ペデスタルの各要素のせん断力のスケルトンカーブの諸数値を表 5-5～表 5-10 に，スケルトンカーブの比較を図 5-3 及び図 5-4 に示す。

表 5-5　せん断力のスケルトンカーブ（Q－γ関係）（基本ケース，NS 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $Q_1$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_1$ ($\times 10^{-4}$) | $Q_2$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_2$ ($\times 10^{-4}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 5.042 | 1.775 | 34.90 | 32.51 |
| 6 | 5 | 2.867 | 1.859 | 24.63 | 27.17 |
| 5 | 4 | 5.343 | 1.808 | 29.06 | 33.23 |
| 4 | 3 | 5.428 | 1.837 | 29.06 | 33.23 |
| 3 | | | | | |

表 5-6　せん断力のスケルトンカーブ（Q－γ関係）（基本ケース，EW 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $Q_1$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_1$ ($\times 10^{-4}$) | $Q_2$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_2$ ($\times 10^{-4}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 5.042 | 1.775 | 34.90 | 32.51 |
| 6 | 5 | 5.400 | 1.859 | 39.48 | 31.21 |
| 5 | 4 | 5.343 | 1.808 | 29.06 | 33.23 |
| 4 | 3 | 5.032 | 1.837 | 27.23 | 33.20 |
| 3 | | | | | |

表 5-7　せん断力のスケルトンカーブ（Q－γ関係）（初期剛性低下ケース，NS 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $Q_1$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_1$ ($\times 10^{-4}$) | $Q_2$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_2$ ($\times 10^{-4}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 5.713 | 2.466 | 34.90 | 32.51 |
| 6 | 5 | 4.024 | 3.204 | 24.63 | 27.17 |
| 5 | 4 | 5.805 | 2.420 | 29.06 | 33.23 |
| 4 | 3 | 5.895 | 2.457 | 29.06 | 33.23 |
| 3 | | | | | |

表 5-8　せん断力のスケルトンカーブ（Q－γ関係）（初期剛性低下ケース，EW 方向）

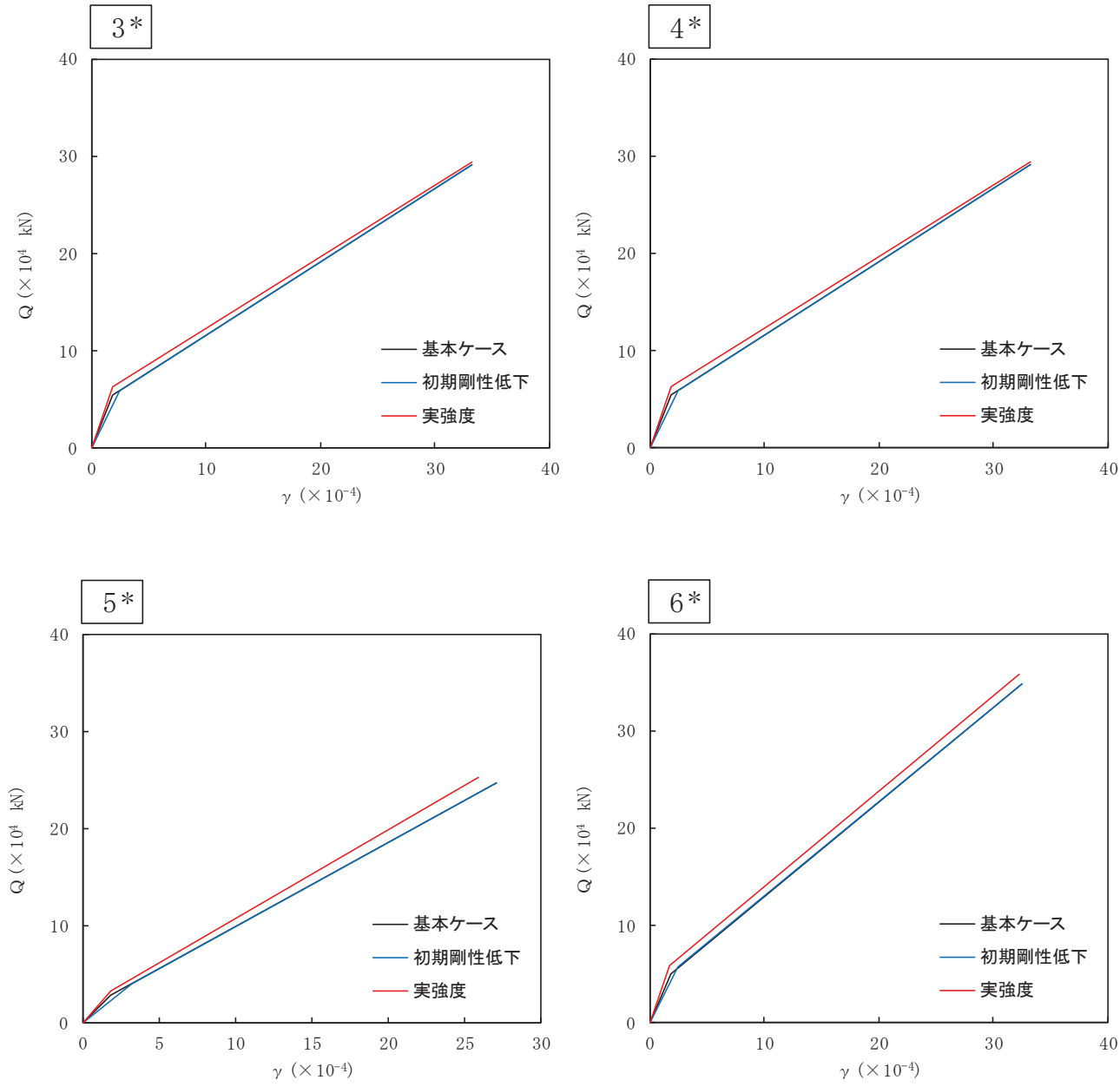
| 質点番号 | 要素番号 | $Q_1$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_1$ ($\times 10^{-4}$) | $Q_2$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_2$ ($\times 10^{-4}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 5.538 | 2.285 | 34.90 | 32.51 |
| 6 | 5 | 6.105 | 2.466 | 39.48 | 31.21 |
| 5 | 4 | 5.686 | 2.263 | 29.06 | 33.23 |
| 4 | 3 | 5.360 | 2.301 | 27.23 | 33.20 |
| 3 | | | | | |

表 5-9　せん断力のスケルトンカーブ（Q－γ関係）（実強度ケース，NS 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $Q_1$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_1$ ($\times 10^{-4}$) | $Q_2$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_2$ ($\times 10^{-4}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 5.885 | 1.748 | 35.79 | 32.32 |
| 6 | 5 | 3.333 | 1.820 | 25.25 | 25.98 |
| 5 | 4 | 6.239 | 1.776 | 29.38 | 33.20 |
| 4 | 3 | 6.328 | 1.801 | 29.38 | 33.20 |
| 3 | | | | | |

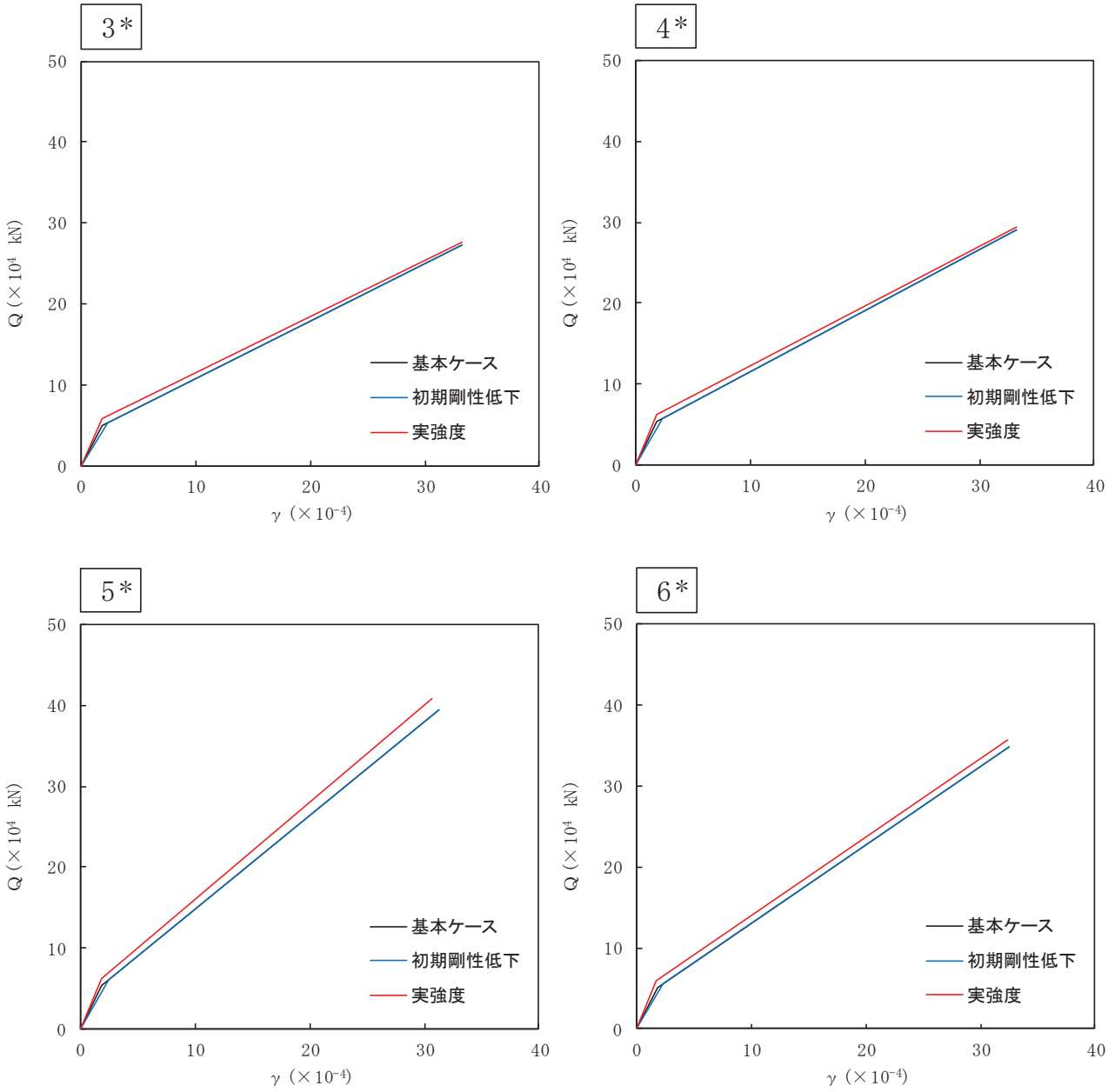
表 5-10　せん断力のスケルトンカーブ（Q－γ関係）（実強度ケース，EW 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $Q_1$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_1$ ($\times 10^{-4}$) | $Q_2$ ($\times 10^4$ kN) | $\gamma_2$ ($\times 10^{-4}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 5.885 | 1.748 | 35.79 | 32.32 |
| 6 | 5 | 6.275 | 1.820 | 40.82 | 30.68 |
| 5 | 4 | 6.239 | 1.776 | 29.38 | 33.20 |
| 4 | 3 | 5.867 | 1.801 | 27.55 | 33.18 |
| 3 | | | | | |




注記＊：各図上の記載の番号は，表 5-5～表 5-10 の要素番号に対応

図 5-3　Q－γ関係の比較（NS 方向）




注記＊：各図上の記載の番号は，表 5-5～表 5-10 の要素番号に対応

図 5-4　Q－γ関係の比較（EW 方向）

5.4　曲げモーメントのスケルトンカーブ

基本ケース，初期剛性低下ケース及び実強度ケースにおける RPV ペデスタルの各要素の曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 5-11～表 5-16 に，スケルトンカーブの比較を図 5-5 及び図 5-6 に示す。

表 5-11　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）（基本ケース，NS 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 1.032 | 1.036 | 16.81 | 38.53 |
| 6 | 5 | 1.107 | 1.151 | 15.98 | 38.49 |
| 5 | 4 | 1.740 | 1.721 | 16.36 | 38.39 |
| 4 | 3 | 1.738 | 1.799 | 15.73 | 38.50 |
| 62 | | | | | |

表 5-12　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）（基本ケース，EW 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 1.032 | 1.036 | 16.81 | 38.53 |
| 6 | 5 | 0.8983 | 1.441 | 10.66 | 38.90 |
| 5 | 4 | 1.740 | 1.721 | 16.36 | 38.39 |
| 4 | 3 | 1.767 | 1.794 | 16.01 | 38.49 |
| 64 | | | | | |

表 5-13　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）

（初期剛性低下ケース，NS 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 1.222 | 1.487 | 16.81 | 38.53 |
| 6 | 5 | 1.304 | 1.646 | 15.98 | 38.49 |
| 5 | 4 | 2.026 | 2.438 | 16.36 | 38.39 |
| 4 | 3 | 2.024 | 2.549 | 15.73 | 38.50 |
| 62 | | | | | |

表 5-14　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）

（初期剛性低下ケース，EW 方向）

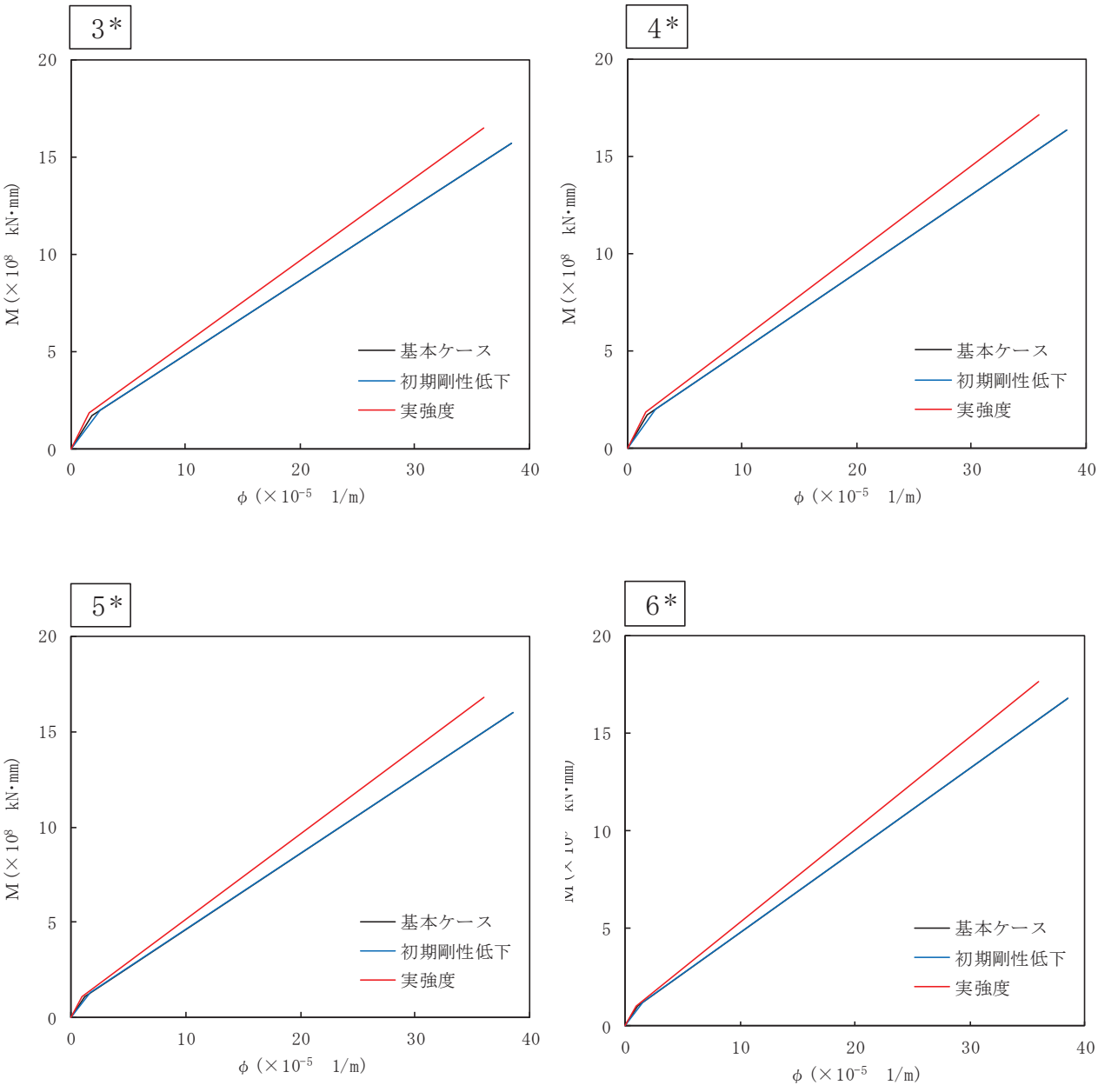
| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 1.172 | 1.368 | 16.81 | 38.53 |
| 6 | 5 | 1.018 | 1.901 | 10.66 | 38.90 |
| 5 | 4 | 1.952 | 2.252 | 16.36 | 38.39 |
| 4 | 3 | 1.982 | 2.348 | 16.01 | 38.49 |
| 64 | | | | | |

表 5-15　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）（実強度ケース，NS 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 1.034 | 0.8823 | 17.68 | 36.06 |
| 6 | 5 | 1.116 | 0.9841 | 16.80 | 36.02 |
| 5 | 4 | 1.870 | 1.567 | 17.16 | 35.94 |
| 4 | 3 | 1.859 | 1.630 | 16.50 | 36.03 |
| 62 | | | | | |

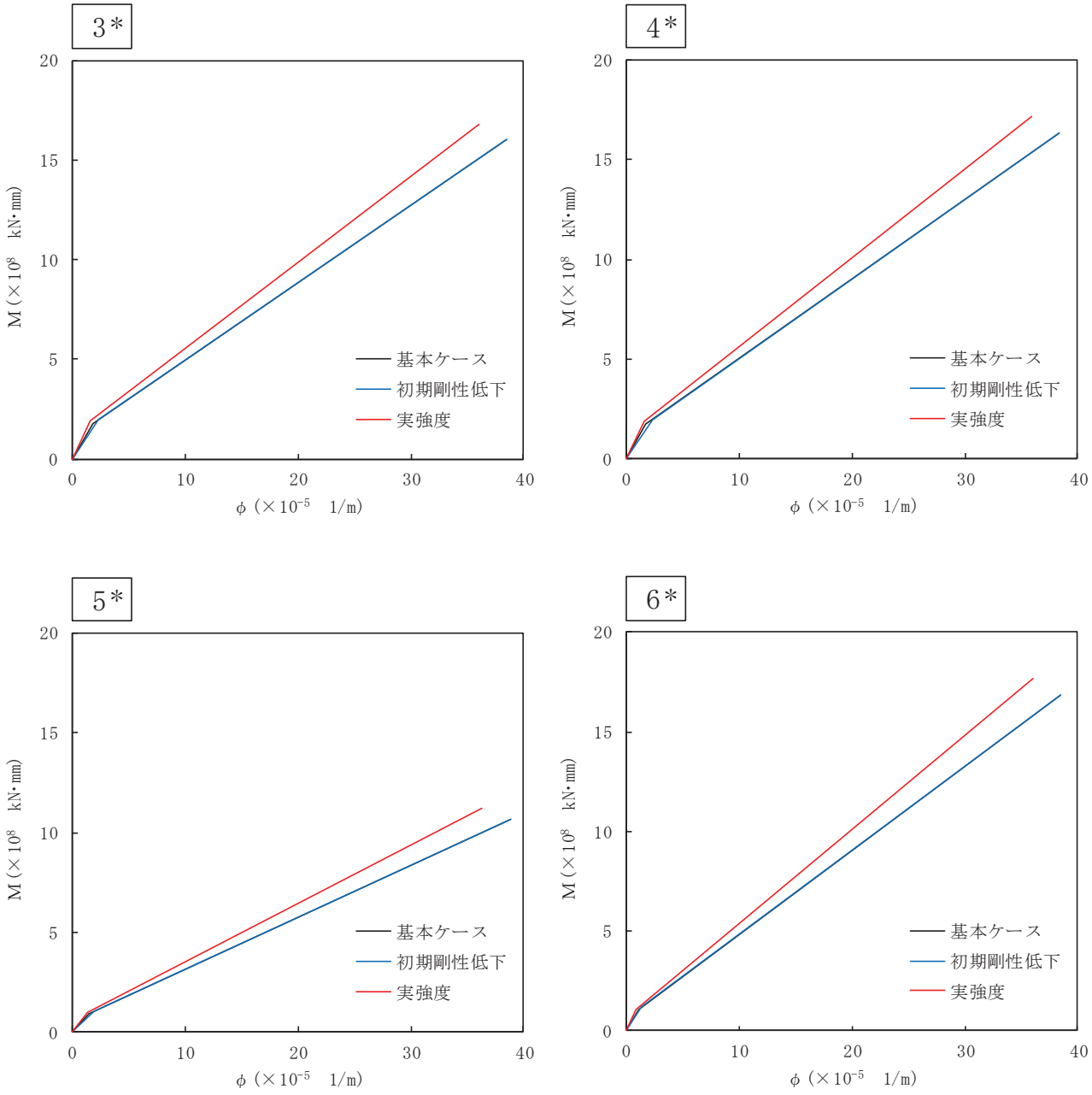
表 5-16　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）（実強度ケース，EW 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 1.034 | 0.8823 | 17.68 | 36.06 |
| 6 | 5 | 0.9809 | 1.335 | 11.24 | 36.33 |
| 5 | 4 | 1.870 | 1.567 | 17.16 | 35.94 |
| 4 | 3 | 1.892 | 1.628 | 16.80 | 36.02 |
| 64 | | | | | |




注記＊：各図上の記載の番号は，表 5-11～表 5-16 の要素番号に対応

図 5-5　M－φ関係の比較（NS 方向）




注記＊：各図上の記載の番号は，表 5-11～表 5-16 の要素番号に対応

図 5-6　M－φ関係の比較（EW 方向）

5.5　RPV ペデスタルの剛性に対する影響確認

RPV ペデスタルの剛性に対する影響を確認するために，5.2 項及び 5.3 項に示すスケルトンカーブを用いた建屋－機器連成地震応答解析を行った。解析モデルのうち，建屋側の物性値は，コンクリートの乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響を考慮して初期剛性を低下させた基本ケースとした。入力地震動は，補足-600-8-1「建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について」と同様に，基準地震動Ｓｓの基本ケースの各質点で地震力が最大となる地震動を用いることとし，水平方向はＳｓ-Ｄ１，Ｓｓ-Ｄ２，Ｓｓ-Ｄ３，Ｓｓ-Ｆ３及びＳｓ-Ｎ１，鉛直方向はＳｓ-Ｄ２を用いた。建屋－機器連成地震応答解析の各検討ケースに用いる入力地震動を表 5-17 及び表 5-18 に，解析で得られた地震荷重の比較を表 5-19 に示す。

表 5-17　建屋－機器連成地震応答解析の各検討ケースに用いる入力地震動（水平方向）

| 検討ケース | Ｓｓ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ケース１<br>（基本ケース） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ケース２ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース３ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース４ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース５ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース６ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース７<br>（初期剛性低下） | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |
| ケース８<br>（実強度） | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ |

表 5-18　建屋－機器連成地震応答解析の各検討ケースに用いる入力地震動（鉛直方向）

| 検討ケース | Ｓｓ-Ｄ１ | Ｓｓ-Ｄ２ | Ｓｓ-Ｄ３ | Ｓｓ-Ｆ１ | Ｓｓ-Ｆ２ | Ｓｓ-Ｆ３ | Ｓｓ-Ｎ１ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ケース１<br>（基本ケース） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ケース２ | | ○ | | | | | |
| ケース３ | | ○ | | | | | |
| ケース４ | | | | | | | |
| ケース５ | | | | | | | |
| ケース６ | | | | | | | |
| ケース７<br>（初期剛性低下） | | ○ | | | | | |
| ケース８<br>（実強度） | | ○ | | | | | |

影響確認の結果，表 5-19 に示すとおり，RPV ペデスタルの内部コンクリートの初期剛性を低下させた場合，基本ケースの地震荷重を上回る場合（主として軸力及びばね反力）がある。また，図 5-7 から図 5-14 に示すとおり，初期剛性低下ケースの床応答曲線は，基本ケースの床応答曲線を上回る場合があることから，RPV ペデスタルの内部コンクリートの初期剛性を低下させたケースを設計条件として考慮する。一方，RPV ペデスタルの内部コンクリートの強度を実強度とした場合は，炉心シュラウドのせん断力（1 箇所）において基本ケースの地震荷重をわずかに上回るが，その差は 1%程度である。当該の荷重を評価に用いる設備としては，気水分離器，スタンドパイプ及びシュラウドヘッドがあるが，添付書類「Ⅵ-2-3-4-3-3　気水分離器及びスタンドパイプの耐震性についての計算書」及び「Ⅵ-2-3-4-3-4　シュラウドヘッドの耐震性についての計算書」に示すとおり，これらの設備の評価における最小裕度はシュラウドヘッドの 1.03 であり，設計裕度に収まる。また，実強度ケースの床応答曲線は，基本ケース又は初期剛性低下ケースの床応答曲線に包絡されることから，評価に及ぼす影響はないことを確認した。

表 5-19（1）地震荷重の比較（せん断力，Ｓｓ）（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | せん断力（×$10^2$ kN） | | | 比率 | | 設計用地震力（A,B の包絡値） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 原子炉圧力容器 | | 5.59 | 5.23 | 5.28 | 0.94 | 0.95 | 5.59 |
| | | 22.2 | 20.7 | 21.0 | 0.94 | 0.95 | 22.2 |
| | | 44.0 | 41.8 | 42.4 | 0.95 | 0.97 | 44.0 |
| | | 36.9 | 34.8 | 31.4 | 0.95 | 0.86 | 36.9 |
| | | 39.0 | 32.5 | 35.5 | 0.84 | 0.92 | 39.0 |
| | | 67.4 | 63.9 | 66.2 | 0.95 | 0.99 | 67.4 |
| | | 93.0 | 87.8 | 90.3 | 0.95 | 0.98 | 93.0 |
| | | 115 | 113 | 111 | 0.99 | 0.97 | 115 |
| 原子炉本体の基礎 | | 306 | 304 | 295 | 1.00 | 0.97 | 306 |
| | | 333 | 331 | 319 | 1.00 | 0.96 | 333 |
| | | 364 | 357 | 343 | 0.99 | 0.95 | 364 |
| | | 393 | 378 | 364 | 0.97 | 0.93 | 393 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 74.0 | 74.1 | 65.5 | 1.01 | 0.89 | 74.1 |
| | | 78.4 | 66.9 | 71.2 | 0.86 | 0.91 | 78.4 |
| | | 102 | 88.6 | 94.8 | 0.87 | 0.93 | 102 |
| | | 135 | 125 | 128 | 0.93 | 0.95 | 135 |
| | | 175 | 168 | 167 | 0.96 | 0.96 | 175 |
| 原子炉格納容器 | | 3.12 | 2.90 | 2.89 | 0.93 | 0.93 | 3.12 |
| | | 6.09 | 5.62 | 5.63 | 0.93 | 0.93 | 6.09 |
| | | 34.6 | 33.9 | 32.6 | 0.98 | 0.95 | 34.6 |
| | | 41.7 | 40.8 | 40.5 | 0.98 | 0.98 | 41.7 |
| | | 345 | 289 | 288 | 0.84 | 0.84 | 345 |
| | | 357 | 303 | 302 | 0.85 | 0.85 | 357 |
| | | 365 | 313 | 311 | 0.86 | 0.86 | 365 |
| | | 379 | 328 | 327 | 0.87 | 0.87 | 379 |
| | | 385 | 334 | 332 | 0.87 | 0.87 | 385 |
| | | 399 | 343 | 342 | 0.86 | 0.86 | 399 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 6 の包絡値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-19（1）地震荷重の比較（せん断力，Ｓｓ）（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | せん断力（×$10^2$ kN） | | | 比率 | | 設計用地震力（A,B の包絡値） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 炉心シュラウド | | 6.65 | 6.16 | 5.79 | 0.93 | 0.88 | 6.65 |
| | | 14.7 | 13.5 | 12.7 | 0.92 | 0.87 | 14.7 |
| | | 24.3 | 23.4 | 24.3 | 0.97 | 1.00 | 24.3 |
| | | 30.1 | 29.0 | 30.3 | 0.97 | 1.01 | 30.1 |
| | | 38.8 | 37.4 | 36.3 | 0.97 | 0.94 | 38.8 |
| | | 37.5 | 34.9 | 35.5 | 0.94 | 0.95 | 37.5 |
| | | 40.8 | 38.8 | 36.9 | 0.96 | 0.91 | 40.8 |
| | | 43.9 | 42.0 | 40.0 | 0.96 | 0.92 | 43.9 |
| | | 46.9 | 46.2 | 42.7 | 0.99 | 0.92 | 46.9 |
| | | 51.5 | 50.1 | 46.0 | 0.98 | 0.90 | 51.5 |
| | | 57.2 | 54.7 | 51.5 | 0.96 | 0.91 | 57.2 |
| | | 63.4 | 61.5 | 61.9 | 0.98 | 0.98 | 63.4 |
| | | 64.6 | 62.7 | 62.3 | 0.98 | 0.97 | 64.6 |
| 制御棒案内管 | | 15.4 | 13.7 | 12.4 | 0.89 | 0.81 | 15.4 |
| | | 4.06 | 3.60 | 3.25 | 0.89 | 0.81 | 4.06 |
| | | 13.2 | 11.8 | 10.6 | 0.90 | 0.81 | 13.2 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 20.0 | 17.6 | 15.8 | 0.88 | 0.79 | 20.0 |
| | | 6.08 | 5.30 | 5.54 | 0.88 | 0.92 | 6.08 |
| | | 3.45 | 3.19 | 3.38 | 0.93 | 0.98 | 3.45 |
| | | 0.274 | 0.204 | 0.210 | 0.75 | 0.77 | 0.274 |
| | | 3.28 | 3.02 | 3.20 | 0.93 | 0.98 | 3.28 |
| 燃料集合体 | | 38.1 | 33.5 | 32.8 | 0.88 | 0.87 | 38.1 |
| | | 26.2 | 23.1 | 22.7 | 0.89 | 0.87 | 26.2 |
| | | 9.81 | 8.65 | 8.48 | 0.89 | 0.87 | 9.81 |
| | | 10.5 | 9.10 | 9.01 | 0.87 | 0.86 | 10.5 |
| | | 26.3 | 23.3 | 22.9 | 0.89 | 0.88 | 26.3 |
| | | 36.2 | 32.2 | 31.8 | 0.89 | 0.88 | 36.2 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 6 の包絡値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-19（2）地震荷重の比較（モーメント，Ｓｓ）（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | モーメント（×$10^6$ kN･mm） | | | 比率 | | 設計用地震力（A,B の包絡値） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 原子炉圧力容器 | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| | | 1.54 | 1.44 | 1.45 | 0.94 | 0.95 | 1.54 |
| | | 6.38 | 5.92 | 6.02 | 0.93 | 0.95 | 6.38 |
| | | 14.8 | 13.8 | 14.0 | 0.94 | 0.95 | 14.8 |
| | | 19.7 | 17.4 | 17.6 | 0.89 | 0.90 | 19.7 |
| | | 32.6 | 28.3 | 29.6 | 0.87 | 0.91 | 32.6 |
| | | 52.1 | 47.3 | 49.3 | 0.91 | 0.95 | 52.1 |
| | | 65.9 | 60.6 | 63.1 | 0.92 | 0.96 | 65.9 |
| | | 89.1 | 79.2 | 83.7 | 0.89 | 0.94 | 89.1 |
| 原子炉本体の基礎 | | 234 | 206 | 219 | 0.89 | 0.94 | 234 |
| | | 257 | 225 | 238 | 0.88 | 0.93 | 257 |
| | | 296 | 260 | 272 | 0.88 | 0.92 | 296 |
| | | 360 | 323 | 330 | 0.90 | 0.92 | 360 |
| | | 428 | 389 | 392 | 0.91 | 0.92 | 428 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| | | 20.5 | 20.5 | 18.1 | 1.00 | 0.89 | 20.5 |
| | | 41.6 | 37.1 | 37.8 | 0.90 | 0.91 | 41.6 |
| | | 63.7 | 52.3 | 57.2 | 0.83 | 0.90 | 63.7 |
| | | 91.1 | 77.3 | 84.6 | 0.85 | 0.93 | 91.1 |
| | | 145 | 127 | 136 | 0.88 | 0.94 | 145 |
| 原子炉格納容器 | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| | | 0.720 | 0.667 | 0.667 | 0.93 | 0.93 | 0.720 |
| | | 2.02 | 1.87 | 1.87 | 0.93 | 0.93 | 2.02 |
| | | 6.57 | 6.36 | 6.35 | 0.97 | 0.97 | 6.57 |
| | | 18.7 | 18.2 | 18.2 | 0.98 | 0.98 | 18.7 |
| | | 164 | 142 | 141 | 0.87 | 0.86 | 164 |
| | | 265 | 228 | 227 | 0.87 | 0.86 | 265 |
| | | 442 | 379 | 377 | 0.86 | 0.86 | 442 |
| | | 625 | 538 | 535 | 0.87 | 0.86 | 625 |
| | | 702 | 605 | 602 | 0.87 | 0.86 | 702 |
| | | 759 | 655 | 651 | 0.87 | 0.86 | 759 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 6 の包絡値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-19（2）地震荷重の比較（モーメント，Ｓｓ）（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | モーメント（×$10^5$ kN･mm） | | | 比率 | | 設計用地震力（A,B の包絡値） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 炉心シュラウド | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| | | 8.53 | 7.90 | 7.43 | 0.93 | 0.88 | 8.53 |
| | | 27.3 | 25.2 | 23.7 | 0.93 | 0.87 | 27.3 |
| | | 67.2 | 63.2 | 62.3 | 0.95 | 0.93 | 67.2 |
| | | 93.4 | 88.4 | 89.0 | 0.95 | 0.96 | 93.4 |
| | | 107 | 101 | 91.3 | 0.95 | 0.86 | 107 |
| | | 121 | 114 | 107 | 0.95 | 0.89 | 121 |
| | | 149 | 141 | 133 | 0.95 | 0.90 | 149 |
| | | 179 | 169 | 160 | 0.95 | 0.90 | 179 |
| | | 210 | 199 | 188 | 0.95 | 0.90 | 210 |
| | | 243 | 231 | 218 | 0.96 | 0.90 | 243 |
| | | 277 | 266 | 249 | 0.97 | 0.90 | 277 |
| | | 348 | 338 | 315 | 0.98 | 0.91 | 348 |
| | | 421 | 411 | 383 | 0.98 | 0.91 | 421 |
| 制御棒案内管 | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| | | 18.1 | 16.1 | 14.5 | 0.89 | 0.81 | 18.1 |
| | | 22.8 | 20.3 | 18.3 | 0.90 | 0.81 | 22.8 |
| | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| | | 21.9 | 19.4 | 17.4 | 0.89 | 0.80 | 21.9 |
| | | 0.790 | 0.585 | 0.604 | 0.75 | 0.77 | 0.790 |
| | | 3.51 | 3.28 | 3.42 | 0.94 | 0.98 | 3.51 |
| | | 3.49 | 3.21 | 3.40 | 0.92 | 0.98 | 3.49 |
| | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |
| | | 26.8 | 23.6 | 23.1 | 0.89 | 0.87 | 26.8 |
| | | 45.2 | 39.8 | 39.0 | 0.89 | 0.87 | 45.2 |
| | | 51.1 | 45.2 | 44.5 | 0.89 | 0.88 | 51.1 |
| | | 43.8 | 39.0 | 38.4 | 0.90 | 0.88 | 43.8 |
| | | 25.4 | 22.7 | 22.4 | 0.90 | 0.89 | 25.4 |
| | | 0 | 0 | 0 | － | － | 0 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 6 の包絡値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-19（3）地震荷重の比較（軸力，Ｓｓ）（1/2）

| 構造物 | 標高 O.P. (m) | 軸力（×$10^2$ kN） | | | | | 設計用地震力 (A,B の包絡値) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 原子炉圧力容器 | | 2.00 | 2.04 | 1.88 | 1.02 | 0.93 | 2.04 |
| | | 14.5 | 14.9 | 13.7 | 1.03 | 0.92 | 14.9 |
| | | 25.1 | 25.8 | 23.6 | 1.03 | 0.92 | 25.8 |
| | | 32.0 | 33.0 | 30.2 | 1.04 | 0.92 | 33.0 |
| | | 40.9 | 42.5 | 38.7 | 1.04 | 0.92 | 42.5 |
| | | 48.9 | 51.0 | 46.1 | 1.05 | 0.91 | 51.0 |
| | | 57.4 | 59.6 | 53.4 | 1.04 | 0.90 | 59.6 |
| | | 120 | 123 | 113 | 1.03 | 0.92 | 123 |
| 原子炉本体の基礎 | | 330 | 338 | 323 | 1.03 | 0.96 | 338 |
| | | 348 | 357 | 340 | 1.03 | 0.96 | 357 |
| | | 366 | 376 | 358 | 1.03 | 0.96 | 376 |
| | | 381 | 392 | 372 | 1.03 | 0.95 | 392 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 26.4 | 26.1 | 26.2 | 0.99 | 1.00 | 26.4 |
| | | 59.2 | 58.9 | 59.1 | 1.00 | 1.00 | 59.2 |
| | | 116 | 115 | 115 | 1.00 | 1.00 | 116 |
| | | 157 | 156 | 156 | 1.00 | 1.00 | 157 |
| | | 196 | 198 | 195 | 1.02 | 0.99 | 198 |
| 原子炉格納容器 | | 1.43 | 1.40 | 1.40 | 0.98 | 0.98 | 1.43 |
| | | 2.85 | 2.79 | 2.79 | 0.98 | 0.98 | 2.85 |
| | | 11.0 | 10.7 | 10.7 | 0.98 | 0.98 | 11.0 |
| | | 15.5 | 15.2 | 15.2 | 0.99 | 0.99 | 15.5 |
| | | 29.7 | 29.1 | 29.0 | 0.98 | 0.98 | 29.7 |
| | | 40.1 | 39.0 | 39.7 | 0.98 | 1.00 | 40.1 |
| | | 47.7 | 45.8 | 47.2 | 0.97 | 0.99 | 47.7 |
| | | 61.0 | 58.5 | 60.3 | 0.96 | 0.99 | 61.0 |
| | | 66.9 | 64.2 | 66.1 | 0.96 | 0.99 | 66.9 |
| | | 79.9 | 76.6 | 78.9 | 0.96 | 0.99 | 79.9 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 3 の包絡値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-19（3）地震荷重の比較（軸力，Ｓｓ）（2/2）

| 構造物 | 標高 O.P.（m） | 軸力（×$10^2$ kN） | | | 比率 | | 設計用地震力（A,B の包絡値） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 炉心シュラウド | | 1.05 | 1.08 | 1.02 | 1.03 | 0.95 | 1.08 |
| | | 3.15 | 3.24 | 3.05 | 1.03 | 0.95 | 3.24 |
| | | 4.85 | 4.98 | 4.70 | 1.03 | 0.95 | 4.98 |
| | | 6.86 | 7.04 | 6.64 | 1.03 | 0.95 | 7.04 |
| | | 9.96 | 10.2 | 9.64 | 1.03 | 0.95 | 10.2 |
| | | 11.7 | 12.0 | 11.3 | 1.03 | 0.95 | 12.0 |
| | | 12.1 | 12.3 | 11.7 | 1.02 | 0.96 | 12.3 |
| | | 12.4 | 12.7 | 12.0 | 1.03 | 0.95 | 12.7 |
| | | 12.7 | 13.0 | 12.3 | 1.03 | 0.95 | 13.0 |
| | | 13.1 | 13.4 | 12.7 | 1.03 | 0.95 | 13.4 |
| | | 13.4 | 13.7 | 13.0 | 1.03 | 0.95 | 13.7 |
| | | 16.6 | 17.0 | 16.0 | 1.03 | 0.95 | 17.0 |
| | | 16.8 | 17.2 | 16.2 | 1.03 | 0.95 | 17.2 |
| | | 17.0 | 17.4 | 16.4 | 1.03 | 0.95 | 17.4 |
| 制御棒案内管 | | 24.9 | 25.5 | 24.2 | 1.03 | 0.95 | 25.5 |
| | | 25.6 | 26.2 | 24.8 | 1.03 | 0.95 | 26.2 |
| | | 26.2 | 26.8 | 25.4 | 1.03 | 0.95 | 26.8 |
| 制御棒駆動機構ハウジング | | 27.0 | 27.6 | 26.1 | 1.03 | 0.95 | 27.6 |
| | | 6.73 | 6.93 | 6.44 | 1.03 | 0.93 | 6.93 |
| | | 6.15 | 6.33 | 5.89 | 1.03 | 0.94 | 6.33 |
| | | 5.56 | 5.72 | 5.32 | 1.03 | 0.94 | 5.72 |
| | | 4.96 | 5.11 | 4.75 | 1.04 | 0.93 | 5.11 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 3 の包絡値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-19（4）地震荷重の比較（ばね反力，Ｓｓ）

| 名称 | ばね反力(×$10^3$ kN) | | | 比率 | | 設計用地震力<br>(A,B の包絡値) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 原子炉圧力容器スタビライザ | 7.81 | 8.25 | 7.62 | 1.06 | 0.98 | 8.25 |
| 原子炉格納容器スタビライザ | 15.0 | 15.8 | 13.7 | 1.06 | 0.92 | 15.8 |
| 原子炉格納容器シヤラグ | 34.1 | 25.9 | 26.5 | 0.76 | 0.78 | 34.1 |
| 制御棒駆動機構ハウジング<br>レストレントビーム | 0.473 | 0.404 | 0.422 | 0.86 | 0.90 | 0.473 |
| 炉心シュラウド回転ばね<br>[×$10^7$ kN･mm] | 4.21 | 4.11 | 3.83 | 0.98 | 0.91 | 4.21 |
| 上部サポート | 5.91 | 5.43 | 5.46 | 0.92 | 0.93 | 5.91 |
| 下部スタビライザ | 1.61 | 1.48 | 1.48 | 0.92 | 0.92 | 1.61 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 6 の包絡値

表 5-19（5）地震荷重の比較（相対変位，Ｓｓ）

| 名称 | 標高<br>O.P.（m） | 相対変位（mm） | | | 比率 | | 設計用地震力<br>(A,B の包絡値) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基本ケース*(A) | 初期剛性低下(B) | 実強度(C) | B/A | C/A | |
| 燃料集合体 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 27.4 | 24.2 | 23.8 | 0.89 | 0.87 | 27.4 |
| | | 47.2 | 41.7 | 41.0 | 0.89 | 0.87 | 47.2 |
| | | 54.2 | 48.0 | 47.2 | 0.89 | 0.88 | 54.2 |
| | | 46.8 | 41.5 | 40.8 | 0.89 | 0.88 | 46.8 |
| | | 27.0 | 24.0 | 23.6 | 0.89 | 0.88 | 27.0 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示すケース 1～ケース 6 の包絡値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

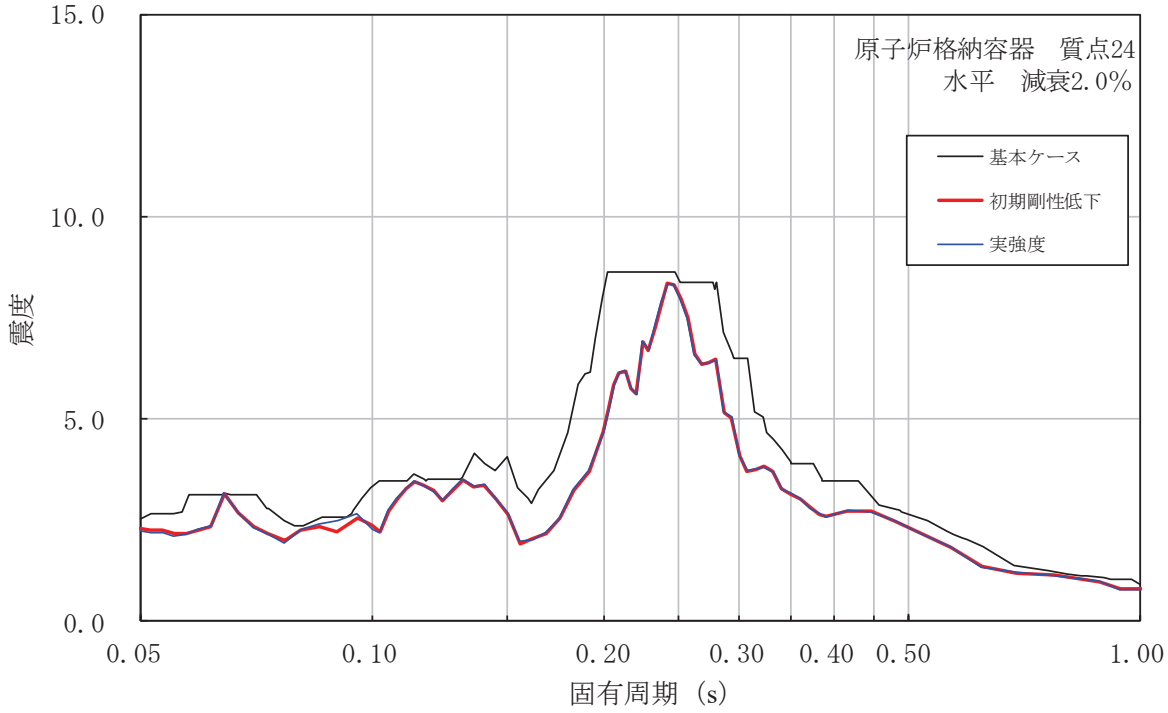



図 5-7　床応答曲線の比較（原子炉格納容器，水平方向）

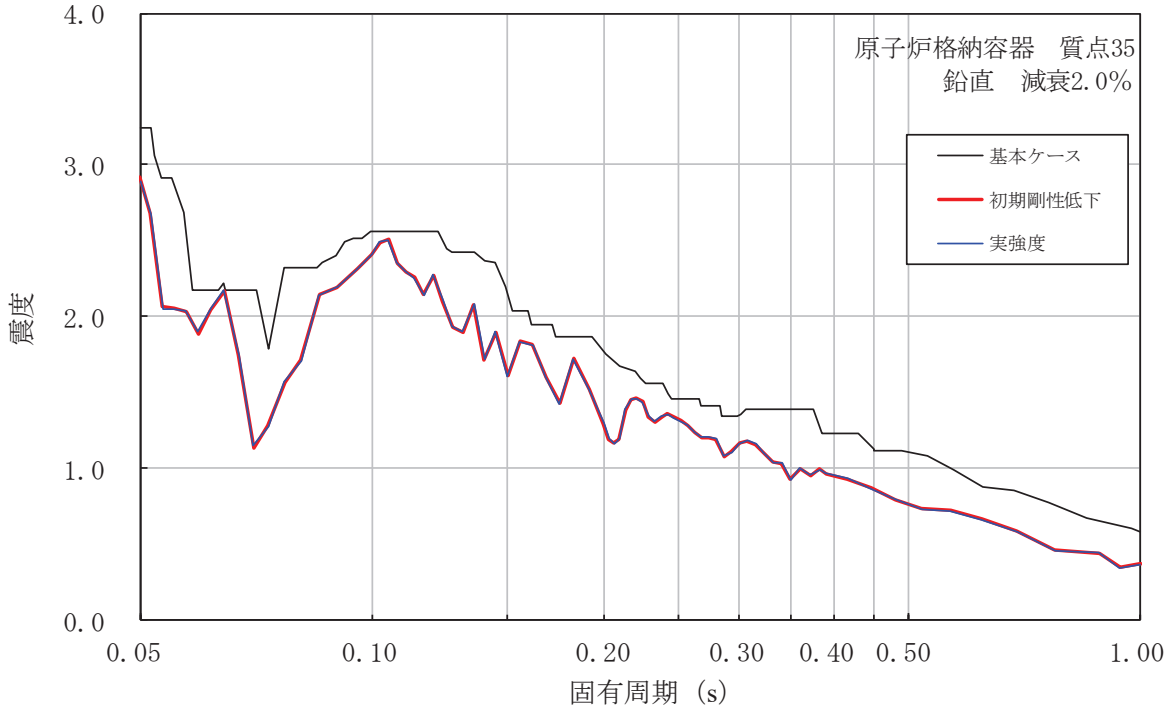



図 5-8　床応答曲線の比較（原子炉格納容器，鉛直方向）

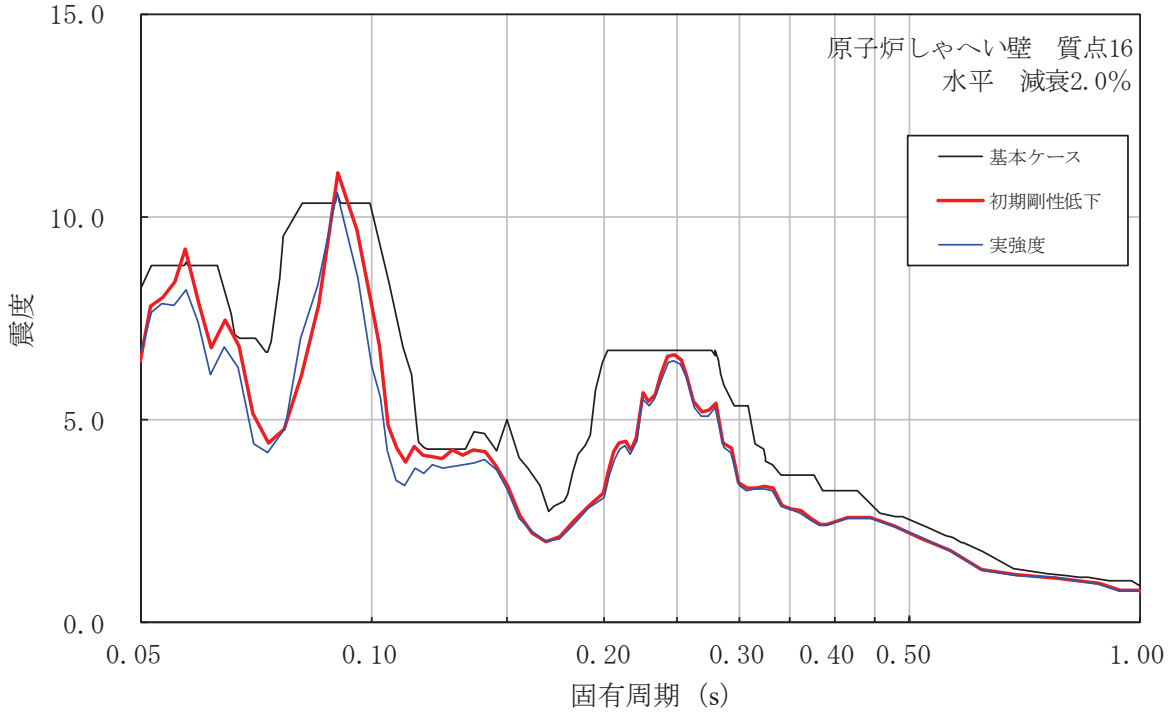



図 5-9　床応答曲線の比較（原子炉しゃへい壁，水平方向）

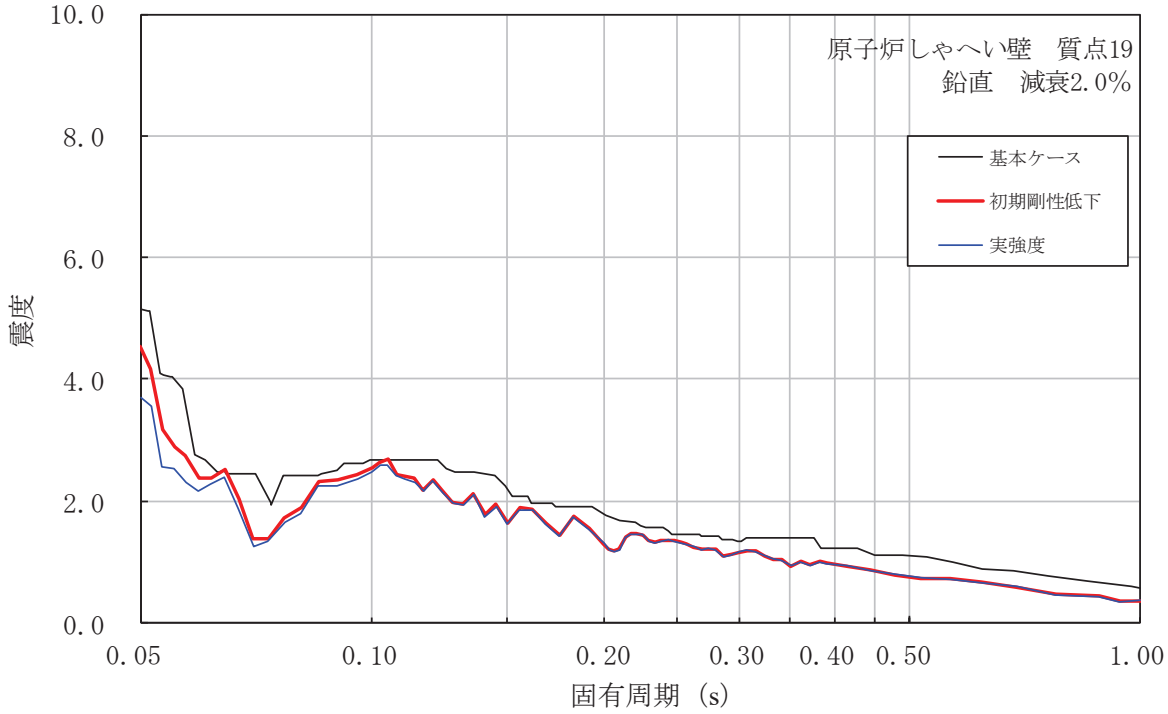



図 5-10　床応答曲線の比較（原子炉しゃへい壁，鉛直方向）

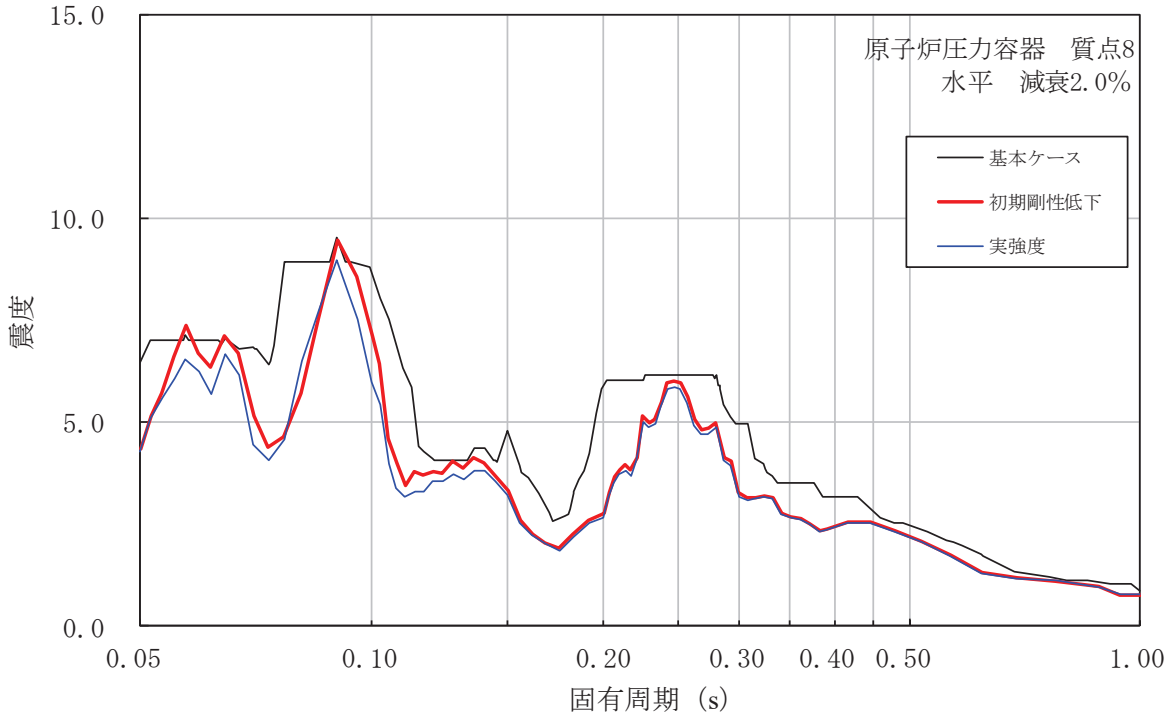



図 5-11　床応答曲線の比較（原子炉圧力容器，水平方向）

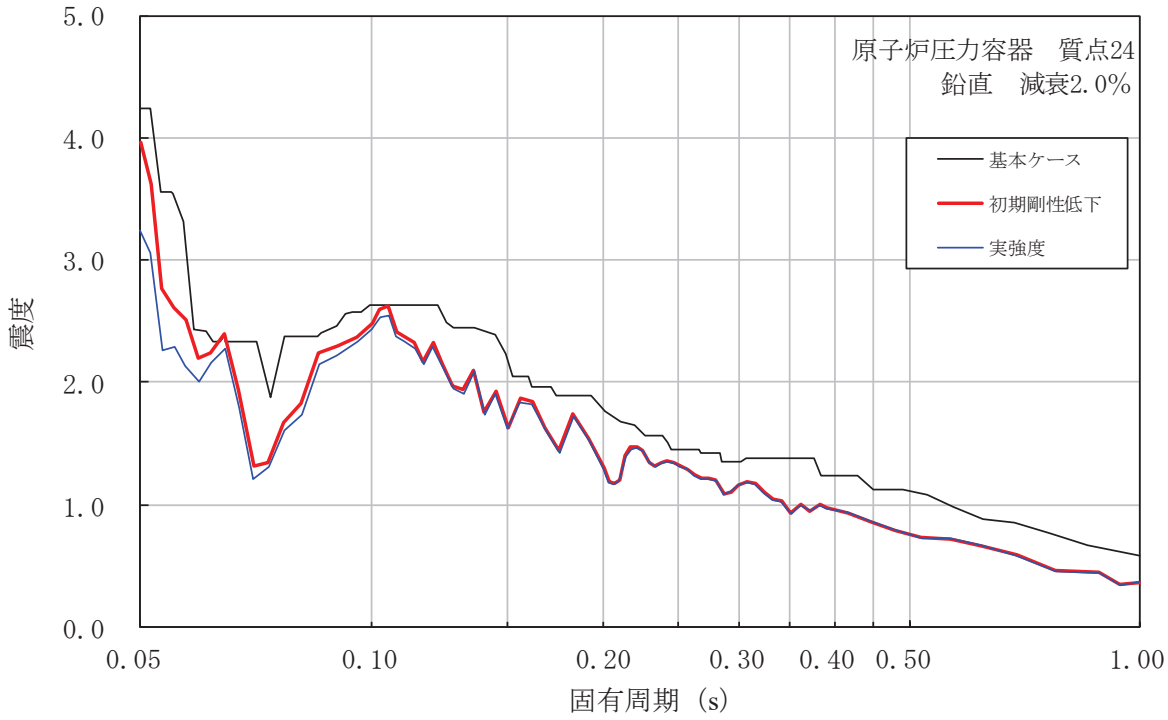



図 5-12　床応答曲線の比較（原子炉圧力容器，鉛直方向）

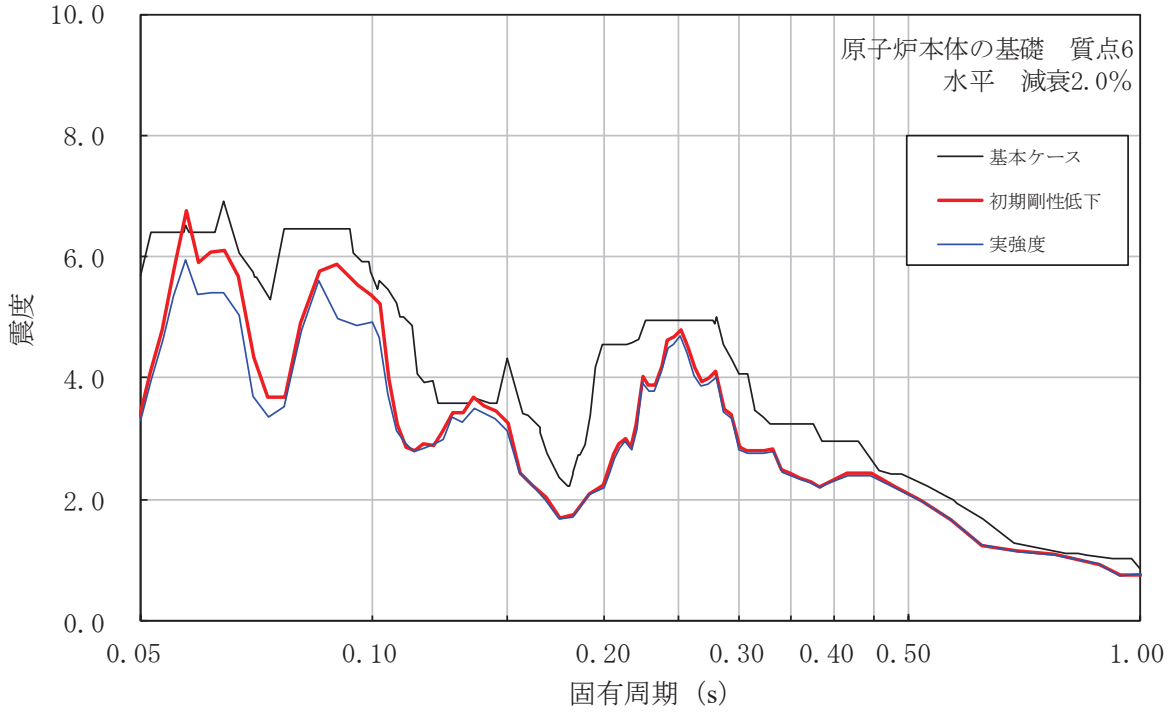



図 5-13　床応答曲線の比較（原子炉本体の基礎，水平方向）

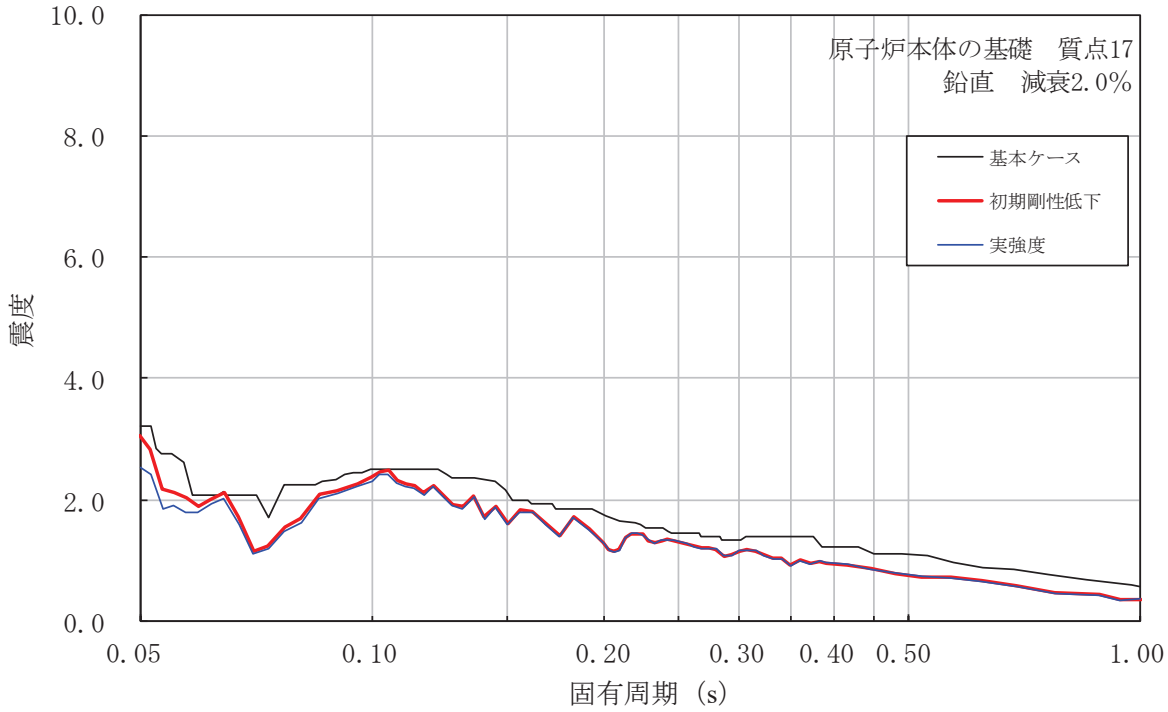



図 5-14　床応答曲線の比較（原子炉本体の基礎，鉛直方向）

# RPV ペデスタルの復元力特性の設定の考え方及び妥当性検証

## 1　詳細化の検討方針

### 1.1　概要

詳細化の検討は，RPV ペデスタルの地震応答解析における復元力特性を非線形とすることのみ行い，復元力特性の設定以外の項目については，既工認と同様の考え方に基づき評価を行う（表 1-1)。

RPV ペデスタルの復元力特性の設定フローを図 1-1 に示す。本項ではフローの概要を示し，詳細は次項以降に示す。

基準地震動Ｓｓの増大により，RPV ペデスタルの応答が線形領域を超えることから，より現実に近い地震荷重を算出するために RPV ペデスタルに対してコンクリートひび割れ後の剛性低下を考慮した復元力特性を設定する。なお，RPV ペデスタルの復元力特性の検討範囲は鋼板の降伏を示す第 2 折点までとする（1.2 項参照)。

復元力特性評価式の検討に当たっては，鉄筋コンクリート構造（RC 構造）に関する考え方「原子力発電所耐震設計技術指針（ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版)」，鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見等を参考にして曲げモーメント及びせん断力それぞれに対し，コンクリートのひび割れを表す第 1 折点と鋼板の降伏を表す第 2 折点を設定し，復元力特性の評価式を検討する（1.3 項，1.4 項，1.5 項及び 2.1 項参照)。

設定した復元力特性評価式について，女川 2 号機 RPV ペデスタルの構造特徴を踏まえ，評価式へ考慮すべき事項を抽出し，反映する（2.2 項及び 2.3 項参照)。

構造特徴を踏まえた復元力特性評価式の妥当性確認のために，改良型沸騰水型原子炉（以下「ABWR」という。）の RPV ペデスタルを模擬した試験体の加力試験の結果を参照し，試験結果と評価式を用いたスケルトンカーブの比較を行う。なお，女川 2 号機は沸騰水型原子炉（以下「BWR」という。）であるため，ABWR と BWR の構造差異を整理し，試験結果が適用可能であることを確認する（2.4 項及び別紙-5 参照)。

妥当性を確認した評価式に女川 2 号機の実機の材質，寸法を考慮し，復元力特性を設定する。

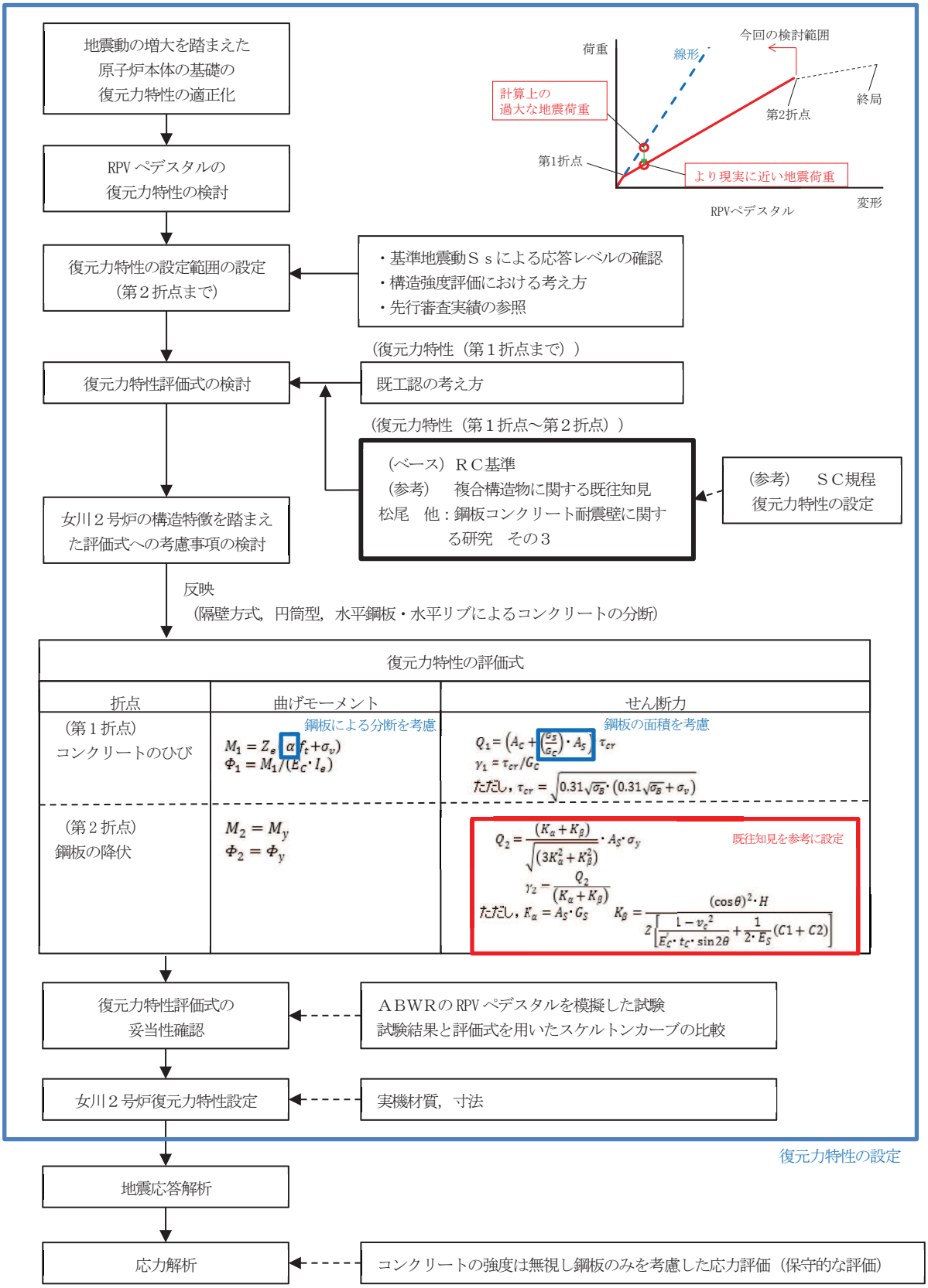
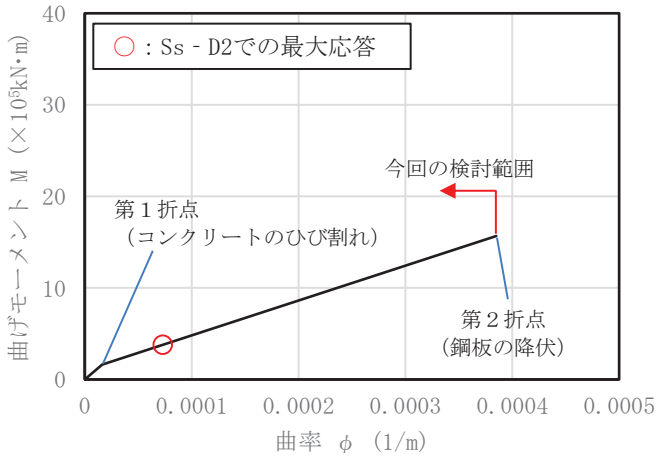



図 1-1　RPV ペデスタルの復元力特性の設定フロー

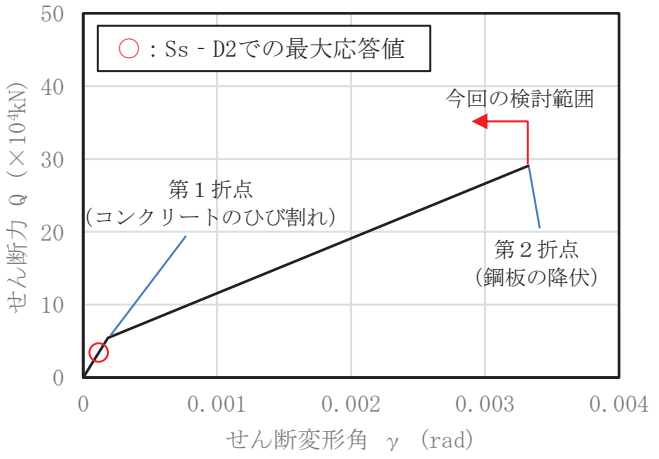
1.2　今回工認の検討範囲

RPV ペデスタルは，構造強度設計上鋼構造であり，おおむね弾性状態で耐える設計思想であることから，今回の検討範囲は鋼板の降伏を表す第 2 折点までとし，第 2 折点以降の領域は設定しない。

RPV ペデスタルの剛性を非線形とした場合，最大の地震荷重は，図 1-2 に示すとおりコンクリートのひび割れを表す第 1 折点を少し超える程度であり，鋼板の降伏を表す第 2 折点に対しては大きな余裕を有している。




(a) 曲げモーメント-曲率関係




（b）せん断力-せん断変形角関係

図 1-2　曲げ及びせん断に対するスケルトンカーブの概念図

## 1.3　スケルトンカーブの評価方針

RPV ペデスタルは鋼構造の内部に，コンクリートを充填した構造であり，地震応答解析においては鉄筋コンクリート構造（以下「RC 構造」という。）と同様に，コンクリートと鋼板の複合構造物として直線近似した剛性を用いている。

RPV ペデスタルの復元力特性の設定は，曲げ及びせん断それぞれに対し，コンクリートのひび割れを表す第 1 折点と鋼板の降伏を表す第 2 折点を設定することにより行う。

ここでは，原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版[(3)]に規定され，原子力発電所に多く適用されている RC 構造のスケルトンカーブ評価方法を参照しながら，RPV ペデスタルのスケルトンカーブの評価方針を示す。

### 1.3.1　曲げの第 1 折点

曲げの第 1 折点は，コンクリートに曲げひび割れが入ることにより剛性が変化する点であり，RC 構造も RPV ペデスタルもこの基本原則は共通である。

RC 構造の第 1 折点は，引張側コンクリートの応力がコンクリート引張強度に至るときの曲げモーメント及び曲率を求めることにより評価している。

RC 構造の第 1 折点の評価は，コンクリートと鉄筋の断面性能を用いて算出しているのみであるため，RPV ペデスタルについても同様にコンクリートと鋼板の断面性能に応じて計算することが可能である。

### 1.3.2　曲げの第 2 折点

曲げの第 2 折点は，鋼材の降伏により剛性が変化する点であり，RC 構造も RPV ペデスタルもこの基本原則は共通である。

RC 構造の第 2 折点は，引張側の鉄筋が降伏に至るときの曲げモーメント及び曲率を求めることにより評価している。

RC 構造の第 2 折点を評価する際は，コンクリートと鉄筋の断面性能を等価断面に置き換えて評価をしているのみであるため，RPV ペデスタルについても同様にコンクリートと鋼板の断面形状に応じて計算することが可能である。

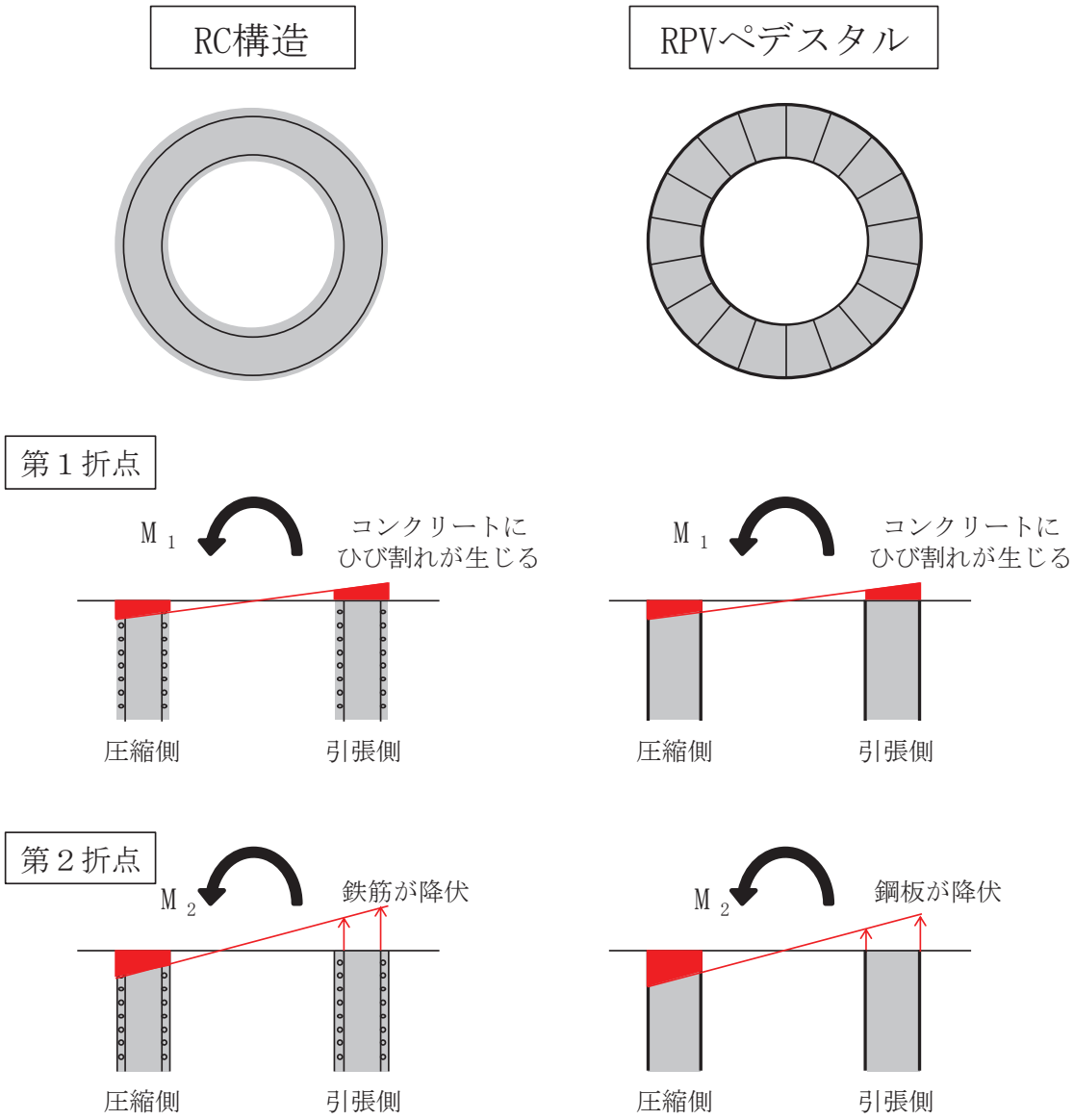



図 1-3　RC 構造と RPV ペデスタルの曲げに対する抵抗機構

### 1.3.3　せん断の第1折点

せん断の第1折点は，コンクリートにせん断ひび割れが入ることにより，剛性が変化する点であり，RC構造もRPVペデスタルもこの基本原則は共通である。

RC構造では，鉄筋がせん断抵抗にほとんど寄与しないため，第1折点はコンクリートのせん断ひび割れ強度にコンクリートの断面積を乗じて評価している。

一方，RPV ペデスタルは，鋼板がせん断抵抗に寄与することを踏まえ，コンクリートのせん断ひび割れ強度にコンクリートの断面積及び鋼板部の等価断面積（鋼板とコンクリートの剛性比を用いて算出）を乗じることで算出可能である。

### 1.3.4　せん断の第2折点

RC構造及びRPVペデスタルのコンクリートひび割れ後のせん断力に対する鋼材の抵抗機構は，RC構造が縦横に配置された鉄筋の引張降伏機構であるのに対し，RPVペデスタルは鋼板のせん断引張の組合せ応力による降伏機構であり，異なることから，RPVペデスタルのせん断第2折点を評価する際は，RC構造とは別の知見が必要となる。

コンクリートひび割れ後の鋼材及びコンクリートの抵抗機構については，RC構造物の場合，圧縮ストラット角度を45°として理論構築されている。

RPV ペデスタルについては，構造に応じた圧縮ストラット角度を考慮する必要があり，この角度を仮定することで，鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見[(1)]に示されたコンクリートひび割れ後の荷重変形関係の理論式で評価可能である。

さらに，RPV ペデスタルの構造を模擬した試験体を用いた試験によりその仮定の妥当性を検証することで，RPVペデスタルのせん断第2折点を算出可能である。

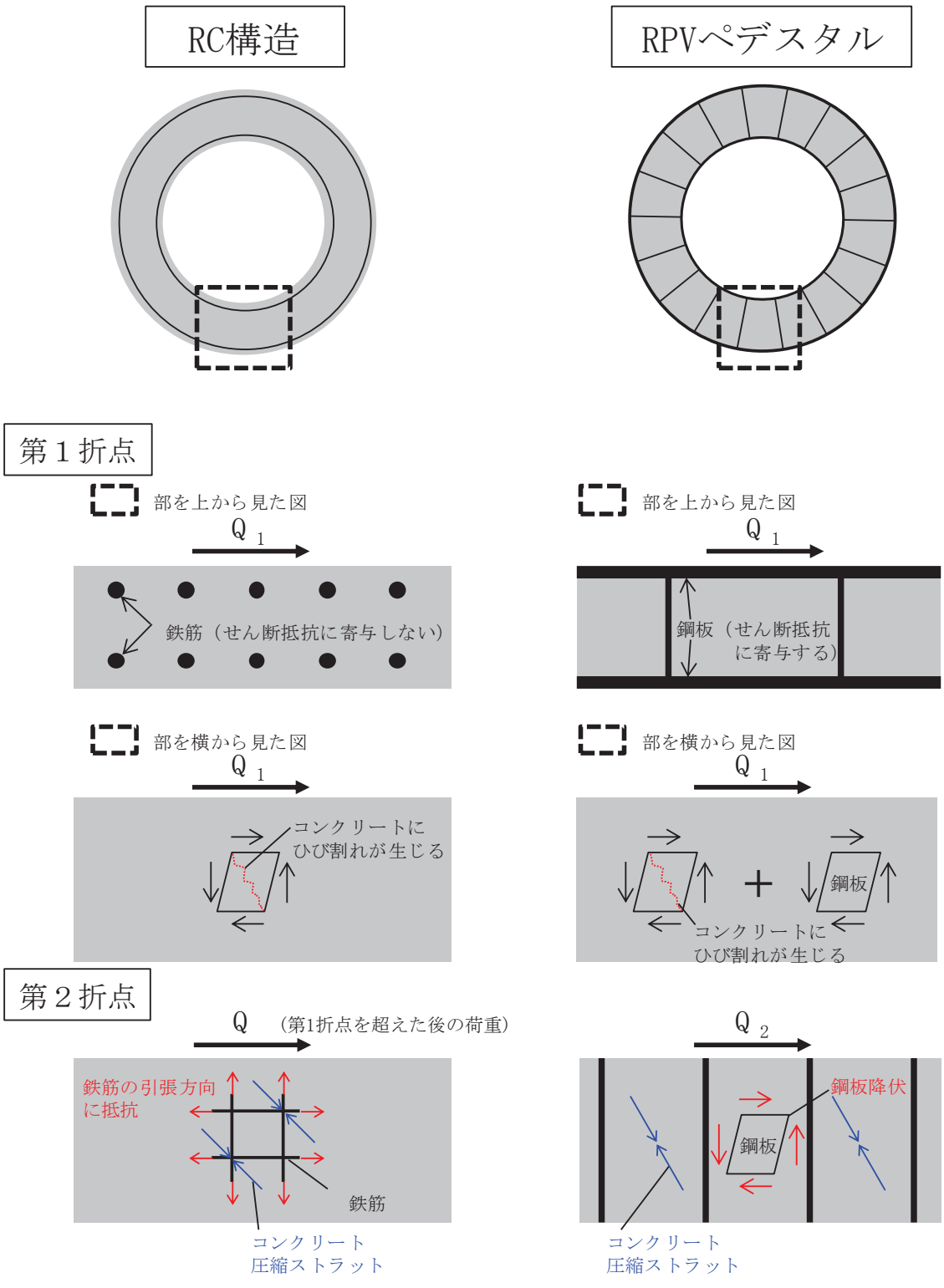



図 1-4　RC 構造と RPV ペデスタルのせん断に対する抵抗機構

1.3.1 項～1.3.3 項より，曲げの第 1，第 2 折点及びせん断の第 1 折点については，RPV ペデスタルは RC 構造と同様の考え方でスケルトンカーブを評価することが可能である。

一方，1.3.4 項に示したせん断の第 2 折点については，RC 構造とはコンクリートひび割れ後の鋼材及びコンクリートの抵抗機構が異なることから，鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見[(1)]に基づきスケルトンカーブを評価する。

なお，これらの考え方を踏まえた鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関するスケルトンカーブの評価方法が，鋼板コンクリート構造耐震設計技術規程（ＪＥＡＣ４６１８-2009，以下「SC 規程」[(4)]という。）にまとめられていることから，RPV ペデスタルの復元力特性を考慮した評価は，便宜上 SC 規程を参考に行うこととする。

表 1-1　RC 構造と RPV ペデスタルのスケルトンカーブ評価式一覧（凡例は次頁）

| | | RC 構造（ＪＥＡＧ４６０１－1991，SI 換算） | RPV ペデスタル<br>（SC 規程に同様の記載あり） |
|---|---|---|---|
| 曲げ | 第１折点 | $M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$<br>$\phi_1 = M_1/(E_C \cdot I_e)$ | RC 構造と同様の考え方で評価が可能<br>$M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$<br>$\phi_1 = M_1/(E_C \cdot I_e)$ |
| | 第２折点 | $M_2 = M_y$<br>$\phi_2 = \phi_y$ | RC 構造と同様の考え方で評価が可能<br>$M_2 = M_y$<br>$\phi_2 = \phi_y$ |
| せん断 | 第１折点 | $\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_C}\left(0.31\sqrt{F_C} + \sigma_v\right)}$<br>$\gamma_1 = \tau_1/G$ | 鋼板のせん断剛性の寄与分を考慮して同様の考え方で評価が可能<br>$\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B}\cdot\left(0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v\right)}$<br>ただし，$\sigma_B$ は Fc を用いて良い<br>$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_C$<br>鋼板の面積を考慮<br>$Q_1 = \left(A_C + \left(\frac{G_S}{G_C}\right)\cdot A_S\right)\cdot\tau_{cr}$ |
| | 第２折点 | $\tau_2 = 1.35\tau_1$<br>$\gamma_2 = 3\gamma_1$ | 鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見(1)に基づき，コンクリートの圧縮ストラット角度 $\theta$ に応じたせん断ひび割れ後のコンクリート剛性 $K_\beta$ を求めることで評価が可能<br>$Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_S \cdot \sigma_y$<br>$\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$<br>$K_\alpha = A_S \cdot G_S$<br>$K_\beta = \frac{(\cos\theta)^2 \cdot H}{2\left[\frac{1-\nu_C^2}{E_C' \cdot t_C \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]}$<br>ここで，C1 及び C2 は寸法と圧縮ストラット角度 $\theta$ から定まる係数である（詳細は 2.3.3 項参照） |

＜RC 構造＞

$E_C$　：コンクリートのヤング係数（N/mm$^2$）

$\sigma_v$　：縦軸応力度（N/mm$^2$）（圧縮を正とする）

$I_e$　：鉄筋を考慮した断面二次モーメント（mm$^4$）

$Z_e$　：鉄筋を考慮した断面係数（mm$^3$）

$f_t$　：コンクリートの曲げ引張強度（N/mm$^2$）$=0.38\sqrt{F_c}$

$M_y$　：引張鉄筋降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$　：引張鉄筋降伏時曲率（1/mm）

$F_c$　：コンクリートの圧縮強度（N/mm$^2$）

G　：コンクリートのせん断弾性係数（N/mm$^2$）

＜RPV ペデスタル＞

$\sigma_v$　：鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度（圧縮を正，N/mm$^2$）

$I_e$　：鋼板を考慮した断面二次モーメント（mm$^4$）

$Z_e$　：鋼板を考慮した断面係数（mm$^3$）

$f_t$　：コンクリートの曲げ引張強度（N/mm$^2$）

$E_C$　：コンクリートのヤング係数（N/mm$^2$）

$M_y$　：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$　：鋼板降伏時曲率（1/mm）

$A_s$　：鋼板のせん断断面積（mm$^2$）

$A_c$　：コンクリートのせん断断面積（mm$^2$）

$G_s$　：鋼板のせん断弾性係数（N/mm$^2$）

$G_c$　：コンクリートのせん断弾性係数（N/mm$^2$）

$E_s$　：鋼板のヤング係数（N/mm$^2$）

$E_c'$　：コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で，コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いてよい（N/mm$^2$）

$K_\alpha$　：鋼板のせん断剛性

$K_\beta$　：ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

$\sigma_y$　：鋼板の降伏点強度（N/mm$^2$）

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度で設計基準強度$F_c$を用いてよい（N/mm$^2$）

$F_c$　：コンクリートの圧縮強度（N/mm$^2$）

$\nu_C$　：コンクリートのポアソン比

H　：コンクリートの高さ（mm）

$t_C$　：コンクリート板厚（mm）

1.4　妥当性確認が必要な評価上の仮定

RPV ペデスタルの復元力特性を考慮した評価で参考とする，SC 規程における曲げの第 1，第 2 折点及びせん断の第 1 折点の評価方法は，既工認で認可実績のある RC 構造と同様の考え方に基づいている。

したがって，基本的な評価方法に関する論点は無いと言えるものの，RPV ペデスタルは一般的な壁と比較すると複雑な構造であることから，その構造の特徴を踏まえて設定した，水平鋼板及び水平リブによるコンクリートの不連続部に対する評価上の仮定について妥当性を確認することとする。

また，せん断の第 2 折点の評価方法については，SC 規程の参考文献となっている鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見[(1)]に示された理論式を活用する際に設定する，構造に応じたコンクリートの圧縮ストラット角度に対する評価上の仮定について妥当性を確認することとする。

1.5　妥当性の確認方針

RPV ペデスタルの構造を踏まえて設定したスケルトンカーブ評価上の仮定について，実機を模擬した試験体でその妥当性を確認する。

2　復元力特性の設定方法

2.1　SC 規程を参考にした設定方針

2.1.1　RPV ペデスタルの復元力特性の設定方針

RPV ペデスタルは，鋼板円筒殻の内部にコンクリートを充填した構造であり，隔壁方式の鋼板コンクリート構造（以下「SC 構造」という。）に近い構造物である。

今回工認で採用する RPV ペデスタルの非線形特性を考慮した復元力特性は，SC 構造の耐震設計に関する民間規格である SC 規程に定められた復元力特性の評価方法を参考にして設定する。

なお，SC 規程はスタッド方式を前提としており，規程で取り扱われていない方式に対しては調査・検討を行うことで準用できるとされている。

RPV ペデスタルは二重円筒鋼板と縦リブ（隔壁）からなる構造物であり，隔壁方式の SC 構造に近い構造であることから，SC 規程の評価式に対して RPV ペデスタルの構造の特徴に応じた追加検討を行った上で復元力特性の設定を行うものとする。

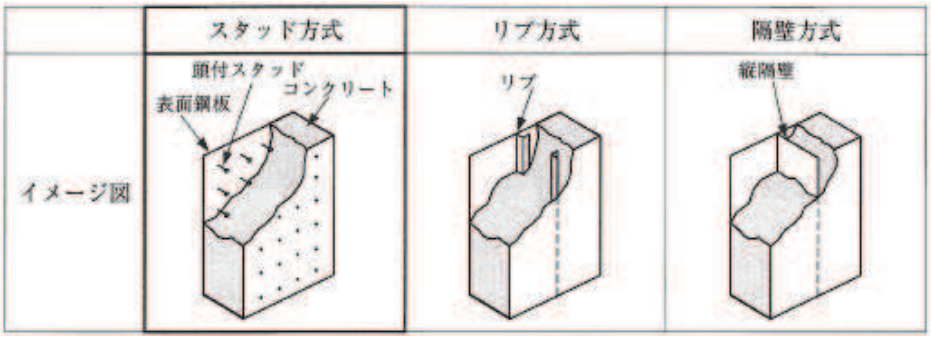



図 2-1　SC 構造の各種構造形式（例）（参考文献(4)から引用）

2.1.2　RPV ペデスタルの復元力特性の検討手順

SC 規程を参考にして RPV ペデスタルの復元力特性を設定するために，RPV ペデスタルの構造の特徴を抽出し，それぞれの構造の特徴に対して，追加検討の要否を確認する。

RPV ペデスタルの構造の特徴のうち，追加検討が必要なものに対しては，復元力特性の評価式への反映方法について検討し，実機を模擬した試験体の加力試験結果を用いて検討事項の妥当性を確認する。

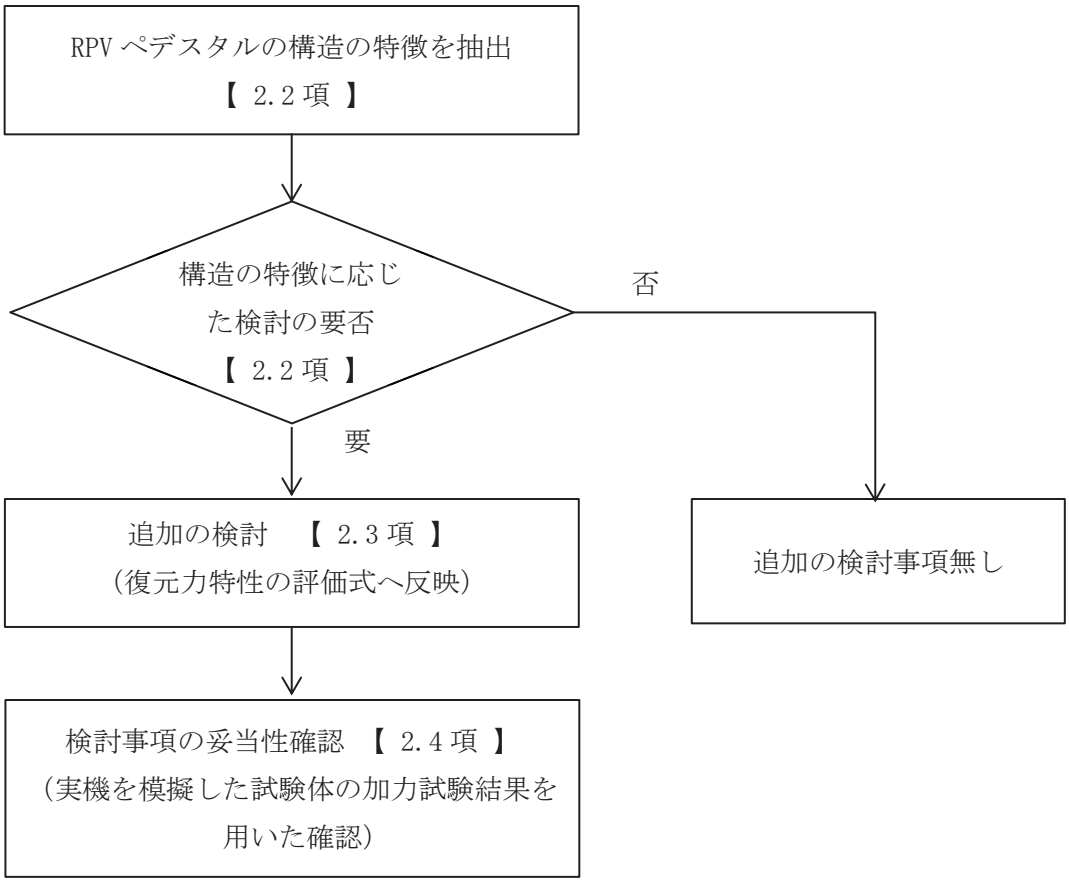



図 2-2　RPV ペデスタルの復元力特性評価方法の検討手順

2.2　RPV ペデスタルの構造の特徴の抽出及び構造に応じた追加検討事項

RPV ペデスタルの構造の特徴を抽出し，各々に対する構造に応じた追加検討の要否について整理した結果を表 2-1 に示す。

RPV ペデスタルの構造の特徴のうち，以下の 4 点が構造に応じた追加検討が必要な項目であることから，2.3 項では，これらの特殊構造を復元力特性の評価方法へ反映する方法を検討する。

・隔壁方式の SC 構造に近い構造であり，SC 規程の前提としているスタッド方式と異なる。
・円筒型の SC 構造に近い構造であり，SC 規程の根拠としている試験結果に含まれていない。
・CRD 開口上下の水平鋼板によって，コンクリートが分断されている。
・水平リブによって，コンクリートが部分的に分断されている。

表 2-1　RPV ペデスタルの構造の特徴及び構造の特徴に応じた追加検討の要否

| RPV ペデスタルの構造の特徴 | | | 構造の特徴に応じた追加検討の要否 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | ○：要<br>×：否 | 理由 |
| 構造方式 | | 隔壁方式 | ○ | SC 規程（スタッド方式）とは一体化方式が異なる。 |
| 形状 | | 円筒型 | ○ | SC 規程は円筒型への適用を排除するものではないが，規程の根拠となっているデータが矩形断面であることから，念のため追加検討を行う。 |
| RPV ペデスタル | O.P.7,040<br>～<br>O.P.4,950 | 水平鋼板 | ○ | 水平鋼板によって，コンクリートが上下に分断される。 |
| | | 中間鋼板 | ○ | 中間鋼板によって，隔壁が分割される。 |
| | | CRD 開口 | × | SC 規程の開口の取扱いに関する規定に準じることで追加検討は不要である。 |
| | O.P.4,950<br>～<br>O.P.1,150 | 水平リブ | ○ | 水平リブによって，部分的にコンクリートが上下に分断される。 |
| | | CRD<br>搬出入口 | × | SC 規程の開口の取扱いに関する規定に準じることで追加検討は不要である。 |

## 2.3　スケルトンカーブの設定方法

### 2.3.1　地震応答解析における RPV ペデスタルのモデル化

RPV ペデスタルは，隔壁方式の SC 構造に近い構造である。

RPV ペデスタルは，外筒鋼板に取り付けられたスタッドにより周辺コンクリートと強固に固定されていることから，地震応答解析モデルにおいては，図 2-3 に示すように，周辺コンクリート部分を下端として質点を繋ぎ，曲げ変形及びせん断変形を考慮した 4 要素でモデル化している。RPV ペデスタル下部から要素①，要素②，要素③，要素④とし，これらの要素ごとに曲げ及びせん断のスケルトンカーブを設定する（RPV ペデスタルの各要素の主要寸法は表 2-2 参照）。

RPV ペデスタルは各断面で中間鋼板の有無や開口の有無といった構造の差異があるが，既工認では構造の差異について各要素で個別に考慮して剛性を算定している。

今回工認のスケルトンカーブの設定においても，既工認同様に各断面の構造の差異を考慮し，複雑な断面形状を有する実機 RPV ペデスタルに対して，構造に応じた検討を行った上で SC 規程を参考にしてスケルトンカーブを求める（既工認と今回工認の剛性設定の方法の比較については，表 2-3 参照）。

SC 規程を参考にした RPV ペデスタル実機の構造特性を踏まえた評価式を表 2-4 に示す。また，曲げ及びせん断に対するスケルトンカーブ設定方法について 2.3.2 項及び 2.3.3 項に示す。

スケルトンカーブ設定に用いるコンクリート強度は，既工認と同様に設計基準強度を用いることとするが，コンクリートの乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響として，建屋の初期剛性低下が確認されている。RPV ペデスタルの内部に充填されたコンクリートは，鋼板に囲まれており，乾燥収縮の影響はないと考えられるが，念のため建屋側と同様に初期剛性低下を考慮した地震応答解析を行い，影響を確認して設計に反映する。また，RPV ペデスタル内部のコンクリート実強度に対する影響についても確認する。

なお，地震応答解析モデルに用いる減衰は既工認と同様に 5%とする（別紙-2）。

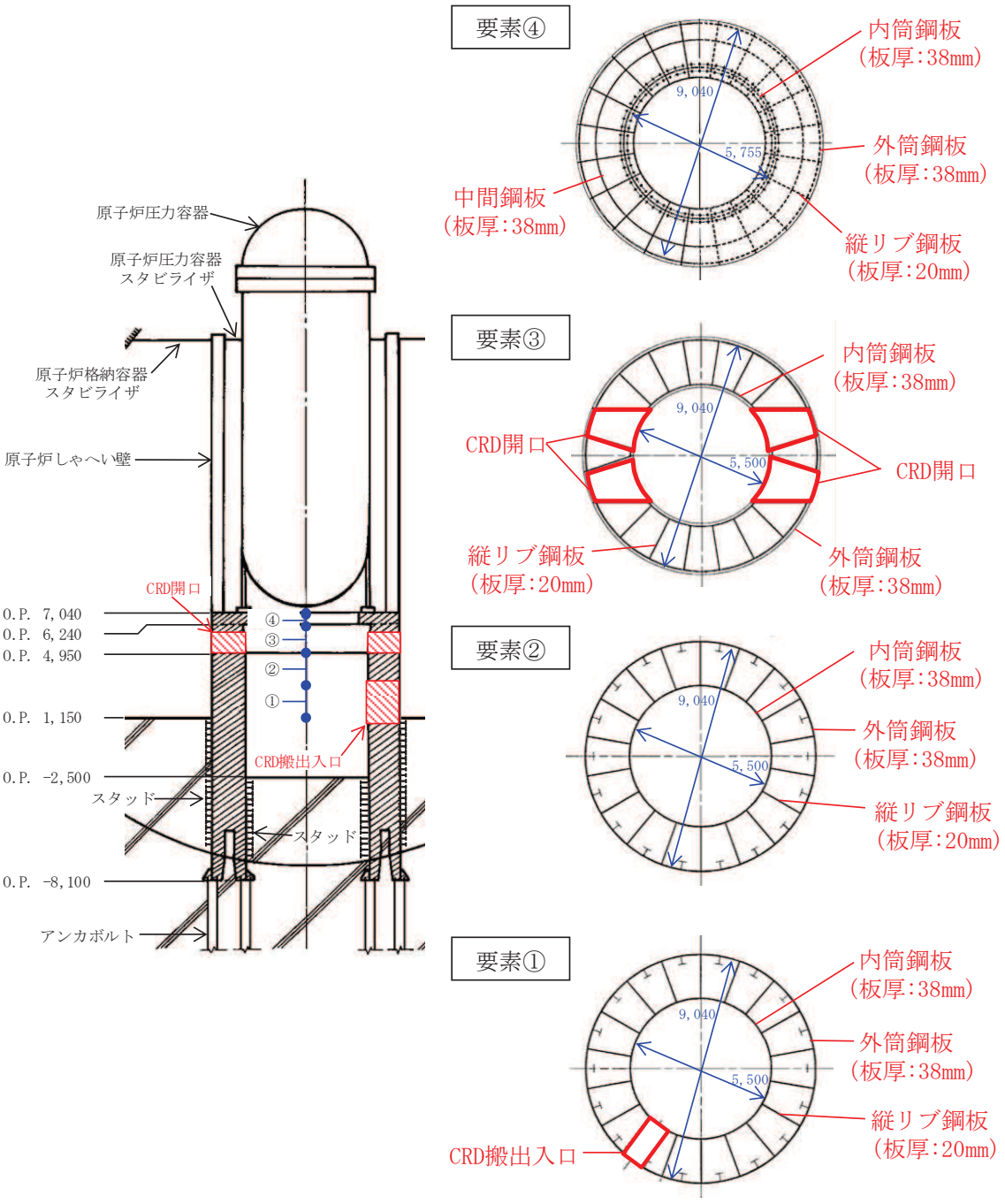



図 2-3　RPV ペデスタルと地震応答解析モデルの対応

表 2-2　RPV ペデスタル各断面における主要寸法まとめ

| 部位 | | | 個数 | 寸法 |
|---|---|---|---|---|
| RPV ペデスタル | 要素④<br>(0.P.7,040<br>～<br>0.P.6,240) | 内筒鋼板 | 1 | 内径：5,755 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 中間鋼板 | 1 | 内径：7,720 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 外筒鋼板 | 1 | 外径：9,040 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 縦リブ鋼板 | 20 | 板厚：20 mm |
| | 要素③<br>(0.P.6,240<br>～<br>0.P.4,950) | 内筒鋼板 | 1 | 内径：5,500 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 外筒鋼板 | 1 | 外径：9,040 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 縦リブ鋼板 | 20 | 板厚：20 mm |
| | | CRD 開口 | 4 | - |
| | 要素②<br>(0.P.4,950<br>～<br>0.P.3,050) | 内筒鋼板 | 1 | 内径：5,500 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 外筒鋼板 | 1 | 外径：9,040 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 縦リブ鋼板 | 18 | 板厚：20 mm |
| | 要素①<br>(0.P.3,050<br>～<br>0.P.1,150) | 内筒鋼板 | 1 | 内径：5,500 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 外筒鋼板 | 1 | 外径：9,040 mm<br>板厚：38 mm |
| | | 縦リブ鋼板 | 18 | 板厚：20 mm |
| | | CRD 搬出入口 | 1 | - |

表 2-3　既工認及び今回工認における RPV ペデスタルの剛性設定方法の比較

| 項目 | | 既工認 | 今回工認 |
|---|---|---|---|
| 曲げ変形 | 初期剛性 | 鋼板及びコンクリートの曲げ剛性を合成<br>$I_s \cdot E_s + I_c \cdot E_c$ | 同左 |
| | コンクリートひび割れ後の剛性 | 設定無し<br>（線形仮定） | $I_s \cdot E_s$＋（曲げひび割れ後のコンクリート剛性）* |
| せん断変形 | 初期剛性 | 鋼板及びコンクリートのせん断剛性を合成<br>$A_s \cdot G_s + A_c \cdot G_c$ | 同左 |
| | コンクリートひび割れ後の剛性 | 設定無し<br>（線形仮定） | $A_s \cdot G_s$ ＋（せん断ひび割れ後のコンクリート剛性）* |

＊：SC 規程に RPV ペデスタルの構造の特徴を反映した評価式に基づき算定し，既往の加力試験結果との整合性を確認することにより妥当性を確認した方法を用いて設定する。

$E_c$　：コンクリートのヤング係数(N/mm$^2$)
$E_s$　：鋼板のヤング係数(N/mm$^2$)
$I_c$　：コンクリートの断面二次モーメント(mm$^4$)
$I_s$　：鋼板の断面二次モーメント(mm$^4$)
$G_c$　：コンクリートのせん断弾性係数(N/mm$^2$)
$G_s$　：鋼板のせん断弾性係数(N/mm$^2$)
$A_c$　：コンクリートのせん断断面積(mm$^2$)
$A_s$　：鋼板のせん断断面積(mm$^2$)

表 2-4　RPV ペデスタル実機の構造特性を踏まえた評価式

| 変形特性 | | RC 構造（ＪＥＡＧ４６０１－1991，SI 換算） | SC 規程（ＪＥＡＣ４６１８－2009） | 構造を踏まえた RPV ペデスタルの評価式 | | 試験で妥当性確認する範囲 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 要素番号①，② | 要素番号③，④ | |
| 曲げ | 第 1 折点 | $M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$ | $M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$ | $M_1 = Z_e(\alpha \cdot f_t + \sigma_v)$<br>ただし，$\alpha$ =0.6[*1] | $M_1 = Z_e(\alpha \cdot f_t + \sigma_v)$<br>ただし，$\alpha$ =0[*2] | 評価式は RC 構造と道央の考え方で適用可能。構造を踏まえたコンクリート引張強度ｆｃに係る考慮（開口率αについて試験で妥当性確認を行う。 |
| | | $\phi_1 = M_1/(E_C \cdot I_e)$ | $\phi_1 = M_1/(E_C \cdot I_e)$ | 同左（構造特性の反映点無し） | | |
| | 第 2 折点 | $M_2 = M_y$<br>$\phi_2 = \phi_y$ | $M_2 = M_y$<br>$\phi_2 = \phi_y$ | 同左（構造特性の反映点無し） | | |
| せん断 | 第 1 折点 | $\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_C}(0.31\sqrt{F_C} + \sigma_v)}$<br>$\gamma_1 = \tau_1/G$ | $Q_1 = \left(A_C + \left(\frac{G_S}{G_C}\right) \cdot A_S\right) \cdot \tau_{cr}$<br>$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_C$<br>$\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$ | 同左（構造特性の反映点無し） | | |
| | 第 2 折点 | $\tau_2 = 1.35\tau_1$<br>$\gamma_2 = 3\gamma_1$ | $Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_S \cdot \sigma_y$<br>$\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$<br>ただし，$K_\alpha = A_S \cdot G_S$ | 同左（構造特性の反映点無し） | | RC 構造とはせん断力に対する抵抗機構が異なるため，構造に応じたコンクリートの圧縮ストラット角度 $\theta$ に関する評価上の仮定について，試験で妥当性を確認する。 |
| | | | $K_\beta = \frac{1}{\frac{4}{(A_C \cdot E'_C)} + \frac{2(1-\nu_S)}{(A_S \cdot E_S)}}$ | $K_\beta$：SC 規程の附属書 2.1 解説を参考に設定[*3]<br>$K_\beta = \frac{(\cos\theta)^2 \cdot H}{2\left[\frac{1-{\nu_c}^2}{E'_C \cdot t_C \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]}$ | |

注記＊1：RPV ペデスタル（要素①，②）は，コンクリート部が部分的に水平リブによって分断されているが，約 60%が連続していることから，開口率$\alpha$=0.6 とする。

＊2：RPV ペデスタル（要素③，④）は，コンクリート部が水平鋼板によってほぼ分断されているため，コンクリート部の引張強度には期待せず，開口率$\alpha$=0 とする。

＊3：SC 規程における$K_\beta$（ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性）はコンクリートの圧縮ストラット角度を$\theta$＝45° と仮定して簡略化された評価式を記載している。RPV ペデスタルの構造特性を踏まえ，SC 規程の附属書 2.1 解説に示される釣り合い式を用い，実際の$\theta$に合わせた値を設定した。

＜RC 構造（ＪＥＡＧ４６０１-1991，SI 換算）＞

$E_C$　：コンクリートのヤング係数（N/mm$^2$）

$\sigma_v$　：縦軸応力度（N/mm$^2$）（圧縮を正とする）

$I_e$　：鉄筋を考慮した断面二次モーメント（mm$^4$）

$Z_e$　：鉄筋を考慮した断面係数（mm$^3$）

$f_t$　：コンクリートの曲げ引張強度（N/mm$^2$）$= 0.38\sqrt{F_c}$

$M_y$　：引張鉄筋降伏時モーメント（N・m）

$\phi_y$　：引張鉄筋降伏時曲率（1/mm）

$F_c$　：コンクリートの圧縮強度（N/mm$^2$）

G　：コンクリートのせん断弾性係数（N/mm$^2$）

＜RPV ペデスタル（ＪＥＡＣ４６１８-2009）＞

$\sigma_v$　：鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度（圧縮を正，N/mm$^2$）

$I_e$　：鋼板を考慮した断面二次モーメント（mm$^4$）

$Z_e$　：鋼板を考慮した断面係数（mm$^3$）

$f_t$　：コンクリートの曲げ引張強度（N/mm$^2$）

$E_C$　：コンクリートのヤング係数（N/mm$^2$）

$M_y$　：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$　：鋼板降伏時曲率（1/mm）

$A_s$　：鋼板のせん断断面積（mm$^2$）

$A_c$　：コンクリートのせん断断面積（mm$^2$）

$G_s$　：鋼板のせん断弾性係数（N/mm$^2$）

$G_c$　：コンクリートのせん断弾性係数（N/mm$^2$）

$E_s$　：鋼板のヤング係数（N/mm$^2$）

$E_c'$：コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で，コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いてよい（N/mm$^2$）

$K_\alpha$　：鋼板のせん断剛性

$K_\beta$　：ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

$\sigma_y$　：鋼板の降伏点強度（N/mm$^2$）

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度で設計基準強度$F_c$を用いてよい（N/mm$^2$）

$F_c$　：コンクリートの圧縮強度（N/mm$^2$）

$\nu_C$　：コンクリートのポアソン比

＜構造を踏まえたRPVペデスタルの評価式＞

H　：コンクリートの高さ（mm）

$t_C$　：コンクリート板厚（mm）

$\alpha$　：開口率（RPVペデスタルの全断面積に対する開口部の面積の比率）

C1,C2：寸法と圧縮ストラット角度 $\theta$ から定まる係数(詳細は2.3.3項参照)

2.3.2　曲げに対する非線形特性を考慮したスケルトンカーブ設定方法

(1) SC 規程の曲げ変形に対するスケルトンカーブ

SC 規程に示された曲げ変形に対するスケルトンカーブは，曲げモーメントMと曲率 $\phi$ とのM-$\phi$ 関係を以下に示す状態を考慮して算定する（図 2-4 参照）。

① コンクリートの曲げひび割れによる剛性の変化（第 1 折点）

② 鋼板の降伏による剛性の変化（第 2 折点）

SC 規程記載内容の抜粋を以下に示す。

第 1 折点　コンクリートの曲げひび割れにより剛性が変化する点

$$M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v) \quad (\mathrm{N \cdot mm}) \quad \cdots\cdots (附2.1\text{-}7)$$

$$\phi_1 = \frac{M_1}{E_c \cdot I_e} \quad (1/\mathrm{mm}) \quad \cdots\cdots (附2.1\text{-}8)$$

第 2 折点　鋼板の降伏により剛性が変化する点

$$M_2 = M_y \quad (\mathrm{N \cdot mm}) \quad \cdots\cdots (附2.1\text{-}9)$$

$$\phi_2 = \phi_y \quad (1/\mathrm{mm}) \quad \cdots\cdots (附2.1\text{-}10)$$

今回の
設定範囲

終 局 点　曲げ終局強度及び曲げ終局曲率を示す点

$$M_3 = M_u \quad (\mathrm{N \cdot mm}) \quad \cdots\cdots (附2.1\text{-}11)$$

$$\phi_3 = \frac{0.004}{X_{nu}} \quad (1/\mathrm{mm}) \quad \cdots\cdots (附2.1\text{-}12)$$

ただし，$\phi_3 > 20\phi_2$ ならば $\phi_3 = 20\phi_2$ とする。

ここで，

$\sigma_v$：鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度（圧縮を正，$\mathrm{N/mm^2}$）

$\sigma_B$：コンクリートの圧縮強度で設計基準強度 $F_c$ を用いてよい（$\mathrm{N/mm^2}$）

$\nu_1$：コンクリート圧縮強度の有効係数で，$0.7 - \frac{\sigma_B}{200}$ を用いてよい

$I_e$：鋼板を考慮した断面二次モーメント（$\mathrm{mm^4}$）

$Z_e$：鋼板を考慮した断面係数（$\mathrm{mm^3}$）

$f_t$：コンクリートの曲げ引張強度（$\mathrm{N/mm^2}$）

$\sigma_v$：鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度（圧縮を正，$\mathrm{N/mm^2}$）

$E_c$：コンクリートのヤング係数（$\mathrm{N/mm^2}$）

$M_y$：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$：鋼板降伏時曲率（1/mm）

$M_u$：全塑性モーメント（N・mm）

$X_{nu}$：全塑性モーメント時の圧縮縁から中立軸までの距離（mm）

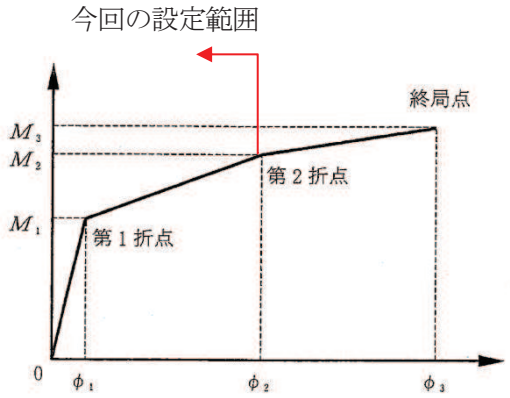



図 2-4　曲げ変形に対するスケルトンカーブ（参考文献(4)から引用，加筆）

(2)　RPV ペデスタル（要素①，②）の曲げ変形に対するスケルトンカーブ

(1) に示す SC 規程の記載内容を参考に RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点及び反映後の評価式を以下に示す。

図 2-5 に示すとおり，RPV ペデスタルの曲げモーメントが大きくなると，引張側のコンクリートは引張側の死荷重による圧縮応力度が 0 となった後も引張に抵抗し，コンクリートの引張応力が引張強度に到達してひび割れが発生する（第 1 折点）。曲げモーメントがさらに大きくなると，圧縮側のコンクリート及び鋼板並びに引張側の鋼板が曲げに抵抗し，引張側の鋼板が降伏する（第 2 折点）。

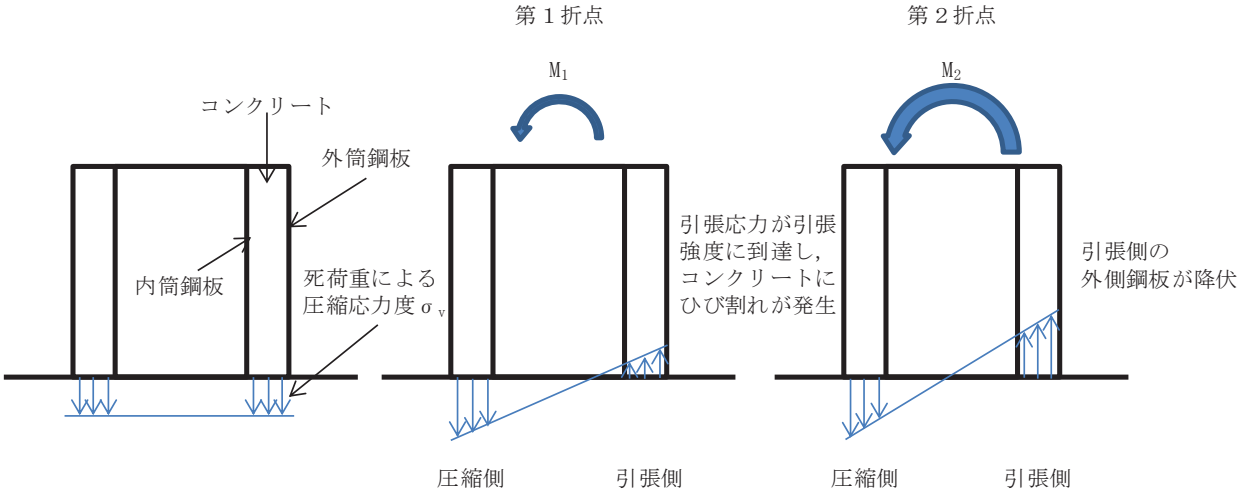



図 2-5　RPV ペデスタル（要素①，②）の曲げ変形の状態概念図

a.　RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点

（第 1 折点）

RPV ペデスタルの地震応答解析モデルにおける部材断面性能について，コンクリートの剛性は CRD 搬出入口等の開口欠損を考慮した断面積に基づき性能評価する。

RPV ペデスタルの全断面積に対する開口部の面積の比率を開口率 $\alpha$ と定義し，開口率に応じたコンクリートの引張強度を評価上考慮するものとする。RPV ペデスタル（要素①，②）

は，水平リブによってコンクリート部が部分的に分断されている。高さによって水平リブの配置に違いはあるものの，上下に投影した場合，コンクリート断面積のうち約 60%が連続していることから，開口率$\alpha$＝0.6 とする。図 2-6 に水平リブの配置概要を示す。

（第 2 折点）

構造特性の反映点は無い。

b. 反映後の評価式

（第 1 折点）

$M_1 = Z_e \cdot (\alpha^* \cdot f_t + \sigma_v)$

$\phi_1$は初期剛性と$M_1$の交点（$\phi_1 = M_1/(E_c \cdot I_e)$）

＊：水平リブによってコンクリートが部分的に分断されている。高さによって水平リブの配置に違いはあるものの，上下に投影した場合，約 60%はコンクリートが連続していることから，開口率$\alpha$＝0.6 とする。

$Z_e$：鋼板を考慮したコンクリートの断面係数（$mm^3$） （$=I_e/(D/2)$）

D/2：中心から最外縁までの距離（D は最外直径）

$\sigma_v$：鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度（$N/mm^2$）

（RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力）/（（各鋼板の断面積の和）×（$E_s/E_c$）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積））

$f_t$：コンクリートの曲げ引張強度（$N/mm^2$）（$=0.38\sqrt{\sigma_B}$）

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度（$N/mm^2$）

RPV ペデスタルコンクリートの設計基準強度＝32.3（$N/mm^2$）

$E_c$：コンクリートのヤング係数（$N/mm^2$）

$E_s$：鋼板のヤング係数（$N/mm^2$）

$I_e$：鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント（$mm^4$）

（各鋼板の断面二次モーメントの和）×（Ｅｓ/Ｅｃ）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント）

第 1 折点は，RPV ペデスタル円筒部の曲げ引張側のコンクリート部にひび割れが生じる点の M 及び$\phi$を表している。

（第 2 折点）

$M_2 = M_y$

$\phi_2 = \phi_y$

$M_y$：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$：鋼板降伏時曲率（1/mm）

第 2 折点は，RPV ペデスタル円筒部の曲げ引張側の鋼板が降伏する時点のM及び$\phi$を表している。

第 2 折点の曲げモーメントM及び曲率$\phi$は，断面の平面保持を仮定し，引張側の鋼板部が降伏状態となる場合の応力（ひずみ）分布を中立軸を変えながら収束計算し，収束する際の$M_2$及び$\phi_2$を求める。

表 2-5　曲げに対する RPV ペデスタル（要素①，②）の構造特性を踏まえた評価式

| 変形特性 | | SC 規程 | 構造特性を踏まえた<br>評価式 | RPV ペデスタル固有の<br>構造特性を反映した点 |
|---|---|---|---|---|
| 曲げ変形 | 第１<br>折点 | $M_1=Z_e\cdot(f_t+\sigma_v)$ | $M_1=Z_e\cdot(\alpha\cdot f_t+\sigma_v)$<br>ただし，開口率$\alpha$＝0.6 とする。 | コンクリートが部分的に水平リブによって分断されているが，約 60%が連続していることから，開口率$\alpha$＝0.6 とする。 |
| | | $\phi_1=M_1/(E_c\cdot I_e)$ | 同左<br>（構造特性の反映点無し） | － |
| | 第２<br>折点 | $M_2=M_y$<br>$\phi_2=\phi_y$ | 同左<br>（構造特性の反映点無し） | － |

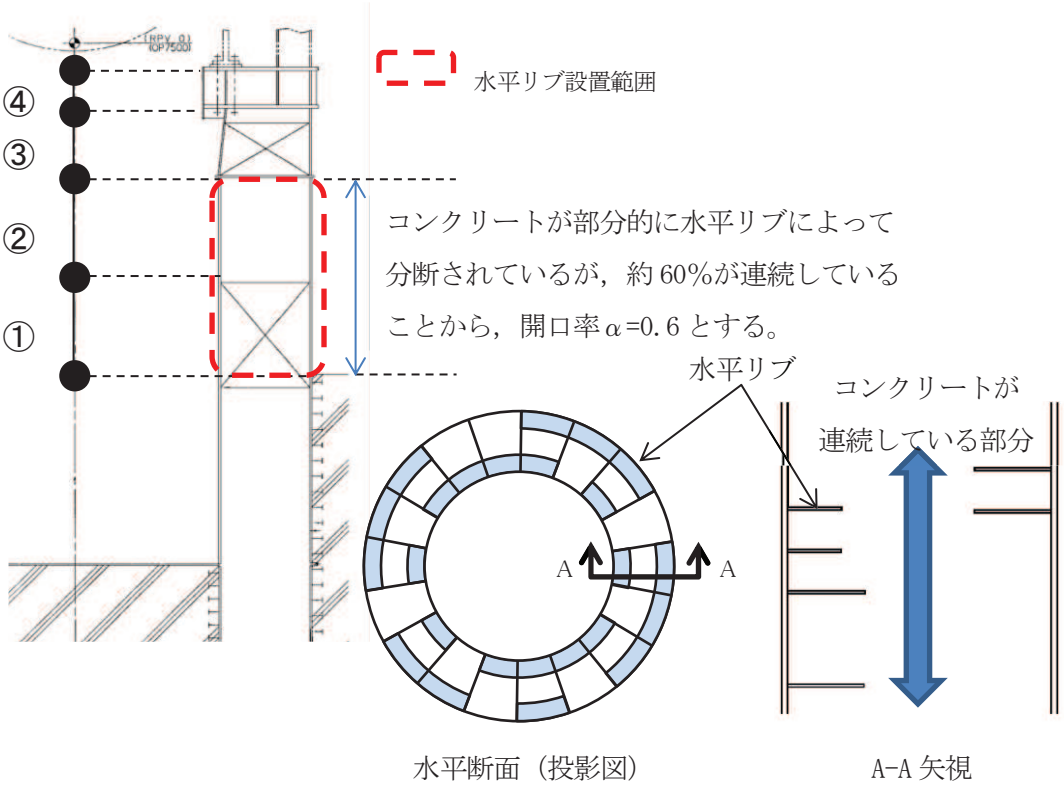



図 2-6　水平リブの配置概要図

(3)　RPV ペデスタル（要素③，④）の曲げ変形に対するスケルトンカーブ

(1) に示した SC 規程の記載内容を参考に RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点及び反映後の評価式を以下に示す。

RPV ペデスタル（要素③，④）は，図 2-7 に示すように，コンクリート打設孔等で部分的にコンクリートが連続しているものの，その面積は RPV ペデスタルの全断面積に対して僅かである。曲げの第 1 折点は，コンクリートの曲げひび割れにより剛性が変化する点であるが，コンクリートが上下に分断されている場合，コンクリートが引張に抵抗することができないため，コンクリート部の引張強度には期待しないものとし，コンクリートの死荷重による鉛直方向軸応力度 $\sigma_v$ が 0 となる点を曲げの第 1 折点とする。

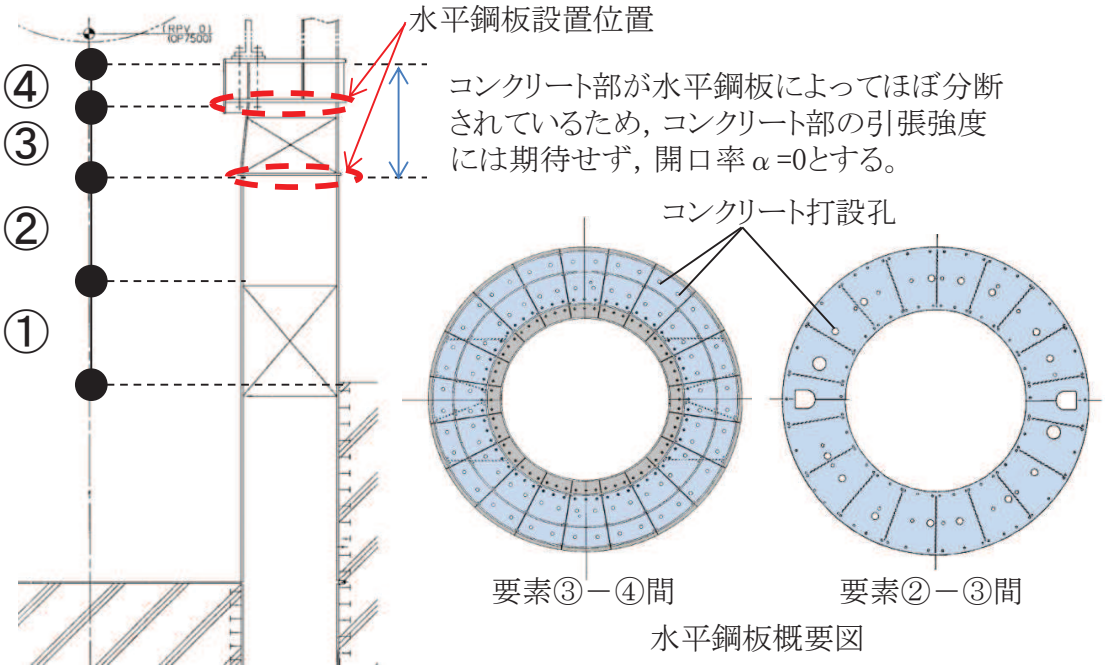



図 2-7　RPV ペデスタル上部構造図

図 2-8 に示すとおり，RPV ペデスタル（要素③，④）の曲げモーメントが大きくなると，引張側のコンクリートの死荷重による鉛直方向軸応力度が 0 となり（第 1 折点），曲げモーメントがさらに大きくなると，圧縮側のコンクリート及び鋼板並びに引張側の鋼板が曲げに抵抗し，引張側の鋼板が降伏する（第 2 折点）。

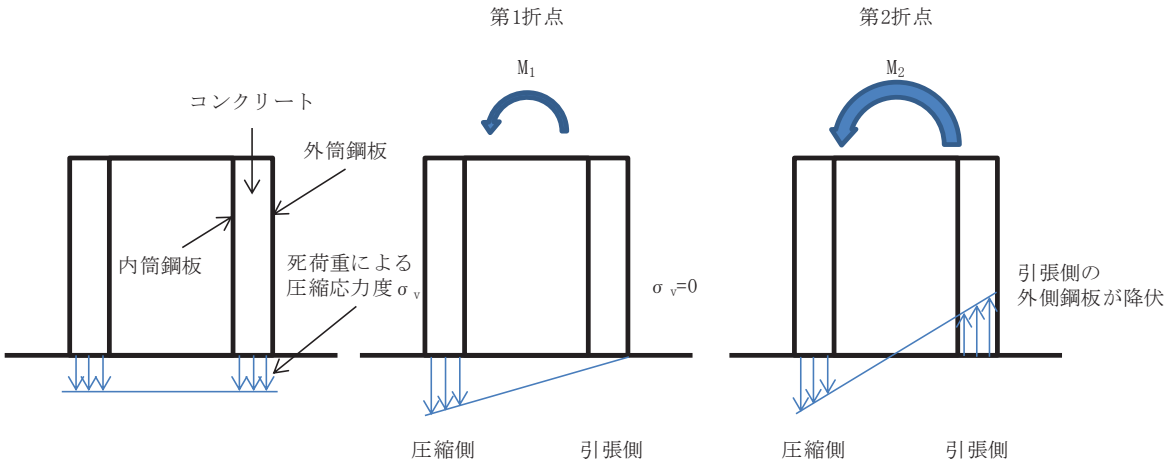



図 2-8　RPV ペデスタル（要素③，④）の曲げ変形の状態概念図

a.　RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点

（第１折点）

・RPV ペデスタルの地震応答解析モデルにおける部材断面性能について，コンクリートの剛性は CRD 開口等の開口欠損を考慮した断面積に基づいて性能評価する。

・RPV ペデスタル（要素③，④）は，水平鋼板によってほぼ分断されているため，コンクリート部の引張強度には期待しないものとして開口率$\alpha$＝0 とする。

（第２折点）

構造特性の反映点は無い。

b.　反映後の評価式

（第１折点）

$M_1 = Z_e \cdot (\alpha^* \cdot f_t + \sigma_v)$

$\phi_1$は初期剛性と$M_1$の交点（$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$）

＊：RPV ペデスタル（要素③，④）は，コンクリート部が水平鋼板によってほぼ分断されており，コンクリート部の引張による抵抗が期待できないため，開口率$\alpha$＝0 とする。

$Z_e$　：鋼板を考慮したコンクリートの断面係数(mm$^3$)　（$= I_e / (D/2)$）

D/2　：中心から最外縁までの距離（D は最外直径）

$f_t$　：コンクリートの曲げ引張強度(N/mm$^2$)（$=0.38\sqrt{\sigma_B}$）

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度(N/mm$^2$)

RPV ペデスタルコンクリートの設計基準強度＝32.3(N/mm$^2$)

$\sigma_v$　：鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度(N/mm$^2$)

（RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力）／（(各鋼板の断面積の和）×（$E_s/E_c$）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積））

$E_c$　：コンクリートのヤング係数(N/mm$^2$)

$E_s$　　：鋼板のヤング係数(N/mm$^2$)

$I_e$　　：鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント(mm$^4$)

（各鋼板の断面二次モーメントの和）×（$E_s/E_c$）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント）

第 1 折点は，RPV ペデスタル円筒部の曲げ引張側のコンクリートの死荷重による鉛直方向軸応力度が 0 となる時点の M 及び$\phi$を表している。

（第 2 折点）

$M_2 = M_y$

$\phi_2 = \phi_y$

$M_y$：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$：鋼板降伏時曲率（1/mm）

第 2 折点は，RPV ペデスタル円筒部の曲げ引張側の鋼板が降伏する時点の M 及び$\phi$を表している。

第 2 折点の曲げモーメント M 及び曲率$\phi$は，断面の平面保持を仮定し，引張側の鋼板部が降伏状態となる場合の応力（ひずみ）分布を中立軸を変えながら収束計算し，収束する際の $M_2$ 及び$\phi_2$を求める。

表 2-6　RPV ペデスタル（要素③，④）の構造特性を踏まえた曲げに対する評価式

| 変形特性 | | SC 規程 | 構造特性を踏まえた<br>評価式 | RPV ペデスタル固有の<br>構造特性を反映した点 |
|---|---|---|---|---|
| 曲げ変形 | 第１<br>折点 | $M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$ | $M_1 = Z_e \cdot (\alpha \cdot f_t + \sigma_v)$<br>ただし，$\alpha$=0 とする。 | コンクリート部が水平鋼板によってほぼ分断されているため，コンクリート部の引張強度には期待せず，開口率$\alpha$=0 とする。 |
| | | $\phi_1 = M_1/(E_c \cdot I_e)$ | 同左<br>（構造特性の反映点無し） | － |
| | 第２<br>折点 | $M_2 = M_y$<br>$\phi_2 = \phi_y$ | 同左<br>（構造特性の反映点無し） | － |

2.3.3　せん断に対する非線形特性を考慮したスケルトンカーブ設定方法

(1)　SC 規程のせん断変形に対するスケルトンカーブ

SC 規程に示されたせん断変形に対するスケルトンカーブは，せん断力 Q とせん断変形角 γ との Q-γ 関係を以下に示す状態を考慮して算定する（図 2-9 参照）。

①　コンクリートのせん断ひび割れによる剛性の変化（第 1 折点）

②　鋼板の降伏による剛性の変化（第 2 折点）

以下，SC 規程記載内容の抜粋。

第 1 折点　コンクリートのせん断ひび割れにより剛性が変化する点

$$Q_1=\left(A_c+\left(\frac{G_s}{G_c}\right)\cdot A_s\right)\cdot\tau_{cr}\quad(\mathrm{N})\quad\cdots\cdots\quad(附2.1\text{-}1)$$

$$\gamma_1=\left(\frac{\tau_{cr}}{G_c}\right)\quad(\mathrm{rad})\quad\cdots\cdots\quad(附2.1\text{-}2)$$

ただし，$\tau_{cr}=\sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B}\cdot(0.31\sqrt{\sigma_B}+\sigma_v)}$

第 2 折点　鋼板の降伏により剛性が変化する点

$$Q_2=\frac{(K_\alpha+K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2+K_\beta^2)}}\cdot A_s\cdot\sigma_y\quad(\mathrm{N})\quad\cdots\cdots\quad(附2.1\text{-}3)$$

$$\gamma_2=\frac{Q_2}{(K_\alpha+K_\beta)}\quad(\mathrm{rad})\quad\cdots\cdots\quad(附2.1\text{-}4)$$

ただし，$K_\alpha=As\cdot Gs$

$$K_\beta=\frac{1}{\dfrac{4}{(A_c\cdot E_c')}+\dfrac{2(1-\nu_s)}{(A_s\cdot E_s)}}$$

今回の
設定範囲

終 局 点　せん断終局強度及びせん断終局ひずみ度を示す点

$$Q_3=A_c\cdot\sqrt{\left(\frac{A_s}{A_c}\right)\cdot\sigma_y\cdot\nu_1\cdot\sigma_B}\quad(\mathrm{N})\quad\cdots\cdots\quad(附2.1\text{-}5)$$

$$\gamma_3=6.0\times10^{-3}\quad(\mathrm{rad})\quad\cdots\cdots\quad(附2.1\text{-}6)$$

ここで，

$A_s$：鋼板のせん断断面積（mm²）

$A_c$：コンクリートのせん断断面積（mm²）

$G_s$：鋼板のせん断弾性係数（N/mm²）

$G_c$：コンクリートのせん断弾性係数（N/mm²）

$E_s$：鋼板のヤング係数（N/mm²）

$E_c'$：コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で，コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いてよい（N/mm²）

$\nu_s$：鋼板のポアソン比

$\sigma_v$：鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度（圧縮を正，N/mm²）

$K_\alpha$：鋼板のせん断剛性

$K_\beta$：ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

$\sigma_y$：鋼板の降伏点強度（N/mm²）

$\sigma_B$：コンクリートの圧縮強度で設計基準強度 $F_c$ を用いてよい（N/mm²）

$\nu_1$：コンクリート圧縮強度の有効係数で，$0.7-\dfrac{\sigma_B}{200}$ を用いてよい

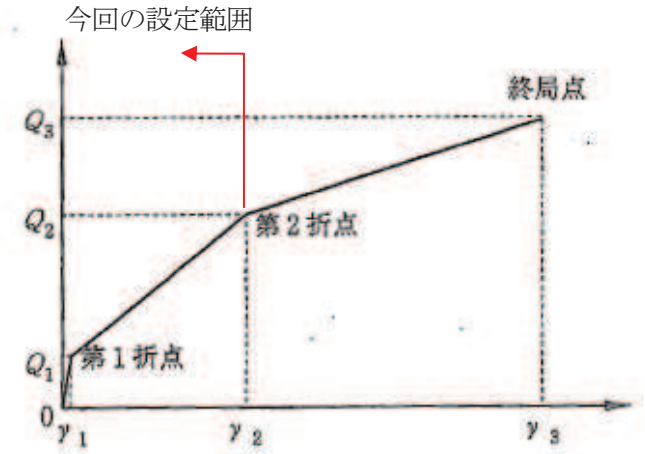



図 2-9　せん断変形に対するスケルトンカーブ（参考文献(4)から引用，加筆）

(2)　RPV ペデスタル（要素①，②，③，④）のせん断変形に対するスケルトンカーブ

(1)に示す SC 規程の内容から RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点及び反映後の評価式を以下に示す。なお，RPV ペデスタル（要素①，②）と RPV ペデスタル（要素③，④）には，せん断変形に対する構造上の特性の違いはない。

図 2-10 に示すとおり，RPV ペデスタルのせん断力が大きくなると，コンクリートのせん断応力がひび割れ強度 $\tau_{cr}$ に到達してせん断ひび割れが発生する（第 1 折点）。第 1 折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（圧縮ストラット角度 $\theta$ の方向，コンクリートのひび割れの方向は圧縮方向と同じ）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し，ひび割れたコンクリートを鋼板が拘束し，コンクリートと鋼板が一体となってせん断力に抵抗する。せん断力が更に大きくなると，鋼板の応力が降伏点強度 $\sigma_y$ に到達する（第２折点）。

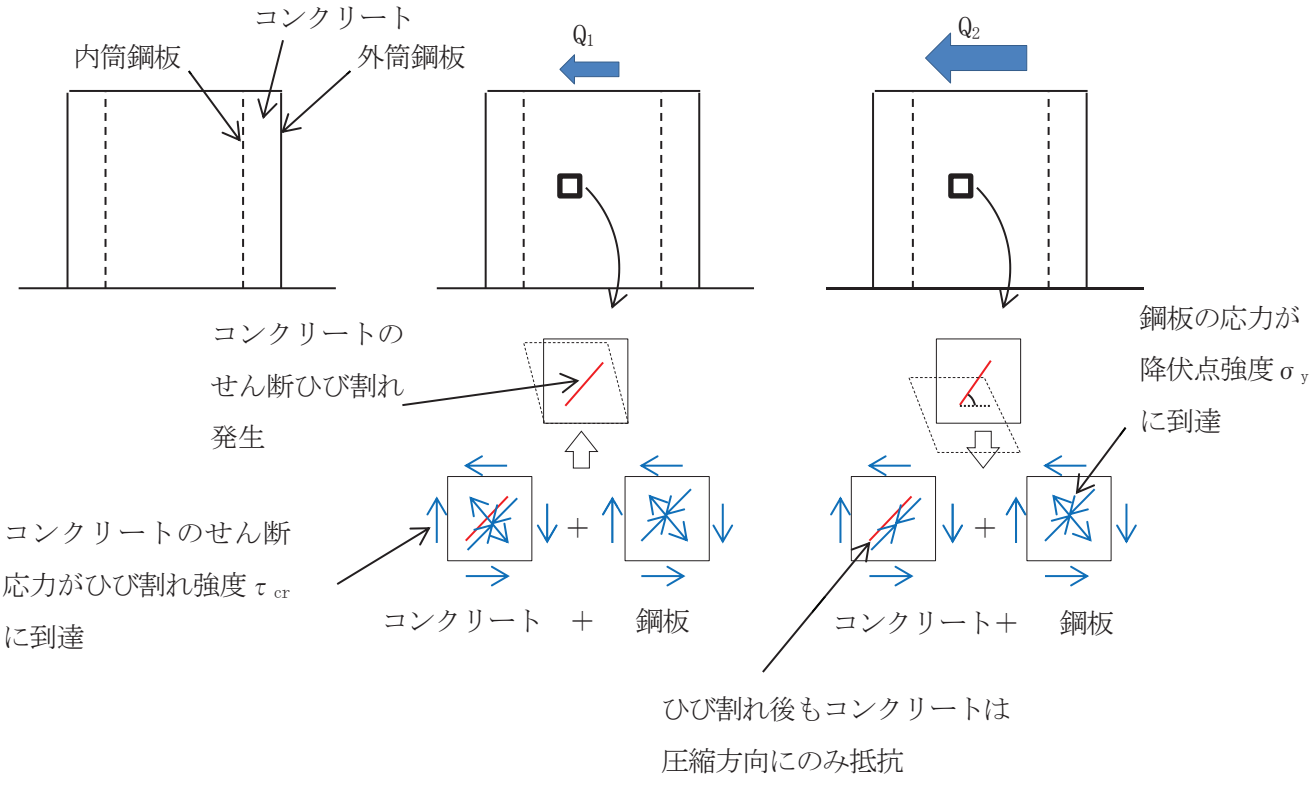



図 2-10　RPV ペデスタルのせん断変形の状態概念図

a.　RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点

（第１折点）

・構造特性の反映点は無い。

（第２折点）

・コンクリートの圧縮ストラット角度 $\theta$ に RPV ペデスタルの構造に合わせた角度を入力することでせん断剛性を算出する。

b.　反映後の評価式

（第１折点）

$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr}$

$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$

ただし，$\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$

$A_c$　：コンクリートのせん断断面積(mm$^2$)

$A_s$　：鋼板のせん断断面積(mm$^2$)

$G_c$　：コンクリートのせん断弾性係数(N/mm$^2$)

$G_s$　：鋼板のせん断弾性係数(N/mm$^2$)

$E_c$　：コンクリートのヤング係数(N/mm$^2$)

$E_s$　：鋼板のヤング係数(N/mm$^2$)

$\tau_{cr}$　：コンクリートのせん断ひび割れ強度(N/mm$^2$)

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度(N/mm$^2$)

RPV ペデスタルコンクリートの設計基準強度＝32.3(N/mm$^2$)

$\sigma_v$　：鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度(N/mm$^2$)

（RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力）

／（(各鋼板の断面積の和）×（$E_s/E_c$）＋（コンクリート部の断面積)）

第 1 折点は，RPV ペデスタルのコンクリートと鋼板を考慮したせん断断面積（コンクリートのせん断断面積 $A_c$ 及びそれと等価なペデスタル鋼板のせん断断面積（$G_s/G_c$）・$A_s$ の和）にコンクリートのせん断ひび割れ強度 $\tau_{cr}$ を乗じた値，すなわち RPV ペデスタルコンクリート部にせん断ひび割れが発生する点の$Q$，$\gamma$ を表している。

（第２折点）

$$Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$$

ただし，$K_\alpha = A_s \cdot G_s$

$A_s$：鋼板のせん断断面積(㎟)

$G_s$：鋼板のせん断弾性係数(N/㎟)

$K_\alpha$：鋼板のせん断剛性

$K_\beta$：ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

$\sigma_y$：鋼板の降伏点強度(N/㎟)

第１折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（圧縮ストラット角度θの方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し，鋼板と一体となってせん断力に抵抗する。

第２折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$は，SC 規程の附属書 2.1 解説及びコンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見[(1)]に示される以下の理論式を用いて，$Q_c = K_\beta \cdot \gamma$，$\delta = H \cdot \gamma$の関係より算出する。

$$Q_C = \frac{(cos\theta)^2}{2\left[\frac{1-\nu_C^2}{E_C' \cdot t_C \cdot sin2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{cos\theta}{sAx} - \frac{sin\theta}{sAy}\nu_S\right)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{sin\theta}{sAy} - \frac{cos\theta}{sAx}\nu_S\right)$$

ここで，

$Q_c$　：コンクリートの受け持つせん断力(N)

$\delta$　：水平変位(㎜)

$\gamma$　：せん断ひずみ度

$E_c$’　：コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で，コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。(N/㎟)

$E_s$　：鋼材のヤング係数(N/㎟)

$t_c$　　：コンクリート板厚(mm)

$\nu c$　　：コンクリートのポアソン比

$\nu s$　　：鋼材のポアソン比

L　　：隔壁の間隔(mm)

H　　：隔壁の高さ(mm)

sAy　　：鋼材の水平断面の断面積(mm2)

sAx　　：鋼材の鉛直断面の断面積(mm2)

$\theta$　　：圧縮ストラット角度（$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right)$）

（$\theta$=45°とした場合の評価式がSC規程に例示されている。）

ここで，コンクリートの圧縮ストラット角度$\theta$は，RPVペデスタルの縦リブ鋼板（隔壁）で分断された区画ごとに等価矩形断面に置換し，実際の構造に合わせた値を設定する。

$\theta$は，水平鋼板が設置されている層を考慮し，要素①・②，要素③及び要素④に分けて，縦リブ鋼板（隔壁）及び円筒鋼板並びにそれらに囲まれたコンクリートを１つのSC構造体として，その対角線（鋼板の間隔L及び高さH）にコンクリートひび割れが発生すると仮定して設定する。

各々の$\theta$を用いて$K_\beta$（ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性）を算出し，それぞれ足し合わせることで各層の$K_\beta$を算出し，上に示したSC規程式に代入し，$Q_2$，$\gamma_2$を求める。

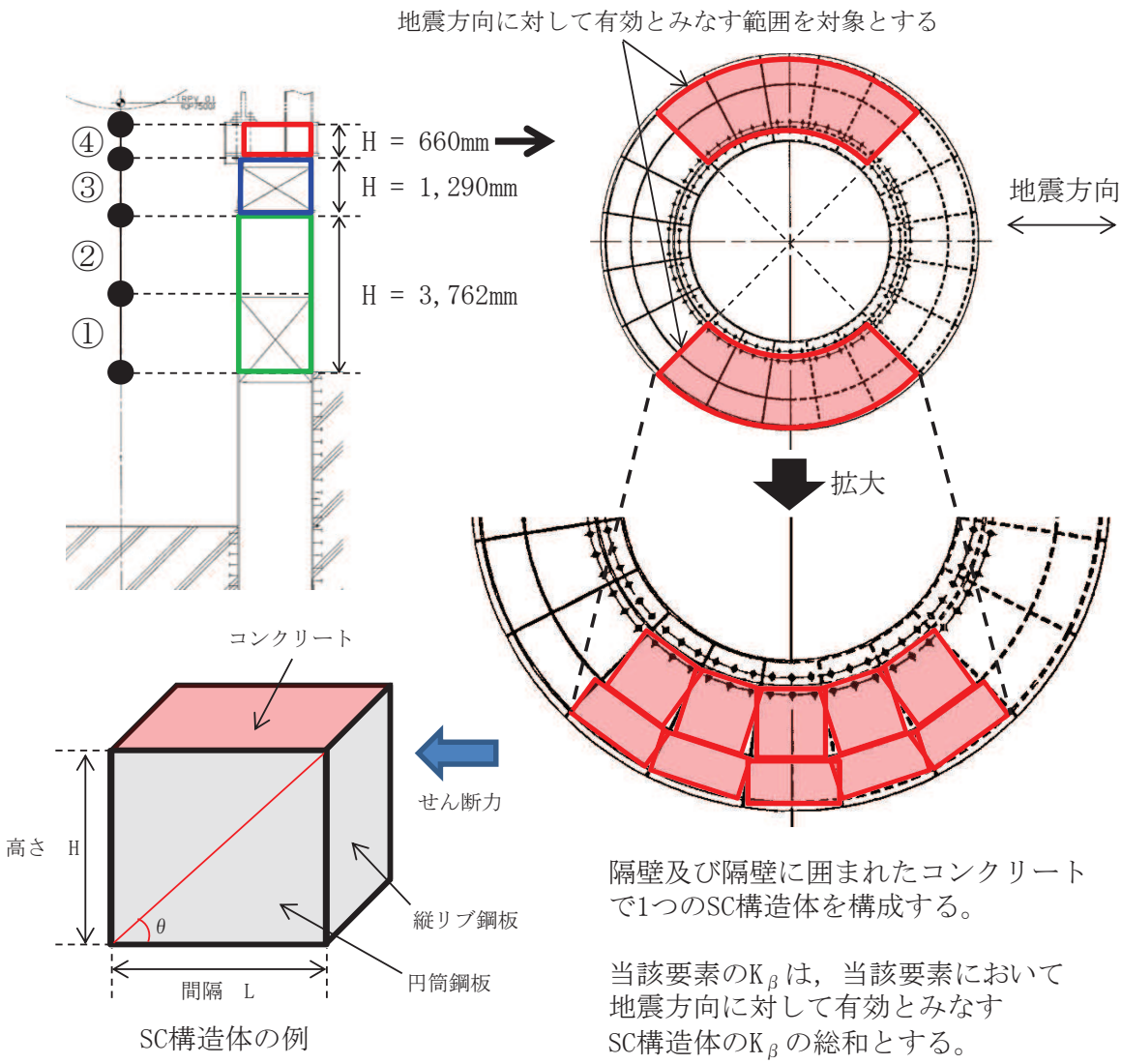



図 2-11　RPV ペデスタルの隔壁構造の概念図（要素④を例示）

表 2-7　せん断に対する実機 RPV ペデスタルの構造特性を踏まえた評価式

| 変形特性 | | SC 規程 | 構造特性を踏まえた評価式 | RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点 |
|---|---|---|---|---|
| せん断変形 | 第１折点 | $Q_1 = \left(A_c + \frac{G_s}{G_c} \cdot A_s\right) \cdot \tau_{cr}$<br>$\gamma_1 = \frac{\tau_{cr}}{G_c}$<br>ただし<br>$\tau_{\mathrm{cr}} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot \left(0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v\right)}$ | 同左<br>（構造特性の反映点無し） | － |
| | 第２折点 | $Q_2 = \frac{\left(K_\alpha + K_\beta\right)}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$<br>$\gamma_2 = \frac{Q_2}{\left(K_\alpha + K_\beta\right)}$<br>ただし，<br>$K_\alpha = A_s \cdot G_s$ | 同左<br>（構造特性の反映点無し） | － |
| | | $K_\beta = \frac{1}{\frac{4}{(A_c \cdot E_c')} + \frac{2(1-\nu_s)}{(A_s \cdot E_s)}}$ | $K_\beta$：SC 規程の附属書 2.1 解説を参考に設定 | 圧縮ストラット角度 $\theta$ は，縦リブ鋼板及び円筒鋼板並びにそれらに囲まれたコンクリートを一つの SC 構造体として，その対角線（鋼板の間隔Ｌ及び高さＨ）にコンクリートひび割れが発生すると仮定する。<br>SC 規程の附属書 2.1 及び既往知見[(1)]に示される理論式を用い，実際の $\theta$ に合わせた値を設定した。 |

## 2.4　構造の特徴に応じた追加検討事項の妥当性

### 2.4.1　妥当性の確認対象

構造の特徴に応じた追加検討により復元力特性の評価式へ反映する事項の妥当性の確認は，既往の加力試験の結果を活用して行う。なお，追加検討事項のうち，水平リブによるコンクリートの分断については，単純にコンクリート断面積の減少を反映しているのみであることから妥当性の確認は不要とする。

表 2-8　追加検討事項の妥当性確認対象

| RPV ペデスタルの構造の特徴 | | 追加検討事項の妥当性確認 | |
|---|---|---|---|
| | | ○：要<br>×：不要 | 内容（検証不要の場合はその理由） |
| 共通 | 隔壁方式 | ○ | ・せん断の第２折点を求める際の構造に応じた圧縮ストラット角度の仮定<br>・せん断力に対して有効とみなす範囲を全断面の半分と仮定<br>・曲げの第１折点を求める際，コンクリートの引張に対する抵抗を無視 |
| | 円筒型 | ○ | |
| 要素③，④ | 水平鋼板 | ○ | |
| | 中間鋼板 | × | ・隔壁方式の構造の一部を成すものであるため，隔壁方式の妥当性確認に包絡される |
| 要素①，② | 水平リブ | × | ・単純にコンクリート断面積の減少を考慮すればよいため，妥当性の確認は不要 |

2.4.2　確認方法

追加検討事項を反映した復元力特性の評価式を用いて作成した，既往の試験体の荷重－変形特性と試験で実測された試験体の荷重－変形特性の整合性を確認することにより，追加検討事項の妥当性を判断する（スケルトンカーブの作成方法，荷重－変形特性の作成方法は，それぞれ別紙-3 及び別紙-4 参照)。

妥当性確認が必要となる構造上の特徴は，隔壁方式であること，円筒型であること及び要素③，④のコンクリートが水平鋼板によって分断されていることである。既往の試験は，ABWR の RPV ペデスタルを模擬した試験体で実施しており，試験体が隔壁方式であること及び円筒型であることは，女川 2 号機 RPV ペデスタルと共通の構造である。なお，試験体には，ベント管を内蔵する部分と内蔵しない部分があるが，女川 2 号機 RPV ペデスタルの構造は，試験体のベント管を内蔵しない部分と類似した構造のため，ベント管を内蔵しない部分と同様の考え方で評価することができる。また，試験体では，ベースプレートによって上下のコンクリートが分断されているのに対し，女川 2 号機 RPV ペデスタルでは，水平鋼板によって上下のコンクリートが分断されていることから，同様の考え方で評価することができる。

このように，試験体と女川 2 号機 RPV ペデスタルの構造特徴が類似していることから，ABWR の RPV ペデスタルを模擬した試験結果を用いた妥当性の確認が可能である（表 2-9，図 2-12，加力試験の内容は別紙-5 参照)。

表 2-9　RPV ペデスタルと試験体の構造の比較

| RPV ペデスタルの構造の特徴 | | 追加検討事項の妥当性確認の要否（表 2-8 再掲） | 実機と試験体の差異 | |
|---|---|---|---|---|
| | | ○：対象<br>×：対象外 | ○：差異なし<br>×：差異あり | 差異ありの理由 |
| 共通 | 隔壁方式 | ○ | ○ | － |
| | 円筒型 | ○ | ○ | － |
| 要素③，④ | 水平鋼板 | ○ | ○ | － |

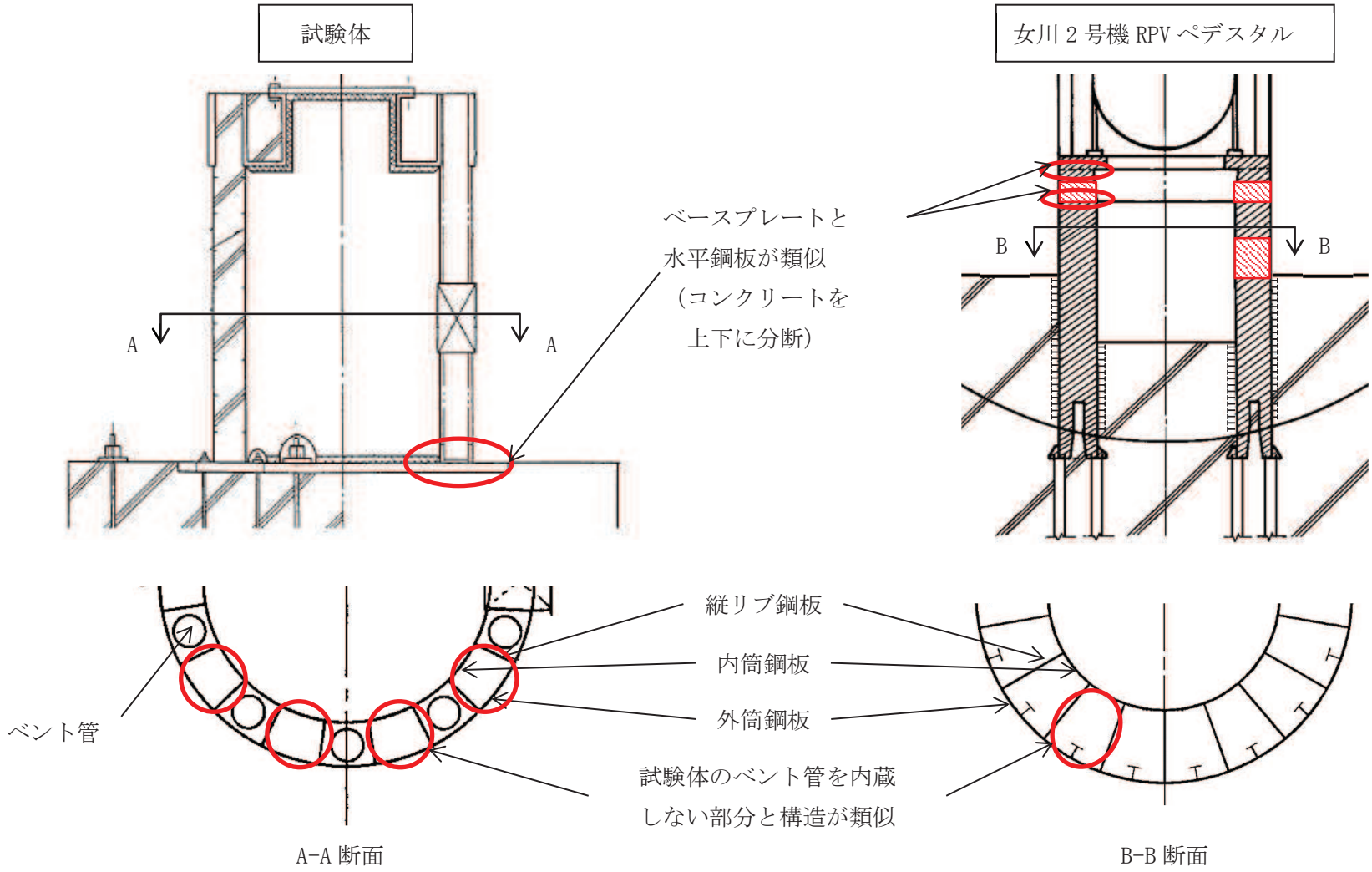



図 2-12　試験体と女川 2 号機 RPV ペデスタルの構造

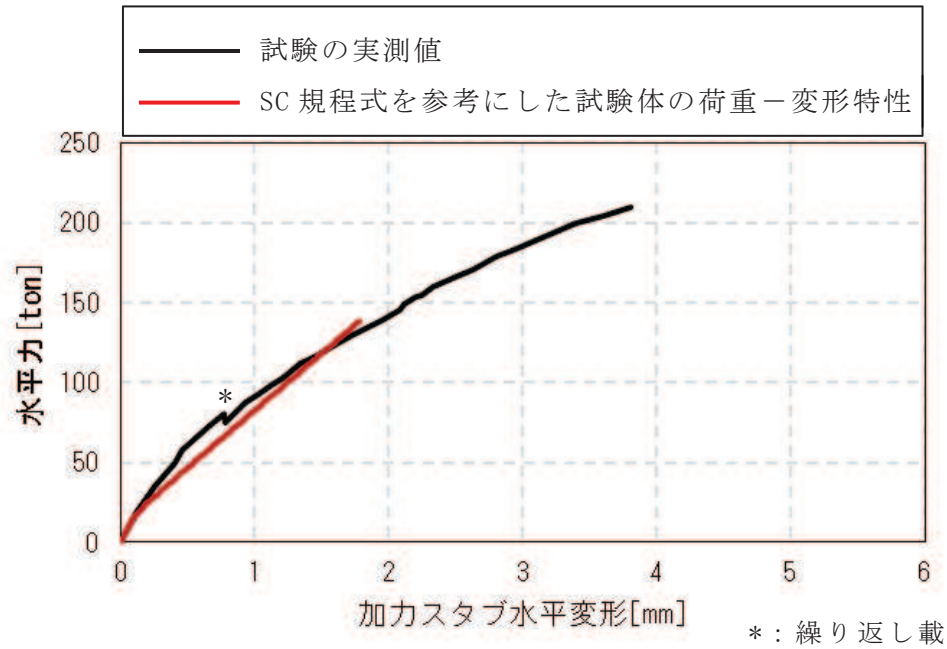
### 2.4.3　確認結果

2.3 項で設定した SC 規程式を参考にした試験体の曲げ及びせん断のスケルトンカーブを用いた荷重－変形特性を作成し，試験で実測された荷重－変形特性との比較を行った。なお，試験で実測された荷重－変形特性については，全体変形を曲げ変形及びせん断変形に分離して比較する(分離方法の詳細は，別紙-4 参照)。

図 2-13(a)に曲げ変形における荷重－変形特性，第図 2-13(b)にせん断変形における荷重－変形特性，図 2-13(c)に試験結果全体としての荷重－変形特性を示す。また，今回適用範囲としている鋼板降伏までの範囲近傍を拡大した荷重-変形特性を図 2-13(d)に示す。

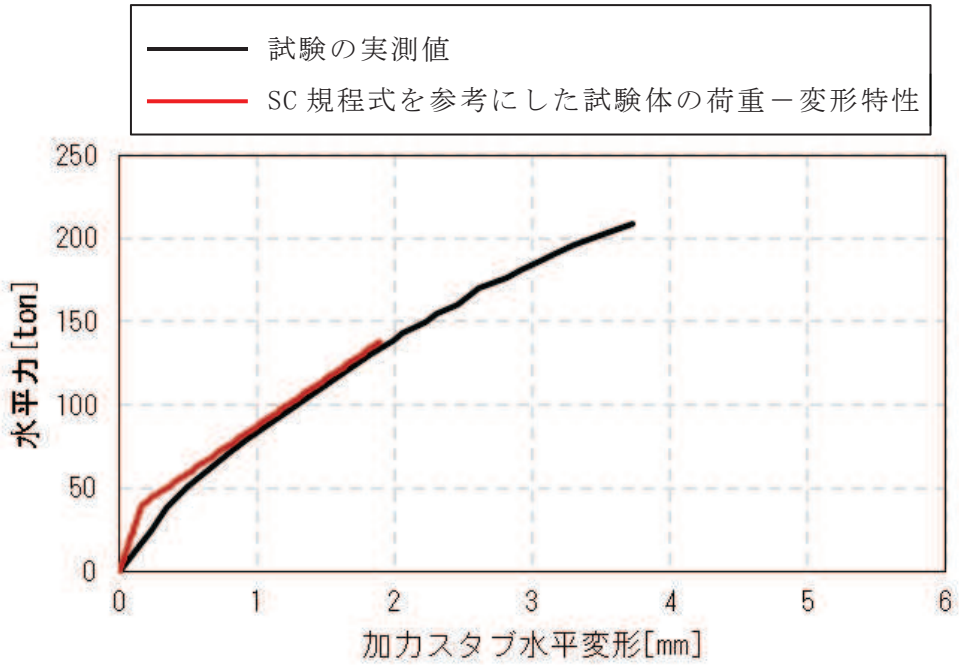
今回適用範囲としている鋼板降伏までの範囲において，SC 規程式を参考にした試験体の荷重－変形特性は，試験結果とよく一致していることから，SC 規程の評価式に対し，RPV ペデスタルの構造の特徴を踏まえて追加検討して設定した以下の妥当性を確認した。

・複雑な形状によるコンクリートの不連続部に対する評価上の扱い
（曲げの第１折点を求める際，コンクリートの引張に対する抵抗を無視）
・せん断力に対して有効とみなす範囲を全断面の半分と仮定
・せん断の第２折点を求める際の構造に応じた圧縮ストラット角度
（鋼板に囲まれたコンクリートの対角上にひび割れが発生する）



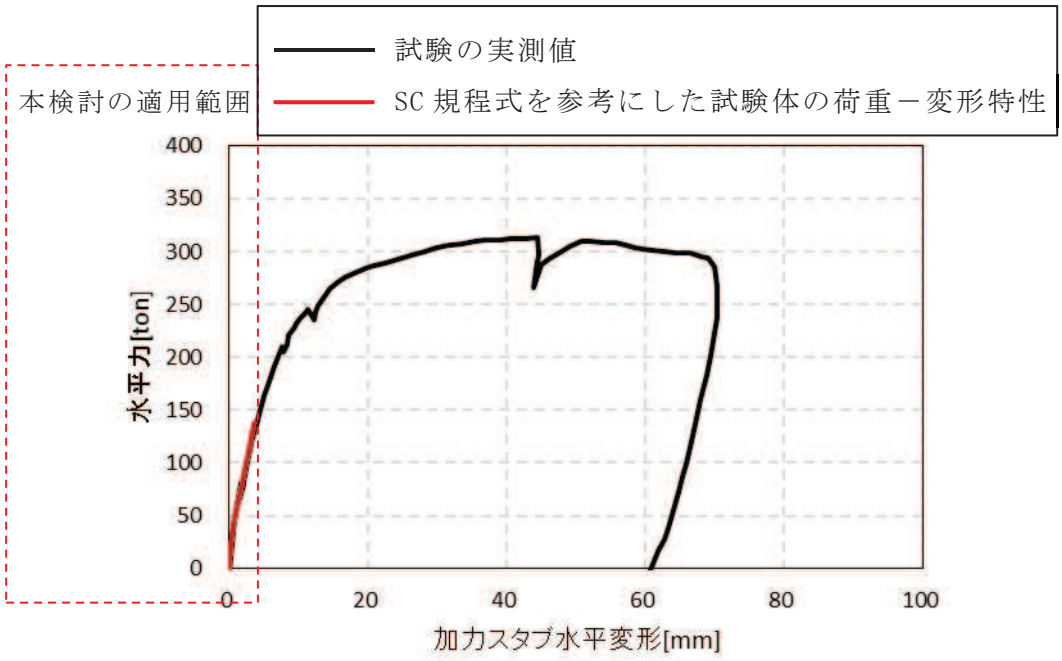

＊：繰り返し載荷した試験結果を包絡したことによる不連続点

(a)曲げ変形の比較

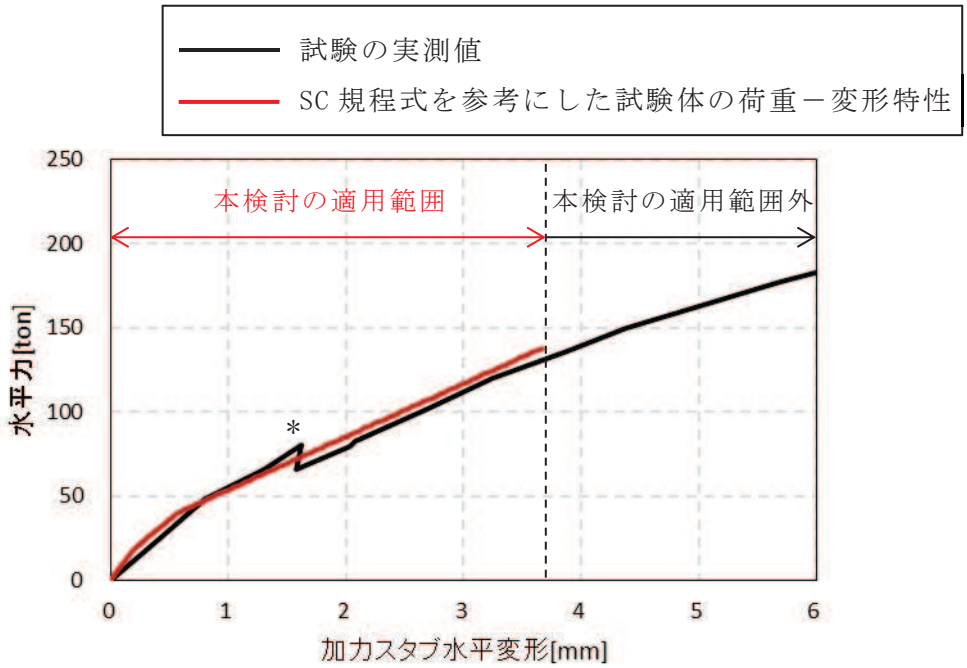



(b)せん断変形の比較

図 2-13　荷重－変形特性の比較（1/2）




(c)荷重－変形特性の比較（試験結果全体での比較）




(d)適用範囲近傍の拡大図

＊：繰り返し載荷した試験結果を包絡したことによる不連続点

図 2-13　荷重－変形特性の比較（2/2）

## 3　履歴特性の設定

### 3.1　検討目的

地震応答解析で応答が第 1 折点を超える場合は，線形時の減衰定数（一定値）に加え，採用した復元力特性による履歴減衰を考慮する。

RPV ペデスタルについても応答が第 1 折点を超えることから，復元力特性を実機に適用するに当たり，載荷と除荷の繰り返しに対する履歴特性を設定する必要がある。設定する履歴特性に応じて履歴減衰が異なることから，保守性に配慮し，履歴減衰による消費エネルギーが小さくなる履歴特性を設定する。

### 3.2　検討方法

既往の検討[(5)]において，SC 規程で定められている履歴特性及び実機を模擬した試験体の加力試験結果[(2)]から得られた結果に近い履歴特性を適用した場合の地震応答解析におけるひずみエネルギーに関する知見が示されている。女川 2 号機においては，この知見が適用可能であることを確認し，履歴減衰による消費エネルギーがより小さくなる履歴特性を設定する。

既往の検討における検討ケース及び検討結果を以下に示す。

### 3.3　検討ケース

履歴特性に関するパラメータスタディの検討ケースを表 3-1 に示す。

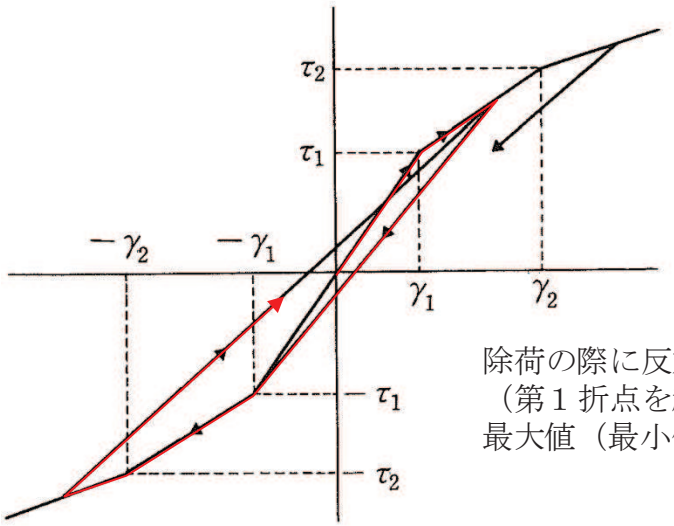
ケースＡは，SC 規程を踏まえて，曲げとせん断の双方ともに最大点指向型の履歴特性を採用したケースである。

ケースＢは，曲げに対する履歴特性に，加力試験結果を踏まえた現実的なもの（ディグレイディングトリリニア型）を採用し，せん断に対しては，ひずみエネルギー吸収性能がより小さい原点指向型の履歴特性を採用したケースである。

参考として，最大点指向型，ディグレイディングトリリニア型及び原点指向型の履歴特性のイメージを図 3-1～図 3-3 に示す。

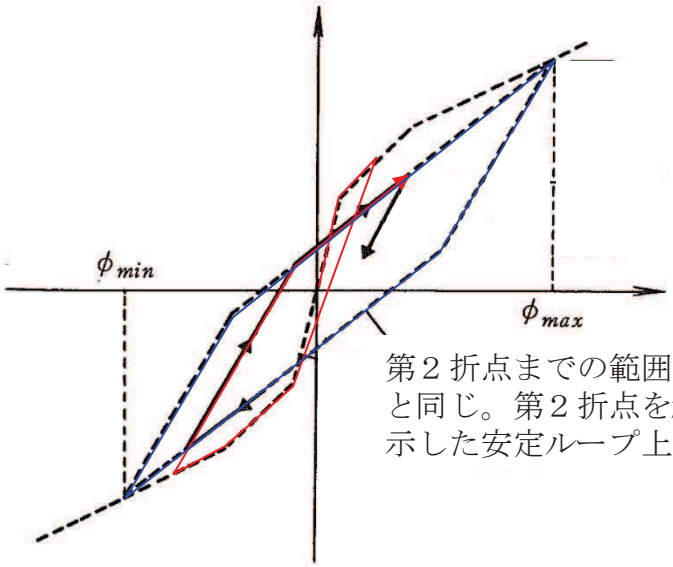
表 3-1　履歴特性に関するパラメータスタディ

| ケース | 曲げ | せん断 |
|---|---|---|
| ケースA<br>（SC 規程準拠） | 最大点指向型 | 最大点指向型 |
| ケースB | ディグレイディング<br>トリリニア型 | 原点指向型 |




除荷の際に反対側の第１折点（第１折点を超えている場合は最大値（最小値））に向かう。

図 3-1　履歴特性のイメージ（最大点指向型）




第２折点までの範囲は最大点指向型と同じ。第２折点を超えると青線で示した安定ループ上を移動する。

図 3-2　履歴特性のイメージ（ディグレイディングトリリニア型）

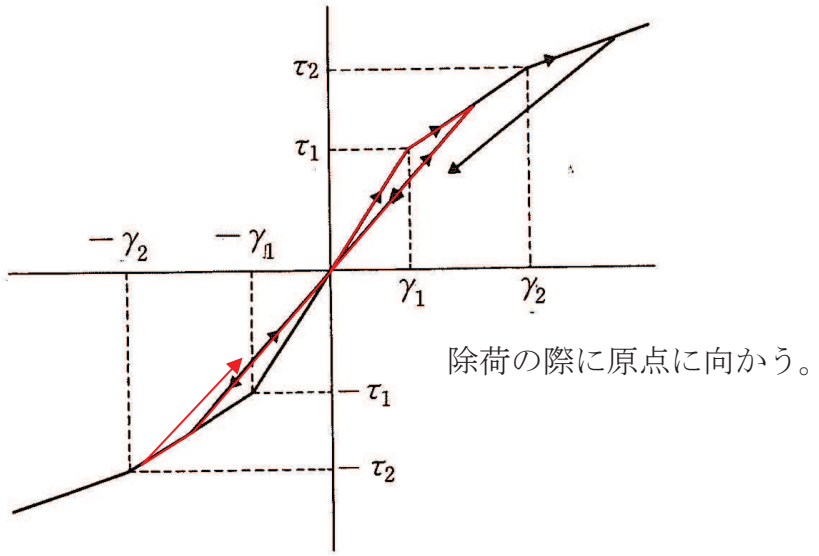
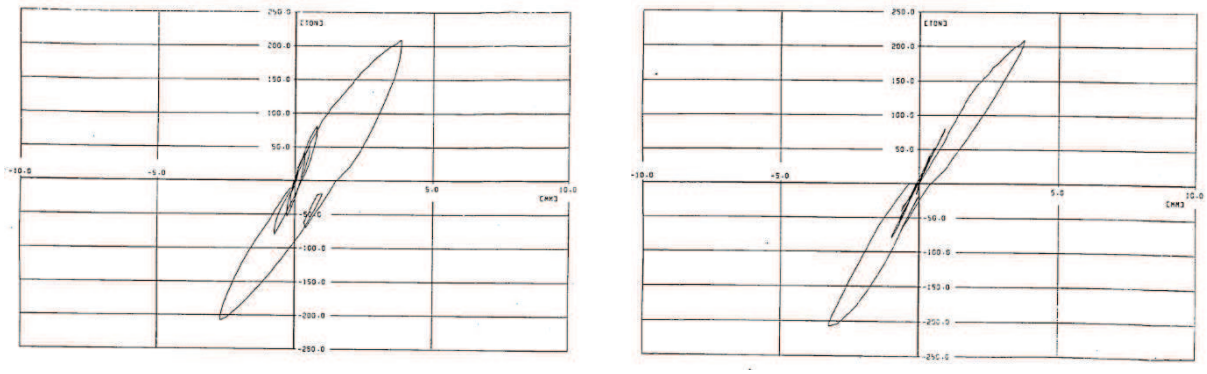



図 3-3　履歴特性のイメージ（原点指向型）

3.4　検討結果

加力試験結果の履歴特性に関して，鋼板の降伏点近傍までの全体変形を曲げ変形とせん断変形に分離した荷重-変位関係を図 3-4 に示す。この図から，曲げ変形の履歴特性は，ディグレイディングトリリニア型に近い紡錘型の安定したループ形状を示しており，せん断変形よりも履歴減衰が大きい傾向にあることが分かる。

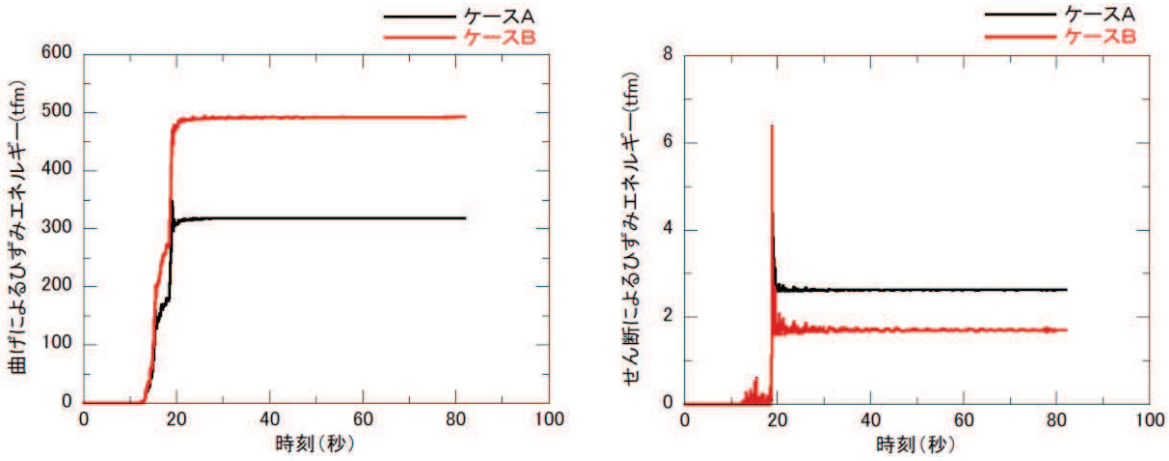


（a）荷重－曲げ変形関係　　（b）荷重－せん断変形関係

図 3-4　実験における曲げ及びせん断の履歴特性（参考文献(2)から引用）

履歴減衰による消費エネルギーの累積値を比較したものを図 3-5 に示す。曲げによる消費エネルギーは，せん断による消費エネルギーと比べると 2 桁大きいオーダーの値を示しており，消費エネルギーの観点からは曲げによる影響が大きく支配的であるといえる。

さらに，曲げによる消費エネルギーは，試験結果に近いディグレイディングトリリニア型を採用したケースＢでは，ケースＡの 1.5 倍以上のエネルギーが消費されていることが示された。




（a）曲げ　　（b）せん断

図 3-5　曲げ及びせん断によるひずみエネルギーの比較(参考文献(5)から引用)

3.5　女川原子力発電所 2 号機への適用性

女川 2 号機の RPV ペデスタルは，加力試験の試験体と同様に円筒型，隔壁方式の構造物であることから,曲げ及びせん断に対して,同様の変形挙動を示すと考えられる。したがって，3.4 項に示したとおり，曲げによるエネルギーの消費が支配的であり，せん断によるエネルギーの消費は極めて小さい。

このことから，曲げによる消費エネルギーが小さくなるような最大点指向型の履歴特性を適用することは妥当であると考えられる。なお，せん断の履歴特性は，SC 規程を参照し，加力試験の結果に近い最大点指向型を採用する。

参考文献

(1)　松尾　他：鋼板コンクリート耐震壁に関する研究　その３　せん断荷重-変形関係の解析　日本建築学会大会学術講演梗概集，平成 4 年 8 月

(2)　東京電力株式会社，東北電力株式会社，中部電力株式会社，北陸電力株式会社，中国電力株式会社，日本原子力発電株式会社，株式会社 東芝，株式会社 日立製作所：共同研究報告書「コンクリート PCV の構造評価および基準確立のための実証試験」，昭和 62 年度上半期（最終報告書），昭和 62 年 9 月

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版

(4)　鋼板コンクリート構造耐震設計技術規程　ＪＥＡＣ４６１８-2009

(5)　有限責任中間法人　日本原子力技術協会　中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会：中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価平成 20 年度中間報告，JANTI-SANE-02，平成 21 年 4 月

# 地震応答解析モデルにおける RPV ペデスタルの減衰定数

## 1. 地震応答解析における RPV ペデスタルの減衰定数

地震応答解析に用いる RPV ペデスタルの減衰定数は，既工認と同じく 5%を適用する。RPV ペデスタルは，鋼板円筒殻の内部にコンクリートを充填した構造である。本構造の減衰定数は，原子力発電所耐震設計技術指針（ＪＥＡＧ４６０１-1987）に示される減衰定数のうち，RC 構造物の減衰定数を準用し，5%とする。これは，RPV ペデスタルの減衰が，材料の内部粘性減衰及び鋼板とコンクリートの間の摩擦減衰等で生じ，これらが鉄筋コンクリートと同等である，という工学的判断による。また，重大事故等時の減衰定数も，上記の考え方に従い，RC 構造物と同じ 5%を適用する。

上記の減衰定数は，以下の運動方程式の減衰マトリックス[c]の値として考慮する。

$$[\mathrm{m}]\{\ddot{u}\} + [\mathrm{c}]\{\dot{u}\} + [\mathrm{k}]\{u\} = \ -[\mathrm{m}]\{H\}\Delta\ddot{\alpha}$$

ここで

[m]：質量マトリックス

[k]：剛性マトリックス

[c]：減衰マトリックス

$\{u\}$：変位マトリックス

$\{H\}$：入力ベクトル

$\Delta\ddot{\alpha}$：地震加速度

固有円振動数と固有モードは次式により求める。

$$([\mathrm{k}] - \omega_i{}^2[\mathrm{m}])\{\emptyset_i\} = \{0\}$$

ここで

$\omega_i$：ｉ次の固有円振動数

$\{\emptyset_i\}$：ｉ次振動モードの固有ベクトル

このときの減衰マトリックス[c]は次式により求める。

$$[\mathrm{c}] = [\mathrm{m}]\left(\sum_i \{\emptyset_i\}\,\eta_i\{\emptyset_i\}^T\right)[m]$$

ここで

$$\eta_i = \frac{2 \cdot h_i \cdot \omega_i}{M_i}$$

$$M_i = \{\emptyset_i\}^T[m]\{\emptyset_i\}$$

$M_i$：ｉ次のモード換算質量

$h_i$：ｉ次のモード減衰定数

なお，モード減衰定数は各次モードにおける各部材のひずみエネルギーに比例するものとして，次式により求める。

$$h_i = \frac{\sum_j \left(h^j \cdot E_i^j\right)}{\sum_j E_i^j}$$

$$E_i^j = \frac{1}{2}\{\phi_i^j\}^T [k^j]\{\phi_i^j\}$$

ここで

$E_i^j$：ｉ次振動モードにおけるｊ部材のひずみエネルギー

$h^j$：ｊ部材の減衰定数

$[k^j]$：ｊ部材の初期剛性マトリックス

$\{\phi_i^j\}$：ｉ次振動モードにおけるｊ部材の材端変位ベクトル

上記で求めた減衰マトリックス[c]は，復元力特性上の線形領域（第１折点以下）及び第１折点を超えた弾塑性領域で同じ値として適用される。

2.　RPV ペデスタルの履歴特性による減衰効果

弾塑性解析では１項で示すとおり，減衰マトリックス[c]は，復元力特性上の線形領域（第１折点以下）及び第１折点を超えた弾塑性領域でも同じ値を適用する。剛性マトリックス[k]は，第１折点を超えた弾塑性領域では履歴特性上の位置に応じて変化する。この変化により描かれる履歴ループでエネルギー消費が行われ，減衰効果となる。

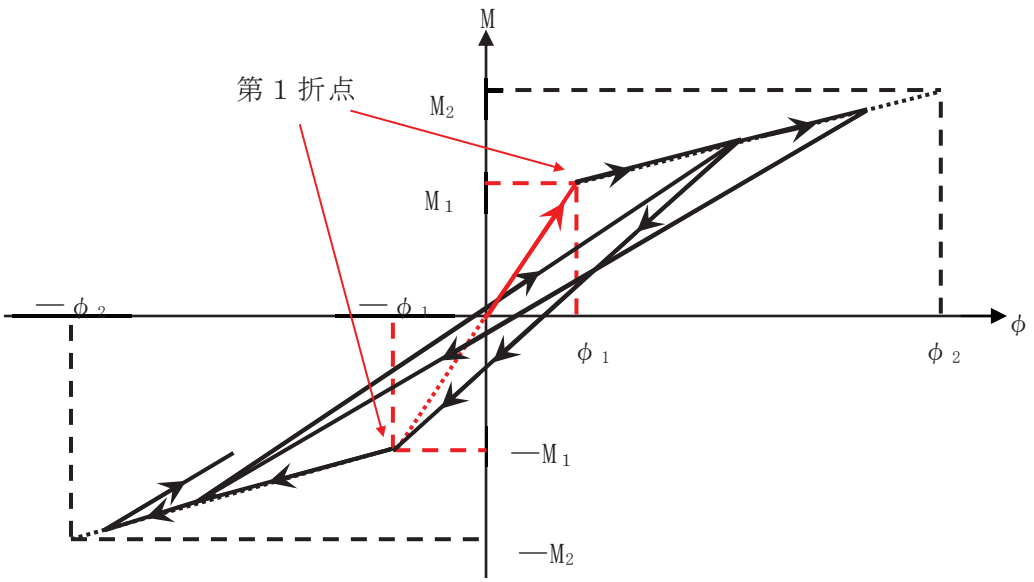



図 1-1　最大点指向型の履歴特性の例（曲げモーメント）

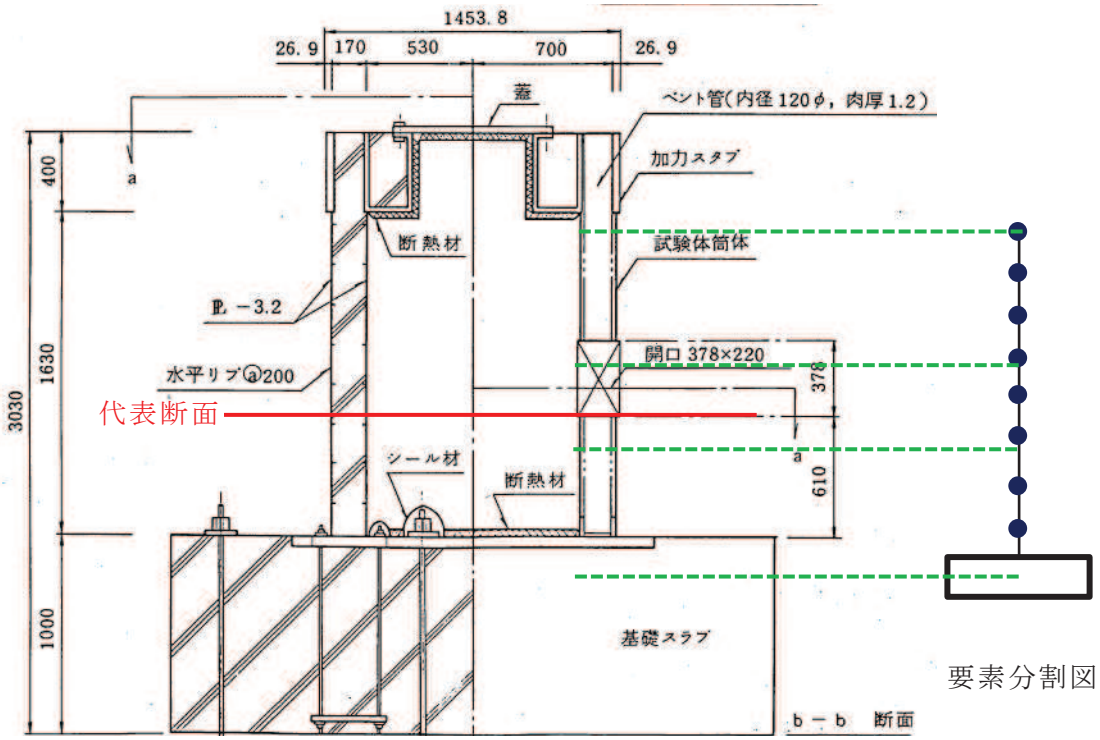
# SC 規程を参考にした RPV ペデスタルのスケルトンカーブ導出過程

## 1. SC 規程を参考にした試験体のスケルトンカーブ導出過程

SC 規程を参考にし，RPV ペデスタルの復元力特性を設定した際の追加検討事項の妥当性を確認するため，追加検討事項を反映した復元力特性の評価式を用いて作成した既往の試験体の荷重－変位特性と，試験で実測された試験体の荷重－変位特性の整合性を確認することにより，追加検討事項の妥当性を判断している。

ここでは，妥当性検証に用いた，SC 規程を参考にした試験体の曲げ及びせん断のスケルトンカーブの導出過程を説明する。

また，試験体の加力方向は 1 方向であるため，スケルトンカーブの設定は加力方向 1 方向に対して行う。なお，試験体は各層共通してベント管を内蔵していることから，より複雑な構造である開口部を有する断面を具体的計算過程提示の代表として抽出した。（図 1-1）



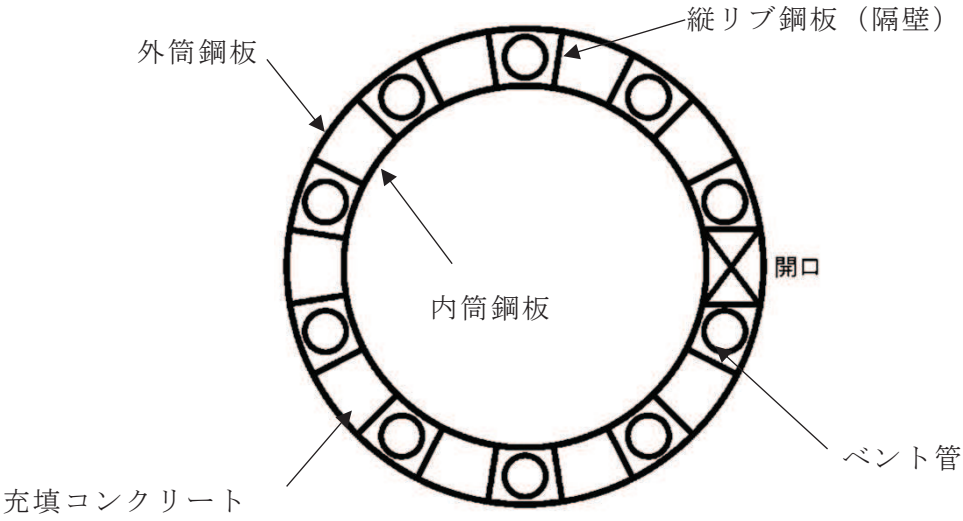




図 1-1　スケルトンカーブ設定の具体的計算過程提示の代表断面

## 2. 試験体のスケルトンカーブの計算過程

### 2.1 曲げのスケルトンカーブ導出過程

#### 2.1.1 試験体の構造特性を踏まえた評価式

（第 1 折点）

- $M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$　ただし，$f_t = 0$ とする。*
- $\phi_1$ は初期剛性と $M_1$ の交点（$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$）

注記＊：下部ペデスタルはコンクリート部がベースプレートにて完全に分断されておりコンクリート部の引張による抵抗が期待できないため $f_t = 0$ となる。

$Z_e$　：鋼板を考慮したコンクリートの断面係数(mm$^3$)（$= I_e / (D / 2)$）

$D / 2$　：中心から最外縁までの距離（D は最外直径）

$f_t$　：コンクリートの曲げ引張強度(N/mm$^2$)（$= 0.38\sqrt{\sigma_B}$）

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度(N/mm$^2$)

RPV ペデスタルコンクリートの設計基準強度＝29.4(N/mm$^2$)

$\sigma_v$　：鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度(N/mm$^2$)

（RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力）／（(各鋼板の断面積の和）×（$E_s / E_c$）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積））

$E_c$　：コンクリートのヤング係数(N/mm$^2$)

$E_s$　：鋼板のヤング係数(N/mm$^2$)

$I_e$　：鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント(mm$^4$)

（各鋼板の断面二次モーメントの和）×（$E_s / E_c$）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント）

第 1 折点は，RPV ペデスタル円筒部の曲げ引張側の死荷重による圧縮応力（$\sigma_v$）が 0 となる時点の M 及び $\phi$ を表している。

（第 2 折点）

- $M_2 = M_y$
- $\phi_2 = \phi_y$

$M_y$：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$：鋼板降伏時曲率（1/mm）

2.1.2　具体的計算過程

（第 1 折点）

ベント管及びアクセストンネルを模擬した開口による断面欠損を考慮し算出する。（図 2-1）

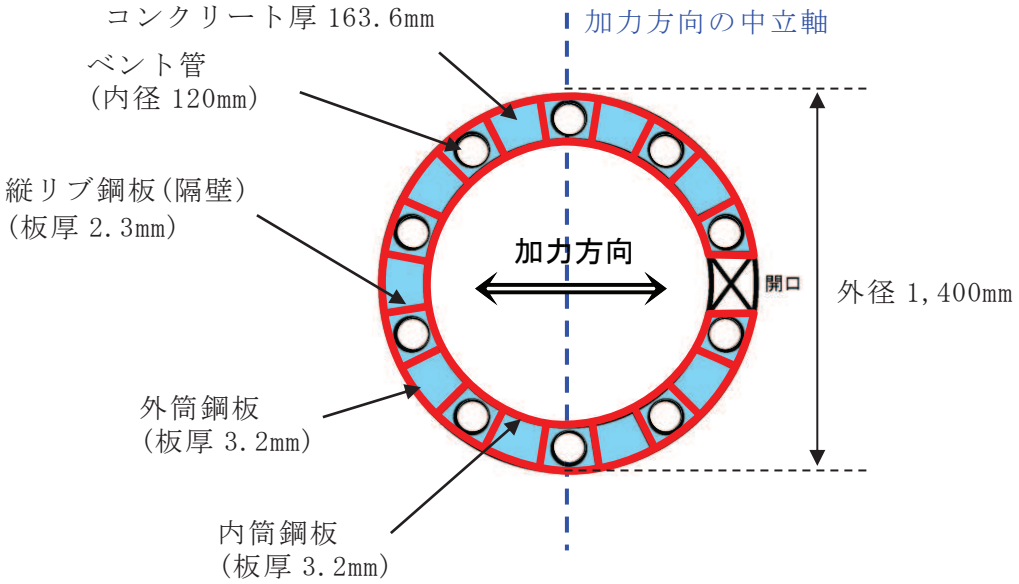



図 2-1　断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面

（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値は，試験体の規格値を用いる。また，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，実機 RPV ペデスタルと同様に求める（表 2-1，表 2-2）。

コンクリートのヤング係数 $E_c$ は，既工認と同様に鉄筋コンクリート構造計算規準に基づいて，コンクリートの単位体積重量 $\gamma$ =2.3t/m$^3$ 及び設計基準強度を用いて求める。

$$E_c = 2.1\times10^5 \times \left(\frac{\gamma}{2.3}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{\sigma_B}{200}}$$

$$= 2.6\times10^5 (kg/cm^2)$$

$$= 2.55\times10^4 (N/mm^2) \cdots\cdots (式\ 2.1)$$

表 2-1　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのヤング係数$E_c$ | 25,500 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準（式 2.1） |
| 鋼板のヤング係数$E_s$ | 192,000 ($N/mm^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートの圧縮強度$\sigma_B$ | 29.4 ($N/mm^2$)<br>(300($kg/cm^2$)) | 設計基準強度 |

表 2-2　各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| コンクリート部の断面二次モーメント$I_c$ | $9.91886\times10^{10}$ ($mm^4$) | 図 2-1 の水色部分 |
| 各鋼板の断面二次モーメントの和$I_s$ | $5.0359\times10^{9}$ ($mm^4$) | 図 2-1 の赤線部分 |
| コンクリート部の断面積$A_{n,c}$ | $5.19\times10^{5}$ ($mm^2$) | 図 2-1 の水色部分 |
| 各鋼板の断面積の和$A_{n,s}$ | $2.85\times10^{4}$ ($mm^2$) | 図 2-1 の赤線部分 |

各部材断面の断面二次モーメント（表 2-2）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント$I_e$を求める。

$$I_e = I_s\times(E_s/E_c) + I_c = 3.79174\times10^{10} + 9.91886\times10^{10}$$
$$= 1.37106\times10^{11}(mm^4) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 2.2）}$$

中心から最外縁までの距離D／2＝700mm（Dは最外直径）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面係数$Z_e$を求める。

$$Z_e = I_e/(D/2) = 1.95866\times10^{8}(mm^3) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 2.3）}$$

試験体に負荷される鉛直方向のプレストレス力による鉛直方向の軸力N（＝$9.23\times10^{5}$(N)）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度$\sigma_v$を求める。

$$\sigma_v = N/(A_{n,s}\times(E_s/E_c) + A_{n,c}) = 1.26(N/mm^2) \cdots\cdots\cdots \text{（式 2.4）}$$

以上の式から，第１折点の曲げモーメント$M_1$及び曲率$\phi_1$を算出する。

$M_1 = Z_e \cdot \sigma_v = \underline{2.47 \times 10^2 (kN \cdot m)}$ ····· （式 2.5）

$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{7.06 \times 10^{-5} (1/m)}$ ····· （式 2.6）

（第 2 折点）

ファイバーモデルは，有限要素法におけるはり部材のモデルの 1 つであり，構造物の断面欠損を考慮した非線形特性を評価することができる。RPV ペデスタルの開口による断面欠損を考慮し，ファイバーモデルを用いて漸増させる荷重（モーメント）に対する収束計算により，中立軸と曲率を求め，鋼板とコンクリートの応力度 $\sigma$ とひずみ $\varepsilon$ を導出する。

鋼板が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率が，それぞれ第２折点のモーメント $M_2$ 及び曲率 $\phi_2$ となる。

● モデル化方法

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化する際は，ベント管及びアクセストンネルを模擬した開口によるコンクリート及び鋼板の断面欠損を考慮した等価板厚を用いる。（添付 2-3 図参照）

本計算に用いるコンクリートの応力度 $\sigma$ とひずみ $\varepsilon$ の関係は，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（JSME S NE1-2003）[(1)]を参考に，CEB-FIP[(2)]モデルを採用する。具体的には，応力ひずみ曲線をパラボラ型とし，圧縮強度到達以降はフラットとする。なお，引張側の強度は無視する。

また，鋼板の応力ひずみ関係は，完全弾塑性（バイリニア）を採用する。

● 第２折点のモーメント $M_2$ 及び曲率 $\phi_2$ の算出方法

荷重（モーメント）を漸増させていき，鋼板の応力度が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率を算出する。

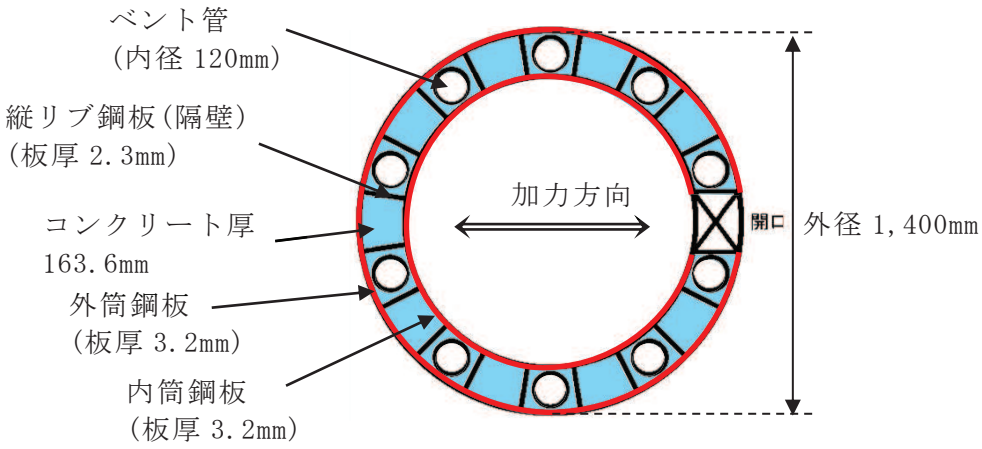



図 2-2　ファイバーモデルに考慮する各部材断面
（赤：鋼板，水色：コンクリート）

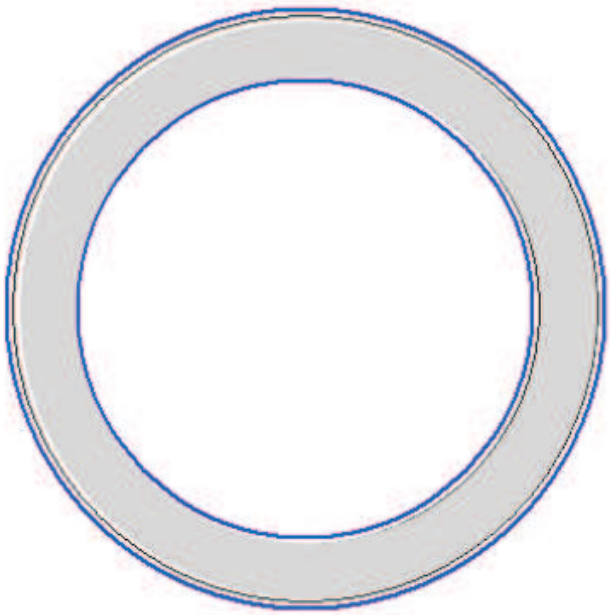
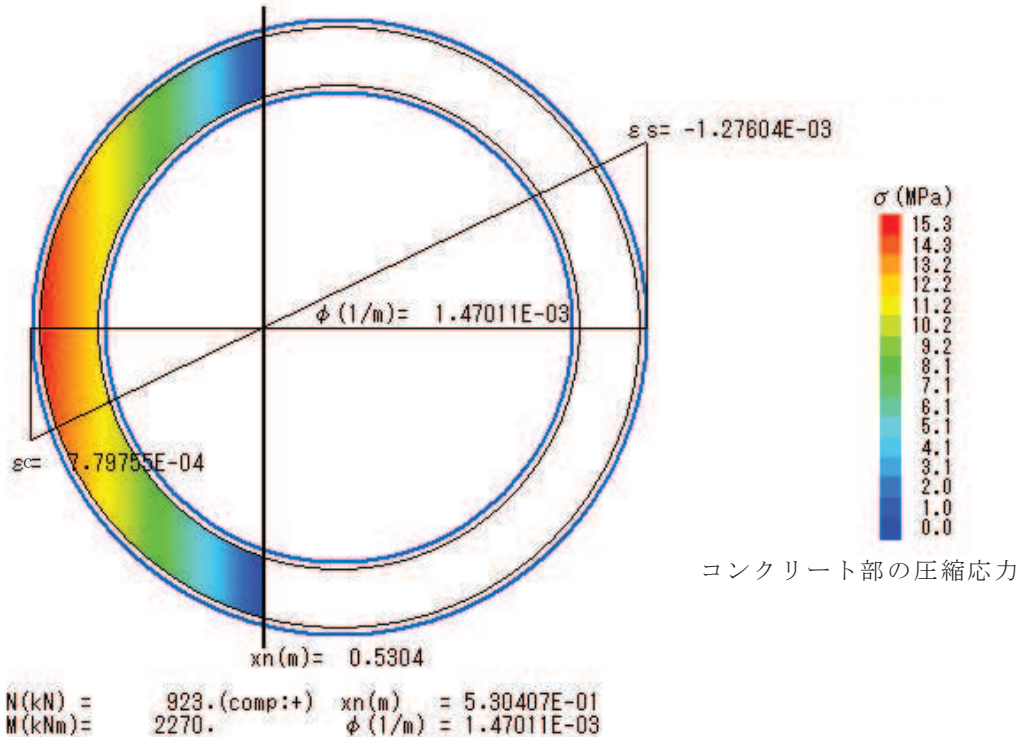


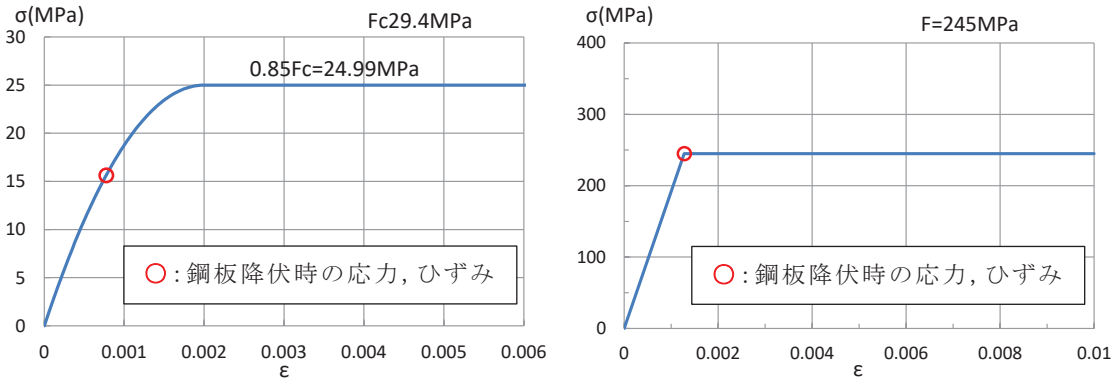
図 2-3　ファイバーモデル構造図（黒線の間がコンクリート，青線が鋼板）

| | |
|---|---|
| N：軸力 | $\phi$ ：曲率 |
| M：モーメント | $\varepsilon_c$：コンクリートの圧縮側最大ひずみ |
| $x_n$：中立軸の位置（モデル左端からの距離） | $\varepsilon_s$：鋼板の圧縮ひずみ（引張は「－」で示す。） |




コンクリート部の圧縮応力

図 2-4　ファイバーモデルによる解析結果




(a) コンクリート　　(b) 鋼板

図 2-5　コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係

・第 2 折点の曲げモーメント $M_2 = 2.27 \times 10^3 (kN \cdot m)$

・第 2 折点の曲率 $\phi_2 = 1.47 \times 10^{-3} (1/m)$

2.2　せん断のスケルトンカーブ導出過程

2.2.1　評価式

（第 1 折点）

・$Q_1 = (A_C + (G_S/G_C) \cdot A_S) \cdot \tau_{cr}$

・$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_C$

ただし，$\tau_{cr} = 0.5^{*1} \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot \left(0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_V\right)}$

注記*1：せん断ひび割れ強度については，RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり，コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため，その影響を考慮して，せん断ひび割れ強度 $\tau_{cr}$ の 0.5 倍の値を仮定し用いる。

$A_c$　：コンクリートのせん断断面積(mm$^2$)

$A_s$　：鋼板のせん断断面積(mm$^2$)

$G_c$　：コンクリートのせん断弾性係数(N/mm$^2$)

$G_s$　：鋼板のせん断弾性係数(N/mm$^2$)

$E_c$　：コンクリートのヤング係数(N/mm$^2$)

$E_s$　：鋼板のヤング係数(N/mm$^2$)

$\tau_{cr}$　：コンクリートのせん断ひび割れ強度(N/mm$^2$)

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度(N/mm$^2$)

RPV ペデスタルコンクリートの設計基準強度＝29.4(N/mm$^2$)

$\sigma_v$　：鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度(N/mm$^2$)

（RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力）／（(各鋼板の断面積の和）×（Ｅｓ／Ｅｃ）＋（コンクリート部の断面積)）

第 1 折点は，RPV ペデスタルのコンクリートと鋼板を考慮したせん断断面積（コンクリートのせん断断面積$A_c$及びそれと等価な RPV ペデスタル鋼板のせん断断面積（$G_S/G_C$)・$A_S$の和)にコンクリートのせん断ひび割れ強度$\tau_{cr}$を乗じた値，すなわち RPV ペデスタルコンクリート部にせん断ひび割れが発生する点のＱ，γを表している。

（第 2 折点）

$$Q_2 = \left(K_\alpha + K_\beta\right) / \sqrt{\left(3K_\alpha^2 + K_\beta^2\right)} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = Q_2 / \left(K_\alpha + K_\beta\right)$$

ただし，$K_\alpha = A_s \cdot G_s$

$A_s$ ：鋼板のせん断断面積(mm²)

$G_s$ ：鋼板のせん断弾性係数(N/mm²)

$K_\alpha$ ：鋼板のせん断剛性

$K_\beta$ ：ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

$\sigma_y$ ：鋼板の降伏点強度(N/mm²)

第１折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（圧縮ストラット角度 $\theta$ の方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し，鋼板と一体となってせん断力に抵抗する。

第２折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$は,SC 規程の附属書 2.1 解説及びコンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見[(3)]に示される以下の理論式を用いて，$Qc = K_\beta \cdot \gamma$，$\delta = H \cdot \gamma$の関係から算出する。

$$Q_C = \frac{(cos\theta)^2}{2\left[\frac{1-\nu_C^2}{E_C' \cdot t_C \cdot sin2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot cos\theta \left(\frac{cos\theta}{sAx} - \frac{sin\theta}{sAy}\nu_S\right)$$

$$C2 = H \cdot sin\theta \left(\frac{sin\theta}{sAy} - \frac{cos\theta}{sAx}\nu_S\right)$$

ここで,

$Q_C$ ：コンクリートの受け持つせん断力(N)

$\delta$ ：水平変位(mm)

$\gamma$ ：せん断ひずみ度

$E_C$’：コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で，コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。(N/mm²)

$E_S$ ：鋼材のヤング係数(N/mm²)

$t_C$ ：コンクリート板厚(mm)

$\nu_C$ ：コンクリートのポアソン比

$\nu_S$ ：鋼材のポアソン比

L　　：隔壁の間隔(mm)

H　　：隔壁の高さ(mm)

sAy　：鋼材の水平断面の断面積($mm^2$)

sAx　：鋼材の鉛直断面の断面積($mm^2$)

$\theta$　　：圧縮ストラット角度（$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right)$）

（$\theta$=45°　とした場合の評価式が SC 規程に例示されている。）

### 2.2.2　具体的計算過程

（第 1 折点）

ベント管による断面欠損を考慮し算出する（図 2-6）。

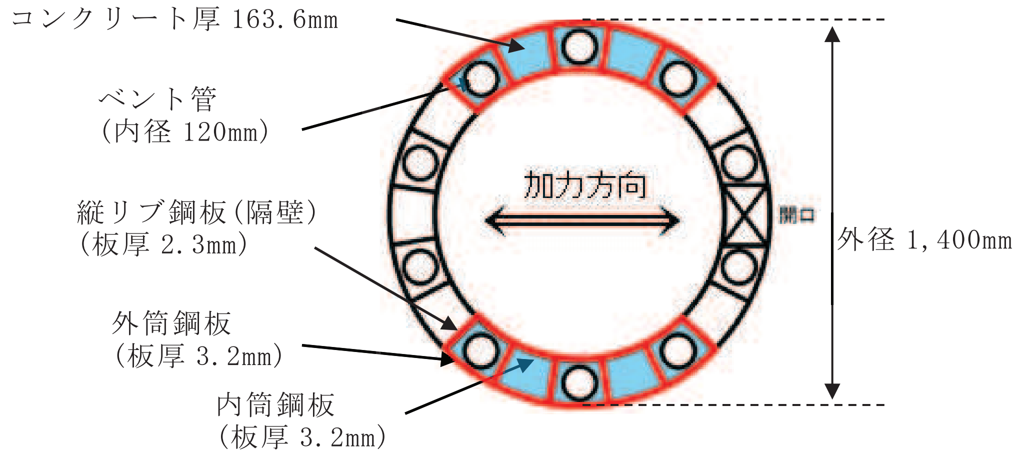



図 2-6　せん断断面積の算出に考慮する各部材断面

（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値は，試験体の規格値を用いる。また，各部材のせん断断面積は，実機 RPV ペデスタルと同様に求める（表 2-3，表 2-4）。

コンクリート及び鋼板のせん断弾性係数$G_c$，$G_s$は，以下に示す式により，それぞれのヤング係数，ポアソン比$\nu_c$=0.167，$\nu_s$=0.3 を用いて求める。

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu_C)} = 10900 (N/mm^2) \cdots\cdots \quad (式 2.7)$$

$$G_s = \frac{E_S}{2(1+\nu_S)} = 73900 (N/mm^2) \cdots\cdots \quad (式 2.8)$$

表 2-3　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのせん断弾性係数$G_c$ | 10,900 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準(式 2.7) |
| 鋼板のせん断弾性係数$G_s$ | 73,900 ($N/mm^2$) | 式 2(2)-2 |
| コンクリートのヤング係数$E_c$ | 25,500 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準(式 2.1) |
| 鋼板のヤング係数$E_s$ | 192,000 ($N/mm^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートの圧縮強度$\sigma_B$ | 29.4 ($N/mm^2$) | 設計基準強度 |

表 2-4　各部材断面のせん断断面積

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| コンクリートのせん断断面積$A_c$ | $2.595\times10^5$ ($mm^2$) | 図 2-6 の水色部分 |
| 鋼板のせん断断面積$A_s$ | $1.425\times10^4$ ($mm^2$) | 図 2-6 の赤線部分 |

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度$\sigma_v$は，曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり，$\sigma_V=1.26(N/mm^2)$となる。

コンクリートの圧縮強度$\sigma_B$（表 2-3）と$\sigma_V$を用いて，コンクリートのせん断ひび割れ強度$\tau_{cr}$を求める。

$$\tau_{cr}=0.5^{*1}\times\sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B}\cdot\left(0.31\sqrt{\sigma_B}+\sigma_V\right)}=1.11\ (N/mm^2)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(式\ 2.9)$$

注記*1：せん断ひび割れ強度については，RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり，コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため，その影響を考慮して，せん断ひび割れ強度$\tau_{cr}$の 0.5 倍の値を仮定し用いる。

以上の式から，第 1 折点のせん断力$Q_1$及びせん断変形角$\gamma_1$を算出する。

$$Q_1=(A_C+(G_S/G_C)\cdot A_S)\cdot\tau_{cr}=\underline{3.95\times10^2(kN)}\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(式\ 2.10)$$

$$\gamma_1=\tau_{cr}/G_C=\underline{1.02\times10^{-4}(rad)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(式\ 2.11)$$

（第 2 折点）

コンクリートひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$を算出する際は，断面全体のうち半分がせん断力に対して有効な領域と仮定し，SC 構造体ユニット①，②それぞれについて，全周（欠損がないものとして扱う）の半分に相当する部分の剛性を評価する。

具体的には，次に示す手順で層全体の$K_\beta$を求める。

・ SC 構造体ユニット①と SC 構造体ユニット②それぞれの$K_\beta$を求める。

・ 層全体の$K_\beta$を求める。

（層全体の$K_\beta$＝（SC 構造体ユニット①の$K_\beta$の総和＋SC 構造体ユニット②の$K_\beta$の総和）/2）

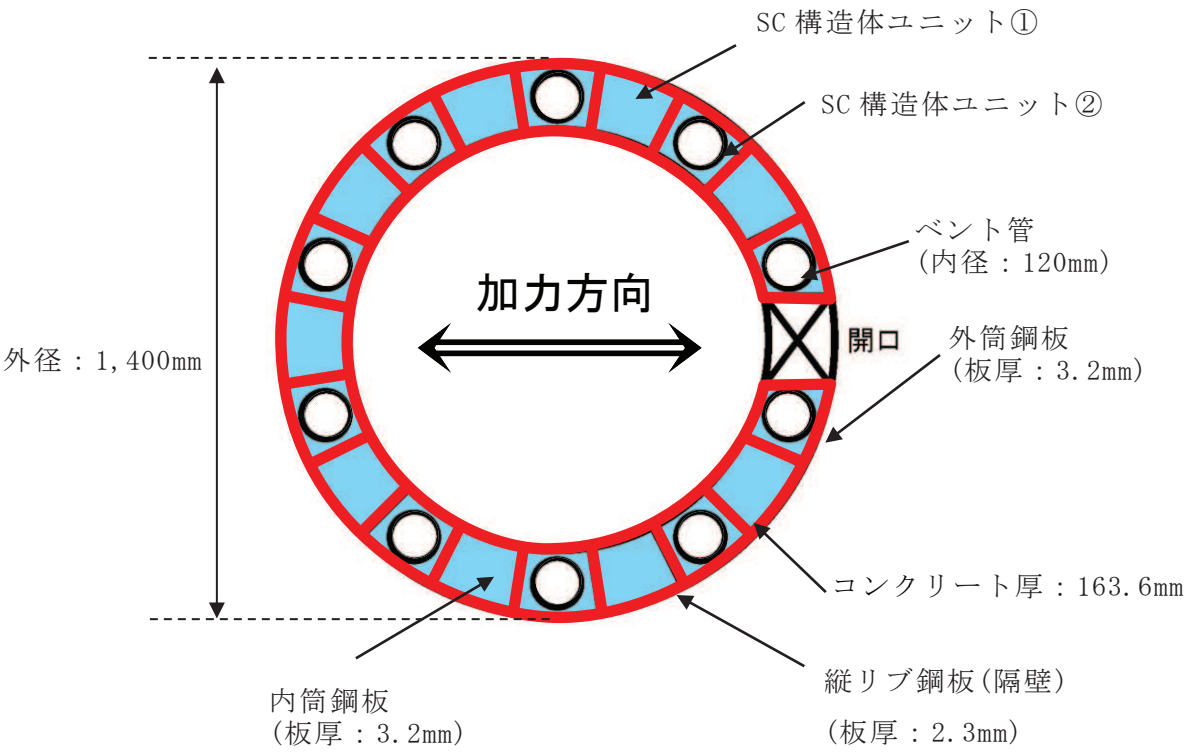



図 2-7　SC 構造体ユニット（赤が鋼板，青がコンクリート）

鋼板のせん断剛性$K_\alpha$は，第 1 折点と同様に方向に応じた部材断面を考慮して求める。

● $K_\beta$の算出方法（SC 構造体ユニット①）

コンクリート及び鋼板の材料物性値は，試験体の規格値を用いる。$K_\beta$の算出は，実機試験体の構造（寸法）に応じた値を用いて行う（図 2-8，表 2-5，表 2-6）。

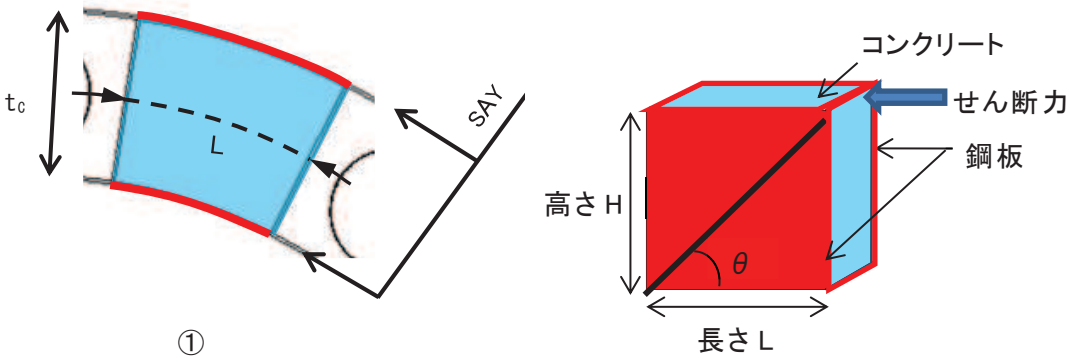



図 2-8　SC 構造体ユニット①（赤が鋼板，水色がコンクリート）

表 2-5　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのヤング係数 $E_c$ | 25,500 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準（式 2.1） |
| 鋼板のヤング係数 $E_s$ | 192,000 ($N/mm^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートのポアソン比 $\nu_C$ | 0.167 | 鉄筋コンクリート構造計算規準 |
| 鋼材のポアソン比 $\nu_S$ | 0.3 | 鋼構造設計規準 |

表 2-6　各部材の主要寸法

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| SC 構造体ユニットの高さ H | 1,630 (mm) | 図 2-8 の高さ H |
| SC 構造体ユニットの長さ L | 193.2 (mm) | 図 2-8 の長さ L |
| コンクリート板厚 $t_C$ | 163.6 (mm) | 図 2-8 の $t_C$ |
| 鋼材の水平断面の断面積 sAy | 1,236 ($mm^2$) | - |
| 鋼材の鉛直断面の断面積 sAx | 10,432 ($mm^2$) | - |

圧縮ストラット角度θは，SC 構造体ユニット①の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 83.2(^\circ) \quad \cdots\cdots \text{(式 2.12)}$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 $E_C$’は，コンクリートのヤング係数 $E_c$ に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_C' = 0.7 \times E_c = 17,850(N/mm^2) \quad \cdots\cdots \text{(式 2.13)}$$

以上の式から，SC 構造体ユニット①ひとつあたりの $K_\beta$ を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta\left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy}\nu_S\right) = -0.00525 \quad \cdots\cdots \text{(式 2.14)}$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta\left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx}\nu_S\right) = 1.29477 \quad \cdots\cdots \text{(式 2.15)}$$

$$K_\beta = \frac{(\cos\theta)^2}{2\left[\dfrac{1-{\nu_C}^2}{E_C' \cdot t_C \cdot \sin 2\theta} + \dfrac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]} \cdot H$$

$$= 2.39 \times 10^6(N) \quad \cdots\cdots \text{(式 2.16)}$$

● $K_\beta$の算出方法（SC 構造体ユニット②）

コンクリート及び鋼板の材料物性値は，試験体の規格値を用いる。$K_\beta$の算出は，実機試験体の構造（寸法）に応じた値を用いて行う（図 2-9，表 2-7，表 2-8）。

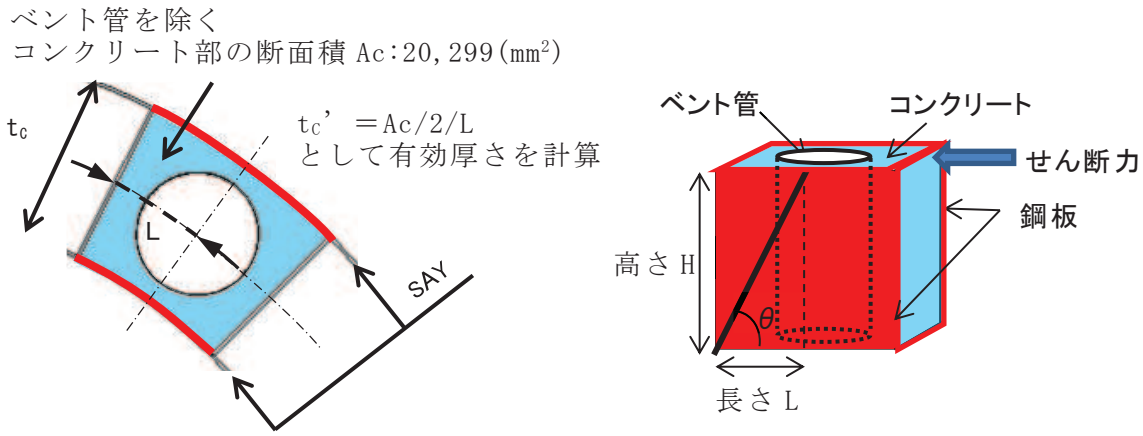



図 2-9　SC 構造体ユニット②（赤が鋼板，水色がコンクリート）

表 2-7　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのヤング係数 $E_c$ | 25,500 (N/mm²) | 鉄筋コンクリート構造計算規準（式 2.1） |
| 鋼板のヤング係数 $E_s$ | 192,000 (N/mm²) | 告示 501 号 |
| コンクリートのポアソン比 $\nu_C$ | 0.167 | 鉄筋コンクリート構造計算規準 |
| 鋼材のポアソン比 $\nu_S$ | 0.3 | 鋼構造設計規準 |

表 2-8　各部材の主要寸法

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| SC 構造体ユニットの高さ H | 1,630 （mm） | 図 2-9 の高さ H |
| SC 構造体ユニットの長さ L | 96.6 （mm） | 図 2-9 の長さ L |
| コンクリート板厚 $t_C$ | 163.6 （mm） | 図 2-9 の $t_C$ |
| 鋼材の水平断面の断面積 sAy | 618 （mm²） | － |
| 鋼材の鉛直断面の断面積 sAx | 10,432 （mm²） | － |

圧縮ストラット角度θは，SC 構造体ユニット②の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 86.6(^\circ) \quad \cdots\cdots \text{(式 2.17)}$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 $E_C$’は，コンクリートのヤング係数 $E_c$ に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_C' = 0.7 \times E_c = 17,850(N/mm^2) \quad \cdots\cdots \text{(式 2.18)}$$

SC 構造体ユニット②では，コンクリート部にベント管が内蔵されていることから，$K_\beta$ の算出に用いるコンクリート厚さは，ベント管を除くコンクリート部の断面積 $A_c$ のうち，半分が有効とし，SC 構造体ユニットの長さ L で除することにより求まる有効板厚 $t_C$’を用いる。

$$t_C' = Ac/2/L = 105.1(mm) \quad \cdots\cdots \text{(式 2.19)}$$

以上の式から，SC 構造体ユニット②ひとつあたりの $K_\beta$ を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta\left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy}\nu_S\right) = -0.00274 \quad \cdots\cdots \text{(式 2.20)}$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta\left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx}\nu_S\right) = 2.62549 \quad \cdots\cdots \text{(式 2.21)}$$

$$K_\beta = \frac{(\cos\theta)^2}{2\left[\dfrac{1-\nu_C{}^2}{E_C' \cdot t_C' \cdot \sin 2\theta} + \dfrac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]} \cdot H$$

$$\underline{= 2.56 \times 10^5 \ (N)} \quad \cdots\cdots \text{(式 2.22)}$$

● 層全体の $K_\beta$

層全体の $K_\beta$ ＝（SC 構造体ユニット①の $K_\beta$ の総和＋SC 構造体ユニット②の K の総和）/2

$$\underline{= 1.32 \times 10^7 (N)} \quad \cdots\cdots \text{(式 2.23)}$$

● $K_{\alpha}$の算出方法

ベント管による断面欠損を考慮し算出する（図 2-10）。

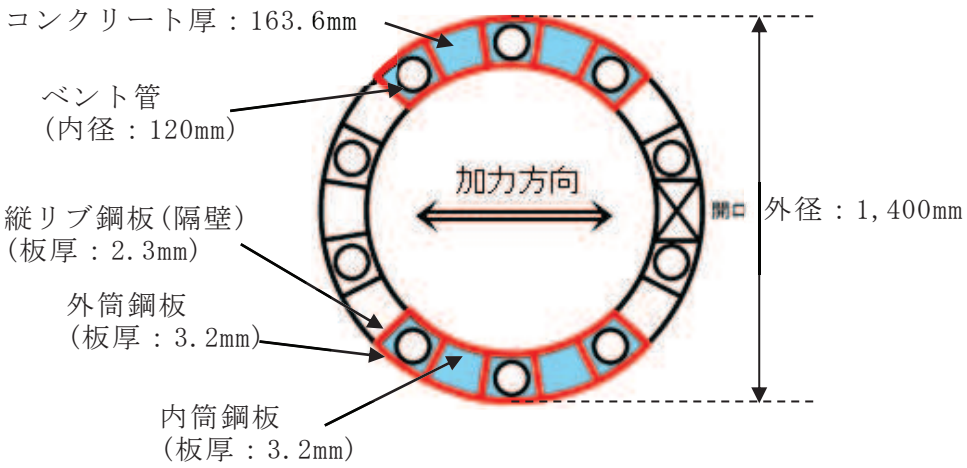



図 2-10　せん断断面積の算出に考慮する各部材断面

（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値は，試験体の規格値を用いる。$K_{\alpha}$の算出は，実機試験体の構造（寸法）に応じた値を用いて行う（添付 2－9 表，添付 2-10 表）。

表 2-9　鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| 鋼板のヤング係数 $E_S$ | 192,000(N/mm$^2$) | 告示 501 |
| 鋼板のせん断弾性係数 $G_S$ | 73,900(N/mm$^2$) | 式 2.8 |
| 鋼板の降伏点強度 $\sigma_y$ | 245(N/mm$^2$) | 鋼構造設計基準，JIS G 3101 |

表 2-10　各部材の主要寸法

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| 鋼板のせん断断面積 $A_s$ | $1.425\times10^4$（mm$^2$） | 図 2-10 の赤線部分 |

鋼板のせん断断面積Ａｓ及びせん断弾性係数Ｇｓを用いて鋼板のせん断剛性$K_{\alpha}$を求める。

$$K_{\alpha} = A_s \cdot G_s = 105 \times 10^7 \ (\mathrm{N}) \cdots\cdots (式\ 2.24)$$

以上の式から，式 2(2)-17 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性$K_{\beta}$を用いて，第２折点のせん断力 $Q_2$ 及びせん断変形角 $\gamma_2$ を算出する。

$K_{\alpha} = 105 \times 10^7$ (N)
$K_{\beta} = 1.32 \times 10^7$ (N)

・第２折点のせん断力$Q_2$

$$Q_2 = \frac{K_{\alpha} + K_{\beta}}{\sqrt{3K_{\alpha}^2 + K_{\beta}^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$= 2.04 \times 10^3 \ (\mathrm{kN}) \cdots\cdots (式\ 2.25)$$

・第２折点のせん断変形角 $\gamma_2$

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{K_{\alpha} + K_{\beta}}$$

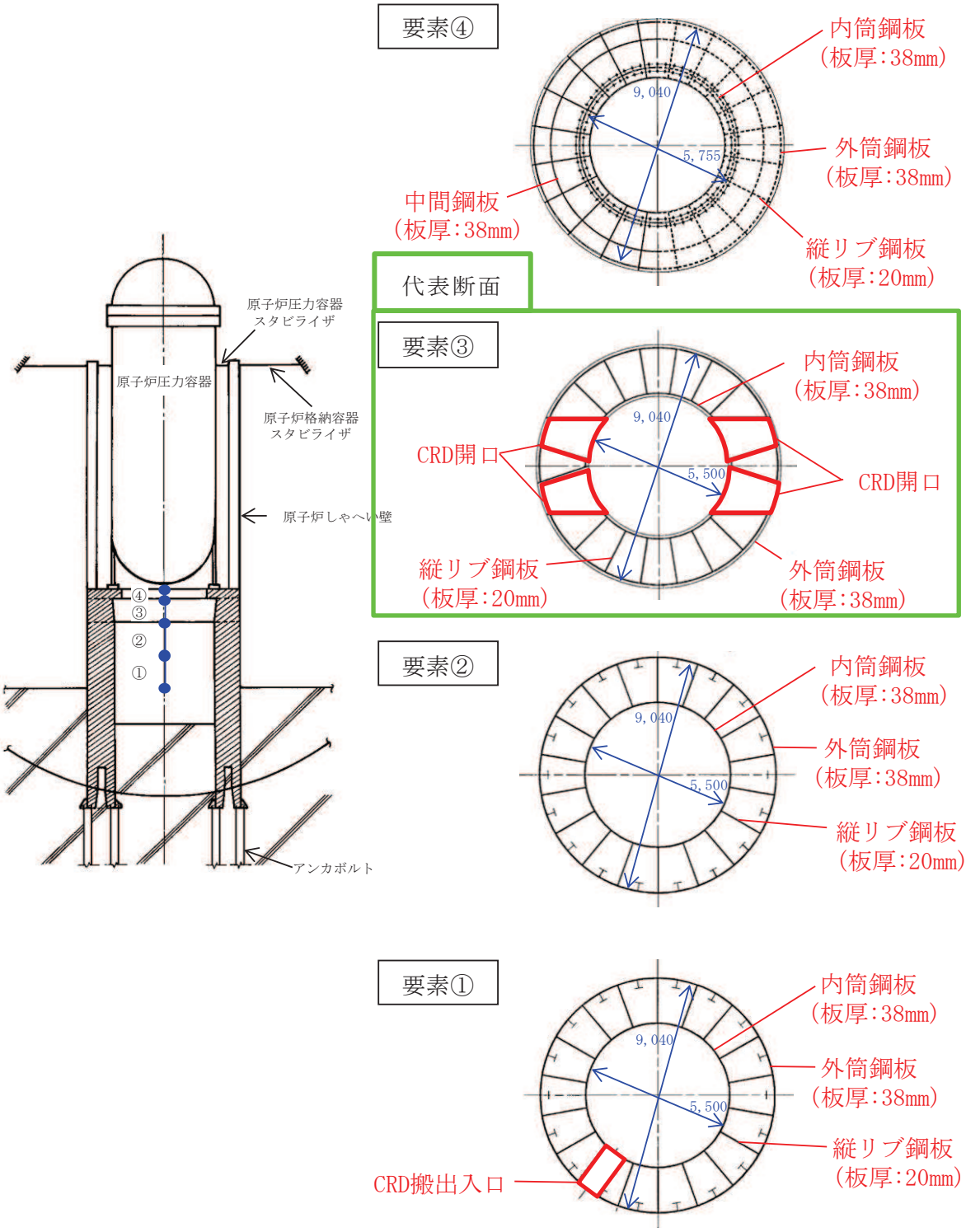
$$= 1.92 \times 10^{-3} \ (\mathrm{rad}) \cdots\cdots (式\ 2.26)$$

3.　女川２号炉 RPV ペデスタルのスケルトンカーブ設定方針

RPV ペデスタルは，各断面で水平鋼板，中間鋼板，水平リブ，CRD 開口及び CRD 搬出入口の有無などの構造の差異があるため，既工認と同様，今回の RPV ペデスタルの復元力特性の設定においては，各断面の構造差異を考慮し，スケルトンカーブを設定する。

RPV ペデスタルの各断面を図 3-1 に示す。

スケルトンカーブの設定においては，各断面で，水平鋼板，中間鋼板及び水平リブによるコンクリートの分断を考慮することを含め，CRD 開口及び CRD 搬出入口による断面欠損を考慮するという点は共通で，計算過程も同一であることから，一例として CRD 開口を有する断面を代表として 4 項に計算過程を示す。




(単位 : mm)

図 3-1　RPV ペデスタルの各断面

4　女川２号炉 RPV ペデスタルの計算過程（要素③）

4.1　曲げのスケルトンカーブ導出過程

4.1.1　RPV ペデスタルの構造特性を踏まえた評価式

（第１折点）

- $M_1 = Z_e \cdot (\alpha f_t + \sigma_v)$ ＊
- $\phi_1$は初期剛性と$M_1$の交点（$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$）

注記＊：水平鋼板及び水平リブがコンクリートを分断するため，コンクリートの曲げ引張強度 $f_t$に対して，RPV ペデスタルの全断面積とコンクリートが連続する面積との比率を乗じる必要があり，水平鋼板で分断される要素③，④は$\alpha$=0，水平リブで分断される要素①，②は$\alpha$=0.6 を乗じる。なお，水平リブによる分断については，水平リブの上下方向の投影した面積を考慮した。

$Z_e$　：鋼板を考慮したコンクリートの断面係数(mm$^3$)（$= I_e / (D/2)$）

D／２　：中心から最外縁までの距離（Dは最外直径）

$\sigma_v$　：鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度(N/mm$^2$)

（RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力）／（(各鋼板の断面積の和）×（$E_s / E_c$）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積））

$f_t$　：コンクリートの曲げ引張強度(N/mm$^2$)（$= 0.38\sqrt{\sigma_B}$）

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度(N/mm$^2$)

RPV ペデスタルコンクリートの設計基準強度＝32.3(N/mm$^2$)

$E_c$　：コンクリートのヤング係数(N/mm$^2$)

$E_s$　：鋼板のヤング係数(N/mm$^2$)

$I_e$　：鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント(mm$^4$)

（各鋼板の断面二次モーメントの和）×（$E_s / E_c$）＋（開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント）

$\alpha$　：開口率（RPV ペデスタルの全断面積に対する開口部の面積の比率）

要素③，④における第１折点は，RPV ペデスタル円筒部の曲げ引張側の死荷重による圧縮応力($\sigma_v$)が 0 となる時点のM及び$\phi$を表し，要素①，②の第１折点は，RPV ペデスタル円筒部の曲げ引張側のコンクリート部にひび割れが生じる点のM及び$\phi$を表している。

（第２折点）

- $M_2 = M_y$
- $\phi_2 = \phi_y$

$M_y$：鋼板降伏時モーメント（N・mm）

$\phi_y$：鋼板降伏時曲率（1/mm）

4.1.2　具体的計算過程

（第１折点）

● NS 方向

CRD 開口による断面欠損を考慮し算出する（図 4-1）。

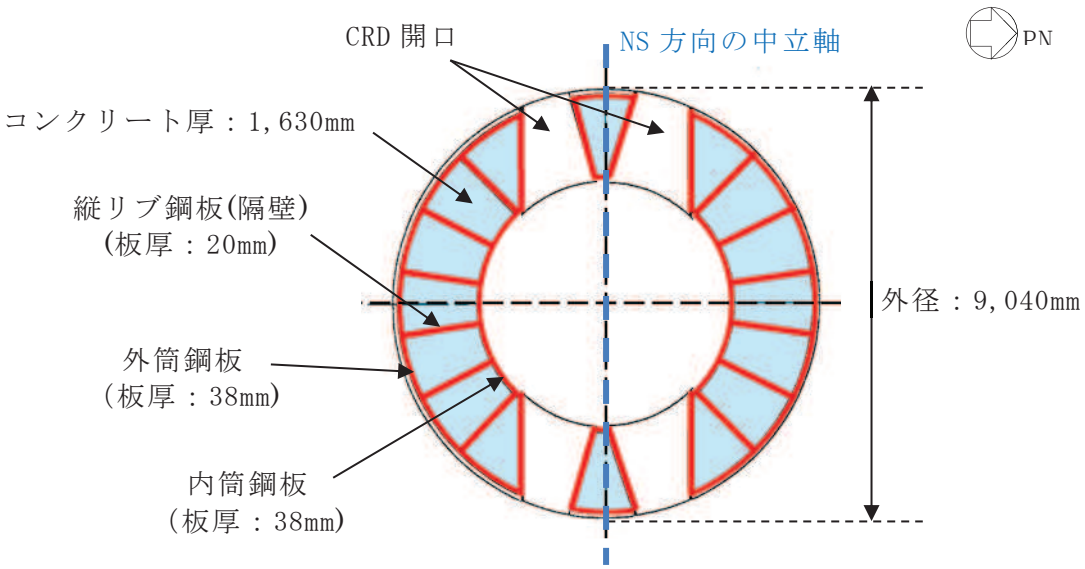



図 4-1　断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面

（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，既工認と同様に設定する。（表 4-1，表 4-2）

表 4-1　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのヤング係数 $E_c$ | 26,500(N/mm$^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準（式 2.1） |
| 鋼板のヤング係数 $E_s$ | 191,000(N/mm$^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートの圧縮強度 $\sigma_B$ | 32.3(N/mm$^2$) | 設計基準強度 |

表 4-2　各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| コンクリート部の断面二次モーメント$I_c$ | $2.534\times10^{14}$ ($mm^4$) | 図 4-1 の水色部分 |
| 各鋼板の断面二次モーメントの和$I_s$ | $1.514\times10^{13}$ ($mm^4$) | 図 4-1 の赤線部分 |
| コンクリート部の断面積$A_{n,c}$ | $9.974\times10^{6}$ ($mm^2$) | 図 4-1 の水色部分 |
| 各鋼板の断面積の和$A_{n,s}$ | $5.515\times10^{5}$ ($mm^2$) | 図 4-1 の赤線部分 |

各部材断面の断面二次モーメント（表 4-2）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント$I_e$を求める。

$$I_e = I_s \times (E_s / E_c) + I_c = 1.097\times10^{14} + 2.534\times10^{14}$$
$$= 3.631\times10^{14}(mm^4) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.1）}$$

中心から最外縁までの距離Ｄ／２＝4,520mm（Ｄは最外直径）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面係数$Z_e$を求める。

$$Z_e = I_e / (D/2) = 8.033\times10^{10}(mm^3) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.2）}$$

RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力Ｎ（$=3.172\times10^{7}$(N)）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度$\sigma_v$を求める。

$$\sigma_v = N / (A_{n,s} \times (E_s / E_c) + A_{n,c}) = 0.7875(N/mm^2) \cdots\cdots \text{（式 4.3）}$$

以上の式から，第 1 折点の曲げモーメント$M_1$及び曲率$\phi_1$を算出する。

$$M_1 = Z_e \cdot \sigma_v = \underline{6.326\times10^{4}(kN\cdot m)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.4）}$$
$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{6.574\times10^{-6}(1/m)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.5）}$$

● EW 方向

CRD 開口による断面欠損を考慮し算出する（図 4-2）。

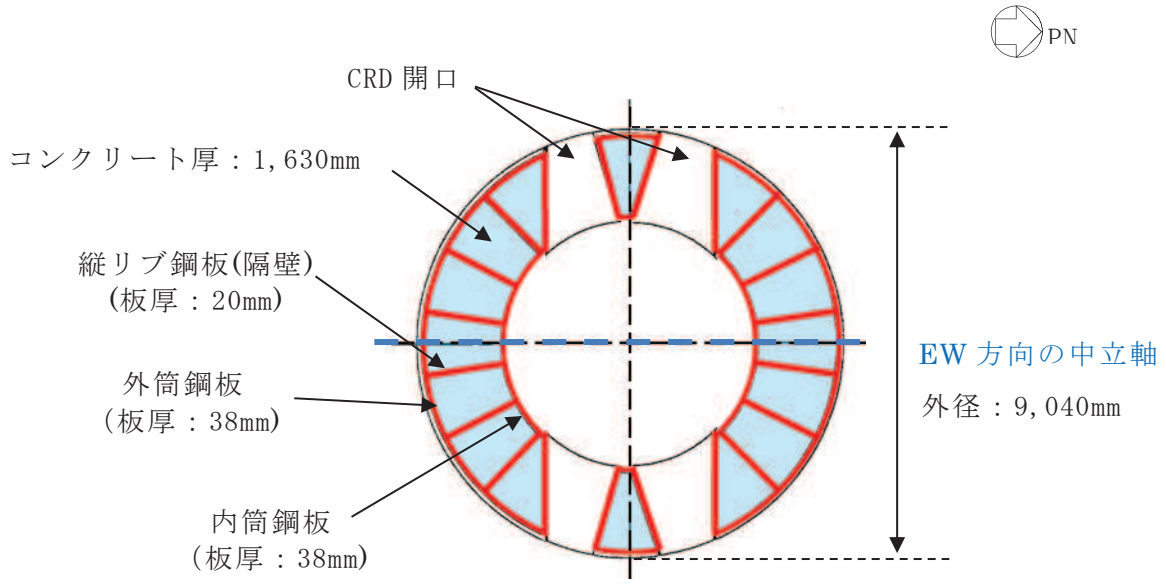



図 4-2　断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面
（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，既工認と同様に設定する（表 4-3，表 4-4）。

表 4-3　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのヤング係数 $E_c$ | 26,500(N/mm$^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2.1) |
| 鋼板のヤング係数 $E_s$ | 191,000(N/mm$^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートの圧縮強度 $\sigma_B$ | 32.3(N/mm$^2$) | 設計基準強度 |

表 4-4　各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| コンクリート部の断面二次モーメント $I_c$ | $1.642\times10^{14}$ (mm$^4$) | 図 4-2 の水色部分 |
| 各鋼板の断面二次モーメントの和 $I_s$ | $9.810\times10^{12}$ (mm$^4$) | 図 4-2 の赤線部分 |
| コンクリート部の断面積 $A_{n,c}$ | $1.878\times10^{7}$ (mm$^2$) | 図 4-2 の水色部分 |
| 各鋼板の断面積の和 $A_{n,s}$ | $1.039\times10^{6}$ (mm$^2$) | 図 4-2 の赤線部分 |

各部材断面の断面二次モーメント（表 4-4）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント$I_e$を求める。

$$I_e = I_s \times (E_s / E_c) + I_c = 7.109 \times 10^{13} + 1.642 \times 10^{14}$$
$$= 2.353 \times 10^{14} (mm^4) \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.6）}$$

中心から最外縁までの距離Ｄ／２＝4,520mm（Ｄは最外直径）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面係数$Z_e$を求める。

$$Z_e = I_e / (D / 2) = 5.206 \times 10^{13} (mm^3) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.7）}$$

RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力Ｎ（$=3.172 \times 10^7$(N)）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度$\sigma_v$を求める。

$$\sigma_v = N / (A_{n,s} \times (E_s / E_c) + A_{n,c}) = 0.7875 (N/mm^2) \cdots\cdots\cdots \text{（式 4.8）}$$

以上の式から，第１折点の曲げモーメント$M_1$及び曲率$\phi_1$を算出する。

$$M_1 = Z_e \cdot \sigma_v = \underline{4.100 \times 10^4 (kN \cdot m)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.9）}$$
$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{6.575 \times 10^{-6} (1/m)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.10）}$$

（第２折点）

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化し，漸増させる荷重（モーメント）に対して収束計算により中立軸と曲率を求め，鋼板とコンクリートの応力度σとひずみεを導出する。

鋼板が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率が，それぞれ第２折点のモーメント $M_2$ 及び曲率 $\phi_2$ となる。

● モデル化方法

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化する際は，CRD 開口によるコンクリート及び鋼板の断面欠損を考慮した等価板厚を用いる(添付 2-15～17 図参照)。

本計算に用いるコンクリートの応力度σとひずみεの関係は，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（JSME S NE1-2003）[(1)]を参考に，CEB-FIP[(2)]モデルを採用する。具体的には，応力ひずみ曲線をパラボラ型とし，圧縮強度到達以降はフラットとする。なお，引張側の強度は無視する。

また，鋼板の応力ひずみ関係は，完全弾塑性（バイリニア）を採用する。

● 第２折点のモーメント $M_2$ 及び曲率 $\phi_2$ の算出方法

荷重（モーメント）を漸増させていき，鋼板の応力度が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率を算出する。

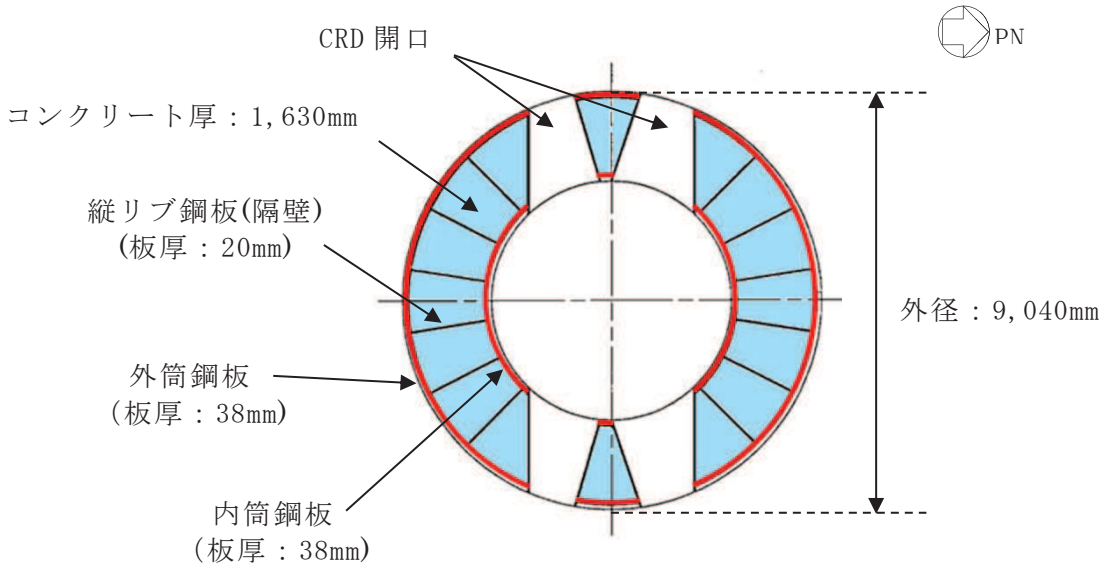



図 4-3　ファイバーモデルに考慮する各部材断面

（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● NS方向

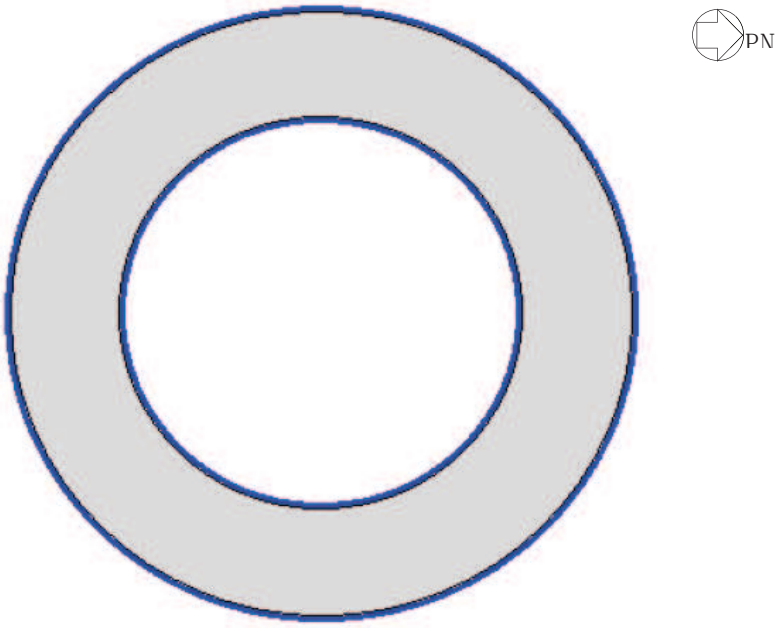



図 4-4　ファイバーモデル構造図(黒線の間がコンクリート，青線が鋼板)
【NS 方向】

● EW方向

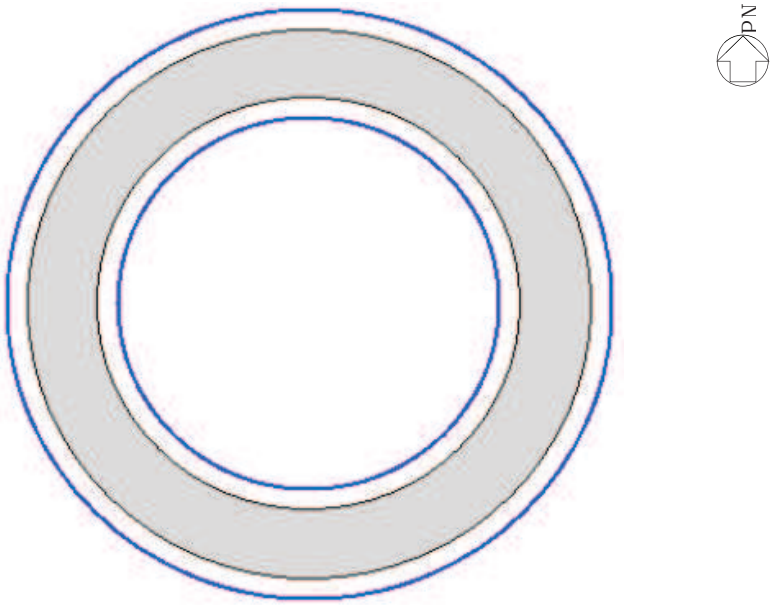



図 4-5　ファイバーモデル構造図(黒線の間がコンクリート，青線が鋼板)
【EW 方向】

● NS方向

| | |
|---|---|
| N：軸力 | φ ：曲率 |
| M：モーメント | εc：コンクリートの圧縮側最大ひずみ |
| Xn：中立軸の位置<br>（モデル左端からの距離） | εc：鋼板の圧縮ひずみ（引張は「－」で示す。） |

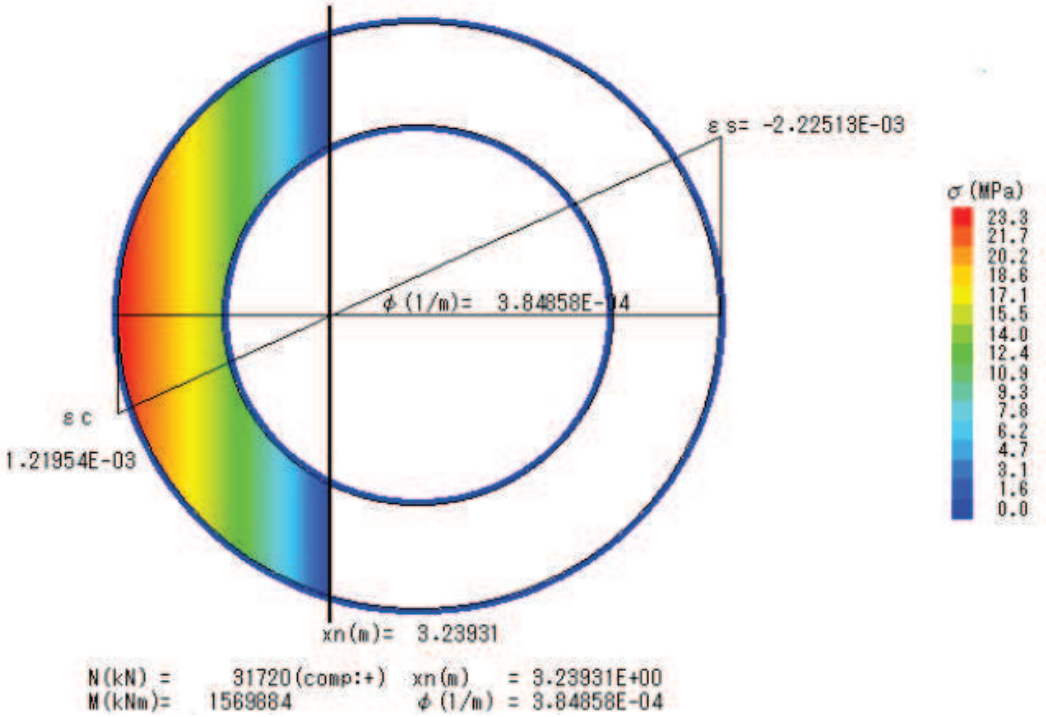
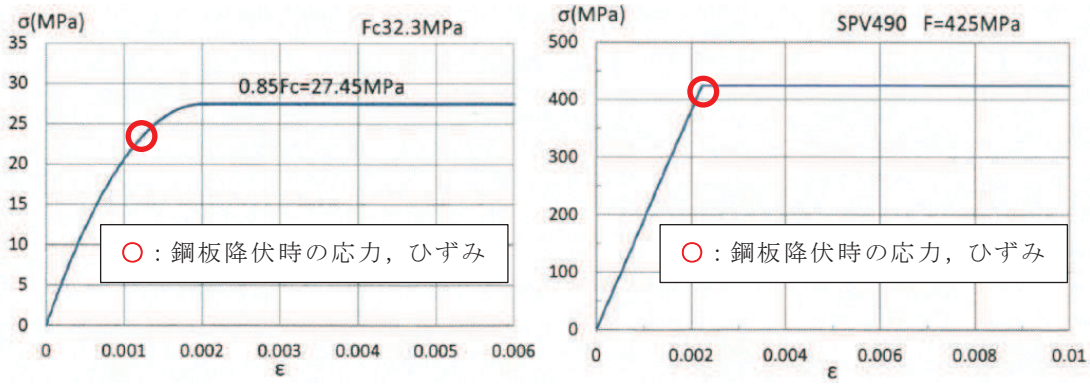



図 4-6　ファイバーモデルによる解析結果　【NS 方向】




（a）コンクリート　　（b）鋼板

図 4-7　コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係　【NS 方向】

・第 2 折点の曲げモーメント $M_2 = 1.570 \times 10^6$ (kN・m)

・第 2 折点の曲率 $\phi_2 = 3.849 \times 10^{-4}$ (1/m)

● EW方向

| | |
|---|---|
| N：軸力 | φ ：曲率 |
| M：モーメント | εc：コンクリートの圧縮側最大ひずみ |
| Xn：中立軸の位置<br>（モデル左端からの距離） | εc：鋼板の圧縮ひずみ（引張は「－」で示す。） |

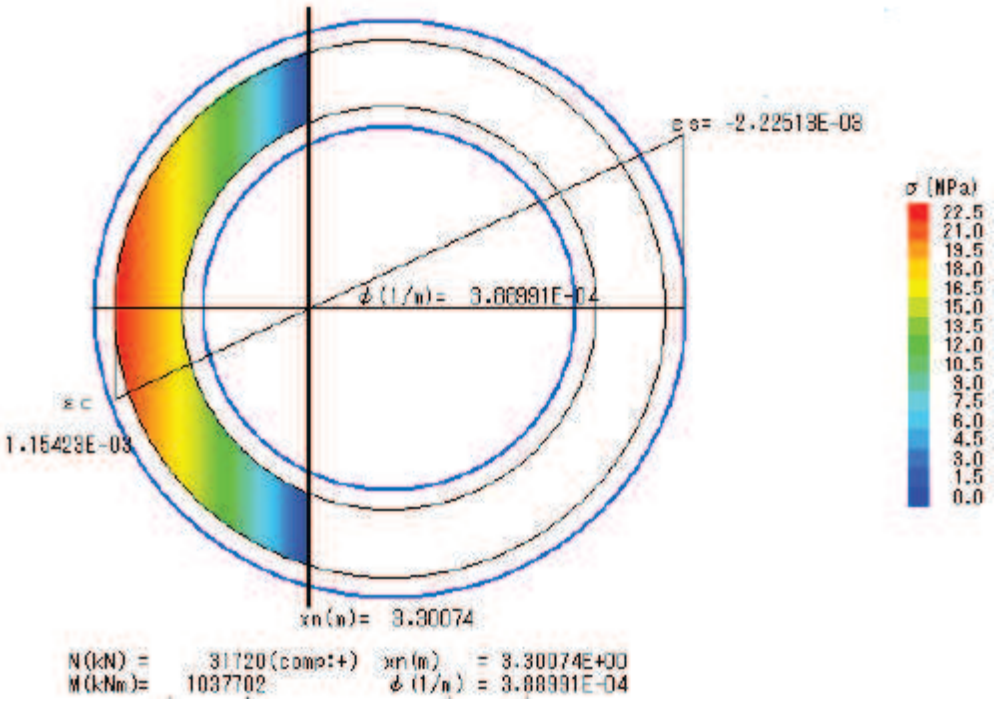
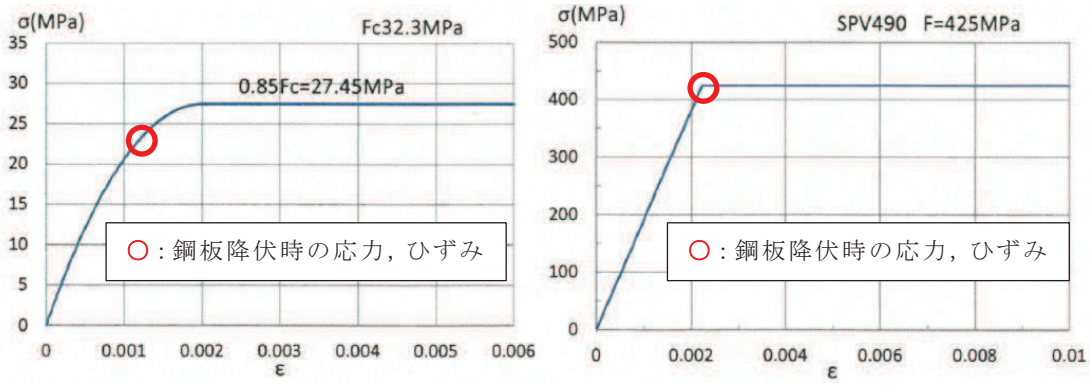



図 4-8　ファイバーモデルによる解析結果　【EW 方向】




（a）コンクリート　　（b）鋼板

図 4-9　コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係　【EW 方向】

・第 2 折点の曲げモーメント $M_2 = 1.038 \times 10^6$ (kN・m)

・第 2 折点の曲率 $\phi_2 = 3.890 \times 10^{-4}$ (1/m)

4.2　せん断のスケルトンカーブ導出過程

4.2.1 評価式

（第１折点）

- $Q_1 = (A_C + (G_S/G_C) \cdot A_S) \cdot \tau_{cr}$*
- $\gamma_1 = \tau_{cr}/G_C$

ただし，$\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_V)}$

注記＊：RPV ペデスタルのコンクリートは４面を鋼板で囲まれた閉鎖断面のために，せん断ひび割れ強度 $\tau_{cr}$ は SC 規定に従う。

$A_c$　：コンクリートのせん断断面積(mm$^2$)

$A_s$　：鋼板のせん断断面積(mm$^2$)

$G_c$　：コンクリートのせん断弾性係数(N/mm$^2$)

$G_s$　：鋼板のせん断弾性係数(N/mm$^2$)

$E_c$　：コンクリートのヤング係数(N/mm$^2$)

$E_s$　：鋼板のヤング係数(N/mm$^2$)

$\tau_{cr}$　：コンクリートのせん断ひび割れ強度(N/mm$^2$)

$\sigma_B$　：コンクリートの圧縮強度(N/mm$^2$)

RPV ペデスタルコンクリートの設計基準強度＝32.3(N/mm$^2$)

$\sigma_v$　：鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度(N/mm$^2$)

（RPV ペデスタル及び RPV ペデスタルが支持する機器の死荷重による鉛直方向の軸力）／（(各鋼板の断面積の和）×（Ｅｓ／Ｅｃ）＋（コンクリート部の断面積)）

第１折点は，RPV ペデスタルのコンクリートと鋼板を考慮したせん断断面積（コンクリートのせん断断面積$A_c$及びそれと等価な RPV ペデスタル鋼板のせん断断面積（$G_S/G_C$）・$A_S$の和）にコンクリートのせん断ひび割れ強度$\tau_{cr}$を乗じた値，すなわち RPV ペデスタルコンクリート部にせん断ひび割れが発生する点のＱ，γを表している。

（第２折点）

$$Q_2 = \left(K_\alpha + K_\beta\right) / \sqrt{\left(3K_\alpha^2 + K_\beta^2\right)} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = Q_2 / \left(K_\alpha + K_\beta\right)$$

ただし，$K_\alpha = A_s \cdot G_s$

$A_s$　：鋼板のせん断断面積(mm$^2$)

$G_s$　：鋼板のせん断弾性係数(N/mm$^2$)

$K_\alpha$　：鋼板のせん断剛性

$K_\beta$　：ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

$\sigma_y$　：鋼板の降伏点強度(N/mm$^2$)

第１折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（圧縮ストラット角度θの方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し，鋼板と一体となってせん断力に抵抗する。

第２折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$は，SC 規程の附属書 2.1 解説及び，コンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見[(3)]に示される以下の理論式を用いて，$Q_C = K_\beta \cdot \gamma$，$\delta = H \cdot \gamma$の関係から算出する。

$$Q_C = \frac{(cos\theta)^2}{2\left[\dfrac{1-\nu_C^2}{E_C' \cdot t_C \cdot sin2\theta} + \dfrac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{cos\theta}{sAx} - \frac{sin\theta}{sAy}\nu_S\right)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{sin\theta}{sAy} - \frac{cos\theta}{sAx}\nu_S\right)$$

ここで，

$Q_C$　：コンクリートの受け持つせん断力(N)

$\delta$　：水平変位(mm)

$\gamma$　：せん断変形角(rad)

$E_C$’　：コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で，コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。(N/mm$^2$)

$E_S$　：鋼材のヤング係数(N/mm$^2$)

$t_C$　：コンクリート板厚(mm)

$\nu_C$　：コンクリートのポアソン比

$\nu_S$　：鋼材のポアソン比

L　　：隔壁の間隔(mm)

H　　：隔壁の高さ(mm)

sAy　：鋼材の水平断面の断面積($mm^2$)

sAx　：鋼材の鉛直断面の断面積($mm^2$)

$\theta$　　：圧縮ストラット角度（$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right)$）

（$\theta$ =45°とした場合の評価式が SC 規程に例示されている。）

4.2.2　具体的計算過程

（第 1 折点）

● NS 方向

CRD 開口による断面欠損を考慮し算出する（図 4-10）。

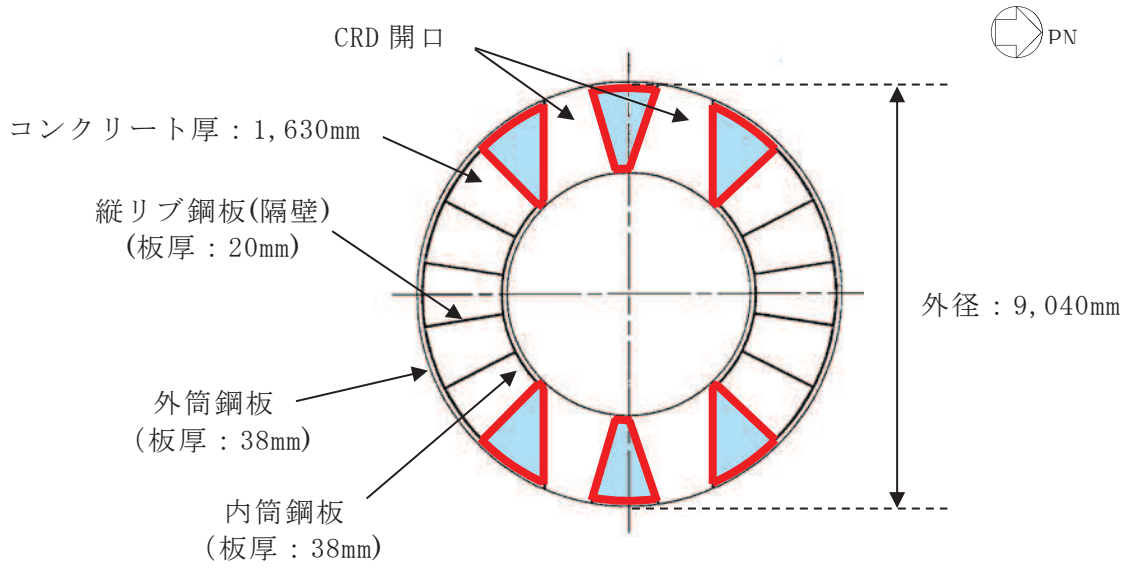



図 4-10　せん断断面積の算出に考慮する各部材断面

（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面のせん断断面積は，既工認と同様に設定する（表 4-5，表 4-6）。

表 4-5　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのせん断弾性係数$G_c$ | 11,400 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2.7) |
| 鋼板のせん断弾性係数$G_s$ | 73,500 ($N/mm^2$) | 式 2.8 |
| コンクリートのヤング係数$E_c$ | 26,500 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2.1) |
| 鋼板のヤング係数$E_s$ | 191,000 ($N/mm^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートの圧縮強度$\sigma_B$ | 32.3 ($N/mm^2$) | 設計基準強度 |

表 4-6　各部材断面のせん断断面積

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| コンクリートのせん断断面積$A_c$ | $9.974\times10^6$ ($mm^2$) | 図 4-10 の水色部分 |
| 鋼板のせん断断面積$A_s$ | $5.515\times10^5$ ($mm^2$) | 図 4-10 の赤線部分 |

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度$\sigma_v$は，曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり，$\sigma_v=0.7875(N/mm^2)$となる。

コンクリートの圧縮強度$\sigma_B$（表 4-5）と$\sigma_v$を用いて，コンクリートのせん断ひび割れ強度$\tau_{cr}$を求める。

$$\tau_{cr}=\sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B}\cdot(0.31\sqrt{\sigma_B}+\sigma_V)}=2.119(N/mm^2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (式\ 4.11)$$

以上の式から，第 1 折点のせん断力$Q_1$及びせん断変形角$\gamma_1$を算出する。

$$Q_1=(A_C+(G_S/G_C)\cdot A_S)\cdot\tau_{cr}=\underline{2.867\times10^4(kN)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (式\ 4.12)$$

$$\gamma_1=\tau_{cr}/G_C=\underline{1.859\times10^{-4}(rad)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (式\ 4.13)$$

● EW 方向

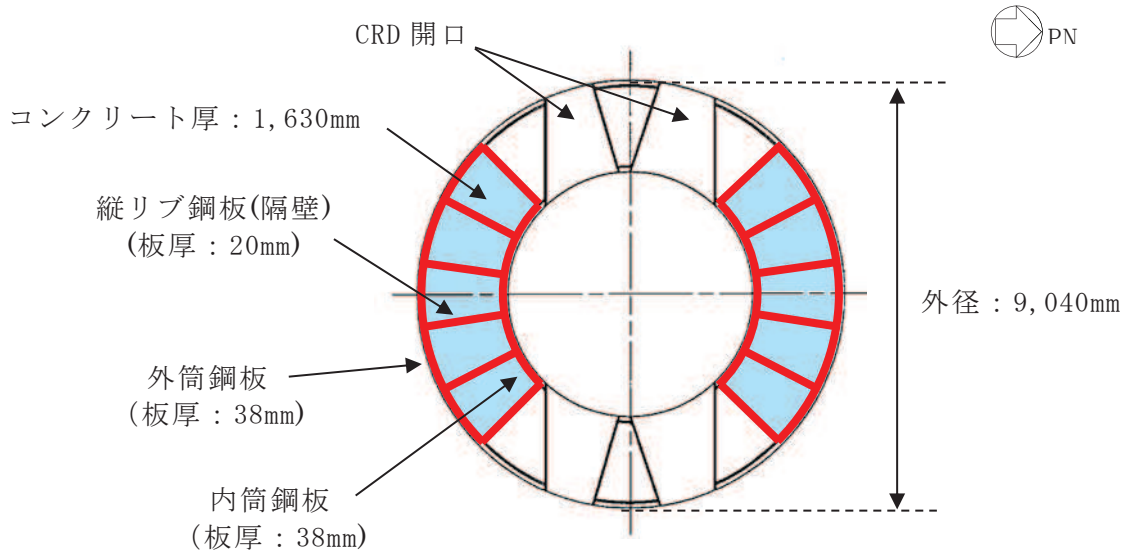



図 4-11　せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面のせん断断面積は，既工認と同様に設定する（表 4-7，表 4-8）。

表 4-7　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのせん断弾性係数 $G_c$ | 11,400 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準（式 2.7） |
| 鋼板のせん断弾性係数 $G_s$ | 73,500 ($N/mm^2$) | 式 2.8 |
| コンクリートのヤング係数 $E_c$ | 26,500 ($N/mm^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準（式 2.1） |
| 鋼板のヤング係数 $E_s$ | 191,000 ($N/mm^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートの圧縮強度 $\sigma_B$ | 32.3 ($N/mm^2$) | 設計基準強度 |

表 4-8　各部材断面のせん断断面積

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| コンクリートのせん断断面積$A_c$ | $1.878\times10^{7}$ ($mm^2$) | 図 4-11 の水色部分 |
| 鋼板のせん断断面積$A_s$ | $1.039\times10^{6}$ ($mm^2$) | 図 4-11 の赤線部分 |

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度$\sigma_v$は，曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり，$\sigma_v=0.7875(N/mm^2)$となる。

コンクリートの圧縮強度$\sigma_B$と$\sigma_v$を用いて，コンクリートのせん断ひび割れ強度$\tau_{cr}$を求める。

$$\tau_{cr}=\sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B}\cdot(0.31\sqrt{\sigma_B}+\sigma_V)}=2.119(N/mm^2) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.14）}$$

以上の式から，第 1 折点のせん断力$Q_1$及びせん断変形角$\gamma_1$を算出する。

$$Q_1=（A_C+（G_S/G_C）\cdot A_S）\cdot \tau_{cr}=\underline{5.400\times10^{4}(kN)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.15）}$$

$$\gamma_1=\tau_{cr}/G_C=\underline{1.859\times10^{-4}(rad)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式 4.16）}$$

（第 2 折点）

コンクリートひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$を算出する際は，試験体を用いて妥当性を確認した手法と同様に，断面全体のうち半分がせん断力に対して有効な領域と仮定し，SC 構造体ユニットについて，全周（欠損がないものとして扱う）の半分に相当する部分の剛性を評価する。

この場合，NS 及び EW の各方向に対する平均的なせん断剛性が得られることから，$K_\beta$は NS 及び EW 方向について共通の値を用いる。

具体的には，次に示す手順で層全体の$K_\beta$を求める。

・SC 構造体ユニットの$K_\beta$を求める。

・層全体の$K_\beta$を求める。

（層全体の$K_\beta$＝SC 構造体ユニットの$K_\beta$の総和/2）

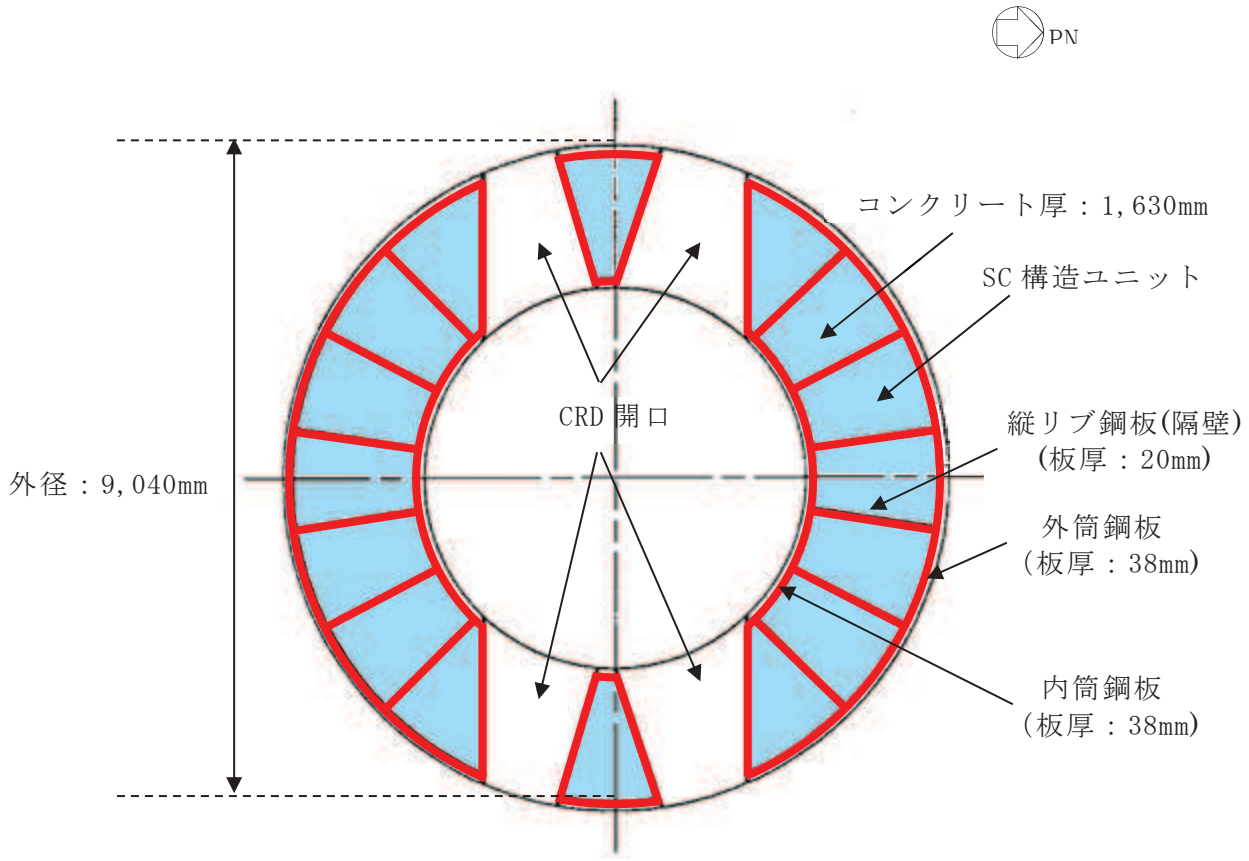



図 4-12　SC 構造体ユニット（赤：鋼板，水色：コンクリート）

鋼板のせん断剛性$K_\alpha$は，第 1 折点と同様に方向に応じた部材断面を考慮して求める。

● $K_\beta$の算出方法（SC 構造体ユニット）

コンクリート及び鋼板の材料物性値は，既工認と同様に設定し，$K_\beta$の算出は，実機 RPV ペデスタルの構造（寸法）に応じた値を用いて行う（図 4-13，表 4-9，表 4-10）。

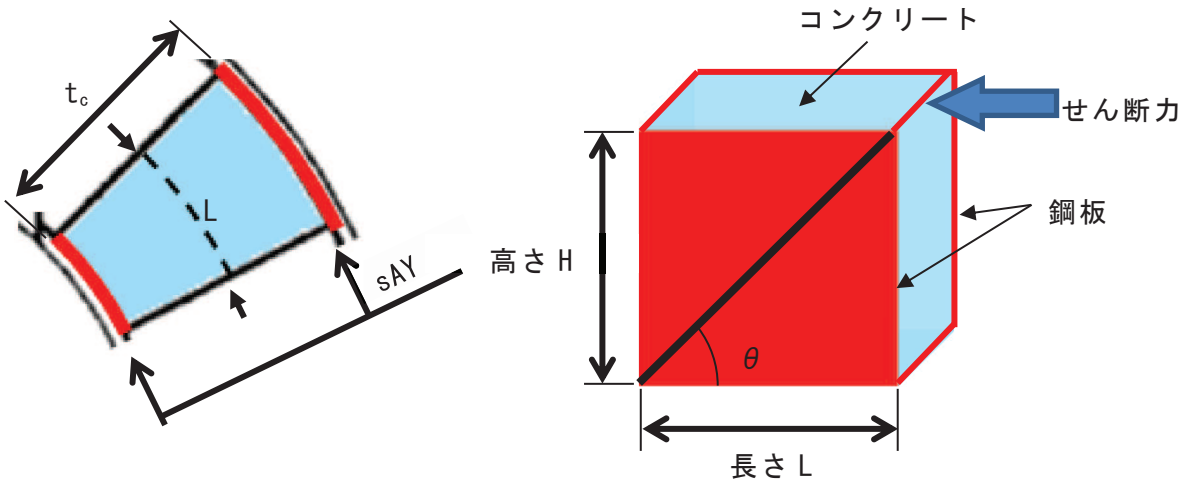



図 4-13　SC 構造体ユニット（赤：鋼板，水色：コンクリート）

表 4-9　コンクリート及び鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| コンクリートのヤング係数 $E_c$ | 26,500 (N/mm$^2$) | 鉄筋コンクリート構造計算規準（式 2.1） |
| 鋼板のヤング係数 $E_s$ | 191,000 (N/mm$^2$) | 告示 501 号 |
| コンクリートのポアソン比 $\nu_C$ | 0.167 | 鉄筋コンクリート構造計算規準 |
| 鋼材のポアソン比 $\nu_S$ | 0.3 | 鋼構造設計規準 |

表 4-10　各部材の主要寸法

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| SC 構造体ユニットの高さ H | 1,290 (mm) | 図 4-13 の高さ H |
| SC 構造体ユニットの長さ L | 1,152 (mm) | 図 4-13 の長さ L |
| コンクリート板厚 $t_C$ | 1,630 (mm) | 図 4-13 の $t_C$ |
| 鋼材の水平断面の断面積 sAy | 87,552 (mm$^2$) | － |
| 鋼材の鉛直断面の断面積 sAx | 98,040 (mm$^2$) | － |

圧縮ストラット角度θは，SC構造体ユニットの高さH及び長さLを用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 48.2\ (^\circ) \cdots\cdots \text{(式 4.17)}$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 $E_C$’は，コンクリートのヤング係数$E_c$に0.7を乗じることにより求める。

$$E_C' = 0.7 \times E_c = 18,550\ (N/mm^2) \cdots\cdots \text{(式 4.18)}$$

以上の式から，SC構造体ユニットひとつあたりの$K_\beta$を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta\left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy}\nu_S\right) = 0.003259 \cdots\cdots \text{(式 4.19)}$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta\left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx}\nu_S\right) = 0.006227 \cdots\cdots \text{(式 4.20)}$$

$$K_\beta = \frac{(\cos\theta)^2}{2\left[\dfrac{1-\nu_C{}^2}{E_C' \cdot t_C \cdot \sin 2\theta} + \dfrac{1}{2 \cdot E_S}(C1 + C2)\right]} \cdot H$$

$$\underline{= 5.011 \times 10^9 (N)} \cdots\cdots \text{(式 4.21)}$$

● 層全体の$K_\beta$

層全体の$K_\beta$は，＝SC構造体ユニットの$K_\beta$の総和/2

$$\underline{= 5.011 \times 10^{10} (N)} \cdots\cdots \text{(式 4.22)}$$

● $K_{\alpha}$の算出方法

● NS 方向

CRD 開口による断面欠損を考慮し算出する（図 4-14）。

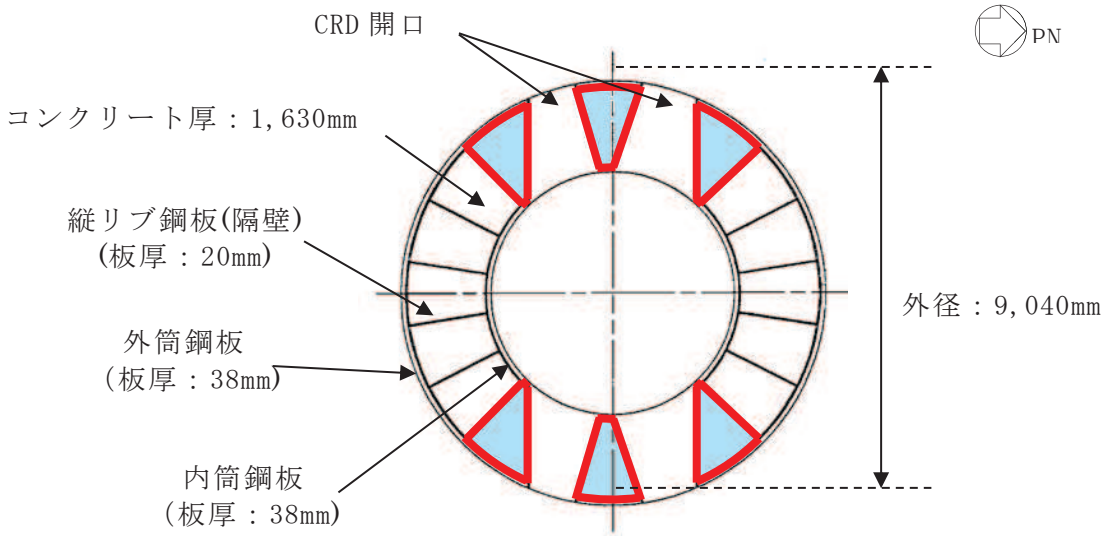



図 4-14　せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

鋼板の材料物性値及び各部材断面のせん断断面積は，既工認と同様に設定する（表 4-11，表 4-12）。

表 4-11　鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| 鋼板のヤング係数$E_s$ | 191,000（$N/mm^2$） | 告示 501 号 |
| 鋼板のせん断弾性係数$G_s$ | 73,500（$N/mm^2$） | 式 2.8 |
| 鋼板の降伏点強度$\sigma_y$ | 425（$N/mm^2$） | 鋼構造設計基準，JIS G 3115 |

表 4-12　各部材の主要寸法

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| 鋼板のせん断断面積$A_s$ | $5.515\times10^5$（$mm^2$） | 図 4-14 の赤線部分 |

鋼板のせん断断面積$A_s$及びせん断弾性係数$G_s$を用いて鋼板のせん断剛性$K_\alpha$を求める。

$$K_\alpha = A_s \cdot G_s = 4.054 \times 10^{10}(\mathrm{N}) \cdots\cdots (式4.23)$$

以上の式から，式 4(2)-12 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$を用いて，第２折点のせん断力$Q_2$及びせん断変形角$\gamma_2$を算出する。

$K_\alpha = 4.054 \times 10^{10}(\mathrm{N})$

$K_\beta = 5.011 \times 10^{10}(\mathrm{N})$

・第２折点のせん断力$Q_2$

$$Q_2 = \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$= 2.463 \times 10^5(\mathrm{kN}) \cdots\cdots (式 4.24)$$

・第２折点のせん断変形角$\gamma_2$

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{K_\alpha + K_\beta}$$

$$= 2.717 \times 10^{-3}(\mathrm{rad}) \cdots\cdots (式 4.25)$$

● EW 方向

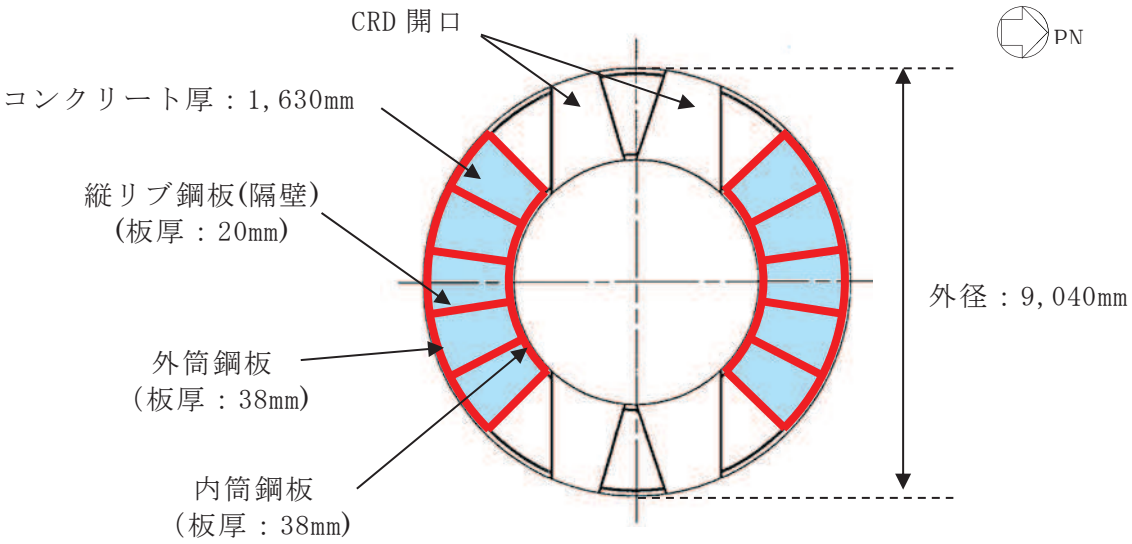



図 4-15　せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
（赤：鋼板，水色：コンクリート）

● 計算過程

鋼板の材料物性値及び各部材断面のせん断断面積は，既工認と同様の値を用いる（表 4-13，表 4-14）。

表 4-13　鋼板の材料物性値

| 物性値 | 値 | 根拠 |
|---|---|---|
| 鋼板のヤング係数 $E_s$ | 191,000 $(N/mm^2)$ | 告示 501 号 |
| 鋼板のせん断弾性係数 $G_s$ | 73,500 $(N/mm^2)$ | 式 2.8 |
| 鋼板の降伏点強度 $\sigma_y$ | 425 $(N/mm^2)$ | 鋼構造設計基準，JIS G 3115 |

表 4-14　各部材の主要寸法

| 項目 | 値 | 対象箇所 |
|---|---|---|
| 鋼板のせん断断面積 $A_s$ | $1.039\times10^6$ $(mm^2)$ | 図 4-15 の赤線部分 |

鋼板のせん断断面積$A_s$及びせん断弾性係数$G_s$を用いて鋼板のせん断剛性$K_\alpha$を求める。

$$K_\alpha = A_s \cdot G_s = 7.637 \times 10^9 (N) \quad \cdots\cdots (式\ 4.26)$$

以上の式から，式 4.22 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$を用いて，第２折点のせん断力 $Q_2$及びせん断変形角$\gamma_2$を算出する。

$K_\alpha = 7.637 \times 10^9$ (N)

$K_\beta = 5.011 \times 10^{10}$ (N)

・第２折点のせん断力Ｑ２

$$Q_2 = \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$= 3.948 \times 10^5 (kN) \quad \cdots\cdots (式\ 4.27)$$

・第２折点のせん断変形角$\gamma_2$

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{K_\alpha + K_\beta}$$

$$= 3.121 \times 10^{-3} (rad) \quad \cdots\cdots (式\ 4.28)$$

〈参考文献〉

(1) 日本機械学会 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 JSME S NE1-2003

(2) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE),1993

(3) 松尾　他：鋼板コンクリート耐震壁に関する研究　その3　せん断荷重-変形関係の解析，日本建築学会大会学術講演梗概集（1992年）

# SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブに基づく試験体の荷重変形特性の作成方法

## 1. 概要

SC 規程を参考にして試験体の荷重変形特性を作成するため，試験体を実機 RPV ペデスタルと同様に要素分割し，地震応答解析モデルの各要素に対して，別紙-1 の 2.3 項の考え方に基づき SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブ（M-φ特性，Q-γ特性）を用いて，荷重変形特性を作成する。

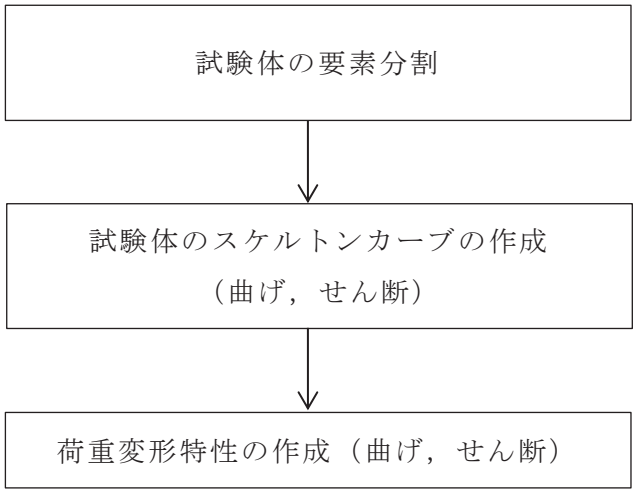



図1-1　SC規定を参考にした試験体の荷重変形特性の作成フロー

## 2. 試験体の構造及びスケルトンカーブの作成

### 2.1 構造及び要素分割

試験体は，改良型沸騰水型原子炉（以下「ABWR」という。）の実機 RPV ペデスタルと同様に，内外の円筒鋼板とそれらを一体化するための放射状の縦リブ鋼板（隔壁）で構成され，内部にコンクリートを充填している。RPV ペデスタル内にはベント管を内蔵している（図 2-1)。

試験体は，ほぼ一様断面の構造となっているものの，下部ドライウェルアクセストンネルを模擬した開口部を含んでいることから，当該部分については個別に要素分割を行う（図 2-2)。

なお，BWR の実機 RPV ペデスタルは，隔壁方式であること，円筒型であること及びコンクリートが水平鋼板で分断されることの特徴が，ABWR の RPV ペデスタルと類似であることから，ベント管を内蔵していない部分の考え方を適用できる。

2.2　試験体のスケルトンカーブの作成

試験体は ABWR の下部ペデスタルと類似の構造であることから,別紙-1 の 2.3.2(1)及び（2）に基づき曲げ及びせん断のスケルトンカーブを作成する。

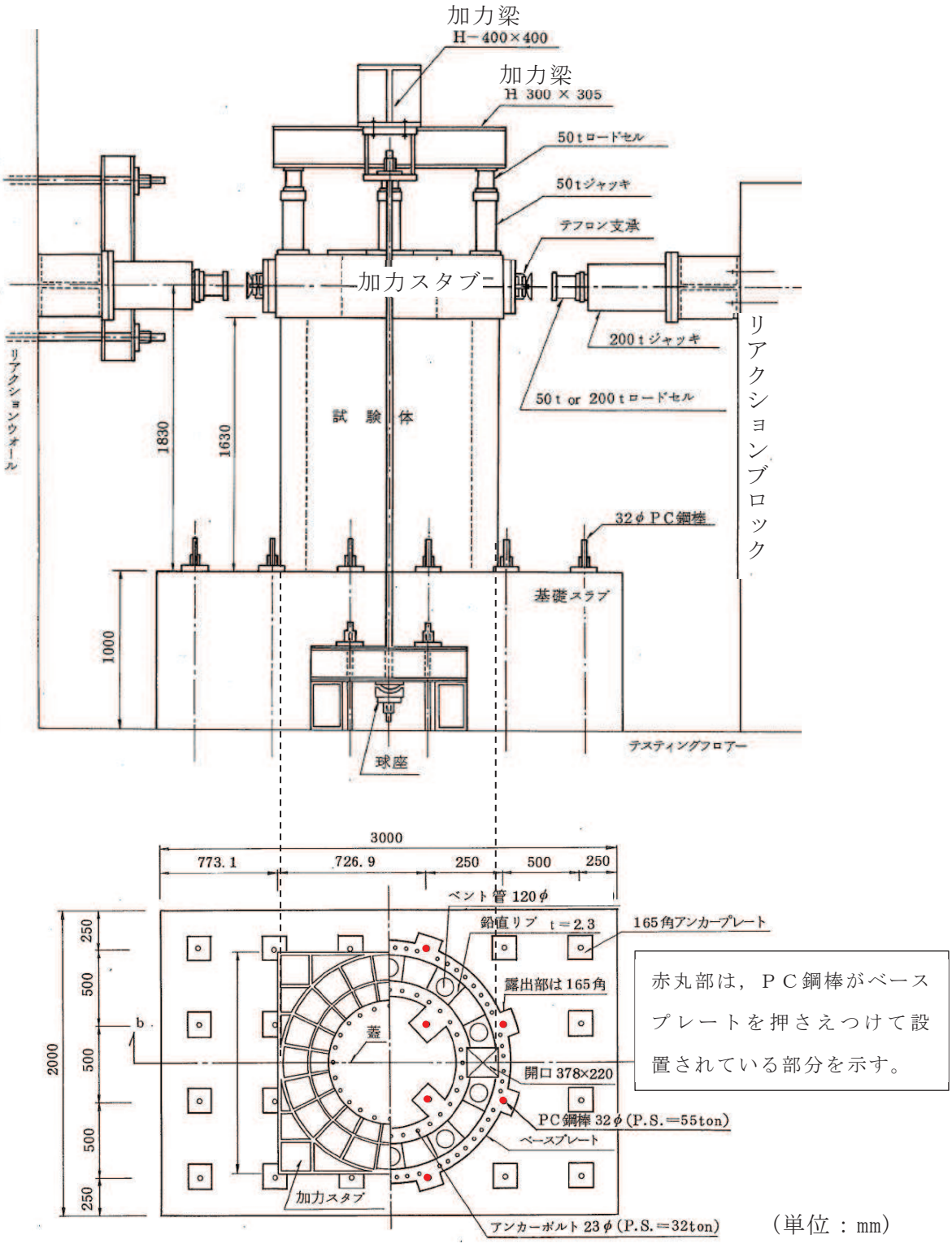
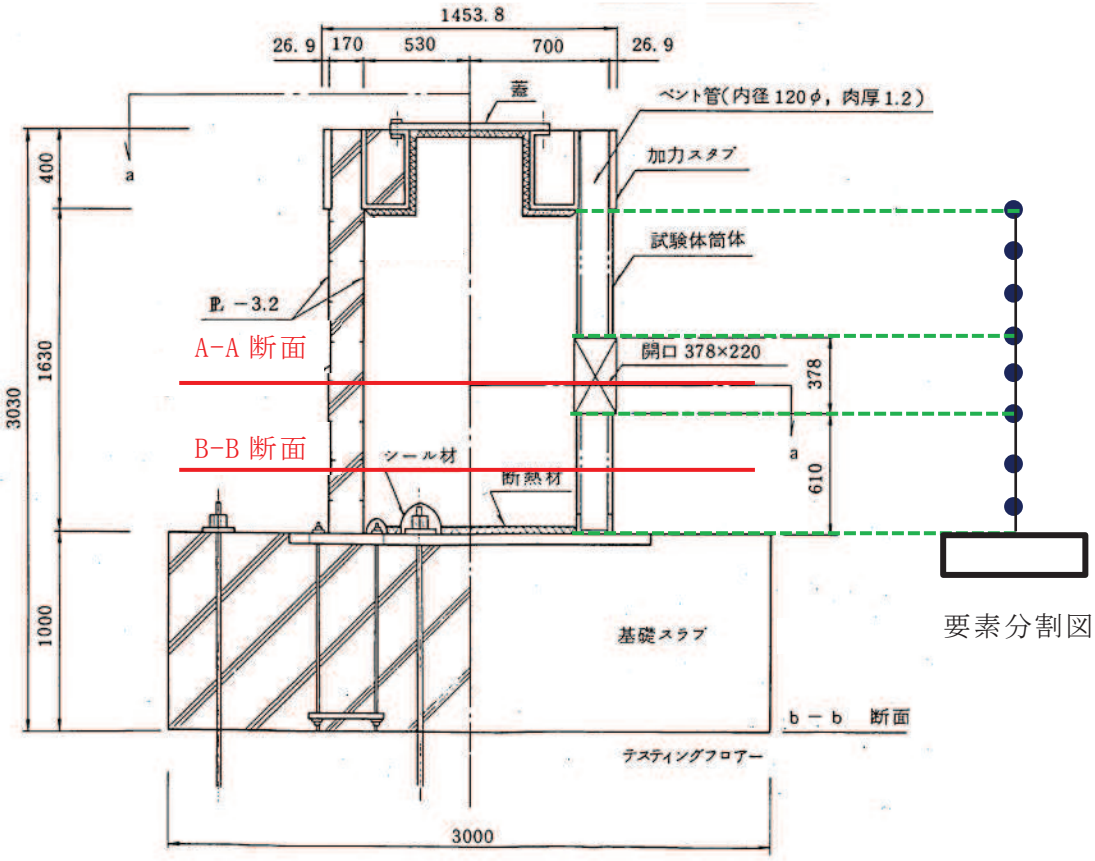
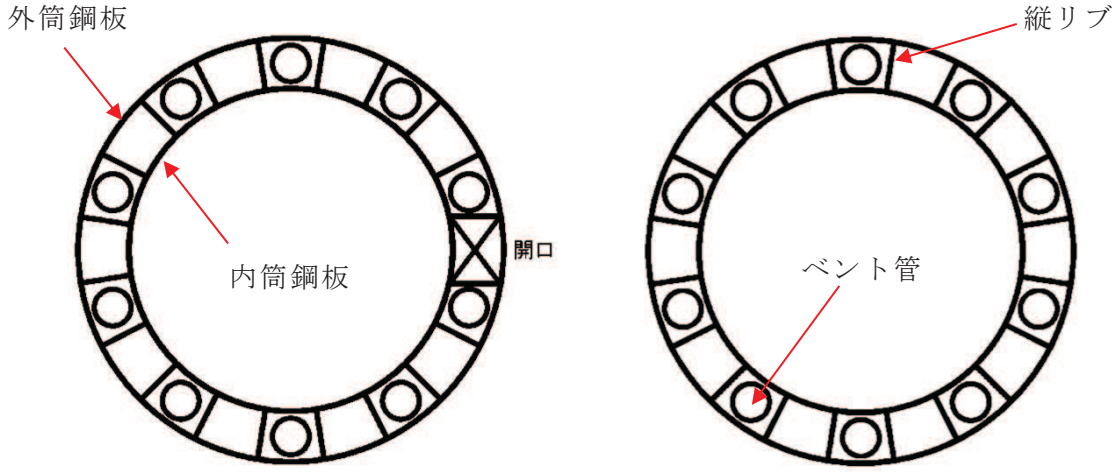



図 2-1　RPV ペデスタルの試験体と加力装置の概要

（参考文献(1)より引用，加筆）




（a）試験体要素分割図




（b）A-A 断面概要図　　（c）B-B 断面概要図

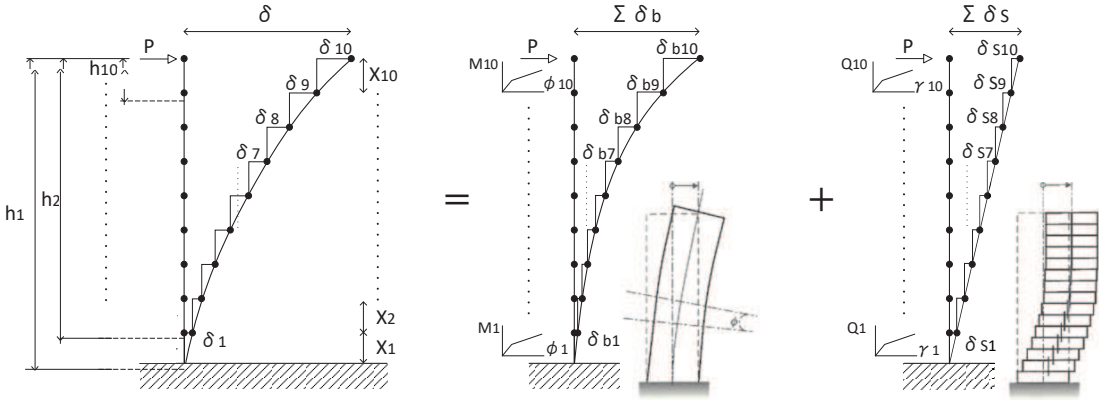
図 2-2　試験体の要素分割及び断面

3.　荷重変形特性の作成

3.1　作成方法

実機 RPV ペデスタルと同様に断面形状を考慮した試験体の各層の曲げモーメント M－曲率 $\phi$ 関係，せん断力 Q－せん断変形角 $\gamma$ 関係をもとに，荷重 P－変位 $\delta$ 関係を作成する。

図 3-1 に示すとおり，頂部に荷重 P を作用させたときの全体変形量 $\delta$ は曲げ変形量 $\delta_b$ とせん断変形量 $\delta_s$ の和で表され，$\delta_b$ と $\delta_s$ を各層ごとに積み重ねることで，頂部における $\delta$ を算出する。




全体変形 $\delta$　　曲げによる変形 $\delta_b$　　せん断による変形 $\delta_s$

図 3-1　算出方法のイメージ

下記①～④の手順により，頂部における荷重 P に対する変位 $\delta_b$ 及び $\delta_s$ を算出し，荷重変形特性を作成する。

① 頂部に荷重Ｐを作用させたときの，各層の曲げモーメントＭ，せん断力Ｑを求める。

各層のＭ＝Ｐ×ペデスタル頂部から対象要素下端までの距離ｈ

各層のＱ＝Ｐ

② 各層のＭ，Ｑ，スケルトンカーブのＭ－$\phi$，Ｑ－$\gamma$ 関係から，各層の $\phi$，$\gamma$ を求める。

各層のＭ→スケルトンカーブ（Ｍ－$\phi$ 関係）→各層の $\phi$

各層のＱ→スケルトンカーブ（Ｑ－$\gamma$ 関係）→各層の $\gamma$

③ 各層の $\phi$，$\gamma$ から，各層の曲げ変形 $\delta_b$，せん断変形 $\delta_s$ を求める。

$\delta_b$＝各層の回転角 $\theta$ ×ペデスタル頂部から対象要素下端までの距離 h

＝各層の $\phi$ ×各層の要素長さＸ×ペデスタル頂部から対象要素下端までの距離 h*

$\delta_s$＝各層の $\gamma$ ×各層の要素長さＸ

④　各層の $\delta_b$，$\delta_s$ を足し合わせ，全体の $\delta$ を求める。

$$\delta = \Sigma\ \delta_b + \Sigma\ \delta_s$$

＊ 曲げ変形量 $\delta_b$ の算出について

$\delta_b$ を算出するにあたり，図 3-2 の様に以下を定義する。

$X_i$：曲げ変形量を算出しようとしている対象要素の長さ

$h_i$：ペデスタル頂部から対象要素下端までの距離

$\theta_i$：曲げ変形により生じる要素の傾き

これらについて，スケルトンカーブから求める曲率 $\phi$ と曲率の逆数である曲率半径 $\rho$ を用いて整理すると，

$$X_i \fallingdotseq \rho_i \times \theta_i = \theta_i / \phi_i$$

となるため，

$$\theta_i = X_i \times \phi_i$$

となる。求めた回転角 $\theta$ より各層の曲げ変形量 $\delta_{bi}$ を表すと

$$\delta_{bi} \fallingdotseq h_i \times \theta_i$$

となり，$\delta_b$ は以下の式で求めることができる。

$$\begin{aligned}\delta_b &= \delta_{b1} + \delta_{b2} + \delta_{b3} + \delta_{b4} + \cdots \\ &\fallingdotseq (h_1 \times \theta_1) + (h_2 \times \theta_2) + (h_3 \times \theta_3) + (h_4 \times \theta_4) + \cdots \\ &\fallingdotseq (h_1 \times X_1 \times \phi_1) + (h_2 \times X_2 \times \phi_2) + (h_3 \times X_3 \times \phi_3) + (h_4 \times X_4 \times \phi_4) \cdots\end{aligned}$$

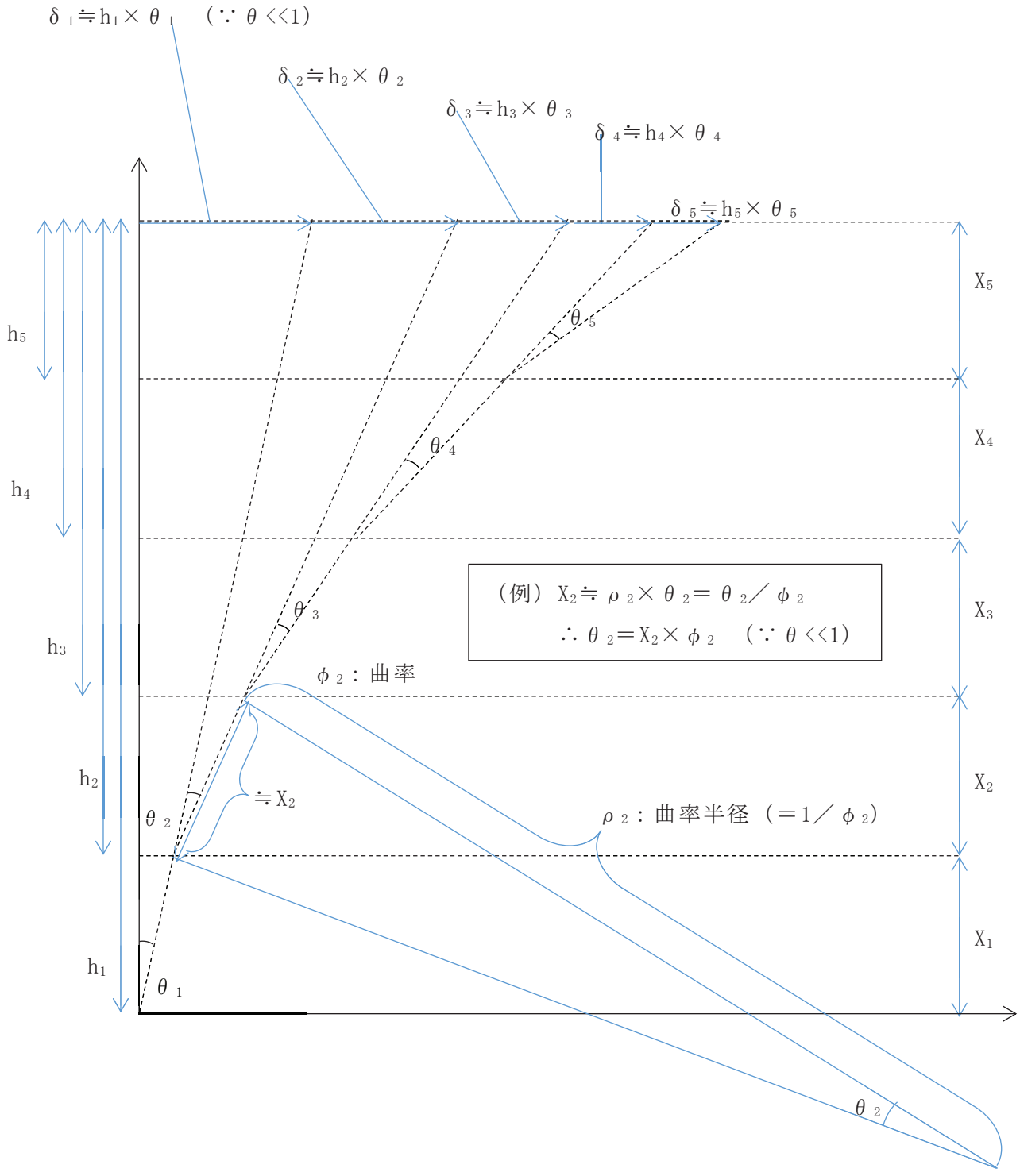

δ 1≒h1× θ 1 （∵ θ <<1）
δ 2≒h2× θ 2
δ 3≒h3× θ 3
δ 4≒h4× θ 4
δ 5≒h5× θ 5
h5
h4
h3
h2
h1
X5
X4
X3
X2
X1
θ 5
θ 4
θ 3
θ 2
θ 1
（例） X2≒ ρ 2× θ 2＝ θ 2／ φ 2
∴ θ 2＝X2× φ 2 （∵ θ <<1）
φ 2：曲率
≒X2
ρ 2：曲率半径（＝1／ φ 2）

図 3-2　曲げ変形の算出

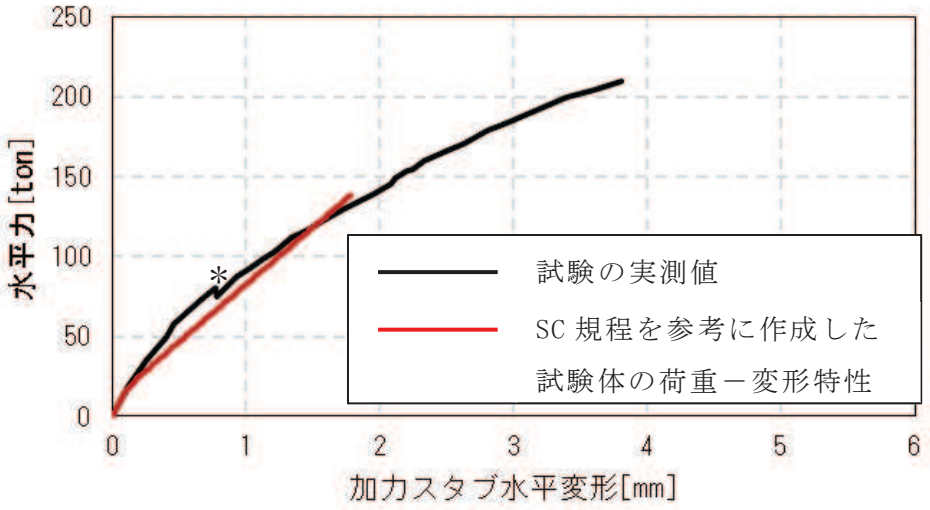
3.2　荷重変形特性

3.1項に基づき作成した曲げ及びせん断の荷重変形特性を図3-3に示す。

3.1.1　曲げ変形

黒線：試験体へ水平力を付加した際に実測した試験体の曲率をもとに算出した曲げによる変形（別紙5-9～10参照）

赤線：SC規程を参考に作成したスケルトンカーブ（M-φ）から算出したもの（別紙4-4～6参照）




(a)曲げ変形の比較

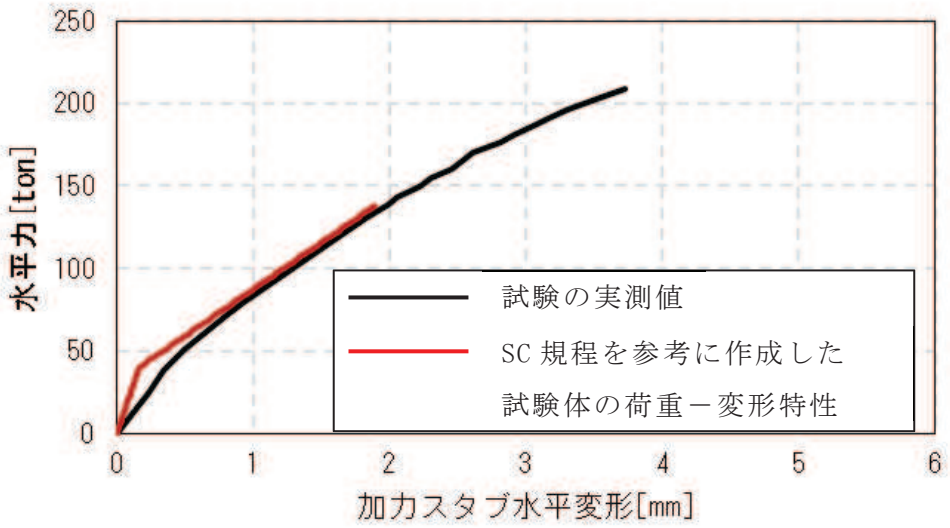
*：繰り返し載荷した試験結果を包絡したことによる不連続点

図 3-3　荷重-変形関係の比較（曲げ変形）

3.1.2　せん断変形

黒線：試験体へ水平力を付加した際に実測した試験体頂部の全体変形から，曲げによる変形分を除いたもの（別紙5-10参照）

赤線：SC規程を参考に作成したスケルトンカーブ（Q-γ）から算出したもの（別紙4-4参照）



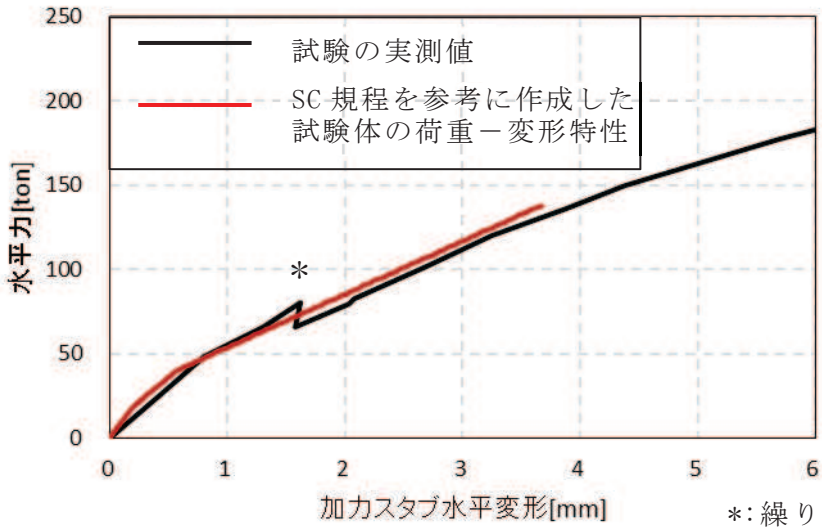

(b)せん断変形の比較

図 3-4　荷重-変形関係の比較（せん断変形）

3.1.3　全体変形

黒線：試験体へ水平力を付加した際に実測した試験体頂部の全体変形（別紙5-8参照）

赤線：SC規程を参考に作成したスケルトンカーブ（M-φ及びQ-γ）から算出したもの（別紙4-4参照）




(c)適用範囲近傍の拡大図

*:繰り返し載荷した試験結果を包絡したことによる不連続点

図 3-5　荷重-変形関係の比較（全体変形）

4.　参考文献

(1)　東京電力株式会社，東北電力株式会社，中部電力株式会社，北陸電力株式会社，中国電力株式会社，日本原子力発電株式会社，株式会社 東芝，株式会社 日立製作所：共同研究報告書「コンクリートＰＣＶの構造評価および基準確立のための実証実験」，昭和 62 年度上半期（最終報告書），昭和 62 年 9 月

# 既往試験の概要，信頼性及び実機への適用性

## 1. 既往の試験

改良型沸騰水型原子炉（以下「ABWR」という。）の RPV ペデスタルは，鋼板及びコンクリートからなる複合構造物にベント管が埋め込まれているという構造上の特徴を有している。ABWR の開発段階において，RPV ペデスタルの水平荷重に対する終局状態までの荷重－変位特性を把握するため，電力共同研究として実機を模擬した試験体を用いて静的加力試験[(1)]（以下「試験」という。）を行っている。試験体と加力装置の概要を図 1-1 に，試験体の断面図を図 1-2 に示す。

本試験結果のうち鋼板が降伏するまでの範囲を，今回工認で設定する RPV ペデスタルのスケルトンカーブの評価上の仮定に対する妥当性確認に用いている。

なお，本添付資料中における実機とは，ABWR を示す。

### 1.1 試験体

試験は，実機の構造の特徴を模擬した 1/10 縮尺の円筒型の鋼板コンクリート構造試験体を製作して行った。試験体に発生する応力度が実機相当になるように，試験体寸法の縮尺を実機の 1/10 程度，載荷する荷重を試験当時の実機設計荷重の 1/100 程度として試験を実施した。

試験体の模擬対象は，実機の構造のうち隔壁方式の鋼板コンクリート構造の特徴を有するとともに，地震時に比較的大きな荷重が作用して非線形挙動を示す RPV ペデスタルの下部とした。試験体の内外筒鋼板の間に 20 枚の鉛直方向の隔壁を配置し，底部にはベースプレートを配置することにより，内部コンクリートが実機と同様に分断されている状態を模擬するとともに，10 本のベント管による内部コンクリートの欠損状態を考慮している。

試験体の据付けにおいては，加力の影響を受けない剛なテスティングフロアーと試験体の基礎スラブを，PC 鋼棒による軸力を介して緊結し固定した。

### 1.2 加力方法

試験当時の設計荷重相当の鉛直力*を付加した後，試験体の反力の影響を受けない剛なリアクションウォール（反力壁）及びリアクションブロック（反力ブロック）にそれぞれジャッキを取り付け，水平方向に静的に漸増載荷した。

試験体への鉛直力は，試験体頂部加力スタブに PC 鋼棒及び加力梁を介して 50t ジャッキにより付加し，圧力ジャッキと加力梁間のロードセル（荷重計）により計測した。なお，加力梁とテスティングフロアーを緊結する PC 鋼棒に取付く球座は，水平方

向の加力に対して追従するために設けた治具である。

水平方向の荷重は，200t ジャッキ先端に設けたロードセル（荷重計）によって測定した。なお，試験体に設けたテフロン支承は，ジャッキとの摩擦力を緩和し，点荷重に近い状態とすることを目的に設置した。

水平力の載荷サイクルを図 1-3 に示す。まず，コンクリートのひび割れが生じない荷重(弾性荷重)で繰返し載荷を行った。次に水平力が当時の設計荷重相当（図 1-3 に示す $Q_D$=52ton)に至るまで載荷を行い,その後,設計荷重の 1.5 倍相当(1.5$Q_D$=80ton)，鋼板曲げ降伏レベル（209ton）のサイクルを経て，荷重降下に至るレベルまで加力した（荷重変位特性は図 1-4 参照)。

*:本試験は，水平荷重に対する RPV ペデスタルの終局状態までの荷重－変位特性の把握を目的として実施したものである。RPV ペデスタルのコンクリートは構造強度部材として期待していないが，試験当時の設計荷重による圧縮応力度（1.2N/mm$^2$）は，鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説の長期許容応力度（1/3Fc＝9.8N/mm$^2$，Fc：設計基準強度）に比べて十分に小さいレベルであり，水平加力に対して脆性的な終局状態を引き起こすものではないことを確認している。

1.3　計測方法

試験体の非線形挙動を把握するために，荷重，試験体頂部の水平方向変位，試験体側面の鉛直方向相対変位及び鋼板のひずみを計測した。計測項目と計測方法のまとめを表 1-1 に示す。

表 1-1　計測項目と計測方法のまとめ

| 計測項目 | 目的 | 計測方法 | 計測位置等 |
|---|---|---|---|
| 荷重 | 試験体に載荷された水平力の計測 | 加力ジャッキに取り付けたロードセルにより計測する。 | 図 1-1 参照 |
| 試験体頂部の水平方向変位 | 全体変形量の計測 | 基礎スラブを不動点として，変位計により全体変形量を計測する。 | 図 1-5 参照 |
| 試験体側面の鉛直方向相対変位 | 曲げ変形量の計測 | 鉛直方向相対変位を変位計により計測し，図 1-7 に示す手法により曲げ変形量を算出する。 | 図 1-6 参照 |
| 鋼板のひずみ | 鋼板の応力度の算出 | 試験体に取り付けたひずみゲージでひずみを計測し，得られたひずみにヤング係数を乗じて応力度を算出する。 | 図 1-8 参照 |

荷重値はジャッキに取り付けたロードセル（荷重計）により計測した（図 1-1)。

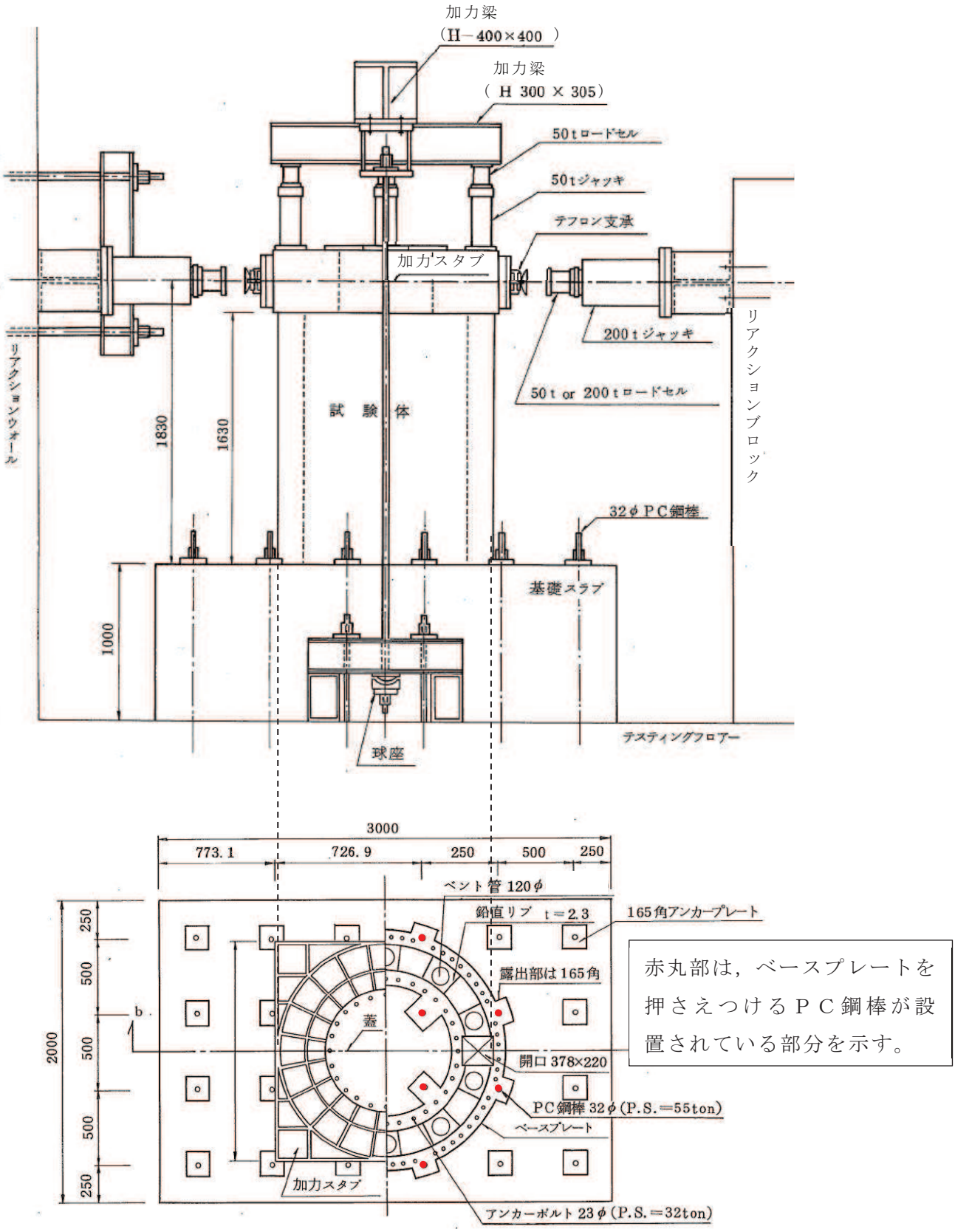
水平力載荷時の試験体各部の変形量は，不動点である基礎スラブに設置した計測フレームに取り付けた変位計にて計測を行った。また，試験体の曲げ変形量を算出するため，試験体鉛直方向の相対変位を変位計にて計測した（図 1-6)。

全体変形量 $\delta_T$ は基礎スラブを不動点として，試験体頂部の変位計により計測した（試験体頂部の変位計は図 1-5 の赤丸で図示)。

曲げ変形量 $\delta_B$ は，計測した鉛直方向の相対変位から定まる曲率を用いて算出し，せん断変形量 $\delta_S$ は $\delta_T$ から $\delta_B$ を減算することにより算出した（図 1-7)。

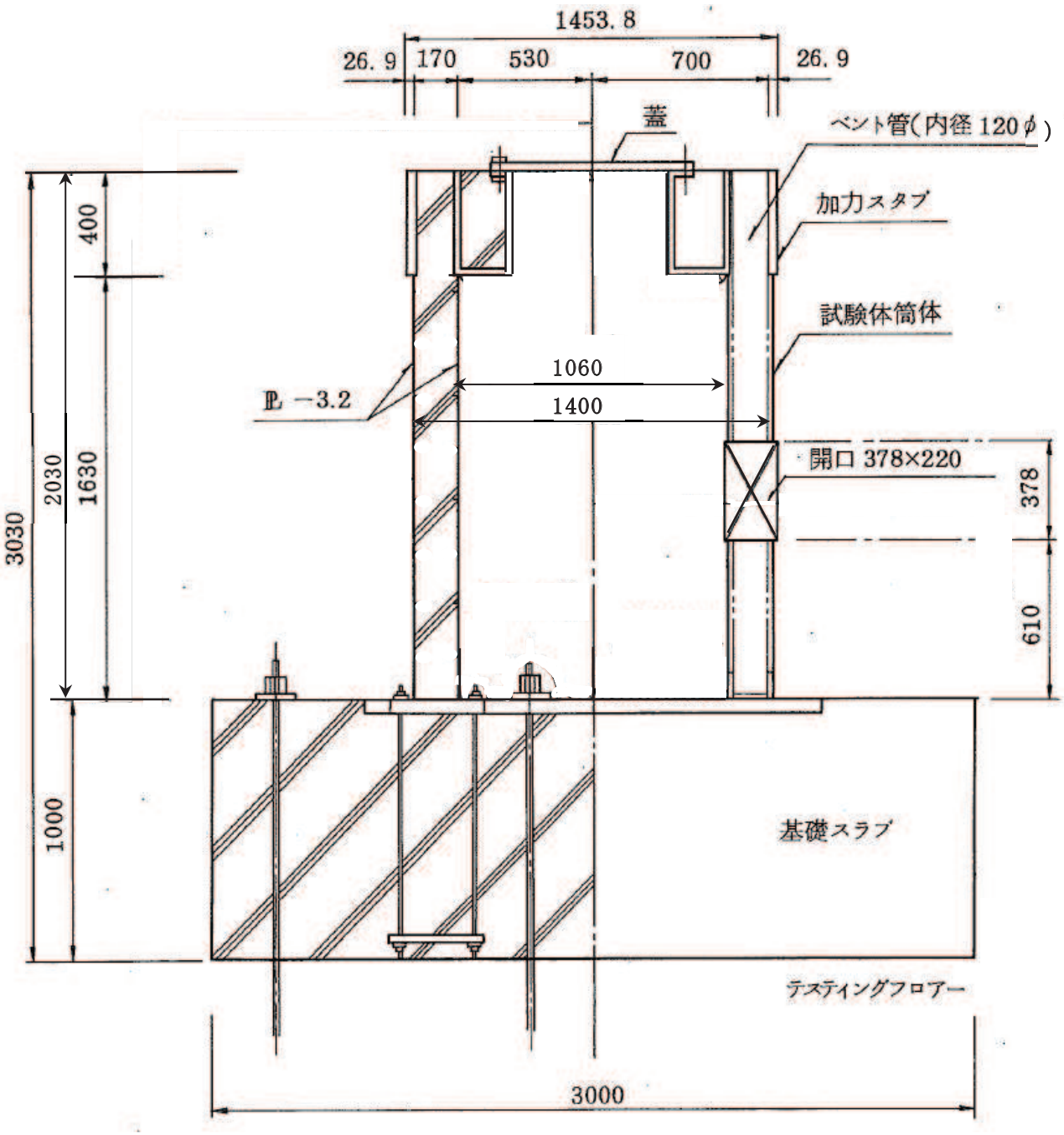
水平力載荷時の鋼板のひずみを，鋼板の側面に取り付けたひずみゲージにより計測し，鋼板の応力度を（ひずみ）×（鋼材のヤング係数）の関係から算出した。

試験体は，PC 鋼棒を介してベースプレートにプレストレス力(1 本あたり 55ton)を作用させており，測定データがベースプレートの変形の影響を受けないようにして測定される試験体の水平変形量の信頼性を確保している。




（単位：mm）

図 1-1　RPV ペデスタルの試験体と加力装置の概要（参考文献(1)より引用，加筆）




（単位：mm）

図 1-2　試験体の断面図（参考文献(1)より引用）

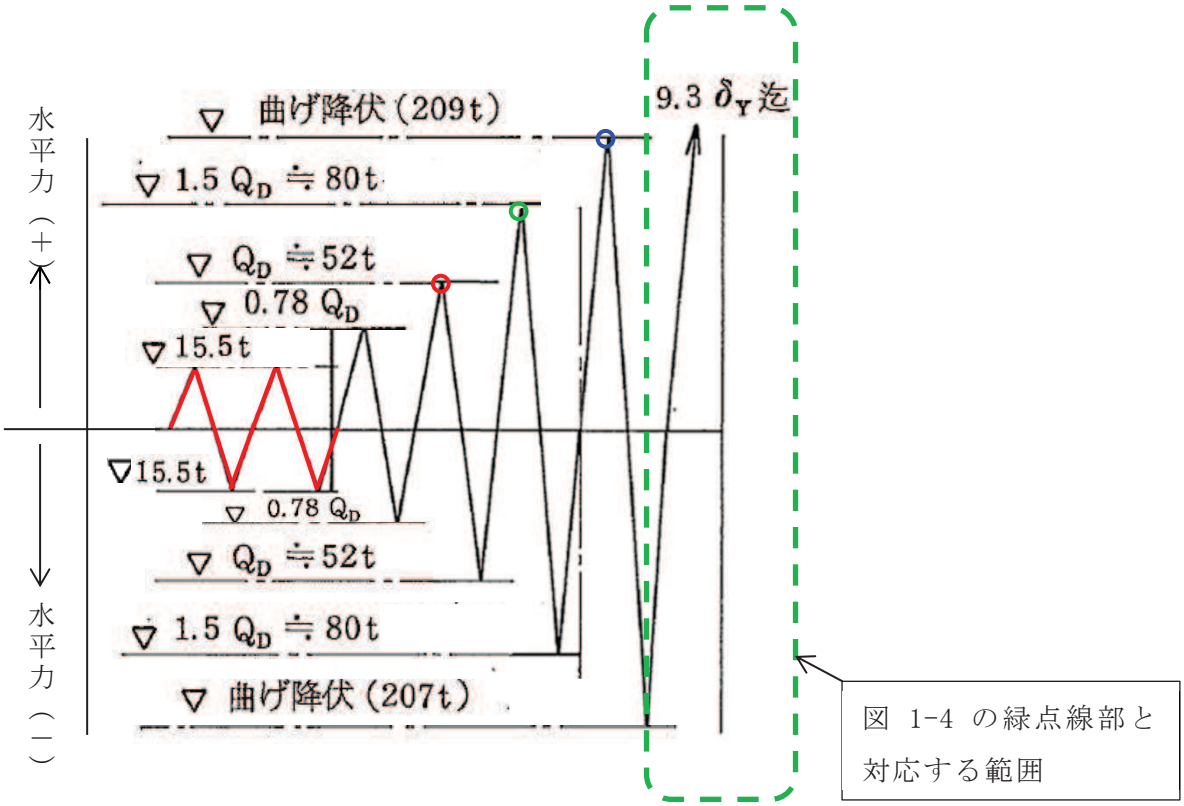



図 1-3　水平力の載荷サイクル（参考文献(1)より引用，加筆）

＜記号の説明＞

$Q_D$　：設計荷重に相当する荷重

$\delta_Y$　：鋼板降伏時の水平変位

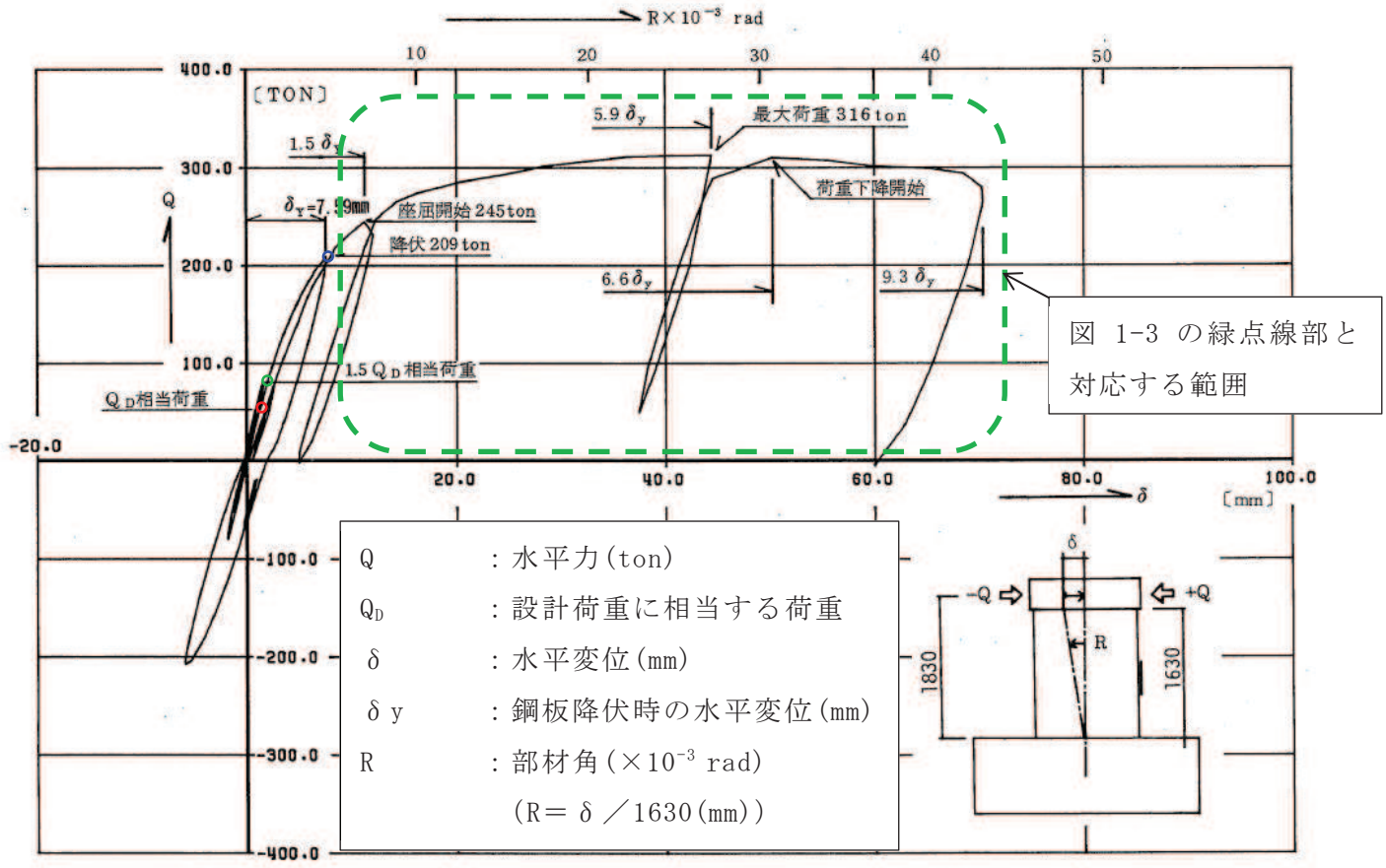
赤線　：コンクリートのひび割れが生じない程度の小さな荷重(弾性荷重)で載荷する範囲

赤丸　：設計荷重に相当する荷重($Q_D$=52ton)（図 1-4 の赤丸と対応）

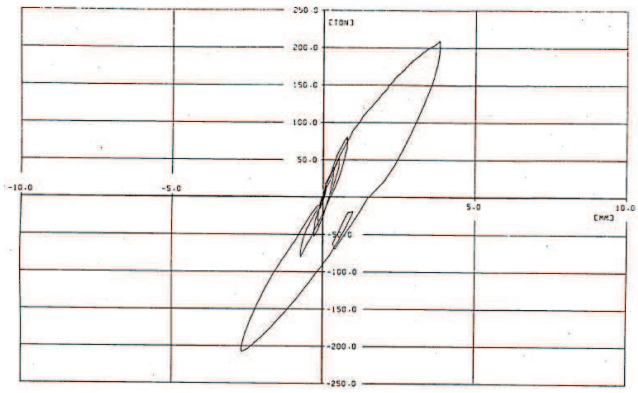
緑丸　：設計荷重に相当する荷重の 1.5 倍の荷重(1.5$Q_D$=80ton)（図 1-4 の緑丸と対応）

青丸　：曲げ降伏時の荷重(209ton)(図 1-4 の青丸と対応)

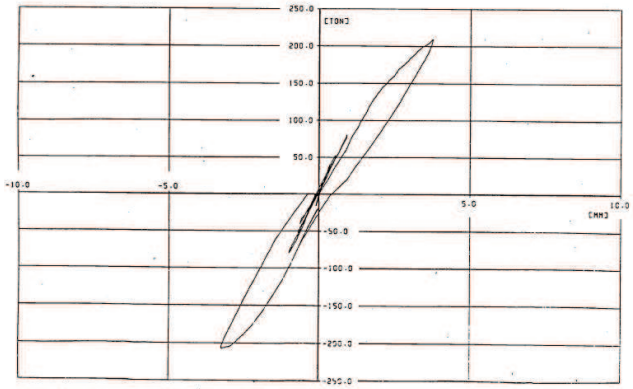
緑点線　：図 1-4 の緑点線部と対応する範囲




(a)　水平力－水平変位特性（曲げ＋せん断）



(b)　水平力－水平変位特性（曲げ）



(c)　水平力－水平変位特性（せん断）

図 1-4　試験で得られた荷重変位特性（参考文献(1)より引用，加筆）

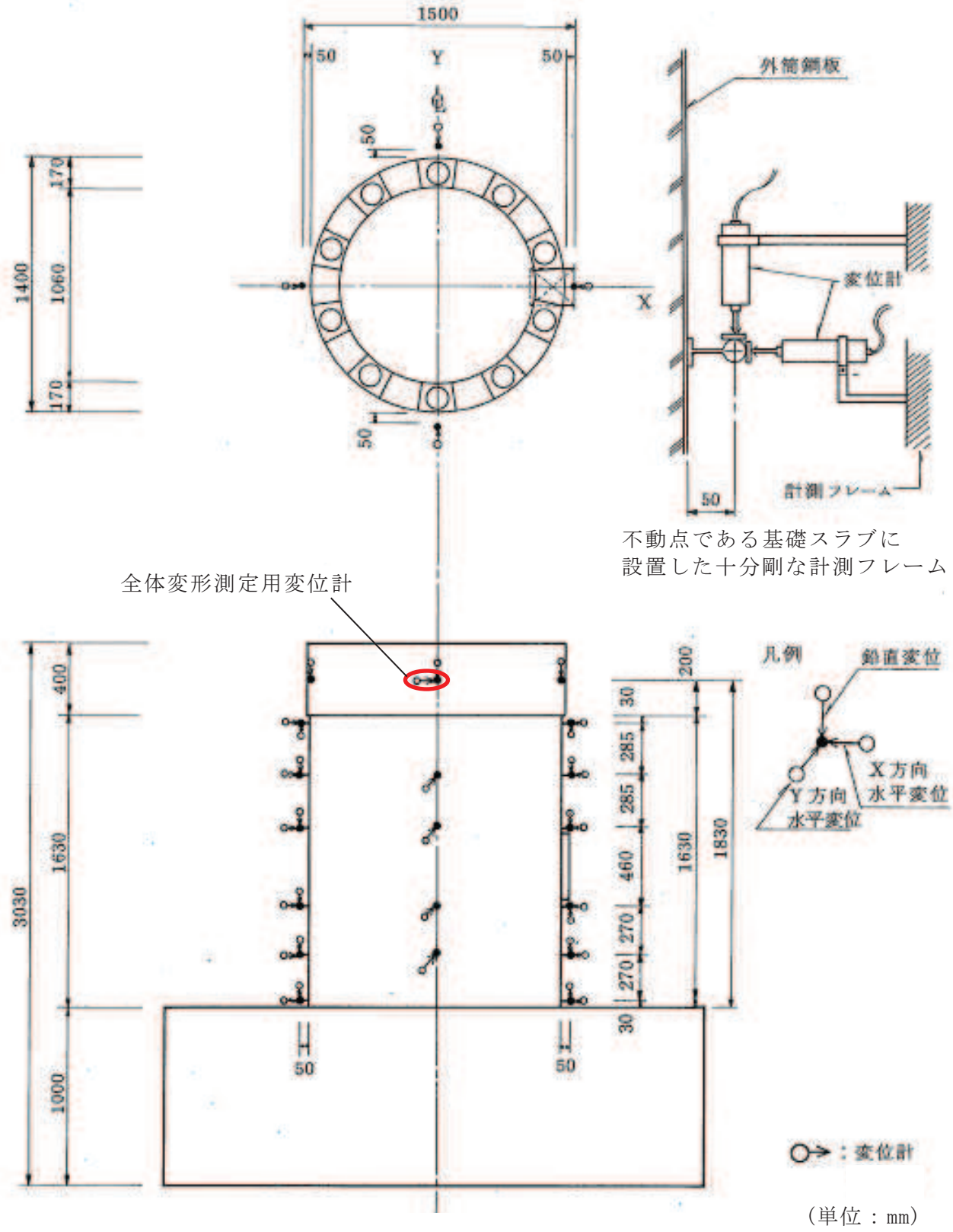



図 1-5　水平変位及び鉛直変位測定位置（参考文献(1)より引用，加筆）

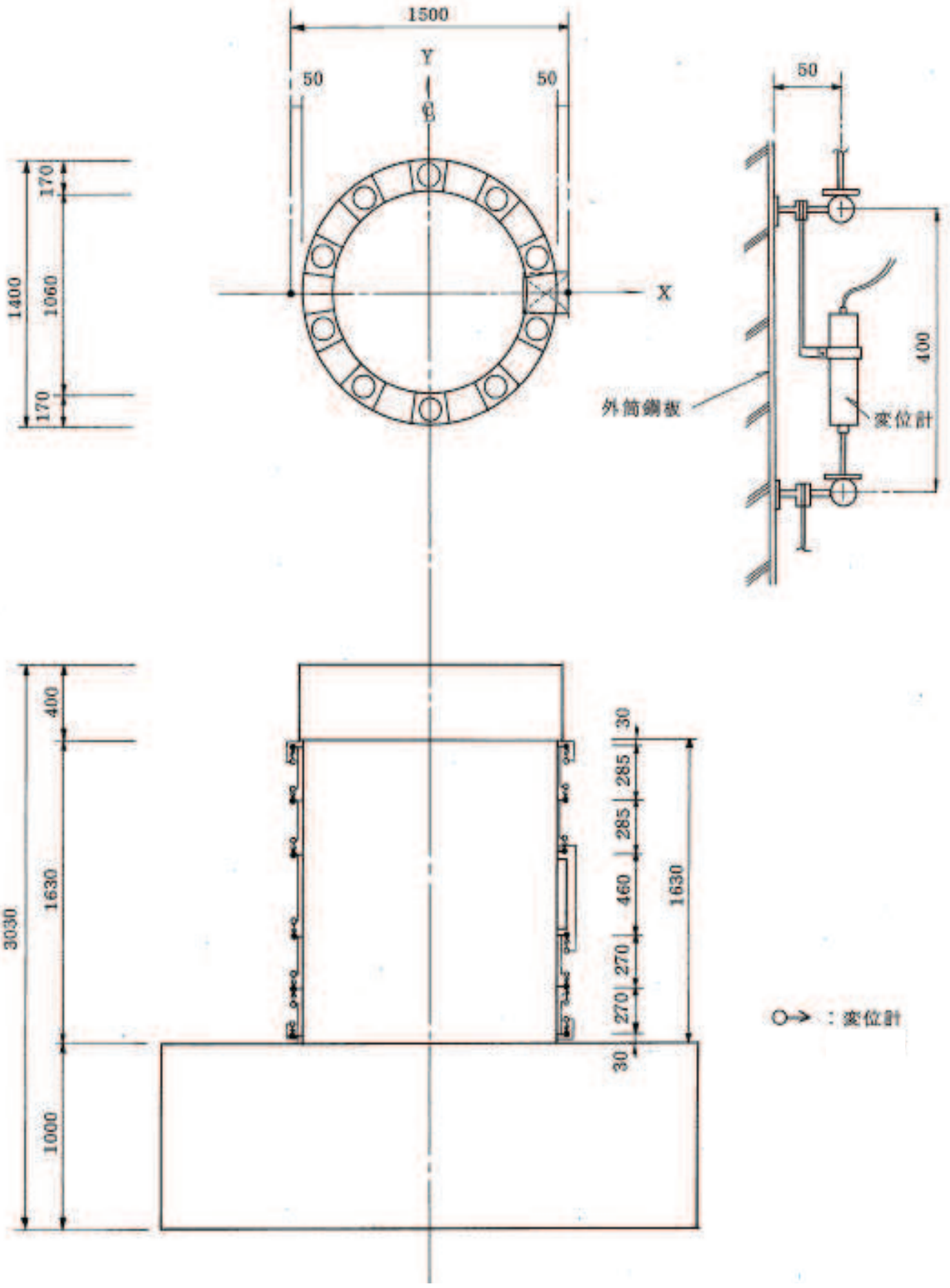



図 1-6　曲げ変形算出用変位測定位置（参考文献(1)より引用）

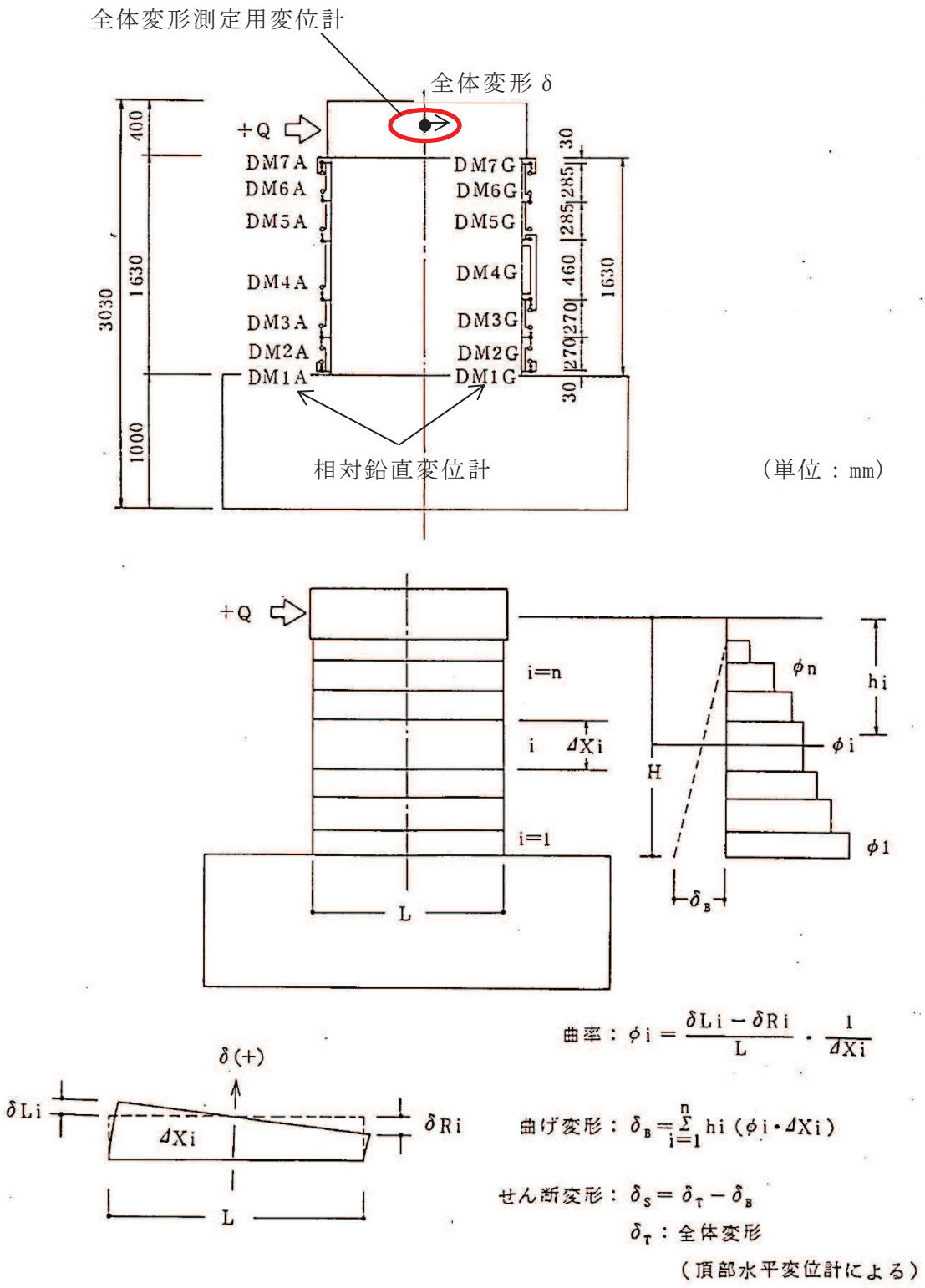



図 1-7　変形成分分離手法（参考文献(1)より引用，加筆）

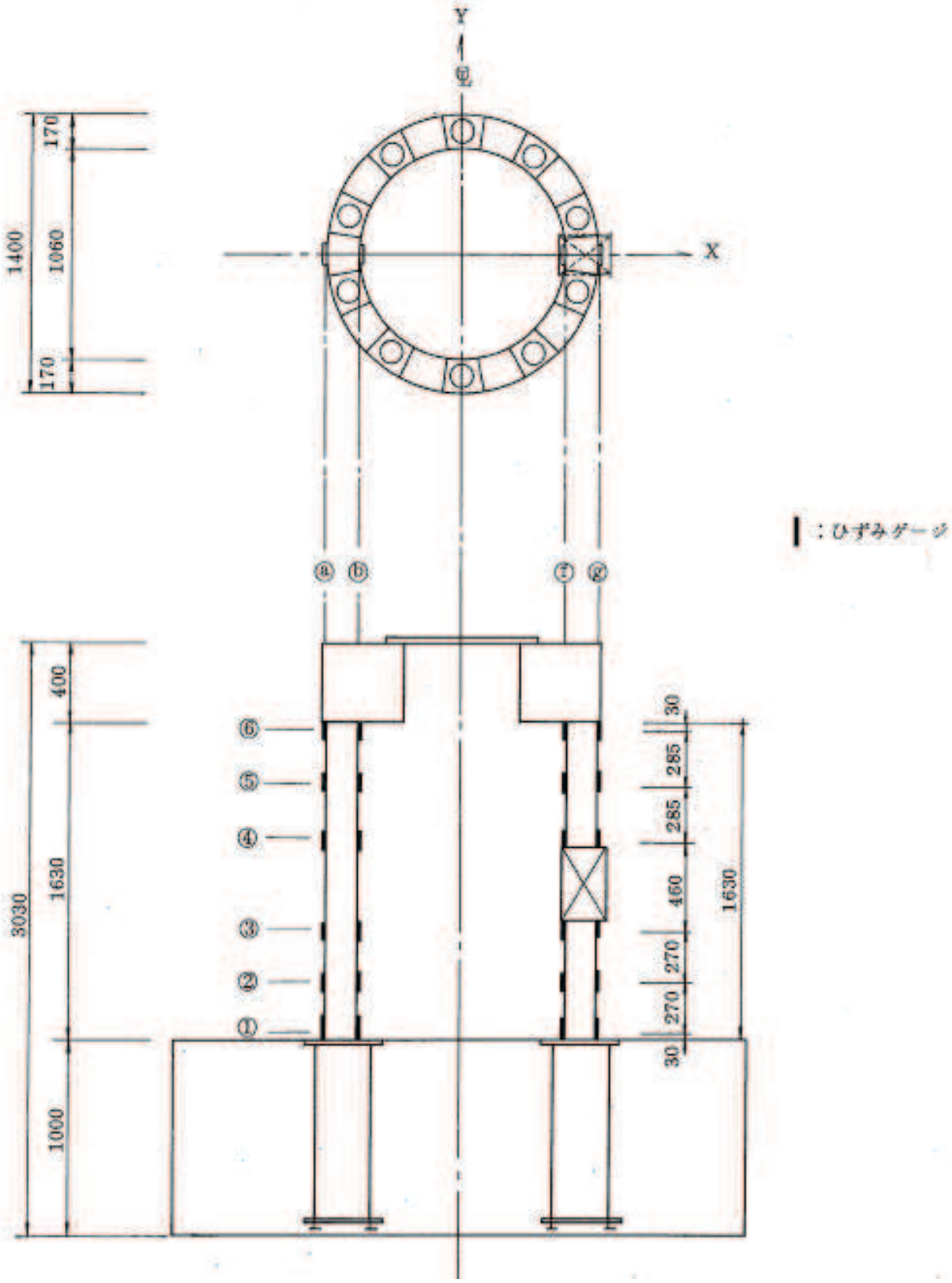



図 1-8　内外鋼板応力度算出用ひずみ測定位置（参考文献(1)より引用）

2. 試験結果の実機及び女川2号炉への適用性

試験体は，RPV ペデスタルの構造上の特徴を反映するため内外鋼板の間にコンクリートを充填した構造とし，ABWR のペデスタルを模擬するためベント管を内蔵する部分と内蔵しない部分を含めたものである。

ここで，試験体の鋼材が実機と異なるが，試験体に対する SC 規程を用いた荷重－変位特性を求める際は，使用材料の規格値に基づく剛性を用いることで，差異を適切に考慮している。

したがって，本試験体の試験結果は，実機の隔壁構造及びベント管を有した構造といった SC 規程に対して追加検討が必要な構造に対する妥当性の確認に適用可能である。なお，スケール効果の観点では，実機を縮小した場合の試験体に用いるコンクリートのうち骨材寸法の影響が考えられるが，この影響については，参考文献(2)において，骨材寸法の差が復元力特性に与える影響は少なく，実用上無視できることが確認されている。

女川２号炉と試験体に関する RPV ペデスタルの仕様を表 2-1 に示す。女川２号炉 RPV ペデスタルと試験体の構造は，隔壁方式であること，円筒型であること及び内外鋼板の間に充填されたコンクリートが上下に分断されていることが共通の特徴である。構造の差異として，女川 2 号炉 RPV ペデスタルには，ベント管を内蔵する部分が存在しないが，試験体はベント管を内蔵する部分とベント管を内蔵しない部分をそれぞれ模擬しているため，女川２号炉 RPV ペデスタルは，試験体のベント管を内蔵しない部分と同様の考え方で評価をすることができる。また，女川２号炉 RPV ペデスタルの底部には，上下のコンクリートを分断するベースプレートは存在しないが，RPV ペデスタルの上部に設置した水平鋼板によって上下のコンクリートが分断されていることから，試験体のベースプレートによるコンクリートの分断に関する考え方を女川２号炉 RPV ペデスタルの水平鋼板に適用することで，コンクリートの分断について評価することができる。

したがって，女川２号炉の RPV ペデスタルの材質，各部の寸法等を適切に反映することによって，既往試験結果によって妥当性が確認された復元力特性評価式が適用可能である。

3. 参考文献

(1) 東京電力株式会社，東北電力株式会社，中部電力株式会社，北陸電力株式会社，中国電力株式会社，日本原子力発電株式会社，株式会社 東芝，株式会社 日立製作所：共同研究報告書「コンクリートPCVの構造評価および基準確立のための実証実験」，昭和62年度上半期（最終報告書），昭和62年9月

(2) 吉崎 他：原子炉建屋の復元力特性試験（その6）スケール・イフェクト試験 日本建築学会大会学術講演梗概集（昭和61年）

表 2-1　女川 2 号炉の RPV ペデスタル及び試験体の構造概要

| 項目 | | 女川原子力発電所<br>第 2 号機 | 試験体 |
|---|---|---|---|
| 構造 | 鋼板コンクリート構造の形式 | 隔壁方式 | 同左 |
| | 断面形状 | 円筒型 | 同左 |
| | ベント管内蔵 | なし | あり |
| | ベースプレート | あり* | あり |
| （以下，参考） | | | |
| 二重円筒部<br>（内筒及び<br>外筒鋼板 | 高さ(mm) | 5,890 | 2,030 |
| | 厚さ(mm) | 1,770 | 170 |
| | 内筒鋼板の内径(mm) | 5,500 | 1,060 |
| | 外筒鋼板の外径(mm) | 9,040 | 1,400 |
| | 内筒及び外筒鋼板の板厚(mm) | 38 | 3.2 |
| 縦リブ | 板厚(mm) | 20 | 2.3 |
| | 個数 | 18/20 | 20 |
| | 配置（角度） | 20°/18° | 18° |
| 開口部 | 高さ×幅(mm) | 2,000×900 | 378×220 |
| 材質 | 鋼材 | SPV50 | SS400 |
| | コンクリート<br>設計基準強度($kg/cm^2$) | 330 | 300 |

*：水平鋼板がベースプレートに該当する

（参考 1）女川２号機の RPV ペデスタルの荷重状態

女川２号機のRPVペデスタルは，RPVペデスタル頂部のガーダに原子炉圧力容器及び原子炉しゃへい壁を支持している。地震時に原子炉圧力容器及び原子炉しゃへい壁へ作用する荷重は，原子炉圧力容器支持スカート及び原子炉圧力容器基礎ボルトを介して曲げモーメントとしてRPVペデスタルへ伝達されることから，既往試験と同様，女川2号炉のRPVペデスタルへ作用する荷重は曲げが支配的となる。

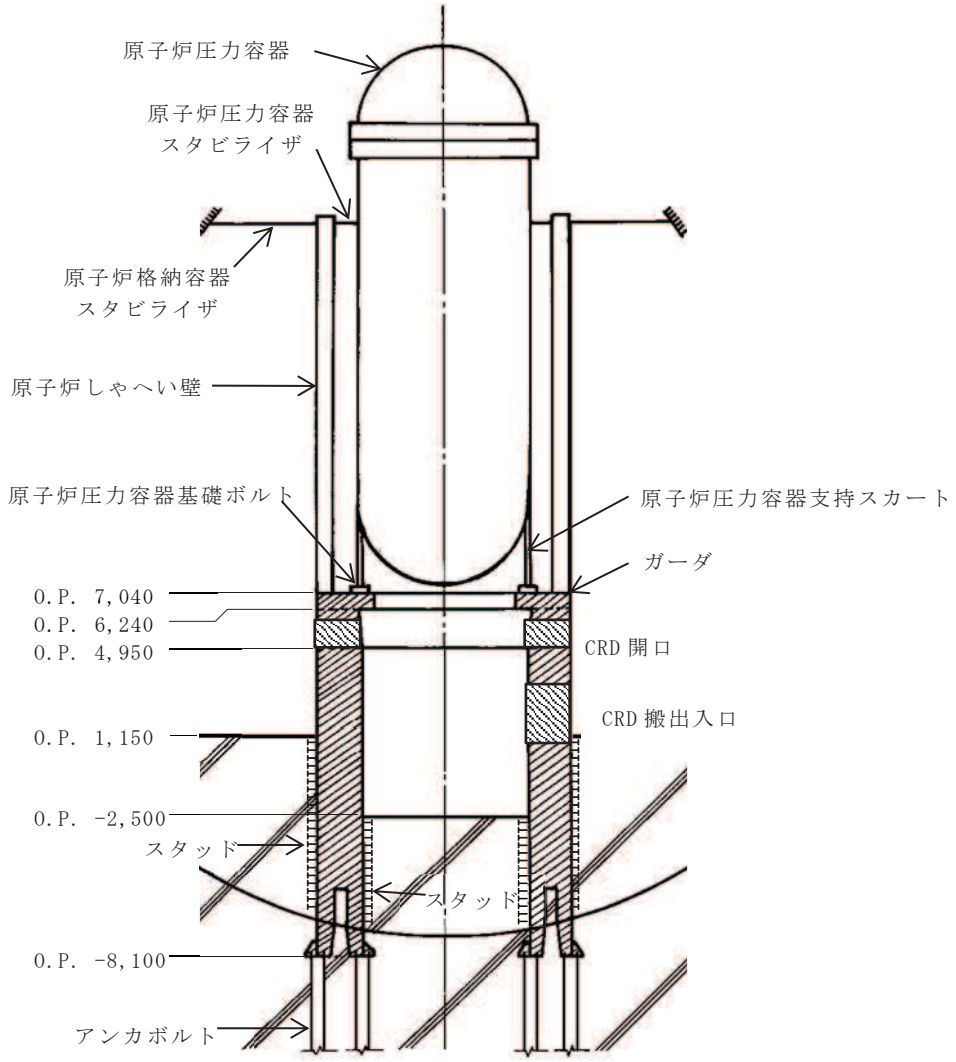



図 1　女川 2 号機の RPV ペデスタル概略図

（参考 2）試験体と女川 2 号機の RPV ペデスタルの鉛直方向の圧縮応力度について

試験当時の設計荷重に基づく試験体の鉛直方向の圧縮応力度は（1.2N/mm$^2$）に対し，女川2号機の圧縮応力度（約0.6N/mm$^2$，評価断面により異なる）は相違があるものの，この差が試験体の終局変形に与える影響は小さく，既往試験結果を用いることができる（表1）。

また，SC規程を参考にしたスケルトンカーブの評価においては，女川2号機のRPVペデスタルの圧縮応力度に応じた鉛直方向軸応力度$\sigma_v$を用いることから，試験体に対する鉛直方向の圧縮応力度の差による影響はないといえる。

表 1　女川 2 号炉の RPV ペデスタル及び試験体の鉛直方向の圧縮応力度

| 女川 2 号機<br>RPV ペデスタル[*1] | 試験[*2]<br>（鉛直力として付加） |
|---|---|
| 約 0.6 N/mm$^2$ | 1.2 N/mm$^2$ |

*1：RPV ペデスタルが支持する RPV，原子炉しゃへい壁の総重量を，コンクリートと鋼板のヤング係数比から，鋼板部分をコンクリートの断面積相当に換算した鉛直方向圧縮応力度

*2：試験当時の設計荷重相当の鉛直力（軸力）を，*1 と同様にコンクリート基準の鉛直方向圧縮応力度に換算したもの

# コンクリートせん断ひび割れ後の RPV ペデスタルの支持性能

## 1. RPV ペデスタルの構造強度設計

RPVペデスタルは，地震力を含む荷重に対して鋼板のみでおおむね弾性状態を保持する設計としており，コンクリートを強度部材として期待しない設計である。

## 2. コンクリートせん断ひび割れ後の支持性能

コンクリートにせん断ひび割れが生じたとしても，1項のとおりRPVペデスタルはコンクリートに期待せず鋼板のみで弾性状態を保持する設計であることから，ひび割れたコンクリートの横拘束効果は鋼板によって発揮される。

鋼板による横拘束効果が発揮されることにより，せん断力に対して鋼板とひび割れたコンクリートが一体となって荷重を分担することが可能となる。

したがって，コンクリートせん断ひび割れ後においてもRPVペデスタルの支持機能は維持される。

## 3. 試験結果との対比

SC規程のスケルトンカーブの評価式は，鋼板とコンクリートが一体となって荷重を分担することを前提としたものである。

SC規程を参考に作成した試験体のスケルトンカーブを用いた荷重－変位特性と，試験で実測された荷重－変位特性を比較すると，コンクリートひび割れ後であっても両者は整合していることから，試験体においてもSC規程と同様に鋼板とコンクリートが一体となって挙動していることが確認できる（図3-1）。

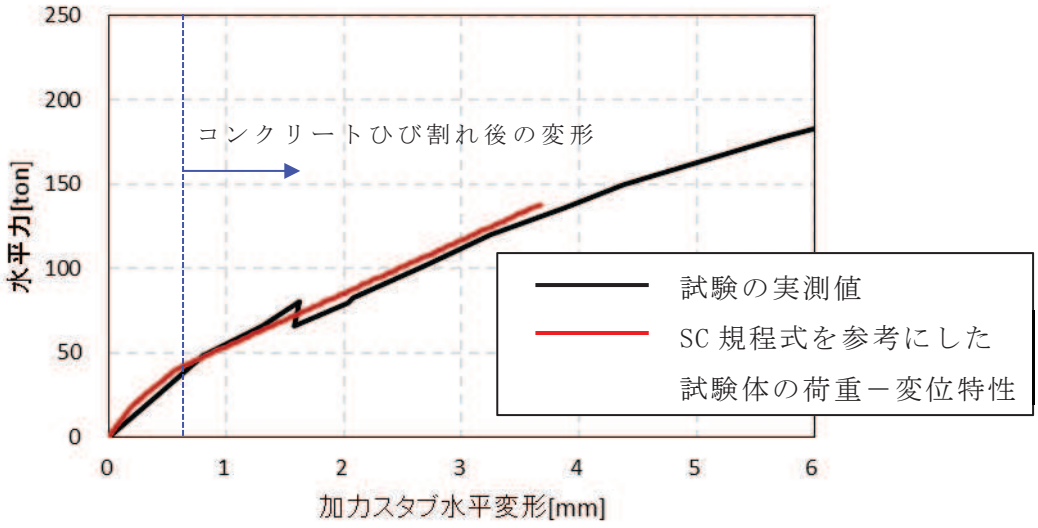



図 3-1　荷重-変形関係の比較

（参考）RPVペデスタルへの圧縮荷重について

RPVペデスタルは，鋼板のみでも十分な支持性能が発揮される設計であることから，コンクリートに高圧縮力が負荷される環境ではない。

実際に，女川２号炉や試験体の鉛直力は表1のとおりであって，女川2号機RPVペデスタルコンクリートの圧縮強度（32.3N/mm$^2$）に比べて十分に小さく，コンクリートの圧縮強度に至るような荷重が負荷されることはない。

表１　女川２号機 RPV ペデスタル及び試験体の鉛直方向の圧縮応力度

| 女川２号機<br>RPV ペデスタル*1 | 試験*2<br>（鉛直力として付加） |
|---|---|
| 約 0.6 N/mm$^2$ | 1.2 N/mm$^2$ |

*1：RPV ペデスタルが支持する RPV，原子炉しゃへい壁の総重量を，コンクリートと鋼板のヤング係数比から，鋼板部分をコンクリートの断面積相当に換算した鉛直方向圧縮応力度

*2：試験当時の設計荷重相当の鉛直力（軸力）を，*1 と同様にコンクリート基準の鉛直方向圧縮応力度に換算したもの

# コンクリートせん断ひび割れ後の剛性評価の理論式

## 1. はじめに

本資料は鋼板コンクリート構造（以下「SC構造」という。）のせん断ひび割れ後のコンクリート剛性に関する既往知見[(1)]に示される理論式の概要を示すものである。

## 2. SC 構造のせん断抵抗挙動

SC構造にせん断力Qが作用する際，既往知見が参照している実験結果から鋼板が降伏するまでの範囲においてSC構造は以下の挙動を示す。本資料では②の状態におけるコンクリートのせん断剛性の算定について説明する。

① 鋼板 S とコンクリート C がともに等方性弾性状態で変形。

② コンクリート C の対角方向にひび割れが発生し，コンクリート C が異方性弾性状態として振る舞う（C のひび割れは体積膨張を伴うため，S－C 間に内力 N が生じる。図 2-2 参照）。

せん断力Qは，鋼板S及びコンクリートCがそれぞれせん断力sQ及びcQとして分担する。また，コンクリートひび割れ後は，鋼板に内力sNx及びsNy，コンクリートには内力cNx及びcNyが作用し，両者はそれぞれ釣り合う。

$$Q = {}_sQ + {}_cQ \qquad \text{（式 2-1）}$$

$${}_sN_X + {}_cN_X = 0, \quad {}_sN_Y + {}_cN_Y = 0 \qquad \text{（式 2-2）}$$

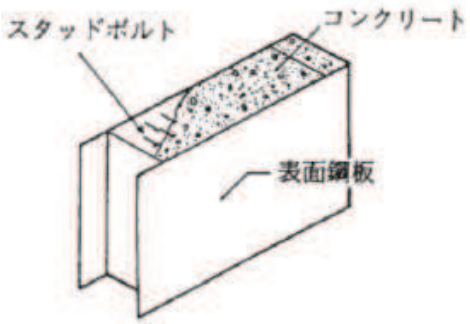



図 2-1　SC 構造の例

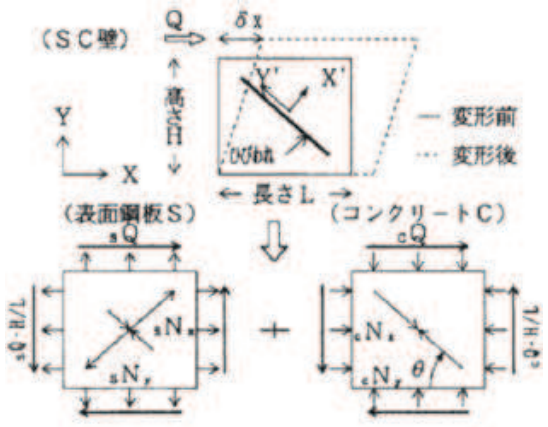



図 2-2　ひび割れ後の荷重分担

3.　ひび割れ発生後の応力－ひずみ状態の仮定

鋼板は等方性弾性材料とし，コンクリートはひび割れに沿った斜め圧縮力のみに抵抗する異方性弾性材料と仮定する。この場合の対角方向（コンクリートの圧縮ストラット方向）をY'軸とするX'－Y'座標系における応力{σ}とひずみ{ε}の関係は、一般的な応力とひずみの構成方程式より、Dマトリクスを介して式3.1～式3.4で表される。

$$ {}_s\{\sigma\} = {}_s[D]\cdot\{\varepsilon\} \qquad \text{(式 3.1)} $$

ここで，

$$ {}_s[D] = \frac{sE}{1-s\nu^2}\begin{bmatrix} 1 & s\nu & 0 \\ s\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-s\nu)/2 \end{bmatrix} \qquad \text{(式 3.2)} $$

［コンクリートの応力ひずみ関係］

$$ {}_c\{\sigma\} = {}_c[D]\cdot\{\varepsilon\} \qquad \text{(式 3.3)} $$

ここで，

$$ {}_c[D] = \frac{cE}{1-c\nu^2}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \text{(式 3.4)} $$

E，νはそれぞれヤング係数，ポアソン比であり，各変数の添字S及びCは，それぞれ鋼板S及びコンクリートCを表している。

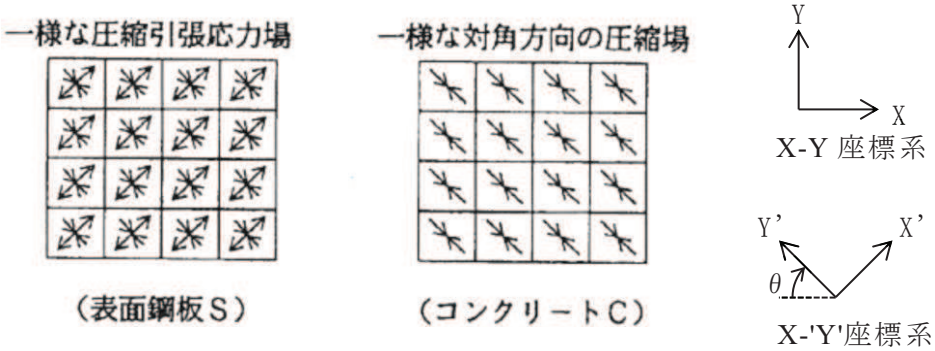



図 3-1　ひび割れ後の応力状態の仮定

4.　ひび割れ後の荷重－変形関係式

壁長さ方向をX軸とするX－Y座標系に変換し，応力に有効断面積を乗じて鋼板とコンクリートに生じる内力N及びせん断力Qを求める。

鋼板は等方性弾性材料の仮定であるため，座標変換後も式3.2と同じDマトリクスを用いる（式4-1）。

一方のコンクリートは異方性弾性材料の仮定であるため，圧縮ストラット方向で定義した式3.4のX'－Y'座標系のDマトリクスをそのまま用いることができないことから，$\pi/2-\theta$ の応力変換マトリクス〔$T_1$〕及びひずみ変換マトリクス〔$T_2$〕を用いてX－Y座標系に変換する（式4.2）。

$$ {}_s\begin{bmatrix} N_X \\ N_Y \\ Q \end{bmatrix} = {}_s\begin{bmatrix} A_X \\ A_Y \\ A_{YS} \end{bmatrix} \cdot {}_s[D] \cdot \{\varepsilon\}_{XY} \qquad \text{（式 4.1）} $$

$$ {}_c\begin{bmatrix} N_X \\ N_Y \\ Q \end{bmatrix} = {}_c\begin{bmatrix} A_X \\ A_Y \\ A_Y \end{bmatrix} \cdot [T_1]^{-1} \cdot {}_c[D] \cdot [T_2] \cdot \{\varepsilon\}_{XY} \qquad \text{（式 4.2）} $$

ここで、内力の釣り合い条件より、

$$ {}_sN_X + {}_cN_X = 0, \quad {}_sN_Y + {}_cN_Y = 0 \qquad \text{（式 4.3）} $$

式4-1～式4-3をsQおよびcQについて解くと，SC構造が水平方向に $\delta_x$（$=H \cdot \gamma$）せん断変形する際のせん断力sQ，cQは式4-4～式4-7で表される。

$$ {}_sQ = \frac{{}_sA_{YS} \cdot {}_sE}{2(1+{}_s\nu) \cdot H} \cdot \delta_x \qquad \text{（式 4.4）} $$

$$ {}_cQ = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \cdot \left[ \dfrac{1-{}_c\nu^2}{{}_cE \cdot {}_ct \cdot \sin 2\theta} + \dfrac{1}{2 \cdot {}_sE}(C1+C2) \right]} \cdot \delta_x \qquad \text{（式 4.5）} $$

$$ C1 = L \cdot \cos\theta \left( \frac{\cos\theta}{{}_sA_X} - \frac{\sin\theta}{{}_sA_Y}\,{}_s\nu \right) \qquad \text{（式 4.6）} $$

$$ C2 = H \cdot \sin\theta \left( \frac{\sin\theta}{{}_sA_Y} - \frac{\cos\theta}{{}_sA_X}\,{}_s\nu \right) \qquad \text{（式 4.7）} $$

ここで，　H，L　　：SC 構造の高さ，SC 構造の長さ

ct　　：コンクリート板厚

${}_sA_X$、${}_sA_Y$　：X，Y 方向の鋼板軸力有効断面積

sAys　　：Y 方向の鋼板せん断有効断面積

式4-5に $\delta x=H\cdot\gamma$ を代入することにより，$cQ=K_\beta\cdot\gamma$ の関係からひび割れ後のコンクリートの有効せん断剛性$K_\beta$を求めることができる（C1,C2は式4-6,7により求める）。

$$ {}_cQ = \frac{(\cos\theta)^2}{2\cdot\left[\frac{1-c\nu^2}{cE\cdot ct\cdot\sin 2\theta}+\frac{1}{2\cdot{}_sE}(C1+C2)\right]}\cdot\delta_x \qquad (式\ 4.5) $$

ここで，$\delta x=H\cdot\gamma$ を代入すると以下の式が得られる。

$$ {}_cQ = \underbrace{\frac{(\cos\theta)^2}{2\cdot\left[\frac{1-c\nu^2}{cE\cdot ct\cdot\sin 2\theta}+\frac{1}{2\cdot{}_sE}(C1+C2)\right]}}_{K_\beta}\cdot H\cdot\gamma \qquad (式\ 4.8) $$

5. 参考文献

松尾他：鋼板コンクリート耐震壁に関する研究　その3　せん断荷重-変形関係の解析
日本建築学会大会学術講演梗概集（1992年）

# 隔壁方式の鋼板コンクリート構造に関する理論式と試験結果の比較

## 1. はじめに

RPVペデスタルのせん断第２折点の設定を行う際は，既往知見[(1)]に記載のある鋼板コンクリート構造（以下「SC構造」という。）に関する理論式を用いて，コンクリートせん断ひび割れ後の鋼板及びコンクリートの剛性を算出している。

既往知見の理論式は，試験結果との対比により整合性が確認されているが，ここでは更なる確認として，既往知見に記載された試験以外の隔壁により鋼板とコンクリートを一体化したSC構造の試験結果を用いて，理論式との整合性を確認する。

## 2. 確認方法

実験結果の荷重変形関係と理論式に基づき算出する荷重変形関係の比較を行う。実験値として使用するデータは，以下に示す２つの論文から得られる荷重変形関係とする。解析で求める荷重変形関係は別紙14本文に記載の方法に基づいて設定し，鋼材の材料物性値は規格値，コンクリートの材料物性値は試験１については設計基準強度，試験２については論文中から設計基準強度が読み取れないため論文に記載のある実測値を用いた。

【試験１】加藤，遠山他：コンクリート充填鋼板耐力壁の実験的研究その3，日本建築学会大会学術講演梗概集（1985年）

【試験２】鋼板コンクリート構造に関する研究その１（大林組技術研究所報）

3.　参照する試験の概要

3.1　試験１コンクリート充填鋼板耐力壁の実験的研究その 3

試験１の試験体の仕様を表3-1，各試験体の断面を図3-1に示す。

試験概要・方法は図3-2に示しており，試験体には正負交番の漸増繰り返しで荷重を与える。

試験結果として得られた荷重変形関係を図3-3に示す。なお，試験体にはせん断力とともに曲げモーメントも生じるため，荷重変形関係の評価に当たっては，曲げによる変形も考慮する。

表 3-1　試験１の試験体の仕様

| 試験体名 | 隔壁枚数 | 鋼板板厚(mm) | | 鋼板材料 | | コンクリート |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 表面隔壁 | フランジ | 表面隔壁 | フランジ | 設計基準強度(kgf/cm $^2$) |
| 200K | 0 | 3.2 | 19 | SS41 | SM50A | 240 |
| 100K | 1 | | | | | |
| 67K | 2 | | | | | |

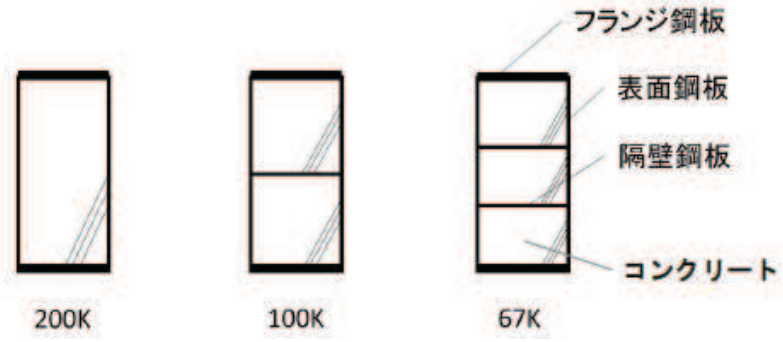



図 3-1　試験１の試験体断面

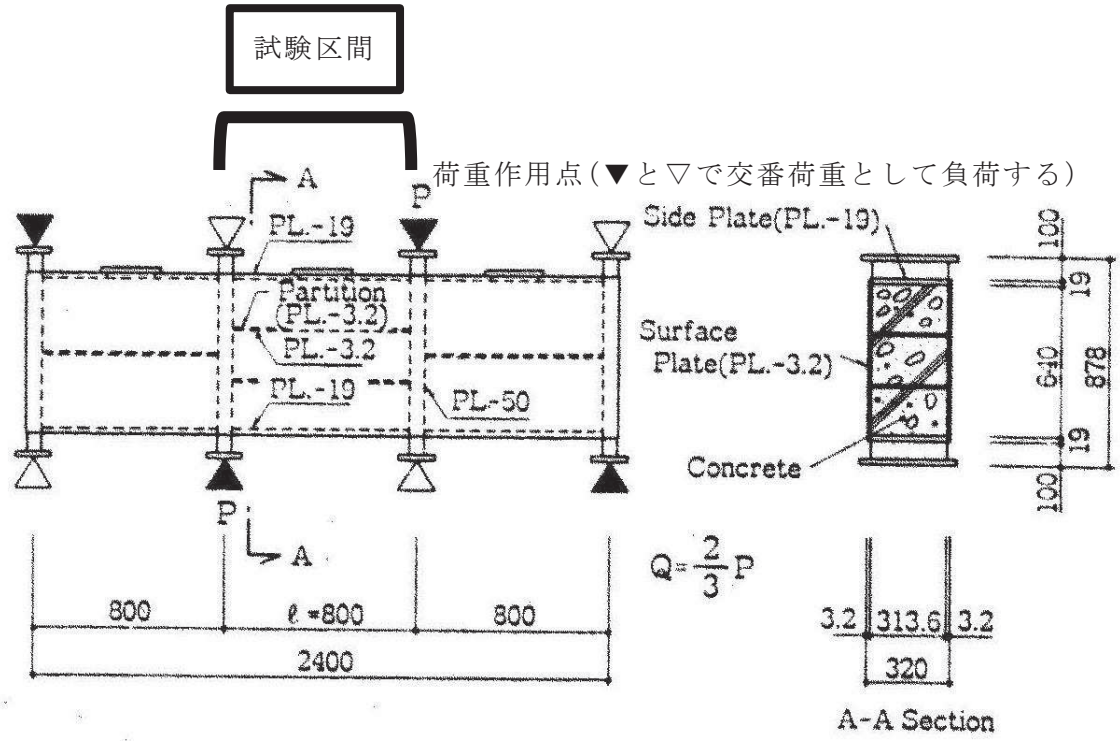



図 3-2　試験１の概要

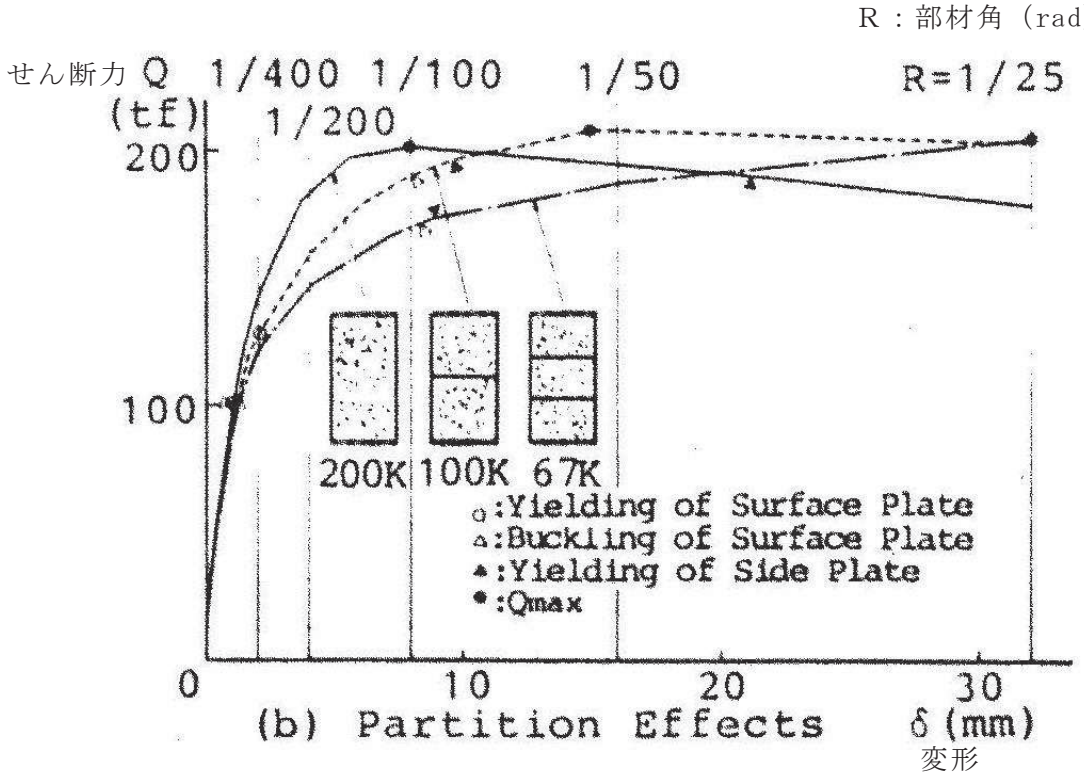



図 3-3　試験１の結果

3.2　試験２　鋼板コンクリート構造に関する研究その１（大林組技術研究所報）

試験２で使用されている試験体の仕様を参考2-2表に示す。試験体の水平断面及び縦断面を，図3-4及び図3-5に示す。

加力方法は，試験体各辺にそれぞれ4分割された加力治具を取り付け，各々の加力治具をPC鋼棒によってまとめて引っ張り，試験体に純せん断応力を与える（図3-6)。したがって，試験体にはせん断変形のみが生じるものとし，曲げによる変形は考慮しない。試験結果が図3-7である。

表 3-2　試験２の試験体の仕様

| 試験体 | 隔壁枚数 | 鋼材 | | | | コンクリート | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 表面鋼板板厚[mm] | 隔壁板厚[mm] | フランジ鋼板板厚[mm] | 材料 | ヤング係数[kgf/cm$^2$] | 圧縮強度[kgf/cm$^2$] |
| SC209-2 | 0 | 2.3 | 4.5 | 4.5 | SS400 | 2.68 | 377 |
| SC150-0 | 0 | 3.2 | | － | | 2.83 | 436 |
| SC150-2 | 0 | 3.2 | | 4.5 | | 2.85 | 412 |
| SC150-3 | 1 | 3.2 | | 4.5 | | 2.78 | 444 |

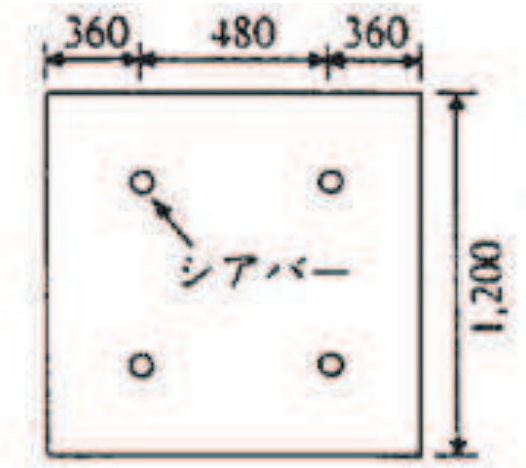



図 3-4　試験２の試験体水平断面

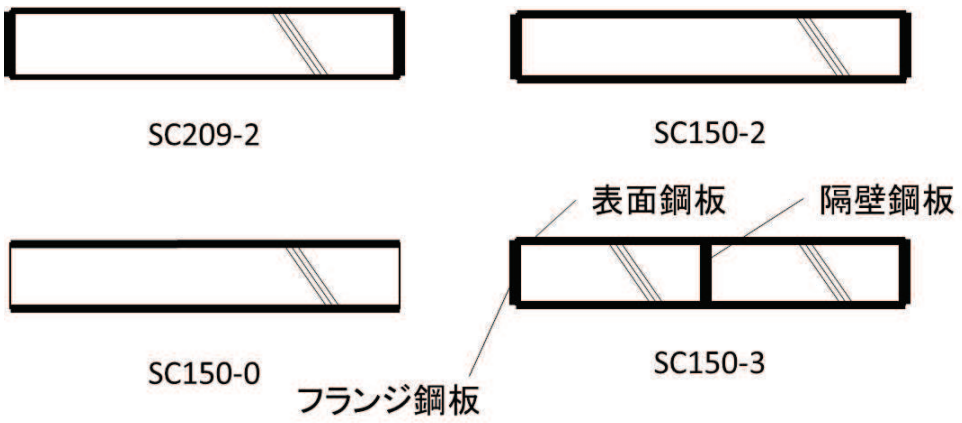



図 3-5　試験 2 の各試験体縦断面

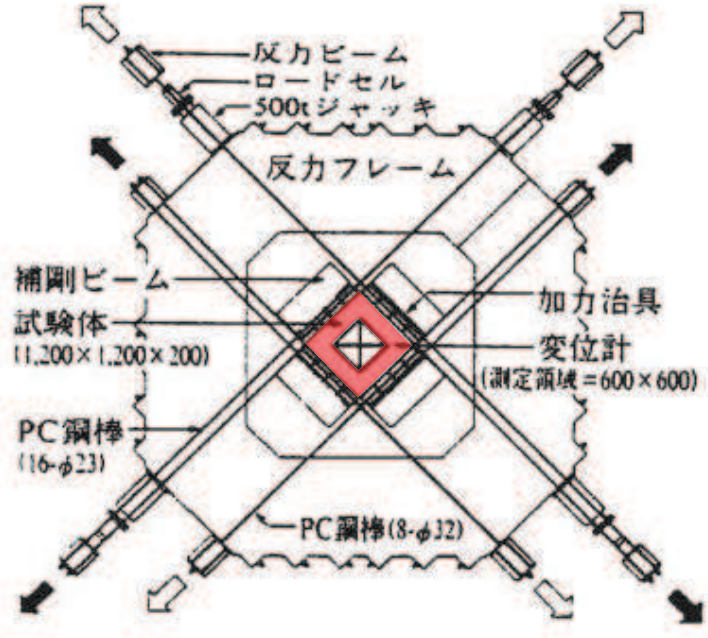



図 3-6　試験 2 の加力装置概要

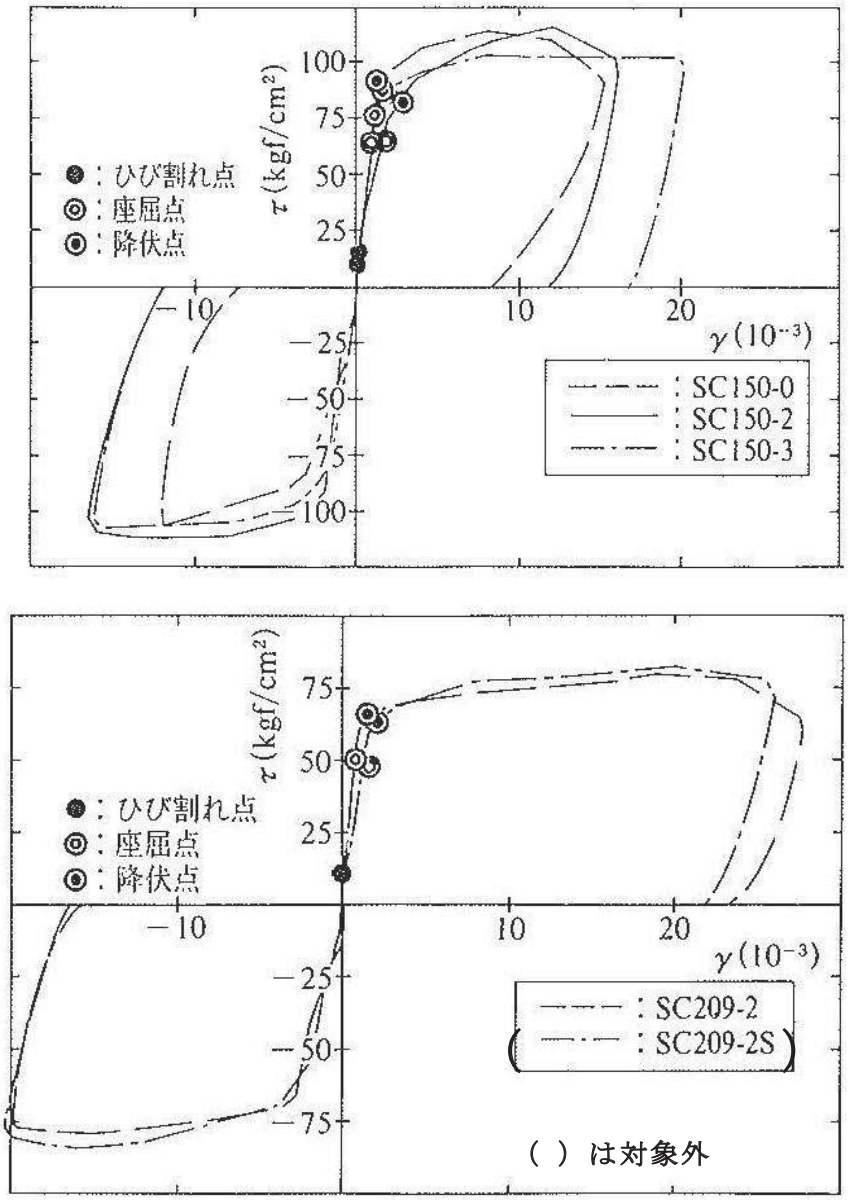

τ (kgf/cm²)
100
75
50
25
●：ひび割れ点
◎：座屈点
◉：降伏点
−10
10
20
γ (10⁻³)
−25
−50
−75
−100
：SC150-0
：SC150-2
：SC150-3
τ (kgf/cm²)
75
50
25
●：ひび割れ点
◎：座屈点
◉：降伏点
−10
10
20
γ (10⁻³)
−25
−50
−75
：SC209-2
：SC209-2S
（ ）は対象外

図 3-7　試験 2 の結果

4.　荷重変形特性の比較

3 項で示した計 7 体のケースに関して，実験結果と理論式に基づく算出結果を図 4-1～3 及び図 4-5～8 に示す。一般的にコンクリートの試験においては，コンクリート材料の不均一性，試験体の形状や加力方法等により，ある程度のばらつきが生じることが知られており，これらの試験についてもばらつきの範囲内にあると考えられる。

試験体の形状や加力方法といった試験固有の推定要因についても以下に示す。

4.1　試験 1

＜試験結果との比較＞

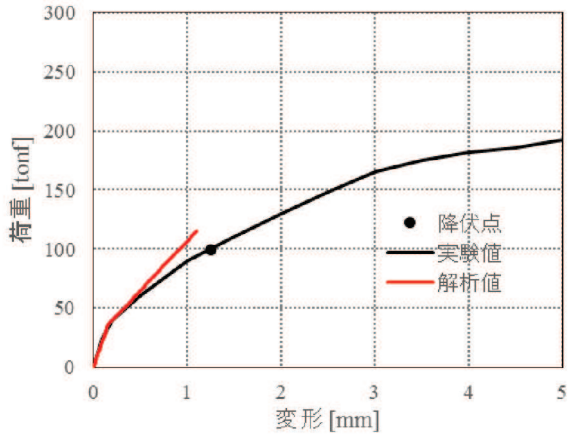



図 4-1　試験 1　200K

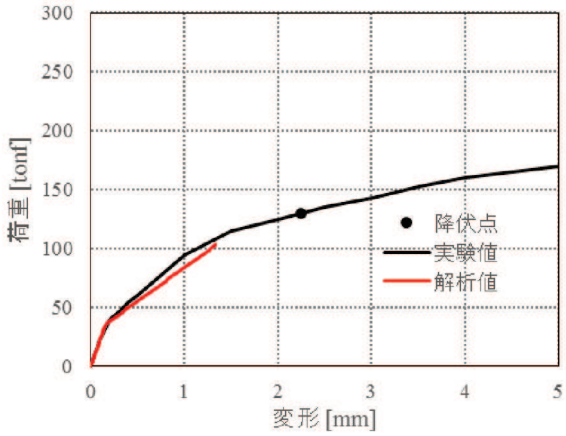



図 4-2　試験 1　100K

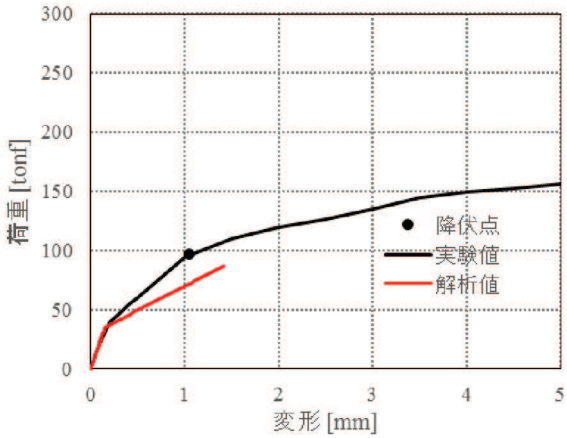



図 4-3　試験 1　67K

＜差異に関する試験固有の推定要因＞

4.1.1　鋼板のひずみ計測点と実際にコンクリートにひび割れが入る点の差異

降伏点の差異については，理論式では鋼板降伏ひずみは一様分布すると仮定しているのに対して，試験ではひずみ計測は鋼板上の数点（論文中には主要点で計測との記載があるが詳細は読み取ることができない。）で行っており，鋼板の降伏は局所のひずみを用いて判定している。鋼板のひずみはコンクリートのひび割れ発生位置の分布に応じて計測位置によって異なる可能性があることから，試験時の降伏点の判定ポイントがばらついた可能性が考えられる。

4.1.2　隔壁に設けられたコンクリート打設孔を介したコンクリートの一体性

試験体内部に隔壁を内蔵する 100K と 67K の試験体（図 4.2,4-3）については，２枚の隔壁にコンクリート打設孔が設けられていると考えられる。理論式は隔壁によりコンクリートが完全に分断されている前提であることに対し，実際は打設孔を介して隣接するコンクリートが一体として挙動することにより，理論式よりも剛性が高くなっている可能性がある。

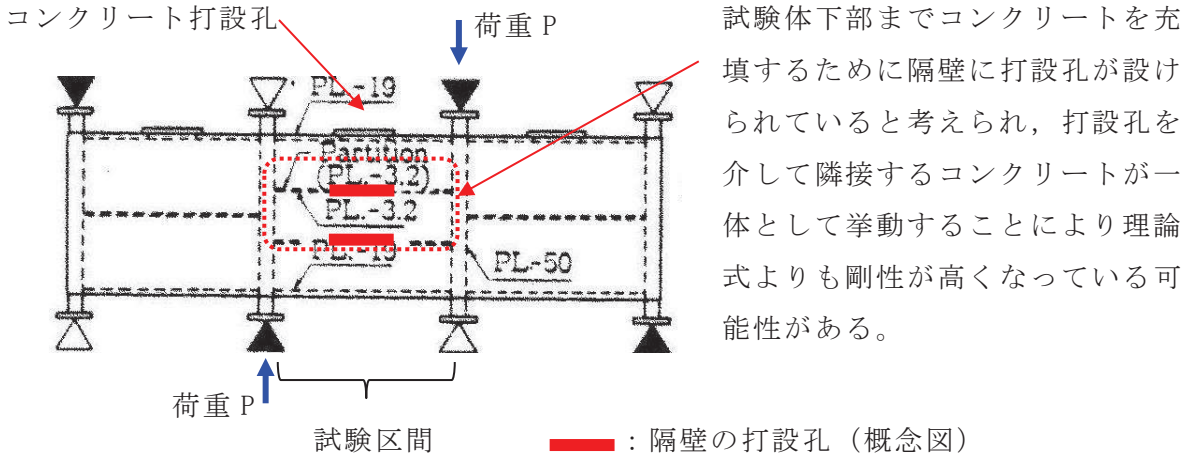



図 4-4　試験体に設けられたコンクリート打設孔の概念図

4.2　試験 2

＜試験結果との比較＞

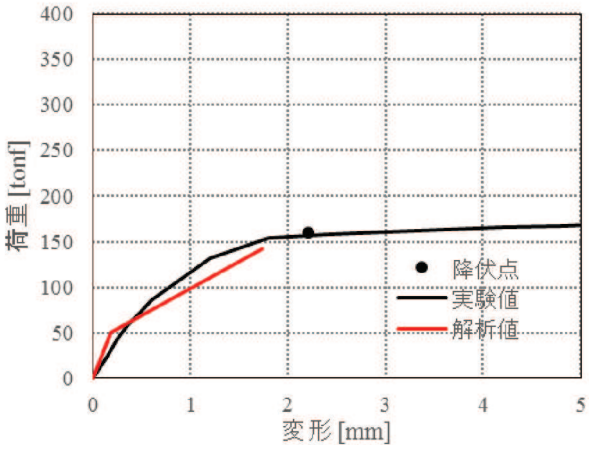



図 4-5　試験 2　SC209-2

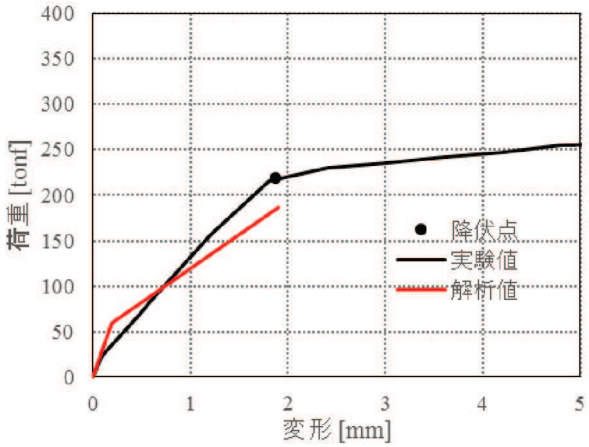



図 4-6　試験 2　SC150-0

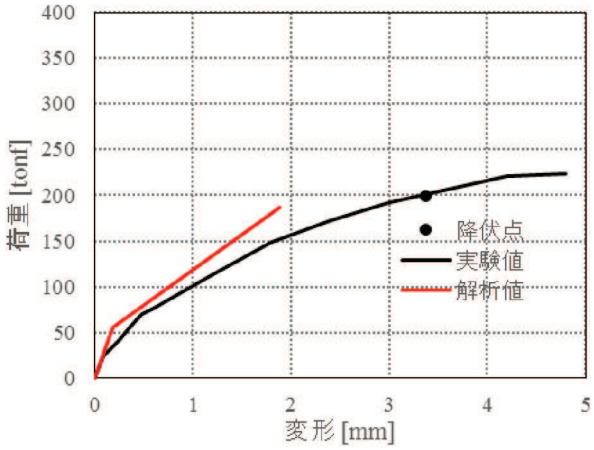



図 4-7　試験 2　SC150-2

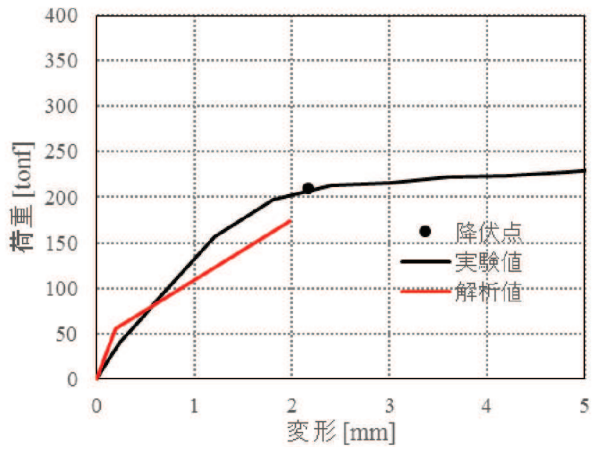



図 4-8　試験 2　SC150-3

＜差異に関する試験固有の推定要因＞

4.2.1　鋼板のひずみ計測点と実際にコンクリートにひび割れが入る点の差異

降伏点の差異については，理論式では鋼板降伏ひずみは一様分布すると仮定しているのに対して，実験ではひずみ計測は図 4-9 のように 1,200mm 四方の鋼板上の 6 点で行っており，鋼板の降伏は局所のひずみを用いて判定している。鋼板のひずみはコンクリートのひび割れ発生位置の分布に応じて計測位置によって異なる可能性があることから，実験時の降伏点の判定ポイントがばらついた可能性が考えられる。

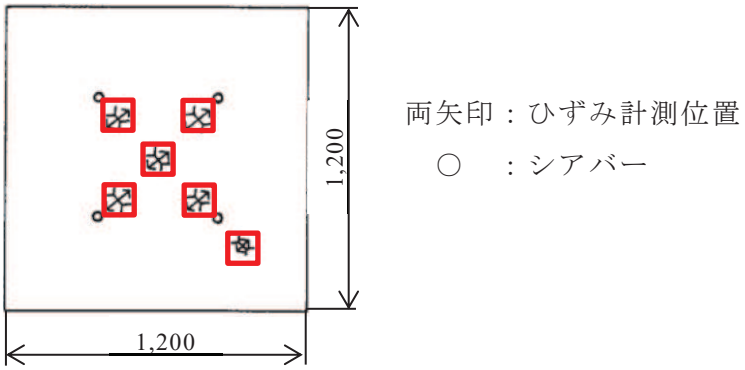



図 4-9　鋼板のひずみ計測点（SC150-2）

4.2.2　試験装置と試験体の定着部での局部的な応力集中の影響

試験 2 の試験体はアンカー筋やシアキーを介した特殊な加力方式を採用しており，それらの取り付く部位で局部的に応力集中が生じることにより，コンクリートひび割れを表す第 1 折点よりも早期に剛性低下が生じた可能性が考えられる。

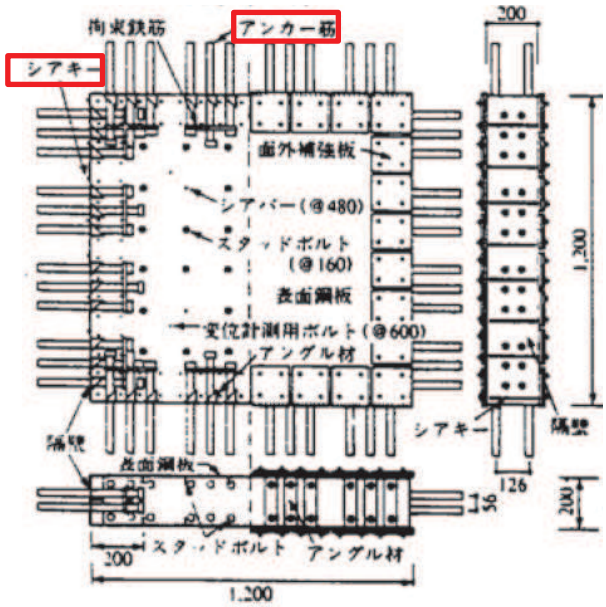



図 4-10　試験体及び加力装置

4.2.3　鋼板降伏の判定に用いる材料物性値の差異

理論式では鋼材の規格値の物性値（ヤング係数及び降伏強度）を用いて降伏点を求めていることに対して，試験では実測した鋼板の物性値が用いられている。実測した鋼板の降伏点が規格値を上回ることが，試験値が理論式の降伏点を上回る要因と考えられる。

表 4-1　降伏点の算出に用いた鋼板の物性値（ヤング係数及び降伏強度）

| | 試験 | | | | 理論式 |
|---|---|---|---|---|---|
| 試験体名 | SC209-2 | SC150-0 | SC150-2 | SC150-3 | 各試験体で<br>同一の規格値を使用<br>(SS400) |
| 表面鋼板板厚<br>(mm) | 2.3 | 3.2 | | | |
| ヤング係数(GPa)<br>(SI 換算) | 220 | 223 | | | 206 |
| 降伏強度(MPa)<br>(SI 換算) | 242 | 291 | | | 245 |

5.　参考文献

（１）松尾他：鋼板コンクリート耐震壁に関する研究 その3 せん断荷重-変形関係の解析 日本建築学会大会学術講演梗概集（1992年）

（２）加藤，遠山他：コンクリート充填鋼板耐力壁の実験的研究その3，日本建築学会大会学術講演梗概集（1985年）

（３）鋼板コンクリート構造に関する研究その１（大林組技術研究所報）

# 地震応答解析における RPV ペデスタル下部の扱いについて

## 1. はじめに

RPVペデスタルの下端は，アンカボルトによって原子炉建屋基礎版に定着されている。また，RPVペデスタルの下部は，コンクリートに埋没されており，内筒鋼板及び外筒鋼板に取り付けたスタッドにより，原子炉格納容器底部の周辺コンクリートと強固に固定されている。

そのため，地震応答解析のモデル化においては，RPVペデスタル下部を原子炉建屋基礎版と一体として扱い，周辺コンクリートの上端（O.P.1,150）を原子炉建屋基礎版に剛として結合させている。

本書では，周辺コンクリートを考慮した剛性の検討及びRPVペデスタル下部と周辺コンクリートとの定着部の検討を行い，上記の考え方に対する妥当性を確認する。

## 2. 周辺コンクリートを考慮した剛性の検討

RPVペデスタルの地震応答解析における地震荷重は，別紙6本文6項に示すとおり，曲げモーメントが支配的であるため，曲げ剛性に対する検討を行う。

RPVペデスタル下部の周辺コンクリートの曲げ剛性は，図2-1に示す範囲について，下式により算定する。

$$K = \frac{4EI}{H}$$

$K$： RPVペデスタル下部の周辺コンクリートの曲げ剛性
$E$： コンクリートのヤング率
$I$： RPVペデスタル下部の周辺コンクリートの断面２次モーメント
$H$： RPVペデスタル下部の周辺コンクリートの高さ

RPVペデスタル下部の周辺コンクリートの曲げ剛性を表2-1に示す。ここで，RPVペデスタルの地震応答解析モデルの要素①の曲げ剛性と比較した場合，RPVペデスタル下部の周辺コンクリートの曲げ剛性は，要素①に対して約18倍あり，剛性が高いことから，RPVペデスタルを原子炉建屋基礎版と一体として扱うことは妥当であることを確認した。

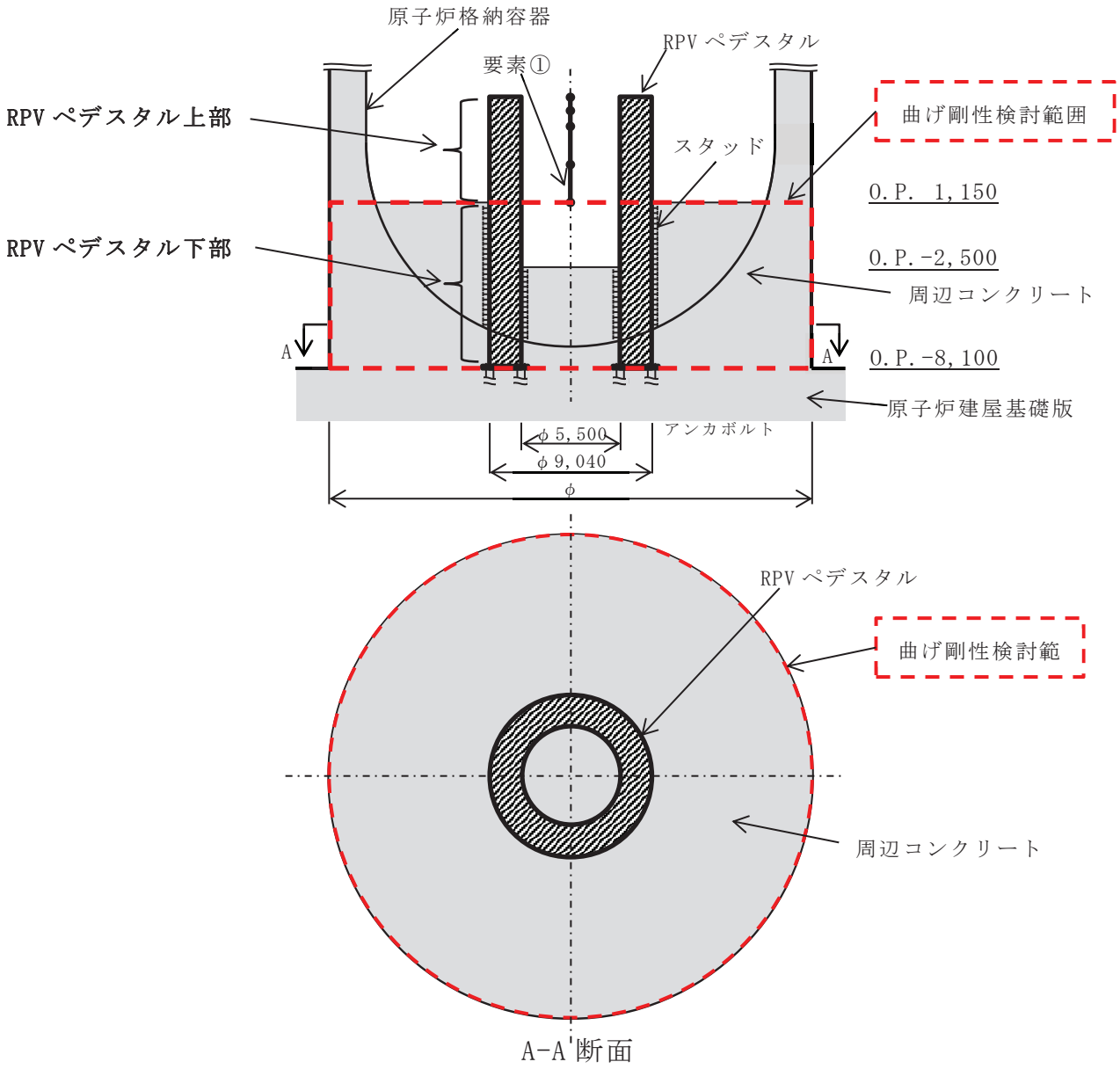



図 2-1　RPV ペデスタル概略図

表 2-1　RPV ペデスタル下部の周辺コンクリートの曲げ剛性

| 物性値 | | 備考 |
|---|---|---|
| 周辺コンクリートの<br>ヤング率 $E$ (kN/mm$^2$) | 26.5 | 鉄筋コンクリート<br>構造計算規準 |
| 周辺コンクリートの<br>断面 2 次モーメント $I$ (mm$^4$) | $2.570\times10^{16}$ | 図 2-1 の赤枠部分 |
| 周辺コンクリートの<br>曲げ剛性 $K_c$ (kN･mm) | $2.945\times10^{14}$ | 図 2-1 の赤枠部分 |
| RPV ペデスタル上部<br>の曲げ剛性 $K_p$ (kN･mm) | $1.578\times10^{13}$ | 要素① |
| 剛性比 $K_c/K_p$ | 約 18 倍 | |

3.　RPV ペデスタル下部と周辺コンクリートとの定着の検討

RPVペデスタル下部と周辺コンクリートの定着の検討として，RPVペデスタルから負荷されるせん断荷重に対するRPVペデスタル下部の周辺コンクリートの健全性及びRPVペデスタルから負荷される曲げモーメントに対するRPVペデスタル下部のスタッドの健全性を確認する。検討には，基準地震動Ssのうち，ペデスタルに発生する荷重が大きい基準地震動Ss－D2による荷重（暫定値）を用いた。

3.1　せん断荷重に対する検討

RPVペデスタルから負荷されるせん断荷重は，図3-1に示すとおり，RPVペデスタル下部からその周辺コンクリートに伝達するため，その周辺コンクリートの健全性を確認する。表3-1に示す評価結果のとおり，RPVペデスタル下部から負荷されるせん断荷重は，周辺コンクリートの許容せん断荷重に対して，裕度があることを確認した。

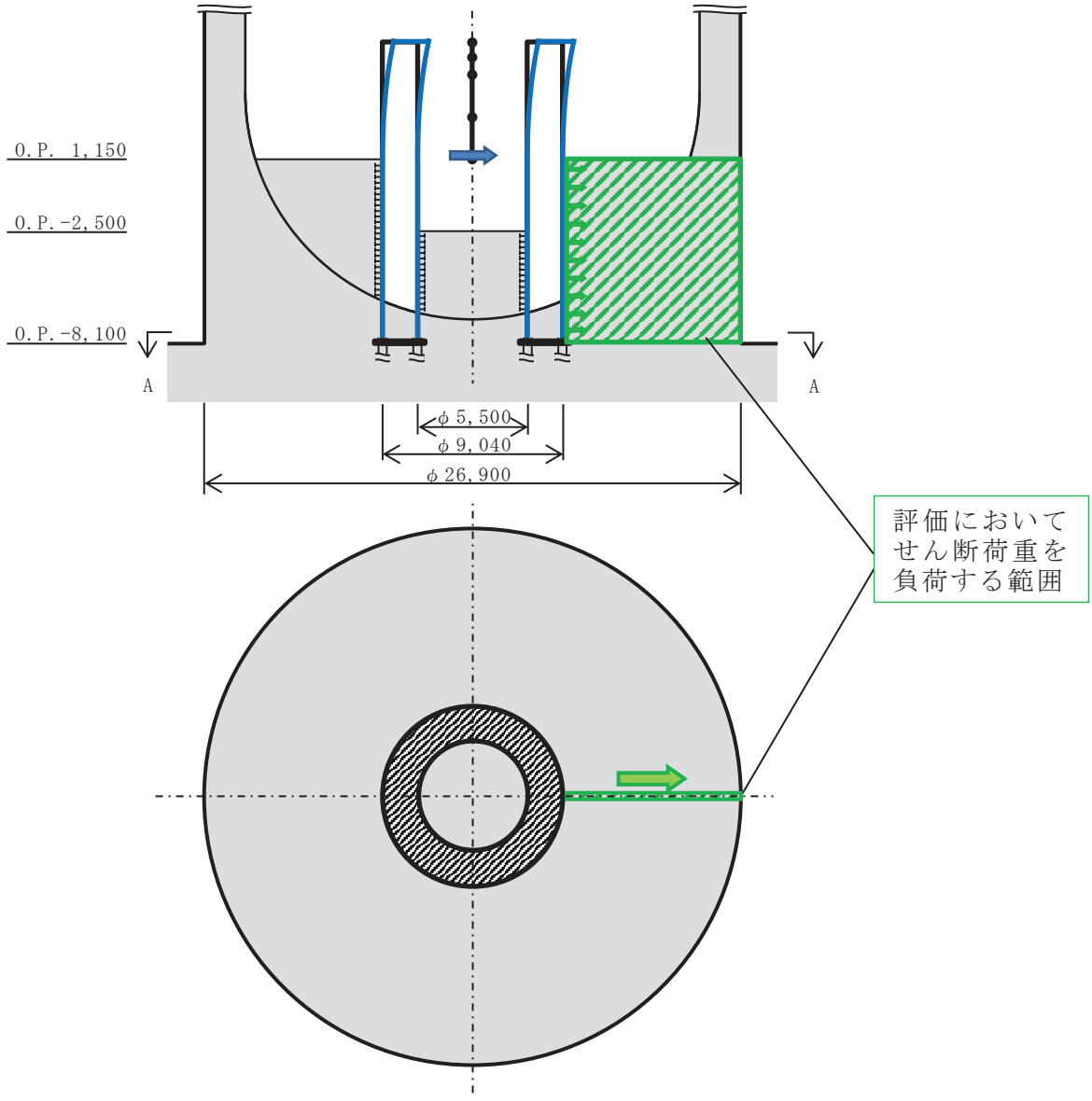



図 3-1　RPV ペデスタル下部の周辺コンクリートへのせん断荷重伝達イメージ

表 3-1　せん断荷重に対する評価結果

| 項目 | | 備考 |
|---|---|---|
| 設計基準強度$\sigma_B$(N/mm$^2$) | 32.3 | |
| 周辺コンクリート鉛直断面積 $A_v$ (mm$^2$) | $8.260\times10^7$ | 図 3-1 の緑枠部分 |
| 許容せん断応力度$\tau_{cr}$(N/mm$^2$) | 1.76 | $0.31\sqrt{\sigma_B}$ |
| 許容せん断荷重 $T_{av}$(kN) | $1.45\times10^5$ | $A_v\times\tau_{cr}$ |
| RPV ペデスタルのせん断荷重 $T_{pv}$(kN) | $3.4\times10^4$ | 要素① |
| 裕度(-) | 4.26 | $T_{av}/T_{pv}$ |

3.2 曲げモーメントに対する検討

RPVペデスタルから負荷される曲げモーメントは，図3-2に示すとおり，RPVペデスタル下部の鋼板からRPVペデスタル下部のスタッドを介してその周辺コンクリートに伝達されるため，RPVペデスタル下部のスタッドの健全性について検討を行う。

RPVペデスタル下部のスタッドの健全性は，曲げモーメントによってRPVペデスタル下部の外筒鋼板スタッド及び内筒鋼板スタッドの縦１列に加わる上下方向の荷重(せん断)が合成梁構造設計指針における頭付きスタッドに対するせん断耐力に対して余裕があることを確認する。

図3-3にRPVペデスタル断面及びスタッドの設置状況，図3-4に荷重負担範囲のイメージを示す。

ここで，RPVペデスタル下部は，剛性の高い周辺コンクリートにより変位が拘束され，RPVペデスタルからの荷重に対してRPVペデスタル下部が曲げ変形しないため，RPVペデスタル下部の鋼鈑（スタッド含む）に加わる荷重は，RPVペデスタル下端（0.P.1,150）での曲げモーメントによる上下方向に加わる引張及び圧縮荷重となる。そのため，RPVペデスタル下部のスタッドの健全性の検討に当たっては，RPVペデスタル下端（周辺コンクリートの上端）（0.P.1,150）での曲げモーメントを用いる。

表3-2に示す評価結果のとおり，RPVペデスタル下部の外筒鋼板スタッド及び内筒鋼板スタッドの縦1列に加わる荷重は，せん断耐力に対して余裕があることを確認した。

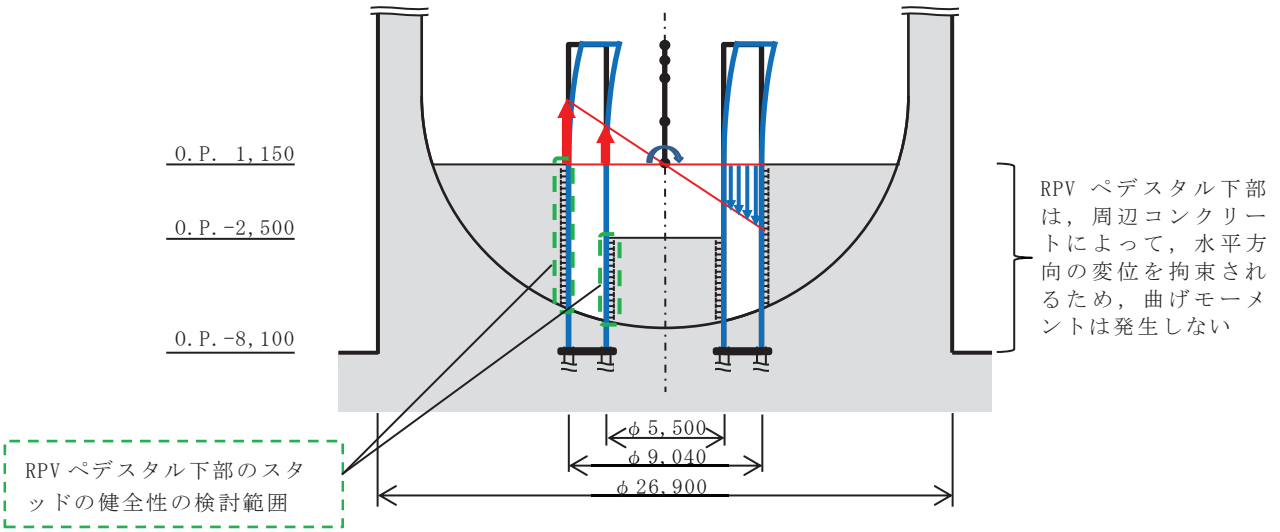



図 3-2　RPV ペデスタル下部のスタッドに加わる荷重伝達イメージ

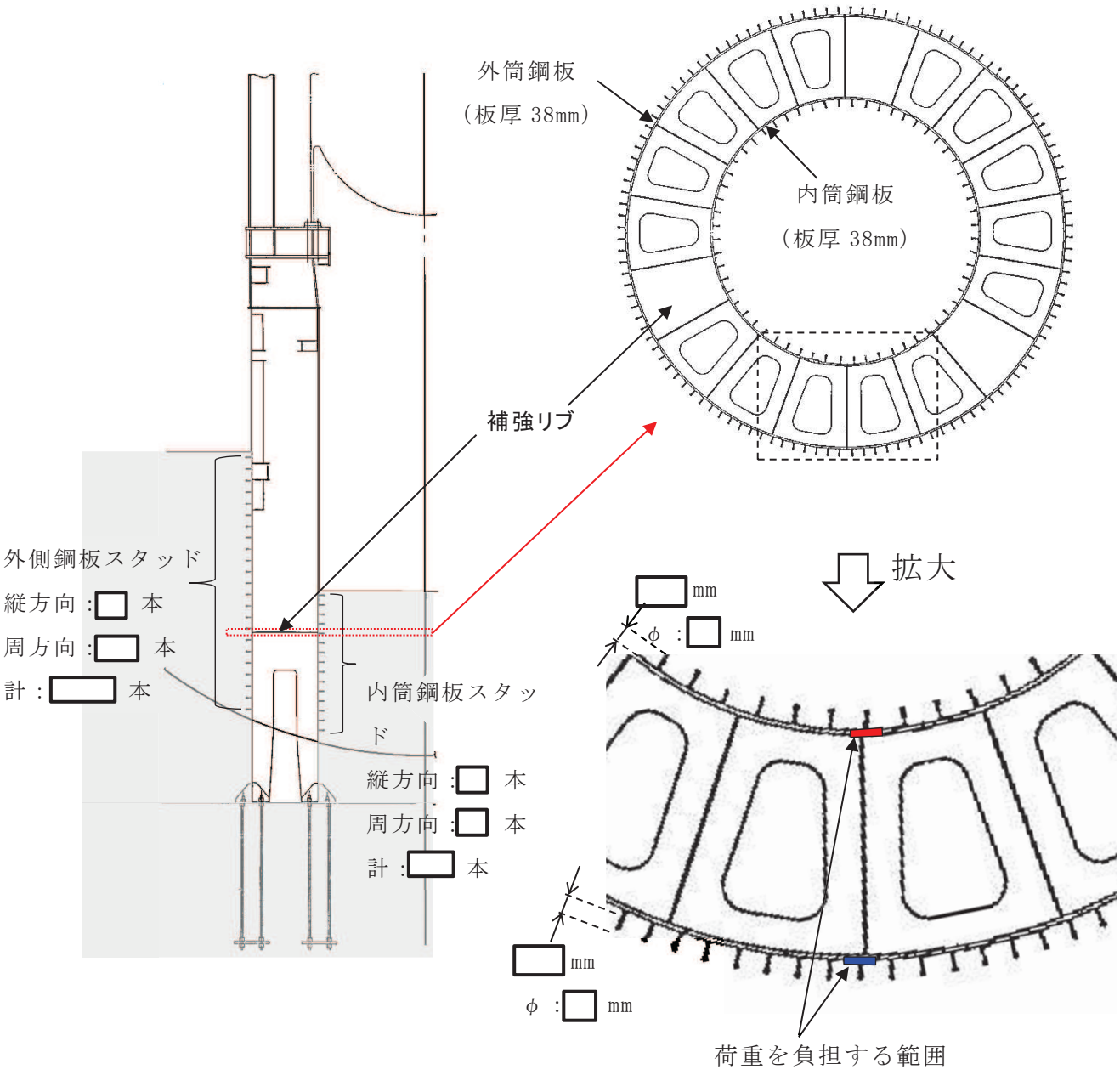



図 3-3　RPV ペデスタル断面及びスタッドの設置状況

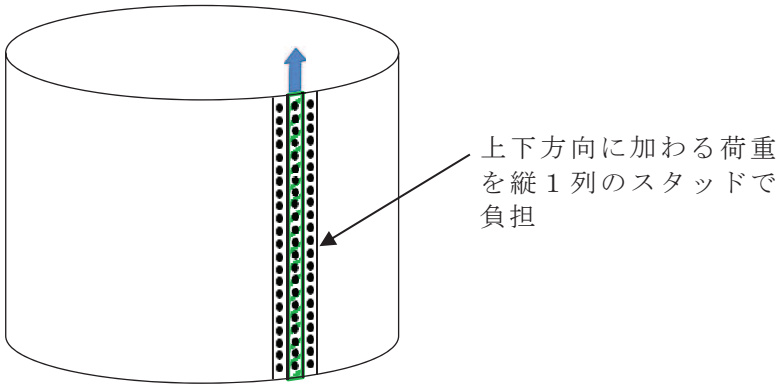



図 3-4　荷重負担範囲のイメージ

別紙 9-6　枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-2　曲げモーメントに対する評価結果

| 項目 | | | 備考 |
|---|---|---|---|
| 断面２次モーメント $I$ (mm$^4$) | | $1.342\times10^{13}$ | 外筒＋内筒鋼板の断面２次モーメント |
| 断面係数 $Z$ (mm$^3$) | | $2.969\times10^{9}$ | |
| 曲げモーメント $M$ (kN･mm) | | $3.79\times10^{8}$ | 要素① |
| コンクリートの設計基準強度 $F_c$ (kN･mm$^2$) | | $32.3\times10^{-3}$ | |
| コンクリートのヤング率 $E_c$ (kN/mm$^2$) | | 26.5 | |
| スタッドボルトの軸部の断面積 $_{sc}a$ (mm$^2$) | | | |
| 外筒鋼板スタッド | 曲げ応力$\sigma_{bo}$ (MPa) | 128 | $M/Z$ |
| | 鋼板の水平断面積 $A_{so}$ (mm$^2$) | $8.956\times10^{3}$ | 図 3-3 の青枠部分 |
| | スタッド縦列に加わる荷重 $F_o$ (kN) | $1.100\times10^{3}$ | $\sigma_{bo}\times A_{so}$ |
| | スタッド縦 1 列の許容せん断荷重 $F_{ao}$(kN) | $4.044\times10^{3}$ | 合成梁構造設計指針 $0.5_{sc}a\sqrt{F_c\cdot E_c}$ × □本 |
| | 裕度 | 3.53 | $F_{ao}/F_o$ |
| 内筒鋼板スタッド | 曲げ応力$\sigma_{bi}$ (MPa) | 79 | $\sigma_{bo}$×内筒鋼板の外径/外筒鋼板の外径 |
| | 鋼板の水平断面積 $A_{si}$ (mm$^2$) | $1.102\times10^{4}$ | 図 3-3 の赤枠部分 |
| | スタッド縦 1 列に加わる荷重 $F_i$ (kN) | $8.706\times10^{2}$ | $\sigma_{bi}\times A_{si}$ |
| | スタッド縦 1 列の許容せん断荷重 $F_{ai}$(kN) | $2.637\times10^{3}$ | 合成梁構造設計指針 $0.5_{sc}a\sqrt{F_c\cdot E_c}$ × □本 |
| | 裕度 | 3.02 | $F_{ai}/F_i$ |


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.3 RPV ペデスタル下部と周辺コンクリートとの定着の検討結果

RPVペデスタル下部と周辺コンクリートの定着の検討として，RPVペデスタルから負荷されるせん断荷重に対するRPVペデスタル下部の周辺コンクリートの健全性及びRPVペデスタルから負荷される曲げモーメントに対するRPVペデスタル下部のスタッドの健全性を確認した。

検討の結果，基準地震動Ssに対し，RPVペデスタルから負荷されるせん断荷重により周辺コンクリートに発生するせん断荷重が許容せん断荷重に対して十分裕度があり，RPVペデスタルから負荷される曲げモーメントによりRPVペデスタル下部のスタッドに発生するせん断荷重が許容せん断荷重に対して十分余裕があることから，RPVペデスタル下部と周辺コンクリートとの定着が健全であることを確認した。

## 4.　3D-FEM モデルを用いた静的弾性解析による検証

地震応答解析のモデル化において，RPV ペデスタル下部を原子炉建屋基礎版と一体として扱い，周辺コンクリートの上端位置（O.P.1,150）で原子炉建屋基礎版に剛として結合させていることの妥当性に関し，周辺コンクリートを考慮した剛性及び RPV ペデスタル下部と周辺コンクリートとの定着について 2 項及び 3 項の検討により示した。本項ではさらに，その妥当性を検証するため，3D-FEM モデルを用いた静的弾性解析を実施した。また，アンカボルトの評価において，周辺コンクリートの上端位置（O.P.1,150）での荷重を用いることの保守性を確認した。

### 4.1　検証方法

3D-FEM モデルを用いた静的弾性解析により，基準地震動 Ss-D2 の荷重に対する RPV ペデスタル及び周辺コンクリートの変形及び発生応力について確認する。また，RPV ペデスタルのアンカボルトへの荷重伝達状況を確認するため，アンカボルトに発生する応力を確認する。なお，アンカボルトに発生する応力が保守的に算出されるように，RPV ペデスタル下部と周辺コンクリートの固定のために RPV ペデスタルの鋼板（外側，内側）に設置されるスタッドの機能には期待しないものとする。

### 4.2　解析モデル及び評価条件

解析対象範囲を図 4-1，評価条件及びモデル化方針を表 4-1，解析モデルを図 4-2 に示す。

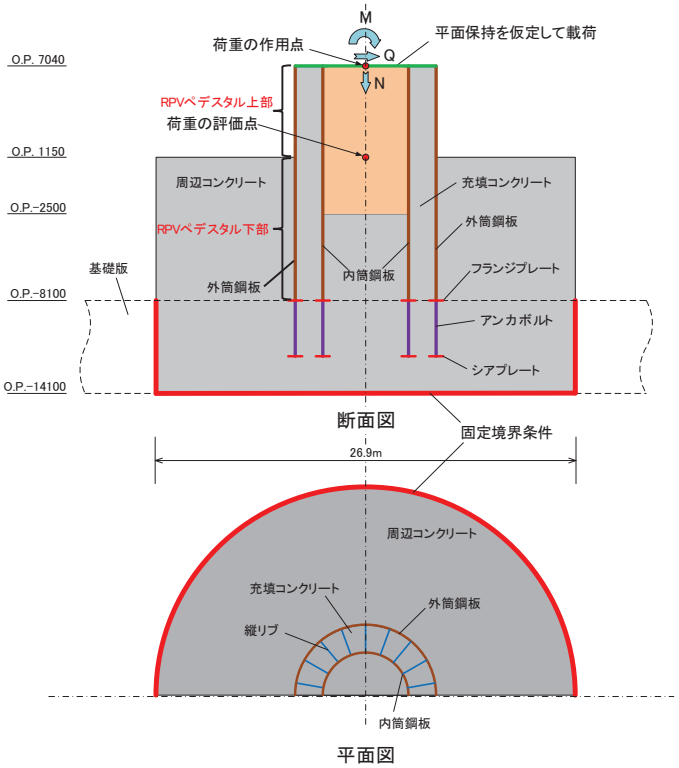



図 4-1　解析対象範囲

表 4-1　評価条件及びモデル化方針

| 項目 | | 内容 |
|---|---|---|
| 評価条件 | 解析コード | MSC　NASTRAN　ver. 2013.1.1 |
| | せん断荷重 | $3.4\times10^{4}$ kN |
| | 曲げモーメント | $3.79\times10^{8}$ kN・mm |
| | 軸力 | $3.744\times10^{4}$ kN |
| | 荷重の入力位置 | 0.P.1,150 の位置で上記荷重になるように，<br>0.P.7,040 位置に各荷重を入力 |
| モデル化方針 | モデル化範囲 | （シェル要素）<br>・外側鋼板，内側鋼板，縦リブ<br>・フランジプレート，アンカボルト，シアプレート<br>（ソリッド要素）<br>・ペデスタル内部のコンクリート<br>・周辺コンクリート<br>・原子炉建屋基礎版 |
| | 境界条件 | ・原子炉建屋基礎版下部及び周辺：固定条件<br>・外側鋼鈑外側及び内側鋼鈑内側と周辺コンクリートの摩擦係数：0(上下方向の拘束なし) |
| | その他の条件 | 外側鋼鈑及び内側鋼鈑それぞれの内外に設置したアンカボルトを等価な円筒でモデル化 |

シェル要素　　ソリッド要素

図 4-2　解析モデル図

別紙 9-10　枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 検証結果

4.3.1 RPV ペデスタルと周辺コンクリートの変形及び発生応力

基準地震動 Ss による荷重が加わった場合の RPV ペデスタル及び周辺コンクリートの変形図を図 4-3，変位コンター図を図 4-4，RPV ペデスタル及び周辺コンクリートの主応力コンター図を図 4-5 に示す。

図 4-3 及び図 4-4 から，基準地震動 Ss による RPV ペデスタル下部（0.P.1,150 以下）及び周辺コンクリートの変形は，周辺コンクリートの拘束効果により，RPV ペデスタル上部(0.P.1,150 以上)の変形に対して極めて小さく抑えられていることが分かる。なお，RPV ペデスタル下部と周辺コンクリートとの定着を考慮した場合には，更に RPV ペデスタル下部の変位が小さくなると考えられる。

また，図 4-5 から，周辺コンクリート上端位置（0.P.1,150）で RPV ペデスタルと周辺コンクリートの接続部に発生する主応力は，最大で約 6N/mm$^2$（圧縮）とコンクリートの設計基準強度 32.3N/mm$^2$ に対して十分に余裕があり，その負荷範囲も限定的であることが分かる。なお，RPV ペデスタル下部と周辺コンクリートとの定着を考慮した場合，更にコンクリートに作用する荷重が小さくなると考えられる。

ここで，FEM 解析の妥当性を確認するために，解析結果と評価式による変位とを比較する。FEM 解析による，周辺コンクリート上端位置（0.P.1,150）に対する RPV ペデスタル頂部（0.P.7,040）の相対変位は 3.00 ㎜だが，解析においてはスタッドをモデル化していないため，上下方向が拘束されず，周辺コンクリート上端位置（0.P.1,150）で鉛直方向の変位が生じ，回転することによって頂部に水平変位が生じている（図 4-6 参照）。0.P.1,150 における鉛直変位から回転角度を算出し，回転による変位を求めると，1.68 ㎜となるため，回転による変位の影響を除いた場合，地震力による RPV ペデスタル頂部の変位は 3.00-1.68＝1.32 ㎜となる。一方，今回工認で用いるスケルトンカーブの弾性領域における剛性から算出した RPV ペデスタル頂部の変位は，1.56 ㎜（NS 方向），1.54 ㎜（EW 方向）であり，FEM 解析とおおむね整合していることから，解析結果は妥当である。なお，解析による変位の方がわずかに小さくなったのは，FEM 解析モデルの作成に当たって，開口部による断面欠損を考慮していないためと考えられる。

以上のことから，地震応答解析のモデル化において周辺コンクリート上端（0.P.1,150）位置で RPV ペデスタル下部を原子炉建屋基礎版と一体とする扱いは妥当であることを確認した。

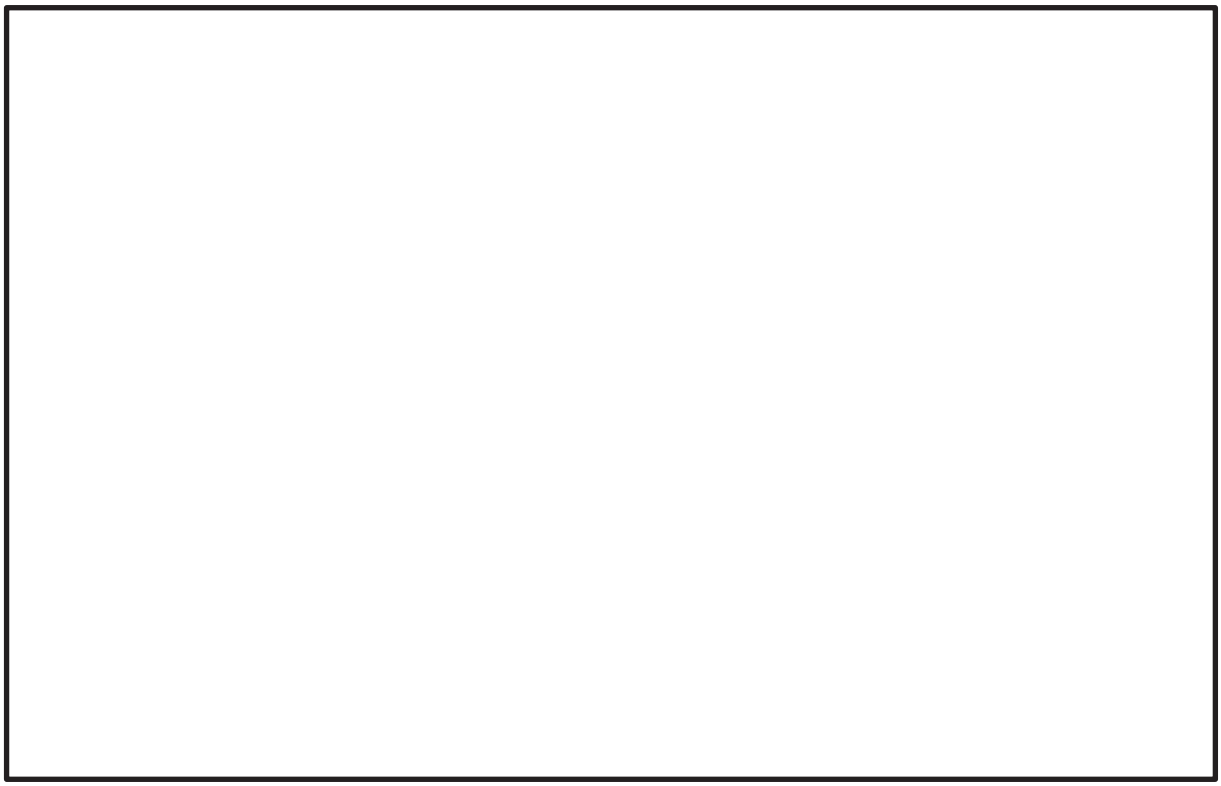


図 4-3　変形図（表示倍率 100 倍）

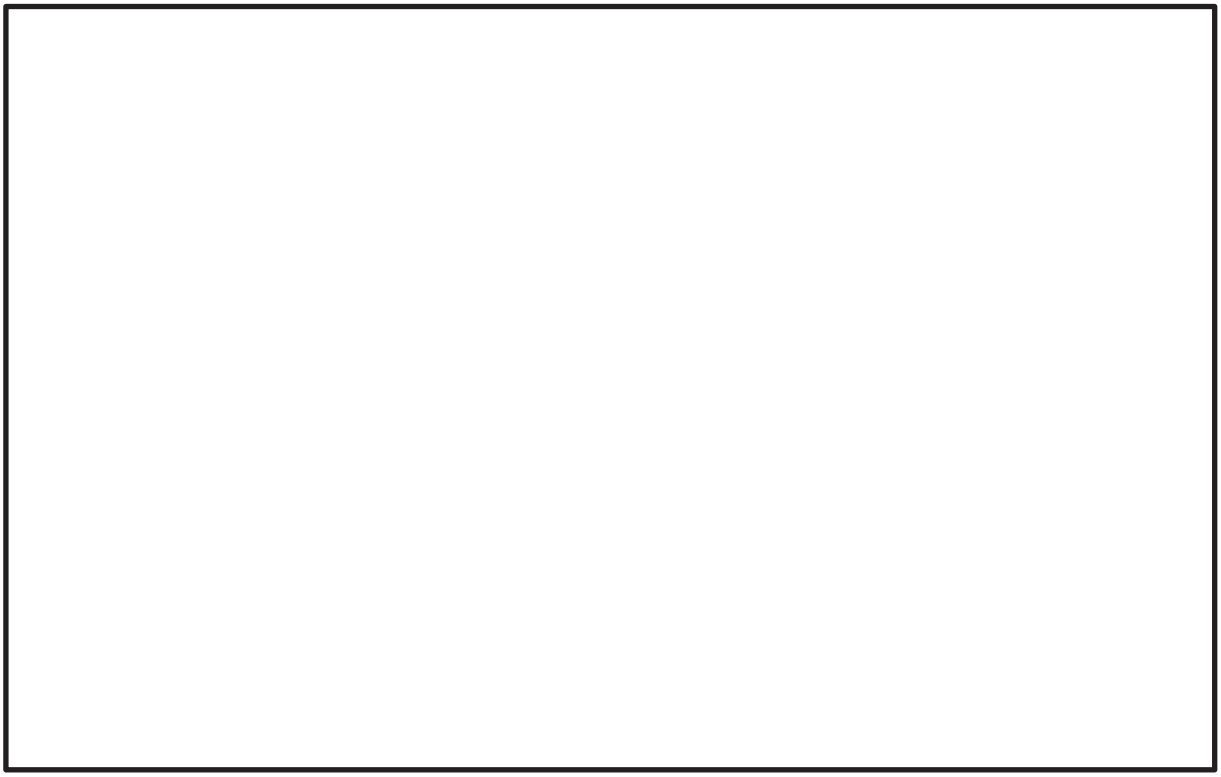
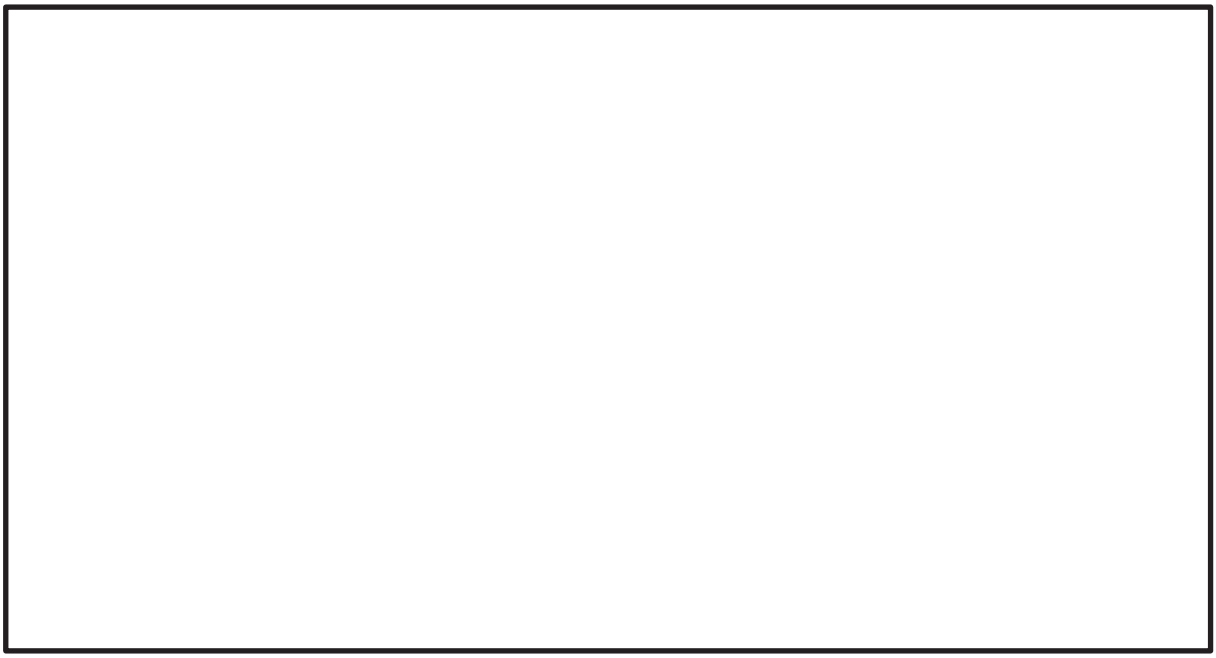


図 4-4　変位コンター図

別紙 9-12 枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) 断面図

(b) 平面図

図 4-5　RPV ペデスタル及び周辺コンクリートの主応力コンター図

別紙 9-13

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

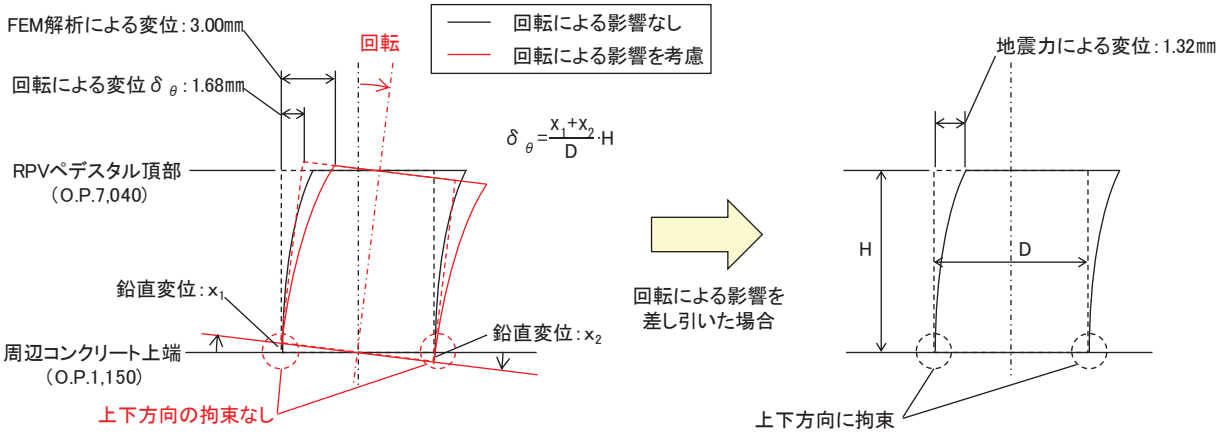


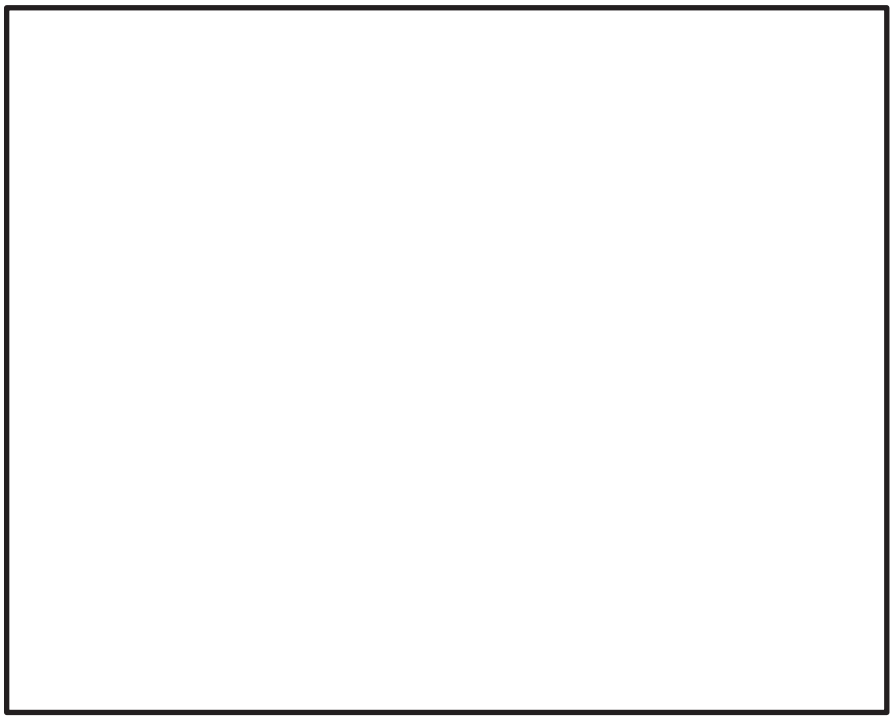

図 4-6　回転による変形のイメージ図

4.3.2　アンカボルトの荷重伝達状況

基準地震動Ｓｓによる荷重が加わった場合の RPV ペデスタルのアンカボルトの荷重コンター図を図 4-7，アンカボルトに発生する応力及び許容値を表 4-2 に示す。

図 4-7 及び添付 4-2 から，基準地震動Ｓｓによって RPV ペデスタルのアンカボルト（外側，内側）に加わる荷重（せん断力，引張力）は許容荷重に対して十分に小さいことがわかる。それぞれの荷重により発生するせん断応力及び引張応力は，許容せん断応力 396MPa に対して最大で 4MPa，許容引張応力 686MPa に対して最大で 6MPa と小さい。これは，RPV ペデスタル下部が，周辺コンクリートによって拘束されており，RPV ペデスタルから伝達される荷重が周辺コンクリートに分散されるため，アンカボルトに大きな荷重が伝達しないことによるものと考えられる。

以上のことから，アンカボルトの評価において，周辺コンクリート上端（0.P.1,150）位置での荷重を用いることは，十分に保守的であることを確認した。



(a)　解析モデルにおけるアンカボルトの範囲

(b)　せん断荷重

(c)　　引張荷重

図 4-6　RPV ペデスタルのアンカボルトの荷重コンター図



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-2　アンカボルトに発生する応力および許容値

| | 外筒のアンカボルト | 内筒のアンカボルト |
|---|---|---|
| 1m 当たりのアンカボルト本数 | 7.61 | 6.25 |
| 最大せん断力(kN/m) | 45.9 | 56.4 |
| 許容せん断力(kN/m)*1 | 8,953 | 7,353 |
| 最大引張力(kN/m) | 115.3 | 93.2 |
| 許容引張力(kN/m) *1 | 15,509 | 12,738 |
| アンカボルト 1 本当たりの最大せん断応力(MPa) | 3 | 4 |
| アンカボルト 1 本当たりの許容せん断応力(MPa) | 396 | 396 |
| アンカボルト 1 本当たりの最大引張応力(MPa) | 6 | 6 |
| アンカボルト 1 本当たりの許容引張応力(MPa) | 686 | 686 |

＊1　許容応力，アンカボルトの有効断面積，1m 当たりのアンカボルトの本数から求めた値

5　まとめ

地震応答解析のモデル化において，RPV ペデスタル下部を原子炉建屋基礎版と一体として扱い，周辺コンクリートの上端（O.P.1,150）位置で原子炉建屋基礎版に剛として結合させていることの妥当性について，RPV ペデスタル下部に対する周辺コンクリートを考慮した剛性及び周辺コンクリートとの定着の観点で確認するとともに，3D-FEM による静的弾性解析によって検証し，以下の結果を得た。

- RPV ペデスタル下部の周辺コンクリートを考慮した剛性は，RPV ペデスタル上部に対して十分に高い
- 基準地震動 Ss によって RPV ペデスタル下部の周辺コンクリート及び RPV ペデスタル下部のスタッド（内筒鋼板，外筒鋼板）に負荷される荷重は，許容荷重に対して十分裕度があり，RPV ペデスタルと周辺コンクリートの定着は健全である
- 基準地震動 Ss に対する RPV ペデスタル下部の変形は，周辺コンクリートの拘束効果によって，極めて小さく，また，RPV ペデスタルと周辺コンクリートの接続部の主応力は，周辺コンクリートの設計基準強度に対して十分に小さい
- 基準地震動 Ss によって RPV ペデスタルのアンカボルトに負荷される荷重は十分に小さい

したがって，RPV ペデスタル下部を原子炉建屋基礎版と一体として扱うことは妥当である。

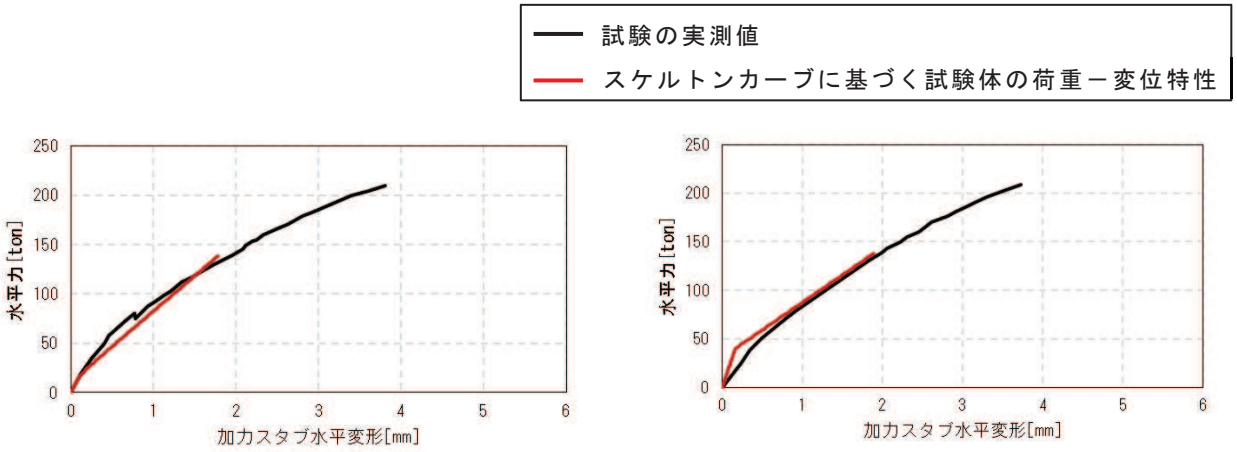
# RPV ペデスタル復元力特性の直線近似の影響検討

## 1. はじめに

RPVペデスタルのスケルトンカーブは，曲げ，せん断ともに第1折点を内部コンクリートのひび割れが生じる点，第2折点を鋼板が降伏する点として2直線で近似しており，第1折点を超えた範囲では剛性が一定との仮定に基づいている。

一方，実現象としては第1折点で初期ひび割れが生じた後も，荷重の増加に伴い内部コンクリートのひび割れは徐々に増加していく。ひび割れの増加はコンクリートの剛性低下を意味することから，第1折点から第2折点の間の区間は直線で近似するよりも，徐々に剛性すなわちスケルトンカーブの勾配が低下する曲線で近似する方が実現象に近いと考えられる。

以上を踏まえ，RPVペデスタルについて曲線近似したスケルトンカーブを作成し，直線近似との比較により影響検討を行うこととする。なお，図1-1に示すように，曲げ及びせん断のうち，せん断変形については，直線近似したスケルトンカーブに基づく荷重―変位特性が加力試験の実測値を上回っていることから，影響検討は曲げ変形についてのみ実施する。




(a)曲げ変形の比較　　(b)せん断変形の比較

図 1-1　荷重-変形関係の比較

2.　曲線近似したスケルトンカーブの作成方法

RPVペデスタルの曲げの第2折点は，断面の鋼板及びコンクリートを等価断面に置き換えてモデル化したファイバーモデルを用いて鋼板が降伏状態に至る際の曲げモーメント及び曲率を求めている。スケルトンカーブの曲線近似は，第2折点の算出と同様の手法で曲げモーメント及び曲率の関係を求め，プロットすることにより行う。

3.　影響検討

図3-1に，曲線近似及び直線近似のスケルトンカーブを示す。第1折点を超えた範囲において，曲線近似として作成したRPVペデスタルのスケルトンカーブは上に凸の形状で，直線近似のものに比べて曲げモーメントが大きく算出されることを確認した。

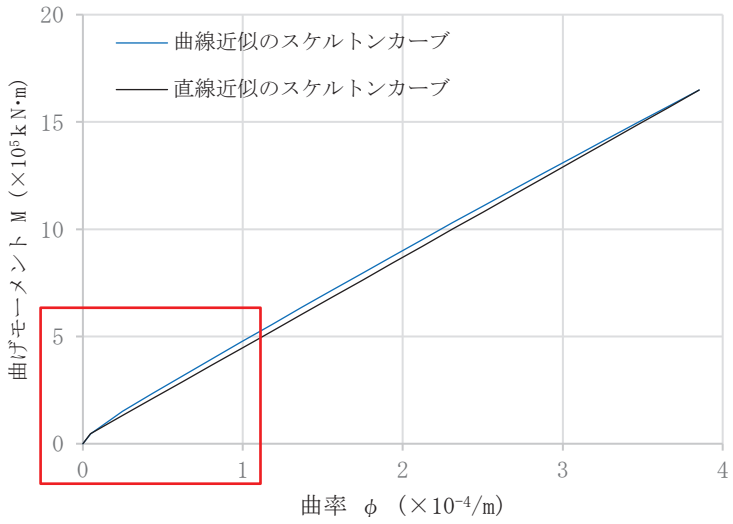



図 3-1　RPV ペデスタル（要素④）の曲線近似と直線近似との比較（NS 方向）

図3-2に，図3-1の赤線部の拡大図を示す。直線近似のスケルトンカーブ上に，基準地震動Ｓｓ－Ｄ２における応答値をプロットし，同じ曲率における曲線近似のスケルトンカーブ上の値を参照すると，曲線近似による値は，直線近似に比べ，約6.5%大きい値が得られた。

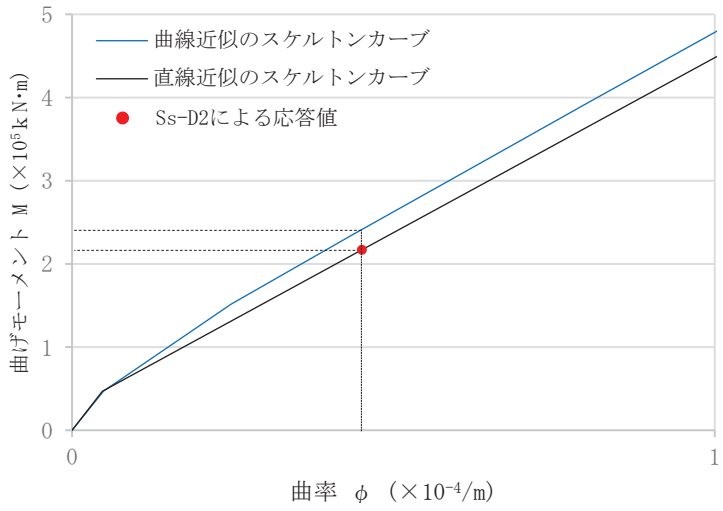



図 3-2　RPV ペデスタル（要素④）の曲線近似と直線近似との比較（拡大図）

4.　設計への反映方針

直線近似による変形量を設計に用いる場合は，同じ荷重レベルに対して大きい変形量を与えることになり安全側の設計となる。一方，直線近似による荷重を設計に用いる場合は，同じ変形量に対して小さい荷重を与えることになる。

曲線近似のスケルトンカーブを用いた場合の応答は，地震応答解析により得られるため，図3-1に示す曲線近似と直線近似の比は純粋な荷重比にはならないものの，直線近似では表現できていない不確実性を表すものと考えられる。

以上を踏まえ，設計においては，RPVペデスタルの地震応答解析から得られる地震荷重に対して，直線近似による不確実性を考慮し，曲線近似のスケルトンカーブを包絡するように設定した折線のスケルトンカーブ（曲線包絡スケルトンカーブ）を用いることとする。曲線包絡スケルトンカーブを設計に用いる場合，直線近似のスケルトンカーブ（影響検討条件）を用いた場合と比較して，同じ変位に対して荷重が大きくなるため，保守的な設計となる。なお，今回工認で曲線包絡スケルトンカーブを設定したRPVペデスタルにおいて，ドライウェル床面（0.P.[　　]）を基準としたRPVペデスタル頂部（0.P.[　　]）の地震時の相対変位は5㎜程度，原子炉しゃへい壁頂部（0.P.[　　]）における相対変位は20㎜程度である。原子炉建屋から原子炉格納容器及び原子炉しゃへい壁を貫通し，原子炉圧力容器に接続されるような配管に対しては，補足説明資料「補足-600-40-10　管の耐震評価における相対変位の考慮方法について」に示すとおり，原子炉建屋と原子炉しゃへい壁の応答変位差の最大値に原子炉しゃへい壁と原子炉圧力容器の応答変位差の


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

最大値を加えたものを入力して評価を実施している。これらの応答変位差の最大値は同時刻で発生するものではないものの，同時に逆方向に変位が生じたものと仮定して足し合わせることによって保守的な評価となっているため，スケルトンカーブの近似方法の違いによる変位の差が評価に及ぼす影響は小さいと考えられる。

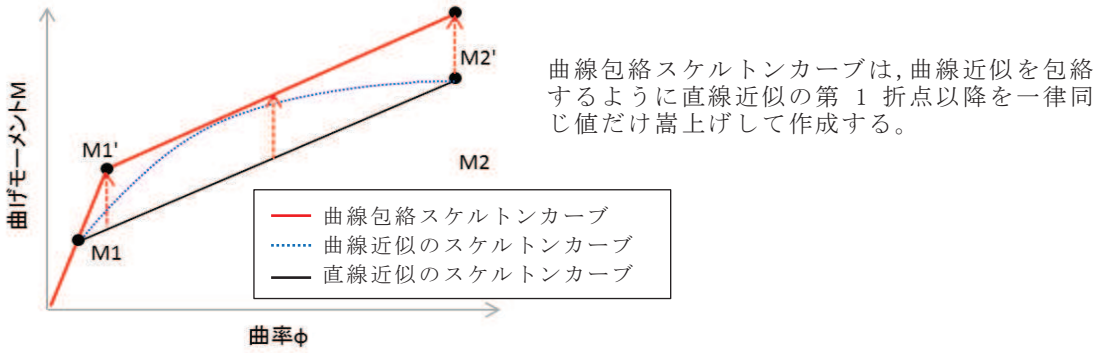



図 4-1　曲線包絡スケルトンカーブの概念図

直線近似のスケルトンカーブを適用した場合と曲線包絡スケルトンカーブを適用した場合との比較を実施した。影響検討に当たっては，大型機器系モデルにおいて，RPV ペデスタルに発生する荷重（モーメント）が大きい基準地震動Ｓｓ－Ｄ２での評価結果を比較する。評価に用いた直線近似のスケルトンカーブを表 4-1，表 4-2，図 4-2 及び図 4-3 に，地震荷重の比較を表 4-3 及び表 4-4 に，床応答曲線の比較を図 4-4 から図 4-7 に示す。

比較の結果から，地震荷重は±3%程度の変動であり，評価に及ぼす影響は小さいと考えられる。また，直線近似のスケルトンカーブを適用した場合の床応答曲線は，設計条件の床応答曲線におおむね包絡されており，評価に及ぼす影響がないと考えられる。

表 4-1　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）

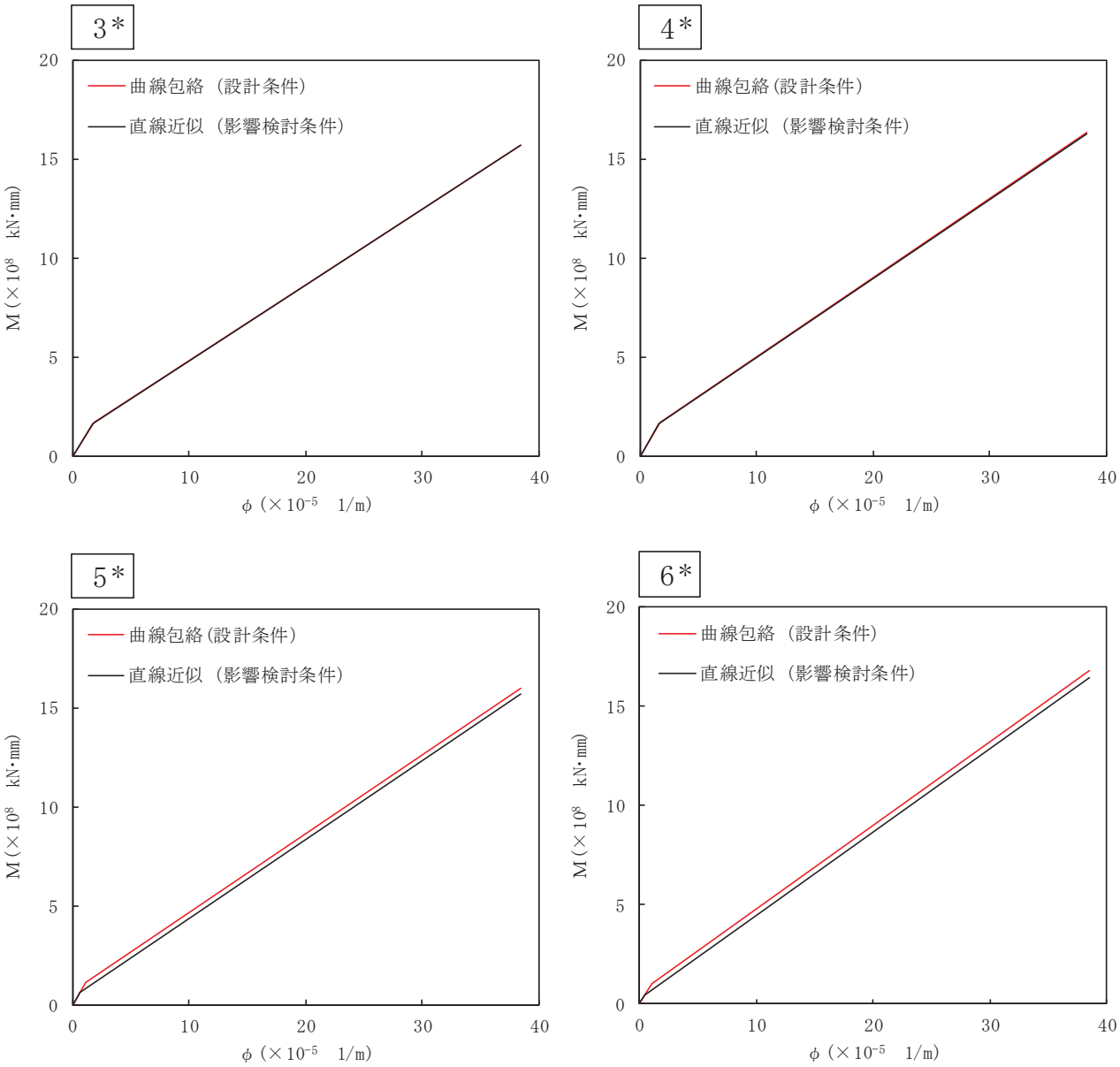
（直線近似（影響検討条件），NS 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 0.4687 | 0.4710 | 16.49 | 38.53 |
| 6 | 5 | 0.6326 | 0.6570 | 15.70 | 38.49 |
| 5 | 4 | 1.641 | 1.623 | 16.30 | 38.39 |
| 4 | 3 | 1.632 | 1.689 | 15.67 | 38.50 |
| 3 | | | | | |

表 4-2　曲げモーメントのスケルトンカーブ（M－φ関係）

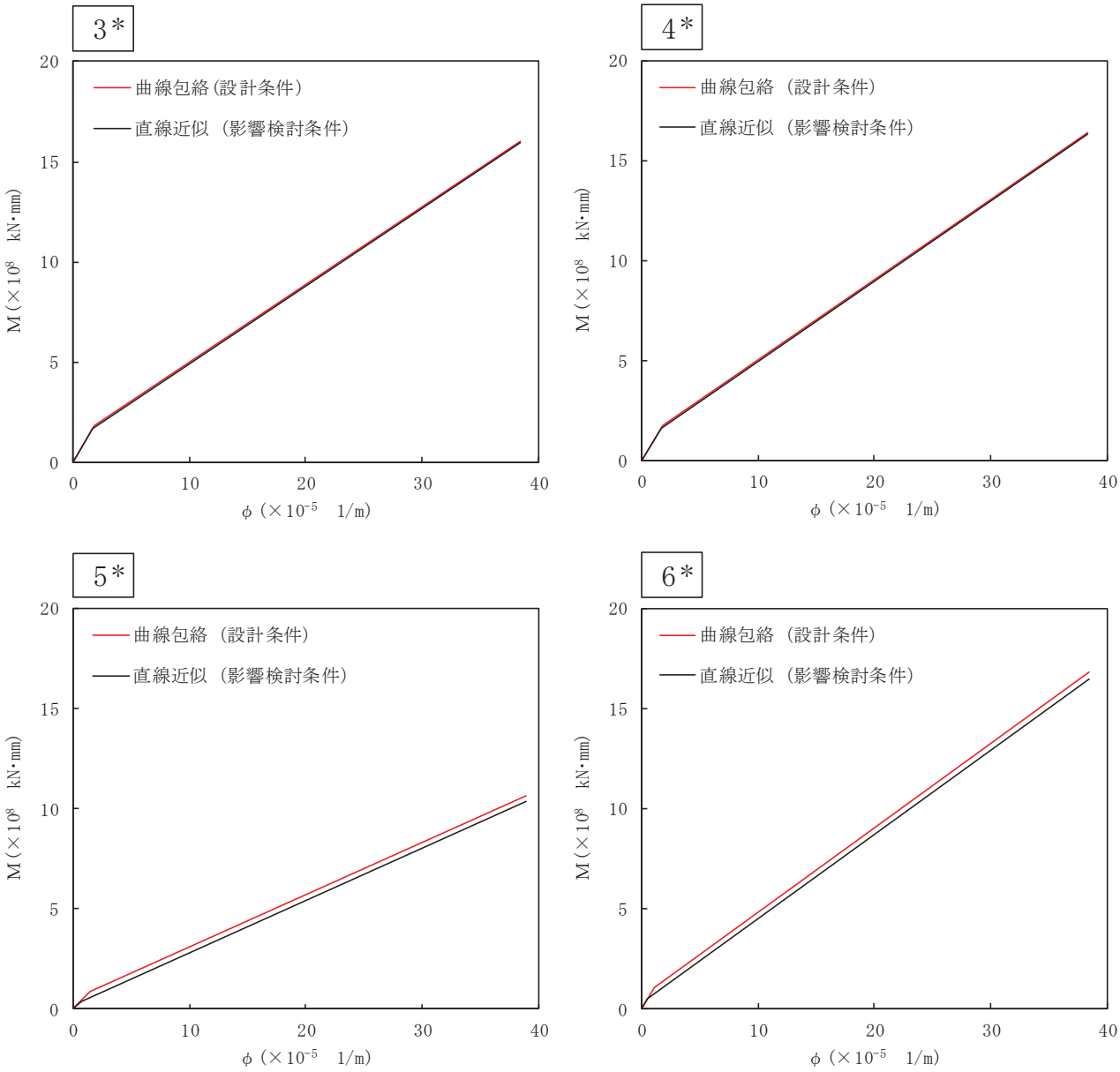
（直線近似（影響検討条件），EW 方向）

| 質点番号 | 要素番号 | $M_1$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_1$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) | $M_2$ ($\times 10^8$ kN･mm) | $\phi_2$ ($\times 10^{-5}$ 1/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 6 | 0.4687 | 0.4705 | 16.49 | 38.53 |
| 6 | 5 | 0.4100 | 0.6575 | 10.38 | 38.90 |
| 5 | 4 | 1.641 | 1.623 | 16.30 | 38.39 |
| 4 | 3 | 1.663 | 1.688 | 15.95 | 38.49 |
| 3 | | | | | |




注記＊：各図上に記載の番号は，表 4-1 の要素番号に対応

図 4-2　M-φ関係の比較（NS 方向）




注記＊：各図上に記載の番号は，表 4-2 の要素番号に対応

図 4-3　M-φ関係の比較（EW 方向）

表 4-3　せん断力の比較

| 構造物 | 標高<br>O.P.<br>(m) | せん断力　$\times 10^2$(kN) | | 比率<br>(B) /(A) |
|---|---|---|---|---|
| | | 曲線包絡(A)<br>(設計条件) | 直線近似(B)<br>(影響検討条件) | |
| 原子炉圧力容器 | | 5.36 | 5.45 | 1.02 |
| | | 21.3 | 21.3 | 1.00 |
| | | 42.1 | 42.5 | 1.01 |
| | | 30.5 | 30.7 | 1.01 |
| | | 32.7 | 31.8 | 0.98 |
| | | 64.8 | 64.2 | 1.00 |
| | | 89.3 | 89.0 | 1.00 |
| | | 111 | 111 | 1.00 |
| 原子炉本体の基礎 | | 28.3 | 28.1 | 1.00 |
| | | 30.2 | 30.0 | 1.00 |
| | | 32.2 | 32.1 | 1.00 |
| | | 34.1 | 34.0 | 1.00 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 68.4 | 67.6 | 0.99 |
| | | 66.4 | 64.3 | 0.97 |
| | | 86.1 | 83.7 | 0.98 |
| | | 125 | 123 | 0.99 |
| | | 166 | 164 | 0.99 |
| 原子炉格納容器 | | 2.86 | 2.86 | 1.00 |
| | | 5.56 | 5.56 | 1.00 |
| | | 32.2 | 32.9 | 1.03 |
| | | 39.8 | 40.4 | 1.02 |
| | | 262 | 263 | 1.01 |
| | | 273 | 274 | 1.01 |
| | | 281 | 281 | 1.00 |
| | | 294 | 294 | 1.00 |
| | | 298 | 299 | 1.01 |
| | | 314 | 315 | 1.01 |


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-4　モーメントの比較

| 構造物 | 標高<br>O.P.<br>(m) | モーメント　×$10^6$(kN･mm)<br>曲線包絡(A)<br>(設計条件) | <br>直線近似(B)<br>(影響検討条件) | 比率<br>(B)/(A) |
|---|---|---|---|---|
| 原子炉圧力容器 | | 0 | 0 | - |
| | | 1.47 | 1.50 | 1.03 |
| | | 6.12 | 6.15 | 1.01 |
| | | 14.1 | 14.2 | 1.01 |
| | | 16.9 | 16.5 | 0.98 |
| | | 27.9 | 27.2 | 0.98 |
| | | 46.7 | 45.6 | 0.98 |
| | | 59.5 | 58.3 | 0.98 |
| | | 77.8 | 76.5 | 0.99 |
| 原子炉本体の基礎 | | 199 | 195 | 0.98 |
| | | 222 | 217 | 0.98 |
| | | 261 | 256 | 0.99 |
| | | 321 | 316 | 0.99 |
| | | 385 | 379 | 0.99 |
| 原子炉しゃへい壁 | | 0 | 0 | - |
| | | 18.9 | 18.7 | 0.99 |
| | | 35.3 | 34.2 | 0.97 |
| | | 53.3 | 51.6 | 0.97 |
| | | 76.8 | 74.6 | 0.98 |
| | | 122 | 119 | 0.98 |
| 原子炉格納容器 | | 0 | 0 | - |
| | | 0.657 | 0.658 | 1.01 |
| | | 1.85 | 1.85 | 1.00 |
| | | 6.21 | 6.31 | 1.02 |
| | | 17.8 | 18.1 | 1.02 |
| | | 129 | 130 | 1.01 |
| | | 207 | 207 | 1.00 |
| | | 343 | 343 | 1.00 |
| | | 484 | 485 | 1.01 |
| | | 543 | 544 | 1.01 |
| | | 587 | 588 | 1.01 |


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

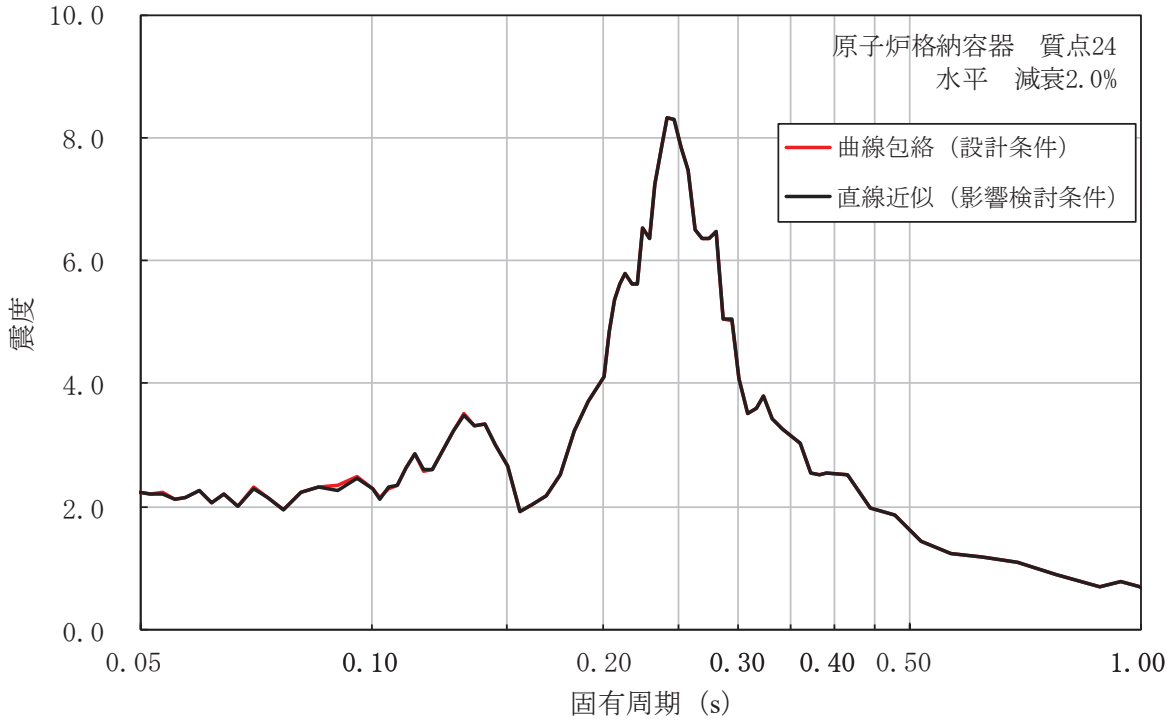



図 4-4　床応答曲線の比較（原子炉格納容器）

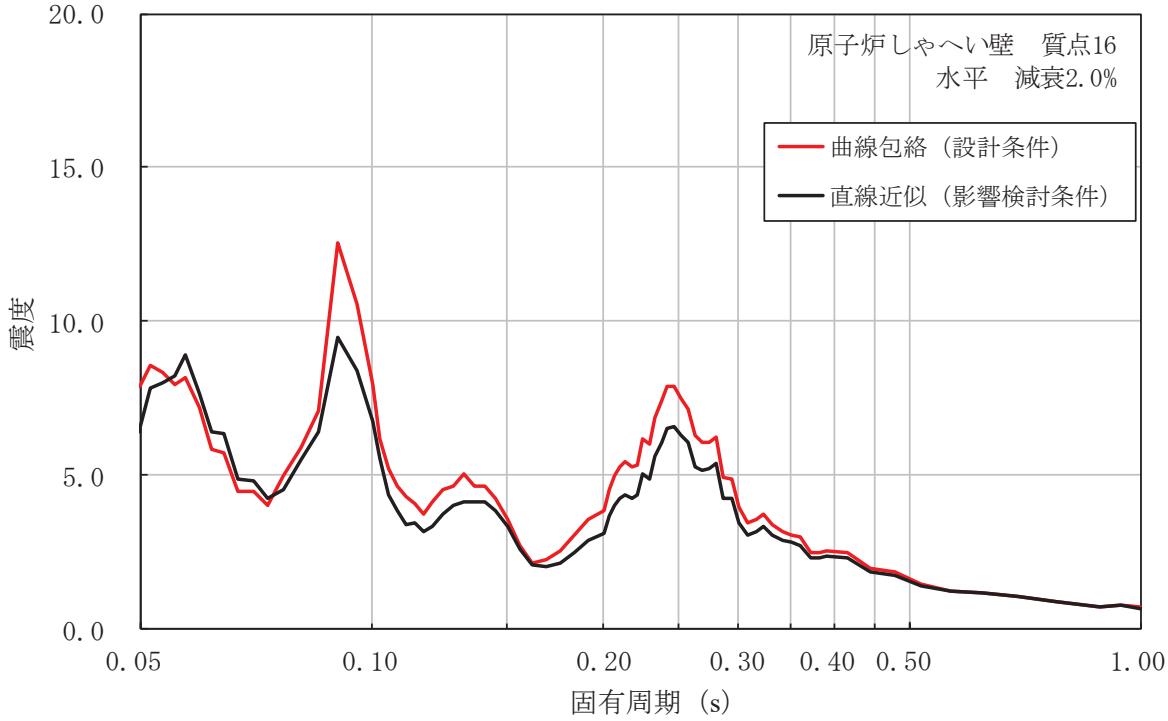



図 4-5　床応答曲線の比較（原子炉しゃへい壁）

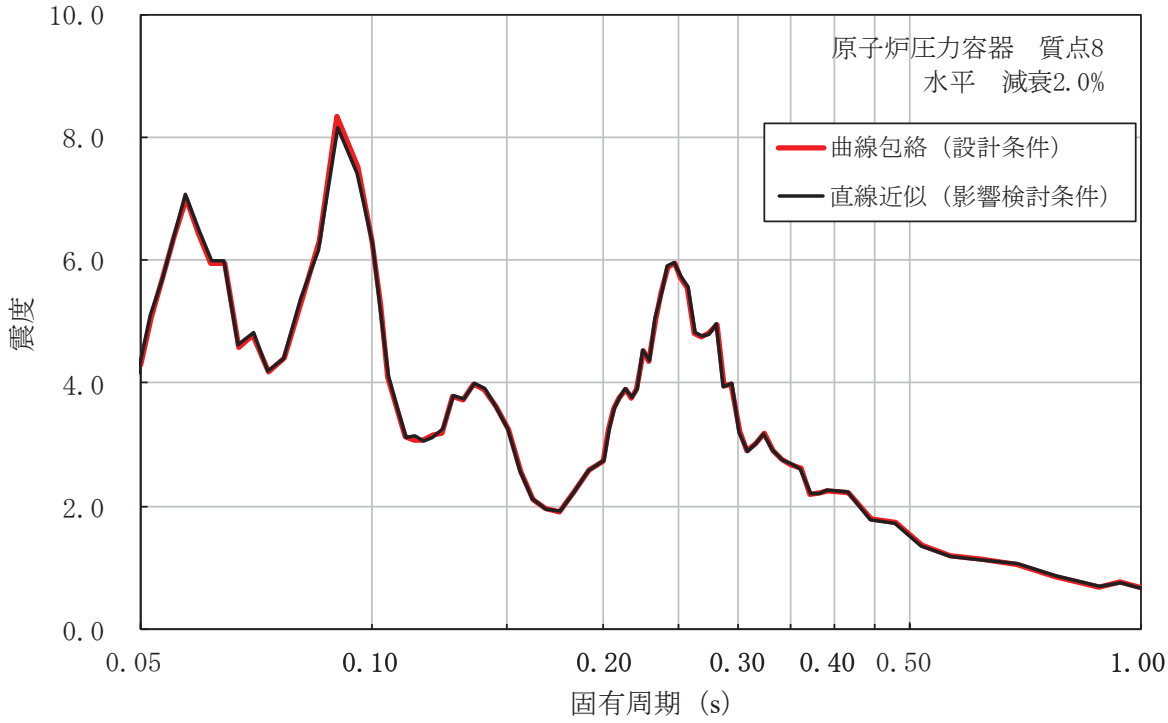



図 4-6　床応答曲線の比較（原子炉圧力容器）

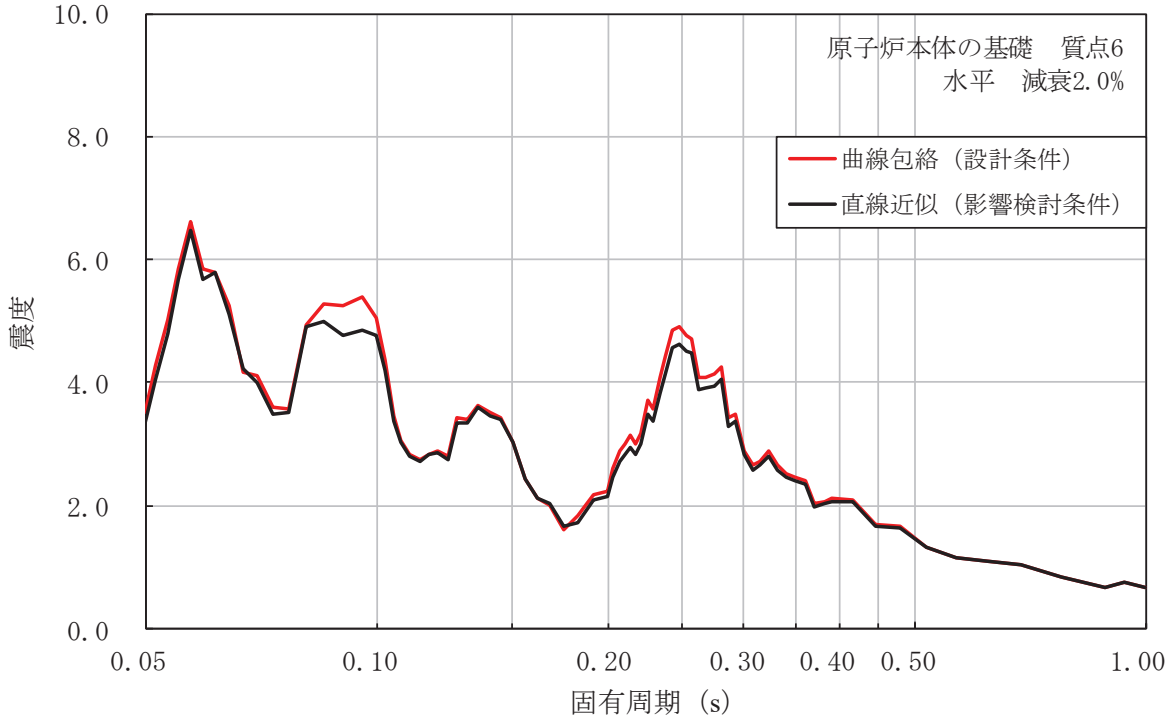



図 4-7　床応答曲線の比較（原子炉本体の基礎）

本資料は，「設置変更許可申請書　まとめ資料　4 条別紙-6　原子炉本体の基礎の復元力特性について　添付資料-5」として設置許可段階において構造成立性の見通しを確認したものであり，詳細評価結果は，補足説明資料「補足-620-3　原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」にて説明する。

# 復元力特性の設定における温度に応じた材料物性値の設定

## 1.　材料物性値の設定に用いる規格・基準類

既工認では，地震と組み合わせる運転状態の温度を考慮し，当該温度における材料物性値を用いて剛性の設定を行っており，今回工認の非線形特性を考慮した復元力特性の設定においても，設計基準における温度条件は既工認と同一のため既工認の材料物性値を用いる。

また，重大事故等の高温状態の影響を考慮する場合においても，既工認における考え方と同様に設定を行うが，既工認から温度条件が変更となるため，温度による影響を考慮した材料物性値を用いて剛性の設定を行う。

RPV ペデスタルの復元力特性を設定する際に用いる物性値のうち，温度による影響を受けるものを整理し，設定に用いる規格・基準類を表 1-1 に示す。

表 1-1　温度に応じた材料物性値の設定に用いる規格・基準類

| | | 既工認 | 今回工認 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 設計基準 | 重大事故等の高温状態の影響を考慮する場合 |
| コンクリート | ヤング係数 | RC 規準 | 同左 | 同左（温度による影響は Eurocode[(1)]，耐火性ガイド[(2)]等を用いて確認予定） |
| | 圧縮強度 | RC 規準 | 同左 | 同左（温度による影響は Eurocode，耐火性ガイド等を用いて確認予定） |
| 鋼板 | ヤング係数 | 告示 501 | 同左 | JSME |
| | 降伏点 | —<br>（線形仮定のため剛性算定に用いない。） | JIS G 3115<br>（既工認の応力評価の許容値根拠と整合させる。） | JSME<br>（温度による影響を考慮するため JSME を参照） |

＜略称の説明＞

RC規準　　：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会　1982　改定4）

告示501　　：発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（告示第501号）

JSME　　：発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1－2005/2007）

Eurocode*　　：EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1:General rules and rules for buildings / EN 1992-1-2, Eurocode 2:Design of concrete structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design

耐火性ガイド　：構造材料の耐火性ガイドブック（日本建築学会　2017）

＊：Eurocodeは，EU域内のみならず，海外で標準的に用いられている設計規準であり，日本国内においても「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」における福島第一原子力発電所４号機原子炉建屋等の耐震性評価において，プール水温の高温化による影響を考慮する際にEurocodeを用いた解析評価を行い，認可された実績があることから，RPVペデスタルにも適用可能と考える。

2.　高温環境下における剛性低下

(1) コンクリートの水分逸散による剛性低下

重大事故時における原子炉格納容器内の環境条件は，原子炉格納容器の限界温度（200℃）以下に制御されるものの，コンクリート温度が 100℃を超える高温環境になった場合，コンクリートの水分逸散による剛性低下が考えられる。RPV ペデスタルの表面は鋼板で覆われており，図 2-1 に示すように，開口部は鋼板で囲まれ，電気配線や配管の貫通部には鋼製スリーブが設置してあるため，コンクリートが鋼板に覆われていない部分はない。

また，既往の文献[(3)]によって，高温履歴及びそれに伴う水分の移動によるコンクリートの物性への影響が実験的に考察されており，図 2-2 に示すような，コンクリートを鋼板で密封した試験体を加熱した場合，175℃までの範囲においてヤング係数の低下がみられないことが確認されている（図 2-3 参照）。

以上のことから，RPV ペデスタルにおいては，高温環境におけるコンクリート中の水分逸散の影響は小さいと考えられるが，念のため，RPV ペデスタルの剛性について，温度上昇に伴うコンクリートの剛性低下を考慮した評価を行う。

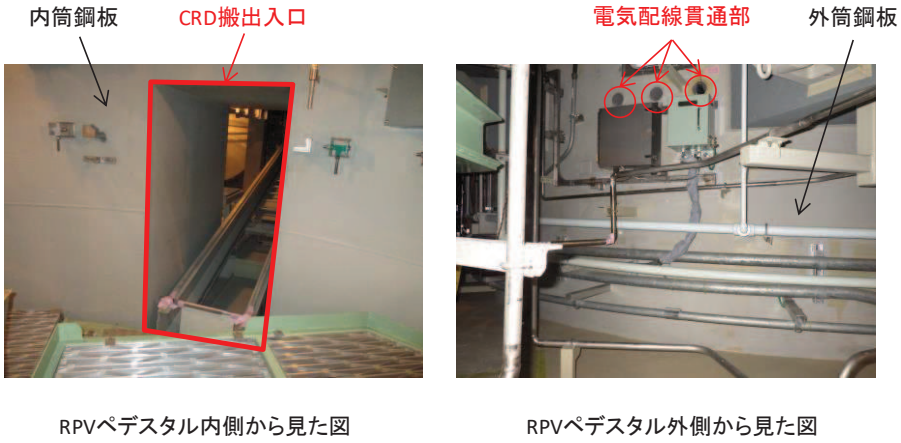



図 2-1　RPV ペデスタルの開口部の写真

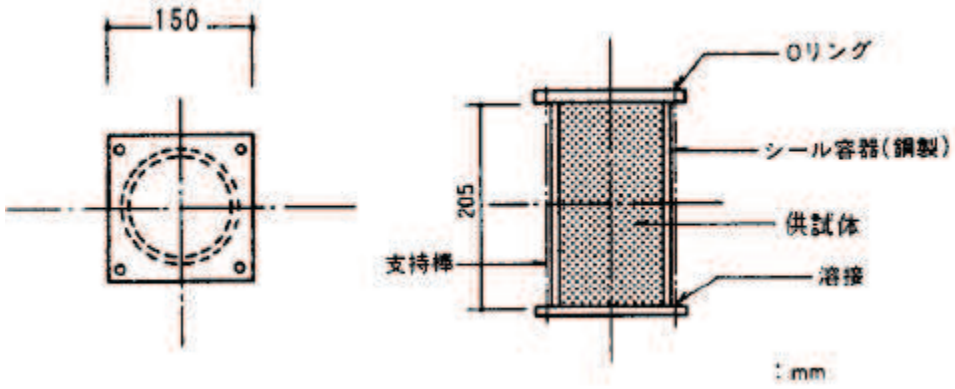



図 2-2　供試体のシール方法概要図（参考文献(3)から引用）

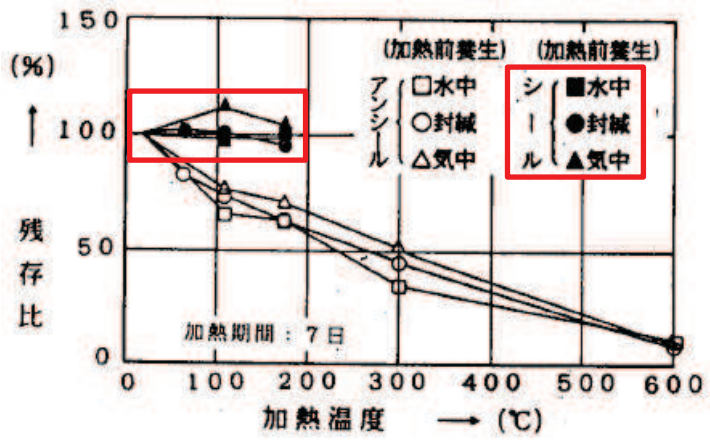



図 2-3　加熱温度とヤング係数残存比の関係（参考文献(3)から引用，加筆）

(2) 剛性低下率

高温環境下におけるコンクリートの剛性低下については，Eurocode 及び耐火性ガイドの記載を踏まえて以下のとおり整理されている[(4)]。

a. Eurocode

Eurocode においては，Popovics による提案式（1）に高温時の圧縮強度及びその時のひずみを与えて，高温時の応力-ひずみ曲線を示している（図 2-4)。

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \cdot \frac{n}{n-1+(\varepsilon/\varepsilon_0)^n} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

ここで，

σ　　：応力

ε　　：ひずみ

$\sigma_0$　：圧縮強度

$\varepsilon_0$　：圧縮強度時ひずみ

n　　：圧縮強度の関数として与える値（普通コンクリートでは n＝3)

図 2-4　Eurocode による高温時の応力-ひずみ曲線（参考文献(4)から引用）

上記の応力-ひずみ曲線の傾きからヤング係数をを求め，高温時におけるヤング係数残存比を確認する。

b. 耐火性ガイド

耐火性ガイドにおいては，既往のデータの平均値から算出した高温時のヤング係数残存比の提案値 $\kappa_e(T)$ を用いて，以下の式(2)で表される（図 2-5)。

$$E(T)=E(20)\times\kappa_e(T) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ここで,

E(T)　：温度 T℃におけるヤング係数

T　　：加熱温度

E(20)　：温度 20℃（常温）時のヤング係数

$\kappa_e$(T)　：高温時のヤング係数残存比

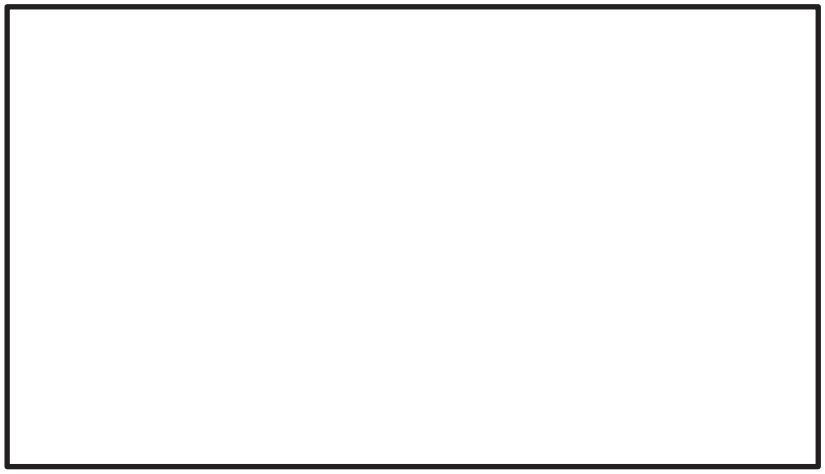


図 2-5　高温時におけるコンクリートの温度とヤング係数残存比（参考文献(2)から引用）

c.まとめ

Eurocode 及び耐火性ガイドのヤング係数残存比の提案値をまとめたものを図 2-6 に示す。

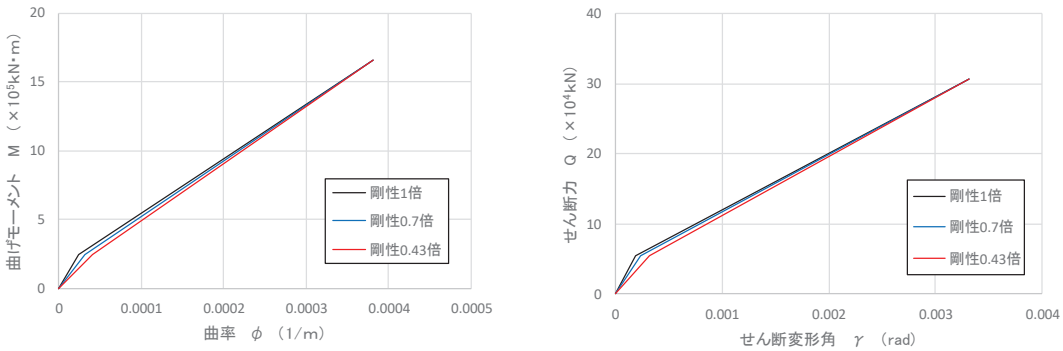
図 2-6　高温時におけるコンクリートの温度とヤング係数残存比（参考文献(4)から引用）


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.　重大事故時の地震応答解析条件及び構造成立性の見通し

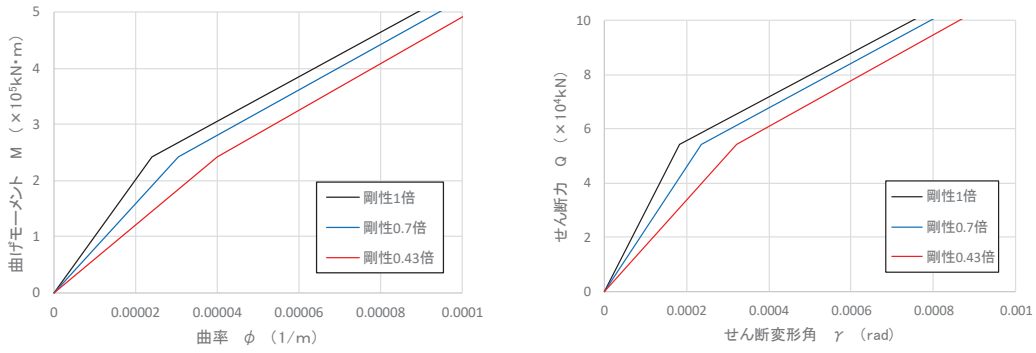
構造成立性の検討に当たっては，原子炉格納容器限界温度（200℃）におけるコンクリートの剛性として，耐火性ガイドを参考に 0.7 倍，Eurocode を参考に 0.43 倍と設定し，地震応答解析を実施した。

評価に用いたスケルトンカーブを図 3-1 に，第 1 折点付近の拡大図を図 3-2 に示す。スケルトンカーブの作成に当たっては，コンクリートの剛性低下の影響を確認するために，コンクリートのヤング係数 $E_c$ 及びせん断弾性係数 $G_c$ のみを低下させ，鋼板の物性値は変更しない。スケルトンカーブの第 1 折点は，コンクリートにひび割れが生じる点であり，コンクリートのヤング係数 $E_c$ 及びせん断弾性係数 $G_c$ が低下すると，第 1 折点における曲げモーメント $M_1$，曲率 $\phi_1$，せん断力 $Q_1$ 及びせん断変形角 $\gamma_1$ は大きくなるが，簡便な扱いとして，$M_1$ 及び $Q_1$ は変えずに $\phi_1$ 及び $\gamma_1$ のみを変更し，傾きがより小さくなる設定とした。なお，第 2 折点は鋼板の降伏によって決まることから，変更していない。




曲げ　　せん断

図 3-1　評価に用いたスケルトンカーブ




曲げ　　せん断

図 3-2　評価に用いたスケルトンカーブ（第 1 折点付近の拡大図）

また，重大事故時における原子炉圧力容器，原子炉格納容器等のモデル化においては，耐震評価上，重心位置が高い方が地震時の応答が大きくなる傾向があることから，重大

事故時における原子炉圧力容器の水位及び燃料状態としては，燃料破損や冷却材喪失等の状態を考慮せず，DB 時の地震応答解析モデルに考慮されている諸元を適用する。原子炉格納容器の水位としては，ドライウェル水位は，外部水源からの注水を考慮してドライウェル床面+約 0.5m（ベント開口下端位置），サプレッションチェンバ水位は，有効性評価において，最も水位が高くなるシーケンス（格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用できない場合）の水位を包絡する水位（約 5.9m）とする。解析条件を添付表 3-1 に示す。

表 3-1　解析条件の比較

| 地震応答解析ケース | ①剛性 1 倍<br>（DB 条件） | ②剛性 0.7 倍<br>（SA 条件） | ③剛性 0.43 倍<br>（SA 条件） |
|---|---|---|---|
| 原子炉圧力容器水位 | 通常水位 | 同左 | 同左 |
| 原子炉格納容器水位<br>（ドライウェル）［m］ | 0 | 約 0.5 | 同左 |
| 原子炉格納容器水位<br>(サプレッションチェンバ）［m］ | 3.6 | 約 5.9 | 同左 |
| 通常時に対する RPV ペデスタルのコンクリート剛性倍率 | 1.0 倍 | 0.7 倍 | 0.43 倍 |

表 3-2 及び図 3-3 に，基準地震動 Ss-2 に対する各部位の地震応答を示す。RPV スタビライザのばね反力で，最大 2 割程度の増加がみられるが，構造成立性に影響を及ぼすものではないことから,工認段階において基準地震動Ｓｓに対する詳細な評価を実施する。なお，詳細評価においては，有効性評価における原子炉建屋内の温度分布を踏まえ，原子炉建屋のコンクリート部材の剛性を低下させる。

表 3-2　基準地震動 Ss-2 に対する各部位の地震応答

| 評価部位 | 曲げモーメント（kN・m） | | | 剛性 1 倍に対する比率（%） | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ①剛性 1 倍（DB 条件） | ②剛性 0.7 倍（SA 条件） | ③剛性 0.43 倍（SA 条件） | ②／① | ③／① |
| RPV ペデスタル | 421,000 | 436,000 | 398,000 | 103.6 | 94.5 |
| 原子炉しゃへい壁 | 133,000 | 123,000 | 115,000 | 92.5 | 86.5 |
| 原子炉格納容器 | 619,000 | 624,000 | 628,000 | 100.8 | 101.5 |
| 原子炉圧力容器 | 82,400 | 84,400 | 78,500 | 102.4 | 95.3 |

| 評価部位 | せん断力（kN） | | | 剛性 1 倍に対する比率（%） | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ①剛性 1 倍（DB 条件） | ②剛性 0.7 倍（SA 条件） | ③剛性 0.43 倍（SA 条件） | ②／① | ③／① |
| RPV ペデスタル | 42,200 | 44,200 | 41,100 | 104.7 | 97.4 |
| 原子炉しゃへい壁 | 18,600 | 19,000 | 17,600 | 102.2 | 94.6 |
| 原子炉格納容器 | 33,200 | 33,200 | 33,300 | 100.0 | 100.3 |
| 原子炉圧力容器 | 12,300 | 14,300 | 13,300 | 116.3 | 108.1 |

| 評価部位 | 評価用ばね反力（kN） | | | 剛性 1 倍に対する比率（%） | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ①剛性 1 倍（DB 条件） | ②剛性 0.7 倍（SA 条件） | ③剛性 0.43 倍（SA 条件） | ②／① | ③／① |
| PCV スタビライザ | 16,300 | 16,800 | 17,000 | 103.1 | 104.3 |
| RPV スタビライザ | 8,480 | 10,400 | 10,500 | 122.6 | 123.8 |
| シヤラグ | 25,800 | 26,500 | 25,800 | 102.7 | 100.0 |

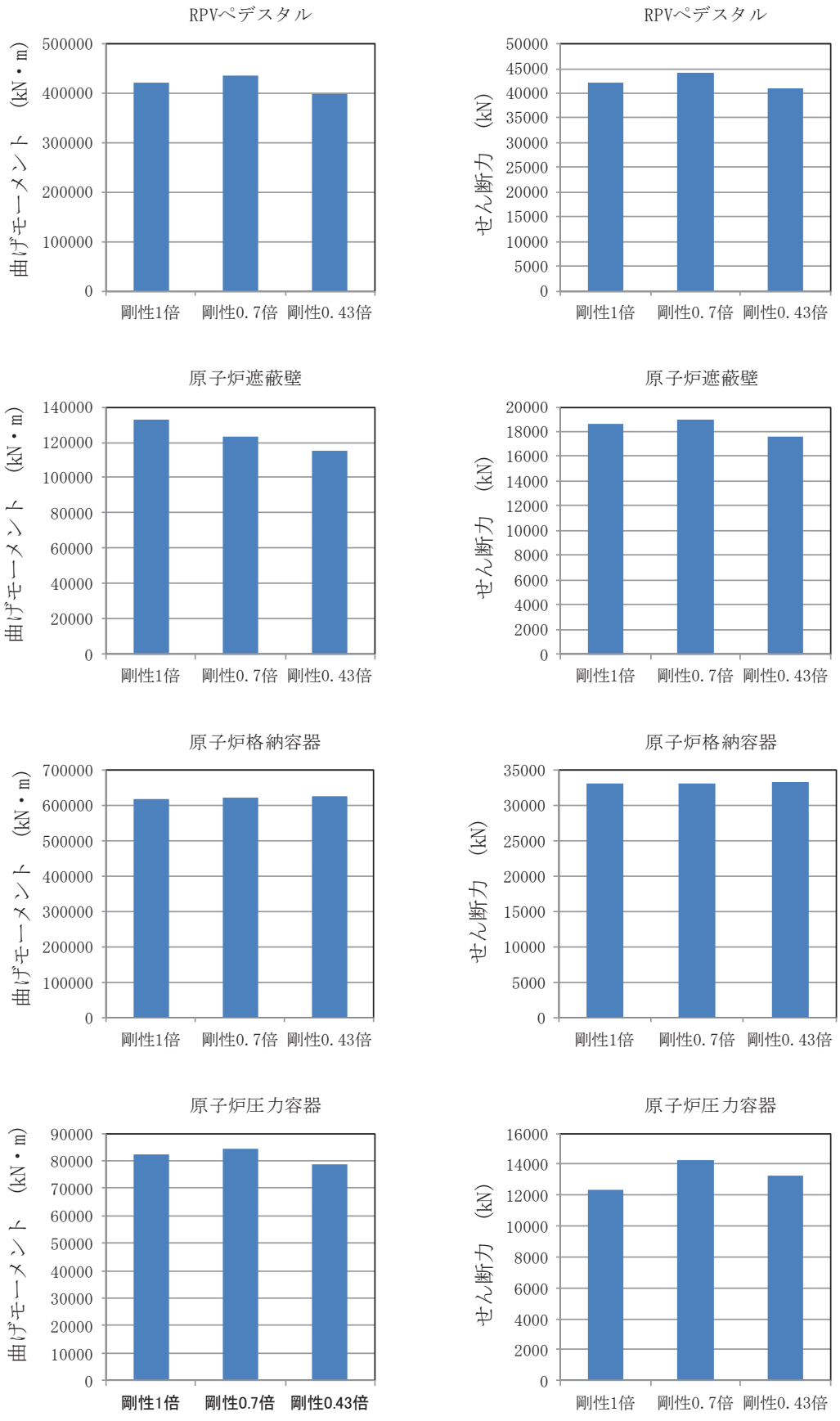



図 3-3　基準地震動 Ss-2 に対する各部位の地震応答の比較（1/2）

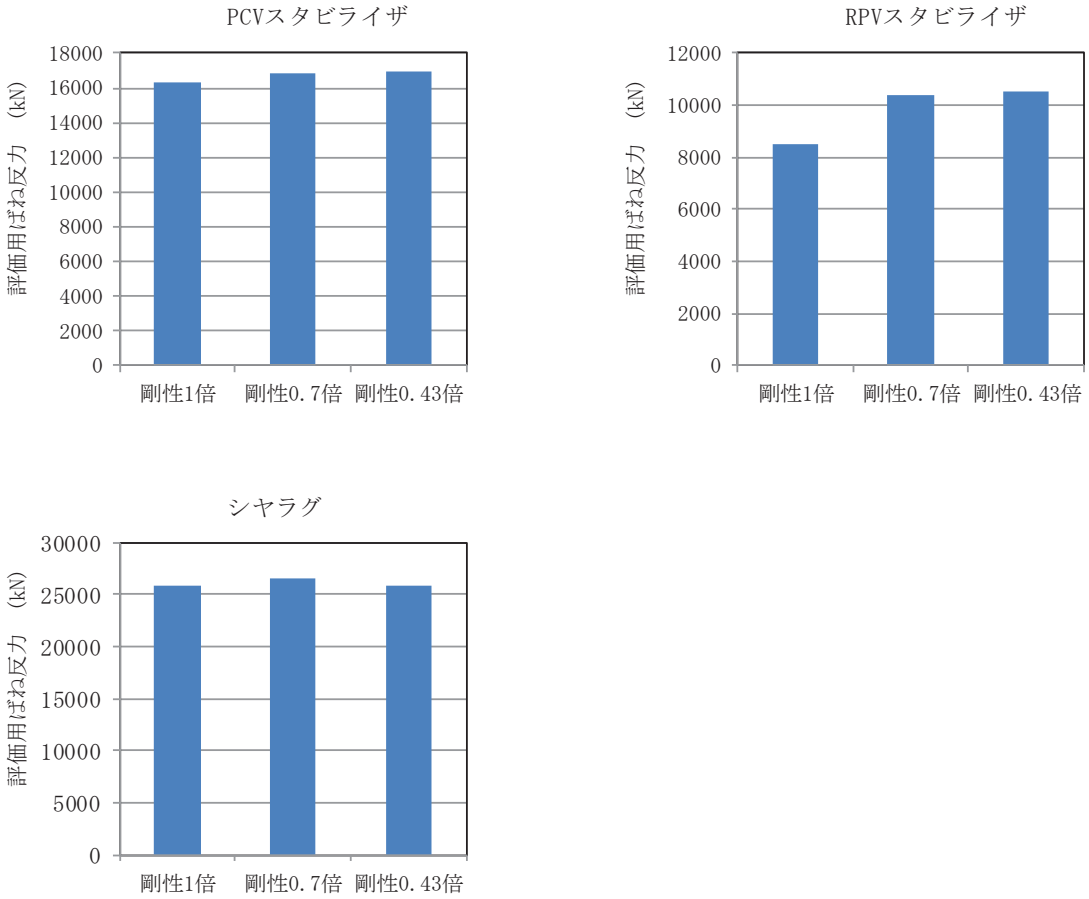



図 3-3　基準地震動 Ss-2 に対する各部位の地震応答の比較（2/2）

＜参考文献＞

(1) European Committee for Standardization: Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1 : General rules and rules for buildings / Part 1-2: General rules. Structural fire design

(2) 日本建築学会：構造材料の耐火性ガイドブック，2017

(3) 長尾　他：高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究：日本建築学会構造系論文集　第457号　1994

(4) 日本コンクリート工学会：コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐火性能に関する研究委員会報告書，2012

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-8-4_改２ |

# 補足-600-8-4　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重に関する補足説明資料

目次

1. はじめに ..... 1
2. 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重 ..... 1
3. 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果 ..... 1

1. はじめに

既工認の耐震評価においては，耐震評価に適用する地震動は水平方向のみで，鉛直方向の地震動はなく，静的な震度による評価のみが求められていたため，設備に作用する鉛直方向地震荷重としては，自重に鉛直震度を乗じたものを用いていた。

今回工認の建屋-大型機器連成地震応答解析においては，鉛直方向地震応答解析モデルに鉛直方向地震動を入力することによって，各質点位置の軸力が算出されており，より精緻な鉛直方向地震荷重として用いることができる。一方で，既工認時の設計方法と同様に評価する場合，鉛直方向地震荷重として，建屋-大型機器連成地震応答解析から算出した軸力ではなく鉛直震度を用いた評価を実施することとなる。

本資料は，既工認時の設計方法と同様に自重に鉛直震度を乗じて設定した今回工認の鉛直方向地震荷重が，建屋-大型機器連成地震応答解析から算出した軸力よりも大きくなることを確認し，保守的な評価であることを説明するものである。

なお，本資料に関連する添付書類は以下のとおり。

・Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針
・Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書
・Ⅵ-2-3-4-1-1　原子炉圧力容器の応力解析の方針

2. 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重

耐震計算には，以下①，②いずれかの鉛直方向地震荷重又は①，②を上回ることを確認した値を用いる。

① 添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」で設定した設計用地震力（軸力）
② 自重に添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に示す鉛直方向設計震度を乗じて算定される鉛直方向地震荷重

ここで，「②　自重に鉛直方向設計震度を乗じて算定される鉛直方向地震荷重」を用いる設備については，既工認の耐震計算と同様に鉛直方向設計震度から鉛直方向地震荷重を算定する設備と通常運転時自重と異なる燃料交換時自重を耐震計算に考慮する設備（原子炉圧力容器支持構造物関係）がある。これらはいずれも軸力を上回ることを確認したうえで使用する。

3. 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果

設計用地震力（軸力）の使用有無を整理するとともに，耐震計算に用いる鉛直方向地震荷重（設計用地震力（軸力）とは異なる荷重）と設計用地震力（軸力）との大小関係を比較した結果を表3-1（基準地震動Ｓｓ）及び表3-2（弾性設計用地震動Ｓｄ）に示す。

耐震計算に用いる鉛直方向地震荷重が設計用地震力（軸力）を上回ることを確認した。

表 3-1（1）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（基準地震動Ｓｓ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―:軸力を算出しない* | 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-1-2-1 | 原子炉本体の基礎に関する説明書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-1 | 燃料集合体の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-2 | 炉心シュラウドの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-3 | シュラウドサポートの耐震性についての計算書 | V1：○<br>V2：○<br>V3：○ | ― | ― | ― | V1：シュラウドサポート上端<br>V2：下鏡内面<br>V3:炉心シュラウド支持ロッドからの荷重 |
| Ⅵ-2-3-3-2-4 | 炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-5 | 上部格子板の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-6 | 炉心支持板の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-7 | 燃料支持金具の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-8 | 制御棒案内管の耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（胴板） | V2：○ | ― | ― | ― | V2：原子炉圧力容器フランジ |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（下部鏡板） | V1：－<br>V2：○ | ― | ― | ― | V1：下鏡内面<br>V2：原子炉圧力容器フランジ |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-1（2）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（基準地震動Ｓｓ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用<br>する鉛直方向<br>地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（制御棒駆動機構ハウジング貫通孔） | V1：○<br>V2：○ | ― | ― | ― | V1:下部鏡板下側<br>V2:下部鏡板上側 |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（再循環水入口ノズル（N2)） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（給水ノズル（N4)） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（低圧炉心スプレイノズル（N5)） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（低圧注水ノズル（N6)） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（差圧検出・ほう酸水注入ノズル（N11)） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（高圧炉心スプレイノズル（N16)） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（ブラケット類） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（原子炉圧力容器支持スカート） | V1：―<br>V2：○ | ― | ― | ― | V1：下鏡内面<br>V2：原子炉圧力容器フランジ |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（原子炉圧力容器基礎ボルト） | × | 30000 | 12300 | ○ | |
| Ⅵ-2-3-4-2-1 | 原子炉圧力容器スタビライザの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-2-2 | 原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-1（3）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（基準地震動Ｓｓ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-2-3-4-2-3 | 制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-2-4 | 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーよりN11ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-2 | 蒸気乾燥器の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-3 | 気水分離器及びスタンドパイプの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-4 | シュラウドヘッドの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-5 | ジェットポンプの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-6 | 給水スパージャの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-7 | 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-8 | 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-9 | 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-10 | 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-11 | 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-1（4）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（基準地震動Ｓｓ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用<br>する鉛直方向<br>地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-2-5-3-1-1 | アキュムレータの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-2-1 | 制御棒の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-3-1 | 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書 | × | 5.178 | 3.730 | ○ | |
| Ⅵ-2-6-5-1-1 | 起動領域モニタの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-1-2 | 出力領域モニタの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-4-2-1 | ドライウェル温度の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-4-2-4 | 原子炉格納容器下部温度の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-4-4-1 | 格納容器内水素濃度(D/W)の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-8-2 | 原子炉格納容器下部水位の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-8-3 | ドライウェル水位の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-7-10 | 原子炉圧力容器温度の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-1-1 | ドライウェルの耐震性についての計算書 | × | 14406 | 7990 | ○ | |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-1（5）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（基準地震動Ｓｓ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用<br>する鉛直方向<br>地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-2-9-2-1-3 | 原子炉格納容器シヤラグの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-1-4 | ドライウェルベント開口部の耐震性についての計算書 | × | 14406 | 7990 | ○ | |
| Ⅵ-2-9-2-2-1 | 機器搬出入用ハッチの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-2-2 | 逃がし安全弁搬出入口の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-2-3 | 制御棒駆動機構搬出入口の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-3-1 | 所員用エアロックの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-4-1 | 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-4-2 | 原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-11-2-10 | 原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算書 | × | 45860 | 19800 | ○ | |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-2（1）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（弾性設計用地震動Ｓｄ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-1-2-1 | 原子炉本体の基礎に関する説明書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-1 | 燃料集合体の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-2 | 炉心シュラウドの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-3 | シュラウドサポートの耐震性についての計算書 | V1：○<br>V2：○<br>V3：○ | ― | ― | ― | V1：シュラウドサポート上端<br>V2：下鏡内面<br>V3:炉心シュラウド支持ロッドからの荷重 |
| Ⅵ-2-3-3-2-4 | 炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-5 | 上部格子板の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-6 | 炉心支持板の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-7 | 燃料支持金具の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-3-2-8 | 制御棒案内管の耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（胴板） | V2：○ | ― | ― | ― | V2：原子炉圧力容器フランジ |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（下部鏡板） | V1：－<br>V2：○ | ― | ― | ― | V1：下鏡内面<br>V2：原子炉圧力容器フランジ |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（制御棒駆動機構ハウジング貫通孔） | V1：○<br>V2：○ | ― | ― | ― | V1:下部鏡板下側<br>V2:下部鏡板上側 |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-2（2）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（弾性設計用地震動Ｓｄ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用<br>する鉛直方向<br>地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（再循環水入口ノズル（N2)) | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（給水ノズル（N4)) | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（低圧炉心スプレイノズル（N5)) | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（低圧注水ノズル（N6)) | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（差圧検出・ほう酸水注入ノズル（N11)) | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（高圧炉心スプレイノズル（N16)) | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（ブラケット類） | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（原子炉圧力容器支持スカート） | V1：－<br>V2：○ | ― | ― | ― | V1：下鏡内面<br>V2：原子炉圧力容器フランジ |
| Ⅵ-2-3-4-1-2 | 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書<br>（原子炉圧力容器基礎ボルト） | × | 18900 | 7130 | ○ | |
| Ⅵ-2-3-4-2-1 | 原子炉圧力容器スタビライザの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-2-2 | 原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-2-3 | 制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-2（3）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（弾性設計用地震動Ｓｄ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-2-3-4-2-4 | 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-2 | 蒸気乾燥器の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-3 | 気水分離器及びスタンドパイプの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-4 | シュラウドヘッドの耐震性についての計算書 | ○ | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-5 | ジェットポンプの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-6 | 給水スパージャの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-7 | 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-8 | 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-9 | 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-10 | 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-3-4-3-11 | 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-5-3-1-1 | アキュムレータの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

表 3-2（4）　耐震計算に適用する鉛直方向地震荷重の整理結果（弾性設計用地震動Ｓｄ）

| 工認図書番号 | 工認図書名称 | 鉛直方向荷重に<br>軸力を用いているか<br>○：用いている<br>×：用いていない<br>―：軸力を算出しない* | 耐震計算に適用<br>する鉛直方向<br>地震荷重［kN］<br>(A) | 軸力<br>［kN］<br>(B) | A>B | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅵ-2-6-3-1 | 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書 | × | 3.020 | 2.161 | ○ | |
| Ⅵ-2-6-5-1-1 | 起動領域モニタの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-1-2 | 出力領域モニタの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-6-5-4-2-1 | ドライウェル温度の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-1-1 | ドライウェルの耐震性についての計算書 | × | 8379.1 | 4640 | ○ | |
| Ⅵ-2-9-2-1-3 | 原子炉格納容器シヤラグの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-1-4 | ドライウェルベント開口部の耐震性についての計算書 | × | 8379.1 | 4640 | ○ | |
| Ⅵ-2-9-2-2-1 | 機器搬出入用ハッチの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-2-2 | 逃がし安全弁搬出入口の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-2-3 | 制御棒駆動機構搬出入口の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-3-1 | 所員用エアロックの耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-4-1 | 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |
| Ⅵ-2-9-2-4-2 | 原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震性についての計算書 | ― | ― | ― | ― | |

注記＊：建屋-大型機器連成地震応答解析モデル（鉛直方向）においてモデル化しない部位は，軸力が算出されない。

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-9_改 7 |

# 補足-600-9　耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

# 女川原子力発電所第２号機耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

（目次）


1.　はじめに ..... 1
2.　女川原子力発電所第２号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数 ..... 2
3.　一律に設定する等価繰返し回数 ..... 5
4.　個別に設定する等価繰返し回数 ..... 25
5.　疲労評価における東北地方太平洋沖地震等の考慮 ..... 40
6. まとめ ..... 40

別紙１　地震応答解析モデルにおける等価繰返し回数の算出点
別紙２　地震動をパラメータとした等価繰返し回数の比較
別紙３　減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の比較
別紙４　設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の比較
別紙５　等価繰返し回数の算出における材料物性の不確かさ等の影響検討
別紙６　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果
別紙７　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果
別紙８　ピーク応力の算出方法
別紙９　疲労評価の対象設備及び部位毎のピーク応力
別紙10　疲労累積係数の評価基準値に対する東北地方太平洋沖地震等の影響
別紙11　等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方
別紙12　ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方
別紙13　ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係
別紙14　弾性設計用地震動Ｓｄによる疲労評価の省略
別紙15　等価繰返し回数算出プログラム
別紙16　多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法
別紙17　時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算出した場合との比較検討
別紙18　時刻歴加速度応答による等価繰返し回数算出の影響
別紙19　女川原子力発電所第２号機の等価繰返し回数の設定の保守性

1.　はじめに

女川原子力発電所第 2 号機の今回工認における耐震評価の疲労評価は，ＪＥＡＧ４６０１－1987 記載の手順*1に従い，等価繰返し回数を用いた評価を行っている。疲労評価は，応力振幅と繰返し回数の情報が必要となるため，本来は設備の応力時刻歴が必要となるが，最大応力値のみを用いて安全側に疲労累積係数 UF を評価できるように等価繰返し回数を設定することで，評価の簡便化を図っている。添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の通り，女川原子力発電所第 2 号機の疲労評価に用いる等価繰返し回数は，一律に設定する値（Ｓｓ：340 回，Ｓｄ：590 回）又は個別に設定する値を用いている。

なお,既工認の等価繰返し回数は,OBE*2地震 1 回当たりの繰返し回数を 10 回として，プラントライフ中 5 回発生すると仮定し，余裕をみて 6 回起きた場合の 60 回という米国プラントでの設計の考え方を踏襲し設定している。

本図書では，疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定について説明する。

注記＊1：ＪＥＡＧ４６０１－1987 p574 より抜粋

> 疲れ解析は，1 次＋2 次＋ピーク応力より疲れ累積係数を求めて評価するが，この手法には，地震動の等価繰返し回数を用いる方法あるいは機器の時刻歴応答から応力振幅の大きさの頻度分布を直接求める方法がある。
>
> なお，地震動の等価繰返し数を求める場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられている。
>
> ここで「疲れ累積係数」とは，各応力サイクルにおける実際の繰返し回数と繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数との比をすべての応力サイクルについて加えたものをいう。

＊2：OBE(Operating basis earthquake ground motion) は，プラント運転中に起こりうる地震レベル。OBE 地震を超過する地震発生時には，プラント停止要求がある。

2.　女川原子力発電所第２号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数

女川原子力発電所第２号機の耐震評価における疲労評価は，ＪＥＡＧ４６０１－1987記載の手順のうち，等価繰返し回数を用いた評価を採用している。等価繰返し回数はピーク応力法による算出結果に基づき，一律に設定する値又は個別に設定する値を用いている。

ここで，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価に用いる等価繰返し回数について，一律に設定する値又は個別に設定する値の使い分けの考え方を記載するとともに，使い分けのフローを図 2-1 及び図 2-2 に示す。なお，疲労評価対象設備は，工認耐震計算書対象とする設備・部位のうち，疲労評価を実施するものとしている。

(1)　基準地震動Ｓｓの疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定

・一律に設定する等価繰返し回数は，原子炉建屋内に設置された疲労評価対象設備に用いることとし，原子炉建屋以外に設置された疲労評価対象設備については，個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-1 の(A))

・一律に設定する等価繰返し回数は，疲労評価対象設備に発生するピーク応力(別紙 8 参照)が 150kg/mm$^2$(1471MPa)以下となる場合とし，150kg/mm$^2$(1471MPa)を超える場合は，個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-1 の(B))

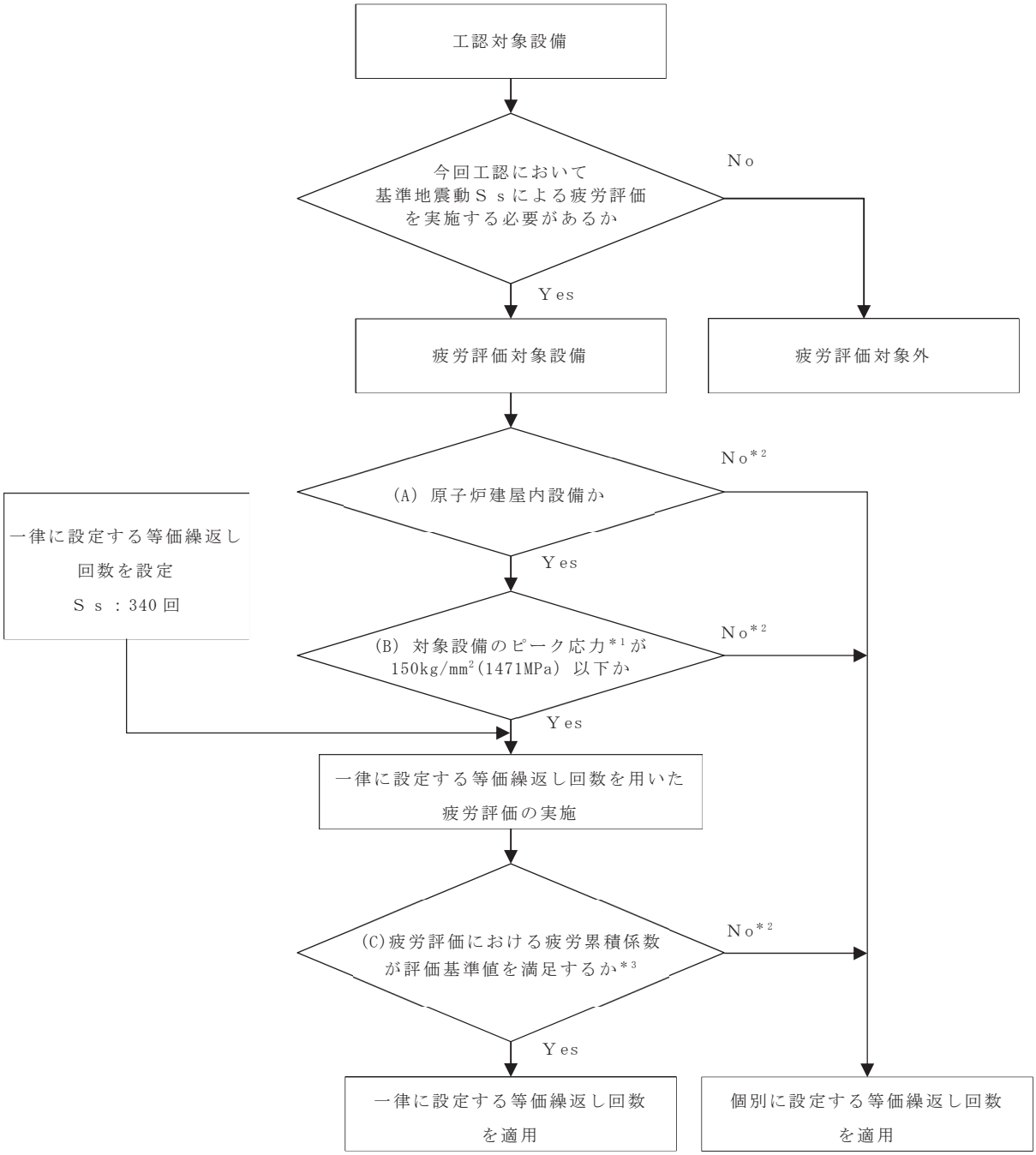
・一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価における疲労累積係数が評価基準値を満足しない場合は，個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-1 の(C))

(2)　弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定

・一律に設定する等価繰返し回数は，原子炉建屋内に設置された疲労評価対象設備に用いることとし，原子炉建屋以外に設置される疲労評価対象設備については，個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-2 の(A))

・一律に設定する等価繰返し回数は，疲労評価対象設備に発生するピーク応力が，150kg/mm$^2$(1471MPa)にＳｄ－Ｄ1，Ｄ２，Ｄ３，Ｆ１，Ｆ２，Ｆ３及びＮ１(以下「Ｓｄ７波」という。)/Ｓｓ－Ｄ1，Ｄ２，Ｄ３，Ｆ１，Ｆ２，Ｆ３及びＮ１(以下「Ｓｓ７波」という。)の応答比を乗じた値以下となる場合とし，ピーク応力がこの値を超える場合は，個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-2 の(B))

・一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価における疲労累積係数が評価基準値を満足しない場合は，個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-2 の(C))

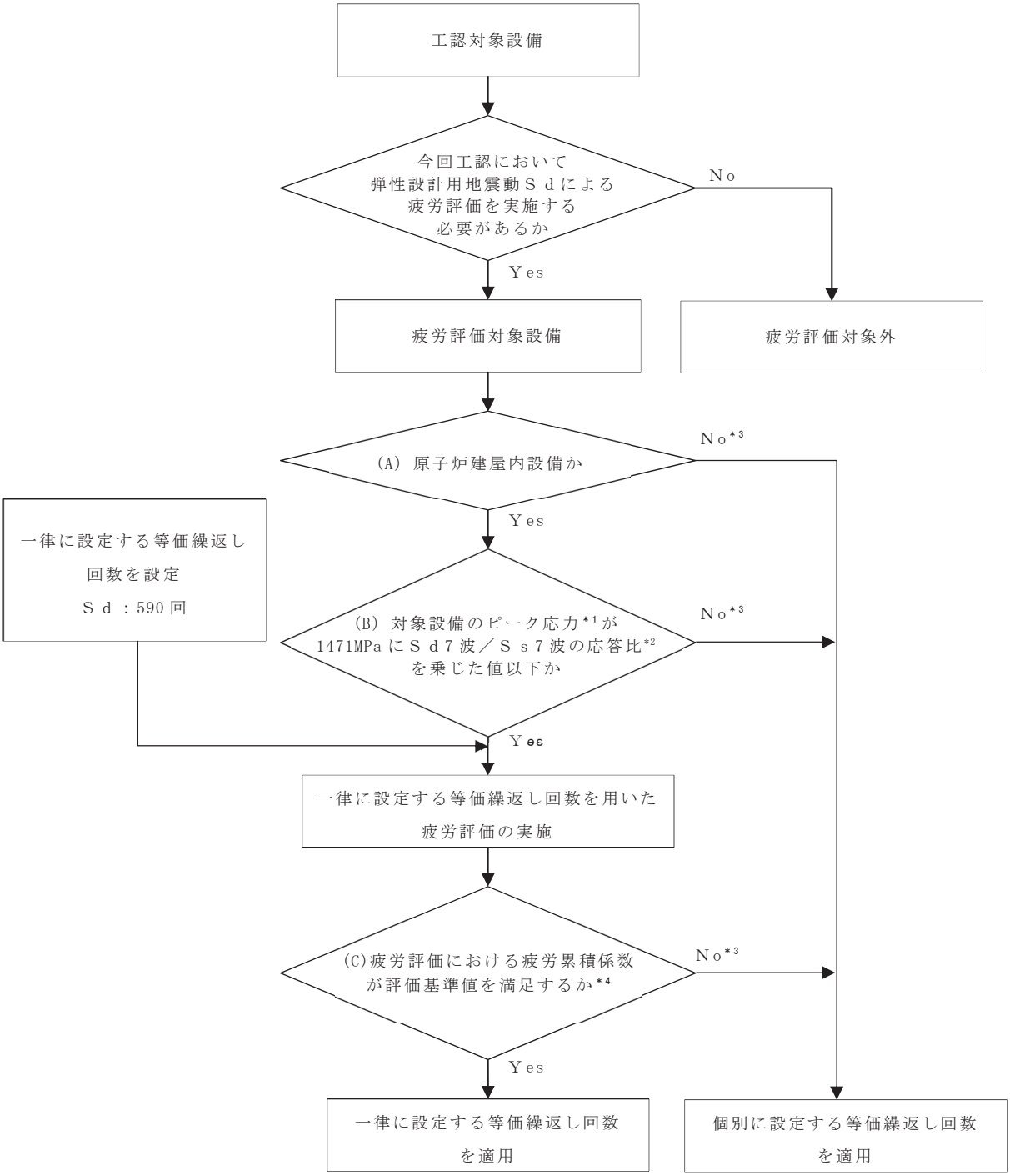



注記＊1：疲労評価対象設備のピーク応力は，別紙 9 参照

＊2：該当する疲労評価対象設備は 4．参照

＊3：東北地方太平洋沖地震等の地震による設備への疲労影響は，十分に小さいことを確認しているが，評価基準値に対して余裕があることにも留意する(別紙 10 参照)

図 2-1　基準地震動Ｓｓの疲労評価に用いる等価繰返し回数の分類




注記＊1：疲労評価対象設備のピーク応力は，別紙 9 参照

＊2：応答比の設定方法については，3.(1)③参照

＊3：該当する疲労評価対象設備は 4. 参照

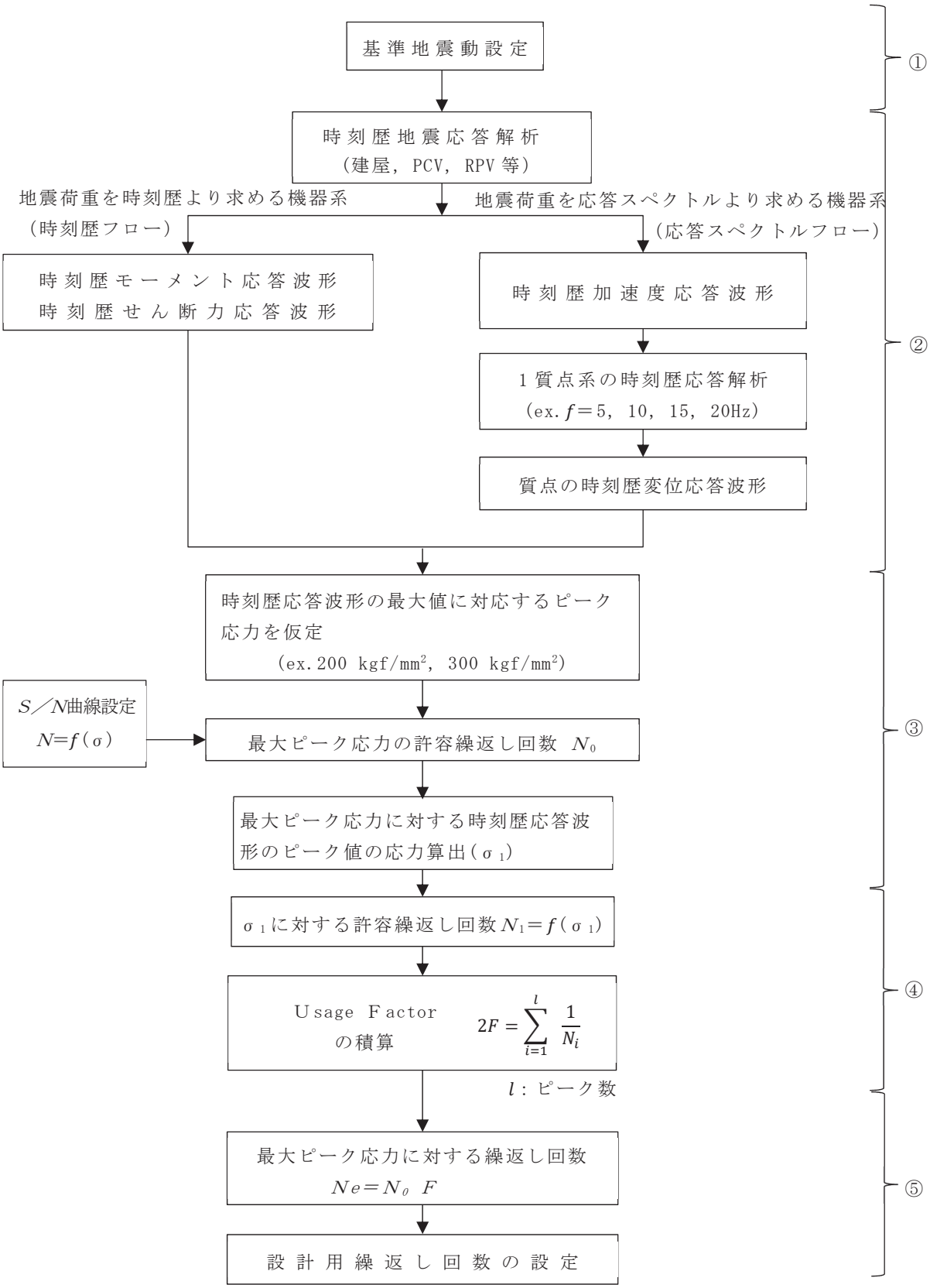
＊4：東北地方太平洋沖地震等の地震による設備への疲労影響は，十分に小さいことを確認しているが，評価基準値に対して余裕があることにも留意する(別紙 10 参照)

図 2-2　弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価に用いる等価繰返し回数の分類

3.　一律に設定する等価繰返し回数

(1)　算出方法

女川原子力発電所第 2 号機の一律に設定する等価繰返し回数の算出方法についてＪＥＡＧ４６０１－1987 記載のピーク応力法による算出フロー(図 3-1，以下「ＪＥＡＧフロー」という。)に基づき説明する。また，「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」，建設時及び今回工認における一律に設定する等価繰返し回数の算出方法の比較を表 3-1 に示す。




（ＪＥＡＧ４６０１－1987 p576 に加筆）

図 3-1　ピーク応力法による算出フロー

表 3-1　昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書及び女川原子力発電所第 2 号機の一律に設定する等価繰返し回数算出条件の比較

| | | 昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書(標準化報告書) | | 女川原子力発電所第 2 号機 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 建設時 | 今回工認 |
| | | | | 建設時における等価繰返し回数 | 一律に設定する等価繰返し回数 |
| 対象設備 | | 原子炉圧力容器スカート | 第一種配管 | 原子炉格納容器 | 原子炉建屋に設置された設備 |
| 算出方法 | | 時刻歴解析より算出される時刻歴モーメントを用いた算出方法(ＪＥＡＧ４６０１－1987 における時刻歴フロー) | 建屋床応答を入力とした 1 質点系による応答時刻歴を用いた算出方法(ＪＥＡＧ４６０１－1987 における応答スペクトルフロー) | 時刻歴解析より算出される時刻歴加速度を用いた算出方法(ＪＥＡＧ４６０１－1987 における時刻歴フロー) | 建屋床応答を入力とした 1 質点系による応答時刻歴を用いた算出方法(ＪＥＡＧ４６０１－1987 における応答スペクトルフロー) |
| 回数算出に用いる応答時刻歴波 | 波形 | 時刻歴モーメント波形 | 変位応答時刻歴波形 | 加速度応答時刻歴波形 | 加速度応答時刻歴波形 |
| | 時刻歴最大値(設備の最大ピーク応力) | 5 種類のピーク応力(最大 300kg/mm$^2$) | 代表設備の最大ピーク応力を安全側に設定(300kg/mm$^2$) | 51kg/mm$^2$(原子炉格納容器の 1 次＋2 次応力の $\mathrm{III}_A S$ 及び $\mathrm{IV}_A S$ の許容応力(3S)) | Ｓｓ：150kg/mm$^2$(1471MPa)<br>Ｓｄ：150kg/mm$^2$(1471MPa)<br>×Ｓｄ 7 波／Ｓｓ 7 波の応答比 |
| 対象建屋・床 | | 代表設備の設置床面 | 同左 | 代表質点<br>原子炉格納容器 | 原子炉建屋地震応答解析モデル：設備を有する床面(質点)<br>建屋－機器連成地震応答解析モデル*：疲労評価を実施する設備を有する床面(質点) |
| 固有周期 | | 時刻歴解析結果より直接算出 | 設備の固有周期でなく，全固有周期 | 建屋－機器連成地震応答解析モデルの時刻歴解析結果より直接算出 | 対象設備の固有周期でなく，全固有周期 |
| 減衰定数 | | 報告書に言及なし | 同左 | 時刻歴解析を実施するため，地震応答解析モデルで算出 | 0.5% |
| 設計疲労線図 | | 代表設備材料の線図を使用 | 同左 | 炭素鋼の設計疲労線図を使用 | 同左 |
| 各方向の算出結果の組合せ | | 報告書に言及なし | 同左 | NS・EW の 2 方向のうち最大となる値 | NS・EW・UD の 3 方向のうち最大となる値 |
| 材料物性の不確かさ等の考慮 | | あり | 報告書に言及なし | なし | あり<br>(建屋初期剛性，地盤物性) |

注記＊大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルの総称とする

① 地震動の設定

基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対し以下を考慮して設定する。

(a) 基準地震動Ｓｓに対する考慮

・米国の知見（ＮＵＲＥＧ-0800 に定められた Standard Review Plan3.7.3 Rev.4)を参考に，基準地震動Ｓｓに加え，弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 倍の地震動 5 回分を考慮する。（別紙 11 参照）

(b) 弾性設計用地震動Ｓｄに対する考慮

・基準地震動Ｓｓに比べ発生頻度が多いことを踏まえ，設計上の配慮として弾性設計用地震動Ｓｄ2 回分を考慮する。

なお，基準地震動Ｓｓに加える弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 倍の地震動 5 回分の考慮方法は，以下の a～ｅの手順とする。

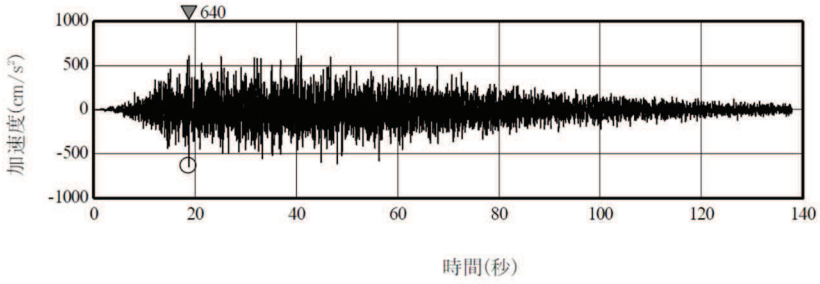
手順ａ：Ｓｓ1 回分の地震動に対する等価繰返し回数を算出

手順ｂ：Ｓｓ1 回分と 1/3Ｓｄ1 回分を繋げた地震動の等価繰返し回数を算出

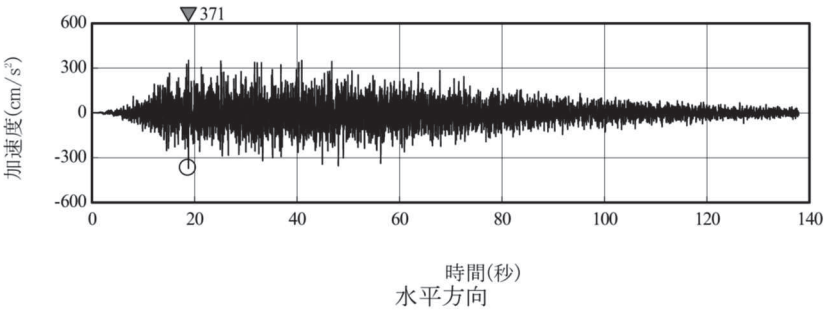
手順ｃ：[b－a]より，1/3Ｓｄ1 回分の地震動に対する等価繰返し回数を算出

手順ｄ：[c×5]より，1/3Ｓｄ5 回分の地震動に対する等価繰返し回数を算出

手順ｅ：[a＋d]より，基準地震動Ｓｓの疲労評価に用いる一律の等価繰返し回数を設定




（基準地震動Ｓｓ）




（弾性設計用地震動Ｓｄ）

図 3-2　基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震Ｓｄ

（Ｓｓ－Ｄ１及びＳｄ－Ｄ１，水平方向）

② 時刻歴波形の設定

等価繰返し回数の算出に用いる時刻歴波形は，地震荷重を時刻歴より求める機器系の場合(図 3-1 左側のフロー(時刻歴フロー)と，地震荷重を応答スペクトルより求める機器系の場合(図 3-1 右側のフロー(以下「応答スペクトルフロー」という。))の 2 種類の方法があるが，今回工認の一律に設定する等価繰返し回数の設定では，いずれの機器系に対しても，応答スペクトルフローを用いる。なお，時刻歴フロー（せん断，モーメント，軸力）を用いた等価繰返し回数が応答スペクトルフローよりも小さいことを確認している。(別紙 17 参照)

応答スペクトルフローでは，時刻歴地震応答解析(建屋地震応答解析又は建屋－機器連成地震応答解析)の結果から算出される時刻歴加速度応答波形を入力とした，振動数ｆの 1 質点系の時刻歴加速度応答波形を求める。この時刻歴加速度応答波形は，固有振動数全て(1～20Hz)に対して算出する。

ここで，ＪＥＡＧフローは，1 質点系の時刻歴変位応答波形を求めるフローであるが，1 質点系の時刻歴変位応答波形と時刻歴加速度応答波形の関係は，位相が異なるが同等の波形となることから，女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数の算出に当たっては時刻歴加速度応答波形を求める。

③ 時刻歴ピーク応力値の設定

疲労評価対象設備に発生するピーク応力の最大値をＪＥＡＧフロー②で求めた時刻歴加速度応答波形の最大値とすることで，応力の時刻歴波形を作成する。ＪＥＡＧフロー③の「時刻歴応答波形の最大値に対応するピーク応力を仮定」とは，個々の疲労評価対象設備のピーク応力でなく，全ての疲労評価対象設備のピーク応力の最大値を時刻歴応答波形の最大値とすることに対応している。

(a) 基準地震動Ｓｓに対する疲労評価の等価繰返し回数の設定に用いるピーク応力は，1471MPa*を用いることとし，疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa を超える場合は個別に設定する。

注記＊：「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にて十分とされている値(150kg/mm$^2$)を単位換算した値

(b) 弾性設計用地震動Ｓｄに対する疲労評価の等価繰返し回数の設定に用いるピーク応力は，1471MPa にＳｄ7 波／Ｓｓ7 波の応答比を乗じた値を用いることとし，疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa にＳｄ7 波／Ｓｓ7 波の応答比を乗じた値を超える場合は個別に設定する。ここでＳｄ7 波／Ｓｓ7 波の応答比は，以下の手順にて設定する。

【手順１】各方向(EW,NS,UD)の原子炉建屋地震応答解析モデルにより，弾性設計用地震動Ｓｄ７ 波及び基準地震動Ｓｓ７ 波に対する地震応答解析を行う。

【手順２】各方向の原子炉建屋地震応答解析モデルの各質点位置における最大加速度の比率を地震動毎に求め，各質点位置における最大加速度比を整理する。（表 3-2，図 3-3 参照）

【手順３】原子炉建屋地震応答解析モデルの各質点位置における比率のうち，最大の比率をＳｄ７波／Ｓｓ７波の応答比とする。なお，Ｓｄ７波／Ｓｓ７波の応答比は，各方向で設定する。

表 3-2　各質点位置における応答比の算出

| 質点 | 方向 | Ｓｄに対する原子炉建屋地震応答解析モデルの最大加速度 | | | Ｓｓに対する原子炉建屋地震応答解析モデルの最大加速度 | | | 各地震動に対する最大加速度比（Ｓｄ最大加速度／Ｓｓ最大加速度）の最大値 | 各質点位置における応答比＊ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ｓｄ－Ｄ１ | … | Ｓｄ－Ｎ１ | Ｓｓ－Ｄ１ | … | Ｓｓ－Ｎ１ | Max（Ｓｄ７波最大加速度／Ｓｓ７波最大加速度） | |
| A | EW | $CH_{Sd-D1A(EW)}$ | … | $CH_{Sd-N1A(EW)}$ | $CH_{Ss-D1A(EW)}$ | … | $CH_{Ss-N1A(EW)}$ | $Max(CH_{Sd-D1A(EW)}/CH_{Ss-D1A(EW)}, \sim, CH_{Sd-N1A(EW)}/CH_{Ss-N1A(EW)})$ | $R_{A(EW)}$ |
| | NS | $CH_{Sd-D1A(NS)}$ | … | $CH_{Sd-N1A(NS)}$ | $CH_{Ss-D1A(NS)}$ | … | $CH_{Ss-N1A(NS)}$ | $Max(CH_{Sd-D1A(NS)}/CH_{Ss-D1A(NS)}, \sim, CH_{Sd-N1A(NS)}/CH_{Ss-N1A(NS)})$ | $R_{A(NS)}$ |
| | UD | $CH_{Sd-D1A(UD)}$ | … | $CH_{Sd-N1A(UD)}$ | $CH_{Ss-D1A(UD)}$ | … | $CH_{Ss-N1A(UD)}$ | $Max(CH_{Sd-D1A(UD)}/CH_{Ss-D1A(UD)}, \sim, CH_{Sd-N1A(UD)}/CH_{Ss-N1A(UD)})$ | $R_{A(UD)}$ |
| B | EW | $CH_{Sd-D1B(EW)}$ | … | $CH_{Sd-N1B(EW)}$ | $CH_{Ss-D1B(EW)}$ | … | $CH_{Ss-N1B(EW)}$ | $Max(CH_{Sd-D1B(EW)}/CH_{Ss-D1B(EW)}, \sim, CH_{Sd-N1B(EW)}/CH_{Ss-N1B(EW)})$ | $R_{B(EW)}$ |
| | NS | $CH_{Sd-D1B(NS)}$ | … | $CH_{Sd-N1B(NS)}$ | $CH_{Ss-D1B(NS)}$ | … | $CH_{Ss-N1B(NS)}$ | $Max(CH_{Sd-D1B(NS)}/CH_{Ss-D1B(NS)}, \sim, CH_{Sd-N1B(NS)}/CH_{Ss-N1B(NS)})$ | $R_{B(NS)}$ |
| | UD | $CH_{Sd-D1B(UD)}$ | … | $CH_{Sd-N1B(UD)}$ | $CH_{Ss-D1B(UD)}$ | … | $CH_{Ss-N1B(UD)}$ | $Max(CH_{Sd-D1B(UD)}/CH_{Ss-D1B(UD)}, \sim, CH_{Sd-N1B(UD)}/CH_{Ss-N1B(UD)})$ | $R_{B(UD)}$ |
| … | … | … | … | … | … | … | … | … | … |
| i | EW | $CH_{Sd-D1i(EW)}$ | … | $CH_{Sd-N1i(EW)}$ | $CH_{Ss-D1i(EW)}$ | … | $CH_{Ss-N1i(EW)}$ | $Max(CH_{Sd-D1i(EW)}/CH_{Ss-D1i(EW)} \sim, CH_{Sd-N1i(EW)}/CH_{Ss-N1i(EW)})$ | $R_{i(EW)}$ |
| | NS | $CH_{Sd-D1i(NS)}$ | … | $CH_{Sd-N1i(NS)}$ | $CH_{Ss-D1i(NS)}$ | … | $CH_{Ss-N1i(NS)}$ | $Max(CH_{Sd-D1i(NS)}/CH_{Ss-D1i(NS)}, \sim, CH_{Sd-N1i(NS)}/CH_{Ss-N1i(NS)})$ | $R_{i(NS)}$ |
| | UD | $CH_{Sd-D1i(UD)}$ | … | $CH_{Sd-N1i(UD)}$ | $CH_{Ss-D1i(UD)}$ | … | $CH_{Ss-N1i(UD)}$ | $Max(CH_{Sd-D1i(UD)}/CH_{Ss-D1i(UD)}, \sim, CH_{Sd-N1i(UD)}/CH_{Ss-N1i(UD)})$ | $R_{i(UD)}$ |

注記＊：Ｓｄ７波／Ｓｓ７波の応答比

EW 方向：$Max(R_{A(EW)}, R_{B(EW)}, \cdots, R_{i(EW)})$

NS 方向：$Max(R_{A(NS)}, R_{B(NS)}, \cdots, R_{i(NS)})$

UD 方向：$Max(R_{A(UD)}, R_{B(UD)}, \cdots, R_{i(UD)})$

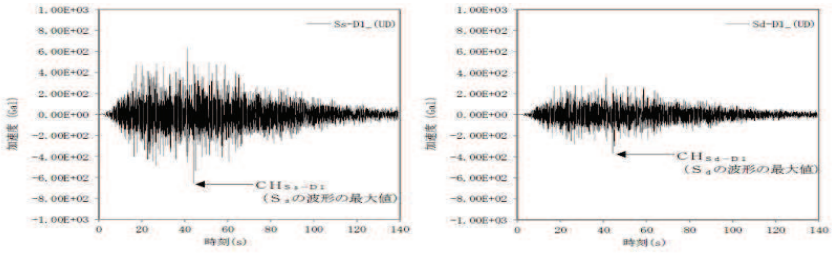
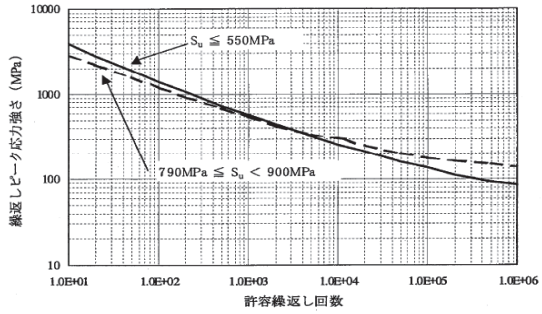



図 3-3　時刻歴加速度応答波形の最大値の例

④　疲労累積係数 UF(Usage Factor)の算出

図 3-4 に示す発電用原子力設備規格 設計・建設規格(以下「ＪＳＭＥ設計・建設規格」という。)に記載される設計疲労線図を用い，応力の時刻歴応答波形に対して各時刻歴振幅に対する許容繰返し回数を算出する。なお，時刻歴振幅とそれが何回繰返されるか(ピークのサイクル数)の算出方法はレインフロー法を用いる(別紙 12 参照)。




（ＪＳＭＥ設計・建設規格より抜粋）

図 3-4 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図

応力の時刻歴応答波形の振幅に対する許容繰返し回数と，ピークのサイクル数から，UF を算出する。

$$2UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \cdots$$

$n_i$：各ピークのサイクル数

$N_i$：各ピークに対する許容繰返し回数

注：上式は片振りのピークを１サイクルとしてサイクル数をカウントし UF を算出する式であり，片振りのピークを 0.5 サイクル，両振りのピークを１サイクルとして UF を算出する場合，上式は$UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \cdots$となる

⑤　等価繰返し回数 Ne の算出

ＪＥＡＧフロー④で算出した UF と，ＪＥＡＧフロー③より求められる最大ピーク応力に対する許容繰返し回数 $N_0$ から，下式により，等価繰返し回数 Ne を求める。

$$Ne = N_0 \times UF$$

以上のＪＥＡＧフロー①～⑤を踏まえ，女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数の算出方法を図 3-5 に示す。

① 地震動の設定

等価繰返し回数算出に用いる地震動を設定する。

・基準地震動Ｓｓに対する考慮：Ｓｓ1回分＋1/3･Ｓｄ5回分

・弾性設計用地震動に対する考慮：Ｓｄ2回分

② 時刻歴波形の設定

基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄを用いて，各地震応答解析モデルで地震応答解析を行い，時刻歴加速度応答波形を算出する。時刻歴加速度応答波形を振動数ｆの 1 質点系に入力した場合の時刻歴加速度応答波形を求める。(固有振動数全て(1～20Hz)に対して求める。)

③ 時刻歴ピーク応力値の設定

求めた時刻歴加速度応答波形のピーク最大値を,基準地震動Ｓｓに対しては最大ピーク応力 1471MPa，弾性設計用地震動Ｓｄに対しては 1471MPa にＳｄ7 波／Ｓｓ7 波の応答比を乗じた値を最大ピーク応力と設定する。

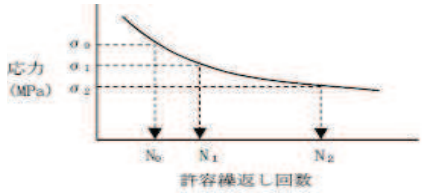
④ 疲労累積係数 UF の算出

各ピーク応力 $\sigma_i$ に対する許容繰返し回数 $N_i$，サイクル数 $n_i$*を求める。

注記＊：片振りのピークで 1 サイクルとする

疲労累積係数(UF)を求める。

$$2UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \cdots = \sum_{i=0}^{l-1} \frac{n_i}{N_i}$$




⑤ 等価繰返し回数Ｎｅの算出

$N_e = N_0 \times UF$

図 3-5 等価繰返し回数の算出方法

(2)　一律に設定する等価繰返し回数の算出パラメータの設定の考え方

等価繰返し回数の算出パラメータとしては，以下のパラメータがあり，一律に設定する等価繰返し回数の検討に用いるパラメータが適切であることを確認する。なお，以下のパラメータのうち，g.材料物性の不確かさ等の考慮については，地震応答解析モデルのモデル諸元を見直すこととなるため，原子炉建屋地震応答解析モデル，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルの各モデルに対して検討を行いそれ以外のパラメータについては原子炉建屋に対して検討を行った。

a.　ピーク応力
b.　固有周期
c.　対象床面(質点)
d.　地震動
e.　減衰定数
f.　設計疲労線図
g.　材料物性の不確かさ等の考慮

a.　ピーク応力

「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど等価繰返し回数が大きくなる傾向となることが確認されている。その傾向の計算例を別紙 13 に示す。当該報告書の中でピーク応力の設定値として十分とされている値(150kg/mm$^2$)*を参考に，一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては，当該の値を単位換算した 1471MPa を用いる。

ピーク応力の設定の適切性の確認は，各疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa に包絡されることを確認する必要がある。水平 2 方向と鉛直方向の地震力の組合せの影響を確認する設備については，水平 2 方向と鉛直方向の地震力の組合せた場合のピーク応力についても考慮する。

なお，疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa を超える場合は，個別に等価繰返し回数の設定を行う。

また，弾性設計用地震動Ｓｄに対して用いるピーク応力は，1471MPa にＳｄ7 波／Ｓｓ7 波の応答比を乗じた値とし，疲労評価対象設備がそれを超える場合は個別に等価繰返し回数を設定する。

注記＊：「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にて十分とされている値(150kg/mm$^2$)を単位換算した値

b.　固有周期

固有周期と等価繰返し回数の関係について図 3-6 に示す。

一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては，全固有周期帯(0.05s～1.00s)で算出した等価繰返し回数のうち最大回数を用いる。実際の設備は，特定の固有周期を有しているが，全固有周期帯の最大回数を考慮することで安全側の設定となる。

なお，等価繰返し回数算出における固有周期の算出刻みは表 3-3 に示す。

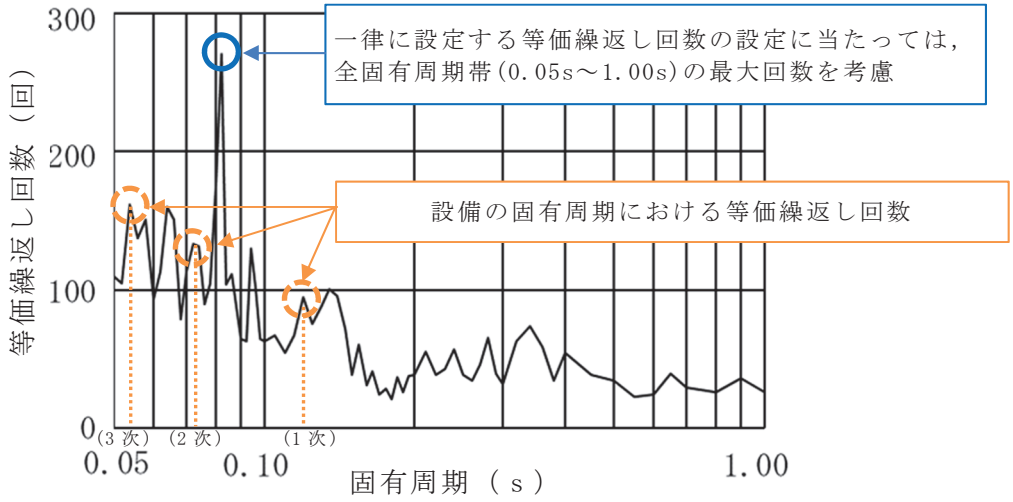



図 3-6　固有周期と等価繰返し回数の関係（例）

（原子炉建屋地震応答解析モデルにて等価繰返し回数が最大回数となる条件）

表 3-3　等価繰返し回数算出における固有周期の算出刻み

| 固有周期（ｓ） | 算出刻み（ｓ） |
|---|---|
| 0.05～0.1 | 0.002 |
| 0.1～0.2 | 0.005 |
| 0.2～0.3 | 0.01 |
| 0.3～0.4 | 0.02 |
| 0.4～0.7 | 0.05 |
| 0.7～1.0 | 0.1 |

注：固有周期の算出刻みの設定に当たっては，ＪＥＡＧ４６０１－1987 P515 表 6.5.1-2 の床応答スペクトル周期の計算間隔例を用いた。

c.　対象床面(質点)

等価繰返し回数を算出する床面(質点)は,原子炉建屋地震応答解析モデルでは,添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」で設備設計に用いる床応答曲線を算出する全ての床面(質点)のうち設備を有する床面(質点)を対象とし，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルでは，添付書類「Ⅵ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」で設備設計に用いる荷重及び床応答曲線を算出する全ての床面(質点)のうち疲労評価を実施する設備を有する床面(質点)を対象とする(別紙1参照)。一律に設定する等価繰返し回数設定に当たっては，算出した等価繰返し回数の包絡値を用いる。

d.　地震動

女川原子力発電所第2号機における基準地震動はＳｓ7波及び弾性設計用地震動はＳｄ7波がある。

基準地震動Ｓｓ７波をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙2に，等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表3-4に示す。表3-4の結果から，Ｓｓ－Ｄ１による等価繰返し回数が最も多く算出されることを確認した。これは，地震動の特徴（主要動の継続時間が長く，大きい加速度が繰返し入力される(図3-7～図3-13参照)）ことによるものである。なお,等価繰返し回数の算出に当たっては,検討対象地震動の時刻歴加速度応答波形のピーク最大値を最大ピーク応力 1471MPaと一律に設定するため，等価繰返し回数に対しては，地震動の大きさでなく継続時間が影響する。よって，地震動の継続時間の長いＳｓ－Ｄ１が他の地震動に比べ等価繰返し回数が大きくなっている。したがって，一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては，Ｓｓ－Ｄ１及びＳｄ－Ｄ１の地震動を用いる。

表3-4　地震動をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

| 算出条件 | | | | 各基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数(最大回数) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | Ｓｓ－Ｄ１ | Ｓｓ－Ｄ２ | Ｓｓ－Ｄ３ | Ｓｓ－Ｆ１ | Ｓｓ－Ｆ２ | Ｓｓ－Ｆ３ | Ｓｓ－Ｎ１ |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | | | |

なお，一律に設定する等価繰返し回数算出に用いる地震動はＳｓ－Ｄ１及びＳｄ－Ｄ１を用いて，3.(1)①に基づき設定する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

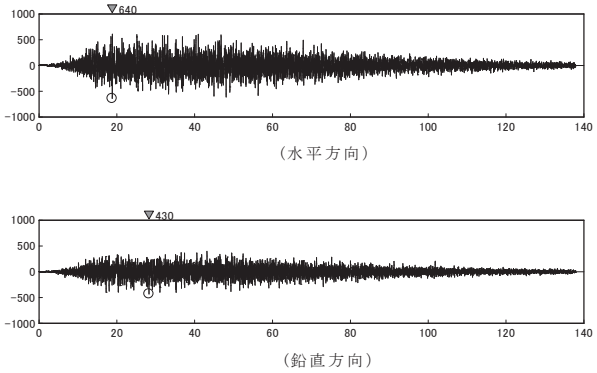



図 3-7 基準地震動Ｓｓ－Ｄ１の加速度時刻歴

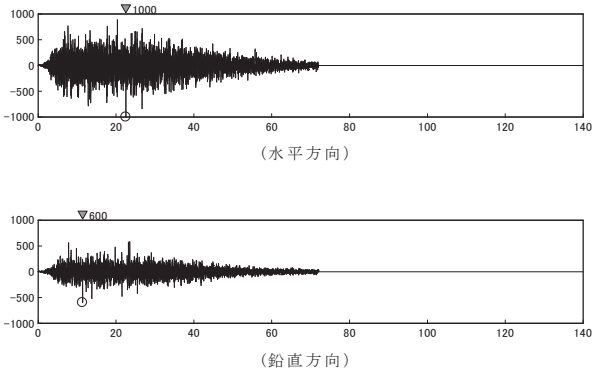



図 3-8 基準地震動Ｓｓ－Ｄ２の加速度時刻歴

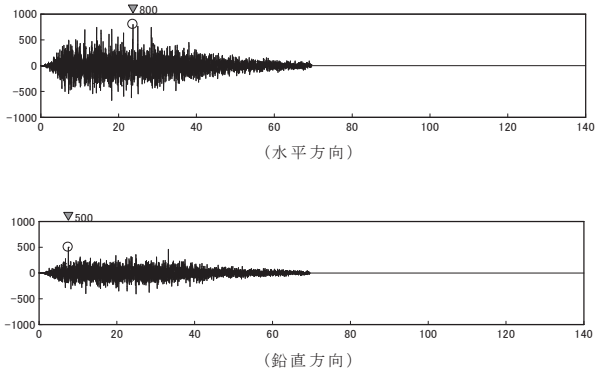



図 3-9 基準地震動Ｓｓ－Ｄ３の加速度時刻歴

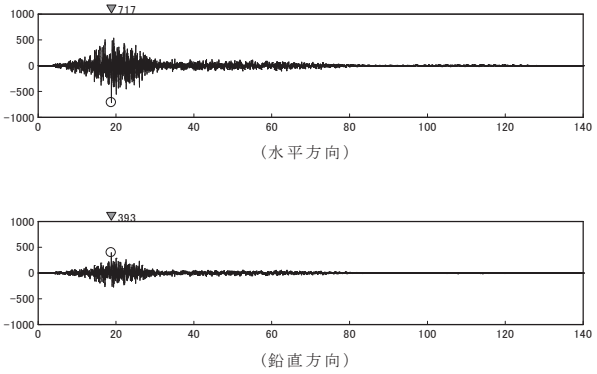



図 3-10 基準地震動Ｓｓ－Ｆ１の加速度時刻歴

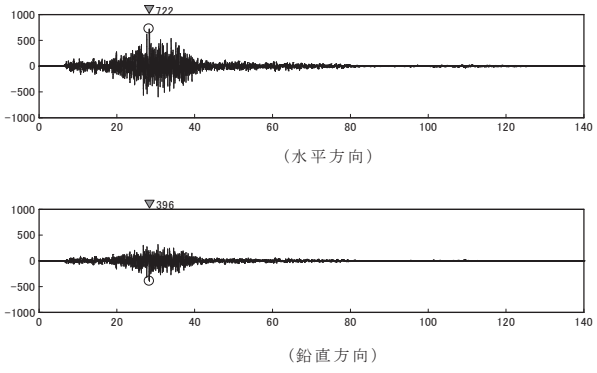



図 3-11 基準地震動Ｓｓ－Ｆ２の加速度時刻歴

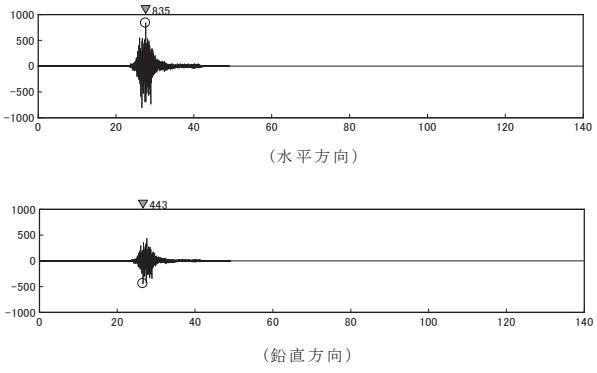



図 3-12 基準地震動Ｓｓ－Ｆ３の加速度時刻歴

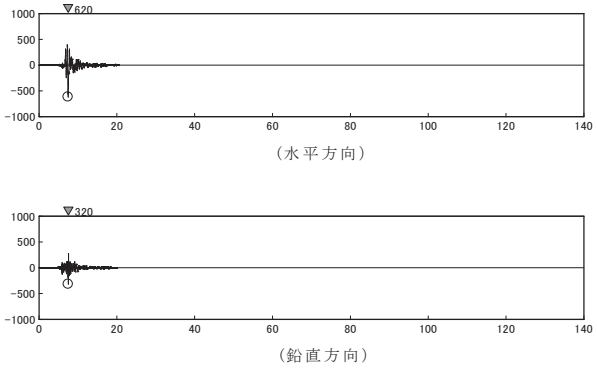



図 3-13 基準地震動Ｓｓ－Ｎ１の加速度時刻歴

e．減衰定数

応答スペクトルフローでの算出に用いる 1 質点系の時刻歴応答解析の減衰定数について，疲労評価対象設備の減衰定数である 0.5%，1.0%，1.5%，2.0%，2.5%及び 3.0%をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙 3 に，等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表 3-5 に示す。表 3-5 の結果から，減衰定数が小さいほど等価繰返し回数が多く算出される傾向にあることを確認した。

機器・配管系の評価に適用される最小の減衰定数は，0.5%であることから，一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては，0.5%の減衰定数を用いる。

表 3-5　減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

| 算出条件 | | | | 各減衰定数に対する等価繰返し回数（最大回数） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 0.5% | 1.0% | 1.5% | 2.0% | 2.5% | 3.0% |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | | |

f．設計疲労線図

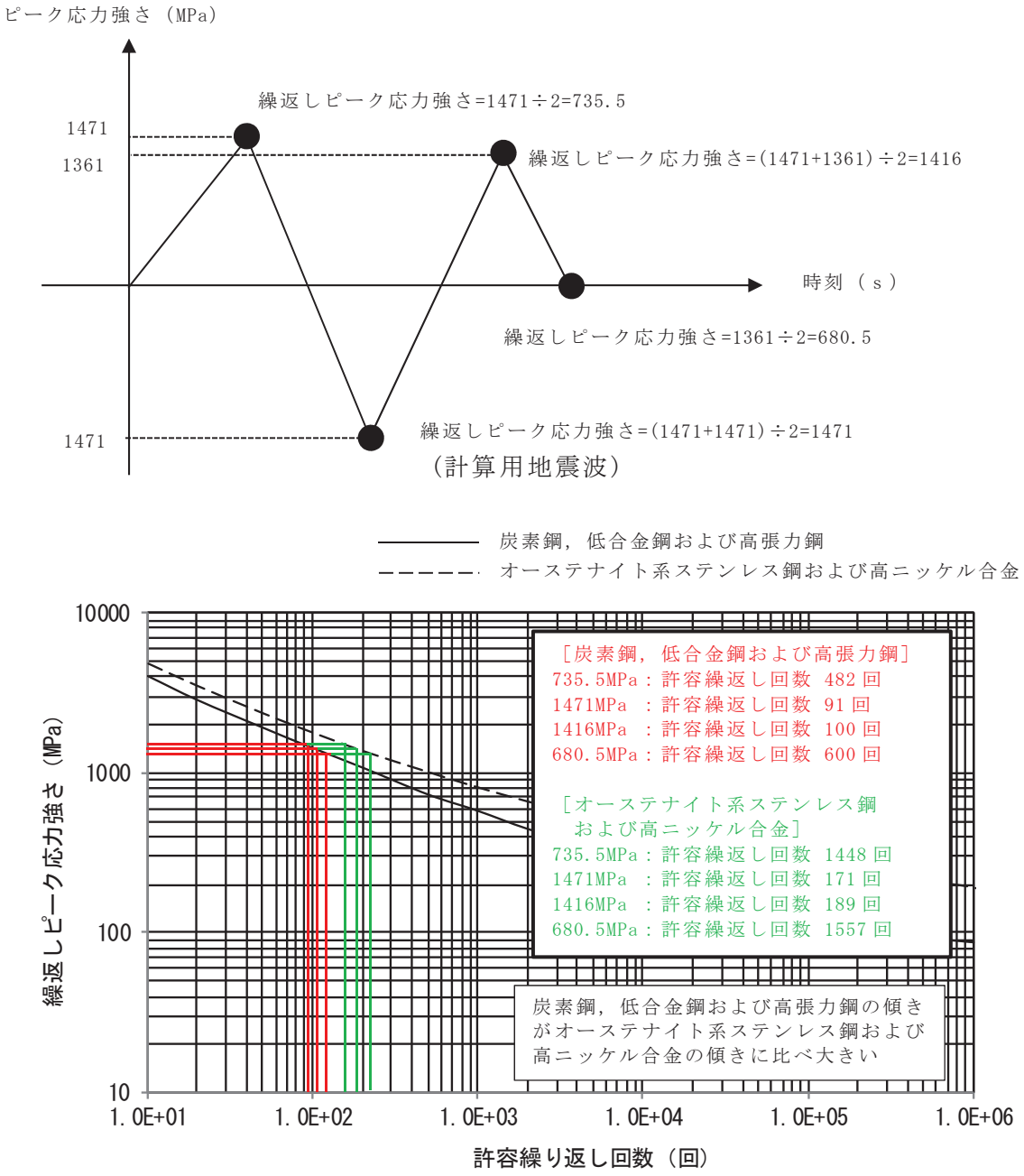
ＪＳＭＥ設計・建設規格に記載される「炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼」及び「オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金」を用いて，設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙 4 に，等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表 3-6 に示す。表 3-6 の結果から，「炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼」を用いる場合の等価繰返し回数が多く算出されることを確認した。これは，設計疲労線図の傾きが大きいほど等価繰返し回数が大きくなるためである（図 3-14）。したがって，一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては，「炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼」を用いる。

表 3-6　設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

| 算出条件 | | | | 各設計疲労線図に対する等価繰返し回数(最大回数) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 材料物性の不確かさ等 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 基本ケース | | |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。




炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼の等価繰返し回数：

$$\left(\frac{0.5}{482}+\frac{0.5}{91}+\frac{0.5}{100}+\frac{0.5}{600}\right)\times 91 = \underline{1.13\text{ 回}}$$

オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金の等価繰返し回数：

$$\left(\frac{0.5}{1448}+\frac{0.5}{171}+\frac{0.5}{189}+\frac{0.5}{1557}\right)\times 171 = \underline{1.07\text{ 回}}$$

同一の地震応答に対し等価繰返し回数を算出する場合，炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼のほうが大きくなる。

図 3-14　設計疲労線図の違いに対する等価繰返し回数の計算例

g. 材料物性の不確かさ等の考慮

添付書類「Ⅵ-2-1-1　耐震設計の基本方針」にて材料物性の不確かさ等を適切に考慮する方針としていることから，今回工認の等価繰返し回数についても，算出に用いる地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮する。

考慮にあたっては，基準地震動Ｓｓにおける基本ケースの地震応答解析による結果から等価繰返し回数の算出に支配的となる地震動，減衰定数及び設計疲労線図を特定し，特定した地震動，減衰定数及び設計疲労線図を用いて原子炉建屋地震応答解析及び建屋-機器連成地震応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースでの等価繰返し回数を算出した後，算出結果を踏まえて安全側に設定を行う。具体的なフローを図 3-15 に示す。また，材料物性の不確かさ等を考慮する検討ケースを表 3-8 及び表 3-9 に示す。

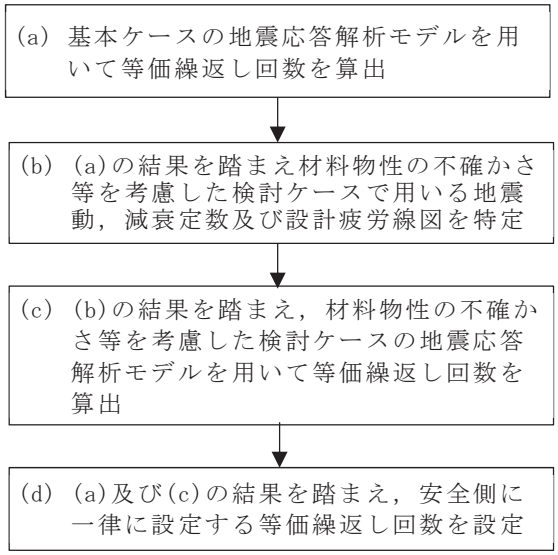



図 3-15 一律に設定する等価繰返し回数設定に対する材料物性の不確かさ等の考慮フロー

表 3-8 原子炉建屋地震応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮する検討ケース

| 検討ケース | 建屋初期剛性 | 地盤物性 | |
|---|---|---|---|
| | | 入力地震動 | 底面地盤ばね |
| 基本ケース | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 |
| ケース 2 | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ |
| ケース 3 | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ |
| ケース 4 | 基本ケースの 0.78 倍*2 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 |
| ケース 5 | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ |
| ケース 6 | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ |

注：添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」より抜粋，一部修正

注記＊１：コンクリート強度は設計基準強度とし，添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数（地上 3 階及びクレーン階：NS 方向 0.30，EW 方向 0.50，地下 3 階から地上 2 階：NS 方向 0.75，EW 方向 0.80）を適用して初期剛性を設定する

＊２：原子炉建屋の基準地震動Ｓｓ入力前後の１次ピーク振動数の比から算定した剛性比（補足-620-1「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」参照）

表 3-9　建屋-機器連成地震応答解析において材料物性の不確かさ等を考慮する検討ケース

| 検討ケース | 建屋初期剛性 | 地盤物性 | | 原子炉本体の基礎の初期剛性 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 入力地震動 | 底面地盤ばね | | |
| 基本ケース | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 | コンクリート強度：設計基準強度<br>初期剛性低下：考慮しない | |
| ケース２ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ | 同上 | |
| ケース３ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ | 同上 | |
| ケース４ | 基本ケースの 0.78 倍*2 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 | 同上 | 基準地震動Ｓｓ固有の解析ケース |
| ケース５ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900+100m/s | 標準地盤+σ | 同上 | 基準地震動Ｓｓ固有の解析ケース |
| ケース６ | 同上 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900-100m/s | 標準地盤-σ | 同上 | 基準地震動Ｓｓ固有の解析ケース |
| ケース７ | 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*1 | 表層上部：非線形性を考慮<br>表層下部：Vs 900m/s | 標準地盤 | コンクリート強度：設計基準強度<br>初期剛性低下：原子炉建屋地下 3 階から地上 2 階の補正係数を適用 | 建屋-機器連成地震応答解析固有のケース |

注：補足説明資料「600-8-1 建屋-機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した設計用地震力の設定について」より抜粋

注記＊１：コンクリート強度は設計基準強度とし，添付書類「Ⅵ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数（地上 3 階及びクレーン階：NS 方向 0.30，EW 方向 0.50，地下 3 階から地上 2 階：NS 方向 0.75，EW 方向 0.80）を適用して初期剛性を設定する

＊２：原子炉建屋の基準地震動Ｓｓ入力前後の１次ピーク振動数の比から算定した剛性比（補足-620-1「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」参照）

3.(2)d.，3.(2)e.及び 3.(2)f.の結果を踏まえ，等価繰返し回数の算出パラメータとして，地震動を「Ｓｓ－Ｄ１」，減衰定数を「0.5%」及び設計疲労線図を「炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼」とした条件における材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙5に,最大回数を整理した結果を表3-7に示す。別紙5の結果から，地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等を考慮した場合，各質点の等価繰返し回数に影響があるものの，その最大回数は，大型機器系地震応答解析モデルのUD方向の基本ケースとなることを確認した。また，表3-7の結果から基本ケースの等価繰返し回数を上回るケースは，原子炉建屋地震応答解析モデルのケース3のみであり，その影響も1%程度と軽微であるため，一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては，基本ケースを用いて検討する。

なお，女川原子力発電所第2号機の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は，最終段階での取り扱いとして安全側に設定する。

表3-7 材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

| 算出条件 | | | | 各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数(最大回数)* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 基本ケース | ケース2 | ケース3 | ケース4 | ケース5 | ケース6 | ケース7 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | | | | | | | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | | | | | | | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | | | | | | | |

注記＊：()内の数字は基本ケースにおける等価繰返し回数に対する各ケースの等価繰返し回数の比率を示す

(3) 算出結果

(2)で整理した算出パラメータを用いて，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する各地震応答解析モデルに対する等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表3-10及び表3-11に示し，その詳細内訳を別紙6及び別紙7に示す。

基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数は，大型機器系地震応答解析モデルUD方向での□回が最大であった。また，弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数は，炉内構造物系地震応答解析モデルNS方向での□回が最大であった。

なお，女川原子力発電所第2号機の等価繰返し回数が比較的他プラントよりも多い理由は，基準地震動Ｓｓ（Ｓｓ－Ｄ１）の主要動の継続時間が長いことに起因するものと考えられる。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-10 基準地震動Ｓｓに対する最大等価繰返し回数

| 算出条件 | | | | | 方向別最大回数 | | 最大回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 方向 | 回数 | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１＋1/3Ｓｄ－Ｄ１×5回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | EW | | |
| | | | | | NS | | |
| | | | | | UD | | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１＋1/3Ｓｄ－Ｄ１×5回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | EW | | |
| | | | | | NS | | |
| | | | | | UD | | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１＋1/3Ｓｄ－Ｄ１×5回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | EW | | |
| | | | | | NS | | |
| | | | | | UD | | |

表 3-11 弾性設計用地震動Ｓｄに対する最大等価繰返し回数

| 算出条件 | | | | | 方向別最大回数 | | 最大回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 方向 | 回数 | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ１×2回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | EW | | |
| | | | | | NS | | |
| | | | | | UD | | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ１×2回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | EW | | |
| | | | | | NS | | |
| | | | | | UD | | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ１×2回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | EW | | |
| | | | | | NS | | |
| | | | | | UD | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 結果まとめ

a. 基準地震動Ｓｓの疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数

・原子炉建屋(大型機器系地震応答解析モデル，炉内構造物系地震応答解析モデル及び原子炉建屋地震応答解析モデル）を対象とし，等価繰返し回数を算出した。

・等価繰返し回数の算出パラメータのうち，地震動，減衰定数及び設計疲労線図について，「Ｓｓ－Ｄ１」，「0.5%」及び「炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼」の条件が安全側の設定であることを確認した。

・基準地震動Ｓｓに弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 倍の地震動 5 回分を考慮し，安全側に設定した算出パラメータで等価繰返し回数を算出した結果，最大等価繰返し回数は□回であることを確認した。

・原子炉建屋地震応答解析モデルに対し材料物性の不確かさ等の影響確認を行った結果，基本ケースによる等価繰返し回数に対する影響は１％程度であり，影響は軽微であることを確認した。

以上のことから，女川原子力発電所第 2 号機における基準地震動Ｓｓの疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は，安全側に 340 回を設定した。

b. 弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数

・弾性設計用地震動Ｓｄ2 回分を考慮し，基準地震動Ｓｓで確認した安全側となる算出パラメータで等価繰返し回数を算出した結果，最大等価繰返し回数は□回であることを確認した。

・基準地震動Ｓｓ対する原子炉建屋地震応答解析モデルの結果から，材料物性の不確かさ等の影響は軽微であることを確認した。

以上のことから，女川原子力発電所第 2 号機における弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は，安全側に 590 回を設定した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.　個別に設定する等価繰返し回数

女川原子力発電所第 2 号機の今回工認において一律に設定する等価繰返し回数を適用せず，個別に設定する等価繰返し回数を適用する場合について説明する。

(1)　対象設備

個別に設定する等価繰返し回数を設定する必要がある疲労評価対象設備は図 2-1 及び図 2-2 のフローに従って抽出される以下の設備となる。

①　基準地震動Ｓｓにおける個別に設定する等価繰返し回数

(A) 原子炉建屋以外に設置される設備

(B) 発生するピーク応力が 1471MPa を超える設備

(C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない設備

②　弾性設計用地震動Ｓｄにおける個別に設定する等価繰返し回数

(A) 原子炉建屋以外に設置される設備

(B) 発生するピーク応力がＳｄ7 波／Ｓｓ7 波の応答比を 1471MPa に乗じた値を超える設備

(C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない設備

(2)　個別に設定する等価繰返し回数設定方針

個別に設定する場合の算出条件を一律に設定する等価繰返し回数と併せ表 4-1 に示す。

算出条件の一部（対象床面(質点)，固有周期，減衰定数，ピーク応力，設計用疲労線図）に疲労評価対象設備固有の条件を用いた上で算出することで，各疲労評価対象設備に対して個別に設定する等価繰返し回数とする。

また，一律に設定する等価繰返し回数と同様に，材料物性の不確かさ等の影響を考慮する。

表 4-1　一律に設定する等価繰返し回数と個別設定する等価繰返し回数の算出条件

| 条件の項目 | 一律に設定する<br>等価繰返し回数 | 個別に設定する<br>等価繰返し回数 | 備考 |
|---|---|---|---|
| 算出フロー | 応答スペクトルフロー | 応答スペクトルフロー*1 | ＊１：必要に応じて時刻歴フローを用いる。 |
| 対象床面<br>（質点） | 原子炉建屋地震応答解析モデルは設備を有する床面（質点），建屋－機器連成地震応答解析モデルは疲労評価を実施する設備を有する床面（質点） | 疲労評価対象設備の<br>設置位置 | ― |
| ピーク応力 | Ｓｓ：1471MPa<br><br>Ｓｄ：1471MPa×ＳｓとＳｄの応答比 | Ｓｓ：1471MPa*2<br><br>Ｓｄ：1471MPa×ＳｓとＳｄの応答比*2 | ＊２：必要に応じて疲労評価対象設備のピーク応力を用いる。 |
| 固有周期 | 全固有周期 | 全固有周期*3 | ＊３：必要に応じて疲労評価対象設備の固有周期を用いる。 |
| 減衰定数 | 0.5，1.0，1.5，<br>2.0，2.5，3.0％ | 疲労評価対象設備の<br>減衰定数 | ― |
| 設計用<br>疲労線図 | 炭素鋼 | 炭素鋼*4 | ＊４：必要に応じて疲労評価対象設備の使用材料の設計用疲労線図を用いる。 |

(3) 算出結果

(2)項の方針に基づき算出した基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対して個別に設定する等価繰返し回数を以下に示す。

①　基準地震動Ｓｓにおける個別に設定する等価繰返し回数

(A) 原子炉建屋以外に設置される疲労評価対象設備

該当する設備は，非常用ディーゼル発電設備配管（DGDO－B008）となる。算出条件，算出結果及び個別に設定する等価繰返し回数を表 4-2 に示す。

(B) 発生するピーク応力が 1471MPa を超える疲労評価対象設備

該当する設備は無し。

(C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない疲労評価対象設備

該当する設備は，原子炉再循環系配管（PLR-001，PLR-002），主蒸気系配管（MS-001，MS-002，MS-003，MS-004），復水給水系配管（FDW-001），残留熱除去系配管（RHR-001，RHR-002，RHR-003，RHR-005），高圧炉心スプレイ系配管（HPCS-001），原子炉格納容器フィルタベント系配管（FCVS-003，FCVS-004），可燃性ガス濃度制御系配管（FCS-006），燃料プール冷却浄化系熱交換器，残留熱除去系熱交換器及び原子炉補機冷却水系熱交換器となる。算出条件，算出結果及び個別に設定する等価繰返し回数を表 4-3～表 4-20 に示す。

表 4-2　非常用ディーゼル発電設備配管（DGDO－B008）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）*

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 15.000 | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 225 |
| 原子炉建屋 | 6.000 | | | | | | | | | | | |
| 軽油タンク室連絡ダクト | 12.100 | | | | | | | | | | | |
| 軽油タンク室連絡ダクト | 10.500 | | | | | | | | | | | |
| 軽油タンク室連絡ダクト | 9.500 | | | | | | | | | | | |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊：Ｓｄは一律に設定する等価繰返し回数を適用



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-3　原子炉再循環系配管（PLR-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉本体の基礎 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 185 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-4　原子炉再循環系配管（PLR-002）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉本体の基礎 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 185 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-5　主蒸気系配管（MS-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 226 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-6　主蒸気系配管（MS-002）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 226 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-7　主蒸気系配管（MS-003）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 198 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-8　主蒸気系配管（MS-004）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 198 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-9　復水給水系配管（FDW-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 226 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-10　残留熱除去系配管（RHR-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 162 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-11　残留熱除去系配管（RHR-002）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 162 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-12　残留熱除去系配管（RHR-003）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | 0.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 162 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-13　残留熱除去系配管（RHR-005）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）＊

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | 0.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉圧力容器<br>原子炉格納容器 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 216 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊：Ｓｄは一律に設定する等価繰返し回数を適用

表 4-14　高圧炉心スプレイ系配管（HPCS-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | 0.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 162 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-15　原子炉格納容器フィルタベント系配管（FCVS-003）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）*

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 33.200 | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 182 |
| 原子炉建屋 | 22.500 | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 15.000 | | | | | | | | | | | |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊：重大事故等対処設備であるためＳｄに対する耐震評価要求なし

表 4-16　原子炉格納容器フィルタベント系配管（FCVS-004）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）*

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 50.500 | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金 | 基本ケース | | | | | 129 |
| 原子炉建屋 | 48.725 | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 41.200 | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 33.200 | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 22.500 | | | | | | | | | | | |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊：重大事故等対処設備であるためＳｄに対する耐震評価要求なし



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-17　可燃性ガス濃度制御系配管（FCS-006）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）＊

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | 0.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 22.500 | 1471 | 全固有周期 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | | オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金 | 基本ケース | | | | | 174 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊：Ｓｄに対する評価において一次＋二次評価で許容値を満足するため疲労評価要求なし

表 4-18　燃料プール冷却浄化系熱交換器　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）＊1

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | 0.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 15.000 | 1471 | －＊2 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | －＊2 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 57 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊１：重大事故等対処設備であるためＳｄに対する耐震評価要求なし

注記＊２：本設備の固有周期が 0.05 s 以下（　　s）であるため，時刻歴加速度応答を用いた時刻歴フローによって等価繰返し回数を算出



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-19　残留熱除去系熱交換器　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）＊1

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | 0.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉建屋 | 22.500 | 1471 | －＊2 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | －＊2 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 57 |
| 原子炉建屋 | 15.000 | | | | | | | | | | | |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊１：Ｓｄに対する評価において一次＋二次評価で許容値を満足するため疲労評価要求なし

注記＊２：本設備の固有周期が 0.05 s 以下（　　s）であるため，時刻歴加速度応答を用いた時刻歴フローによって等価繰返し回数を算出

表 4-20　原子炉補機冷却水系熱交換器　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ）＊1

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | 0.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | 1471 | －＊2 | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | －＊2 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 53 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

注記＊１：Ｓｄに対する評価において一次＋二次評価で許容値を満足するため疲労評価要求なし

注記＊２：本設備の固有周期が 0.05 s 以下（　　s）であるため，時刻歴加速度応答を用いた時刻歴フローによって等価繰返し回数を算出



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② 弾性設計用地震動Ｓｄにおける個別に設定する等価繰返し回数

(A) 原子炉建屋以外に設置される疲労評価対象設備

該当する設備は無し。

(B) 発生するピーク応力がＳｄ7 波／Ｓｓ7 波の応答比を 1471MPa 乗じた値を超える疲労評価対象設備

該当する設備は無し。

(C) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない疲労評価対象設備

該当する設備は，原子炉再循環系配管（PLR-001，PLR-002），主蒸気系配管（MS-001，MS-002，MS-003，MS-004），復水給水系配管（FDW-001），残留熱除去系配管（RHR-001，RHR-002，RHR-003），高圧炉心スプレイ系配管（HPCS-001）となる。算出条件，算出結果及び個別に設定する等価繰返し回数を表 4-21～表 4-31 に示す。

表 4-21　原子炉再循環系配管（PLR-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉本体の基礎 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 363 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-22　原子炉再循環系配管（PLR-002）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉本体の基礎 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 363 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-23　主蒸気系配管（MS-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 352 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-24　主蒸気系配管（MS-002）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 352 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-25　主蒸気系配管（MS-003）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 337 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-26　主蒸気系配管（MS-004）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1質点系の固有周期（s） | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 337 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-27　復水給水系配管（FDW-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1 質点系の固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 352 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-28　残留熱除去系配管（RHR-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1 質点系の固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 278 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-29　残留熱除去系配管（RHR-002）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1 質点系の固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 278 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-30　残留熱除去系配管（RHR-003）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1 質点系の固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 278 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す

表 4-31　高圧炉心スプレイ系配管（HPCS-001）　個別に設定する等価繰返し回数（Ｓｄ）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 対象床面(質点) | | ピーク応力 (MPa) | 1 質点系の固有周期 (s) | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計用疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | NS | EW | UD | 最大回数 | 等価繰返し回数 |
| 解析モデル | O.P. | | | | | | | | | | | |
| 原子炉しゃへい壁 | | NS:1221<br>EW:1104<br>UD:854 | 全固有周期 | Ｓｄ－Ｄ1<br>×2 回 | | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | | | | | 278 |

注：一律に設定する等価繰返し回数の算出条件と異なる条件を赤字で示す



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.　疲労評価における東北地方太平洋沖地震等の考慮

女川原子力発電慮第 2 号機では，東北地方太平洋沖地震等に対する地震後の設備健全性確認（地震応答解析）を行い，東北太平洋沖地震等による疲労累積係数は，最大でも 0.01 にも満たない結果であり十分に小さいことを確認している（別紙 10 参照)。

今回工認では，機器・配管系の疲労評価を実施する場合の配慮として，疲労累積係数に 0.01 以上の余裕があることを確認する。

6．まとめ

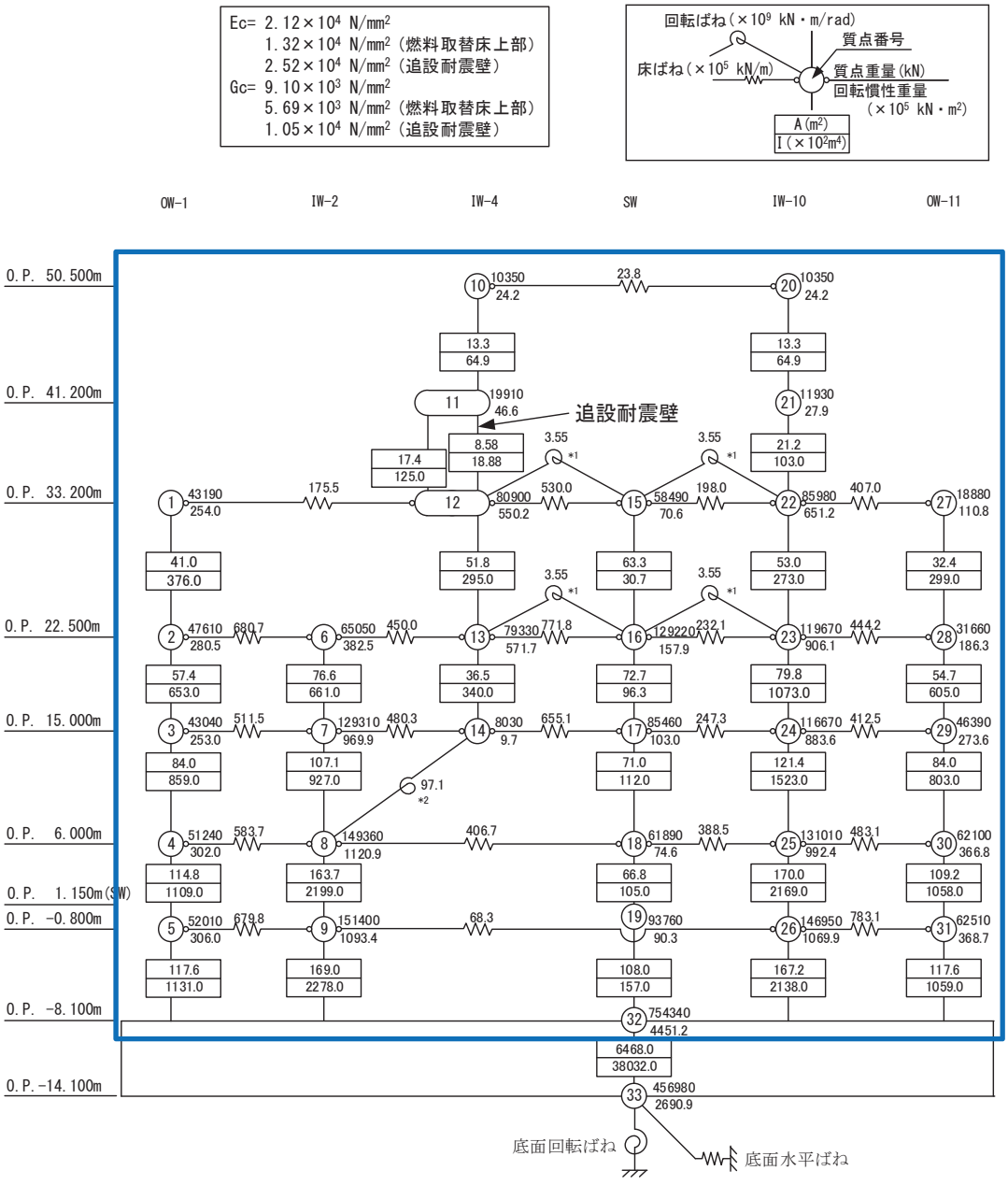
女川原子力発電所第 2 号機の疲労評価に用いる等価繰返し回数は，ＪＥＡＧ４６０１－1987 記載の手順及び等価繰返し回数算出に影響するパラメータを保守的に設定した算出結果を踏まえ，基準地震動Ｓｓの疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数を 340 回及び弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数を 590 回に設定した。

また，原子炉建屋以外に設置される疲労評価対象設備及び一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が許容値を満足しない疲労評価対象設備に対しては，等価繰返し回数算出に影響するパラメータの一部（対象床面(質点)，減衰定数，設計用疲労線図等）に疲労評価対象設備固有の条件を用いた算出結果を踏まえ，基準地震動Ｓｓの疲労評価に用いる個別に設定する等価繰返し回数及び弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価に用いる個別に設定する等価繰返し回数を設定した。

さらに，東北地方太平洋沖地震等に対する地震後の設備健全性確認結果を踏まえ，今回工認では，機器・配管系の疲労評価を実施する場合の配慮として，疲労累積係数に 0.01 以上の余裕があることを確認する。

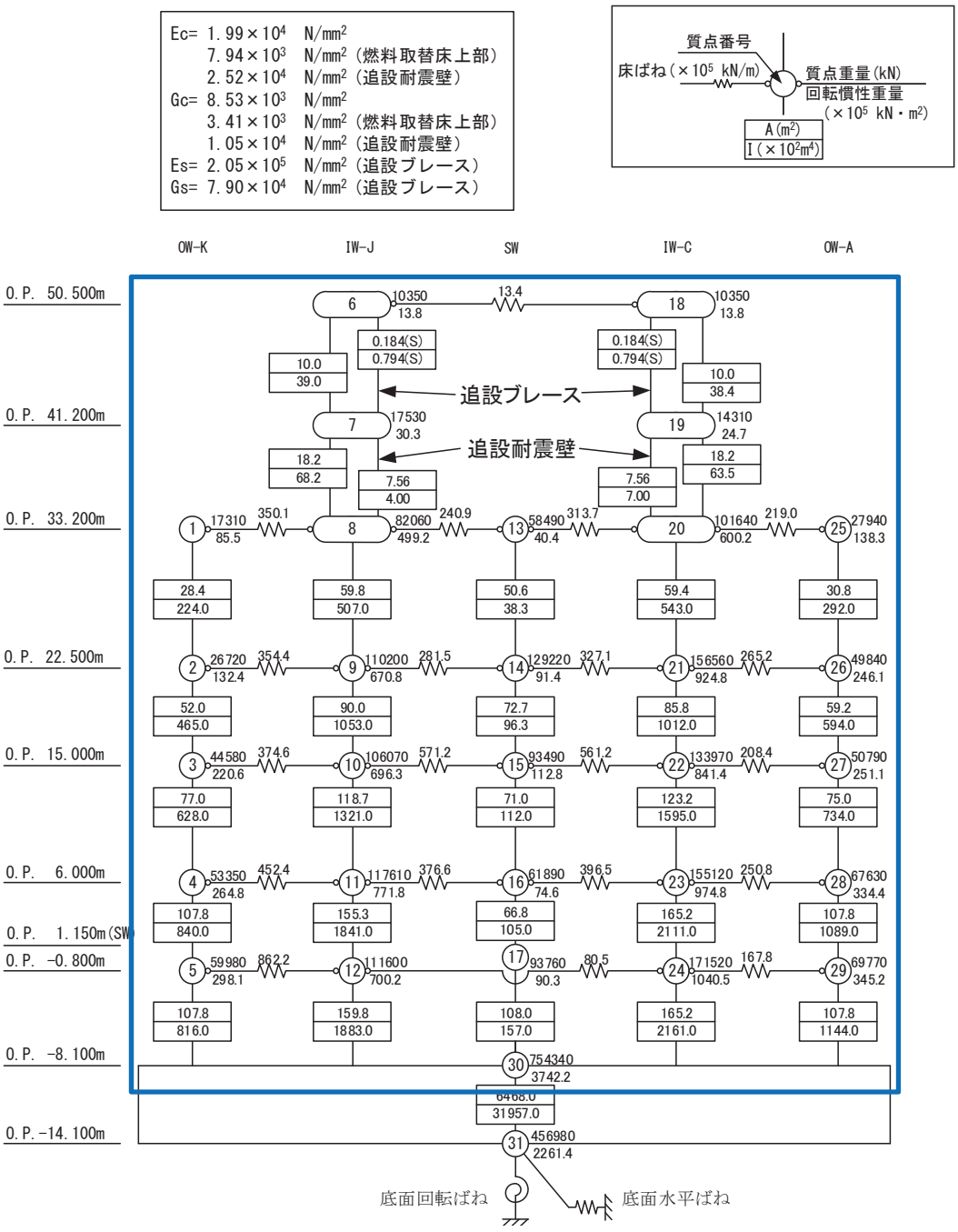
別紙 1　地震応答解析モデルにおける等価繰返し回数の算出点

：算出質点(設備を有する質点)



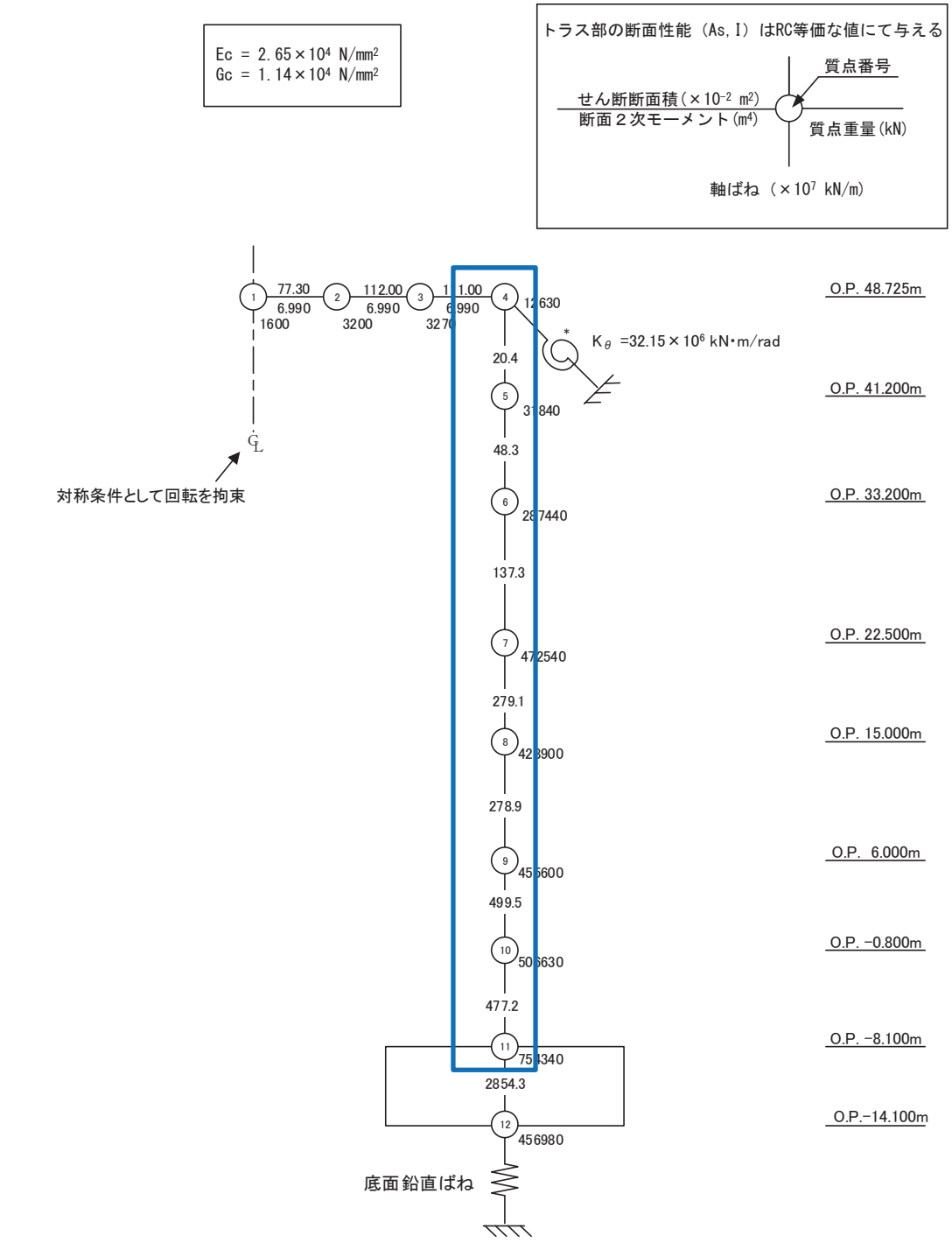

別図 1-1　原子炉建屋地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(水平方向(EW 方向))

：算出点（設備を有する質点）




別図 1-2　原子炉建屋地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
（水平方向（NS 方向））

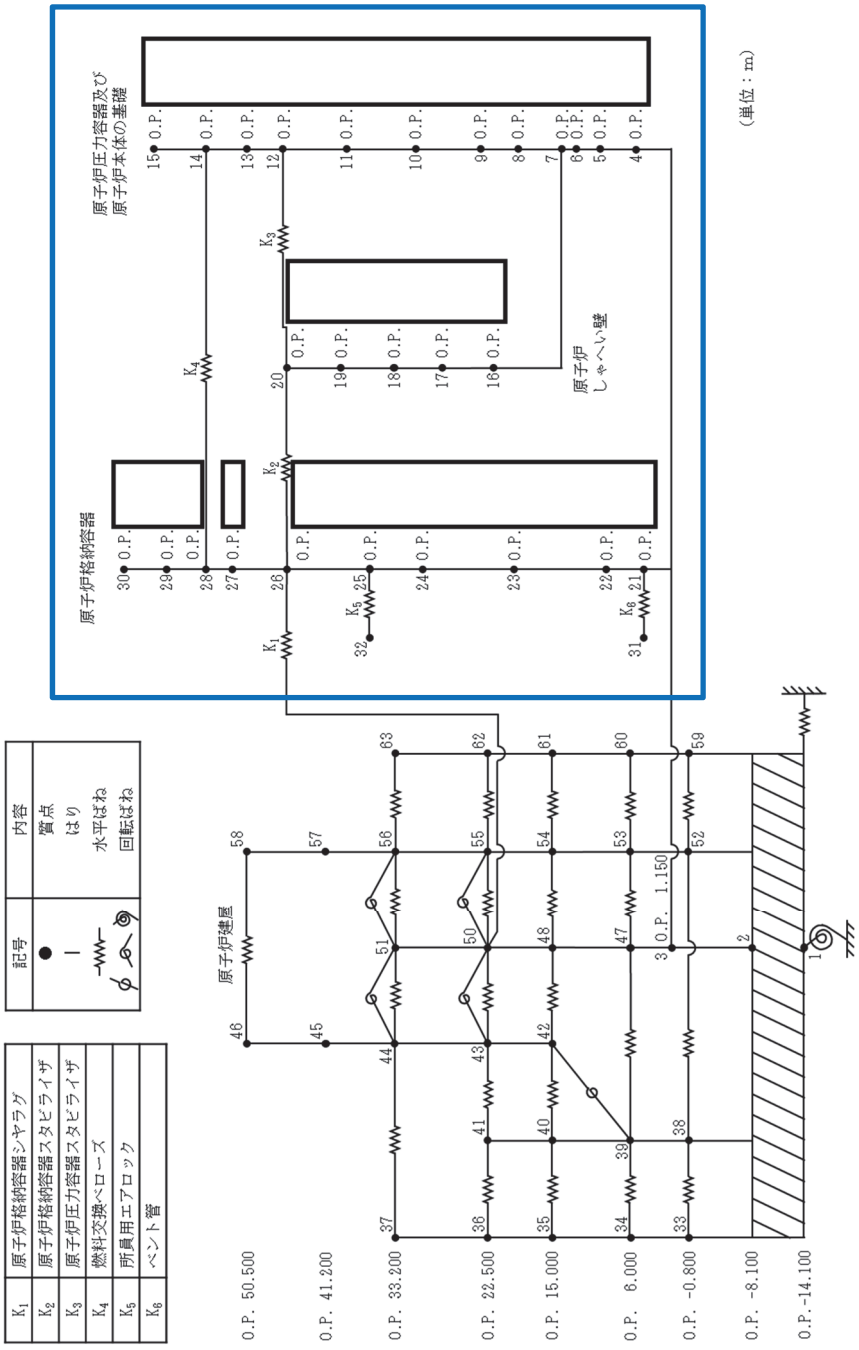
：算出点（設備を有する質点）




別図 1-3　原子炉建屋地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
（鉛直方向）

別紙 1-3

：算出点(疲労評価対象設備を有する質点)



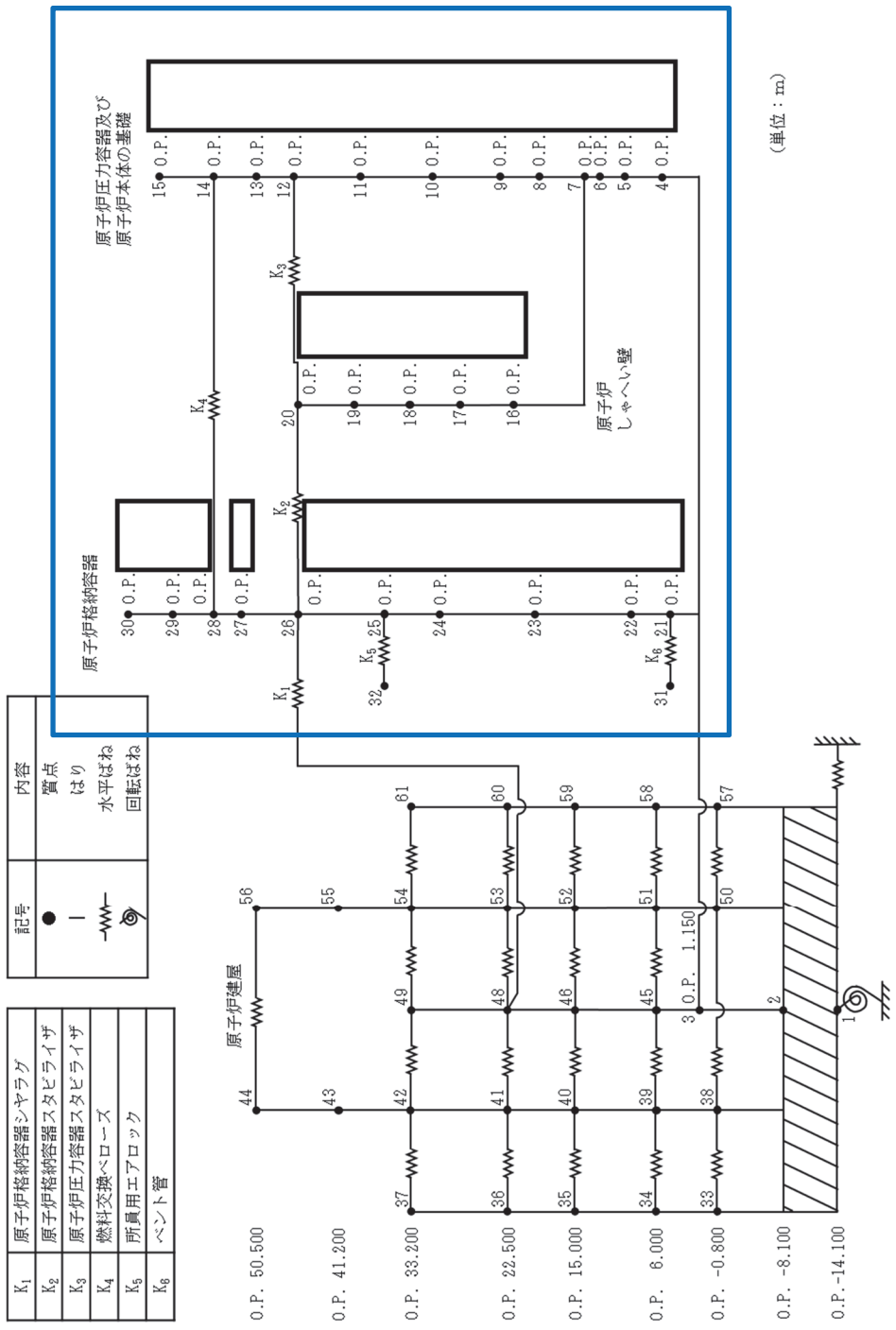

別図 1-4　大型機器系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点

(水平方向(EW 方向))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-4

：算出点(疲労評価対象設備を有する質点)



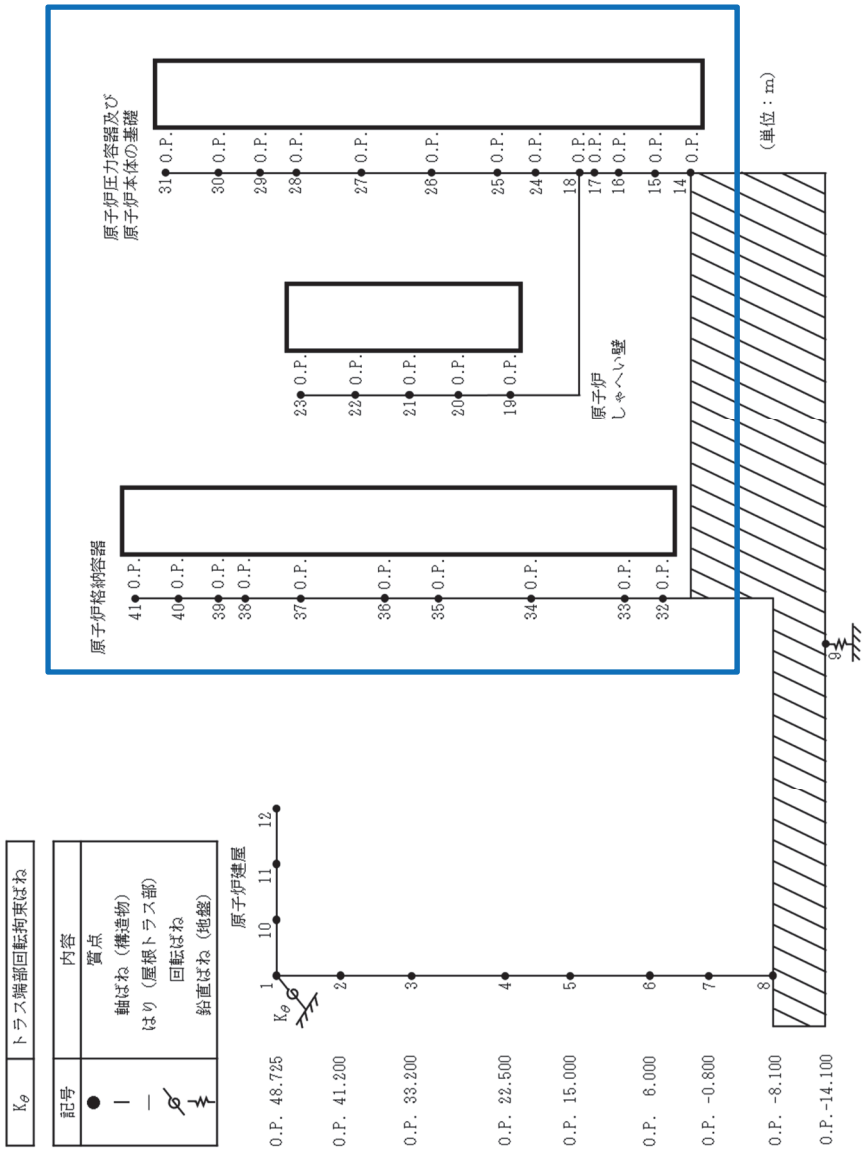

別図 1-5　大型機器系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点

(水平方向(NS 方向))

別紙 1-5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

：算出点（疲労評価対象設備を有する質点）

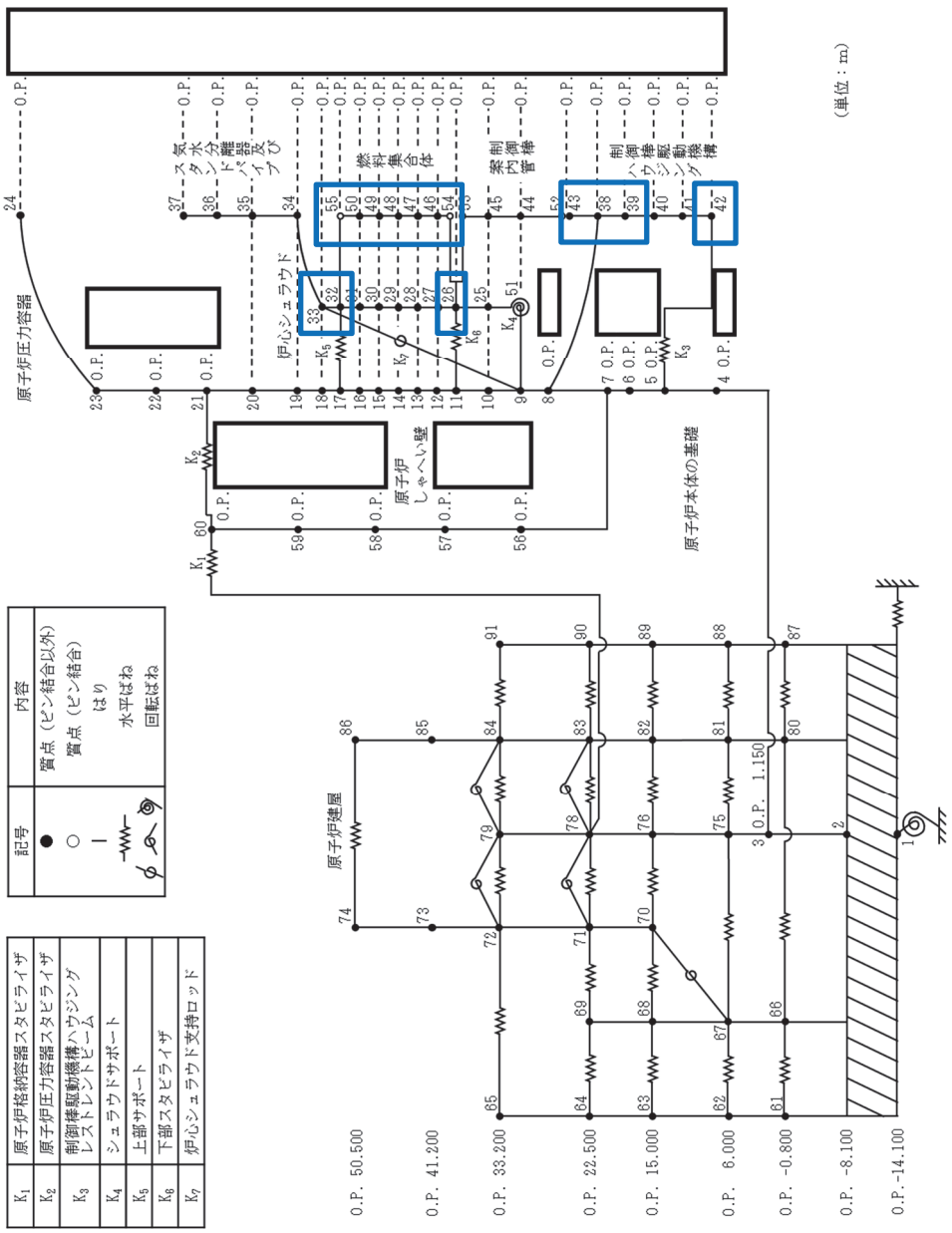



別図 1-6　大型機器系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
（鉛直方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-6

：算出点(疲労評価対象設備を有する質点)



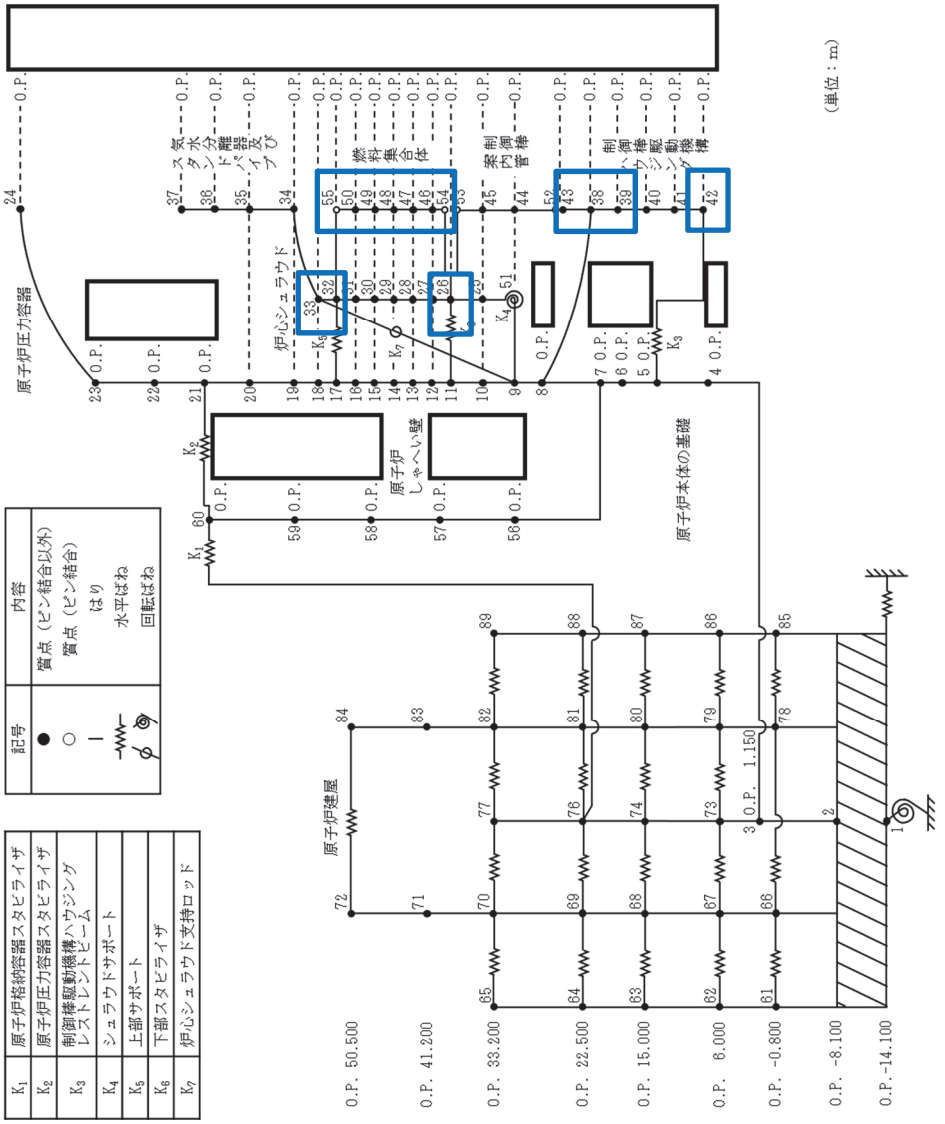

別図 1-7　炉内構造物系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点

(水平方向(EW 方向))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-7

：算出点(疲労評価対象設備を有する質点)

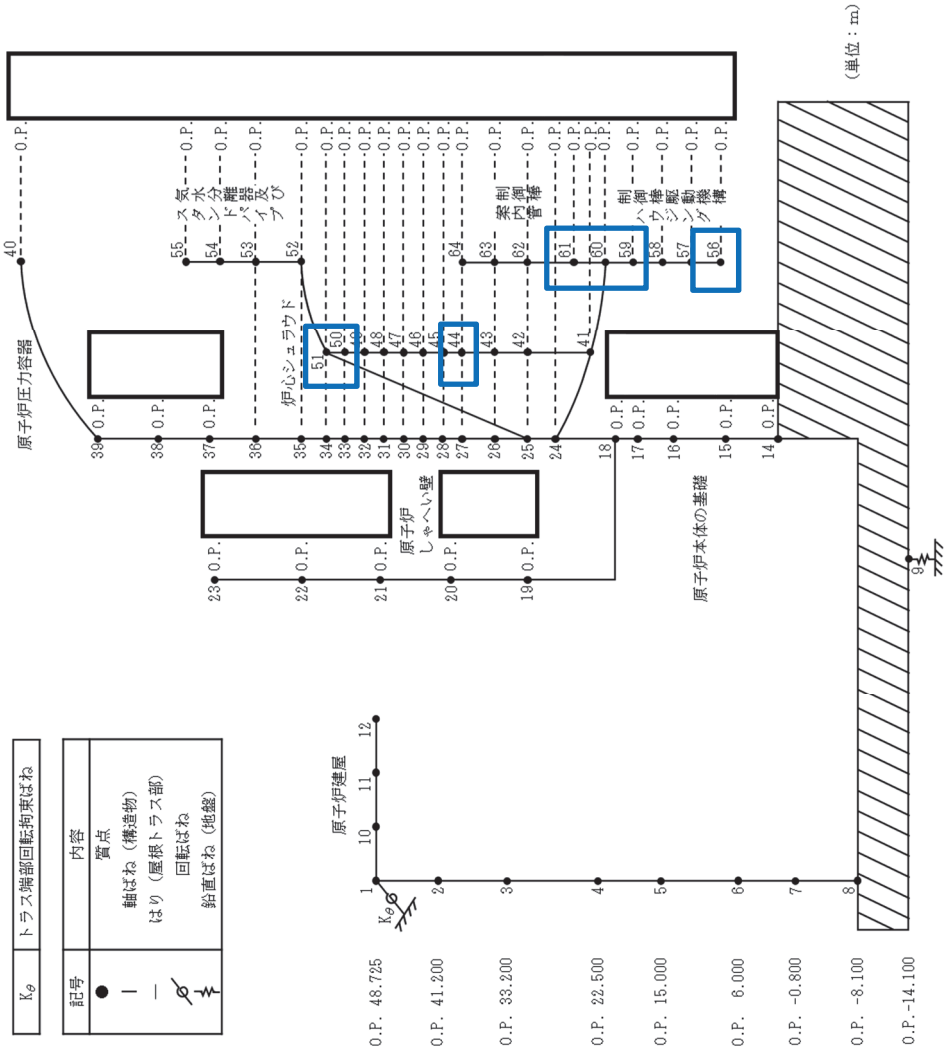



別図 1-8　炉内構造物系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(水平方向(NS 方向))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-8

：算出点（疲労評価対象設備を有する質点）




別図 1-9　炉内構造物系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
（鉛直方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-9

別紙２　地震動をパラメータとした等価繰返し回数の比較

別表 2-1　地震動をパラメータとした等価繰返し回数算出結果（EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | Ｓｓ－Ｄ１ | Ｓｓ－Ｄ２ | Ｓｓ－Ｄ３ | Ｓｓ－Ｆ１ | Ｓｓ－Ｆ２ | Ｓｓ－Ｆ３ | Ｓｓ－Ｎ１ |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 10 | | | | | | | |
| | | | | | 20 | | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 11 | | | | | | | |
| | | | | | 21 | | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | | | | | | |
| | | | | | 12 | | | | | | | |
| | | | | | 15 | | | | | | | |
| | | | | | 22 | | | | | | | |
| | | | | | 27 | | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | | | | | | |
| | | | | | 6 | | | | | | | |
| | | | | | 13 | | | | | | | |
| | | | | | 16 | | | | | | | |
| | | | | | 23 | | | | | | | |
| | | | | | 28 | | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | | | | | | |
| | | | | | 7 | | | | | | | |
| | | | | | 14 | | | | | | | |
| | | | | | 17 | | | | | | | |
| | | | | | 24 | | | | | | | |
| | | | | | 29 | | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | | | | | | |
| | | | | | 8 | | | | | | | |
| | | | | | 18 | | | | | | | |
| | | | | | 25 | | | | | | | |
| | | | | | 30 | | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | | | | | | |
| | | | | | 9 | | | | | | | |
| | | | | | 19 | | | | | | | |
| | | | | | 26 | | | | | | | |
| | | | | | 31 | | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 32 | | | | | | | |

注：下線部は，各基準地震動Ｓｓに対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 2-2　地震動をパラメータとした等価繰返し回数算出結果（NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | Ｓｓ－Ｄ１ | Ｓｓ－Ｄ２ | Ｓｓ－Ｄ３ | Ｓｓ－Ｆ１ | Ｓｓ－Ｆ２ | Ｓｓ－Ｆ３ | Ｓｓ－Ｎ１ |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 6 | | | | | | | |
| | | | | | 18 | | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 7 | | | | | | | |
| | | | | | 19 | | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | | | | | | |
| | | | | | 8 | | | | | | | |
| | | | | | 13 | | | | | | | |
| | | | | | 20 | | | | | | | |
| | | | | | 25 | | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | | | | | | |
| | | | | | 9 | | | | | | | |
| | | | | | 14 | | | | | | | |
| | | | | | 21 | | | | | | | |
| | | | | | 26 | | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | | | | | | |
| | | | | | 10 | | | | | | | |
| | | | | | 15 | | | | | | | |
| | | | | | 22 | | | | | | | |
| | | | | | 27 | | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | | | | | | |
| | | | | | 11 | | | | | | | |
| | | | | | 16 | | | | | | | |
| | | | | | 23 | | | | | | | |
| | | | | | 28 | | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | | | | | | |
| | | | | | 12 | | | | | | | |
| | | | | | 17 | | | | | | | |
| | | | | | 24 | | | | | | | |
| | | | | | 29 | | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 30 | | | | | | | |

注：下線部は，各基準地震動Ｓｓに対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 2-3　地震動をパラメータとした等価繰返し回数算出結果（UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | Ｓｓ－Ｄ１ | Ｓｓ－Ｄ２ | Ｓｓ－Ｄ３ | Ｓｓ－Ｆ１ | Ｓｓ－Ｆ２ | Ｓｓ－Ｆ３ | Ｓｓ－Ｎ１ |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 48.725 | 4 | | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 5 | | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 6 | | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 7 | | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 8 | | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 9 | | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 10 | | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 11 | | | | | | | |

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙３　減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の比較

別表 3-1　減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各減衰定数に対する等価繰返し回数 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | 0.5% | 1.0% | 1.5% | 2.0% | 2.5% | 3.0% |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 10 | | | | | | |
| | | | | | 20 | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 11 | | | | | | |
| | | | | | 21 | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | | | | | |
| | | | | | 12 | | | | | | |
| | | | | | 15 | | | | | | |
| | | | | | 22 | | | | | | |
| | | | | | 27 | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | | | | | |
| | | | | | 6 | | | | | | |
| | | | | | 13 | | | | | | |
| | | | | | 16 | | | | | | |
| | | | | | 23 | | | | | | |
| | | | | | 28 | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | | | | | |
| | | | | | 7 | | | | | | |
| | | | | | 14 | | | | | | |
| | | | | | 17 | | | | | | |
| | | | | | 24 | | | | | | |
| | | | | | 29 | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | | | | | |
| | | | | | 8 | | | | | | |
| | | | | | 18 | | | | | | |
| | | | | | 25 | | | | | | |
| | | | | | 30 | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | | | | | |
| | | | | | 9 | | | | | | |
| | | | | | 19 | | | | | | |
| | | | | | 26 | | | | | | |
| | | | | | 31 | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 32 | | | | | | |

注：下線部は，各減衰定数に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 3-2　減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各減衰定数に対する等価繰返し回数 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.（m） | 質点* | 0.5% | 1.0% | 1.5% | 2.0% | 2.5% | 3.0% |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 6 | | | | | | |
| | | | | | 18 | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 7 | | | | | | |
| | | | | | 19 | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | | | | | |
| | | | | | 8 | | | | | | |
| | | | | | 13 | | | | | | |
| | | | | | 20 | | | | | | |
| | | | | | 25 | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | | | | | |
| | | | | | 9 | | | | | | |
| | | | | | 14 | | | | | | |
| | | | | | 21 | | | | | | |
| | | | | | 26 | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | | | | | |
| | | | | | 10 | | | | | | |
| | | | | | 15 | | | | | | |
| | | | | | 22 | | | | | | |
| | | | | | 27 | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | | | | | |
| | | | | | 11 | | | | | | |
| | | | | | 16 | | | | | | |
| | | | | | 23 | | | | | | |
| | | | | | 28 | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | | | | | |
| | | | | | 12 | | | | | | |
| | | | | | 17 | | | | | | |
| | | | | | 24 | | | | | | |
| | | | | | 29 | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 30 | | | | | | |

注：下線部は，各減衰定数に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 3-3　減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各減衰定数に対する等価繰返し回数 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | 0.5% | 1.0% | 1.5% | 2.0% | 2.5% | 3.0% |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 48.725 | 4 | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 5 | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 6 | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 7 | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 8 | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 9 | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 10 | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 11 | | | | | | |

注：下線部は，各減衰定数に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 4　設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の比較

別表 4-1　設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数算出結果（EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各設計疲労線図に対する等価繰返し回数 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 基本ケース | 50.500 | 10 | | |
| | | | | | 20 | | |
| | | | | 41.200 | 11 | | |
| | | | | | 21 | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | |
| | | | | | 12 | | |
| | | | | | 15 | | |
| | | | | | 22 | | |
| | | | | | 27 | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | |
| | | | | | 6 | | |
| | | | | | 13 | | |
| | | | | | 16 | | |
| | | | | | 23 | | |
| | | | | | 28 | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | |
| | | | | | 7 | | |
| | | | | | 14 | | |
| | | | | | 17 | | |
| | | | | | 24 | | |
| | | | | | 29 | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | |
| | | | | | 8 | | |
| | | | | | 18 | | |
| | | | | | 25 | | |
| | | | | | 30 | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | |
| | | | | | 9 | | |
| | | | | | 19 | | |
| | | | | | 26 | | |
| | | | | | 31 | | |
| | | | | -8.100 | 32 | | |

注：下線部は，各設計疲労線図に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 4-2　設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数算出結果（NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各設計疲労線図に対する等価繰返し回数 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 材料物性の不確かさ等 | O.P.（m） | 質点* | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 基本ケース | 50.500 | 6 | | |
| | | | | | 18 | | |
| | | | | 41.200 | 7 | | |
| | | | | | 19 | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | |
| | | | | | 8 | | |
| | | | | | 13 | | |
| | | | | | 20 | | |
| | | | | | 25 | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | |
| | | | | | 9 | | |
| | | | | | 14 | | |
| | | | | | 21 | | |
| | | | | | 26 | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | |
| | | | | | 10 | | |
| | | | | | 15 | | |
| | | | | | 22 | | |
| | | | | | 27 | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | |
| | | | | | 11 | | |
| | | | | | 16 | | |
| | | | | | 23 | | |
| | | | | | 28 | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | |
| | | | | | 12 | | |
| | | | | | 17 | | |
| | | | | | 24 | | |
| | | | | | 29 | | |
| | | | | -8.100 | 30 | | |

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 4-3　設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数算出結果（UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各設計疲労線図に対する等価繰返し回数 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 基本ケース | 48.725 | 4 | | |
| | | | | 41.200 | 5 | | |
| | | | | 33.200 | 6 | | |
| | | | | 22.500 | 7 | | |
| | | | | 15.000 | 8 | | |
| | | | | 6.000 | 9 | | |
| | | | | -0.800 | 10 | | |
| | | | | -8.100 | 11 | | |

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 5　等価繰返し回数の算出における材料物性の不確かさ等の影響検討

1．はじめに

女川原子力発電所第 2 号機の耐震設計において，材料物性の不確かさ等を適切に考慮する方針としていることから，本資料において，等価繰返し回数算出に係る材料物性の不確かさ等による影響検討を実施した。

2．材料物性の不確かさ等を考慮した場合の等価繰返し回数の算出条件

原子炉建屋地震応答解析モデル，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルにおける建屋剛性及び地盤物性を考慮した場合の等価繰返し回数を算出する。別表 5-1 に等価繰返し回数の算出条件を示す。

別表 5-1 等価繰返し回数の算出条件

| 解析モデル | 材料物性の不確かさ等* | 地震動 | 固有周期 | 減衰定数 | 設計疲労線図 |
|---|---|---|---|---|---|
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | 基本ケース | Ｓｓ－Ｄ１ | 全固有周期帯 | 0.5% | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 |
| | ケース 2 | | | | |
| | ケース 3 | | | | |
| | ケース 4 | | | | |
| | ケース 5 | | | | |
| | ケース 6 | | | | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | 基本ケース | Ｓｓ－Ｄ１ | 全固有周期帯 | 0.5% | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 |
| | ケース 2 | | | | |
| | ケース 3 | | | | |
| | ケース 4 | | | | |
| | ケース 5 | | | | |
| | ケース 6 | | | | |
| | ケース 7 | | | | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | 基本ケース | Ｓｓ－Ｄ１ | 全固有周期帯 | 0.5% | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 |
| | ケース 2 | | | | |
| | ケース 3 | | | | |
| | ケース 4 | | | | |
| | ケース 5 | | | | |
| | ケース 6 | | | | |
| | ケース 7 | | | | |

注記＊：材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースの条件は，本文表 3-9 及び表 3-10 参照

3. 算出結果及びまとめ

材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の最大回数を別表 5-2 に，それらの詳細内訳を別表 5-3～別表 5-11 に示す。地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等を考慮した場合，各質点の等価繰返し回数に影響があるものの，その最大回数は，大型機器系地震応答解析モデルの UD 方向の基本ケースとなることを確認した。また，別表 5-2 の結果から基本ケースの等価繰返し回数を上回るケースは，原子炉建屋地震応答解析モデルのケース 3 のみであり，その影響も 1%程度で影響軽微であるため，一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては，基本ケースを用いて検討する。

なお，女川原子力発電所第 2 号機の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は，最終段階での取り扱いとして安全側に設定する。

別表 5-2 材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

| 算出条件 | | | | 各材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数(最大回数)* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | | | | | | | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | | | | | | | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | | | | | | | |

注記＊：()内の数字は基本ケースにおける等価繰返し回数に対する各ケースの等価繰返し回数の比率を示す

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-3　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（原子炉建屋，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | O.P. (m) | 質点* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 |
| 原子炉建屋<br>地震応答解析<br>モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，<br>低合金鋼<br>および<br>高張力鋼 | 50.500 | 10 | | | | | | |
| | | | | | 20 | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 11 | | | | | | |
| | | | | | 21 | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | | | | | |
| | | | | | 12 | | | | | | |
| | | | | | 15 | | | | | | |
| | | | | | 22 | | | | | | |
| | | | | | 27 | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | | | | | |
| | | | | | 6 | | | | | | |
| | | | | | 13 | | | | | | |
| | | | | | 16 | | | | | | |
| | | | | | 23 | | | | | | |
| | | | | | 28 | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | | | | | |
| | | | | | 7 | | | | | | |
| | | | | | 14 | | | | | | |
| | | | | | 17 | | | | | | |
| | | | | | 24 | | | | | | |
| | | | | | 29 | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | | | | | |
| | | | | | 8 | | | | | | |
| | | | | | 18 | | | | | | |
| | | | | | 25 | | | | | | |
| | | | | | 30 | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | | | | | |
| | | | | | 9 | | | | | | |
| | | | | | 19 | | | | | | |
| | | | | | 26 | | | | | | |
| | | | | | 31 | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 32 | | | | | | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

別紙5-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-4　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（原子炉建屋，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | O.P.(m) | 質点* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 50.500 | 6 | | | | | | |
| | | | | | 18 | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 7 | | | | | | |
| | | | | | 19 | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 1 | | | | | | |
| | | | | | 8 | | | | | | |
| | | | | | 13 | | | | | | |
| | | | | | 20 | | | | | | |
| | | | | | 25 | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 2 | | | | | | |
| | | | | | 9 | | | | | | |
| | | | | | 14 | | | | | | |
| | | | | | 21 | | | | | | |
| | | | | | 26 | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 3 | | | | | | |
| | | | | | 10 | | | | | | |
| | | | | | 15 | | | | | | |
| | | | | | 22 | | | | | | |
| | | | | | 27 | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 4 | | | | | | |
| | | | | | 11 | | | | | | |
| | | | | | 16 | | | | | | |
| | | | | | 23 | | | | | | |
| | | | | | 28 | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 5 | | | | | | |
| | | | | | 12 | | | | | | |
| | | | | | 17 | | | | | | |
| | | | | | 24 | | | | | | |
| | | | | | 29 | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 30 | | | | | | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

別紙 5-4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-5　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（原子炉建屋，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | 各材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | O.P. (m) | 質点* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 |
| 原子炉建屋<br>地震応答解析<br>モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，<br>低合金鋼<br>および<br>高張力鋼 | 48.725 | 4 | | | | | | |
| | | | | 41.200 | 5 | | | | | | |
| | | | | 33.200 | 6 | | | | | | |
| | | | | 22.500 | 7 | | | | | | |
| | | | | 15.000 | 8 | | | | | | |
| | | | | 6.000 | 9 | | | | | | |
| | | | | -0.800 | 10 | | | | | | |
| | | | | -8.100 | 11 | | | | | | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：設備を有する質点

別紙 5-5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-6　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（大型機器系，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 各材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 機器 | O.P.<br>(m) | 質点<br>* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| 大型機器系<br>地震応答解析<br>モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，<br>低合金鋼<br>および<br>高張力鋼 | 原子炉<br>圧力容器 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉<br>本体の基礎 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉<br>しゃへい壁 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉<br>格納容器 | | | | | | | | | |

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

別紙 5-6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-7　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（大型機器系，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 各材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 機器 | O.P.(m) | 質点* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 原子炉圧力容器 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉本体の基礎 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉しゃへい壁 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉格納容器 | | | | | | | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

別紙 5-7

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-8　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（大型機器系，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 機器 | O.P.(m) | 質点* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 原子炉圧力容器 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉本体の基礎 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉しゃへい壁 | | | | | | | | | |
| | | | | 原子炉格納容器 | | | | | | | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

別紙 5-8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-9　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（炉内構造物系，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 機器 | O.P.<br>(m) | 質点<br>* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| 炉内構造物系<br>地震応答解析<br>モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，<br>低合金鋼<br>および<br>高張力鋼 | 炉心<br>シュラウド | | | | | | | | | |
| | | | | 制御棒<br>駆動機構<br>ハウジング | | | | | | | | | |
| | | | | 燃料集合体 | | | | | | | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

別紙 5-9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-10　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（炉内構造物系，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 機器 | O.P.<br>(m) | 質点<br>* | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| 炉内構造物系<br>地震応答解析<br>モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，<br>低合金鋼<br>および<br>高張力鋼 | 炉心<br>シュラウド | | | | | | | | | |
| | | | | 制御棒<br>駆動機構<br>ハウジング | | | | | | | | | |
| | | | | 燃料集合体 | | | | | | | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

別紙 5-10

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-11　材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果（炉内構造物系，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 材料物性の不確かさ等に対する等価繰返し回数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 機器 | O.P.<br>(m) | 質点<br>＊ | 基本ケース | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 7 |
| 炉内構造物系<br>地震応答解析<br>モデル | Ｓｓ―Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，<br>低合金鋼<br>および<br>高張力鋼 | 炉心<br>シュラウド | | | | | | | | | |
| | | | | 制御棒<br>駆動機構<br>ハウジング | | | | | | | | | |
| | | | | 制御棒案内管 | | | | | | | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける各材料物性の不確かさ等に対する全方向（NS,EW,UD）の等価繰返し回数の最大値を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点の回数を算出

別紙 5-11

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 6　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果

別表 6-1　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（大型機器系，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.<br>(m) | 質点* | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ<br>1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5 回 | 0.5 | 炭素鋼，<br>低合金鋼<br>および<br>高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉<br>圧力容器 | | | |
| | | | | | 原子炉<br>本体の基礎 | | | |
| | | | | | 原子炉<br>しゃへい壁 | | | |
| | | | | | 原子炉<br>格納容器 | | | |
| | | | | | 所員用<br>エアロック | | | |
| | | | | | ベント管 | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち EW 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-2　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（大型機器系，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.(m) | 質点* | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ 1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | | |
| | | | | | 原子炉本体の基礎 | | | |
| | | | | | 原子炉しゃへい壁 | | | |
| | | | | | 原子炉格納容器 | | | |
| | | | | | 所員用エアロック | | | |
| | | | | | ベント管 | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち NS 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-3　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（大型機器系，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.<br>(m) | 質点* | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | | |
| | | | | | 原子炉本体の基礎 | | | |
| | | | | | 原子炉しゃへい壁 | | | |
| | | | | | 原子炉格納容器 | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち UD 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-4　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（炉内構造物系，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.(m) | 質点* | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | | |
| | | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | | |
| | | | | | 燃料集合体 | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち EW 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-5　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（炉内構造物系，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.(m) | 質点* | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | | |
| | | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | | |
| | | | | | 燃料集合体 | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち NS 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-6　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（炉内構造物系，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.(m) | 質点* | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | | |
| | | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち UD 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-7　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（原子炉建屋，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P. (m) | 質点* | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 10 | |
| | | | | | | 20 | |
| | | | | | 41.200 | 11 | |
| | | | | | | 21 | |
| | | | | | 33.200 | 1 | |
| | | | | | | 12 | |
| | | | | | | 15 | |
| | | | | | | 22 | |
| | | | | | | 27 | |
| | | | | | 22.500 | 2 | |
| | | | | | | 6 | |
| | | | | | | 13 | |
| | | | | | | 16 | |
| | | | | | | 23 | |
| | | | | | | 28 | |
| | | | | | 15.000 | 3 | |
| | | | | | | 7 | |
| | | | | | | 14 | |
| | | | | | | 17 | |
| | | | | | | 24 | |
| | | | | | | 29 | |
| | | | | | 6.000 | 4 | |
| | | | | | | 8 | |
| | | | | | | 18 | |
| | | | | | | 25 | |
| | | | | | | 30 | |
| | | | | | -0.800 | 5 | |
| | | | | | | 9 | |
| | | | | | | 19 | |
| | | | | | | 26 | |
| | | | | | | 31 | |
| | | | | | -8.100 | 32 | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち EW 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：設備を有する質点の回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-8　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（原子炉建屋，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 6 | |
| | | | | | | 18 | |
| | | | | | 41.200 | 7 | |
| | | | | | | 19 | |
| | | | | | 33.200 | 1 | |
| | | | | | | 8 | |
| | | | | | | 13 | |
| | | | | | | 20 | |
| | | | | | | 25 | |
| | | | | | 22.500 | 2 | |
| | | | | | | 9 | |
| | | | | | | 14 | |
| | | | | | | 21 | |
| | | | | | | 26 | |
| | | | | | 15.000 | 3 | |
| | | | | | | 10 | |
| | | | | | | 15 | |
| | | | | | | 22 | |
| | | | | | | 27 | |
| | | | | | 6.000 | 4 | |
| | | | | | | 11 | |
| | | | | | | 16 | |
| | | | | | | 23 | |
| | | | | | | 28 | |
| | | | | | -0.800 | 5 | |
| | | | | | | 12 | |
| | | | | | | 17 | |
| | | | | | | 24 | |
| | | | | | | 29 | |
| | | | | | -8.100 | 30 | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち NS 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-9　基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果（原子炉建屋，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.（m） | 質点* | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1+1/3Ｓｄ－Ｄ1×5回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 48.725 | 4 | |
| | | | | | 41.200 | 5 | |
| | | | | | 33.200 | 6 | |
| | | | | | 22.500 | 7 | |
| | | | | | 15.000 | 8 | |
| | | | | | 6.000 | 9 | |
| | | | | | -0.800 | 10 | |
| | | | | | -8.100 | 11 | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデルにおける基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数算出結果のうち UD 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙７　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

別表 7-1　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（大型機器系，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.(m) | 質点＊ | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | | |
| | | | | | 原子炉本体の基礎 | | | |
| | | | | | 原子炉しゃへい壁 | | | |
| | | | | | 原子炉格納容器 | | | |
| | | | | | 所員用エアロック | | | |
| | | | | | ベント管 | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち EW 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-2　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（大型機器系，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数（%） | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.（m） | 質点* | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | | |
| | | | | | 原子炉本体の基礎 | | | |
| | | | | | 原子炉しゃへい壁 | | | |
| | | | | | 原子炉格納容器 | | | |
| | | | | | 所員用エアロック | | | |
| | | | | | ベント管 | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち NS 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 7-2

別表 7-3　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（大型機器系，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数（%） | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.（m） | 質点* | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | | |
| | | | | | 原子炉本体の基礎 | | | |
| | | | | | 原子炉しゃへい壁 | | | |
| | | | | | 原子炉格納容器 | | | |

注：下線部は，大型機器系地震応答解析モデルにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち UD 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-4　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（炉内構造物系，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数（%） | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.（m） | 質点* | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | | |
| | | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | | |
| | | | | | 燃料集合体 | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち EW 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-5　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（炉内構造物系，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数（%） | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.（m） | 質点* | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | | |
| | | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | | |
| | | | | | 燃料集合体 | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち NS 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-6　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（炉内構造物系，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数（%） | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.（m） | 質点* | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | | |
| | | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | | |

注：下線部は，炉内構造物系地震応答解析モデルにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち UD 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-7　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（原子炉建屋，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 10 | |
| | | | | | | 20 | |
| | | | | | 41.200 | 11 | |
| | | | | | | 21 | |
| | | | | | 33.200 | 1 | |
| | | | | | | 12 | |
| | | | | | | 15 | |
| | | | | | | 22 | |
| | | | | | | 27 | |
| | | | | | 22.500 | 2 | |
| | | | | | | 6 | |
| | | | | | | 13 | |
| | | | | | | 16 | |
| | | | | | | 23 | |
| | | | | | | 28 | |
| | | | | | 15.000 | 3 | |
| | | | | | | 7 | |
| | | | | | | 14 | |
| | | | | | | 17 | |
| | | | | | | 24 | |
| | | | | | | 29 | |
| | | | | | 6.000 | 4 | |
| | | | | | | 8 | |
| | | | | | | 18 | |
| | | | | | | 25 | |
| | | | | | | 30 | |
| | | | | | -0.800 | 5 | |
| | | | | | | 9 | |
| | | | | | | 19 | |
| | | | | | | 26 | |
| | | | | | | 31 | |
| | | | | | -8.100 | 32 | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち EW 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-8　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（原子炉建屋，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 6 | |
| | | | | | | 18 | |
| | | | | | 41.200 | 7 | |
| | | | | | | 19 | |
| | | | | | 33.200 | 1 | |
| | | | | | | 8 | |
| | | | | | | 13 | |
| | | | | | | 20 | |
| | | | | | | 25 | |
| | | | | | 22.500 | 2 | |
| | | | | | | 9 | |
| | | | | | | 14 | |
| | | | | | | 21 | |
| | | | | | | 26 | |
| | | | | | 15.000 | 3 | |
| | | | | | | 10 | |
| | | | | | | 15 | |
| | | | | | | 22 | |
| | | | | | | 27 | |
| | | | | | 6.000 | 4 | |
| | | | | | | 11 | |
| | | | | | | 16 | |
| | | | | | | 23 | |
| | | | | | | 28 | |
| | | | | | -0.800 | 5 | |
| | | | | | | 12 | |
| | | | | | | 17 | |
| | | | | | | 24 | |
| | | | | | | 29 | |
| | | | | | -8.100 | 30 | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち NS 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-9　弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果

（原子炉建屋，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｄ－Ｄ 1×2 回 | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 4 | |
| | | | | | 41.200 | 5 | |
| | | | | | 33.200 | 6 | |
| | | | | | 22.500 | 7 | |
| | | | | | 15.000 | 8 | |
| | | | | | 6.000 | 9 | |
| | | | | | -0.800 | 10 | |
| | | | | | -8.100 | 11 | |

注：下線部は，原子炉建屋地震応答解析モデにおける弾性設計用地震動Ｓｄに対する等価繰返し回数算出結果のうち UD 方向の中で最大の等価繰返し回数を表す

注記＊：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

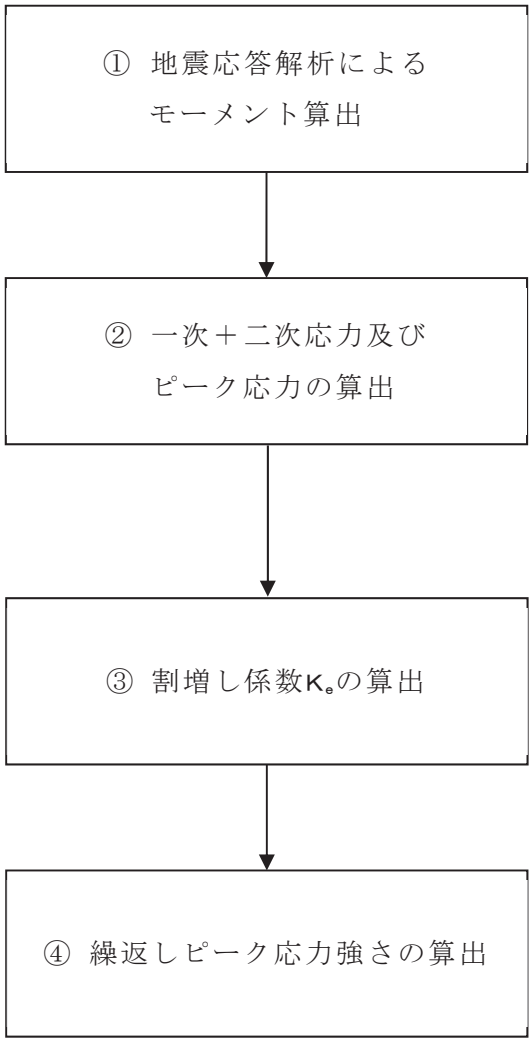
別紙 8　ピーク応力の算出方法

1.　はじめに

本資料では，疲労評価に用いる地震時のピーク応力の算出方法について，クラス 1 管のうち原子炉冷却材浄化系配管(配管解析モデル CUW-001)を代表設備として説明する。

2.　ピーク応力の算出方法

2.1　ピーク応力の算出フロー




別図 8-1 地震時のピーク応力算出フロー

2.1　ピーク応力の算出方法

① 地震応答解析によるモーメント算出

CUW-001 の地震応答解析(3 次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析)を実施し，CUW-001 に生じるモーメントを算出する。この地震応答解析から得られたモーメントを別表 8-１に示す。

別表 8-1 地震応答解析から得られたモーメント　　(N・mm)

| | $M_X$* | $M_Y$* | $M_Z$* |
|---|---|---|---|
| 慣性力 | [redacted] | | |
| 相対変位 | | | |

注記＊：添え字のＸは EW 方向，Ｙは UD 方向及びＺは NS 方向を示す

② 一次＋二次応力及びピーク応力の算出

別表 8-１に示すモーメントにより算出した一次＋二次応力$S_n$及びピーク応力$S_p$は以下による。（ＪＥＡＧ４６０１-1987(6.6.2-22)，(6.6.2-25)）

$$S_n = \frac{C_2 \cdot M_{iS}}{Z_i}$$

$$= \boxed{\phantom{xxxxxxxx}}$$

$$= \boxed{\phantom{x}}\ (\mathrm{MPa})$$

$$S_p = \frac{K_2 \cdot C_2 \times M_{iS}}{Z_i}$$

$$= \boxed{\phantom{xxxxxxxxxxxx}}$$

$$= \boxed{\phantom{x}}\ (\mathrm{MPa})$$

一次＋二次応力及びピーク応力の算出で用いている記号は以下の通り。

$S_n$　：一次＋二次応力(MPa)

$S_p$　：ピーク応力(MPa)

$K_2$, $C_2$　：応力係数（ＪＳＭＥ設計・建設規格(2005/2007)PPB-3812.4)

$M_{iS}$　:別表8-１より生じるモーメントの全振幅(各方向のモーメントの SRSS)(N･mm)

$Z_i$　：管の断面係数($mm^3$)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ 割増し係数$K_e$の算出

①にて求めた一次＋二次応力$S_n$が $3S_m$以下のため，ＪＳＭＥ設計・建設規格(2005/2007)PVB-3315(1)の場合に該当し，割増係数$K_e$の算出は不要となる。なお，$S_n$が$3S_m$以上となる場合は，ＪＳＭＥ設計・建設規格(2005/2007)PVB-3315(2)の場合に該当するため，規格に基づき割増し係数$K_e$を算出する。

④ 繰返しピーク応力強さの算出

繰返しピーク応力強さ$S_l$は，以下の通りになる。（ＪＳＭＥ設計・建設規格(2005/2007)PVB-81）

$$S_l = \frac{S_p}{2} = \boxed{\phantom{000}} \text{(MPa)}$$

縦弾性係数Ｅによる温度補正を行い繰返しピーク応力強さ$S_l$’は以下となる。

$$S_l' = \boxed{\phantom{000000000}} \text{(MPa)}$$

繰返しピーク応力強さの算出で用いている記号は以下の通り。

なお，上記で使用している記号は以下の通り。

| | |
|---|---|
| $S_l$ | ：繰返しピーク応力（温度補正前）(MPa) |
| $S_l$’ | ：繰返しピーク応力（温度補正後）(MPa) |
| E | ：縦弾性係数(MPa) |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 9　疲労評価の対象設備及び部位毎のピーク応力

別表 9-1 疲労評価の対象設備及び部位毎の繰返しピーク応力（温度補正後）

| 設備名称 | 評価部位 | ピーク応力(MPa)<br>（水平 2 方向考慮なし） | ピーク応力(MPa)<br>（水平 2 方向考慮あり） |
|---|---|---|---|
| 一律の等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備 | | | |
| 下部鏡板 | 下部鏡板 | 229 | 325 |
| 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔 | ハウジング | 154 | 218 |
| | スタブチューブ | 267 | 378 |
| | 下部鏡板<br>リガメント | 6 | 9 |
| 再循環水出口ノズル（N1） | ノズルセーフエンド | － | 282 |
| | 溶接部 | － | 177 |
| | ノズルエンド | － | 278 |
| 再循環水入口ノズル（N2） | ノズルセーフエンド | － | 993 |
| | サーマルスリーブ | － | 376 |
| | ノズルエンド | － | 252 |
| 主蒸気出口ノズル（N3） | ノズルセーフエンド | － | 224 |
| | 溶接部 | － | 173 |
| | ノズルエンド | － | 262 |
| 給水ノズル（N4） | ノズルセーフエンド | － | 490 |
| | ノズルエンド | － | 258 |
| | サーマルスリーブ | － | 46 |
| 低圧炉心スプレイノズル（N5） | ノズルセーフエンド | － | 538 |
| | サーマルスリーブ | － | 174 |
| | ノズルエンド | － | 236 |

| 設備名称 | 評価部位 | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮なし) | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮あり) |
|---|---|---|---|
| 低圧注水ノズル（N6） | ノズルセーフエンド | － | 803 |
| | サーマルスリーブ | － | 45 |
| | ノズルエンド | － | 252 |
| 上蓋スプレイノズル（N7） | フランジ部 | － | 112 |
| | ノズルエンド | － | 537 |
| ベントノズル（N8） | フランジ部 | － | 119 |
| | ノズルエンド | － | 567 |
| ジェットポンプ計測管貫通部ノズル（N9） | ジェットポンプ計測管貫通部シール | － | 203 |
| | 溶接部 | － | 142 |
| | ノズルエンド | － | 328 |
| 差圧検出・ほう酸水注入ノズル（N11） | 肉盛部 | － | 63 |
| | ノズル | － | 275 |
| 計装ノズル（N12） | ノズルセーフエンド | － | 147 |
| | 溶接部近傍 | － | 143 |
| | ノズルエンド | － | 634 |
| 計装ノズル（N13） | ノズルセーフエンド | － | 147 |
| | 溶接部近傍 | － | 143 |
| | ノズルエンド | － | 634 |
| 計装ノズル（N14） | ノズルセーフエンド | － | 171 |
| | 溶接部近傍 | － | 35 |
| | ノズルエンド | － | 251 |
| ドレンノズル（N15） | ノズルエンド | － | 243 |
| | 肉盛部 | － | 200 |

| 設備名称 | 評価部位 | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮なし) | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮あり) |
|---|---|---|---|
| 高圧炉心スプレイ<br>ノズル (N16) | ノズルセーフ<br>エンド | － | 538 |
| | サーマル<br>スリーブ | － | 174 |
| | ノズルエンド | － | 236 |
| 原子炉圧力容器<br>支持スカート | スカート | 341 | 668 |
| 制御棒駆動機構 | フランジ | | －*1 |
| 原子炉格納容器<br>シヤラグ | 原子炉格納容器<br>シヤラグ取付部 | | －*2 |
| ベント管 | ベント管<br>(一般部以外) | － | |
| ダウンカマ | ダウンカマ<br>(一般部以外) | － | |
| ベントヘッダ | ベントヘッダ<br>(一般部以外) | － | |
| 燃料プール冷却浄化<br>系配管(FPC-002) | 配管本体 | － | 281 |
| 燃料プール冷却浄化<br>系配管(FPC-003) | 配管本体 | － | 281 |
| 燃料プール代替注水<br>系配管(FPC-014) | 配管本体 | － | 690 |
| 残留熱除去系配管<br>(RHR-004) | 配管本体 | － | 357 |
| 残留熱除去系配管<br>(RHR-010) | 配管本体 | － | 739 |
| 低圧炉心スプレイ系<br>配管(LPCS-001) | 配管本体 | － | 562 |
| 原子炉冷却材浄化系<br>配管(CUW-001) | 配管本体 | － | 315 |
| ほう酸水注入系配管<br>(SLC-003) | 配管本体 | － | 120 |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| 設備名称 | 評価部位 | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮なし) | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮あり) |
|---|---|---|---|
| 制御棒駆動水圧系<br>配管(CRD-003-3) | 配管本体 | － | 767 |
| 制御棒駆動水圧系<br>配管(CRD-007-3) | 配管本体 | － | 742 |
| 制御棒駆動水圧系<br>配管(CRD-017-3) | 配管本体 | － | 1107 |
| 個別に設定する等価繰返し回数を用いる疲労評価対象設備 | | | |
| 燃料プール冷却浄化<br>系熱交換器 | 胴板 | | －*3 |
| 残留熱除去系<br>熱交換器 | 胴板 | | －*3 |
| 原子炉補機冷却水系<br>熱交換器 | 胴板 | | －*3 |
| 原子炉再循環系配管<br>(PLR-001) | 配管本体 | － | 534 |
| 原子炉再循環系配管<br>(PLR-002) | 配管本体 | － | 687 |
| 主蒸気系配管<br>(MS-001) | 配管本体 | － | 798 |
| 主蒸気系配管<br>(MS-002) | 配管本体 | － | 647 |
| 主蒸気系配管<br>(MS-003) | 配管本体 | － | 693 |
| 主蒸気系配管<br>(MS-004) | 配管本体 | － | 1004 |
| 復水給水系配管<br>(FDW-001) | 配管本体 | － | 171 |
| 残留熱除去系配管<br>(RHR-001) | 配管本体 | － | 527 |
| 残留熱除去系配管<br>(RHR-002) | 配管本体 | － | 481 |
| 残留熱除去系配管<br>(RHR-003) | 配管本体 | － | 914 |



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| 設備名称 | 評価部位 | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮なし) | ピーク応力(MPa)<br>(水平2方向考慮あり) |
|---|---|---|---|
| 残留熱除去系配管<br>(RHR-005) | 配管本体 | － | 849 |
| 高圧炉心スプレイ系<br>配管(HPCS-001) | 配管本体 | － | 563 |
| 原子炉格納容器フィルタベント系配管<br>(FCVS-003) | 配管本体 | － | 1040 |
| 原子炉格納容器フィルタベント系配管<br>(FCVS-004) | 配管本体 | － | 1165 |
| 可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-006) | 配管本体 | － | 1205 |
| 非常用ディーゼル発電設備配管<br>(DGDO-B008) | 配管本体 | － | 696 |

注:補足説明資料「600-5 水平2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参照。

注記＊1：評価部位は円形の一様断面であることから，水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって，水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。

＊2：水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから，水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向ごとにその地震荷重は分担される。したがって，水平2方向入力の影響は軽微である。

＊3:水平2方向が同時に作用した場合においても,強軸と弱軸の関係が明確であり,斜め方向に変形するのではなく,支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため,最大応力発生部位は変わらない。したがって，水平2方向入力の影響は軽微である。

別紙 10　疲労累積係数の評価基準値に対する東北地方太平洋沖地震等の影響

1.　はじめに

女川原子力発電所第 2 号機については，東北地方太平洋沖地震等に対する地震後の設備健全性確認を行い,地震による設備への疲労影響が十分に小さいことを確認している。なお，今回工認において設備の疲労評価を実施する場合には，地震を受けたことを踏まえ，疲労累積係数の評価結果が評価基準値に対して余裕があることに留意することとしている。本資料では，その留意事項の考え方を整理する。

2.　東北地方太平洋沖地震等に対する疲労影響の評価結果

疲労影響が大きいと考えられる配管等を対象設備として，東北地方太平洋沖地震（以下「3.11 地震」という。）及び 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震（以下「4.7 地震」という。）に対する疲労評価の結果（疲労累積係数）*を別表 10-1 に示す。なお，疲労評価の対象配管は，既往の評価において運転状態による疲労累積係数が最大の配管（復水給水系配管），地震による疲労累積係数が最大の配管（残留熱除去系配管），疲労影響が想定される建屋間渡り配管（原子炉補機冷却海水系配管）を代表として評価する。また，疲労評価の対象機器は，疲労評価が要求されるクラス 1 機器の原子炉圧力容器として既工認で疲労累積係数が最大の給水ノズルを代表として評価する。加えて，構造強度評価において，疲労評価を実施するベント管ベローズについても評価する。

3.11 地震及び 4.7 地震による疲労累積係数の合計値は，いずれの設備に対しても十分に小さく，最大でも 0.01 にも満たない結果である。これは，疲労累積係数の評価基準値となる 1.0 に対しても 1%にも満たない。

注記＊：補足説明資料「600-38 東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた機器・配管系の耐震設計への反映事項について」参照

別表 10-1　3.11 地震及び 4.7 地震による疲労累積係数

| 対象設備 | 評価用地震動 | 地震による疲労累積係数[-] | 合計[-] |
|---|---|---|---|
| 復水給水系配管 | 3.11 地震 | 0.0001 | 0.0002 |
| | 4.7 地震 | 0.0001 | |
| 残留熱除去系配管 | 3.11 地震 | 0.0027 | 0.0036 |
| | 4.7 地震 | 0.0009 | |
| 原子炉補機冷却海水系配管 | 3.11 地震 | 0.0008 | 0.0014 |
| | 4.7 地震 | 0.0006 | |
| 給水ノズル | 3.11 地震 | 0.0002 | 0.0019 |
| | 4.7 地震 | 0.0017 | |
| ベント管ベローズ | 3.11 地震 | 0.0002 | 0.0004 |
| | 4.7 地震 | 0.0002 | |

3.　疲労評価における留意事項

上記 2 のとおり，3.11 地震及び 4.7 地震に対する設備の疲労影響は十分に小さいことを確認した。

今回工認では，機器・配管系の疲労評価を実施する場合の配慮として，疲労累積係数の評価結果が評価基準値 1.0 に近接する場合（判断目安は 0.99）には，3.11 地震及び 4.7 地震の影響も考慮した詳細評価（等価繰返し回数の個別設定又は耐震性向上対策による耐震性の確保）を実施する。

なお，3.11 地震及び 4.7 地震以外にも宮城県沖地震等が発生しているものの，これらの地震規模が 3.11 地震及び 4.7 地震よりも十分に小さいため，疲労評価に対する影響は軽微と考える。

# 別紙 11　等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方

## 1．はじめに

今回工認の基準地震動Ｓｓの等価繰返し回数の算出に用いる地震動は，基準地震動Ｓｓに加え，弾性設計用地震動Ｓｄを 1/3 倍した地震動 5 回分を追加している。本資料ではこの考え方を示す。

## 2．米国における等価繰返し回数の考え方について

米国における等価繰返し回数設定に係る基準要求を別紙 11 別添１に示す。別紙 11 別添１に示す通り，ＮＵＲＥＧ－0800 に定められた Standard Review Plan3.7.3 Rev.4 では，プラント供用期間中に，SSE*1 地震 1 回＋OBE*2 地震 5 回を想定した疲労評価を行うよう要求がある。その際の繰返し回数としては各々の地震イベントで最低 10 回を考慮するよう要求がある(OBE 地震が SSE 地震の 1/3 以下に設定される場合は，OBE 地震による設計評価は不要となるが，OBE 地震による疲労評価は実施する必要がある。その場合，プラント供用期間中に想定される地震として SSE 地震 2 回を考慮する。これは SSE 地震 1 回＋OBE 地震 5 回と等価である。SSE 地震 1 回で最大振幅が 10 回繰り返すものとする）。

注記＊1：SSE（Safe-shutdown earthquake ground motion）は，その事象の発生時及び発生後において，原子力プラントが安全停止状態を達成し，維持することが可能とする地震レベル。安全設計に係る SSC(建屋，システム，機器）は SSE により機能喪失が生じないよう設計することが求められる。

＊2：OBE(Operating basis earthquake ground motion）は，プラント運転中に起こりうる地震レベル。OBE 地震を超過する地震発生時には，プラント停止要求がある。

## 3．今回工認の等価繰返し回数の算出に用いる地震動について

今回工認における等価繰返し回数の保守性の確保にあたり，基準地震動Ｓｓに対して地震動を追加する。ここで追加する地震動として，2．の考え方を参考に OBE 地震相当の地震動 5 回分を考える。

OBE 地震に相当する地震動は，ＪＥＡＧ４６０１・補-1984 にある地震動$S_0$(地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動)が相当すると考えられる(別紙 11 別添 2 参照)。ＪＥＡＧ４６０１・補-1984 においては，この地震動$S_0$は$S_1$地震動の 1/3 倍程度の大きさとされていることから，$S_1$地震動を弾性設計用地震動Ｓｄに読替え弾性設計用地震動Ｓｄを 1/3 倍した地震動を用いる。なお，別表 11-1 の通り，弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 倍の加速度は，原子炉非常停止信号である地震加速度大設定値に対して鉛直方向でほぼ同等，水平方向でやや小さい。ここで，女川原子力発電所における地震スクラム実績及びスクラム信号の入力方向を別表 11-2 に示す。別表 11-2 の通りスクラム

信号の入力方向が鉛直方向となることが多いこと及び前述の通り地震加速度大設定値と弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 倍の加速度の鉛直方向が同等であることを踏まえると，弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 倍の地震動は，プラント停止要求のある OBE 地震相当と考えて問題ないと考える。

別表 11-1 地震加速度大設定値及び弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 の比較

| 地震加速度検出器設置位置 | 地震加速度大設定値(gal) | | (1/3) ×Ｓｄ 最大応答加速度(gal) | |
|---|---|---|---|---|
| | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 |
| 原子炉建屋 0.P.-8.100(m) | 200 | 100 | 131* | 108* |

注記＊：添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」における弾性設計用地震動Ｓｄに対する原子炉建屋 0.P.-8.100(m)の設計用最大応答加速度を 1/3 倍した値

別表 11-2 地震加速度大による地震スクラム実績

| 日付 | 方向 |
|---|---|
| 2003 年 5 月 26 日 | 鉛直 |
| 2005 年 8 月 16 日 | 鉛直 |
| 2011 年 3 月 11 日 | 水平 |
| 2011 年 4 月 7 日 | 鉛直 |

以上より，米国ＳＲＰの考え方(SSE 地震：1 回分＋OBE 地震 5 回分を考慮して疲労評価）を参考として，基準地震動Ｓｓ1 回分に対し，弾性設計用地震動Ｓｄの 1/3 倍の地震動 5 回分を考慮した地震動を用いて，等価繰返し回数を設定する。

# 等価繰返し回数に係る米国基準の整理

| 米国基準 | 地震発生回数及び応力振幅回数に関する考え方 | |
|---|---|---|
| | 要求 | 解釈 |
| 10CFR50 Appendix S<br>米国連邦法であり，行政法の一つ。<br>10CFR は,エネルギー行政に係る事項を定めている。 | ①SSE 地震は，その事象の発生時ならび発生後において，原子力プラントが安全停止に係るＳＳＣｓ（建屋，システム，機器）は SSE により機能喪失が生じないよう設計すること。<br><br>②OBE 地震は，プラント運転中に起こりうる地震レベル。OBE 地震を超過する地震事象の発生時には，プラント停止要求がある。 | ・SSE 地震，OBE 地震が定義されているが，その発生回数の規定はない。<br>・OBE 地震では，プラントは運転継続する。（②） |
| SRP3.7.3<br>ＮＵＲＥＧ-0800 によって定められる，NRC 許認可活動における審査方針を示したもの。<br>当該章は，機器設計について定める章。 | ①プラント供用期間中，少なくとも“SSE 地震 1 イベント+OBE 地震 5 イベント”の発生を想定する規定がある。地震 1 イベント当たり最低 10 回の応力振幅を考慮する。 | ・地震事象として SSE 地震 1 回と，OBE 地震 5 回を考慮した疲労評価の実施要求がある。（①） |
| ASME | ①ASME は Design Specification で与えられた設計条件に従い，設計・評価を行う手法を定めた民間規定であることから，地震回数，地震強度に対する要求は無い。<br><br>②一方，Service Level A，B の過渡事象に対する，疲労評価を実施し，疲労累積係数 UF が 1 以下となることを求めている。 | ・OBE 地震は Service Level B に区分される（SRP3.9.3）ことから，他の過渡事象と同列に並べて，疲労評価を実施する。 |

電気技術指針
原 子 力 編

# 原子力発電所耐震設計技術指針

## 重要度分類・許容応力編

JEAG 4601・補-1984

# Ⅳ 地震動$S_0$に対する耐震評価

## 1. 概　　要

発電用原子力設備の耐震$A_s$及びAクラスの機器，配管の耐震設計においては，耐震設計審査指針に規定された基準地震動$S_1$，$S_2$に加え，地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動$S_0$の導入が原子力安全評価特別委員会許容応力分科会にて提案された。なお，本件に関しては，今後とも検討が必要と考えられる。

ここで，地震動$S_0$の大きさとしては，これを上回らない地震動が発生した場合であっても検査することなく運転継続できる値を設定するとしている。

また，地震動$S_0$に対する耐震評価が必要な場合の許容限界としては，これ以下の地震動が発生しても原子炉を停止することなく運転を継続してゆくこととなるので，告示で規定された運転状態Ⅰ，Ⅱに対する許容応力を限度とすることを原則としている。

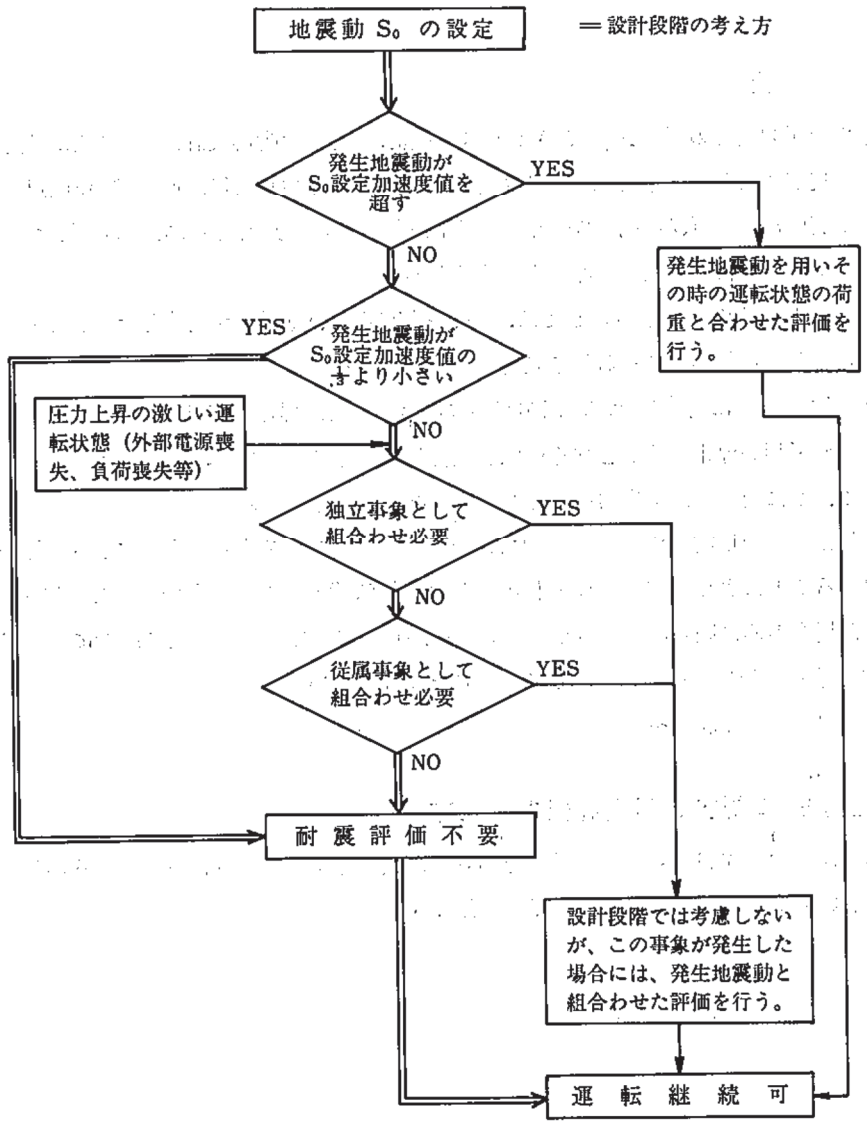
本資料は，この地震動$S_0$についての考え方をまとめたものであり，その大きさを適切な大きさに決めることにより，地震動$S_0$と他の厳しい運転状態の荷重の組合わさった事象が，実際に発生した場合のみに限り評価を行うことをあらかじめ決めておけば，設計段階においての地震動$S_0$に対する評価は原則として不要であることを述べている。

次の２項以降にその詳細を示す。

## 2. 地震動$S_0$に対する耐震評価の考え方

地震動$S_0$については図Ⅳ－１に示すとおりその大きさが次のように決められる場合には設計段階においては耐震評価は原則として不要となる。

図Ⅳ－１　地震動$S_0$に対する検討




(1)　地震動$S_0$の大きさ

地震動$S_0$の加速度値は，建築基準法施行令（昭和34年政令第344号）に示された水平震度（水平震度$C_H$と略記する）に相当する基準地震動の加速度値と設計に用いる同一地点における複数の基準地震動$S_1$のうち最も大きい最大加速度の1/nの値の小さい方の値とする。

nは今後とも検討が必要であるが，3.に示すように現在の耐震設件上の余裕から考えて，n＝3とする。

(2) 理　　由

a．地震動$S_0$の加速度値を水平震度$C_H$に相当する基準地震動の加速度値以下と決めれば従属事象として外部電源喪失，負荷喪失等は一応起りえないと考えられる。

（添付１参照）

b．地震動$S_0$を上記の値より大きい値に決めても水平震度$C_H$相当の地震の発生時には，プラントの安全機能の確認を要求される可能性が大きい。

c．また，地震動$S_0$の加速度値を基準地震動$S_1$の最大加速度値の1/n以下としなければ，地震動$S_0$による応力が最高使用圧力と運転状態（圧力上昇の激しい運転状態を除く）の圧力による応力状態の差の裕度の中に入り，かつ疲労についても余裕があるという3.の説明が成り立たない。

(3) 実際の地震動$S_0$の加速度値の決め方に関する考え方

サイトにおける水平震度$C_H$相当の基準地震動は，50～60gal程度と考えられる。また，最大加速度値が比較的小さいサイトでは基準地震動$S_1$として180 galとなるが，n＝3の場合でも$S_0$＝180/3＝60 galとなる。これから地震動$S_0$の加速度値として全国一律に基準地震動として60gal等を決めておくことが望ましい。

## 3. 耐震$A_s$及びAクラス機器の地震動$S_0$に対する強度の検討

(1) 序

本章では，耐震$A_s$及びAクラス機器に地震動$S_0$による荷重が加わる場合に発生する応力を基準地震動$S_1$，$S_2$による荷重が加わった場合のものと比較検討することにより，地震動$S_0$を基準地震動$S_1$の何分の１かのある程度以下に適切に設定すれば，基準地震動$S_1$，$S_2$に対し耐震設計を行っている機器では地震動$S_0$については設計段階における評価は不要であることを示している。

(2) １次応力について

a．耐圧部の場合

地震動$S_0$は，基準地震動$S_1$若しくは基準地震動$S_2$と異なり，プラント寿命中に，幾度か生じると考えられる地震動であり，したがって，通常運転時に地震動$S_0$が生じた場合の応力は，設計条件の許容応力以下であることが望ましいわけであるが，それでも，地震動$S_0$による応力が常に加わっているわけではない。

一方，最高使用圧力は，耐圧部材にとって，まず第一に考慮しなければならない荷重であり，これによって生じる応力は設計条件の許容応力以下であることが要求される。しかしながら，最高使用圧力が生ずるのは短時間の過渡状態などのごく一時期のみであり，通常運転時の圧力は，最高使用圧力より低い値となっているのがふつうである。

したがって，地震動$S_0$による応力，最高使用圧力による応力，及び通常運転圧力による応力について，次のような二つの組合せを検討すればよいと考えられる。

（ケース１）最高使用圧力による応力　　≦　設計条件の許容応力

（ケース２）通常運転圧力による応力

＋地震動$S_0$による応力　≦　設計条件の許容応力

したがって，次式が満されるならば，地震動$S_0$は考慮しなくてもよいということができる。

最高使用圧力による応力　≧　通常運転圧力による応力

＋地震動$S_0$による応力 …… ①

以下の検討においては，１次一般膜応力によって１次応力を代表させ，また，板厚方向の応力は無視し，円周方向応力$\sigma_t$，軸方向応力$\sigma_l$のみを考え，以下の記号を用いる。

$P_D$ ＝最高使用圧力（kg/㎟）　　R ＝容器の半径（㎜）

$P^*$ ＝通常運転時圧力（kg/㎟）　　t ＝容器の板厚（㎜）

$\sigma_{t1}$＝$P_D$による円周方向応力（kg/㎟）

$\sigma_{t2}$＝$P^*$による円周方向応力（kg/㎟）

$\sigma_{l1}$＝$P_D$による軸方向応力（kg/㎟）

$\sigma_{l2}$＝$P^*$による軸方向応力（kg/㎟）

$\sigma_{l3}$＝地震動$S_0$による軸方向応力（kg/㎟）　　②

(a)　円筒形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと，

$$\sigma_{t1} \geqq \sigma_{l2} + \sigma_{l3} \quad \cdots\cdots ③$$

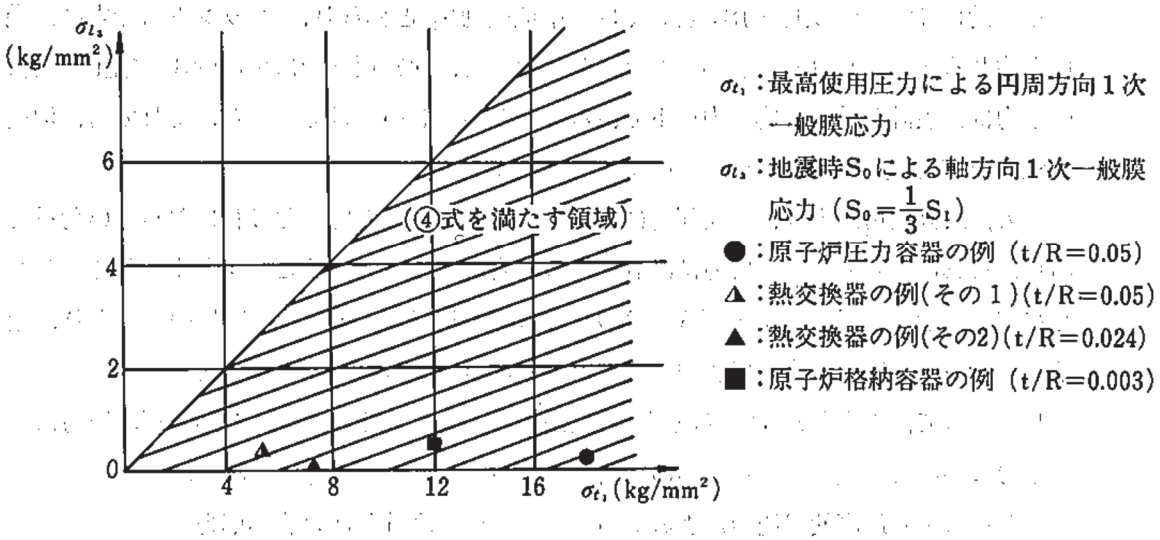
当該容器の１次一般膜応力について③式が満されていれば地震動$S_0$の考慮は不要となる。

さらに，$P_D = P^*$と仮定しても③式において$\sigma_{l2} = 0.5\ \sigma_{t1}$となるので，③式は

$$\sigma_{t1} \geqq 2\ \sigma_{l3} \quad \cdots\cdots ④$$

④式を図Ⅳ－２に示す。

図Ⅳ－２　円筒形の耐圧部について地震動$S_0$考慮の要否を検討する図



図Ⅳ－２には，実際の原子力発電用機器のいくつかの例が示されている。

この例から明らかなように実際には，④式は，十分な余裕をもって満されている。また，薄肉の（t/R の小さな）機器ほど④式に対する制限が厳しい傾向がある。

したがって，あるプラントの耐震$A_s$及びＡクラス機器について地震動$S_0$を設計上考慮しなくてもよいことを示すには，そのプラントの耐震$A_s$及びＡクラス機器のうち，t/Rの小さな順に２，３の機器について，図Ⅳ－２の斜線部にあることを確認すれば十分であると考えられる。

(b) 球形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと，

$$\sigma_{t1} \geqq \sigma_{l2} + \sigma_{l3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑤$$

原子力発電所において，球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合は極めてまれである。したがって，球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合には，その機器について，⑤式の成立をチェックすればよい。

b．非耐圧部の場合

非耐圧部においては耐震設計によって板厚が決定される場合が多い。この場合には，$I_A$と$III_AS$の１次応力の許容値の比率を考えてみる必要がある。 表Ⅳ－１はいくつかの機器の代表的な材料について，この比率を検討したものである。

表Ⅳ－１ 地震動$S_0$に対する許容値（設計条件・$I_A$）と
基準地震動$S_1$に対する許容値（$III_AS$）の比較

| | 材　　質 | $I_A$の１次応力の許容値 ① | $III_AS$の１次応力の許容値 ② | 比　率 ②/① |
|---|---|---|---|---|
| 第１種容器 | ＳＱＶ２Ａ | Pm：Sm＝18.8 | Pm：Min (Sy, $\frac{2}{3}$Su)＝35.0 | 1.86 |
| 第２種容器 | ＳＧＶ 49 | Pm：S　＝13.4 | Pm：Min (Sy, 0.6 Su)＝27.0 | 2.01 |
| 第３種容器 | ＳＴＰＬ 39 | Pm：S　＝ 9.8 | Pm：Min (Sy, 0.6 Su)＝21.0 | 2.14 |
| 第１種支持構造物 | — | $f_t$ | 1.5 $f_t$ | 1.5 |

表Ⅳ－１から明らかなように，基準地震動$S_1$に対する１次応力の許容値は，地震動$S_0$に対する許容値のせいぜい２倍強であるため，基準地震動$S_1$の大きさが地震動$S_0$の大きさの３倍以上であるとすると基準地震動$S_1$が設計に対して支配的である。

(3) 疲労について

a．疲労については，応力値の違いによる許容繰り返し回数の差と共に，地震動そのものの回数の差も考えなければならない。

表Ⅳ－２は，告示の設計疲労線図をもとに作成したものであるが，地震動$S_0$が，基準地震動$S_1$の$\frac{1}{3}$程度であれば，基準地震動$S_1$による応力（これは，１次＋２次＋ピーク応

力値で片振幅40kg／㎟にも達するのは極めてまれなケースである。）に対する許容繰り返し回数は，地震動$S_0$に対する許容繰り返し回数に対し，はるかに支配的なことがわかる。

表Ⅳ－２　基準地震動$S_1$ 地震動$S_0$による応力の許容繰り返し回数の比較
（基準地震動$S_1$：地震動$S_0$＝３：１のとき）

| ケース | | 基準地震動$S_1$ | | 地震動$S_0$ | | $\frac{N_0}{N_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 応力（kg／㎟） | 許容繰返し回数，$N_1$ | 応力（kg／㎟） | 許容繰返し回数，$N_0$ | |
| 炭素鋼 低合金鋼 | 1 | 100 | $2\times10^2$ | 33.3 | $5\times10^3$ | 25 |
| | 2 | 80 | $4\times10^2$ | 36.7 | $9\times10^3$ | 23 |
| | 3 | 60 | $9\times10^2$ | 20 | $2.8\times10^4$ | 31 |
| | 4 | 40 | $2.5\times10^3$ | 13.3 | $10^5$ | 40 |
| オーステナイト系ステンレス鋼 | 5 | 100 | $4\times10^2$ | 33.3 | $2.8\times10^4$ | 70 |
| | 6 | 80 | $8.5\times10^2$ | 26.7 | $8\times10^4$ | 94 |
| | 7 | 60 | $2.2\times10^3$ | 20 | $5\times10^5$ | 227 |
| | 8 | 40 | $1.3\times10^4$ | 13.3 | ∞ | ∞ |

参考（基準地震動$S_1$：地震動$S_0$＝５：１のとき）

| ケース | | 基準地震動$S_1$ | | 地震動$S_0$ | | $\frac{N_0}{N_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 応力（kg／㎟） | 許容繰返し回数，$N_1$ | 応力（kg／㎟） | 許容繰返し回数，$N_0$ | |
| 炭素鋼 低合金鋼 | 1 | 100 | $2\times10^2$ | 20 | $2.8\times10^4$ | 140 |
| | 2 | 80 | $4\times10^2$ | 16 | $7\times10^4$ | 175 |
| | 3 | 60 | $9\times10^2$ | 12 | $2\times10^5$ | 222 |
| | 4 | 40 | $2.5\times10^3$ | 8 | $10^6$ | 400 |
| オーステナイト系ステンレス鋼 | 5 | 100 | $4\times10^2$ | 20 | $5\times10^5$ | 1250 |
| | 6 | 80 | $8.5\times10^2$ | 16 | ∞ | ∞ |
| | 7 | 60 | $2.2\times10^3$ | 12 | ∞ | ∞ |
| | 8 | 40 | $1.3\times10^4$ | 8 | ∞ | ∞ |

注：“∞”は，告示の設計疲労線図では算定できないことを示す。

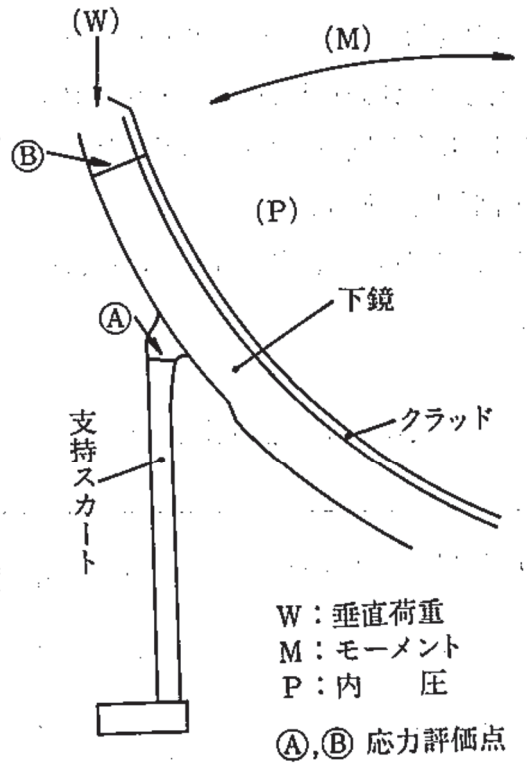
ｂ．地震動$S_0$による荷重と過渡状態の応力との重ね合わせの影響

ａにおいては，地震動$S_0$を単独に考慮した場合について述べたが，ここでは過渡状態と組合せる場合について述べる。

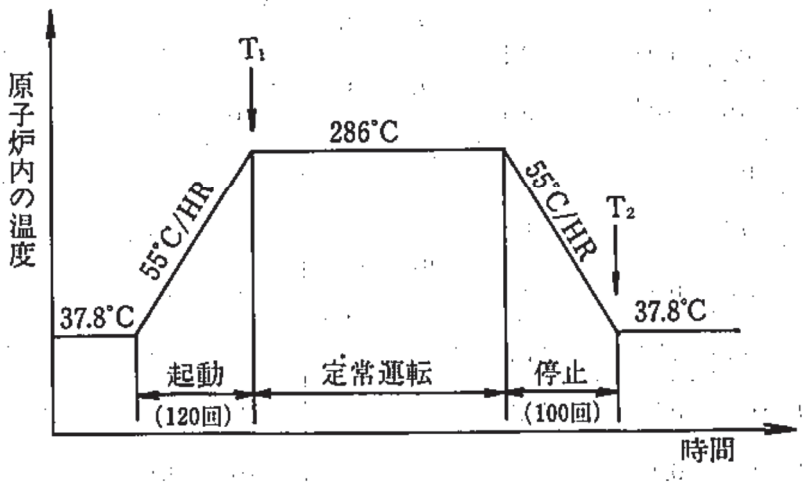
代表例として，原子炉圧力容器スカート部を考える。

図Ⅳ－３にスカート部の図を，図Ⅳ－４に考慮した過渡状態を示す。

図Ⅳ－３　支持スカート及び下鏡




図Ⅳ－４　熱サイクル（$T_1$，$T_2$：熱応力計算をする時間）



表Ⅳ－３に応力計算結果を示す。ただし，表Ⅳ－３の中の③項は，基準地震動$S_1$による応力である。表Ⅳ－３から，過渡状態における応力は，熱応力が支配的であることがわかる。

今，表Ⅳ－３を参考にして，次のようなケースを考える。

(a)　地震を除いた応力変動値…… 0 ～30kg/㎟…… 120 回

(b)　(a)に地震動$S_0$を加えた応力変動値 …… 0 ～31 kg/㎟…… 120 回

ケース(a)に対する許容くり返し回数とケース(b)に対する許容くり返し回数にはほとんど差はなく，共に $5 \times 10^4$回程度である。

したがって，過渡状態と地震動$S_0$を重ね合わせた場合にも，一般には地震動$S_0$の影響は小さいと考えられる。

表Ⅳ－３　応力計算結果

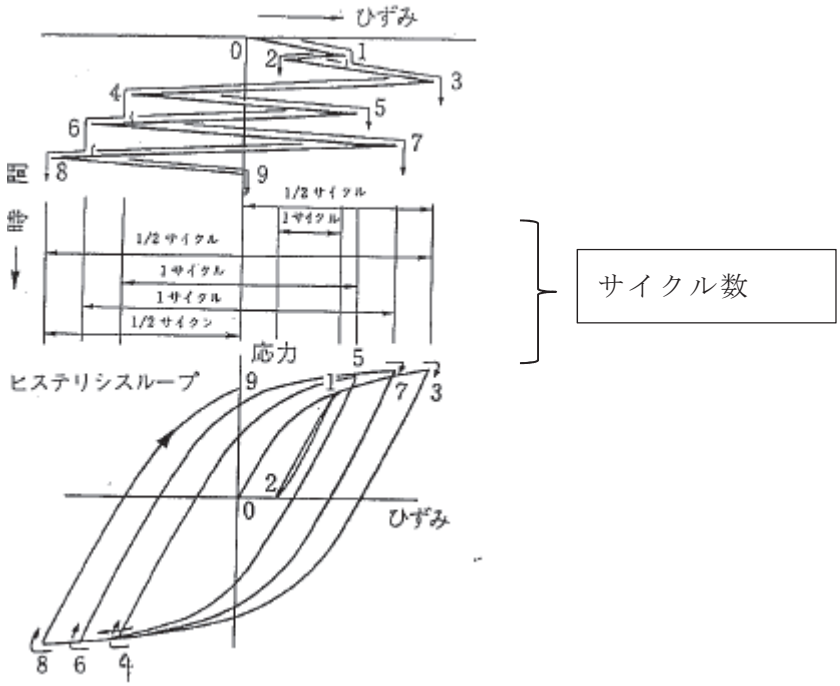
（単位：kg/㎟）

| 応力評価点 | | (注) | 機械的荷重による応力 P | W | M | 合計 | 平均 | 熱荷重による応力 $T_1$ | $T_2$ | （1次＋2次応力）合計 $C_1=T_1+P+W+M$ | $C_2=T_2+W+M$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ① | ② | ③ | ④=①+②+③ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧=④+⑥ | ⑨=②+③+⑦ |
| Ⓐ | 内側 | $\sigma_t$ | 4.0 | −0.2 | −0.6 | 3.2 | $\sigma_t=4.5$ $\sigma_l=-3.9$ $\sigma_r=0.0$ | −0.8 | −3.8 | − 2.4 | − 4.6 |
| | | $\sigma_l$ | −4.3 | −0.8 | −5.0 | − 10.1 | | −28.0 | 11.0 | − 38.1 | 5.2 |
| | | $\sigma_r$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 外側 | $\sigma_t$ | 6.0 | −0.2 | 0.6 | 6.4 | | 17.0 | −9.8 | 23.4 | − 9.4 |
| | | $\sigma_l$ | 4.3 | −0.9 | −1.0 | 2.4 | | 28.0 | −11.0 | 30.4 | − 12.9 |
| | | $\sigma_r$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Ⓑ | 内側 | $\sigma_t$ | 12.1 | −0.1 | −0.2 | 11.8 | $\sigma_t=11.8$ $\sigma_l=11.2$ $\sigma_r=-0.5$ | −2.0 | 2.0 | 9.8 | 1.7 |
| | | $\sigma_l$ | 12.1 | −0.4 | −0.5 | 11.2 | | −2.0 | 2.0 | 9.2 | 1.1 |
| | | $\sigma_r$ | −0.9 | 0.0 | 0.0 | − 0.9 | | 0.0 | 0.0 | − 0.9 | 0.0 |
| | 外側 | $\sigma_t$ | 12.0 | −0.1 | −0.2 | 11.7 | | 2.0 | −2.0 | 13.7 | − 2.3 |
| | | $\sigma_l$ | 12.0 | −0.4 | −0.5 | 11.1 | | 2.0 | −2.0 | 13.1 | − 2.9 |
| | | $\sigma_r$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |

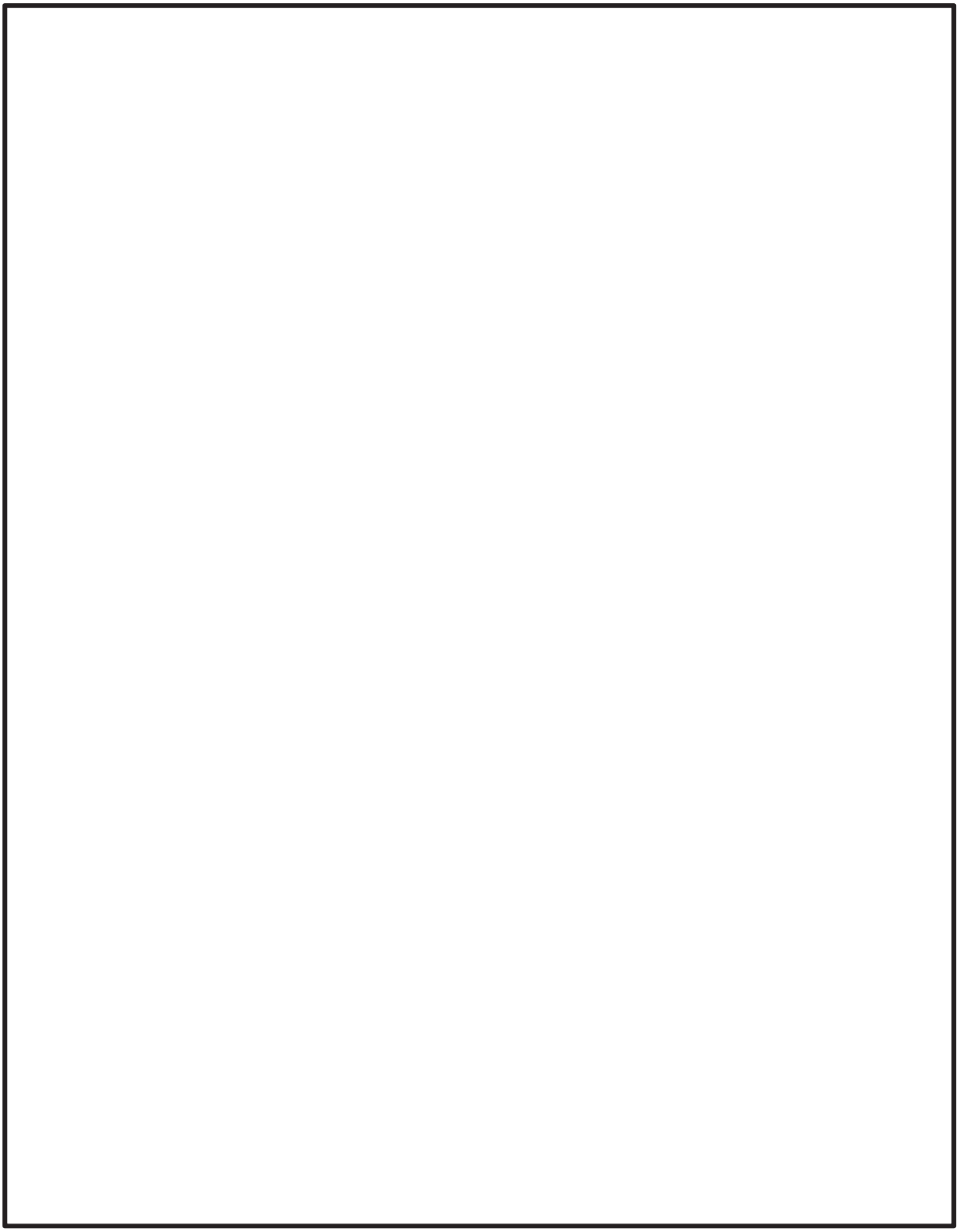
注：$\sigma_t$：円周方向応力
$\sigma_l$：軸方向応力
$\sigma_r$：半径方向応力

別紙 12　ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方

女川原子力発電所第 2 号機のピーク応力法における各ピーク点のサイクル数についてはレインフロー法にて求める。別図 12-1 に示す通り，実際の材料挙動に着目し，片振りとなるピーク点については 0.5，両振りとなるピーク点については 1 と割り当てている。なお，このサイクル数のカウント方法は，疲労設計において，材料の応力-ひずみ挙動との対応が良いことから一般的に用いられている手法である（別紙 12 別添 1 参照。）。




別図 12-1 レインフロー法の概要
（「疲労設計便覧」より参照（別紙 12 別添 1 参照。））



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

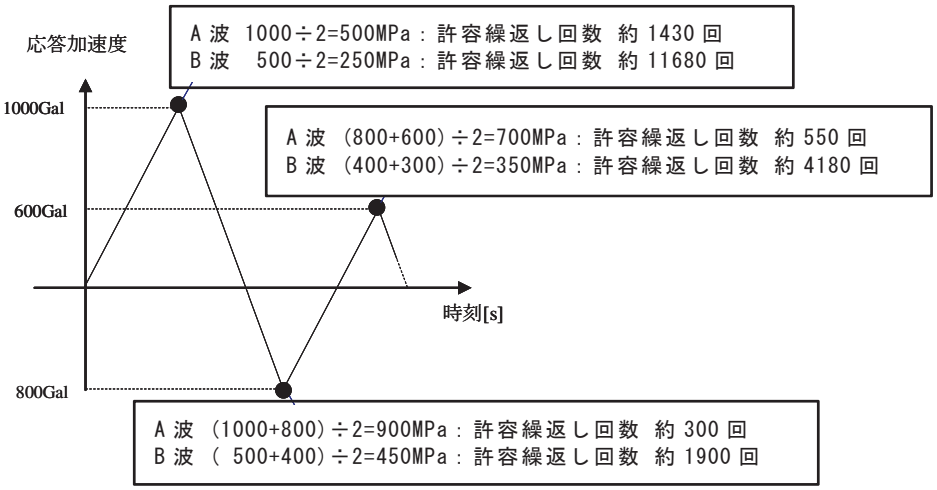
別紙 12-2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 13　ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係

「昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど回数が大きくなる傾向となることが確認されている。本資料ではピーク応力を大きく設定することで，等価繰返し回数が大きく算出され，保守的な設定になることを簡単な例により説明する。

例として，別図 13-1 に示す応答波形を仮定する。

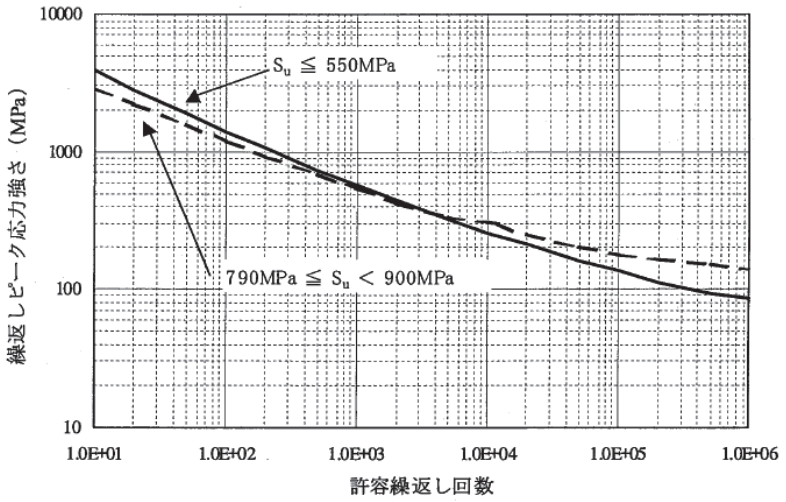



別図 13-1　1 質点系の時刻歴応答波

また，大小 2 つの応答波形について，応答振幅が 2 対 1 の関係であると仮定し，以下に示す最大ピーク応力を仮定し，それぞれの等価繰返し回数を算出する。なお，別図 13-1 の各ピーク応力は 1 質点系の応答波形に線形比例で設定した。

・A 波：地震動に対する最大ピーク応力 900MPa
・B 波：地震動に対する最大ピーク応力 450MPa

各ピークにおける許容繰返し回数は，別図 13-2 に示す炭素鋼の設計疲労線図にて算出し，その結果を別図 13-1 に併せて示す。




（ＪＳＭＥ設計・建設規格より抜粋）

別図 13-2 設計疲労線図

これにより，算出した等価繰返し回数は以下の関係となる。

A 波の地震動の等価繰返し回数：$\left( \frac{0.5}{1430} + \frac{0.5}{300} + \frac{0.5}{550} \right) \times 300 = 0.88$ 回

B 波の地震動の等価繰返し回数：$\left( \frac{0.5}{11680} + \frac{0.5}{1900} + \frac{0.5}{4180} \right) \times 1900 = 0.81$ 回

上記の結果を比較すると，各ピーク応力における許容繰返し回数の差が等価繰返し回数に影響するため，A 波の等価繰返し回数が大きくなることが分かる。その許容繰返し回数の差は，別図 13-2 に示す通り，ピーク応力が小さくなるにつれて，設計疲労線図の勾配が緩やかになっているため，ピーク応力が低減するほど許容繰返し回数の増加の割合が大きくなっていることによるものである。

以上より，ピーク応力を大きく設定することは，等価繰返し回数が大きく算出されるため，保守的な設定であると言える。

# 別紙 14　弾性設計用地震動Ｓｄによる疲労評価の省略

## 1．はじめに

今回工認では，基準地震動Ｓｓ（以下，Ｓｓという。）に対する構造強度評価において，発生応力が弾性設計用地震動Ｓｄ（以下，Ｓｄという。）に対する評価基準値を満足する場合，Ｓｄに対する応力評価を省略すること*としている。また，Ｓｄに対する疲労評価については，Ｓｓに対する疲労評価にＳｄの等価繰返し回数を考慮することで，Ｓｄに対するピーク応力を用いた疲労評価を省略することとしている。

本資料では，上記のうちＳｄに対するピーク応力を用いた疲労評価の省略（Ｓｄによる疲労評価の省略）の考え方及び妥当性について説明するものである。

注記＊：補足説明資料「600-2 耐震評価対象の網羅性，既工認との手法の相違点の整理について」参照

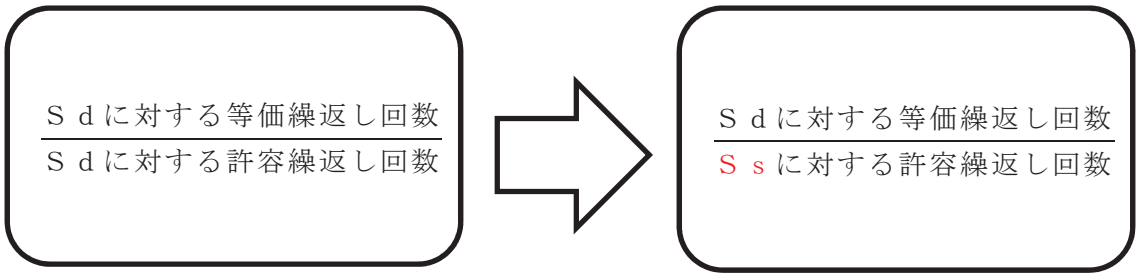
## 2．Ｓｄによる疲労評価省略の考え方及び妥当性

各設備に対する疲労評価は，応力評価から求められるピーク応力とＪＳＭＥ設計・建設規格の設計疲労線図から許容繰返し回数を読み取り，等価繰返し回数と許容繰返し回数の比により地震に対する疲労累積係数を算出する。（下式参照）

$$\text{疲労累積係数}^{*} = \frac{\text{等価繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}} \leq 1.0 \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

注記＊：地震動のみによる疲労評価の例

弾性設計用地震動Ｓｄに対する疲労累積係数については，上記（１）式において分子を「Ｓｄに対する等価繰返し回数」，分母を「Ｓｄに対する許容繰返し回数」とするものであるが，今回工認における「弾性設計用地震動Ｓｄによる疲労評価の省略」においては，分母に「Ｓｓに対する等価繰返し回数」を用いる。（別図 14-1 参照）




（評価式）　　（省略する場合の評価式）

別図 14-1　弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価を省略する場合の疲労累積係数の評価式

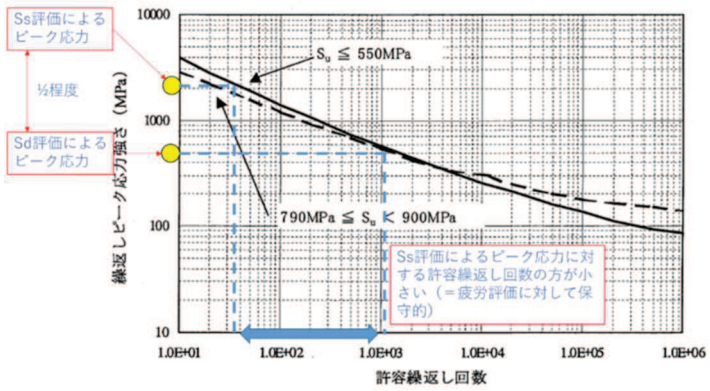
ここで，許容繰返し回数及び等価繰返し回数について，Ｓｓに対する回数とＳｄに対する回数の関係性について，以下の通り整理される。

【等価繰返し回数（分子）】

等価繰返し回数（分子）について，通常の評価式と同様，弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価を省略する場合も「Ｓｄに対する等価繰返し回数」を用いるため，差異はない。

【許容繰返し回数（分母）】

許容繰返し回数（分母）について，「Ｓｓに対する許容繰返し回数」と「Ｓｄに対する許容繰返し回数」を用いる場合では，「Ｓｓに対する許容繰返し回数」の方が小さくなる。これは，許容繰返し回数は設計疲労線図におけるピーク応力と許容繰返し回数の関係によるもので，弾性設計用地震動Ｓｄに比べ基準地震動Ｓｓの地震加速度が大きくピーク応力も大きくなることを踏まえると，別図 14-2 のとおり許容繰返し回数は小さくなるためである。




（ＪＳＭＥ設計・建設規格に加筆）

別図 14-2　　ピーク応力の違いによる許容繰返し回数の関係

弾性設計用地震動Ｓｄの疲労評価を省略する場合，疲労累積係数の評価式（１）の内，分子は変わらず分母が小さくなるため，疲労累積係数は大きくなる。そのため，疲労評価は疲労累積が大きいほど評価が厳しくなり，疲労累積係数が大きくなり，評価が保守的になる。

以上より，今回工認における弾性設計用地震動Ｓｄによる疲労評価の省略は妥当である。

3. Ｓｄに対する疲労評価方法の分類

Ｓｄに対する疲労評価方法は，許容繰返し回数の設定に用いるピーク応力，適用する等価繰返し回数によって，4 ケースに分類される。このうち，Ｓｄによる疲労評価を省略できるのは，ケース 1 及びケース 2 となる。

なお，Ｓｄによる疲労評価が省略可能な場合（ケース 1，ケース 2）であっても，疲労評価する場合（ケース 3，ケース 4）もある。

| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 |
|---|---|---|---|---|
| 許容繰返し回数の設定 | Ｓｓによるピーク応力 | Ｓｓによるピーク応力 | Ｓｄによるピーク応力 | Ｓｄによるピーク応力 |
| 適用する等価繰返し回数 | Ｓｄに対する一律に設定する等価繰返し回数 | Ｓｄに対する個別に設定する等価繰返し回数 | Ｓｄに対する一律に設定する等価繰返し回数 | Ｓｄに対する個別定する等価繰返し回数 |
| Ｓｄによる疲労評価の省略 | ○ | ○ | × | × |

別紙 15　等価繰返し回数算出プログラム

1. はじめに

今回工認における等価繰返し回数算出において使用した計算機プログラム(解析コード）について説明する。

女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数の算出において,「ECN_P」を使用しており，解析コードの概要を以降に記載する。

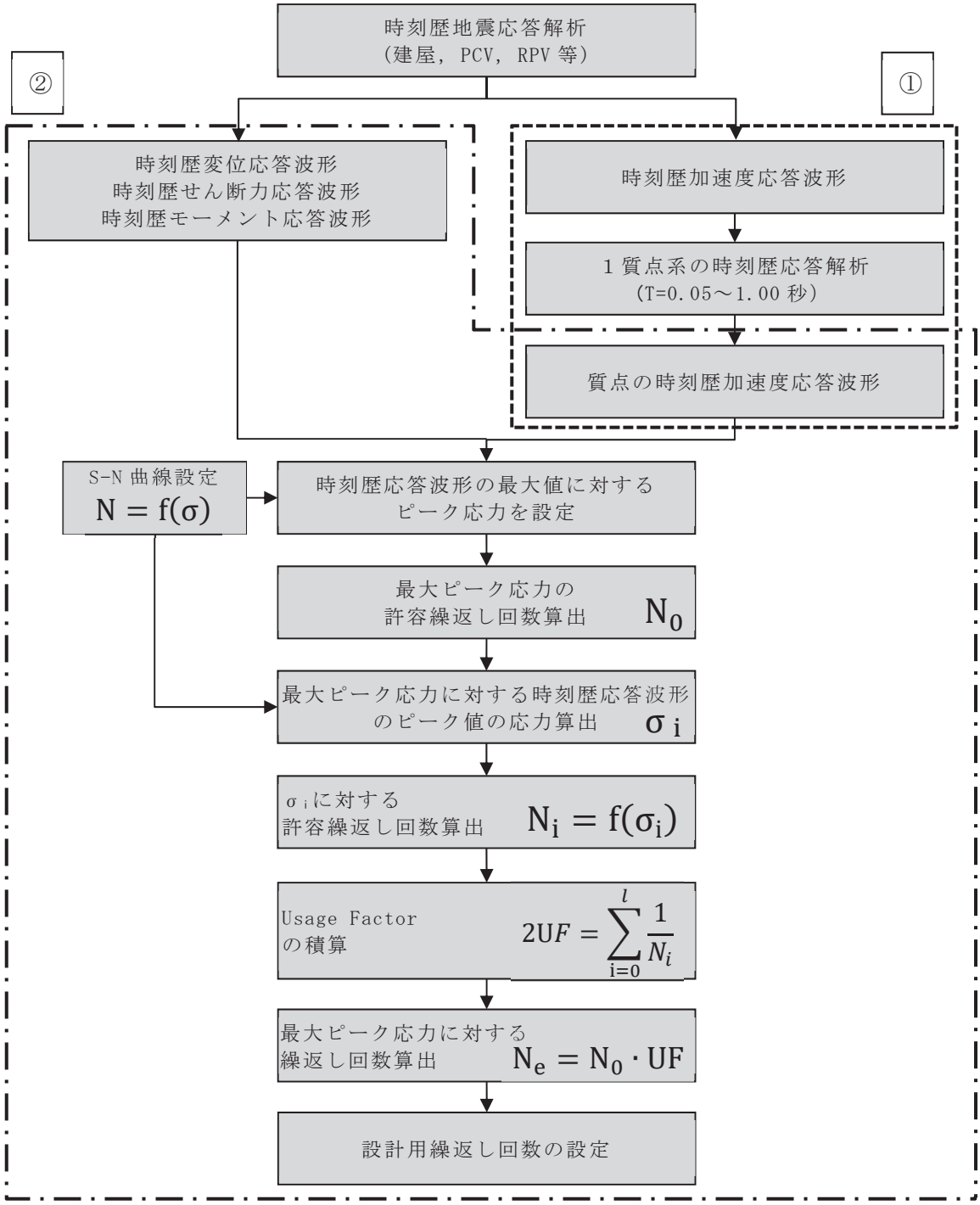
2. 解析コードの概要

| 項目＼コード名 | ECN_P |
|---|---|
| 使用目的 | 地震等価繰返し回数の算出 |
| 開発機関 | 三菱重工業株式会社 |
| 開発時期 | 2013 年 |
| 使用したバージョン | Ver1.04，Ver1.05 |
| コードの概要 | 一般的に疲労評価にて使用されるレインフロー法を用いて時刻歴波形に対する地震等価繰返し回数を算出する解析コードである。また，時刻歴波形より応答スペクトルを計算する機能についても統合したシステムである。 |
| 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation) | 【検証(Verification) 】<br>本解析コードの検証の内容は，以下の通りである。<br>・本解析コードで算出した地震等価繰返し回数と，手計算で計算した値が一致することを確認している。<br>・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にて用いていることを確認している。<br><br>【妥当性確認(Validation) 】<br>本解析コードの妥当性確認内容は，以下の通りである。<br>・算出方法はＪＥＡＧ４６０１－1987 記載の設計用地震等価繰返し回数の設定(ピーク応力法) のフローに従っており，妥当性に問題はない。 |

3. 解析コード(ECN_P) における等価繰返し回数算出機能の検証

3.1 概要

本工事計画認可申請書において使用した解析コード「ECN_P」(以下,「本解析コード」という。) を用いて得られた計算結果の妥当性を確認し,本解析コードの検証を行うものである。本解析コードを用いた,等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法) を別図 15-1 に示す。




別図 15-1　等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法)

3.2 解析コードの検証

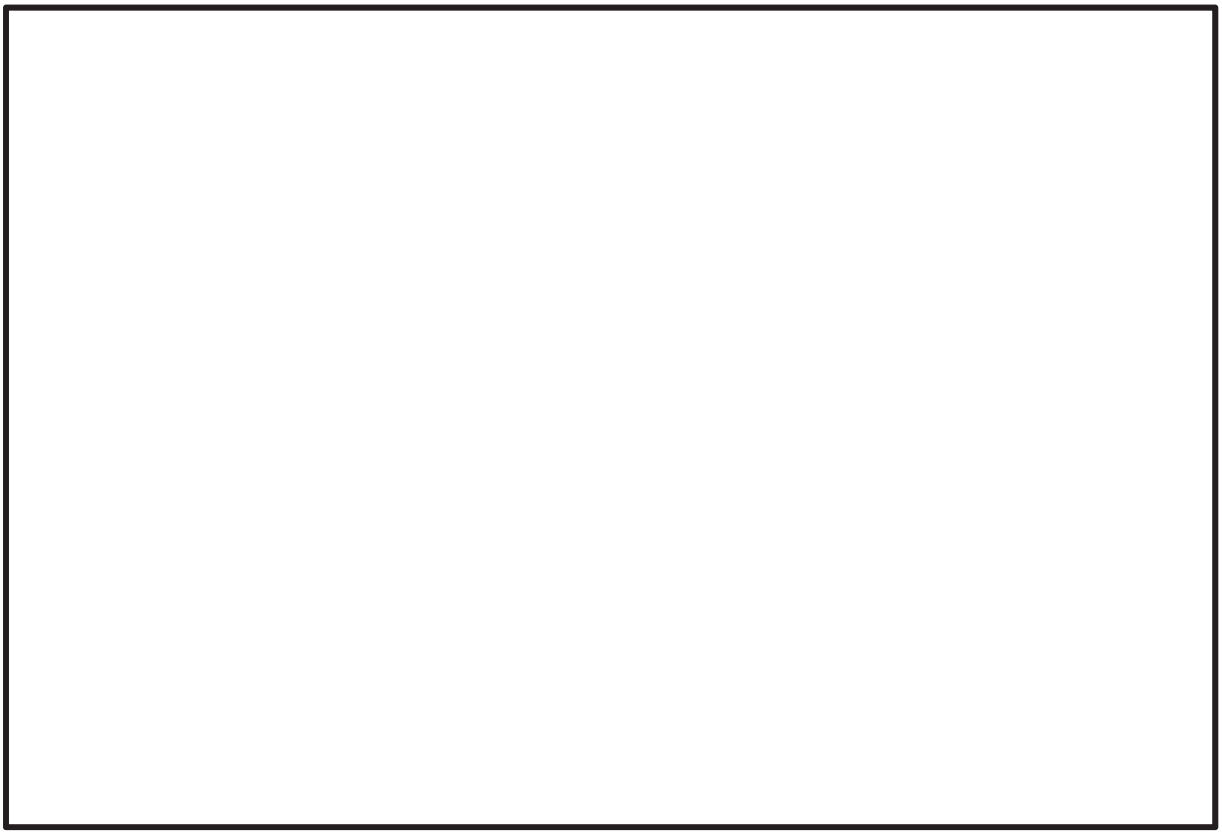
(1) 検証の概要

本解析コードと手計算により算出した等価繰返し回数の比較をすることにより，解析コードの検証を行った。

(2) 検証ケース

別図 15-2 に示す加速度時刻歴データを入力地震動として，本解析コードを用いて等価繰返し回数を計算する。等価繰返し回数算出において，別図 15-1 に示す等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法）の①，②の計算を行っているが，①の時刻歴加速度応答波形による 1 質点系の時刻歴応答解析は，「CHERRY」（他プラントにて工認実績を有するプログラム）の設計用床応答曲線作成機能と同モジュールを使用している。

時刻歴加速度応答波形による 1 質点系の時刻歴応答解析後の処理は②と同じであるため，本検証では，②の計算結果と手計算により算出した等価繰返し回数の比較を行う。検証に用いる入力地震波（加速度時刻歴）を別図 15-2 に示す。



別図 15-2 入力地震波（加速度時刻歴）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 算出条件

ＪＥＡＧ４６０１－1987 記載の等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法) のうち加速度時刻歴波形に対する等価繰返し回数を算出する。算出条件を別表 15-1 に，使用する設計疲労線図の材料データを別表 15-2 に示す。

別表 15-1　算出条件

| 設定項目 | 算出条件 |
|---|---|
| 設計疲労線図 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 (Su≦550MPa) |
| 最大ピーク応力 | 1471MPa |

別表 15-2　設計疲労線図 材料データ

| 許容繰返し回数 (回) | 繰返しピーク応力強さ(MPa) |
|---|---|
| 10 | 3999 |
| 20 | 2827 |
| 50 | 1896 |
| 100 | 1413 |
| 200 | 1069 |
| 500 | 724 |
| 1000 | 572 |
| 2000 | 441 |
| 5000 | 331 |
| 10000 | 262 |
| 12000 | 248 |
| 20000 | 214 |
| 50000 | 159 |
| 100000 | 138 |
| 200000 | 114 |
| 500000 | 93 |
| 1000000 | 86 |

(4) 計算結果の比較

本解析コード及び手計算で計算した等価繰返し回数 Ne を別表 15-3 に示す。そのうち，応力に対する許容繰返し回数 $N_i$ はＪＳＭＥ設計・建設規格に記載の補間方法を用いて算出した。また，$N_0$ は $N_i$ における最大ピーク応力である。

手計算による $\sigma_i$ に対する許容繰返し回数 $N_i$ の計算結果を別表 15-4，手計算による疲労累積係数 UF の計算結果を別表 15-5 に示す。

(5) 検証結果

別表 15-3 に示す等価繰返し回数の比較結果の通り，両者は一致しており，本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

別表 15-3 本解析コード及び手計算による等価繰返し回数の計算結果

| No. | 項目 | 「ECN_P」による計算結果 | 手計算による計算結果 |
|---|---|---|---|
| 1 | Usage Factor UF(合計値) | | |
| 2 | 最大ピーク応力の許容繰返し回数 $N_0$(回)<br>(最大ピーク応力 1471MPa) | | |
| 3 | 地震等価繰返し回数 Ne(回)<br>($Ne = N_0 \times UF$) | | |

注記＊：本解析コードでは，整数に切り上げた数値が出力される

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 15-4 手計算による$\sigma_i$に対する許容繰返し回数$N_i$の計算結果

| ピーク点 | | 加速度 ($m/s^2$) | 最大ピーク応力 1471MPa に対する時刻歴応答波形 のピーク応力$\sigma_i$(MPa) | $\sigma_i$に対する 許容繰返し回数$N_i$ （回） * |
|---|---|---|---|---|
| START | END | | | |
| ⓪ | ① | | | |
| ① | ② | | | |
| ② | ③ | | | |
| ④ | ⑤ | | | |
| ⑤ | ⑤’ | | | |
| ⑥ | ⑦ | | | |
| ⑦ | ⑦’ | | | |
| ⑧ | ⑨ | | | |
| ⑨ | ⑨’ | | | |
| ⑩ | ⑪ | | | |
| ⑪ | ⑪’ | | | |
| ③ | ⑫ | | | |
| ⑭ | ⑮ | | | |
| ⑮ | ⑮’ | | | |
| ⑬ | ⑯ | | | |
| ⑯ | ⑯’ | | | |
| ⑫ | ⑰ | | | |

注記＊：設計疲労線図における繰返しピーク応力強さは，極大値と極小値の差を 2 分の 1 したものであることから，許容繰返し回数を読み取る際は，ピーク応力を 2 分の 1 した値における許容繰返し回数を読み取った

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 15-5 手計算による疲労累積係数 UF の計算結果

| ピーク点 | | $\sigma_i$ に対する許容繰返し回数 $N_i$(回) | Usage Factor F (=0.5/$N_i$) |
|---|---|---|---|
| START | END | | |
| ⓪ | ① | | |
| ① | ② | | |
| ② | ③ | | |
| ④ | ⑤ | | |
| ⑤ | ⑤’ | | |
| ⑥ | ⑦ | | |
| ⑦ | ⑦’ | | |
| ⑧ | ⑨ | | |
| ⑨ | ⑨’ | | |
| ⑩ | ⑪ | | |
| ⑪ | ⑪’ | | |
| ③ | ⑫ | | |
| ⑭ | ⑮ | | |
| ⑮ | ⑮’ | | |
| ⑬ | ⑯ | | |
| ⑯ | ⑯’ | | |
| ⑫ | ⑰ | | |

合計値　：　1.4322E-02

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16　多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法

1．はじめに

本資料は，多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法についてまとめたものである。本内容は，2 項にて電共研「新規制基準対応を踏まえた機器・配管系評価方法に関する研究」（平成 29 年 3 月）における検討内容を示し，3 項にて女川原子力発電所第 2 号機において多方向入力時に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることが妥当であることを示すものである。

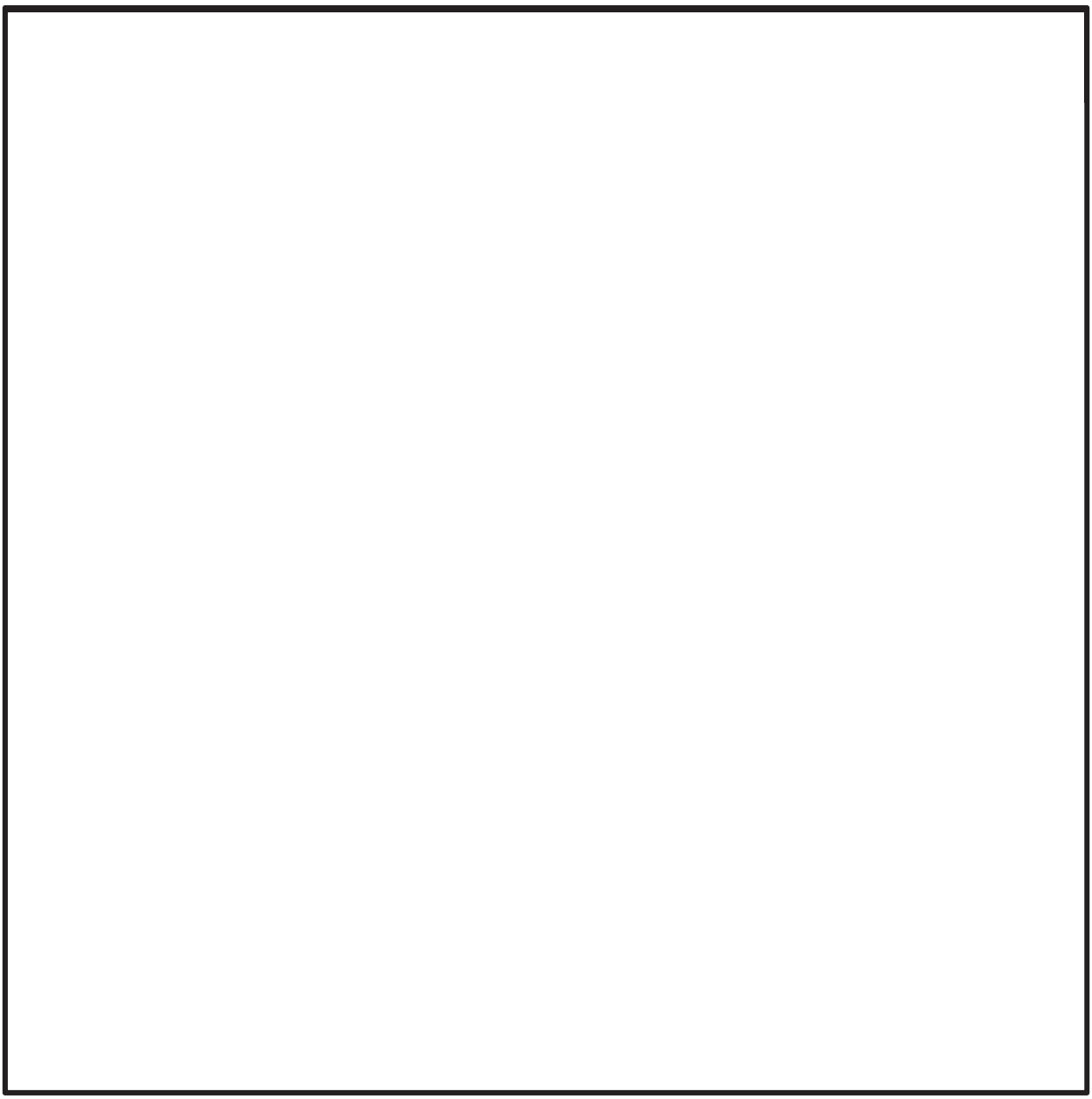
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-2

別紙 16-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

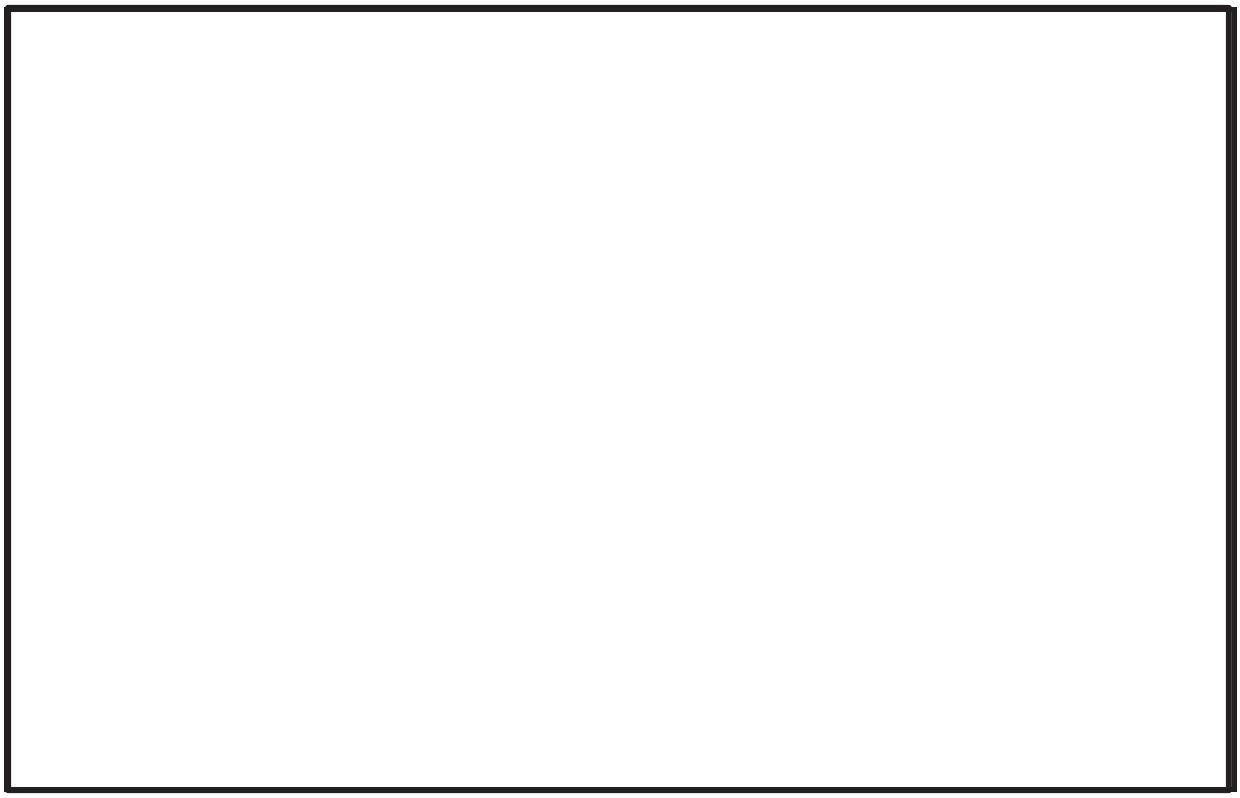


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-4

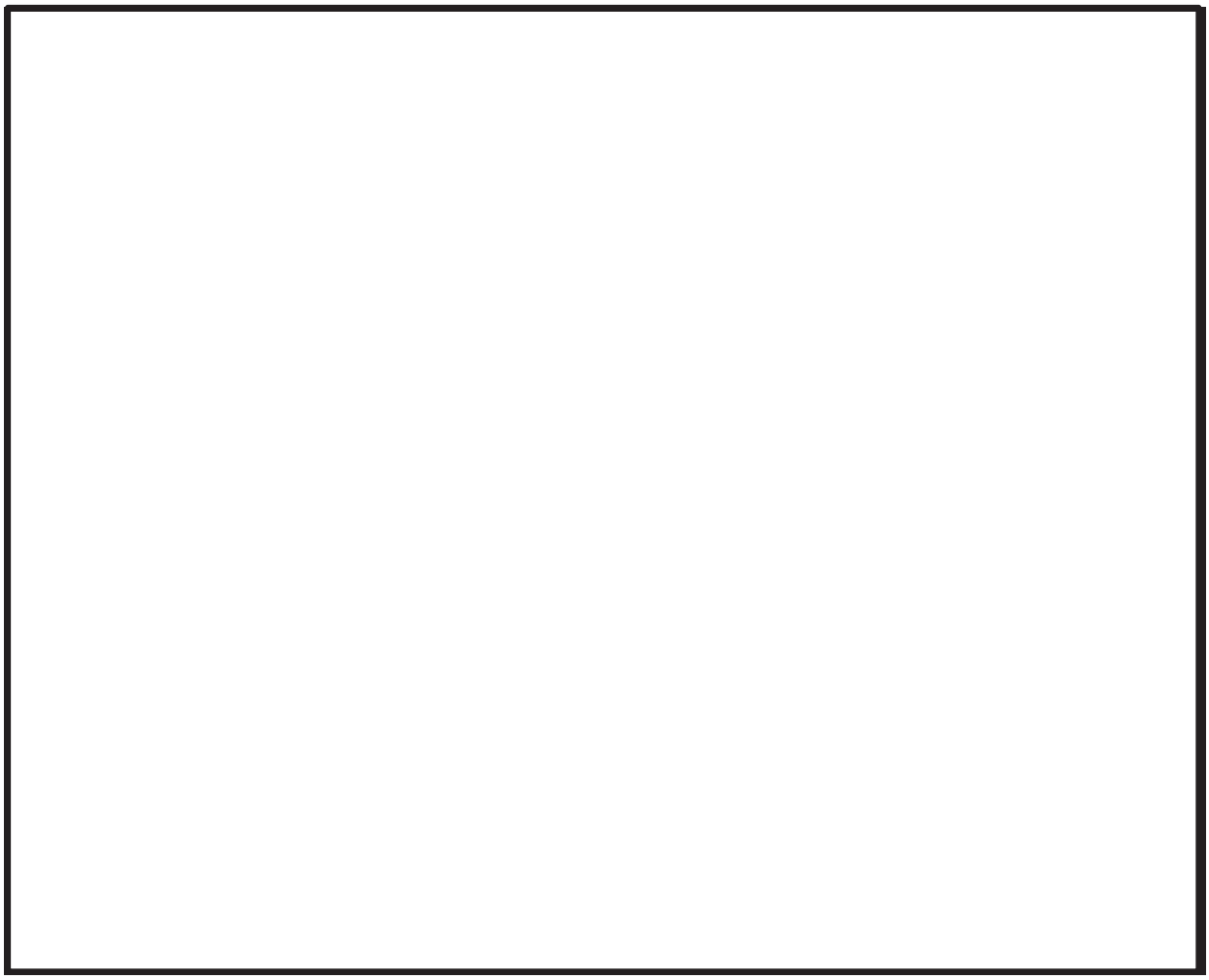
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-5



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-6

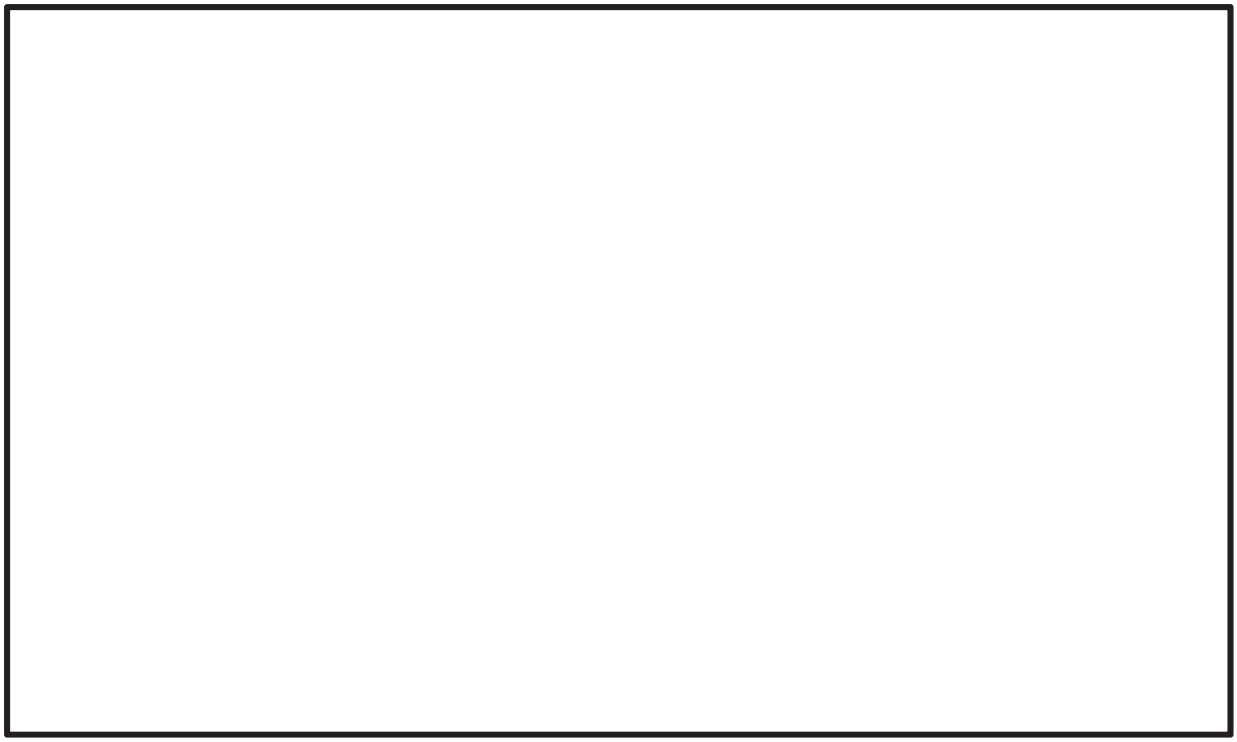


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-11

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-12

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3 女川原子力発電所第 2 号機における多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法

2.2.2 項において 2 方向同時入力の結果について纏めているが，下記理由により 3 方向同時入力に対しても同様に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当であることが言える。

以上のことから，女川原子力発電所第 2 号機においても，各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 16-14

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 17　時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算出した場合との比較検討

1.はじめに

ＪＥＡＧ４６０１－1987 記載のピーク応力法による算出フロー(以下「ＪＥＡＧフロー」という。)には分岐があり，地震荷重が時刻歴より求める機器系（時刻歴応答解析から算出される時刻歴応答波形（荷重）を用いる場合）((以下「時刻歴フロー」という。）と，地震荷重を応答スペクトルより求める機器系（建屋応答及び建屋-機器連成系の応答に基づく 1 質点系応答解析により算出した時刻歴変位波形を用いる場合）((以下「応答スペクトルフロー」という。）が示されている。今回の女川原子力発電所第 2 号機における一律に設定する地震時等価繰返し回数の設定においては，応答スペクトルフローにて検討することとしている。

本資料では，ＪＥＡＧフローの時刻歴フローにより等価繰返し回数を算出し，応答スペクトルフローによる算出結果と比較をすることで，今回工認における一律に設定する等価繰返し回数の設定において，応答スペクトルフローにて算出した等価繰返し回数を適用することの妥当性を確認する。

2. 時刻歴フローを用いた等価繰返し回数

2.1 対象設備

女川原子力発電所第 2 号機における大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルの各機器に対して，時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算出する。

2.2 検討内容

2.1 の対象設備に対し,建屋－機器連成地震応答解析により得られた荷重(せん断，モーメント，軸力）時刻歴に基づき算出する。なお，等価繰返し回数の算出の際は 150kg/mm$^2$（1471MPa）を用いる。

2.3 検討結果

時刻歴応答波形（荷重）における等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を別表 17-1 に，算出結果を別表 17-2～別表 17-11 に示す。別表 17-1 の結果から，時刻歴フローにおける等価繰返し回数は応答スペクトルフローにおける等価繰返し回数に比べ小さいことを確認した。

以上より，一律に設定した等価繰返し回数の設定に応答スペクトルフローにて検討することは問題ないと考えられる。

別表 17-1　算出フローの違いによる等価繰返し回数の最大回数比較

| 算出条件 | | | | | | | 最大回数 | 比率＊3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| フロー | 荷重 | 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 減衰定数 | | |
| 時刻歴フロー | せん断 | 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | ―＊2 | | |
| | モーメント | | | | | | | |
| | 軸力 | | | | | | | |
| 応答スペクトルフロー | ―＊1 | | | | | 0.5 | | |
| 時刻歴フロー | せん断 | 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | ―＊2 | | |
| | モーメント | | | | | | | |
| | 軸力 | | | | | | | |
| 応答スペクトルフロー | ―＊1 | | | | | 0.5 | | |

注記＊１：応答スペクトルフローでは加速度時刻歴を使用

＊２：各設備の減衰定数を考量した建屋－機器連成地震応答解析から得られる応答を使用

＊３：時刻歴フローの最大回数/応答スペクトルフローの最大回数により算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-2　大型機器系地震応答解析モデル（せん断力（EW 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | |
| | | | | 原子炉本体の基礎 | | |
| | | | | 原子炉しゃへい壁 | | |
| | | | | 原子炉格納容器 | | |

注：下線部は算出結果が最大の等価繰返し回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-3　大型機器系地震応答解析モデル（せん断力（NS 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | 枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。 | |
| | | | | 原子炉本体の基礎 | | |
| | | | | 原子炉しゃへい壁 | | |
| | | | | 原子炉格納容器 | | |

別表 17-4　大型機器系地震応答解析モデル（モーメント（EW 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | |
| | | | | 原子炉本体の基礎 | | |
| | | | | 原子炉しゃへい壁 | | |
| | | | | 原子炉格納容器 | | |

注：下線部は算出結果が最大の等価繰返し回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-5　大型機器系地震応答解析モデル（モーメント（NS 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | |
| | | | | 原子炉本体の基礎 | | |
| | | | | 原子炉しゃへい壁 | | |
| | | | | 原子炉格納容器 | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-6　大型機器系地震応答解析モデル（軸力）

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 大型機器系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 原子炉圧力容器 | | |
| | | | | 原子炉本体の基礎 | | |
| | | | | 原子炉しゃへい壁 | | |
| | | | | 原子炉格納容器 | | |

注：下線部は算出結果が最大の等価繰返し回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-7　炉内構造物系地震応答解析モデル（せん断力（EW 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | |
| | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | |
| | | | | 制御棒案内管 | | |
| | | | | 燃料集合体 | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-8　炉内構造物系地震応答解析モデル（せん断力（NS 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.（m） | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | |
| | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | |
| | | | | 制御棒案内管 | | |
| | | | | 燃料集合体 | | |

注：下線部は算出結果が最大の等価繰返し回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-9　炉内構造物系地震応答解析モデル（モーメント（EW 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | |
| | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | |
| | | | | 制御棒案内管 | | |
| | | | | 燃料集合体 | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-10　炉内構造物系地震応答解析モデル（モーメント（NS 方向））

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | O.P.（m） | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | |
| | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | |
| | | | | 制御棒案内管 | | |
| | | | | 燃料集合体 | | |

注：下線部は算出結果が最大の等価繰返し回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-11　炉内構造物系地震応答解析モデル（軸力）

| 算出条件 | | | | | | 等価繰返し回数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | 機器 | 0.P.（m） | |
| 炉内構造物系地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ1 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 炉心シュラウド | | |
| | | | | 制御棒駆動機構ハウジング | | |
| | | | | 制御棒案内管 | | |

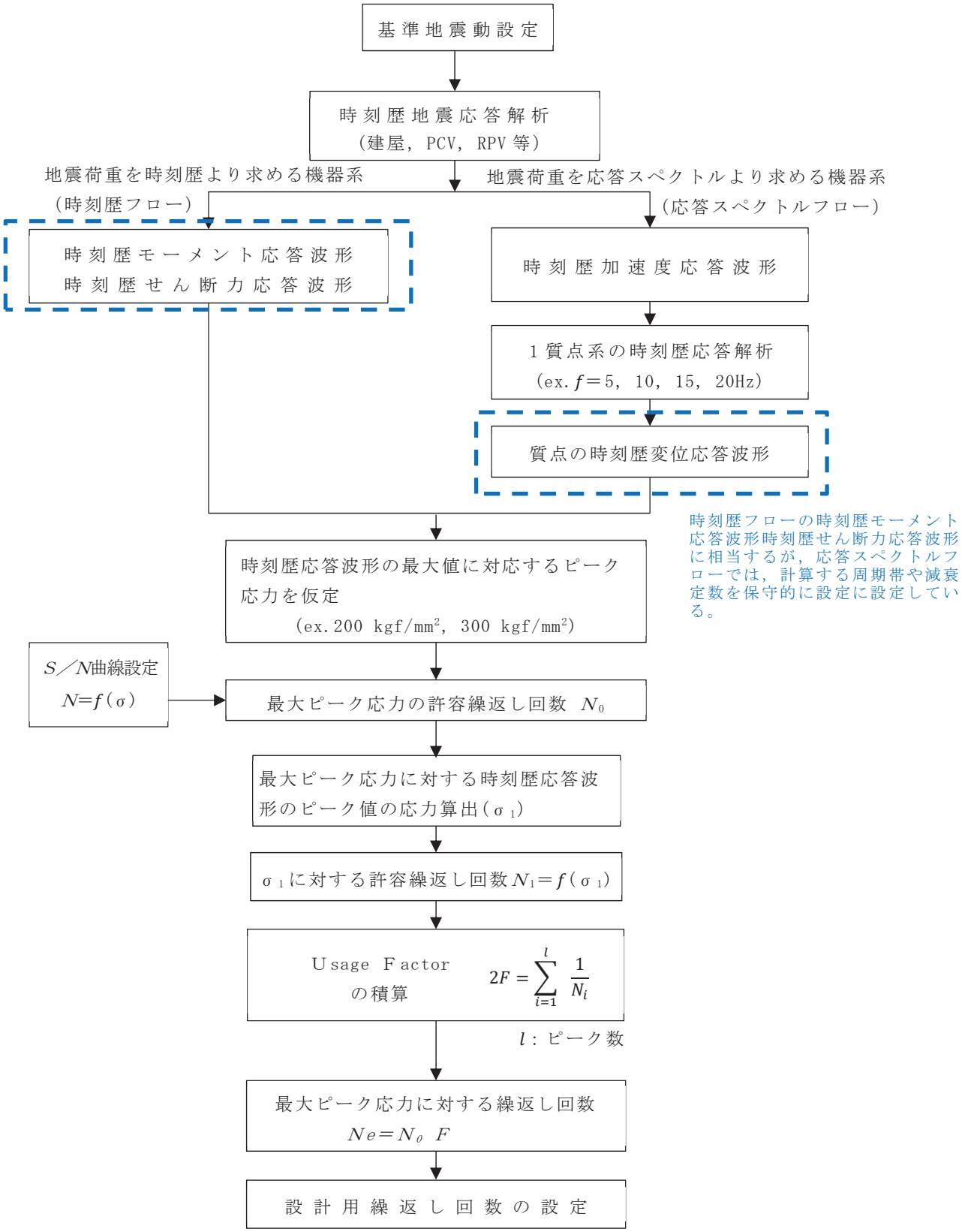
注：下線部は算出結果が最大の等価繰返し回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 考察

2.3 項に示す通り，時刻歴フローにおける等価繰返し回数は応答スペクトルフローにおける等価繰返し回数に比べ小さいことを確認した。これは各フローの算出方法の違いによるものと考える。ここで，ＪＥＡＧフローを図 17-1 に示す。

時刻歴フローでは建屋－機器連成地震応答解析から得られる荷重時刻歴から等価繰返し回数を算出するのに対し，応答スペクトルフローでは建屋地震応答解析から得られる応答時刻歴を用いて更に１質点系の時刻歴応答解析から得られる応答時刻歴から等価繰返し回数を算出している。応答スペクトルフローの１質点系の時刻歴応答解析では，質点に設置された設備の共振が考慮されること，その解析条件として計算する周期帯や減衰定数を保守的に設定していることから，応答スペクトルフローの回数が大きく算出されると考える。




（ＪＥＡＧ４６０１－1987 p576 に加筆）

図 17-1　ピーク応力法による算出フロー

# 別紙 18　時刻歴加速度応答による等価繰返し回数算出の影響

## 1.　はじめに

ＪＥＡＧ４６０１－1987 記載のピーク応力法による算出フロー(以下「ＪＥＡＧフロー」という。）では時刻歴変位応答を用いることとなっているが，女川原子力発電所第 2 号機における等価繰返し回数算出においては時刻歴加速度応答を用いている。これは，1 質点系の変位時刻歴応答と時刻歴加速度応答はほぼ同じ波形となると考えられるためである。

本資料では，変位時刻歴応答より算出した等価繰返し回数と時刻歴加速度応答より算出した等価繰返し回数を比較し，等価繰返し回数算出において同等であることにより時刻歴加速度応答を用いる妥当性を説明する。

## 2.　比較結果

原子炉建屋地震応答解析モデルにおける，時刻歴変位応答より算出した等価繰返し回数と時刻歴加速度応答より算出した等価繰返し回数の比較を別表 18-1～別表 18-3 に示す。また，時刻歴加速度波形を別図 18-1 に，時刻歴変位波形を別図 18-2 に示す。この結果より，等価繰返し回数，時刻歴波形いずれも，同等の結果を示しており，等価繰返し回数の算出において，時刻歴加速度応答を用いることは問題ないと考える。

別表 18-1　時刻歴加速度応答及び時刻歴変位応答による等価繰返し回数
（原子炉建屋，EW 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数 (%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P. (m) | 質点 | 加速度時刻歴 | 変位時刻歴 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 10 | | |
| | | | | | | 20 | | |
| | | | | | 41.200 | 11 | | |
| | | | | | | 21 | | |
| | | | | | 33.200 | 1 | | |
| | | | | | | 12 | | |
| | | | | | | 15 | | |
| | | | | | | 22 | | |
| | | | | | | 27 | | |
| | | | | | 22.500 | 2 | | |
| | | | | | | 6 | | |
| | | | | | | 13 | | |
| | | | | | | 16 | | |
| | | | | | | 23 | | |
| | | | | | | 28 | | |
| | | | | | 15.000 | 3 | | |
| | | | | | | 7 | | |
| | | | | | | 14 | | |
| | | | | | | 17 | | |
| | | | | | | 24 | | |
| | | | | | | 29 | | |
| | | | | | 6.000 | 4 | | |
| | | | | | | 8 | | |
| | | | | | | 18 | | |
| | | | | | | 25 | | |
| | | | | | | 30 | | |
| | | | | | -0.800 | 5 | | |
| | | | | | | 9 | | |
| | | | | | | 19 | | |
| | | | | | | 26 | | |
| | | | | | | 31 | | |
| | | | | | -8.100 | 32 | | |

注：下線部は算出結果が異なる等価繰返し回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 18-2　時刻歴加速度応答及び時刻歴変位応答による等価繰返し回数

（原子炉建屋，NS 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数(%) | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.(m) | 質点* | 加速度時刻歴 | 変位時刻歴 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 50.500 | 6 | | |
| | | | | | | 18 | | |
| | | | | | 41.200 | 7 | | |
| | | | | | | 19 | | |
| | | | | | 33.200 | 1 | | |
| | | | | | | 8 | | |
| | | | | | | 13 | | |
| | | | | | | 20 | | |
| | | | | | | 25 | | |
| | | | | | 22.500 | 2 | | |
| | | | | | | 9 | | |
| | | | | | | 14 | | |
| | | | | | | 21 | | |
| | | | | | | 26 | | |
| | | | | | 15.000 | 3 | | |
| | | | | | | 10 | | |
| | | | | | | 15 | | |
| | | | | | | 22 | | |
| | | | | | | 27 | | |
| | | | | | 6.000 | 4 | | |
| | | | | | | 11 | | |
| | | | | | | 16 | | |
| | | | | | | 23 | | |
| | | | | | | 28 | | |
| | | | | | -0.800 | 5 | | |
| | | | | | | 12 | | |
| | | | | | | 17 | | |
| | | | | | | 24 | | |
| | | | | | | 29 | | |
| | | | | | -8.100 | 30 | | |

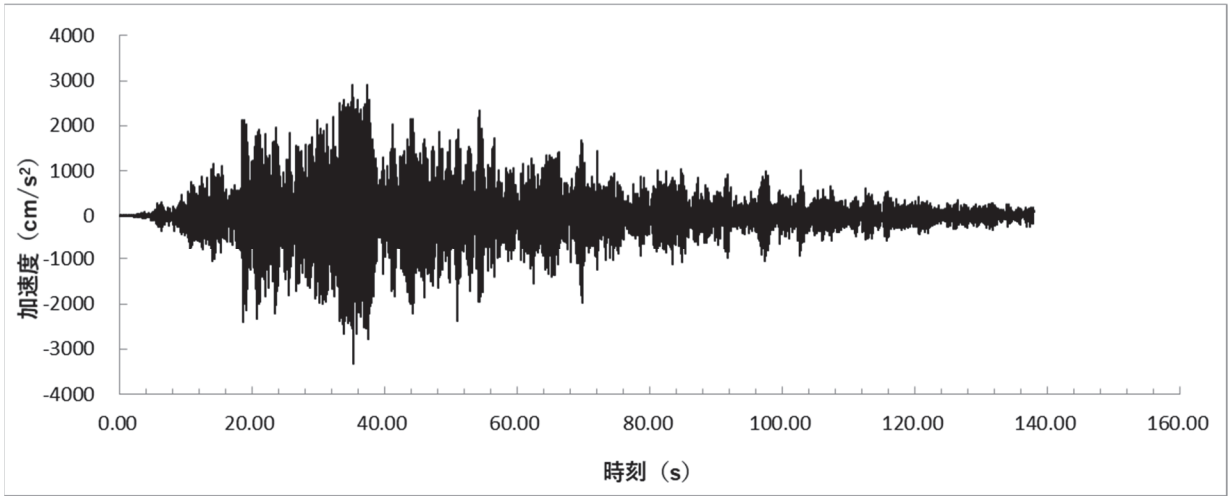
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 18-3　時刻歴加速度応答及び時刻歴変位応答による等価繰返し回数

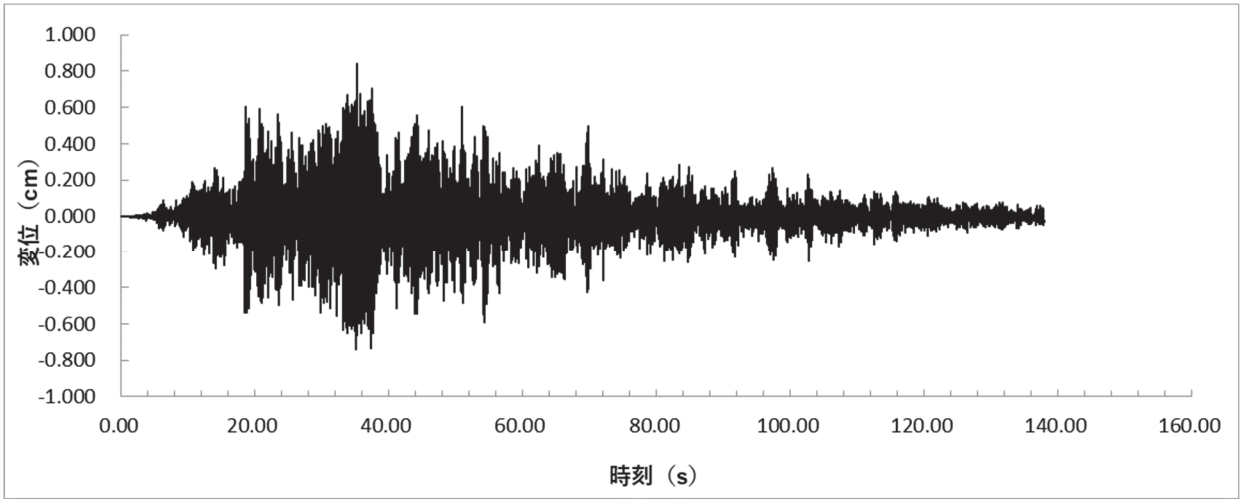
（原子炉建屋，UD 方向）

| 算出条件 | | | | | | | 等価繰返し回数 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル | 地震動 | 減衰定数（%） | 設計疲労線図 | 材料物性の不確かさ等 | O.P.（m） | 質点* | 加速度時刻歴 | 変位時刻歴 |
| 原子炉建屋地震応答解析モデル | Ｓｓ－Ｄ１ | 0.5 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 基本ケース | 48.725 | 4 | | |
| | | | | | 41.200 | 5 | | |
| | | | | | 33.200 | 6 | | |
| | | | | | 22.500 | 7 | | |
| | | | | | 15.000 | 8 | | |
| | | | | | 6.000 | 9 | | |
| | | | | | -0.800 | 10 | | |
| | | | | | -8.100 | 11 | | |

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。




別図 18-1　時刻歴加速度波形（原子炉建屋，質点 24，EW 方向，10Hz の例）




別図 18-2　時刻歴変位波形（原子炉建屋，質点 24，EW 方向，10Hz の例）

# 別紙 19　女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数の設定の保守性

## 1.　はじめに

女川原子力発電所第 2 号機の今回工認では一律に設定する等価繰返し回数（Ｓｓ：340 回，Ｓｄ：590 回）の設定を行っている。この設定の保守性について説明する。

## 2.　検討事項

本資料では以下項目を検討し，女川原子力発電所の一律に設定する等価繰返し回数の設定の保守性を示す。

(1) 等価繰返し回数算出パラメータの保守性（3.参照）

(2) 女川原子力発電所第 2 号機の地震動の特性を踏まえた保守性（4.参照）

(3) 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価に含まれる保守性（5.参照）

## 3.　等価繰返し回数算出パラメータの保守性

本文 3.(2)にて説明している等価繰返し回数の算出に用いるパラメータについて先行プラントである東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機と比較した結果を別表 19-1 に示す。

比較の結果，東海第二発電所とのパラメータの差異として，③対象床面（質点），④-１地震動（基準地震動Ｓｓの種類），④-２地震動（基準地震動Ｓｓの回数）及び⑤減衰定数を抽出した。また，柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機とのパラメータの差異として，③対象床面（質点），④-１地震動（基準地震動Ｓｓの種類），④-２地震動（基準地震動Ｓｓの回数），④-３地震動(弾性設計用地震動Ｓｄの回数)及び⑤減衰定数を抽出した。

差異を抽出した項目については，いずれも女川原子力発電所第 2 号機に対する疲労評価の条件設定において適切な設定がなされていることを確認した。

なお，④-２地震動（基準地震動Ｓｓの回数）について，柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機では，過去に経験したＮＣＯを追加している。これに対し女川原子力発電所第 2 号機では，過去に経験した東北地方太平洋沖地震等（以下，「3.11/4.7 地震）という。）による疲労影響を詳細に分析した結果を踏まえ，機器・配管系の疲労評価を実施する場合の配慮として，疲労累積係数に 0.01 以上の余裕があることを確認することとしている（別紙 10 参照）。

別表 19-1　一律に設定する等価繰返し回数算出パラメータに係る比較

| パラメータ | 女川原子力発電所第２号機 | 東海第二発電所 | 柏崎刈羽原子力発電所<br>第７号機 | 比較結果 |
|---|---|---|---|---|
| ①ピーク応力 | 1471MPa | 1471MPa | 1471MPa | 差異なし |
| ②固有周期 | 全固有周期 | 全固有周期 | 全固有周期 | 差異なし |
| ③対象床面<br>（質点） | 【原子炉建屋に設置された機器・配管系】<br>設備を有する床面(質点)（全床面（質点））<br>【原子炉格納容器，原子炉圧力容器等大型機器】<br>疲労評価を実施する設備を有する床面(質点) | 【原子炉建屋に設置された機器・配管系】<br>全床面(質点)<br><br>【原子炉格納容器，原子炉圧力容器等大型機器】<br>代表設備の設置床面 | 【原子炉建屋に設置された機器・配管系】<br>全床面(質点)<br><br>【原子炉格納容器，原子炉圧力容器等大型機器】<br>全床面(質点) | 【東海第二】<br>東海第二では，代表性を持たせた床面（質点）を対象としていることに対して，女川２号機は，設備を有する床面（質点）（全床面（質点））または疲労評価を実施する設備を有する床面（質点）を対象としている。<br>【柏崎刈羽７号機】<br>柏崎刈羽７号機では，工認添付にて耐震条件を作成する全床面（質点）を対象としていることに対して，女川２号機では，設備を有する床面（質点）（全床面（質点））又は疲労評価を実施する設備を有する床面（質点）を対象として検討を行っている。 |
| ④-１<br>地震動<br>（基準地震動Ｓｓの種類） | 基準地震動Ｓｓ－Ｄ１（代表） | 基準地震動Ｓｓ<br>（Ｓｓ－Ｄ，１１，１２，<br>１３，１４，２１，２２，<br>２３）の全８波を考慮。 | 基準地震動Ｓｓ<br>（Ｓｓ－１，２，３，４，５，６，７，８）の全８波を考慮 | 【共通】<br>先行プラントでは，複数の地震動に対する検討を行っていることに対して，女川２号機では基準地震動７波を用いた検討結果から，代表性を確認した地震動を用いて検討を行っている。（本文 表 3-4 参照） |
| ④-２<br>地震動<br>（基準地震動Ｓｓの回数） | 基準地震動Ｓｓ１回分に加えて，弾性設計用地震動Ｓｄを1/3倍した地震動５回分を考慮 | 基準地震動Ｓｓ１回分を考慮。 | 基準地震動Ｓｓ１回分に加えて，ＮＣＯ及び弾性設計用地震動Ｓｄの1/3倍した地震動５回分考慮 | 【東海第二】<br>東海第二では，基準地震動Ｓｓ１回分を考慮していることに対し，女川２号機では，米国の知見を参考に，基準地震動Ｓｓ１回分に加えて，弾性設計用地震動Ｓｄの1/3倍した地震動５回分を考慮している。<br>【柏崎刈羽７号機】<br>柏崎刈羽７号機では，米国の知見を参考に，基準地震動Ｓｓ１回分に加えて，過去に経験したＮＣＯ及び弾性設計用地震動Ｓｄの1/3倍した地震動５回分を考慮している。女川２号機では，米国の知見を参考に基準地震動Ｓｓ１回分に加えて弾性設計用地震動Ｓｄの1/3倍した地震動５回分を考慮している。<br>【共通】<br>女川２号機では，機器・配管系の疲労評価を実施する場合の配慮として，疲労累積係数に0.01以上の余裕があることを確認することとしている。（別紙 10 参照） |
| ④-３<br>地震動<br>（弾性設計用地震動Ｓｄの回数） | 弾性設計用地震動Ｓｄ２回分を考慮 | 弾性設計用地震動Ｓｄ２回分を考慮 | 基準地震動Ｓｓ１回分に加えて，ＮＣＯ及び弾性設計用地震動Ｓｄの1/3倍した地震動５回分考慮 | 【東海第二】<br>差異なし<br>【柏崎刈羽７号機】<br>柏崎刈羽７号機では，基準地震動Ｓｓの等価繰返し回数を用いることで，ピーク応力，算出用地震動（Ｓｓ×1 回＋(1/3)Ｓｄ×5 回＋ＮＣＯ）で保守性を持たせている（概ね弾性設計用地震動Ｓｄ２回分相当）。女川２号機では，弾性設計用地震動Ｓｄの発生回数が基準地震動Ｓｓよりも発生頻度が高いため，弾性設計用地震動Ｓｄ２回分を考慮している。 |
| ⑤減衰定数 | 0.5(%) | 0.5,1.0(%) | 0.5,1.0,1.5,2.0,<br>2.5,3.0,4.0,5.0(%) | 【東海第二】<br>東海第二では複数の減衰定数に対する検討を行っていることに対して，女川２号機では疲労評価対象設備の減衰定数に対する検討結果から，代表性を確認した減衰定数を用いて検討を行っている。（本文 表 3-5 参照） |
| ⑥設計疲労線図 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼 | 差異なし |
| ⑦材料物性の不確かさ等の考慮 | 地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮 | 地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮 | 地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮 | 差異なし |

4.　女川原子力発電所第 2 号機の地震動の特性を踏まえた保守性

等価繰返し回数を用いた疲労評価において，疲労累積係数 UF は以下の式にて算出される。

$$UF = \frac{N_e}{N_0}$$

UF：疲労累積係数

Ne：地震による等価繰返し回数

$N_0$：疲労評価対象設備に発生するピーク応力での許容繰返し回数

一般的な疲労評価では，等価繰返し回数 Ne と許容繰返し回数 $N_0$ は同一の地震動を基に算出した値を用いて行うものである。これに対し，女川原子力発電所第 2 号機では基準地震動Ｓｓが 7 波存在するため，各基準地震動Ｓｓに対する等価繰返し回数の比較を行い，主要動の継続時間が最も長く等価繰返し回数が大きく算出されるＳｓ－Ｄ１を代表として，一律に設定する等価繰返し回数 Ne を 340 回と定めている。また，許容繰返し回数 $N_0$ は各疲労評価対象設備のピーク応力により定まる値であるが，許容繰返し回数 $N_0$ を算出するためのピーク応力を求める際にも，基準地震動Ｓｓ7 波の耐震条件を包絡させた上で応力計算を実施しピーク応力を算出しているため，基準地震動Ｓｓ7 波に対する最大のピーク応力であり，設計疲労線図及びピーク応力から求まる許容繰返し回数は最小の値となる。

したがって，疲労累積係数 UF は，女川原子力発電所第 2 号機の地震動の特性を踏まえて，全ての基準地震動を考慮した上で最も厳しくなるように保守的に算出している。

5.　一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価に含まれる保守性

一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価対象設備のうち，基準地震動Ｓｓに対する評価に対し，疲労累積係数 UF が大きく疲労評価が厳しい設備について，個別に設定する等価繰返し回数を設定することにより，一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が十分に保守的であることを確認する。

5.1　検討対象設備の抽出

今回工認の一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価対象設備のうち，基準地震動Ｓｓに対する評価に対し，熱＋地震及び地震による疲労累積係数 UF が最大となり疲労評価が最も厳しい疲労評価対象設備である N6 ノズルを代表として検討する。N6 ノズルの基準地震Ｓｓに対する疲労評価結果を表 19-2 に示す。

表 19-2　疲労累積係数が最大となる N6 ノズルの疲労評価結果

（基準地震動Ｓｓに対する評価）

| ケース | 設備名称 | 一律に設定する<br>等価繰返し回数 | 疲労累積係数 UF |
|---|---|---|---|
| 熱＋地震で<br>最大のケース | N6 ノズル | 340 回 | $U+U_{Ss}$　0.871<br>($U_{Ss}$　0.870) |
| 地震で<br>最大のケース | N6 ノズル | | $U_{Ss}$　0.870 |

5.2　個別に設定する等価繰返し回数の設定による疲労累積係数 UF の再計算

代表として抽出した N6 ノズルについて,個別に設定する等価繰返し回数を設定し，疲労累積係数 UF の再計算を行った結果を表 19-3 に示す。

表 19-3　N6 ノズルに個別に設定する等価繰返し回数を設定した疲労評価結果

（基準地震動Ｓｓに対する評価）

| ケース | 設備名称 | 個別に設定する<br>等価繰返し回数 | 疲労累積係数 UF |
|---|---|---|---|
| 熱＋地震で<br>最大のケース | N6 ノズル | 167 回 | $U+U_{Ss}$　0.428<br>($U_{Ss}$　0.427) |
| 地震で<br>最大のケース | N6 ノズル | | $U_{Ss}$　0.427 |

注：疲労累積係数 UF の再計算は，再計算前の疲労累積係数 UF に対し，個別に設定する回数 167 回と一律に設定する等価繰返し回数 340 回の比率を乗じて算出した。

表 19-2 及び表 19-3 に示す通り，代表として抽出した疲労評価対象設備の工認耐震計算書に記載される疲労累積係数 UF は，一律に設定する等価繰返し回数を用いた場合と比べて，個別に設定する等価繰返し回数を用いた場合の方が許容値に対する余裕が十分に確保されることから，一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価は十分に保守的であることを確認した。

6. まとめ

女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数算出パラメータについて先行プラントと比較し，先行プラントのパラメータと比べて同等又はより保守的に設定していることを確認した。

また，疲労累積係数 UF は，女川原子力発電所第 2 号機の地震動の特性を踏まえて，全ての基準地震動を考慮した上で最も厳しくなるように保守的に算出していることを確認した。

加えて，今回工認において一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価は十分に保守的であることを確認した。

以上より，女川原子力発電所第 2 号機における等価繰返し回数の設定は，十分な保守性を有していると考えられる。

| 女川原子力発電所第２号機　工事計画審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-10_改８ |

# 補足-600-10　機電設備の耐震計算書の作成について

目　　次

1.　目的 ..... 1
2.　適用範囲 ..... 1
3.　基本方針 ..... 1
4.　機電設備耐震計算書の分類と構成について ..... 2
5.　耐震計算書記載注意事項 ..... 3
5.1　耐震計算書の全般的な注意事項 ..... 3
5.2　耐震計算書の各項目の注意事項 ..... 3
5.2.1　「①概要」について ..... 3
5.2.2　「②一般事項」について ..... 4
5.2.3　「③評価部位」について ..... 5
5.2.4　「④固有周期」について ..... 5
5.2.5　「⑤地震応答解析及び構造強度評価」について ..... 6
5.2.6　「⑥構造強度評価」について ..... 8
5.2.7　「⑦構造強度評価」について ..... 8
5.2.8　「⑧機能維持評価」について ..... 8
5.2.9　「⑨機能維持評価」について ..... 9
5.2.10　「⑩評価結果」について ..... 9

添付資料-1　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（F パターン「横軸ポンプ」の耐震計算書記載例）

添付資料-2　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（F パターン「容器」の耐震計算書記載例）

添付資料-3　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（F パターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例

添付資料-4　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（F パターン「盤」の耐震計算書記載例）

添付資料-5　機能維持評価で詳細検討を実施する場合

添付資料-6　個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（A パターンの耐震計算書記載例）

添付資料-7-1　個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（C-1 パターン「解析」の耐震計算書記載例）

添付資料-7-2　個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（C-2 パターン「手計算」の耐震計算書記載例）

添付資料-8　個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（D パターンの耐震計算書記載例）

添付資料-9　機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
（E パターンの耐震計算書記載例）

添付資料-10　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（F パターン「管」の耐震計算書記載例）

## 1. 目的

新規制基準を適用するに当たり，建設時の工事計画認可申請等既工認と比べて耐震計算を必要とする設備の種類・数が増加し，これに伴い，記載内容も既工認の記載事項には収まらない多様なものとなった。本資料「機電設備の耐震計算書の作成について」は，耐震計算書を地震応答解析及び応力評価手法等による分類を行い，それぞれの分類において耐震計算書の構成・記載程度について整理することで，耐震計算書の品質向上に資するものである。

本資料は，耐震計算書作成の手引きとして使用するものであり，設備や評価手法の独自性を踏まえて，本資料と異なる記載を妨げるものではない。

## 2. 適用範囲

本資料は,女川原子力発電所第 2 号機の工事計画認可申請における添付書類のうち「VI-2　耐震性に関する説明書」及び「VI-2-別添」の機電設備に適用するものとする。

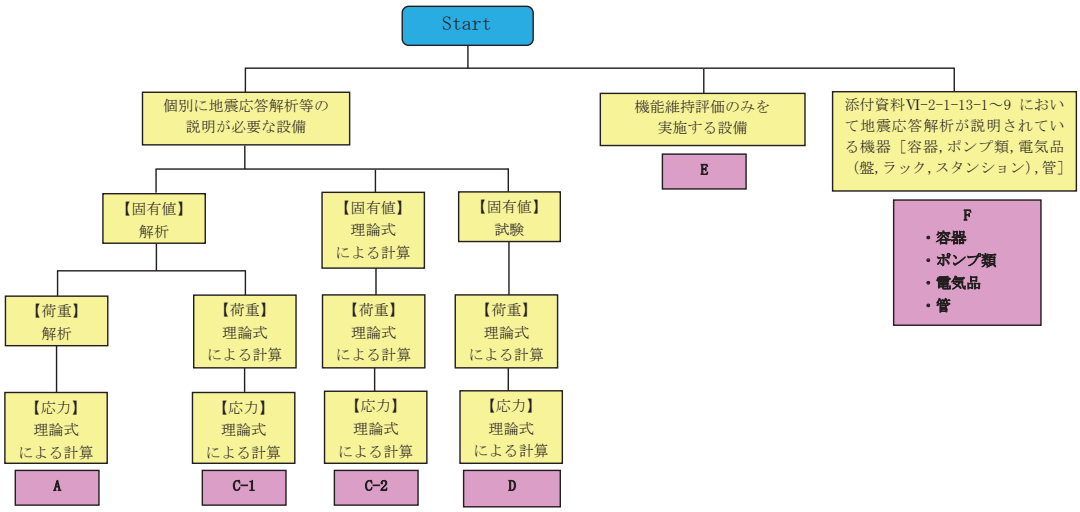
## 3. 基本方針

耐震計算書の品質向上のため，耐震計算書は評価手法に基づき体系的に分類し，同じ分類に属する耐震計算書においては章構成，内容，用語等をできるだけ統一的な記載とする。具体的には以下の方針に基づいて本資料を作成し，本資料を耐震計算書の記載の手引きとして活用する。

・耐震計算書を分類し，分類ごとに章構成をできるだけ統一する。
・分類に当たっては耐震計算書分類のフロー図を作成し，これに基づき耐震計算書を分類する。
・分類は地震応答解析，応力評価方法等により分類する。

4. 機電設備耐震計算書の分類と構成について

図 4-1 に機電設備耐震計算書の分類と各分類の構成を示す。




| パターン | A<br>［添付資料-6 参照］ | C-1<br>［添付資料-7-1 参照］ | C-2<br>［添付資料-7-2 参照］ | D<br>［添付資料-8 参照］ | E<br>［添付資料-9 参照］ |
|---|---|---|---|---|---|
| 該当設備（例） | 水圧制御ユニットなど | ドライウェル温度など | 中央制御室再循環フィルタ装置など | 安全パラメータ表示システム(SPDS)無線通信用アンテナなど | 測温抵抗体（温度計）など |
| 計算書[*5]構成（目次） | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 評価方針<br>2.4 適用規格・基準等<br>2.5 記号の説明<br>2.6 計算精度と数値の丸め方<br>3. 評価部位・・・・・・・・・・③<br>4. 地震応答解析及び構造強度評価・・・・・・・・⑤<br>4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法<br>4.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>4.3 解析モデル及び諸元<br>4.4 固有周期<br>4.5 設計用地震力[*2]<br>4.6 計算方法<br>4.7 計算条件<br>4.8 応力の評価<br>5. 機能維持評価[*2, *3]・・・・・・⑧<br>5.1 （動的 or 電気的）機能維持評価方法<br>6. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>6.1 設計基準対象施設としての評価結果<br>6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 評価方針<br>2.4 適用規格・基準等<br>2.5 記号の説明<br>2.6 計算精度と数値の丸め方<br>3. 評価部位・・・・・・・・・・③<br>4. 固有周期・・・・・・・・・・④<br>4.1 固有値解析方法<br>4.2 解析モデル及び諸元<br>4.3 固有値解析結果<br>5. 構造強度評価・・・・・・・・⑥<br>5.1 構造強度評価方法<br>5.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>5.3 設計用地震力[*2]<br>5.4 計算方法<br>5.5 計算条件<br>5.6 応力の評価<br>6. 機能維持評価[*2, *3]・・・・・・⑧<br>6.1 （動的 or 電気的）機能維持評価方法<br>7. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 評価方針<br>2.4 適用規格・基準等<br>2.5 記号の説明<br>2.6 計算精度と数値の丸め方<br>3. 評価部位・・・・・・・・・・③<br>4. 固有周期・・・・・・・・・・④<br>4.1 固有周期の計算方法<br>4.2 固有周期の計算条件<br>4.3 固有周期の計算結果<br>5. 構造強度評価・・・・・・・・⑥<br>5.1 構造強度評価方法<br>5.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>5.3 設計用地震力[*2]<br>5.4 計算方法<br>5.5 計算条件<br>5.6 応力の評価<br>6. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>6.1 設計基準対象施設としての評価結果<br>6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 評価方針<br>2.4 適用規格・基準等<br>2.5 記号の説明<br>2.6 計算精度と数値の丸め方<br>3. 評価部位・・・・・・・・・・③<br>4. 固有周期・・・・・・・・・・④<br>4.1 基本方針<br>4.2 固有周期の確認方法<br>4.3 固有周期の確認結果<br>5. 構造強度評価・・・・・・・・⑥<br>5.1 構造強度評価方法<br>5.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>5.3 設計用地震力[*2]<br>5.4 計算方法<br>5.5 計算条件<br>5.6 応力の評価<br>6. 機能維持評価[*2, *3]・・・・⑧<br>6.1 （動的 or 電気的）機能維持評価方法<br>7. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 評価方針<br>2.4 適用規格・基準等<br>3. 評価部位・・・・・・・・・・③<br>4. 機能維持評価[*2, *3]・・・・⑨<br>4.1 機能維持評価用加速度<br>4.2 機能確認済加速度<br>5. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>5.1 設計基準対象施設としての評価結果<br>5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 |
| パターン | F（横軸ポンプ類）<br>［添付資料-1 参照］ | F（容器）<br>［添付資料-2 参照］ | F（たて軸ポンプ類）<br>［添付資料-3 参照］ | F（電気品）<br>（盤，ラック，スタンション）<br>［添付資料-4 参照］ | F（管）<br>［添付資料-10 参照］ |
| 該当設備（例） | ほう酸水注入ポンプなど | 非常用ディーゼル発電機空気だめなど | 残留熱除去系ポンプなど | 無停電交流電源用静止形無停電電源装置など | 配管 |
| 計算書[*5]構成（目次） | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 適用規格・基準等[*1]<br>3. 構造強度評価・・・・・・・・⑦<br>3.1 構造強度評価方法<br>3.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>3.3 計算条件<br>4. 機能維持評価[*3]・・・・・・・⑧<br>4.1 動的機能維持評価方法<br>5. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>5.1 設計基準対象施設としての評価結果<br>5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 適用規格・基準等[*1]<br>3. 固有周期<br>3.1 固有周期の計算<br>4. 構造強度評価・・・・・・・・⑦<br>4.1 構造強度評価方法<br>4.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>4.3 計算条件<br>5. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>5.1 設計基準対象施設としての評価結果<br>5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 適用規格・基準等[*1]<br>3. 固有値解析及び構造強度評価・⑤<br>3.1 構造強度評価方法<br>3.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>3.3 解析モデル及び諸元<br>3.4 固有周期<br>3.5 設計用地震力<br>3.6 計算条件<br>4. 機能維持評価[*3]・・・・・・・⑧<br>4.1 動的機能維持評価方法<br>5. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>5.1 設計基準対象施設としての評価結果<br>5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 一般事項・・・・・・・・・・②<br>2.1 配置概要[*1]<br>2.2 構造計画<br>2.3 適用規格・基準等[*1]<br>3. 固有周期<br>3.1 固有周期の算出方法<br>4. 構造強度評価・・・・・・・・⑦<br>4.1 構造強度評価方法<br>4.2 荷重の組合せ及び許容応力<br>4.3 計算条件<br>5. 機能維持評価[*4]・・・・・・・⑧<br>5.1 電気的機能維持評価方法<br>6. 評価結果[*4]・・・・・・・・・・⑩<br>6.1 設計基準対象施設としての評価結果<br>6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 1. 概要・・・・・・・・・・・・①<br>2. 概略系統図及び鳥瞰図<br>2.1 概略系統図<br>2.2 鳥瞰図<br>3. 計算条件<br>3.1 計算方法<br>3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態<br>3.3 設計条件<br>3.4 材料及び許容応力<br>3.5 設計用地震力<br>4. 解析結果及び評価<br>4.1 固有周期及び設計震度<br>4.2 評価結果 |

＊1：波及的影響を及ぼすおそれのある施設のみ記載。
＊2：動的又は電気的機能維持評価が必要な設備のみ記載。
＊3：機能維持評価で詳細評価が必要な場合（機能確認済加速度を超えた場合）の記載は添付資料-5 を参照する。
＊4：設計基準対象施設単独又は重大事故等対処設備単独の場合は該当する項目のみ記載する。
＊5：各計算書の目次は，「補足-100-1　工認本文および添付書類の作成要領」に従った章構成とする。

図 4-1　機電設備耐震計算書の分類と各分類の構成

図 4-1 は各耐震計算書の第 1 章「概要」から最終章「評価結果」に至るまでの基本的な章構成，主な記載内容を示している。フローパターンは A～F（B を除く）の種類があり，各耐震計算書は概ねこれらのフローパターンに分類することができるような記載とする。設備の特性上，特殊な評価が必要な場合でフローパターンに分類することができなくても本資料の目的を踏まえ，記載の品質向上を図る。

## 5. 耐震計算書記載注意事項

以降は，女川原子力発電所第 2 号機の耐震計算書（機電分）（以下「耐震計算書」という。）における記載項目，様式及び耐震計算書作成上の注意事項について整理し，耐震計算書の作成上の注意事項としてまとめたものである。

なお，具体的な記載例は添付資料に示す。

### 5.1 耐震計算書の全般的な注意事項

○評価手法について

・自プラント既工認の記載内容から変更がある場合は，その内容が分かるように記載する。自社他プラントや既往研究の評価手法を引用する場合は，参照する工認書類等を記載する。なお，他社プラント工認で適用実績がある評価手法を用いる場合においても，自社として初めての適用となる場合は内容を省略せずに記載する。

・評価手法が既工認の記載事項から変更がなく，詳細な記載を省略する場合は，参照する工認書類等を記載する。

○評価対象（機器及び部位），評価内容について

・複数の評価対象に対して代表で評価する場合は,評価対象の母集団及び代表選定の考え方(条件が厳しい，すべて評価の上代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

・評価を省略する場合は，その理由を記載する（変更がない，他で包含されているなど)。

・評価に当たり必要となる記号及び数値を記載する。

○耐震計算書中で「設備分類」として，設計基準拡張設備の記載が必要な場合，次のような設備名及び略称記載をする。

・設備名：常設重大事故防止設備（設計基準拡張)，常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）

・略称：常設／防止（DB 拡張)，常設／緩和（DB 拡張）

### 5.2 耐震計算書の各項目の注意事項

#### 5.2.1 「①概要」について

「概要」は「目的」,「評価の概要」,「設計基準対象施設としての重要度分類」,「重大事故等対処設備としての設備区分」等を記載することを目的としている。

・各計算書に記載する「概要」は評価目的（「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能維持を有していることを説明するものである。」,「基準地震動Ｓｓ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ものである。」等）を明確にし「評価結果」の

章においては評価目的に対応した結論(「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。」,「十分な構造強度及び止水性を有していることを確認した。」,「波及的影響を及ぼさないことを確認した。」等）を記載する。

・機能維持評価について詳細評価する場合はその旨を記載する。

・関連する上位文書があれば記載する。

・添付書類「Ⅵ-2-1-13　計算書作成の方法」（以下「基本方針（添付書類)」という。）を呼び込む設備の計算書（容器，ポンプ類，電気品）については基本方針（添付書類）のフォーマットが使用できることについて構造上等からの適用性根拠を記載する。

例）～○○ポンプは横軸ポンプであり～

・計算書の対象となる機器の名称が系統名や設備名を含まない場合には，「概要」の初出箇所で系統名や設備名を補うことで対象を明確にする。

例）空気だめ → 非常用ディーゼル発電設備の空気だめ
　　ドレンタンク → 格納容器圧力逃がし装置のドレンタンク

5.2.2　「②一般事項」について

「一般事項」においては「配置概要（波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備のみ記載)」,「構造計画」,「評価方針」,「適用規格・基準等」,「記号の説明」,「計算精度と数値の丸め方」を記載することを目的としている。

基本方針（添付書類）を呼び込む設備の耐震計算書においては，基本方針（添付書類）に記載している項目を耐震計算書に記載する必要はない（以降の頁についても同様に基本方針の記載されている項目を耐震計算書に記載する必要はない)。ただし，波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で基本方針（添付書類）に記載されていない「適用規格・基準等」がある場合は記載する。

・「配置概要」では各設備の設置箇所を説明する。

・「構造計画」では,「計画の概要」及び「概略構造図」により,「主体構造」から「支持構造物」，据付部（ボルト，溶接部）に至るまでの荷重伝播経路を説明する。

・「構造計画」では,「主体構造」を要目表の表現で記載する場合，必要に応じて耐震計算書のパターンの表現(横軸ポンプ,スカート支持たて置円筒容器など)を含む表現を(　)付で記載する。

・「構造計画」では,「計画の概要」と「概略構造図」の説明においては用語を統一する（以降の頁についても同様に用語の整合性をとること)。

・「構造計画」では，据付ボルトが後施工の場合は「概略構造図」においてアンカの種類（メカニカルアンカ，ケミカルアンカ）を記載する。

・「構造計画」では，支持部が溶接の場合は溶接であることが分かるように「概略構造図」において溶接線を記載する。

・「構造計画」では，設備の概略寸法が分かるように「概略構造図」に必要な寸法（高さ，

幅，内径，外径，板厚等）を記載する。なお，高さの寸法を記載する場合は，基礎台を除いた設備の全高を記載した上で，その他に必要な高さ情報を記載する。

・「評価方針」では，「構造強度は応力等が許容限界以内であること」，「機能維持確認は機能確認済加速度以下であること」等どのような方法で確認するかを記載する。

・「評価方針」では，原則として耐震評価フロー図を記載する（評価手法が既工認の記載事項から変更がなく，詳細な記載を省略するとした場合は省略可）。

・「評価方針」では，耐震評価フロー図を用いて，固有周期を求めた後に設計用地震力を定めることを示す。

・「評価方針」では，ポンプ振動等を考慮する必要がある設備の場合は耐震評価フローにおいて「機械的荷重」の項目を記載する。

・「評価方針」では，屋外設備などの自然現象による荷重を考慮する必要がある設備の場合は耐震評価フローにおいてその旨の項目及び考え方の注記を記載する。

例）

追加項目：自然現象による荷重の算定・常時荷重

考え方　：常時荷重は，自重，風荷重を考慮するものとする。また，上面面積は小さく，積雪荷重はわずかであるため，積雪荷重を含めない。

・「適用規格・基準等」では，計算書において準拠する規格及び基準について具体的な規格番号，名称，及び制定又は改訂年度も含め記載する。

・「記号の説明」では，「記号」，「記号の説明」，「単位」を記載する。

・「計算精度と数値の丸め方」では，「数値の種類」，「単位」，「処理桁」，「処理方法」，「表示桁」を記載する。

5.2.3　「③評価部位」について

耐震評価を行う部位を記載することを目的としている。

・5.2.2「②一般事項」の「構造計画」で示した部位に対し，評価対象を選定している理由を記載する。

・複数の評価対象に対して代表で評価する場合は，評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい，すべて評価の上代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

5.2.4　「④固有周期」について

固有周期の求め方及び固有周期を記載することを目的としている。

・解析モデルを用いて固有周期を算出する場合（C-1 他）において，「固有値解析方法」「解析モデル及び諸元」，「固有値解析結果」を記載する。

－「固有値解析方法」では，適用する解析モデル（3 次元 FEM モデル等），使用する要素（板要素，はり要素等）を記載する。

－「解析モデル及び諸元」では，内装品・取付け器具がある場合の解析モデル上での扱い（質量や重心位置等の計算条件）を記載する。

－「解析モデル及び諸元」では，基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は「基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と記載する。
－「解析モデル及び諸元」では，解析モデル図，解析モデルの諸元を記載する。解析モデル図は座標系を記載し，必要に応じ，どの部分のモデルかを示す。対称性等を考慮した部分モデル（1/2 モデル等）は考え方を記載する。諸元は，解析モデルの要素数，節点数，拘束条件（完全固定，並進方向固定／自由，回転方向固定／自由，ピン支持等）を含め記載する。物性値（縦弾性係数，ポアソン比等）はモデル化した材料が複数あればそれごとに記載する。（ボルトをモデル化しているなら，ボルトの物性値を記載する。）
－「解析モデル及び諸元」では，最後の記載項目として，解析に用いる計算機プログラムを記載する。
－「固有値解析結果」では，固有周期を記載するとともに，柔構造の場合はその振動モード図及び刺激係数を記載する（刺激係数がモード質量を正規化して求めた値である等，刺激係数の算出方法について注記で記載する）。振動モード図は，最大で 3 次モードまでを，又は，各方向の卓越モードを代表として記載する。また，剛構造の場合は，剛であることを確認した 1 次モードの振動モード図を記載する。
・評価対象の設備が流体中に設置される場合には，流体による付加質量（機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量）を考慮することを記載する。
・理論式を用いて固有値を求める場合（C-2）において，「固有周期の計算方法」，「固有周期の計算条件」，「固有周期の計算結果」を記載する。
－「固有周期の計算方法」では，解析適用する解析モデル（1 質点系モデル等），解析モデル図，計算式を記載する。
－「固有周期の計算条件」では，各項目に対する記号，単位及び数値等を記載する。
・固有周期を振動試験等で求める場合（D）において，「基本方針」，「固有周期の確認方法」，「固有周期の確認結果」を記載する。
－「基本方針」では，試験名称（振動台を用いた加振試験又は打診試験（自由振動試験））を記載する。

例）
計器スタンションの固有周期は，振動試験（加振試験）にて求める。

【類似品の結果を流用する場合の記載例】
計器スタンションの固有周期は，構造が同等であり，同様な振動特性をもつ計器スタンションに対する振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」について

地震応答解析，構造強度評価の方法及びそれらに使用する解析手法および解析条件を記載することを目的としている。

・下記の項目を記載する。
- 地震応答解析及び構造強度評価方法
- 荷重の組合せ及び許容応力
- 解析モデル及び諸元
- 固有周期
- 設計用地震力
- 計算方法
- 計算条件
- 応力の評価

・「地震応答解析及び構造強度評価方法」には以下について記載する。
- 適用する解析モデル（3 次元 FEM モデル等），使用する要素（板要素，はり要素等）を記載する。
- 公称値を使用する設備については，その旨を記載する。
- 内装品・取付け器具がある場合，解析モデル上での扱い（質量や重心位置等の計算条件）を記載する。
- 基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は，「基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と記載する。
- 水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を考慮した評価を実施する設備については，その旨を記載する。

・「解析モデル及び諸元」では，解析モデル図，解析モデルの諸元を記載する。解析モデル図は座標系を記載し，必要に応じ，どの部分のモデルかを示す。対称性等を考慮した部分モデル（1/2 モデル等）は考え方を記載する。諸元は，解析モデルの要素数，節点数，拘束条件（完全固定，並進方向固定／自由，回転方向固定／自由，ピン支持等）を含め記載する。物性値（縦弾性係数，ポアソン比等）はモデル化した材料が複数あればそれごとに記載する。(ボルトをモデル化しているなら，ボルトの物性値を記載する。）また，最後の記載項目として，解析に用いる計算機プログラムを記載する。

・固有値解析を実施する場合は，固有周期を記載するとともに，柔構造の場合はその振動モード図及び刺激係数を記載する（刺激係数がモード質量を正規化して求めた値である等，刺激係数の算出方法について注記で記載する)。振動モード図は，最大で 3 次モードまでを，又は，各方向の卓越モードを代表として記載する。

・動的解析を実施する場合は，評価に用いる具体的な解析手法（スペクトルモーダル解析法，時刻歴応答解析法）を記載する。

・評価対象の設備が流体中に設置される場合には，流体による付加質量（機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量）を考慮することを記載する。また，必要に応じて，排除水体積質量（流体－機器の相互作用による応答低減効果を模擬した質量）を考慮することを記載する。

・建屋壁により支持される機器，建屋中間階に設置される機器の設計用地震力は，当該機の設置される上下階のいずれか大きい方を用いることを基本とする。

・応力の評価に使用する解析の結果を記載する（応力計算式を用いて手計算できる程度）。
・許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

5.2.6　「⑥構造強度評価」について

応力評価の方法，応力評価に使用する条件を記載することを目的としている。

・下記の項目を必要に応じて記載する。
  - 構造強度評価方法
  - 荷重の組合せ及び許容応力
  - 設計用地震力
  - 計算方法
  - 計算条件
  - 応力の評価
・記載時の注意事項については 5.2.5「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照。

5.2.7　「⑦構造強度評価」について

応力評価の方法，応力評価に使用する条件を記載することを目的としている。

・下記の項目を記載する。手計算で計算するものは，計算に用いる全ての記号の値を記載する（本文中又は計算結果の表中に記載）。
  - 構造強度評価方法
  - 荷重の組合せ及び許容応力
  - 計算条件
・基本方針（添付書類）を呼び込む設備の計算書（容器，ポンプ類，電気品）については評価に使用する基本方針（添付書類）を記載する。また，基本方針に水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せ方法が 2 通り（絶対値和，SRSS 法）示されている場合は適用している方法を記載する。
・その他の記載時の注意事項については 5.2.5「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照。
・耐震クラスがＳクラスのもので，基準地震動Ｓｓで許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の評価をし，弾性設計用地震動Ｓｄでの評価を省略する場合は，その旨を記載する。

5.2.8　「⑧機能維持評価」について

機能維持評価の方法（詳細評価を含む）について記載することを目的としている。

・機能維持評価用加速度*と機能確認済加速度との比較評価を実施し，必要に応じてＪＥＡＧ４６０１に記載の詳細評価を実施する。
・ＪＥＡＧ４６０１の詳細評価を実施する場合，評価項目ごとに個別の評価書として章の構成を行い必要な内容を記載する。
・機能維持評価方法の説明が必要な場合の記載は添付資料-5 を参考とする。

注記＊：用語は，「評価用加速度」ではなく，「機能維持評価用加速度」とする。

5.2.9　「⑨機能維持評価」について

機能維持評価（機能確認済加速度と比較）のみ確認する設備の機能維持評価の方法及び条件について記載することを目的としている。

・「機能維持評価用加速度*」では，機能維持評価用加速度の根拠等を記載する。
・「機能確認済加速度」では，加振試験に用いる加速度，加振試験の条件等を記載する。

注記＊：用語は，「評価用加速度」ではなく，「機能維持評価用加速度」とする。

5.2.10　「⑩評価結果」について

設計基準対象施設としての評価結果，重大事故等対処設備としての評価結果を記載することを目的としている。

・評価結果においては「①概要」に記載の評価目的に対応した結論を記載する。

例）

「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。」

「十分な構造強度及び止水性を有していることを確認した。」

「波及的影響を及ぼさないことを確認した。」

・解析モデルによる固有値解析や耐震評価を実施する設備については，解析モデルの諸元（断面性状等）について「機器要目」に記載する。

添付資料-1：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Fパターン「横軸ポンプ」の耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○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
3.　構造強度評価 ..... 3
3.1　構造強度評価方法 ..... 5
3.2　荷重の組合せ及び許容応力 ..... 5
3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ..... 5
3.2.2　許容応力 ..... 5
3.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ..... 5
3.3　計算条件 ..... 5
4.　機能維持評価 ..... 9
4.1　動的機能維持評価方法 ..... 9
5.　評価結果 ..... 10
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ..... 10
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 10

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は,それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1.　概要

本計算書は，添付書類「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，○○○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。

○○○ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお，○○○ポンプは，添付書類「Ⅵ-2-1-13　機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2.　一般事項

2.1　構造計画

○○○ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれ該当する項目のみ記載する。］

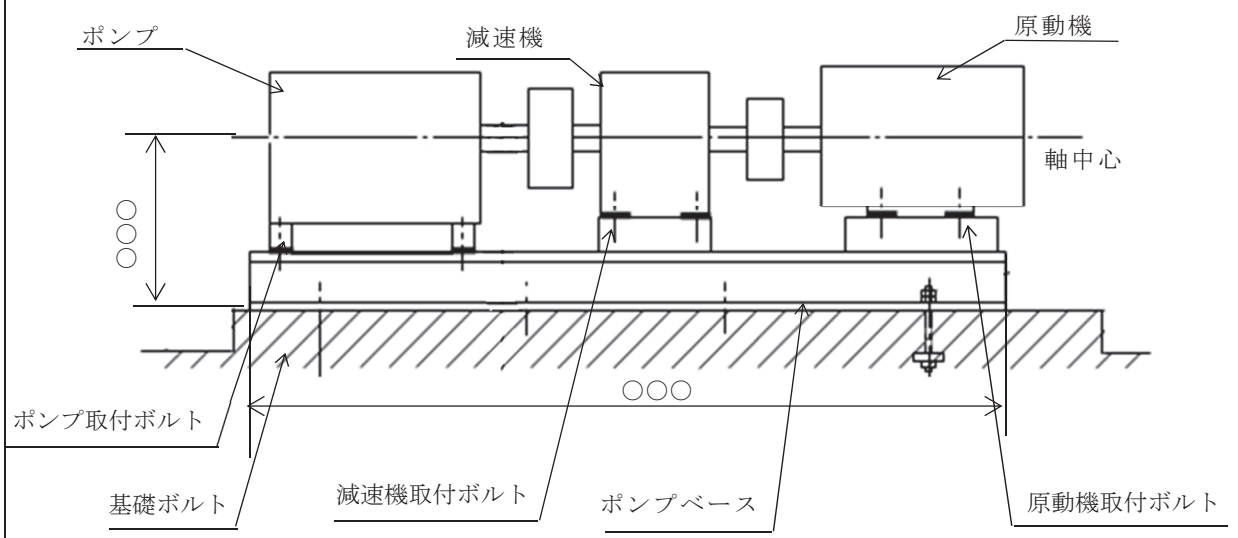
2.1　配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　適用規格・基準等」と続く。

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 | |
| ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。 | 往復形（往復形横軸ポンプ） |  |

機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。



（単位：mm）

3. 固有周期

3.1 記号の説明

| 記 号 | 記 号 の 説 明 | 単 位 |
|---|---|---|
| A | 断面積 | $mm^2$ |
| $A_e$ | 有効せん断断面積 | $mm^2$ |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| G | せん断弾性係数 | MPa |
| h | 据付面から重心までの距離 | mm |
| I | 断面二次モーメント | $mm^4$ |
| $K_H$ | 水平方向ばね定数 | N/m |
| $K_V$ | 鉛直方向ばね定数 | N/m |
| m | 運転時質量 | kg |
| $T_H$ | 水平方向固有周期 | s |
| $T_V$ | 鉛直方向固有周期 | s |

3.2 固有周期の計算方法

○○○ポンプの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

a. ○○○ポンプの質量は重心に集中するものとする。

b. ○○○ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。

c. ○○○ポンプをはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

d. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

○○○ポンプは，図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

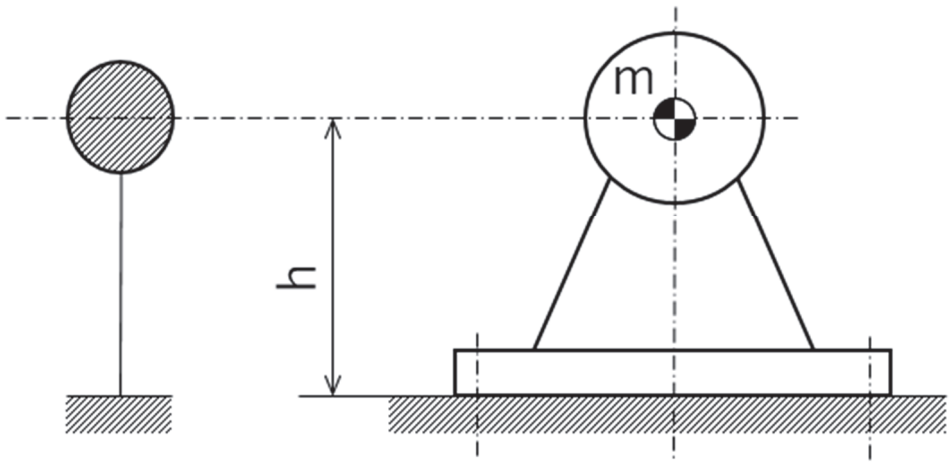



図 3-1 固有周期の計算モデル

個別に固有周期を算出する設備（ファン等）の場合記載する。

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数$K_H$は次式で求める。

$$K_H=\frac{1000}{\frac{h^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h}{G\cdot A_e}} \quad \cdots\cdots (3.2.1)$$

したがって，固有周期$T_H$は次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{K_H}} \quad \cdots\cdots (3.2.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数$K_V$は次式で求める。

$$K_V=\frac{1000}{\frac{h}{E\cdot A}} \quad \cdots\cdots (3.2.3)$$

したがって，固有周期$T_V$は次式で求める。

$$T_V=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{K_V}} \quad \cdots\cdots (3.2.4)$$

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。計算の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

| | |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

個別に固有周期を算出する設備の場合記載する。

断面積ではなく保守的に有効せん断断面積を適用して固有周期を算出する場合は以下の注記を記載の上でＡｅを適用する。
注記＊：断面積には，固有周期が大きく算出される有効せん断断面積Ａｅを用いる。

個別に固有周期を算出する設備の場合，目次構成は「4.構造強度評価」，「4.1 構造強度評価方法」，「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」と続く。

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

○○○ポンプの構造強度評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお，水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

「基本方針」に絶対値和及びSRSS法の計算方法が示されている場合，計算に適用する手法を記載する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2　許容応力

○○○ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，表3-3のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

・DB＋SAの場合の記載例を示す。

〔DB単独又はSA単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

3.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○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。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○系統 | ○○設備 | ○○○ポンプ | S | クラス２ポンプ* | Ｄ＋Ｐ$_{D}$＋Ｍ$_{D}$＋Ｓｄ* | Ⅲ$_{A}$Ｓ |
| | | | | | Ｄ＋Ｐ$_{D}$＋Ｍ$_{D}$＋Ｓｓ | Ⅳ$_{A}$Ｓ |

注記＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○系統 | ○○設備 | ○○○ポンプ | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | 重大事故等<br>クラス２ポンプ*2 | Ｄ＋Ｐ$_{D}$＋Ｍ$_{D}$＋Ｓｓ*3 | Ⅳ$_{A}$Ｓ |
| | | | | | Ｄ＋Ｐ$_{SAD}$＋Ｍ$_{SAD}$＋Ｓｓ | Ｖ$_{A}$Ｓ<br>（Ｖ$_{A}$Ｓとして<br>Ⅳ$_{A}$Ｓの許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB 拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「Ｄ＋Ｐ$_{SAD}$＋Ｍ$_{SAD}$＋Ｓｓ」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

表 3-3　許容応力（クラス 2，3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

| 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 |
| $Ⅲ_AS$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |
| $Ⅳ_AS$ | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| $Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$ として$Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） | | |

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。

・DB＋SA の場合は，$Ⅴ_AS$ を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 3-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（RT）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○＊（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | － |
| ポンプ取付ボルト | | 最高使用温度 | | | | － |
| 原動機取付ボルト | | 周囲環境温度 | | | | － |
| 減速機取付ボルト | | 周囲環境温度 | | | | － |

注記＊：○○○○相当

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合には，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（RT）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○＊（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | － |
| ポンプ取付ボルト | | 最高使用温度 | | | | － |
| 原動機取付ボルト | | 周囲環境温度 | | | | － |
| 減速機取付ボルト | | 周囲環境温度 | | | | － |

注記＊：○○○○相当

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

4.　機能維持評価

4.1　動的機能維持評価方法

○○○ポンプの動的機能維持評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-4　横軸ポンプ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。

○○○ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s$^2$）

| 評価部位 | 形式 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | 横形○○○○ ポンプ | 水平方向 | |
| | | 鉛直方向 | |
| 原動機 | 横形○○○○ 電動機 | 水平方向 | |
| | | 鉛直方向 | |

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○ポンプの設計基準対象施設として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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

Ⅲ$_{A}$Sの評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(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。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合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。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

個別に固有周期を算出する設備の場合，固有周期の算出結果を記載する。

【○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　設計条件

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期（s） | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○ポンプ | S | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | —*2 | —*2 | —*3 | —*3 | $C_H$ ＝ | $C_V$ ＝ | $C_p$ ＝ | | |

注記　*1：基準床レベルを示す。
*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
*3：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

ⅢASの評価をＳｓで実施した場合は，震度に「—*3」を付記し，注記を以下のとおり書き換える。
注記*3：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.2　機器要目

| 部　材 | $m_i$ (kg) | $h_i$ (mm) | $\ell_{1i}$ *1 (mm) | $\ell_{2i}$ *1 (mm) | $d_i$ (mm) | $A_{bi}$ (mm²) | $n_i$ | $n_{fi}$ *1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト（i＝1） | | | | | (M　) | | | |
| ポンプ取付ボルト（i＝2） | | | | | (M　) | | | |
| 原動機取付ボルト（i＝3） | | | | | (M　) | | | |
| 減速機取付ボルト（i＝4） | | | | | (M　) | | | |

ボルト径を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

| 部　材 | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i^*$ (MPa) | 転倒方向 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 転倒方向 基準地震動Ｓｓ | $M_p$ (N・mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト（i＝1） | *3 (　mm＜径≦　mm) | *3 (　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |
| ポンプ取付ボルト（i＝2） | *2 (　mm＜径≦　mm) | *2 (　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |
| 原動機取付ボルト（i＝3） | *2 (　mm＜径≦　mm) | *2 (　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |
| 減速機取付ボルト（i＝4） | *3 (　mm＜径≦　mm) | *3 (　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |

$M_p$が生じない場合は「—」とする。

| $H_p$ ($\mu$m) | N (rpm) |
|---|---|
| | |

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
*2：最高使用温度で算出
*3：周囲環境温度で算出

ⅢASの評価をＳｓで実施する場合は「—」とする。

| E (MPa) | G (MPa) | I ($mm^4$) | $A_e$ ($mm^2$) |
|---|---|---|---|
| | | | |

個別に固有周期を算出する設備の場合記載する。

$Ⅲ_AS$の評価をＳｓで実施した場合は，1.3項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：$Ⅲ_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.3　計算数値

1.3.1　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Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | ―* | | ―* | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | ―* | | ―* | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | ―* | | ―* | |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | ―* | | ―* | |

注記＊：$Ⅲ_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

| 方向 | 固有周期 |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

個別に固有周期を算出する設備の場合記載する。
以降の目次構成は「1.4.2　ボルトの応力」，「1.4.3　動的機能の評価結果」と続く。

ⅢASの評価をＳｓで実施した場合は，算出応力は基準地震動Ｓｓによる算出値を「○○*2」と記載し，注記を以下のとおりとする。
注記＊2：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝ *1 | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝ *1 | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | | 引張り | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝ *1 | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | | 引張り | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝ *1 | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊1：$f_{tsi} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

＊2：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.2　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 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |
| 原動機 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は，すべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。
※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし，章番を 1. とする。

【○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500㎜ 以上の基礎台に設置されている設備に適用

個別に固有周期を算出する設備の場合，固有周期の算出結果を記載する。

| 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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○ポンプ | | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | －*2 | －*2 | － | － | $C_H$＝ | $C_V$＝ | $C_p$ ＝ | － | － |

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2　機器要目

| 部　材 | $m_i$ (kg) | $h_i$ (㎜) | $\ell_{1i}$ *1 (㎜) | $\ell_{2i}$ *1 (㎜) | $d_i$ (㎜) | $A_{bi}$ (㎜²) | $n_i$ | $n_{fi}$ *1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | | | | (M　) | | | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | | | | (M　) | | | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | | | | | (M　) | | | |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | | | | | (M　) | | | |

ボルト径を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

| 部　材 | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i$* (MPa) | 転倒方向 | | $M_p$ (N・㎜) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | *3<br>(　㎜＜径≦　㎜) | *3<br>(　㎜＜径≦　㎜) | － | | － | | － |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | *2<br>(　㎜＜径≦　㎜) | *2<br>(　㎜＜径≦　㎜) | － | | － | | － |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | *2<br>(　㎜＜径≦　㎜) | *2<br>(　㎜＜径≦　㎜) | － | | － | | － |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | *3<br>(　㎜＜径≦　㎜) | *3<br>(　㎜＜径≦　㎜) | － | | － | | － |

$M_p$が生じない場合は「－」とする。

| $H_p$ ($\mu$m) | N (rpm) |
|---|---|
| | |

注記＊1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
＊2：最高使用温度で算出
＊3：周囲環境温度で算出

| E (MPa) | G (MPa) | I ($mm^4$) | $A_e$ ($mm^2$) |
|---|---|---|---|
| | | | |

個別に固有周期を算出する設備の場合記載する。

2.3　計算数値

2.3.1　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Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | － | | － | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | － | | － | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | － | | － | |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | － | | － | |

2.4　結論

2.4.1　固有周期　　(単位：s)

| 方向 | 固有周期 |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

個別に固有周期を算出する設備の場合記載する。
以降の目次構成は「2.4.2　ボルトの応力」，「2.4.3　動的機能の評価結果」と続く。

2.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{tsi}$ ＝ Min[1.4・$f_{toi}$－1.6・$\tau_{bi}$，$f_{toi}$]より算出

2.4.2　動的機能の評価結果

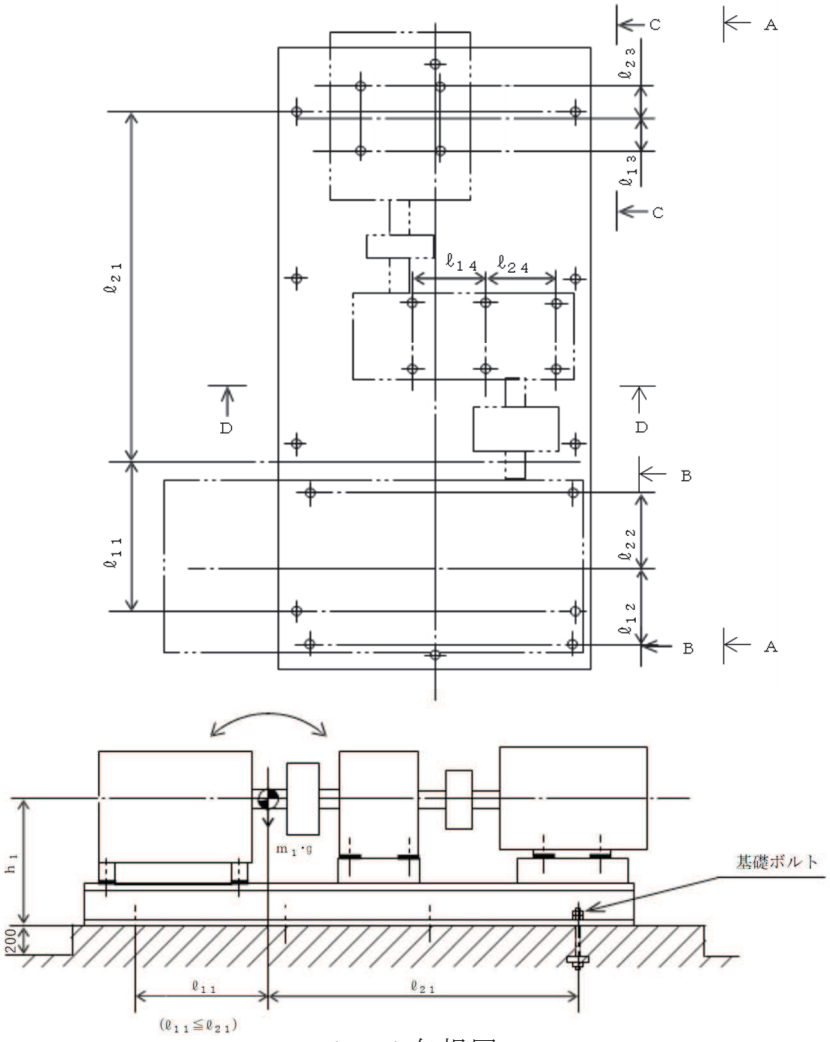
（×9.8m/s$^2$）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |
| 原動機 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

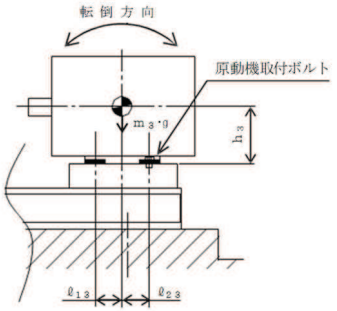
注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は，すべて機能確認済加速度以下である。

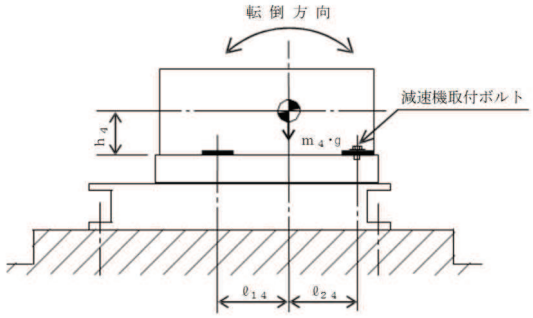
「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。
※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。



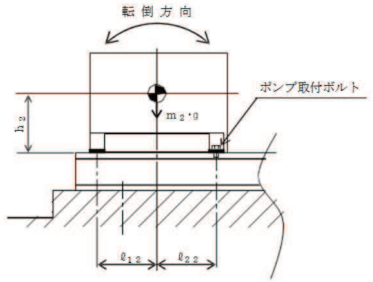

Ａ～Ａ矢視図
（基礎ボルト）




Ｃ～Ｃ矢視図
（原動機取付ボルト）




Ｄ～Ｄ矢視図
（減速機取付ボルト）




Ｂ～Ｂ矢視図
（ポンプ取付ボルト）

本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-2：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（F パターン「容器」の耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○○空気だめ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
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の計算 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 3
4.1　構造強度評価方法 ····· 3
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2　許容応力 ····· 3
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
4.3　計算条件 ····· 3
5.　評価結果 ····· 8
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 8
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

1.　概要

本計算書は，添付書類「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の設計方針に基づき，○○○○空気だめ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。

○○○○空気だめは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお，○○○○空気だめは，添付書類「Ⅵ-2-1-13　機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器と類似の構造であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-13-1　スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2.　一般事項

2.1　構造計画

○○○○空気だめの構造計画を表 2-1 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

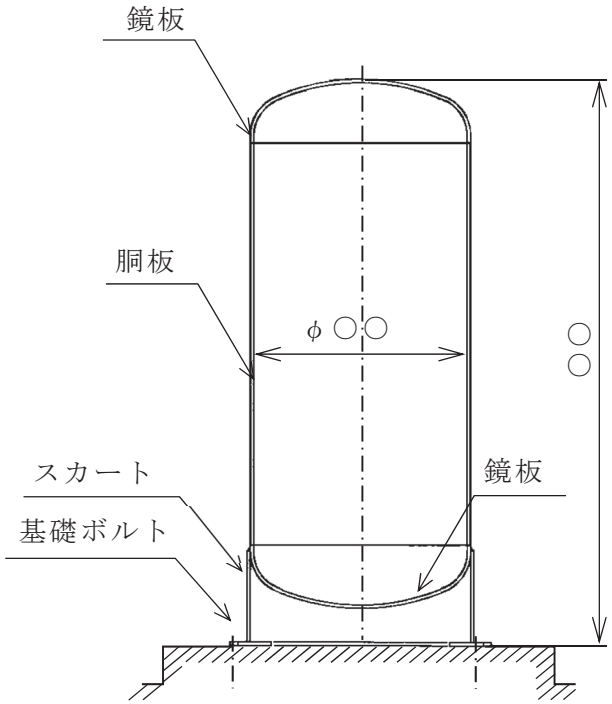
2.1　配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　適用規格・基準等」と続く。

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 | |
| 胴をスカートで支持し，スカートを基礎ボルトで基礎に据え付ける。 | たて置円筒形<br>（上面及び下面に鏡板を有するスカート支持たて置円筒形容器） |  |

機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。

（単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○○空気だめの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期　　（単位：s）

| | |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

○○○○空気だめの構造強度評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-1　スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお，水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

「基本方針」に絶対値和及び SRSS 法の計算方法が示されている場合，計算に適用する手法を記載する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○○空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2　許容応力

○○○○空気だめの許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○○空気だめの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○○空気だめ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。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○空気だめ | S | クラス３容器* | $D + P_D + M_D + S_d$ * | $III_AS$ |
| | | | | | $D + P_D + M_D + S_s$ | $IV_AS$ |

注記＊：クラス３容器の支持構造物を含む。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○空気だめ | 常設／防止（DB 拡張）<br>常設／緩和（DB 拡張） | 重大事故等*2<br>クラス２容器 | $D + P_D + M_D + S_s$ *3 | $IV_AS$ |
| | | | | | $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ | $V_AS$（$V_AS$ として $V_AS$ の許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB 拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：重大事故等クラス２容器の支持構造物を含む。

＊3：「$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 容器）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 容器）とする。

表 4-3　許容応力（クラス 2，3 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

| 許容応力状態 | 許容限界*1，*2 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 一次一般膜応力 | 一次膜応力＋<br>一次曲げ応力 | 一次＋二次応力 | 一次＋二次＋<br>ピーク応力 |
| ⅢAS | Ｓｙと 0.6・Ｓｕの小さい方<br>ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・Ｓとの大きい方 | 左欄の 1.5 倍の値 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓ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。<br>ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。 | |
| ⅣAS | 0.6・Ｓｕ | 左欄の 1.5 倍の値 | | |
| ＶAS<br>（ＶASとしてⅣASの許容限界を用いる。） | | | 基準地震動Ｓｓ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。<br>ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。 | |

注記＊1：座屈による評価は，クラスＭＣ容器の座屈に対する評価式による。
＊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。

・DB＋SA の場合は，ＶASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

表 4-4　許容応力（クラス 2，3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

| 許容応力状態 | 許容限界*1，*2（ボルト等以外） | 許容限界*1，*2（ボルト等） | |
|---|---|---|---|
| | 一次応力 | 一次応力 | |
| | 組合せ | 引張り | せん断 |
| $Ⅲ_AS$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |
| $Ⅳ_AS$ | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| $V_AS$（$V_AS$ として$Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） | | | |

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。

・DB＋SA の場合は，$V_AS$ を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | S（MPa） | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$(RT)（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胴板 | ○○ | 最高使用温度 | — | | | — |
| スカート | ○○<br>(厚さ≦　mm) | 周囲環境温度 | — | | | — |
| 基礎ボルト | ○○*<br>(　mm＜径≦　mm) | 周囲環境温度 | — | | | — |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 4-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | S（MPa） | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$(RT)（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胴板 | ○○ | 最高使用温度 | — | | | — |
| スカート | ○○<br>(厚さ≦　mm) | 周囲環境温度 | — | | | — |
| 基礎ボルト | ○○*<br>(　mm＜径≦　mm) | 周囲環境温度 | — | | | — |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○○空気だめの設計基準対象施設として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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

$Ⅲ_{A}S$ の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合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。

$III_AS$ の評価をＳｓで実施した場合は，震度に「―*2」を付記し，注記を以下のとおり書き換える。
注記*2：$III_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

固有周期が，0.05s を超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。
*○：弾性設計用地震動Ｓｄに基づく設計用床応答曲線から得られる値
*○：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

【○○○○空気だめの耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　設計条件

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○空気だめ | S | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　　) | | | ―*2 | ―*2 | $C_H$= | $C_V$= | | | |

注記*1：基準床レベルを示す。
*2：$III_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2　機器要目

| $m_0$ (kg) | $m_e$ (kg) | $D_i$ (mm) | t (mm) | $D_s$ (mm) | $t_s$ (mm) | E (MPa) | $E_s$ (MPa) | G (MPa) | $G_s$ (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *1 | *2 | *1 | *2 |

| ℓ (mm) | $\ell_s$ (mm) | $D_1$ (mm) | $D_2$ (mm) | $D_3$ (mm) | s | n | $D_c$ (mm) | $D_{bo}$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

| $D_{bi}$ (mm) | d (mm) | $A_b$ ($mm^2$) | Y (mm) | $M_s$ (N･mm) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | (M　) | | | ― | |

ボルト径を記載する。

| $S_y$(胴板) (MPa) | $S_u$(胴板) (MPa) | S(胴板) (MPa) | $S_y$(スカート) (MPa) | $S_u$(スカート) (MPa) | F(スカート) (MPa) | $F^*$(スカート) (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1 | *1 | ― | *2<br>(厚さ≦　mm) | *2<br>(厚さ≦　mm) | | |

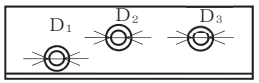
| $S_y$(基礎ボルト) (MPa) | $S_u$(基礎ボルト) (MPa) | F(基礎ボルト) (MPa) | $F^*$(基礎ボルト) (MPa) |
|---|---|---|---|
| *2<br>(　mm＜径≦　mm) | *2<br>(　mm＜径≦　mm) | | |

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

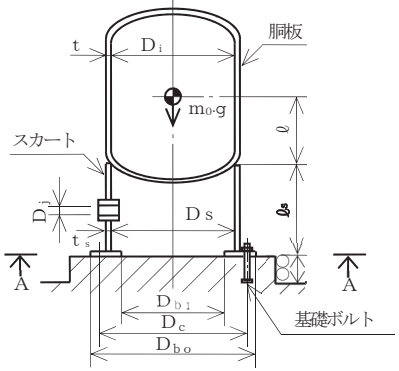
注記*1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。



スカート開口部の形状を示す。



A～A矢視図

本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

$Ⅲ_AS$の評価をＳｓで実施した場合は，1.3項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：$Ⅲ_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.3　計算数値

1.3.1　胴に生じる応力

(1)　一次一般膜応力

（単位：MPa）

| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | | 基準地震動Ｓｓ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 |
| 静水頭又は内圧による応力 | | $\sigma_{\phi 1}=$ | $\sigma_{x 1}=$ | － | $\sigma_{\phi 1}=$ | $\sigma_{x 1}=$ | － |
| 運転時質量による引張応力 | | － | $\sigma_{x 2}=$ | － | － | $\sigma_{x 2}=$ | － |
| 鉛直方向地震による引張応力 | | － | $\sigma_{x 5}=$ | － | $\sigma_{\phi 2}=$ | $\sigma_{x 5}=$ | － |
| 空質量による圧縮応力 | | － | $\sigma_{x 3}=$ | － | － | $\sigma_{x 3}=$ | － |
| 鉛直方向地震による圧縮応力 | | － | $\sigma_{x 6}=$ | － | － | $\sigma_{x 6}=$ | － |
| 水平方向地震による応力 | | － | $\sigma_{x 4}=$ | $\tau=$ | － | $\sigma_{x 4}=$ | $\tau=$ |
| 応力の和 | 引張側 | $\sigma_{\phi}=$ | $\sigma_{x t}=$ | － | $\sigma_{\phi}=$ | $\sigma_{x t}=$ | － |
| | 圧縮側 | $\sigma_{\phi}=$ | $\sigma_{x c}=$ | － | $\sigma_{\phi}=$ | $\sigma_{x c}=$ | － |
| 組合せ応力 | 引張り | $\sigma_{0 t}=$ | | | $\sigma_{0 t}=$ | | |
| | 圧縮 | － | | | － | | |

(2)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

（単位：MPa）

| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | | 基準地震動Ｓｓ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 |
| 鉛直方向地震による引張応力 | | $\sigma_{\phi 2}=$ | $\sigma_{x 5}=$ | － | $\sigma_{\phi 2}=$ | $\sigma_{x 5}=$ | － |
| 鉛直方向地震による圧縮応力 | | － | $\sigma_{x 6}=$ | － | － | $\sigma_{x 6}=$ | － |
| 水平方向地震による応力 | | － | $\sigma_{x 4}=$ | $\tau=$ | － | $\sigma_{x 4}=$ | $\tau=$ |
| 応力の和 | 引張側 | $\sigma_{2\phi}=$ | $\sigma_{2x t}=$ | － | $\sigma_{2\phi}=$ | $\sigma_{2x t}=$ | － |
| | 圧縮側 | $\sigma_{2\phi}=$ | $\sigma_{2x c}=$ | － | $\sigma_{2\phi}=$ | $\sigma_{2x c}=$ | － |
| 組合せ応力 | 引張り | $\sigma_{2 t}=$ | | | $\sigma_{2 t}=$ | | |
| (変動値) | 圧縮 | $\sigma_{2 c}=$ | | | $\sigma_{2 c}=$ | | |

1.3.2　スカートに生じる応力

（単位：MPa）

| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 応　力 | 組合せ応力 | 応　力 | 組合せ応力 |
| 運転時質量による応力 | | $\sigma_{s 1}=$ | $\sigma_s=$ | $\sigma_{s 1}=$ | $\sigma_s=$ |
| 鉛直方向地震による応力 | | $\sigma_{s 3}=$ | | $\sigma_{s 3}=$ | |
| 水平方向地震による応力 | 曲げ | $\sigma_{s 2}=$ | | $\sigma_{s 2}=$ | |
| | せん断 | $\tau_s=$ | | $\tau_s=$ | |

1.3.3　基礎ボルトに生じる応力

（単位：MPa）

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
|---|---|---|
| 引張応力 | $\sigma_b=$ | $\sigma_b=$ |
| せん断応力 | $\tau_b=$ | $\tau_b=$ |

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

| 方　向 | 固有周期 |
|---|---|
| 水平方向 | $T_H$= |
| 鉛直方向 | $T_V$= |

$III_AS$の評価をＳｓで実施した場合は，算出応力は基準地震動Ｓｓによる算出値を「○○*2」と記載し，注記を以下のとおりとする。
注記*2：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.2　応力　　(単位：MPa)

| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 胴板 | | 一次一般膜 | $\sigma_0$= | $S_a$= | $\sigma_0$= | $S_a$= |
| | | 一次＋二次 | $\sigma_2$= | $S_a$= | $\sigma_2$= | $S_a$= |
| スカート | | 組合せ | $\sigma_s$= | $f_t$= | $\sigma_s$= | $f_t$= |
| | | 圧縮と曲げの組合せ | $\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$ | | $\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$ | |
| | | (座屈の評価) | (無次元) | | (無次元) | |
| 基礎ボルト | | 引張り | $\sigma_b$= | $f_{ts}$= *1 | $\sigma_b$= | $f_{ts}$= *1 |
| | | せん断 | $\tau_b$= | $f_{sb}$= | $\tau_b$= | $f_{sb}$= |

注記*1：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

*2：基準地震動Ｓｓによる算出値

すべて許容応力以下である。

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし，章番を 1. とする。

【○○○○空気だめの耐震性についての計算結果】

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

固有周期が，0.05s を超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。
＊○：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

| 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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○空気だめ | 常設／防止(DB 拡張)<br>常設／緩和(DB 拡張) | ○○建屋<br>0.P.　＊<br>(0.P.　) | | | － | － | $C_H$= | $C_V$= | | | |

注記＊：基準床レベルを示す。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

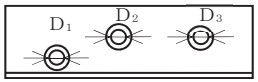
2.2　機器要目

| $m_0$ (kg) | $m_e$ (kg) | $D_i$ (mm) | t (mm) | $D_s$ (mm) | $t_s$ (mm) | E (MPa) | $E_s$ (MPa) | G (MPa) | $G_s$ (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *1 | *2 | *1 | *2 |

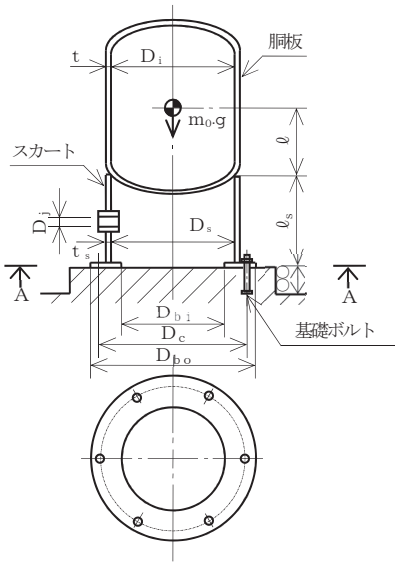
| ℓ (mm) | $\ell_s$ (mm) | $D_1$ (mm) | $D_2$ (mm) | $D_3$ (mm) | s | n | $D_c$ (mm) | $D_{bo}$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

| $D_{bi}$ (mm) | d (mm) | $A_b$ (mm$^2$) | Y (mm) | $M_s$ (N･mm) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | (M　) | | | － | |

ボルト径を記載する。



スカート開口部の形状を示す。



A～A矢視図

| $S_y$(胴板) (MPa) | $S_u$(胴板) (MPa) | S(胴板) (MPa) | $S_y$(スカート) (MPa) | $S_u$(スカート) (MPa) | F(スカート) (MPa) | F*(スカート) (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1 | *1 | － | *2 | *2 | － | |
| | | | (厚さ≦　mm) | (厚さ≦　mm) | | |

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

| $S_y$(基礎ボルト) (MPa) | $S_u$(基礎ボルト) (MPa) | F(基礎ボルト) (MPa) | F*(基礎ボルト) (MPa) |
|---|---|---|---|
| *2 | *2 | － | |
| (　mm＜径≦　mm) | (　mm＜径≦　mm) | | |

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

2.3　計算数値

2.3.1　胴に生じる応力

(1)　一次一般膜応力

(単位：MPa)

| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | | 基準地震動Ｓｓ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 |
| 静水頭又は内圧による応力 | | － | － | － | $\sigma_{\phi 1}=$ | $\sigma_{x1}=$ | － |
| 運転時質量による引張応力 | | － | － | － | － | $\sigma_{x2}=$ | － |
| 鉛直方向地震による引張応力 | | － | － | － | $\sigma_{\phi 2}=$ | $\sigma_{x5}=$ | － |
| 空質量による圧縮応力 | | － | － | － | － | $\sigma_{x3}=$ | － |
| 鉛直方向地震による圧縮応力 | | － | － | － | － | $\sigma_{x6}=$ | － |
| 水平方向地震による応力 | | － | － | － | － | $\sigma_{x4}=$ | $\tau=$ |
| 応力の和 | 引張側 | － | － | － | $\sigma_{\phi}=$ | $\sigma_{xt}=$ | － |
| | 圧縮側 | － | － | － | $\sigma_{\phi}=$ | $\sigma_{xc}=$ | － |
| 組合せ応力 | 引張り | － | | | $\sigma_{0t}=$ | | |
| | 圧縮 | － | | | － | | |

(2)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | | 基準地震動Ｓｓ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | せん断応力 |
| 鉛直方向地震による引張応力 | | － | － | － | $\sigma_{\phi 2}=$ | $\sigma_{x5}=$ | － |
| 鉛直方向地震による圧縮応力 | | － | － | － | － | $\sigma_{x6}=$ | － |
| 水平方向地震による応力 | | － | － | － | － | $\sigma_{x4}=$ | $\tau=$ |
| 応力の和 | － | － | － | － | $\sigma_{2\phi}=$ | $\sigma_{2xt}=$ | － |
| | － | － | － | － | $\sigma_{2\phi}=$ | $\sigma_{2xc}=$ | － |
| 組合せ応力 | 引張り | － | | | $\sigma_{2t}=$ | | |
| (変動値) | 圧縮 | － | | | $\sigma_{2c}=$ | | |

2.3.2　スカートに生じる応力

(単位：MPa)

| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 応　力 | 組合せ応力 | 応　力 | 組合せ応力 |
| 運転時質量による応力 | | － | － | $\sigma_{s1}=$ | $\sigma_{s}=$ |
| 鉛直方向地震による応力 | | － | | $\sigma_{s3}=$ | |
| 水平方向地震による応力 | 曲げ | － | | $\sigma_{s2}=$ | |
| | せん断 | － | | $\tau_{s}=$ | |

2.3.3　基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
|---|---|---|
| 引張応力 | － | $\sigma_{b}=$ |
| せん断応力 | － | $\tau_{b}=$ |

2.4　結論

2.4.1　固有周期　　(単位：s)

| 方　向 | 固有周期 |
|---|---|
| 水平方向 | $T_H$= |
| 鉛直方向 | $T_V$= |

2.4.2　応力　　(単位：MPa)

| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 胴板 | | 一次一般膜 | － | － | $\sigma_0$= | $S_a$= |
| | | 一次＋二次 | － | － | $\sigma_2$= | $S_a$= |
| スカート | | 組合せ | － | － | $\sigma_s$= | $f_t$= |
| | | 圧縮と曲げの組合せ | － | | $\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$ | |
| | | (座屈の評価) | － | | (無次元) | |
| 基礎ボルト | | 引張り | － | － | $\sigma_b$= | $f_{ts}$=　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_b$= | $f_{sb}$= |

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}\left[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b\ ,\ f_{to}\right]$より算出

すべて許容応力以下である。

添付資料-3：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Fパターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○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
3.　固有値解析及び構造強度評価 ..... 3
3.1　構造強度評価方法 ..... 3
3.2　荷重の組合せ及び許容応力 ..... 3
3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ..... 3
3.2.2　許容応力 ..... 3
3.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ..... 3
3.3　解析モデル及び諸元 ..... 9
3.4　固有周期 ..... 9
3.5　設計用地震力 ..... 10
3.6　計算条件 ..... 13
4.　機能維持評価 ..... 14
4.1　動的機能維持評価方法 ..... 14
5.　評価結果 ..... 15
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ..... 15
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 15

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1.　概要

本計算書は，添付書類「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，○○○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。

○○○ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお，○○○ポンプは，添付書類「Ⅵ-2-1-13　機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプと類似の構造であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2.　一般事項

2.1　構造計画

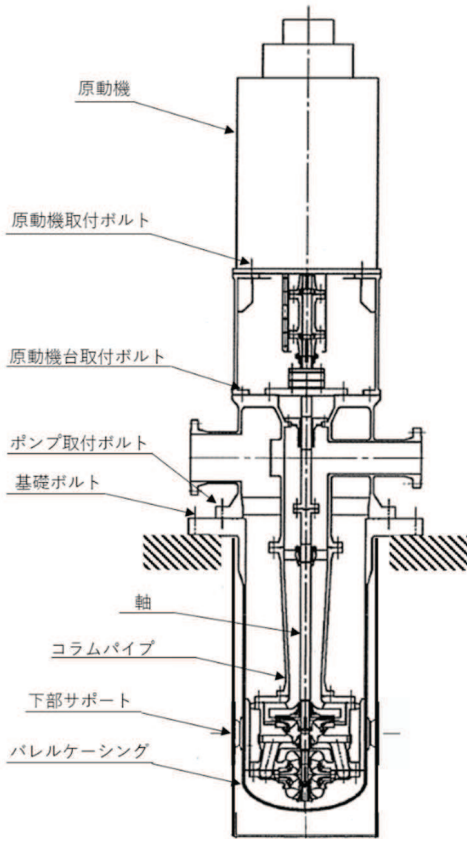
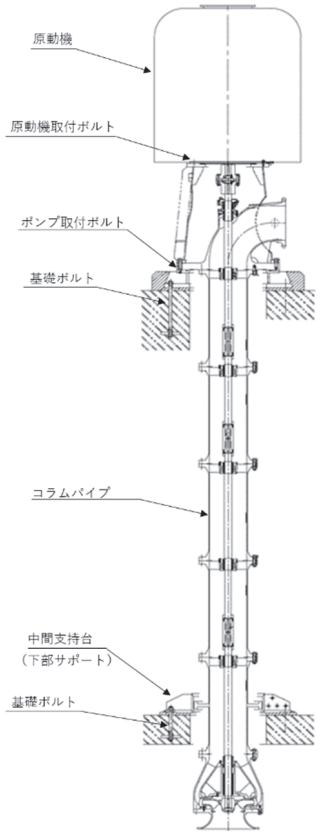
○○○ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれ該当する項目のみ記載する。］

2.1　配置概要
波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　適用規格・基準等」と続く。

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 | |
| ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。 | ピットバレル形<br>（ピットバレル型たて軸ポンプ）<br><br>ターボ形<br>（ターボ型たて軸ポンプ（海水ポンプ））<br><br>機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。 |  <br>【ピットバレル形たて軸ポンプ】<br>  <br>【ターボ形たて軸ポンプ（海水ポンプ）】<br><br>（単位：mm） |

3.　固有値解析及び構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

○○○ポンプの構造強度評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

○○○ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○ポンプ | S | クラス２ポンプ* | $D+P_D+M_D+S_d$ * | $Ⅲ_AS$ |
| | | | | | $D+P_D+M_D+S_s$ | $Ⅳ_AS$ |

注記＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○ポンプ | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | 重大事故等<br>クラス２ポンプ*2 | $D+P_D+M_D+S_s$ *3 | $Ⅳ_AS$ |
| | | | | | $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ | $V_AS$<br>（$V_AS$ として $Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB 拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 ポンプ）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 ポンプ）とする。

表 3-3　許容応力（クラス 2，3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ）

| 許容応力状態 | 許容限界* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 一次一般膜応力 | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 一次＋二次応力 | 一次＋二次＋ピーク応力 |
| $Ⅲ_AS$ | $S_y$と 0.6・$S_u$の小さい方<br>ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・Ｓとの大きい方 | 左欄の 1.5 倍の値 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓ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。<br>ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・$S_y$以下であれば，疲労解析は行わない。 | |
| $Ⅳ_AS$ | 0.6・$S_u$ | 左欄の 1.5 倍の値 | | |
| $V_AS$<br>（$V_AS$ として$Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） | | | 基準地震動Ｓｓ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。<br>ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・$S_y$以下であれば，疲労解析は行わない。 | |

注記＊：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。

・DB＋SA の場合は，$V_AS$ を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

表 3-4　許容応力（クラス 2，3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

| 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 |
| $Ⅲ_AS$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |
| $Ⅳ_AS$ | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| $V_AS$（$V_AS$ として$Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） | | |

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。

・DB＋SA の場合は，$V_AS$ を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | S（MPa） | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（ＲＴ）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| バレルケーシング | ○○<br>（　mm＜厚さ≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| コラムパイプ | ○○<br>（　mm＜厚さ≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| 基礎ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | － | | | － |
| ポンプ取付ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| 原動機台取付ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| 原動機取付ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | － | | | － |

注記＊：○○○○相当

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 3-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | S（MPa） | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（ＲＴ）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| バレルケーシング | ○○<br>（　mm＜厚さ≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| コラムパイプ | ○○<br>（　mm＜厚さ≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| 基礎ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | － | | | － |
| ポンプ取付ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| 原動機台取付ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | － | | | － |
| 原動機取付ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | － | | | － |

注記＊：○○○○相当

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合には，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

### 3.3　解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は，本計算書の【○○○ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。解析コードは，「○○○」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，添付書類「Ⅵ-5　計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.4　固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に，振動モード図を図 3-1 に示す。固有周期は，0.05 秒を超えており，柔構造であることを確認した。

表 3-7　固有値解析結果

| モード | 卓越方向 | 固有周期（ｓ） | 水平方向刺激係数* | | 鉛直方向刺激係数* |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | X | Y | |
| 1 次 | 水平方向 | | | | |
| ・・・ | 鉛直方向 | | | | |
| n 次 | 水平方向 | | | | |
| n＋1 次 | 水平方向 | | － | － | － |

記事＊：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。

適用する刺激係数について記載する。固有周期が 0.05 秒以下となる方向については「－」とする。

ｎ次までは固有周期が 0.050s より長いモード，ｎ＋１次は固有周期が 0.050ｓ以下のモードを示す。

柔構造の場合は，振動モード図（最大で 3 次モードまで又は各方向の卓越モード）を記載する。
剛構造の場合は，1 次モードの振動モード図を記載する。

図 3-1　振動モード（1 次モード 水平方向 ○.○○ｓ）

3.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「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。

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 に示す。

表 3-8　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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | 鉛直方向設計震度 |
| ○○建屋<br>0.P.　　*<br>(0.P.　　) | | | $C_H$＝ | $C_V$＝ | $C_H$＝ | $C_V$＝ |

注記＊：基準床レベルを示す

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

剛な設備の場合は本表を用いる。

表 3-8　設計用地震力

| 据付場所及び床面高さ(m) | | ○○建屋　0.P. ○○*1 (0.P. ○○) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 固有周期(s)*2 | | 水平：　　鉛直： | | | | | |
| 減衰定数(%) | | 水平：　　鉛直： | | | | | |
| 地震力 | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | | 基準地震動Ｓｓ | | |
| モード | 固有周期(s) | 応答水平震度*3 | | 応答鉛直震度*3 | 応答水平震度*4 | | 応答鉛直震度*4 |
| | | NS 方向 | EW 方向 | | NS 方向 | EW 方向 | |
| 1 次 | | | | | | | |
| ・・・・ | | | | | | | |
| n 次 | | | | | | | |
| n＋１次 | | | | | | | |
| 動的地震力*5 | | | | | | | |
| 静的地震力*6 | | | | | | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：1 次固有周期について記載。
＊3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（Ｓｄ）より得られる震度を示す。
＊4：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（Ｓｓ）より得られる震度を示す。
＊5：Ｓｓ又はＳｄに基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。
＊6：静的震度（3.6・Ｃｉ及び 1.2・Ｃｖ）を示す。

n 次までは固有周期が 0.050s より長いモード，n＋1 次は固有周期が 0.050s 以下のモードを示す。

ⅢAS の評価をＳｓで実施した場合は，震度に「―*3」を付記し，注記を以下のとおり書き換える。
注記＊3：ⅢAS については，基準地震動Ｓｓで評価する。

柔な設備の場合は本表を用いる。

O2 ○ Ⅵ-○-○-○ R0

## 3.6　サポート部の計算方法

### 3.6.1　記号の説明

○○○ポンプのサポート部の応力評価に使用する記号を表 3-9 に示す。

表 3-9　記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---|---|---|
| W | サポートに作用する荷重 | N |
| $A_{sbj}$ | サポートボルトの軸断面積*1 | $mm^2$ |
| $n_{sj}$ | サポートボルトの本数*1 | — |
| $\tau_{sbj}$ | サポートボルトに生じるせん断応力*1 | MPa |

注記＊1：$A_{sbj}$，$n_{sj}$及び$\tau_{sbj}$の添字ｊの意味は，以下のとおりとする。

ｊ＝1：第一中間サポート基礎ボルト

ｊ＝2：第一中間サポート取付ボルト

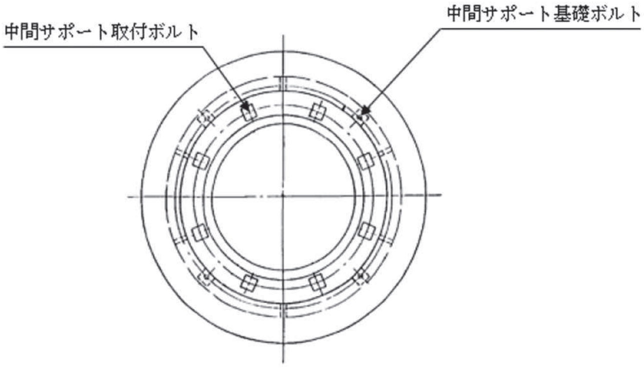
ｊ＝3：第二中間サポート基礎ボルト

ｊ＝4：第二中間サポート取付ボルト

### 3.6.2　応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた荷重Wにより，サポート取付ボルトに生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{sb}=\frac{W}{A_{sb}\cdot n_s} \quad \cdots\cdots (3.6.2.1)$$




サポート取付ボルトが複数種類ある場合には，添字ｊを用いて記号を定義する。また，添字の意味については設備構成に応じた記載とする。

図 3-2　サポート部の応力計算モデル

中間サポートを有するポンプの場合記載する。
この場合，目次構成は「3.6　サポート部の計算方法」，「3.7　計算条件」，「3.8　応力の評価」とする。

3.6　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○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。

3.8　応力の評価

3.8.1　ボルトの応力評価

3.6.2 項で求めたボルトのせん断応力 $\tau_{sbj}$ はせん断力のみを受けるボルトの許容応力 $f_{ssbj}$ 以下であること。

ただし，$f_{ssbj}$ は下表による。

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合 | 基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合 |
|---|---|---|
| 許容せん断応力 $f_{ssbj}$ | $\frac{F_j}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ | $\frac{F_j^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ |

中間サポートを有するポンプの場合記載する。

4.　機能維持評価

4.1　動的機能維持評価方法

○○○ポンプの地震後の動的機能維持評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-5　たて軸ポンプ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。

○○○ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s$^2$）

| 評価部位 | 形式 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | ○○○○<br>ポンプ | 水平方向 | |
| | | 鉛直方向 | |
| 原動機 | 立形○○○○<br>軸受電動機 | 水平方向 | |
| | | 鉛直方向 | |

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○ポンプの設計基準対象施設として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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(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。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合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。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　設計条件

ⅢAS の評価をＳｓで実施した場合は，震度に「―*2」を付記し，注記を以下のとおり書き換える。
注記＊2：ⅢAS については，基準地震動Ｓｓで評価する。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば区別せず，最高使用圧力を記載する。

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) | 最高使用圧力 (MPa) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | | 吸込側 | 吐出側 |
| ○○○○ポンプ | | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | | | $C_H$＝<br>又は＊2 | $C_V$＝<br>又は＊2 | $C_H$＝<br>又は＊3 | $C_V$＝<br>又は＊3 | $C_p$＝ | | | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：弾性設計用地震動Ｓｄに基づく設計用床応答曲線より得られる値
＊3：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線より得られる値

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2　機器要目

(1)　ボルト

| 部　材 | $m_i$ (kg) | $D_i$ (mm) | $d_i$ (mm) | $A_{bi}$ (mm²) | $n_i$ | $n_{fi}$ | $M_p$ (N･mm) | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i$* (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト<br>(ｉ＝1) | | | (M　) | | | | ― | *2<br>(径≦　mm) | *2<br>(径≦　mm) | | |
| ポンプ取付ボルト<br>(ｉ＝2) | | | (M　) | | | | | *1<br>(径≦　mm) | *1<br>(径≦　mm) | | |
| 原動機台取付ボルト<br>(ｉ＝3) | | | (M　) | | | | | *1<br>(径≦　mm) | *1<br>(径≦　mm) | | |
| 原動機取付ボルト<br>(ｉ＝4) | | | (M　) | | | | | *2<br>(径≦　mm) | *2<br>(径≦　mm) | | |

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

ボルト径を記載する。

$M_p$が生じない場合は“―”とする。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。
（バレルケーシング，コラムパイプについても同様とする。）

(2)　バレルケーシング，コラムパイプ

| 部　材 | S (MPa) | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | $D_C$ (mm) | t (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| バレルケーシング | ―* | * | * | | |
| コラムパイプ | ―* | * | * | | |

注記＊：最高使用温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

(3) サポートボルト

| 部　材 | $A_{sbj}$ (mm$^2$) | $n_{sj}$ | $S_{yj}$ (MPa) | $S_{uj}$ (MPa) | $S_{yj}$(RT) (MPa) | $F_j$ (MPa) | $F_j$* (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一中間サポート基礎ボルト (j=1) | | | * | * | | | |
| 第一中間サポート取付ボルト (j=2) | | | * | * | | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト (j=3) | | | * | * | | | |
| 第二中間サポート取付ボルト (j=4) | | | * | * | | | |

注記＊：周囲環境温度で算出

| $H_P$ ($\mu$m) | N (rpm) |
|---|---|
| | |

中間サポートを有するポンプの場合記載する。

$Ⅲ_AS$ の評価をＳｓで実施した場合は，1.3項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：$Ⅲ_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.3　計算数値

(1)　ボルトに作用する力

| 部　材 | $M_i$ (N・mm) | | $F_{bi}$ (N) | | $Q_{bi}$ (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | | | | | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | | | | | |
| 原動機台取付ボルト（ｉ＝3） | | | | | | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝4） | | | | | | |

(2)　バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

(単位：N･mm)

| 部　材 | M | |
|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| バレルケーシング | | |
| コラムパイプ | | |

(3)　サポートボルトに作用する力

(単位：N)

| 部　材 | $W_j$ | |
|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 第一中間サポート基礎ボルト（ｊ＝1） | | |
| 第一中間サポート取付ボルト（ｊ＝2） | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝3） | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝4） | | |

中間サポートを有するポンプの場合記載する。

1.4　結論

1.4.1　固有周期　（単位：ｓ）

| モード | 固有周期 |
|---|---|
| 水平　1次 | $T_{H1}$＝ |
| 鉛直　1次 | $T_{V1}$＝0.05以下 |

$\mathrm{III}_{AS}$の評価をＳｓで実施した場合は，算出応力は基準地震動Ｓｓによる算出値を「○○*○」と記載し，注記を以下のとおりとする。
注記＊○：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.2　ボルトの応力　（単位：MPa）

| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝ *1 | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝ *1 | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |
| 原動機台取付ボルト（ｉ＝3） | | 引張り | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝ *1 | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝4） | | 引張り | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝ *1 | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊1：$f_{tsi}$ ＝ Min[1.4・$f_{toi}$－1.6・$\tau_{bi}$，$f_{toi}$]より算出
＊2：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.3　バレルケーシング，コラムパイプの応力　（単位:MPa）

| 部　材 | 材　料 | | 一次一般膜応力 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 |
| バレルケーシング | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | σ＝ | Sa＝ |
| | | 基準地震動Ｓｓ | σ＝ | Sa＝ |
| コラムパイプ | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | σ＝ | Sa＝ |
| | | 基準地震動Ｓｓ | σ＝ | Sa＝ |

注記＊：基準地震動Ｓｓによる算出値

すべて許容応力以下である。

1.4.4　サポートボルトの応力　（単位：MPa）

| 部　材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 第一中間サポート基礎ボルト（ｊ＝1） | | | | | | |
| 第一中間サポート取付ボルト（ｊ＝2） | | | | | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝3） | | | | | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝4） | | | | | | |

中間サポートを有するポンプの場合記載する。

1.4.5　動的機能の評価結果　　（×9.8m/s$^2$）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |
| 原動機 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

・水平方向は，ポンプにあってはコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度のどちらか大きい方を記載する。
・鉛直方向は，設計用最大応答加速度を記載する。

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。なお，水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）のいずれか大きい方を，鉛直方向は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）を設定する。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。
※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。

1.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

| 節点番号 | 節点座標(mm) | | |
|---|---|---|---|
| | x | y | z |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 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 | | | |
| 38 | | | |
| 39 | | | |
| 40 | | | |

(2)　要素の断面性状

| 断面特性番号<br>(要素番号) | 要素両端の節点<br>番号 | 材料<br>番号 | 断面積<br>($mm^2$) | 断面二次<br>モーメント<br>($mm^4$) | 断面二次<br>極モーメント<br>($mm^4$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 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 | | | | | |

(3)　ばね結合部の指定

| ばねの両端の節点番号 | | ばね定数 |
|---|---|---|
| 1 | 15 | (N/mm) |
| 3 | 17 | (N/mm) |
| 6 | 20 | (N/mm) |
| 9 | 23 | (N/mm) |
| 12 | 38 | (N/mm) |
| 13 | 39 | (N/mm) |
| 17 | 27 | (N/mm) |
| 31 | 33 | (N･mm/rad) |

(4)　節点の質量

| 節点番号 | 質量(kg) |
|---|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 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 | |
| 38 | |
| 39 | |
| 40 | |

(5)　材料物性値

| 材料番号 | 温度<br>(℃) | 縦弾性係数<br>(MPa) | 質量密度<br>(kg/mm$^3$) | ポアソン比<br>(－) | 材質 | 部位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし，章番を 1. とする。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500㎜ 以上の基礎台に設置されている設備に適用

| 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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) | 最高使用圧力 (MPa) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | | 吸込側 | 吐出側 |
| ○○○○ポンプ | | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | | | － | － | $C_H$=<br>又は*2 | $C_V$=<br>又は*2 | $C_p$ ＝ | | | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線より得られる値

ボルトの評価温度を記載する。
なお，使用しない場合は「－」とする。

最高使用圧力が吸込側／吐出側とも同じであれば区別せず，最高使用圧力を記載する。

2.2　機器要目

(1)　ボルト

ボルト径を記載する。

| 部　材 | $m_i$ (kg) | $D_i$ (㎜) | $d_i$ (㎜) | $A_{bi}$ ($mm^2$) | $n_i$ | $n_{fi}$ | $M_p$ (N･㎜) | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i$* (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | | (M　) | | | | － | *2 (径≦　㎜) | *2 (径≦　㎜) | － | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | | (M　) | | | | | *1 (径≦　㎜) | *1 (径≦　㎜) | － | |
| 原動機台取付ボルト（ｉ＝3） | | | (M　) | | | | | *1 (径≦　㎜) | *1 (径≦　㎜) | － | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝4） | | | (M　) | | | | | *2 (径≦　㎜) | *2 (径≦　㎜) | － | |

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

$M_p$が生じない場合は“―”とする。

(2)　バレルケーシング，コラムパイプ

| 部　材 | S (MPa) | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | $D_C$ (㎜) | t (㎜) |
|---|---|---|---|---|---|
| バレルケーシング | － | * (㎜<厚さ≦　㎜) | * | | |
| コラムパイプ | － | * (㎜<厚さ≦　㎜) | * | | |

注記＊：最高使用温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。
（バレルケーシング，コラムパイプについても同様とする。）

(3) サポートボルト

| 部　材 | $A_{sbj}$ (mm²) | $n_{sj}$ | $S_{yj}$ (MPa) | $S_{uj}$ (MPa) | $S_{yj}(RT)$ (MPa) | $F_j$ (MPa) | $F_j$* (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一中間サポート基礎ボルト (j＝1) | | | * | * | | | |
| 第一中間サポート取付ボルト (j＝2) | | | * | * | | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト (j＝3) | | | * | * | | | |
| 第二中間サポート取付ボルト (j＝4) | | | * | * | | | |

注記＊：周囲環境温度で算出

| $H_P$ (μm) | N (rpm) |
|---|---|
| | |

中間サポートを有するポンプの場合記載する。

2.3　計算数値

(1)　ボルトに作用する力

| 部　材 | $M_i$ (N・mm) | | $F_{bi}$ (N) | | $Q_{bi}$ (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | － | | － | | － | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | － | | － | | － | |
| 原動機台取付ボルト（ｉ＝3） | － | | － | | － | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝4） | － | | － | | － | |

(2)　バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

| 部　材 | M | |
|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| バレルケーシング | － | |
| コラムパイプ | － | |

(3)　サポートボルトに作用する力

(単位：N)

| 部　材 | $W_j$ | |
|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 第一中間サポート基礎ボルト（ｊ＝1） | | |
| 第一中間サポート取付ボルト（ｊ＝2） | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝3） | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝4） | | |

中間サポートを有するポンプの場合記載する。

2.4　結論

2.4.1　固有周期　（単位：ｓ）

| モード | 固有周期 | 卓越方向 |
|---|---|---|
| 1次 | | |
| 2次 | | |

2.4.2　ボルトの応力　（単位：MPa）

| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |
| 原動機台取付ボルト（ｉ＝3） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝4） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ |

すべて許容応力以下である。　　$f_{tsi}$ ＝ Min[1.4・$f_{toi}$－1.6・$\tau_{bi}$，$f_{toi}$]より算出

2.4.3　バレルケーシング，コラムパイプの応力　（単位：MPa）

| 部　材 | 材　料 | | 一次一般膜応力 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 |
| バレルケーシング | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | － | － |
| | | 基準地震動Ｓｓ | σ＝ | Ｓａ＝ |
| コラムパイプ | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | － | － |
| | | 基準地震動Ｓｓ | σ＝ | Ｓａ＝ |

すべて許容応力以下である。

2.4.4　サポートボルトの応力　（単位：MPa）

| 部　材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 第一中間サポート基礎ボルト（ｊ＝1） | | | | | | |
| 第一中間サポート取付ボルト（ｊ＝2） | | | | | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝3） | | | | | | |
| 第二中間サポート基礎ボルト（ｊ＝4） | | | | | | |

中間サポートを有するポンプの場合記載する。

2.4.5　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 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |
| 原動機 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

・水平方向は，ポンプにあってはコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度のどちらか大きい方を記載する。
・鉛直方向は，設計用最大応答加速度を記載する。

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。なお，水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）のいずれか大きい方を，鉛直方向は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）を設定する。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。
※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。

2.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

| 節点番号 | 節点座標(mm) | | |
|---|---|---|---|
| | x | y | z |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 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 | | | |
| 38 | | | |
| 39 | | | |
| 40 | | | |

(2)　要素の断面性状

| 断面特性番号<br>(要素番号) | 要素両端の節点<br>番号 | 材料<br>番号 | 断面積<br>($mm^2$) | 断面二次<br>モーメント<br>($mm^4$) | 断面二次<br>極モーメント<br>($mm^4$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 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 | | | | | |

(3)　ばね結合部の指定

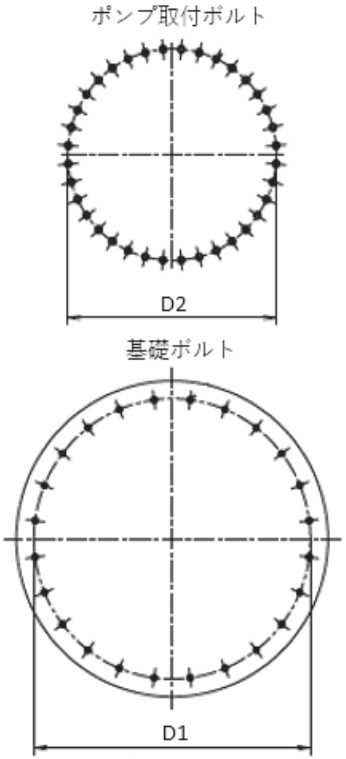
| ばねの両端の節点番号 | | ばね定数 |
|---|---|---|
| 1 | 15 | (N/mm) |
| 3 | 17 | (N/mm) |
| 6 | 20 | (N/mm) |
| 9 | 23 | (N/mm) |
| 12 | 38 | (N/mm) |
| 13 | 39 | (N/mm) |
| 17 | 27 | (N/mm) |
| 31 | 33 | (N･mm/rad) |

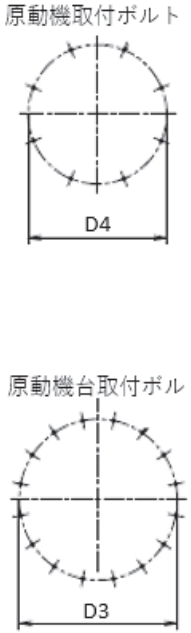
(4)　節点の質量

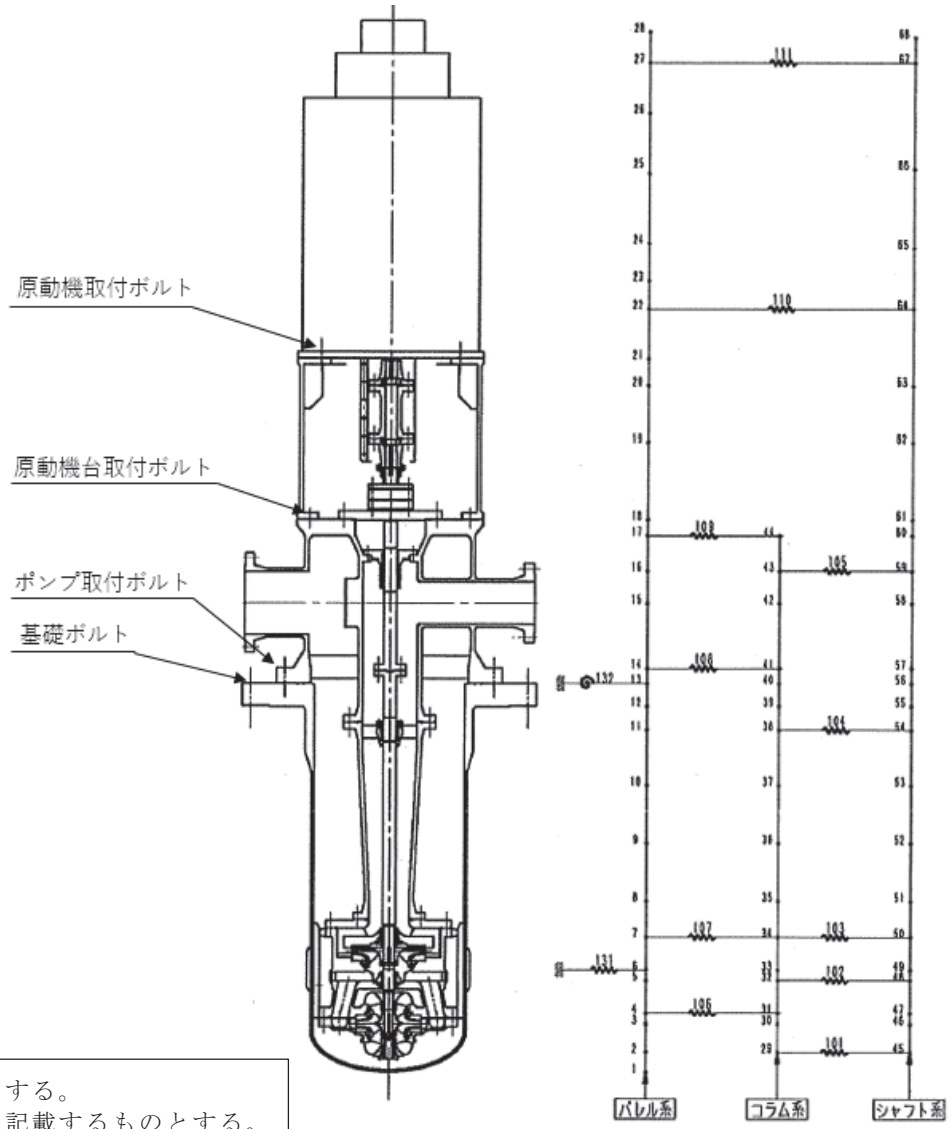
| 節点番号 | 質量(kg) |
|---|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |
| 11 | |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |
| 15 | |
| 16 | |
| 17 | |
| 18 | |
| 19 | |
| 20 | |
| 21 | |
| 22 | |
| 23 | |
| 24 | |
| 25 | |
| 26 | |
| 27 | |
| 28 | |
| 29 | |
| 30 | |
| 31 | |
| 32 | |
| 33 | |
| 34 | |
| 35 | |
| 36 | |
| 37 | |
| 38 | |
| 39 | |
| 40 | |

(5) 材料物性値

| 材料番号 | 温度(℃) | 縦弾性係数 (MPa) | 質量密度 (kg/mm$^3$) | ポアソン比(－) | 材質 | 部位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |




本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-4：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Fパターン「盤」の耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○○盤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
3.　固有周期 ..... 3
3.1　固有周期の算出方法 ..... 3
4.　構造強度評価 ..... 4
4.1　構造強度評価方法 ..... 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ..... 4
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ..... 4
4.2.2　許容応力 ..... 4
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ..... 4
4.3　計算条件 ..... 4
5.　機能維持評価 ..... 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ..... 8
6.　評価結果 ..... 9
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ..... 9
6.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 9

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1.　概要

本計算書は，添付書類「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，○○○○盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

○○○○盤は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，○○○○盤は，添付書類「Ⅵ-2-1-13　機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の盤と類似の構造であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2.　一般事項

2.1　構造計画

○○○○盤の構造計画を表 2-1 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

2.1　配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

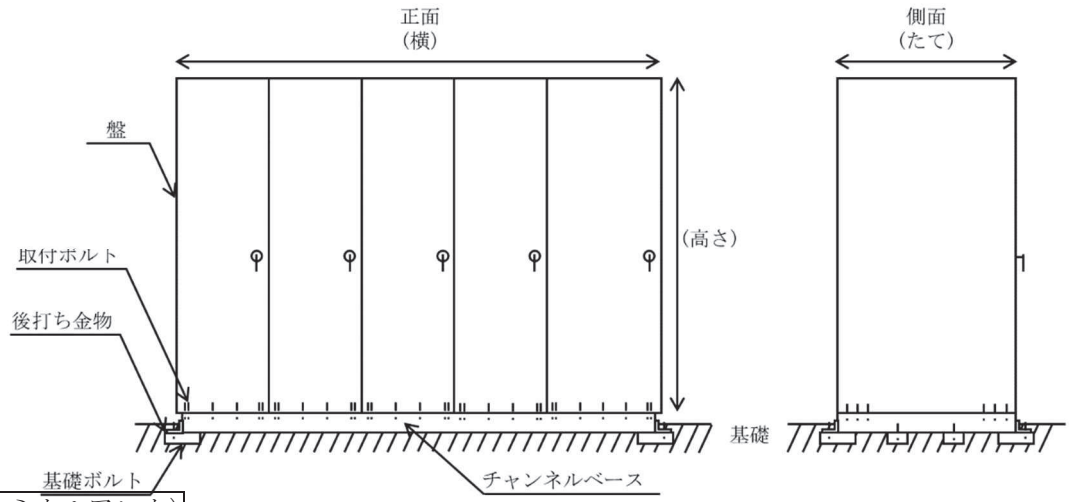
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　適用基準・規格等」と続く。

主体構造について
基本方針に記載の形状＋（盤を構成する部材等，具体的に記載する。）

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 | |
| ○○○○盤は，基礎に埋め込まれた後打ち金物で固定されたチャンネルベースに，取付ボルトで設置する。 | 直立形／壁掛形（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型／壁掛形の盤）／ベンチ形（鋼材及び鋼板を組み合わせたベンチ形の操作卓） | |




| | ○○盤 | ○○盤 | ○○盤 |
|---|---|---|---|
| たて | | | |
| 横 | | | |
| 高さ | | | |

（単位：mm）

・盤の外形寸法を記載
（表記はサイズ違いが複数ある場合）。

【後施工アンカの場合】
基礎ボルトが後施工の場合は，アンカの種類（メカニカルアンカ又はケミカルアンカ）を記載する。

標準的な基礎・支持構造の分類（実機ベースで記載）

・ベンチ形・直立形（埋込金物＋取付ボルト）の場合
　○○○○盤は，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。
⇒評価対象：取付ボルト

・ベンチ形・直立形（基礎ボルト＋取付ボルト）の場合
　○○○○盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは後打ち金物と基礎ボルトにて基礎に固定する。
⇒評価対象：基礎ボルト及び取付ボルト

・壁掛形（埋込金物＋取付ボルト）の場合
　○○○○盤は，壁に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。
⇒評価対象：取付ボルト

・壁掛形（基礎ボルト＋取付ボルト）の場合
　○○○○盤は，チャンネルベースに取付ボルトで固定する。チャンネルベースは壁に基礎ボルトで固定する。
⇒評価対象：基礎ボルト及び取付ボルト

固有周期の記載については，加振試験（掃引試験），打振試験（自由振動試験）にて求める場合，構造が同様な他計器の結果から判断する場合のいずれかを記載する。

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振振動数）を測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期　（単位：s）

| 水平方向 | 鉛直方向 |
|---|---|
| | |

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により当該装置に振動を与え，自由減衰振動を振動計により記録解析し，共振振動数を算出する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期　（単位：s）

| 水平方向 | 鉛直方向 |
|---|---|
| | |

3.　固有周期

○○○○盤の固有周期は，構造が同等であり，同様な振動特性を持つ盤（加振試験 or 打振試験）の測定結果から，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期　（単位：s）

| 水平方向 | 鉛直方向 |
|---|---|
| | |

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

○○○○盤の構造強度評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○○盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2　許容応力

○○○○盤の許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○○盤の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○○盤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。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○盤 | S | —* | $D+P_D+M_D+S_d$ * | $Ⅲ_AS$ |
| | | | | | $D+P_D+M_D+S_s$ | $Ⅳ_AS$ |

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○盤 | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | —*2 | $D+P_D+M_D+S_s$ *3 | $Ⅳ_AS$ |
| | | | | | $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ | $V_AS$<br>（$V_AS$ としてⅣ$_AS$ の許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB 拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 4-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

| 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 |
| ⅢAS | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |
| ⅣAS | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる | | |

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。

・DB＋SA の場合は，VAS を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $S_{yi}$(ＲＴ) (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト (i＝1) | ○○＊ (　mm＜径≦　mm) | 周囲環境温度 | | | | － |
| 取付ボルト (i＝2) | ○○＊ (　mm＜径≦　mm) | 周囲環境温度 | | | | － |

注記＊：○○○○相当

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $S_{yi}$(ＲＴ) (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト (i＝1) | ○○＊ (　mm＜径≦　mm) | 周囲環境温度 | | | | － |
| 取付ボルト (i＝2) | ○○＊ (　mm＜径≦　mm) | 周囲環境温度 | | | | － |

注記＊：○○○○相当

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

○○○○盤の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-7　盤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評価する。

○○○○盤に設置される検出器の機能維持確認済加速度は，添付資料「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の盤単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s$^2$）

| 評価部位 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|
| ○○○○盤 | 水平方向 | |
| | 鉛直方向 | |

加振試験を根拠として，電気的機能維持評価を示す場合，加振試験の概要が分かるよう記載する。

6.　評価結果

6.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○○盤の設計基準対象施設として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電気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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○盤の重大事故等時の状態を考慮した場合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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

（例）

| | |
|---|---|
| 0.05 以下 | 0.05 以下 |
| － | － |
| 0.031 | 0.015 |

・同様の構造の盤で確認している場合（盤等の電気計装品）
・加振試験及び固有値解析にて柔な領域に固有周期が無いことを確認した設備

・JEAG 等，文献において十分に剛であることが明確な場合
・構造等から技術的に剛であることが判断できる場合

・加振試験，打振試験，固有値解析，理論式による算出を実施している場合

【フォーマットⅠ　直立形盤の設計基準対象施設としての評価結果】
【○○○○盤の耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　設計条件

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | |
| ○○○○盤 | S | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　　) | | | $C_H$＝ | $C_V$＝ | $C_H$＝ | $C_V$＝ | |

注記　＊1：基準床レベルを示す。
＊2：$III_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
　例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

$III_AS$ の評価をＳｓで実施した場合は，震度に「―*2」を付記し，
注記を以下のとおり書き換える。
注記＊2：$III_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.2　機器要目

| 部　材 | $m_i$ (kg) | $h_i$ (mm) | $\ell_{1i}$ *1 (mm) | $\ell_{2i}$ *1 (mm) | $d_i$ (mm) | $A_{bi}$ ($mm^2$) | $n_i$ | $n_{fi}$ *1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | *2 | | | (M　) | | | |
| 取付ボルト（ｉ＝2） | | *2 | | | (M　) | | | |

ボルト径を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

| 部　材 | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i$* (MPa) | 転倒方向 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | (厚さ≦　mm) | (厚さ≦　mm) | | | | |
| 取付ボルト（ｉ＝2） | (厚さ≦　mm) | (厚さ≦　mm) | | | | |

注記＊1：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。
＊2：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

$III_AS$ の評価をＳｓで実施する場合は「－」とする。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

ⅢASの評価をＳｓで実施した場合は，1.3項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

## 1.3　計算数値

### 1.3.1　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Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | | | |
| 取付ボルト（ｉ＝2） | | | | |

ⅢASの評価をＳｓで実施した場合は，算出応力は基準地震動Ｓｓによる算出値を「○○*2」と記載し，注記を以下のとおりとする。
注記＊2：基準地震動Ｓｓによる算出値

## 1.4　結論

### 1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝　*1 | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝　*1 |
| | | せん断 | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| 取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝　*1 | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝　*1 |
| | | せん断 | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊1：$f_{tsi}$＝Min［1.4・$f_{toi}$－1.6・$\tau_{bi}$，$f_{toi}$］より算出
＊2：基準地震動Ｓｓによる算出値

### 1.4.2　電気的機能維持の評価結果

（×9.8m/s²）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○○盤 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし，章番を 1.とする。

【フォーマットⅡ 直立形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】
【○○○○盤の耐震性についての計算結果】

2.　重大事故等対処設備

2.1　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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | |
| ○○○○盤 | | ○○建屋<br>0.P.　＊<br>(0.P.　　) | | | － | － | $C_H$＝ | $C_V$＝ | |

注記＊：基準床レベルを示す。

(例)

| | |
|---|---|
| 0.05 以下 | 0.05 以下 |
| － | － |
| 0.031 | 0.015 |

・同様の構造の盤で確認している場合（盤等の電気計装品）
・加振試験及び固有値解析にて柔な領域に固有周期が無いことを確認した設備

・JEAG 等，文献において十分に剛であることが明確な場合
・構造等から技術的に剛であることが判断できる場合

・加振試験，打振試験，固有値解析，理論式による算出を実施している場合

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

2.2　機器要目

| 部　材 | $m_i$ (kg) | $h_i$ (mm) | $\ell_{1i}$ ＊1 (mm) | $\ell_{2i}$ ＊1 (mm) | $d_i$ (mm) | $A_{bi}$ ($mm^2$) | $n_i$ | $n_{fi}$ ＊1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト<br>(ｉ＝1) | | ＊2 | | | (M　) | | | |
| 取付ボルト<br>(ｉ＝2) | | ＊2 | | | (M　) | | | |

ボルト径を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

| 部　材 | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i$＊ (MPa) | 転倒方向 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト<br>(ｉ＝1) | (厚さ≦　mm) | (厚さ≦　mm) | － | | － | |
| 取付ボルト<br>(ｉ＝2) | (厚さ≦　mm) | (厚さ≦　mm) | － | | － | |

注記＊1：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。
＊2：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

2.3　計算数値

2.3.1　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Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | － | | － | |
| 取付ボルト（ｉ＝2） | － | | － | |

2.4　結論

2.4.1　ボルトの応力　（単位：MPa）

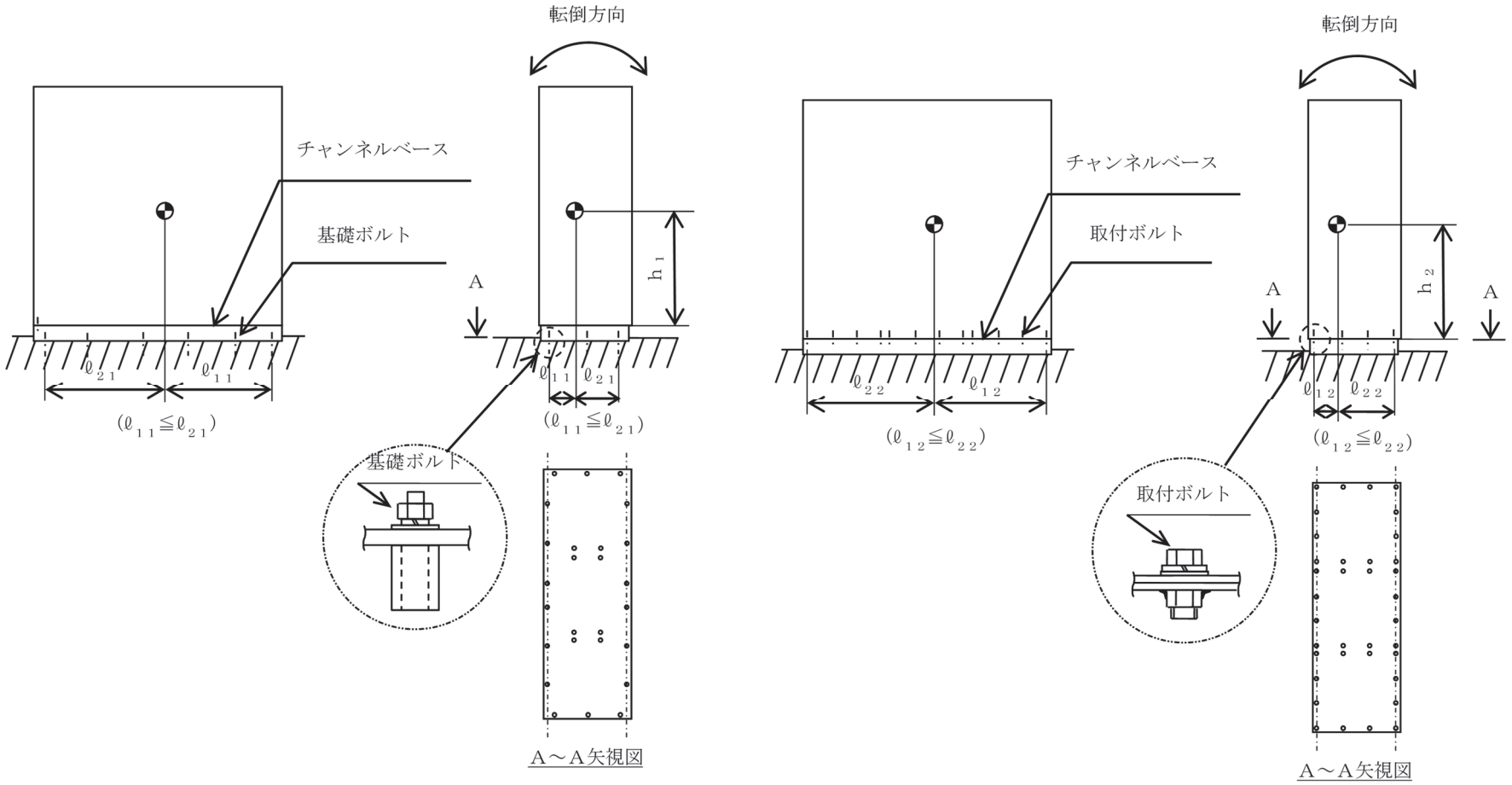
| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| 取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |

すべて許容応力以下である。　注記＊：$f_{tsi}$＝Min[1.4・$f_{toi}$－1.6・$\tau_{bi}$，$f_{toi}$]より算出

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s$^2$）

| | | 機能維持評価用加速度＊ | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○○盤 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。




本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-5：機能維持評価で詳細検討を実施する場合
（機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度）

# Ⅵ-○-○-○　○○○○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
3.　構造強度評価 ..... 3
3.1　構造強度評価方法 ..... 3
3.2　荷重の組合せ及び許容応力 ..... 3
3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ..... 3
3.2.2　許容応力 ..... 3
3.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ..... 3
3.3　計算条件 ..... 3
4.　機能維持評価 ..... 7
4.1　基本方針 ..... 7
4.2　ポンプの動的機能維持評価 ..... 8
4.2.1　評価対象部位 ..... 8
4.2.2　許容値 ..... 8
4.2.3　記号の説明 ..... 9
4.2.4　評価方法 ..... 10
4.3　原動機の動的機能維持評価 ..... 12
4.3.1　評価対象部位 ..... 12
4.3.2　許容値 ..... 12
4.3.3　記号の説明 ..... 13
4.3.4　評価方法 ..... 14
5.　評価結果 ..... 16
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ..... 16
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 16




・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

機能維持評価で詳細評価が必要な場合は，目次構成に本項目を追加するものとする。

## 1. 概要

本計算書は，添付書類「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，○○○○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。

○○○○ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお，○○○○ポンプは，添付書類「Ⅵ-2-1-13　機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため，構造強度評価は添付書類「Ⅵ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

また，○○○○ポンプは，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の往復動式ポンプであり，機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから，原子力発電所耐震設計技術指針（ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

○○○○ポンプの構造計画を表2-1に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

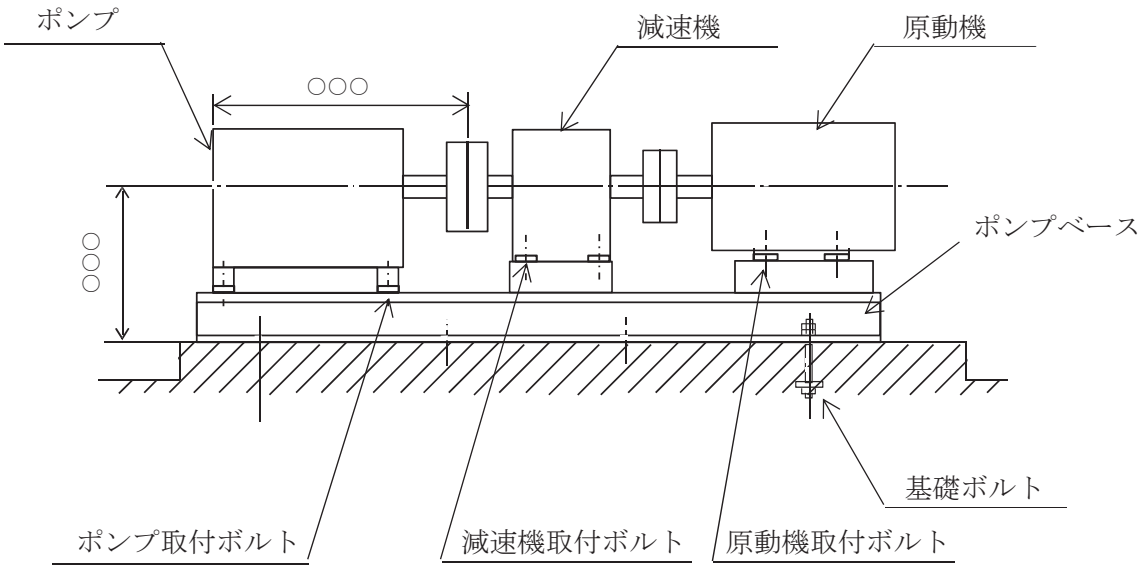
2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」,「2.2　構造計画」,「2.3　適用規格・基準等」と続く。

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 | |
| ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。 | 往復形<br>（横形3連往復動式横軸ポンプ） |  |

機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。

（単位：mm）

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

○○○○ポンプの構造強度評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○○ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2　許容応力

○○○○ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表3-3のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○○ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

3.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○○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。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○ポンプ | S | クラス2ポンプ* | $D+P_D+M_D+S_d$ * | $Ⅲ_AS$ |
| | | | | | $D+P_D+M_D+S_s$ | $Ⅳ_AS$ |

注記＊：クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○ポンプ | 常設耐震／防止 | 重大事故等クラス2ポンプ*2 | $D+P_D+M_D+S_s$ *3 | $Ⅳ_AS$ |
| | | | | | $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ | $V_AS$（$V_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

表3-3　許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

| 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 |
| ⅢAS | 1.5・ｆｔ | 1.5・ｆｓ |
| ⅣAS | 1.5・ｆｔ* | 1.5・ｆｓ* |
| VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。） | | |

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。

・DB＋SA の場合は，VAS を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

表3-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（RT）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | ― |
| ポンプ取付ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | | | ― |
| 原動機取付ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | | | ― |
| 減速機取付ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | ― |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

表3-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（RT）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | ― |
| ポンプ取付ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | | | ― |
| 原動機取付ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 最高使用温度 | | | | ― |
| 減速機取付ボルト | ○○*（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | ― |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

○○○○ポンプは，添付書類「Ⅵ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の往復動式ポンプであり，機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから，ＪＥＡＧ４６０１に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は，添付書類「Ⅵ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる設計用最大応答加速度（1.0ZPA）を設定する。

(1) 原動機は横形ころがり軸受電動機であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されている往復動式ポンプ及び原動機の機能確認済加速度を適用する。

本項目は原動機の機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることがない場合に記載する。原動機も機能確認済加速度を上回る場合は(1)を削除し，4.1 基本方針に記載する「○○○○ポンプは,」を「○○○○ポンプ及び原動機は,」に修正する。

評価に用いる機能維持評価用加速度について記載する。

4.2　ポンプの動的機能維持評価

4.2.1　評価対象部位

ＪＥＡＧ４６０１に記載の往復動式ポンプの動的機能維持評価に従い，以下の部位について評価を実施する。

a.　基礎ボルト，ポンプ本体取付ボルト，減速機取付ボルト
b.　コネクティングロッド軸受
c.　クランク軸
d.　クランク軸受
e.　動弁機構及び弁シート面
f.　減速機軸受
g.　減速機軸
h.　減速機歯車
i.　軸継手（原動機～減速機～ポンプ）

このうち「a.　基礎ボルト，ポンプ本体取付ボルト，減速機取付ボルト」については，「3.　構造強度評価」に従い評価を行った「5.　評価結果」にて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確認している。また，「g.　減速機軸」及び「h.　減速機歯車」は一体構造となっているため，弱部となる歯車の強度評価に軸の強度評価も含め評価している。

以上より，本計算書においては，コネクティングロッド軸受，クランク軸，クランク軸受，動弁機構及び弁シート面，減速機軸受，減速機軸（歯車）及び軸継手（原動機～減速機～ポンプ）を評価対象部位とする。

4.2.2　許容値

クランク軸の許容値は，クラス２ポンプの許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$に準拠し設定する。また，コネクティングロッド軸受，クランク軸受，減速機軸受，動弁機構及び弁シート面についてはメーカ規定の許容値を，減速機軸（歯車）については，許容面圧を，軸継手については，変位可能寸法を許容値として設定する。

部位ごとの許容値を記載する。

ＪＥＡＧ４６０１で規定している評価対象部位を全て記載し，評価対象外として整理した部位がある場合は，その理由を記載する。
（例）「○.　軸継手」は，軸受がボールベアリングでありサイドスラスト荷重が発生しない構造であるため，評価対象外とする。

4.2.3　記号の説明

○○○○ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表4-1に示す。

表4-1　記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---|---|---|
| $F_R$ | クランク軸に生じるラジアル荷重 | |
| $Q_{CS}$ | クランク軸に生じるスラスト荷重 | |
| $F_B$ | 大端部，小端部及びクロスヘッドガイド部の軸受に生じる荷重 | |
| $A_{LB}$ | コネクティングロッド大端部軸受の投影面積 | |
| $A_{SB}$ | コネクティングロッド小端部軸受の投影面積 | |
| $A_{CB}$ | クロスヘッドガイド部軸受の投影面積 | |
| $P_{LB}$ | 大端部軸受面圧 | |
| $P_{SB}$ | 小端部軸受面圧 | |
| $P_{CB}$ | クロスヘッドガイド部軸受面圧 | |

ポンプの詳細評価に使用する記号の説明を記載する。

4.2.4　評価方法

(1)　コネクティングロッド軸受

各軸受に地震力が作用することにより発生する面圧を求め，メーカ規定の許容値以下であることを確認する。

評価方法の記載例

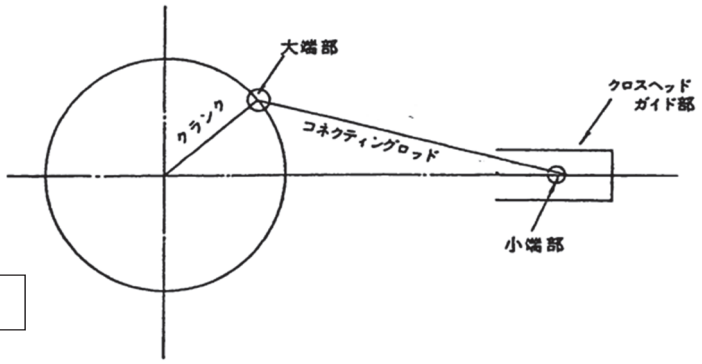



図 4-1　コネクティングロッド軸受の計算モデル

各軸受に生じる面圧は次式で求める。

$$\text{大端部軸受面圧}\quad P_{LB}=\frac{F_B}{A_{LB}} \cdots\cdots (4.2.4.1)$$

$$\text{小端部軸受面圧}\quad P_{SB}=\frac{F_B}{A_{SB}} \cdots\cdots (4.2.4.2)$$

$$\text{クロスヘッドガイド部軸受面圧}\quad P_{CB}=\frac{F_B}{A_{CB}} \cdots\cdots (4.2.4.3)$$

ここで，各軸受に生じる荷重$F_B$は

$$F_B=\sqrt{F_R^2+Q_{CS}^2} \cdots\cdots (4.2.4.4)$$



O2 ○ VI-○-○-○ R 0

(2)　クランク軸

評価モデル及び評価式等を記載する。

(3)　クランク軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(4)　動弁機構及び弁シート面

評価モデル及び評価式等を記載する。

(5)　減速機軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(6)　減速機軸（歯車）

評価モデル及び評価式等を記載する。

(7)　軸継手（原動機～減速機～ポンプ）

評価モデル及び評価式等を記載する。

原動機の機能維持評価で詳細評価が必要な場合の記載例

4.3　原動機の動的機能維持評価

4.3.1　評価対象部位

ＪＥＡＧ４６０１の原動機の動的機能維持評価に従い，以下の部位について評価を実施する。

a.　取付ボルト
b.　固定子
c.　軸（回転子）
d.　端子箱
e.　軸受
f.　固定子と回転子間のクリアランス
g.　モータフレーム
h.　軸継手

このうち「a.　取付ボルト」については，「3.　構造強度評価」に従い評価を行った「5.　評価結果」にて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確認している。

以上より，本計算書においては，固定子，軸（回転子），端子箱，軸受，固定子と回転子間のクリアランス，モータフレーム及び軸継手を評価対象部位とする。なお，軸継手においては，ポンプの動的機能維持評価に含まれている。

4.3.2　許容値

固定子，軸（回転子），端子箱及びモータフレームの許容値は，クラス２ポンプの許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$に準拠し設定する。また軸受については，メーカ規定の軸受の定格荷重を，固定子と回転子間のクリアランス及び軸継手については，変位可能寸法を許容値として設定する。

部位ごとの許容値を記載する。

ＪＥＡＧ４６０１で規定している評価対象部位を全て記載し，評価対象外の部位がある場合は，その理由を記載する。

4.3.3　記号の説明

○○○○ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-2に示す。

表4-2　記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---|---|---|
| | 原動機の詳細評価に使用する記号の説明を記載する。 | |

4.3.4　評価方法

(1)　固定子

評価モデル及び評価式等を記載する。

(2)　軸（回転子）

評価モデル及び評価式等を記載する。

(3)　端子箱

評価モデル及び評価式等を記載する。

(4)　軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(5)　固定子と回転子間のクリアランス

評価モデル及び評価式等を記載する。

(6)　モータフレーム

評価モデル及び評価式等を記載する。

(7)　軸継手

軸継手（原動機～減速機）の評価は，4.2.4(7)のポンプの動的機能維持評価に含まれている。

原動機の機能維持評価で詳細評価が不要な場合の記載例

4.3　原動機の動的機能維持評価

○○○○ポンプ用原動機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-3に示す。

表4-3　機能確認済加速度　　(×9.8m/s$^2$)

| 評価部位 | 形式 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| 原動機 | ○○○○電動機 | 水平方向 | |
| | | 鉛直方向 | |

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○○ポンプの設計基準対象施設として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。

なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

$III_AS$ の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(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。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合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。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　構造強度評価

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.1.1　設計条件

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 据付場所及び床面高さ(m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度(℃) | 周囲環境温度(℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○ポンプ | S | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | —*2 | —*2 | $C_H$= | $C_V$= | $C_H$= | $C_V$= | $C_P$= | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

ⅢASの評価をＳｓで実施した場合は，震度に「—*3」を付記し，注記を以下のとおり書き換える。
注記＊3：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.1.2　機器要目

| 部材 | $m_i$ (kg) | $h_i$ (mm) | $\ell_{1i}$*1 (mm) | $\ell_{2i}$*1 (mm) | $d_i$ (mm) | $A_{bi}$ (mm²) | $n_i$ | $n_{fi}$*1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト（i＝1） | | | | | (M　　) | | | |
| ポンプ取付ボルト（i＝2） | | | | | (M　　) | | | |
| 原動機取付ボルト（i＝3） | | | | | (M　　) | | | |
| 減速機取付ボルト（i＝4） | | | | | (M　　) | | | |

ボルト径を記載する。

| 部材 | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i$* (MPa) | 転倒方向 | | $M_P$ (N・mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | |
| 基礎ボルト（i＝1） | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |
| ポンプ取付ボルト（i＝2） | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |
| 原動機取付ボルト（i＝3） | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |
| 減速機取付ボルト（i＝4） | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | | | — | | — |

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。（$S_u$も同様）

$M_p$が生じない場合は”－”とする。

ⅢASの評価をＳｓで実施する場合は「－」とする。

| $H_p$ (μm) | N（ポンプ） (rpm) | N（原動機） (rpm) |
|---|---|---|
| | | |

注記＊1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
＊2：最高使用温度で算出。
＊3：周囲環境温度で算出。

$Ⅲ_AS$の評価をＳｓで実施した場合は，1.1.3項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：$Ⅲ_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.1.3　計算数値

1.1.3.1　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Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | | | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | | | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | | | | |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | | | | |

注記：＊$Ⅲ_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

$Ⅲ_AS$の評価をＳｓで実施した場合は，算出応力は基準地震動Ｓｓによる算出値を「○○*2」と記載し，注記を以下のとおりとする。
注記＊2：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.1.4　結論

1.1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝ *1 | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝ *1 | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | | 引張り | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝ *1 | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | | 引張り | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝ *1 | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝ *1 |
| | | せん断 | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊1：$f_{tsi}$＝Min[1.4・$f_{toi}$－1.6・$\tau_{bi}$，$f_{toi}$]により算出
＊2：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.2　動的機能維持評価

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2.1　設計条件

| 機器名称 | 形式 | 定格容量 ($m^3/h$) | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向設計震度 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○ポンプ | 往復動式ポンプ | | ○○建屋 0.P.　*1 (0.P.　) | －*2 | －*2 | $C_H$＝ | $C_V$＝ | $C_P$＝ | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

| 機器名称 | 形式 | 出力 (kW) | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向設計震度 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○ポンプ用原動機 | ○○○○電動機 | | ○○建屋 0.P.　*1 (0.P.　) | －*2 | －*2 | $C_H$＝ | $C_V$＝ | $C_P$＝ | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

1.2.2　機器要目

動的機能維持の詳細評価が必要な機器要目表を記載する。

1.2.3　結論

1.2.3.1　機能確認済加速度との比較　（×9.8m/s²）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |
| 原動機 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

原動機について，機能確認済加速度を超えていない時は，「原動機は，機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。」と記載する。

ポンプは，水平，鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため，以下の項目について評価する。
原動機は，鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため，以下の項目について評価する。

1.2.3.2　往復動式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1　代表評価項目の評価

基礎ボルト，ポンプ取付ボルト，減速機取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

1.2.3.2.2　上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1　コネクティングロッド軸受の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| コネクティングロッド大端部 | | |
| コネクティングロッド小端部 | | |
| クロスヘッドガイド部 | | |

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2　クランク軸の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| クランク軸 | | |

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.3　クランク軸受の評価　（単位：N）

| 評価部位 | 発生荷重 | 許容荷重 |
|---|---|---|
| 軸継手側 | | |
| 反軸継手側 | | |

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.4　動弁機構及び弁シート面の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| 弁シート面 | | |

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.5　減速機軸受の評価　（単位：N）

| 評価部位 | 発生荷重 | 許容荷重 |
|---|---|---|
| 入力軸軸受 | | |
| 中間軸軸受 | | |
| 出力軸軸受 | | |

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.6　減速機軸（歯車）の評価　（単位：N）

| 評価部位 | | 歯車の曲げ強さ | | 歯車の面圧強さ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 発生荷重 | 許容荷重 | 発生荷重 | 許容荷重 |
| 1段目(入力側) | 小歯車 | | | | |
| | 大歯車 | | | | |
| 2段目(出力側) | 小歯車 | | | | |
| | 大歯車 | | | | |

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.7　軸継手の評価　（単位：mm）

| 評価部位 | 変位量 | 許容変位量 |
|---|---|---|
| 減速機～ポンプ間 | | |
| 減速機～原動機間 | | |

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3　原動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1　代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

1.2.3.3.2　上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1　固定子の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 応力 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|---|
| 固定子 | せん断 | | |

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2　軸（回転子）の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| 軸（回転子） | | |

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3　端子箱の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 応力 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|---|
| 端子箱 | 引張り | | |
| | せん断 | | |

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4　軸受の評価　（単位：N）

| 評価部位 | 発生荷重 | 許容荷重 |
|---|---|---|
| 軸継手側 | | |
| 反軸継手側 | | |

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5　固定子と回転子間のクリアランスの評価　（単位：mm）

| 評価部位 | 回転子のたわみ | 許容変位量 |
|---|---|---|
| 固定子と回転子間のクリアランス | | |

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6　モータフレームの評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 応力 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|---|
| モータフレーム | 引張り | | |
| | せん断 | | |

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.7　軸継手の評価

原動機軸継手の評価は，「1.2.3.2　往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし，章番を 1. とする。

2.　重大事故等対処設備
2.1　構造強度評価

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

2.1.1　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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度(℃) | 周囲環境温度(℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○ポンプ | 常設耐震／防止 | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | —*2 | —*2 | — | — | $C_H$= | $C_V$= | $C_P$= | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.1.2　機器要目

| 部材 | $m_i$ (kg) | $h_i$ (mm) | $\ell_{1i}$ *1 (mm) | $\ell_{2i}$ *1 (mm) | $d_i$ (mm) | $A_{bi}$ (mm²) | $n_i$ | $n_{fi}$ *3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | | | | (M　　) | | | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | | | | (M　　) | | | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | | | | | (M　　) | | | |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | | | | | (M　　) | | | |

ボルト径を記載する。

| 部材 | $S_{yi}$ (MPa) | $S_{ui}$ (MPa) | $F_i$ (MPa) | $F_i$* (MPa) | 転倒方向 | | $M_P$ (N・mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | — | | — | | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | — | | — | | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*2<br>(　mm＜径≦　mm) | — | | — | | |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○*3<br>(　mm＜径≦　mm) | — | | — | | |

厚さ，径等による強度区分がある場合は，
該当する強度区分を記載する。（$S_u$も同様）

$M_P$が生じない場合は”－”とする。

| $H_P$ (μm) | N（ポンプ） (rpm) | N（原動機） (rpm) |
|---|---|---|
| | | |

注記＊1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
＊2：最高使用温度で算出。
＊3：周囲環境温度で算出。

2.1.3　計算数値

2.1.3.1　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Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | ― | | ― | |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | ― | | ― | |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | ― | | ― | |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | ― | | ― | |

2.1.4　結論

2.1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト（ｉ＝1） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b1}$＝ | $f_{ts1}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b1}$＝ | $f_{sb1}$＝ |
| ポンプ取付ボルト（ｉ＝2） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b2}$＝ | $f_{ts2}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b2}$＝ | $f_{sb2}$＝ |
| 原動機取付ボルト（ｉ＝3） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b3}$＝ | $f_{ts3}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b3}$＝ | $f_{sb3}$＝ |
| 減速機取付ボルト（ｉ＝4） | | 引張り | － | － | $\sigma_{b4}$＝ | $f_{ts4}$＝　＊ |
| | | せん断 | － | － | $\tau_{b4}$＝ | $f_{sb4}$＝ |

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}$＝Min[1.4・$f_{toi}$－1.6・$\tau_{bi}$，$f_{toi}$]にて算出

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P. ）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

2.2　動的機能維持評価

2.2.1　設計条件

| 機器名称 | 形式 | 定格容量 ($m^3/h$) | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向設計震度 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○ポンプ | 往復動式ポンプ | | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | －*2 | －*2 | $C_H$＝ | $C_V$＝ | $C_P$＝ | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

| 機器名称 | 形式 | 出力 (kW) | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 基準地震動Ｓｓ | | ポンプ振動による震度 | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向設計震度 | 鉛直方向設計震度 | | | |
| ○○○○ポンプ用原動機 | ○○電動機 | | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | －*2 | －*2 | $C_H$＝ | $C_V$＝ | $C_P$＝ | | |

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

動的機能維持の詳細評価が必要な機器要目表を記載する。

2.2.2　機器要目

2.2.3　結論

2.2.3.1　機能確認済加速度との比較　（×9.8m/s²）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ポンプ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |
| 原動機 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

原動機について，機能確認済加速度を超えていない時は，「原動機は，機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。」と記載する。

ポンプは，水平，鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため，以下の項目について評価する。
原動機は，鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため，以下の項目について評価する。

2.2.3.2　往復動式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1　代表評価項目の評価

基礎ボルト，ポンプ取付ボルト，減速機取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

2.2.3.2.2　上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1　コネクティングロッド軸受の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| コネクティングロッド大端部 | | |
| コネクティングロッド小端部 | | |
| クロスヘッドガイド部 | | |

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2　クランク軸の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| クランク軸 | | |

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.3　クランク軸受の評価　（単位：N）

| 評価部位 | 発生荷重 | 許容荷重 |
|---|---|---|
| 軸継手側 | | |
| 反軸継手側 | | |

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.4　動弁機構及び弁シート面の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| 弁シート面 | | |

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.5　減速機軸受の評価　（単位：N）

| 評価部位 | 発生荷重 | 許容荷重 |
|---|---|---|
| 入力軸軸受 | | |
| 中間軸軸受 | | |
| 出力軸軸受 | | |

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.6　減速機軸（歯車）の評価　（単位：N）

| 評価部位 | | 歯車の曲げ強さ | | 歯車の面圧強さ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 発生荷重 | 許容荷重 | 発生荷重 | 許容荷重 |
| 1段目(入力側) | 小歯車 | | | | |
| | 大歯車 | | | | |
| 2段目(出力側) | 小歯車 | | | | |
| | 大歯車 | | | | |

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.7　軸継手の評価　（単位：mm）

| 評価部位 | 変位量 | 許容変位量 |
|---|---|---|
| 減速機～ポンプ間 | | |
| 減速機～原動機間 | | |

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3　原動機の動的機能維持評価

2.2.3.3.1　代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

2.2.3.3.2　上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.3.2.1　固定子の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 応力 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|---|
| 固定子 | せん断 | | |

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2　軸（回転子）の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|
| 軸（回転子） | | |

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.3　端子箱の評価　（単位：MPa）

| 評価部位 | 応力 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|---|
| 端子箱 | 引張り | | |
| | せん断 | | |

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.4　軸受の評価　（単位：N）

| 評価部位 | 発生荷重 | 許容荷重 |
|---|---|---|
| 軸継手側 | | |
| 反軸継手側 | | |

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.5　固定子と回転子間のクリアランスの評価　（単位：mm）

| 評価部位 | 回転子のたわみ | 許容変位量 |
|---|---|---|
| 固定子と回転子間のクリアランス | | |

すべて許容変位量以下である。

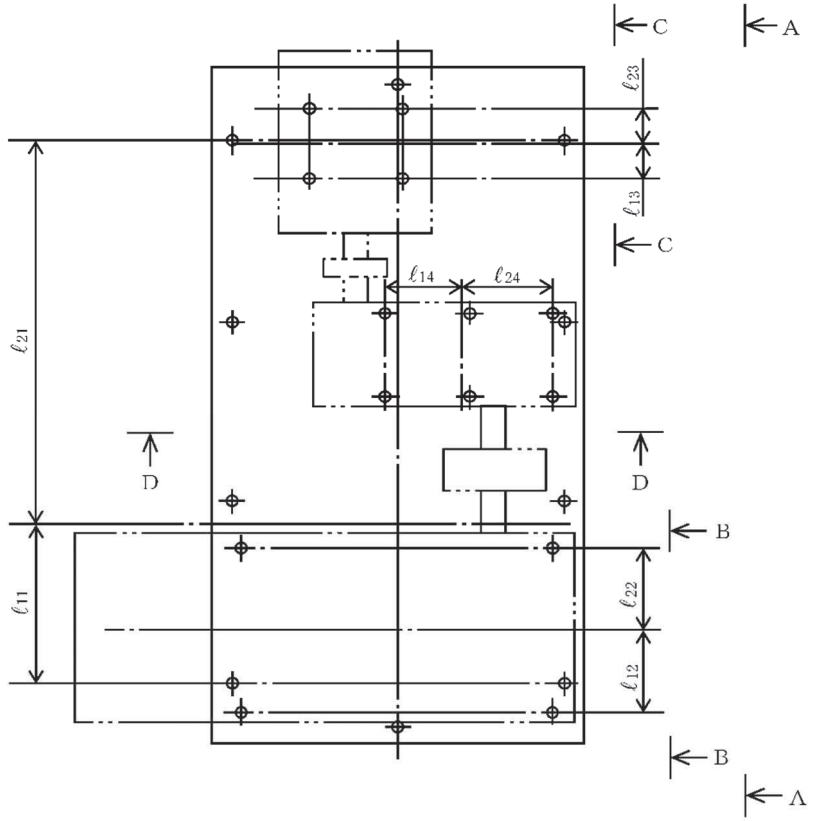
2.2.3.3.2.6　モータフレームの評価　（単位：MPa）

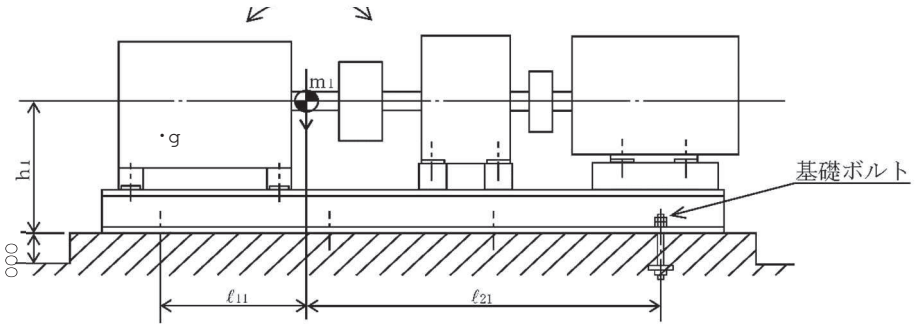
| 評価部位 | 応力 | 発生応力 | 許容応力 |
|---|---|---|---|
| モータフレーム | 引張り | | |
| | せん断 | | |

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.7　軸継手の評価

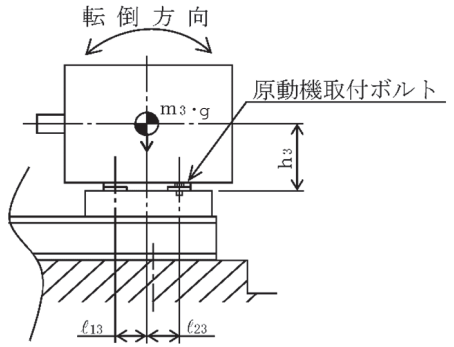
原動機軸継手の評価は，「2.2.3.2　往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。



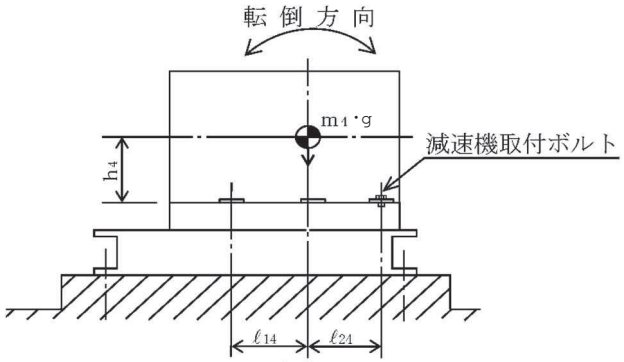




($\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$)

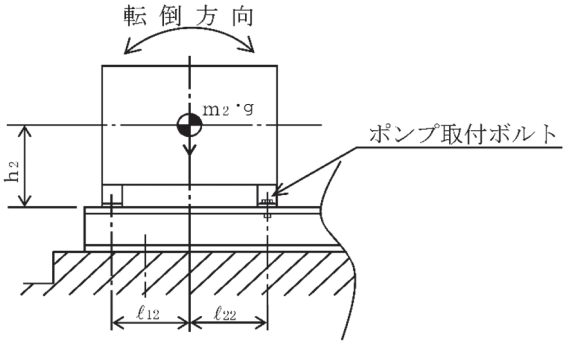
A～A矢視図
(基礎ボルト)




C～C矢視図
(原動機取付ボルト)




D～D矢視図
(減速機取付ボルト)




B～B矢視図
(ポンプ取付ボルト)

本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-6：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（Aパターンの耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○○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 ..... 7
3.　評価部位 ..... 8
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ..... 8
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ..... 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ..... 8
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ..... 8
4.2.2　許容応力 ..... 8
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ..... 8
4.3　解析モデル及び諸元 ..... 12
4.4　固有周期 ..... 14
4.5　設計用地震力 ..... 15
4.6　計算方法 ..... 16
4.6.1　応力の計算方法 ..... 16
4.7　計算条件 ..... 23
4.8　応力の評価 ..... 23
4.8.1　フレームの応力評価 ..... 23
4.8.2　取付ボルトの応力評価 ..... 24
5.　機能維持評価 ..... 25
5.1　動的機能維持評価方法 ..... 25
6.　評価結果 ..... 26
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ..... 26
6.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 26

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB単独又はSA単独の場合は,それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1.　概要

本計算書は，添付書類「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，○○○○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。

○○○○は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2.　一般事項

2.1　構造計画

○○○○の構造計画を表 2-1 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

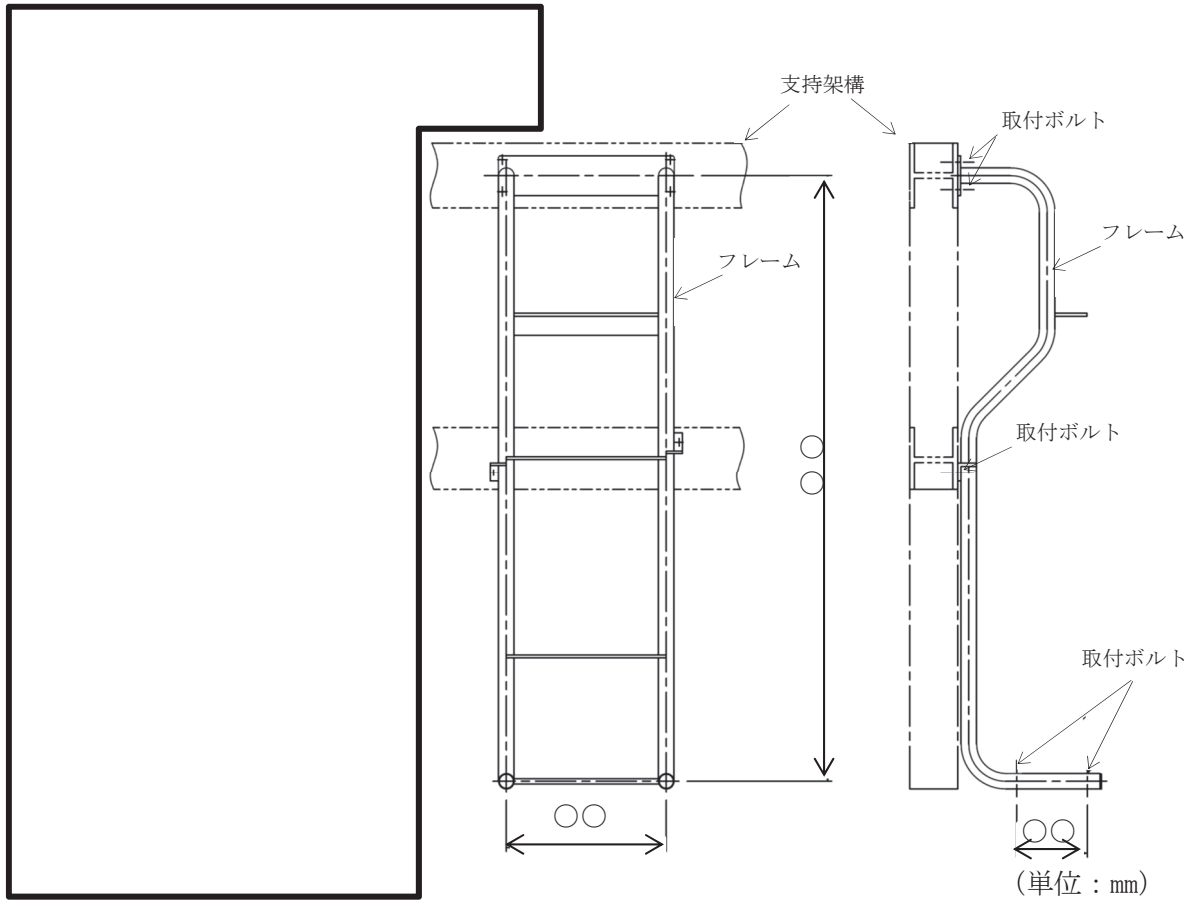
2.1　配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　評価方針」と続く。

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 | |
| ○○○○のフレームは，十分剛な支持架構に取付ボルトにより固定されている。 | 配管ユニット，計装ユニット等の構成部品がフレームに取り付けられた構造。 |  |

機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

下記内容は案として記載したものであり，本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図とする。

2.2　評価方針

○○○○の応力評価は，添付書類「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せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す○○○○の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で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，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また，○○の機能維持評価は，添付書類「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能確認済加速度以下であることを，「5.　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「6.評価結果」に示す。

○○○○及び○○の耐震評価フローを図 2-1 に示す。



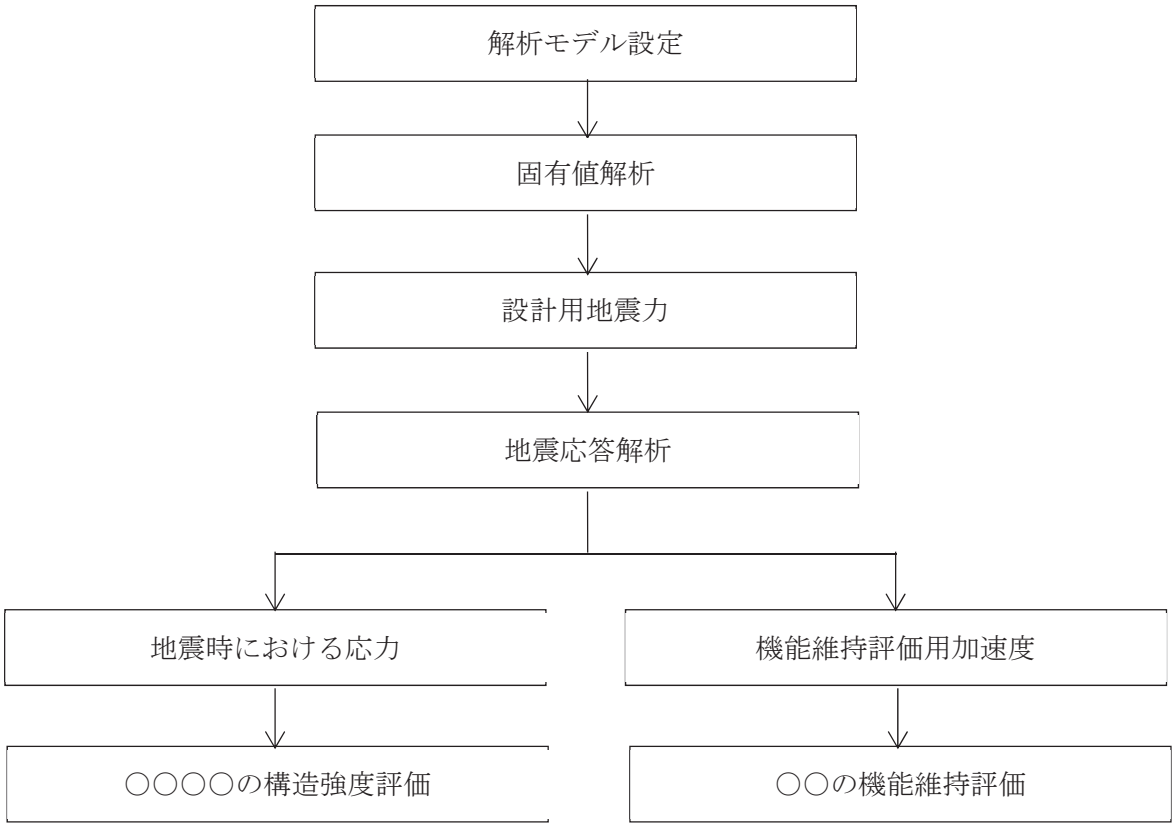



図 2-1　○○○○及び○○の耐震評価フロー

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　（ＪＥＡＧ４６０１－1987）

(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　（ＪＥＡＧ４６０１・補－1984）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　（ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版）

(4)　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007　発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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 | フレームの断面積 | $mm^2$ |
| $A_{b1}$ | フレームを床に取付けるボルトの軸断面積 | $mm^2$ |
| $A_{b2}$ | フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの軸断面積 | $mm^2$ |
| $A_{b3}$ | フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの軸断面積 | $mm^2$ |
| $C_H$ | 水平方向設計震度 | — |
| $C_V$ | 鉛直方向設計震度 | — |
| $d_{o1}$ | フレームを床に取付けるボルトの呼び径 | mm |
| $d_{o2}$ | フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの呼び径 | mm |
| $d_{o3}$ | フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの呼び径 | mm |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| F | 設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値 | MPa |
| F* | 設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値 | MPa |
| $F_{b●}$ | 節点●の取付ボルトに作用する引張力 | N |
| $F_x$ | フレームの軸力（x方向） | N |
| $F_y$ | フレームのせん断力（y方向） | N |
| $F_z$ | フレームのせん断力（z方向） | N |
| $f_b$ | フレームの許容曲げ応力 | MPa |
| $f_c$ | フレームの許容圧縮応力 | MPa |
| $f_s$ | フレーム又はボルト等の許容せん断応力 | MPa |
| $f_{sb}$ | せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 | MPa |
| $f_t$ | フレーム又はボルト等の許容引張応力 | MPa |
| $f_{to}$ | 引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力 | MPa |
| $f_{ts}$ | 引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力 | MPa |
| i | 断面二次半径 | mm |
| $\ell_1$ | フレームを床に取付けるボルト間のX軸方向の取付距離 | mm |
| $\ell_2$ | フレームの上端を支持架構に取付けるボルト間のZ軸方向の取付距離 | mm |
| $\ell_3$ | フレームの上端を支持架構に取付けるボルト間のY軸方向の取付距離 | mm |
| $\ell_4$ | フレームの中間を支持架構に取付けるボルトとサポート端とのZ軸方向の距離 | mm |
| $\ell_5$ | フレームの中間を支持架構に取付けるボルトとサポート端とのY軸方向の距離 | mm |
| $\ell_k$ | 座屈長さ | mm |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---|---|---|
| $M_x$ | フレームのねじりモーメント（x軸） | N･mm |
| $M_y$ | フレームの曲げモーメント（y軸） | N･mm |
| $M_z$ | フレームの曲げモーメント（z軸） | N･mm |
| m | ○○○○解析モデル各節点の付加質量の合計 | kg |
| $N_1$ | フレームを床に取付けるボルトの本数 | — |
| $N_2$ | フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの本数 | — |
| $N_3$ | フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの本数 | — |
| $Q_{b●}$ | 節点●の取付ボルトに作用するせん断力 | N |
| r | フレームパイプの外半径 | mm |
| $R_●$, $R'_●$, $R''_●$ | 節点●の取付ボルトに作用する反力 | N |
| S | 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値 | MPa |
| $S_u$ | 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値 | MPa |
| $S_y$ | 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値 | MPa |
| $S_y$(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 | MPa |
| X, Y, Z | 絶対（節点）座標軸 | — |
| x, y, z | 局所（要素）座標軸 | — |
| $Z_p$ | フレームのねじり断面係数 | $mm^3$ |
| $Z_y$ | フレームの断面係数（y軸） | $mm^3$ |
| $Z_z$ | フレームの断面係数（z軸） | $mm^3$ |
| $\Lambda$ | フレームの限界細長比 | — |
| $\lambda$ | フレームの有効細長比 | — |
| $\nu$ | ポアソン比 | — |
| $\nu'$ | 座屈に対する安全率 | — |
| $\pi$ | 円周率 | — |
| $\sigma_b$ | フレームに生じる曲げ応力 | MPa |
| $\sigma_c$ | フレームに生じる圧縮応力 | MPa |
| $\sigma_f$ | フレームに生じる組合せ応力 | MPa |
| $\sigma_{fa}$ | フレームに生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和 | MPa |
| $\sigma_t$ | フレームに生じる引張応力 | MPa |
| $\sigma_{tb●}$ | 節点●の取付ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| $\tau$ | フレームに生じるせん断応力 | MPa |
| $\tau_{b●}$ | 節点●の取付ボルトに生じるせん断応力 | MPa |

2.5　計算精度と数値の丸め方

計算精度は，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 に示すとおりである。

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 | | ℃ | － | － | 整数位 |
| 質量 | | kg | － | － | 整数位*1 |
| 長さ | 下記以外の長さ | mm | － | － | 整数位*1 |
| | 部材断面寸法 | mm | 小数点以下第 2 位*3 | 四捨五入 | 小数点以下第 1 位*2 |
| 面積 | | $mm^2$ | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁*4 |
| モーメント | | N･mm | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁*4 |
| 力 | | N | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁*4 |
| 縦弾性係数 | | MPa | 有効数字 4 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 3 桁*4 |
| 算出応力 | | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力 | | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位*5 |

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：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は，小数点以下第 2 位表示とする。

＊3：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は，小数点以下第 3 位表示とする。

＊4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

＊5：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中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。

「構造計画」で示した部位に対し，評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して，代表で評価する場合は，評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい，すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

3. 評価部位

○○○○の耐震評価は，「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなるフレーム及び取付ボルトについて実施する。なお，○○○○は，構造物として十分な剛性を有しており，支持構造物であるフレーム及び取付ボルトが健全であれば○○○○機能を維持できるため，フレーム及び取付ボルトを評価対象とする。○○○○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. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) ○○○○のフレームは，十分剛な壁及び床に取付ボルトにより固定されるものとする。

(2) ○○○○の質量には，フレーム自身の質量のほか，○○，○○及び○○の質量を考慮する。

(3) 地震力は，○○○○に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○○の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

○○○○の許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

○○○○の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○ | S | クラス 2<br>支持構造物 | $D+P_D+M_D+Sd^*$ | $Ⅲ_AS$ |
| | | | | | $D+P_D+M_D+Ss$ | $Ⅳ_AS$ |

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○ | 常設耐震／防止 | 重大事故等<br>クラス 2 支持構造物 | $D+P_D+M_D+Ss$ *2 | $Ⅳ_AS$ |
| | | | | | $D+P_{SAD}+M_{SAD}+Ss$ | $V_AS$<br>（$V_AS$ として $Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） |

注記 ＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB 拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+Ss$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

表 4-3　許容応力（クラス 2，3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

| 許容応力状態 | 許容限界*1，*2（ボルト等以外） | 許容限界*1，*2（ボルト等） | |
|---|---|---|---|
| | 一次応力 | 一次応力 | |
| | 組合せ | 引張り | せん断 |
| $Ⅲ_AS$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |
| $Ⅳ_AS$ | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| $V_AS$（$V_AS$ として$Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） | | | |

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。

・DB＋SA の場合は，$V_AS$ を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | S（MPa） | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（ＲＴ）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| フレーム | | 周囲環境温度 | ― | | | ― |
| | ○○○（厚さ＞　mm） | 周囲環境温度 | ― | | | ― |
| 取付ボルト | ○○○＊（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | ― | | | ― |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | S（MPa） | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（ＲＴ）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| フレーム | | 周囲環境温度 | ― | | | ― |
| | ○○○（厚さ＞　mm） | 周囲環境温度 | ― | | | ― |
| 取付ボルト | ○○○＊（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | ― | | | ― |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

4.3　解析モデル及び諸元

○○○○の解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【○○○○の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　○○○○のフレームをはり要素でモデル化した FEM モデルを用いる。

(2)　解析モデル各節点の質量は，○○弁，○○弁，○○部品等であり，実際の位置を考慮して付加する。

（記載例）

(3)　拘束条件は，フレームの壁及び床への取付部を固定とする。

【(3)　拘束条件として，基礎部の○○方向を固定する。なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。】

(4)　解析コードは「○○○」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅵ-5　計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

拘束条件(基礎(据付)ボルト含む。)を記載する。
なお，基礎(据付)ボルト部をモデル化していない場合は
「なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。

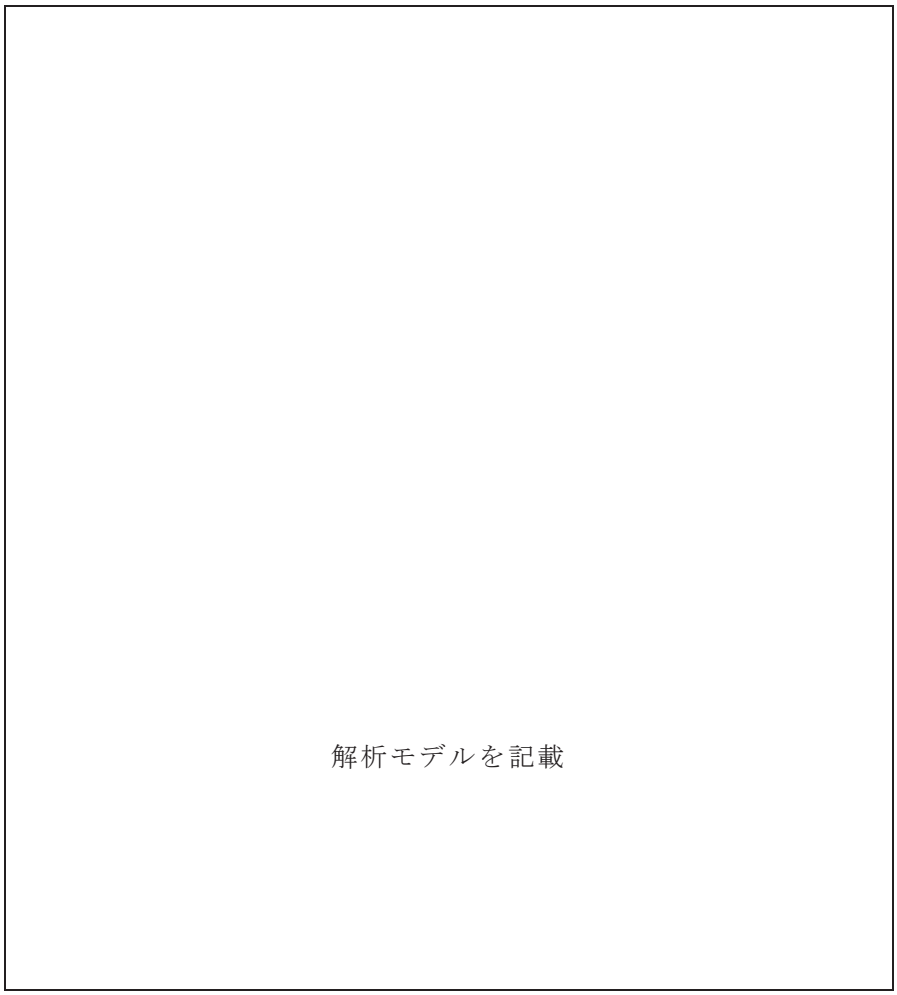



図 4-1　○○○○解析モデル（単位：mm）

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-6　固有値解析結果

| モード | 卓越方向 | 固有周期 (s) | 水平方向刺激係数 | | 鉛直方向刺激係数 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | X方向 | Y方向 | |
| 1次 | 水平方向 | | － | － | － |
| 1次 | 鉛直方向 | | － | － | － |

適用する刺激係数について記載する。固有周期が 0.05 秒以下となる方向については「－」とする。

柔構造の場合は，適用する刺激係数の正規化方法についての注記を記載する。
（記載例）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。

柔構造の場合は，振動モード図（最大で 3 次モードまで又は各方向の卓越モード）を記載する。
剛構造の場合は，1 次モードの振動モード図を記載する。

図 4-2　振動モード（1 次モード 水平方向 ○.○○ s ）

柔な場合，添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

固有周期が，0.05ｓを超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。

表 4-7　設計用地震力（設計基準対象施設）

| 据付場所及び床面高さ(m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | 鉛直方向設計震度 |
| ○○建屋<br>0.P. ＊<br>(0.P. ) | | | $C_H$＝<br>又は＊2 | $C_V$＝ | $C_H$＝<br>又は＊3 | $C_V$＝ |

注記　＊1：基準床レベルを示す。
＊2：弾性設計用地震動Ｓｄに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。
＊3：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

Ⅲ$_A$Ｓの評価をＳｓで実施する場合，表中は「－＊2」とし，
＊2は「Ⅲ$_A$Ｓについては，基準地震動Ｓｓで評価する。」と書き替える。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P. ）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

固有周期が，0.05ｓを超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。

表 4-8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

| 据付場所及び床面高さ(m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | 鉛直方向設計震度 |
| ○○建屋<br>0.P. ＊1<br>(0.P. ) | | | － | － | $C_H$＝<br>又は＊2 | $C_V$＝ |

注記　＊1：基準床レベルを示す。
＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P. ）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力$F_x$，せん断力$F_y$，$F_z$，ねじりモーメント$M_x$及び曲げモーメント$M_y$，$M_z$より各応力を次のように求める。

(1)　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

(2)　せん断応力

$$\tau = \mathrm{Max}\left\{\sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A}+\frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2+\left(\frac{|F_z|}{A}\right)^2},\sqrt{\left(\frac{|F_z|}{A}+\frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2+\left(\frac{|F_y|}{A}\right)^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.3)$$

(3)　曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

(4)　組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3\cdot\tau^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.5)$$

ここで，

$$\sigma_{fa} = \frac{|F_x|}{A} + \sigma_b \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.6)$$

4.6.1.2　取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は，解析による計算で得られる各要素端での軸力Ｆｘ，せん断力Ｆｙ，Ｆｚ，ねじりモーメントＭｘ及び曲げモーメントＭｙ，Ｍｚから手計算により，地震による引張応力とせん断応力について計算する。

4.6.1.2.1　○○○を床に取付けるボルトの応力

○○○を床に取付けるボルトの概要を図 4-2 に示す。

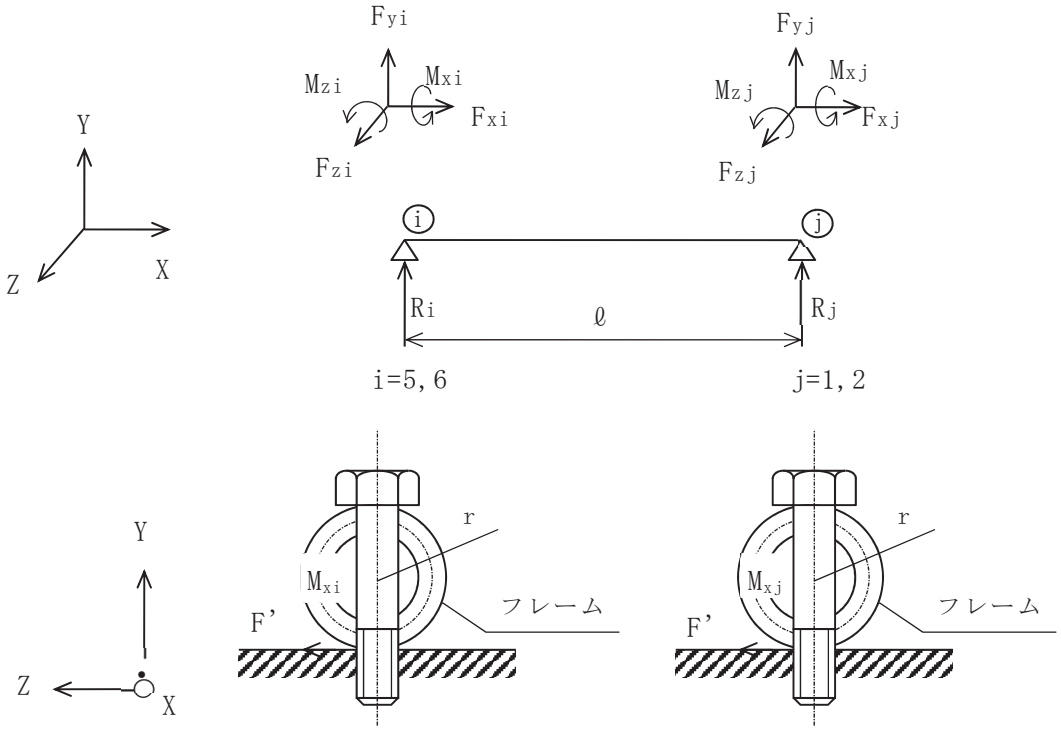



図 4-2　○○○○の取付ボルトに作用する力とモーメント

(1)　引張応力

取付ボルトに対する引張応力は，図 4-2 に示すフレームの節点ｉ及び節点ｊ（ここで，（ｉ，ｊ）の組合せは(5，1)及び（6，2)）での軸力とモーメントを考えて計算する。

a．引張力

$$F_{bi} = |F_{yi}| + \frac{|M_{zi}| + |M_{zj}|}{\ell} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2.1)$$

$$F_{bj} = |F_{yj}| + \frac{|M_{zi}| + |M_{zj}|}{\ell} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2.2)$$

b．引張応力

$$\sigma_{tbi} = \frac{F_{bi}}{n_f \cdot A_b} \cdots\cdots (4.6.1.2.3)$$

$$\sigma_{tbj} = \frac{F_{bj}}{n_f \cdot A_b} \cdots\cdots (4.6.1.2.4)$$

ここで，ボルトの軸断面積$A_b$は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \cdots\cdots (4.6.1.2.5)$$

(2)　せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は，フレームと壁及び床の取付部１箇所当たりの取付ボルトの本数で受けるものとして計算する。

a.　せん断力

$$Q_{bi} = \sqrt{|F_{xi}|^2 + \left(|F_{zi}| + \frac{|M_{xi}|}{\ell}\right)^2} \cdots\cdots (4.6.1.2.6)$$

$$Q_{bj} = \sqrt{|F_{xj}|^2 + \left(|F_{zj}| + \frac{|M_{xj}|}{\ell}\right)^2} \cdots\cdots (4.6.1.2.7)$$

b.　せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n \cdot A_b} \cdots\cdots (4.6.1.2.8)$$

$$\tau_{bj} = \frac{Q_{bj}}{n \cdot A_b} \cdots\cdots (4.6.1.2.9)$$

ここで，ボルトの軸断面積$A_b$は，（4.6.1.2.5）式による。

4.6.1.2.2　フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの応力

フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの概要を図 4-3 に示す。

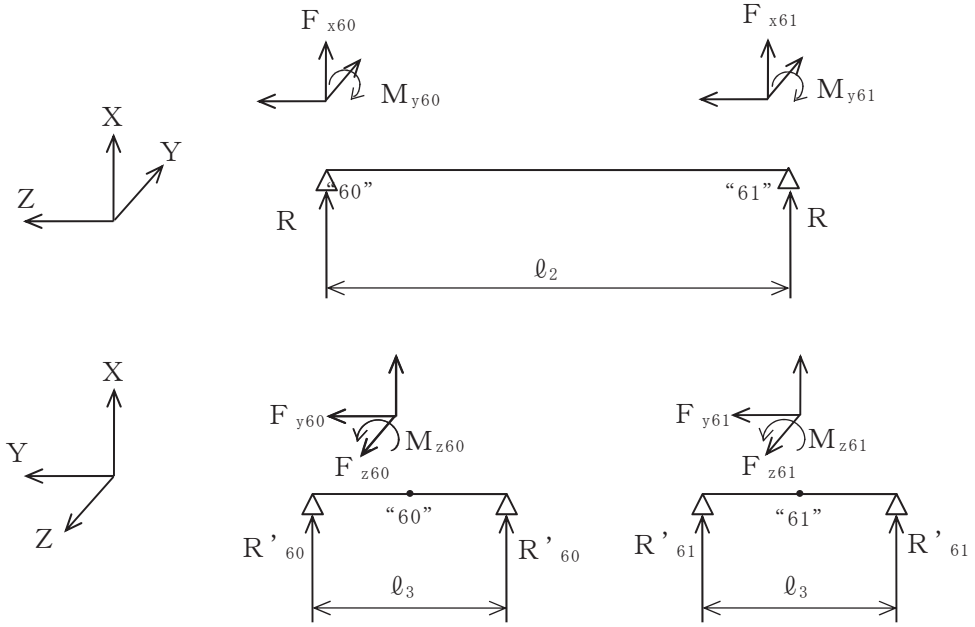



図 4-3　フレームの上端を支持架構に取付けるボルトに
作用する力とモーメント

(1) 引張応力

図 4-3 において節点 60 及び節点 61 での反力は

$$R_{60} = \left| F_{x60} \right| + \frac{M_{y61}}{\ell_2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.1)$$

$$R_{61} = \left| F_{x61} \right| + \frac{M_{y60}}{\ell_2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.2)$$

また，実際の取付ボルトの取付状態を考慮して，$M_{z60}$ 及び $M_{z61}$ による反力は

$$R'_{60} = \frac{\left| M_{z60} \right|}{\ell_3} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.3)$$

$$R'_{61} = \frac{\left| M_{z61} \right|}{\ell_3} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.4)$$

したがって，取付ボルトに作用する反力は

$$R''_{60}=\frac{|R_{60}|}{2}+\left|R'_{60}\right| \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.5)$$

$$R''_{61}=\frac{|R_{61}|}{2}+\left|R'_{61}\right| \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.6)$$

よって，取付ボルトの引張応力は

$$\sigma_{tb60}=\frac{R''_{60}}{A_{b2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.7)$$

$$\sigma_{tb61}=\frac{R''_{61}}{A_{b2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.8)$$

ここで，ボルトの軸断面積$A_{b2}$は次式により求める。

$$A_{b2}=\frac{\pi}{4}\cdot d_{o2}^{2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.9)$$

(2) せん断応力

図 4-3 において節点 60 及び節点 61 でのせん断力は

$$Q_{b60}=\sqrt{|F_{y60}|^{2}+|F_{y60}|^{2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.10)$$

$$Q_{b61}=\sqrt{|F_{y61}|^{2}+|F_{z61}|^{2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.11)$$

よって，取付ボルトのせん断応力は

$$\tau_{b60}=\frac{F_{s60}}{2\cdot A_{b2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.12)$$

$$\tau_{b61}=\frac{F_{s61}}{2\cdot A_{b2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2.13)$$

ここで，ボルトの軸断面積$A_{b2}$は，(4.6.1.2.2.9)式による。

4.6.1.2.3　フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの応力

フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの概要を図 4-4 に示す。

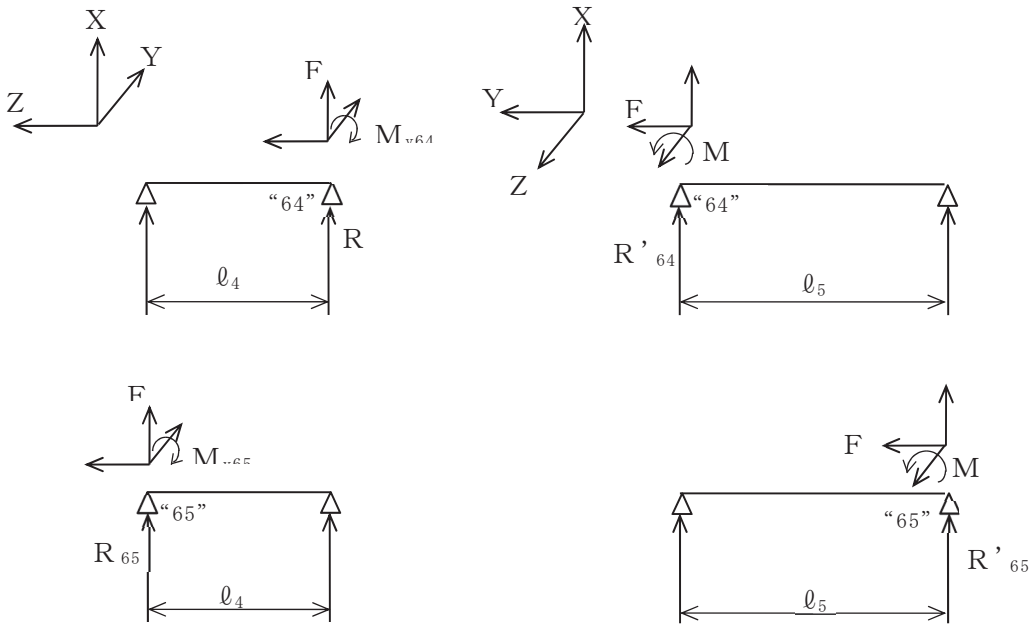



図 4-4　フレームの中間を支持架構に取付けるボルト
に作用する力とモーメント

(1) 引張応力

図 4-4 において節点 64 及び節点 65 での反力は

$$R_{64}=\left|F_{x\,64}\right|+\frac{M_{y\,64}}{\ell_4} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.1)$$

$$R_{65}=\left|F_{x\,65}\right|+\frac{M_{y\,65}}{\ell_4} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.2)$$

また，実際の取付ボルトの取付状態を考慮して，$M_{z60}$ 及び$M_{z61}$による反力は

$$R'_{64}=\frac{\left|M_{z\,64}\right|}{\ell_5} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.3)$$

$$R'_{65}=\frac{\left|M_{z\,65}\right|}{\ell_5} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.4)$$

したがって，取付ボルトに作用する反力は

$$R''_{64}=\left|R_{64}\right|+\left|R'_{64}\right| \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.5)$$

$$R''_{65}=\left|R_{65}\right|+\left|R'_{65}\right| \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.6)$$

よって，取付ボルトの引張応力は

$$\sigma_{tb64} = \frac{R''_{64}}{A_{b3}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.7)$$

$$\sigma_{tb65} = \frac{R''_{65}}{A_{b3}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.8)$$

ここで，ボルトの軸断面積$A_{b3}$は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o2}^{2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.9)$$

(2) せん断応力

図 4-4 において節点 64 及び節点 65 でのせん断力は

$$Q_{b64} = \sqrt{|F_{y64}|^2 + |F_{z64}|^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.10)$$

$$Q_{b65} = \sqrt{|F_{y65}|^2 + |F_{z65}|^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.11)$$

となる。

よって，取付ボルトのせん断応力は

$$\tau_{b64} = \frac{F_{s64}}{2 \cdot A_{b3}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.12)$$

$$\tau_{b65} = \frac{F_{s65}}{A_{b3}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3.13)$$

ここで，ボルトの軸断面積$A_{b3}$は，(4.6.1.2.3.9)式による。

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重（○○○○）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【○○○○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。

4.8　応力の評価

4.8.1　フレームの応力評価

4.6.1.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は $f_t$ 以下であること。

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ<br>又は静的震度による<br>荷重との組合せの場合 | 基準地震動Ｓｓによる<br>荷重との組合せの場合 |
|---|---|---|
| 許容引張応力<br>$f_t$ | $\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$ |
| 許容圧縮応力<br>$f_c$ | $\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F}{\nu'}\cdot 1.5$ | $\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F^*}{\nu'}\cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力<br>$f_s$ | $\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ | $\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ |
| 許容曲げ応力<br>$f_b$ | $\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$ |

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i} \cdots\cdots (4.8.1.1)$$

弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F}} \cdots\cdots (4.8.1.2)$$

基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}} \cdots\cdots (4.8.1.3)$$

$$\nu'=1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \cdots\cdots (4.8.1.4)$$

4.8.2　取付ボルトの応力評価

4.6.1.2 項で求めた取付ボルトの引張応力は，次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$ 以下であること。

ただし，$f_{to}$ は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.2.1)$$

せん断応力 $\tau_b$ はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 $f_{sb}$ 以下であること。

ただし，$f_{sb}$ は下表による。

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合 | 基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合 |
|---|---|---|
| 許容引張応力 $f_{to}$ | $\dfrac{F}{2}\cdot 1.5$ | $\dfrac{F}{2}\cdot 1.5^{*}$ |
| 許容せん断応力 $f_{sb}$ | $\dfrac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ | $\dfrac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5^{*}$ |

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

○○○○系○○弁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，添付書類「Ⅵ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

○○○○系○○弁は，地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造であるため，添付書類「Ⅵ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s$^2$)

| 評価部位 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|
| ○○○○系○○弁 | 水平方向 | |
| | 鉛直方向 | |

Ｏ２ ○ Ⅵ-○-○-○ Ｒ０

6.　評価結果

6.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○○の設計基準対象施設として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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

$Ⅲ_AS$の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(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。

6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○の重大事故時の状態を考慮した場合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。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

【○○○○の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1　設計条件

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期（s） | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | |
| ○○○○ | | 原子炉建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | | | $C_H$＝　*2 | $C_V$＝　*2 | $C_H$＝ | $C_V$＝ | | |

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：$Ⅲ_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

固有周期が，0.05s を超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。
＊○：弾性設計用地震動Ｓｄに基づく設計用床応答曲線から得られる値
＊○：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

$Ⅲ_AS$ の評価をＳｓで実施した場合は，震度に「―*2」を付記し，注記を以下のとおり書き換える。
注記＊2：$Ⅲ_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.2　機器要目

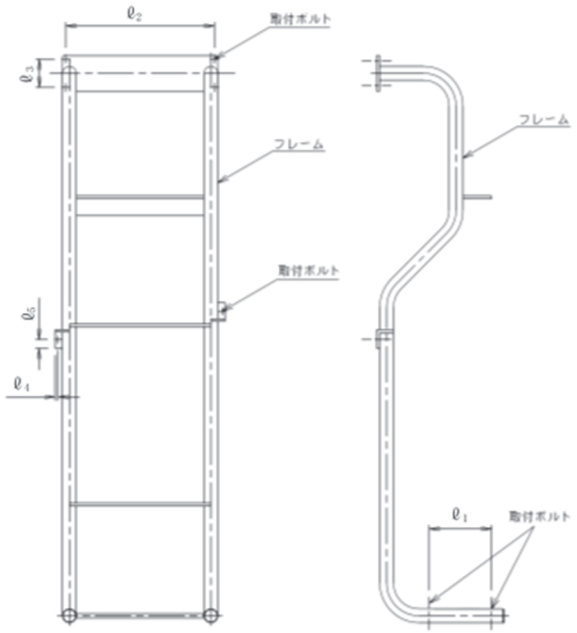
ボルト径を記載する。

| m (kg) | $N_1$ (―) | $N_2$ (―) | $N_3$ (―) | $\ell_1$ (mm) | $\ell_2$ (mm) | $\ell_3$ (mm) | $\ell_4$ (mm) | $\ell_5$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

| $d_1$ (mm) | $d_2$ (mm) | $d_3$ (mm) | $A_{b1}$ ($mm^2$) | $A_{b2}$ ($mm^2$) | $A_{b3}$ ($mm^2$) | r (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (M　) | (M　) | (M　) | | | | |

| 部材 | 材料 | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| フレーム | (厚さ≦　mm) | | | | |
| | (厚さ≦　mm) | | | | |
| 取付ボルト | (　mm≦径≦　mm) | | | | |

厚さ，径等による強度区分がある場合には，該当する強度区分を記載する。




本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

$Ⅲ_AS$ の評価をＳｓで実施した場合は，1.3 項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：$Ⅲ_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.3　計算数値

1.3.1　フレームの荷重

（単位：N）

| 要素番号 | 節点番号 | $F_x$ | | $F_y$ | | $F_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2　フレームのモーメント

（単位：N･m）

| 要素番号 | 節点番号 | $M_x$ | | $M_y$ | | $M_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

$Ⅲ_AS$の評価をＳｓで実施した場合は，1.3項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：$Ⅲ_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.3.3　取付ボルトの荷重　（単位：N）

| 要素番号 | 節点番号 | $F_x$ | | $F_y$ | | $F_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | | | | | | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.4　取付ボルトのモーメント　（単位：N･m）

| 要素番号 | 節点番号 | $M_x$ | | $M_y$ | | $M_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | | | | | | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.5　取付ボルトに作用する力　（単位：N）

| 要素番号 | 節点番号 | $F_b$ | | $Q_b$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | | | | |

1.4　結論

1.4.1　固有周期　（単位：s）

| モード | 方向 | 固有周期 |
|---|---|---|
| | | |
| | | |

1.4.2　応力　　（単位：MPa）

| 部材 | 材料 | 応力 | 要素番号 | 節点番号 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| フレーム | | 引張り | | | $\sigma_t$＝ | $f_t$＝ | $\sigma_t$＝ | $f_t$＝ |
| | | 圧縮 | | | $\sigma_c$＝ *1 | $f_c$＝ | $\sigma_c$＝ *1 | $f_c$＝ |
| | | せん断 | | | $\tau$＝ | $f_s$＝ | $\tau$＝ | $f_s$＝ |
| | | 曲げ | | | $\sigma_b$＝ | $f_b$＝ | $\sigma_b$＝ | $f_b$＝ |
| | | 組合せ | | | $\sigma_f$＝ | $f_t$＝ | $\sigma_f$＝ | $f_t$＝ |
| | | 引張り | | | $\sigma_t$＝ | $f_t$＝ | $\sigma_t$＝ | $f_t$＝ |
| | | 圧縮 | | | $\sigma_c$＝ *1 | $f_c$＝ | $\sigma_c$＝ *1 | $f_c$＝ |
| | | せん断 | | | $\tau$＝ | $f_s$＝ | $\tau$＝ | $f_s$＝ |
| | | 曲げ | | | $\sigma_b$＝ | $f_b$＝ | $\sigma_b$＝ | $f_b$＝ |
| | | 組合せ | | | $\sigma_f$＝ | $f_t$＝ | $\sigma_f$＝ | $f_t$＝ |
| 取付ボルト | | 引張り | | | $\sigma_{tb}$＝ | $f_{ts}$＝ *2 | $\sigma_{tb}$＝ | $f_{ts}$＝ *2 |
| | | せん断 | | | $\tau_b$＝ | $f_{sb}$＝ | $\tau_b$＝ | $f_{sb}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊1：絶対値を記載

＊2：$f_{ts}$＝Min[1.4・$f_{to}$－1.6・$\tau_b$, $f_{to}$]にて算出

＊3：基準地震動Ｓｓによる算出値

$\mathrm{III}_A S$ の評価をＳｓで実施した場合は，算出応力は基準地震動Ｓｓによる算出値を「○○*3」と記載し，注記を以下のとおりとする。

注記＊3：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.3　動的機能の評価結果　　（×9.8 m/s²）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○系○○弁 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

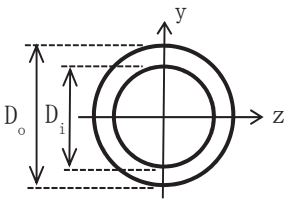
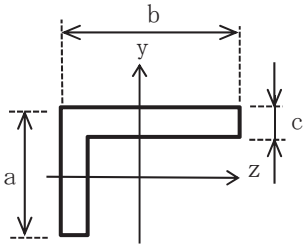
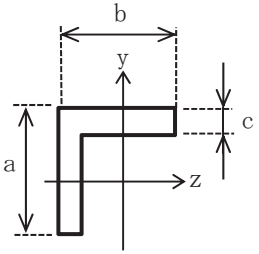
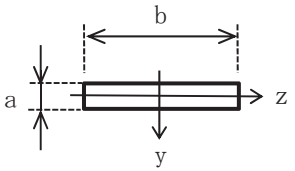
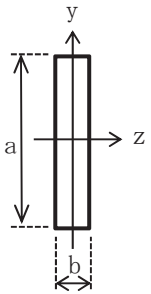
機能維持評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。

※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。

| 材料 | E (MPa) | $\nu$ | $\ell_k$ (mm) | i (mm) | $\lambda$ | $\Lambda$ | | $\nu'$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *1 | *2 | | |
| | | | | | | *1 | *2 | | |
| | | | | | | *1 | *2 | | |

注記＊1：弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合
＊2：基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合

| 材料 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 要素番号 | ○，○，○～○○，○～○○ | ○○～○○ | ○，○○ | ○○～○○ | ○○～○○ |
| A ($mm^2$) | | | | | |
| $Z_y$ ($mm^3$) | | | | | |
| $Z_z$ ($mm^3$) | | | | | |
| $Z_p$ ($mm^3$) | | | | | |
| 断面形状 |  |  |  |  |  |
| 寸法 (mm) | $D_o$ = ○○.○<br>$D_i$ = ○○.○ | a = ○○<br>b = ○○○<br>c = ○○ | a = ○○<br>b = ○○<br>c = ○ | a = ○<br>b = ○○ | a = ○○○<br>b = ○ |

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし，章番を 1. とする。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P. ）を追加する。
例：基礎台高さが 500㎜ 以上の基礎台に設置されている設備に適用

2. 重大事故等対処設備

2.1 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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | |
| ○○○○ | | ○○建屋<br>0.P. ＊<br>(0.P. ) | | | － | － | $C_H$＝ | $C_V$＝ | | |

注記＊：基準床レベルを示す。

固有周期が，0.05ｓを超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。
＊○：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

ボルト径を記載する。

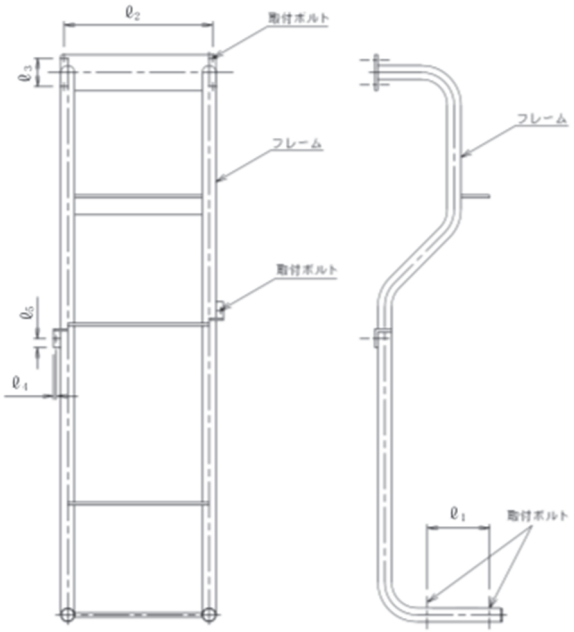
2.2 機器要目

| m (kg) | $N_1$ (—) | $N_2$ (—) | $N_3$ (—) | $\ell_1$ (mm) | $\ell_2$ (mm) | $\ell_3$ (mm) | $\ell_4$ (mm) | $\ell_5$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

| $d_1$ (mm) | $d_2$ (mm) | $d_3$ (mm) | $A_{b1}$ ($mm^2$) | $A_{b2}$ ($mm^2$) | $A_{b3}$ ($mm^2$) | r (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (M ) | (M ) | (M ) | | | | |

| 部材 | 材料 | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | F (MPa) | F＊ (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| フレーム | | | | | |
| | (厚さ≦ mm) | | | | |
| | (厚さ≦ mm) | | | | |
| 取付ボルト | ( mm≦径≦ mm) | | | | |

厚さ，径等による強度区分がある場合には，該当する強度区分を記載する。




本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

2.3　計算数値

2.3.1　フレームの荷重　　（単位：N）

| 要素番号 | 節点番号 | $F_x$ | | $F_y$ | | $F_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | － | | － | | － | |
| | | － | | － | | － | |
| | | － | | － | | － | |
| | | － | | － | | － | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2　フレームのモーメント　　（単位：N･m）

| 要素番号 | 節点番号 | $M_x$ | | $M_y$ | | $M_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | － | | － | | － | |
| | | － | | － | | － | |
| | | － | | － | | － | |
| | | － | | － | | － | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.3　取付ボルトの荷重　（単位：N）

| 要素番号 | 節点番号 | $F_x$ | | $F_y$ | | $F_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | － | | － | | － | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.4　取付ボルトのモーメント　（単位：N･m）

| 要素番号 | 節点番号 | $M_x$ | | $M_y$ | | $M_z$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | － | | － | | － | |

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.5　取付ボルトに作用する力　（単位：N）

| 要素番号 | 節点番号 | $F_b$ | | $Q_b$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| | | － | | － | |

2.4　結論

2.4.1　固有周期　（単位：s）

| モード | 卓越方向 | 固有周期 |
|---|---|---|
| | | |
| | | |

2.4.2　応力　　（単位：MPa）

| 部材 | 材料 | 応力 | 要素番号 | 節点番号 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| フレーム | | 引張り | | | － | － | $\sigma_t$＝ | $f_t$＝ |
| | | 圧縮 | | | － | － | $\sigma_c$＝ ＊1 | $f_c$＝ |
| | | せん断 | | | － | － | $\tau$＝ | $f_s$＝ |
| | | 曲げ | | | － | － | $\sigma_b$＝ | $f_b$＝ |
| | | 組合せ | | | － | － | $\sigma_f$＝ | $f_t$＝ |
| | | 引張り | | | － | － | $\sigma_t$＝ | $f_t$＝ |
| | | 圧縮 | | | － | － | $\sigma_c$＝ ＊1 | $f_c$＝ |
| | | せん断 | | | － | － | $\tau$＝ | $f_s$＝ |
| | | 曲げ | | | － | － | $\sigma_b$＝ | $f_b$＝ |
| | | 組合せ | | | － | － | $\sigma_f$＝ | $f_t$＝ |
| 取付ボルト | | 引張り | | | － | － | $\sigma_{tb}$＝ | $f_{ts}$＝ ＊2 |
| | | せん断 | | | － | － | $\tau_b$＝ | $f_{Sb}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊1：絶対値を記載

＊2：$f_{ts}$＝Min[1.4・$f_{to}$－1.6・$\tau_b$，$f_{to}$]にて算出

2.4.3　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 |
|---|---|---|---|
| ○○○系○○弁 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

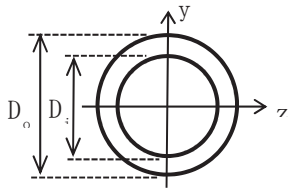
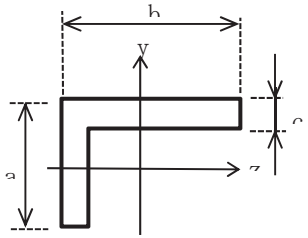
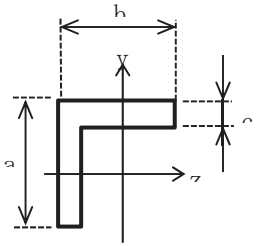
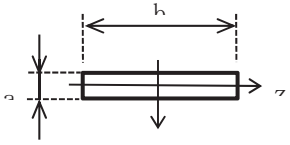
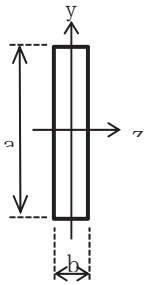
機能維持評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。

※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。

| 材料 | E (MPa) | $\nu$ | $\ell_k$ (mm) | i (mm) | $\lambda$ | $\Lambda$ | | $\nu'$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | ＊1 | ＊2 | | |
| | | | | | | ＊1 | ＊2 | | |
| | | | | | | ＊1 | ＊2 | | |

注記＊1：弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合
＊2：基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合

| 材料 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 要素番号 | ○，○，○～○○，○～○○ | ○○～○○ | ○，○○ | ○○～○○ | ○○～○○ |
| A ($mm^2$) | | | | | |
| $Z_y$ ($mm^3$) | | | | | |
| $Z_z$ ($mm^3$) | | | | | |
| $Z_p$ ($mm^3$) | | | | | |
| 断面形状 |  |  |  |  |  |
| 寸法 (mm) | $D_o$ = ○○.○<br>$D_i$ = ○○.○ | a = ○○<br>b = ○○○<br>c = ○○ | a = ○○<br>b = ○○<br>c = ○ | a = ○<br>b = ○○ | a = ○○○<br>b = ○ |

添付資料-7-1：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（C-1 パターン「解析」の耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○○放射線モニタ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 ..... 8
4.1　固有値解析方法 ..... 8
4.2　解析モデル及び諸元 ..... 8
4.3　固有値解析結果 ..... 9
5.　構造強度評価 ..... 10
5.1　構造強度評価方法 ..... 10
5.2　荷重の組合せ及び許容応力 ..... 10
5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ..... 10
5.2.2　許容応力 ..... 10
5.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ..... 10
5.3　設計用地震力 ..... 14
5.4　計算方法 ..... 15
5.4.1　応力の計算方法 ..... 15
5.5　計算条件 ..... 18
5.5.1　ボルトの応力計算条件 ..... 18
5.6　応力の評価 ..... 18
5.6.1　ボルトの応力評価 ..... 18
6.　機能維持評価 ..... 19
6.1　電気的機能維持評価方法 ..... 19
7.　評価結果 ..... 20
7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 20

・DB＋SA の場合
　7.1　設計基準対象施設としての評価結果
　7.2　重大事故等対処設備としての評価結果
・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

1.　概要

本計算書は，添付資料「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，○○○○放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

○○○○放射線モニタは，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.　一般事項

2.1　構造計画

○○○○放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

・DB＋SA の場合

○○○は，設計基準対象施設においては S クラス施設に，重大事故等対処設備においては，常設耐震重要重大事故防止設備(設計基準拡張)及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

2.1　配置概要

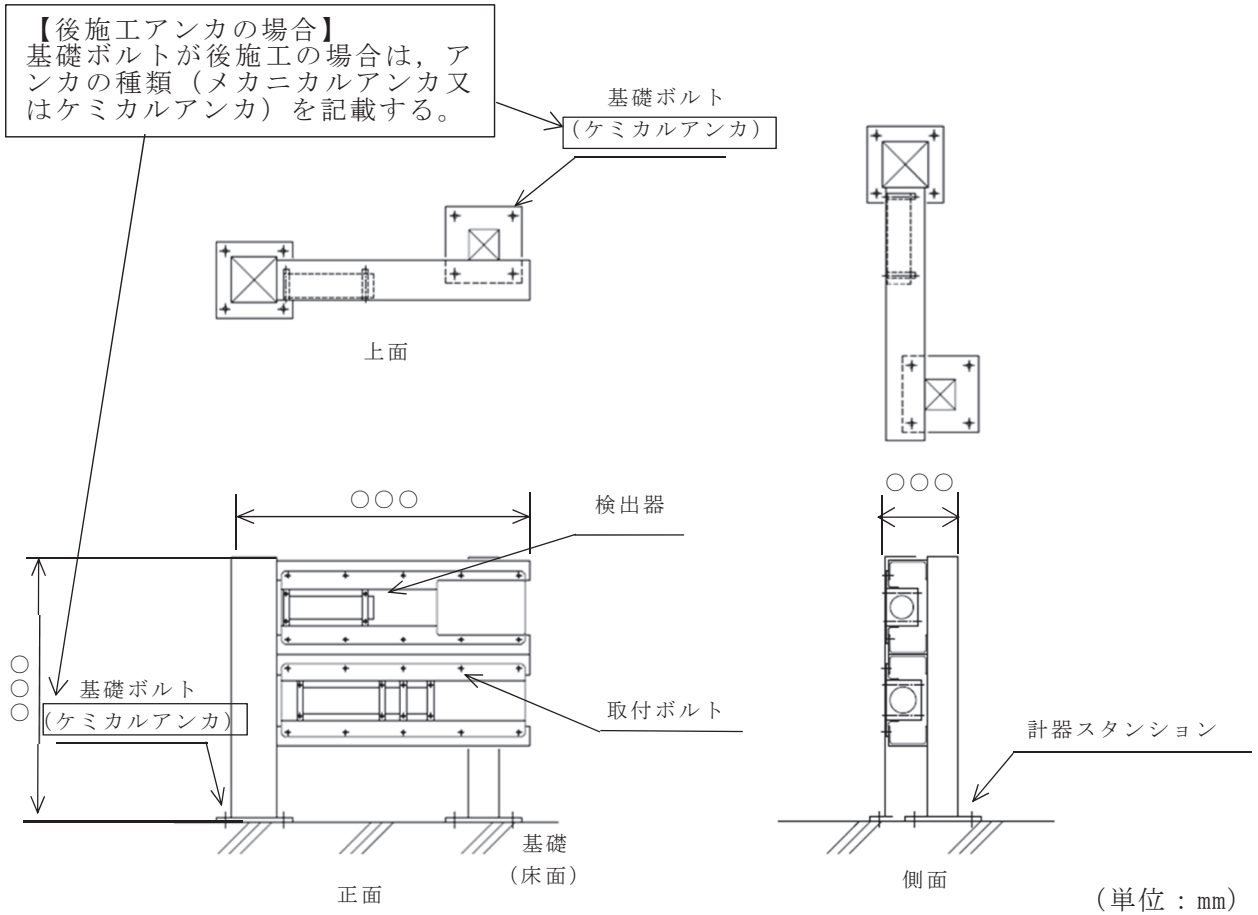
波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。

その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　評価方針」と続く。

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 | |
| 検出器は，計器スタンションに取付ボルトにより固定される。<br>計器スタンションは，基礎ボルトにより床に設置する。 | 床面に設置された計器スタンションに，検出器（電離箱）を取付ボルトにより固定する構造。 |  |

下記内容は案として記載したものであり，本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図にする。

2.2　評価方針

○○○○放射線モニタの応力評価は，添付書類「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せ並びに許容限界に基づき，○○○○放射線モニタの部位を踏まえ「2.1　構造計画」にて示す「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で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，○○○○放射線モニタの機能維持評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的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。

○○○○放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。



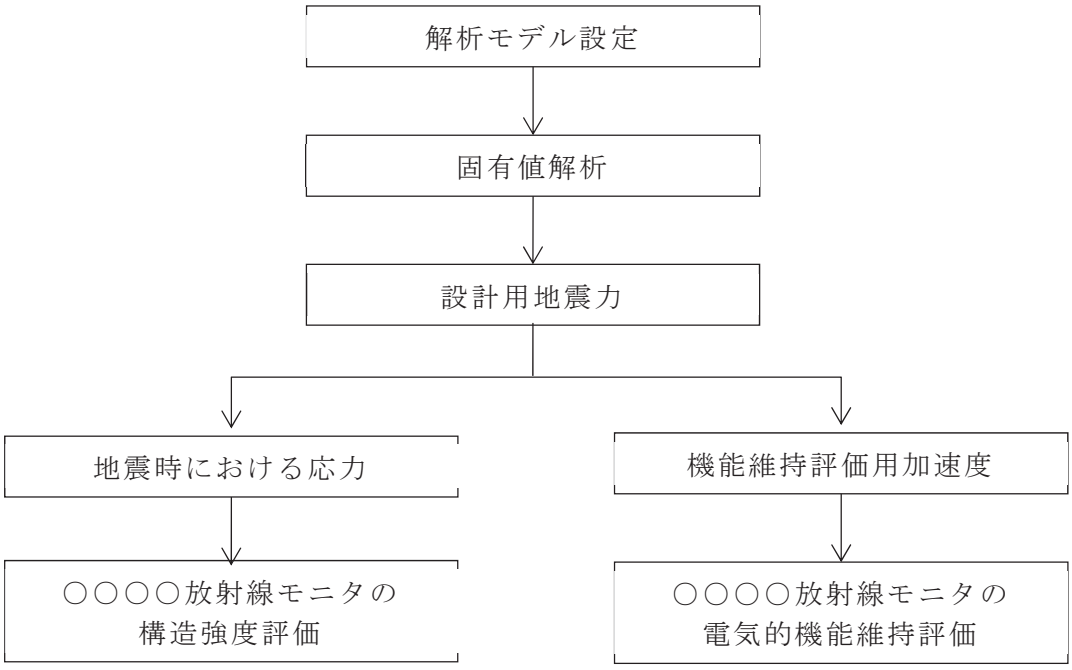



図 2-1　○○○○放射線モニタの耐震評価フロー

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　（ＪＥＡＧ４６０１－1987）

(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　（ＪＥＡＧ４６０１・補－1984）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　（ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版）

(4)　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007　発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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 |
|---|---|---|
| $A_b$ | ボルトの軸断面積 | $mm^2$ |
| $C_H$ | 水平方向設計震度 | － |
| $C_V$ | 鉛直方向設計震度 | － |
| d | ボルトの呼び径 | mm |
| F | 設計・建設規格 SSB-3131 に定める値 | MPa |
| F* | 設計・建設規格 SSB-3133 に定める値 | MPa |
| $F_b$ | ボルトに作用する引張力（1本当たり） | N |
| $f_{sb}$ | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（$f_s$を1.5倍した値又は$f_s$*を1.5倍した値） | MPa |
| $f_{to}$ | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（$f_t$を1.5倍した値又は$f_t$*を1.5倍した値） | MPa |
| $f_{ts}$ | 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 | MPa |
| g | 重力加速度（＝9.80665） | $m/s^2$ |
| h | 取付面から重心までの距離 | mm |
| $\ell_1$ | 重心とボルト間の水平方向距離* | mm |
| $\ell_2$ | 重心とボルト間の水平方向距離* | mm |
| m | 質量 | kg |
| n | ボルトの本数 | － |
| $n_f$ | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 | － |
| $Q_b$ | ボルトに作用するせん断力 | N |
| $S_u$ | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値 | MPa |
| $S_y$ | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値 | MPa |
| $S_y$（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 | MPa |
| $\pi$ | 円周率 | － |
| $\sigma_b$ | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| $\tau_b$ | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |

注記＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

計算精度は，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 に示すとおりである。

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 | ℃ | － | － | 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 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位*3 |

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中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

○○○○放射線モニタの耐震評価は,「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について実施する。○○○○放射線モニタの耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し，評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して，代表で評価する場合は，評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい，すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4.　固有周期

4.1　固有値解析方法

○○○○放射線モニタの固有値解析方法を以下に示す。

(1) ○○○○放射線モニタは,「4.2　解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

4.2　解析モデル及び諸元

○○○○放射線モニタの解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また,機器の諸元を本計算書の【○○○○放射線モニタの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

(1)　○○○○放射線モニタの質量は，重心に集中するものとする。

(2)　○○○○放射線モニタの重心位置については，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。

(記載例)

(3)　拘束条件は，○○部を完全拘束とする。

【(3)　拘束条件として，基礎部の○○方向を固定する。なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。】

(4)　転倒方向は，○○○○放射線モニタを正面より見て左右に転倒する場合を「正面方向転倒」，前方に転倒する場合を「側面方向転倒」という。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(6)　解析コードは,「○○」を使用し，固有値及び荷重を求める。

なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅵ-5　計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

拘束条件（基礎（据付）ボルト含む。）を記載する。
なお，基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は,「なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。

解析モデル図を記載

図 4-1　解析モデル

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-1　固有値解析結果

| モード | 卓越方向 | 固有周期（ｓ） | 水平方向刺激係数 | | 鉛直方向刺激係数 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ｘ方向 | Ｙ方向 | |
| １次 | 水平方向 | | － | － | － |
| １次 | 鉛直方向 | | － | － | － |

適用する刺激係数について記載する。固有周期が 0.05 秒以下となる方向については「－」とする。

柔構造の場合は，適用する刺激係数の正規化方法についての注記を記載する。
（記載例）
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。

柔構造の場合は，振動モード図（最大で 3 次モードまで又は各方向の卓越モード）を記載する。
剛構造の場合は，1 次モードの振動モード図を記載する。

図 4-2　振動モード（1 次モード 水平方向 ○.○○ ｓ）

Ｏ２　○　Ⅵ-○-○-○　Ｒ０

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

4.2 項（1）～（5）のほか，次の条件で計算する。

（1）　地震力は，○○○○放射線モニタに対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

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

○○○○放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

・DB＋SA の場合
○○○○放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表○-○に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表○-○に示す。
・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

5.2.2　許容応力

○○○○放射線モニタの許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-1 に示す。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○○放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

・DB＋SA の場合
○○○○放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表○-○に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表○-○に示す。
・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○放射線モニタ | 常設／緩和 | －*2 | $D+P_D+M_D+S_s$ *3 | $Ⅳ_AS$ |
| | | | | | $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ | $V_AS$（$V_AS$ として$Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB 拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合，以下を上記 SA の前に追加する。

表 5-○　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○放射線モニタ | S | －* | $D+P_D+M_D+S_d$ * | $Ⅲ_AS$ |
| | | | | | $D+P_D+M_D+S_s$ | $Ⅳ_AS$ |

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

・DB＋SA の場合
　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）とする。
・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

| 許容応力状態 | 許容限界*1, *2<br>（ボルト等） | |
|---|---|---|
| | 一次応力 | |
| | 引張り | せん断 |
| $Ⅳ_AS$ | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| $V_AS$<br>（$V_AS$ として$Ⅳ_AS$ の<br>許容限界を用いる。） | | |

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。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

・DB＋SA の場合，以下を$Ⅳ_AS$ の前に追加する。

| | | |
|---|---|---|
| $Ⅲ_AS$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |

・DB＋SA の場合
　本表の前に DB の条件である「表 5-○　使用材料の許容応力条件（設計基準対象施設)」を追加する。
・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | $S_y$（ＲＴ） (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | － |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

柔な場合，添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

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Ｓｓ」による地震力は，添付資料「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

固有周期が，0.05ｓを超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

| 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | 鉛直方向設計震度 |
| ○○建屋<br>0.P.○○*1<br>(0.P.○○) | | | － | － | $C_H$＝<br>又は＊2 | $C_V$＝ |

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500ｍｍ以上の基礎台に設置されている設備に適用

・DB＋SA の場合
本表の前に DB の条件である「表 5-○　設計用地震力（設計基準対象施設）」を追加する。
・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度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。

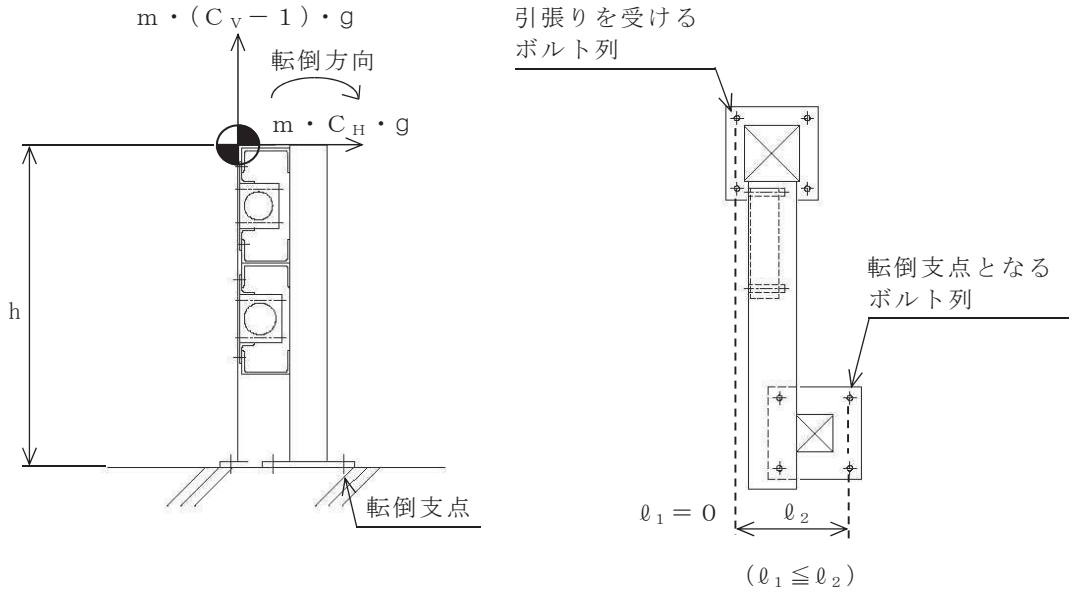



図 5-1(1) 計算モデル
(短辺方向転倒の場合)

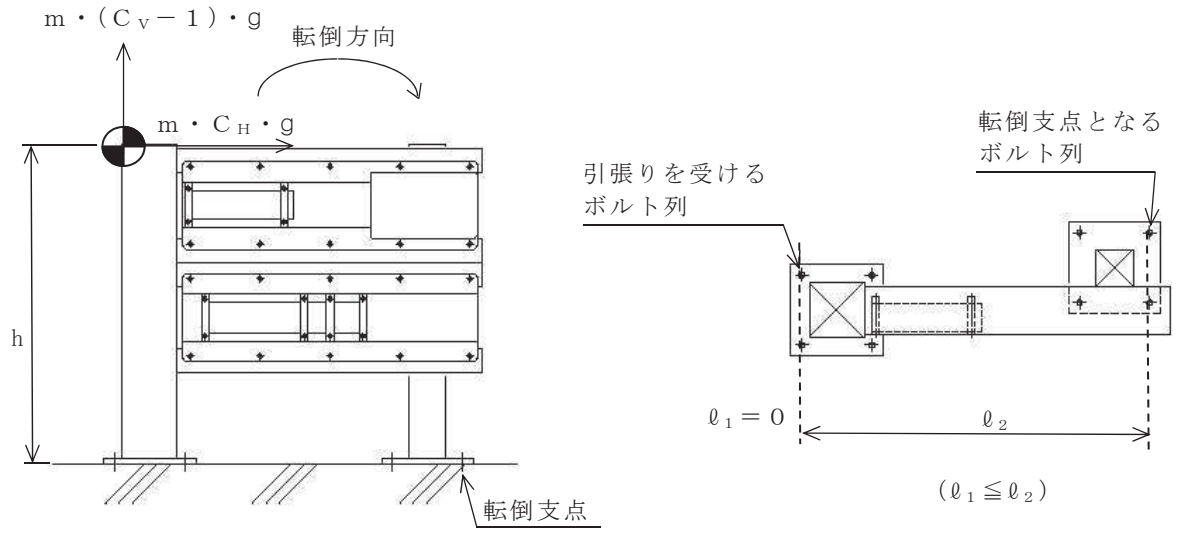



図 5-1(2) 計算モデル
(長辺方向転倒の場合)

(1)引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図 5-1 で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎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(1)及び5-1(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot \left(1 - C_V\right) \cdot \ell_2}{n_f \cdot \left(\ell_1 + \ell_2\right)} \cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

ここで，ボルトの軸断面積$A_b$は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

O2 ○ VI-○-○-○ R0

(2)せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

5.5　計算条件

5.5.1　ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○○放射線モニタの耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力$\sigma_b$は次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$以下であること。

ただし，$f_{to}$は下表による。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力$\tau_b$はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力 $f_{sb}$以下であること。

ただし，$f_{sb}$は下表による。

・SA 単独の場合

| | 基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合 |
|---|---|
| 許容引張応力 $f_{to}$ | $\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 $f_{sb}$ | $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

・DB+SA 又は DB 単独の場合

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合 | 基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合 |
|---|---|---|
| 許容引張応力 $f_{to}$ | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 $f_{sb}$ | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

6.　機能維持評価

6.1　電気的機能維持評価方法

○○○○放射線モニタの電気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，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

○○○○放射線モニタの機能確認済加速度は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

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/s$^2$）

| 評価部位 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|
| ○○○○放射線モニタ | 水平方向 | |
| | 鉛直方向 | |

加振試験を根拠として，電気的機能維持評価を示す場合，加振試験の概要が分かるよう記載する。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○放射線モニタの重大事故等時の状態を考慮した場合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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。



・DB＋SA の場合
「7.1 設計基準対象施設としての評価結果」,
「7.2 重大事故等対処施設としての評価結果」とする。

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

○○○○の設計基準対象施設として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電気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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

$III_AS$ の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【SA単独の場合】
本フォーマットを使用する。

【DB＋SAの場合】
本ページの前に「1.　設計基準対象施設」の計算結果表を追加する。
その場合，本表は「2.　重大事故等対処設備」となる。

固有周期が，0.05sを超え柔構造となった場合は，
注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。
＊○：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

【○○○○放射線モニタの耐震性についての計算結果】

1.　重大事故等対処設備

1.1　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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | |
| ○○○○放射線モニタ | 常設／緩和 | ○○建屋<br>0.P.　＊<br>(0.P.　) | | | － | － | $C_H$＝ | $C_V$＝ | |

注記＊：基準床レベルを示す。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが500ｍｍ以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2　機器要目

| 部材 | m (kg) | h (mm) | $\ell_1$* (mm) | $\ell_2$* (mm) | d (mm) | $A_b$ ($mm^2$) | n | $n_f$* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | | | | | (M　) | | | |

ボルト径を記載する。

| 部材 | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | 転倒方向 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | (厚さ＞　mm) | (厚さ＞　mm) | | | － | |

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

厚さ，径等による強度区分がある場合には，該当する強度区分を記載する。

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　（単位：N）

| 部材 | $F_b$ | | $Q_b$ | |
|---|---|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | － | | － | |

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力　（単位：MPa）

| 部　　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト | | 引張り | － | － | $\sigma_b$＝ | $f_{ts}$＝　　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_b$＝ | $f_{sb}$＝ |

すべて許容応力以下である。　注記＊：$f_{ts}$＝Min[1.4・$f_{to}$－1.6・$\tau_b$，$f_{to}$]より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s$^2$）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○○放射線モニタ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓによる定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

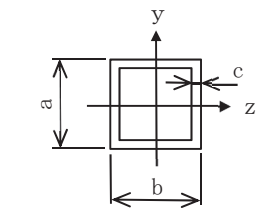
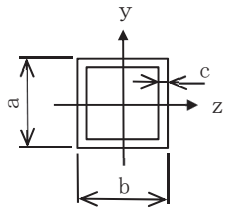
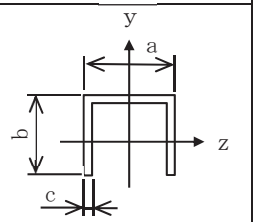
解析に使用する諸元を記載する。
物性値（縦弾性係数等）はモデル化した材料が複数あればそれぞれごとに記載する。
（ボルトをモデル化している場合，ボルトの物性値を記載する。）

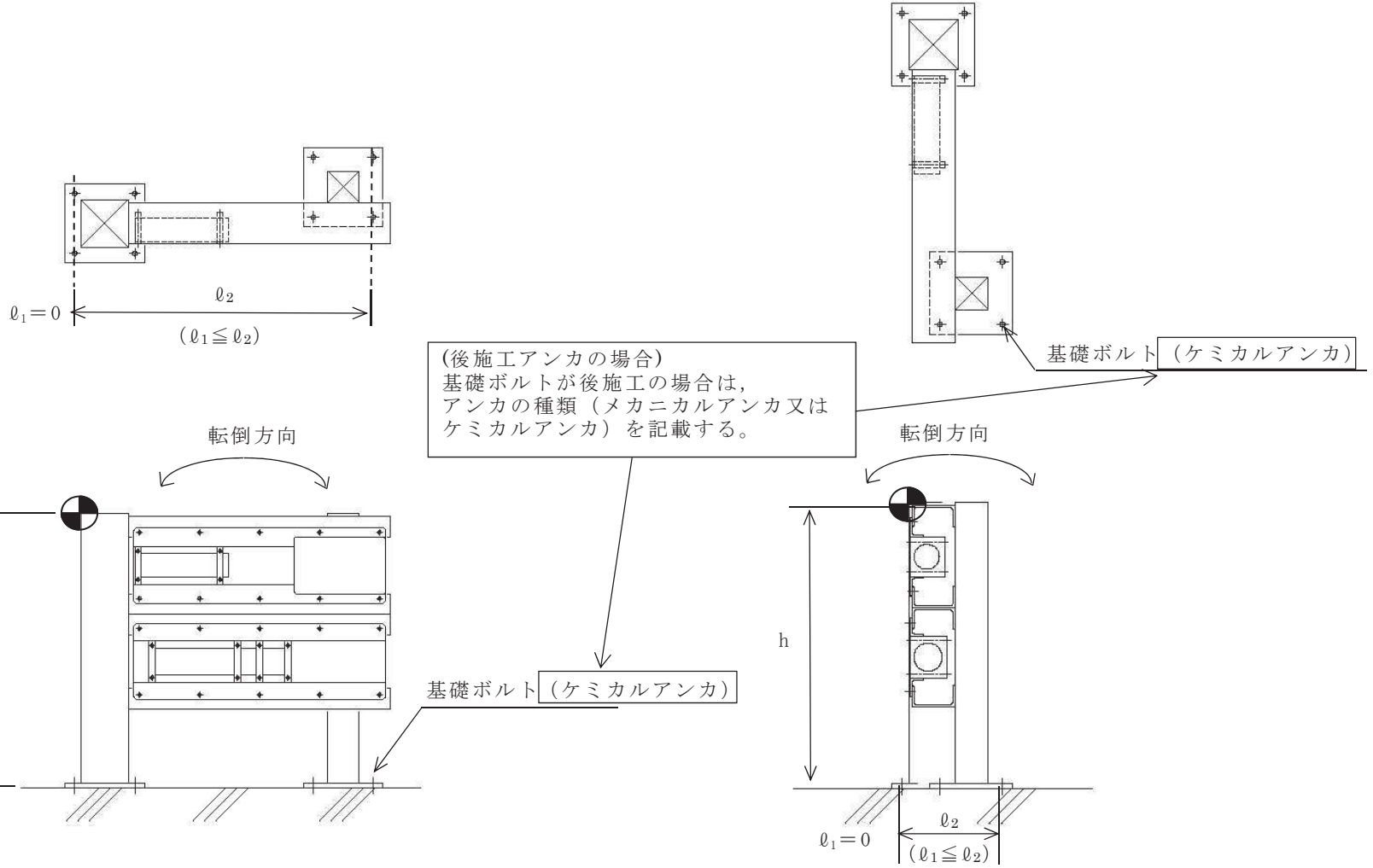
1.5　その他の機器要目

(1)機器諸元

| 項目 | 記号 | 単位 | 入力値 |
|---|---|---|---|
| 材質 | － | － | |
| 質量 | $m_a$ | kg | |
| | $m_b$ | kg | |
| 温度条件（雰囲気温度） | T | ℃ | |
| 縦弾性係数 | E | MPa | |
| ポアソン比 | $\nu$ | － | |
| 要素数 | － | 個 | |
| 節点数 | － | 個 | |

(2)部材の機器要目

| 材料 | | | |
|---|---|---|---|
| 対象要素 | ○ | ○ | ○～○ |
| A （$mm^2$） | | | |
| $I_y$ （$mm^4$） | | | |
| $I_z$ （$mm^4$） | | | |
| $I_p$ （$mm^4$） | | | |
| 断面形状（mm） |  ○○×○○×○ (a×b×c) |  ○○×○○×○ (a×b×c) |  ○○×○○×○ (a×b×c) |




正面（長辺方向）　　側面（短辺方向）

本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-7-2：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（C-2パターン「手計算」の耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○○フィルタ装置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 ····· 5
2.4　記号の説明 ····· 6
2.5　計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3.　評価部位 ····· 8
4.　固有周期 ····· 9
4.1　固有周期の計算方法 ····· 9
4.2　固有周期の計算条件 ····· 10
4.3　固有周期の計算結果 ····· 10
5.　構造強度評価 ····· 11
5.1　構造強度評価方法 ····· 11
5.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 11
5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 11
5.2.2　許容応力 ····· 11
5.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 11
5.3　設計用地震力 ····· 15
5.4　計算方法 ····· 16
5.4.1　応力の計算方法 ····· 16
5.5　計算条件 ····· 20
5.5.1　ボルトの応力計算条件 ····· 20
5.6　応力の評価 ····· 20
5.6.1　ボルトの応力評価 ····· 20
6.　機能維持評価 ····· 21
6.1　動的機能維持評価方法 ····· 21
6.　評価結果 ····· 22
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 22
6.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 22


・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

・動的機能維持評価が必要な場合の記載例を示す。
その場合，「7.　評価結果」と続く。

1.　概要

本計算書は，添付書類「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の設計方針に基づき，○○○○フィルタ装置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。

○○○○フィルタ装置は，設計基準対象施設においてはSクラス施設に，重大事故等対処設備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に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.　一般事項

2.1　構造計画

○○○○フィルタ装置の構造計画を表2-1に示す。

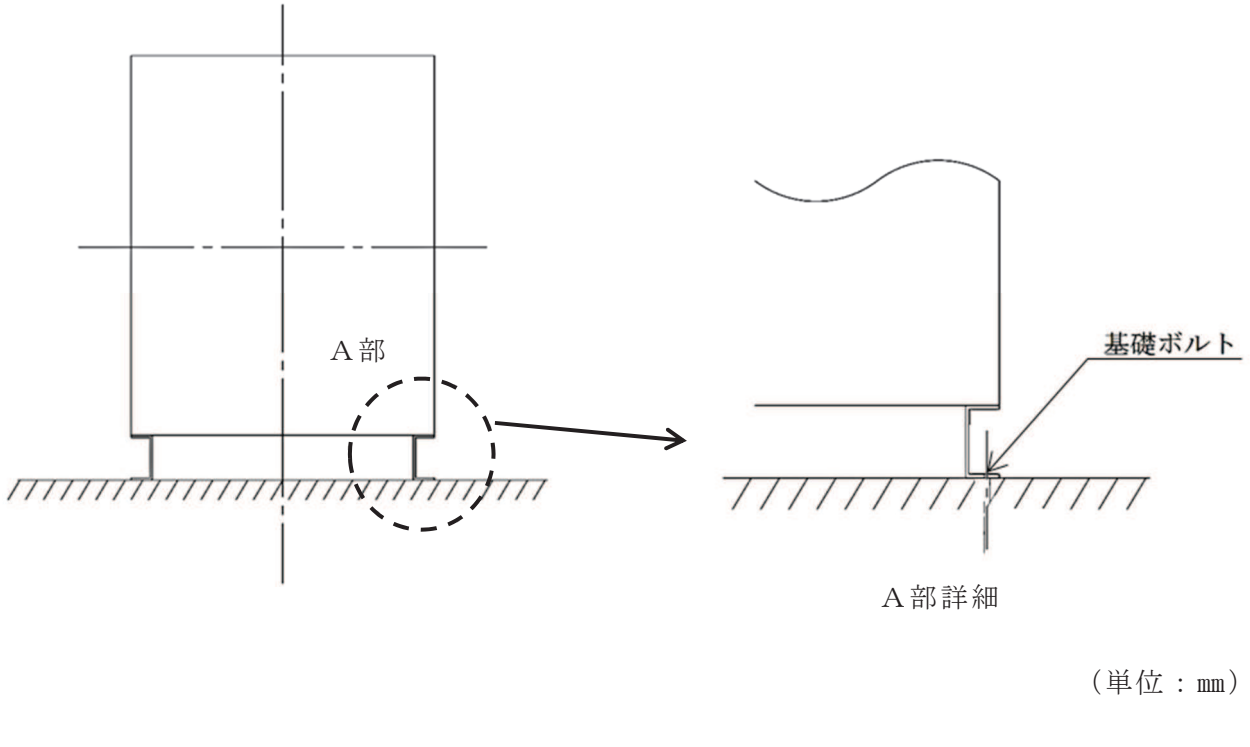
・DB＋SAの場合の記載例を示す。
［DB単独又はSA単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

2.1　配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　評価方針」と続く。

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 | |
| ○○○○フィルタ装置は基礎ボルトで基礎に据え付ける。 | 形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造。 |  |

機器の具体的な構造や型式,据付方法が分かるような説明を記載する。

（単位：mm）

下記内容は案として記載したものであり，本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図にする。

2.2　評価方針

○○○○フィルタ装置の応力評価は，添付書類「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せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す○○○○フィルタ装置の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で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。

○○○○フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

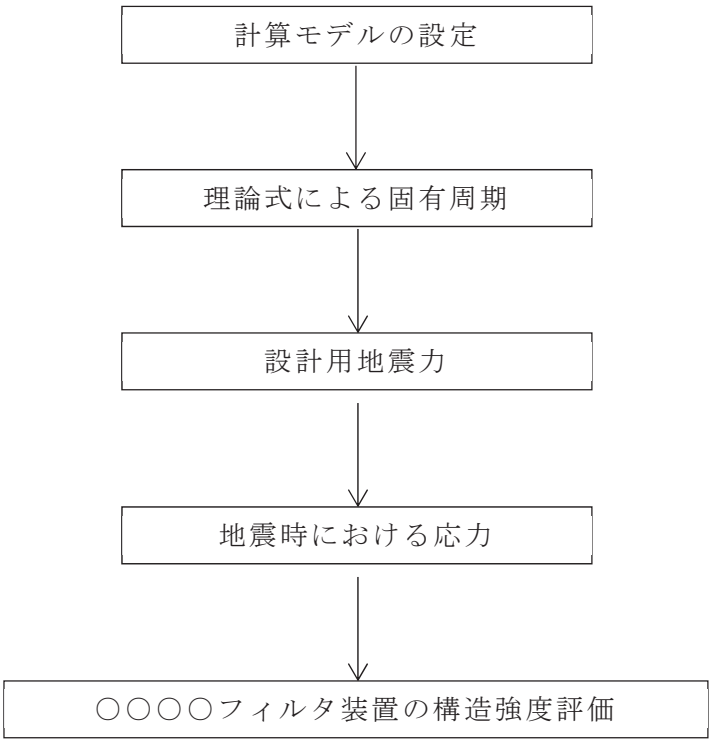



図 2-1　○○○○フィルタ装置の耐震評価フロー

動的機能維持評価が必要な設備については，構造強度評価の記載の後に，
以下の記載を追加し，フロー図は以下に置きかえる。

また，○○○○の機能維持評価は，添付書類「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。

○○○○の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

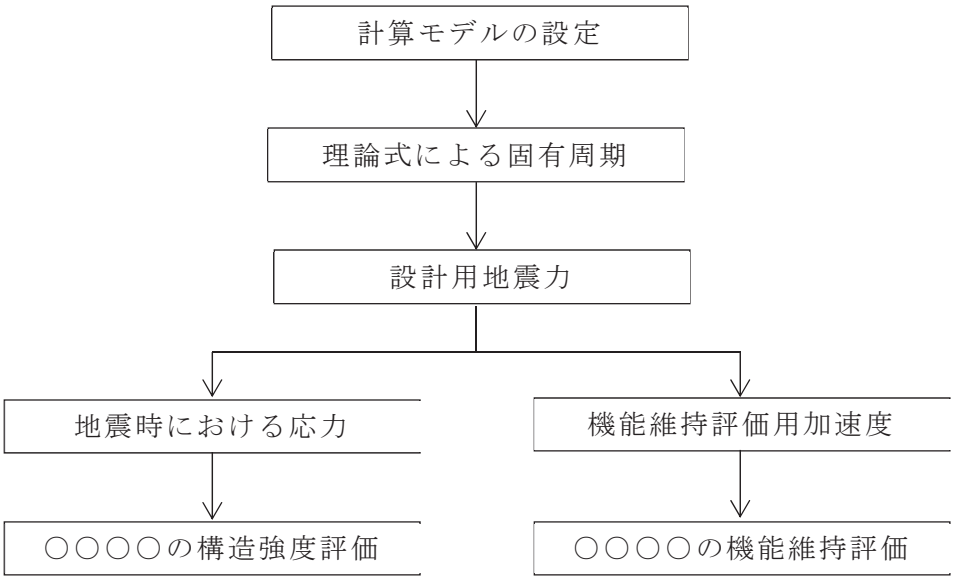



図 2-1　○○○○の耐震評価フロー

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　（ＪＥＡＧ４６０１－1987）

(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　（ＪＥＡＧ４６０１・補－1984）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　（ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版）

(4)　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007　発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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 |
|---|---|---|
| $A_b$ | ボルトの軸断面積 | $mm^2$ |
| $A_e$ | 最小有効せん断断面積 | $mm^2$ |
| A | 断面積 | $mm^2$ |
| $C_H$ | 水平方向設計震度 | － |
| $C_V$ | 鉛直方向設計震度 | － |
| d | ボルトの呼び径 | mm |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| F | 設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値 | MPa |
| F* | 設計・建設規格　SSB-3133 に定める値 | MPa |
| $F_b$ | ボルトに作用する引張力（１本当たり） | N |
| $f_{sb}$ | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 | MPa |
| $f_{to}$ | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 | MPa |
| $f_{ts}$ | 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 | MPa |
| G | せん断弾性係数 | MPa |
| g | 重力加速度（＝9.80665） | $m/s^2$ |
| h | 据付面から重心までの距離 | mm |
| I | 断面二次モーメント | $mm^4$ |
| $K_H$ | 水平方向ばね定数 | N/m |
| $K_V$ | 鉛直方向ばね定数 | N/m |
| $\ell_1$ | 重心とボルト間の水平方向距離* | mm |
| $\ell_2$ | 重心とボルト間の水平方向距離* | mm |
| m | 運転時質量 | kg |
| n | ボルトの本数 | － |
| $n_f$ | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 | － |
| $Q_b$ | ボルトに作用するせん断力 | N |
| $S_u$ | 設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 9 に定める値 | MPa |
| $S_y$ | 設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に定める値 | MPa |
| $S_y$（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 | MPa |
| $T_H$ | 水平方向固有周期 | s |
| $T_V$ | 鉛直方向固有周期 | s |
| $\pi$ | 円周率 | － |
| $\sigma_b$ | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| $\tau_b$ | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |

注記＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

計算精度は，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 に示すとおりである。

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 | ℃ | ― | ― | 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 |
| 断面二次モーメント | $mm^4$ | 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 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位＊3 |

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中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

○○○○フィルタ装置の耐震評価は「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について実施する。○○○○フィルタ装置の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し，評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して，代表で評価する場合は，評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい，すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

○○○○フィルタ装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

a. ○○○○フィルタ装置の質量は，重心に集中するものとする。

b. ○○○○フィルタ装置は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。

c. ○○○○フィルタ装置をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

d. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

○○○○フィルタ装置は，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

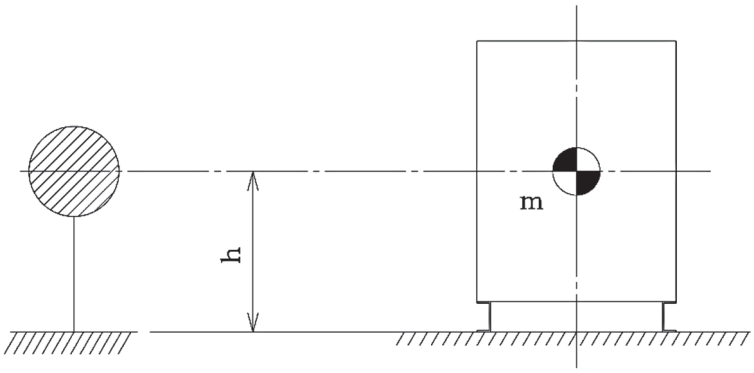



図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数$K_H$は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot A_e}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.1)$$

したがって，水平方向固有周期$T_H$は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.2)$$

(3)　鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数$K_V$は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h}{E \cdot A}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.3)$$

したがって，鉛直方向固有周期$T_V$は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.4)$$

4.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○○フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果，固有周期は 0.05s 以下であり，剛であることを確認した。

表 4-1　固有周期　　(単位：s)

| | |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

4.1 項 a.～d.のほか，次の条件で計算する。

(1)　地震力は○○○○フィルタ装置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。

(2)　転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺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。

5.2　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

○○○○フィルタ装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2　許容応力

○○○○フィルタ装置の許容応力は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○○フィルタ装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
［DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。］

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○フィルタ装置 | S | －* | $D + P_D + M_D + S_d$ * | $Ⅲ_AS$ |
| | | | | | $D + P_D + M_D + S_s$ | $Ⅳ_AS$ |

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　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○○フィルタ装置 | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | －*2 | $D + P_D + M_D + S_s$ *3 | $Ⅳ_AS$ |
| | | | | | $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ | $V_AS$<br>（$V_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張)，「常設／緩和（DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：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。

＊3：「$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。

・DB＋SA の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 5-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

| 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 |
| ⅢAS | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |
| ⅣAS | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。） | | |

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。

・DB＋SA の場合は，VAS を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 5-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（RT）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | － |

注記＊：○○○○相当

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 5-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（RT）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○＊<br>（　mm＜径≦　mm） | 周囲環境温度 | | | | － |

注記＊：○○○○相当

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

柔な場合，添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

固有周期が，0.05ｓを超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。

表 5-6　設計用地震力（設計基準対象施設）

| 据付場所及び床面高さ(m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | 鉛直方向設計震度 |
| ○○建屋<br>0.P.　＊1<br>(0.P.　) | | | $C_H$=<br>又は＊2 | $C_V$= | $C_H$=<br>又は＊3 | $C_V$= |

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：弾性設計用地震動Ｓｄに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

＊3：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500ｍｍ以上の基礎台に設置されている設備に適用

$Ⅲ_AS$ の評価をＳｓで実施する場合，表中は「－＊2」とし，
＊2は「$Ⅲ_AS$ については，基準地震動Ｓｓで評価する」と書き替える。

表 5-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

| 据付場所及び床面高さ(m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | 鉛直方向設計震度 |
| ○○建屋<br>0.P.　＊1<br>(0.P.　) | | | － | － | $C_H$=<br>又は＊2 | $C_V$= |

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500ｍｍ上の基礎台に設置されている設備に適用

固有周期が，0.05ｓを超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度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。

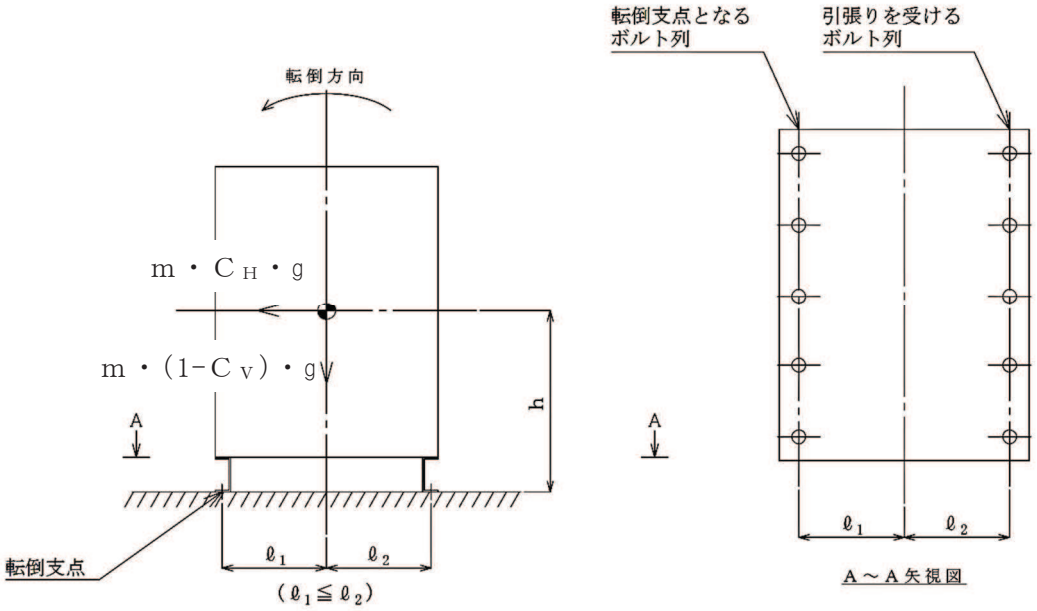



図 5-1(1)　計算モデル

（短辺方向転倒-1　(1－C V)≧0 の場合）

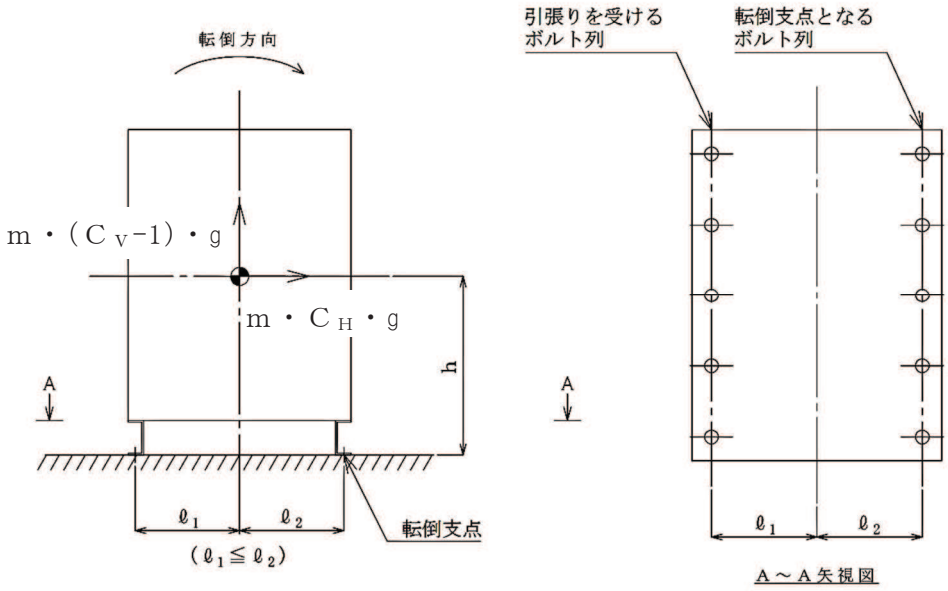



図 5-1(2)　計算モデル

（短辺方向転倒-2　(1－C V)＜0 の場合）



０２　○　Ⅵ-○-○-○　Ｒ０

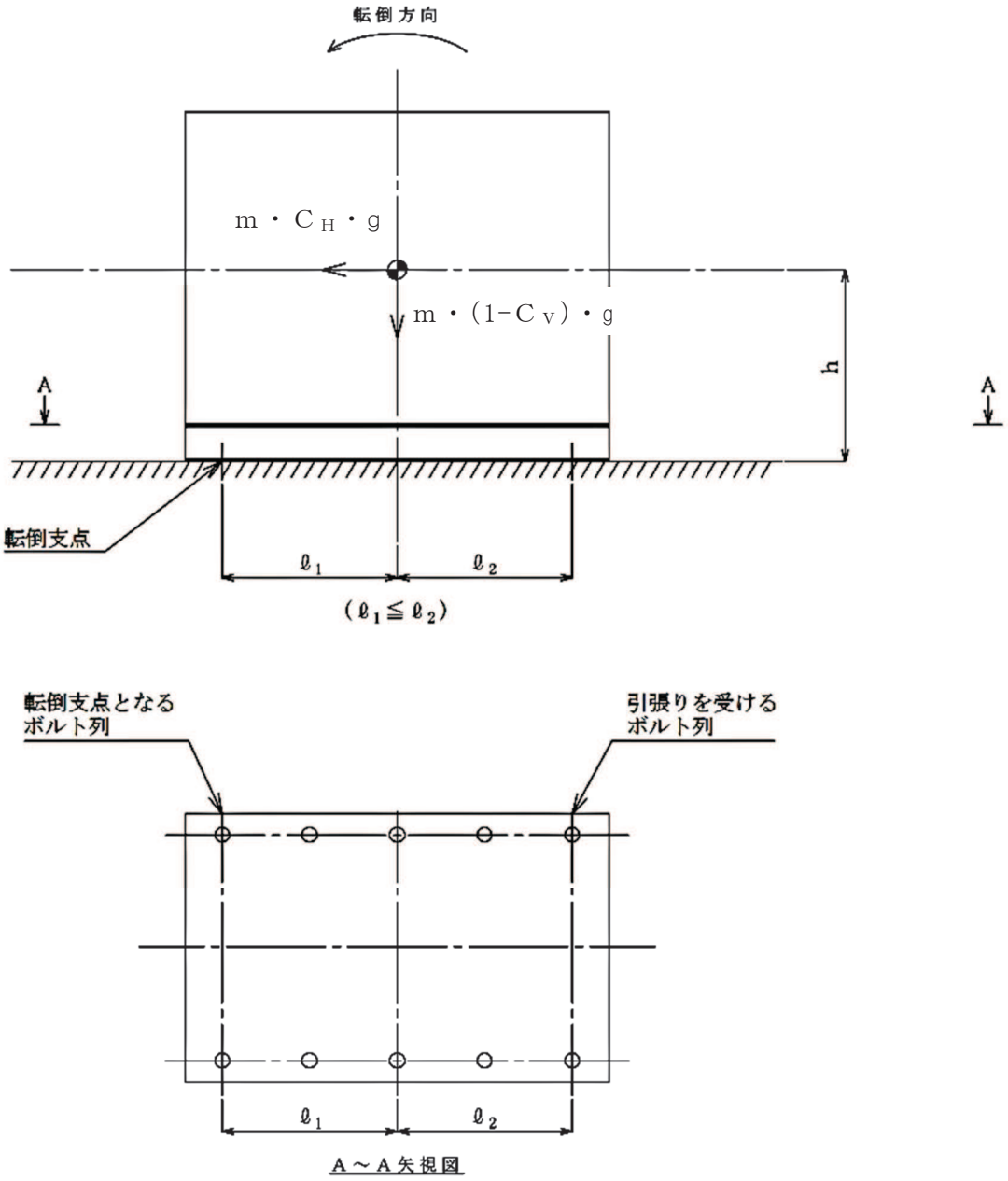



図 5-2(1)　計算モデル

（長辺方向転倒-1　(1－C V)≧0 の場合）

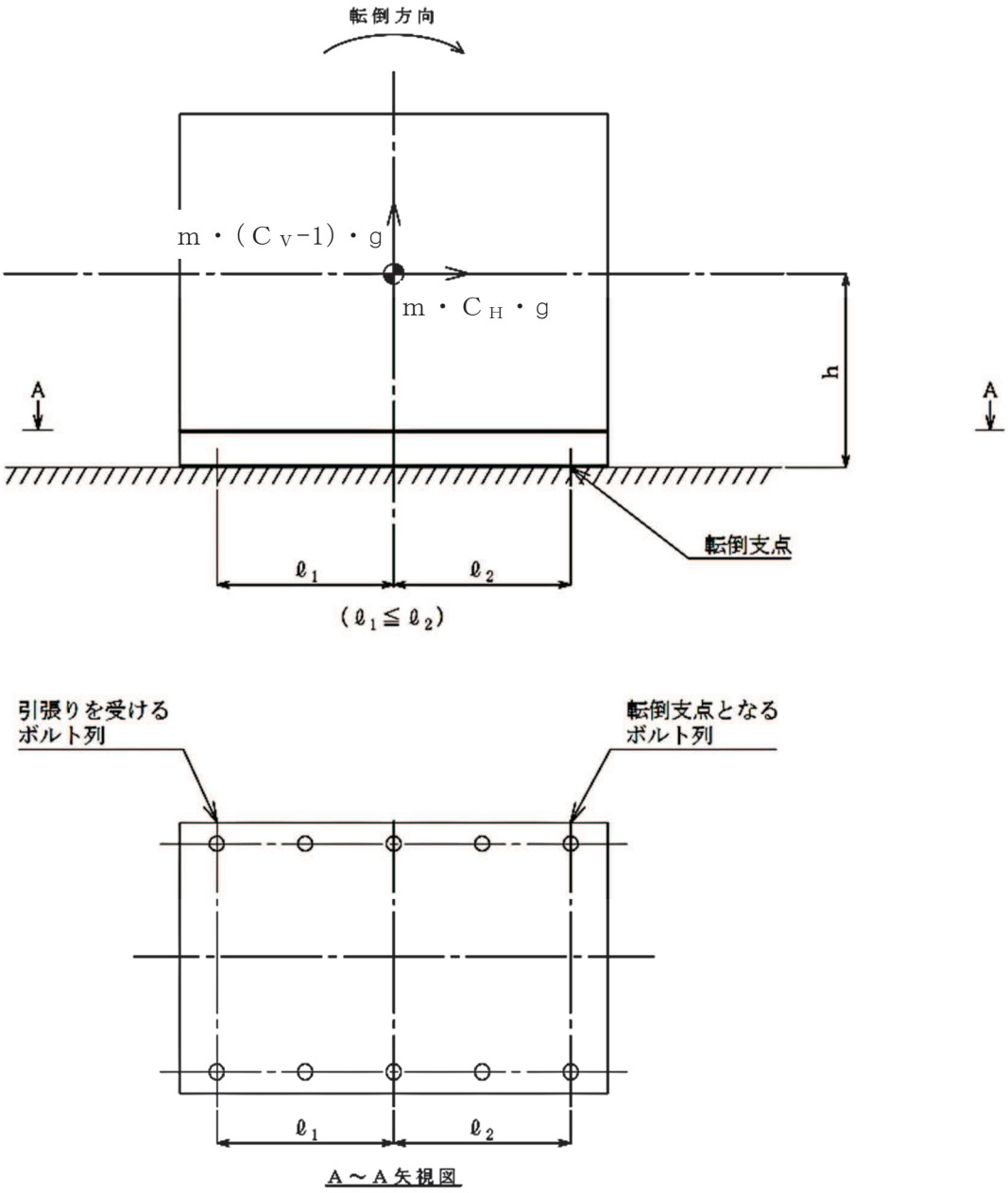



図 5-2(2)　計算モデル

（長辺方向転倒-2　(1－C V)＜0 の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 5-1 及び図 5-2 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基礎ボルトで受けるものとして計算する。

a．引張力

計算モデル図 5-1(1)及び図 5-2(1)の場合の引張力（$(1-C_V) \geqq 0$ の場合）

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - \left(1 - C_V\right) \cdot m \cdot g \cdot \ell_1}{n_f \cdot \left(\ell_1 + \ell_2\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図 5-1(2)及び図 5-2(2)の場合の引張力（$(1-C_V) < 0$ の場合）

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - \left(1 - C_V\right) \cdot m \cdot g \cdot \ell_2}{n_f \cdot \left(\ell_1 + \ell_2\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.2)$$

b．引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.3)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積$A_b$は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.4)$$

ただし，$F_b$が負のとき基礎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

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a．せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.5)$$

b．せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.6)$$

5.5　計算条件

5.5.1　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【○○○○フィルタ装置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 項で求めたボルトの引張応力$\sigma_b$は次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$以下であること。

ただし，$f_{to}$は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}\left[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}\right]\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.6.1.1)$$

せん断応力$\tau_b$はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力 $f_{sb}$以下であること。

ただし，$f_{sb}$は下表による。

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合 | 基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合 |
|---|---|---|
| 許容引張応力 $f_{to}$ | $\frac{F}{2}\cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 $f_{sb}$ | $\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ |

動的機能維持評価が必要な設備については，以下を追加

6.　機能維持評価

6.1　動的機能維持評価方法

○○○○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，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

○○○○の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

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/s$^2$）

| 評価部位 | 形式 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○○ | | 水平方向 | |
| | | 鉛直方向 | |

6.　評価結果

6.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○○フィルタ装置の設計基準対象施設として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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(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。

機能維持評価を確認するものは追加する。

6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○フィルタ装置の重大事故等時の状態を考慮した場合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。

機能維持評価を確認するものは追加。

$III_AS$の評価をＳｓで実施した場合は，震度に「―*2」を付記し，注記を以下のとおり書き換える。
注記*2：$III_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

【○○○○フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　設計条件

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | |
| ○○○○フィルタ装置 | S | ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | | | ―*2 | ―*2 | $C_H$= | $C_V$= | | |

固有周期が，0.05s を超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。
*○：弾性設計用地震動Ｓｄに基づく設計用床応答曲線から得られる値。
*○：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値。

注記*1：基準床レベルを示す。
*2：$III_AS$については，基準地震動Ｓｓで評価する。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが500mm以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2　機器要目

| 部材 | m (kg) | h (mm) | d (mm) | $\ell_1$*1 (mm) | $\ell_2$*1 (mm) | n | $n_f$*1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | | | (M　) | | | | |

ボルト径を記載する。

| 部材 | $A_b$ ($mm^2$) | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | 転倒方向 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | | ○○<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○<br>(　mm＜径≦　mm) | | | | |

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

| E (MPa) | G (MPa) | I ($mm^4$) | $A_e$ ($mm^2$) | A ($mm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| *2 | *2 | | | |

注記*1：ボルト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。
*2：周囲環境温度で算出。

ⅢASの評価をＳｓで実施した場合は，1.3項の算出値に「―*」を付記し，注記を以下のとおり記載する。
注記＊：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

| 部材 | $F_b$ | | $Q_b$ | |
|---|---|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | | | | |

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

| 方向 | 固有周期 |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

ⅢASの評価をＳｓで実施した場合は，算出応力は基準地震動Ｓｓによる算出値を「○○*2」と記載し，注記を以下のとおりとする。
注記*2：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.2　ボルトの応力　　(単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト | | 引張り | $\sigma_b$＝ | $f_{ts}$＝　*1 | $\sigma_b$＝ | $f_{ts}$＝　*1 |
| | | せん断 | $\tau_b$＝ | $f_{sb}$＝ | $\tau_b$＝ | $f_{sb}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記*1：$f_{ts}$＝ Min［1.4・$f_{to}$－1.6・$\tau_b$，$f_{to}$］により算出
*2：基準地震動Ｓｓによる算出値

動的機能維持評価が必要な機器の場合は本表を追加する。

1.4.3　動的機能の評価結果　　(×9.8 m/s²)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。
※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし，章番を1.とする。

【○○○○フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

固有周期が，0.05s を超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。
＊○：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値。

| 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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 最高使用温度 (℃) | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | | |
| ○○○○フィルタ装置 | 常設耐震／防止常設／緩和 | ○○建屋<br>0.P.　＊<br>(0.P.　) | | | － | － | $C_H$= | $C_V$= | | |

注記＊：基準床レベルを示す。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが500mm以上の基礎台に設置されている設備に適用

ボルト径を記載する。

2.2　機器要目

| 部材 | m (kg) | h (mm) | d (mm) | $\ell_1$ *1 (mm) | $\ell_2$ *1 (mm) | n | $n_f$ *1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | | | (M　) | | | | |
| | | | | | | | |

| 部材 | $A_b$ ($mm^2$) | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | 転倒方向 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | | ○○<br>(　mm＜径≦　mm) | ○○<br>(　mm＜径≦　mm) | | | — | |

厚さ，径等による強度区分がある場合は，該当する強度区分を記載する。

| E (MPa) | G (MPa) | I ($mm^4$) | $A_e$ ($mm^2$) | A ($mm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| *2 | *2 | | | |

注記＊1：ボルト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。
＊2：周囲環境温度で算出。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

| 部材 | $F_b$ | | $Q_b$ | |
|---|---|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | － | | － | |

2.4　結論

2.4.1　固有周期　　(単位：s)

| 方向 | 固有周期 |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

2.4.2　ボルトの応力　　(単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト | | 引張り | － | － | $\sigma_b$＝ | $f_{ts}$＝　　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_b$＝ | $f_{sb}$＝ |

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}$＝Min［1.4・$f_{to}$－1.6・$\tau_b$，$f_{to}$］により算出

動的機能維持評価が必要な機器の場合は本表を追加する。

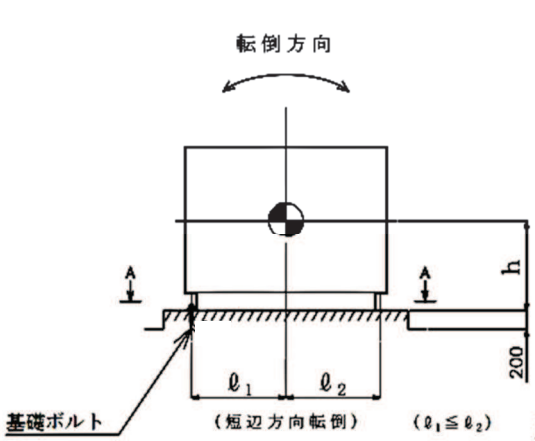
2.4.3　動的機能の評価結果　　(×9.8 m/s$^2$)

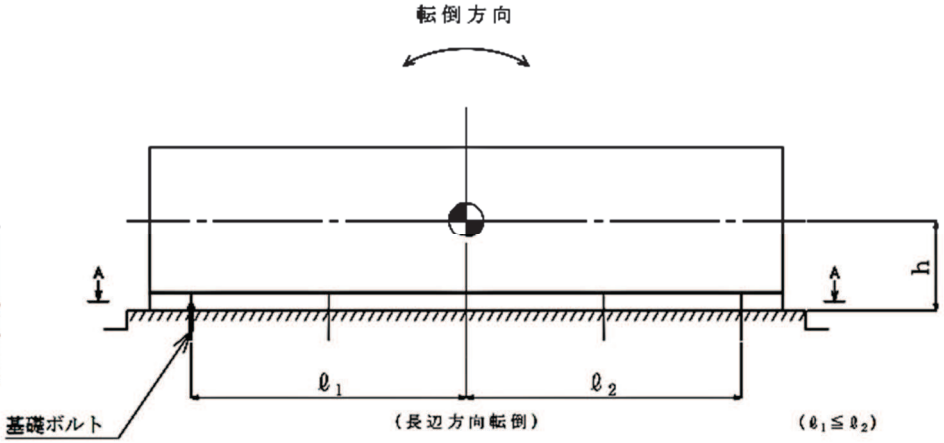
| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○ | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

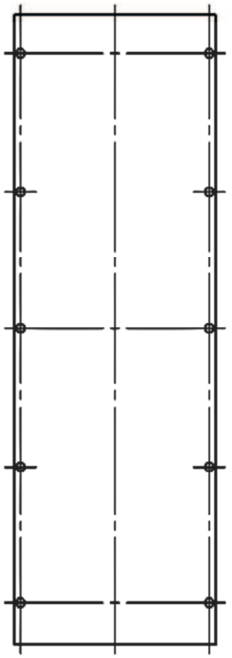
注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

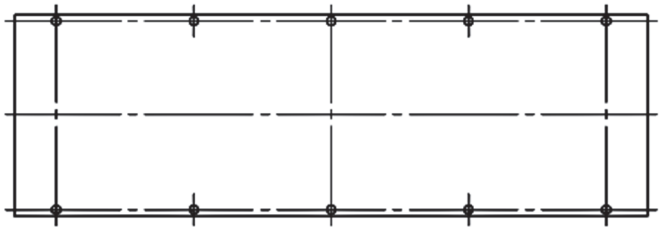
「機能維持評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合は，ここで終了。
※：機能維持評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は，詳細評価を追加する。



Ａ～Ａ矢視図



Ａ～Ａ矢視図

本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお，DB+SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-8：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
（Dパターンの耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○アンテナ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　固有周期の確認方法 ..... 7
4.3　固有周期の確認結果 ..... 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
5.2.4　風荷重 ..... 8
5.2.5　積雪荷重 ..... 8
5.3　設計用地震力 ..... 12
5.4　計算方法 ..... 13
5.4.1　応力の計算方法 ..... 13
5.5　計算条件 ..... 16
5.5.1　ボルトの応力計算条件 ..... 16
5.6　応力の評価 ..... 16
5.6.1　基礎ボルトの応力評価 ..... 16
6.　機能維持評価 ..... 17
6.1　電気的機能維持評価方法 ..... 17
7.　評価結果 ..... 18
7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 18


・DB＋SA の場合
　7.1　設計基準対象施設としての評価結果
　7.2　重大事故等対処設備としての評価結果
・DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

1.　概要

本計算書は，添付書類「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，○○○アンテナが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

○○○アンテナは，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.　一般事項

2.1　構造計画

○○○アンテナの構造計画を表 2-1 に示す。

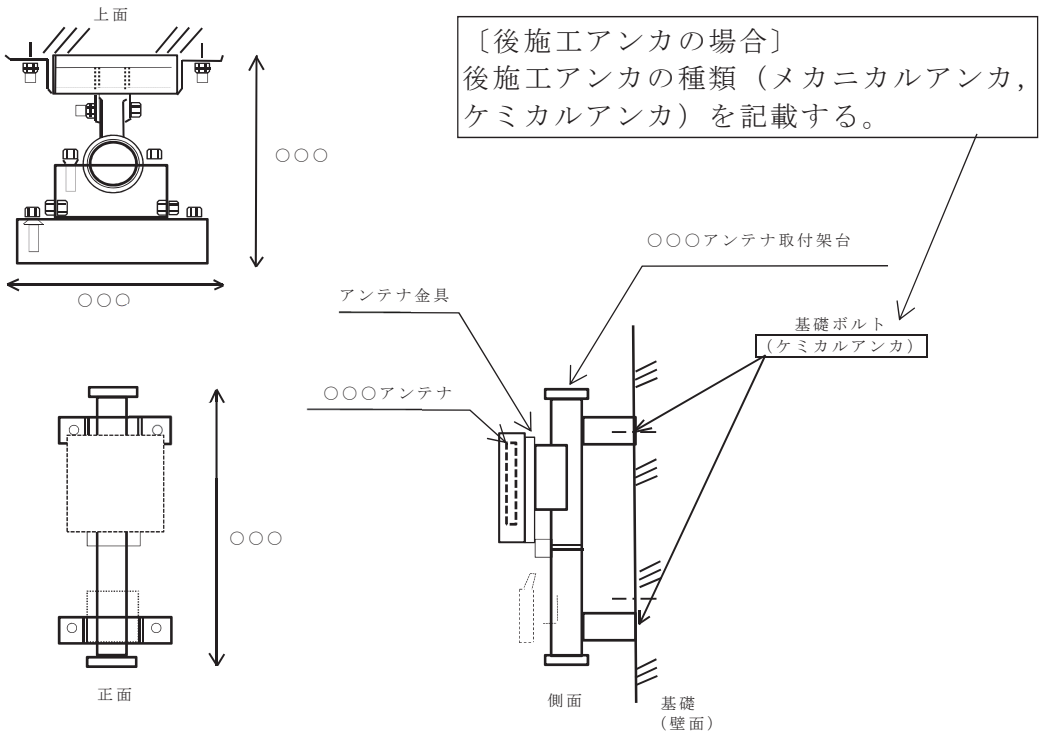
・SA 単独の場合の記載例を示す。
・DB＋SA 又は DB 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

2.1　配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　評価方針」と続く。

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 | |
| ○○○アンテナは，基礎（壁面）に基礎ボルトで設置する。 | ○○○アンテナ取付架台を壁面に設置し，その架台に○○○アンテナをアンテナ金具を介して設置する構造<br>機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。 | 【○○○アンテナ】<br>  <br><br>（単位：mm） |

下記内容は案として記載したものであり，本項目については各計算書に合った記載内容及びフロー図にする。

2.2　評価方針

○○○アンテナの応力評価は，添付書類「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せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す○○○アンテナの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で確認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，○○○アンテナの機能維持評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的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。

○○○アンテナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

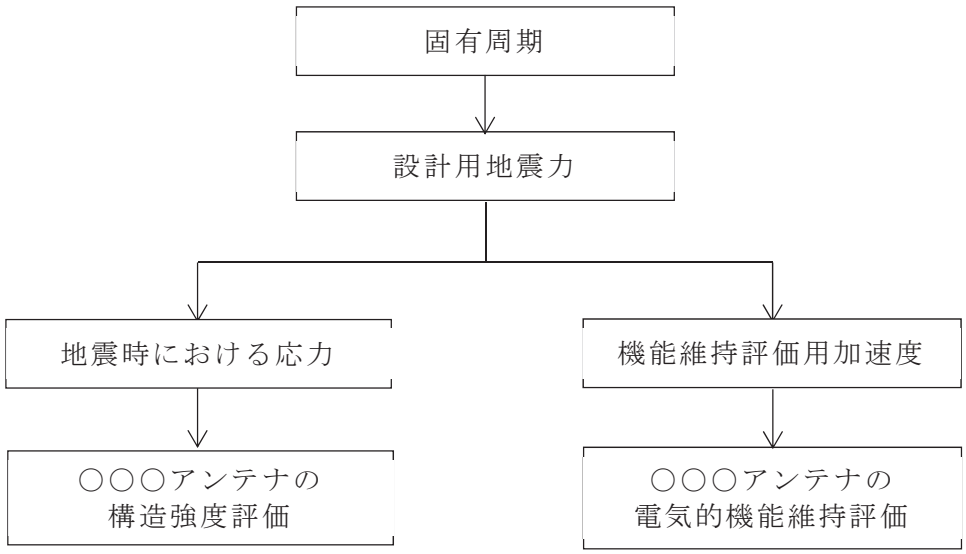



図 2-1　○○○アンテナの耐震評価フロー

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　（ＪＥＡＧ４６０１－1987）

(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　（ＪＥＡＧ４６０１・補－1984）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　（ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版）

(4)　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007　発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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 | ○○○アンテナ取付架台の断面積 | $mm^2$ |
| $A_b$ | ボルトの軸断面積 | $mm^2$ |
| $C_H$ | 水平方向設計震度 | — |
| $C_V$ | 鉛直方向設計震度 | — |
| d | ボルトの呼び径 | mm |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| F | 設計・建設規格　SSB-3131 に定める値 | MPa |
| F* | 設計・建設規格　SSB-3133 に定める値 | MPa |
| $F_b$ | ボルトに作用する引張力（1 本当たり） | N |
| $F_{b1}$ | 鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形） | N |
| $F_{b2}$ | 鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形） | N |
| $f_{sb}$ | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 | MPa |
| $f_{to}$ | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 | MPa |
| $f_{ts}$ | 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 | MPa |
| g | 重力加速度（＝9.80665） | $m/s^2$ |
| $h_1$ | 取付面から重心までの距離 | mm |
| $h_2$ | 取付面から重心までの距離(壁掛型) | mm |
| $h_a$ | 取付面からアンテナ先端までの距離(壁掛型) | mm |
| $\ell_1$ | 重心とボルト間の水平方向距離* | mm |
| $\ell_2$ | 重心とボルト間の水平方向距離* | mm |
| $\ell_3$ | 重心と下側ボルト間の距離（壁掛型） | mm |
| $\ell_a$ | 側面（左右）ボルト間の距離（壁掛型） | mm |
| $\ell_b$ | 上下ボルト間の距離（壁掛型） | mm |
| m | ○○○アンテナの質量 | kg |
| n | ボルトの本数 | — |
| $n_f$ | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 | — |
| $n_{fV}$ | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（側面方向）（壁掛形） | — |
| $n_{fH}$ | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（正面方向）（壁掛形） | — |
| $P_k$ | 風荷重 | N |
| $P_s$ | 積雪荷重 | N |
| $Q_b$ | ボルトに作用するせん断力 | N |
| $Q_{b1}$ | 水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛型） | N |
| $Q_{b2}$ | 鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛型） | N |
| $S_u$ | 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値 | MPa |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---|---|---|
| $S_y$ | 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値 | MPa |
| $S_y$（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 | MPa |
| $\pi$ | 円周率 | ― |
| $\sigma_b$ | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| $\tau_b$ | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |

注記＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

計算精度は，6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3　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 | ℃ | ― | ― | 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 |
| 断面二次モーメント | $mm^4$ | 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 |
| 縦弾性係数 | MPa | 有効数字 4 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 3 桁 |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位*3 |

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中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

○○○アンテナの耐震評価は，「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について実施する。

○○○アンテナの耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し，評価対象を選定している理由を記載する。複数の評価対象に対して，代表で評価する場合は，評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい，すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4.　固有周期

4.1　基本方針

○○○アンテナの固有周期は，振動試験（加振試験）にて求める。

4.2　固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。

4.3　固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-1　固有周期　（単位：s）

| | |
|---|---|
| 水平方向 | |
| 鉛直方向 | |

【固有周期を「振動試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。】

4.1　基本方針

○○○アンテナの固有周期は，振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2　固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により当該装置に振動を与え，自由減衰振動を振動計により記録解析し，共振振動数を算出する。○○○アンテナの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3　固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-○に示す。試験の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　○○○アンテナの質量は，重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は,○○○アンテナに対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　○○○アンテナは基礎ボルトで基礎(壁面)に固定されており,固定端とする。

(4)　転倒方向は,図5-1及び図5-2における水平方向及び鉛直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)　○○○アンテナの重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

(6)　耐震計算書に用いる寸法は，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

○○○アンテナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2　許容応力

○○○アンテナの許容応力は，添付書類「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

○○○アンテナの使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-3に示す。

・DB＋SAの場合
○○○アンテナの荷重の組合せ及び許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表○-○に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表○-○に示す。
・DB単独又はSA単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

5.2.4　風荷重

風荷重は，風速○○m/sを使用し，○○○アンテナの形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表5-4に示す。

5.2.5　積雪荷重

積雪荷重は,単位荷重○○N/cm/㎡*を使用し,○○○アンテナの形状を踏まえ,作用する積雪荷重を算出する。算出した積雪荷重を表5-5に示す。

注記＊：積雪量○○cmごとに1㎡あたり○○○Nであることを示す。

屋外設備で，風及び積雪を考慮する必要がない場合は，記載を省略する。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○アンテナ | 常設／緩和 | —*2 | $D+P_D+M_D+S_s+P_K+P_S$*3 | $Ⅳ_AS$ |
| | | | | | $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$ | $V_AS$（$V_AS$ として $Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） |

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（DB 拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

該当する設備分類のみ記載する。



・DB＋SA の場合，以下を上記 SA の前に追加

・DB 単独の場合，以下を使用

表 5-○　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○○施設 | ○○設備 | ○○○アンテナ | S | —*1 | $D+P_D+M_D+S_d^*+P_K+P_S$ | $Ⅲ_AS$ |
| | | | | | $D+P_D+M_D+S_s+P_K+P_S$ | $Ⅳ_AS$ |

注記＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

・DB＋SA の場合は，許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）とする。
・DB 単独または SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

| 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 |
| $Ⅳ_AS$ | 1.5・$f_t$* | 1.5・$f_s$* |
| $Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$ として$Ⅳ_AS$ の許容限界を用いる。） | | |

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。

許容応力を記載するすべての表に「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。」の注記を記載する。

DB＋SA の場合は，以下を$Ⅳ_AS$ の前に追加する。

| | | |
|---|---|---|
| $Ⅲ_AS$ | 1.5・$f_t$ | 1.5・$f_s$ |

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

・DB＋SA の場合は，本表の前に DB の条件である「表 5-○　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）」を追加する。
・DB 単独または SA 単独の場合は，それぞれの該当する表のみ記載する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件（℃） | | $S_y$（MPa） | $S_u$（MPa） | $S_y$（ＲＴ）（MPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | ○○○○*<br>(○○mm＜径≦○○mm) | 周囲環境温度 | | | | ― |

注記＊：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合には，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「＊」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 5-4　基準速度圧　（単位：N）

| 使用する部位 | 基準速度圧 |
|---|---|
| ○○○○○用アンテナ取付架台 | |

表 5-5　積雪荷重　（単位：N）

| 使用する部位 | 積雪荷重 |
|---|---|
| ○○○○○用アンテナ取付架台 | |

屋外設備で，風及び積雪を考慮する必要がない場合は，記載を省略する。

柔な場合，添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

5.3　設計用地震力

「基準値震動Ｓs」による地震力は，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

表 5-6　設計用地震力（重大事故等対処設備）

| 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準値震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | 鉛直方向設計震度 |
| ○○建屋<br>0.P.　*1<br>(0.P.　) | | | － | － | $C_H$＝<br>又は＊2 | $C_V$＝ |

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

固有周期が，0.05ｓを超え柔構造となった場合は，注記符号を付記し，設計用震度について注記で説明する。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500ｍｍ以上の基礎台に設置されている設備に適用

・DB＋SA の場合は，本表の前に DB の条件である「表 5-○　設計地震力（設計基準対象施設)」を追加する。
・DB 単独または SA 単独の場合は，それぞれの該当する表のみ記載する。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度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。

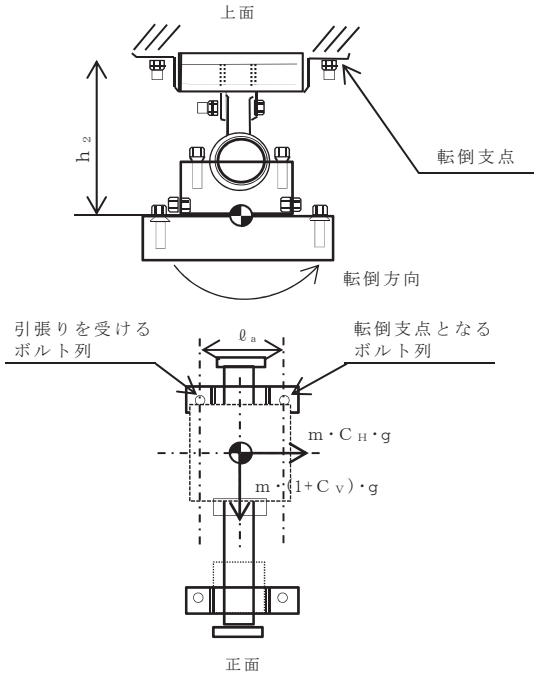



図 5-1　計算モデル（水平方向転倒）

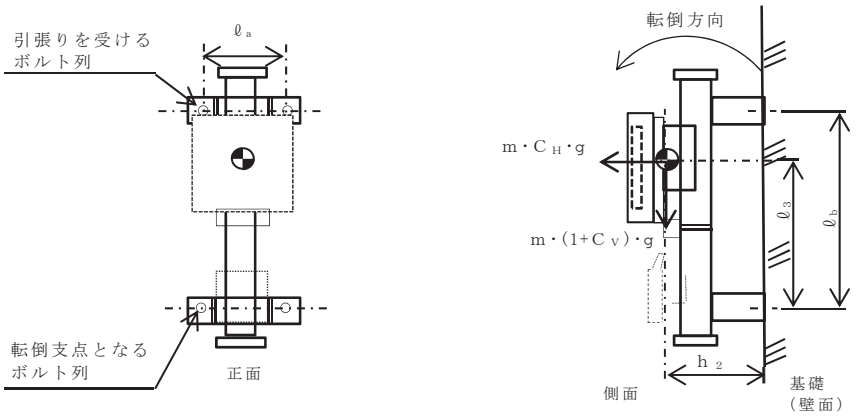



図 5-2　計算モデル（鉛直方向転倒）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-1及び図5-2で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（$F_b$）

計算モデル図5-1の場合の引張力

$$F_{b1}=\left(m\cdot g+0.35P_s\right)\cdot\left[\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{\left(1+C_V\right)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right]+\left[\frac{P_k\cdot h_a}{n_{fH}\cdot \ell_a}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-2の場合の引張力

$$F_{b2}=\left(m\cdot g+0.35P_s\right)\cdot\left[\frac{C_H\cdot \ell_3+\left(1+C_V\right)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right] \quad \cdots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}\left(F_{b1},\ F_{b2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

引張応力（$\sigma_b$）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積$A_b$は次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

ただし，$F_b$が負のとき基礎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。

O2 ○ VI-○-○-○ R0

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = \left(m \cdot g + 0.35 P_s\right) \cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = \left(m \cdot g + 0.35 P_s\right) \cdot (1 + C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{\left(Q_{b1}\right)^2 + \left(Q_{b2}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + P_K}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.9)$$

5.5　計算条件

5.5.1　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【○○○アンテナ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　基礎ボルトの応力評価

5.4項で求めた基礎ボルトの引張応力$\sigma_b$は次式より求めた許容引張応力$f_{ts}$以下であること。

ただし，$f_{to}$は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力$\tau_b$は，せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力$f_{sb}$以下であること。

ただし，$f_{sb}$は下表による。

・SA単独の場合

| | 基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合 |
|---|---|
| 許容引張応力 $f_{to}$ | $\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 $f_{sb}$ | $\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ |

・DB+SA又はDB単独の場合

| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合 | 基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合 |
|---|---|---|
| 許容引張応力 $f_{to}$ | $\frac{F}{2}\cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 $f_{sb}$ | $\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$ |

6.　機能維持評価

6.1　電気的機能維持評価方法

○○○アンテナの電気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，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

○○○アンテナの機能確認済加速度は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の方針」に基づき，同形式の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の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/s$^2$）

| 評価部位 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|
| ○○○アンテナ<br>（○○建屋側） | 水平方向 | |
| | 鉛直方向 | |

加振試験を根拠として，電気的機能維持評価を示す場合，加振試験の概要が分かるよう記載する。

7.　評価結果

7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○アンテナの重大事故等時の状態を考慮した場合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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

・DB＋SA の場合

7.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○アンテナの設計基準対象施設として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電気的機能を有していることを確認した。

$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$S の評価をＳｓで実施する場合は追記する。

(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。なお，弾性設計用地震動Ｓｄによる動的震度及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○アンテナの重大事故等時の状態を考慮した場合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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【DB＋SA の場合】
本ページの前に「1. 設計基準対象施設」の計算結果表を追加する。

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用

## 【○○○アンテナの耐震性についての計算結果】

## 1.　重大事故等対処設備

### 1.1　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Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | | 周囲環境温度 (℃) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | 鉛直方向設計震度 | |
| ○○○アンテナ (○○建屋側) | 常設／緩和 | ○○建屋 0.P.　　＊ (0.P.　　) | | | － | － | $C_H$＝ | $C_V$＝ | |

注記＊：基準床レベルを示す。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設置場所のレベルとして（0.P. ）を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

### 1.2　機器要目

| 部　材 | m (kg) | $h_2$ (mm) | $h_a$ (mm) | $\ell_3$ (mm) | $\ell_a$ (mm) | $\ell_b$ (mm) | d (mm) | $A_b$ ($mm^2$) | n | $n_{fV}$ | $n_{fH}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基礎ボルト | | | | | | | (M　　) | | | | |

ボルト径を記載する。

| 部　材 | $S_y$ (MPa) | $S_u$ (MPa) | F (MPa) | F＊ (MPa) | 転倒方向 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | ○○ (　mm＜径≦　mm) | ○○ (　mm＜径≦　mm) | － | | － | |

転倒方向が同じ場合でも，セルを一つにしない。

厚さ，径等による強度区分がある場合は，
該当する強度区分を記載する。（$S_u$も同様）

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　（単位：N）

| 部　材 | $F_b$ | | $Q_b$ | |
|---|---|---|---|---|
| | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | 基準地震動Ｓｓ |
| 基礎ボルト | － | | － | |

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力　（単位：MPa）

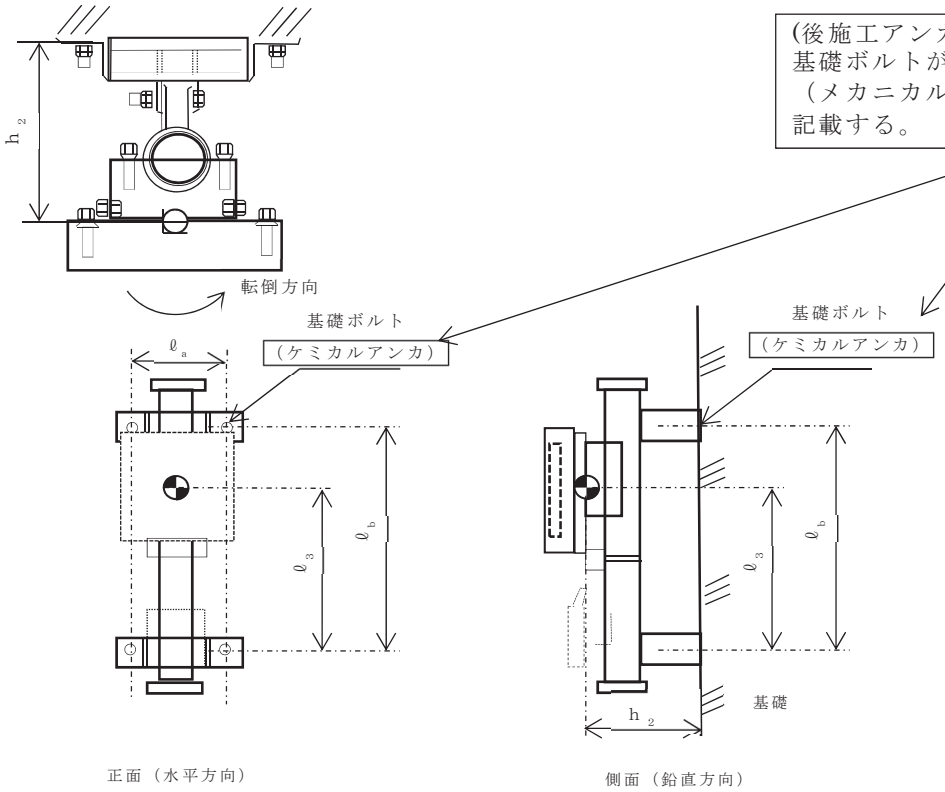
| 部　材 | 材　料 | 応　力 | 弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度 | | 基準地震動Ｓｓ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト | | 引張り | － | － | $\sigma_b$＝ | $f_{ts}$＝　　* |
| | | せん断 | － | － | $\tau_b$＝ | $f_{sb}$＝ |

注記＊：$f_{ts}$＝Min［1.4・$f_{to}$－1.6・$\tau_b$，$f_{to}$］より算出
すべて許容応力以下である。

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s$^2$）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○アンテナ（○○建屋側） | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。




正面（水平方向）　　側面（鉛直方向）

(後施工アンカの場合)
基礎ボルトが後施工の場合は，アンカの種類（メカニカルアンカ又はケミカルアンカ）を記載する。

本図は，原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし，配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお，DB＋SA の場合は，SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-9：機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
（Eパターンの耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○　○○○○温度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 ..... 3
3.　評価部位 ..... 3
4.　機能維持評価 ..... 4
4.1　機能維持評価用加速度 ..... 4
4.2　機能確認済加速度 ..... 5
5.　評価結果 ..... 6
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ..... 6
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ..... 6

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1.　概要

本計算書は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，○○○○温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

○○○○温度は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2.　一般事項

2.1　構造計画

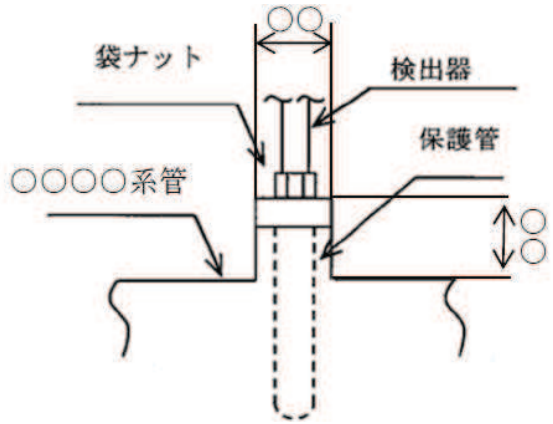
○○○○温度の構造計画を表 2-1 に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

2.1　配置概要
波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は，目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は，
「2.1　配置概要」，「2.2　構造計画」，「2.3　評価方針」と続く。

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 | |
| 検出器は，袋ナットにて，○○○○系管に溶接された保護管に固定する。 | 検出器は，○○○○系管に溶接された保護管に袋ナットで固定される構造。<br>↑<br>機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。 |  <br>（単位：mm） |

2.2　評価方針

○○○○温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを,「4.　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「5.　評価結果」に示す。

○○○○温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

なお,○○○○温度は,小型で軽量であることから十分に剛であるとみなせるため,固有周期の計算は省略し，設置位置の最大応答加速度を適用する。

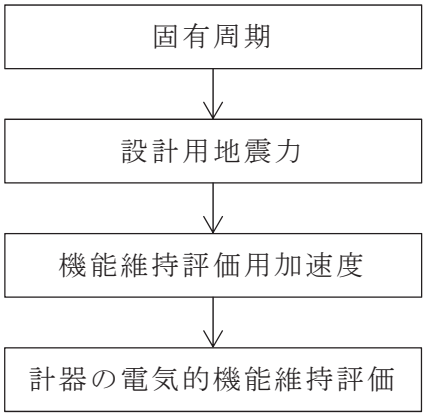



図 2-1　○○○○温度の耐震評価フロー



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　（ＪＥＡＧ４６０１－1987）

(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　（ＪＥＡＧ４６０１・補－1984）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　（ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版）

3.　評価部位

○○○○温度は，○○○○系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから，○○○○系管が支持している。○○○○系管の構造強度評価は，添付書類「Ⅵ-○-○-○-○　管の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，○○○○系管の地震応答解析結果を用いた○○○○温度の電気的機能維持評価について示す。

4.　機能維持評価

○○○○温度の電気的機能維持に評価について，以下に示す。

4.1　機能維持評価用加速度

○○○○温度は○○○○系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから，機能維持評価用加速度は，添付書類「Ⅵ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度又は添付書類「Ⅴ-○-○-○-○-○　管の耐震性についての計算書」に示す○○○○設備の地震応答解析で評価した○○○○温度取付部の配管に生じる応答加速度のいずれか大きい値とする。機能維持評価用加速度を表 4-1 に示す。

機能維持評価用加速度について，どのような値を用いるか記載する。

表 4-1　機能維持評価用加速度　　（×9.8m/s$^2$）

| 機器名称 | 対象機器設置箇所<br>(m) | 方向 | 機能維持評価用加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○○温度 | ○○建屋<br>0.P.　　*<br>(0.P.　　) | 水平方向 | |
| | | 鉛直方向 | |

注記＊：基準床レベルを示す。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は，
設備設置場所のレベルとして（0.P.　）を追加する。
例：基礎台高さが 500ｍｍ以上の基礎台に設置されている設備に適用

4.2　機能確認済加速度

○○○○温度の機能維持確認済加速度は，添付資料「Ⅵ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の盤単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8m/s$^2$）

| 評価部位 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|
| ○○○○温度 | 水平方向 | |
| | 鉛直方向 | |

加振試験を根拠として，電気的機能維持評価を示す場合，加振試験の概要が分かるよう記載する。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

○○○○温度の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。機能維持評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。機能維持評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

・DB＋SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

【○○○○温度の耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　電気的機能維持の評価結果

評価に用いる加速度を記載する。

（×9.8m/s²）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○○温度 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる評価部位における応答加速度又は 1.0・ZPA のいずれか大きい値とする。
機能維持評価用加速度は，すべて機能確認済加速度以下である。

機能維持評価用加速度として，設計用最大応答加速度以外を用いる場合には，注記を記載する。
また，使用する設計用最大応答加速度（1.0・ZPA または 1.2・ZPA）を記載する。



2.　重大事故等対処設備

2.1　電気的機能維持の評価結果

評価に用いる加速度を記載する。

（×9.8m/s²）

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---|---|---|---|
| ○○○○温度 | 水平方向 | | |
| | 鉛直方向 | | |

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる評価部位における応答加速度又は 1.0・ZPA のいずれか大きい値とする。
機能維持評価用加速度は，すべて機能確認済加速度以下である。

機能維持評価用加速度として，設計用最大応答加速度以外を用いる場合には，注記を記載する。
また，使用する設計用最大応答加速度（1.0・ZPA または 1.2・ZPA）を記載する。

添付資料-10：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Fパターン「管」の耐震計算書記載例）

# Ⅵ-○-○-○ 管の耐震性についての計算書（系統名称）

設計基準対象施設

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価ごとに中表紙を作成する。

Ｏ２　○　Ⅵ-○-○-○(設)　Ｒ０

図書番号に，設計基準対象施設は「(設)」を，
重大事故等対処設備は「(重)」を記載する。

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 ····· 4
3. 計算条件 ····· 6
3.1 計算方法 ····· 6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 7
3.3 設計条件 ····· 8
3.4 材料及び許容応力 ····· 12
3.5 設計用地震力 ····· 13
4. 解析結果及び評価 ····· 14
4.1 固有周期及び設計震度 ····· 14
4.2 評価結果 ····· 20
4.2.1 管の応力評価結果 ····· 20
4.2.2 支持構造物評価結果 ····· 23
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果 ····· 25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 27

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき，○○系の管，支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

当該系統の配管モデル数を記載する。

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の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全○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 4.2.4 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，種類及び型式単位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。

(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概要系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

| 記　　号 | 内　　容 |
|---|---|
| ━━━━━（太線） | 工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 |
| ――――――（細線） | 工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管 |
| ----------（破線） | 工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管 |
| ○○○－○○○ | 鳥瞰図番号 |
| | アンカ |

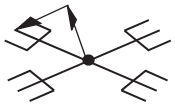
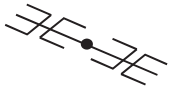
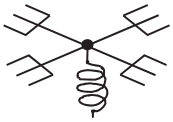
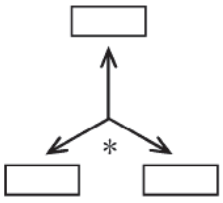
# 図　示

屋外を含む２つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。

○○○○○○○系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

| 記　　号 | 内　　容 |
|---|---|
| ———— | 工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 |
| 申請範囲外 ← | 工事計画記載範囲外の管 |
| ○○○系 ← | 工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管 |
| ● | 質　　点 |
| | ア　ン　カ |
|  | レストレイント<br>（矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。） |
|  | スナッバ |
| | ハンガ |
|  | ガイド |
|  | 拘束点の地震による相対変位量（mm）<br>（＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。） |

# 図　示

| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |
|---|---|

屋外を含む２つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。また，申請範囲内のアンカ（評価点）を代表として拘束点のＳｓ及びＳｄによるそれぞれの相対変位量を記載する。

## 3. 計算条件

### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は，「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは，「○○○」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，添付書類「Ⅵ-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」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。

重大事故等対処設備の評価時のみ記載する。

| 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*2,3 | 許容応力状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | － | | | | |
| | | | | － | | | | |

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：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

＊3：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。

該当するもののみ記載する。

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　○○○－○○○

| 管名称 | 最高使用圧力<br>(MPa) | 最高使用温度<br>(℃) | 外径<br>(mm) | 厚さ<br>(mm) | 材料 | 耐震<br>重要度分類 | 縦弾性係数<br>(MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

設計条件

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　　○○○－○○○

| 管名称 | 対応する評価点 |
|---|---|
| | |

配管の質量（付加質量含む）

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) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

配管の質量は，配管自体，管内流体，フランジ及び保温等の配管に付加される質量を含む。

弁部の質量を下表に示す。

弁○

| 評価点 | 質量(kg) | 評価点 | 質量(kg) | 評価点 | 質量(kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |

弁の質量は，弁自体，管内流体及び保温等の弁に付加される重量を含む。

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) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　○○○－○○○

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 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

** 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。

注１　地震荷重及び地震荷重を除く短期的機械荷重の解析に使用するスナッバのばね定数を示す。

注２　自重解析にのみ使用するハンガのばね定数を示す。地震，地震を除く短期的機械荷重及び熱の解析においてはハンガのばね定数は考慮しない。

該当する場合に記載する。

3.4　材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

| 材料 | 最高使用温度<br>(℃) | Ｓｍ<br>(MPa) | Ｓｙ<br>(MPa) | Ｓｕ<br>(MPa) | Ｓｈ<br>(MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

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下表に示す。

なお，設計用床応答曲線は，添付書類「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用いる。また，減衰定数は添付書類「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。

本計算書の疲労評価は,等価繰返し回数○○回(Ｓｓ)及び○○回(Ｓｄ)で実施する。

疲労評価を行う場合は記載する。Ｓｓによる疲労評価のみを行う場合は，Ｓｓによる等価繰返し回数のみを記載する。

| 鳥瞰図 | 建物・構築物 | 標高（O.P.(m)） | 減衰定数（%） |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

1次固有周期が0.05s以下の場合は「ー」を記載する。

配管系が設置されているレベルを包絡する設計用床応答曲線を用いる場合は，用いるすべての標高を記載する。

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥瞰図　○○○－○○○

| 適用する地震動等 | | Ｓｄ及び静的震度 | | | Ｓｓ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| モード | 固有周期 (s) | 応答水平震度*1 | | 応答鉛直震度*1 | 応答水平震度*1 | | 応答鉛直震度*1 |
| | | Ｘ方向 | Ｚ方向 | Ｙ方向 | Ｘ方向 | Ｚ方向 | Ｙ方向 |
| 1 次 | | | | | | | |
| 2 次 | | | | | | | |
| 3 次 | | | | | | | |
| ・・・ | | | | | | | |
| 8 次 | | | | | | | |
| n 次 | | | | | | | |
| n＋1 次*2 | | － | － | － | － | － | － |
| 動的震度*3 | | | | | | | |
| 静的震度*4 | | | | | － | － | － |

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：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

*3：Ｓｄ又はＳｓ地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6$C_I$及び 1.2$C_V$より定めた震度を示す。

n 次までは固有周期が 0.050s より長いモード，n＋1 次は固有周期が 0.050s 以下のモードを示す。

各モードに対応する刺激係数

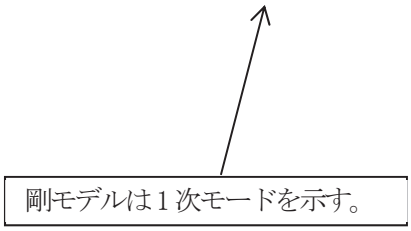
鳥　瞰　図　　○○○－○○○

| モード | 固　有　周　期 (s) | 刺　激　係　数* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Ｘ方向 | Ｙ方向 | Ｚ方向 |
| 1 次 | | | | |
| 2 次 | | | | |
| 3 次 | | | | |
| ・・・ | | | | |
| 8 次 | | | | |
| n 次 | | | | |

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。

刺激係数の算出方法を記載する。

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)

# 図　示

| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |
|---|---|

代表的振動モード図(2 次)

# 図　示

| | |
|---|---|
| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |

代表的振動モード図（3 次）

# 図　示

| | |
|---|---|
| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |

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１管

| 鳥瞰図 | 許容応力状態 | 最大応力評価点 | 配管要素名称 | 最大応力区分 | 一次応力評価 (MPa) 一次応力 Ｓｐｒｍ(Ｓｄ) Ｓｐｒｍ(Ｓｓ) | 許容応力 2．25・Ｓｍ 3・Ｓｍ | ねじり応力 Ｓｔ(Ｓｄ) Ｓｔ(Ｓｓ) | 許容応力 0．55・Ｓｍ 0．73・Ｓｍ | 一次＋二次応力評価 (MPa) 一次＋二次応力 Ｓｎ(Ｓｄ) Ｓｎ(Ｓｓ) | 許容応力 3・Ｓｍ 3・Ｓｍ | 疲労評価 疲労累積係数 U+ＵＳｄ U+ＵＳｓ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ⅢＡＳ | | | Ｓｐｒｍ(Ｓｄ) | | | — | — | — | — | — |
| | ⅢＡＳ | | | Ｓｔ(Ｓｄ) | — | — | | | — | — | — |
| | ⅢＡＳ | | | Ｓｎ(Ｓｄ) | — | — | — | — | | | — |
| | ⅢＡＳ | | | U+ＵＳｄ | — | — | — | — | — | — | |
| | ⅣＡＳ | | | Ｓｐｒｍ(Ｓｓ) | | | — | — | — | — | — |
| | ⅣＡＳ | | | Ｓｔ(Ｓｓ) | — | — | | | — | — | — |
| | ⅣＡＳ | | | Ｓｎ(Ｓｓ) | — | — | — | — | | | — |
| | ⅣＡＳ | | | U+ＵＳｓ | — | — | — | — | — | — | |

＊印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し，次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

＊＊印は一次＋二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が１以下であり許容値を満足している。

該当する場合に記載する。

一次＋二次応力が３Ｓｍ以下の場合は「－」を記載する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態$Ⅲ_A$Ｓのとき０．５５・Ｓｍ，又は許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓのとき０．７３・Ｓｍを超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図番号

| 評価点 | 一次応力評価(MPa) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ねじり応力<br>Ｓｔ（Ｓｄ）<br>Ｓｔ（Ｓｓ） | 許容応力<br>０．５５・Ｓｍ<br>０．７３・Ｓｍ | 曲げとねじり応力<br>Ｓｔ＋Ｓｂ（Ｓｄ）<br>Ｓｔ＋Ｓｂ（Ｓｓ） | 許容応力<br>１．８・Ｓｍ<br>２．４・Ｓｍ |
| | | | | |

本表はねじり＋曲げ応力評価結果を示すものである。

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２以下の管

| 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） 計算応力 Ｓｐｒｍ(Ｓｄ) Ｓｐｒｍ(Ｓｓ) | 一次応力評価（MPa） 許容応力 Ｓｙ*1 ０．９・Ｓｕ | 一次＋二次応力評価（MPa） 計算応力 Ｓｎ(Ｓｄ) Ｓｎ(Ｓｓ) | 一次＋二次応力評価（MPa） 許容応力 ２・Ｓｙ ２・Ｓｙ | 疲労評価 疲労累積係数 ＵＳｄ ＵＳｓ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\mathrm{III_A S}$ | | Ｓｐｒｍ（Ｓｄ） | | | － | － | － |
| | $\mathrm{III_A S}$ | | Ｓｎ（Ｓｄ） | － | － | | | － |
| | $\mathrm{IV_A S}$ | | Ｓｐｒｍ（Ｓｓ） | | | － | － | － |
| | $\mathrm{IV_A S}$ | | Ｓｎ（Ｓｓ） | － | － | | | － |

＊印は一次＋二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が１以下であり許容値を満足している。

注記＊1：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，Ｓｙと１．２・Ｓｈのうち大きい方とする。

該当する場合に記載する。

一次＋二次応力が２Ｓｙ以下の場合は「－」を記載する。

許容応力状態$\mathrm{IV_A S}$において一次＋二次応力評価の計算応力が許容応力以下の場合は記載しない。
許容応力状態$\mathrm{IV_A S}$において一次＋二次応力評価の計算応力が許容応力を上回る場合は，$\mathrm{III_A S}$における一次＋二次応力評価結果を記載し，計算応力が許容応力を上回る場合は疲労評価結果を記載する。

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。

対象がない場合は，「－」を記載する。

支持構造物評価結果（荷重評価）

| 支持構造物番号 | 種類 | 型式 | 材質 | 温度（℃） | 評価結果 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 計算荷重（kN） | 許容荷重（kN） |
| | | | 添付書類「Ⅵ-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照 | | * | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

注記＊：当該メカニカルスナッバの計算荷重が許容荷重を超えるため，詳細評価を実施する。

詳細評価を実施する場合は記載する。

ⅢＡＳ，ⅣＡＳの評価結果のうち，裕度最小の結果を記載する。

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（℃） | 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） |
| | | | | | $F_X$ | $F_Y$ | $F_Z$ | $M_X$ | $M_Y$ | $M_Z$ | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

詳細評価を実施する場合に記載する。

メカニカルスナッバの詳細評価結果

| 支持構造物番号 | 型式 | 評価結果 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 強度評価 | | | | 機能確認 | |
| | | 評価部位* | 応力分類 | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 計算荷重 (kN) | 許容荷重 (kN) |
| | | | | | | | |

注記＊：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下である。

1. 評価対象弁の機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下の場合に記載する。(評価対象弁がない場合は記載しない。)
2. 評価対象弁の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁が混在する場合は，下記を追記する。
「また，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については，詳細評価を実施する。」
3. 評価対象弁の機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度を超える場合は下記を記載する。
「下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については，詳細評価を実施する。」

| 弁番号 | 形式 | 要求機能 | 機能維持評価用加速度 ($\times 9.8$ m/s$^2$) | | 機能確認済加速度 ($\times 9.8$ m/s$^2$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 |
| － | － | － | －* | －* | － | － |

対象がない場合は,「－」を記載する。

注：機能維持評価用加速度は，配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記＊：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため，詳細評価を行う。

評価対象がある場合に記載する。

要求機能は，弁に要求される機能に応じて以下を記載する。
- α（Ｓｓ）：基準地震動Ｓｓ，弾性設計用地震動Ｓｄ時に動的機能が要求されるもの。
- α（Ｓｄ）：弾性設計用地震動Ｓｄ時に動的機能が要求されるもの。
- β（Ｓｓ）：基準地震動Ｓｓ，弾性設計用地震動Ｓｄ後に動的機能が要求されるもの。
- β（Ｓｄ）：弾性設計用地震動Ｓｄ後に動的機能が要求されるもの。

詳細評価を実施する場合に記載する。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

| 弁番号 | 形式 | 要求機能 | 機能維持評価用加速度（×9.8m/s$^2$） | | 駆動部の動作機能確認済加速度（×9.8m/s$^2$） | | 構造強度評価結果（MPa） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 | 評価部位*1 | 応力分類 | 計算応力 | 許容応力 |
| － | － | － | － | － | －*2 | －*2 | －*3 | － | － | － |

注記＊1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

＊2：逆止弁のため開機能維持又は閉機能維持のための動作機能確認済加速度を示す。

＊3：強制開閉装置のない逆止弁であり，構造強度評価部位がない。

該当する場合に記載する。

4.2.4　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，応力分類ごとに裕度が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○管）

評価クラス毎に記載する。

| No. | 配管モデル | 許容応力状態 $\mathrm{III}_A$S | | | | | 許容応力状態 $\mathrm{IV}_A$S | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 一次応力 | | | | | 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 | 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 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注記＊：$\mathrm{III}_A$Sの一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV}_A$Sと同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV}_A$Sの一次＋二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価ごとに中表紙を作成する。

図書番号に，設計基準対象施設は「(設)」を，
重大事故等対処設備は「(重)」を記載する。

０２ ○ Ⅵ-○-○-○(重) Ｒ０

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 ····· 4
3. 計算条件 ····· 6
3.1 計算方法 ····· 6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 7
3.3 設計条件 ····· 8
3.4 材料及び許容応力 ····· 12
3.5 設計用地震力 ····· 13
4. 解析結果及び評価 ····· 14
4.1 固有周期及び設計震度 ····· 14
4.2 評価結果 ····· 20
4.2.1 管の応力評価結果 ····· 20
4.2.2 支持構造物評価結果 ····· 23
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果 ····· 25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 27

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅵ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき，○○系の管，支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1)　管

当該系統の配管モデル数を記載する。

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の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全○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 4.2.4 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，種類及び型式単位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。

(3)　弁

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概要系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

| 記号 | 内容 |
|---|---|
| ━━━━━（太線） | 工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 |
| ――――――（細線） | 工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管 |
| ----------（破線） | 工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管 |
| ○○○－○○○ | 鳥瞰図番号 |
| | アンカ |

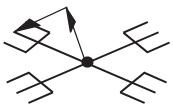
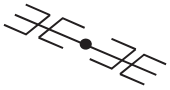
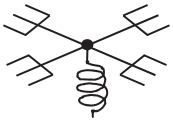
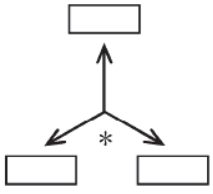
# 図　示

屋外を含む２つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。

○○○○○○○系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

| 記　　号 | 内　　容 |
|---|---|
| ―――― | 工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 |
| 申請範囲外 | 工事計画記載範囲外の管 |
| ○○○系 | 工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管 |
| ● | 質　　点 |
| | ア　ン　カ |
|  | レストレイント<br>（矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。） |
|  | スナッバ |
| | ハンガ |
|  | ガイド |
|  | 拘束点の地震による相対変位量（mm）<br>（＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。） |

# 図　示

| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |
|---|---|

屋外を含む２つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。また，申請範囲内のアンカ（評価点）を代表として拘束点のＳｓによる相対変位量を記載する。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は，「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは，「○○○」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，添付書類「Ⅵ-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」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。

重大事故等対処設備は「－」を記載。

| 施設名称 | 設備名称 | 系統名称 | 施設分類*1 | 設備分類*2 | 機器等の区分 | 耐震重要度分類 | 荷重の組合せ*3,4 | 許容応力状態*5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | － | | |
| | | | | | | － | | |

該当する設備分類のみ記載する。

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：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／緩和（DB拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

＊3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4：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。

＊5：許容応力状態$V_AS$は許容応力状態$IV_AS$の許容限界を使用し，許容応力状態$IV_AS$として評価を実施する。

該当するもののみ記載する。

重大事故等対処設備の評価時のみ記載する。

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　　○○○－○○○

| 管名称 | 最高使用圧力<br>(MPa) | 最高使用温度<br>(℃) | 外径<br>(mm) | 厚さ<br>(mm) | 材料 | 耐震<br>重要度分類 | 縦弾性係数<br>(MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

設計条件

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　　○○○－○○○

| 管名称 | 対応する評価点 |
|---|---|
| | |

配管の質量（付加質量含む）

鳥　瞰　図　○○○－○○○

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) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

配管の質量は，配管自体，管内流体，フランジ及び保温等の配管に付加される質量を含む。

弁部の質量を下表に示す。

弁○

| 評価点 | 質量(kg) | 評価点 | 質量(kg) | 評価点 | 質量(kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |

弁の質量は，弁自体，管内流体及び保温等の弁に付加される重量を含む。

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) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



○２　○　Ⅵ-○-○-○(重)　Ｒ０

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　○○○－○○○

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 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

** 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。

注１　地震荷重及び地震荷重を除く短期的機械荷重の解析に使用するスナッバのばね定数を示す。

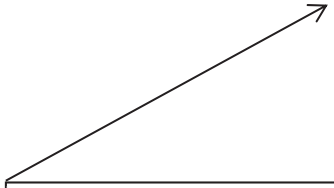
注２　自重解析にのみ使用するハンガのばね定数を示す。地震，地震を除く短期的機械荷重及び熱の解析においてはハンガのばね定数は考慮しない。

該当する場合に記載する。

3.4　材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

| 材料 | 最高使用温度<br>(℃) | Ｓｍ<br>(MPa) | Ｓｙ<br>(MPa) | Ｓｕ<br>(MPa) | Ｓｈ<br>(MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



評価に使用しない許容応力については「－」を記載する。

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下表に示す。

なお，設計用床応答曲線は，添付書類「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用いる。また，減衰定数は添付書類「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。

本計算書の疲労評価は，等価繰返し回数○○回（Ｓｓ）で実施する。

疲労評価を行う場合は記載する。

| 鳥瞰図 | 建物・構築物 | 標高（O.P.(m)） | 減衰定数（%） |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

1次固有周期が0.05s以下の場合は「ー」を記載する。

配管系が設置されているレベルを包絡する設計用床応答曲線を用いる場合は，用いるすべての標高を記載する。

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　○○○－○○○

| 適用する地震動等 | | Ｓｄ及び静的震度 | | | Ｓｓ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| モード | 固有周期(s) | 応答水平震度*1 | | 応答鉛直震度*1 | 応答水平震度*1 | | 応答鉛直震度*1 |
| | | Ｘ方向 | Ｚ方向 | Ｙ方向 | Ｘ方向 | Ｚ方向 | Ｙ方向 |
| 1 次 | | － | － | － | | | |
| 2 次 | | － | － | － | | | |
| 3 次 | | － | － | － | | | |
| ・・・ | | － | － | － | | | |
| 8 次 | | － | － | － | | | |
| n 次 | | － | － | － | | | |
| n＋1 次*2 | | － | － | － | － | － | － |
| 動 的 震 度*3 | | － | － | － | | | |
| 静 的 震 度*4 | | － | － | － | － | － | － |

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：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

＊3：Ｓｄ又はＳｓ地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

＊4：3.6$C_I$及び 1.2$C_v$より定めた震度を示す。

n 次までは固有周期が 0.050s より長いモード，n+1 次は固有周期が 0.050s 以下のモードを示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　○○○－○○○

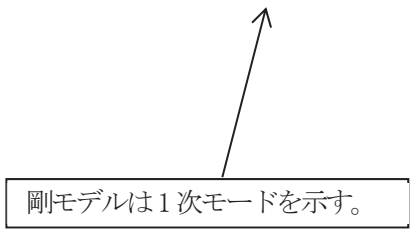
| モード | 固有周期 (s) | 刺激係数* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | X方向 | Y方向 | Z方向 |
| 1 次 | | | | |
| 2 次 | | | | |
| 3 次 | | | | |
| ・・・ | | | | |
| 8 次 | | | | |
| n 次 | | | | |

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。

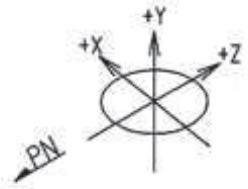
刺激係数の算出方法を記載する。

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。



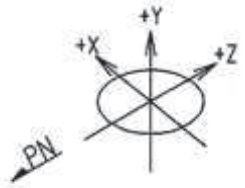
代表的振動モード図(1 次)




# 図　示

| | |
|---|---|
| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |

代表的振動モード図(2 次)




# 図　示

| | |
|---|---|
| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |

代表的振動モード図（3 次）

# 図　示

| | |
|---|---|
| 鳥瞰図 | ○○○－○○○ |

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。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

| 鳥瞰図 | 許容応力状態 | 最大応力評価点 | 配管要素名称 | 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 一次応力 Ｓｐｒｍ(Ｓｓ) | 許容応力 3・Ｓｍ | ねじり応力 Ｓｔ(Ｓｓ) | 許容応力 0．７3・Ｓｍ | 一次＋二次応 Ｓｎ(Ｓｓ) | 許容応力 3・Ｓｍ | 疲労累積係数 U+ＵＳｓ |
| | $V_A S$ | | | Ｓｐｒｍ(Ｓｓ) | | | — | — | — | — | — |
| | $V_A S$ | | | Ｓｔ(Ｓｓ) | — | — | | | — | — | — |
| | $V_A S$ | | | Ｓｎ(Ｓｓ) | — | — | — | — | | | — |
| | $V_A S$ | | | U+ＵＳｓ | — | — | — | — | — | — | |

＊印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し，次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

＊＊印は一次＋二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

一次＋二次応力が３Ｓｍ以下の場合は「ー」を記載する。

該当する場合に記載する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態$V_A$Ｓのとき０．７３Ｓｍを超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図番号

| 評価点 | 一次応力評価(MPa) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ねじり応力<br>Ｓｔ(Ｓｓ) | 許容応力<br>０．７３・Ｓｍ | 曲げとねじり応力<br>Ｓｔ＋Ｓｂ(Ｓｓ) | 許容応力<br>２．４・Ｓｍ |
| | | | | |

注：本表はねじり＋曲げ応力評価結果を示すものである。

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。

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

| 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 Ｓｐｒｍ（Ｓｓ） | 許容応力 ０．９・Ｓｕ | 計算応力 Ｓｎ（Ｓｓ） | 許容応力 ２・Ｓｙ | 疲労累積係数 ＵＳｓ |
| | $V_A$Ｓ | | Ｓｐｒｍ（Ｓｓ） | | | － | － | － |
| | $V_A$Ｓ | | Ｓｎ（Ｓｓ） | － | － | | | － |

＊印は一次＋二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が１以下であり許容値を満足している。

該当する場合に記載する。

一次＋二次応力が２Ｓｙ以下の場合は「－」を記載する。

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。

対象がない場合は，「－」を記載する。

支持構造物評価結果（荷重評価）

| 支持構造物番号 | 種類 | 型式 | 材質 | 温度（℃） | 評価結果 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 計算荷重（kN） | 許容荷重（kN） |
| | | | 添付書類「Ⅵ-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照 | | * | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

注記＊：当該メカニカルスナッバの計算荷重が許容荷重を超えるため，詳細評価を実施する。

詳細評価を実施する場合は記載する。

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（℃） | 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） |
| | | | | | $F_X$ | $F_Y$ | $F_Z$ | $M_X$ | $M_Y$ | $M_Z$ | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

詳細評価を実施する場合に記載する。

メカニカルスナッバの詳細評価結果

| 支持構造物番号 | 型式 | 評価結果 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 強度評価 | | | | 機能確認 | |
| | | 評価部位* | 応力分類 | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 計算荷重 (kN) | 許容荷重 (kN) |
| | | | | | | | |

注記＊：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下である。

1. 評価対象弁の機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下の場合に記載する。(評価対象弁がない場合は記載しない。)
2. 評価対象弁の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁が混在する場合は，下記を追記する。
「また，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については，詳細評価を実施する。」
3. 評価対象弁の機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度を超える場合は下記を記載する。
「下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については，詳細評価を実施する。」

| 弁番号 | 形式 | 要求機能 | 機能維持評価用加速度 ($\times 9.8$ m/s$^2$) | | 機能確認済加速度 ($\times 9.8$ m/s$^2$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 |
| － | － | － | －* | －* | － | － |

対象がない場合は,「－」を記載する。

注：機能維持評価用加速度は，配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記＊：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため，詳細評価を行う。

評価対象がある場合に記載する。

要求機能は，弁に要求される機能に応じて以下を記載する。
- α（Ｓｓ）：基準地震動Ｓｓ，弾性設計用地震動Ｓｄ時に動的機能が要求されるもの。
- α（Ｓｄ）：弾性設計用地震動Ｓｄ時に動的機能が要求されるもの。
- β（Ｓｓ）：基準地震動Ｓｓ，弾性設計用地震動Ｓｄ後に動的機能が要求されるもの。
- β（Ｓｄ）：弾性設計用地震動Ｓｄ後に動的機能が要求されるもの。

詳細評価を実施する場合に記載する。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

| 弁番号 | 形式 | 要求機能 | 機能維持評価用加速度（×9.8m/s$^2$） | | 駆動部の動作機能確認済加速度（×9.8m/s$^2$） | | 構造強度評価結果（MPa） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 | 評価部位*1 | 応力分類 | 計算応力 | 許容応力 |
| － | － | － | － | － | －*2 | －*2 | －*3 | － | － | － |

注記＊1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

＊2：逆止弁のため開機能維持又は閉機能維持のための動作機能確認済加速度を示す。

＊3：強制開閉装置のない逆止弁であり，構造強度評価部位がない。

該当する場合に記載する。

4.2.4　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，応力分類ごとに裕度が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（重大事故等クラス２管であってクラス○管）

| No. | 配管モデル | 許容応力状態 $V_AS$ | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 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 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

「重大事故等クラス２管であってクラス１管」と「重大事故等クラス２管であってクラス１管以外」の評価結果は，分けて記載する。