補足-340-13【機電分耐震計算書の補足について】

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について
2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法
3. 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ばらつきの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価について
6. 動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）
7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について
8. 制御棒の挿入性評価について
9. 電気盤等の機能維持評価に適用する水平方向の評価用地震力について
10. 大型機器，構造物の地震応答計算書の補足について
11. 配管解析における重心位置スペクトル法の適用について
12. 応力を基準とした標準支持間隔法の適用について
13. ダクトの耐震計算方法について
14. Bijlaard の方法の適用文献について
15. 主蒸気管の弾性設計用地震動S_dでの耐震評価について
16. コンクリートのポアソン比に対する検討について
17. 剛な設備の固有周期の算出について
18. 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
19. 再循環系ポンプの軸固着に対する評価について
20. 補機類のアンカー定着部の評価について

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　耐震評価について ····· 1
3.　炉内構造物への極限解析の準用 ····· 3
3.1　規格基準における扱い及び炉内構造物への準用 ····· 3
3.2　極限解析による評価 ····· 15
4.　試験による確認について ····· 47
4.1　はじめに····· 47
4.2　試験目的····· 47
4.3　試験内容····· 47
4.4　試験結果····· 51
4.5　まとめ····· 57
5.　１本あたりの地震荷重の算出について ····· 68
5.1　詳細モデルによる影響評価 ····· 68
5.2　最外周部の偏心の扱いについて ····· 76

別紙－１　試験体に対する極限解析について····· 78
別紙－２　補強板の健全性について····· 82
別紙－３　気水分離器と蒸気乾燥器の相対変位について····· 87

炉内構造物への極限解析による評価の適用について

1. 概要

既工認においては，炉内構造物として公式等を用いた評価を行っていたが，今回工認では，機能限界を踏まえた許容限界をより現実的に示す観点で，ＪＥＡＧ4601，ＪＳＭＥ設計・建設規格で定められた極限解析による評価（以下「極限解析」という。）を採用する。極限解析については，規格基準に基づく手法であり，また新規制基準での工認における高浜１，２号炉，美浜３号炉で適用実績のある手法である。

2. 耐震評価について

スタンドパイプの耐震評価フローを図 2－1 に示す。今回工認におけるスタンドパイプの地震荷重については，多質点系の建屋機器連成解析モデルを用いた地震応答解析を実施し，スタンドパイプ全２２５本を１質点として算出された地震荷重を算出する。得られた地震荷重からスタンドパイプ１本に掛かる地震荷重を算出し，算出した地震荷重が１本のスタンドパイプにおける極限解析により得られた許容値（許容荷重）以下であることを確認することにより，健全性を確認する。

これは，シュラウドヘッド及び全スタンドパイプに対する評価においては，あるスタンドパイプが許容限界を超えた場合においても，他のスタンドパイプが有する耐力により構造物としての耐力が期待できると考えられるが，１本に対する許容値と荷重を比較する場合他のスタンドパイプの耐力に期待しないため保守的な手法となると判断しているものである。

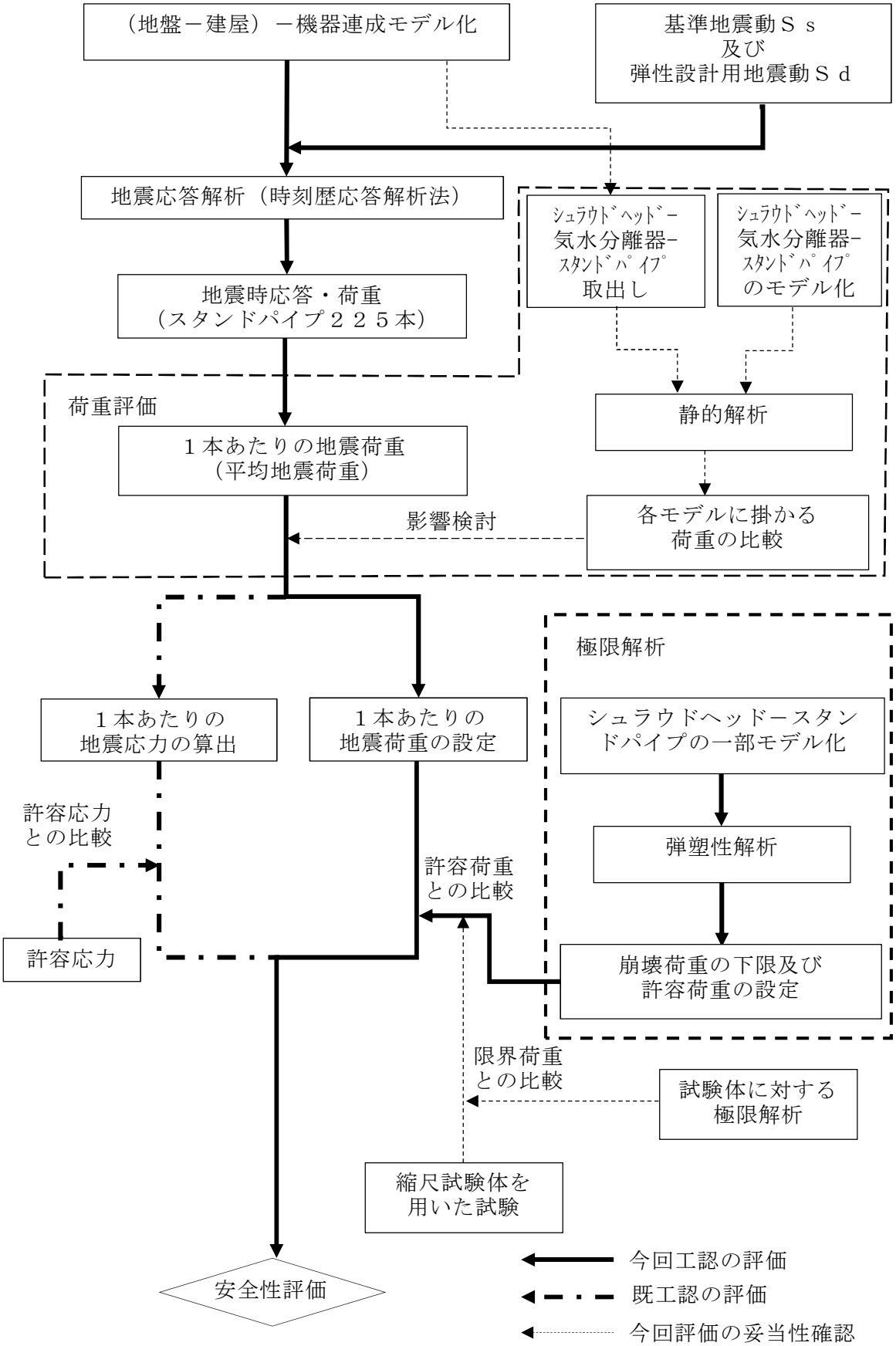


図２－１　スタンドパイプの耐震評価フロー

3.　炉内構造物への極限解析の準用

3.1　規格基準における扱い及び炉内構造物への準用

ＪＥＡＧ4601，ＪＳＭＥ設計・建設規格の炉心支持構造物に関する抜粋を図３－１～３に示す。極限解析は，ＪＥＡＧ4601，ＪＳＭＥ設計・建設規格において，炉心支持構造物に適用可能な設計手法として規定されている。また，ＪＥＡＧ4601 において，炉内構造物の許容応力は炉心支持構造物の許容応力を準用することができることを定めている。整理結果を表３－１に示す。

東海第二発電所の今回工認における炉内構造物の極限解析の適用に際して炉心支持構造物の規定を準用するため，極限解析の具体的な評価手法が規定されているＪＳＭＥ設計・建設規格の炉心支持構造物の規格に定められた要求事項を満足することを確認して，準用することとする。炉心支持構造物の規格要求事項に対して，極限解析を適用するスタンドパイプの適合性確認に対する要求の整理結果を表３－２に示す。

ＪＳＭＥ設計・建設規格の炉心支持構造物の規格に定められた要求事項について建設時の記録及び応力解析から要求事項を満足していることを確認した。

また，評価範囲であるスタンドパイプとシュラウドヘッドの取付部の溶接施工管理については炉心支持構造物と同様の施工管理を実施している。

表３－１　極限解析の規格基準における扱い

規格基準	適用範囲	備 考
ＪＥＡＧ4601	炉心支持構造物 炉内構造物	・炉内構造物は炉心支持構造物を準用 ・具体的な手法としてＪＳＭＥ設計・建設規格を読み込み（JEAG では告示 501 号を読み込み）

表３－２　ＪＳＭＥ　設計・建設規格　炉心支持構造物の規格に対するスタンドパイプの適合性確認整理結果

CSS-1000：一般要求事項

規格番号	規格名称	規格内容（概要）	炉内構造物としての考慮の要否	左欄で否の場合：理由を記載 左欄で要の場合：考慮に対する方針を記載
CSS-1100	適用			
CSS-1110	適用範囲	適用範囲を炉心支持構造物の材料，設計及び検査としている。	要	材料，設計及び検査の規格を満足することで，適用範囲を満足することを確認する。
CSS-1120	境界			
CSS-1121	炉心支持構造物と炉内構造物の境界	境界は炉心支持構造物の外表面とする。	否	評価範囲はシュラウドヘッドとスタンドパイプであり，共に炉内構造物であることから炉心支持構造物と炉内構造物の境界がないため。
CSS-1300	記号の定義	使用する記号の定義を定めている。	要	記号の定義に従う。
CSS-1400	応力分類	CSS-3000 に規定する設計，応力解析の応力分類について定めている。	要	CSS-3000 に規定する設計及び応力解析は，規定の応力分類に従う。

CSS-2000：炉心支持構造物に使用する材料

規格番号	規格名称	規格内容（概要）	炉内構造物としての確認の要否	左欄で否の場合：理由を記載 左欄で要の場合：確認結果を記載
CSS-2100	炉心支持構造物に使用可能な材料			
CSS-2110	炉心支持構造物に使用可能な材料の規定	付録材料表 Part1 の炉心支持構造物の規格に適合する又はこれと同等以上の化学成分及び機械的強度を有するものを使用することを定めている。	要	使用材料は SUS304TP 相当（ASME　SA-312 Gr.TP304）であり，適合している。
CSS-2120	材料の熱処理に関する部分の特例規定	CSS-2120 の規定にかかわらない熱処理に関する特例規定を設けている。	否	特例規定を適用しないため。
CSS-2130	機械試験に関する要求事項	CSS-2110 及び CSS-2300 に規定する試験を行う場合は PVB-2200 及び 2300 の規定を準用する。	否	本要求はフェライト系材料に対しての要求であり，使用材料であるオーステナイト系ステンレス鋼に対する要求はないため。
CSS-2300	破壊靭性試験要求			
CSS-2310	破壊靭性不要となる規定	使用する材料は破壊靭性試験を行い，適合することを定めている。ただし，形状，材料によっては破壊靭性試験を要しない。	否	使用材料はオーステナイト系ステンレス鋼であり，CSS-2310 に記載される破壊靭性試験は不要の条件を満たしているため。
CSS-2320	破壊靭性試験における試験片数と組数	破壊靭性試験における試験片数と組数について定めている。	否	CSS-2310 を満足しており，破壊靭性試験を行わないため。
CSS-2330	破壊靭性試験の方法および判定基準	破壊靭性試験の方法及び判定基準を定めている。	否	CSS-2310 を満足しており，破壊靭性試験を行わないため。

規格番号	規格名称	規格内容（概要）	炉内構造物としての確認の要否	左欄で否の場合：理由を記載 左欄で要の場合：確認結果を記載
CSS-2400	非破壊試験要求			
CSS-2410	各材料に適用する非破壊試験	使用する材料はPVB-2411に規定する非破壊試験を実施し，CSS-2430に合格することを定めている。	要	PVB-2411に規定する斜角法による超音波探傷試験及び浸透探傷試験を実施し，CSS-2430に合格している。
CSS-2420	溶接による補修	CSS-2410に規定に合格しないものに対して溶接による補修について定めている。	否	CSS-2410の試験に合格しており，溶接による補修を実施していないため。
CSS-2430	非破壊試験の判定基準	非破壊試験の判定基準を定めている。	要	PVB-2422に定められる超音波探傷試験の判定基準及びPVB-2426に定められる浸透探傷試験の判定基準を満足している。
CSS-2500	溶接材料			
CSS-2510	溶接に用いる材料	溶接に用いる材料は，溶接規格N-1040に適合することを定めている。	要	溶接に用いる材料は，母材と同等の強度を有するものを使用しており，溶接規格N-1040に適合している。

CSS-3000：炉心支持構造物の設計

規格番号	規格名称	規格内容（概要）	炉内構造物としての確認の要否	左欄で否の場合：理由を記載 左欄で要の場合：評価結果を記載
CSS-3010	考慮すべき荷重	設計に考慮すべき荷重を考慮することを定めている。	要	考慮すべき荷重をとして，冷却材による差圧，自重，地震荷重を設計に用いる。
CSS-3020	考慮すべき事項	(1)減肉が考えられる部材は減肉を考慮すること。 (2)応力評価は公称寸法を使用してもよい。 を定めている。	要	(1)減肉は考慮しない (2)原則として公称寸法を使用する。
CSS-3100	材料の応力強さの限界および許容応力			
CSS-3110	ボルト等締付部材以外の応力評価			
CSS-3111	各供用状態における一次応力評価	設計条件及び各供用状態において生じる応力解析による一次応力評価は(1)～(4)の規定（一次一般膜応力強さ等に対する制限）を満足すること。	要	各供用状態における一次応力強さが規定を満足することを確認した。
CSS-3111.1	プロトタイプまたはモデル試験による評価	CSS-3111 の応力評価の代わりにプロトタイプまたはモデル試験を実施する場合は，最大荷重Ｌｅを求め，実際の荷重が許容荷重値を超えないこと。	否	プロトタイプまたはモデル試験による評価は適用しないため。
CSS-3112	供用状態Ａ，Ｂにおける一次＋二次応力評価	供用状態Ａ及びＢにおいて生じる一次応力と二次応力の応力強さのサイクルの最大値と最小値の差は３Ｓｍを超えないこと。	要	供用状態Ａ，Ｂにおいて生じる一次応力と二次応力の最大値と最小値の差が３Ｓｍ以内であることを確認した。
CSS-3113	疲労評価（供用状態Ａ，Ｂ）	供用状態Ａ及びＢにおける疲労累積係数は１を超えないこと。	要	CSS-3130（疲労評価不要の条件）を満足すること確認したため，疲労評価を実施しない。

規格番号	規格名称	規格内容（概要）	炉内構造物としての確認の要否	左欄で否の場合：理由を記載 左欄で要の場合：評価結果を記載
CSS-3114	純せん断応力評価	純せん断荷重を受ける部分に生じる平均せん断応力は許容値を満足すること。	要	評価結果からせん断応力は生じていないため。
CSS-3115	支圧応力評価	支圧荷重を受ける部分に生じる平均支圧応力は許容値を満足すること。	要	支圧応力は，２つの強度部材が接触し圧縮力が作用している場合の接触面における応力であり，シュラウドヘッドとスタンドパイプの継手は接触ではなくすみ肉溶接にて接合されている。このため支圧応力は発生しない。
CSS-3116	軸圧縮応力の評価			
CSS-3116.1	軸方向に圧縮荷重を受ける円筒形の胴の圧縮応力の評価	軸方向に圧縮荷重を受ける円筒形の胴に生じる圧縮応力は許容値を満足すること。	要	圧縮応力は自重のみであり，軸圧縮応力が小さい（1MPa）ため評価結果を記載しない。
CSS-3116.2	軸方向に圧縮荷重を受ける柱状の部材の圧縮応力の評価	軸方向に圧縮荷重を受ける柱形の胴に生じる圧縮応力は許容値を満足すること。	要	圧縮応力は自重のみであり，軸圧縮応力が小さい（1MPa）ため評価結果をに記載しない。
CSS-3117	ねじりせん断応力の評価	ねじり荷重を受ける中実円断面の形状に生じる圧縮応力は許容値を満足すること。	否	中空円断面であり，中実円断面ではないため。
CSS-3120	ボルト等締付部材の応力評価	ボルト等の支持構造物についての各供用状態における許容値を満足すること。	否	ボルト等締結部材はないため。
CSS-3130	疲労解析不要の条件	繰り返し荷重が(1)～(4)に適合する場合は疲労解析を行うことを要しない。	要	疲労評価不要の条件(1)～(4)を満足することを確認した。
CSS-3140	疲労強度低減係数または応力集中係数	疲労解析に使用する疲労強度低減係数または応力集中係数について定めている。	要	CSS-3130（疲労評価不要の条件）を満足するため疲労解析が不要であることから，使用しない。
CSS-3150	溶接部継手効率	溶接部の許容応力等に対して継手効率を考慮することを定めている。（CSS-3111.1，3160，3113，3116.2除く）	要	溶接方法の区分に応じた継手効率を考慮している。

規格番号	規格名称	規格内容（概要）	炉内構造物としての確認の要否	左欄で否の場合：理由を記載 左欄で要の場合：評価結果を記載
CSS-3160	極限解析による評価	極限解析による評価について定めている。これを満足する場合はCSS-3111の規定を満足しなくてよい，	要	地震時以外は適用しない。 （地震時の評価は本資料に記載）
CSS-3200	外面に圧力を受ける炉心支持構造物の評価			
CSS-3210	外面に圧力を受ける炉心支持構造物の形状	外面に圧力を受ける炉心支持構造物の胴の形状について定めている。	否	各供用状態において，内面の圧力の方が外面の圧力より高いため。
CSS-3220	円筒形または円すい形の胴における許容圧力（外圧）	円筒形または円すい形の胴において外面に受ける圧力対する許容値を定めている。		
CSS-3230	球形の胴における許容応力	球形の胴において外面に受ける圧力に対する許容値を定めている。	否	円筒形であり，球形でないため。また，各供用状態において，内面の圧力の方が外面の圧力より高いため。
CSS-3240	外面に圧力を受ける円筒形の炉心支持構造物に強め輪を設ける場合	円筒形において外面に受ける圧力に対する許容値を定めている。	否	強め輪は設けていないため。
CSS-3300	簡易弾塑性解析	CSS-3112で一次＋二次応力強さが３Ｓｍを超えた場合の規定を定めている。	要	CSS-3112で一次＋二次応力強さが３Ｓｍ以内であることを確認したため，簡易弾塑性解析を使用しない。
CSS-3400	クラッド構造の炉心支持構造物に対する強度評価上の取扱いについての規定	クラッド構造の炉心支持構造物の応力解析，疲労評価への考慮について定めている。	否	クラッド構造ではないため。

CSS-5000：完了検査

規格番号	規格名称	規格内容（概要）	炉内構造物としての確認の要否	左欄で否の場合：理由を記載 左欄で要の場合：確認結果を記載
CSS-5010	炉心支持構造物の完成検査	設計仕様書に定められた要求事項に従って，完了検査を満足すること。	要	完成後，要求事項に従い，外観検査，寸法検査を行い，満足している。

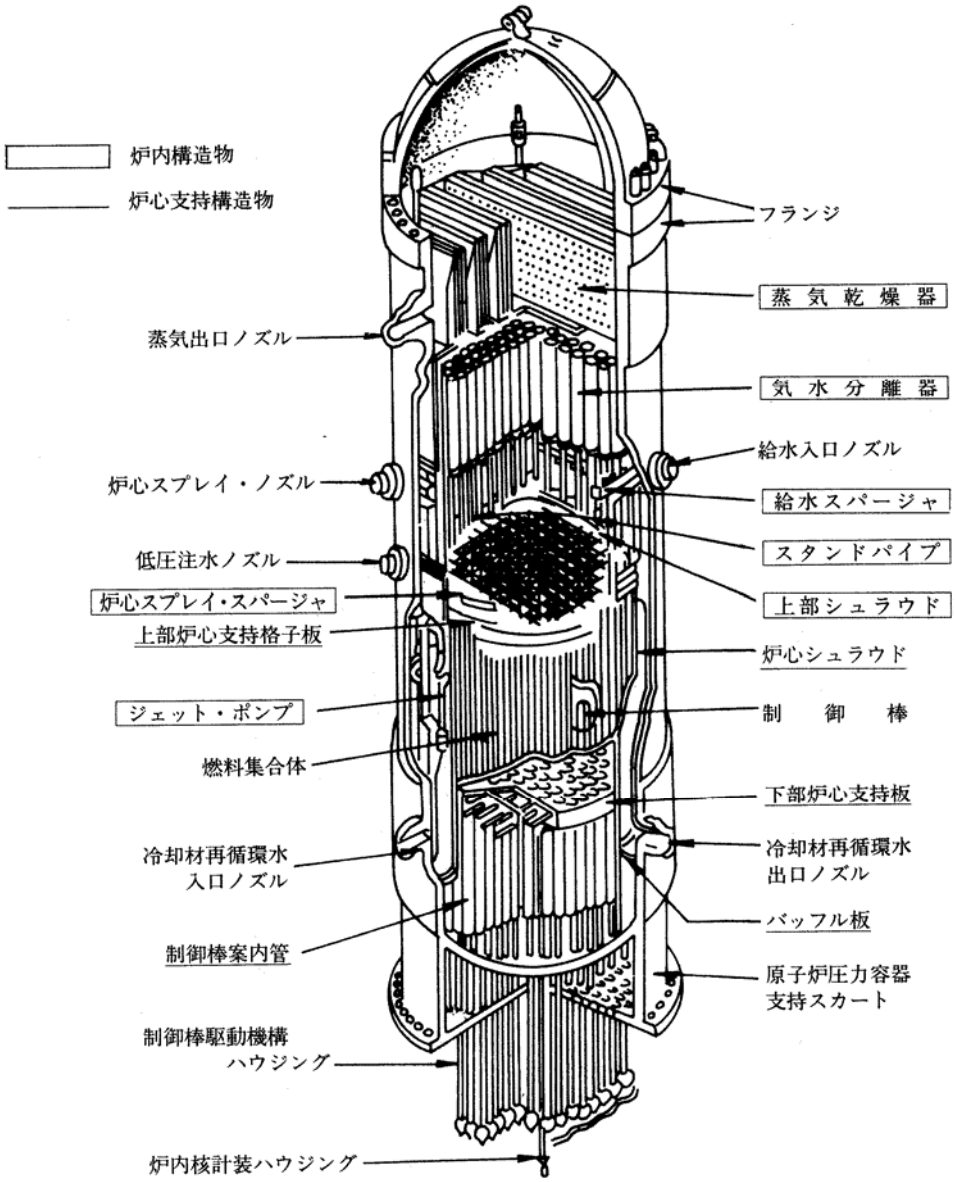


図３－１　ＪＥＡＧ4601　炉心支持構造物と炉内構造物の分類に関する抜粋

2.5　炉心支持構造物の許容応力

2.5.1.　炉心支持構造物（ボルト等を除く）の許容応力

炉心支持構造物（ボルト等を除く）の許容応力を次に示す。

応力分類 / 許容応力状態	1次一般膜応力	1次一般膜応力＋1次曲げ応力	1次＋2次応力	1次＋2次＋ピーク応力	特別な応力限界		
					純せん断応力	支圧応力	ねじり応力
設計条件	S_m (1)	左欄の1.5倍の値 (1)	—	—	—	—	—
I_A	—	—	$3S_m$ (2)	運転状態Ⅰ及びⅡにおける荷重の組合せについて疲れ解析を行い疲れ累積係数が1.0以下であること。 (3)	$0.6S_m$ (4)	S_y ($1.5S_y$) (5)	$0.8S_m$ (7)
II_A	—	—			$0.6S_m$ (4)	S_y ($1.5S_y$) (5)	$0.8S_m$ (7)
III_A	$1.5S_m$ (1)	左欄の1.5倍の値 (1)	—	—	$0.9S_m$ (4)	$1.5S_y$ ($2.25S_y$) (5)	$1.2S_m$ (7)
IV_A	$2/3S_u$。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$2/3S_u$と$2.4S_m$の小さい方。 (1)	左欄の1.5倍の値 (1)	—	—	$1.2S_m$ (4)	$2S_y$ ($3S_y$) (5)	$1.6S_m$ (7)
III_AS	$1.5S_m$ (1)	左欄の1.5倍の値 (1)	—	—	$0.9S_m$	$1.5S_y$ ($2.25S_y$) (6)	$1.2S_m$
IV_AS	$2/3S_u$。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$2/3S_u$と$2.4S_m$の小さい方。 (1)	左欄の1.5倍の値 (1)	—	—	$1.2S_m$	$2S_y$ ($3S_y$) (6)	$1.6S_m$

注：(1)　告示第96条第1項第一号の崩壊荷重の下限に基づく評価（ただし，設計条件については同号イ，III_A及びIII_ASについては同号ロ，IV_A及びIV_ASについては同号ハの評価）を適用する場合は，この限りではない。

(2)　$3S_m$を超えるときは告示第97条の弾塑性解析を用いることができる。

(3)　告示第96条第1項第三号を満たすときは，疲れ解析を行うことを要しない。

(4)　告示第96条第1項第一号ヘによる。

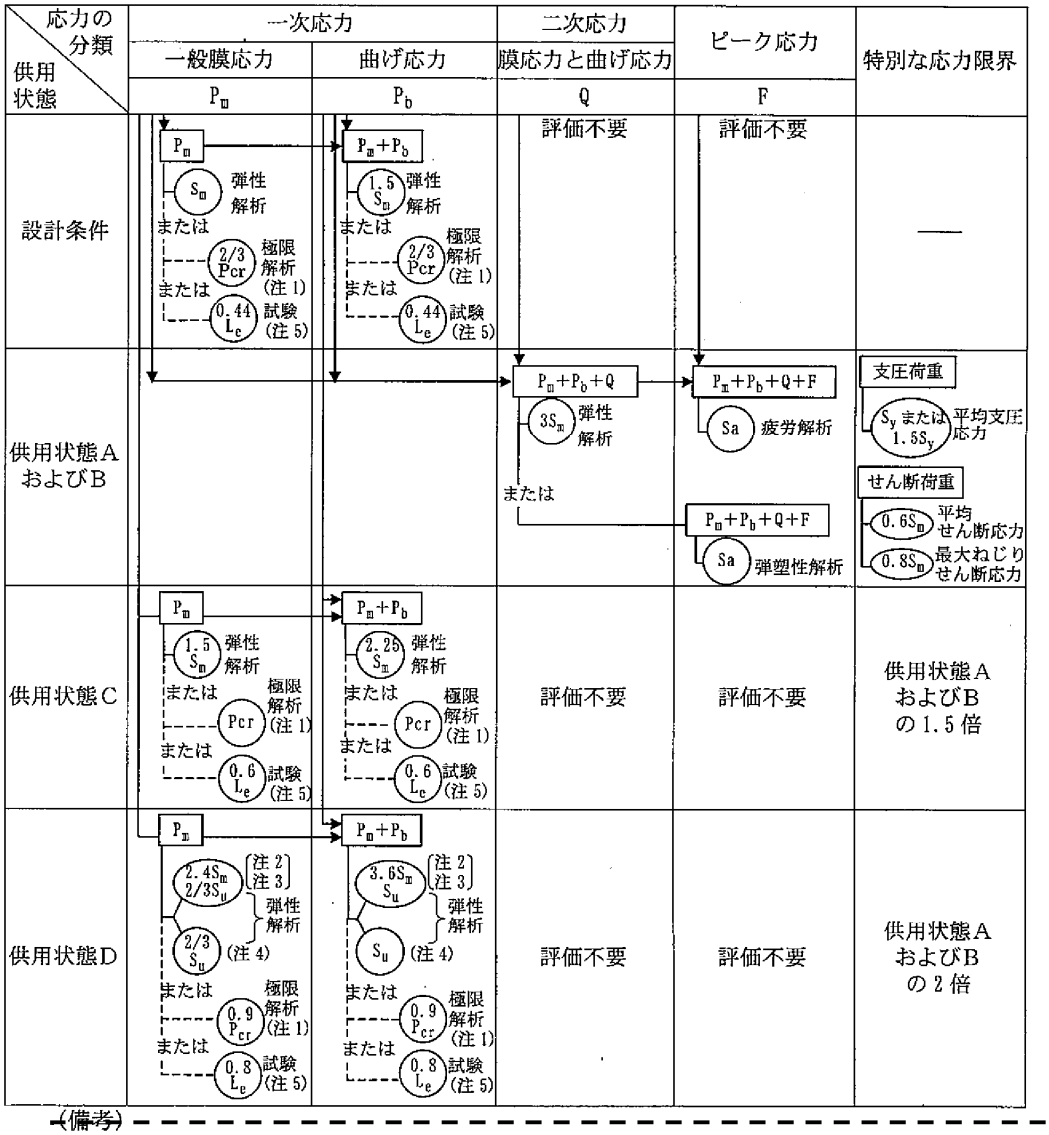
(5)　告示第96条第1項第一号トによる。（　）内の値は支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

(6)　（　）内の値は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

(7)　告示第96条第1項第一号リによる。

図３－２　ＪＥＡＧ4601　炉心支持構造物（ボルト等を除く）の許容値に関する抜粋

表 CSS-3110-1　応力強さの限界（ボルト等を除く）　05



(備考)

(注 1) 供用状態 D 以外の Pcr は 1.5 S_m の値を降伏点として計算した崩壊荷重の下限である。供用状態 D の Pcr は $MIN[2.3S_m, 0.7S_u]$ の値を降伏点として計算した崩壊荷重の下限である。

(注 2) 2 つのうちのいずれか小さい方の値をとる。

(注 3) オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金に適用する。

(注 4) オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金以外の材料に適用する。

(注 5) L_e はプロトタイプまたはモデル試験により評価を行う場合の最大荷重である。

(注 6) 実線は応力に基づく評価、破線は荷重に基づく評価を示す。

図３－３　ＪＳＭＥ 設計・建設規格　炉心支持構造物（ボルト等を除く）の許容値に関する抜粋

3.2　極限解析による評価

極限解析は，３次元ＦＥＭモデルを用いて，弾完全塑性体の物性値を入力した解析により崩壊荷重の下限（Pcr）を求め，求めた崩壊荷重の下限から許容荷重を設定するものである。極限解析フローを図３－４に示す。

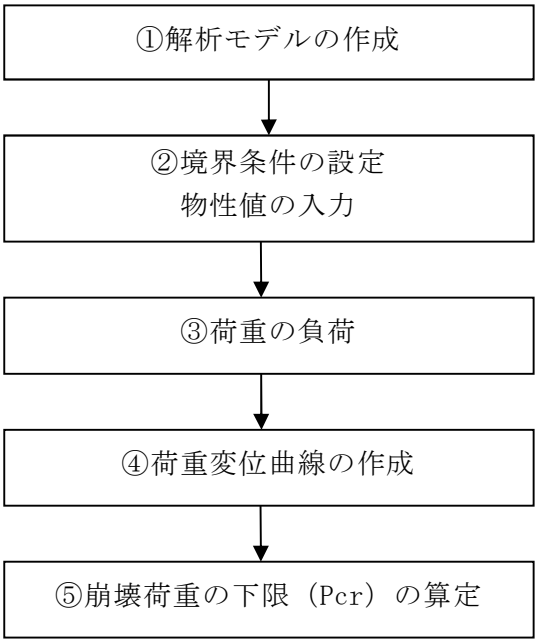


図３－４　極限解析フロー

①　解析モデルの作成

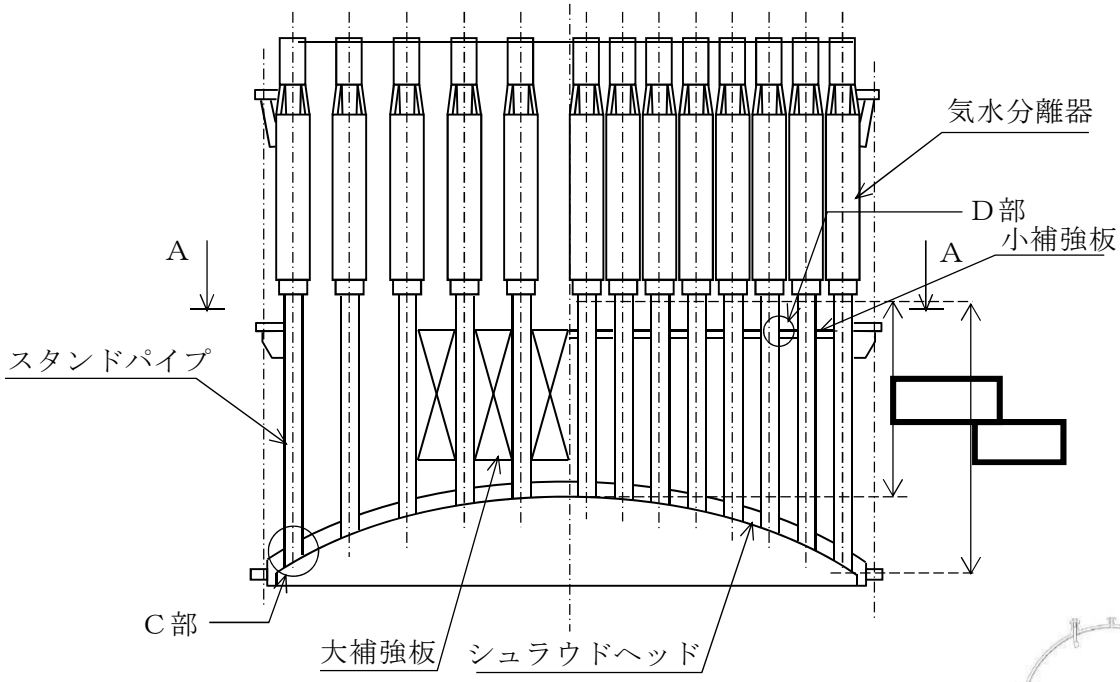
気水分離器及びスタンドパイプは，図３－５に示すとおり，シュラウドヘッド穴部に差し込まれ内外面を溶接にて取り付けている。気水分離器に作用する地震時の荷重は，スタンドパイプを介してシュラウドヘッドへ伝達される構造となっている。また，各スタンドパイプは大小の補強板で連結されている。

今回の評価では，１本のスタンドパイプが耐えることができる許容荷重を極限解析により求め，１本に掛かる地震荷重と比較することにより健全性を確認するため，解析においては，１本のスタンドパイプに着目してソリッド要素にてモデル化することとする。モデル図を図３－６に示す。

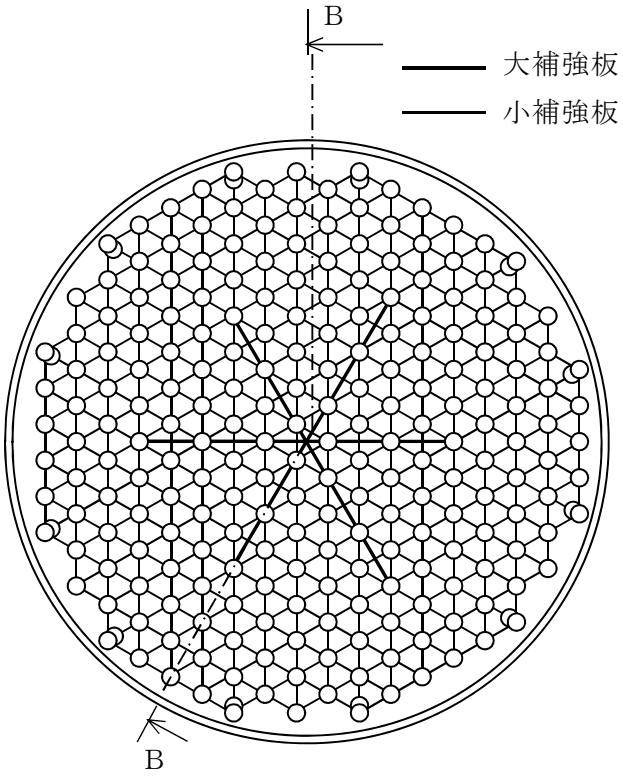
モデルは評価上厳しくなる構造不連続部であるスタンドパイプ付根部の許容荷重を設定する観点から，付根部を含むスタンドパイプの一部分（スタンドパイプ長さ1000㎜まで）をモデル化する。

また，解析モデルはスタンドパイプがシュラウドヘッドに対して平面に取り付く中

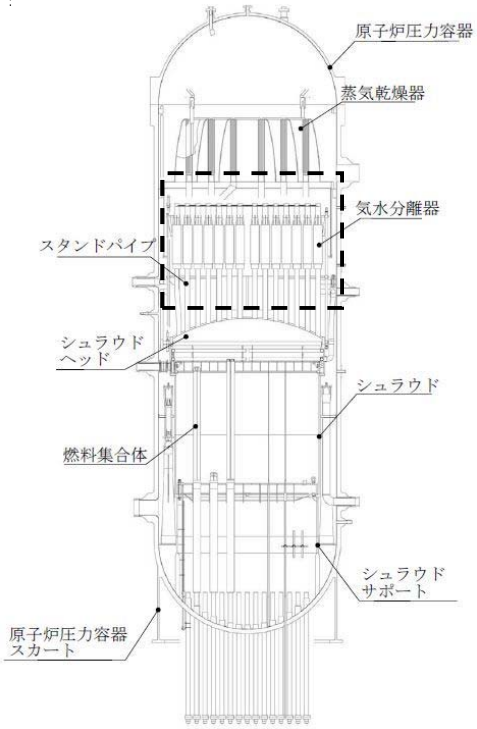
央位置及び斜めに取り付く最外周位置の２種類のモデルとする。



Ｂ～Ｂ断面図

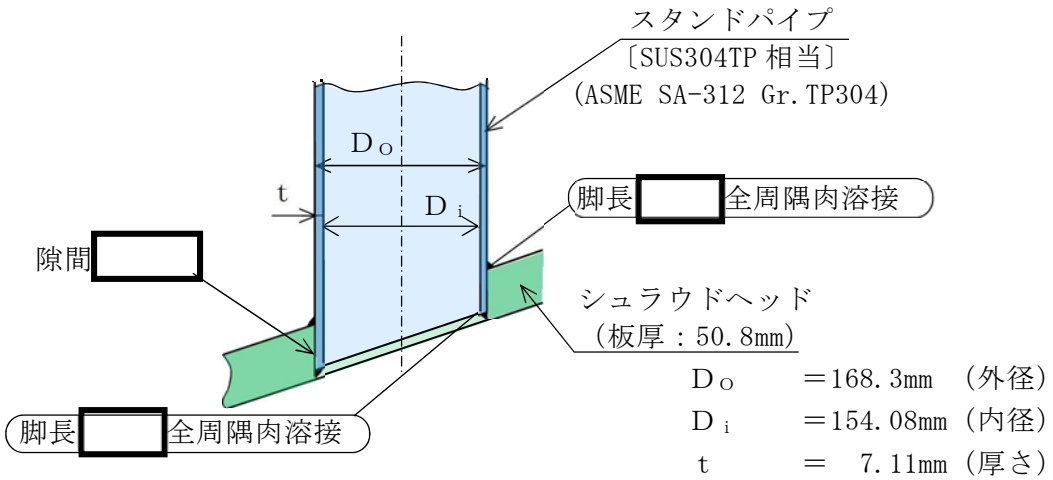


Ａ～Ａ断面図

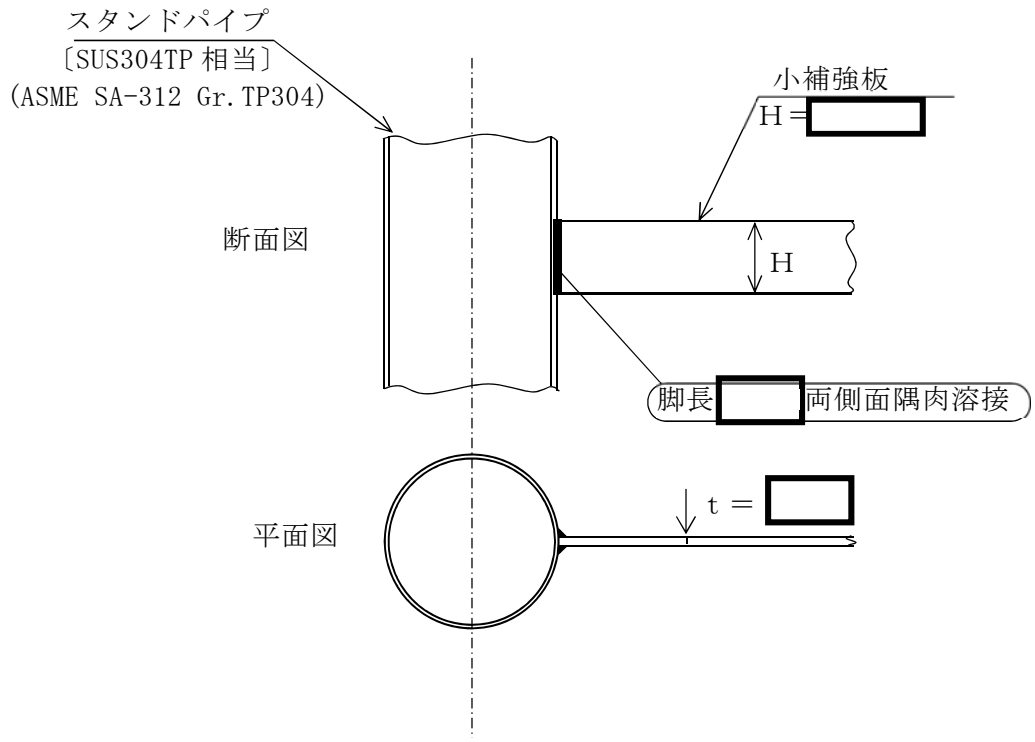


原子炉圧力容器内部構造物

図３－５　炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ）構造概要図(1/2)



C部断面図



D部詳細図

図３－５　炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ）構造概要図(2/2)

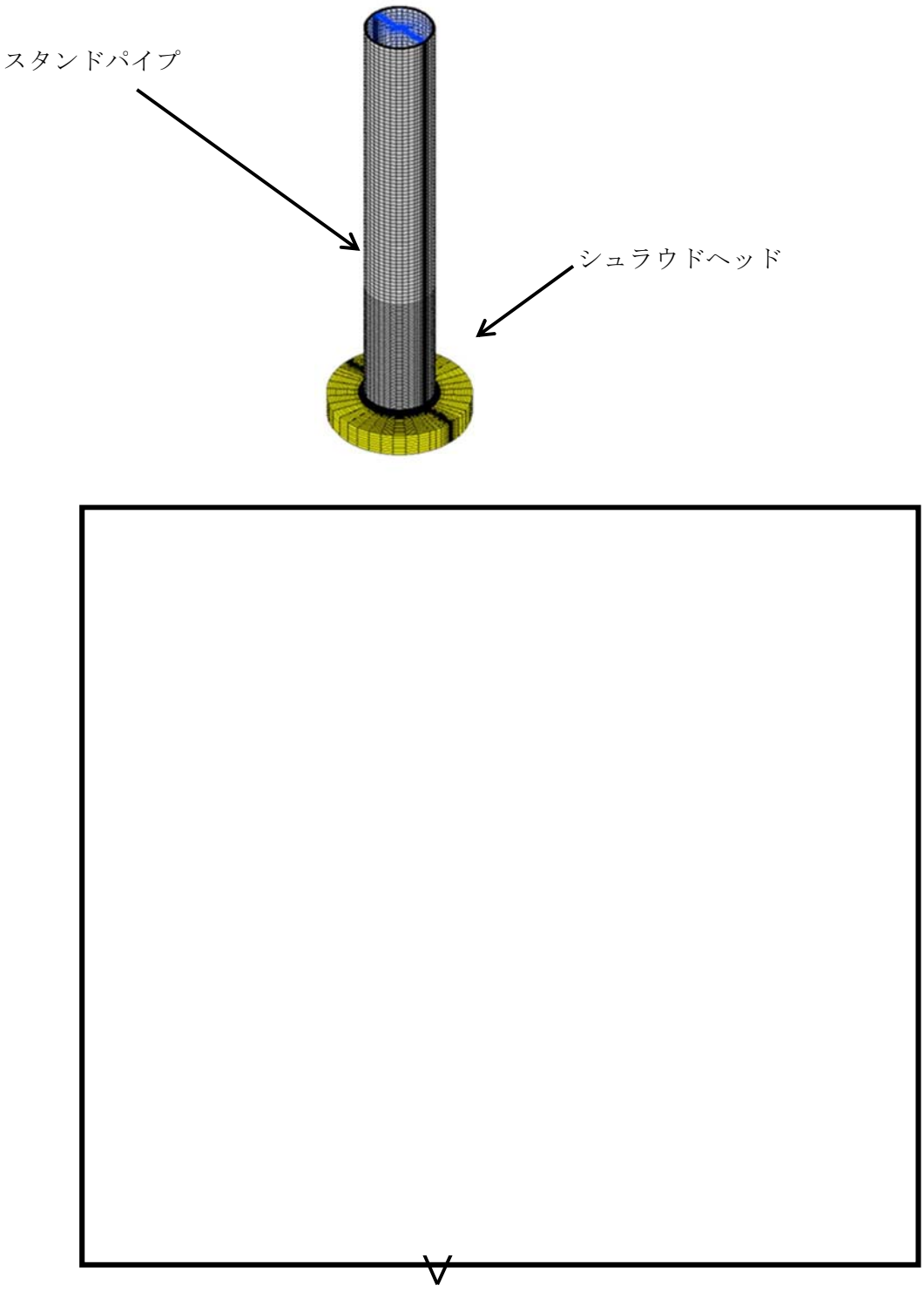


図３－６　極限解析に用いる解析モデル概要図（中央位置）

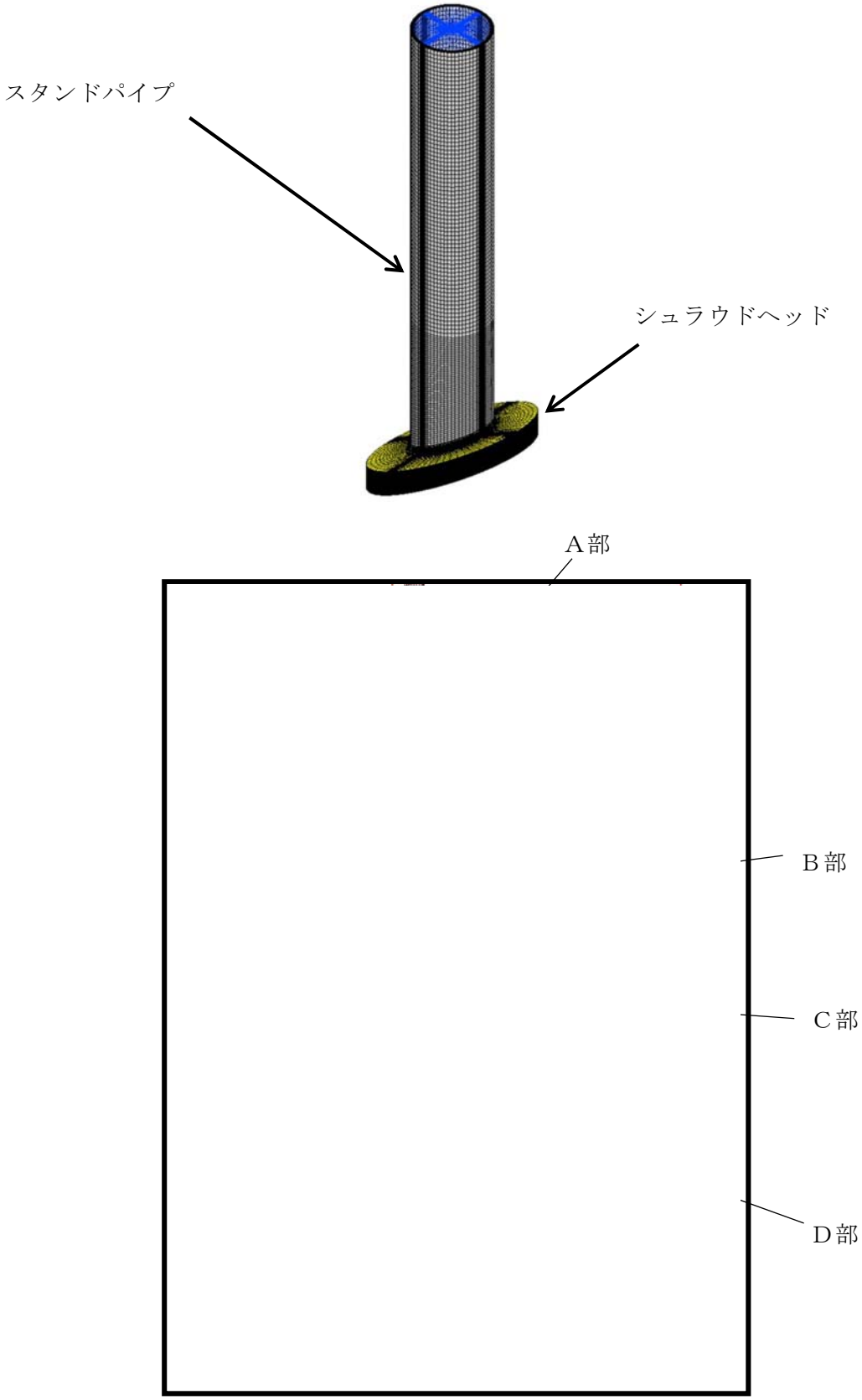
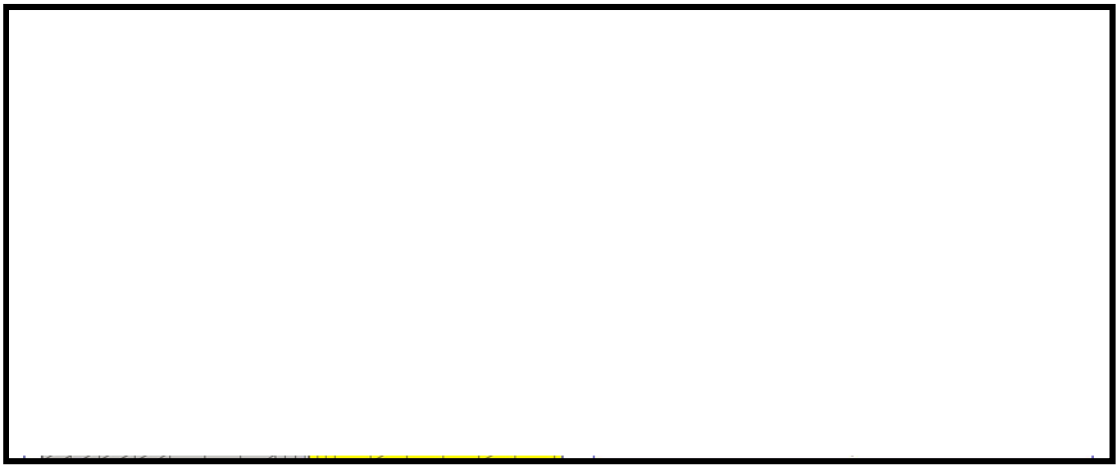


図３－６　極限解析に用いる解析モデル概要図（最外周位置）



Ａ部詳細　　Ｂ部詳細

Ｃ部詳細　　Ｄ部詳細

図３－６　極限解析に用いる解析モデル概要図（最外周位置）

② 境界条件及び物性値

解析モデルの境界条件を図３－７に示す。境界条件として，モデル化したシュラウドヘッドの端部を完全固定としている。

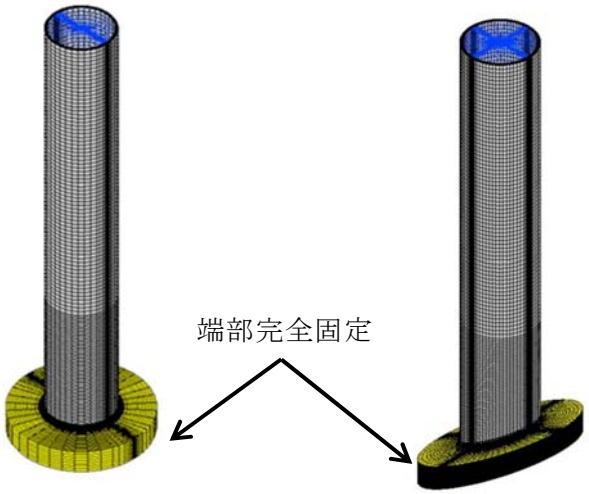


図３－７　解析モデルの境界条件

解析モデルの物性値は，許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$ における許容荷重を求める際には，ＪＳＭＥ設計・建設規格 CSS-3160 に規定されているとおり，2.3Sm と 0.7Su の小さい方を材料の降伏点とした弾完全塑性体，許容応力状態$\mathrm{III_AS}$ における許容荷重を求める際には，同じく，1.5Sm を材料の降伏点とした弾完全塑性体を入力する(表３－３，図３－８ 参照)。また，シュラウドヘッドとスタンドパイプは溶接にて取り付けられており，溶接部は母材と同等の強度を有しているため，物性値は母材と同じとしている。

表３－３　解析モデルに使用する材料の物性値

材料	ヤング率 $\times 10^5$[MPa]	降伏応力[MPa]		
		許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$		許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$
		0.7Su	2.3Sm	1.5Sm
スタンドパイプ SUS304TP	1.76	273	264	172
シュラウドヘッド SUS304				

注：運転状態Ⅰ及びⅡの最高使用温度（３０１℃）に対する物性値を使用

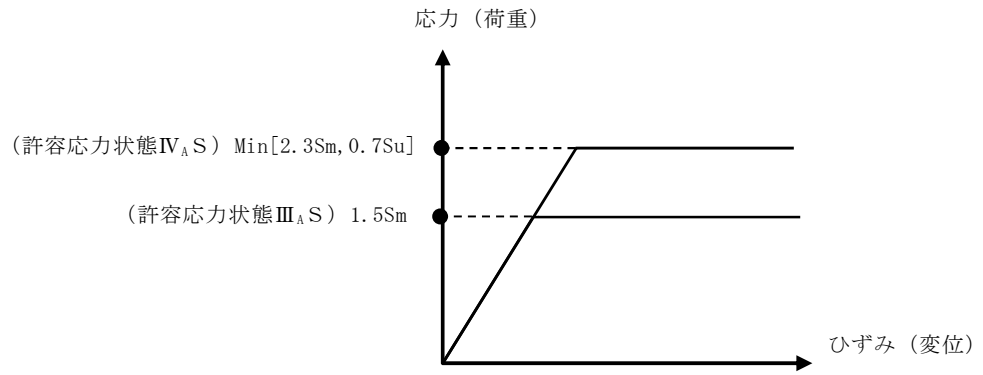


図３－８　弾完全塑性体として応力とひずみの関係

③　荷重の負荷

(1)　荷重の負荷に対する考慮

スタンドパイプはシュラウドヘッドとの取付部である付根部が構造不連続部であり評価上厳しい部位となるため，付根部が耐えることができる許容荷重を極限解析にて求める。

付根部の許容荷重と地震荷重との比較のため，地震荷重が有する３成分（水平荷重，鉛直荷重，モーメント）を有する負荷荷重とし，地震荷重の３成分のそれぞれの比率が等しくなるように負荷荷重を設定する。

また，荷重の負荷位置については，地震時に受ける荷重との整合性の観点から，モデル上端面から荷重を負荷する（以下，「入力荷重」という。）。

入力荷重に対して付根部が受ける荷重（以下，「出力荷重」という。）には，出力荷重の方が入力荷重の水平荷重によるモーメントの分だけ荷重が増加する。このため，出力荷重に対して地震荷重が有する３成分の比率が等しくなるように入力荷重を設定する。

(2)　荷重の負荷方向に対する考慮

a.　鉛直荷重方向

鉛直荷重の入力方向については，自重による荷重分だけ下向き方向の方が厳しい評価となるため，鉛直荷重は下向きとする。

b.　水平荷重方向

(a)　中心位置モデル

中心位置の水平荷重方向については，鉛直方向に対して軸対称モデルであることから，入力方向に対して許容荷重への影響はないと考えられるため，１方向とする。

(b)　最外周位置モデル

最外周位置の水平荷重方向については，鉛直方向に対して面対称モデルであることから，入力方向に対して許容荷重への影響があると考えられることから入力方向に対する検討を行う。

具体的には，入力荷重を中心方向，中心方向と反対のリング方向，周方向の３ケースについて実施する。

c.　モーメント方向

モーメントの入力方向については，中心位置及び最外周位置共に，地震荷重との方向の整合性の観点から水平荷重方向と同じ向きとする。

中心位置及び最外周位置の入力荷重方向を図３－９に示す。

(3)　入力荷重の設定

入力荷重と出力荷重の関係はつり合いの関係から，以下のとおりとなる。(図３－１０参照)

a.　鉛直荷重

入力荷重と出力荷重は等しくなる

b.　水平荷重

入力荷重と出力荷重は等しくなる

c.　モーメント

入力荷重に対して出力荷重は，水平の入力荷重と入力荷重位置と出力荷重位置の距離によるモーメントの分だけ荷重の絶対値は増加する。

(4)　その他初期設定条件

入力荷重の他に初期設定条件として，圧力差(0.10MPa)による荷重及び自重による荷重を考慮する。

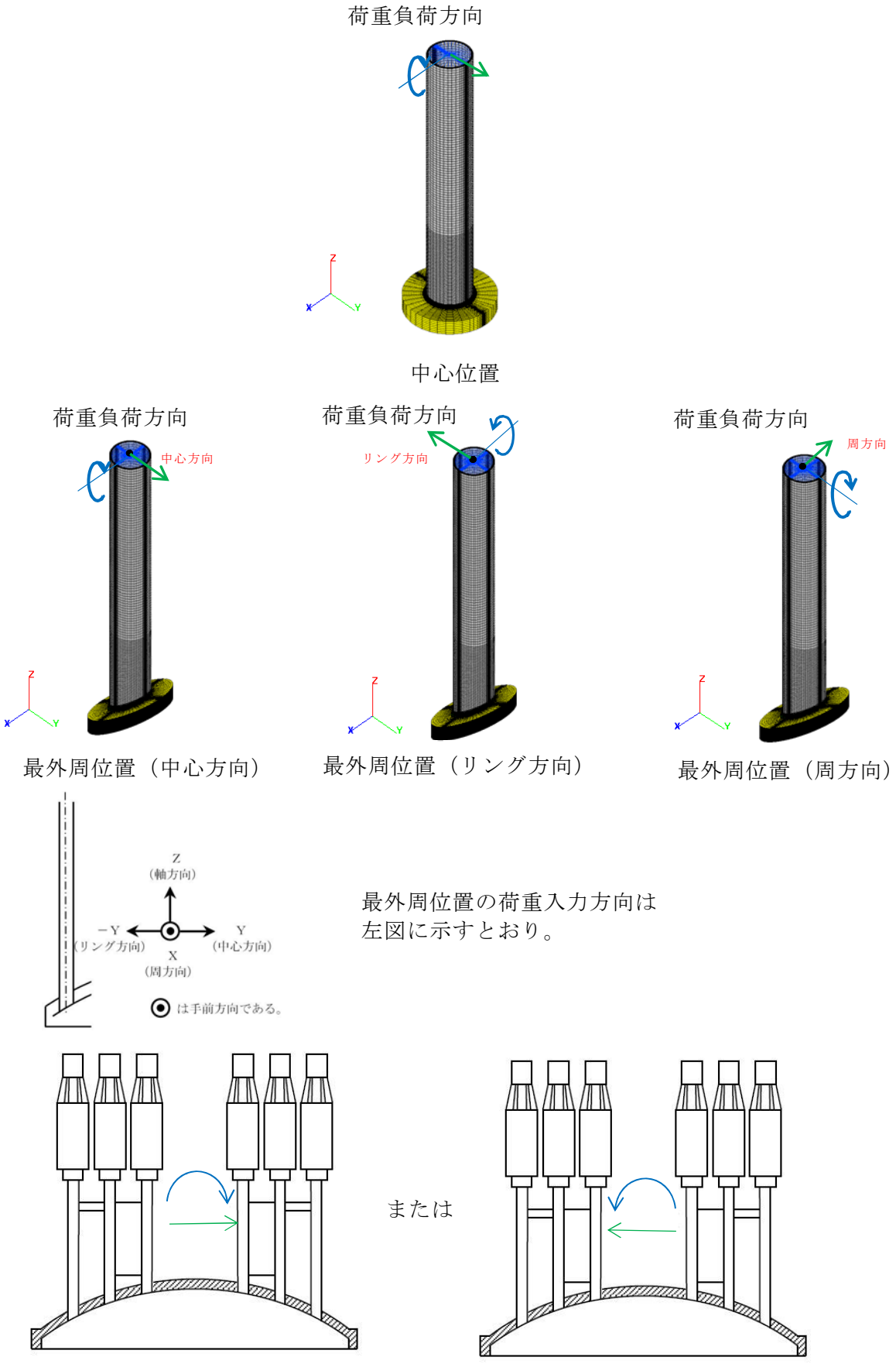
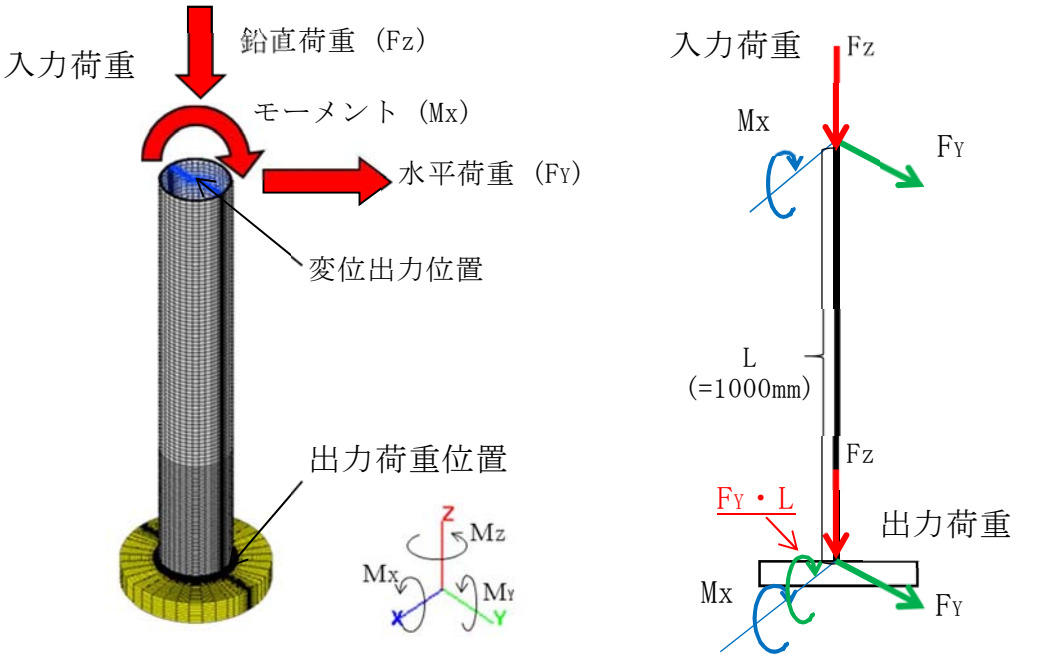


図３－９　入力荷重の方向と地震荷重方向の関係



入力荷重と出力荷重の関係

評価用入力荷重（Ｓｓ地震用　倍率 1.0 倍時）

入力荷重成分		Ｓｓ地震評価用
鉛直荷重	$F_{Z(IN)}$	-1819.26[N]
水平荷重	$F_{Y(IN)}$	10251.9[N]
モーメント	$M_{X(IN)}$※	-1.91312×10^{7}[N･mm]

※スタンドパイプ付根部が受ける荷重（出力荷重）と地震荷重の鉛直，水平，モーメントの比率のそれぞれが等しくなるようにするため，入力荷重のモーメントは水平荷重F_Yによってスタンドパイプ付根部に発生するモーメント（F_Y・Ｌ）を出力荷重から除いた値としている。

入力荷重と出力荷重の関係

$$|M_{X(OUT)}| = |M_{X(IN)}| + |F_Y \cdot L|$$

$M_{X(OUT)}$：出力荷重（モーメント）

F_Y・Ｌ：付根部までの距離（Ｌ）により付根部に発生する荷重（モーメント）

評価用出力荷重（Ｓｓ地震用　倍率 1.0 倍時）

出力荷重成分		Ｓｓ地震評価用
鉛直荷重	$F_{Z(OUT)}$	-1819.26[N]
水平荷重	$F_{Y(OUT)}$	10251.9[N]
モーメント	$M_{X(OUT)}$	-2.93831×10^{7}[N･mm]

Ｓｓ地震荷重（平均地震荷重）

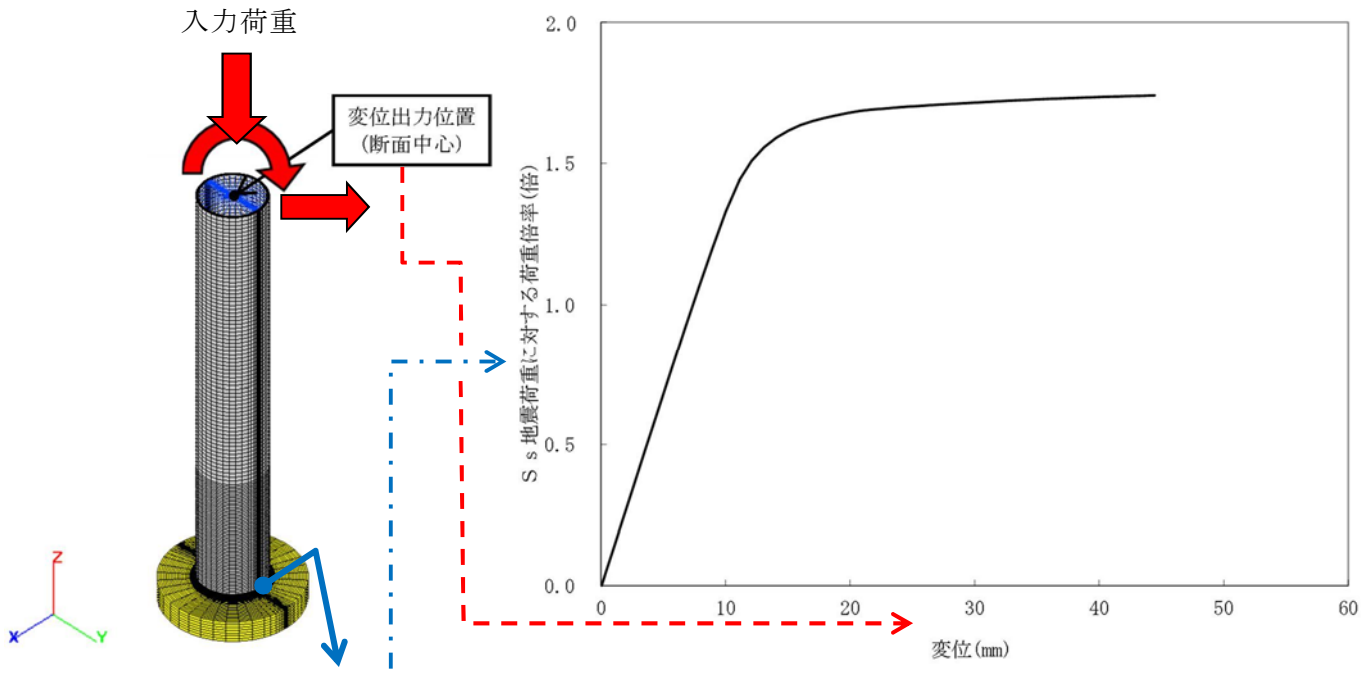
荷重成分		Ｓｓ地震
鉛直荷重	F_Z	-1819.26[N]
水平荷重	F_Y	10251.9[N]
モーメント	M	-2.93831×10^{7}[N･mm]

図３－１０　荷重の負荷

④　荷重変位曲線の作成

入力荷重の倍率を段階的に増加させ付根部に荷重を負荷し，ＦＥＭ解析にてその時の付根部の荷重（出力荷重）と変位（上端部中心位置）をプロットし，荷重－変位曲線を作成する（図３－１１参照）。

なお，荷重－変位曲線の荷重は出力荷重をＳｓ 又はＳｄ 地震荷重で除した各地震荷重に対する荷重倍率で示す。



出力荷重（Ｓｓ地震荷重×倍率として整理）

図３－１１　荷重変位曲線の作成（Ｓｓ地震に対する評価の例，中心位置の場合）

⑤　崩壊荷重の下限（Pcr）の算定

④にて作成した荷重変位曲線を基に崩壊荷重の下限（Pcr）を算定する。

Ｓs地震時及びＳd地震時の崩壊荷重の下限（Pcr）の算定結果を図３－１２～１７及び表３－４に示す。Ｓｓ地震荷重及びＳd地震荷重は時刻歴応答解析に地盤物性のばらつきに対する考慮として，それぞれの地震荷重を1.5倍している。また，最外周については，Ｓｓ地震荷重に対して裕度が低い周方向ケースにて代表して評価を実施している。

ここで，崩壊荷重の下限は，ＪＳＭＥ　設計・建設規格 CSS-3160 から「荷重とそれによる変形量の関係直線に対して，弾性範囲の関係曲線の勾配の 2 倍の勾配を有する直線が交わる点に相当する荷重」と定義されている（図３－１８参照)。

崩壊荷重とは，ひずみ硬化を含まない理想的な弾完全塑性体の材料からなる構造物が荷重を受けて，全断面降伏又は座屈限界に達し，これ以上の荷重を加えると構造物が不安定になって変形が際限なく増加するときの荷重をいう。

算定結果から中央位置と最外周位置では若干ではあるが中央位置のほうが厳しい結果となっている。これは，３次元ＦＥＭモデルで詳細にモデル化した場合，斜めに取り付く方が付根部の溶接長さが若干増加し，Pcr が増加したものと考えられる。

今回の極限解析では直接荷重を負荷することにより付根部に局所応力の影響を受けないようシュラウドヘッドからの距離を十分に取る観点から，モデル長さを 1000㎜とし，荷重を負荷し，その位置での変位を変位出力位置としている。モデル長さを変化させた場合，出力荷重である付根部の荷重は，上端面からの入力荷重にモデル長さが変わることで変わる水平荷重によるモーメントの影響を考慮して長さを変える前と同じにしていることから変化しない。

モデル長さを 1000㎜,1500㎜,2000㎜,2500㎜ に変化させた場合の荷重変位曲線を図３－１９に，評価結果を表３－５に示す。変位量は変化するが，長さを変えた場合においても崩壊荷重の下限（Pcr）に対して影響がないことを確認した。これは，構造物が不安定になって変形が際限なく増加するときの挙動は構造不連続部である付根部によるものであり，モデル長さを変化させた場合においても，変形挙動は変化しないためである。

崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図を図３－２０～２３に示す。スタン

ドパイプとシュラウドヘッドの付根部に最大応力・ひずみが発生し，約 13%の相当塑性ひずみが断面内の極一部で発生しているが，断面全体としては塑性域が広がっておらず，塑性崩壊は起きていない。

また，スタンドパイプの材料であるオーステナイト系ステンレス鋼は延性材料であり，材料の伸びの規格値は 34%である。今回の最大ひずみが生じている箇所は溶接部であるが，これに比べても十分に小さい。極限解析は，規格に基づき弾完全塑性体としてモデル化し評価を実施しているため，本評価体系においても保守性を有している。以上から局所的に生じている約 13%相当のひずみにより崩壊は至らないものと考える。

シュラウドヘッドに差し込まれたスタンドパイプとシュラウドヘッドとの間の変位は微小であり，スタンドパイプとシュラウドヘッドが接触していないことを確認している。これは，シュラウドヘッドに差し込まれたスタンドパイプは両端を溶接で固定することで，変位が微小になったものと考える。

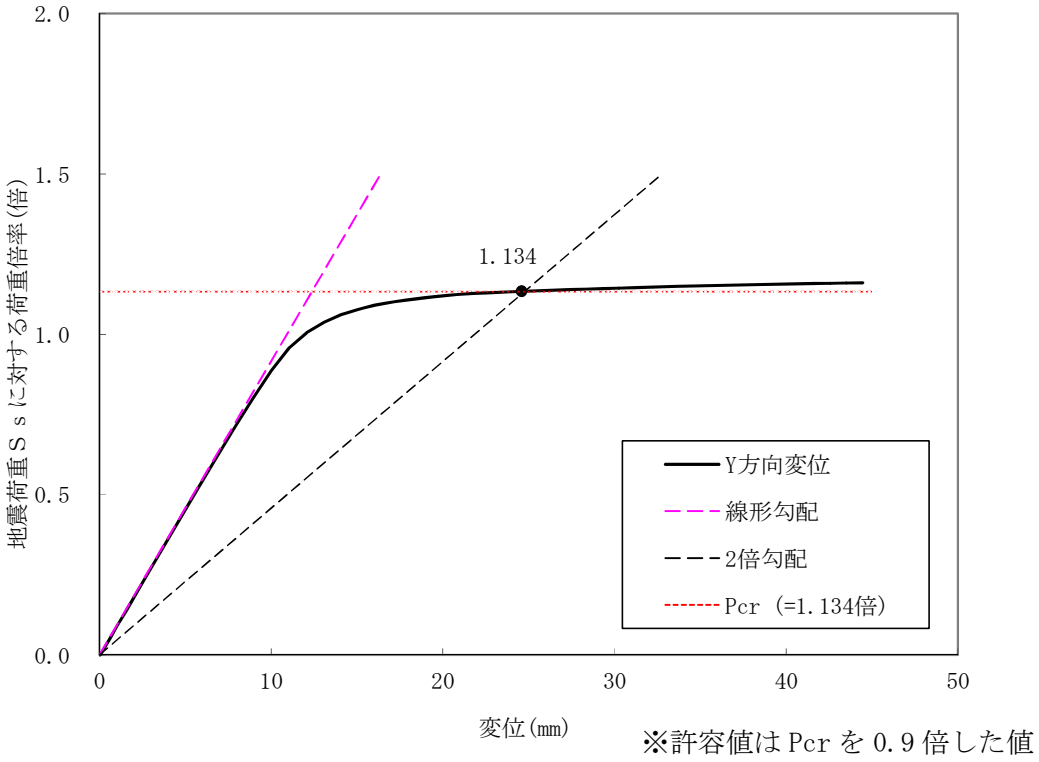


図３－１２　Ｓs地震時の崩壊荷重の下限の算定結果（中心位置）

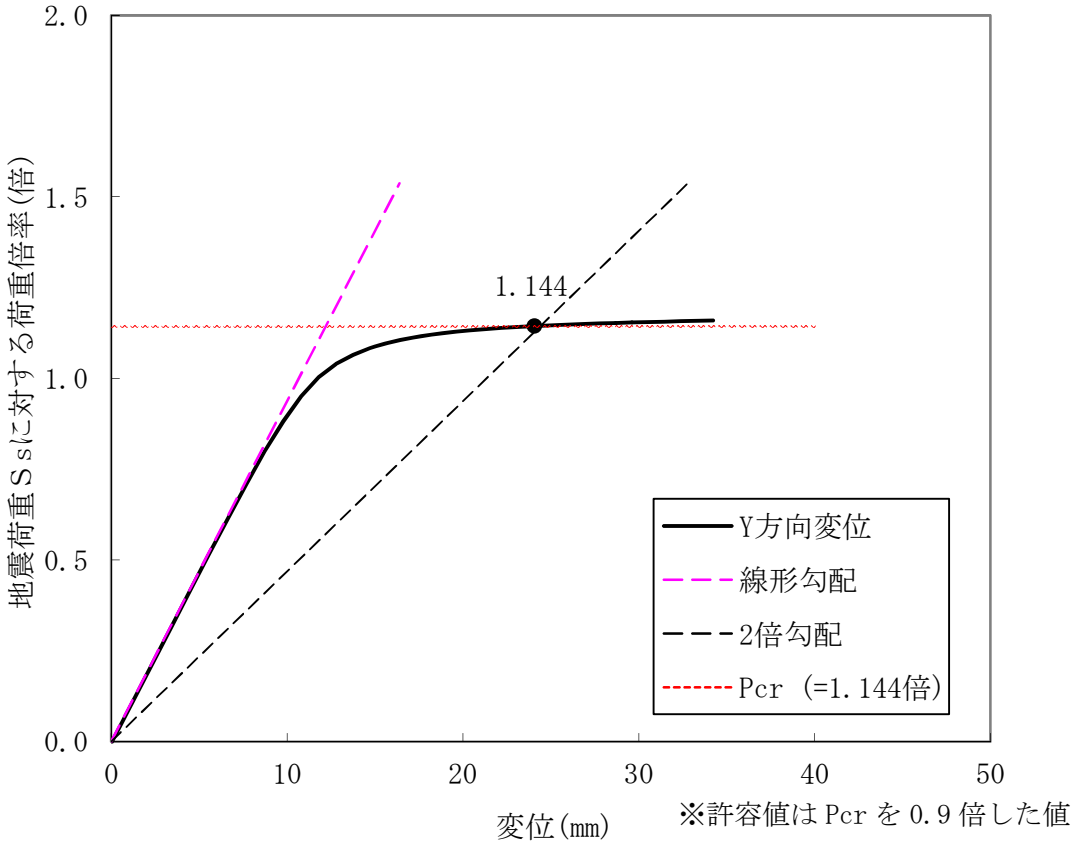


図３－１３　Ｓs地震時の崩壊荷重の下限の算定結果

（最外周位置　中心方向に荷重負荷）

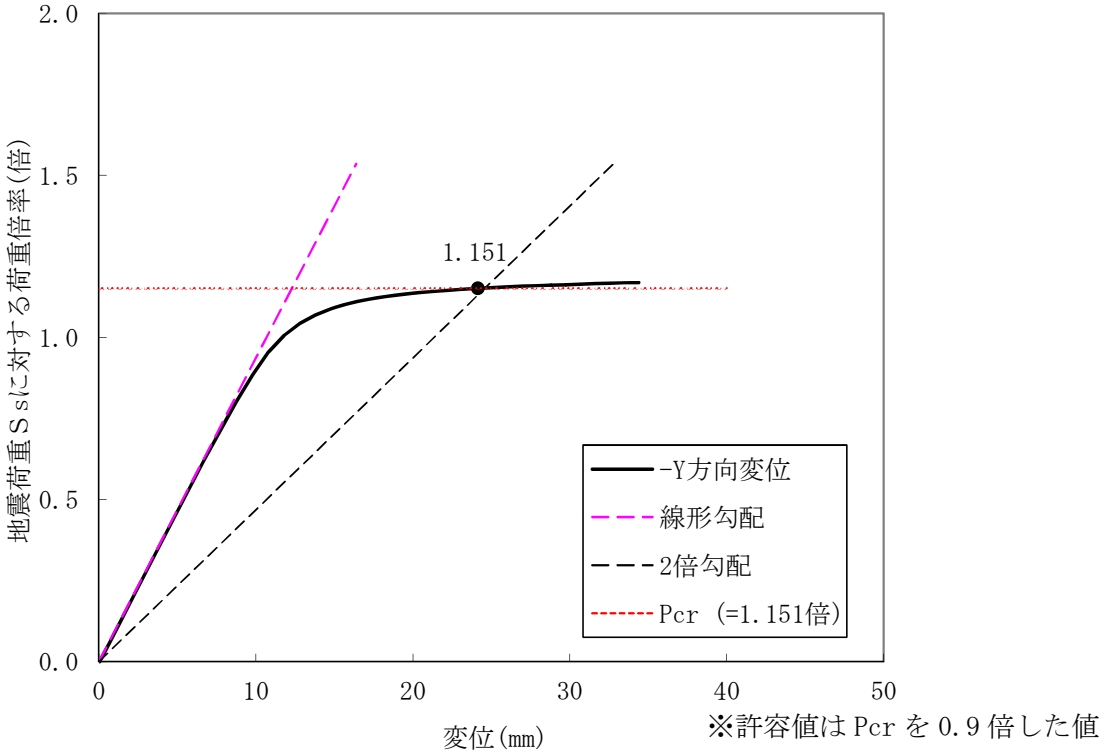


図３－１４　Ｓｓ地震時の崩壊荷重の下限の算定結果

（最外周位置　リング方向に荷重負荷）

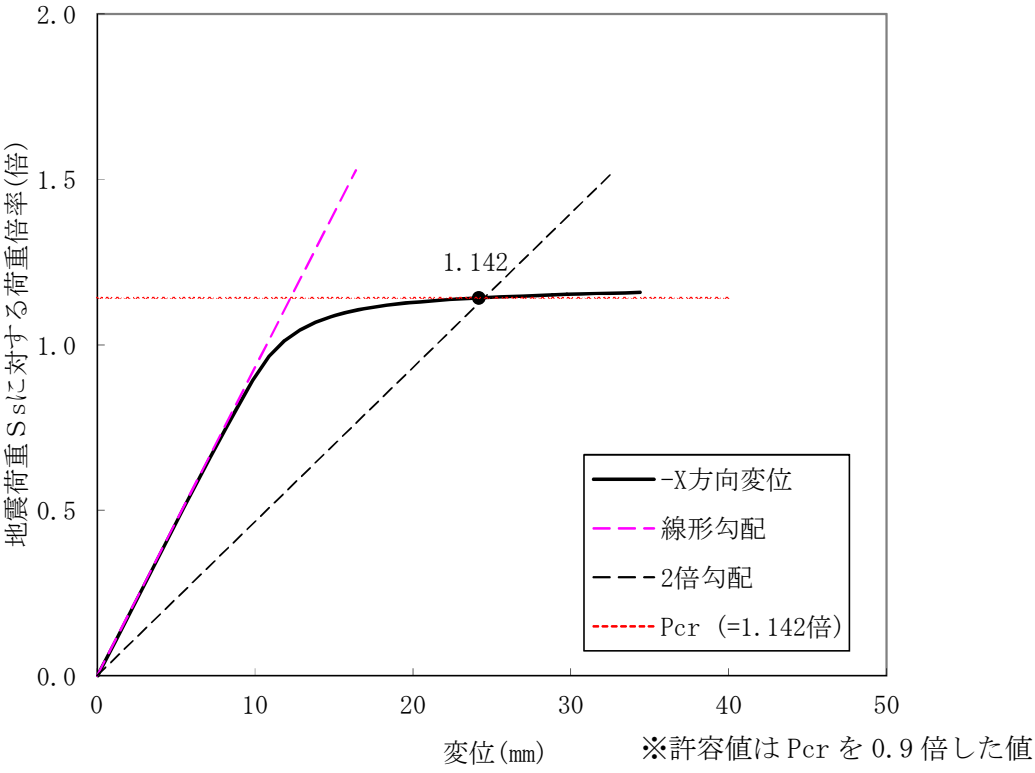
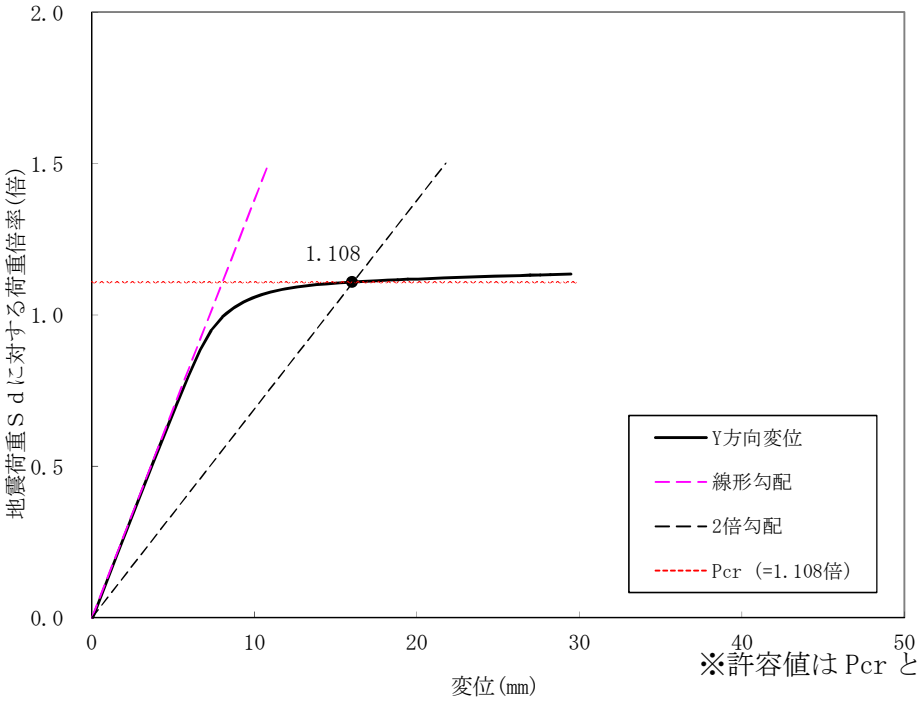


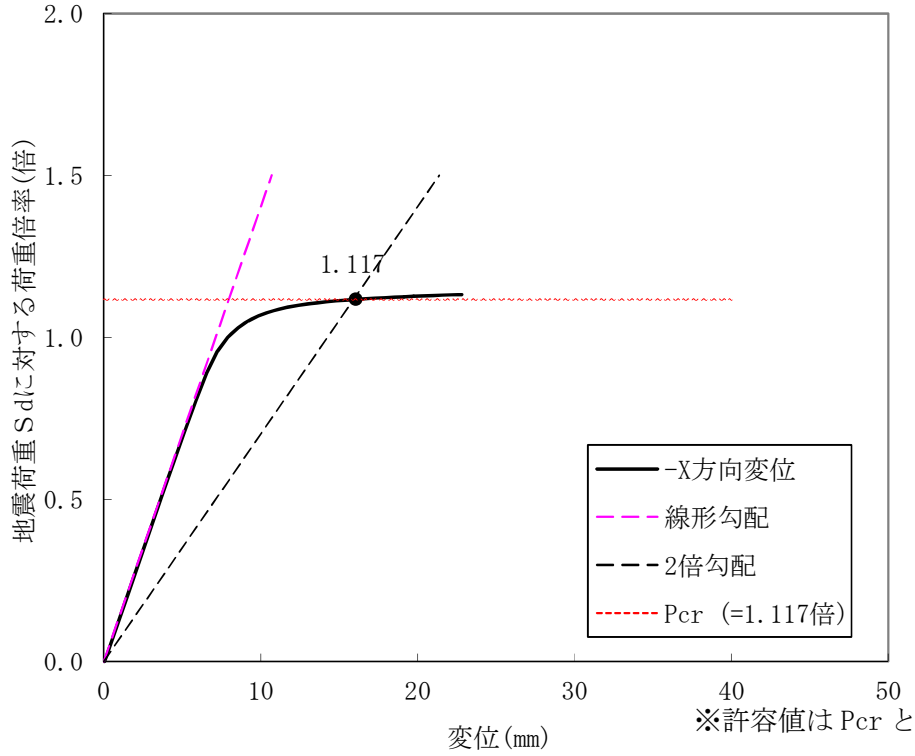
図３－１５　Ｓｓ地震時の崩壊荷重の下限の算定結果

（最外周位置　周方向に荷重負荷）



※許容値は Pcr と同じ値

図３－１６　Ｓ$_d$地震時の崩壊荷重の下限の算定結果（中心位置）



※許容値は Pcr と同じ値

図３－１７　Ｓ$_d$地震時の崩壊荷重の下限の算定結果（最外周位置　周方向に荷重負荷）

表３－４　崩壊荷重の下限の算定結果

スタンドパイプ位置	水平力及びモーメント負荷方向	許容応力状態	裕度（Pcr/地震荷重）	裕度※２（許容荷重/地震荷重）
中央部	―	$\mathrm{IV_AS}$	1.134	1.02
最外周部	中心方向	$\mathrm{IV_AS}$	1.144	1.02
	リング方向	$\mathrm{IV_AS}$	1.151	1.03
	周方向	$\mathrm{IV_AS}$	1.142	1.02
中央部	―	$\mathrm{III_AS}$	1.108	1.10
最外周部	周方向※１	$\mathrm{III_AS}$	1.117	1.11

※１：中心方向，リング方向，周方向のうち$\mathrm{IV_AS}$の裕度が最も低いものを実施
※２：設計・建設規格 CSS-3160 に基づき許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$は 0.9Pcr，
　　許容応力状態$\mathrm{III_AS}$は Pcr を許容荷重としている。

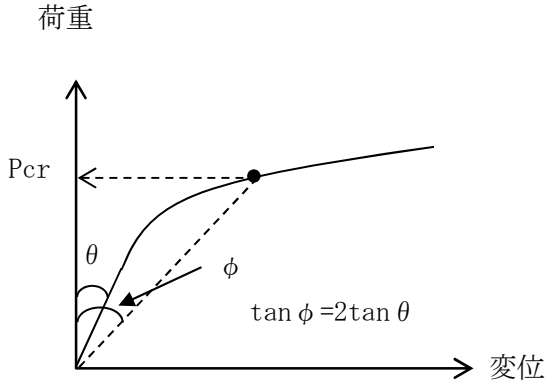
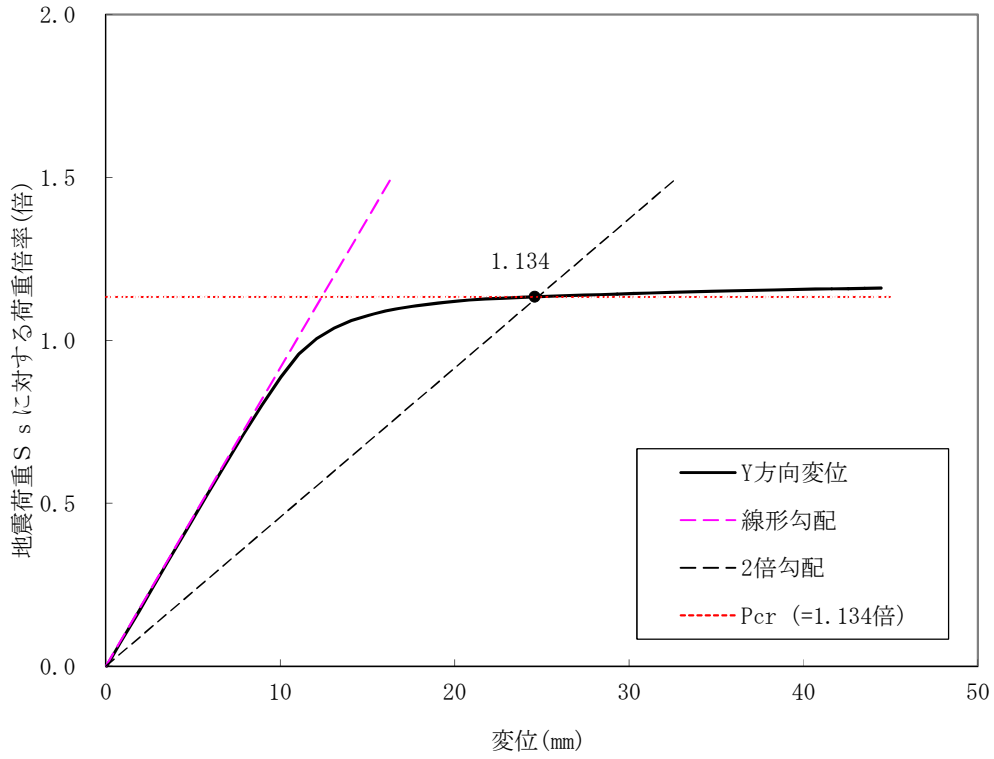
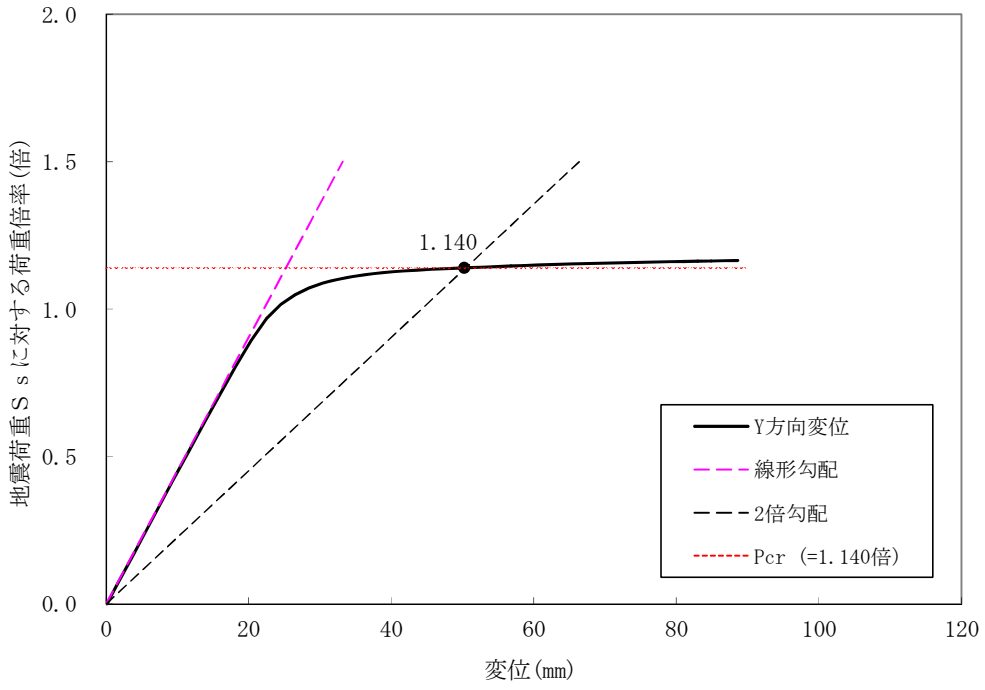


図３－１８　崩壊荷重の下限（Pcr）の定義

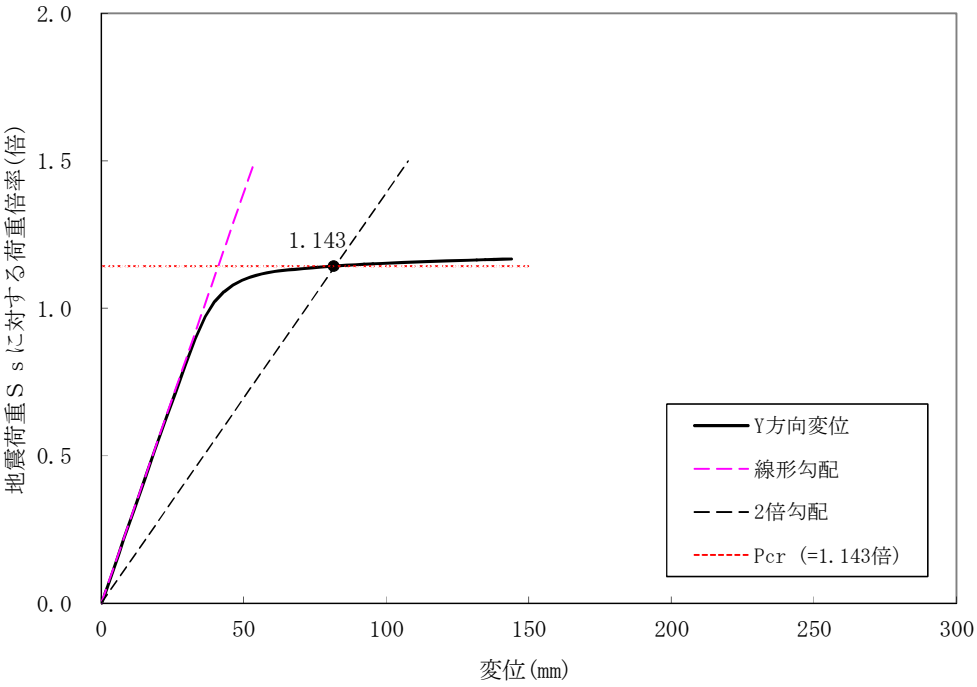


モデル長さ 1000m の場合

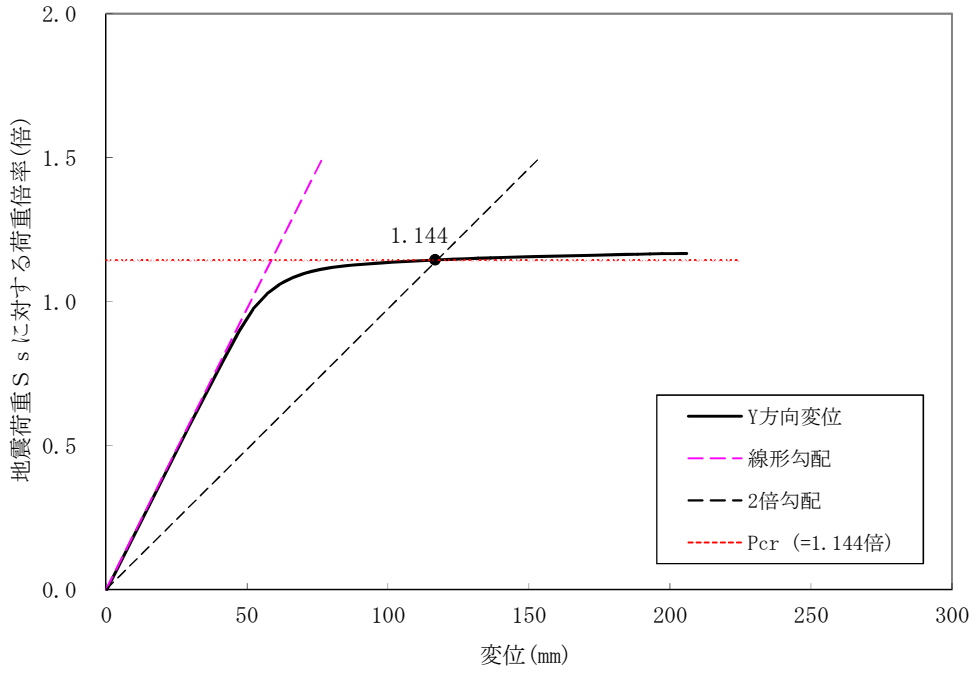


モデル長さ 1500mm の場合

図３－１９　長さを変化させた場合の極限解析結果（１／２）



モデル長さ 2000mm の場合



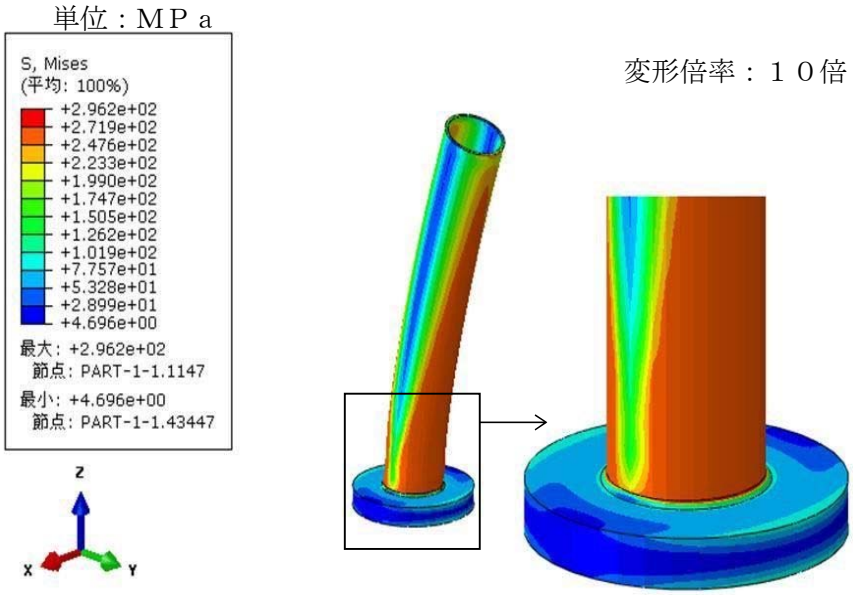
モデル長さ 2500mm の場合

図３－１９　長さを変化させた場合の極限解析結果（２／２）

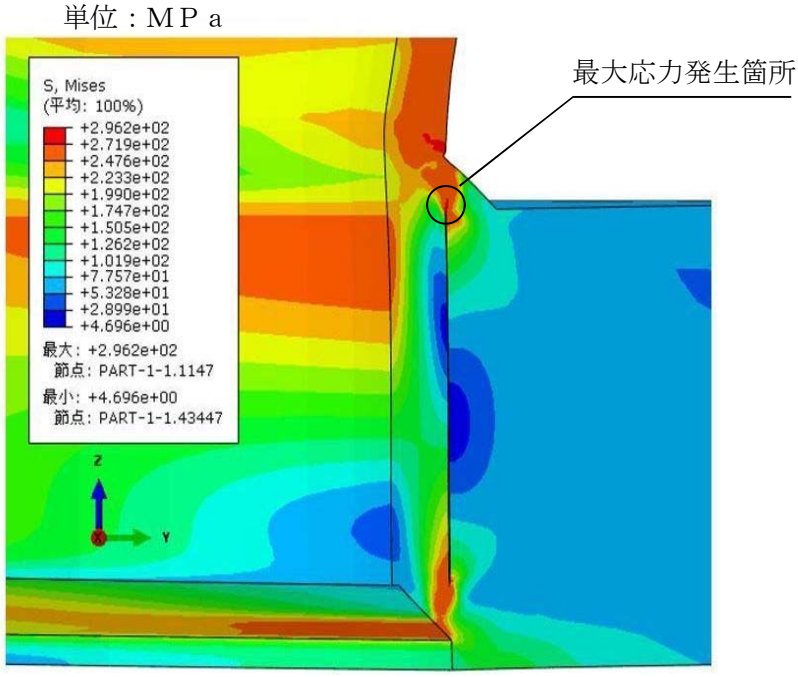
表３－５　モデル長さを変化させたときの影響検討結果

モデル長さ [mm]	許容応力 状態	裕度 (Pcr/地震荷重)	裕度※ (許容荷重/地震荷重)
1000	$\mathrm{IV_AS}$	1.134	1.02
1500	$\mathrm{IV_AS}$	1.140	1.02
2000	$\mathrm{IV_AS}$	1.143	1.02
2500	$\mathrm{IV_AS}$	1.144	1.02

※：設計・建設規格 CSS-3160 に基づき許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$は 0.9Pcr を許容荷重としている。



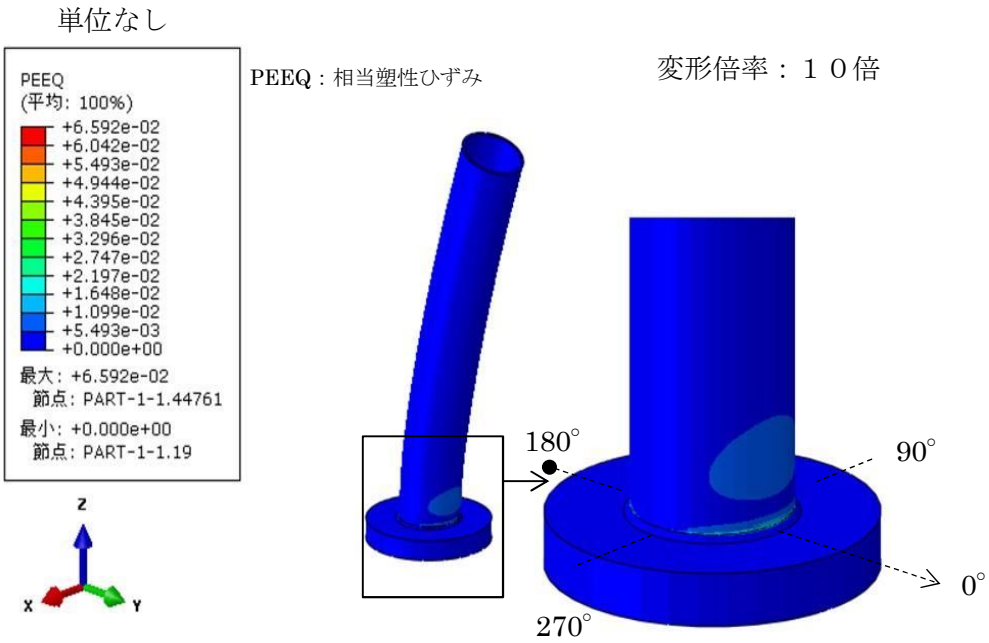
全体図



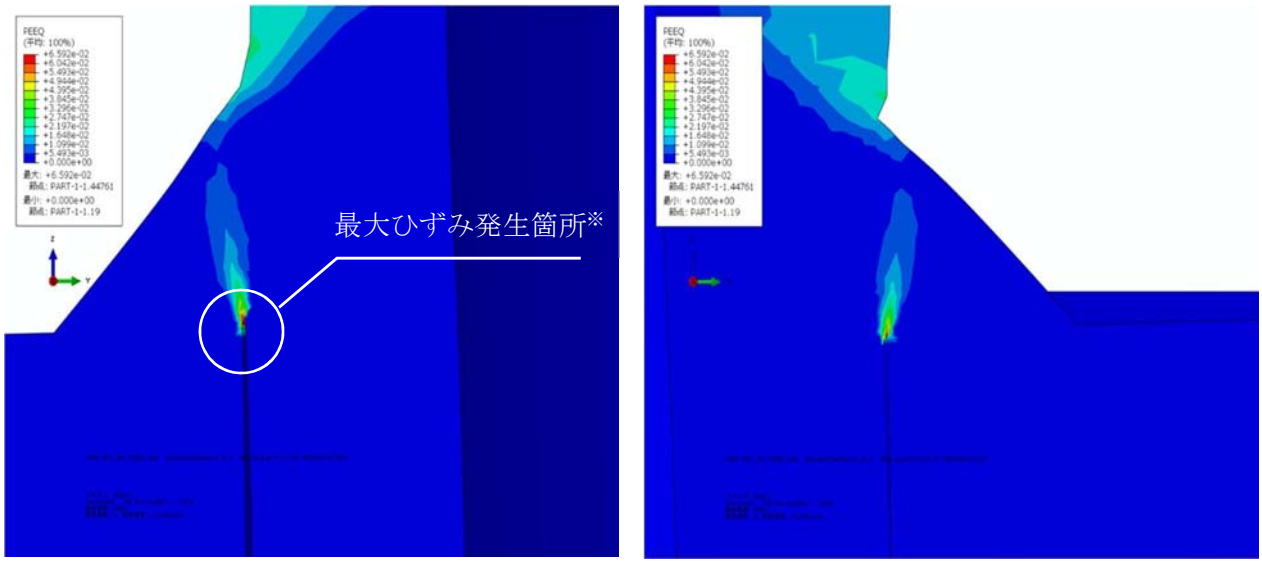
断面図

応力分布図

図３－２０　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布（中心位置）(1/5)



全体図



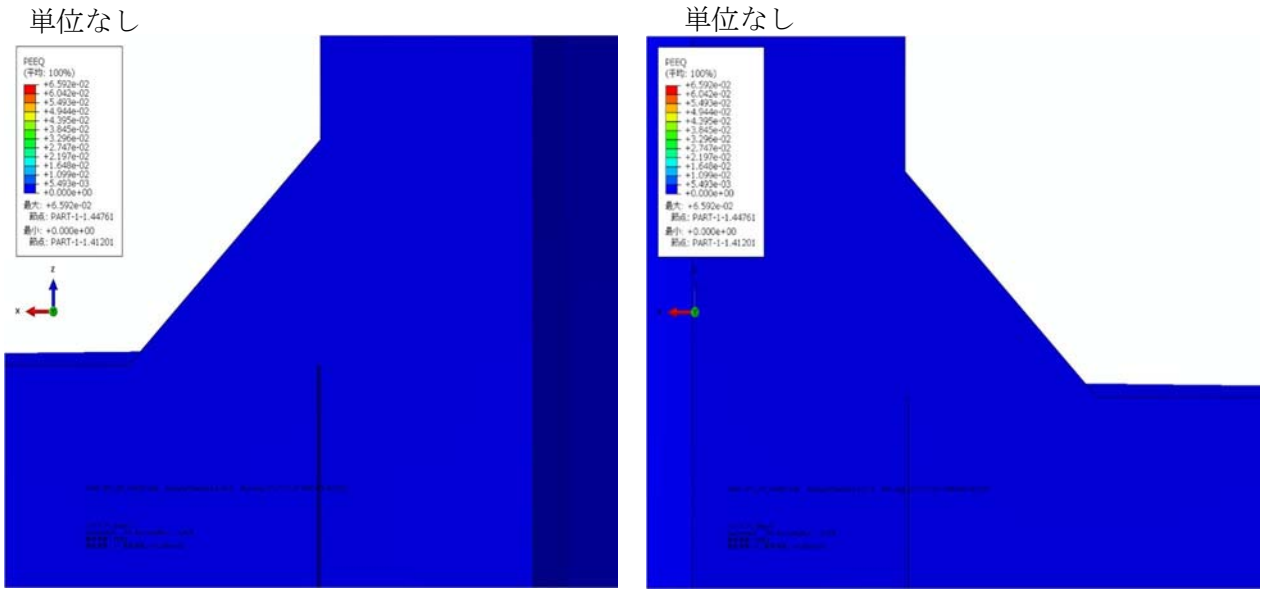
180°位置　　0°位置

ひずみ分布図

※：最大ひずみはシュラウドヘッド鏡板表面位置

断面図

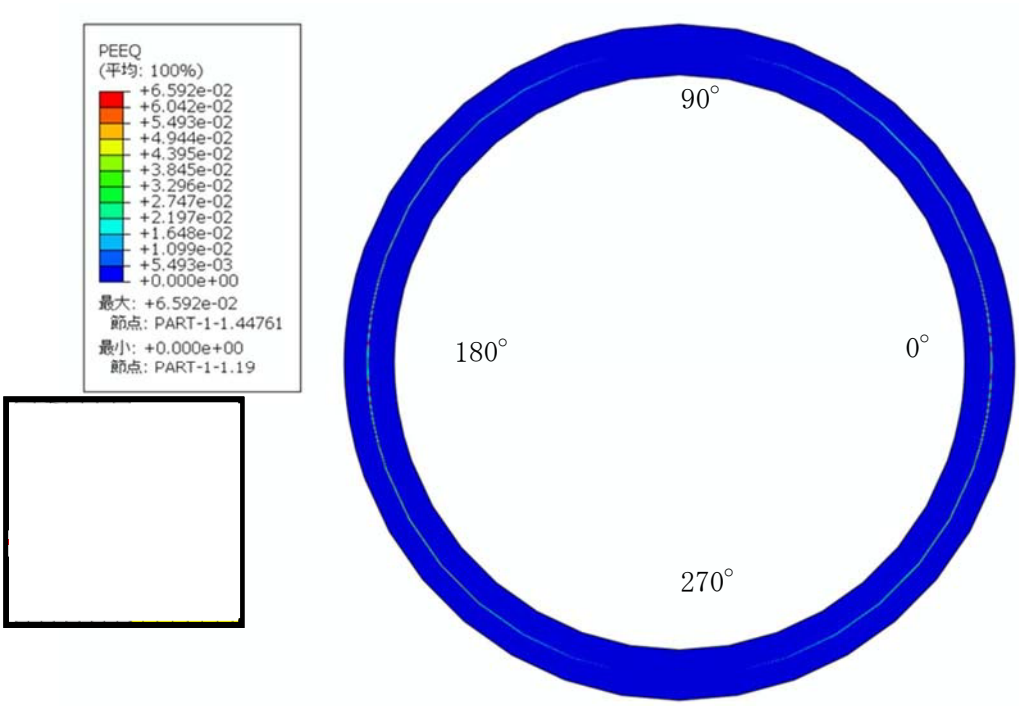
図３－２０　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図（中心位置）(2/5)



270° 位置　　90° 位置

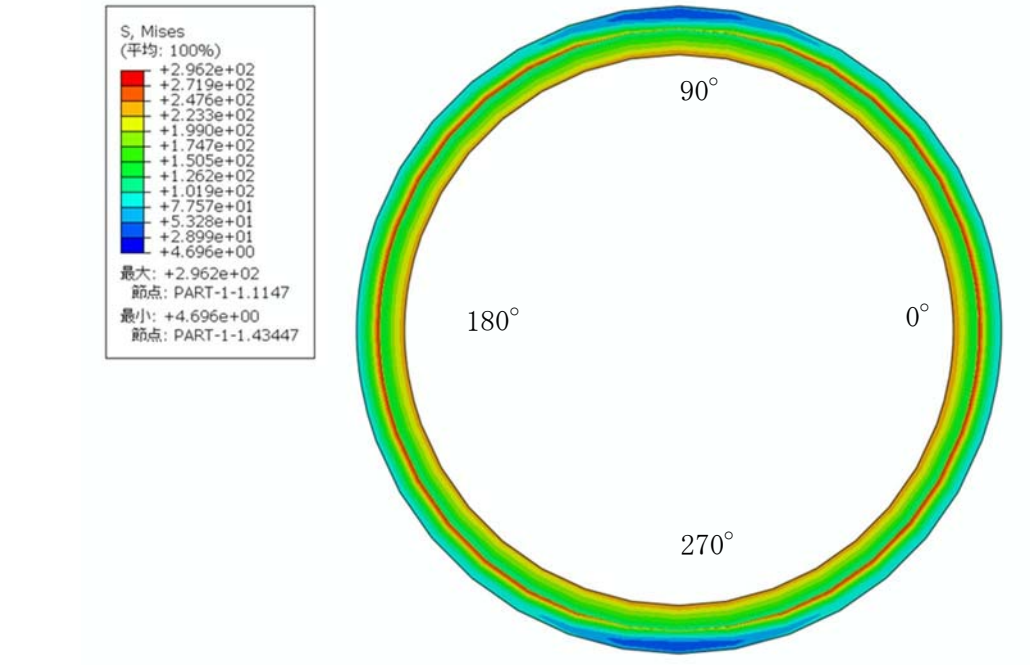
図３－２０　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図（中心位置）(3/5)

単位なし



ひずみ分布図（平面図）最大ひずみ発生位置高さ

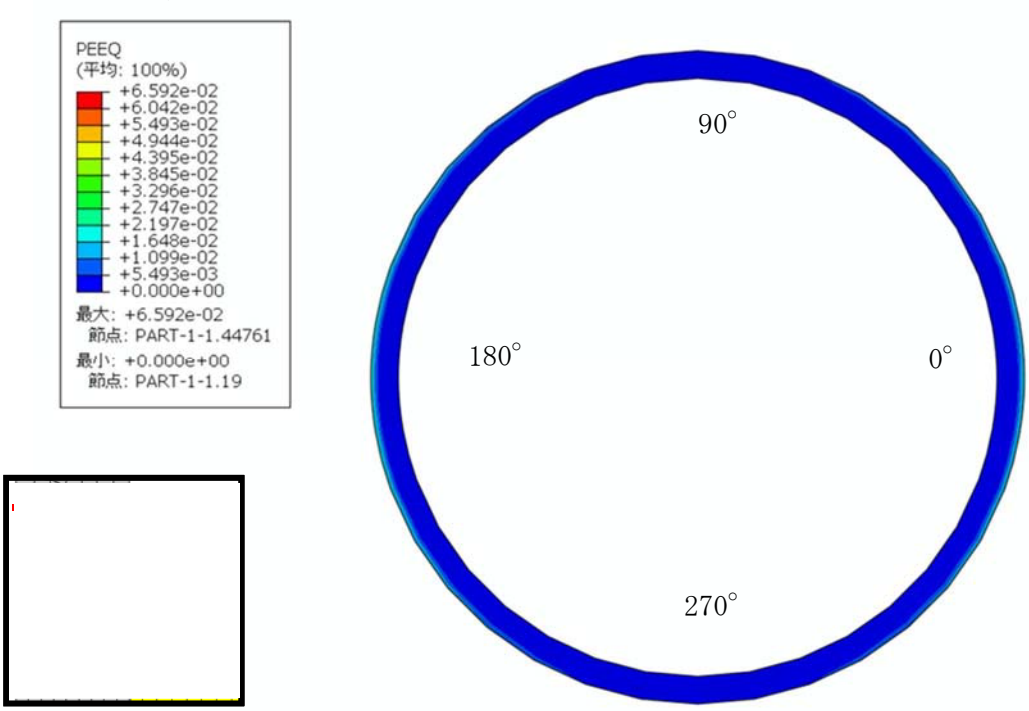
単位:ＭＰａ



応力分布図（平面図）最大ひずみ発生位置高さ

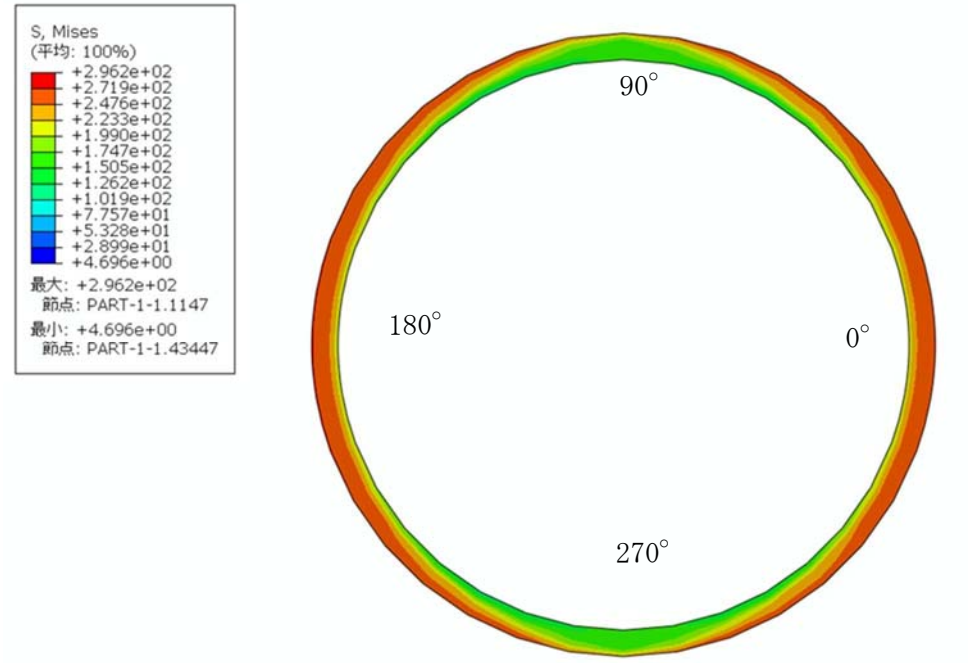
図３－２０　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図(4/5)

単位なし



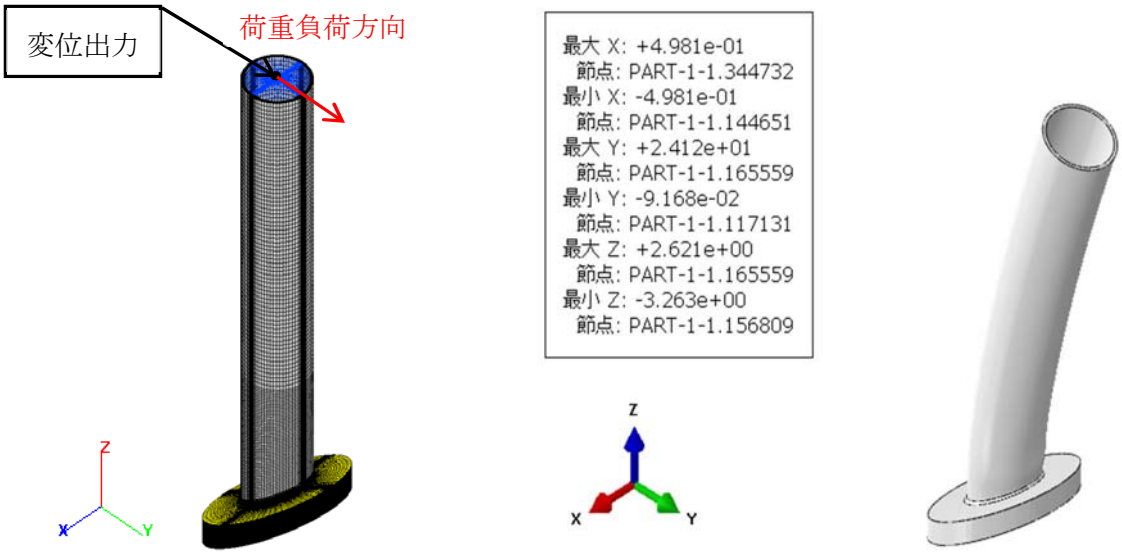
ひずみ分布図（平面図）隅肉溶接上端を含む位置

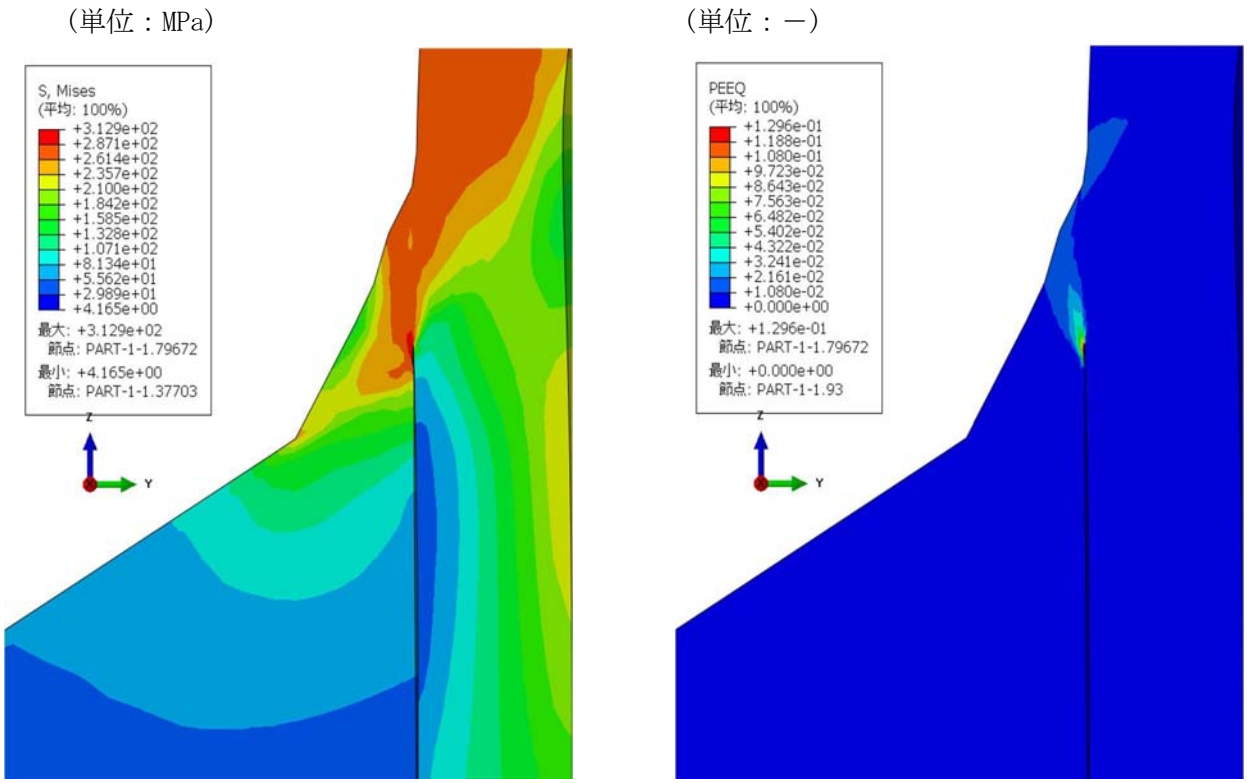
単位:ＭＰａ



応力分布図（平面図）（隅肉溶接上端を含む位置）

図３－２０　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図(5/5)





応力分布図(引張側断面)

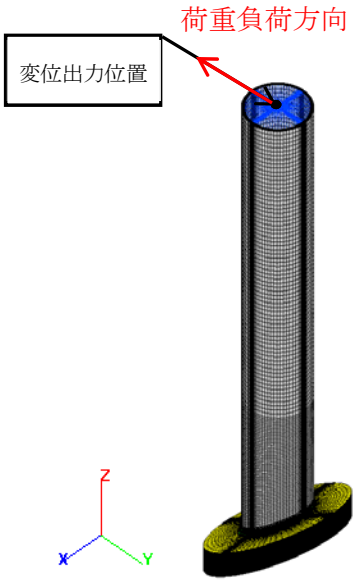
(2 倍勾配交点)

ひずみ分布図(引張側断面)

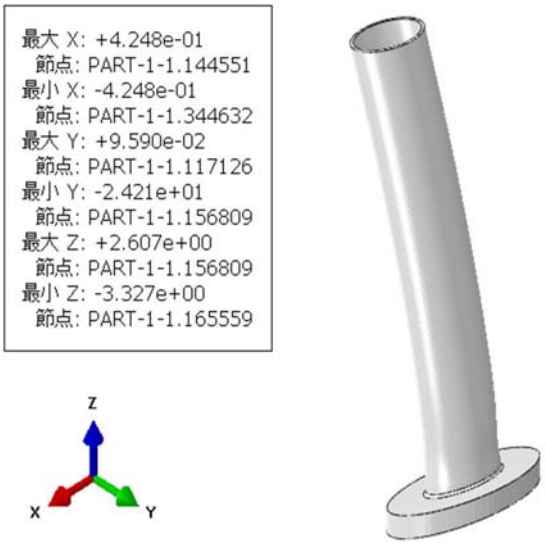
(2 倍勾配交点)

図３－２１　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図

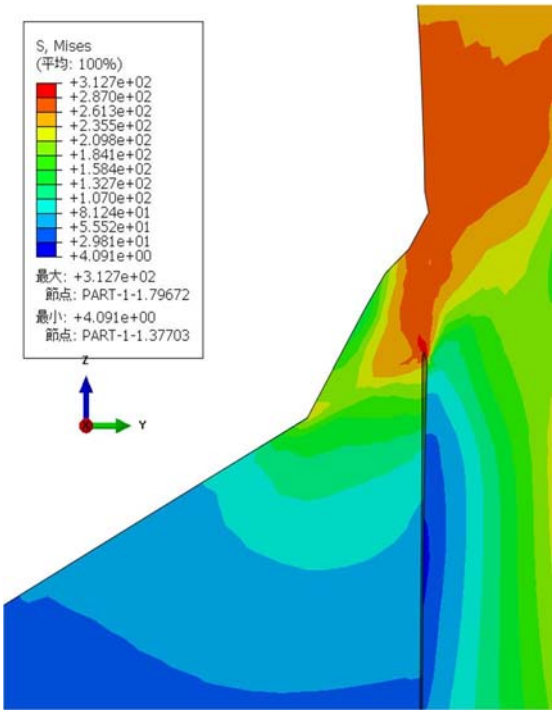
（最外周位置　中心方向に荷重負荷）



（単位：mm）



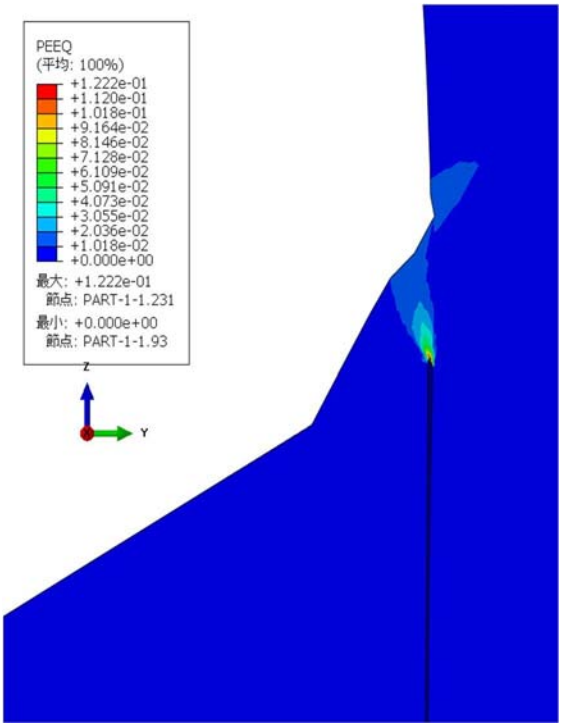
（単位：MPa）



応力分布図（圧縮側断面）

（2 倍勾配交点）

（単位：－）

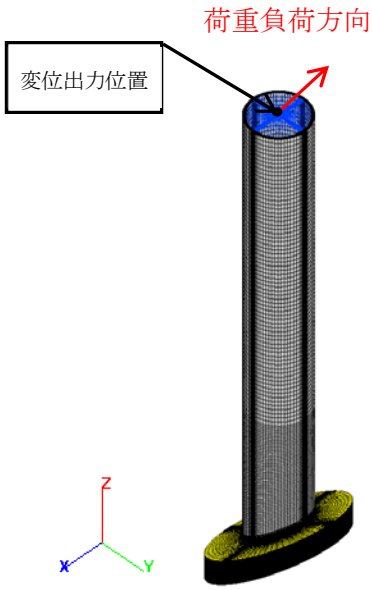


ひずみ分布図（圧縮側断面）

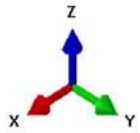
（2 倍勾配交点）

図３－２２　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図

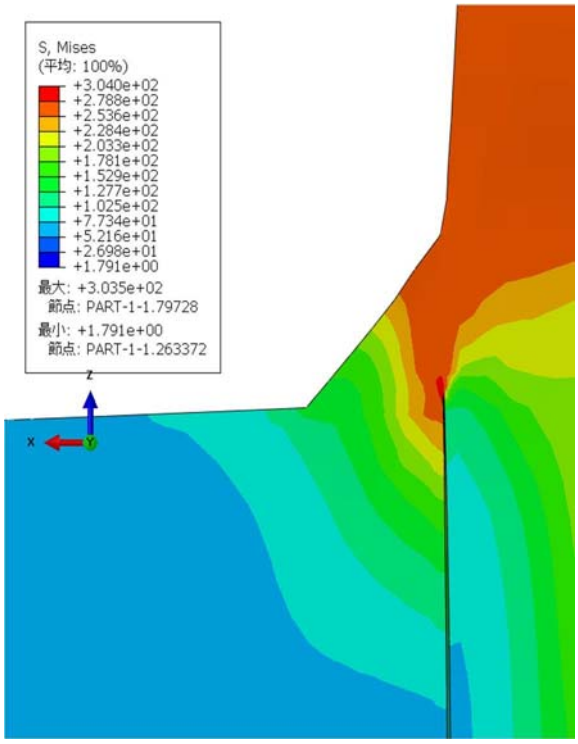
（リング方向に荷重負荷）



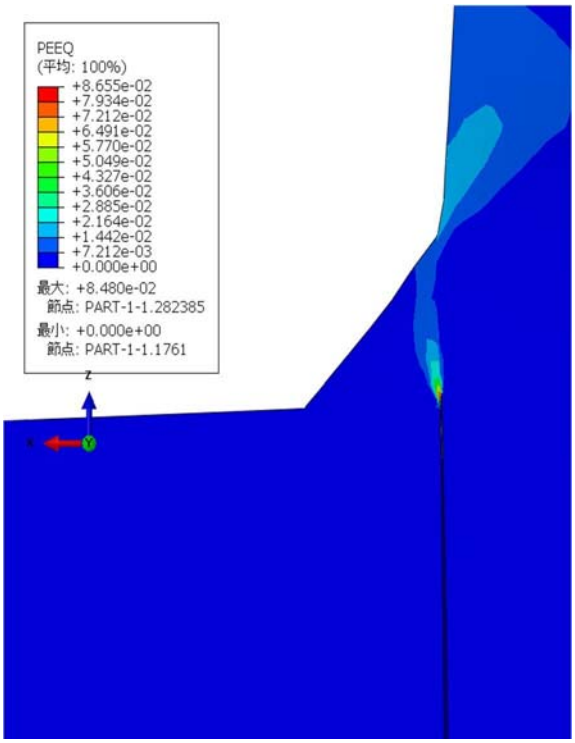
（単位：mm）



（単位：MPa）



（単位：－）



応力分布図（引張側断面）

（2 倍勾配交点）

ひずみ分布図（引張側断面）

（2 倍勾配交点）

図３－２３　崩壊荷重の下限（Pcr）での応力・ひずみ分布図

（周方向に荷重負荷）

(3)　極限解析に対する試験による確認

スタンドパイプにおける今回工認の申請は，極限解析を用いてスタンドパイプ部の有する耐力が地震荷重以上であることを確認することで，地震時における健全性を評価している。極限解析は，これまでの工認での適用例としてＰＷＲの炉内構造物での適用実績はあるが，表３－６に示すように，適用範囲及び解析手法は同じであるものの，適用部位が異なる。なお，先行ＰＷＲと同様に東海第二発電所のスタンドパイプへの極限解析の結果が保守性を有することを補足的に確認する観点から，縮尺の試験体を用いた試験を行う。

表３－６　先行実績と東海第二との比較

	先行ＰＷＲ	東海第二
適用範囲	炉内構造物	同左
適用部位	ラジアルサポート	スタンドパイプ
適用規格	ＪＳＭＥ　設計・建設規格 CSS-3160	同左
解析手法	３次元ＦＥＭによる 弾塑性解析	同左

4. 試験による確認について

4.1 はじめに

東海第二の気水分離器及びスタンドパイプのうち，スタンドパイプの耐震評価においては，今回工認では，極限解析を用い，スタンドパイプの耐力が地震荷重以上であることを確認することで地震時における健全性を評価している。極限解析はこれまでの工認で適用例が少ないため，実機スタンドパイプ及びシュラウドヘッドの一部を縮尺した試験体を用いた試験を実施し，極限解析を用いたスタンドパイプの耐震評価手法の保守性を確認する。

4.2 試験目的

試験は，スタンドパイプとシュラウドヘッド部を模擬した縮尺試験体（以下，単に「試験体」という。）に荷重（モーメント）を作用させる試験を実施し，スケール則を考慮してスタンドパイプが負担することができる最大の荷重（以下「限界荷重」という。）を求める。

試験にて得られた限界荷重が極限解析にて得られた崩壊荷重の下限(Pcr)より大きいことを確認することで，極限解析の保守性を確認する。

4.3 試験内容

(1) 実施項目

東海第二のスタンドパイプ及びシュラウドヘッドを模擬した縮尺試験体にモーメントを作用させる試験を実施した。

(2) 試験内容

a. 試験体

解析結果から中心位置の方が若干 Pcr が低い結果であるため，中心位置を代表とした試験体とする。地震による荷重は鉛直荷重，水平荷重及びモーメントが発生するが，モーメントが支配的な荷重であるため，モーメントを負荷できる試験体とした。

試験体は，スタンドパイプの構造を模擬した縮小モデルとし，試験体のサイズは，試験装置が具備する恒温槽の寸法制限を考慮して外径及びスタンドパイプ板厚で

1／3 スケールとした。試験体の材料は実機と同等のものを使用した。

試験体の仕様を表４－１に示す。また，試験体の概略図を図４－１に，試験装置の概略図を図４－２に示す。試験体は，試験装置の荷重負荷を考慮して，シュラウドヘッドを模擬した鋼板に２本のスタンドパイプを模擬した管を溶接にて取付け，下側のスタンドパイプを試験装置に固定し，上側のスタンドパイプを上方へ引っ張ることにより，スタンドパイプ付根にモーメントを作用させた。

なお，シュラウドヘッドは固定しておらず，また，シュラウドヘッドは試験結果への影響が軽微と考え，厚い平板で模擬した。

試験では，試験体に荷重を加えながら変位を計測し，限界荷重を確認した。

b. 試験方法

試験は，恒温槽を具備した試験装置に試験体を取り付け，301 ℃（運転状態Ⅰ，Ⅱの最高温度）の高温状態にて，試験体に上方へ荷重を負荷しながら変位を計測することにより実施した。

なお，変位については２本のスタンドパイプの変位であることから，変位に 1/2 を乗ずることにより１本のスタンドパイプの変位として整理している。

表４－１　縮尺試験体の仕様

項目			試験体仕様	実機仕様
スタンドパイプ				
	寸法	外径 (Do)	56.10mm (1/3 スケール)	168.3mm
		内径 (Di)	51.36mm (1/3 スケール)	154.08mm
		板厚	2.37mm (1/3 スケール)	7.11mm
	材料		SUS304TP	SUS304TP 相当 (ASME SA-312 Gr.TP304)
シュラウドヘッド鏡板				
	寸法	板厚	32mm	50.8mm
	材料		SUS304	SUS304 相当 (ASME SA-240 TYPE304)
変位測定位置			鏡板表面から 148mm	鏡板表面から 1000mm (極限解析の変位出力位置)
荷重負荷位置			鏡板表面から 148mm (モーメントアーム)	鏡板表面から 1000mm

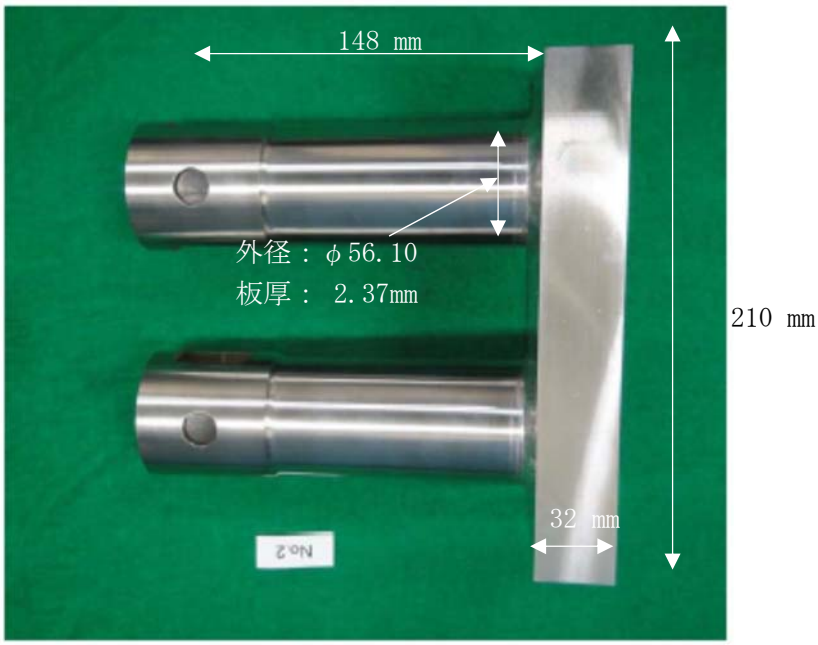


図４－１　試験体形状

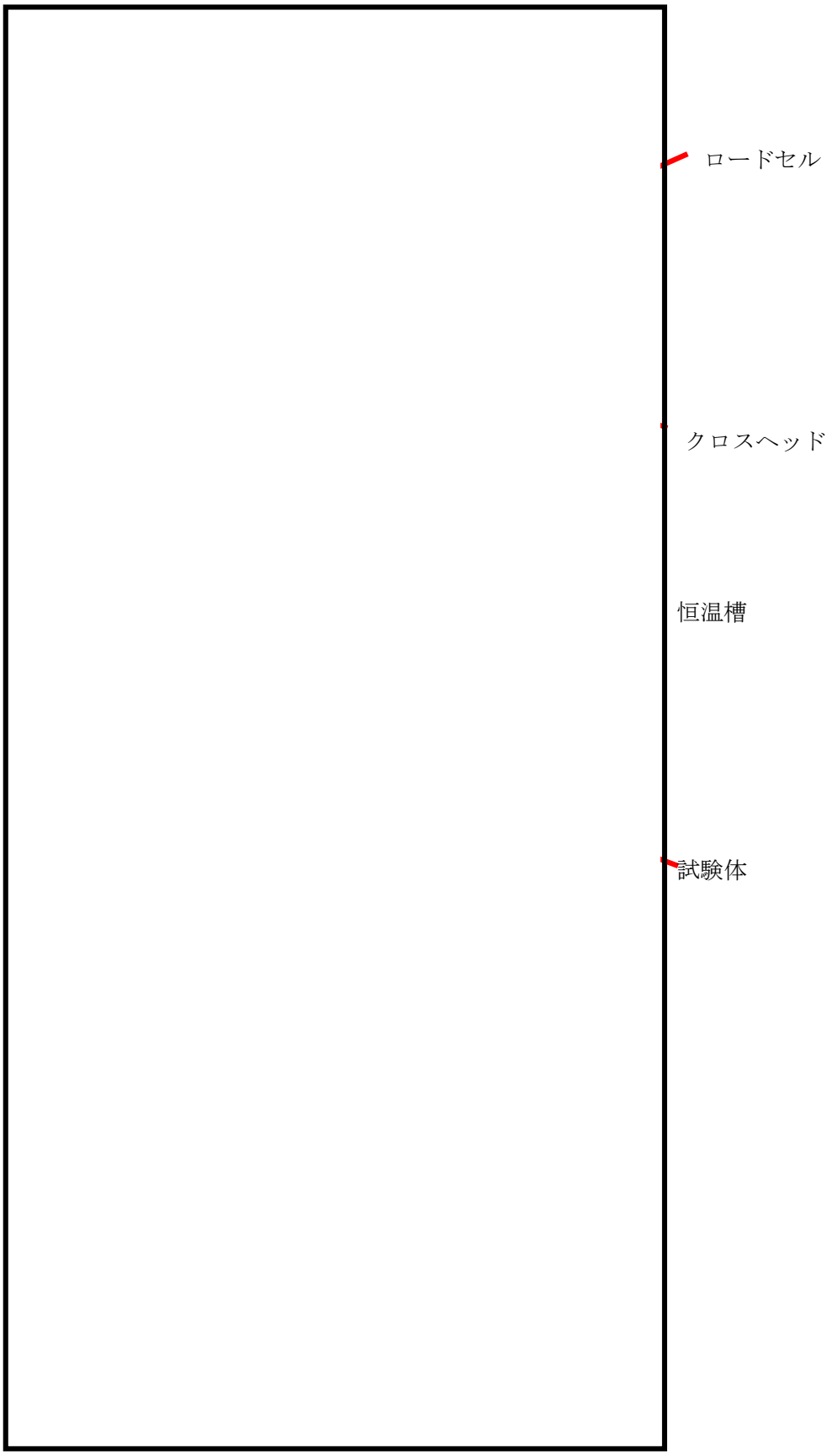
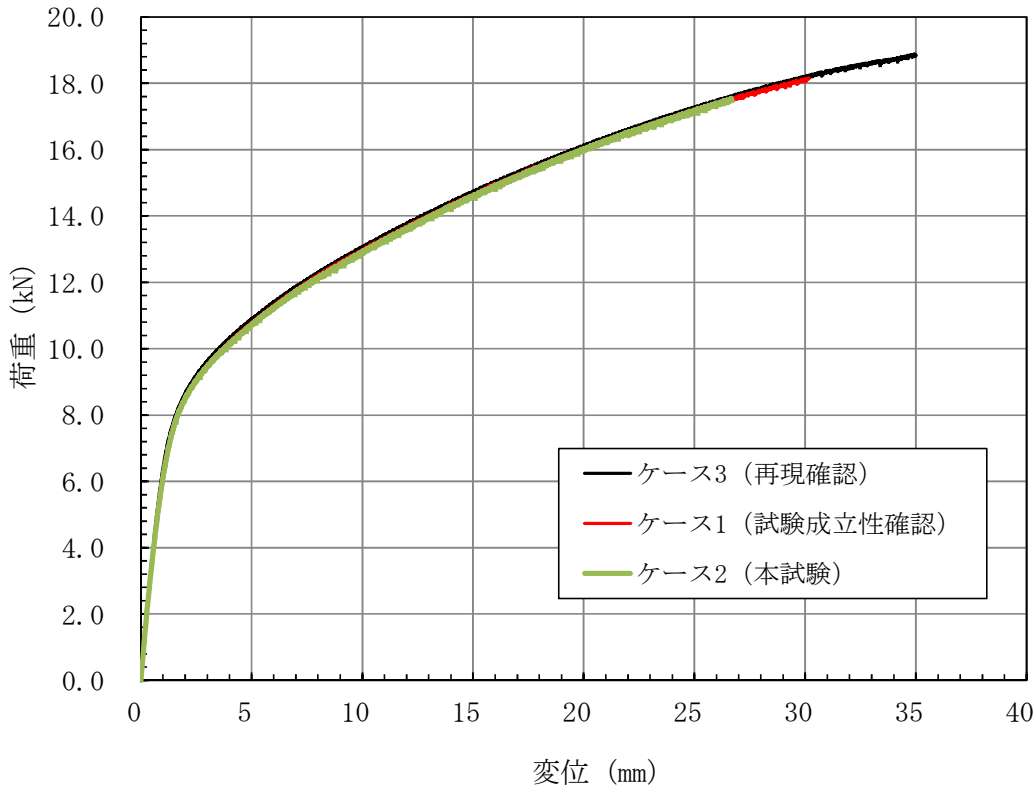


図４－２　試験装置

4.4　試験結果

(1)　試験から得られた荷重変位曲線

試験から得られた荷重変位曲線を図４－３に示す。試験は，試験装置内の試験体と治具との干渉を考慮して，変位が 26 mm を超えた時点（荷重：17.5 kN）で試験を終了した。なお，試験については試験成立性確認用，本試験，再現確認用として３回実施しており，それぞれの試験から得られた荷重変位曲線に有意な差はなかったため，本試験データを試験結果としている。



※：試験で得られた変位に 1/2 を乗ずることにより１本当たりの変位にしている

図４－３　試験から得られた荷重変位曲線

(2)　試験前後及び試験中の試験体の状況

試験前後及び試験中の試験体の状況をそれぞれ図４－４に示す。試験結果から，スタンドパイプ及びシュラウドヘッドを模擬した試験体に亀裂，損傷は確認されなかった。

この結果から，試験体の限界荷重としては，少なくとも 17.5 kN であることが確認された。

試験前

試験後

図４－４　各試験段階での試験体の状態（１／２）

試験中

試験後

図４－４　各段階での試験体の状態（２／２）

(3)　スケール則を踏まえた試験結果と極限解析結果の比較

試験により求められた荷重変位曲線から，スケール則及びスタンドパイプ付根部に掛かる荷重（モーメント）を考慮して実機寸法における荷重変位曲線を作成し，極限解析結果と比較評価する。

スケール則は荷重と変位に対してそれぞれ考慮する。荷重及び変位についてのスケール則の考え方は以下の通りである。

試験体のスタンドパイプ付根部に作用するモーメントは，試験装置で負荷した荷重にモーメントアーム（0.148 m）を乗じて求める。荷重（モーメント）に対しては実機寸法と試験体の弾性断面係数と塑性断面係数の比はそれぞれ等しいこと，また，解析モデルと試験体における終局時の断面性状に即していることから塑性断面係数の比※（＝ 27）を乗じる。

変位に対しては，今回の評価は弾塑性解析により変位を求めており，解析に用いる応力ひずみ線図は弾完全塑性体としており，塑性域の変位は弾塑性体である試験体と異なるため，弾性域での変位比を乗じる。試験体は，各位置で断面形状が異なることから，長さ，断面二次モーメントを考慮した面積モーメント法により変位を求める。実機はたわみの式により変位を求め，実機と試験体の変位比（＝ 20.4）を乗ずる（算出方法は補足－１参照）。

このスケール則を考慮した結果を表４－２に示す。極限解析で得られる崩壊荷重の下限値(Pcr)よりも試験で得られた値の方が耐力を有するため保守的であることがわかる。また，スケール則を考慮した試験体の荷重変位曲線と極限解析結果の荷重変位曲線を重ね描いたものを図４－５に示す。

なお，試験結果と極限解析結果の弾性範囲で傾きが異なるが，これは極限解析ではスタンドパイプ下端を固定端として計算しておりスタンドパイプのみの変位であるが，試験ではスタンドパイプの変位のほかに鏡板やピンのたわみ等も含まれるため解析に比べて大きな変位となると考える。また，本試験目的は解析と試験で得られた荷重の比較を示すものであるが，補足－２に鏡板，ピンのたわみを除いた結果を示す。

※：円筒形の塑性断面係数 Zp（ = $(Do^3-Di^3) / 6$）の比
Do：外径，Di：内径
（表４－１に示す実機と試験体それぞれの内外径）
実機の塑性断面係数：$Zp_{(実機)}$ =1.849×10^5[mm^3]
試験体の塑性断面係数：$Zp_{(試験体)}$ =6.846×10^3[mm^3]

表４－２　試験結果と極限解析結果の比較

	荷重（kN）	モーメント（kN・m）	備考
①試験結果	17.5	－	
②試験結果（付根部に掛かるモーメント）	－	2.59	①×0.148 m（モーメントアーム）
③試験結果（スケール則考慮）	－	69.93	②×27（塑性断面係数の比）
④極限解析(Pcr)	－	49.73	降伏点を Min[2.3Sm, 0.7Su] とした場合
⑤極限解析(Pcr)により得られる許容荷重	－	44.75	許容応力状態ⅣAS（許容荷重＝0.9×④）

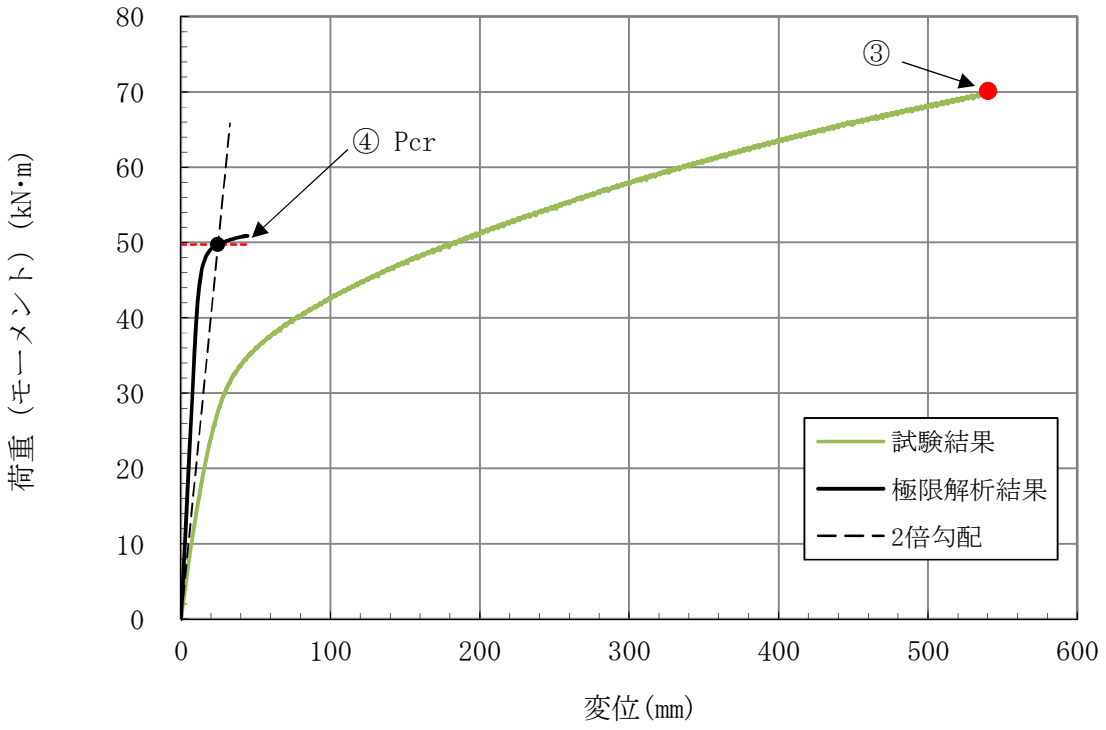


図４－５　試験結果と極限解析結果の比較

4.5　まとめ

東海第二のスタンドパイプの縮尺試験体に荷重（モーメント）を作用させる試験を実施した結果，限界荷重は少なくとも 17.5 kN であり，試験後の試験体に亀裂，損傷は生じていなかった。試験における限界荷重 17.5 kN は，実機のスケールでは 69.93 kN・m に相当し，極限解析により得られる許容荷重（モーメント）44.75 kN・m に対して十分大きいことがわかった。

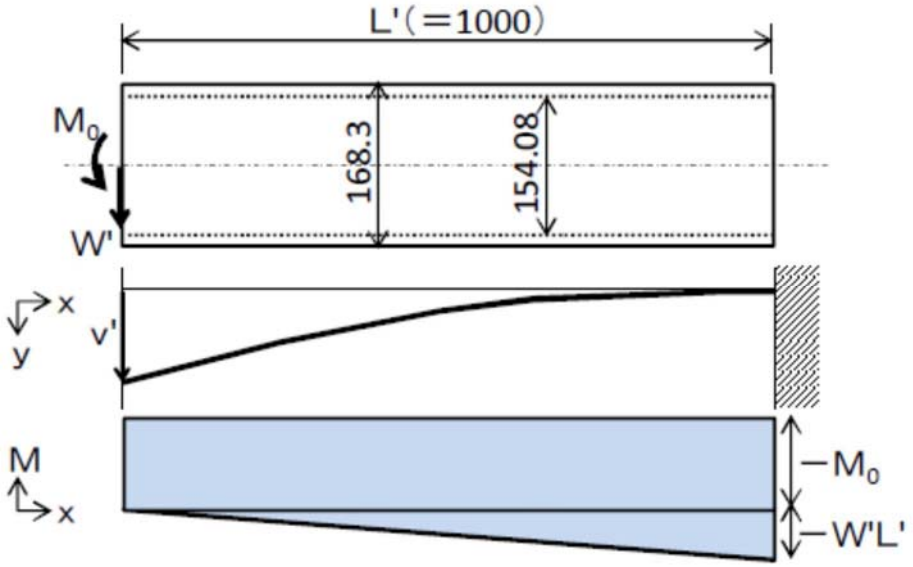
以上より，極限解析による評価手法は十分な保守性を有していることを確認した。

また，試験体に対する極限解析については別紙－１に示すとおり，試験体に対する極限解析にて得られたＰcr（13.7 kN）よりも試験にて得られた許容荷重のほうが十分大きいことを確認した。

変位に対するスケール則の算出について

①実機スタンドパイプ解析モデルの変位の算出

実機スタンドパイプ解析モデルにはスタンドパイプ上面からモーメント及び水平荷重を負荷しているため，それぞれの荷重に対して，材料力学に基づき変位を算出する（下図参照）。



たわみの式より

$$v' = W'L'^3/(3EI') + M_0L'^2/(2EI')$$
$$= \sigma Z'(W'/M')L'^3/(3EI') + \sigma Z'\{1-(W'/M')L'\}L'^2/(2EI')$$
$$= 5247\sigma/E$$

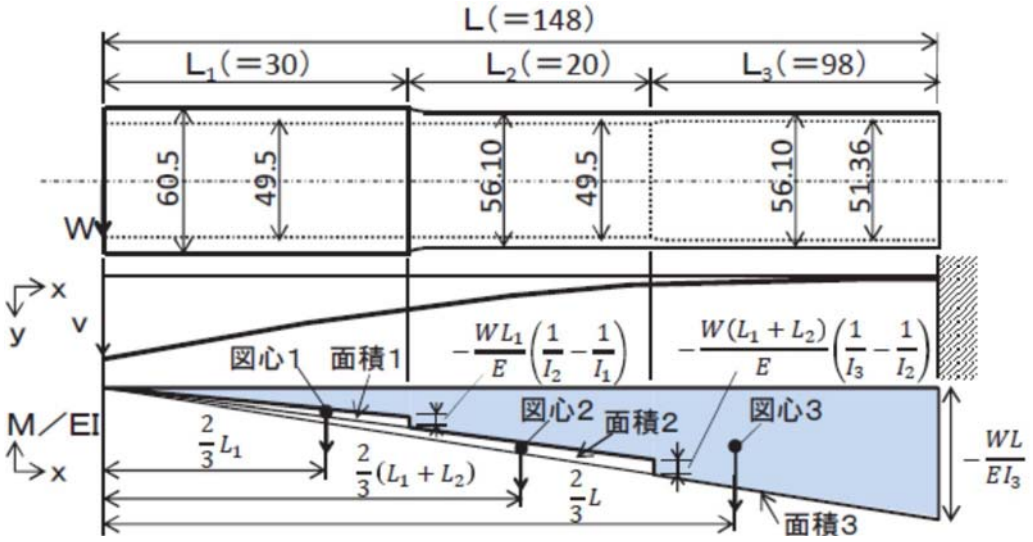
$M_0 = M' - W'L'$

実機スタンドパイプの諸元

項目		実機
外径　Do'　(mm)		168.3
内径　Di'　(mm)		154.08
板厚　t'　(mm)		7.11
断面二次ﾓｰﾒﾝﾄ　I'　(mm^4)		1.172×10^7
変位計測点　L'　(mm)		1000
地震荷重Ｓｓ		
	W'　水平力　(kN)	3460
	M'　曲げモーメント　(kN・mm)	9870000
W'／M'　(mm^{-1})		3.506E-04

②スタンドパイプのたわみ v_0

試験体の変位の算出は，引張荷重を付与するために試験体上面に治具を取り付けることによる応力集中によりパイプと板との取付部以外が破損するのを防止するため，試験体上面付近の板厚を 1/3 より肉厚な構造（下図 L1,L2 範囲）にしている。肉厚な構造にすることにより，上面から荷重を負荷した場合，L1,L2 範囲の肉厚構造部の変位の低下を面積モーメント法にて考慮する（下図参照)。



面積モーメント法より

v_0 ＝（面積 3）×（図心 3 までの距離）－（面積 2）×(図心 2 までの距離)－
（面積 1）×(図心 1 までの距離)

＝{WL/(EI$_3$)}・(L/2)・(2L/3)－ {W(L$_1$+L$_2$)/(1/I$_3$-1/I$_2$)/E)}・{(L$_1$+L$_2$)/2}・(2(L$_1$+L$_2$)/3)
－ {WL$_1$/(1/I$_2$-1/I$_1$)/E)}・(L$_1$/2}・(2L$_1$/3)

＝σZ/E・{L$_2$/(3I$_3$)-(L$_1$+L$_2$)^3/(3L)・(1/I$_3$-1/I$_2$)-L$_1^3$/(3L)・(1/I$_2$-1/I$_1$)}

＝257.1σ/E

変位比　v’/ v_0=5247/257.1=20.4

試験体の諸元

項目	試験体		
	部位１（長さL$_1$）	部位２（長さL$_2$）	部位３（長さL$_3$）
外径　D$_1$O,D$_2$O,D$_3$O,　(mm)	60.5	56.1	56.1
内径　D$_1$i,D$_2$i,D$_3$i (mm)	49.5	49.5	51.36
板厚　t　(mm)	—	—	2.37
断面二次ﾓｰﾒﾝﾄ　I$_1$,I$_2$,I$_3$ (mm^4)	3.629×10^5	1.915×10^5	1.446×10^5
変位計測点　L (mm)			148
長さ　L$_1$, L$_2$, L$_3$ (mm)	30	20	98

補足－２

試験体変位の詳細検討について

1. 概要

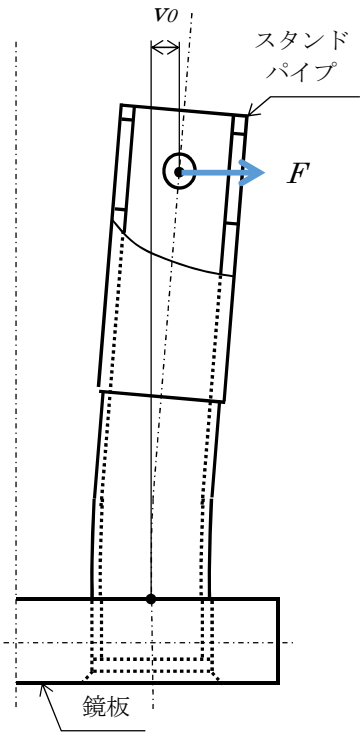
今回の試験体を用いた確認は極限解析により得られた崩壊荷重の下限（Ｐｃｒ）より試験にて得られた限界荷重の方が大きいことを確認することを目的としたものである。スケール則を考慮した試験体の荷重変位曲線と極限解析で得られた荷重変位曲線では，試験結果の変位を実機スケールに換算するために乗じる変位比を試験結果に含まれる鏡板，ピン等のたわみによる変位にも乗じているため，パイプのみである解析結果とは試験体の弾性範囲においても一致しない。このため鏡板，ピン等のたわみによる変位を除いた変位と解析結果の変位ついても詳細検討を行う。

2. パイプ以外の変位

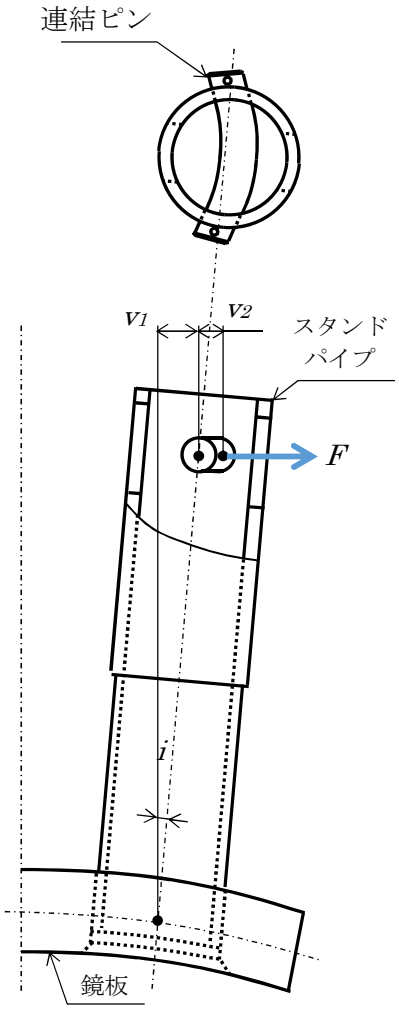
「4. 試験による確認について」で乗じた変位比はパイプの他の鏡板，ピン及び引張試験装置の変位を含んだ試験体の変位に乗じているため，パイプの変位以外を除去する。鏡板及びピンの変位の除去については，材料力学等の理論式に基づき変位を算出し，試験体全体の変位とパイプの変位の比を試験結果で得られた変位に乗じることにより除去する。引張試験装置の変位については，試験体間に取り付けたひずみゲージを用いることで，引張試験装置の変位を含まない２点間距離の変位となるため，これを１本の変位にしたものを用いる。

2.1　試験体の変位の算出

試験体の変位は，スタンドパイプの変位の他に連結ピン及び鏡板のたわみによる変位が含まれることから，試験体の変位に対するパイプの変位の比を乗じることによりこれらの変位を除去する（下図参照）。



スタンドパイプのたわみ

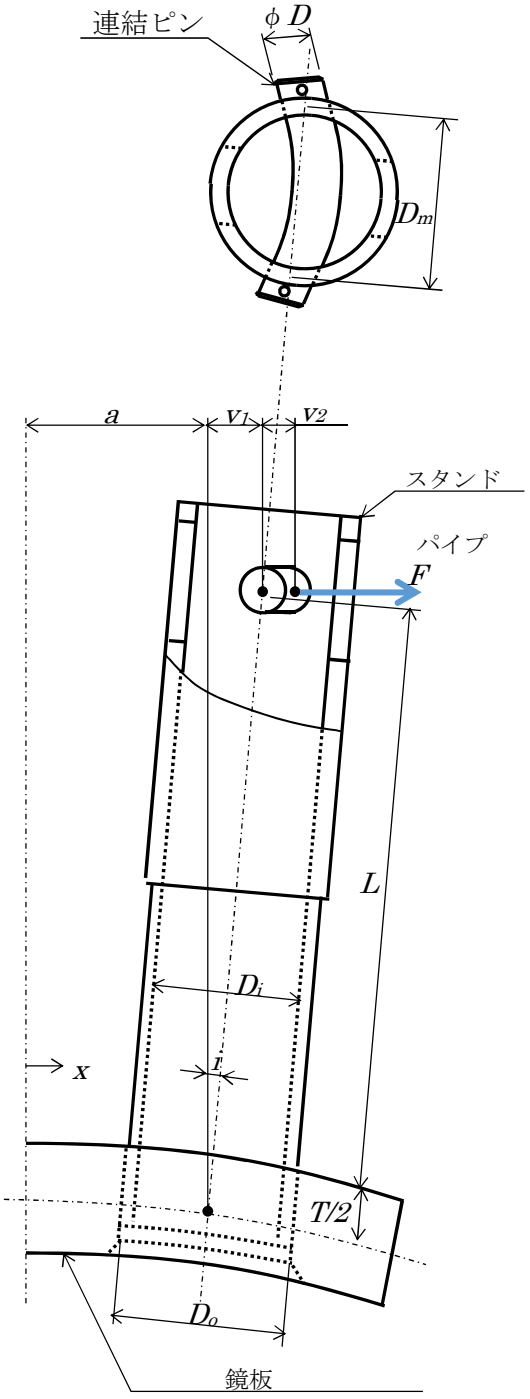


鏡板と連結ピンのたわみ

試験体の変位 v_T ＝ スタンドパイプたわみ ＋ 鏡板たわみ ＋ 連結ピンたわみ

＝ v_0 ＋ v_1 ＋ v_2

①鏡板のたわみによる変位 v_1



（幅 W，板厚 T）

傾斜 $i(x)$は，以下により求める。

$$\frac{di(x)}{dx} = \frac{M}{EI_1}$$

$$i(x) = \frac{M}{EI_1}x$$

よって，

$$i = i(a) = \frac{M}{EI_1}a$$

ここで，

$$M = F\left(L + \frac{T}{2}\right)$$

$$I_1 = \frac{W_e T^3}{12}$$

$$E = 176000\ (\mathrm{MPa})\text{（301℃の SUS304 のヤング率）}$$

$$W_e = \frac{1}{a}\left(Wa - \frac{\pi}{8}{D_o}^2\right)\quad\text{（穴部を考慮した等価幅）}$$

変位 v_1は，以下により求める。

$$v_1 = i\left(L + \frac{T}{2}\right)$$

$$= \frac{Fa(L + T/2)^2}{EI_1}$$

上式に，スタンドパイプ根元部の応力 σ と F の関係式を代入する。

$$\sigma = \frac{FL}{Z}$$

$$F = \frac{\sigma Z}{L}$$

$$Z = \frac{\pi\left({D_o}^4 - {D_i}^4\right)}{32D_o}$$

a= 55 (mm)　　L=148 (mm)

D= 16 (mm)　　T= 32 (mm)

D_m= 55 (mm)　　W=120 (mm)

これより，

$$v_1 = \frac{Za(L + T/2)^2}{LI_1}\frac{\sigma}{E} = 193.5\frac{\sigma}{E}$$

②連結ピンのたわみによる変位 v_2

変位 v_2は，以下により求める。

$$v_2 = \frac{F{D_m}^3}{48E'I_2}$$

（機械工学便覧 A4-28 No.7 より）

ここで,

$$\mathrm{I_2} = \frac{\pi \mathrm{D}^4}{64}$$

$$\mathrm{E'} = 183000\ (\mathrm{MPa})\left(301℃\text{の連結ピン}\left(\text{低合金鋼}\right)\text{のヤング率}\right)$$

変位 v_2の式に，スタンドパイプ根元部の応力 σ と F の関係式を代入する。

$$\sigma = \frac{FL}{Z}$$

$$F = \frac{\sigma Z}{L}$$

$$Z = \frac{\pi\left({D_o}^4 - {D_i}^4\right)}{32D_o}$$

これより,

$$v_2 = \frac{Z{D_m}^3}{48LI_2}\frac{E}{E'}\frac{\sigma}{E} = 36.1\frac{\sigma}{E}$$

③試験体の全変位 v_T

$$v_T = v_0 + v_1 + v_2 = 486.7\frac{\sigma}{E}$$

v_0＝257.1 σ /E（補足－１にて得られたパイプの変位）

④試験体の全変位に対するパイプの変位の比

$$\frac{v_0}{v_T} = \frac{257.1}{486.7} = 0.528$$

⑤試験結果に乗じる変位比

試験結果に乗じる変位比 = 実機と試験体の変位比 × 試験体の全変位に対するパイプの変位の比

$$= 20.4 \times 0.528 = 10.8$$

2.2　引張試験装置の変位について

本項に記載している荷重変位曲線の変位は引張試験装置で得られた変位であることから，引張試験装置での変位を除去するため，試験体間に取り付けたひずみゲージの変位を使用する。

3.　詳細検討を反映した荷重変位曲線

2.にて算出したピン，鏡板及び引張試験装置の変位を除いた荷重変位曲線と極限解析結果の荷重変位曲線を重ね合わせたものを図１に示す。図１には試験体の荷重変位曲線も併せて示す。図１に示すとおり，試験体の弾性範囲において解析結果と試験結果が良く一致することを確認した。

なお，その後の変位は差異が生じているが，差異理由については以下の通りである。

極限解析に用いる設計降伏点は設計・建設規格に従い，降伏点を許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$ では MIN[0.7Su,2.3Sm]，$\mathrm{III_AS}$ では 1.5Sm としている。オーステナイト系ステンレス鋼の Sm 値は MIN[1/3Su,0.9Sy]が採用されており，本評価での使用材料である SUS304 では 0.9Sy の値の方が低い。このため，許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$ では 2Sy，$\mathrm{III_AS}$ では 1.35Sy となるような設計降伏点となり，実際のオーステナイト系ステンレス鋼の降伏点である Sy よりも高い値である（図２参照)。

この理由については，設計・建設規格ではオーステナイト系ステンレス鋼のようにひずみ硬化特性が大きく安全率に余裕があるため，ひずみ硬化特性を考慮して実際の降伏点より高い設計降伏点を定めているとしている（図３参照)。

今回の試験体の降伏点はミルシートから 245[MPa]（0.2%耐力,室温）であり，設計・建設規格の室温における設計降伏点 Sy=205[MPa]に対して 1.2 倍程度高い。これを 301℃の降伏点に補正した場合，試験体の降伏点は 152MPa であり，解析上の許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$ での降伏点 264[MPa]に対して約 1.7 倍の降伏点の差異がある。このため，試験体の弾性範囲においては解析結果と概ね一致しているが，その後の変位は差異が生じているものと考える。

また,解析と試験体で弾塑性状態における変位挙動が異なる理由は,図３の解説図 PVB-3160-1 に示すように，解析では設計降伏点以降はひずみ硬化特性を含まない弾完全塑性体であるため,降伏以降は急激に変位が増加するが,試験体はひずみ硬化特性を持つため,

降伏以降も荷重を負荷するとなだらかに変位は増加していく。このため，それぞれの降伏以降の変位挙動が異なるものと考える。

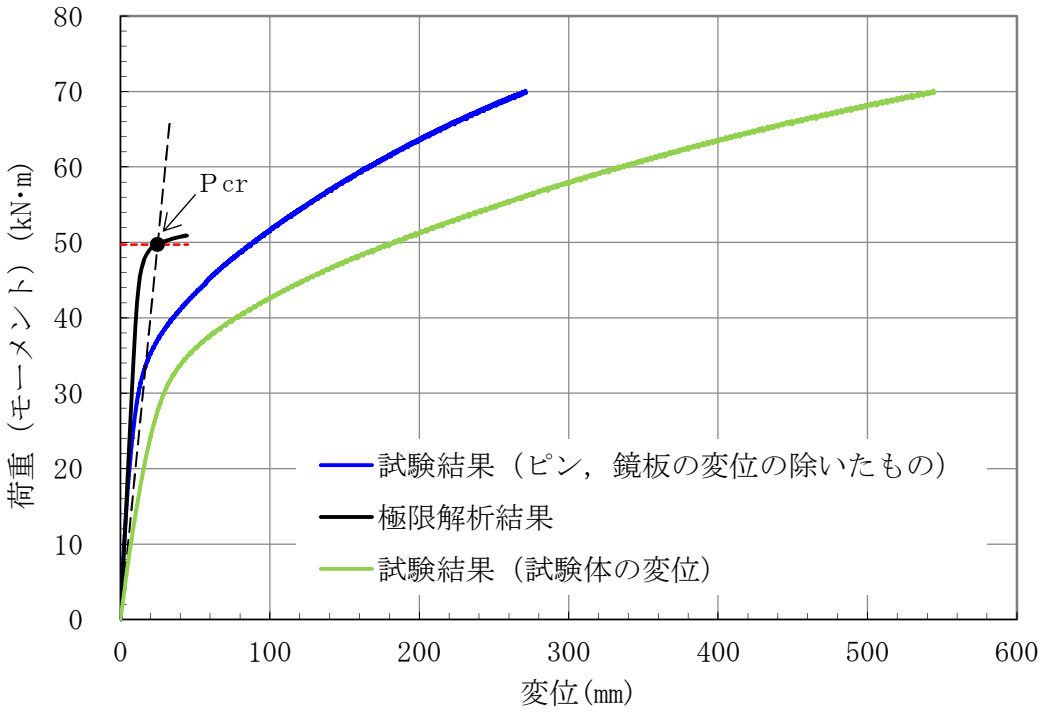


図１　試験結果と極限解析結果の荷重変位曲線

（ピン，鏡板の変位除いて実機スケールに換算したもの）

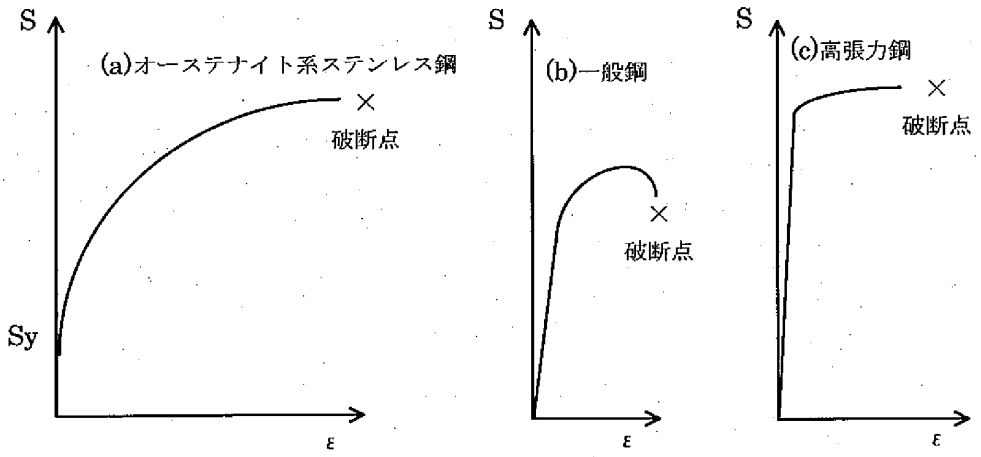
（解説 PVB-3110）　ボルト以外の応力評価

PVB-3110 は、クラス１容器の応力強さの限界および許容応力について定めたものである。

（中略）

(2)　応力強さの制限の基本的な考え方は、次のとおりである。

各応力に対して定められる応力強さの限界は、基本的には材料の強度試験に基づいている。解説図 PVB-3110-1 に各種材料の引張試験の結果による応力－ひずみ線図の例を示す。



解説図 PVB-3110-1　各種材料における応力とひずみの関係

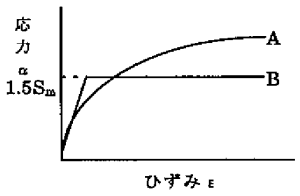
解説図 PVB-3110-1 は、鋼種による一般的な特性を示したものであるが、一般鋼と比較して、オーステナイト系ステンレス鋼は降伏点に達してもすぐ破断するのではなく、ひずみ硬化によりかなり持ちこたえる。また、それとは反対に高張力鋼は降伏点は高いが、一旦それを超えるとすぐ破断する等の傾向がある。従って、基本となる材料ごとの設計応力強さの S_m 値としては、低合金鋼などの一般鋼材に関しては降伏点の 2/3 または引張強さの 1/3 のいずれか小さい方の値にとられているが、オーステナイト系ステンレス鋼では引張強さの 1/3 またはひずみ硬化を考慮して耐力の 0.9 倍のいずれか小さい方の値がとられている。（解説 GNR-2200 参照）

図２　設計・建設規格の抜粋（応力強さの制限の基本的な考え方に関する記載）

(解説 PVB-3160)　極限解析に基づく一次応力評価　　05

PVB-3160 の極限解析において $1.5S_m$ を降伏点とした弾完全塑性体を用いることとしたのは、次のとおりである。

たとえば、ステンレス鋼の応力－ひずみ線図は解説図 PVB-3160-1 の A のようになり、明確な降伏点はなく、このままでは崩壊荷重の解析が複雑になる。そこで、応力－ひずみ線図をより単純にした解説図 PVB-3160-1 の B のようなものを想定して、対象物の荷重－変位曲線を求めようとするものである。



解説図 PVB-3160-1　応力-ひずみ線図の例

ここでは、設計条件および供用状態Cについては、材料の降伏点を設計応力強さの 1.5 倍(1.5 S_m)とする弾完全塑性体と考える。S_m は、2/3 S_y 以下にとっている場合は、1.5 S_m は、ほぼ S_y に等しくなる。

高温におけるオーステナイト系ステンレス鋼等の場合のように、S_m が $0.9S_y$ の場合は、ほぼ $1.35S_y$ になるので、一見不安全側になるようにとらえられやすいが、オーステナイト系ステンレス鋼等の場合は、明確な降伏点がなく、0.2%耐力を S_y と考えると降伏点は低くなり、また高いひずみ硬化性があり、構造設計の安全性という観点からみれば、1.5 S_m を降伏点にとっても、フェライト系材料とほぼ同じ効果があると判断できる。

（中略）

供用状態Dについては、材料の降伏点を設計応力強さの 2.3 倍(2.3 S_m)と設計応力強さの 0.7 倍（$0.7S_u$）の小さい方とする弾完全塑性体と考えて、前述と同様にして崩壊荷重の下限を求め、これを P_{cr} とする。この時の許容限界は、次のように表わすことができる。

供用状態D　　$P_c \leqq 0.9\ P_{cr}$

供用状態Dにおける安全率のとり方は、ASME B&PV Code Section III に従っている。

図３　設計・建設規格の抜粋（極限解析での応力－ひずみ線図の設定に関するもの）

5.　１本あたりの地震荷重の算出について

5.1　詳細モデルによる影響評価

今回工認におけるスタンドパイプの耐震評価は，極限解析にて得られた許容荷重が建屋機器連成モデルでの地震応答解析にて得られた２２５本を１質点として得られた地震荷重をスタンドパイプ総本数（２２５本）にて除した１本当たりの平均地震荷重を上回ることで健全性を確認している。

ここで，実際の気水分離器及びスタンドパイプはシュラウドヘッドの鏡板に対して取付くことによりスタンドパイプ長さがそれぞれ異なること，また大小の補強板に結合されており，それぞれのスタンドパイプ付根部に掛かる荷重は異なり，平均地震荷重を上回る可能性がある。このため，地震応答解析にて得られた地震荷重をスタンドパイプ総本数にて除する手法（以下，「平均化」という。）の妥当性を検討した。

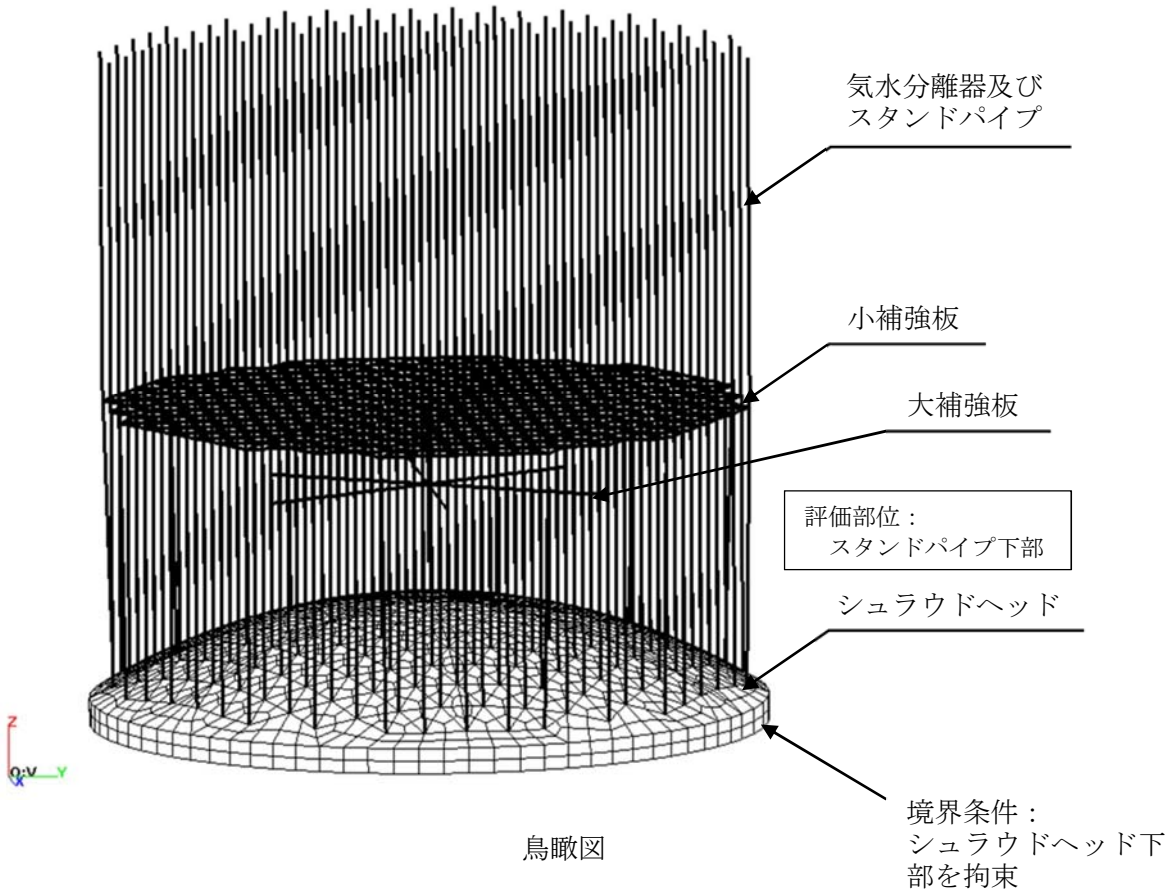
検討方法については，図５－１に示す気水分離器，大小の補強板を含めたスタンドパイプ２２５本とシュラウドヘッドをはり要素及びシェル要素でモデル化したもの（以下「詳細モデル」という。）と図５－２に示す建屋機器連成地震応答解析モデルからシュラウドヘッド，気水分離器及びスタンドパイプの部分を取り出したモデル（以下「連成モデル」という。）に対してそれぞれ水平１Ｇの加速度を付与し，詳細モデルでの１本に掛かる最大モーメントと連成モデルの静解析結果から得られたモーメントを平均化して得られるモーメントを比較することにより，今回工認で用いている建屋機器連成地震応答解析にて得られた地震荷重を平均化した１本当たりの地震荷重の方が詳細解析に荷重を算出するよりも保守性を有することを確認する。

気水分離器，大小の補強板，スタンドパイプは実形状及び実剛性を考慮した梁モデルでモデル化し，シュラウドヘッドはシェル要素でモデル化している。表５－１，図５－３解析諸元及びモデル図を示す。

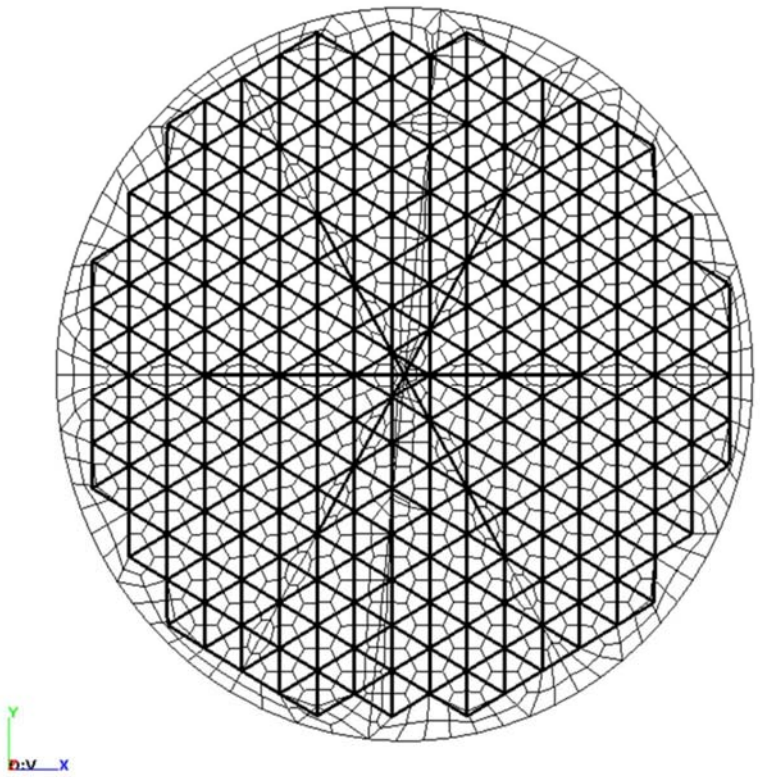
解析結果を図５－４に示す。図５－４に示すとおり，詳細モデルの最大モーメントの方が連成モデルの平均化モーメントより低くなった。また，詳細モデル及び連成モデルの固有値解析結果を図５－５示す。詳細モデルと連成モデルで固有周期に差異が生じているが，これは，詳細モデルでは各々のパイプが卓越部位となり，連成モデルでは大補強板の剛性を考慮した１本が卓越部位となるため，固有周期は異なる。

また，図５－６に示すように，スタンドパイプ２２５本を１本と見立てた連成モデルではモーメントとして算出される荷重が，実形状を模擬した詳細モデルでは軸方向荷重と距離によりモーメントに変換され，モーメントが下がったものと考えられる。

以上より，今回工認で建屋機器連成地震応答解析にて得られた２２５本の荷重を平均化した地震荷重の方が保守性を有していることから，平均化手法を採用している。



鳥瞰図



平面図

図５－１　シュラウドヘッド，気水分離器及びスタンドパイプ詳細モデル

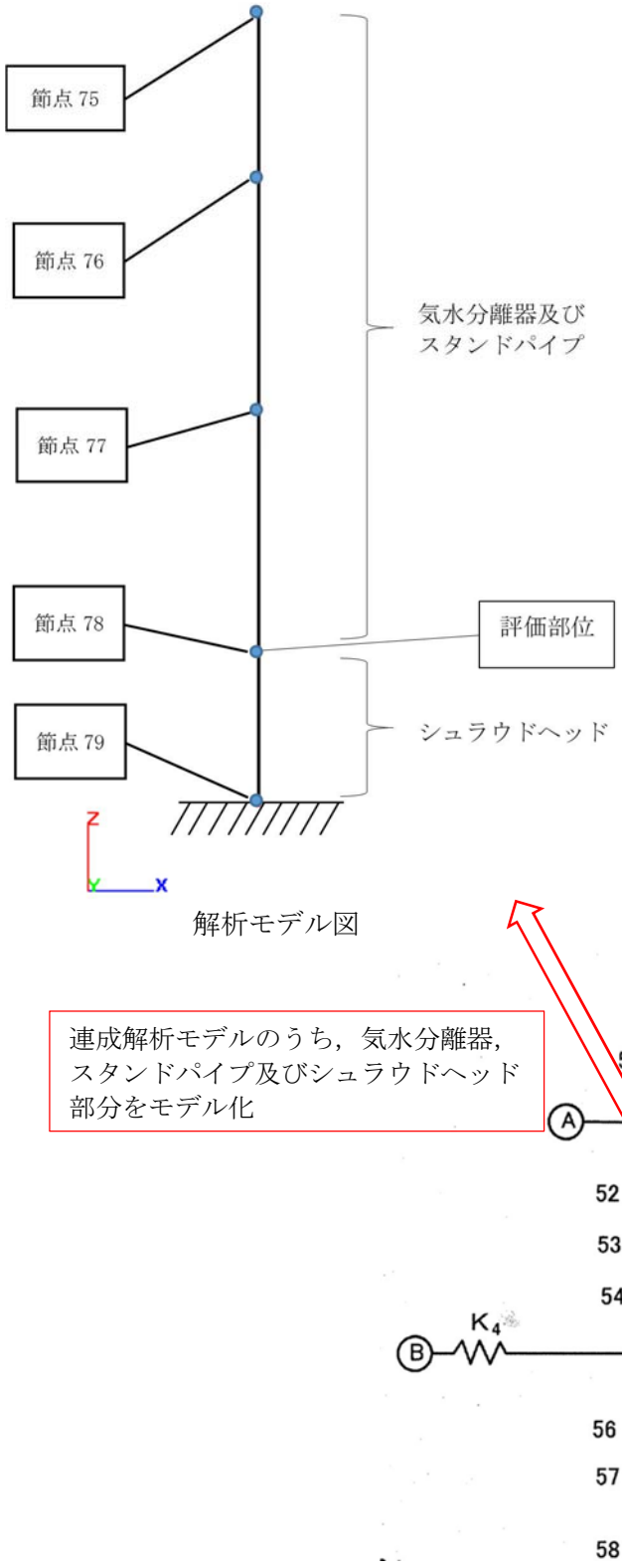


図５－２　シュラウドヘッド，気水分離器及びスタンドパイプ連成モデル

表５－1　詳細モデルの諸元

各部名称		断面積 [mm²]	有効せん断断面積 [mm²]	断面二次モーメント [mm⁴]	ねじりモーメント [mm⁴]	要素タイプ
スタンドパイプ		3.600E+03	1.800E+03	1.1720E+07	2.344E+07	ビーム要素
気水分離器	a	1.818E+03	9.088E+02	7.429E+06	1.486E+07	
	b	2.194E+03	1.097E+03	8.888E+06	1.065E+07	
	c	6.352E+03	3.176E+03	7.348E+07	1.398E+08	
	d	1.112E+04	5.562E+03	1.035E+08	1.950E+08	
	d'	1.112E+04	5.562E+03	1.035E+08	1.950E+08	
	e	7.768E+03	3.884E+03	2.445E+07	4.890E+07	
	f	3.600E+03	1.800E+03	1.1720E+07	2.344E+07	
小補強板		7.315E+02	6.096E+02	3.540E+05 5.618E+03	2.069E+04	
大補強板		7.803E+03	6.502E+03	9.6650E+08 2.6630E+04	1.065E+05	
鏡板(球面部)		板厚 50.8[mm]				シェル要素
鏡板(外周部)		板厚 76.2[mm]				

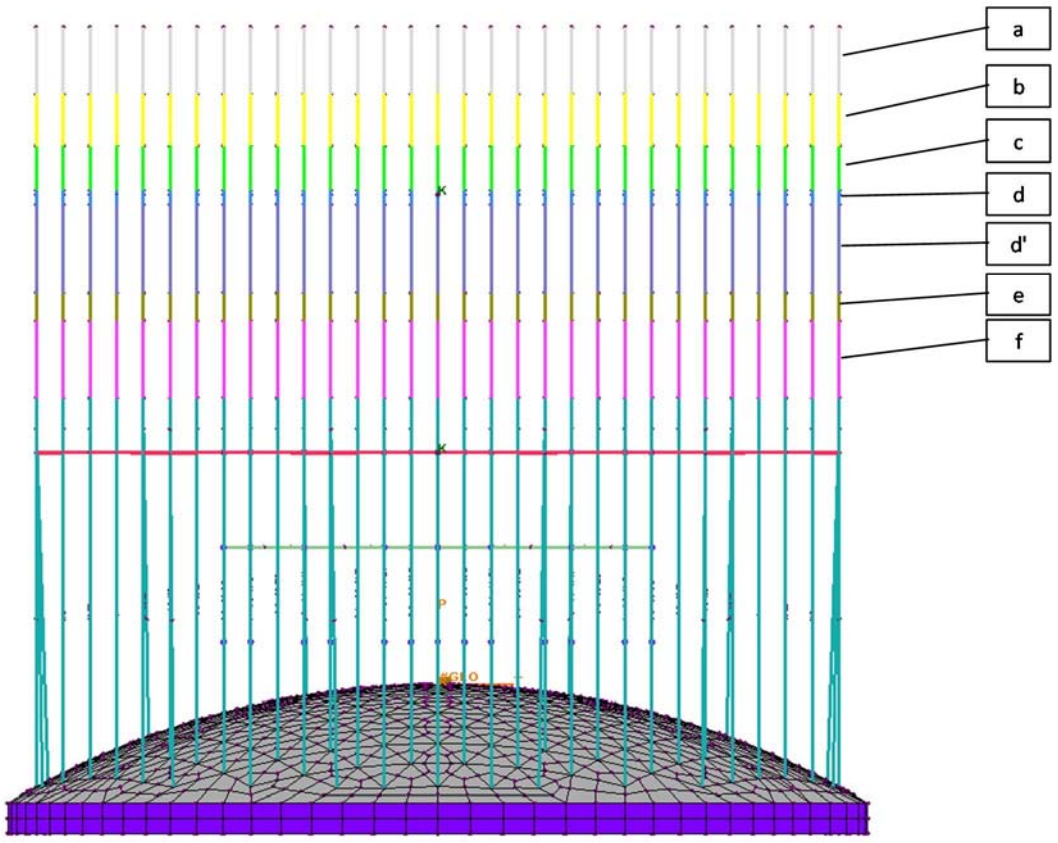


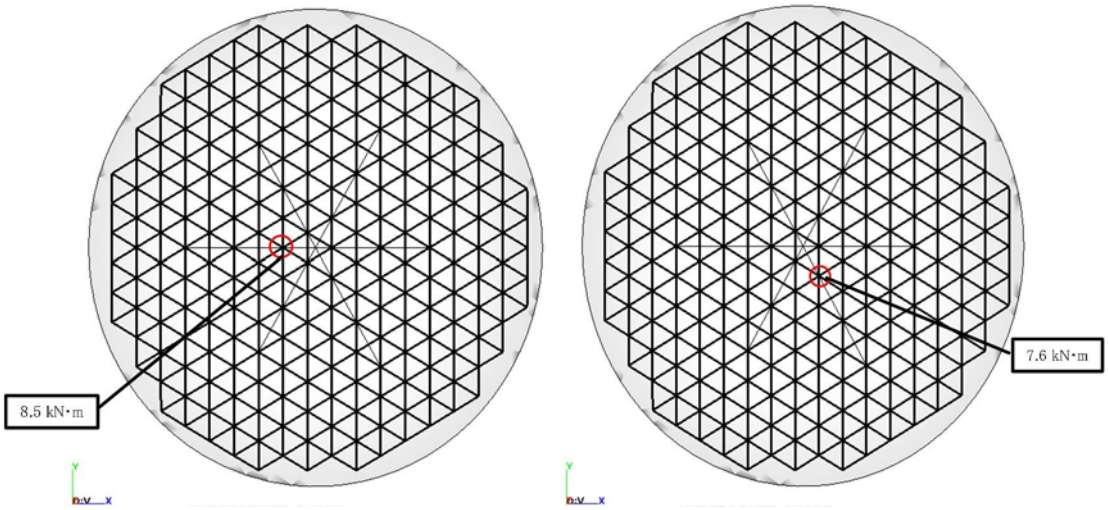
図５－３　詳細モデルの解析モデル図

（単位：kN・m）

解析モデル ＼ 荷重条件	連成モデル	詳細モデル	
		荷重方向	モーメント
	モーメント	X方向	8.5 注2
水平 1.0G	10.6 注1	Y方向	7.6 注2

注１：２２５本で除した値

注２：２２５本のうち最大値（位置は下図参照）を記載

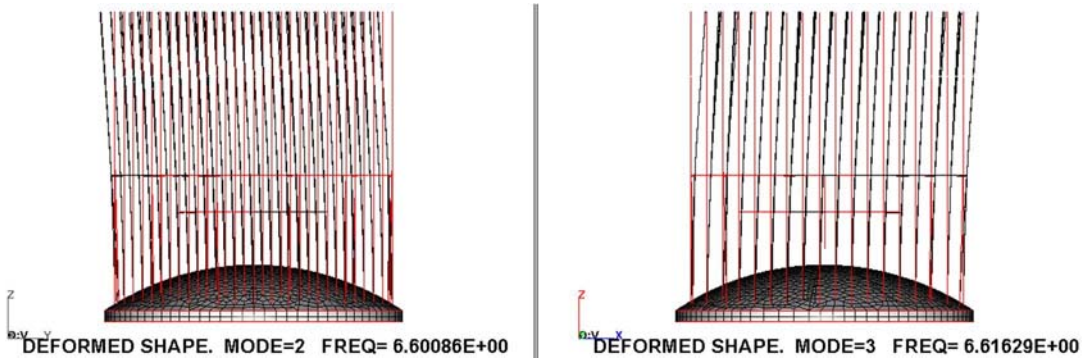


X方向　　Y方向

図５－４　連成モデルと詳細モデルの荷重比較

詳細モデルの固有周期及び刺激係数

モード	固有周期 (Hz)	刺激係数		
		x	y	z
1	5.4	0.01	0.03	0.00
2	6.6	-0.65	-7.67	0.00
3	6.6	7.67	-0.65	0.00
4	10.8	0.00	0.01	0.00
5	10.8	0.02	0.00	0.00



連成モデルの固有周期及び刺激係数

モード	固有周期 (Hz)	刺激係数		
		x	y	z
1	14.3	8.31	0.00	0.00
2	41.9	3.86	0.00	0.00
3	89.8	4.24	0.00	0.00
4	115.6	0.00	0.00	10.25
5	203.6	3.24	0.00	0.00

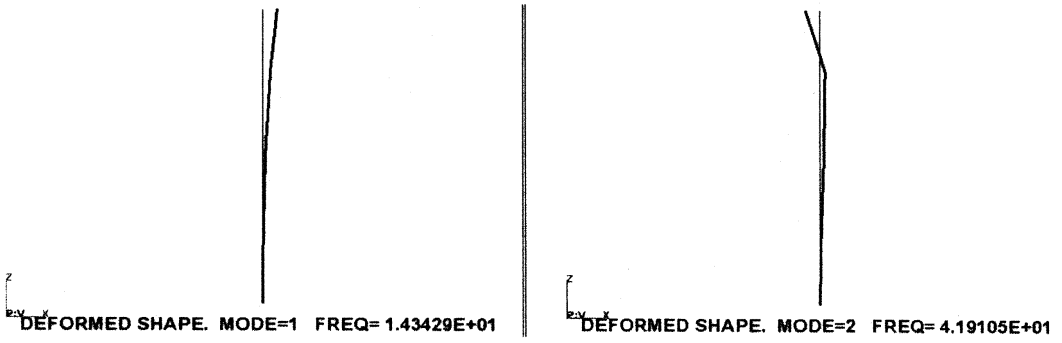


図５－５　詳細モデル及び連成モデルの振動モード図

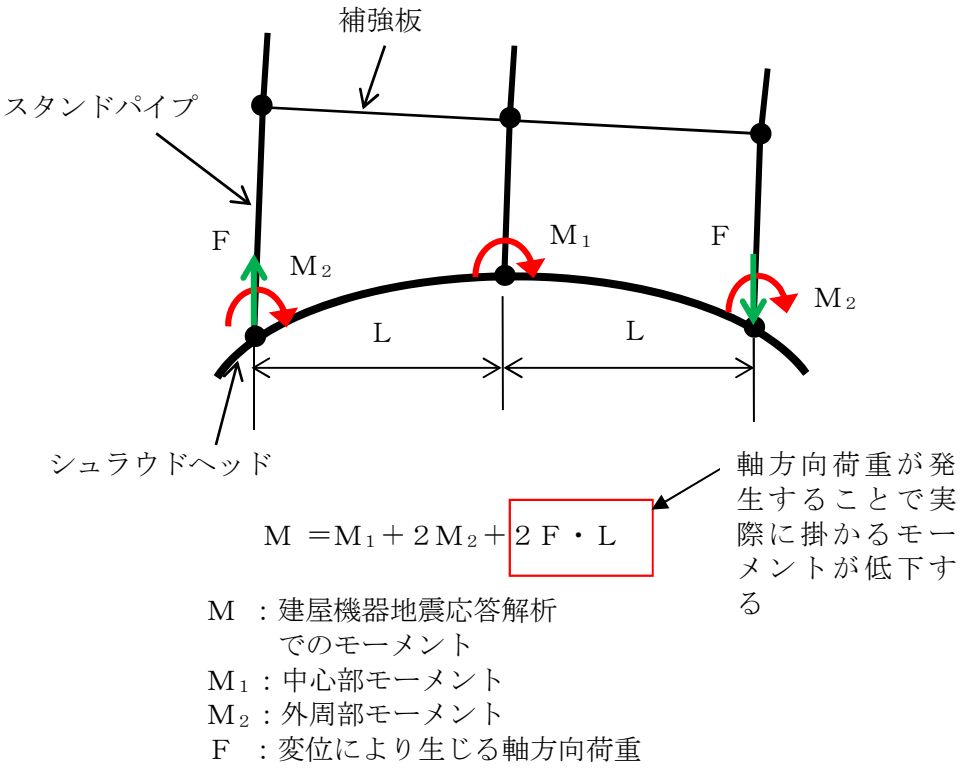


図５－６　変位に伴い発生する荷重挙動の概略図

5.2　最外周部の偏心の扱いについて

最外周部のスタンドパイプのいくつかについては，スタンドパイプが鉛直方向に対して曲がりを有している構造であるため，偏心しているスタンドパイプの扱いについての影響について整理する。

(1)　地震荷重に対する影響

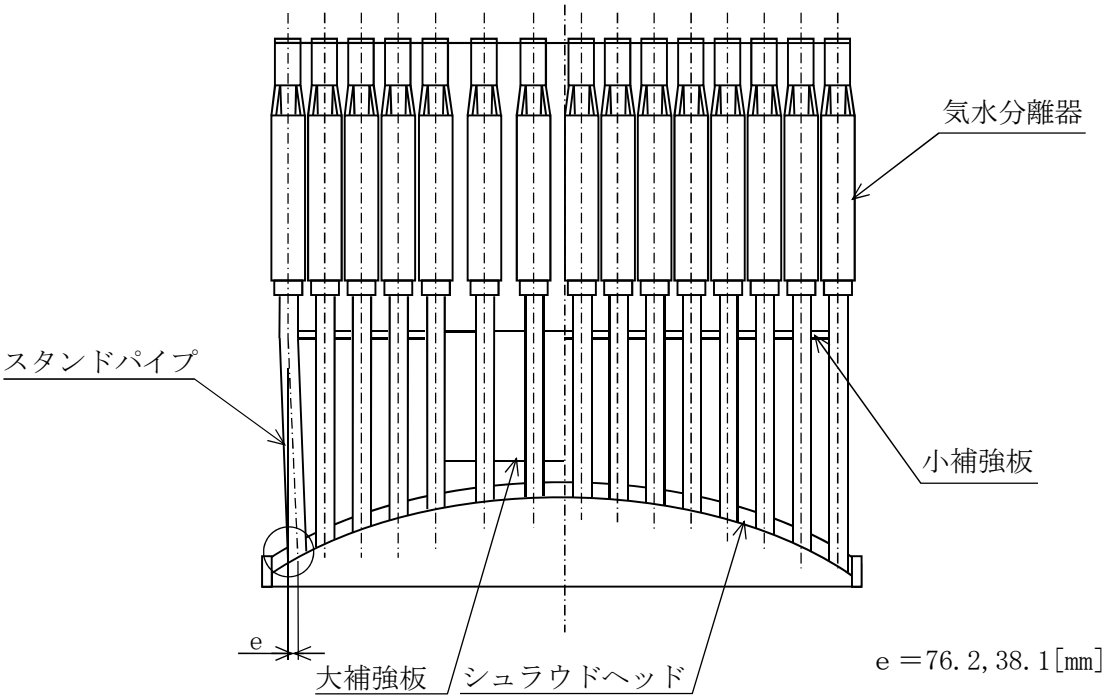
モーメント及び水平方向の地震荷重は偏心することによりスタンドパイプ付根部に対して新たに生じる荷重はない。

鉛直地震荷重は鉛直地震荷重と偏心量によるモーメントが発生するため，偏心により発生するモーメントを地震荷重として考慮する。同様に自重によってもモーメントが発生するため，これを考慮する。(図５－６参照)

なお，偏心により発生するモーメントは，最外周部の偏心を有しているスタンドパイプだけであるが，評価に用いる地震荷重については一律偏心により発生するモーメントを考慮する。

(2)　極限解析に対する影響

極限解析は中心位置と斜め取付く最外周位置の２ケース実施しているが，最外周の偏心を有するスタンドパイプに対してではなく，偏心を有しない最外周のスタンドパイプにて極限解析を実施している。これは，偏心を有するスタンドパイプの方が偏心を有しないスタンドパイプと比べ斜めに取付く影響が軽減されるためである。また，今回の極限解析結果から，中心位置の方が裕度が低い結果であり，斜めに取付く影響は軽微であると考えられることから，極限解析に対する影響はないと考える。



偏心量が 38.1mm と 76.2mm の２種類のスタンドパイプがあるが，偏心量が大きい方が鉛直力と偏心により発生するモーメントが大きくなることから，76.2mm の場合の荷重を一律考慮する。

死荷重によるモーメント：$V_{自重}/225\times e=1.91347\times10^{5}$ [N･mm]

$V_{自重}$：全スタンドパイプ死荷重 （＝ 565000 [N]）

地震荷重によるモーメント： $V_{地震}/225\times e=1.38628\times10^{5}$ [N･mm]

$V_{地震}$：全スタンドパイプの鉛直地震荷重 （＝ 409334 [N]）

図５－６ 偏心に対する考慮

別紙－１

試験体に対する極限解析について

1. はじめに

実機スタンドパイプ及びシュラウドヘッドの一部を縮尺試験体として試験を実施し，試験にて得られた限界荷重が極限解析にて得られた許容荷重よりも大きいことを確認している。試験体に対しても同様に極限解析を実施し，試験にて得られた限界荷重が極限解析にて得られた許容荷重よりも大きいことを確認する。

2. 解析方法

極限解析手法については，実機のスタンドパイプと同様に実施する。

①解析モデルの作成

解析モデルは２本の試験体の対称性を考慮して１本の試験体とする。解析モデルを図２－１に示す。縮尺試験体は対称形であることから，解析モデルは全体の 1/2 とし，パイプは鋼板との溶接部から 148mm（荷重負荷位置）までの範囲をモデル化している。また，パイプの板厚は，引張試験治具による局部的な影響を考慮する観点から治具取付部近傍を肉厚形状にしていたが，解析上においては，考慮せず，一律 1/3 スケールの板厚としている。

②境界条件の設定及び物性値の入力

境界条件は荷重負荷方向と反対側側面を拘束する。また，物性値は試験体及び実機の解析条件と同じとする。

③荷重の負荷

荷重の負荷は，試験の荷重の負荷と同様に試験体上面に引張力（水平荷重）を負荷する。

④荷重変位曲線の作成

③の荷重を増加させて荷重－変位曲線を作成する。

⑤崩壊荷重の下限（Pcr）の算定

④にて作成した荷重変位曲線をもとに崩壊荷重の下限（Pcr）を算定する。算定結果を図２－２に示す。算出結果から得られえた Pcr は 13.7 kN であった。

3.　試験結果との比較

試験体に対する極限解析にて得られた荷重－変位曲線と試験にて得られた荷重変位曲線を重ね合わせたものを図３－１に示す。試験にて得られた限界荷重は 17.5 kN であり，極限解析にて得られたＰｃｒ（＝13.7 kN）よりも，保守的であることがわかった。なお，図３－１は引張試験装置での荷重変位曲線であることから，ひずみゲージでの荷重変位曲線と重ね合わせたものを図３－２に示す。解析上はピンのたわみや形状変化部を考慮していないが，これらの変位に対する影響は小さいため，弾性勾配においても概ね一致していることが確認できる。

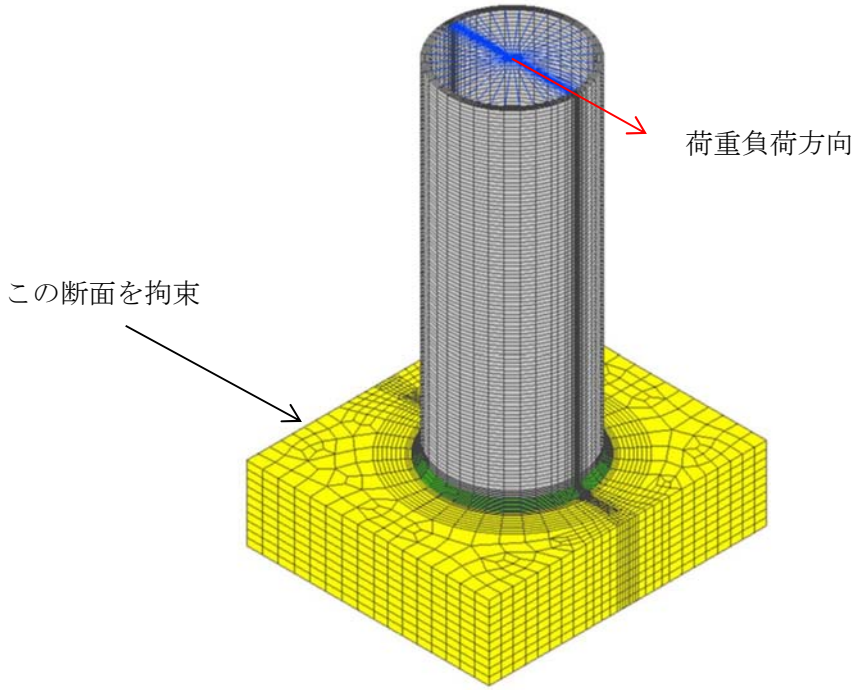


図２－１　縮尺試験体の解析モデル図

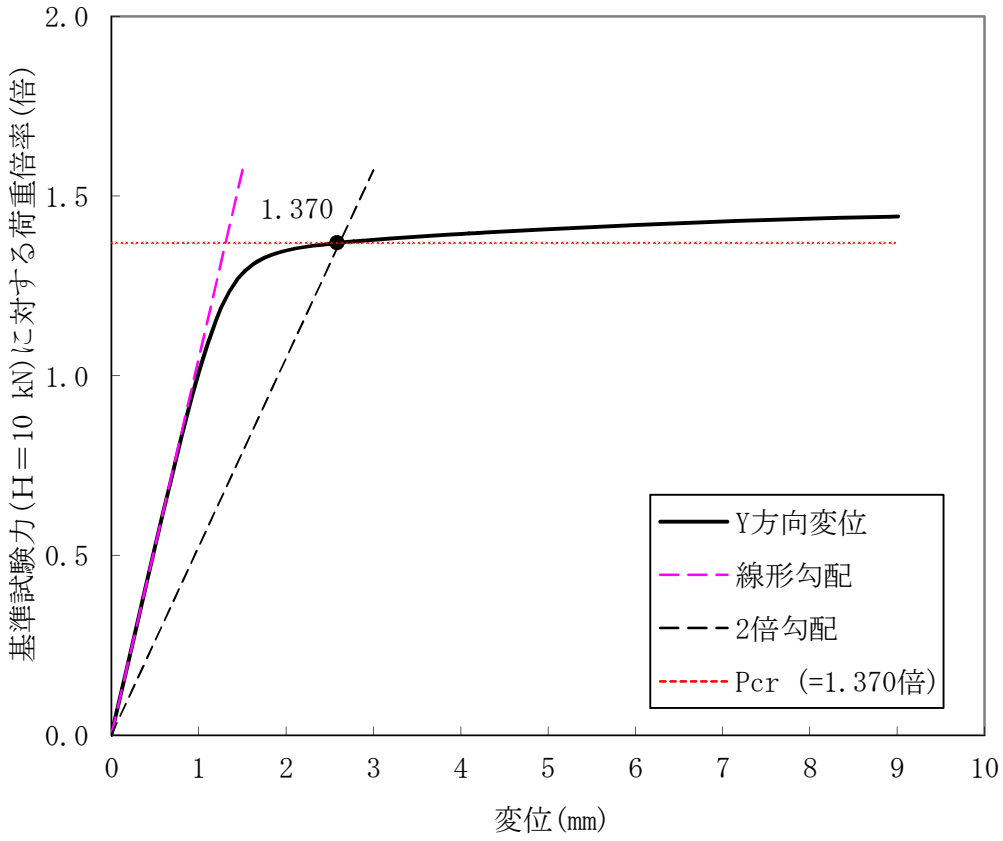


図２－２　縮尺試験体の荷重－変位曲線

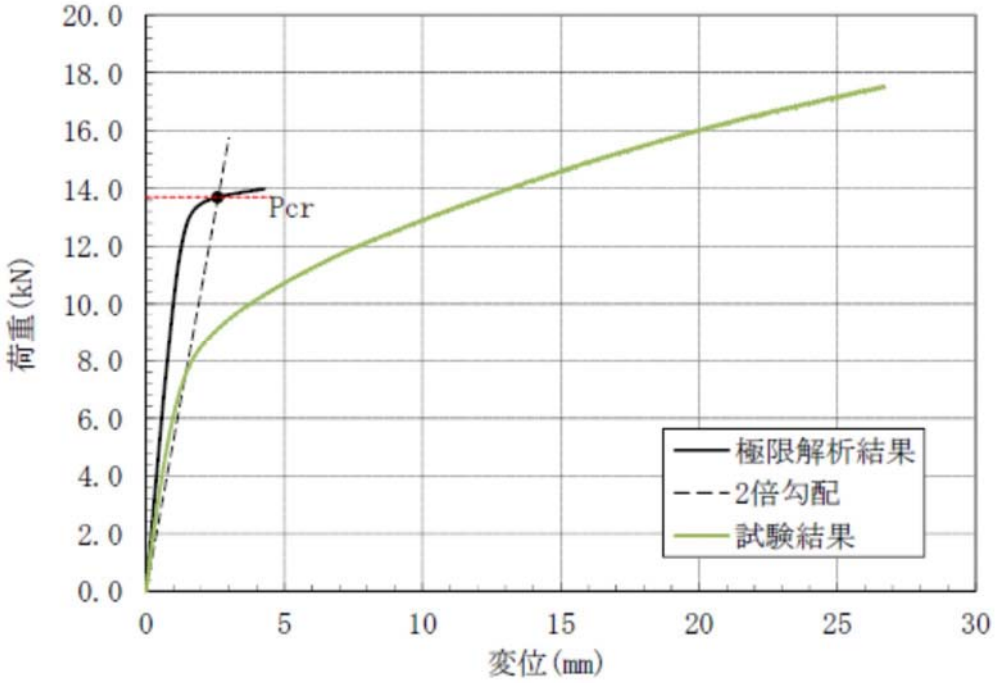


図３－１　試験結果と試験体に対する極限解析結果との比較（引張試験装置の変位）

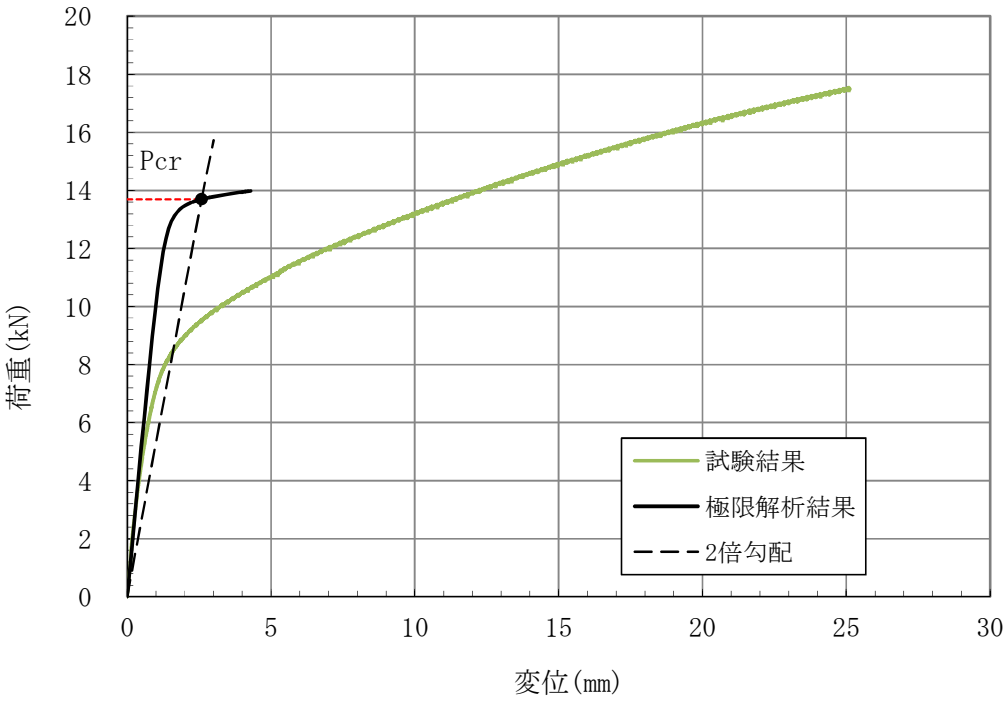


図３－２　試験結果と試験体に対する極限解析結果との比較（ひずみゲージの変位）

別紙－２

補強板の健全性について

1. 概要

スタンドパイプの地震時の評価は，建屋機器連成解析にて得られた地震荷重が極限解析で得られた許容荷重下回ることで耐震健全性を確認している。極限解析にて得られた許容荷重及び通常の応力評価では大・小補強板の剛性を考慮していないが，地震応答解析に用いた建屋機器連成解析モデルでは大補強板の剛性を考慮しているため，大補強板の耐震健全性について示す。

また，本文 5.項に記載している詳細モデルと連成モデルの荷重比較では，詳細モデルに大・小補強板の剛性を考慮していることから，併せて小補強板の健全性についても示す。

上記をまとめたものを表１に示す。

表１　補強板剛性の考慮の有無

モデル名称※	大補強板	小補強板
建屋機器連成解析モデル （地震荷重の算出）	○	×
極限解析モデル （許容荷重の算出）	×	×
詳細モデル （荷重分配の影響検討）	○	○

○：剛性を考慮する，　×：剛性を考慮しない

※：（　）内はモデルの用途を示す

2. 評価方法

補強板１体当たりの死荷重に崩壊荷重発生時の震度を乗じて地震荷重を算出する（表２参照)。水平震度及び鉛直震度は建屋機器連成解析から得られた当該部位の震度を用いる。得られた荷重から一次応力を求め，応力強さが許容値を満足することを確認する。

表２　評価用震度

許容応力状態	EL.［m］	水平震度※	鉛直震度※	荷重倍率 (Pcr/地震荷重)
ⅢＡＳ	33.132	2.79(2.51)	0.92(0.83)	1.108
ⅣＡＳ	33.132	4.28(3.77)	1.74(1.53)	1.134

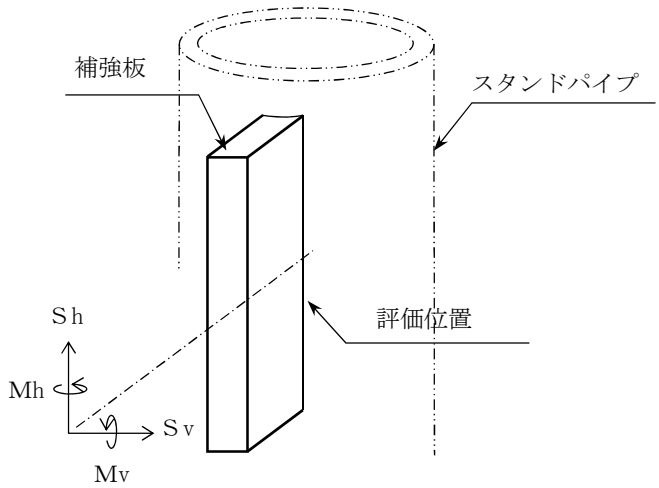
※：（　）内に示す震度に荷重倍率を乗じた値

表２　大補強板に生じる地震荷重

許容応力状態	せん断力Ｓ［N］		曲げモーメントＭ［N･mm］	
	Sh	Sv	Mh	Mv
ⅢＡＳ	397	131	28100	9270
ⅣＡＳ	608	247	43200	17600

表２　小補強板に生じる地震荷重

許容応力状態	せん断力Ｓ［N］		曲げモーメントＭ［N･mm］	
	Sh	Sv	Mh	Mv
ⅢＡＳ	15.4	5.06	447	148
ⅣＡＳ	23.6	9.57	685	279



評価部位

3.　許容応力

補強板は原子炉圧力容器の内部にあることから JEAG4601-1984 の炉内構造物の許容限界を適用する。また， 301℃（運転状態Ⅰ及びⅡの最高使用温度）における許容応力状態ⅢＡＳ及びⅣＡＳの許容応力に，JSME　CSS-3150 に準拠し，溶接継手効率として大補強板※1は 0.35，小補強板※2は 0.60 を考慮する。表３に補強板の許容応力を示す。

※１　不連続すみ肉溶接，表面浸透探傷試験（検査の種類Ｅ）

※２　両側すみ肉溶接，表面浸透探傷試験（検査の種類Ｅ）

表３　補強板の許容応力（炉内構造物）

評価部位	応力分類	許容応力状態※	
		ⅢＡＳ	ⅣＡＳ
小補強板（オーステナイトステンレス鋼（SUS304））	一次一般膜応力	103 (1.5Sm×0.60)	156 (Min (2.4Sm,2/3Su) ×0.60)
	一次一般膜＋一次曲げ応力	154 (2.25Sm×0.60)	234 (Min (3.6Sm,Su) ×0.60)
大補強板（オーステナイトステンレス鋼（SUS304））	一次一般膜応力	60 (1.5Sm×0.35)	91 (Min (2.4Sm,2/3Su) ×0.35)
	一次一般膜＋一次曲げ応力	90 (2.25Sm×0.35)	136 (Min (3.6Sm,Su) ×0.35)

※：３０１℃における値

4.　評価結果

補強板の応力評価結果を表４に示す。表４により各許容応力状態において，発生応力は許容応力を下回っており，補強板の健全性が確保できている。

表４　補強板の応力評価結果

許容応力状態	評価部位	評価応力	応力強さ [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度
III_A S	大補強板	一次一般膜応力	1	60	60.0
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	4	90	22.5
	小補強板	一次一般膜応力	1	103	103.0
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	1	154	154.0
IV_A S	大補強板	一次一般膜応力	1	91	91.0
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	6	136	22.6
	小補強板	一次一般膜応力	1	156	156.0
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	1	234	234.0

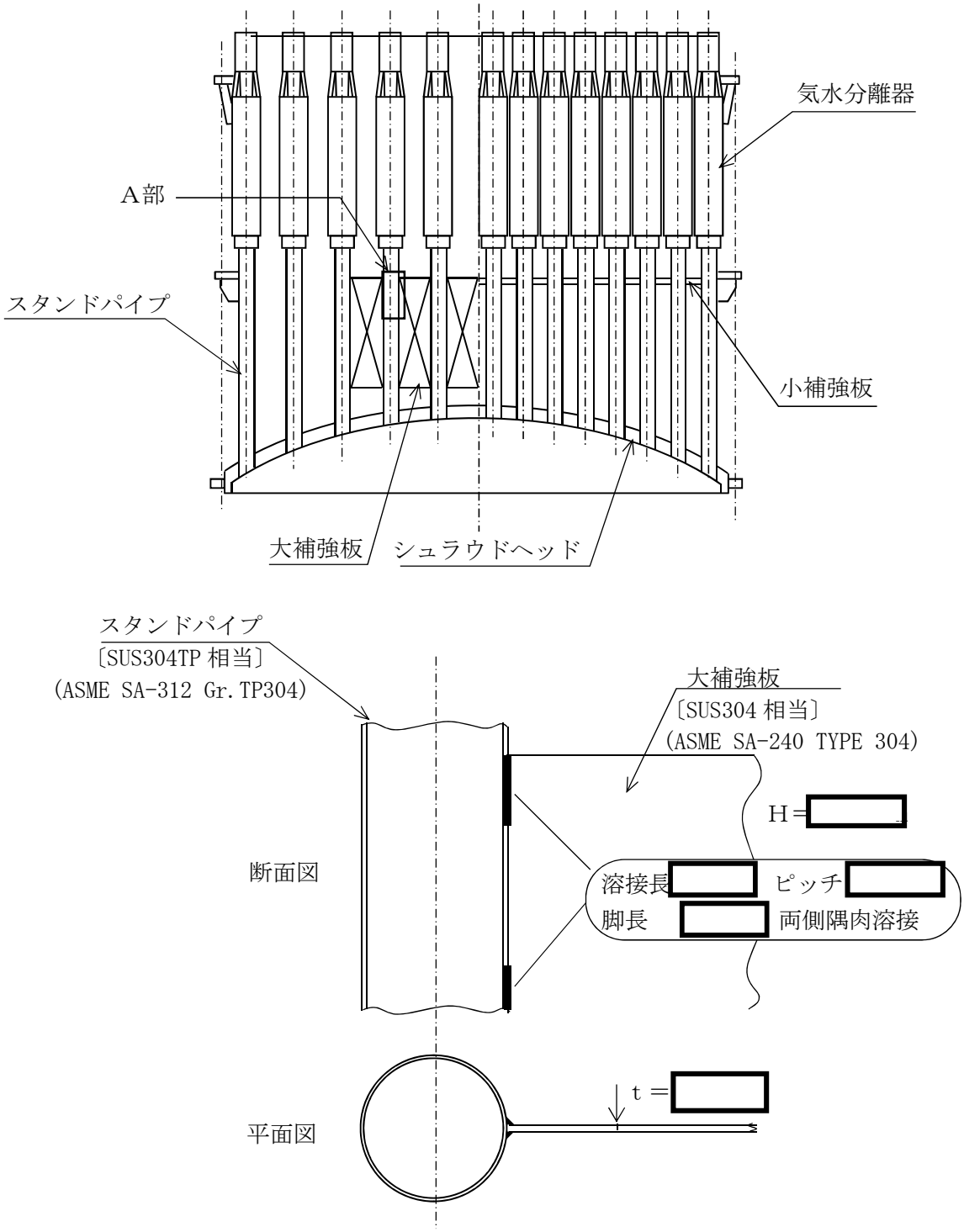

気水分離器
A部
スタンドパイプ
小補強板
大補強板
シュラウドヘッド
スタンドパイプ
〔SUS304TP 相当〕
(ASME SA-312 Gr.TP304)
大補強板
〔SUS304 相当〕
(ASME SA-240 TYPE 304)
H＝
断面図
溶接長
ピッチ
脚長
両側隅肉溶接
t ＝
平面図
A部詳細図

図１　補強板の外形図

気水分離器と蒸気乾燥器の相対変位について

1. 概要

蒸気乾燥器は原子炉圧力容器上部のブラケットにて支持され，気水分離器は炉心シュラウド上部のシュラウドヘッドに設置されている。気水分離器と蒸気乾燥器は水平方向に対してそれぞれを支持しておらず（図１参照），地震時には水平方向の変位により蒸気乾燥器と気水分離器が接触，衝突が発生する可能性がある。また，今回のスタンドパイプに用いた極限解析は弾塑性状態まで考慮した許容荷重であり，かつ許容荷重とＳｓ地震荷重は近いことから，線形解析である建屋機器連成解析で得られる変位と比べ弾塑性状態での変位を含めると変位が増加する。このため，スタンドパイプ付根部の弾塑性状態による変位増加を含めた蒸気乾燥器と気水分離器の地震時の相対変位を評価することにより，衝突等の考慮の有無を確認する。

2. 気水分離器と蒸気乾燥器間の相対変位の算出

気水分離器と蒸気乾燥器間の相対変位の算出は，図２に示す建屋機器連成解析モデルを使用し，線形解析による時刻歴応答解析により蒸気乾燥器と気水分離器との相対変位を時々刻々に確認し，最大となる相対変位を算出する。線形解析により得られた最大相対変位にスタンドパイプ付根部の弾塑性状態による変位増加分を加えることにより，弾塑性状態を考慮した相対変位を算出する。

2.1 線形解析による相対変位の算出

建屋機器連成解析モデルを用いた時刻歴応答解析による気水分離器上部と同じ高さに位置する原子炉圧力容器間の相対変位の最大値を表１に示す。表１に示すとおり，相対変位の最大値は１方向で 5.62mm，水平２方向で 7.84mm である。

表１　建屋機器連成解析による相対変位の最大値（線形解析）　（単位:mm）

評価位置	①相対変位		１方向 最大変位	水平２方向
	NS	EW	①の最大値	①の SRSS
気水分離器上部と原子炉圧力容器（同じ高さ位置） （質点番号５４と７５間）	5.62	5.46	5.62	7.84

2.2　弾塑性状態に対する変位増加の算出

2.2.1　変位増加の算出概要

スタンドパイプ付根部の弾塑性状態による変位の増加の影響を受けるのはシュラウドヘッド上部に設置される気水分離器及びスタンドパイプであるため，気水分離器及びスタンドパイプの変位増加量を算出する。

気水分離器及びスタンドパイプ自体の最大応答変位は建屋機器連成解析結果から，気水分離器上部（質点番号 75）で 38.0mm，シュラウドヘッド上部（質点番号 78）で 32.5mm であるため，気水分離器及びスタンドパイプ自体の最大応答変位は 5.5mm となる。これに極限解析にて得られた荷重変位曲線からＳｓ地震時の弾性状態と仮定した変位と弾塑性状態での変位の比から弾塑性状態での変位の増加量を加える（図３参照）。増加量の算出は 2.2.2 に示す。

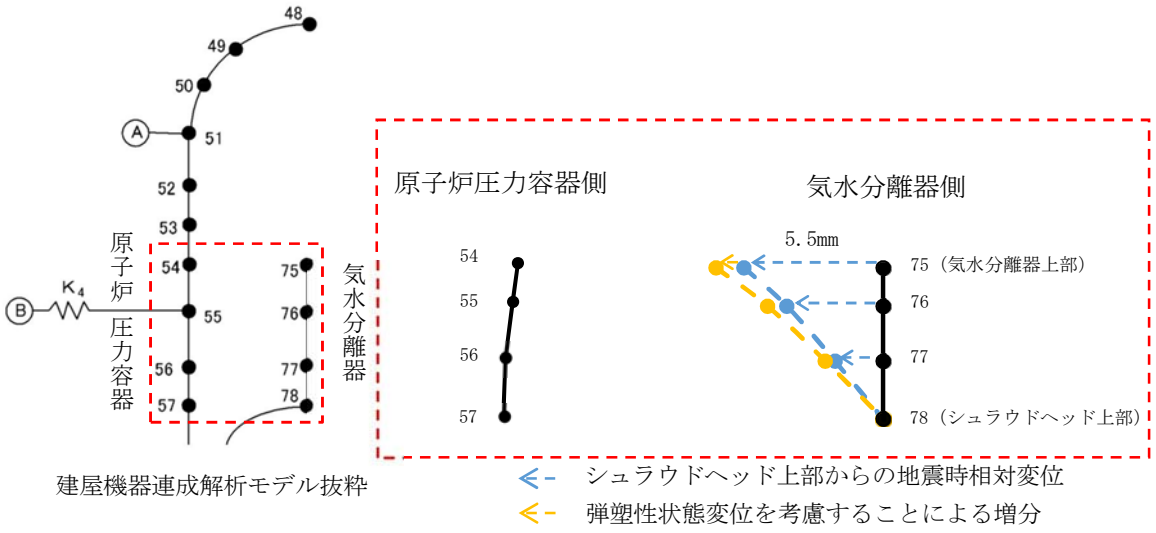


図３　弾塑性状態の変位に対する考慮の概要図

2.2.2　弾塑性状態に対する変位増加の算出

図４に示す極限解析にて得られた荷重変位曲線からＳｓ地震時における変位は弾性状態と比較して約 1.2 倍変位が増加する。このため，弾塑性状態の変位に対する考慮として，スタンドパイプから気水分離器までの最大応答変位 5.5mm に弾塑性状態による増加分である 0.2 分の変位 1.1mm を上乗せする。弾塑性状態による変位増加を加えた結果を表２に示す。表２に示すとおり，相対変位の最大値は１方向で 6.72mm，水平２方向で 9.40mm である。

表２　弾性解析結果に弾塑性による変位増加を考慮した相対変位　（単位:mm）

評価位置	①相対変位（線形解析）		１方向最大変位	水平２方向
	NS	EW	①の最大値＋5.5×0.2	(①＋5.5×0.2)の SRSS
気水分離器上部と原子炉圧力容器（同じ高さ位置）（質点番号５４と７５間）	5.62	5.46	6.72	9.40

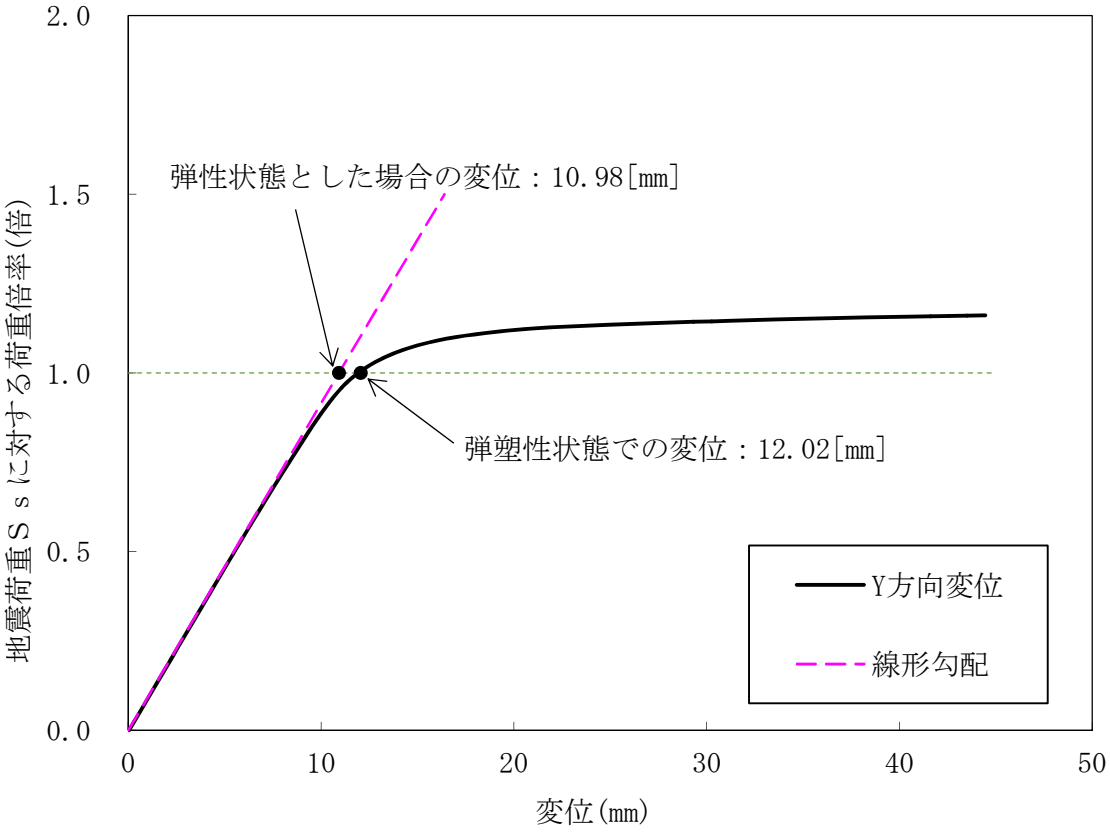


図４　極限解析での荷重変位曲線（1000mm）

3.　気水分離器と蒸気乾燥器間の距離

気水分離器と蒸気乾燥器間の最短距離は図１に示すとおり，上リングと蒸気乾燥器スカート間の □ mm である。

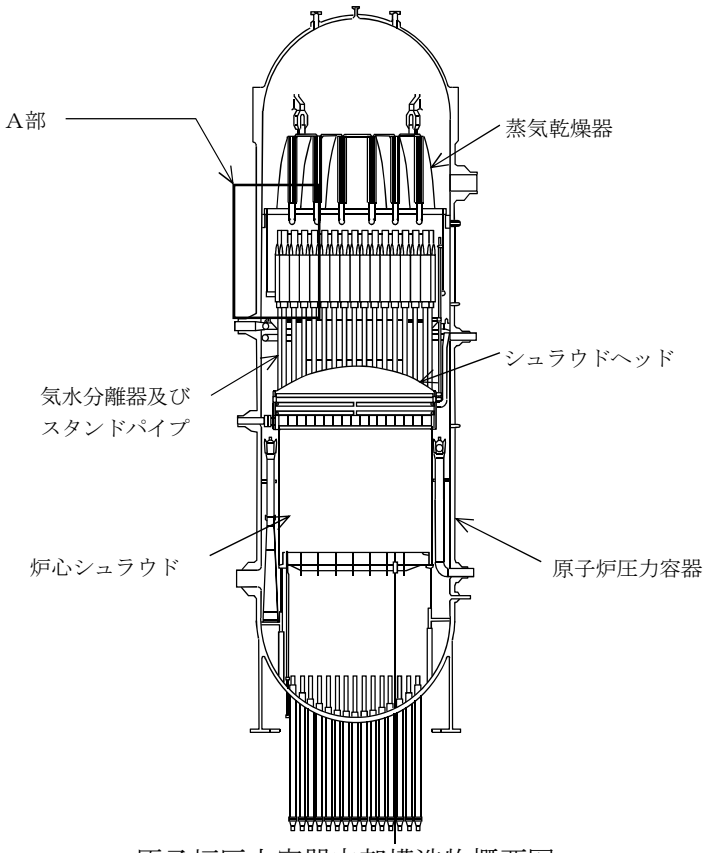
4.　評価結果

評価結果を表３に示す。表３に示すとおり，スタンドパイプ付根部の弾塑性状態による変位増加を考慮しても相対変位は基準値である □ mm 以内であることから，衝突等は生じない。

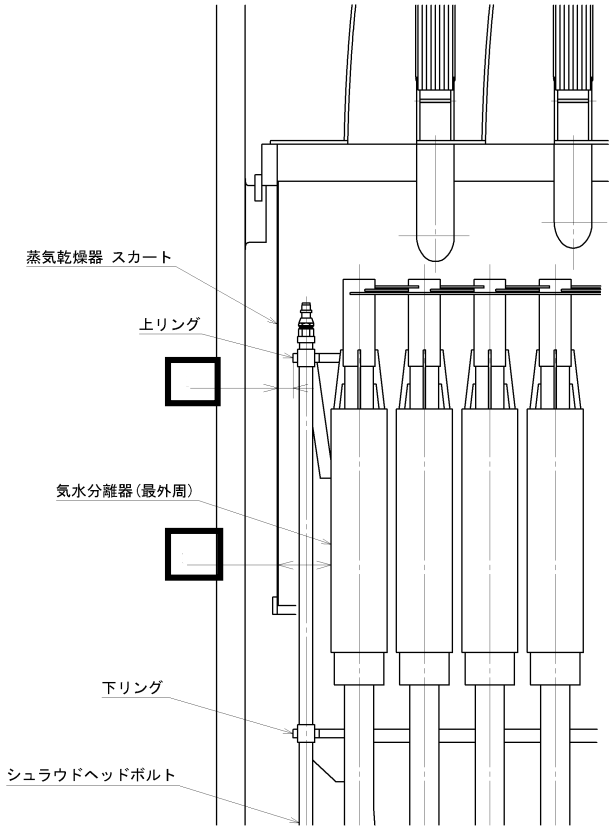
また，鉛直方向に対しては，気水分離器はシュラウドに，蒸気乾燥器はブラケットに支持されていることから鉛直方向に対して衝突は発生しない。

表３　弾塑性状態の変位増加を考慮した相対変位評価結果　（単位:mm）

評価位置	１方向 最大変位	水平２方向	基準値 （最小ギャップ）
気水分離器上部と原子炉圧力容器（同じ高さ位置） （質点番号５４と７５間）	6.72	9.40	□



原子炉圧力容器内部構造物概要図



A部詳細図

図１　蒸気乾燥器，気水分離器及びスタンドパイプ概要図

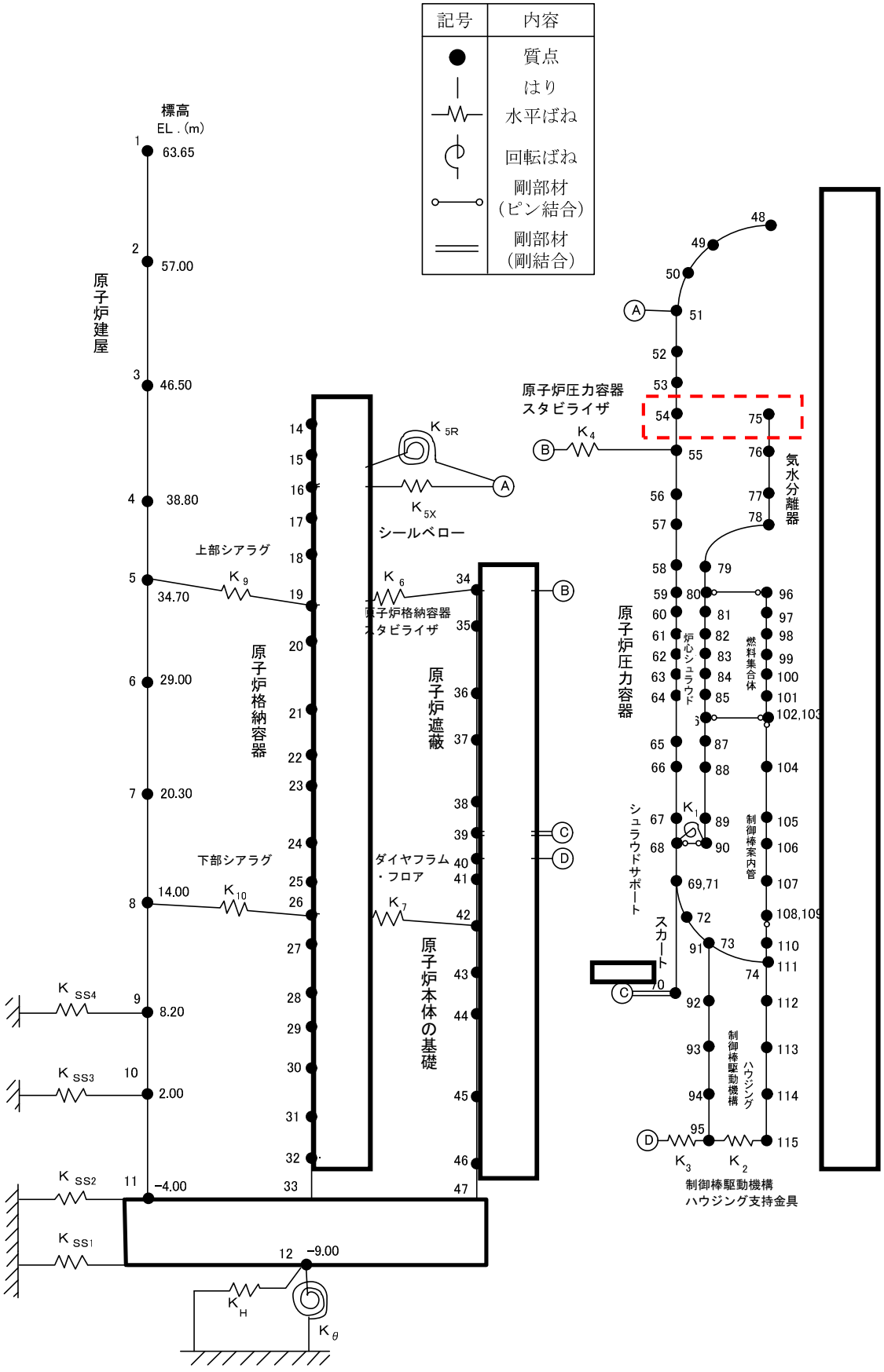


図２　建屋機器連成解析モデル（水平）

2.　設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法

目　　次

1.　はじめに ····· 1
2.　設計用床応答曲線の作成方法 ····· 1
3.　設計用床応答曲線の適用方法 ····· 1
3.1　設計用床応答曲線の適用について ····· 1
3.2　耐震計算に用いる耐震評価条件の設計上の考慮について ····· 4

参考　床応答スペクトル固有周期計算間隔について

添付 1　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

添付 2　機器・配管系の耐震評価に用いる床応答スペクトルについて

添付 3　機器・配管系の耐震計算に適用する設備評価用床応答曲線

1.　はじめに

本資料は，東海第二発電所で適用している設計用床応答曲線の作成方法及びその適用方法について纏めたものである。

2.　設計用床応答曲線の作成方法

床応答曲線の作成に係る方針については，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に記載しており，そこで設計用床応答曲線の作成手順，解析方法，解析モデル等について説明している。この設計用床応答曲線は，ＪＥＡＧ4601-1987 に従い，周期 0.05 秒未満の領域は応答増幅を考慮しない剛な領域として扱い，周期 0.05 秒以上の領域について応答を求めている。固有周期の計算間隔は，表 2－1 に示す計算間隔を用いている。

表 2－1　円振動数の計算間隔

固有周期 (s)	計算間隔 (Δω：rad／s)
0.05 ～ 0.1	4.0
0.1 ～ 0.2	1.5
0.2 ～ 0.39	1.0
0.39 ～ 0.6	0.3
0.6 ～ 1.0	0.5

3.　設計用床応答曲線の適用方法

3.1　設計用床応答曲線の適用について

2.で作成した設計用床応答曲線は，評価する機器・配管系の固有周期における加速度を読み取ることで用いるが，解析モデルや固有周期により複数のケースがあることから，最大応答加速度（以下「ZPA（Zero Period Acceleration)」という。）を適用するケースも含めて表 3－1 にて整理する。

表 3-1　設計用床応答曲線の適用方法

モデル	1 次固有周期	適用方法 （解法）	適用例
1 質点系モデル	0.05 秒超え	設計用床応答曲線 （静解析）	－
	0.05 秒以下	1.2ZPA （静解析）	アキュムレータ
多質点系モデル*1	0.05 秒超え	設計用床応答曲線（スペクトルモーダル解析）及び 1.2ZPA（静解析）	配管系
	0.05 秒以下	1.2ZPA （静解析）	制御ユニット
有限要素モデル	0.05 秒超え	設計用床応答曲線（スペクトルモーダル解析）及び 1.2ZPA（静解析）	使用済燃料貯蔵ラック
	0.05 秒以下	1.2ZPA （静解析）	使用済燃料乾式貯蔵容器

＊1　時刻歴応答解析法を適用する設備もある。その場合は設計用床応答曲線を用いずに時刻歴波形を応答解析に用いるとともに，材料物性のばらつき等を適切に考慮している。

表 3－1 の整理において，1.2ZPA による静解析を実施する旨を整理しているが，これは設置変更許可申請書の添付書類八において，「剛性の高い機器は，その機器の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍を震度として作用させて地震力を算定する。」との方針としていることから，1 次固有振動数が 20Hz 以上の機器に対して，設置床面の最大応答加速度（ZPA）の 1.2 倍を震度として作用させた地震力にて評価を行う。

また，各解析手法として静解析及びスペクトルモーダル解析にて適用する加速度値を図 3－1 に示す。静解析は，建物・構築物等の地震応答解析結果から得られる最大応答加速度（ZPA）を 1.2 倍した加速度値を適用する。スペクトルモーダル解析については，0.05 秒（20Hz）までの加速度値を考慮し解析を実施する。高次モードの影響を確認するために実施する配管に設置された弁の動的機能維持評価に対するスペクトルモーダル解析は，0.02 秒（50Hz）までを考慮する。スペクトルモーダル解析において考慮する固有周期等の考え方については，「添付 1　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」に示す。

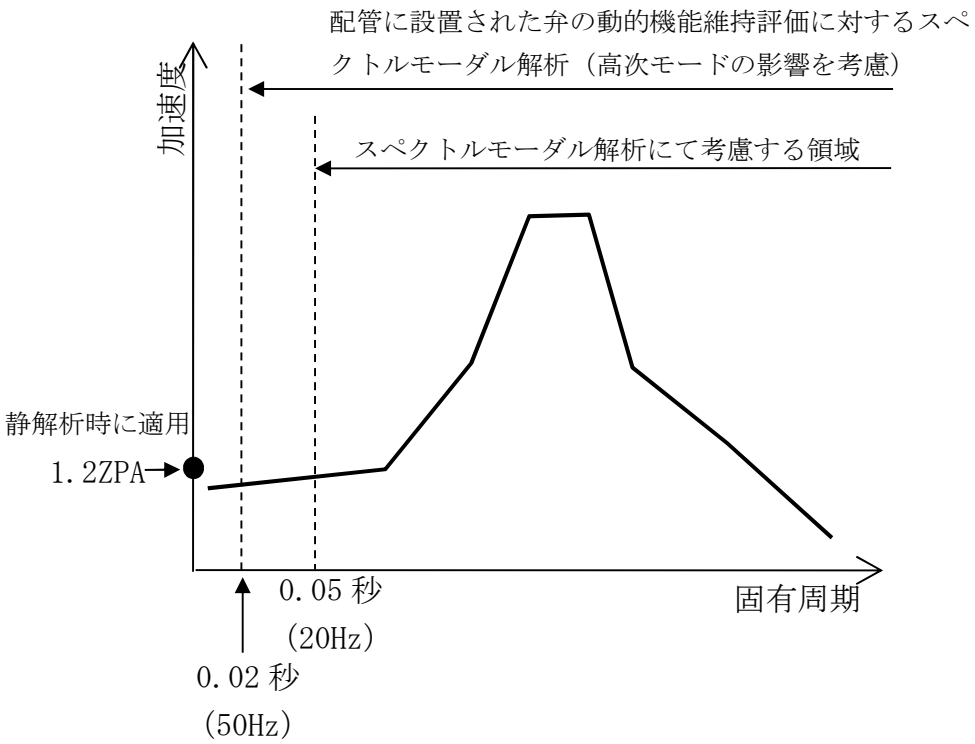


図 3－1　静解析及びスペクトルモーダル解析にて適用する加速度値

3.2　耐震計算に用いる耐震評価条件の設計上の考慮について

今回工認の機器・配管系の耐震計算書の作成においては，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線等の耐震評価条件に設計上の配慮を考慮して設定した設備評価用床応答曲線を用いる。設備評価用床応答曲線の設定方法については，「添付２　機器・配管系の耐震評価に用いる床応答スペクトルについて」に示す。

（参考）

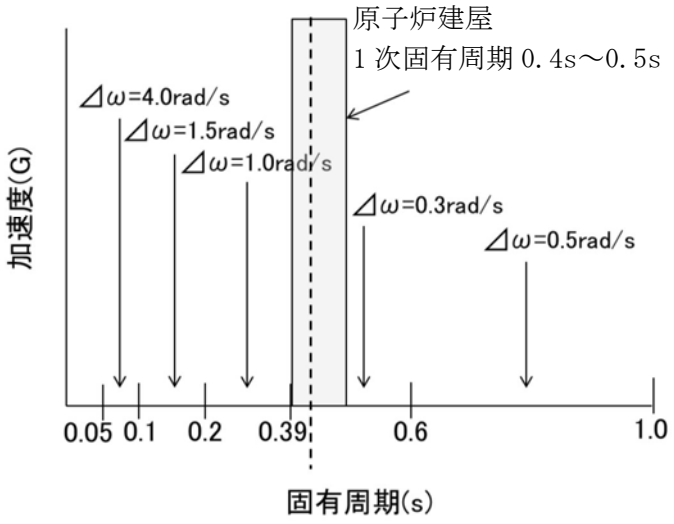
床応答スペクトル固有周期計算間隔について

固有周期計算間隔の設定手順は①，②のとおりである。また，設定手順のイメージを図－1に示す。

① 固有周期Ｔの計算間隔は，0.05～1.0秒の間を固有周期で区分けし，各区分の間を円振動数の計算間隔Δω=一定の間隔で刻むこととしている。ここでΔω=一定で刻むのはT=2π／ωの関係から同一のΔωに対して短周期になるほど計算間隔が密になるためである。これは，床応答スペクトルは一般的に短周期（建屋の高次モード）において加速度の変化が大きいこと，また，床応答スペクトルを用いて耐震解析を行う機器・配管系の固有周期は短周期側にあるため，短周期でより精度よく応答スペクトルを計算する必要があるためである。

② 床応答スペクトルを作成する周期範囲 0.05～1.0 秒において，短周期側の区分が狭くなるように領域分けを行い，建屋の卓越周期にあたる区間の計算間隔が比較的細かくなるようにΔωを設定する。なお，東海第二発電所のＳｓ8 波に対する原子炉建屋 1 次固有周期は 0.42～0.39 秒である。表－1 に床応答スペクトル固有周期計算間隔の設定手順を示す。

以上の手順を踏まえた床応答スペクトルの作成点を表－2 に示す。固有周期が短くなるほど計算間隔が細かくなり，より精度良く床応答スペクトルを作成することが判る。



図－１ 床応答スペクトル固有周期の計算間隔

表－1 床応答曲線作成に用いる固有周期計算間隔の設定手順

表 2－1 で定義した固有周期と計算間隔

固有周期 T (s)	計算間隔 Δ ω (rad／s)	円振動数 ω (rad／s)	床応答曲線作成に用いる固有周期 T(=2 π／ω) (s)
1.000	－	6.283185	1.000
	0.500	6.783185	0.926
	0.500	7.283185	0.863
	0.500	7.783185	0.807
	0.500	8.283185	0.759
	0.500	8.783185	0.715
	0.500	9.283185	0.677
	0.500	9.783185	0.642
	0.500	10.283185	0.611
0.600	0.300	10.471976	0.600
	0.300	10.771976	0.583
	0.300	11.071976	0.567
	・	・	・
	・	・	・

0.5 間隔

表－2　床応答スペクトル作成点

No.	T	f ＝1/T	ω＝2π f ω＋Δ ω	△ω	ω	T＝2π／ω	ＦＲＳ作成点 周期T(s)
1	1.000	1.000	6.283185	—	6.283185	1.000000	1.000
2			6.783185	0.500	6.783185	0.926288	0.926
3			7.283185	0.500	7.283185	0.862697	0.863
4			7.783185	0.500	7.783185	0.807277	0.807
5			8.283185	0.500	8.283185	0.758547	0.759
6			8.783185	0.500	8.783185	0.715365	0.715
7			9.283185	0.500	9.283185	0.676835	0.677
8			9.783185	0.500	9.783185	0.642243	0.642
9			10.283185	0.500	10.283185	0.611015	0.611
—			10.783185	0.500	10.783185	0.582684	—
10	0.600	1.667	10.471976	—	10.471976	0.600000	0.600
11			10.771976	0.300	10.771976	0.583290	0.583
12			11.071976	0.300	11.071976	0.567485	0.567
13			11.371976	0.300	11.371976	0.552515	0.553
14			11.671976	0.300	11.671976	0.538314	0.538
15			11.971976	0.300	11.971976	0.524824	0.525
16			12.271976	0.300	12.271976	0.511995	0.512
17			12.571976	0.300	12.571976	0.499777	0.500
18			12.871976	0.300	12.871976	0.488129	0.488
19			13.171976	0.300	13.171976	0.477012	0.477
20			13.471976	0.300	13.471976	0.466389	0.466
21			13.771976	0.300	13.771976	0.456230	0.456
22			14.071976	0.300	14.071976	0.446503	0.447
23			14.371976	0.300	14.371976	0.437183	0.437
24			14.671976	0.300	14.671976	0.428244	0.428
25			14.971976	0.300	14.971976	0.419663	0.420
26			15.271976	0.300	15.271976	0.411419	0.411
27			15.571976	0.300	15.571976	0.403493	0.403
28			15.871976	0.300	15.871976	0.395867	0.396
—			16.171976	0.300	16.171976	0.388523	—
29	0.390	2.564	16.110732	—	16.110732	0.390000	0.390
30			17.110732	1.000	17.110732	0.367207	0.367
31			18.110732	1.000	18.110732	0.346932	0.347
32			19.110732	1.000	19.110732	0.328778	0.329
33			20.110732	1.000	20.110732	0.312429	0.312
34			21.110732	1.000	21.110732	0.297630	0.298
35			22.110732	1.000	22.110732	0.284169	0.284
36			23.110732	1.000	23.110732	0.271873	0.272
37			24.110732	1.000	24.110732	0.260597	0.261
38			25.110732	1.000	25.110732	0.250219	0.250
39			26.110732	1.000	26.110732	0.240636	0.241
40			27.110732	1.000	27.110732	0.231760	0.232
41			28.110732	1.000	28.110732	0.223516	0.224
42			29.110732	1.000	29.110732	0.215837	0.216
43			30.110732	1.000	30.110732	0.208669	0.209
44			31.110732	1.000	31.110732	0.201962	0.202
—			32.110732	1.000	32.110732	0.195672	—
45	0.200	5.000	31.415927	—	31.415927	0.200000	0.200
46			32.915927	1.500	32.915927	0.190886	0.191
47			34.415927	1.500	34.415927	0.182566	0.183
48			35.915927	1.500	35.915927	0.174941	0.175
49			37.415927	1.500	37.415927	0.167928	0.168
50			38.915927	1.500	38.915927	0.161455	0.161
51			40.415927	1.500	40.415927	0.155463	0.155
52			41.915927	1.500	41.915927	0.149900	0.150
53			43.415927	1.500	43.415927	0.144721	0.145
54			44.915927	1.500	44.915927	0.139888	0.140
55			46.415927	1.500	46.415927	0.135367	0.135
56			47.915927	1.500	47.915927	0.131129	0.131
57			49.415927	1.500	49.415927	0.127149	0.127
58			50.915927	1.500	50.915927	0.123403	0.123
59			52.415927	1.500	52.415927	0.119872	0.120
60			53.915927	1.500	53.915927	0.116537	0.117
61			55.415927	1.500	55.415927	0.113382	0.113
62			56.915927	1.500	56.915927	0.110394	0.110
63			58.415927	1.500	58.415927	0.107559	0.108
64			59.915927	1.500	59.915927	0.104867	0.105
65			61.415927	1.500	61.415927	0.102305	0.102
—			62.915927	1.500	62.915927	0.099866	—
66	0.100	10.000	62.831853	—	62.831853	0.100000	0.100
67			66.831853	4.000	66.831853	0.094015	0.094
68			70.831853	4.000	70.831853	0.088706	0.089
69			74.831853	4.000	74.831853	0.083964	0.084
70			78.831853	4.000	78.831853	0.079704	0.080
71			82.831853	4.000	82.831853	0.075855	0.076
72			86.831853	4.000	86.831853	0.072360	0.072
73			90.831853	4.000	90.831853	0.069174	0.069
74			94.831853	4.000	94.831853	0.066256	0.066
75			98.831853	4.000	98.831853	0.063574	0.064
76			102.831853	4.000	102.831853	0.061102	0.061
77			106.831853	4.000	106.831853	0.058814	0.059
78			110.831853	4.000	110.831853	0.056691	0.057
79			114.831853	4.000	114.831853	0.054716	0.055
80			118.831853	4.000	118.831853	0.052875	0.053
81			122.831853	4.000	122.831853	0.051153	0.051
—			126.831853	4.000	126.831853	0.049539	—
82	0.050	20.000	125.663706	—	125.663706	0.050000	0.050

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

1.　剛柔判定を行う固有周期の考え方

機器・配管系の耐震設計では，基準地震動Ｓ$_S$，弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対して動的解析を行い水平及び鉛直方向の動的地震力を定める。その機器・配管系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。

ここで，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。

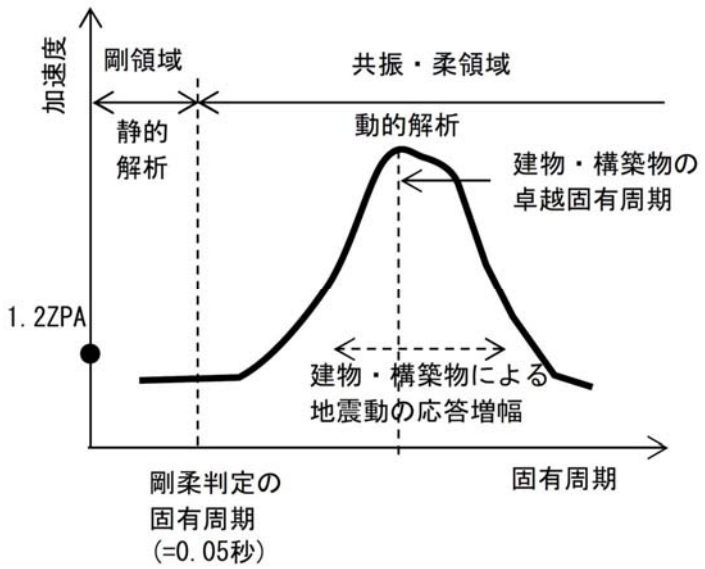


図１　剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲（概要図）

2．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，0.05 秒を超える場合は柔とする。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 秒を超える場合は地震応答を動的解析により行い，0.05 秒以下の地震応答は動的解析を行うのに代えて静的解析を行う。

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）

3.　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。

東海第二発電所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（基準地震動Ｓs－Ｄ１の例）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及び鉛直方向とも 0.2 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。また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 に示すが，固有周期 0.05 秒で加速度はおおむね収斂している。

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，東海第二発電所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 （ｓ）	固有振動数 (Hz)	固有周期 （ｓ）	固有振動数 (Hz)
１次	0.409	2.44	0.411	2.43
２次	0.202	4.96	0.202	4.96

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 （ｓ）	固有振動数 (Hz)
１次	0.274	3.65

屋根トラス部が卓越するモード除く

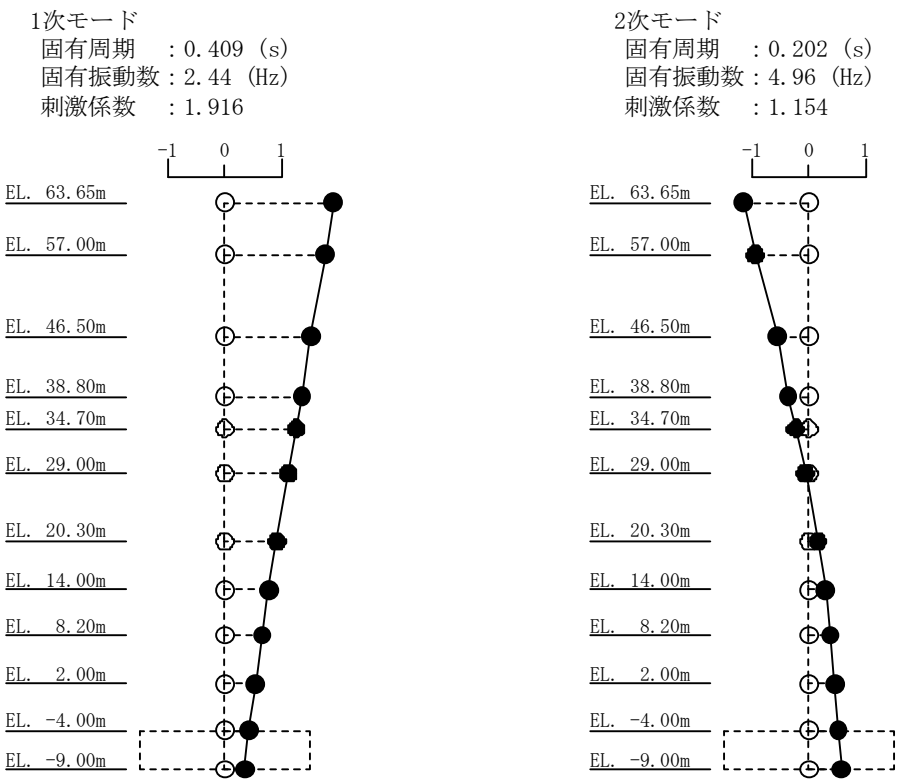


図４　刺激関数図（Ｓｓ－Ｄ１，NS 方向）

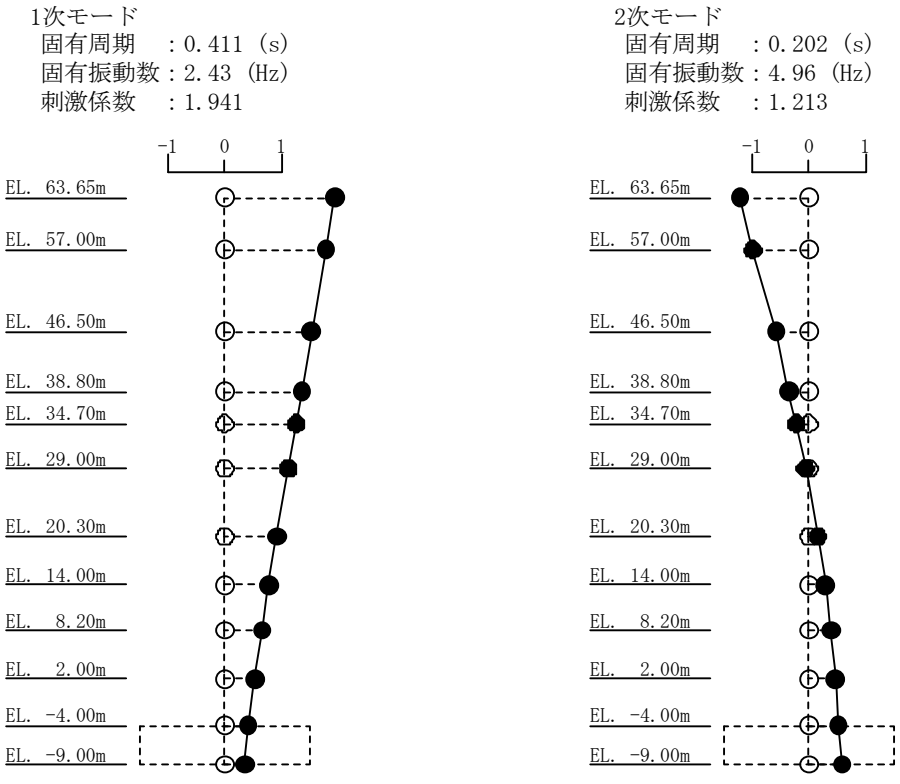


図５　刺激関数図（Ｓｓ－Ｄ１，EW 方向）

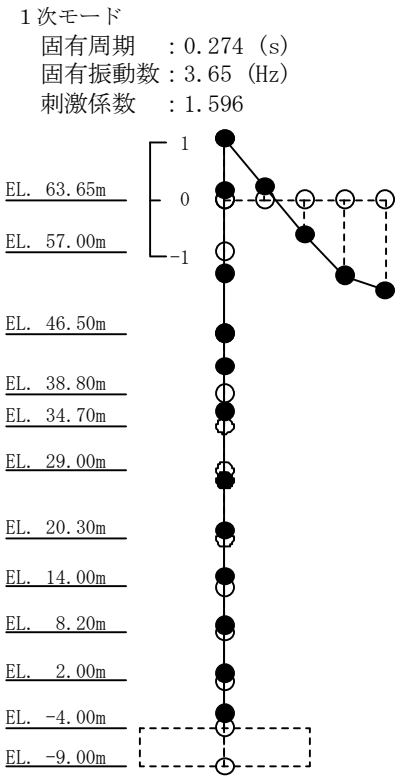


図６　刺激関数図（Ｓ$_s$－Ｄ１，UD 方向）

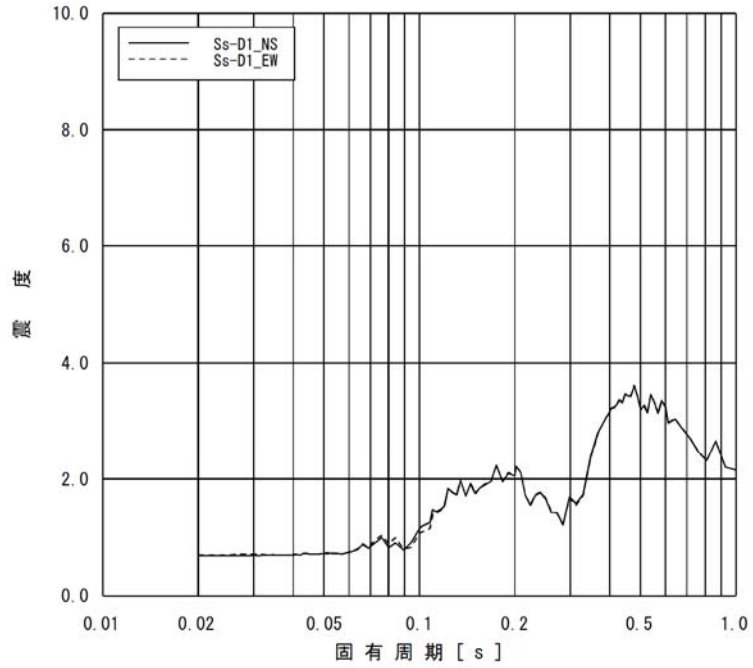


図 7(1)　原子炉建屋（EL.8.2m）の加速度応答スペクトル（水平方向，減衰定数 1.0%）

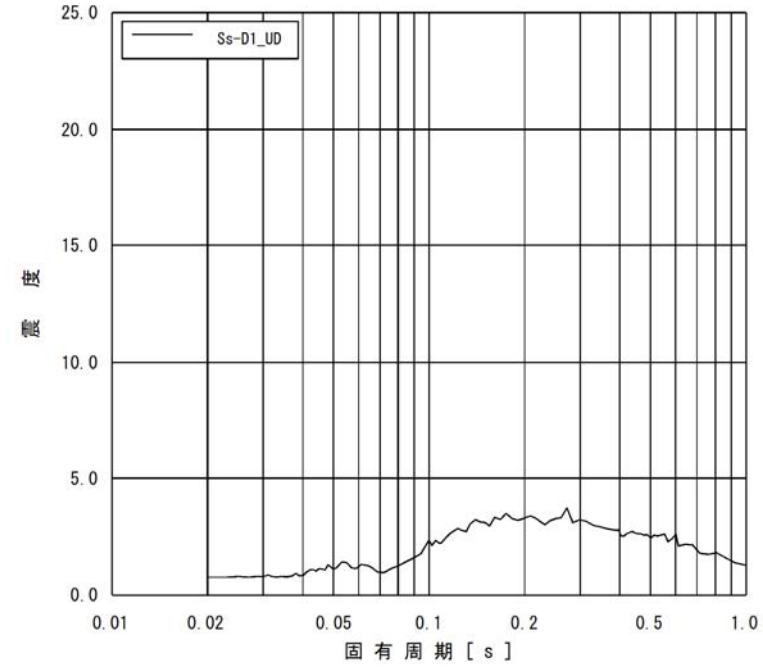


図 7(2)　原子炉建屋（EL.8.2m）の加速度応答スペクトル（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

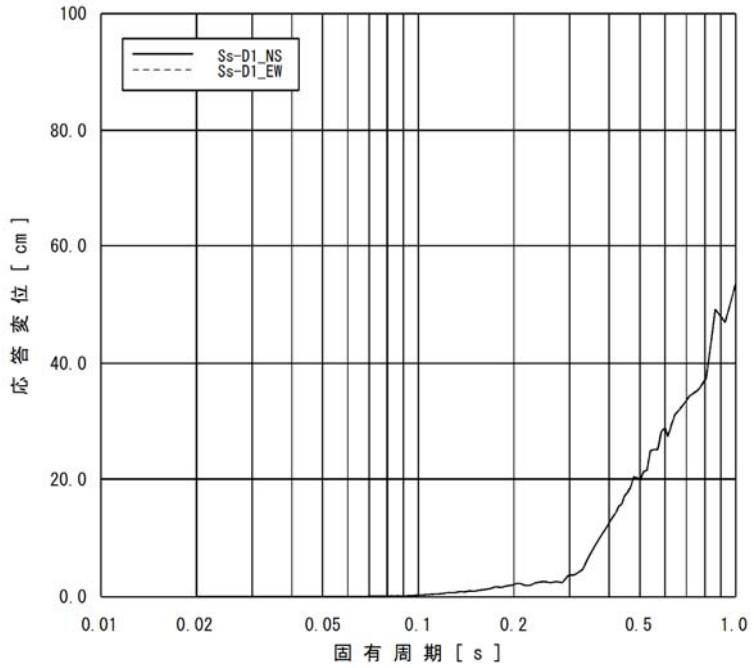


図 8(1)　原子炉建屋（EL.8.2m）の変位応答スペクトル（水平方向，減衰定数 1.0%）

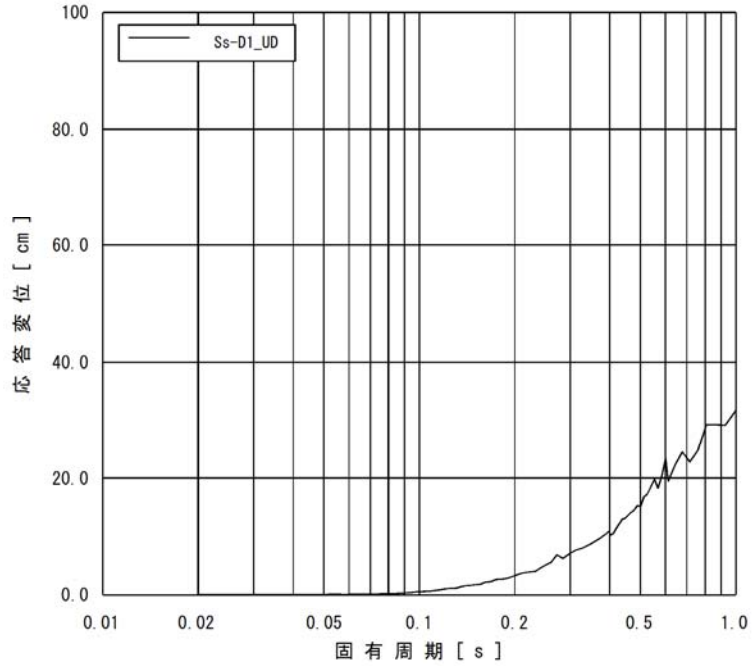


図 8(2)　原子炉建屋（EL.8.2m）の変位応答スペクトル（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

4. 剛柔判断及び打切り振動数に係る検討

(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。

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考えられている知見を以下に記載する。

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。

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，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の想定を超えた原子力発電所では被害の発生が無い。

【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）

米国 Perry 原子力発電所（1986 年 Leroy 地震）※

米国 Summer 原子力発電所（1978 年小規模地震多数）※

※出典：EPRI 1988.7 A Criterion for Determining Exceedance of the Operating Basis Earthquake

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震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。

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

f. 建築構造学大系振動理論 ： 振動理論（大崎著）によると，速度応答スペクトルに関して系に与える最大のエネルギーと密接な関係があると述べられている。最大相対変位に角周波数を乗じたものが速度応答スペクトルとなるため，単位質量あたりの最大エネルギーは，速度応答スペクトルで表すことができる。よって，速度応答スペクトルは構造物に対して固有周期に応じて与える一種のエネルギースペクトルであると解釈することが出来る。

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

原子炉格納容器（EL.39.431m）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 9 に示す。また，同様に変位応答スペクトルを図 10 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値を有するが，構造強度の評価に直接かかわる変位応答スペクトル*1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。

＊１ 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。

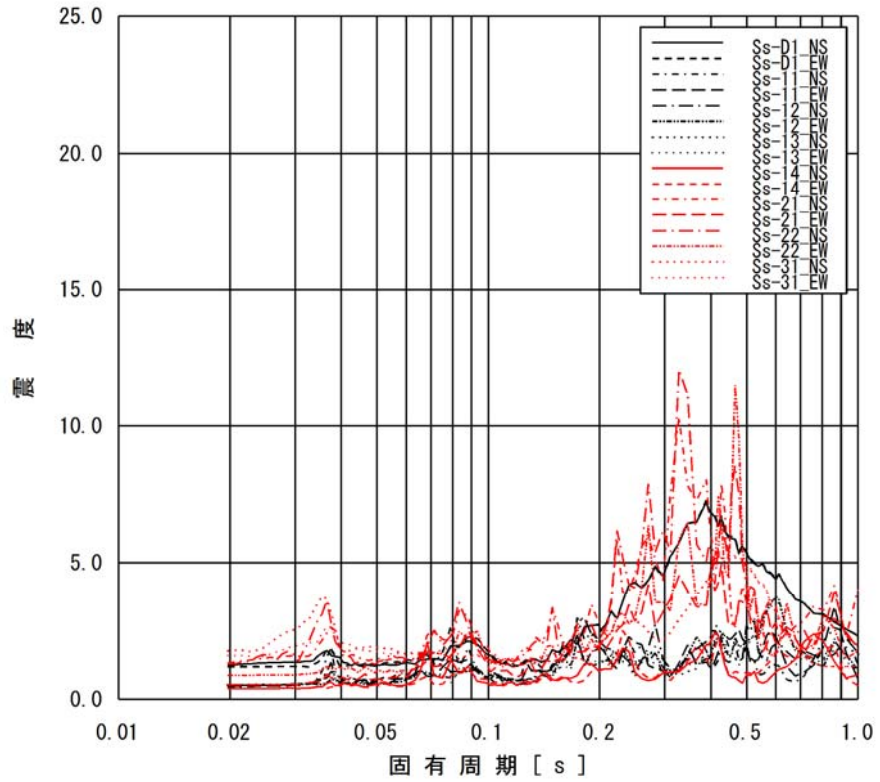


図 9(1)　原子炉格納容器（EL. 39.431m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）

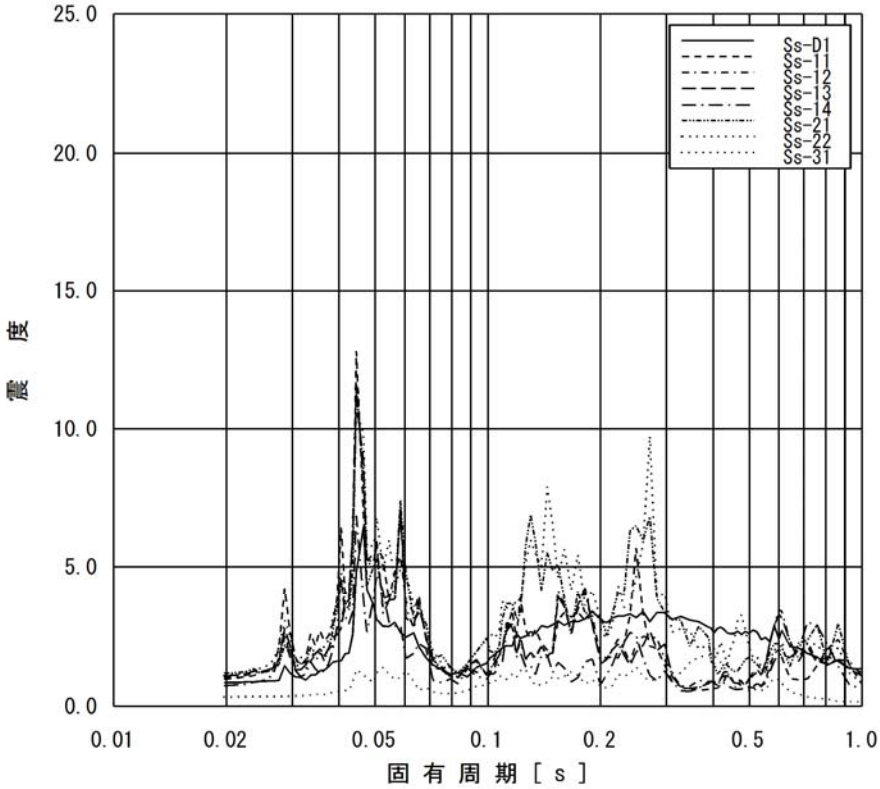


図 9(2)　原子炉格納容器（EL. 39.431m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

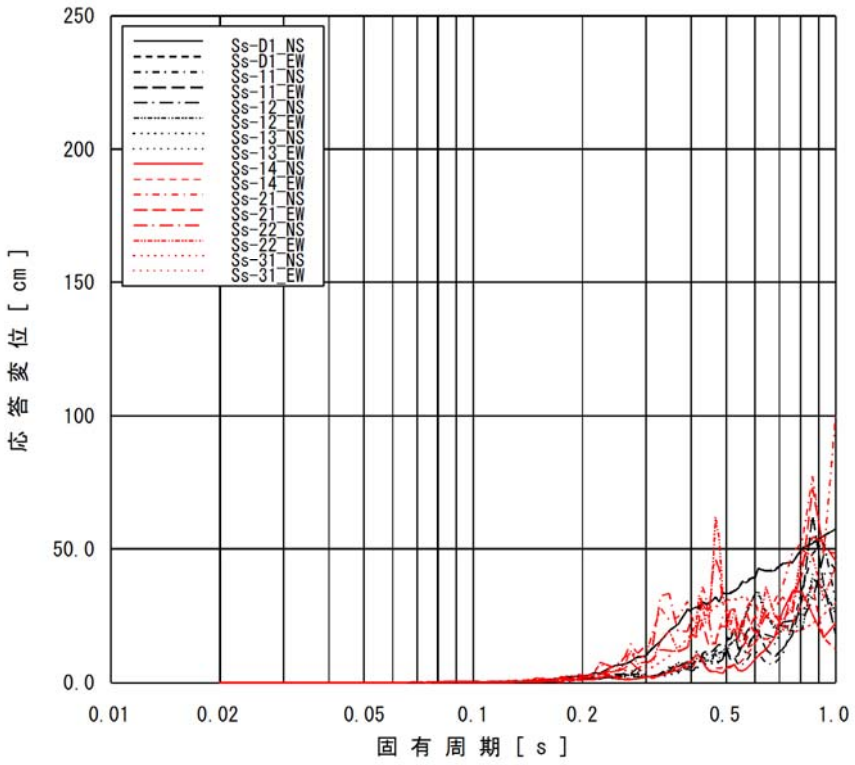


図 10(1)　原子炉格納容器（EL.39.431m）の変位応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）

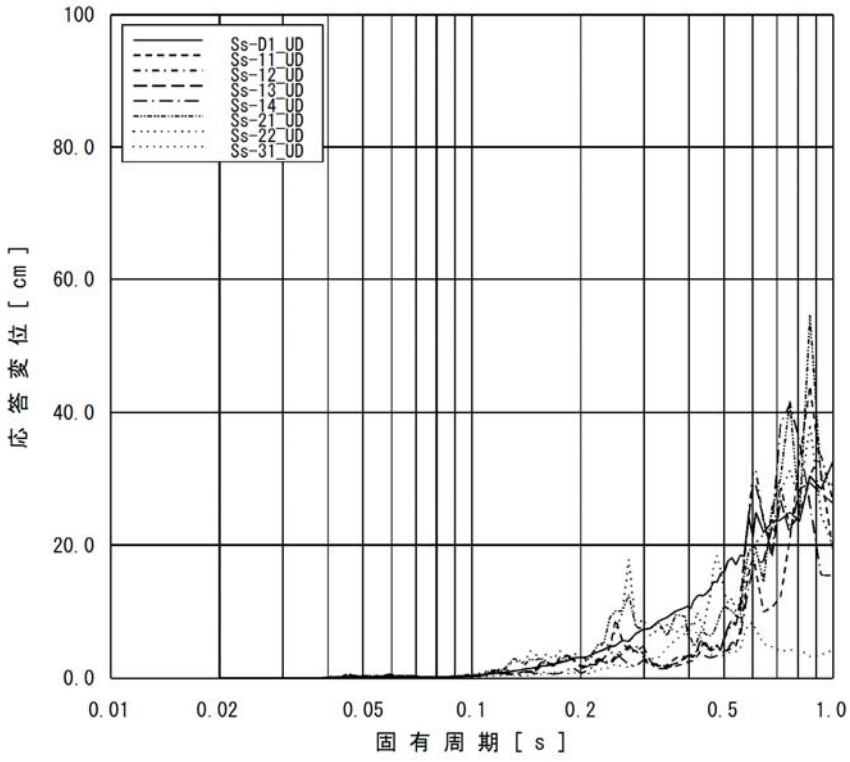


図 10(2)　原子炉格納容器（EL.39.431m）の変位応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

(3)　動的解析法の妥当性確認

本項では現行の動的解析法が，構造強度設計を行う上で妥当であること，すなわち，変位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。

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構築物の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 までの作成と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

代表構築物の設計用床応答曲線の傾向を確認する。代表構築物の設計用床応答曲線を添付図 1～添付図 6 に，最大応答加速度（1.2ZPA）を添付表 1～添付表 3 に示す。なお，添付図及び添付表の設計用床応答曲線及び最大応答加速度（1.2ZPA）は設計上の配慮として 1.5 倍したものである。

・ 原子炉建屋

水平及び鉛直ともに剛領域になるに従って加速度値が低下傾向にあり 20Hz 近傍に卓越するピークはない。

・ 原子炉格納容器

水平方向では下層階にて 20Hz 近傍に卓越する応答を有する。鉛直方向では全階層で 20Hz に卓越する応答を有する。

・原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎

水平及び鉛直ともに剛領域になるに従って加速度値が低下傾向にあり 20Hz 近傍に卓越するピークはない。

上述した各構築物の設計用床応答曲線の傾向として原子炉建屋，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の応答については，剛領域になるに従って加速度値は低下傾向にあり，20Hz 近傍に卓越する応答はないため，20Hz 近傍に卓越する応答を有する原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用し評価する設備に対して検討を行う。

原子炉格納容器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。動的解析法の妥当性確認のための検討対象設備については，設計用床応答曲線の加速度値が最も大きい原子炉格納容器上層階 EL.39.431m の設計用床応答曲線を適用する原子炉隔離時冷却系配管を対象として検討する。

表 3　原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用する設備

設備名称	評価に適用する 設計用床応答曲線	固有振動数
原子炉隔離時冷却系配管	原子炉格納容器 EL. 39. 431	
機器搬入用ハッチ	原子炉格納容器 EL. 16. 319 EL. 13. 523	
所員用エアロック	原子炉格納容器 EL. 16. 319 EL. 13. 523	
サプレッション・チェンバアクセスハッチ	原子炉格納容器 EL. 5. 141 EL. 3. 787	
ベント管	原子炉格納容器 EL. 13. 523 (水平のみ)	
残留熱除去系ストレーナ(高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナを含む)	原子炉格納容器 EL. -0. 013	
格納容器スプレイヘッダ	原子炉格納容器 EL. 11. 191 EL. 13. 523	

(b) 1 次固有振動数が 20Hz 近傍に有する設備

原子炉建屋に設置される配管系において，20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する配管系を選定する。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[redacted] 2 次として[redacted]の振動モードを有する可燃性ガス濃度制御系配管（モデル No.FC-2）を選定する。

また，原子炉建屋に設置される固有振動数が 20Hz 未満（固有周期で 0.05 秒超え）の機器についても，配管系と同様に 20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する機器を選定する。1 次として[redacted]，2 次として[redacted]の振動モードを有する残留熱除去系ポンプを選定する。

b. 確認方法

図 11 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。

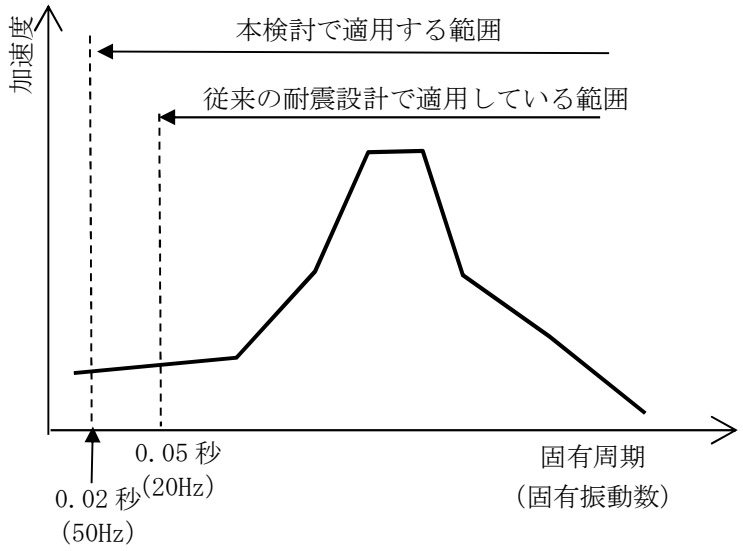


図 11　地震応答解析で考慮する固有振動数領域

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 12 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。

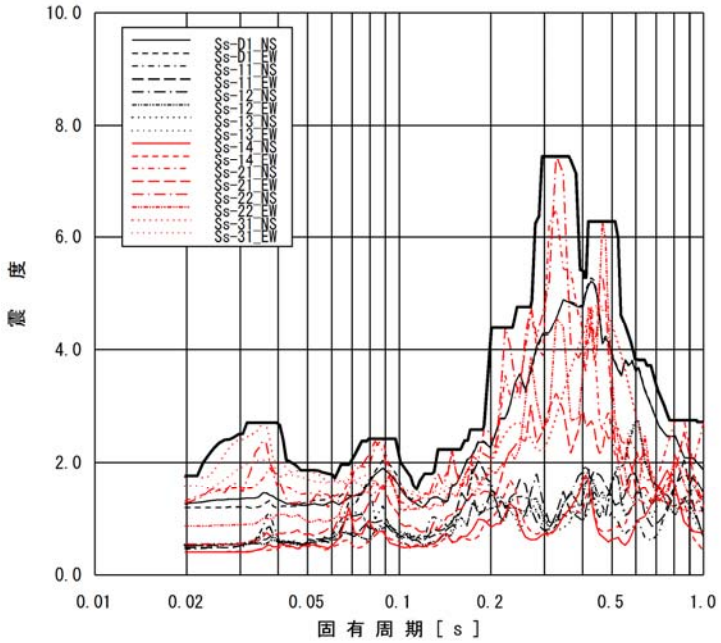


図 12(1)　検討用床応答曲線（原子炉隔離時冷却系配管用）
（原子炉格納容器 EL.39.431m　水平方向，減衰定数 2.5%）

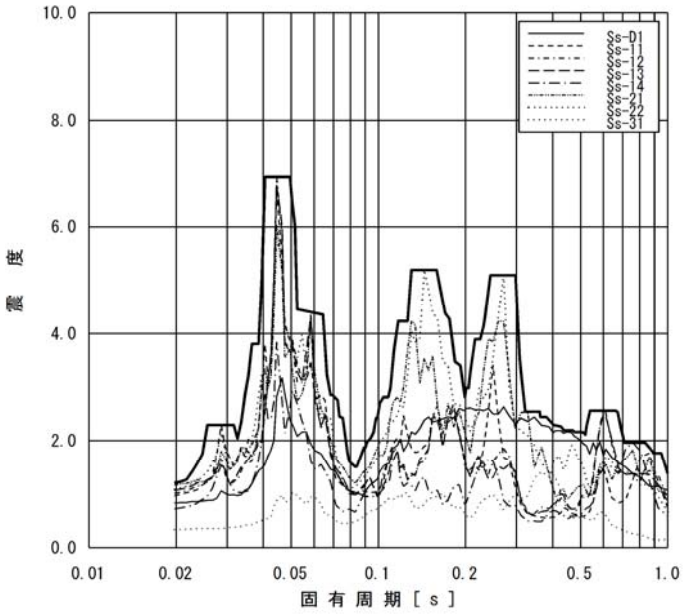


図 12(2)　検討用床応答曲線（原子炉隔離時冷却系配管用）
（原子炉格納容器 EL.39.431m　鉛直方向，減衰定数 2.5%）

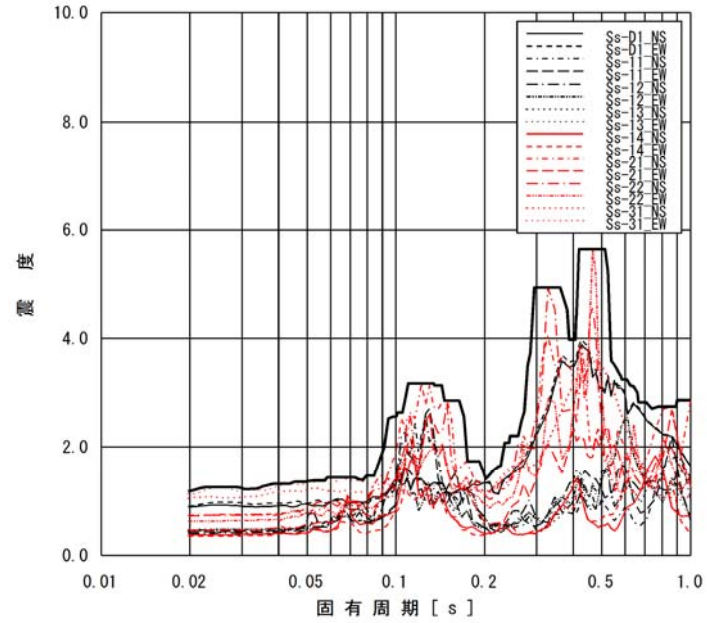


図 12(3)　検討用床応答曲線（可燃性ガス濃度制御系配管用）
（原子炉建屋　EL.20.3m　水平方向，減衰定数 2.0%）

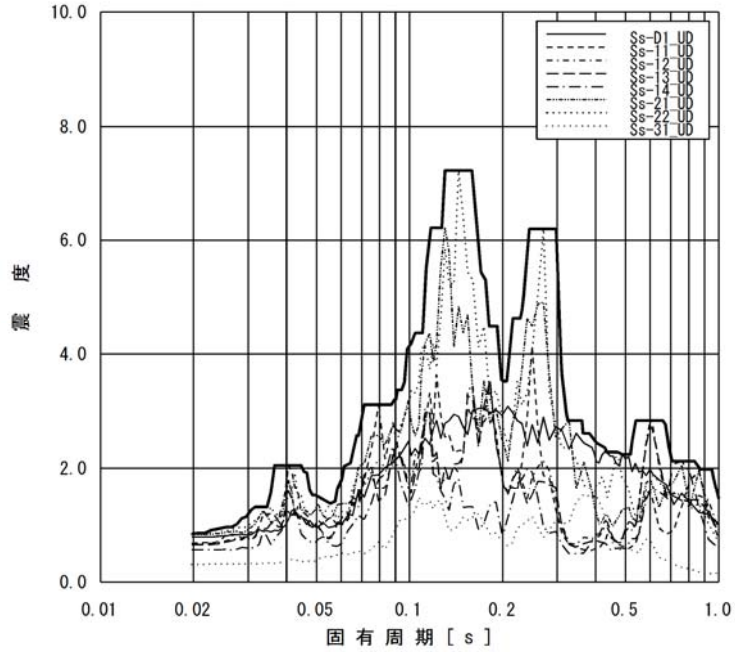


図 12(4)　検討用床応答曲線（可燃性ガス濃度制御系配管用）
（原子炉建屋　EL.20.3m　鉛直方向，減衰定数 2.0%）

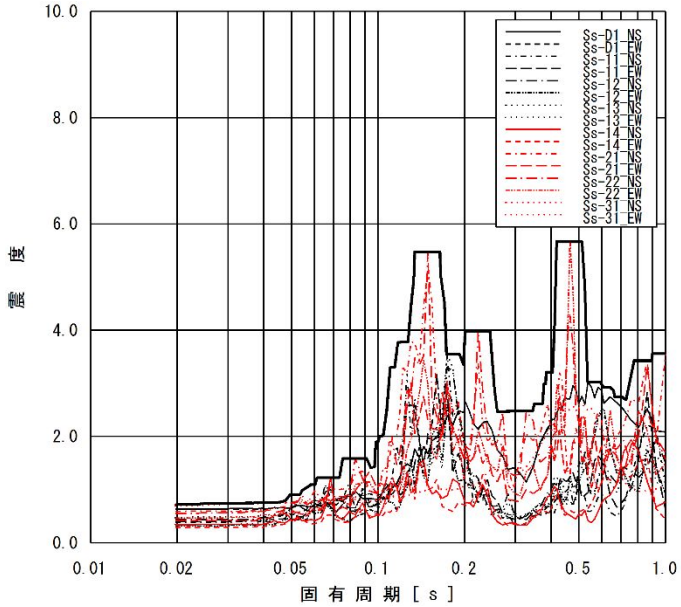


図 12(5)　検討用床応答曲線（残留熱除去系ポンプ用）
（原子炉建屋　EL.-4.0m　水平方向，減衰定数 1.0%）

表 4　固有周期の計算間隔

固有周期 (s)	計算間隔 (Δ ω ：rad／s)
0.02 ～　0.1	4.0
0.1　～　0.2	1.5
0.2　～ 0.39	1.0
0.39 ～　0.6	0.3
0.6　～　1.0	0.5

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原子炉隔離時冷却系配管，可燃性ガス濃度制御系配管及び残留熱除去系ポンプの主要仕様，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) 原子炉隔離時冷却系配管

原子炉隔離時冷却系配管の主要仕様を表 5 に，解析モデル図を図 13 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 14 に示す。

表 5 原子炉隔離時冷却系配管の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	
最高使用温度 (℃)	
外　　径 (mm)	
厚　　さ (mm)	
材　　料	

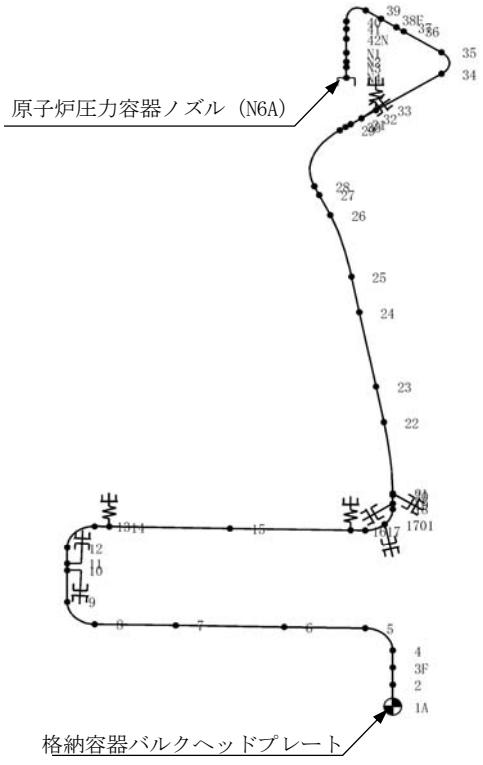


図 13 原子炉隔離時冷却系配管の解析モデル図

表 6 原子炉隔離時冷却系配管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
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次								
11 次								
12 次								

＊　モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリクスの積から算出した値（以下，同様）

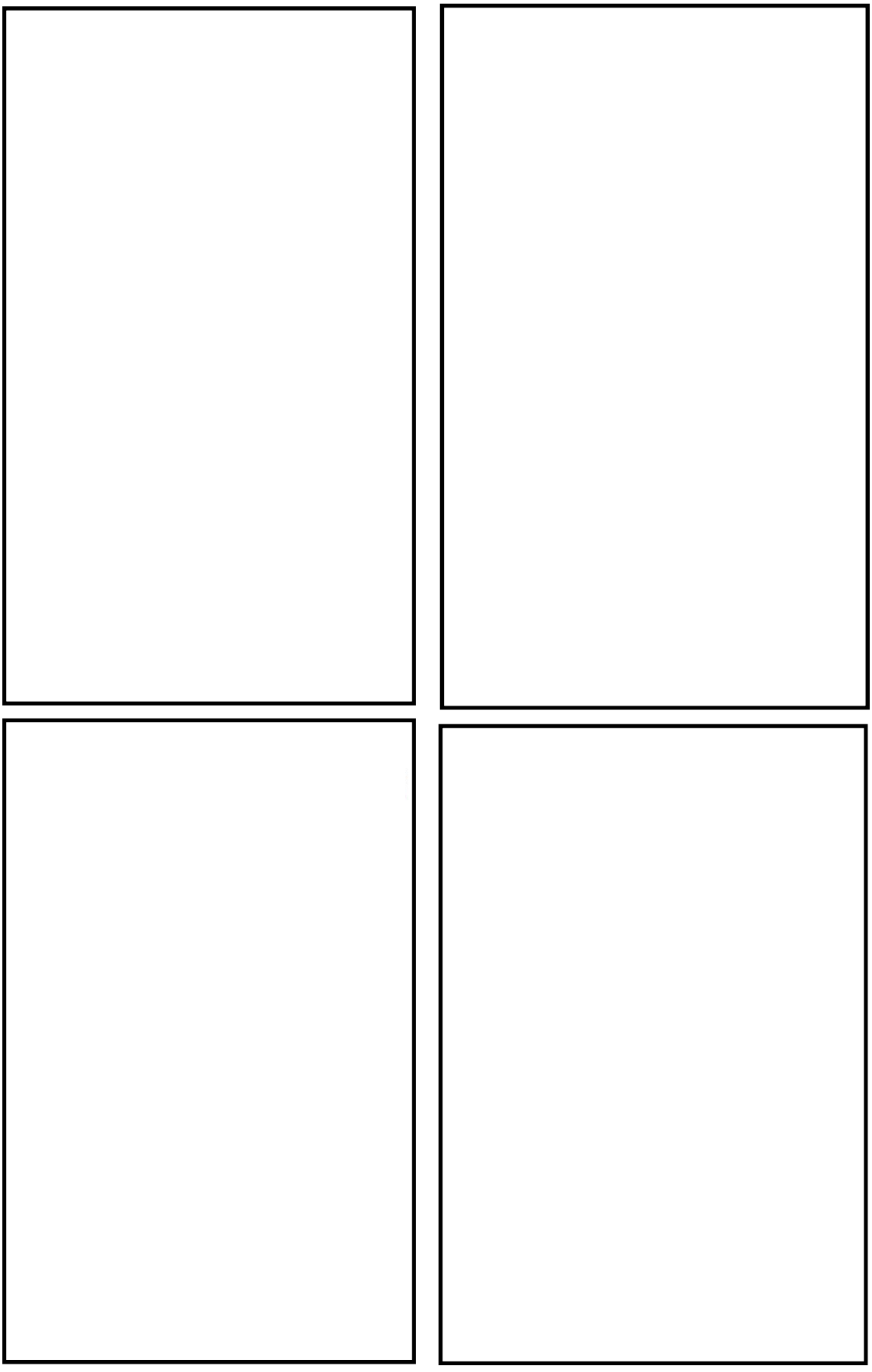


図 14　原子炉隔離時冷却系配管のモード図

(b) 可燃性ガス濃度制御系配管

可燃性ガス濃度制御系配管の主要仕様を表 7 に，解析モデル図を図 15 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 16 に示す。

表 7 可燃性ガス濃度制御系配管の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	
最高使用温度 (℃)	
外　　径 (mm)	
厚　　さ (mm)	
材　　料	

上段，下段の記載があるものは，上段が図 15 に示す質点 No. 1N～2 に該当し，下段が質点 No. 3～33A に該当する。

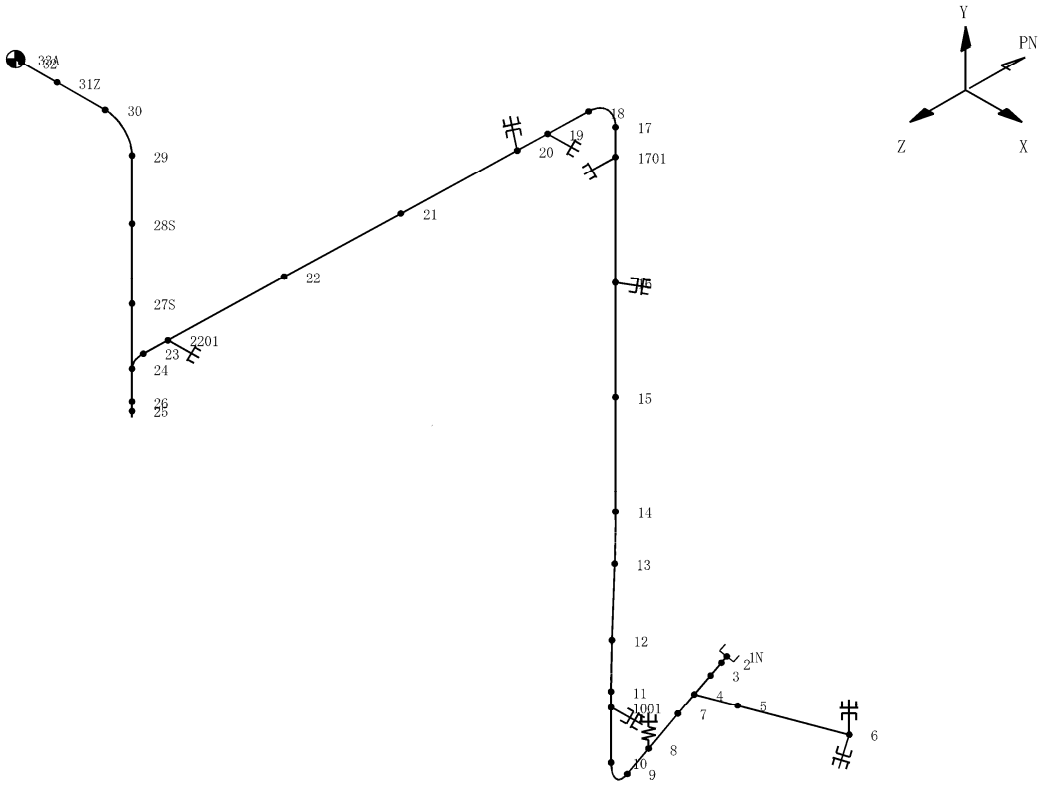
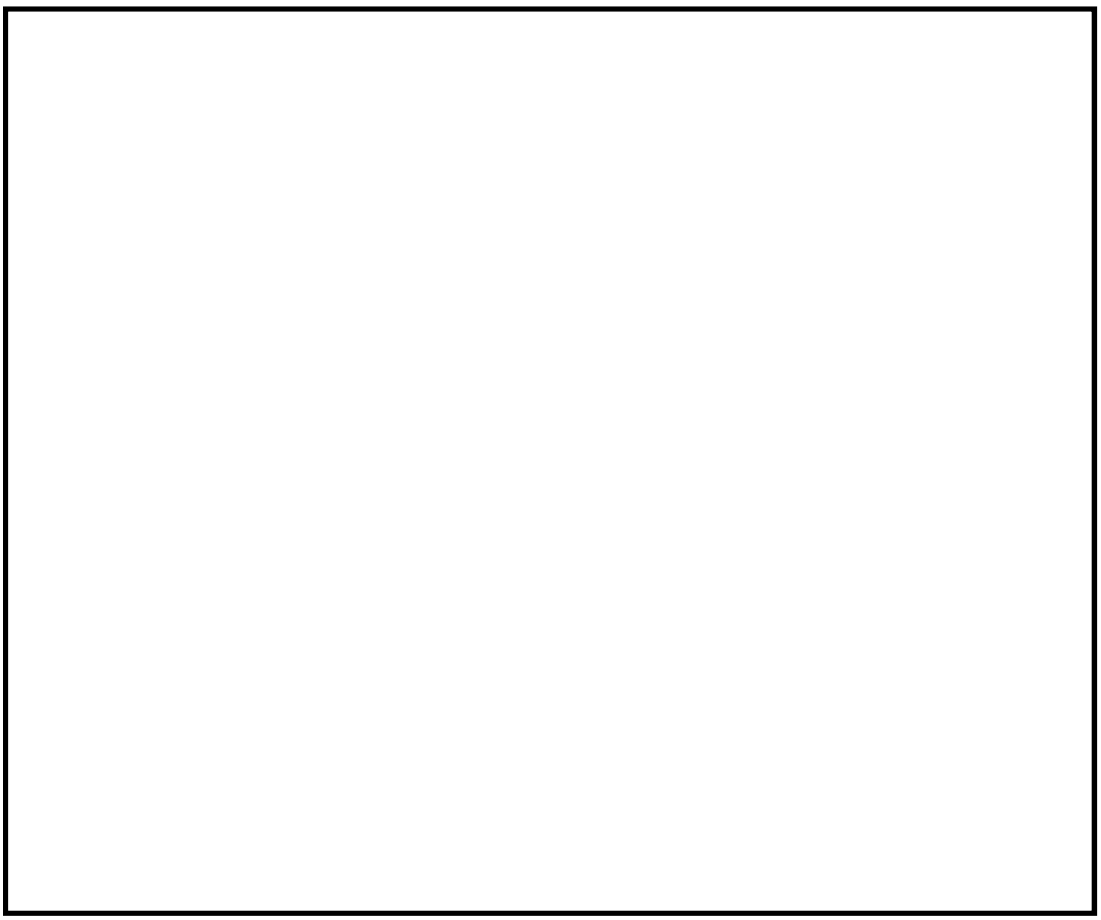


図 15 可燃性ガス濃度制御系配管の解析モデル図

表 8 可燃性ガス濃度制御系配管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
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								



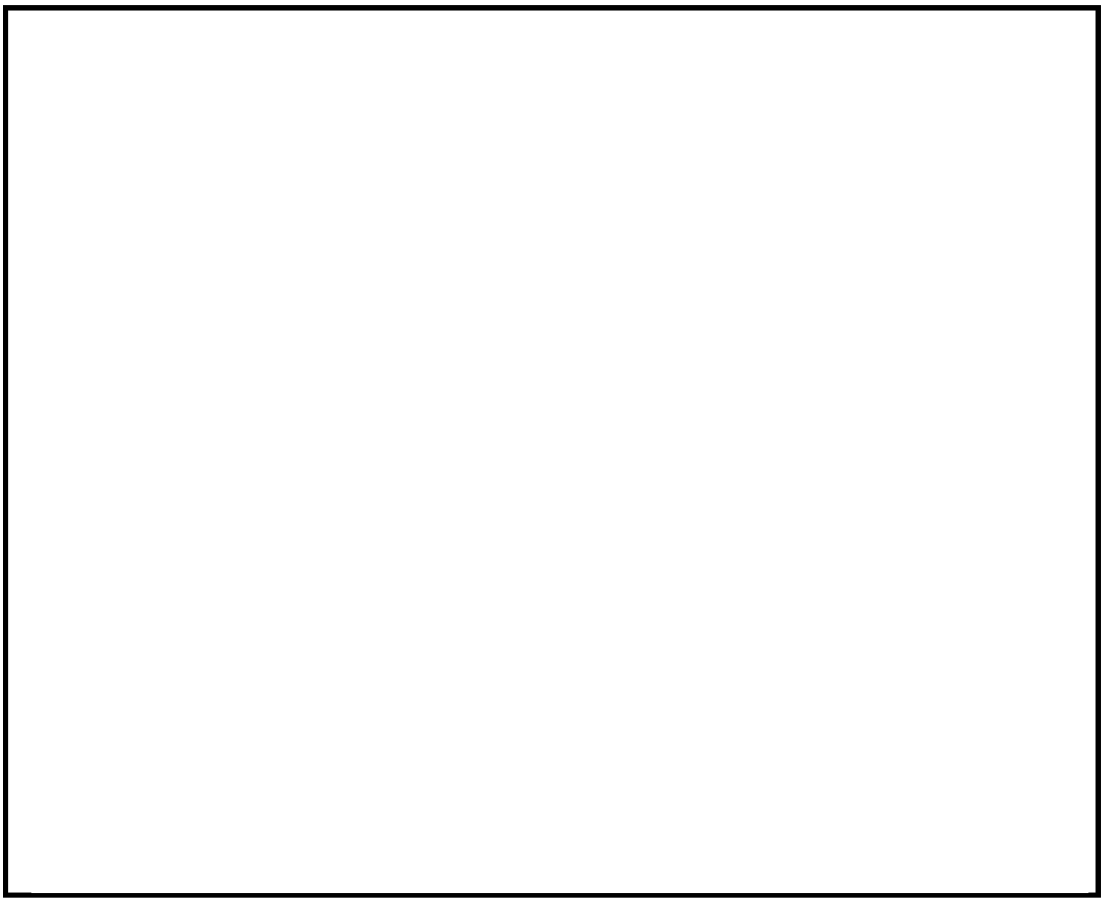
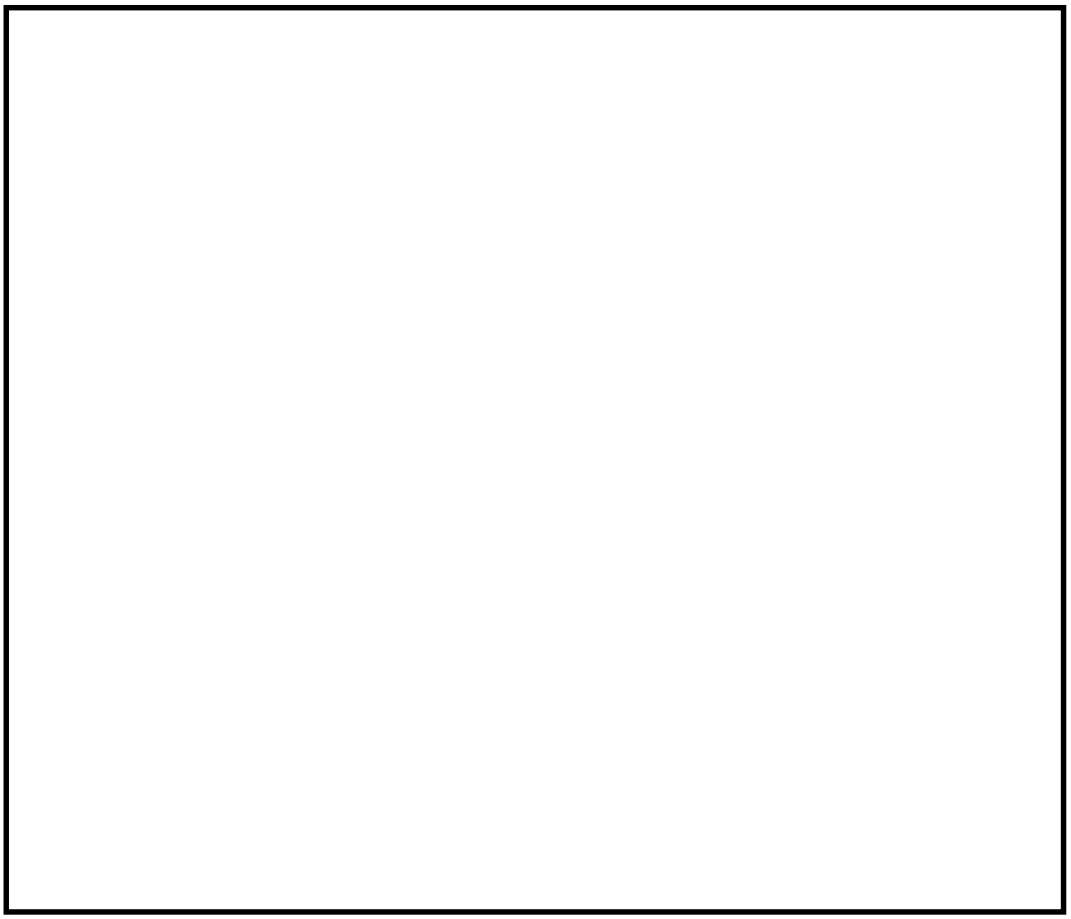


図 16（1）可燃性ガス濃度制御系配管のモード図



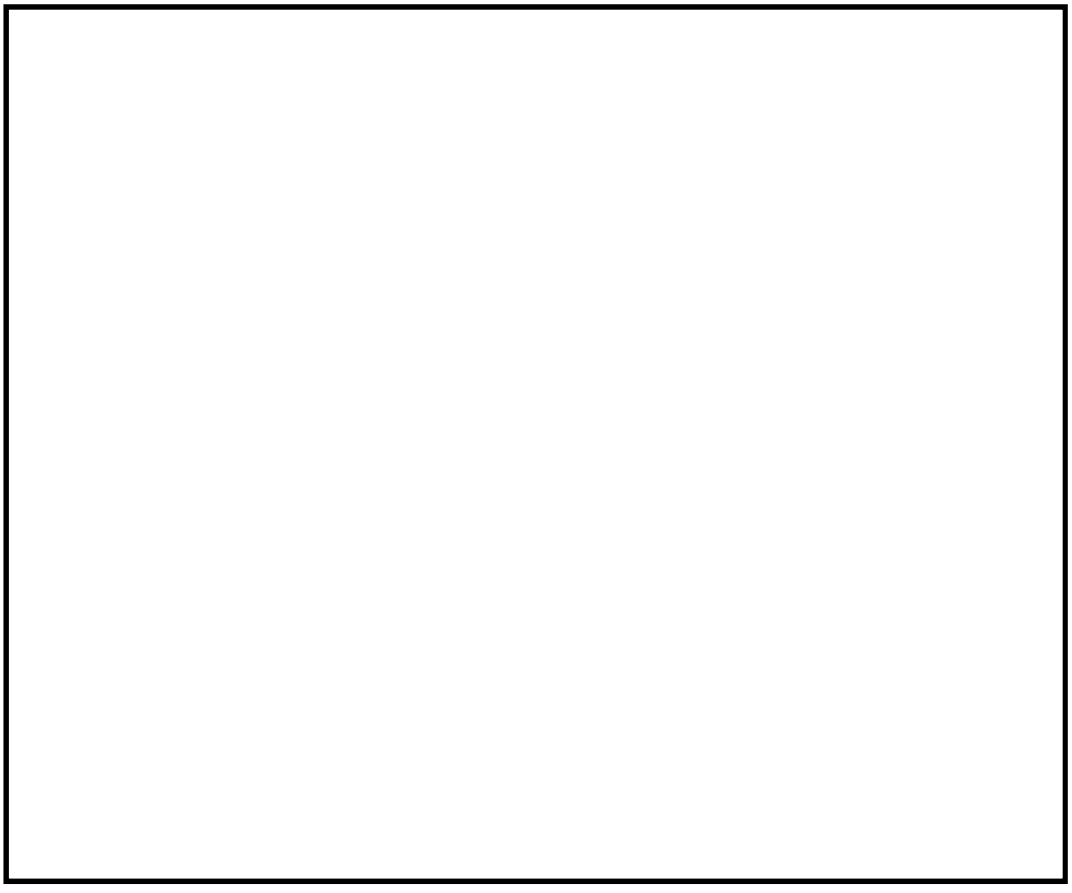


図 16（2）可燃性ガス濃度制御系配管のモード図

(c) 残留熱除去系ポンプ

残留熱除去系ポンプの主要仕様を表 9 に，解析モデル図を図 17 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 18 に示す。

表 9　残留熱除去系ポンプの主要仕様

項目		主要仕様
種類		ターボ型
容量 (m^3/h/個)		1691.9 以上（1691.9*）
揚程 (m)		85.3 以上（85.3*）
最高使用圧力 (MPa)		吸込側 1.52 吐出側 3.50
最高使用温度 (℃)		182
主要寸法	吸込口径 (mm)	600*
	吐出口径 (mm)	350*
	ケーシング外径 (mm)	1100*
	ケーシング厚さ (mm)	□（14.0*）
	高さ (mm)	9490*
材料	ケーシング	
	ケーシングカバー	

＊：公称値を示す。

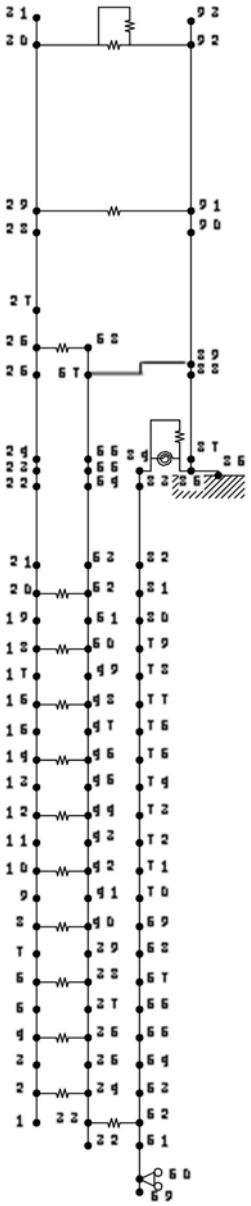


図 17　残留熱除去系ポンプの解析モデル図

表 10　残留熱除去系ポンプ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	水平方向	鉛直方向
1 次						
2 次						
3 次						
4 次						

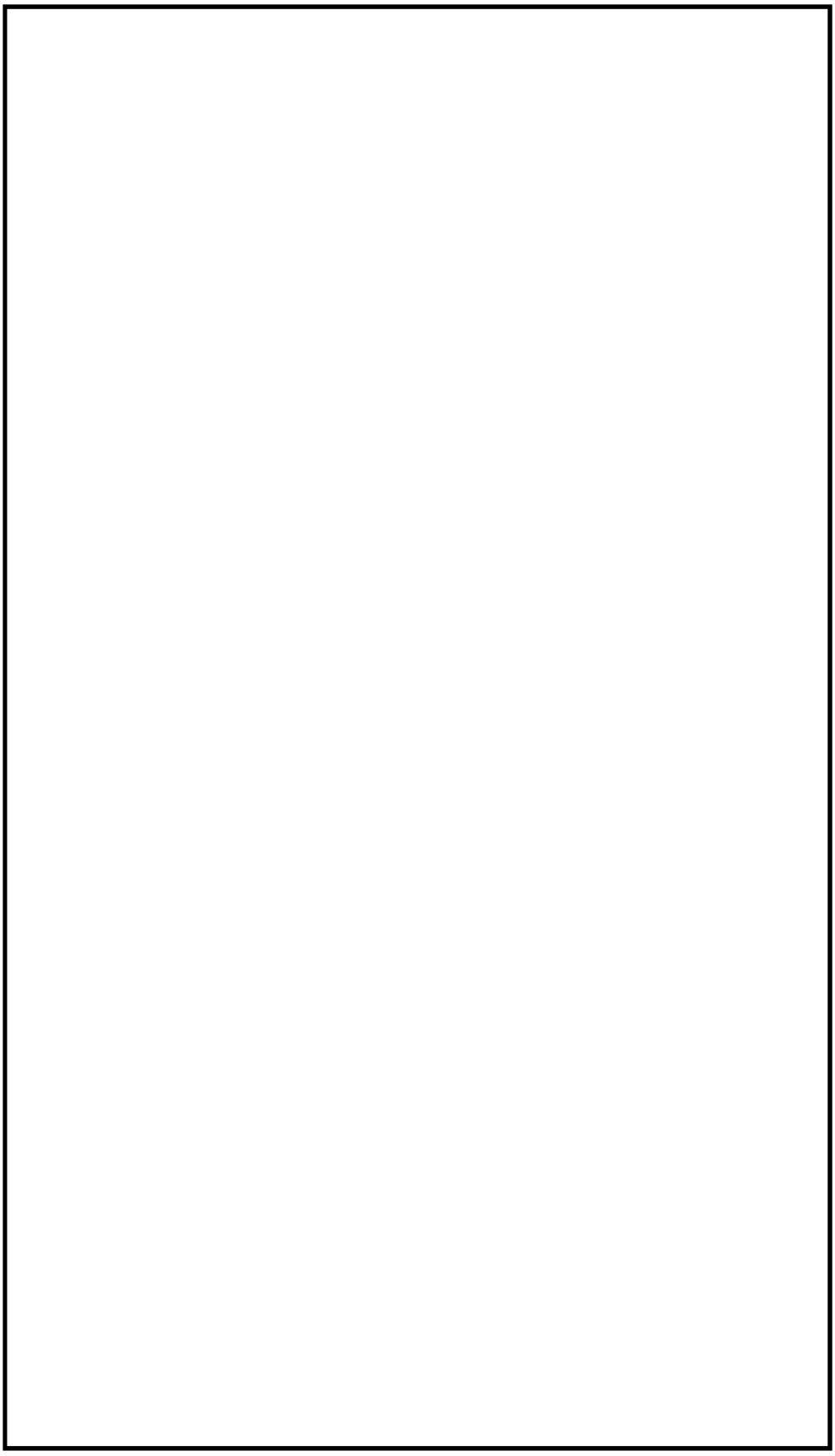


図 18　残留熱除去系ポンプのモード図

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。なお，以下に示す解析結果は，設計用床応答曲線等の震度を 1.5 倍した値を用いた結果として示している。

(a) 原子炉隔離時冷却系配管

評価結果を表 11 に示すとともに，最大応力発生部位を図 19 に示す。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 146MPa 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 148MPa であり，応力値は増加したものの，その増加は僅かであることが確認された。

表 11　原子炉隔離時冷却系配管の評価結果

		1 次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法による評価結果	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)	146	364
	静的解析 (1.2ZPA)	94	
	包絡値	146	
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)	148	364

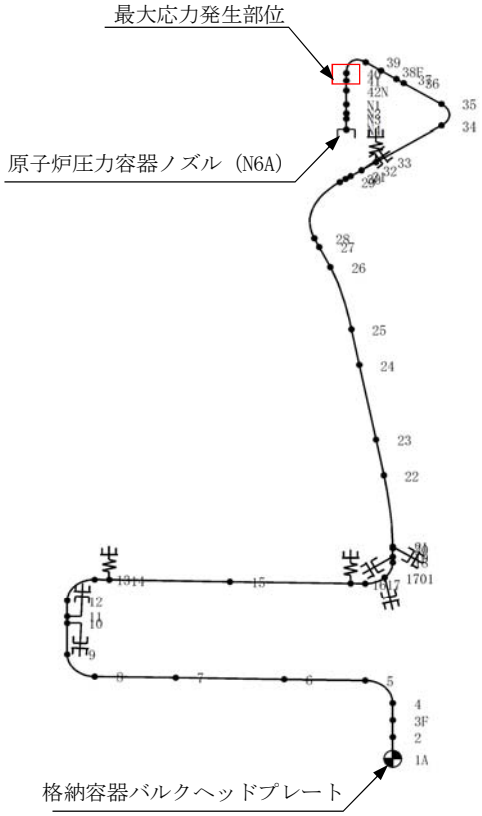


図 19　原子炉隔離時冷却系配管の最大応力発生部位

(b) 可燃性ガス濃度制御系配管

評価結果を表 12 に示すとともに，最大応力発生部位を図 20 に示す。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 124MPa 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 134MPa であった。また 1.2ZPA を用いた静的解析による評価結果は 133MPa であった。

以上のとおり妥当性検討用として実施した評価結果は 134MPa となり，現行の手法による評価結果 133MPa に対して応力値は増加したものの，その増加は僅かであることが確認された。

表 12　可燃性ガス濃度制御系配管の評価結果

		1 次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法による評価結果	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)	124	363
	静的解析 (1.2ZPA)	133	
	包絡値	133	
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)	134	363

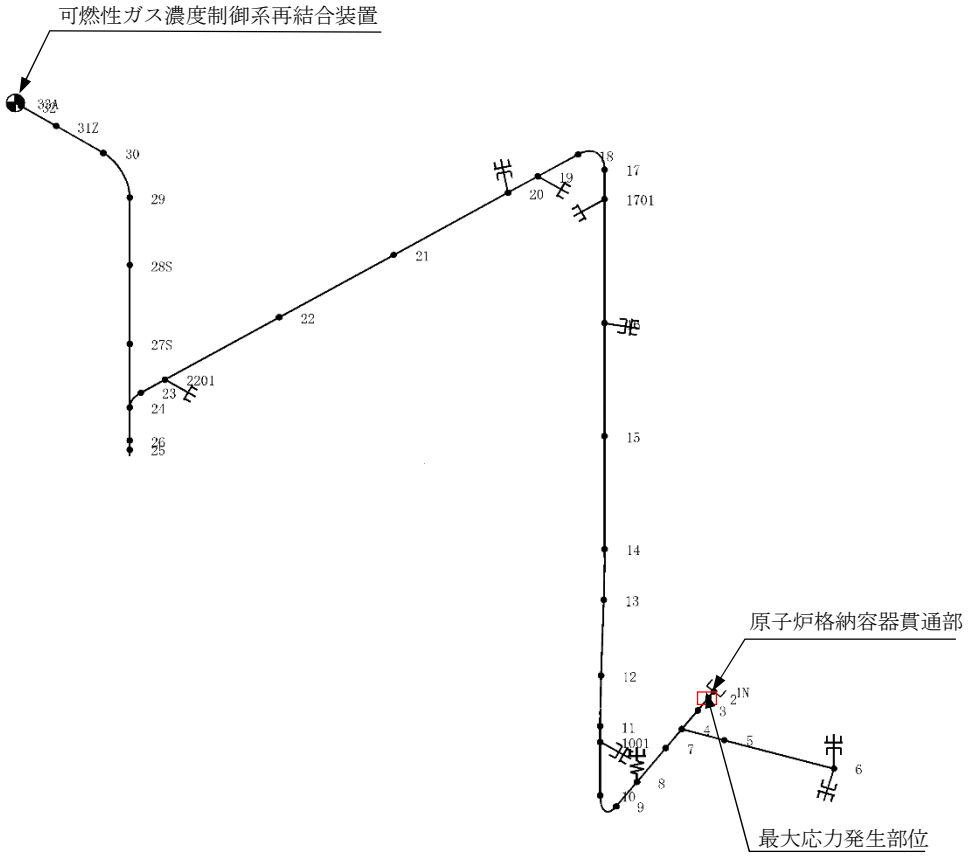


図 20　可燃性ガス濃度制御系配管の最大応力発生部位

(c) 残留熱除去系ポンプ

評価結果を表 13 に示すとともに，評価部位を図 21 に示す。

ボルト類については，現行の手法による評価結果として静的解析の評価が支配的な結果となり，動的解析として実施した 50Hz までの検討用床応答曲線を用いた地震応答解析結果を上回る結果となった。

バレルケーシング及びコラムパイプについては，現行手法による評価結果に対して妥当性検討応力値の増減はなかった。

以上のとおり，全ての評価部位において，現行の手法による評価結果が妥当性検討結果と同等又は上回る結果となった。

表 13（1）　残留熱除去系ポンプボルト類の応力評価結果　（単位：MPa）

		基礎ボルト		ポンプ取付ボルト		原動機台取付ボルト		原動機取付ボルト	
		引張	せん断	引張	せん断	引張	せん断	引張	せん断
現行の手法による評価結果	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）	－＊1	1	1	1	6	3	－＊1	2
	静的解析（1.2ZPA）	9	10	6	4	18	10	16	8
	包絡値	9	10	6	4	18	10	16	8
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）	8	3	5	1	15	5	16	6
許容応力		185	142	444	342	156	120	185	142

＊1　転倒モーメントの関係から応力が発生しない。

表 13（2）　残留熱除去系ポンプバレルケーシングとコラムパイプの応力評価結果（単位：MPa）

		バレルケーシング	コラムパイプ
		一次一般膜応力	一次一般膜応力
現行の手法による評価結果	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）	59	24
	静的解析（1.2ZPA）	59	24
	包絡値	59	24
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）	59	24
許容応力		223	223

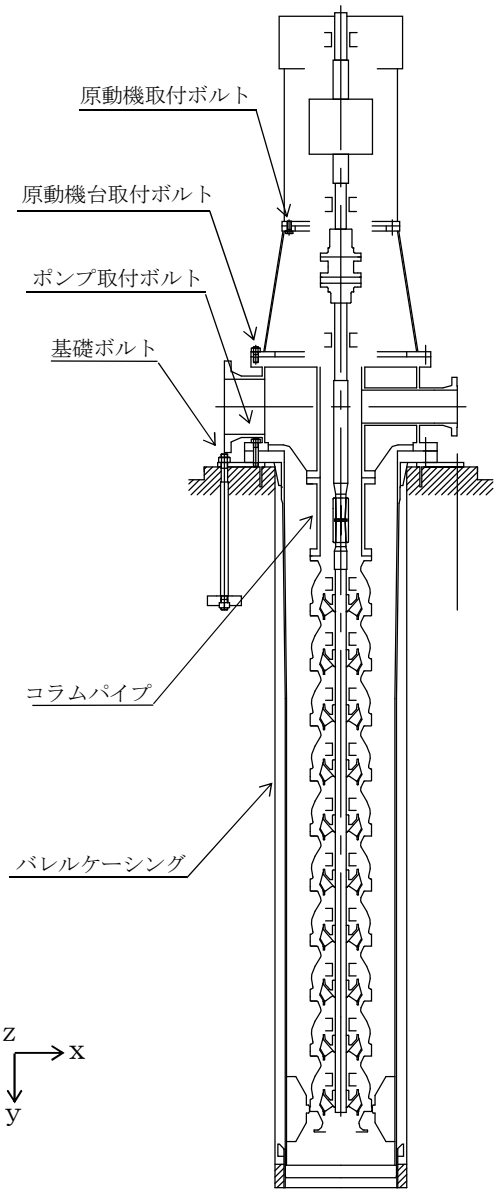


図 21　残留熱除去系ポンプの評価部位

以上のとおり，原子炉隔離時冷却系配管及び可燃性ガス濃度制御系配管，残留熱除去系ポンプ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値の増加は僅かであった。

応力値の増加が僅かである理由としては，図 10 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原子炉隔離時冷却系配管及び 20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する可燃性ガス濃度制御系配管及び残留熱除去系ポンプを対象に地震応答解析を実施した(表 14 参照)。

表 14 妥当性検討に用いた対象設備

対象設備	説　明
原子炉隔離時冷却系配管	20Hz 近傍に卓越する応答を示す原子炉格納容器の床応答スペクトルを適用する設備として選定した。
可燃性ガス濃度制御系配管	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。
残留熱除去系ポンプ	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 15.04Hz，2 次固有振動数 25.15Hz であり，現行手法では 1 次固有振動数のみ考慮される。

解析結果のまとめを表 15 に示す。現行手法の発生応力に対して，妥当性検討のために実施した発生応力は，原子炉隔離時冷却系配管で 2MPa の増加，可燃性ガス濃度制御系で 1MPa の増加，残留熱除去系ポンプでは同等又は下回ることが確認できた。

原子炉隔離時冷却系配管は，現行手法の発生応力に対して，妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの，1 次の固有振動数が比較的柔側に位置し，3 次モード以降の応答影響が少なく，動的解析結果同士での比較についても応力の増分は僅かであった。

また，可燃性ガス濃度制御系配管における動的解析結果同士での比較では，現行手法の発生応力 124MPa に対して，妥当性検討の発生応力は 134MPa となり 10MPa の増加が認められたものの，20Hz より高振動数領域への影響を考慮可能な静的解析では，妥当性検討の同等の発生応力として 133MPa を算出することが確認できた。

可燃性ガス濃度制御系配管は，スペクトルモーダル解析を適用する設備として，1 次固有振動数が 20Hz に近い配管系であり，解析にて考慮される次数として 1 次のみであり，一般的には，原子炉隔離時冷却系配管のように多次のモードを考慮することから，可燃性ガス濃度制御系配管は極めて稀な振動モードを有する解析ケースとなる。

残留熱除去系ポンプのボルト類は，動的解析結果同士の比較では応力値の増加が認められたものの，静的解析の結果が支配的であり，現行手法の発生応力が上回ることが確認された。バレルケーシング及びコラムパイプは，現行手法による発生応力から増加することはなかった。

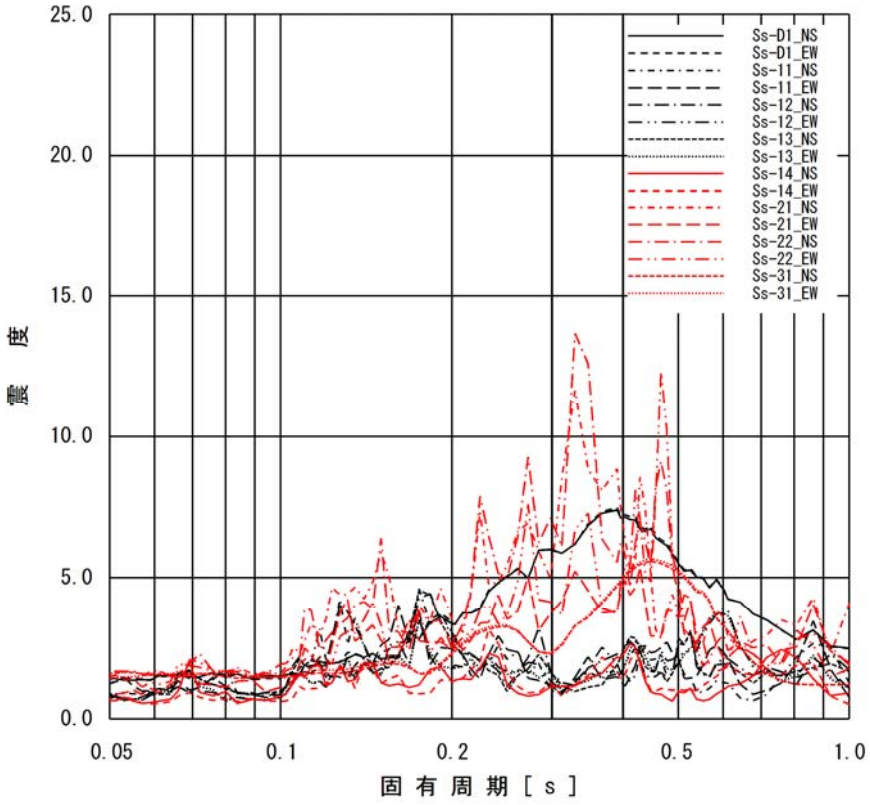
以上のとおり現行手法の評価に対して，解析評価上において厳しくなる観点から検討対象として抽出した設備に対して発生応力の増加が僅かであること，更に変位応答スペクトルで示したように，高振動数側では応答変位が小さく，配管に発生する応力への寄与は，低振動数側と比較しても相対的に小さくなることを踏まえれば，現行手法で実施

することは妥当と考える。

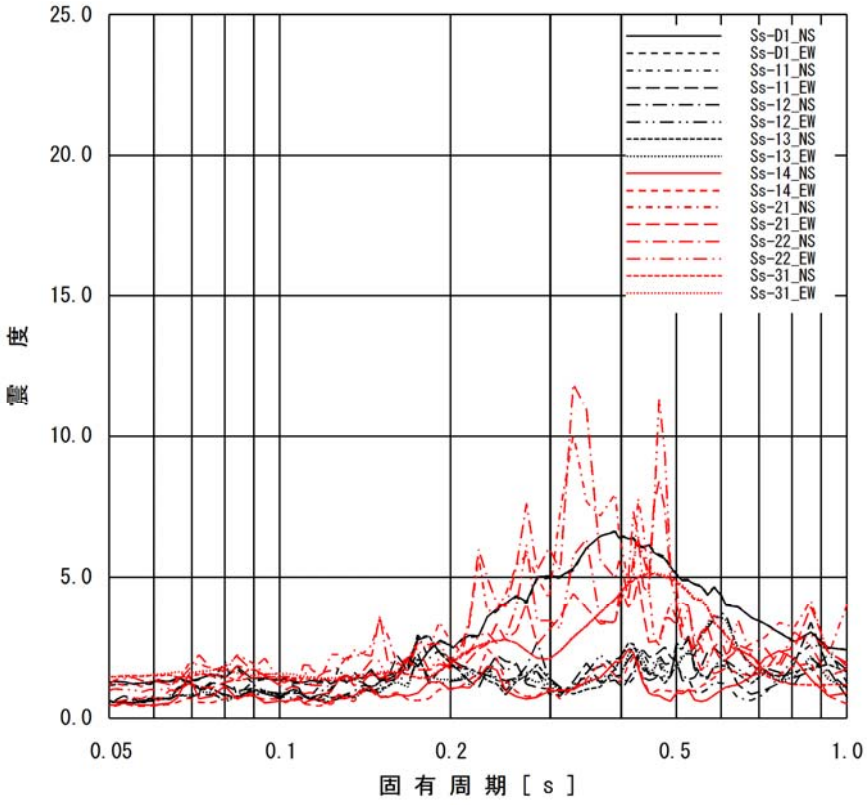
表 15　現行手法及び妥当性検討の評価結果まとめ

対象設備	発生応力（MPa）		許容応力（MPa）
	現行手法	妥当性検討	
原子炉隔離時 冷却系配管	146 （動的解析：146 静的解析：　94）	148	364
可燃性ガス濃度 制御系配管	133 （動的解析：124 静的解析：133）	134	363
残留熱除去系ポンプ* バレルケーシング	59 （動的解析：59 静的解析：59）	59	223

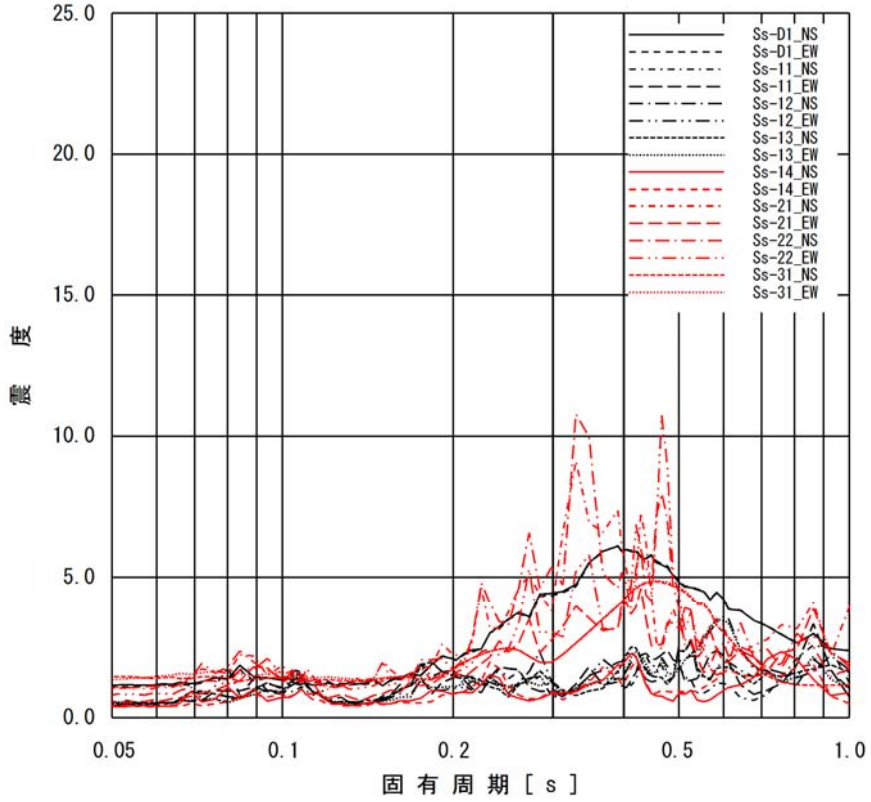
＊　裕度が最も小さい評価項目について記載



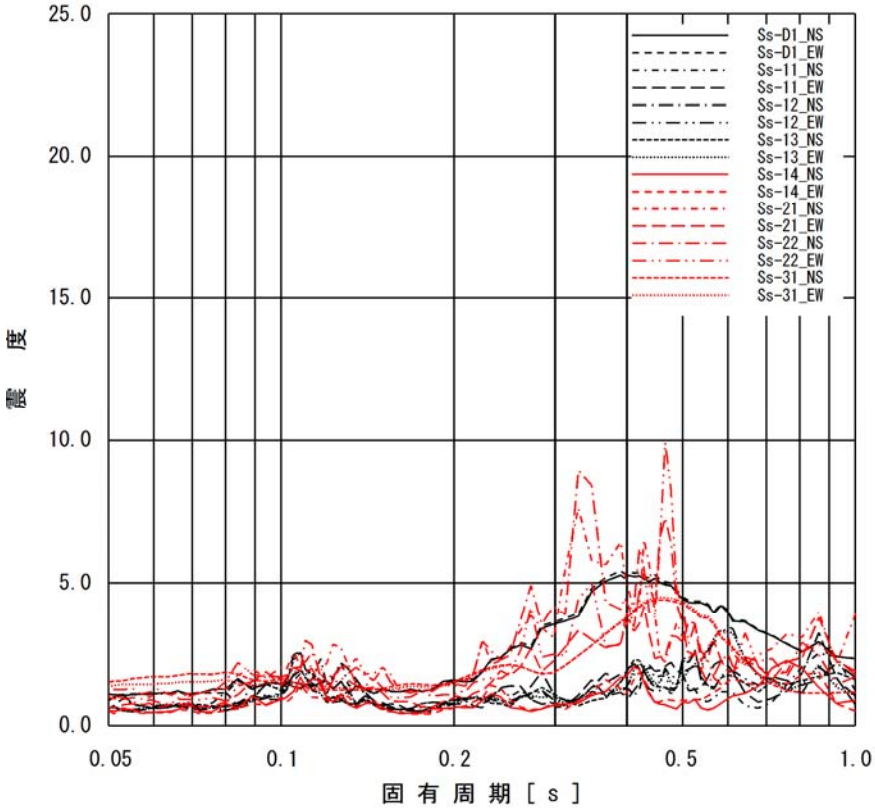
添付図 1(1)　原子炉建屋（EL.46.5m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



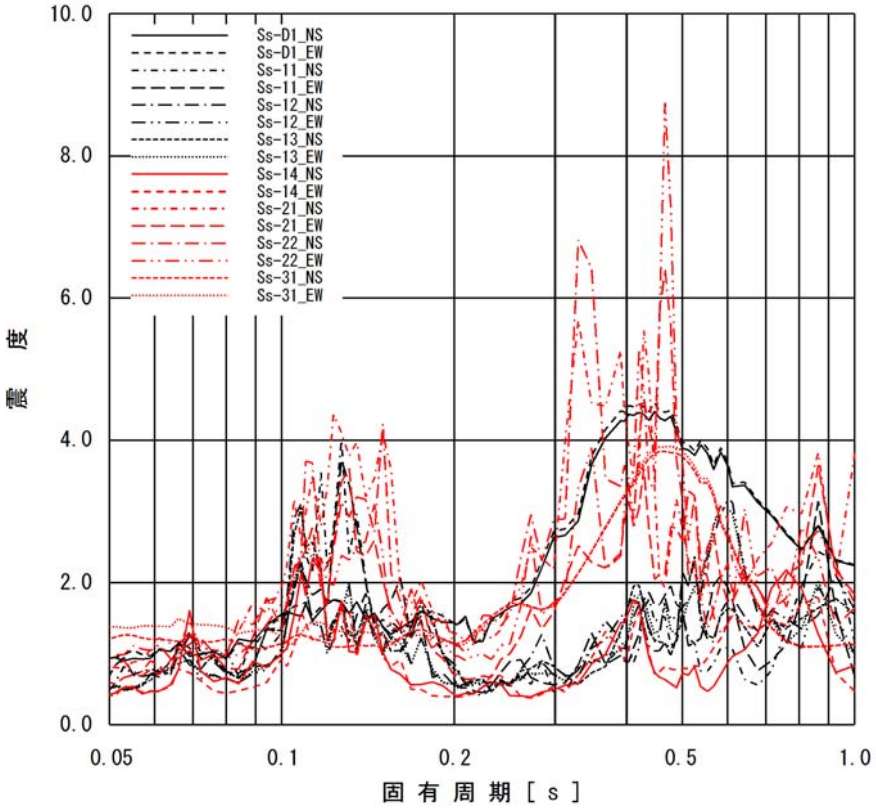
添付図 1(2)　原子炉建屋（EL.38.8m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



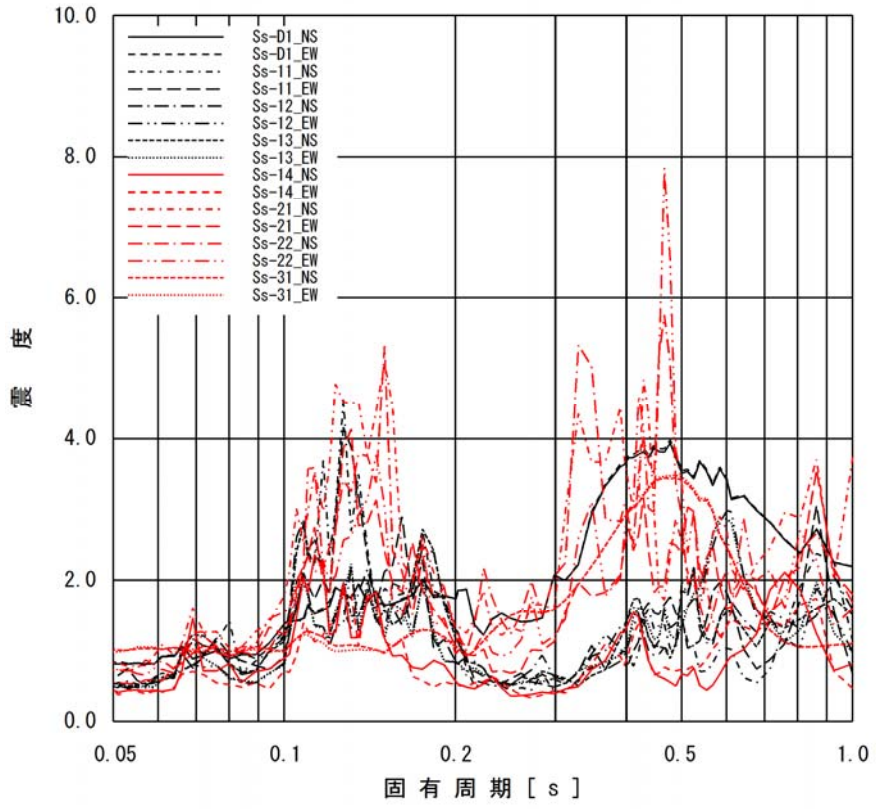
添付図 1(3)　原子炉建屋（EL.34.7m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



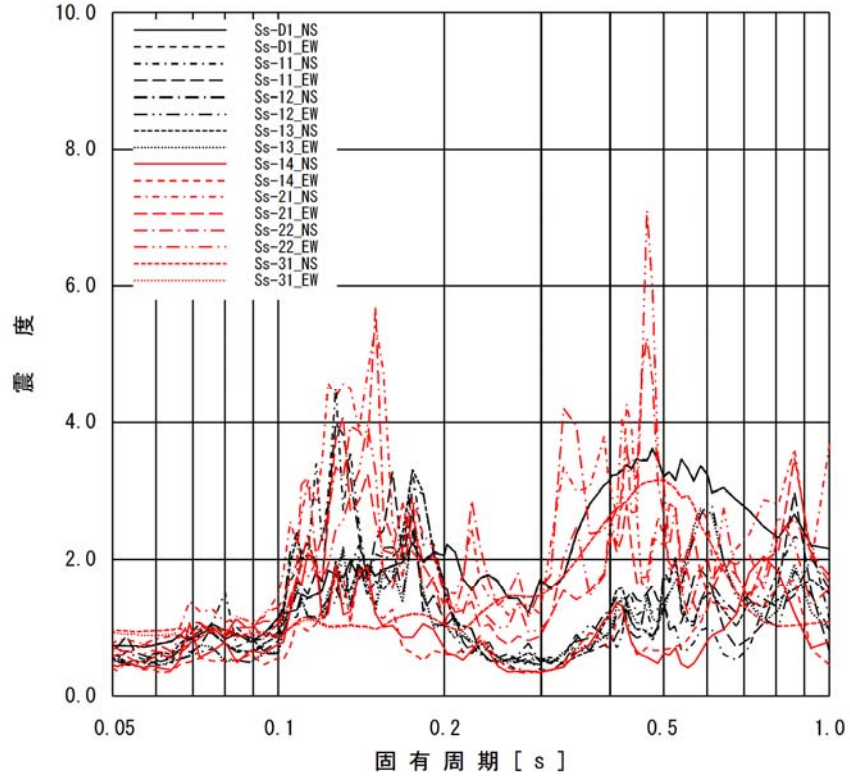
添付図 1(4)　原子炉建屋（EL.29.0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



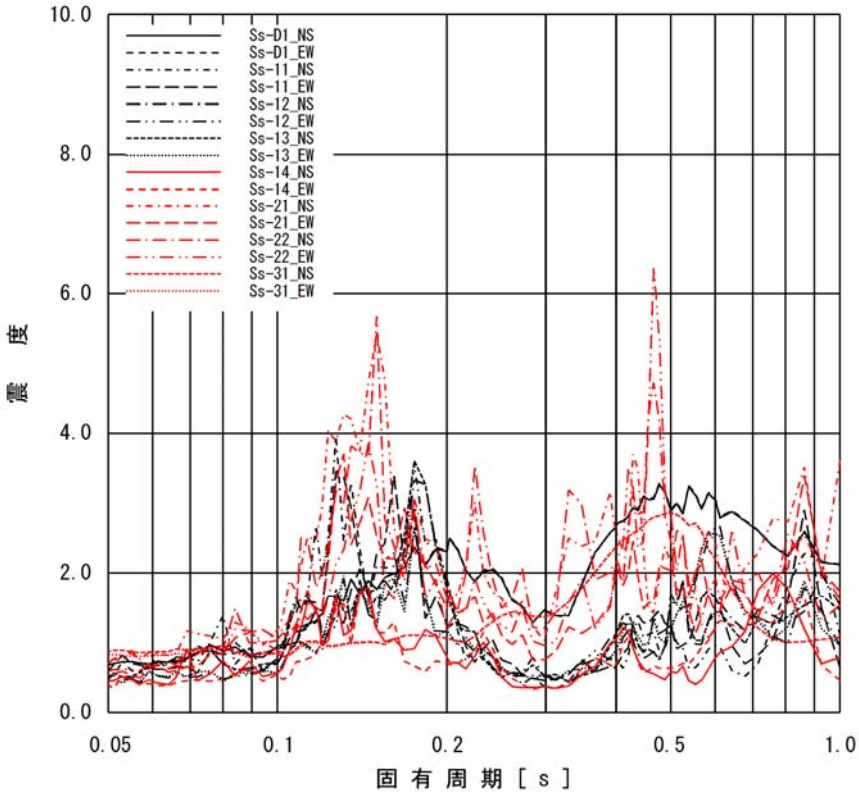
添付図 1(5)　原子炉建屋（EL. 20. 3m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1. 0%）



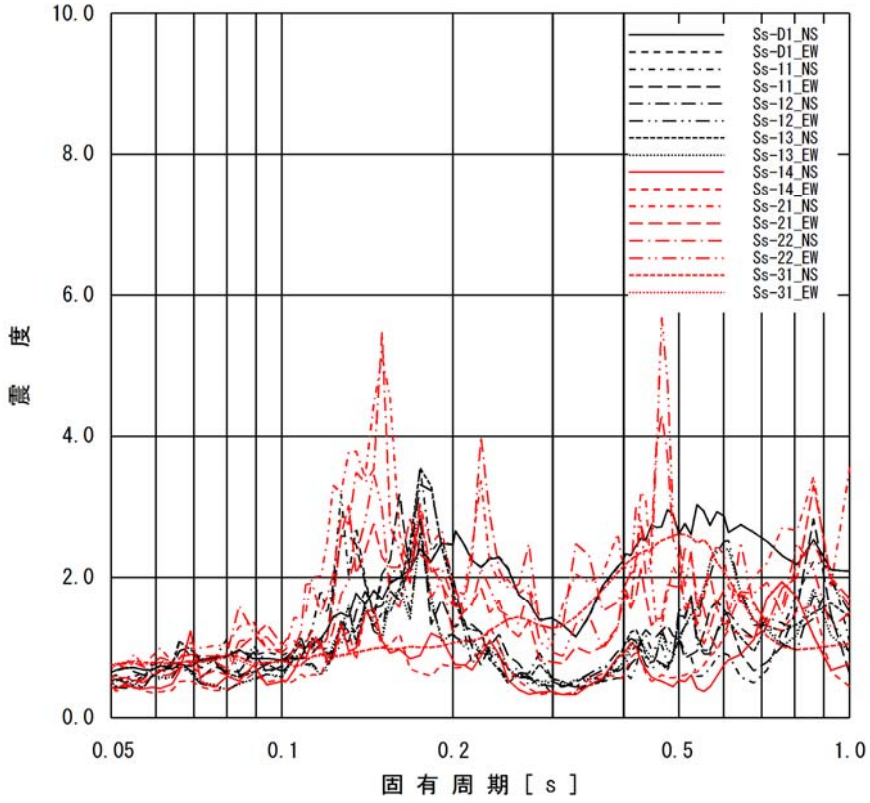
添付図 1(6)　原子炉建屋（EL. 14. 0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1. 0%）



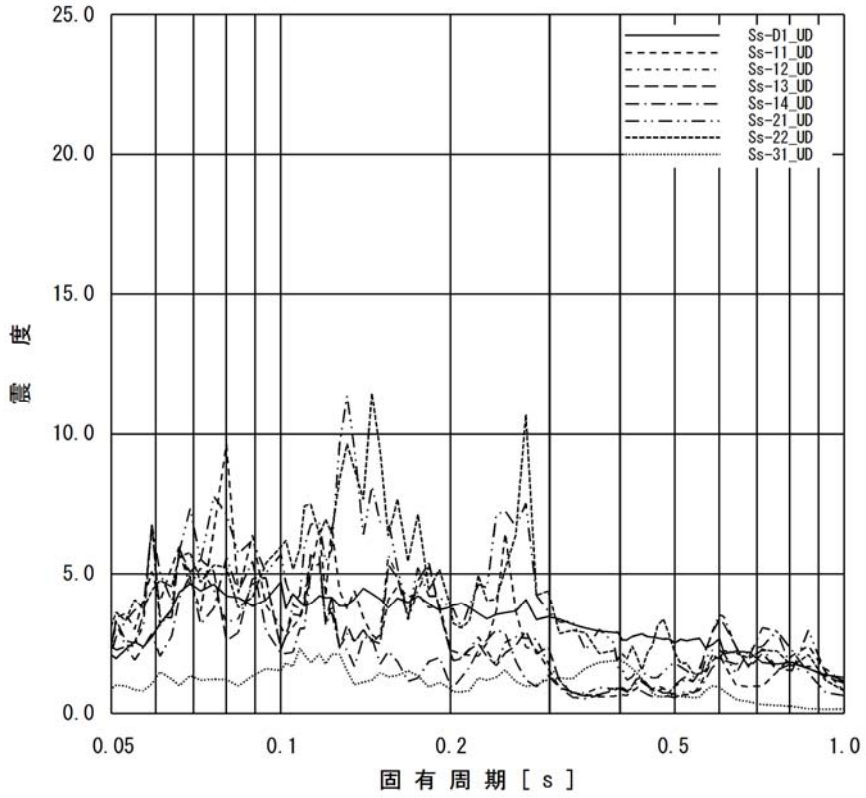
添付図 1(7)　原子炉建屋（EL.8.2m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



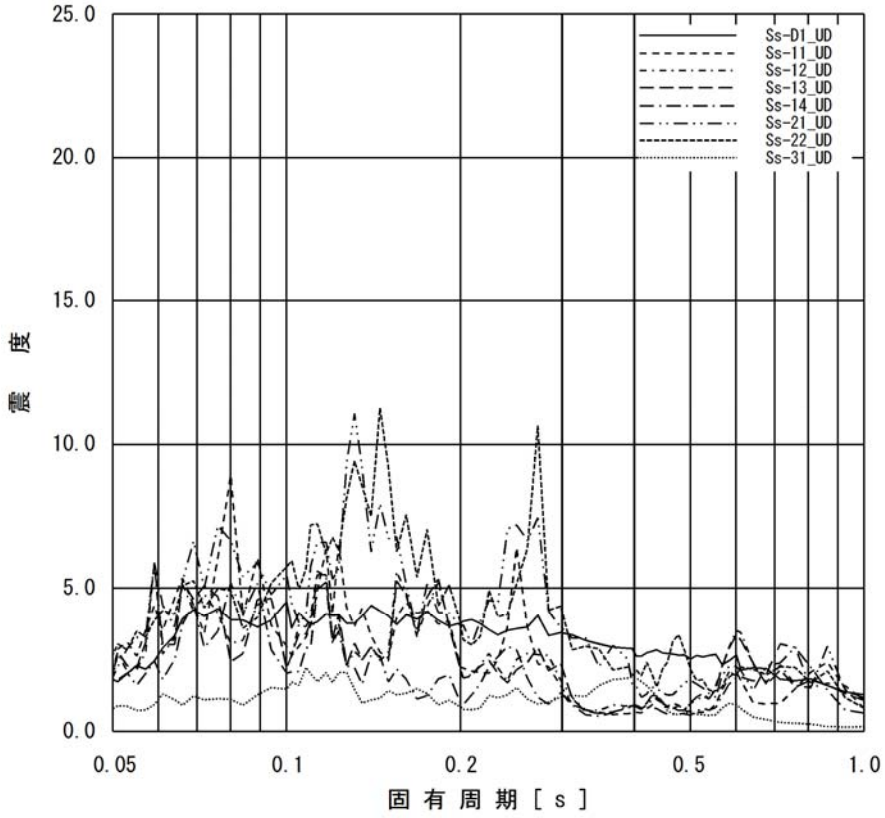
添付図 1(8)　原子炉建屋（EL.2.0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



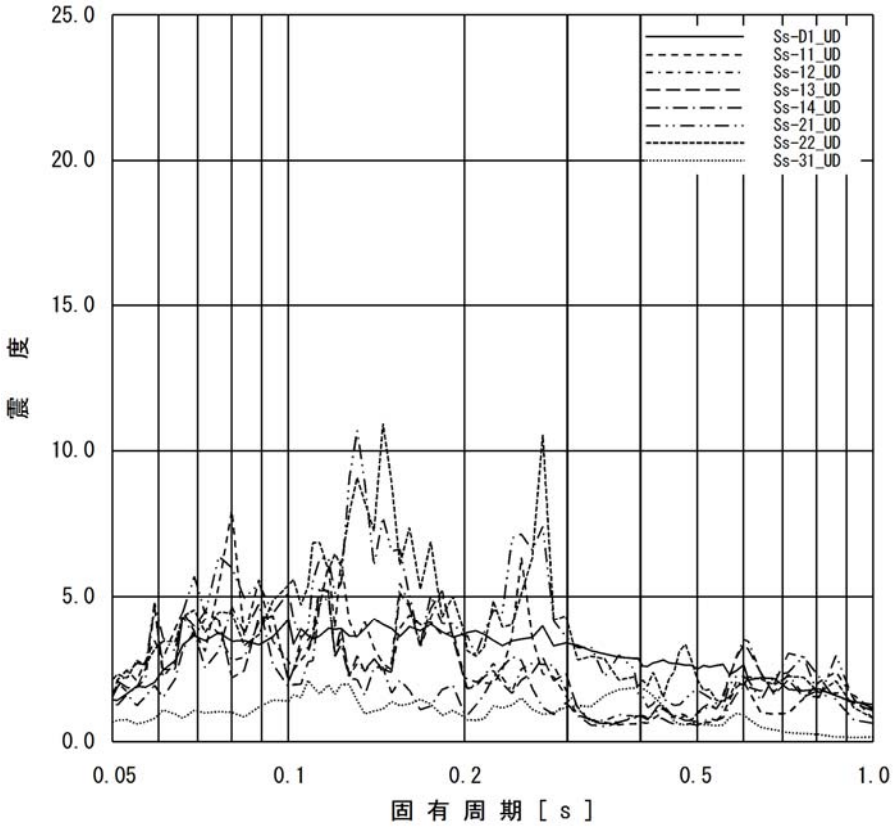
添付図 1(9)　原子炉建屋（EL.-4.0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



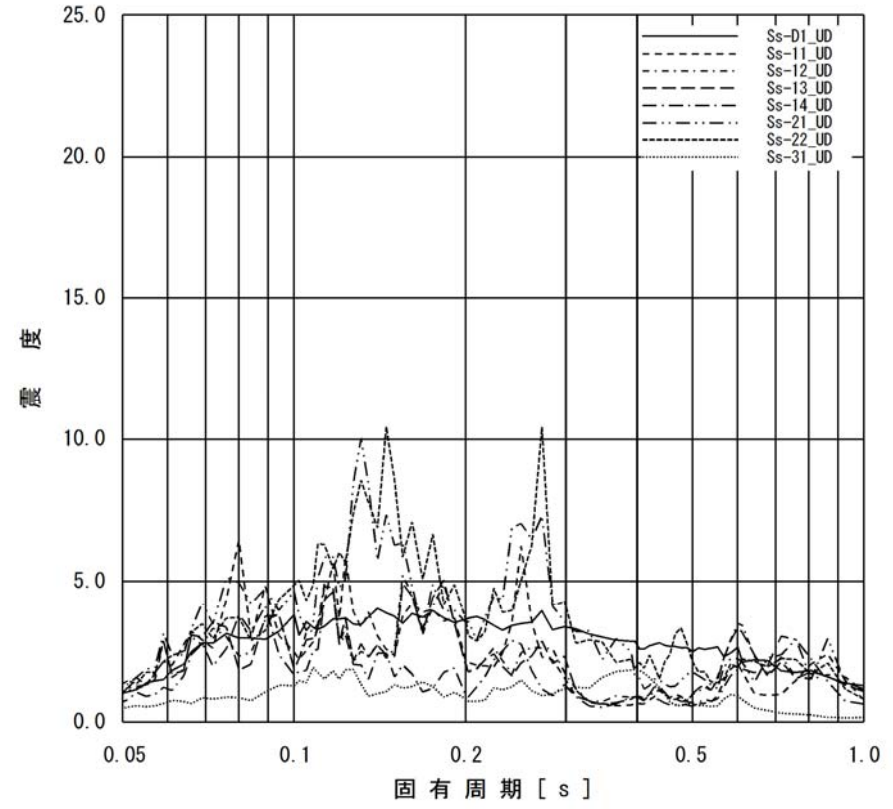
添付図 2(1)　原子炉建屋（EL.46.5m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



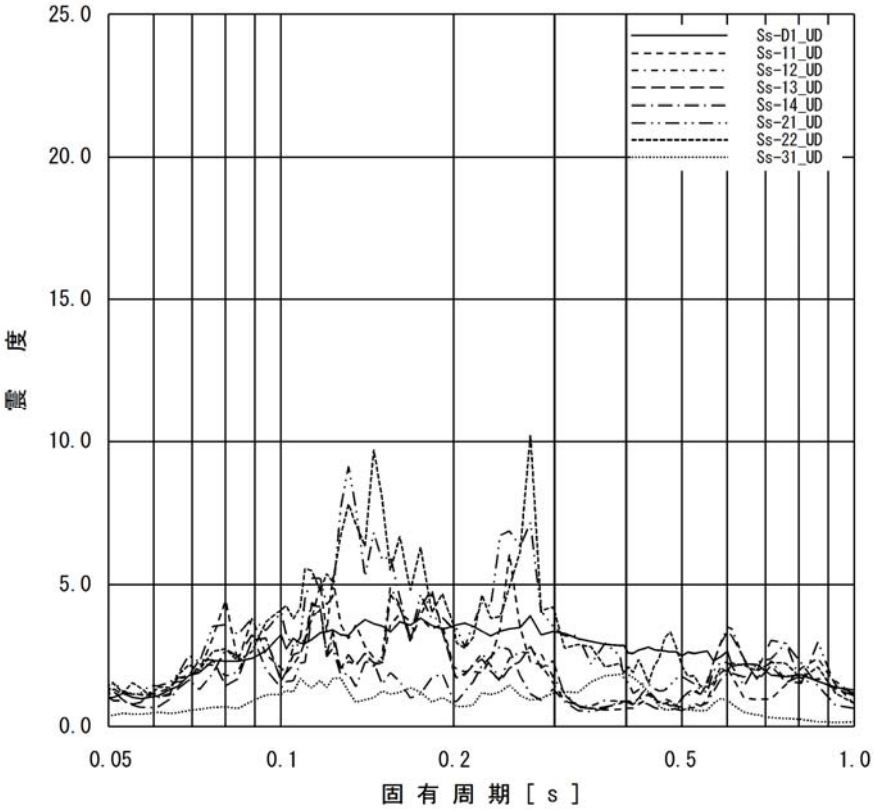
添付図 2(2)　原子炉建屋（EL.38.8m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



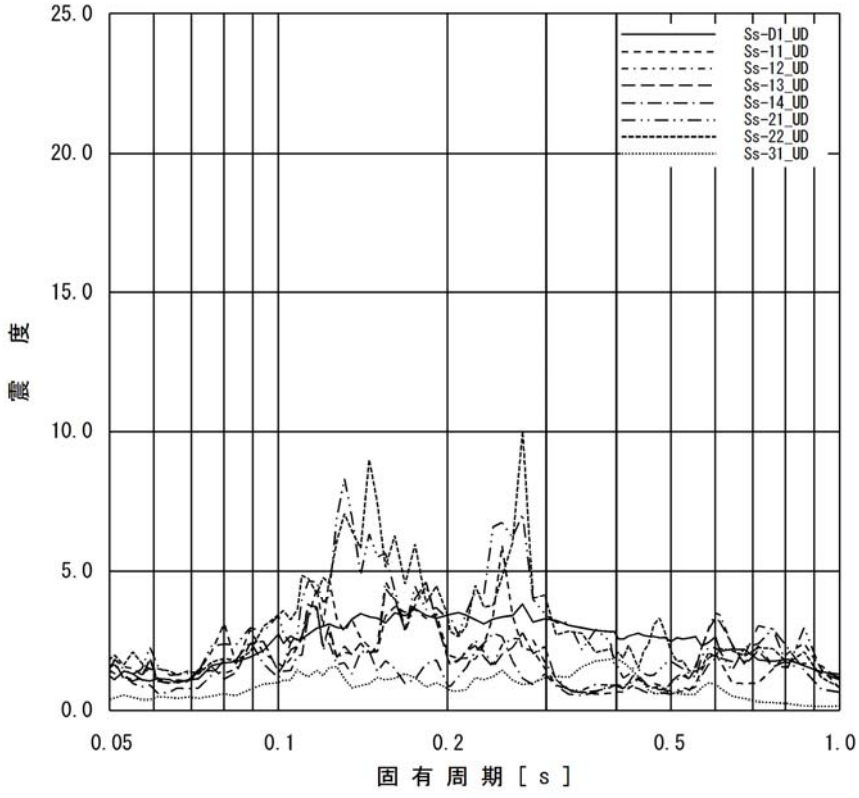
添付図 2(3)　原子炉建屋（EL.34.7m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



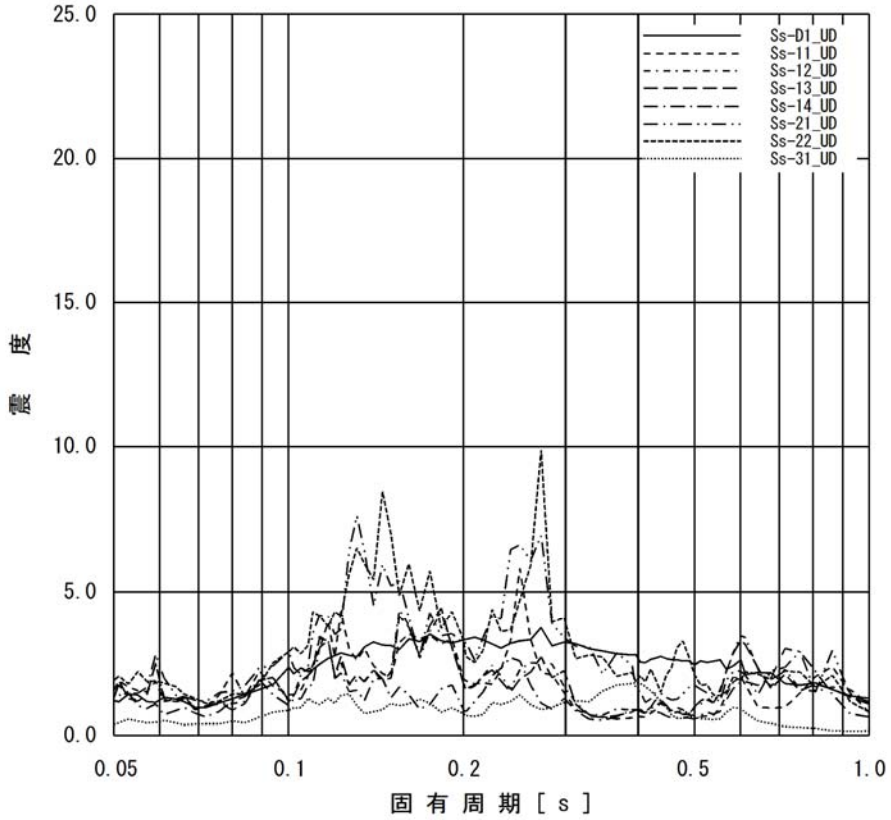
添付図 2(4)　原子炉建屋（EL.29.0m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



添付図 2(5)　原子炉建屋（EL.20.3m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

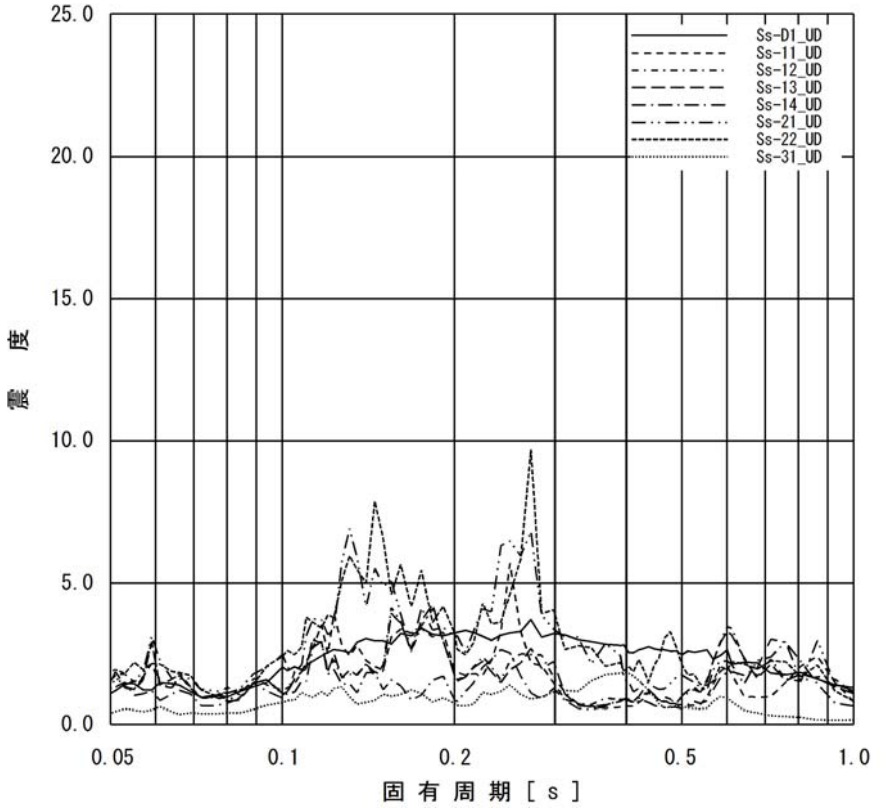


添付図 2(6)　原子炉建屋（EL.14.0m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



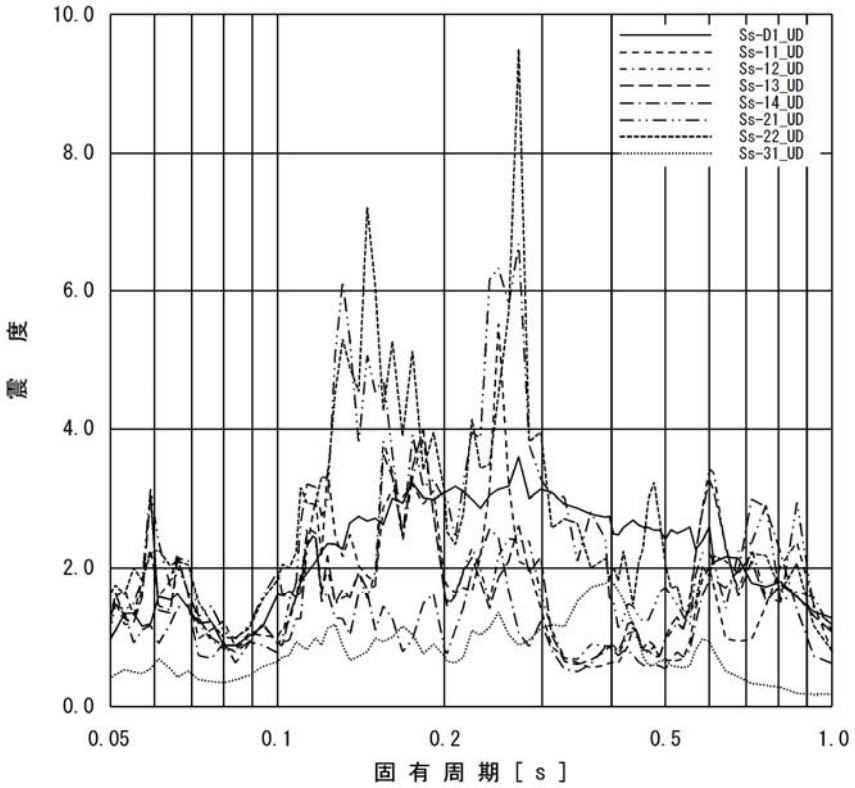
添付図 2(7)　原子炉建屋（EL.8.2m）の加速度応答スペクトル

（鉛直方向，減衰定数 1.0%）

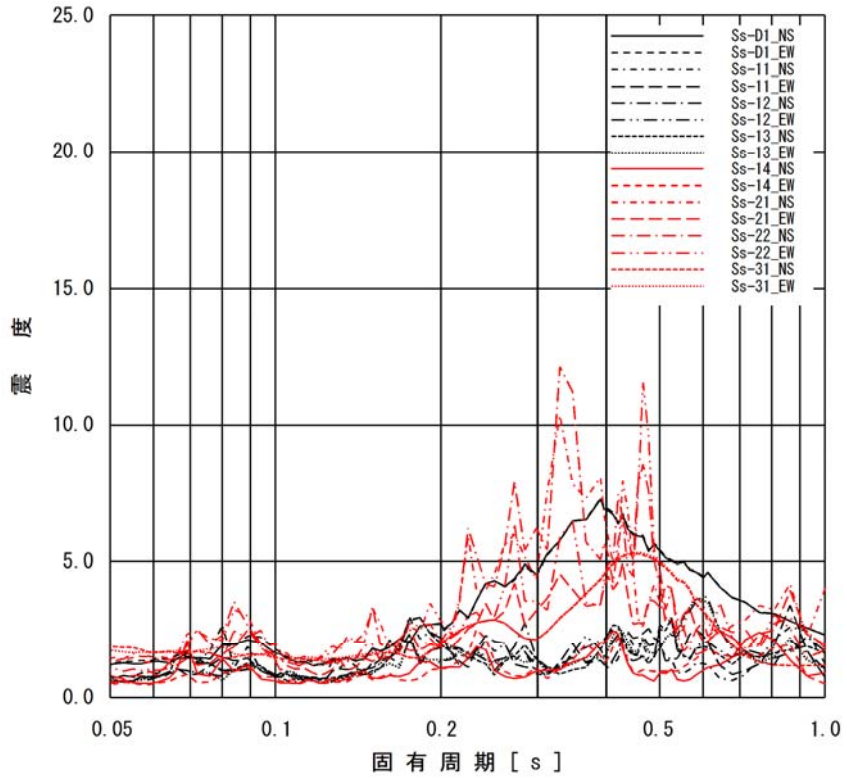


添付図 2(8)　原子炉建屋（EL.2.0m）の加速度応答スペクトル

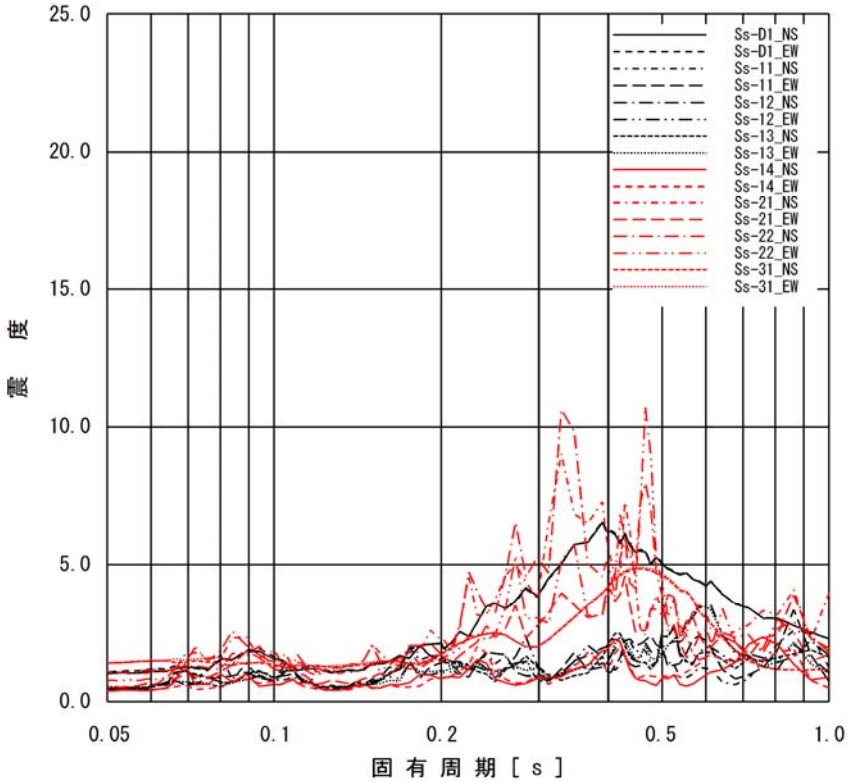
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



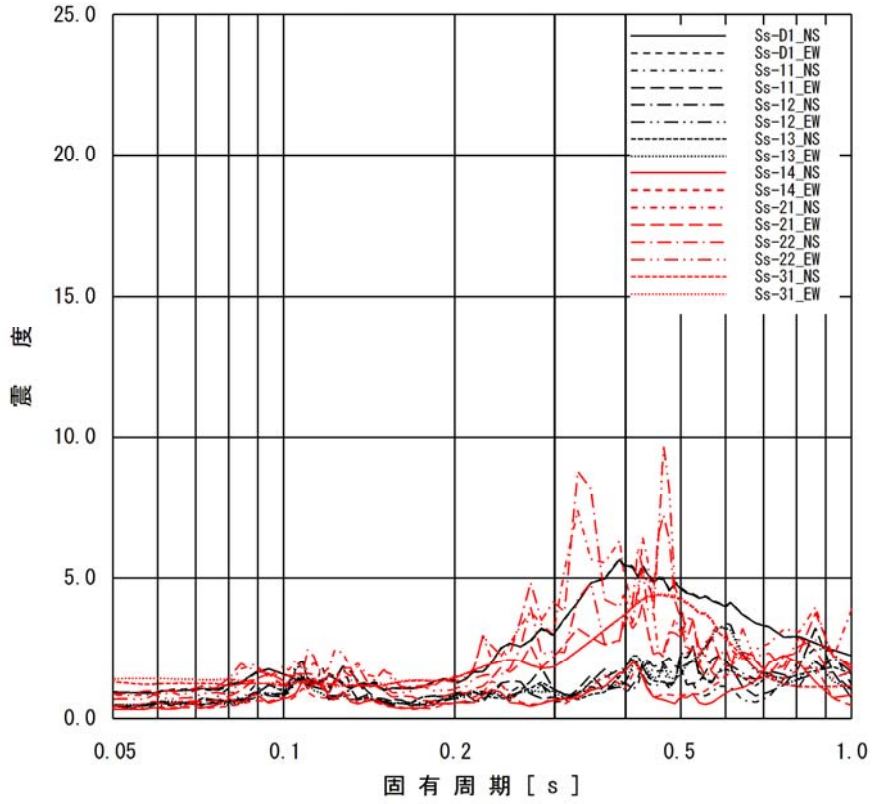
添付図 2(9)　原子炉建屋（EL.-4.0m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



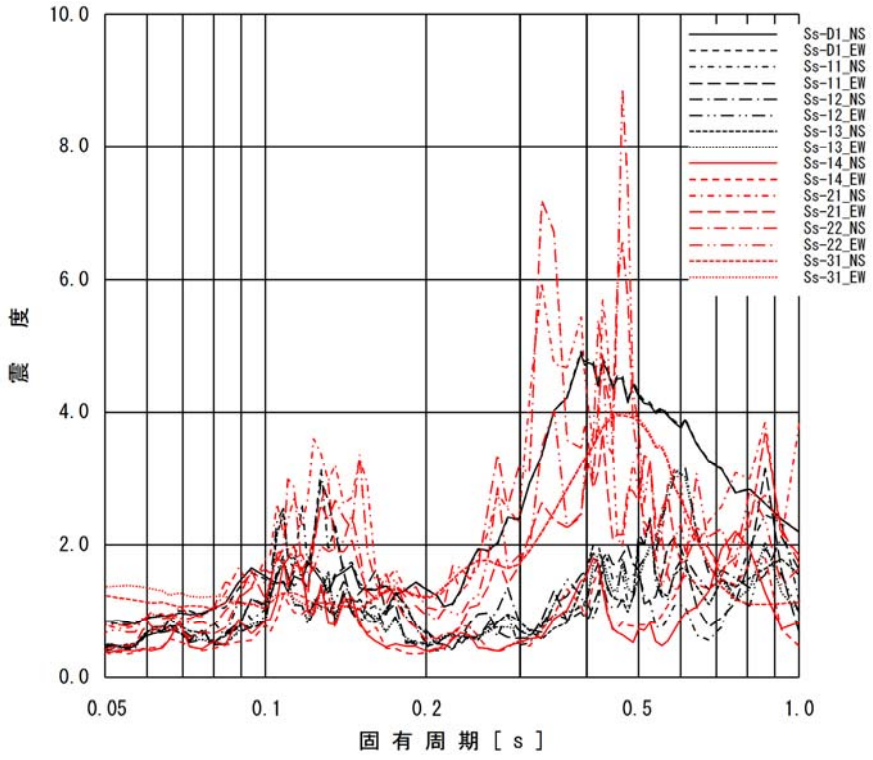
添付図 3(1)　原子炉格納容器（EL. 39.431m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



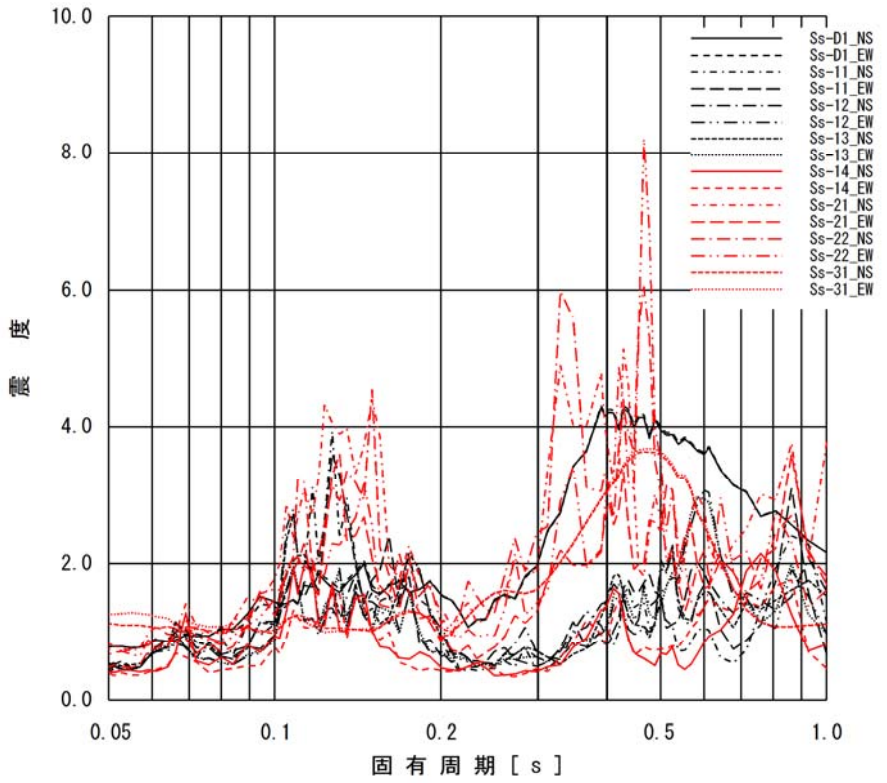
添付図 3(2)　原子炉格納容器（EL. 33.431m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



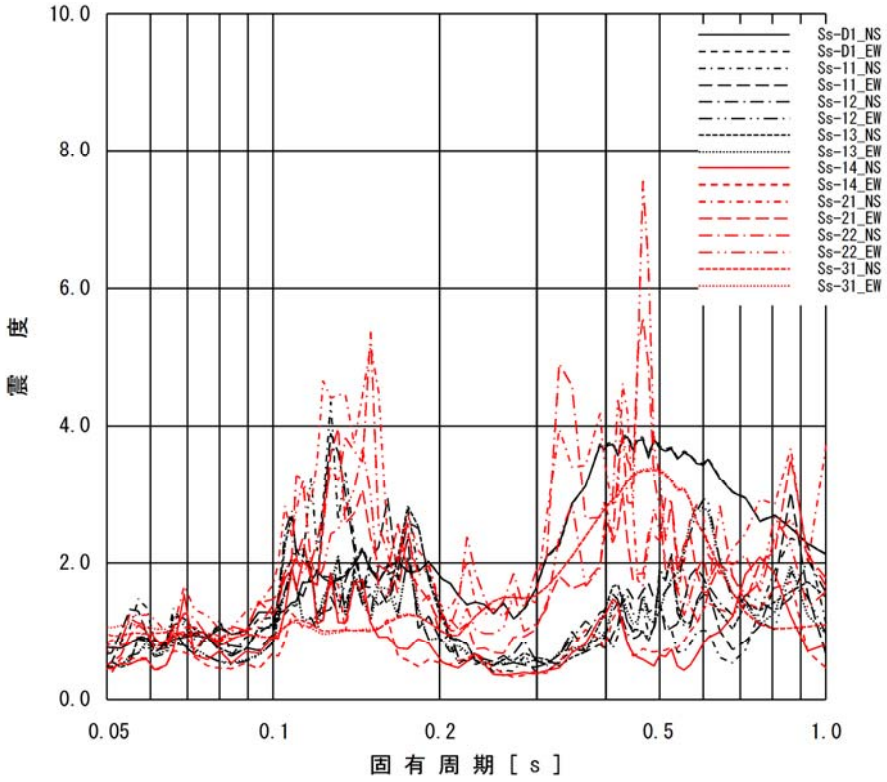
添付図 3(3)　原子炉格納容器（EL.27.432m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



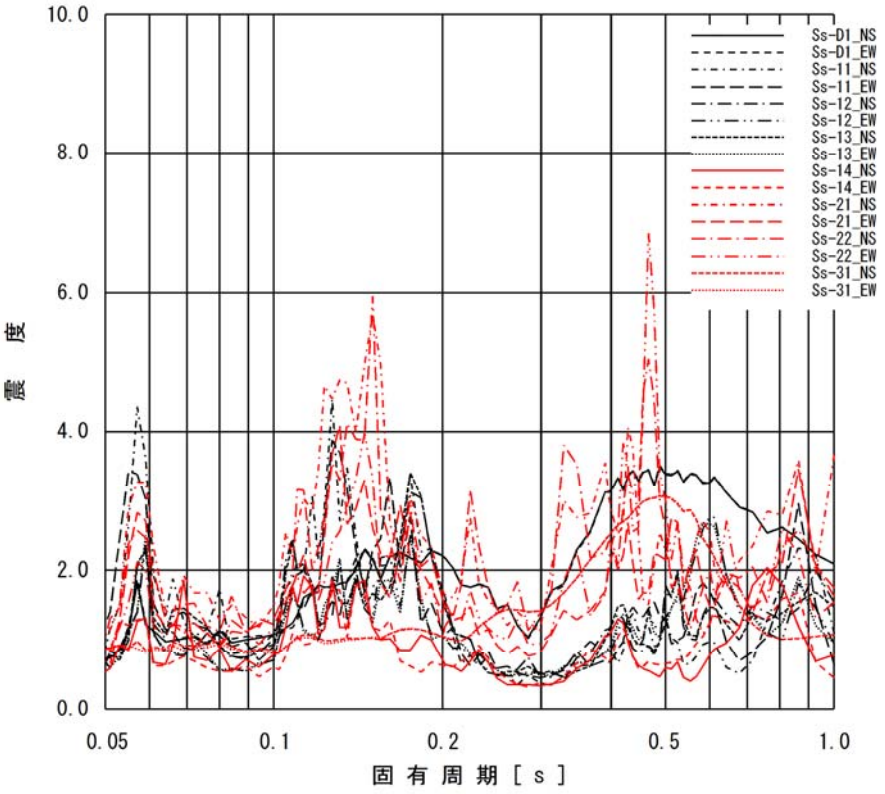
添付図 3(4)　原子炉格納容器（EL.21.420m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



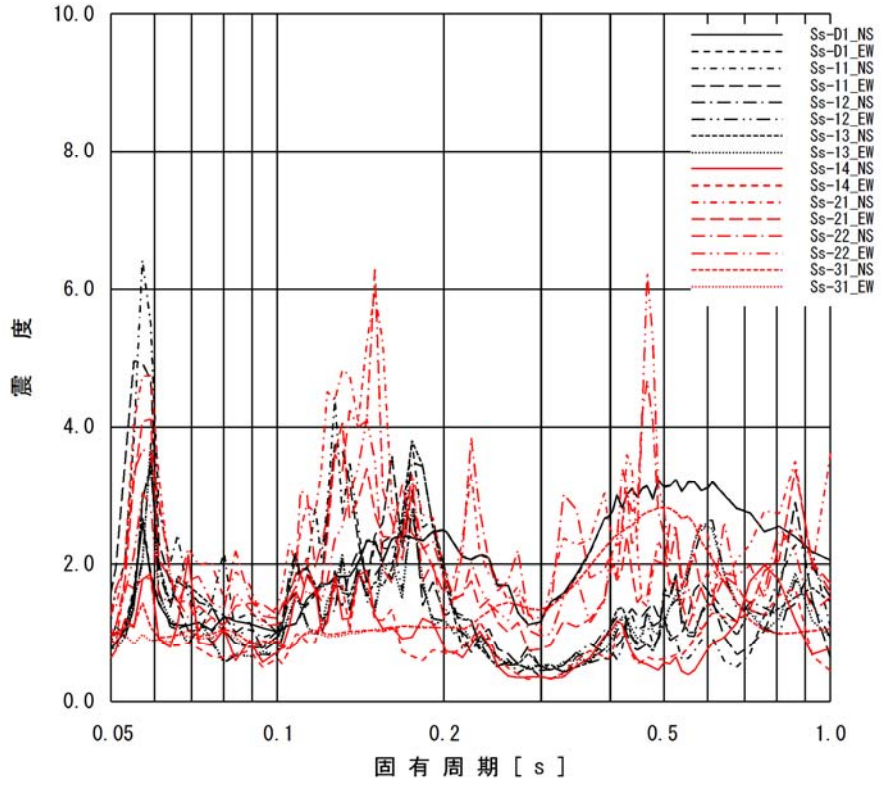
添付図 3(5)　原子炉格納容器（EL. 16. 319m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1. 0%）



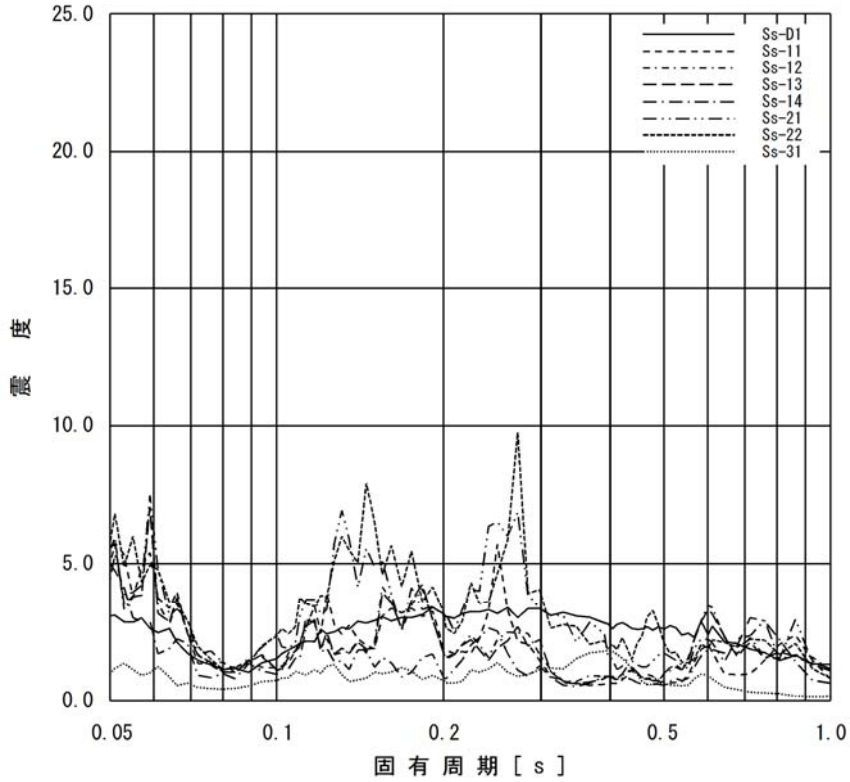
添付図 3(6)　原子炉格納容器（EL. 11. 191m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1. 0%）



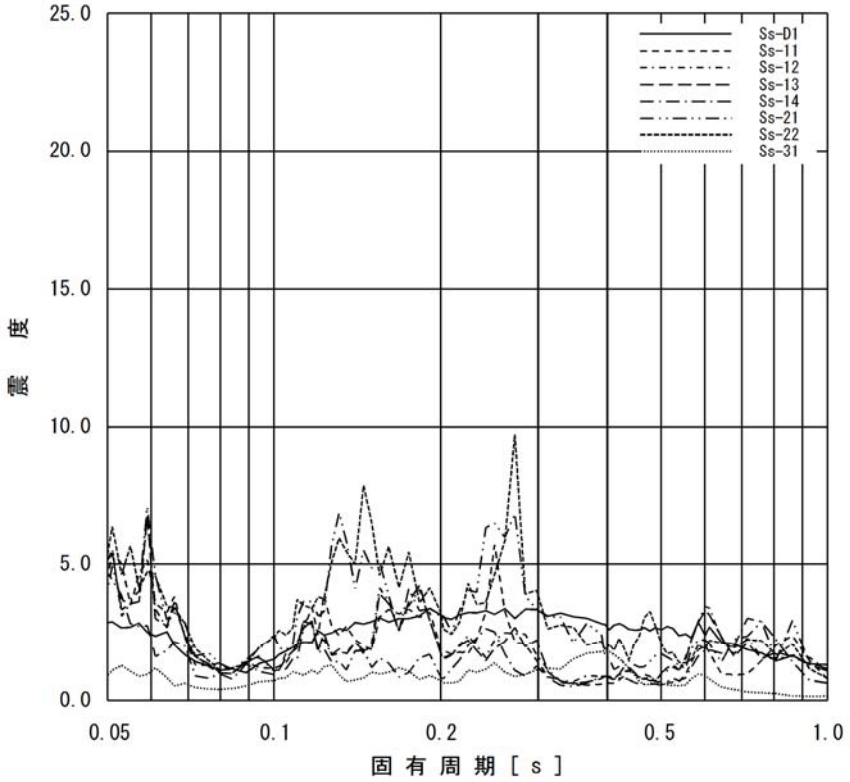
添付図 3(7)　原子炉格納容器（EL.5.141m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



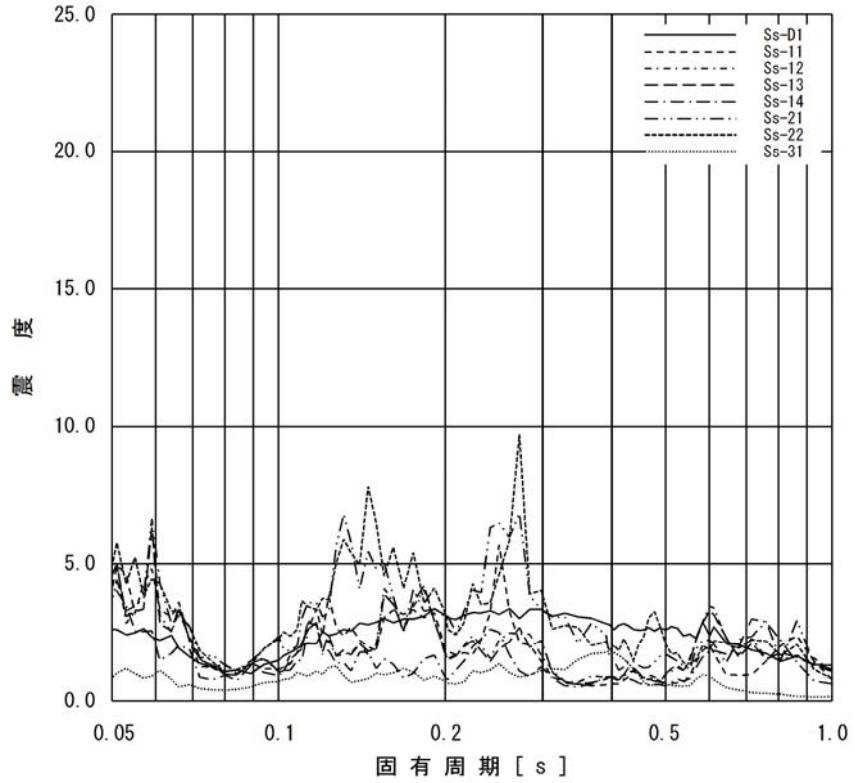
添付図 3(8)　原子炉格納容器（EL.-0.013m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



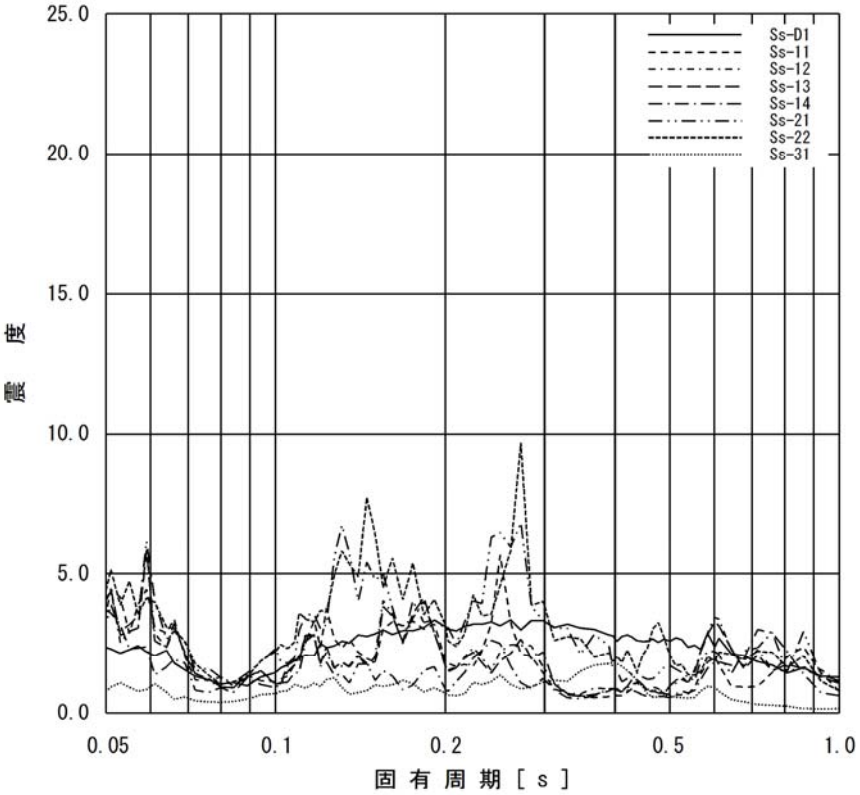
添付図 4(1)　原子炉格納容器（EL.39.431m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



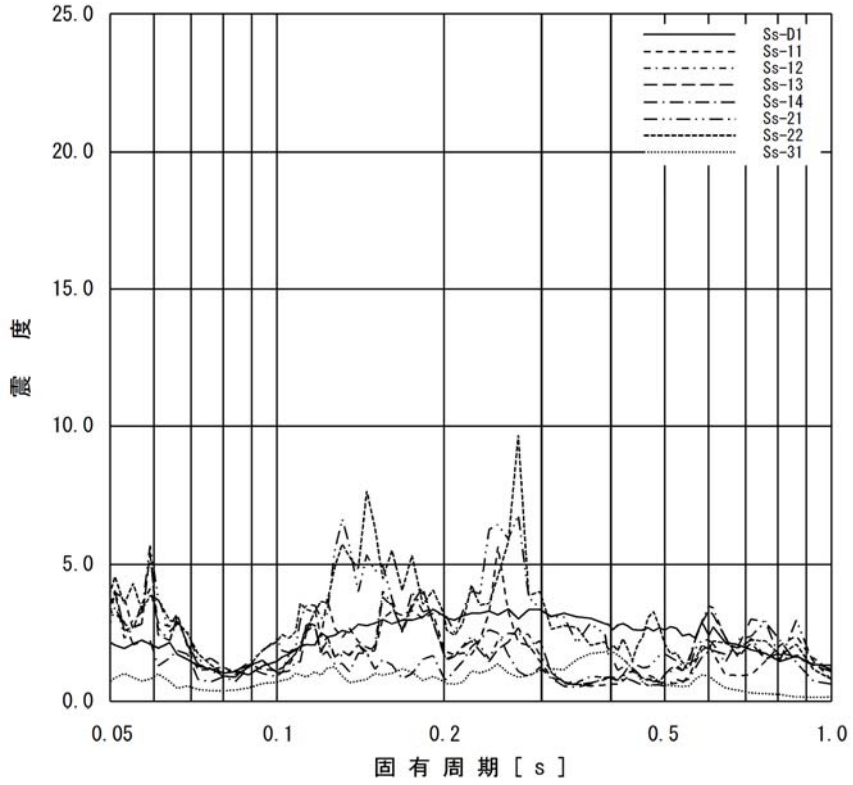
添付図 4(2)　原子炉格納容器（EL.33.431m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



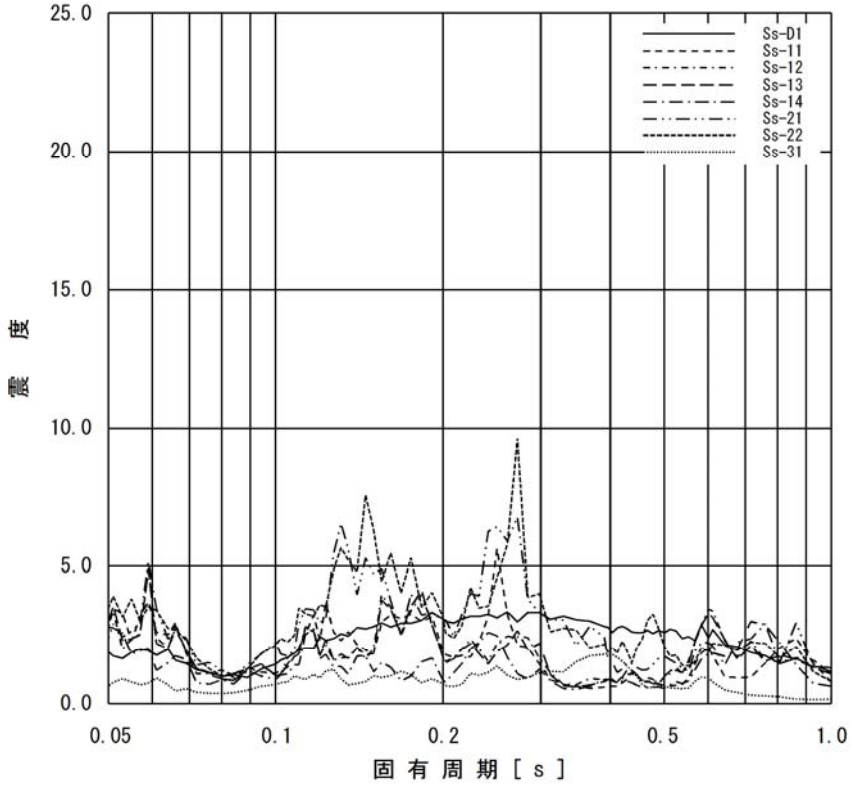
添付図 4(3)　原子炉格納容器（EL.27.432m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



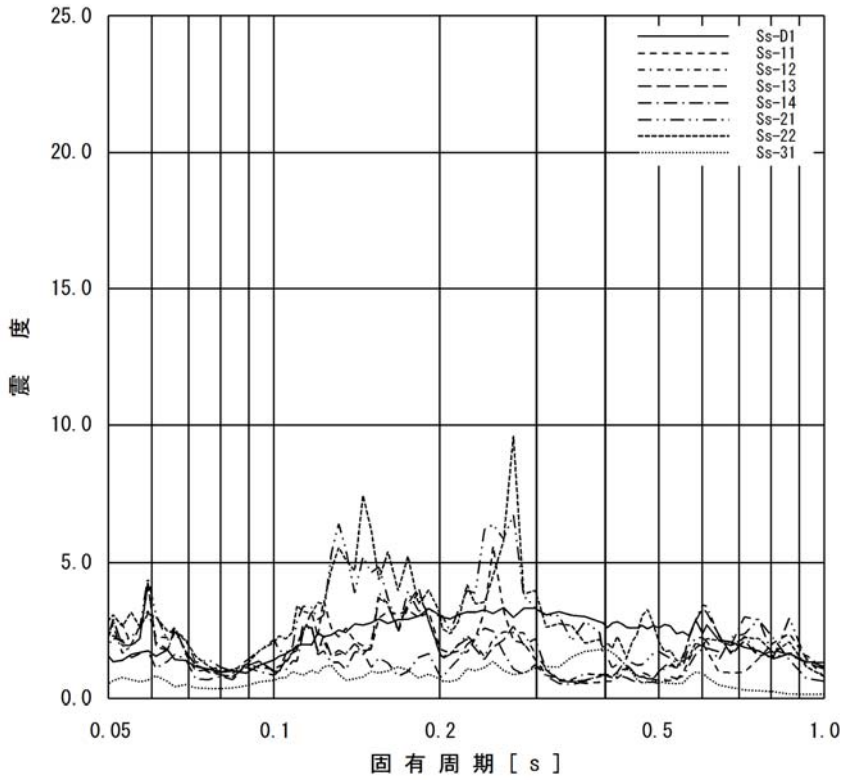
添付図 4(4)　原子炉格納容器（EL.21.420m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



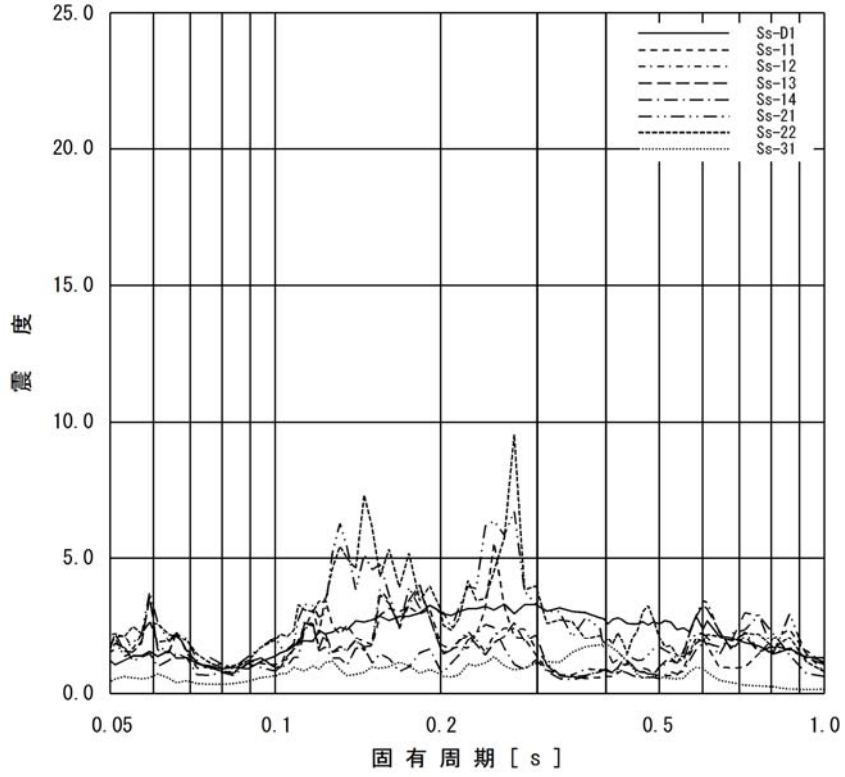
添付図 4(5)　原子炉格納容器（EL.16.319m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



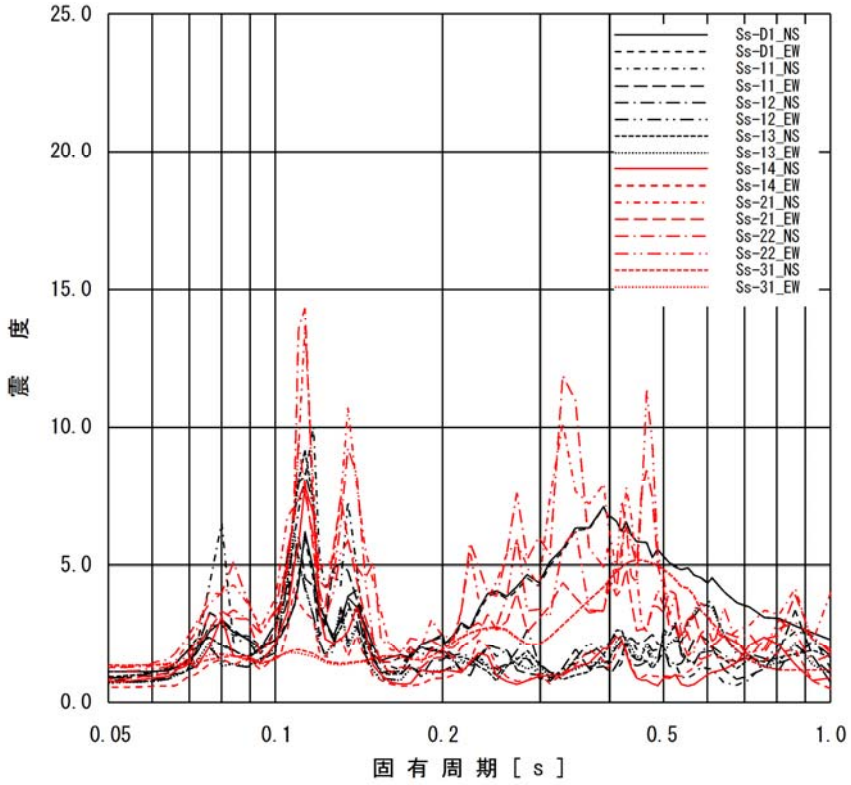
添付図 4(6)　原子炉格納容器（EL.11.191m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



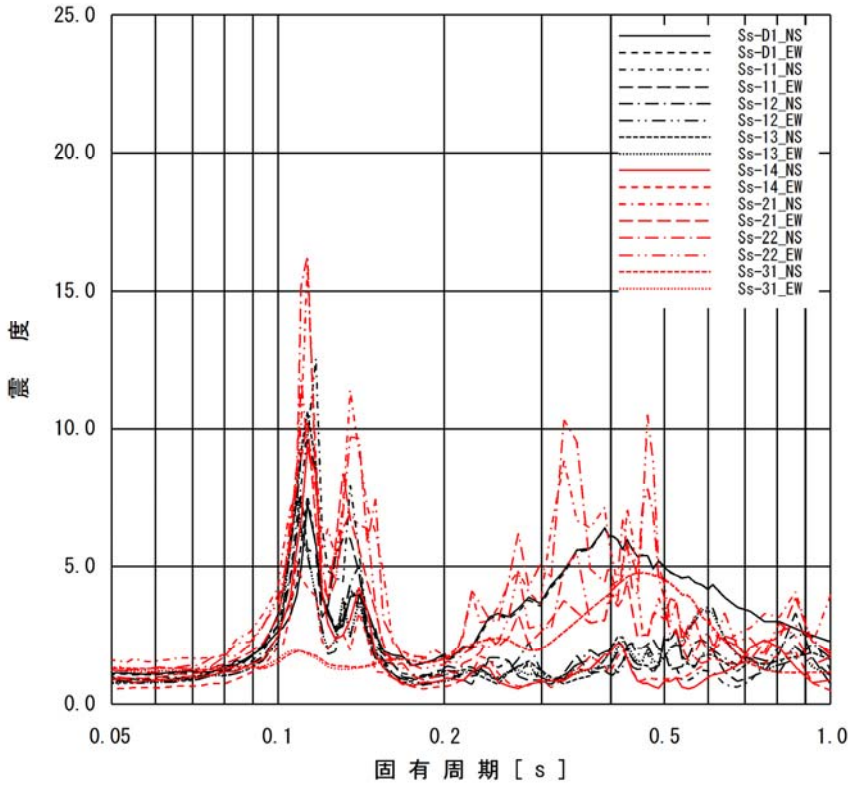
添付図 4(7)　原子炉格納容器（EL.5.141m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



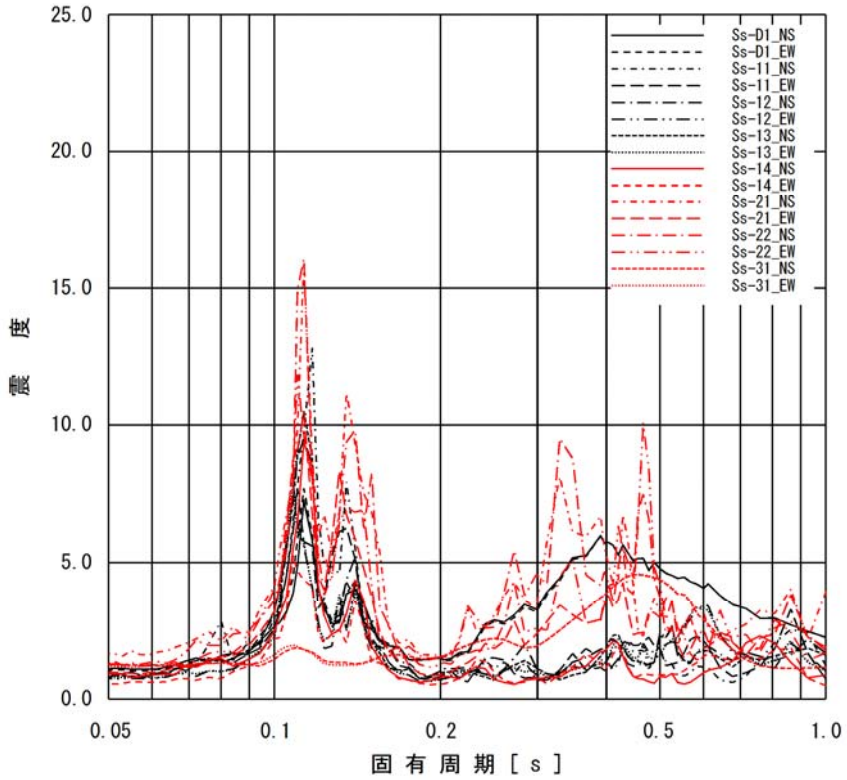
添付図 4(8)　原子炉格納容器（EL.-0.013m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



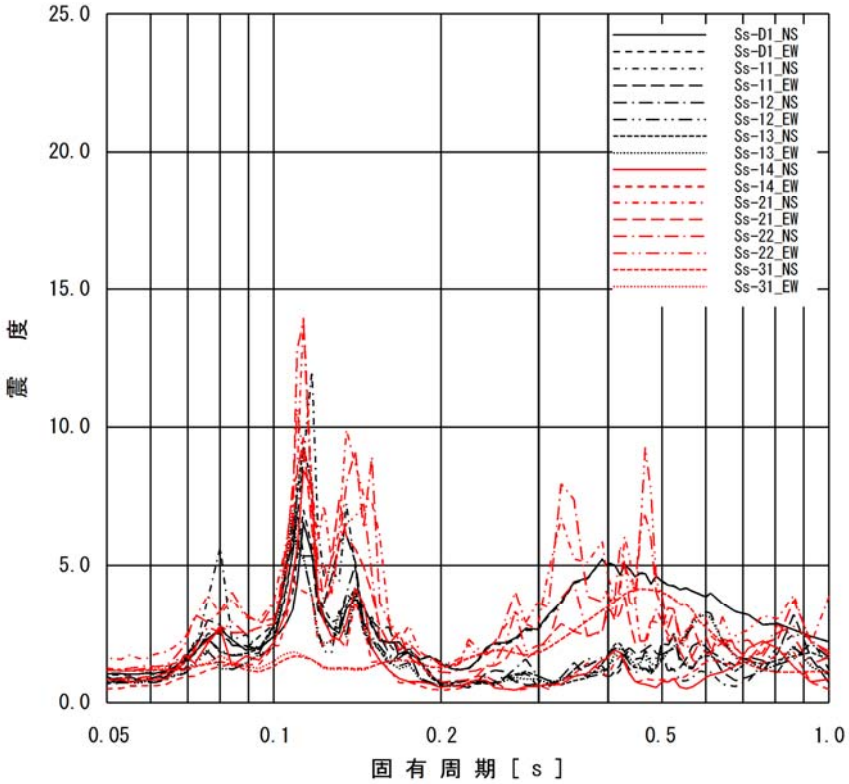
添付図 5(1)　原子炉遮蔽（EL.34.643m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



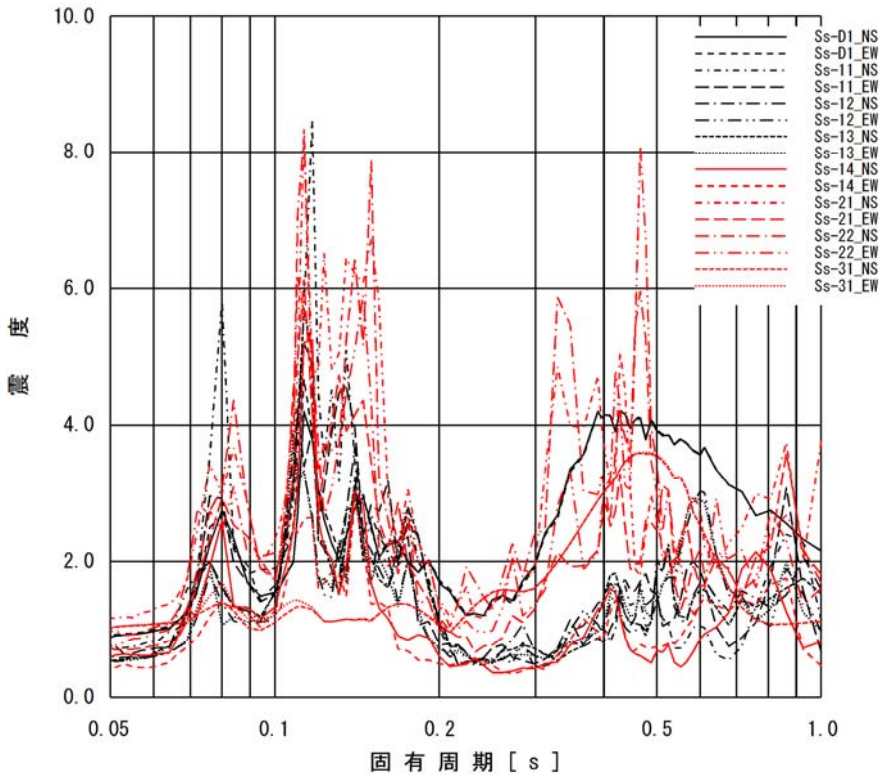
添付図 5(2)　原子炉遮蔽（EL.28.308m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



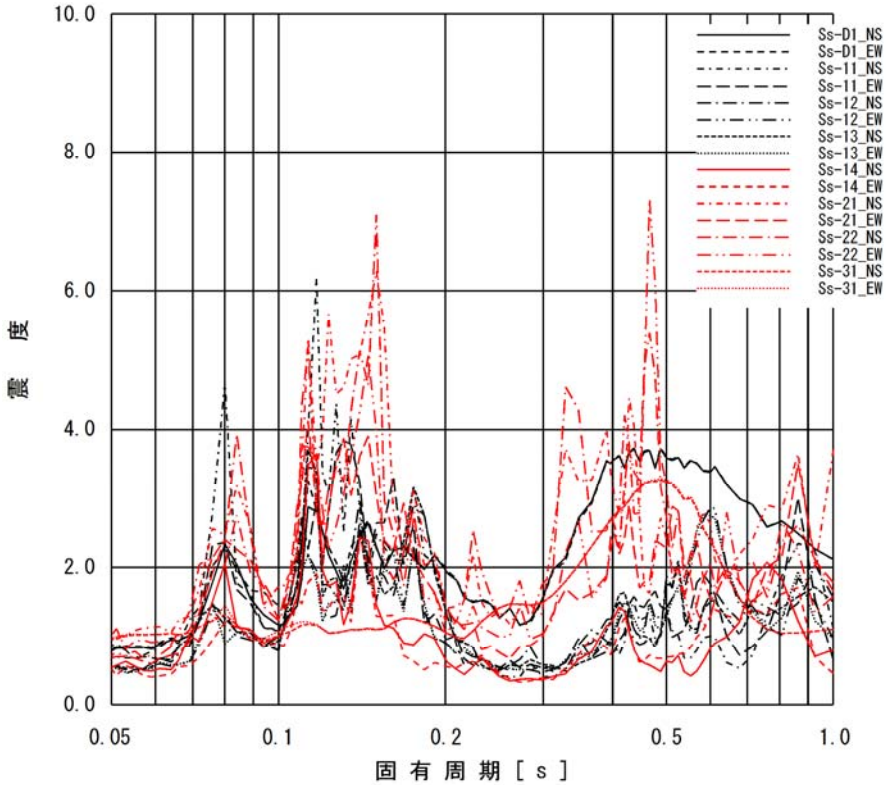
添付図 5(3)　原子炉遮蔽（EL.25.212m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



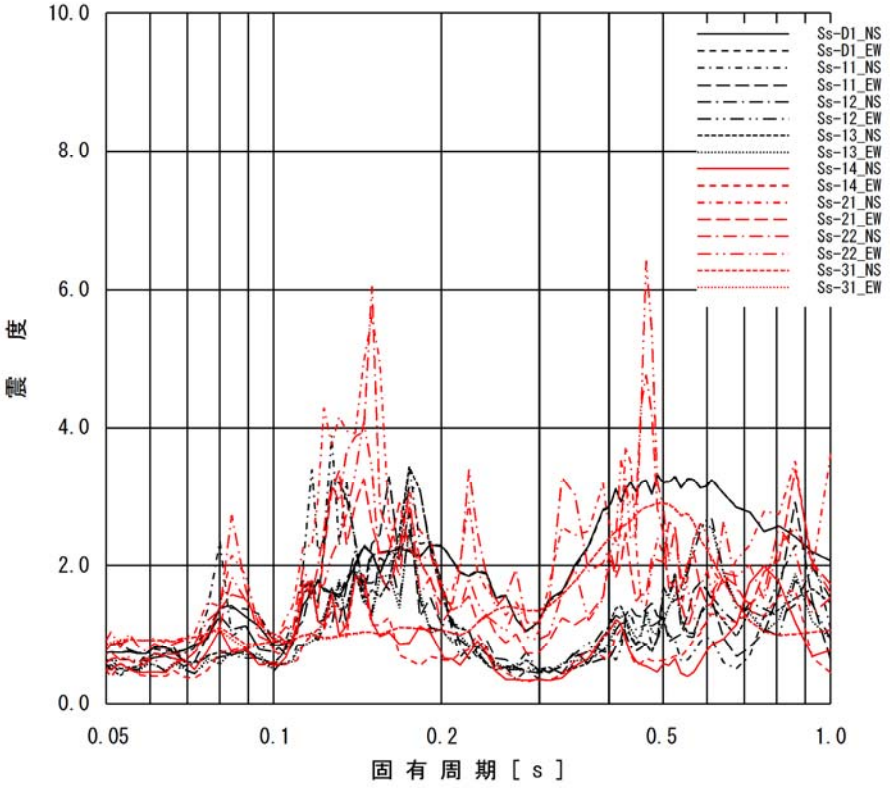
添付図 5(4)　原子炉本体の基礎（EL.19.856m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



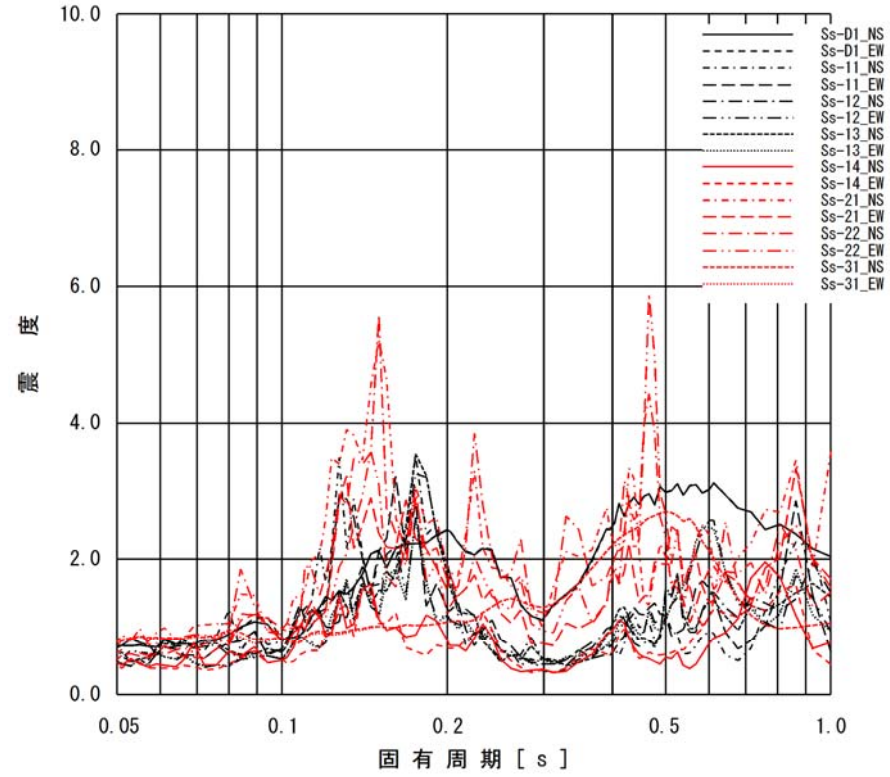
添付図 5(5)　原子炉本体の基礎（EL. 13. 198m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1. 0%）



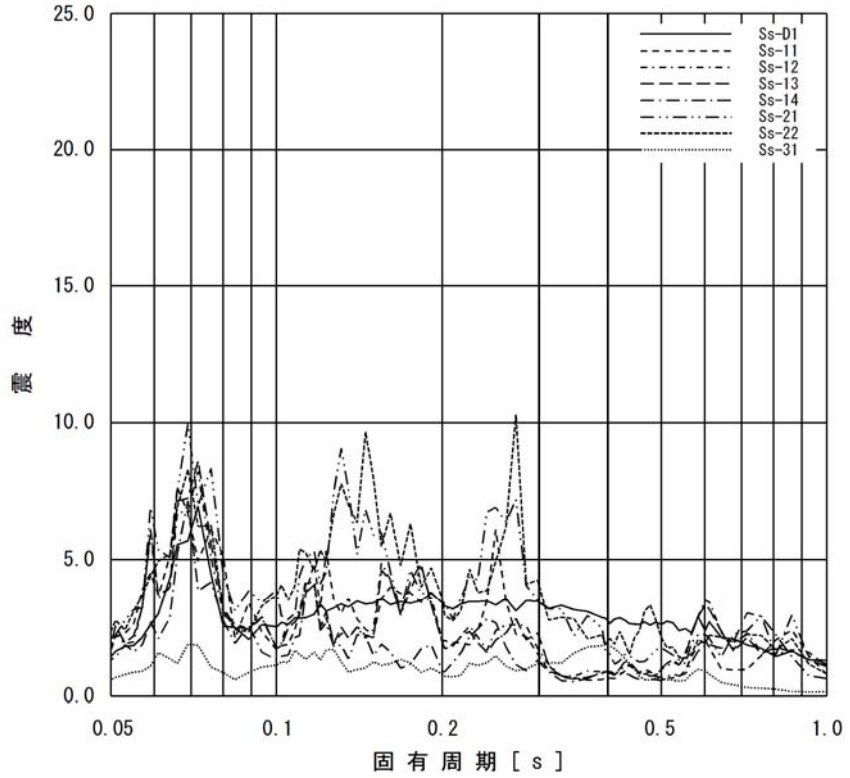
添付図 5(6)　原子炉本体の基礎（EL. 8. 395m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1. 0%）



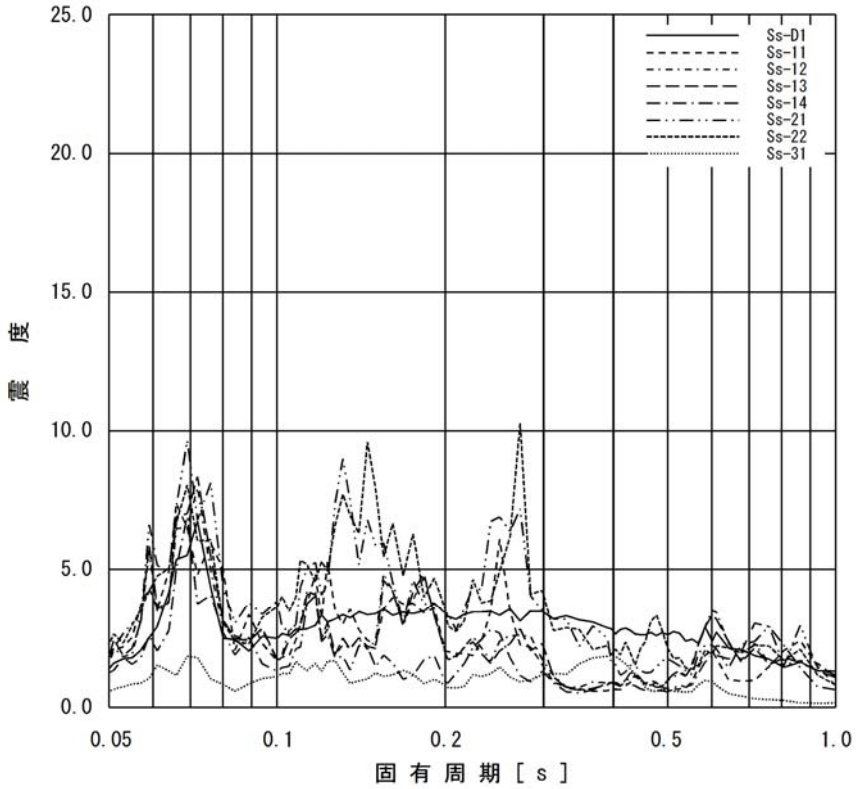
添付図 5(7)　原子炉本体の基礎（EL.2.189m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



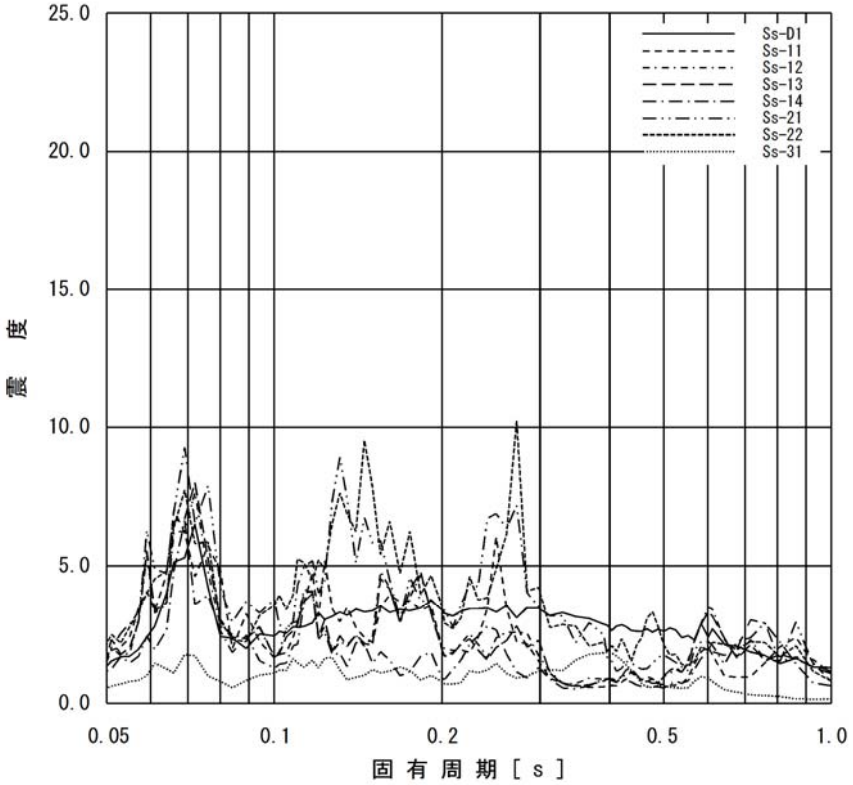
添付図 5(8)　原子炉本体の基礎（EL.-2.167m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 1.0%）



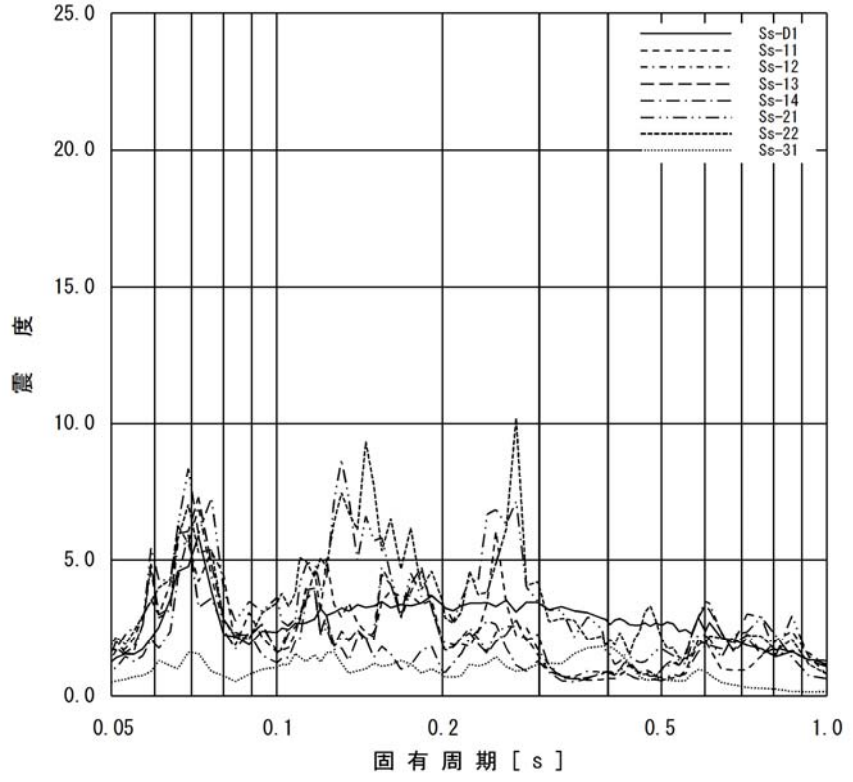
添付図 6(1)　原子炉遮蔽（EL.34.643m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



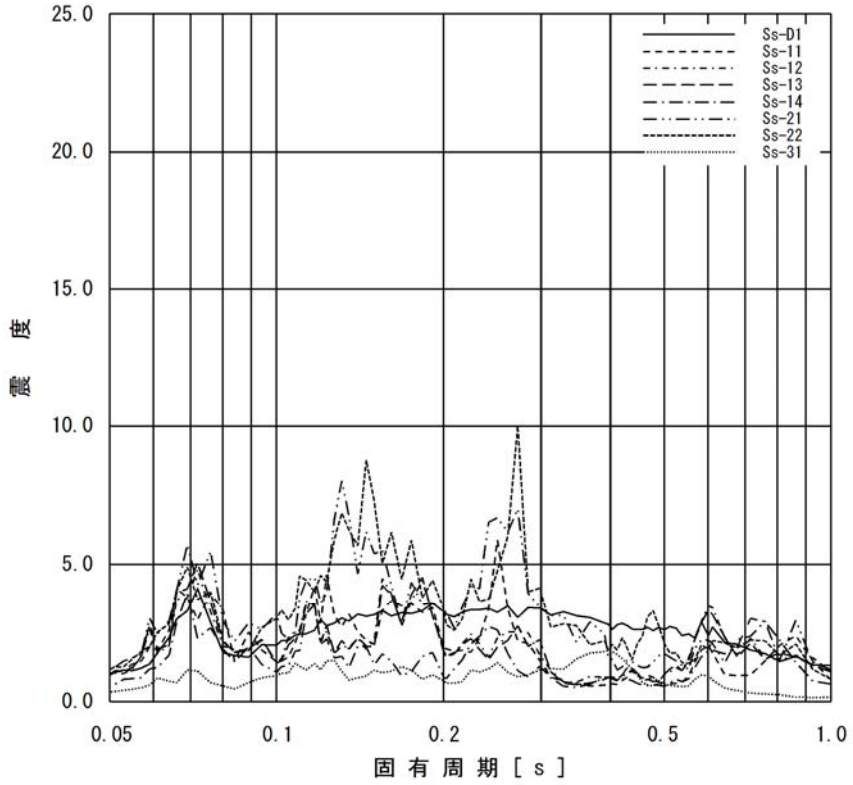
添付図 6(2)　原子炉遮蔽（EL.28.308m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



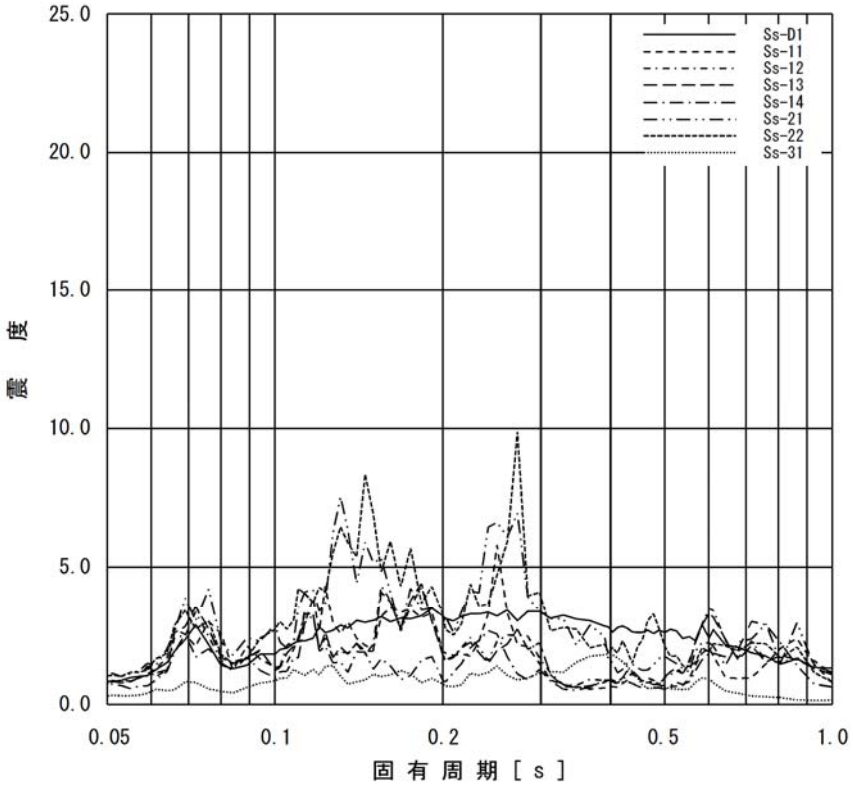
添付図 6(3)　原子炉遮蔽（EL.25.212m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



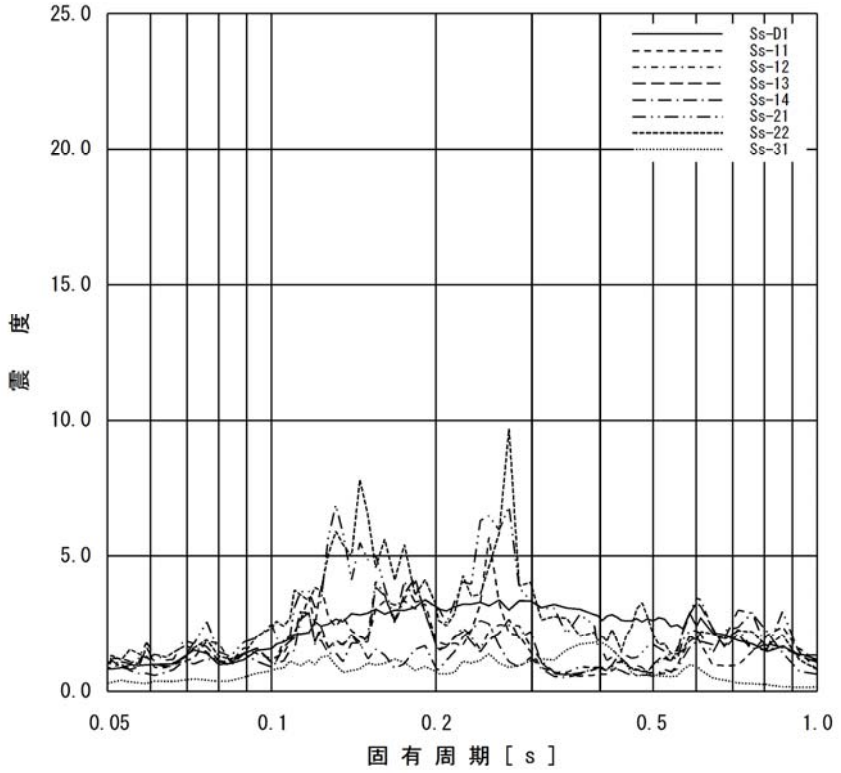
添付図 6(4)　原子炉本体の基礎（EL.19.856m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1.0%）



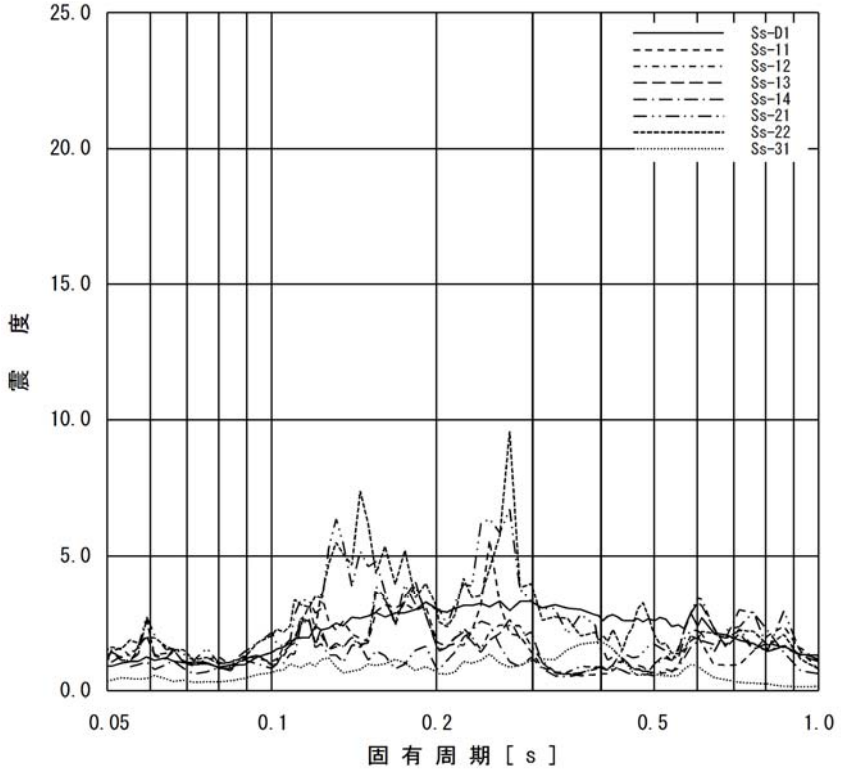
添付図 6(5)　原子炉本体の基礎（EL. 13. 198m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1. 0%）



添付図 6(6)　原子炉本体の基礎（EL. 8. 395m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1. 0%）



添付図 6(7)　原子炉本体の基礎（EL. 2. 189m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1. 0%）



添付図 6(8)　原子炉本体の基礎（EL. -2. 167m）の加速度応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 1. 0%）

添付表 1(1)　原子炉建屋の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）								
		Ｓｓ－Ｄ１			Ｓｓ－１１			Ｓｓ－１２		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉建屋	46.50	1.56	1.55	1.20	0.59	0.63	1.28	0.71	0.65	1.08
	38.80	1.41	1.41	1.16	0.47	0.57	1.19	0.60	0.60	1.07
	34.70	1.35	1.32	1.08	0.41	0.54	1.10	0.54	0.57	1.02
	29.00	1.22	1.25	0.99	0.45	0.48	0.98	0.51	0.59	0.93
	20.30	1.07	1.07	0.95	0.45	0.53	0.81	0.50	0.57	0.81
	14.00	0.96	0.98	0.93	0.50	0.54	0.75	0.51	0.53	0.78
	8.20	0.83	0.84	0.92	0.51	0.54	0.77	0.53	0.48	0.78
	2.00	0.80	0.80	0.89	0.48	0.51	0.77	0.51	0.42	0.77
	-4.00	0.77	0.77	0.84	0.47	0.48	0.77	0.53	0.39	0.74

添付表 1(2)　原子炉建屋の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）								
		Ｓｓ－１３			Ｓｓ－１４			Ｓｓ－２１		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉建屋	46.50	0.72	0.65	1.10	0.59	0.51	0.80	1.61	0.77	1.52
	38.80	0.60	0.60	1.07	0.48	0.47	0.75	1.37	0.63	1.44
	34.70	0.54	0.60	1.01	0.45	0.45	0.72	1.17	0.59	1.34
	29.00	0.50	0.60	0.92	0.44	0.45	0.71	1.05	0.53	1.17
	20.30	0.54	0.59	0.78	0.45	0.44	0.68	0.89	0.56	1.01
	14.00	0.57	0.54	0.75	0.45	0.41	0.65	0.89	0.56	0.93
	8.20	0.56	0.50	0.72	0.45	0.39	0.62	0.86	0.54	0.87
	2.00	0.57	0.44	0.69	0.44	0.36	0.60	0.78	0.53	0.81
	-4.00	0.59	0.42	0.71	0.41	0.35	0.60	0.72	0.51	0.77

添付表 1(3)　原子炉建屋の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）					
		Ｓｓ－２２			Ｓｓ－３１		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉建屋	46.50	1.58	1.29	1.38	1.74	1.71	0.57
	38.80	1.32	1.04	1.29	1.62	1.67	0.54
	34.70	1.28	0.95	1.19	1.62	1.64	0.51
	29.00	1.07	0.81	1.08	1.55	1.53	0.45
	20.30	0.89	0.75	1.01	1.26	1.34	0.38
	14.00	0.75	0.66	0.99	1.10	1.13	0.35
	8.20	0.66	0.62	0.96	1.02	1.10	0.33
	2.00	0.68	0.60	0.92	0.95	0.96	0.32
	-4.00	0.68	0.56	0.90	0.87	0.83	0.32

添付表 2(1)　原子炉格納容器の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）								
		Ｓｓ－Ｄ１			Ｓｓ－１１			Ｓｓ－１２		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉格納容器	39.431	1.44	1.43	0.99	0.52	0.57	1.14	0.60	0.62	1.19
	33.431	1.26	1.27	0.97	0.41	0.52	1.06	0.54	0.57	1.10
	27.432	1.14	1.11	0.94	0.41	0.48	0.97	0.48	0.55	1.00
	21.420	1.03	0.98	0.90	0.42	0.49	0.91	0.47	0.54	0.94
	16.319	0.91	0.91	0.88	0.41	0.51	0.91	0.49	0.52	0.90
	11.191	0.88	0.88	0.85	0.46	0.54	0.87	0.51	0.49	0.87
	5.141	0.86	0.86	0.81	0.48	0.58	0.83	0.53	0.45	0.82
	-0.013	0.83	0.83	0.78	0.52	0.61	0.79	0.58	0.46	0.77

添付表 2(2)　原子炉格納容器の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）								
		Ｓｓ－１３			Ｓｓ－１４			Ｓｓ－２１		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉格納容器	39.431	0.61	0.65	1.26	0.47	0.48	0.85	1.50	0.64	1.39
	33.431	0.53	0.60	1.17	0.45	0.44	0.78	1.20	0.57	1.33
	27.432	0.48	0.57	1.05	0.41	0.42	0.73	1.01	0.51	1.25
	21.420	0.52	0.55	0.93	0.42	0.40	0.67	0.84	0.52	1.17
	16.319	0.54	0.53	0.88	0.43	0.39	0.64	0.85	0.52	1.11
	11.191	0.55	0.51	0.85	0.44	0.38	0.64	0.84	0.52	1.05
	5.141	0.59	0.46	0.80	0.44	0.38	0.63	0.84	0.50	0.96
	-0.013	0.64	0.48	0.75	0.45	0.39	0.61	0.88	0.50	0.85

添付表 2(3)　原子炉格納容器の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）					
		Ｓｓ－２２			Ｓｓ－３１		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉格納容器	39.431	1.46	1.04	1.28	1.85	1.81	0.39
	33.431	1.26	0.89	1.18	1.61	1.62	0.38
	27.432	1.03	0.76	1.10	1.60	1.61	0.37
	21.420	0.90	0.72	1.06	1.41	1.43	0.36
	16.319	0.80	0.68	1.02	1.23	1.25	0.35
	11.191	0.72	0.62	0.97	1.07	1.11	0.35
	5.141	0.68	0.62	0.91	1.02	1.00	0.34
	-0.013	0.72	0.64	0.87	0.96	0.93	0.33

添付表 3(1)　原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）								
		Ｓｓ－Ｄ１			Ｓｓ－１１			Ｓｓ－１２		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉遮蔽	34.643	1.35	1.34	1.15	0.85	0.77	1.11	0.89	0.77	1.11
	28.308	1.31	1.25	1.14	0.84	0.81	1.08	0.80	0.80	1.07
	25.212	1.28	1.21	1.13	0.80	0.84	1.04	0.81	0.79	1.03
原子炉本体の基礎	19.856	1.19	1.12	1.10	0.77	0.81	0.95	0.78	0.73	0.96
	13.198	0.99	1.00	0.98	0.65	0.67	0.79	0.63	0.58	0.82
	8.935	0.91	0.92	0.89	0.58	0.61	0.75	0.57	0.49	0.73
	2.189	0.85	0.86	0.77	0.49	0.53	0.70	0.51	0.42	0.69
	-2.167	0.84	0.84	0.74	0.46	0.50	0.73	0.54	0.40	0.72

添付表 3(2)　原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）								
		Ｓｓ－１３			Ｓｓ－１４			Ｓｓ－２１		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉遮蔽	34.643	0.92	0.80	1.11	0.81	0.59	0.74	1.38	0.90	1.37
	28.308	0.79	0.83	1.07	0.88	0.60	0.73	1.55	0.95	1.34
	25.212	0.71	0.82	1.03	0.87	0.59	0.74	1.59	0.95	1.31
原子炉本体の基礎	19.856	0.67	0.76	0.93	0.82	0.56	0.74	1.54	0.92	1.24
	13.198	0.59	0.60	0.75	0.62	0.47	0.69	1.18	0.75	1.05
	8.935	0.56	0.50	0.72	0.50	0.41	0.63	0.98	0.64	0.93
	2.189	0.58	0.42	0.68	0.44	0.35	0.62	0.80	0.53	0.83
	-2.167	0.60	0.41	0.69	0.42	0.35	0.60	0.74	0.52	0.77

添付表 3(3)　原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の最大応答加速度（1.2ZPA）

構築物	EL. (m)	最大加速度（×9.8 m/s^2）					
		Ｓｓ－２２			Ｓｓ－３１		
		ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向	ＮＳ 方向	ＥＷ 方向	鉛直 方向
原子炉遮蔽	34.643	1.46	1.22	1.31	1.64	1.59	0.42
	28.308	1.28	1.22	1.29	1.51	1.45	0.42
	25.212	1.24	1.22	1.27	1.46	1.42	0.41
原子炉本体の基礎	19.856	1.20	1.15	1.22	1.35	1.34	0.39
	13.198	0.91	0.85	1.12	1.19	1.19	0.35
	8.935	0.80	0.71	1.02	1.11	1.10	0.33
	2.189	0.70	0.61	0.90	1.00	0.97	0.30
	-2.167	0.70	0.58	0.87	0.92	0.89	0.31

機器・配管系の耐震評価に用いる床応答スペクトルについて

1. はじめに

設計用床応答曲線（注1）は，建物・構築物及び屋外重要土木構造物の詳細設計が完了した解析モデルを適用した地震応答解析結果を用いて作成する。東海第二発電所においては，設計用床応答曲線が作成される前に設備評価用床応答曲線を設定し，機器・配管系の設備設計及び工事計画の耐震計算を実施している。

本資料では，建物・構築物及び屋外重要土木構造物における設計用床応答曲線及び設備評価用床応答曲線の作成方法について述べる。なお，本資料における建物・構築物及び屋外重要土木構造物の分類を表 1 に示す。

（注 1）本資料では，床面の最大加速度（ZPA）を含めた総称として説明する。

表 1 設計用床応答曲線の作成方法における建物・構築物及び屋外重要土木構造物の分類

	適用施設名称
建物・構築物	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策所建屋 主排気筒 非常用ガス処理系配管支持架構 格納容器圧力逃がし装置格納槽
屋外重要土木構造物	取水構造物 屋外二重管 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 常設代替高圧電源装置置場 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部） 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部） 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部） 可搬型設備用軽油タンク基礎 常設低圧代替注水系ポンプ室 代替淡水貯槽 常設低圧代替注水系配管カルバート ＳＡ用海水ピット 緊急用海水ポンプピット 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）＊1 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）＊1 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア)）＊1 ＊1　津波防護施設になるが設計用床応答曲線の作成方法については，屋外重要土木構造物と同様の扱いとする。

2.　床応答スペクトルの作成方法について

機器・配管系評価における耐震評価条件とする，設計用床応答曲線及び設備評価用床応答曲線の作成方法について整理した。また，下記説明の全体を整理した床応答スペクトルの作成方法を別表 1 に示す。

2.1 建物・構築物

(1) 設計用床応答曲線

建物・構築物の地震応答解析モデルの諸元設定の考え方については，建物・構築物の地震応答解析についての補足説明資料 補足-400-3【地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討】（以下「建物・構築物の補足説明資料」という。）にて整理されている（表 2 参照)。設計用床応答曲線の作成は，「建物・構築物の補足説明資料」に示す工認基本モデルにおける解析ケースを適用し，コンクリート強度は設計基準強度，補助壁は非考慮，地盤の物性を標準地盤とした地震応答解析結果を適用する。

(2) 設備評価用床応答曲線

機器・配管系の評価については，設備設計に要する期間と建物・構築物の設計進捗状況を考慮して，以下のどちらか一方を設備評価用床応答曲線として適用する。なお，基本的に b. を適用することとするが，b. での耐震計算にて余裕の確保が難しい場合は，a. を適用する。

a. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線

(1) 項で設定した設計用床応答曲線及び「建物・構築物の補足説明資料」に基づく，地盤物性の変動による影響及び建屋剛性の変動による影響（以下「ばらつきケース」という。）を考慮した床応答曲線を包絡した床応答曲線を設定する。

本設定に基づく，設備評価用床応答曲線のイメージを図 2 に示す。

b. (1) 項で設定した設計用床応答曲線及びばらつきケースを考慮した床応答曲線を保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線として，建物・構築物の設計進捗に応じて以下のとおり適用する。

b-1　基本ケースの加速度に一律 1.5 倍した床応答曲線

既設建物・構築物は，地震応答解析モデルが従前より定まっていることから，機器・配管系の設備評価を行う際には，設計上の配慮として設計用床応答曲線の加速度を 1.5 倍した床応答曲線を設定する。本設定に基づく，設備評価用床応答曲線のイメージを図 3 に示す。

b-2　設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線

新設建物・構築物に設置する機器・配管系の設備評価を行う際には，建物・構築物の設計進捗状況を考慮して，個別に余裕を確保した床応答曲線を設定する。本設定に基づく，設備評価用床応答曲線のイメージを図 4 に示す。

(3) 拡幅考慮

設計用床応答曲線及び設備評価用床応答曲線ともに周期軸方向に 10%の拡幅を行う。ただし，ばらつきケースの地震応答解析結果を用いて作成した床応答スペクトルについては，拡幅は考慮しない。

表 2　建物・構築物の床応答スペクトルの作成ケース
「建物・構築物の補足説明資料　表 4-1 検討ケース」

	モデル名称	建屋剛性		地盤物性
		コンクリート強度	補助壁	地盤のせん断波速度
基本ケース	工認基本モデル	設計基準強度	非考慮	標準地盤*
地盤物性の変動による影響	地盤物性＋σ考慮モデル	設計基準強度	非考慮	標準地盤＋σ相当
	地盤物性－σ考慮モデル			標準地盤－σ相当
建屋剛性の変動による影響	建屋剛性考慮モデル	実強度	考慮	標準地盤*

＊　支持地盤については地質調査結果の回帰分析から標高に依存した値，表層地盤については地質調査結果の平均値から設定した値。

2.2 屋外重要土木構造物

(1) 床応答スペクトル

屋外重要土木構造物の地震応答解析に用いる解析モデルの適用方針については，工事計画に係る補足説明資料　耐震性に関する説明書のうち補足-340-8【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価】及び工事計画に係る説明資料　補足-60-1（Ⅴ-1-1-2-2 津波への配慮に関する説明書）（以下「屋外重要土木構造物の補足説明資料」という。）にて整理されている（図 1 参照)。設計用床応答曲線の元となる床応答スペクトルは，「屋外重要土木構造物の補足説明資料」に基づき以下の解析ケースにより算定する。

・原地盤において非液状化の条件を仮定した検討ケース⑤（以下「検討ケース⑤（基本ケース)」という。）
・敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した検討ケース④（以下「検討ケース④」という。）
・地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した検討ケース⑥（以下「検討ケース⑥」という。）

(2) 設計用床応答曲線

(1) 項で作成した床応答スペクトルに対して，震度軸方向に対して余裕を確保したものを設計用床応答曲線とする。

なお，屋外重要土木構造物の設計進捗により地震応答解析モデルが変更となった場合は，地震応答解析モデル変更後の床応答スペクトルが，当初設定した設計用床応答曲線に対して包絡されていることを確認する。

(3) 設備評価用床応答曲線

機器・配管系の評価については，設備設計に要する期間と屋外重要土木構造物の設計進捗状況を考慮して，以下の何れかを設備評価用床応答曲線として適用する。

c.　床応答スペクトルの震度に余裕を確保した床応答曲線

(2) 項で設定した設計用床応答曲線を設備評価用床応答曲線とする。本設定に基づく設備評価用床応答曲線のイメージを図 5 に示す。

d.　設計用床応答曲線を保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線

(2) 項で設定した設計用床応答曲線を保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線を設備評価用床応答曲線とする。本設定に基づく設備評価用床応答曲線のイメージを図 6 に示す。

(4) 拡幅考慮

設計用床応答曲線及び設備評価用床応答曲線ともに周期軸方向に 10%の拡幅を行う。ただし，ばらつきケースとして設定した「検討ケース④」及び「検討ケース⑥」については，拡幅を考慮しない。

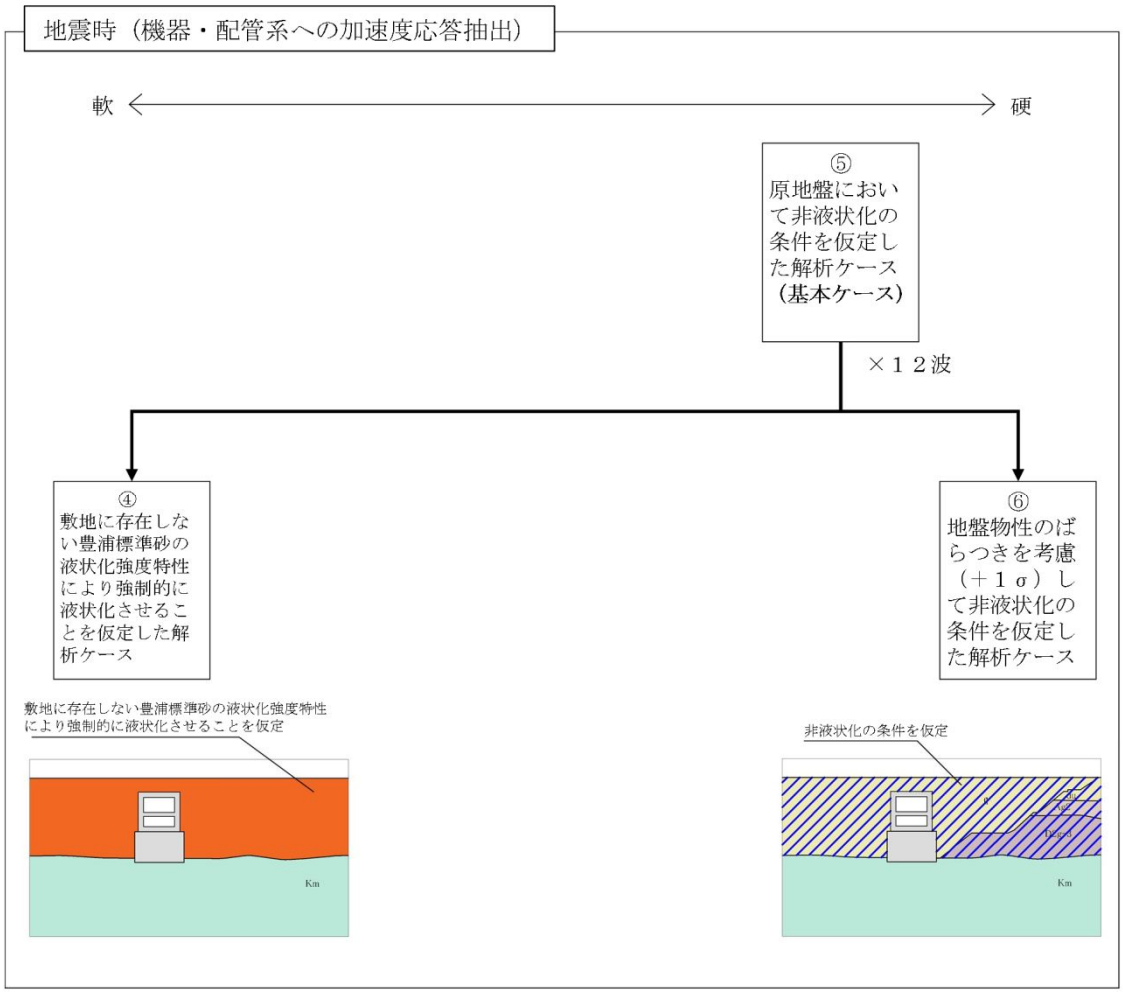


図１　屋外重要土木構造物の床応答スペクトル作成ケース

（補足説明資料 図 1.5-4「機器・配管系に対する加速度応答算定のための検討ケース」）

2.3　地盤

(1) 設計用床応答曲線

地盤の地震応答解析モデルの諸元設定の考え方については，工事計画に係る補足説明資料　耐震性に関する説明書のうち補足-340-3【可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書に関する補足説明資料】（以下「地盤の補足説明資料」という。）にて整理されている。設計用床応答曲線の作成は，「地盤の補足説明資料」に基づく，標準ケースを適用し，地盤物性は標準地盤を用いた地震応答解析結果を適用する。

(2) 設備評価用床応答曲線（e.ケース）

(1) 項の標準ケースに加えて「地盤の補足説明資料」に基づく，地盤物性の変動による影響による影響（以下「ばらつきケース」という。）を考慮した床応答曲線を包絡した床応答曲線を，設備評価用床応答曲線として適用する。本設定に基づく，設備評価用床応答曲線のイメージを図7に示す。

(3) 拡幅考慮

設計用床応答曲線及び設備評価用床応答曲線については，地面上に直接，設備を配置することから「標準ケース」についても，拡幅を考慮しない。

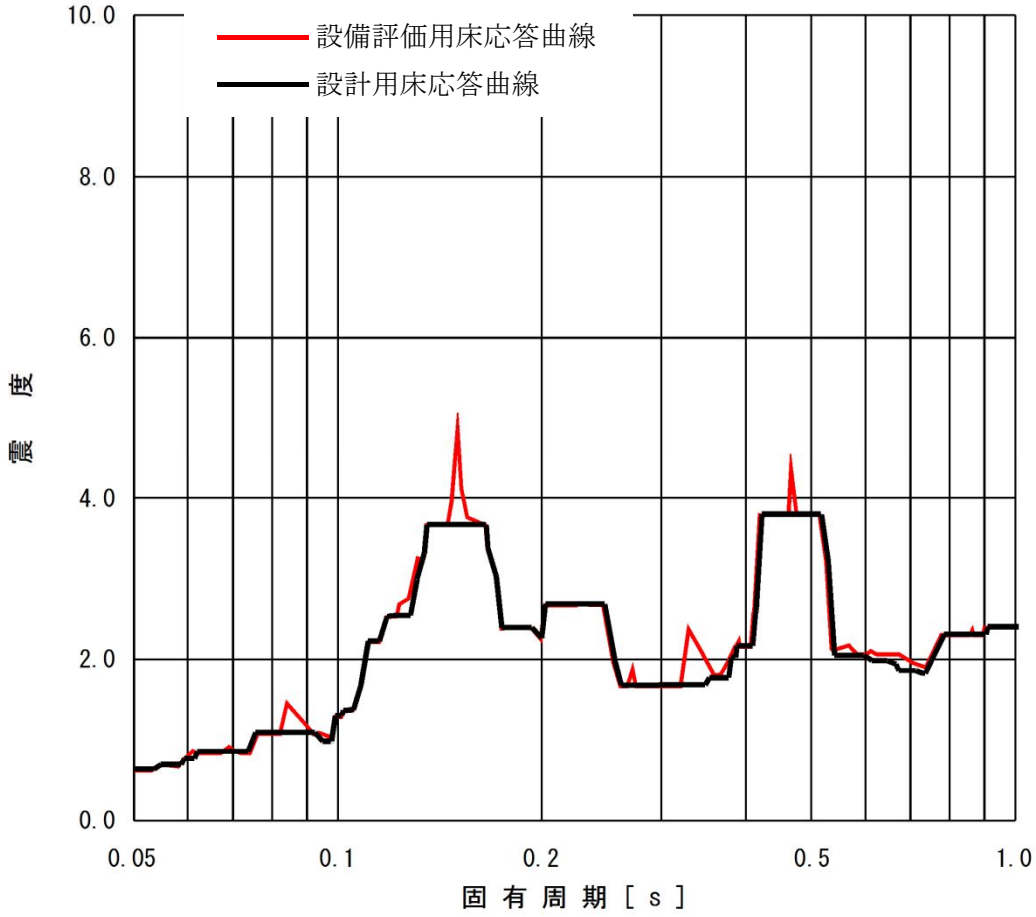


図２　設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した
設備評価用床応答曲線（a.ケースの例）

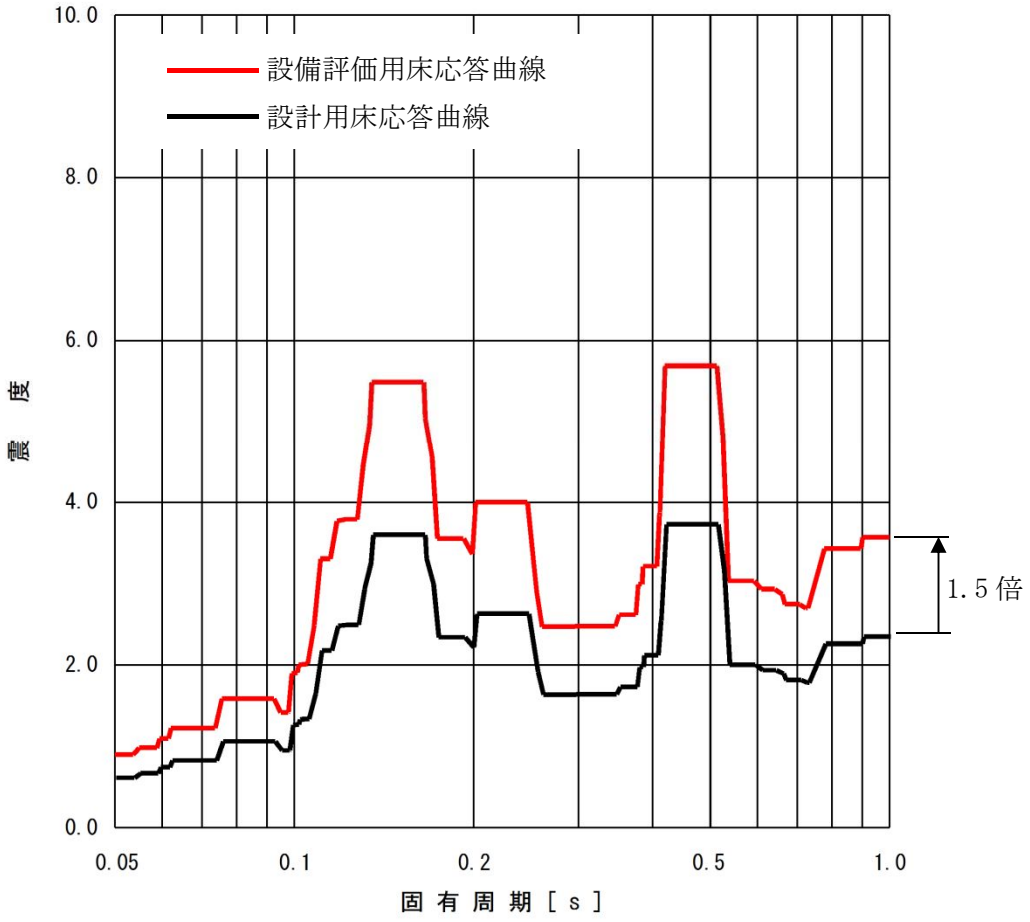


図３　設計用床応答曲線に一律 1.5 倍した設備評価用床応答曲線（b-1 ケースの例）

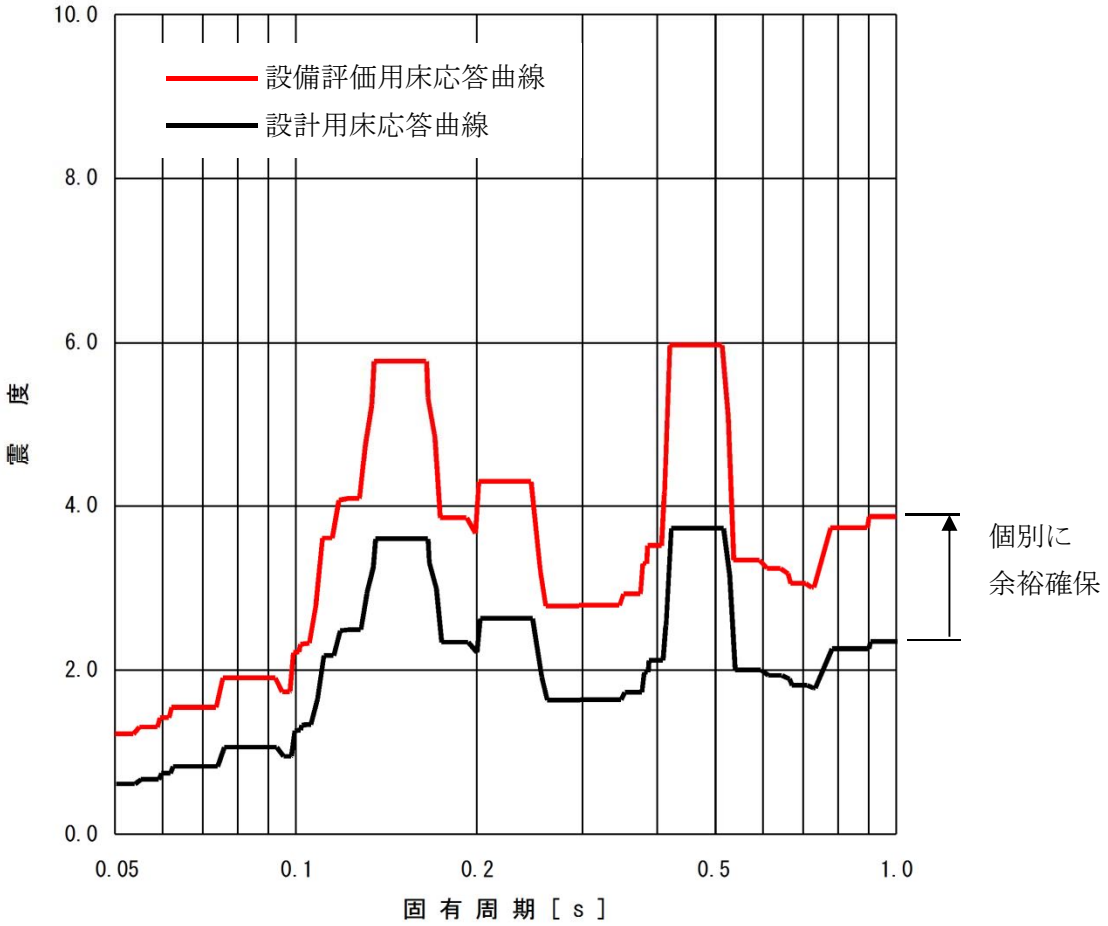


図 4　設計用床応答曲線に個別に余裕を確保した設備評価用床応答曲線（b-2 ケースの例）

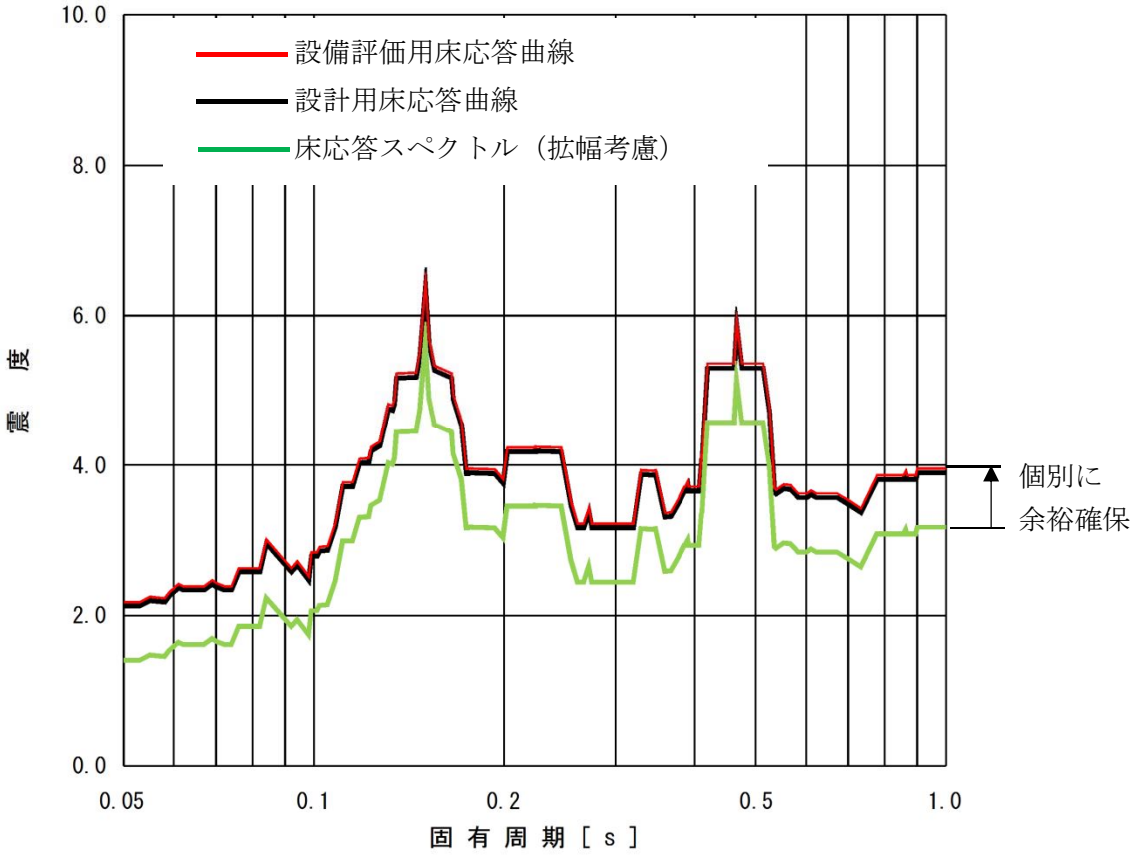


図５　床応答スペクトルの震度に余裕を確保した設備評価用床応答曲線（c.ケースの例）

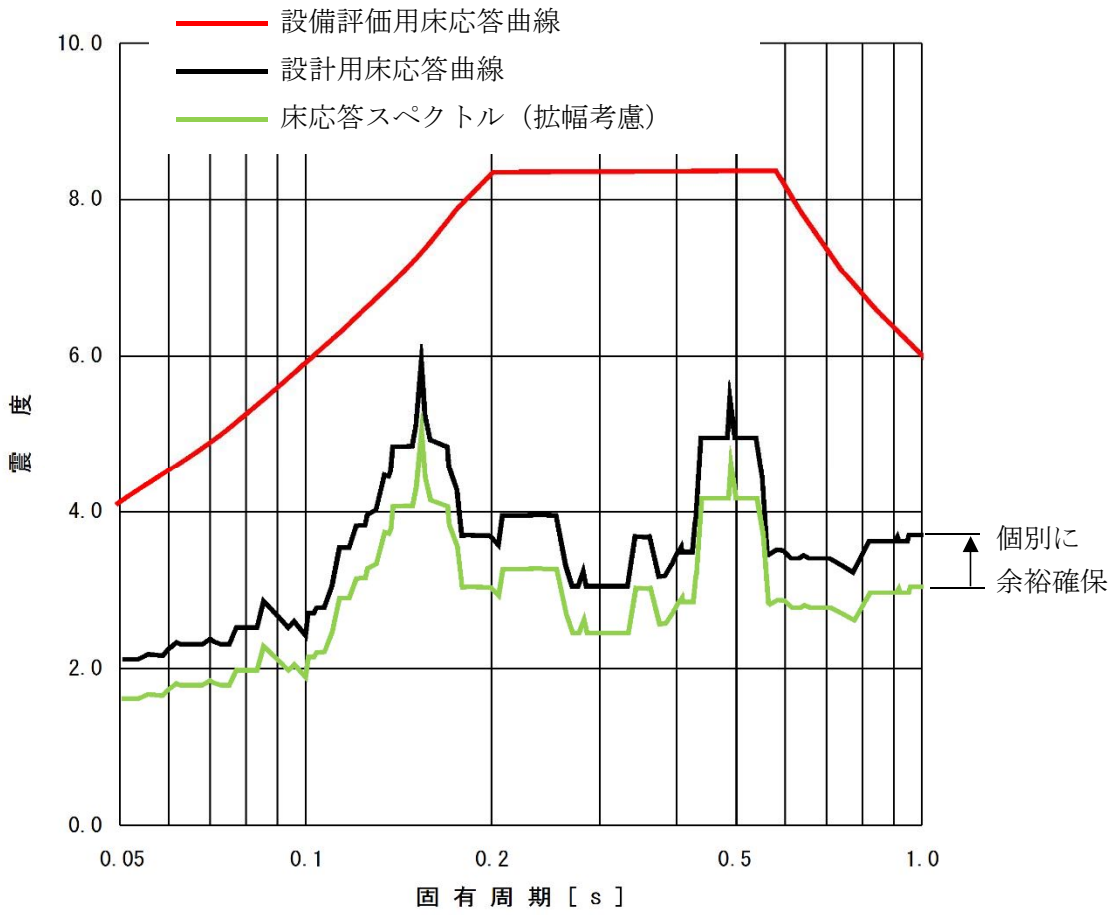


図６　設計用床応答曲線を保守側に包絡できるように余裕を確保した
設備評価用床応答曲線（d.ケースの例）

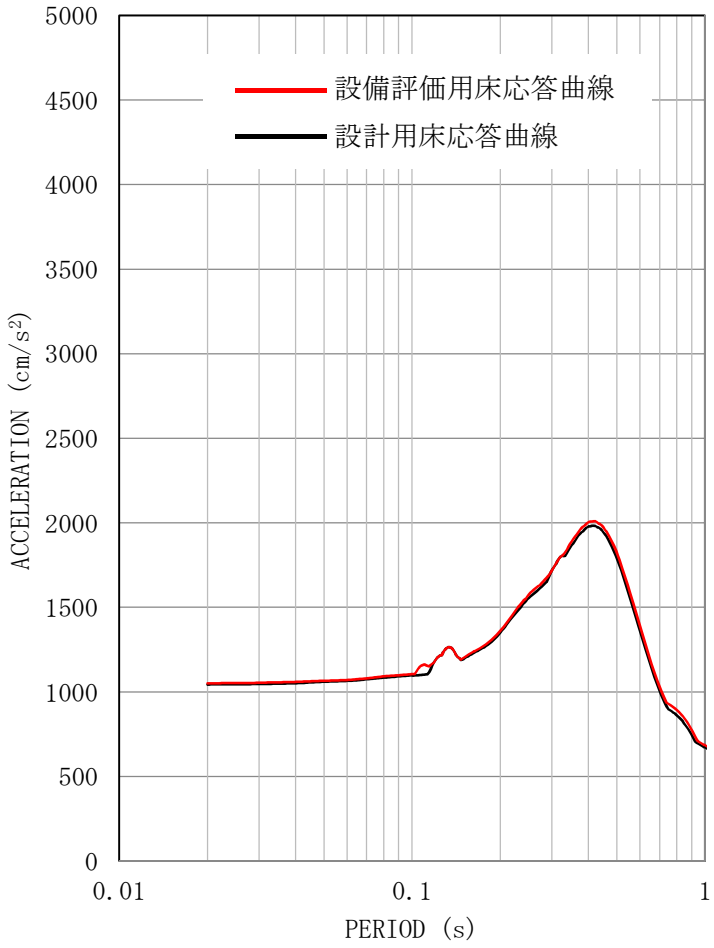


図７　設計用床応答曲線（拡幅なし）及びばらつきケース（拡幅なし）の床応答曲線を包絡した床応答曲線（e.ケースの例）

3. 設備評価用床応答曲線が設計用床応答曲線を上回っていることの確認

設備評価用床応答曲線は，耐震計算の評価条件として設計用床応答曲線を加速度値として上回っている必要がある。

以下では機器・配管系の耐震計算のために設計用床応答曲線が作成される前に設定した設備評価用床応答曲線の加速値が設計用床応答曲線の加速度を上回っていることを確認する。

3.1　本確認が必要な設備評価用床応答曲線

2.項において，各施設に応じた設備評価用床応答曲線の作成方法について整理している。設備評価用床応答曲線の作成方法により，本確認の要否が分類できるため，確認が必要な設備評価用床応答曲線を表 3-1-1 に整理した。

さらに，表 3-1-1 の整理を踏まえて建物・構築物，屋外重要土木構造物及び地盤に対して設備評価用床応答曲線の適用により，包絡性の確認が必要な施設を表 3-1-2 にて抽出した。抽出した施設に対して，3.2 項にて各施設の設備評価用床応答曲線の包絡性を示す。

表 3-1-1　包絡性の確認が必要な設備評価用床応答曲線の整理

	設備評価用床応答曲線 の種類	検討 要否	検討要否の 理由
建物・構築物	a. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線	不要	設計用床応答曲線を含めて設定しているため
	b-1 基本ケースの加速度に一律 1.5 倍した床応答曲線	不要	設計用床応答曲線に対して一律に 1.5 倍しているため
	b-2 設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線	**必要**	設計用床応答曲線の作成前に，加速度値に余裕が確保できることを想定して設定したため
屋外重要 土木構造物	c. 床応答スペクトルの震度に余裕を確保した床応答曲線	不要	設計用床応答曲線を適用するため
	d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線	**必要**	b-2 と同じ
地盤	e. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線	不要	a と同じ

表 3-1-2　包絡性の確認が必要な施設の抽出

既設／新設	施設区分	設備を設置する施設名称（下線：包絡性確認が必要な施設）	適用した設備評価用床応答曲線のケース	包絡性確認の要否
既設	建物・構築物	原子炉建屋（原子炉格納容器等を含む）	「a.」及び「b-1」	不要
		使用済燃料乾式貯蔵建屋	「a.」	不要
		主排気筒	「a.」及び「b-1」	不要
		非常用ガス処理系配管支持架構	「a.」及び「b-1」	不要
	屋外重要土木構造物	取水構造物	「c.」 「d.」	不要 必要
		屋外二重管	「c.」 「d.」	不要 必要
新設	建物・構築物	緊急時対策所建屋	「a.」 「b-2」	不要 必要
		格納容器圧力逃がし装置格納槽	「b-2」	必要
	屋外重要土木構造物	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎	「d.」	必要
		格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート	「d.」	必要
		常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備	「d.」	必要
		常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）	「d.」	必要
		常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）	「d.」	必要
		常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）	「d.」	必要
		可搬型設備用軽油タンク基礎	「d.」	必要
		常設低圧代替注水系ポンプ室	「d.」	必要
		代替淡水貯槽	「d.」	必要
		常設低圧代替注水系配管カルバート	「d.」	必要
		SA 用海水ピット	「d.」	必要
		緊急用海水ポンプピット	「d.」	必要
		防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	「c.」	不要
		防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	「c.」	不要
		防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））	「c.」	不要
	地盤	可搬型重事故等対処設備保管場所（西側，南側）	「e.」	不要

3.2　包絡性の確認結果

表 3-1-2 にて設備評価用床応答曲線の包絡性確認が必要とした施設において，設備評価用床応答曲線が設計用床応答曲線を包絡していることの確認結果を以下に説明する。

(1) 取水構造物

設備評価用床応答曲線として「d.　設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(1)及び図 3－2(1)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(1)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
取水構造物 (NS 方向 その 2)	Ｓｄ	0.300	0.71	0.81	0.56	1.23
	Ｓｓ	0.300	1.10	1.38	1.03	2.71

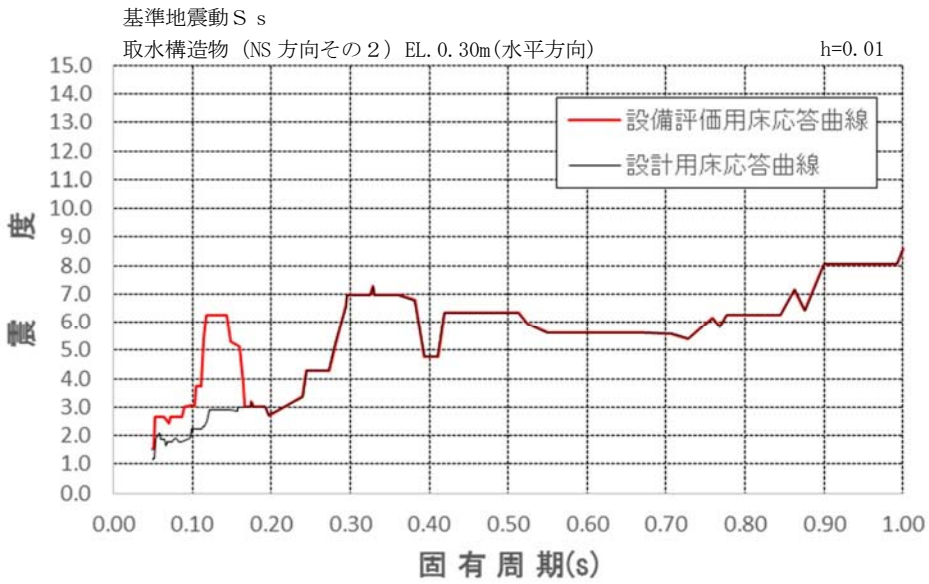


図３－２(1)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／3）

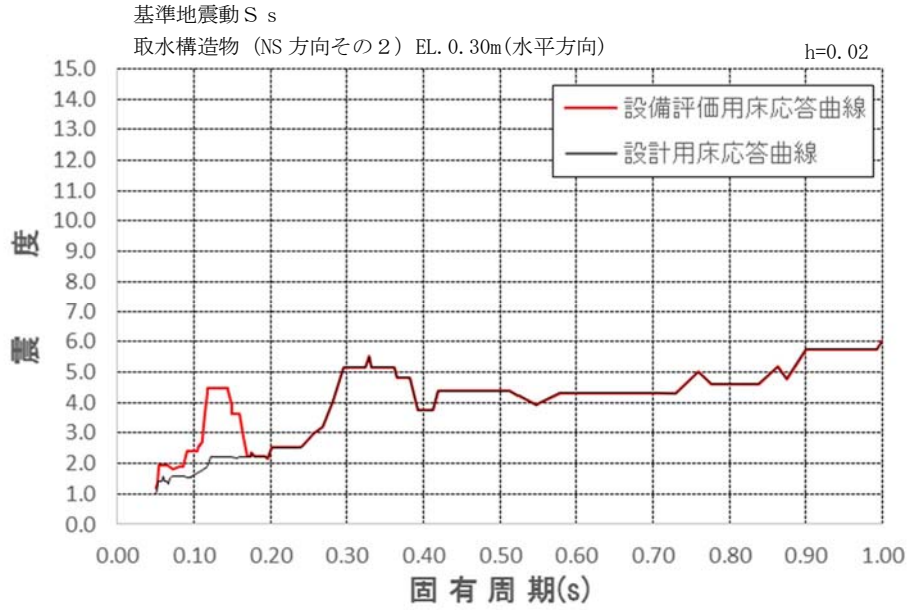


図 3－2(1)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／3）

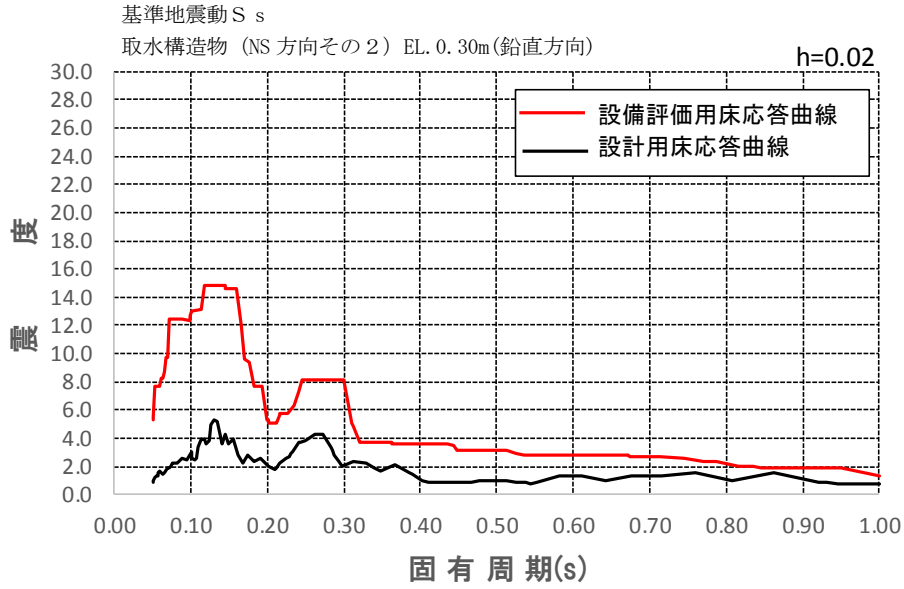


図 3－2(1)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（3／3）

(2) 屋外二重管

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

図 3-2(2)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

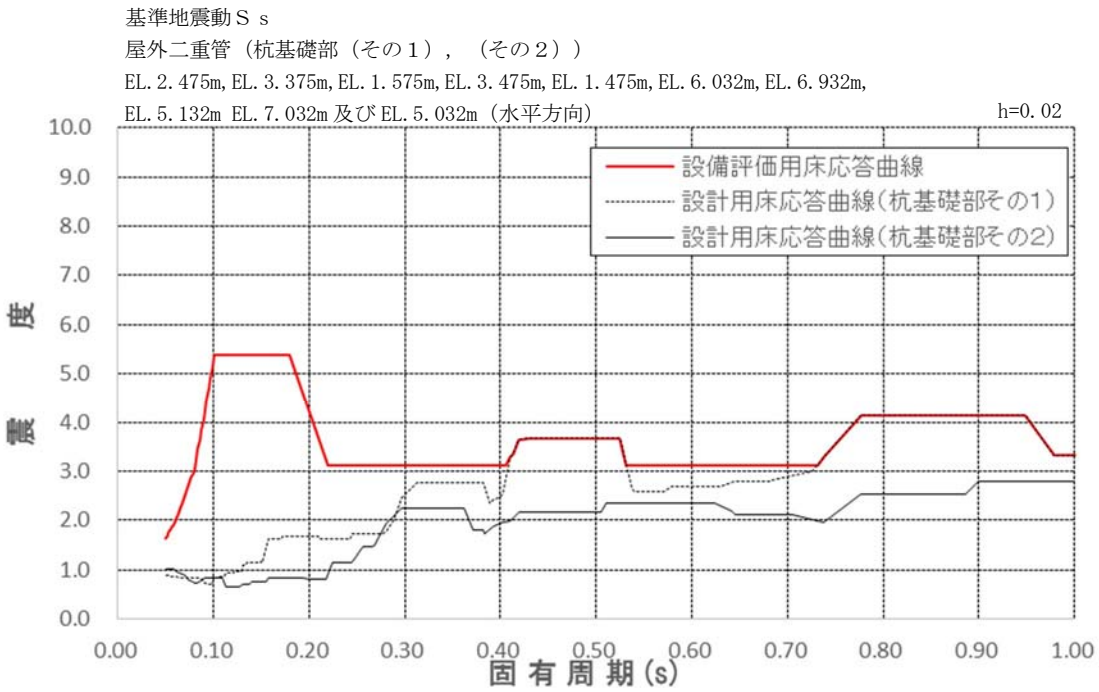


図３－２(2)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／4）

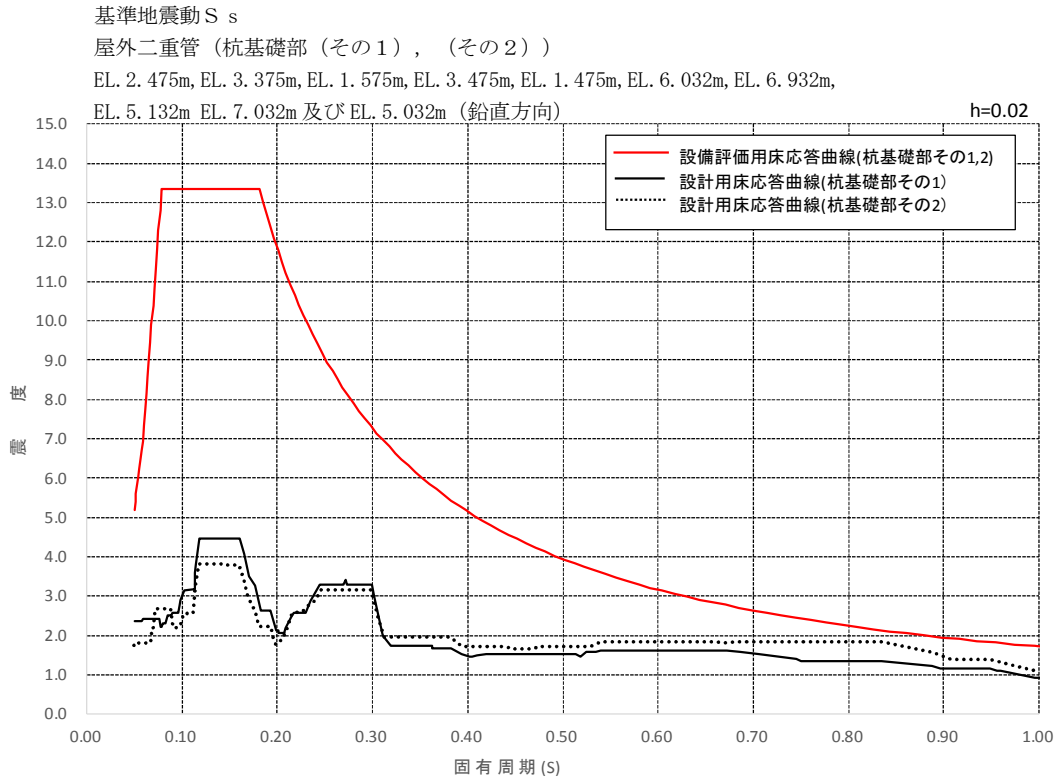


図３－２(2)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／4）

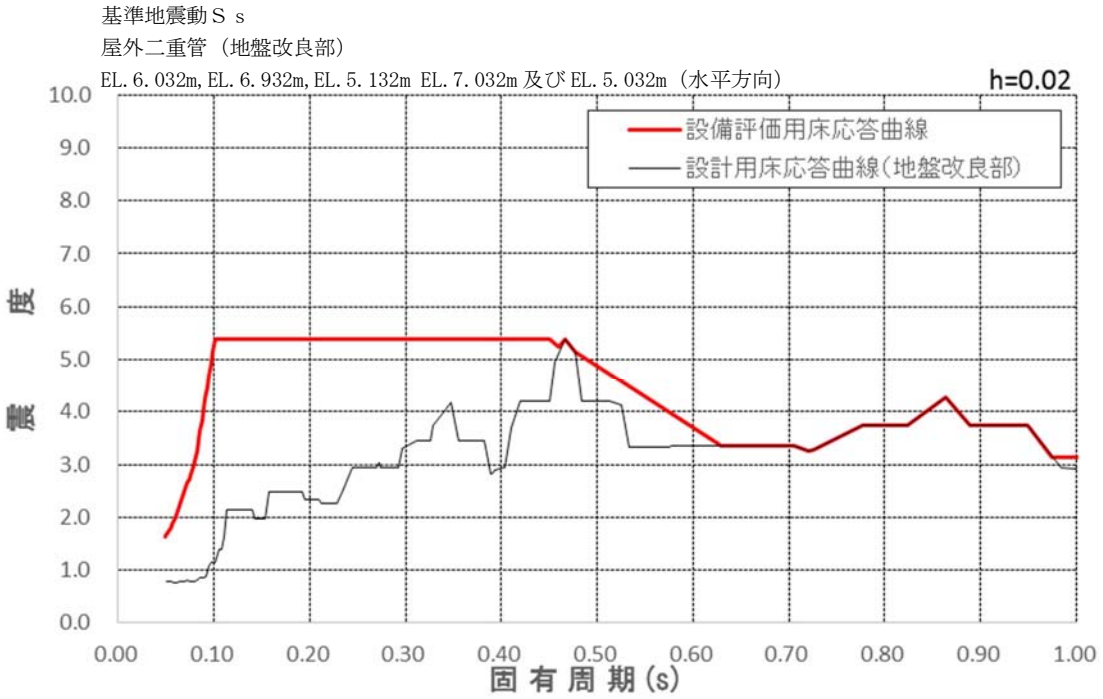


図３－２(2)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（3／4）

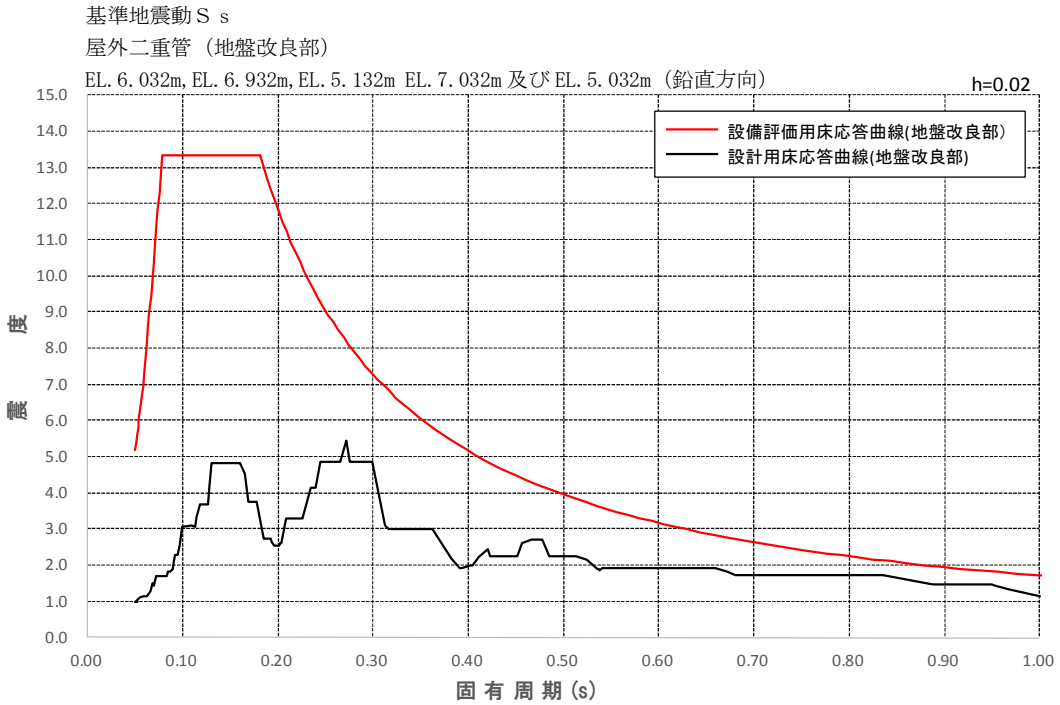


図３－２(2)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（4／4）

(3) 緊急時対策所建屋

設備評価用床応答曲線として「b-2 設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

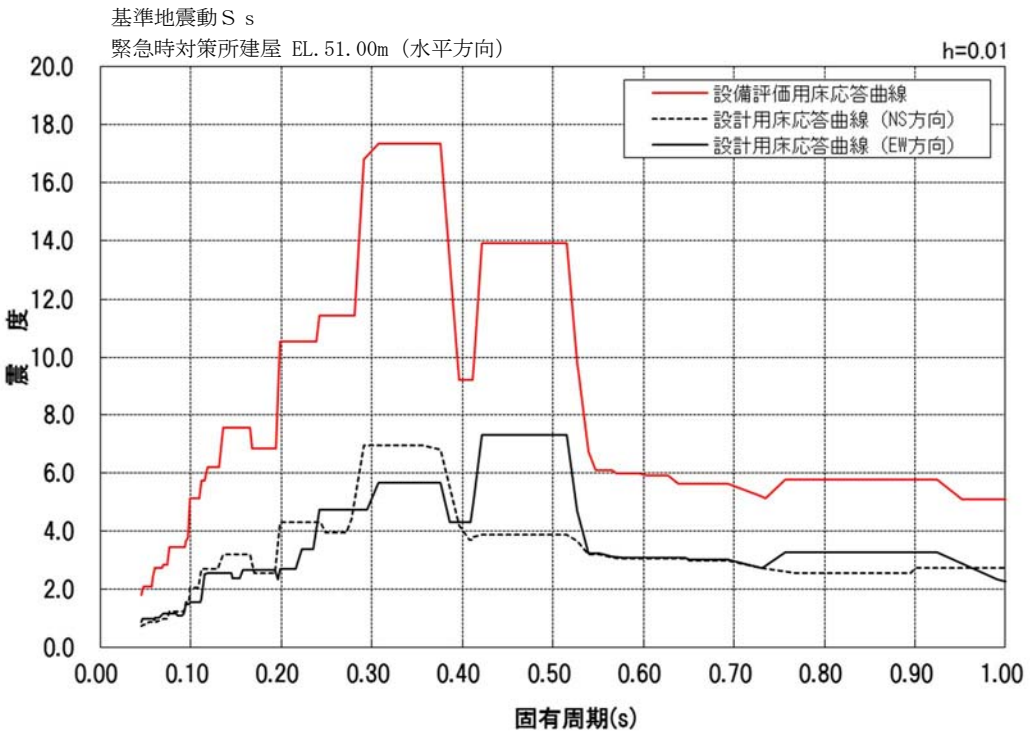
表 3－2(3)及び図 3－2(3)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(3) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
緊急時対策所建屋	Ｓｓ	51.00	0.89	1.93	0.73	1.45
		43.50	0.85	1.71	0.70	1.42
		37.00	0.83	1.62	0.68	1.41
		30.30	0.80	1.54	0.66	1.36
		23.30	0.77	1.43	0.61	1.27



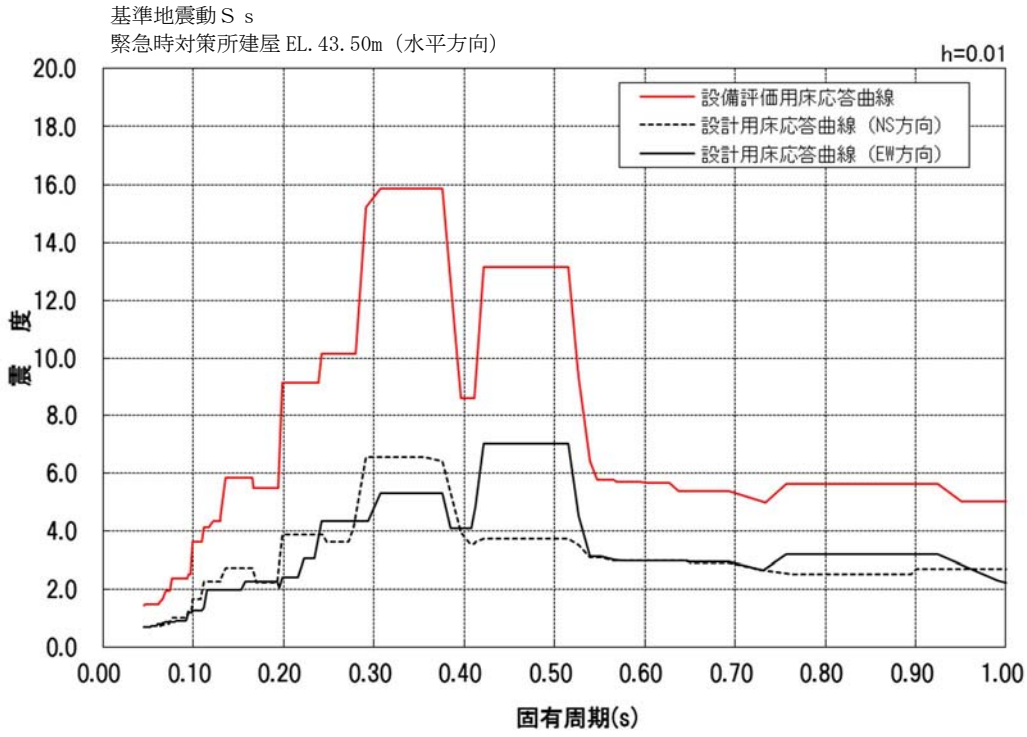
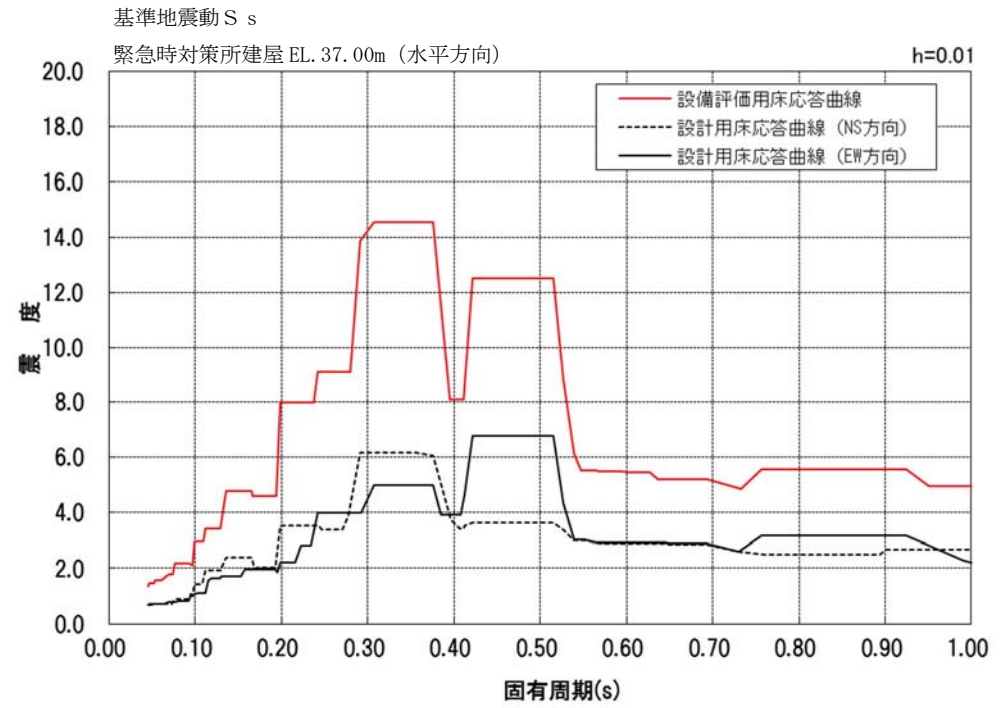


図３－２(3)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／6）



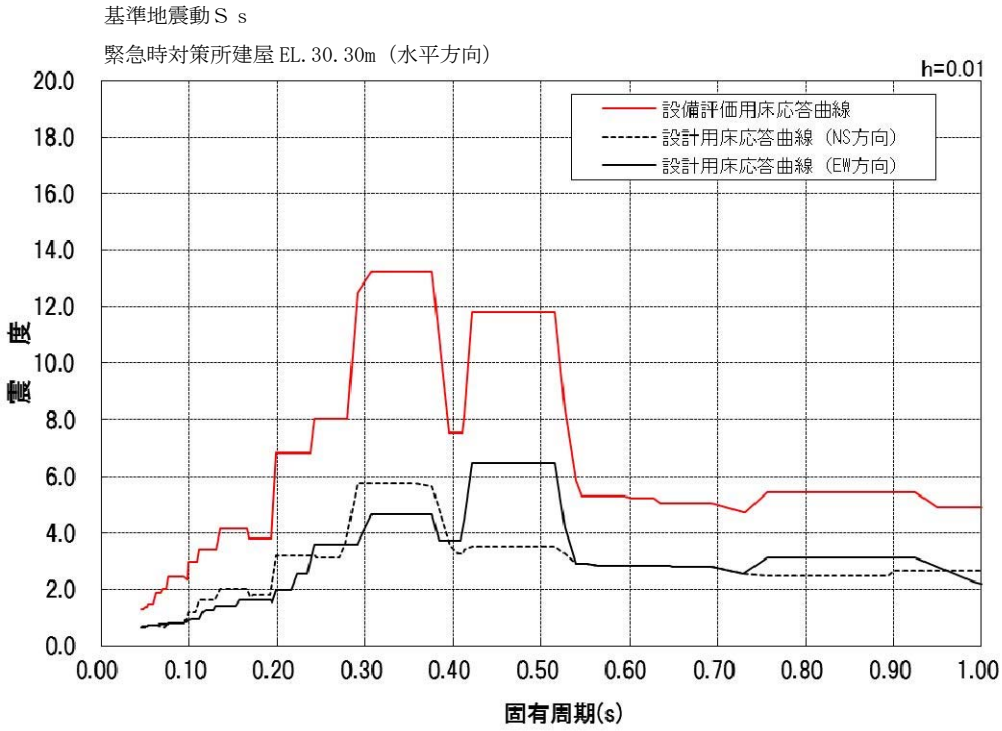


図３－２(3)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／6）

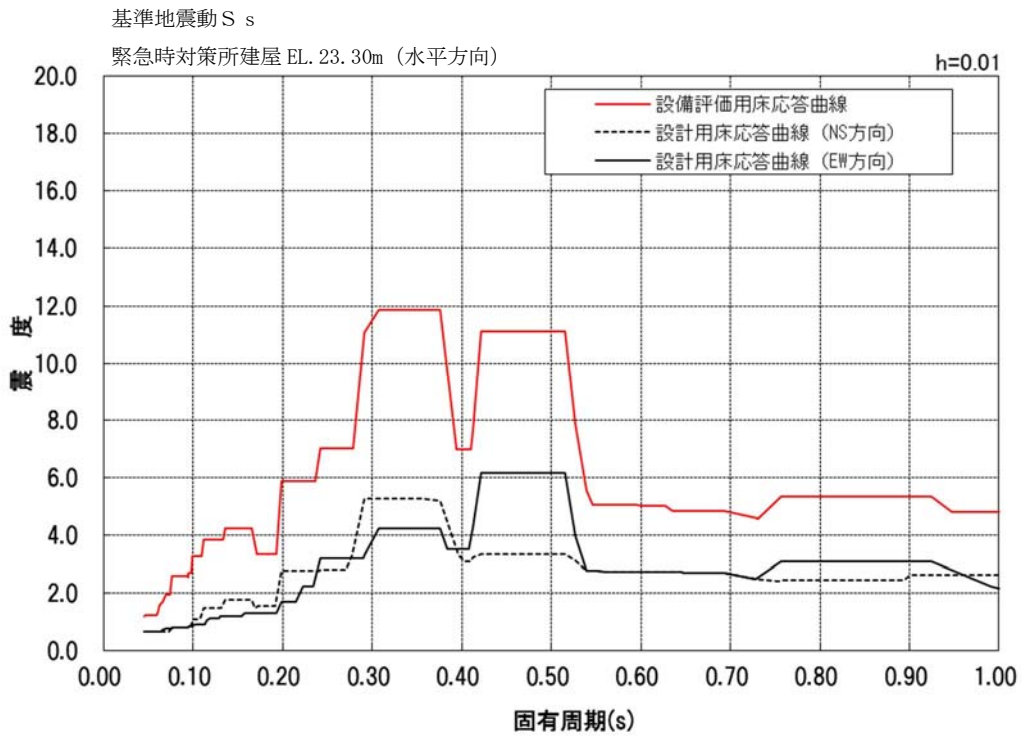
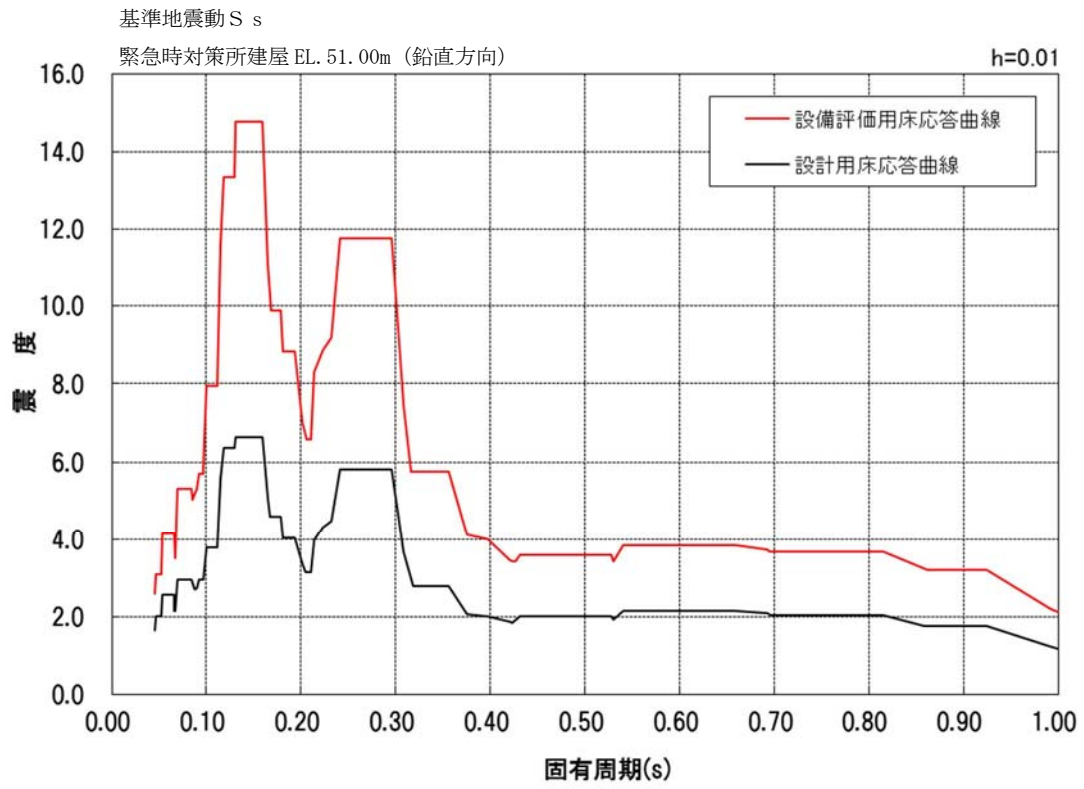


図３－２(3)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（3／6）



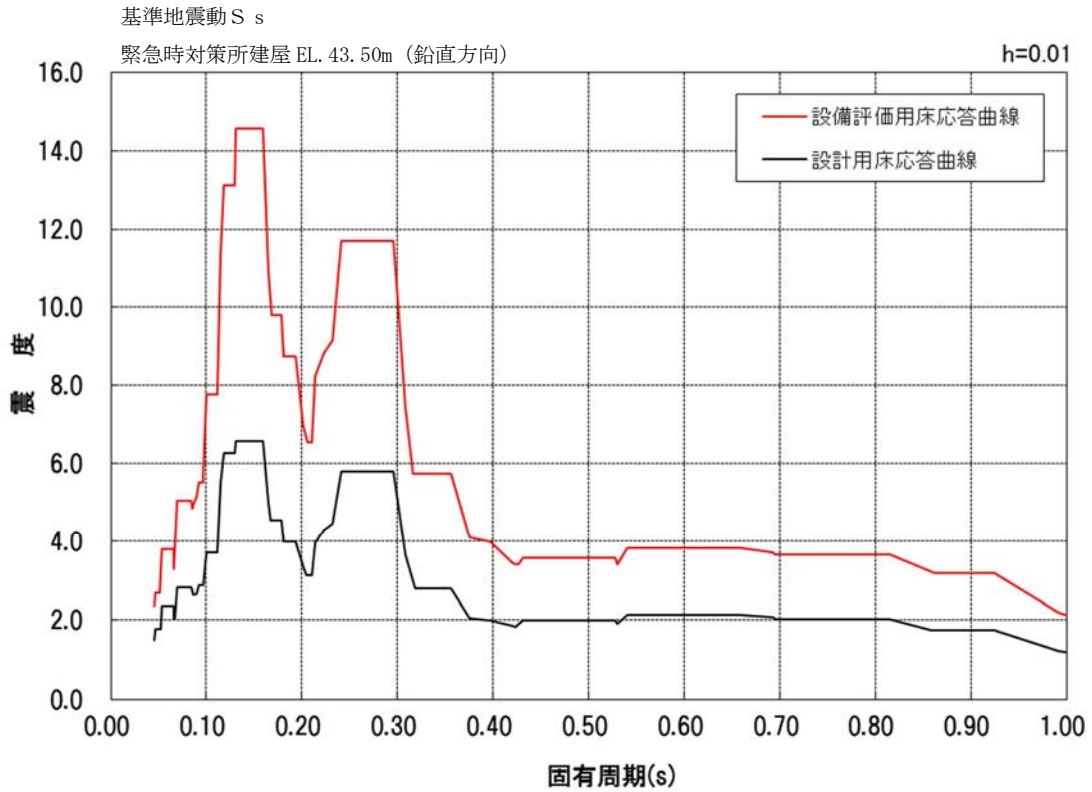


図 3－2(3)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（4／6）

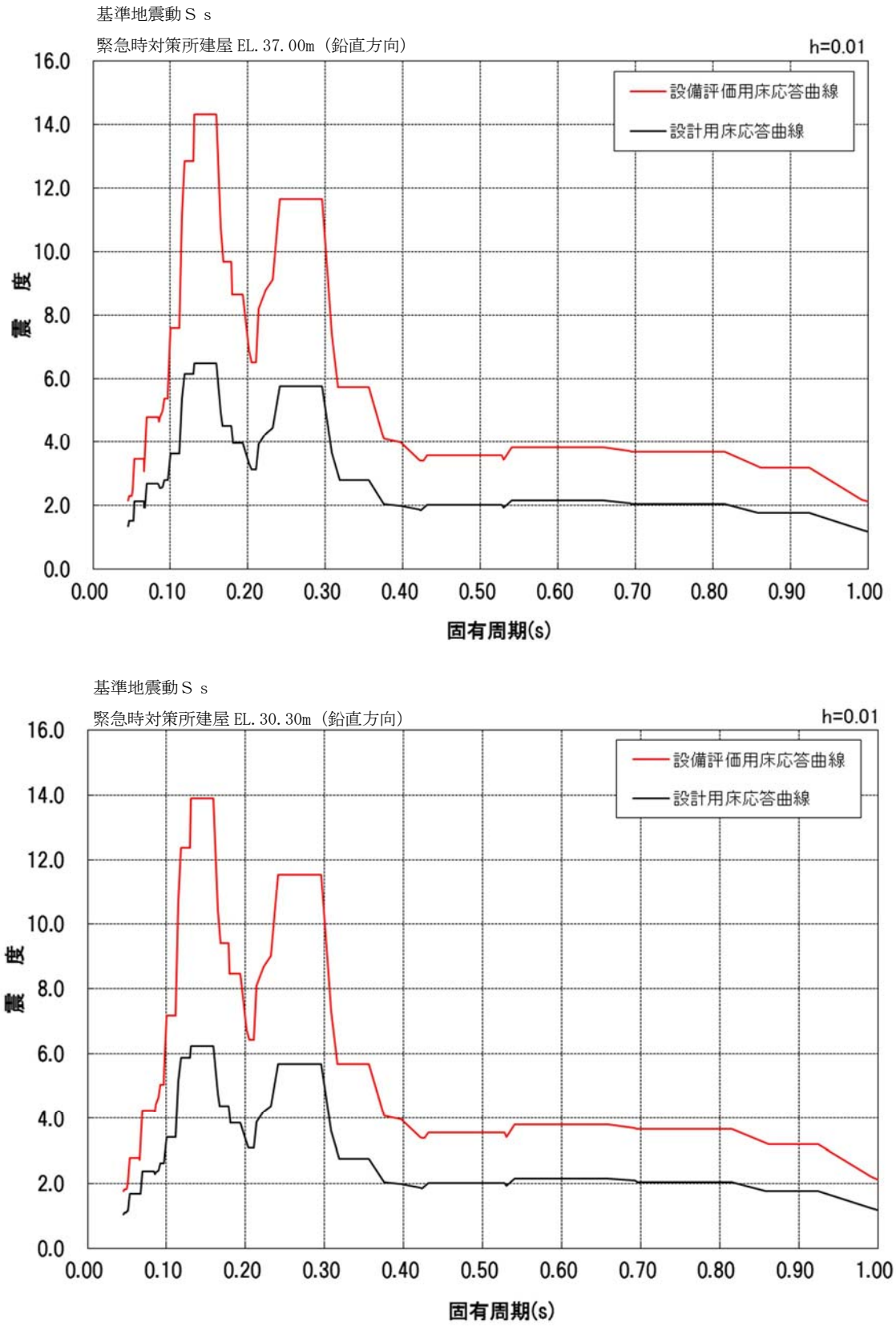


図 3－2(3)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（5／6）

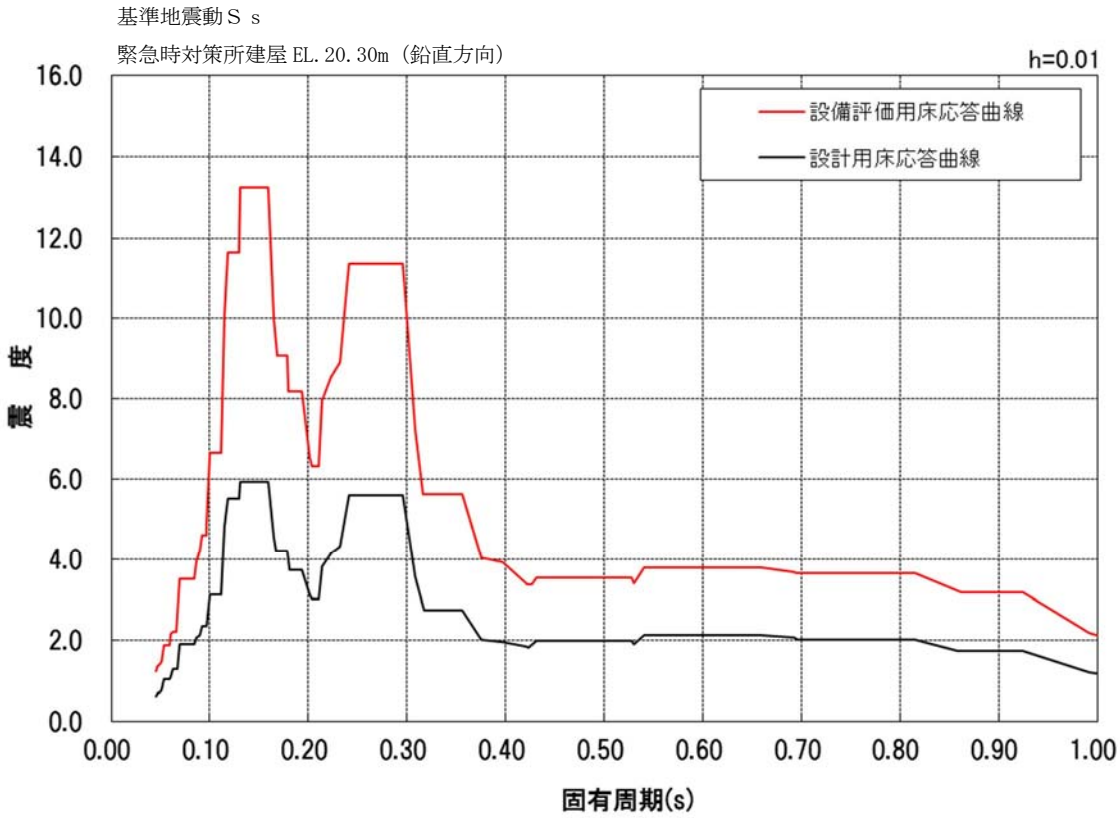


図 3－2(3)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（6／6）

(4) 格納容器圧力逃がし装置格納槽

設備評価用床応答曲線として「b-2 設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(4)及び図 3－2(4)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(4)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
格納容器圧力逃がし装置格納槽	Ｓｓ	-12.800	0.47	2.15	0.55	1.07

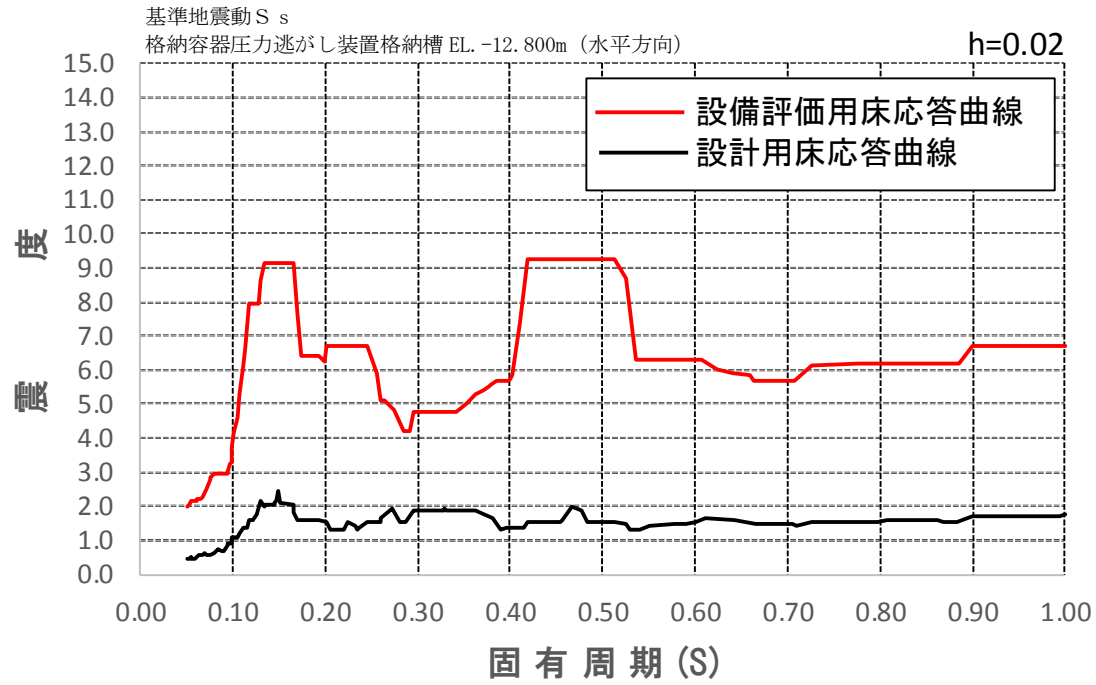


図 3－2(4)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／4）

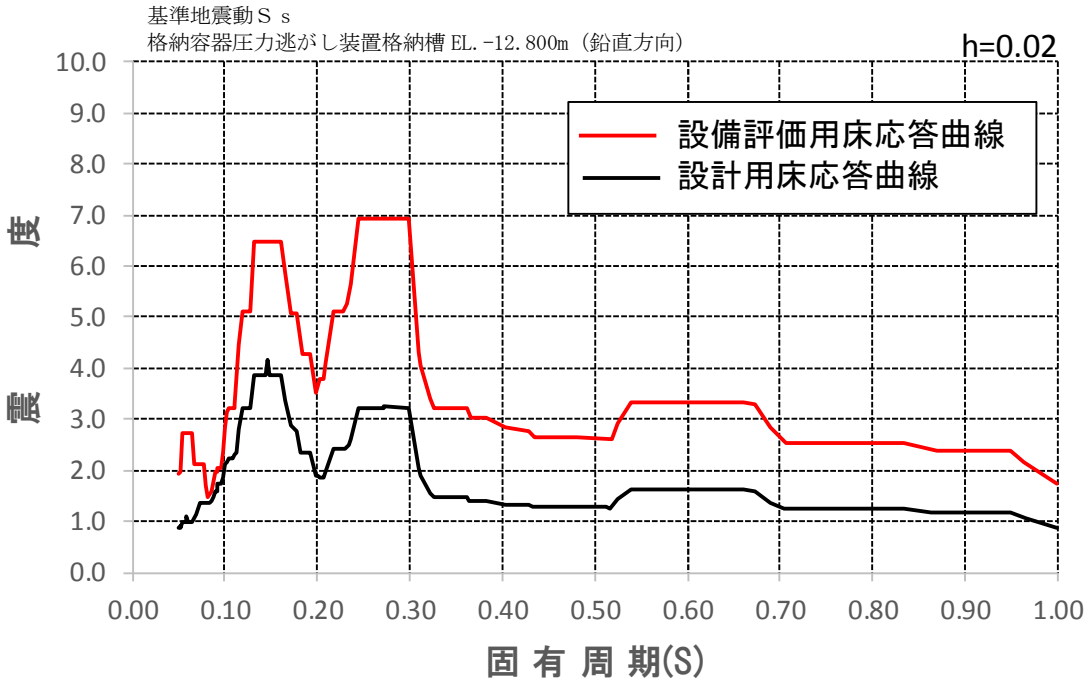


図 3－2(4)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／4）

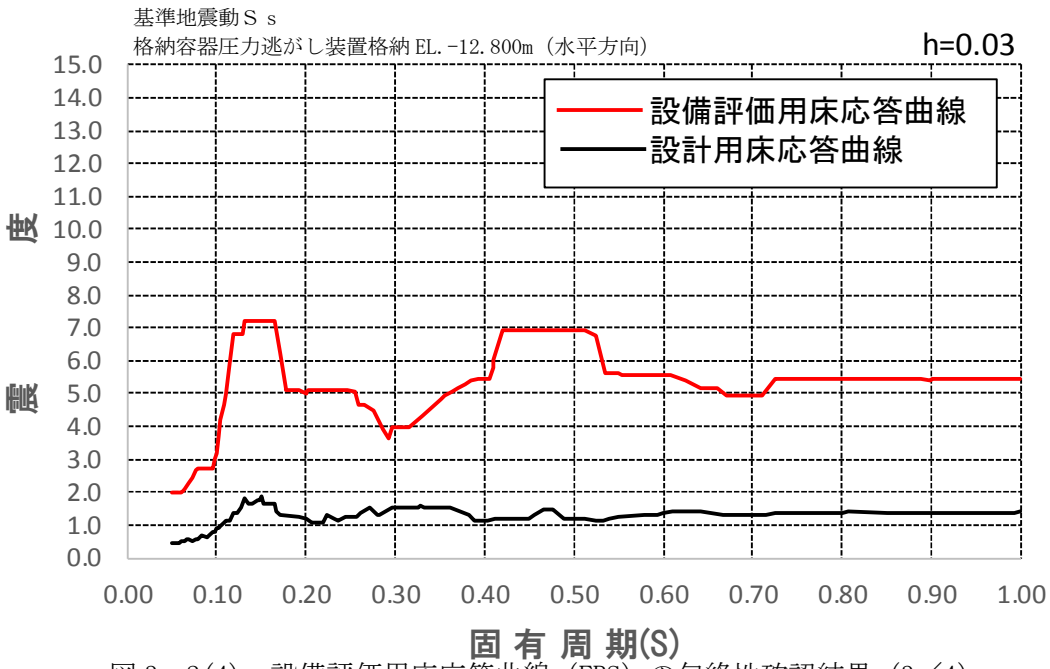


図 3－2(4)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（3／4）

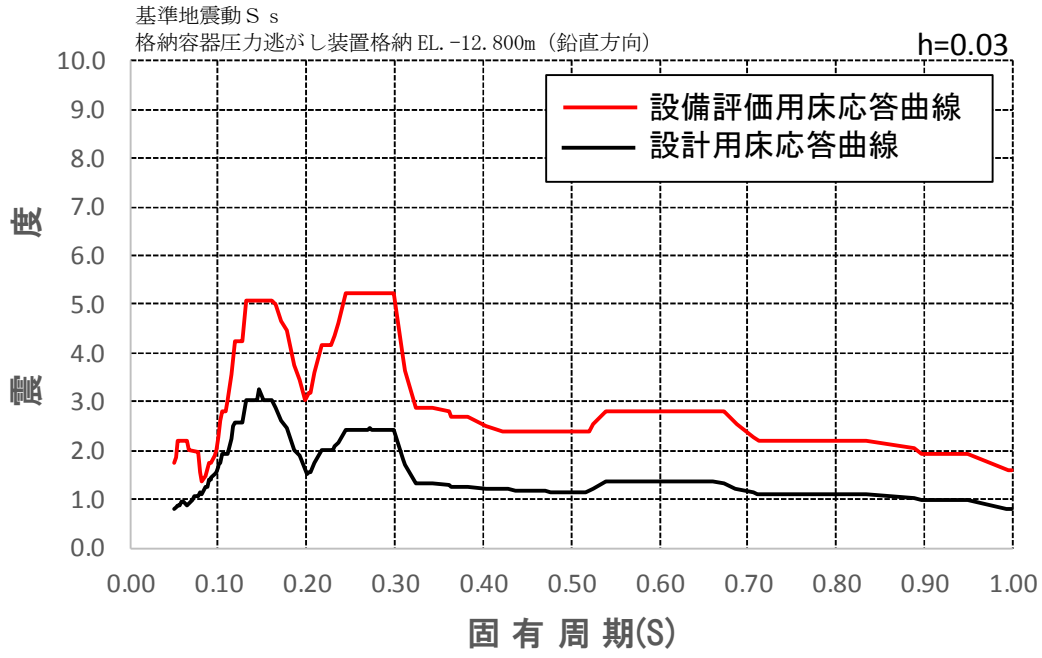


図 3－2(4)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（4／4）

(5) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(5)及び図 3－2(5)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(5) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎	Ｓｓ	21.15	0.98	1.66	0.68	2.23
		15.00	0.85	1.66	0.67	2.23

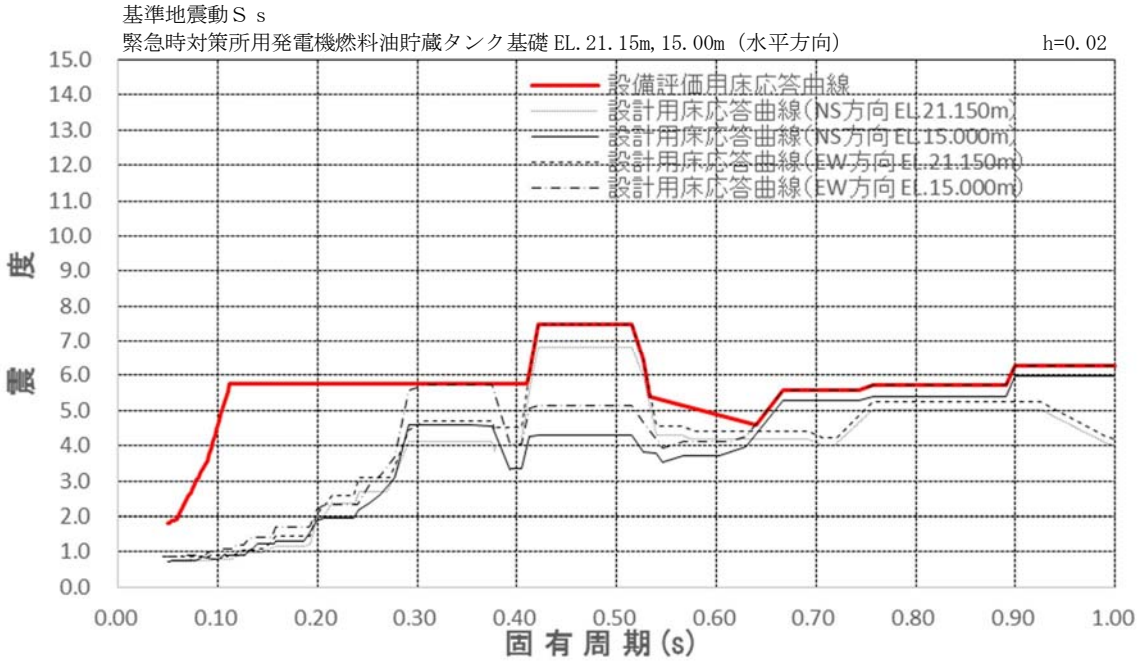


図 3－2(5)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果(1/2)

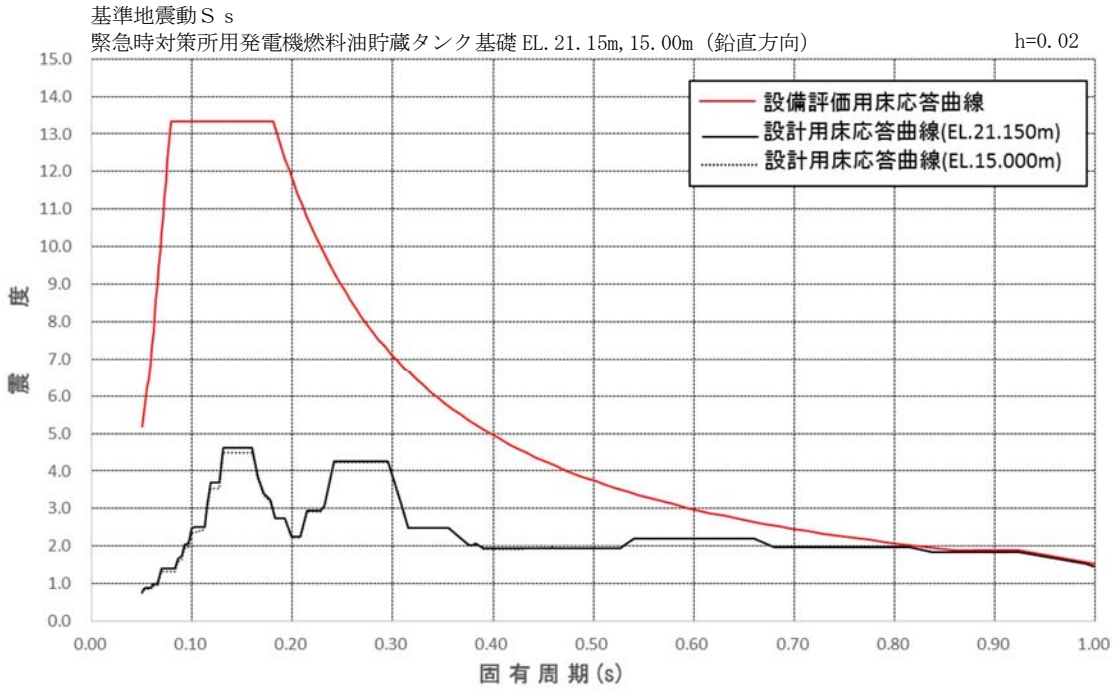


図 3－2(5)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果(2/2)

(6) 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(6)及び図 3－2(6)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(6) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート	Ｓｓ	3.250	1.43	2.37	0.80	1.09
		-2.350	1.04		0.79	
		-6.550	0.85		0.78	

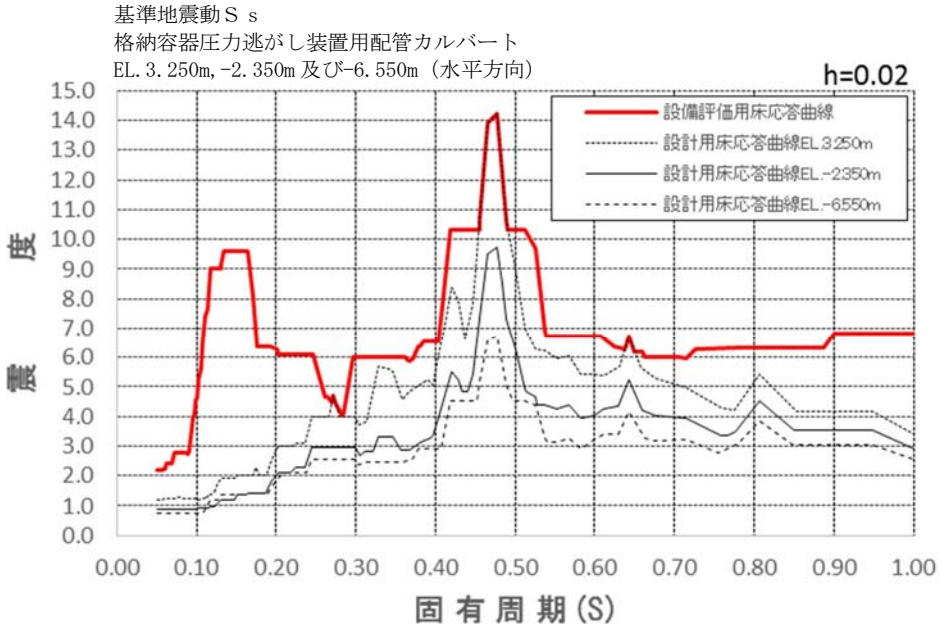


図３－２(6)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果(1/2)

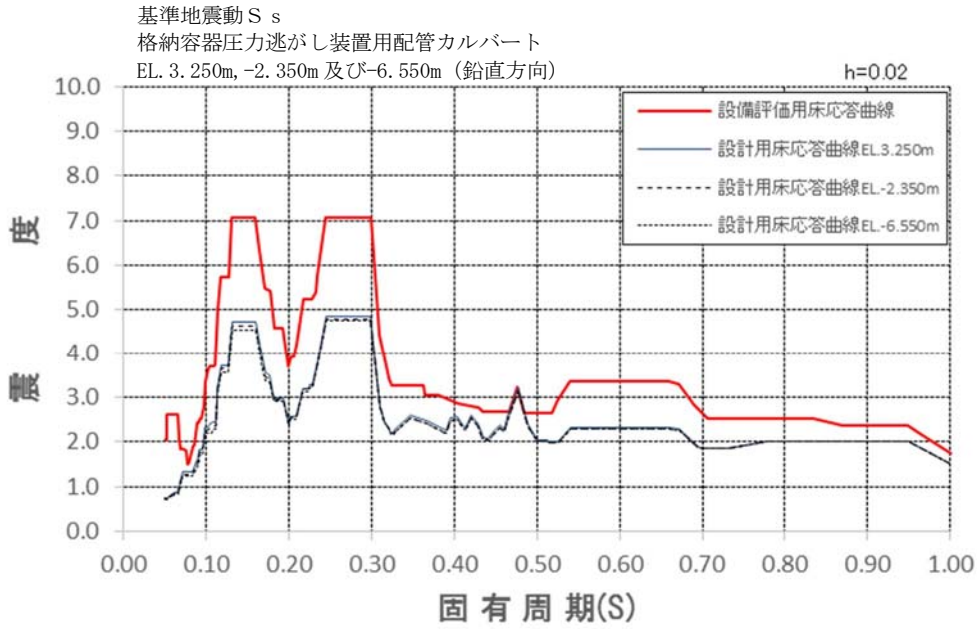


図３－２(6)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果(2/2)

(7) 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(7)及び図 3－2(7)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(7)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果（1／2）

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備（ＮＳ方向）	Ｓｓ	18.550	0.79	0.81	0.60	0.71
		10.000	0.67		0.58	
		1.000	0.55		0.56	
			0.55		0.57	
		-7.250	0.46		0.49	
		-14.750	0.41		0.55	
			0.45		0.57	
		-21.000	0.44		0.57	

表 3－2(7)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果（2／2）

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備（ＥＷ方向）	Ｓｓ	23.000	0.69	0.81	0.54	0.71
		18.550	0.65		0.54	
		10.000	0.58		0.53	
		1.000	0.53		0.53	
		-7.250	0.48		0.52	
		-14.750	0.45		0.52	
		-21.000	0.44		0.51	

基準地震動Ｓｓ
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備（NS 方向）
EL. 23.000m, 18.550m, EL. 10.000m, EL. 1.000m, EL. -7.250m, EL-14.750m 及び EL-21.000m

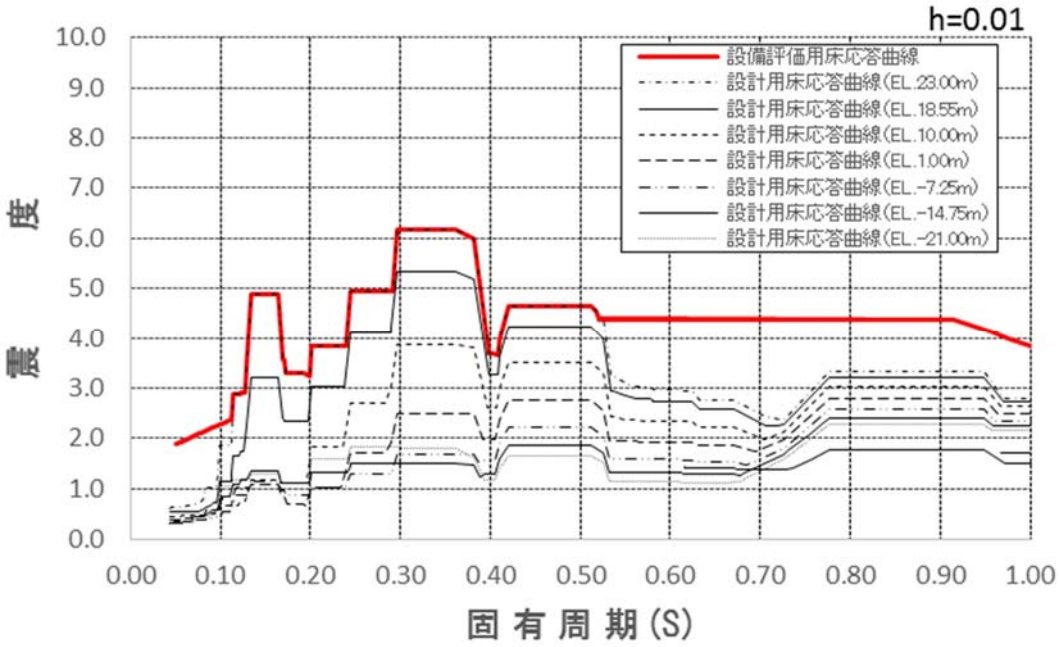


図 3－2(7)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／4）

基準地震動Ｓｓ
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備（EW 方向）
EL. 23.000m, 18.550m, EL. 10.000m, EL. 1.000m, EL. -7.250m, EL-14.750m 及び EL-21.000m

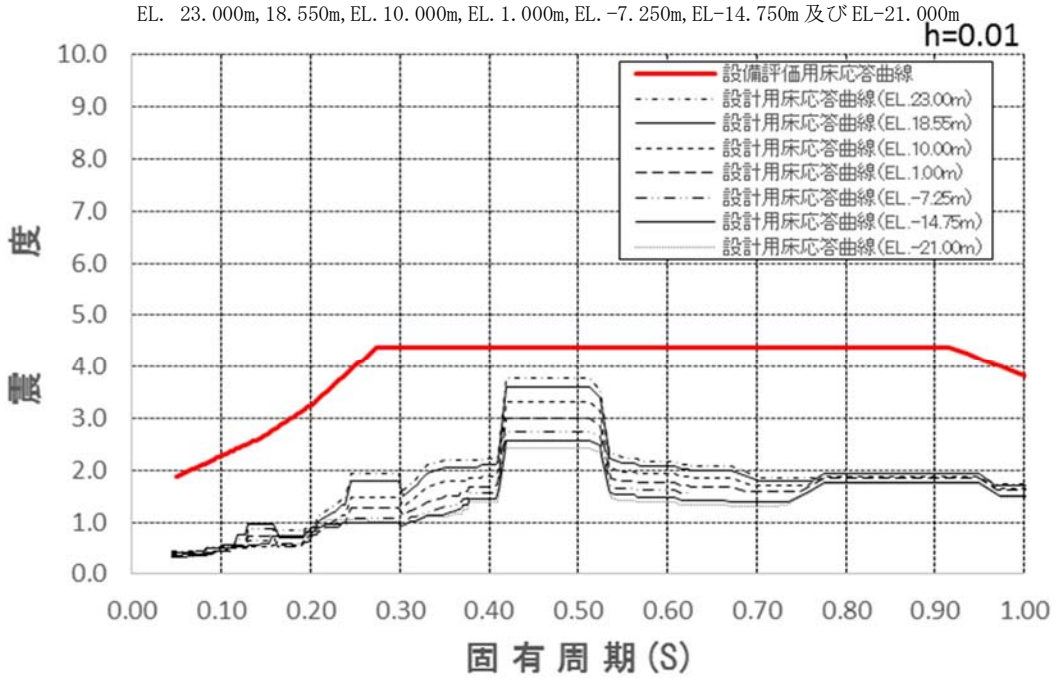


図 3－2(7)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／4）

基準地震動Ｓｓ
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備（鉛直方向（NS モデル））
EL.23.000m，EL.18.550m,EL.10.000m,EL.1.000m,EL.-7.250m EL-14.750m 及び EL-21.000m

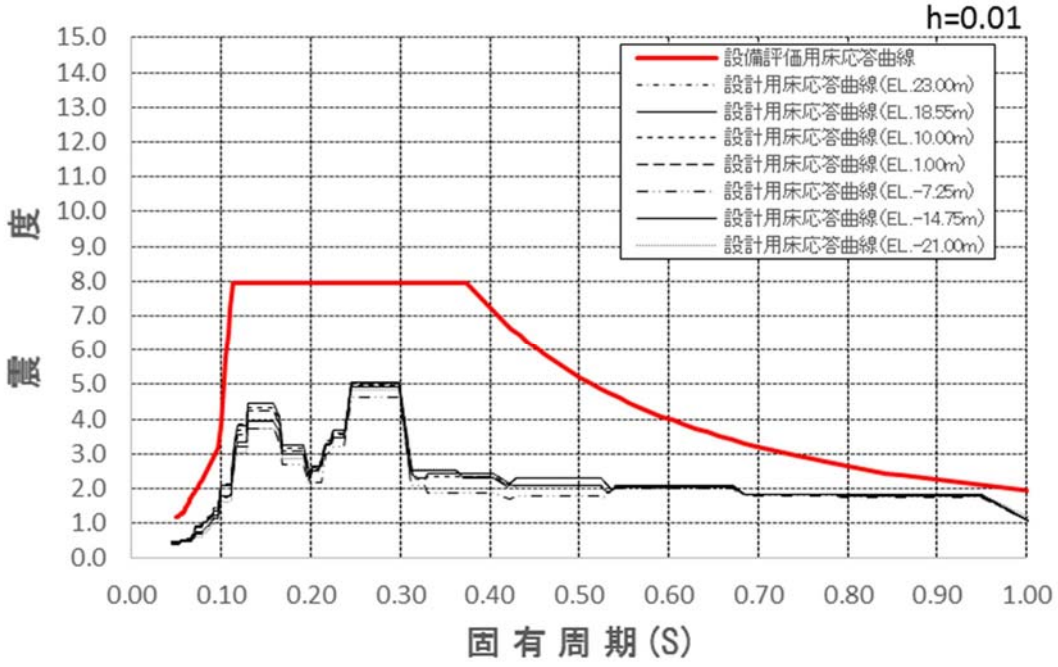


図 3－2(7)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（3／4）

基準地震動Ｓｓ
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備（鉛直方向（EW モデル））
EL.23.000m，EL.18.550m,EL.10.000m,EL.1.000m,EL.-7.250m，EL-14.750m 及び EL-21.000m

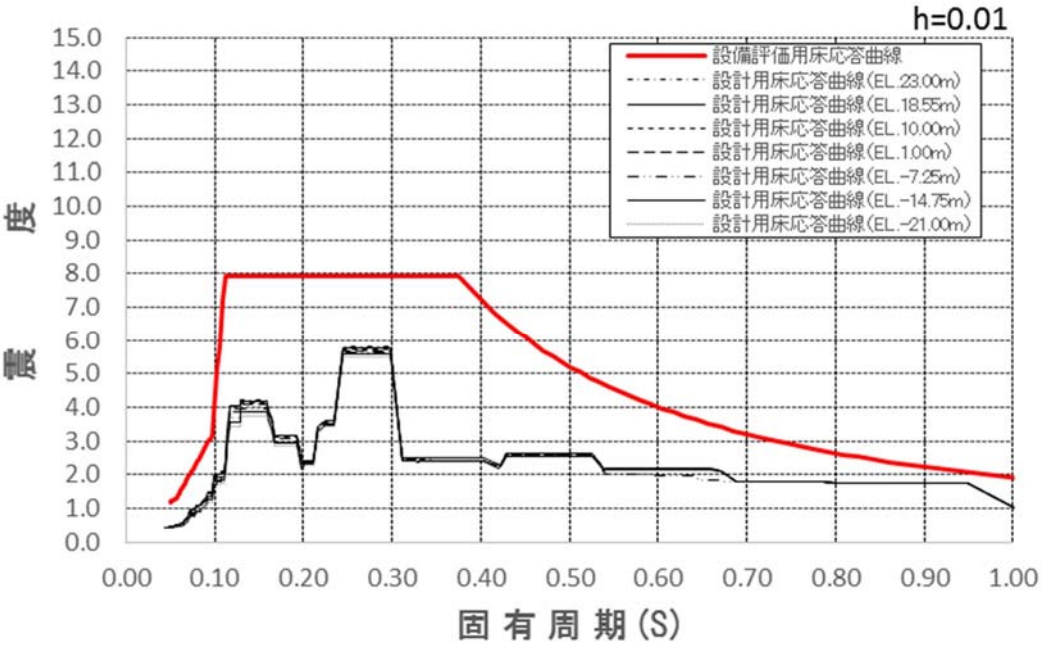


図 3－2(7)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（4／4）

(8) 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）

設備評価用床応答曲線として「b-2. 設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(8)及び図 3－2(8)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(8) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）（ＮＳ方向）	Ｓｓ	7.600	0.63	0.89	0.47	0.70
		1.700	0.58		0.47	
		1.200	0.59		0.54	
		-3.750	0.56		0.53	

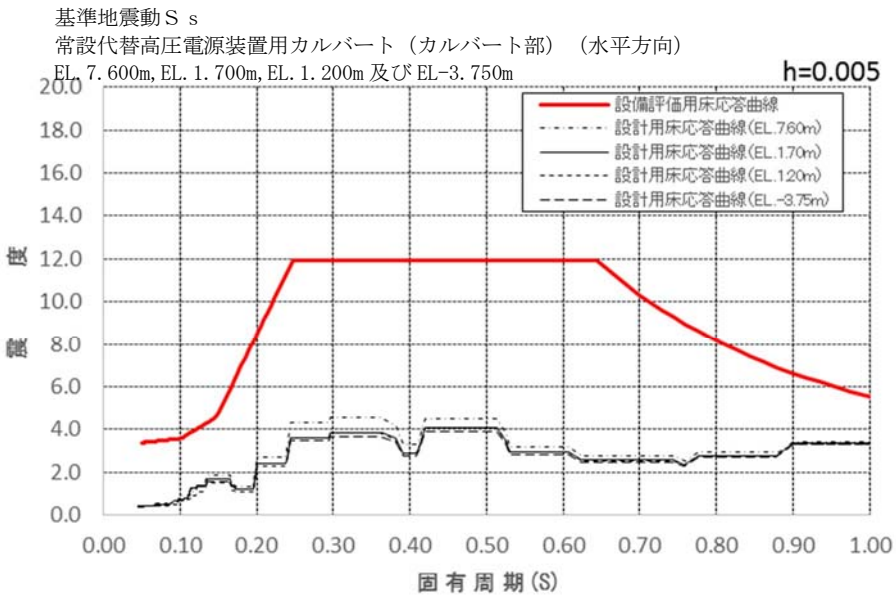


図 3－2(8)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／2）

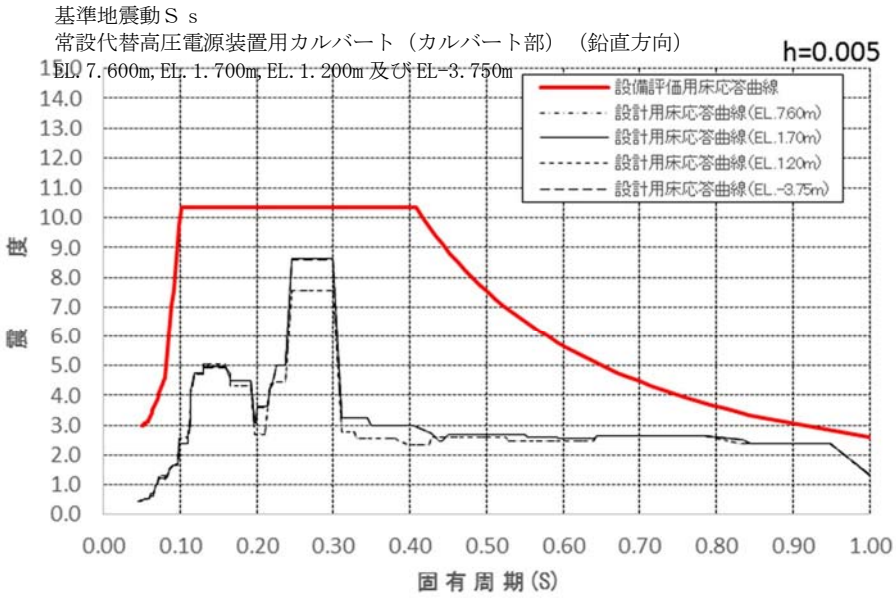


図 3－2(8)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／2）

(9) 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）

設備評価用床応答曲線として「d 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(9)及び図 3－2(9)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(9)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）（ＥＷ方向）	Ｓｓ	-22.000	0.46	0.56	0.40	0.58
		-23.650	0.45		0.41	
		-23.796	0.45		0.41	
		-25.300	0.45		0.40	

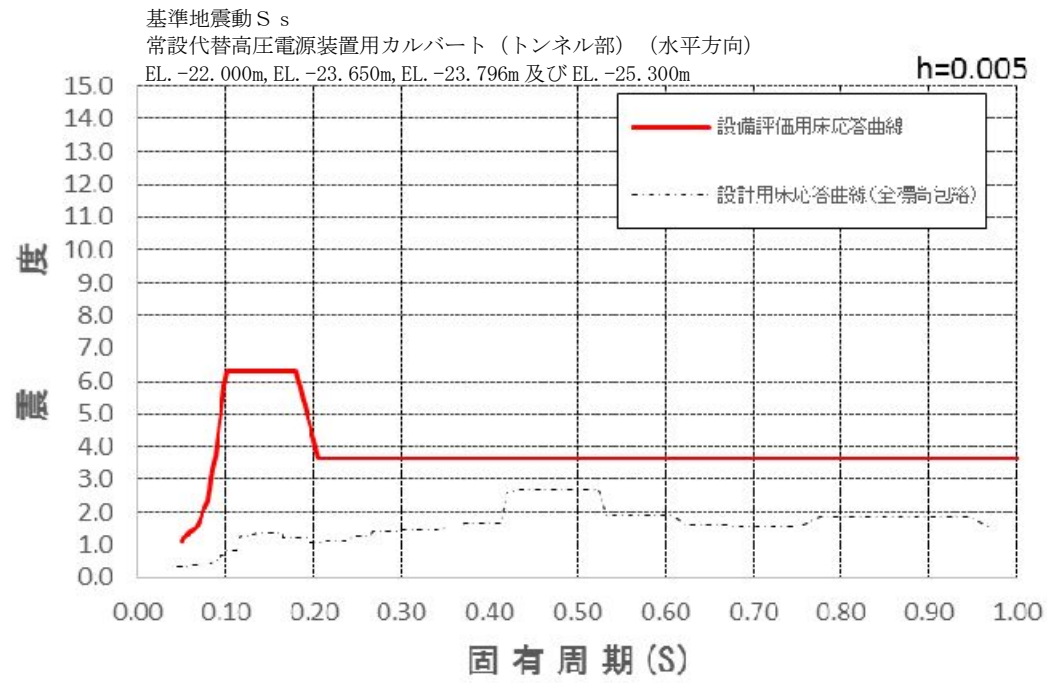


図 3－2(9)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／2）

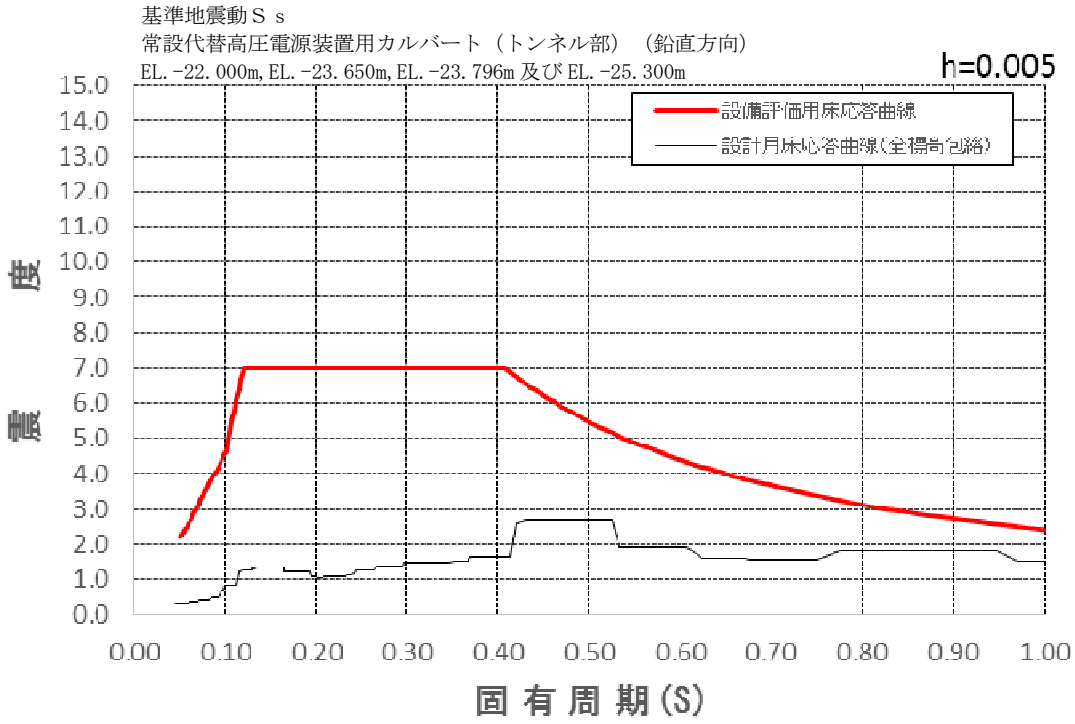


図 3－2(9)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／2）

(10) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(10)及び図 3－2(10)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(10)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果（1／2）

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）（ＮＳ方向）	Ｓｓ	7.200	0.64	0.82	0.42	0.61
		1.700	0.59		0.42	
		-3.500	0.55		0.42	
		-9.000	0.52		0.42	
		-25.800	0.43		0.40	

表 3－2(10)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果（2／2）

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）（ＥＷ方向）	Ｓｓ	7.200	0.74	0.82	0.43	0.61
		1.700	0.65		0.43	
		-3.500	0.57		0.43	
		-9.000	0.50		0.43	
		-25.800	0.38		0.41	

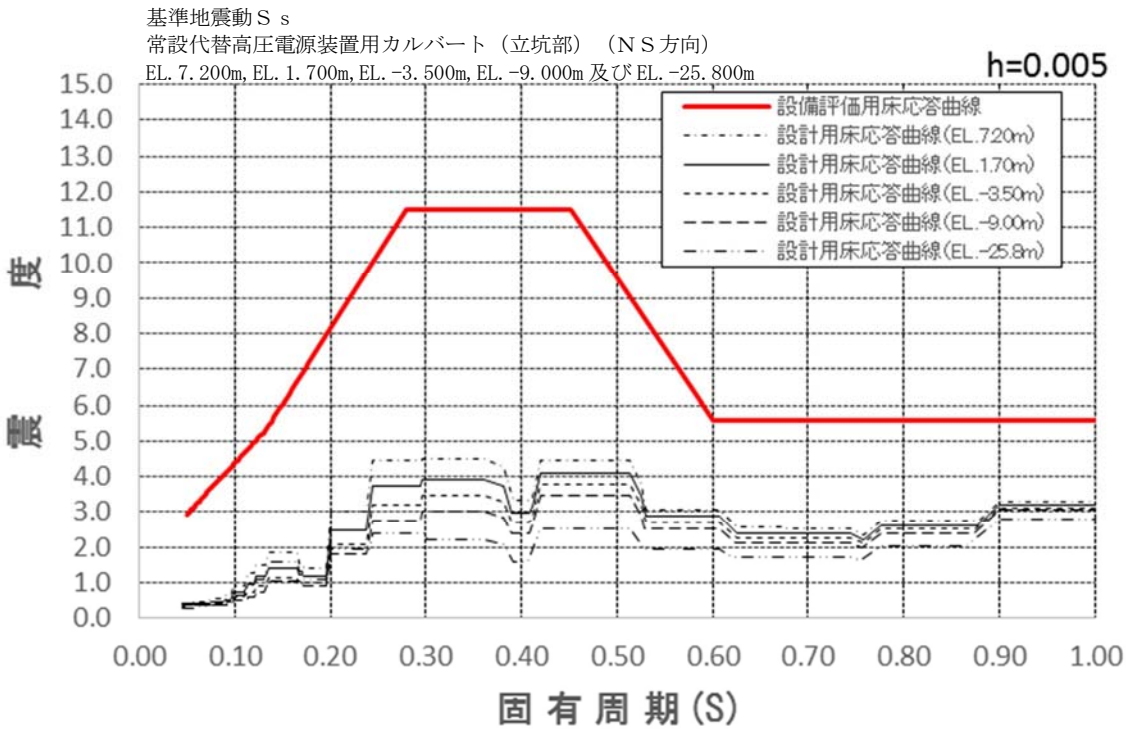


図 3－2(10)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／4）

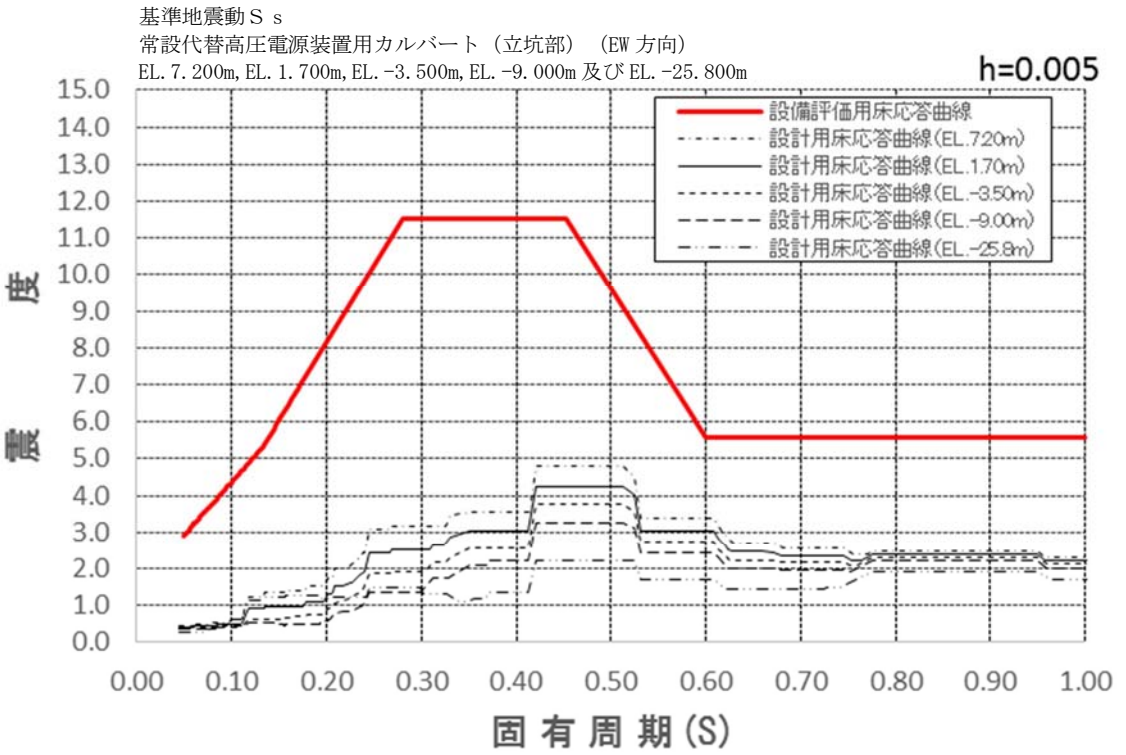


図 3－2(10)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／4）

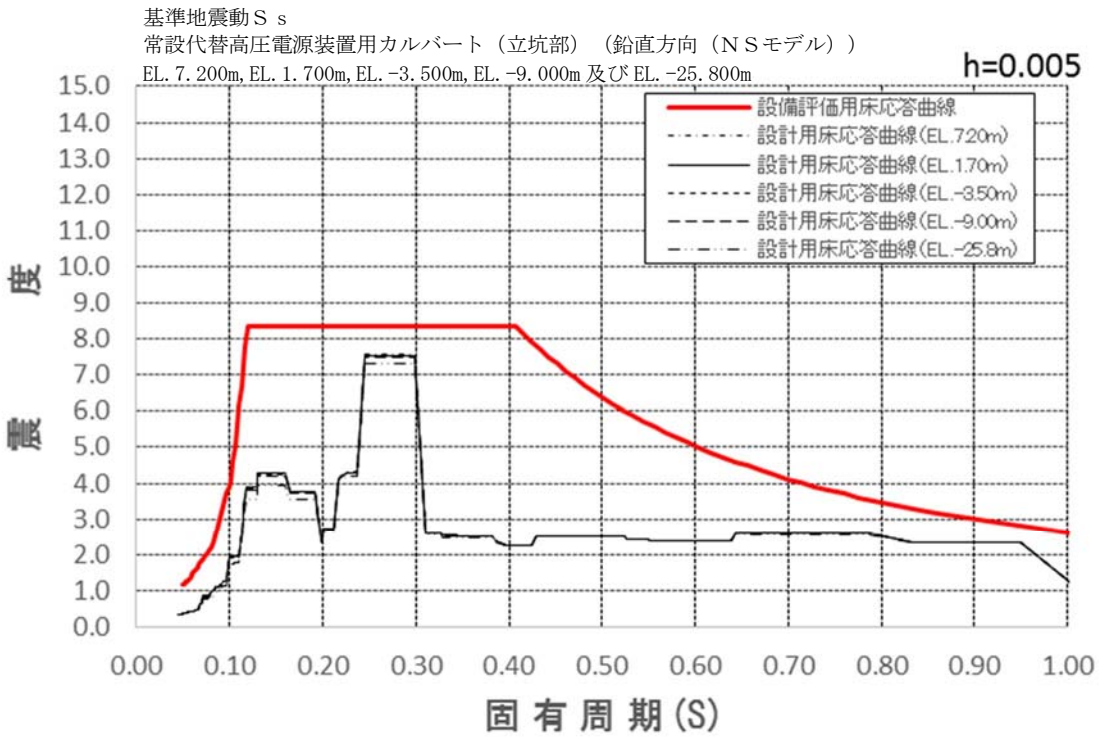


図 3－2(10)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（3／4）

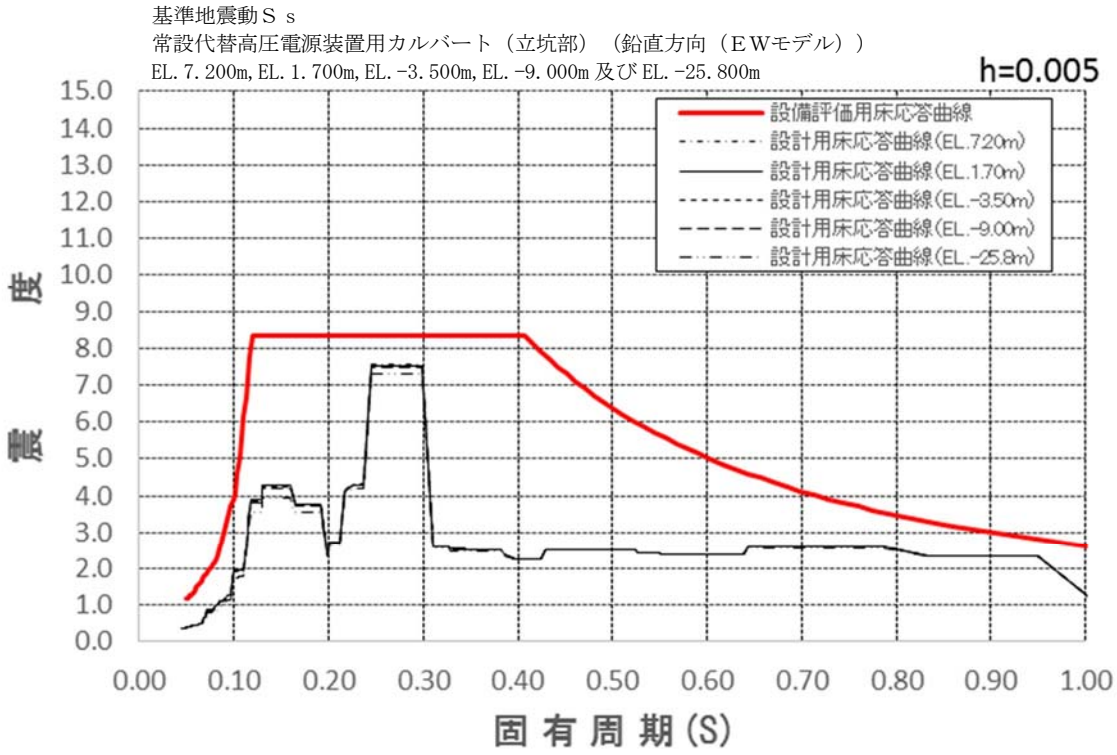


図 3－2(10)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（4／4）

(11) 可搬型設備用軽油タンク基礎

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(11)及び図 3－2(11)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(11) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
可搬型設備用軽油タンク基礎	Ｓｓ	22.750	0.92	1.66	0.65	2.42
		19.000	0.84		0.65	
		18.500	0.84		0.64	
		24.750	1.38		0.72	
		21.000	1.30		0.74	
		20.500	1.29		0.70	

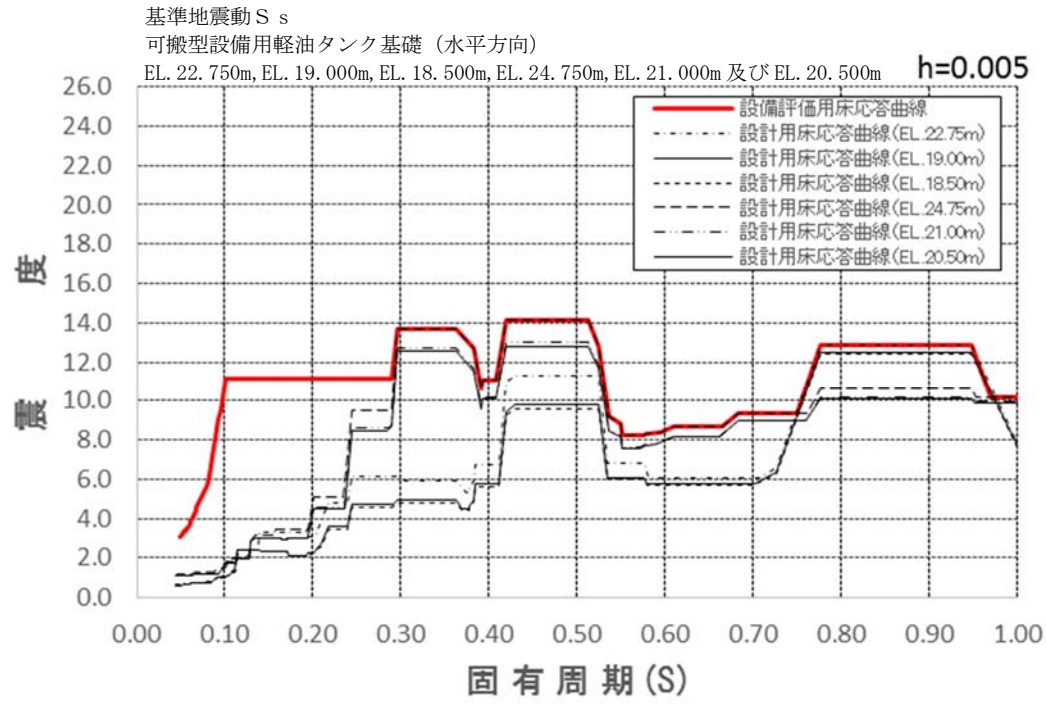


図 3－2(11)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／2）

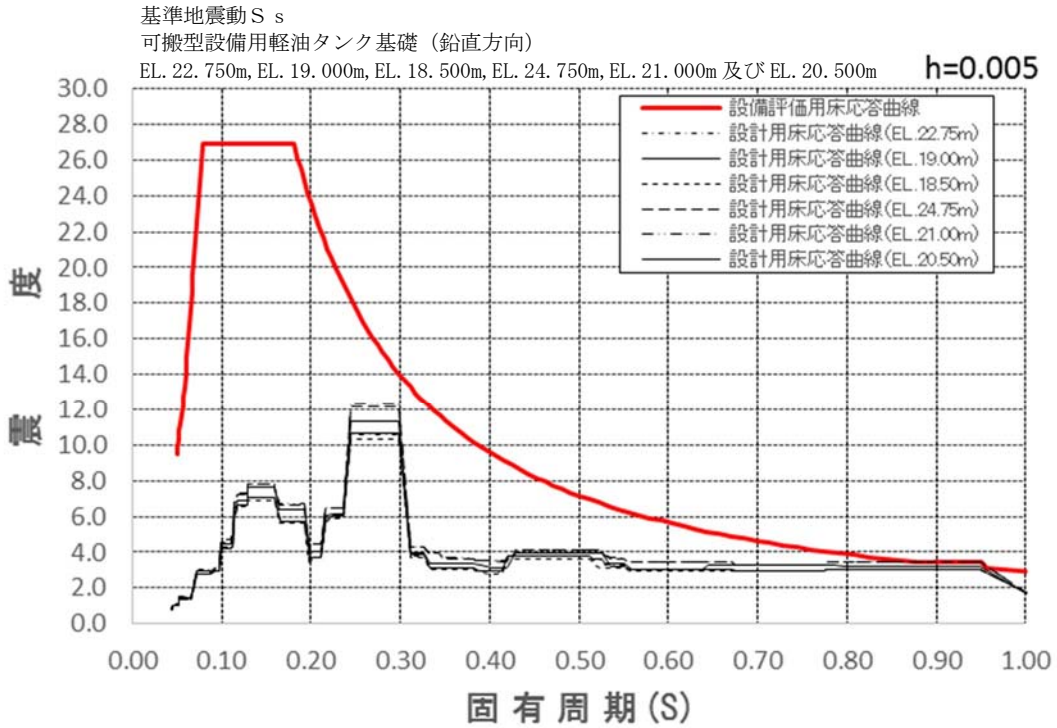


図 3－2(11)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／2）

(12) 常設低圧代替注水系ポンプ室

設備評価用床応答曲線として「b-2 設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(12)及び図 3－2(12)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(12) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設低圧代替注水系ポンプ室	Ｓｓ	8.000	1.36	1.58	0.68	1.10
		3.750	1.17		0.68	
		1.050	1.05		0.68	
		-1.700	0.99		0.68	
		-4.000	0.94		0.67	
		-11.000	0.86		0.66	
		-14.014	0.68		0.67	
		-14.148	0.86		0.66	
		-17.080	0.87		0.66	
		-20.000	0.88		0.66	

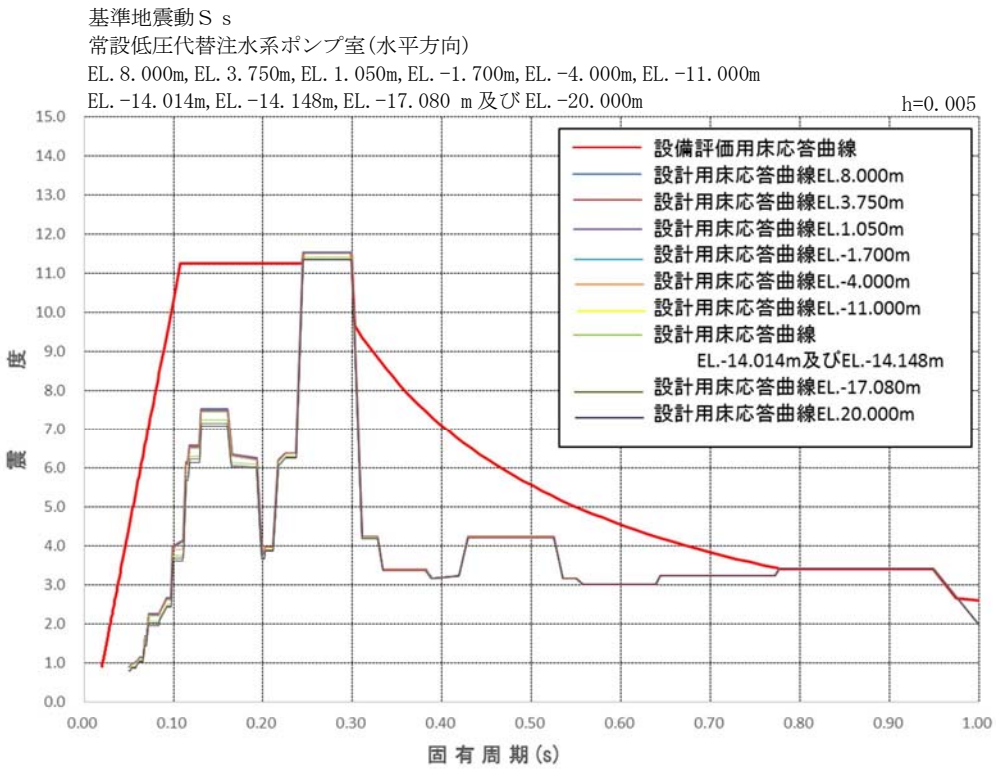


図 3－2(12)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／2）

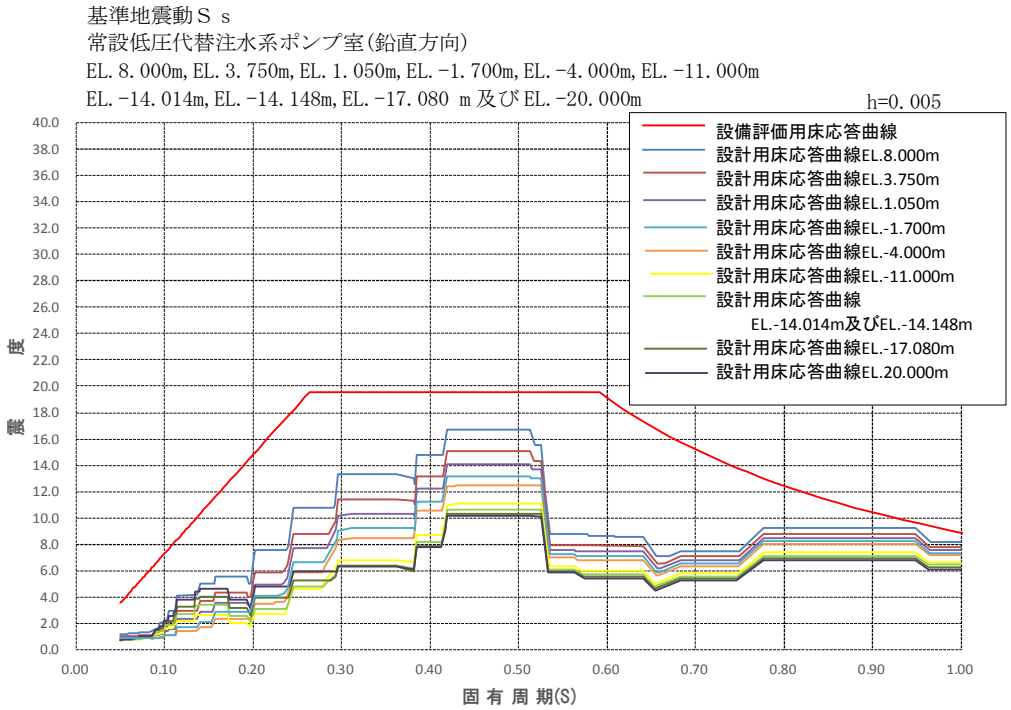


図 3－2(12)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／2）

(13) 代替淡水貯槽

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(13)及び図 3－2(13)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(13) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
代替淡水貯槽	Ｓｓ	3.000	1.42	1.58	0.72	1.10
		2.500	1.35		0.66	
		2.150	1.34		0.66	
		1.830	1.34		0.66	
		1.040	1.32		0.66	
		-14.240	1.10		0.65	
		-15.000	1.09		0.65	
		-16.000	1.08		0.64	
		-17.000	1.07		0.64	
		-18.500	0.57		0.70	

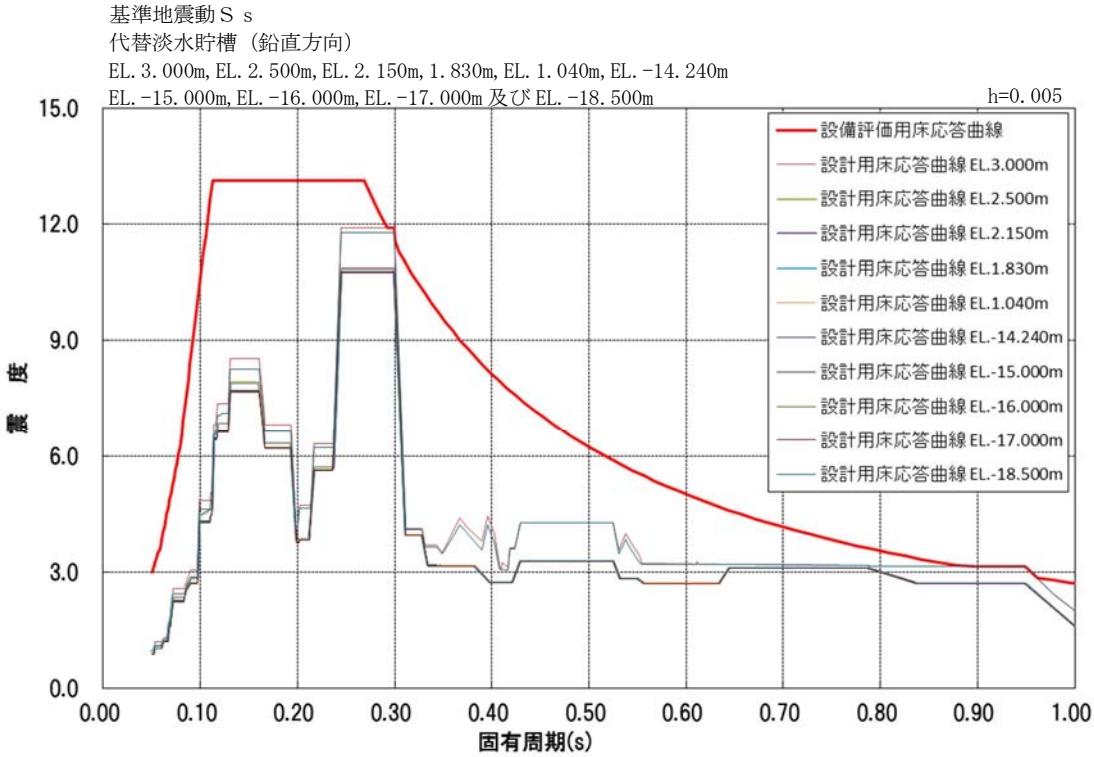


図 3－2(13)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果

(14) 常設低圧代替注水系配管カルバート

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(14)及び図 3－2(14)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(14) 設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
常設低圧代替注水系配管カルバート	Ｓｓ	-1.350	0.92	1.58	0.66	1.10
		-1.830	0.89		0.67	
		-3.880	0.77		0.67	
		-4.350	0.75		0.65	

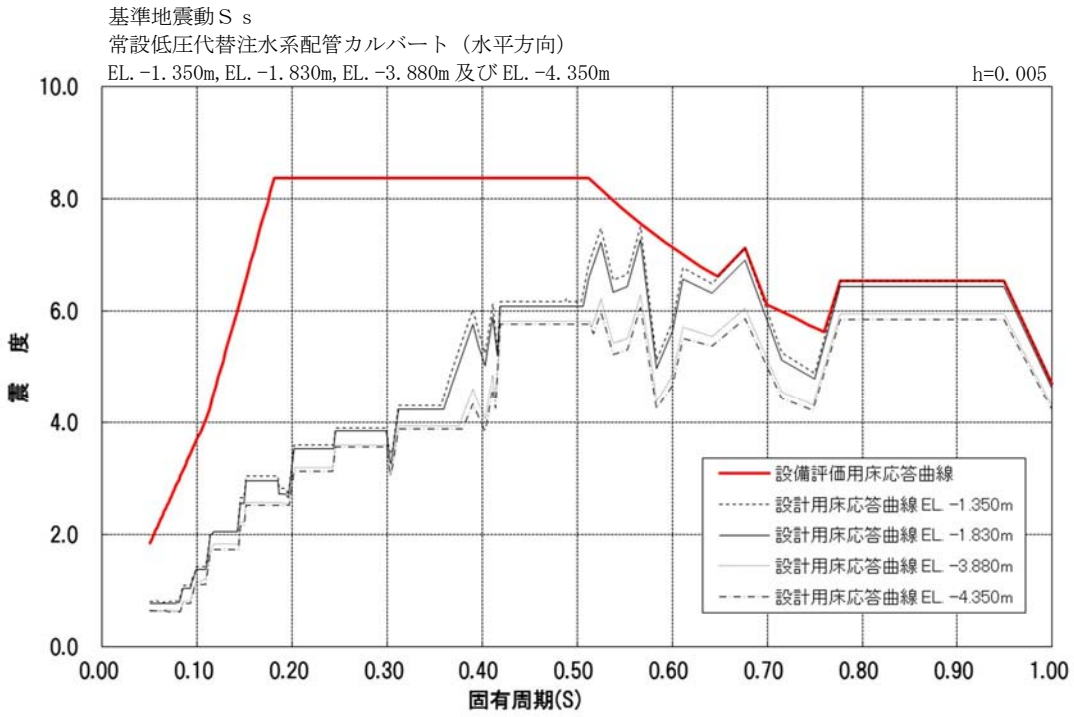


図 3－2(14)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／2）

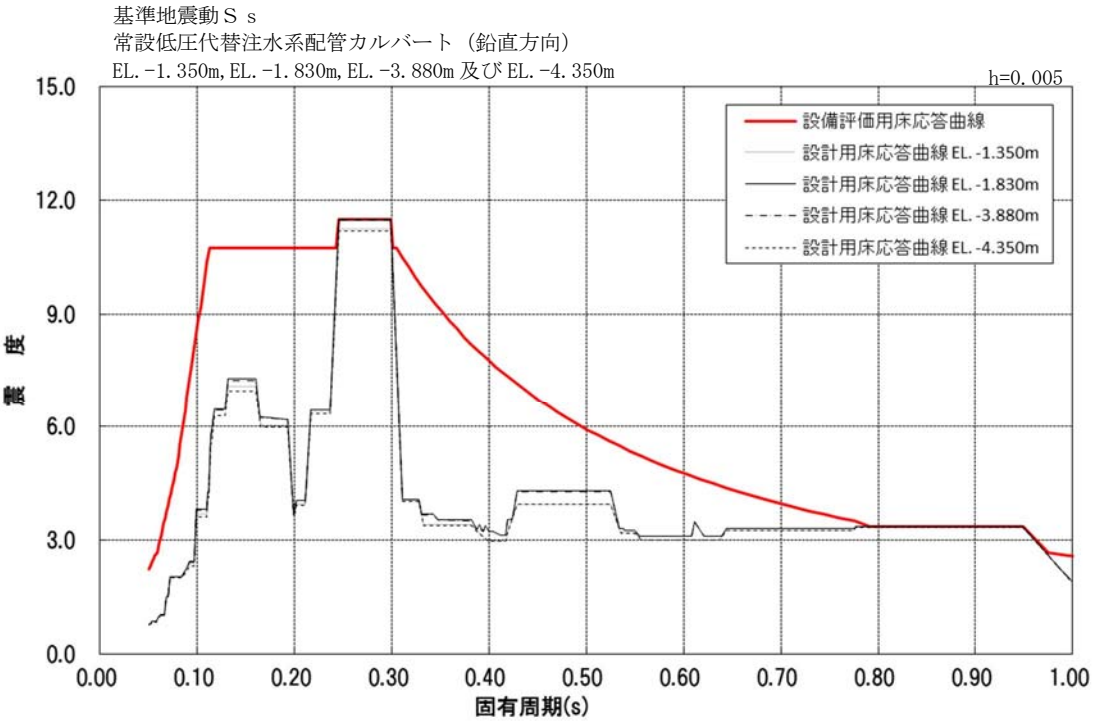


図 3－2(14)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／2）

(15) SA 用海水ピット

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表 3－2(15)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

表 3－2(15)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
SA 用海水ピット	Ｓｓ	8.000	1.59	1.95	0.71	1.12

(16) 緊急用海水ポンプピット

設備評価用床応答曲線として「d. 設計用床応答曲線を包絡できるように余裕を確保した床応答曲線」を適用しているため，設計用床応答曲線への包絡性を確認した。

表3－2(16)及び図3-2(16)に設備評価用床応答曲線と設計用床応答曲線との比較を示す。

・設備評価用 ZPA が設計用 ZPA を上回っていることを確認した。

・設備評価用 FRS が設計用 FRS を上回っていることを確認した。

表 3－2(16)　設備評価用床応答曲線（ZPA）の包絡性確認結果

構造物名	地震動	標高 EL. (m)	最大床加速度(×9.8m/s^2) (1.2ZPA)			
			水平方向		鉛直方向	
			設計用	設備評価用	設計用	設備評価用
緊急用海水ポンプピット	Ｓｓ	6.000	1.81	1.83	0.65	2.21
		1.900	1.50		0.85	
		0.800	1.50		0.65	
		-1.200	1.39		0.65	
		-1.875	1.35		0.64	
		-5.500	1.17		0.64	
		-6.500	1.12		0.64	

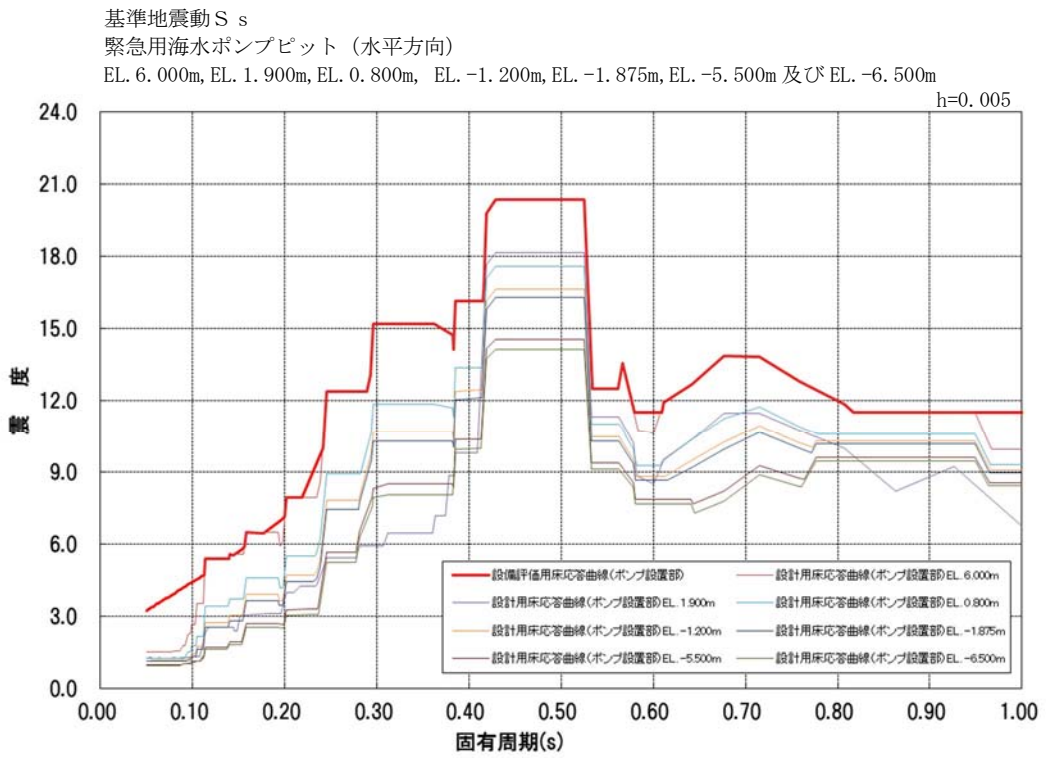


図 3－2(16)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（1／4）

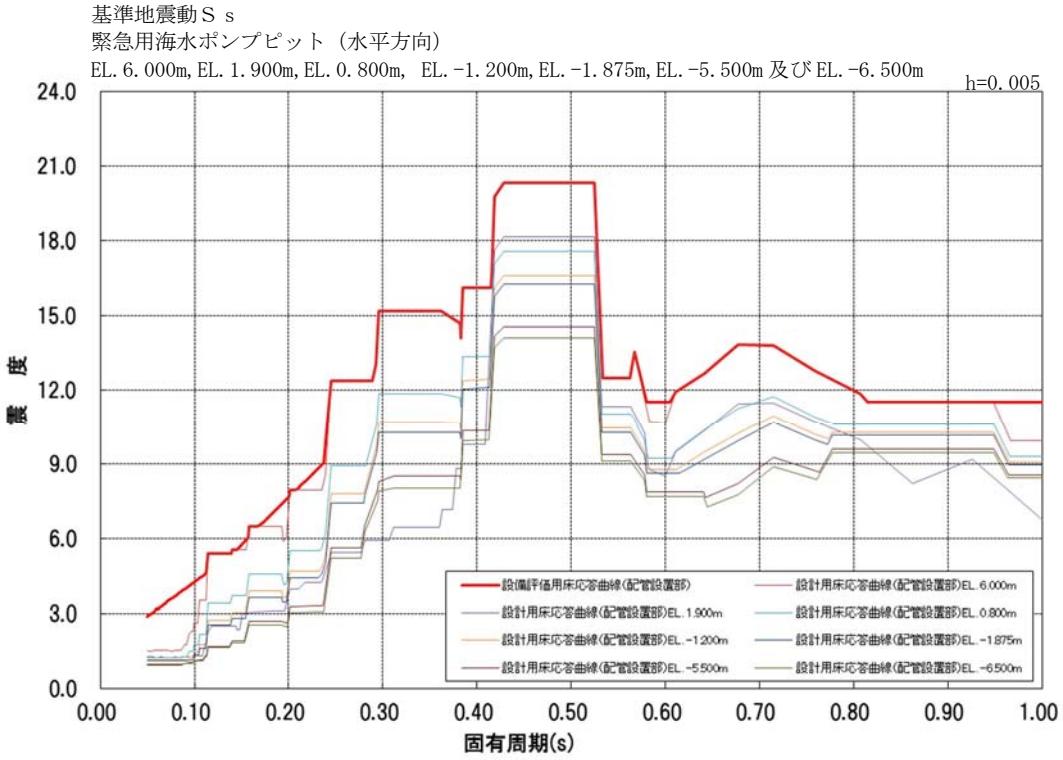


図 3－2(16)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（2／4）

基準地震動Ｓｓ
緊急用海水ポンプピット（鉛直方向）
EL. 6. 000m, EL. 1. 900m, EL. 0. 800m,　EL. -1. 200m, EL. -1. 875m, EL. -5. 500m 及び EL. -6. 500m

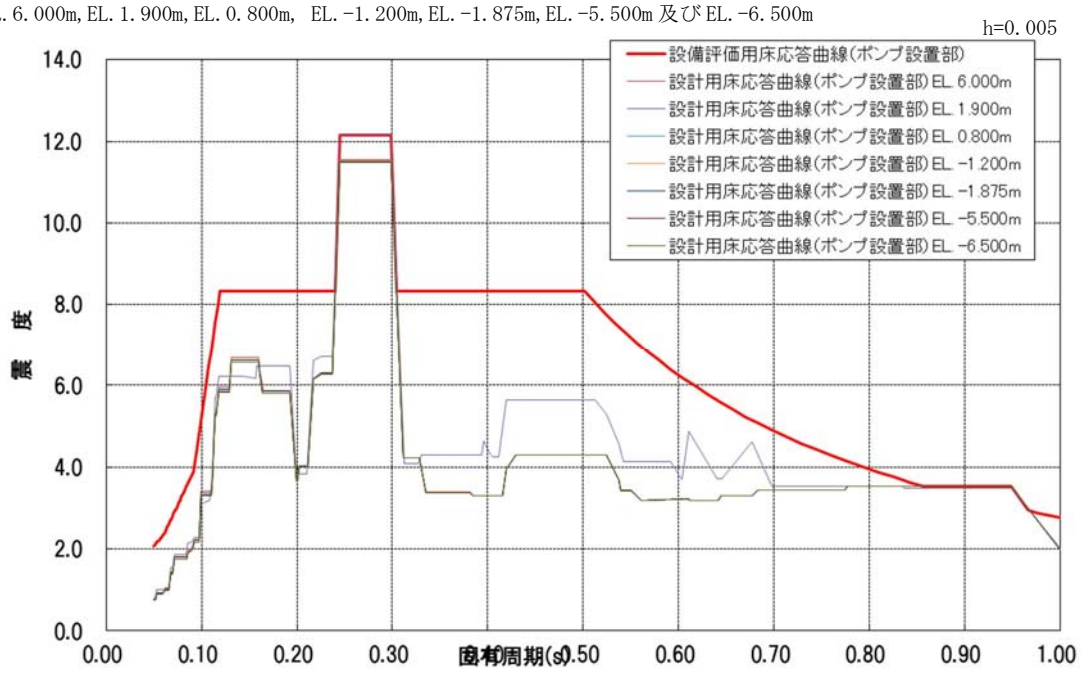


図 3－2(16)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（3／4）

基準地震動Ｓｓ
緊急用海水ポンプピット（鉛直方向）
EL. 6. 000m, EL. 1. 900m, EL. 0. 800m,　EL. -1. 200m, EL. -1. 875m, EL. -5. 500m 及び EL. -6. 500m

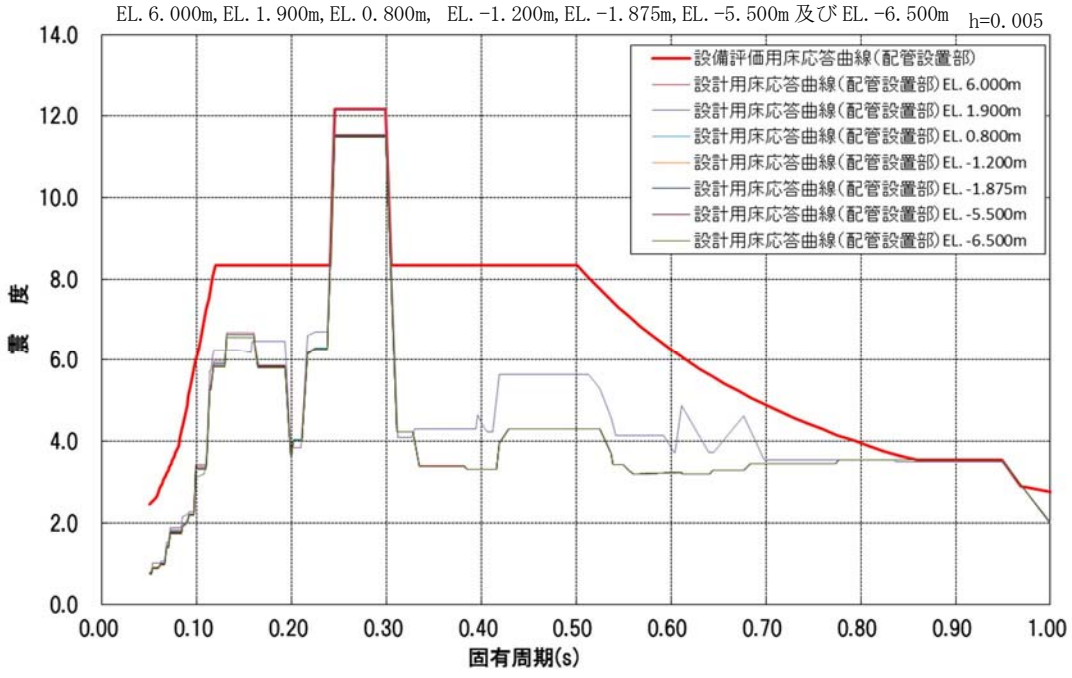


図 3－2(16)　設備評価用床応答曲線（FRS）の包絡性確認結果（4／4）

別表１　床応答スペクトルの作成方法について

既設／新設	設備を設置する施設区分	設備を設置する施設名称	設備の評価条件		
			設計用床応答曲線	設備評価用床応答曲線	拡幅考慮の有無
既設	建物・構築物	原子炉建屋（原子炉格納容器等を含む）	・コンクリート強度を設計基準強度，地盤物性のばらつきは標準地盤を基本ケースとして実施	以下，どちらかのケース a. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線 b-1　基本ケースの加速度に一律 1.5 倍した床応答曲線	・基本ケースは有り ・ばらつきケースは無し
		使用済燃料乾式貯蔵建屋			
		主排気筒			
		非常用ガス処理系配管支持架構			
	屋外重要土木構造物	取水構造物	・非液状化の条件を仮定した地震応答解析を基本ケースとして実施 ・豊浦標準砂の液状化特性及び地盤物性のばらつき＋1σして非液状化条件を仮定した地震応答解析結果も含める	以下，どちらかのケース c. 床応答スペクトルの震度に余裕を確保した床応答曲線 d. 設計用床応答曲線を保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線	・基本ケースは有り ・ばらつきケースは無し
		屋外二重管			
新設	建物・構築物	緊急時対策所建屋	・コンクリート強度を設計基準強度，地盤物性のばらつきは標準地盤を基本ケースとして実施	以下，どちらかのケース a. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線 b-2　設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線	・基本ケースは有り ・ばらつきケースは無し
		格納容器圧力逃がし装置格納槽			
	屋外重要土木構造物	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎	・非液状化の条件を仮定した地震応答解析を基本ケースとして実施 ・豊浦標準砂の液状化特性及び地盤物性のばらつき＋1σして非液状化条件を仮定した地震応答解析結果も含める	以下，どちらかのケース c. 床応答スペクトルの震度に余裕を確保した床応答曲線 d. 設計用床応答曲線を保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線	・基本ケースは有り ・ばらつきケースは無し
		格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート			
		常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備			
		常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）			
		常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）			
		常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）			
		可搬型設備用軽油タンク基礎			
		常設低圧代替注水系ポンプ室			
		代替淡水貯槽			
		常設低圧代替注水系配管カルバート			
		SA 用海水ピット			
		緊急用海水ポンプピット			
		防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）			
		防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）			
		防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））			
	地盤	可搬型重事故等対処設備保管場所（西側，南側）	・地盤物性のばらつきは標準地盤を標準ケースとして実施	e. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線	・標準ケース，ばらつきケースともに無し

機器・配管系の耐震計算に適用する設備評価用床応答曲線

機器・配管系の耐震計算に適用した設備評価用床応答曲線について，次頁以降の表 1 に整理する。なお表 1 における設備評価用床応答曲線の適用ケースの記載欄については下表の右側の標記としている。

各設備評価用床応答曲線における適用ケースの考え方については添付 2 のとおりで整理している。また表 2 には，各計算書において，異なる設備評価用床応答曲線を用いているものを整理した。

設備評価用床応答曲線 の適用ケース	表 1 での標記
a. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線	a. 基本ケース＋ばらつきケース
b-1 基本ケースの加速度に一律 1.5 倍した床応答曲線	b-1 一律 1.5 倍
b-2 設計用床応答曲線及びばらつきケースを保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線	b-2 保守側に包絡できるように余裕を確保
c. 床応答スペクトルの震度に余裕を確保した床応答曲線	c. 床応答スペクトルの震度に余裕を確保
d. 設計用床応答曲線を保守側に包絡できるように余裕を確保した床応答曲線	d. 保守側に包絡できるように余裕を確保
e. 設計用床応答曲線及びばらつきケースの床応答曲線を包絡した床応答曲線	e. 基本ケース＋ばらつきケース

表1　個別計算書に適用する設備評価用床応答曲線

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
V-2	耐震性に関する説明書	―	―
V-2-1	耐震設計の基本方針	―	
V-2-2	耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書	―	
V-2-3	原子炉本体の耐震性に関する説明書	―	―
V-2-3-1	原子炉本体の耐震計算結果	―	―
V-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	―	―
V-2-3-3	炉心の耐震性についての計算書	―	―
V-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-3-2	炉心支持構造物の耐震性についての計算書	―	―
V-2-3-3-2-1	炉心支持構造物の応力解析の方針	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-3-2-2	炉心シュラウドの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-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	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-3-2-4	上部格子板の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-3-2-5	炉心支持板の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-3-2-6	燃料支持金具の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-3-2-7	制御棒案内管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-4	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	―	―
V-2-3-4-1	原子炉圧力容器本体の耐震性についての計算書	―	―
V-2-3-4-1-1	原子炉圧力容器の応力解析の方針	―	―
V-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（その1）	―	―
（V-2-3-4-1-2に含める）	下部鏡板の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（V-2-3-4-1-2に含める）	給水ノズル（N4）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（V-2-3-4-1-2に含める）	原子炉圧力容器スカートの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-4-1-3	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（その2）	―	―
（V-2-3-4-1-3に含める）	胴板の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（V-2-3-4-1-3に含める）	制御棒駆動機構ハウジング貫通部の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（V-2-3-4-1-3に含める）	再循環水出口ノズル（N1）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
(V-2-3-4-1-3に含める)	再循環水入口ノズル(N2)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	主蒸気ノズル(N3)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	炉心スプレイノズル(N5)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	差圧検出・ほう酸水注入管ノズル(N10)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	低圧注水ノズル(N17)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	上鏡スプレイノズル(N6)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	ベントノズル(N7)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	ジェットポンプ計測管貫通部ノズル(N8)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	計装ノズル(N11)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	計装ノズル(N12)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	計装ノズル(N16)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	ドレンノズル(N15)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	ブラケット類の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
(V-2-3-4-1-3に含める)	原子炉圧力容器の基礎ボルトの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-4-2	原子炉圧力容器付属構造物の耐震性についての計算書	―	―
V-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	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース(Ss) b-1.一律1.5倍(Sd)
V-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	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース(Ss) b-1.一律1.5倍(Sd)
V-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	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-4-2-4	差圧検出・ほう酸水注入管(ティーよりN10ノズルまでの外管)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-4-3	原子炉圧力容器内部構造物の耐震性についての計算書	―	―
V-2-3-4-3-1	原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針	―	―
V-2-3-4-3-2	蒸気乾燥器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-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	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-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	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
V-2-3-4-3-5	ジェットポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-2-3-4-3-6	給水スパージャの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-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	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
V-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	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-3-4-3-9	高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-3-4-3-10	差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-3-4-3-11	中性子計測案内管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-4	核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-1	核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算結果	－	－
Ⅴ-2-4-2	使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-2-1	使用済燃料プールの耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-4-2-3	使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-1	使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書（タイプⅠ）	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-1-1	キャスク容器の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-1-2	バスケットの耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-1-3	トラニオンの耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-1-4	支持構造物の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-1-5	二次蓋の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-2	使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書（タイプⅡ）	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-2-1	キャスク容器の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-2-2	バスケットの耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-2-3	トラニオンの耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-2-4	支持構造物の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-2-5	二次蓋の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-3	使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書（タイプⅢ）	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-3-1	キャスク容器の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-3-2	バスケットの耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-3-3	トラニオンの耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-3-4	支持構造物の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-3-3-5	二次蓋の耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-4-2-4	使用済燃料プール温度（SA）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-4-2-5	使用済燃料プール水位・温度（SA広域）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-4-3	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-3-1	燃料プール冷却浄化系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-3-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-4-3-2	代替燃料プール注水系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-4-3-3	代替燃料プール冷却系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-3-3-1	代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-4-3-3-2	代替燃料プール冷却系ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-4-3-3-3	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-4-4	その他の核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-4-4-1	使用済燃料プール監視カメラの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-4-4-2	使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5	原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-1	原子炉冷却系統施設の耐震計算結果	－	－
Ⅴ-2-5-2	原子炉冷却材再循環設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-2-1	原子炉冷却材再循環系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-3	原子炉冷却材の循環設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-3-1	主蒸気系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-3-1-1	アキュムレータの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-3-2	復水給水系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-3-3	主蒸気隔離弁漏えい抑制系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-3-3-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-4	残留熱除去設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-4-1	残留熱除去系の耐震性についての計算書	－	－

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-5-4-1-1	残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース（Ss） b-1.一律1.5倍（Sd）
Ⅴ-2-5-4-1-2	残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-4-1-3	残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-4-1-5	ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-4-2	耐圧強化ベント系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-4-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-5-1	高圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-5-1-1	高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-1-2	高圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-1-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（高圧炉心スプレイ系）	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-2	低圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-5-2-1	低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-2-2	低圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-2-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（低圧炉心スプレイ系）	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-3	原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-5-3-1	原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-4	高圧代替注水系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-5-4-1	常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-4-2	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-5	低圧代替注水系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-5-5-1	常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書	常設低圧代替注水系ポンプ室	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-5-5-5-2	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		常設低圧代替注水系配管カルバート	d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-5-5-6	代替循環冷却系の耐震性についての計算書	－	－

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-5-5-6-1	代替循環冷却系ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-5-6-2	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-6	原子炉冷却材補給設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-6-1	原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-6-1-1	原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-6-1-2	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-6-1-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（原子炉隔離時冷却系）	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-7	原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-7-1	残留熱除去系海水系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-7-1-1	残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保（ZPA） d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保（FRS）
Ⅴ-2-5-7-1-2	残留熱除去系海水系ストレーナの耐震性についての計算書	取水構造物	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-5-7-1-3	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-7-2	緊急用海水系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-7-2-1	緊急用海水ポンプの耐震性についての計算書	緊急用海水ポンプピット	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-5-7-2-2	緊急用海水系ストレーナの耐震性についての計算書	緊急用海水ポンプピット	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-5-7-2-3	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-5-8	原子炉冷却材浄化設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-8-1	原子炉冷却材浄化系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6	計測制御系統施設の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-6-1	計測制御系統施設の耐震計算結果	－	－
Ⅴ-2-6-2	制御材の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-6-2-1	制御棒の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-3	制御材駆動装置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-6-3-1	制御棒駆動機構の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-3-2	制御棒駆動水圧系の耐震性についての計算書	－	－

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-6-3-2-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-3-2-2	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-4	ほう酸水注入設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-6-4-1	ほう酸水注入系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-6-4-1-1	ほう酸水注入ポンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-4-1-2	ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5	計測装置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-6-5-1	起動領域計装の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-2	出力領域計装の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-3	主蒸気流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-4	原子炉圧力容器温度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-5	高圧代替注水系系統流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-6	低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-7	低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-8	低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-9	低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-10	代替循環冷却系原子炉注水流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-11	代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-12	残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-13	残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-14	原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-15	高圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-16	低圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-17	残留熱除去系系統流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-18	原子炉圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-19	原子炉圧力（SA）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-20	原子炉水位の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-6-5-21	原子炉水位(広帯域)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-22	原子炉水位(燃料域)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-23	原子炉水位(SA広帯域)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-24	原子炉水位(SA燃料域)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-25	ドライウェル圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-26	サプレッション・チェンバ圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-27	サプレッション・プール水温度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-28	ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-29	サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-30	格納容器内水素濃度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-31	格納容器内水素濃度(SA)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-32	格納容器内酸素濃度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-33	格納容器内酸素濃度(SA)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-34	格納容器下部水温の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-35	代替淡水貯槽水位の耐震性についての計算書	常設低圧代替注水系ポンプ室	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-6-5-36	西側淡水貯水設備水位の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-6-5-37	低圧代替注水系格納容器スプレイ流量(常設ライン用)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-38	低圧代替注水系格納容器スプレイ流量(可搬ライン用)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-39	低圧代替注水系格納容器下部注水流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-40	代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-41	サプレッション・プール水位の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-42	格納容器下部水位の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-5-43	原子炉建屋水素濃度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-6	制御用空気設備の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-6-6-1	窒素供給系の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-6-2	非常用窒素供給系の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-6-6-3	非常用逃がし安全弁駆動系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-6-6-3-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7	その他の計測制御設備の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-6-7-1	計測制御設備の盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	所内電気操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	タービン補機盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	窒素置換－空調換気制御盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	非常用ガス処理系，非常用ガス循環系操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	タービン補機補助継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	緊急時炉心冷却系操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	原子炉補機操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	原子炉制御操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	プロセス放射線モニタ計装盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	出力領域モニタ計装盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	原子炉保護系継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	プロセス計装盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	残留熱除去系（B），（C）補助継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	原子炉隔離時冷却系継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	原子炉格納容器隔離系継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	高圧炉心スプレイ系継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	自動減圧系継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	低圧炉心スプレイ系，残留熱除去系（A）補助継電器盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	漏えい検出系操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	プロセス放射線モニタ，起動時領域モニタ操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	格納容器雰囲気監視系操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	サプレッション・プール温度記録計盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	原子炉保護系トリップユニット盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	緊急時炉心冷却系トリップユニット盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	高圧炉心スプレイ系トリップユニット盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	RCICタービン制御盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	原子炉遠隔停止操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	ほう酸水注入ポンプ操作盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	SA設備新設盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-6-7-1に含める）	安全パラメータ表示システム（SPDS)新設盤	原子炉建屋	b-1. 一律1.6倍
Ⅴ-2-6-7-2	衛星電話設備（固定型）の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-6-7-2-1	衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-6-7-2-2	屋外アンテナ（中央制御室）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-2-3	衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-2-4	衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-6-7-2-5	屋外アンテナ（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-2-6	衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-3	安全パラメータ表示システム（SPDS）SPDSデータ表示装置の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-4	安全パラメータ表示システム（SPDS）無線通信用アンテナの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-5	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-6	統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-7	LAN収容架（SA）の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-8	再循環系ポンプ遮断器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-9	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-10	格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-11	フィルタ装置入口水素濃度の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-12	静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-13	フィルタ装置水位の耐震性についての計算書	格納容器圧力逃がし装置格納槽	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-14	フィルタ装置圧力の耐震性についての計算書	格納容器圧力逃がし装置格納槽	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-15	フィルタ装置スクラビング水温度の耐震性についての計算書	格納容器圧力逃がし装置格納槽	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-16	残留熱除去系海水系系統流量の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-6-7-17	緊急用海水系流量(残留熱除去系熱交換器)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-18	緊急用海水系流量(残留熱除去系補機)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-19	常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-20	常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	常設低圧代替注水系ポンプ室	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-6-7-21	代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-22	原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-23	高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-24	低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-25	残留熱除去系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-26	非常用窒素供給系供給圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-27	非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-28	非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-6-7-29	非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-7	放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-7-1	放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算結果	—	—
Ⅴ-2-7-2	気体，液体又は固体廃棄物処理設備の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-7-2-1	液体廃棄物処理系の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-7-2-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-7-2-1-2	格納容器床ドレンサンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-7-2-2	液体廃棄物処理系(耐震Bクラス申請範囲)の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-7-2-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-7-2-3	固体廃棄物処理系(耐震Bクラス申請範囲)の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-7-2-3-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-7-2-4	主排気筒の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-7-2-5	非常用ガス処理系排気筒の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-8	放射線管理施設の耐震性についての計算書	—	—
Ⅴ-2-8-1	放射線管理施設の耐震計算結果	—	—
Ⅴ-2-8-2	放射線管理用計測装置の耐震性についての計算書	—	—

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-8-2-1	主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-2-2	格納容器雰囲気放射線モニタ(D／W) の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-8-2-3	格納容器雰囲気放射線モニタ(S／C) の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-2-4	原子炉建屋換気系(ダクト)放射線モニタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-2-5	フィルタ装置出口放射線モニタ (低レンジ)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-2-6	フィルタ装置出口放射線モニタ (高レンジ)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-2-7	耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-2-8	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(低レンジ)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-2-9	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(高レンジ)の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-3	換気設備の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-8-3-1	中央制御室換気系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-8-3-1-1	中央制御室換気系ダクトの耐震性について計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-3-1-2	中央制御室換気系空気調和機ファン，中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-3-1-3	中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-3-2	中央制御室待避室の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-8-3-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-3-2-2	中央制御室待避室差圧の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-3-3	緊急時対策所換気系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-8-3-3-1	緊急時対策所換気系ダクトの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-8-3-3-2	管の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-8-3-3-3	緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-8-3-3-4	緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-8-3-3-5	緊急時対策所用差圧の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-8-3-4	第二弁操作室の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-3-4-2	第二弁操作室差圧の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-8-4	生体遮蔽の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-8-4-1	二次遮蔽の耐震性についての計算書	―	―

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-8-4-2	中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-8-4-3	中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-8-4-4	緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-8-4-5	第二弁操作室遮蔽の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9	原子炉格納施設の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-1	原子炉格納施設の耐震計算結果	－	－
Ⅴ-2-9-2	原子炉格納容器の耐震についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-2-1	原子炉格納容器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-2	原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-2-3	上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-4	下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-5	原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-6	機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-7	所員用エアロックの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-8	サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース（SA） b-1.一律1.5倍（DB）
Ⅴ-2-9-2-9	配管貫通部の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-10	電気配線貫通部の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-2-11	サプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-3	原子炉建屋の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-3-2	原子炉建屋大物搬入口の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-3-3	原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-3-4	原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-4	圧力低減設備その他の安全設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-4-1	ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-9-4-3	原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-4-3-1	格納容器スプレイヘッダの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-9-4-3-2	代替格納容器スプレイ冷却系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-4-3-3	代替循環冷却系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-4-3-4	格納容器下部注水系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-4-3-4-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-4-3-5	ペデスタル排水系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-4-3-5-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-4-3-5-2	付属設備の耐震性の計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-5-1	原子炉建屋ガス処理系　非常用ガス再循環系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-5-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-1-2	非常用ガス再循環系排風機の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-1-3	非常用ガス再循環系フィルタトレインの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-2	原子炉建屋ガス処理系　非常用ガス処理系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-5-2-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-2-2	非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-2-3	非常用ガス処理系フィルタトレインの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-2-4	ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-9-5-3	可燃性ガス濃度制御系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-5-3-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-3-2	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-3-3	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-4	主蒸気隔離弁漏えい抑制系の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-9-5-4-1	低圧マニホールドの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-4-2	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-4-3	主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロアの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-5	水素濃度抑制系の耐震性についての計算書	―	―

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-9-5-5-1	静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-5-6	窒素ガス代替注入系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-5-6-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-6	原子炉格納容器調気設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-6-1	不活性ガス系の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-6-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-7	圧力逃がし装置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-7-1	格納容器圧力逃がし装置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-9-7-1-1	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-9-7-1-2	フィルタ装置の耐震性についての計算書	格納容器圧力逃がし装置格納槽	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-9-7-1-3	移送ポンプの耐震性についての計算書	格納容器圧力逃がし装置格納槽	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-10	その他発電用原子炉の附属施設の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1	非常用電源設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-1	非常用電源設備の耐震計算結果	－	－
Ⅴ-2-10-1-2	非常用ディーゼル発電装置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-2-1	非常用ディーゼル発電装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-2-2	非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-2-3	非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンクの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-2-4	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプの耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-2-5	軽油貯蔵タンクの耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-2-6	非常用ディーゼル発電機制御盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-2-7	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保（ZPA） d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保（FRS）
Ⅴ-2-10-1-2-8	非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの耐震性についての計算書	取水構造物	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-2-9	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-3	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-3-1	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-10-1-3-2	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-3-3	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイタンクの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-3-4	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプの耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-3-5	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機制御盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-3-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保（ZPA） d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保（FRS）
Ⅴ-2-10-1-3-7	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの耐震性についての計算書	取水構造物	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-3-8	管の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4	常設代替高圧電源装置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-4-1	常設代替高圧電源装置内燃機関の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-4-1-1	常設代替高圧電源装置内燃機関（No.1～No.5）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-1-2	常設代替高圧電源装置内燃機関（No.6）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-2	常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンクの耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-4-2-1	常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-2-2	常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-3	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプの耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-4	常設代替高圧電源装置発電機の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-4-4-1	常設代替高圧電源装置発電機（No.1～No.5）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-4-2	常設代替高圧電源装置発電機（No.6）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-5	常設代替高圧電源装置制御盤の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-4-5-1	常設代替高圧電源装置制御盤（No.1～No.5）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-5-2	常設代替高圧電源装置制御盤（No.6）の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-4-6	管の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-5	緊急時対策所用代替電源設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-1-5-1	緊急時対策所用発電機内燃機関の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-5-2	緊急時対策所用発電機燃料油サービスタンクの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-5-3	緊急時対策所用発電機給油ポンプの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保（構造強度評価） a. 基本ケース＋ばらつきケース（機能維持評価）

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-10-1-5-4	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンクの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-5-5	緊急時対策所用発電機の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保(構造強度評価) a. 基本ケース＋ばらつきケース(機能維持評価)
Ⅴ-2-10-1-5-6	緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保(構造強度評価) a. 基本ケース＋ばらつきケース(機能維持評価)
Ⅴ-2-10-1-6	その他の電源装置の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-1-6-1	非常用無停電電源装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-6-2	緊急用無停電電源装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-6-3	125V系蓄電池A系/B系の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-6-4	125V系蓄電池 HPCS系の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-6-5	中性子モニタ用蓄電池の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-6-6	緊急用125V系蓄電池の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-6-7	緊急時対策所用125V系蓄電池の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7	その他の非常用電源設備の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-1-7-1	メタルクラッド開閉装置の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-2	パワーセンタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-3	モータコントロールセンタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-4	動力変圧器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-5	緊急用断路器の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-6	緊急用メタルクラッド開閉装置の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-7	緊急用動力変圧器の耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-8	緊急用パワーセンタの耐震性についての計算書	常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-9	緊急用モータコントロールセンタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		常設代替高圧電源装置置場	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-10	緊急用計装交流主母線盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-11	緊急用電源切替盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-12	緊急用無停電計装分電盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-13	緊急用直流125V充電器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-14	緊急用直流125V主母線盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-10-1-7-15	緊急用直流125Vモータコントロールセンタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-16	緊急用直流125V計装分電盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-17	常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-18	緊急時対策所用メタルクラッド開閉装置の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-19	緊急時対策所用動力変圧器の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-20	緊急時対策所用パワーセンタの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-21	緊急時対策所用モータコントロールセンタの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-22	緊急時対策所用100V分電盤の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-23	緊急時対策所用直流125V主母線盤の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-24	緊急時対策所用直流125V分電盤の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-25	緊急時対策所用災害対策本部操作盤の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-26	緊急時対策所用非常用換気空調設備操作盤の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-27	可搬型代替低圧電源車接続盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-28	可搬型代替直流電源設備用電源切替盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-29	可搬型整流器用変圧器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-1-7-30	直流125V主母線盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-31	直流125Vモータコントロールセンタの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-32	非常用無停電計装分電盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-33	直流125V主母線盤HPCSの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-1-7-34	直流±24V中性子モニタ用分電盤の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-2	浸水防護施設の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-2-1	浸水防護施設の耐震計算結果	―	―
Ⅴ-2-10-2-2	防潮堤及び防潮扉の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-2-2-2	防潮扉の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-2-3	放水路ゲートの耐震性についての計算書	―	―

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-10-2-4	構内排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-5	浸水防止蓋の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-5-1	取水路点検用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-2	放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書	防潮堤（放水路エリア）	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-3	SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書	SA用海水ピット	d.保守側に包絡できるよう余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-4	緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書	緊急用海水ポンプピット	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-5	緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書	緊急用海水ポンプピット	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-6	緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書	緊急用海水ポンプピット	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-7	格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの耐震性についての計算書	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-8	常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの耐震性についての計算書	常設低圧代替注水系ポンプ室	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-9	常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの耐震性についての計算書	代替淡水貯槽	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-5-10	海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-6	逆止弁の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-6-1	海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-6-2	取水ピット空気抜き配管逆止弁の耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-6-3	緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書	緊急用海水ポンプピット	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-6-4	緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書	緊急用海水ポンプピット	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-7	貫通部止水処置の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-7-1	貫通部止水処置（外郭防護）の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-7-2	貫通部止水処置（内郭防護）の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-8	水密扉の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-8-1	水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-10-2-8-2	水密扉（溢水防護設備）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-10-2-9	津波監視設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-10-2-9-1	津波・構内監視カメラの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		防潮堤	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
		緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-9-2	潮位計の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
		取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-9-3	取水ピット水位計の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-2-10	溢水拡大防止堰及び止水板の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-10-2-11	管理区域外伝播防止堰の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-10-3	補機駆動用燃料設備の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-3-1	補機駆動用燃料設備の耐震計算結果	―	―
Ⅴ-2-10-3-2	可搬型設備用軽油タンクの耐震性についての計算書	可搬型設備用軽油タンク基礎	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-10-4	非常用取水設備の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-4-1	非常用取水設備の耐震計算結果	―	―
Ⅴ-2-10-4-2	SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-4-3	海水引込み管の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-4-4	貯留堰の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-4-4-1	貯留堰の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-4-4-2	貯留堰取付護岸の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-4-5	緊急用海水取水管の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-10-5	緊急時対策所の耐震性に関する説明書	―	―
Ⅴ-2-10-5-1	緊急時対策所の耐震計算結果	―	―
Ⅴ-2-11	波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-11-1	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針	―	―
Ⅴ-2-11-2	波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書	―	―
Ⅴ-2-11-2-1	燃料取替機の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-11-2-2	原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書	原子炉建屋	― （時刻歴応答解析の適用）
Ⅴ-2-11-2-3	使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの耐震性についての計算書	使用済燃料乾式貯蔵建屋	― （時刻歴応答解析の適用）
Ⅴ-2-11-2-4	チャンネル着脱機の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-11-2-5	原子炉遮蔽壁の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-11-2-6	原子炉ウエル遮蔽ブロックの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-11-2-7	制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-11-2-8	制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-11-2-9	ウォータレグシールライン（残留熱除去系，高圧炉心スプレイ系及び低圧炉心スプレイ系）の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-11-2-10	格納容器機器ドレンサンプの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-11-2-11	海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-11-2-12	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-11-2-13	タービン建屋の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-11-2-14	サービス建屋の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-11-2-15	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-11-2-16	土留鋼管矢板の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-11-2-17	耐火障壁の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-11-2-18	原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-12	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	－	－
Ⅴ-2-別添1	火災防護設備の耐震性についての計算書	－	－
Ⅴ-2-別添1-1	火災防護設備の耐震計算の方針	－	－
Ⅴ-2-別添1-2	火災感知器の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-3	火災受信機盤の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-4	ハロンボンベ設備の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-5	ハロンガス供給選択弁の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-6	ハロン消火設備制御盤の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-7	二酸化炭素ボンベ設備の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-8	二酸化炭素供給選択弁の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-9	二酸化炭素消火設備制御盤の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-10	ガス供給配管の耐震計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添1-11	火災防護設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価	－	－
Ⅴ-2-別添2	溢水防護に係る施設の耐震性に関する説明書	－	－
Ⅴ-2-別添2-1	溢水防護に係る施設の耐震性についての計算書の方針	－	－
Ⅴ-2-別添2-2	溢水源としない耐震B，Cクラス機器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
		取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
Ⅴ-2-別添2-3	溢水防護に関する施設の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	―	―
Ⅴ-2-別添2-4	循環水系隔離システムに係る設備の耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保
Ⅴ-2-別添2-5	防護カバーの耐震性についての計算書	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添3	可搬型重大事故等対処設備等の耐震性に関する説明書	―	―
Ⅴ-2-別添3-1	可搬型重大事故等対処設備の耐震計算方針	―	―
Ⅴ-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所における入力地震動	―	―
（Ⅴ-2-別添3-2に含める）	可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側）	―	―
（Ⅴ-2-別添3-2に含める）	可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）	―	―
Ⅴ-2-別添3-3	可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の耐震性についての計算書	―	―
（Ⅴ-2-別添3-3に含める）	可搬型代替注水大型ポンプ	可搬型重大事故等対処設備置場	e. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-3に含める）	可搬型代替注水中型ポンプ	可搬型重大事故等対処設備置場	e. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-3に含める）	窒素供給装置	可搬型重大事故等対処設備置場	e. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-3に含める）	可搬型代替低圧電源車	可搬型重大事故等対処設備置場	e. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-3に含める）	タンクローリ	可搬型重大事故等対処設備置場	e. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-3に含める）	窒素供給装置用電源車	可搬型重大事故等対処設備置場	e. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-別添3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の耐震性についての計算書	―	―
（Ⅴ-2-別添3-4に含める）	非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-別添3-4に含める）	非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-別添3-4に含める）	中央制御室待避室空気ボンベユニット	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
（Ⅴ-2-別添3-4に含める）	緊急時対策所加圧設備	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保
（Ⅴ-2-別添3-4に含める）	第二弁操作室空気ボンベユニット	原子炉建屋	b-1. 一律1.5倍
Ⅴ-2-別添3-5	可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震性についての計算書	―	―
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	衛星電話設備（可搬型）（待避室）	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	データ表示装置	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
		緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	データ表示装置(待避室)	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	酸素濃度計	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
		緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	二酸化炭素濃度計	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
		緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型照明（SA）	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
		緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	衛星電話設備（携帯型）	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	無線連絡設備（携帯型）	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	携行型有線通話装置	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
		緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型計測器	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
		緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	緊急時対策所エリアモニタ	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型モニタリング・ポスト	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型モニタリング・ポスト端末	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	β線サーベイ・メータ	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	NaIシンチレーションサーベイ・メータ	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	ZnSシンチレーションサーベイ・メータ	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	電離箱サーベイ・メータ	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型ダスト・よう素サンプラ	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	小型船舶	可搬型重大事故等対処設備保管場所	e. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型気象観測設備	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型気象観測設備端末	緊急時対策所建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	可搬型整流器	可搬型重大事故等対処設備保管場所	e. 基本ケース＋ばらつきケース
（Ⅴ-2-別添3-5に含める）	逃がし安全弁用可搬型蓄電池	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース
Ⅴ-2-別添3-6	可搬型重大事故等対処設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	－	－

表2 異なる設備評価用床応答曲線を適用している計算書

目録番号	目録名称	設備を設置する施設名称	設備評価用床応答曲線の適用ケース	適用ケースが異なる理由
V-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	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース（Ss） b-1.一律1.5倍（Sd）	Ssによる評価において耐震裕度を確保する観点から「a. 基本ケース＋ばらつきケース」を適用した。
V-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	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース（Ss） b-1.一律1.5倍（Sd）	
V-2-5-4-1-1	残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース（Ss） b-1.一律1.5倍（Sd）	
V-2-5-7-1-1	残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保（ZPA） d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保（FRS）	「c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保」による最大応答加速度（ZPA）が「d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保」を上回ったため「c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保」による最大応答加速度を適用した。
V-2-10-1-2-7	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保（ZPA） d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保（FRS）	
V-2-10-1-3-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	取水構造物	c. 応答スペクトルの震度に余裕を確保（ZPA） d. 保守側に包絡できるよう余裕を確保（FRS）	
V-2-9-2-8	サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	原子炉建屋	a. 基本ケース＋ばらつきケース（SA） b-1.一律1.5倍（DB）	SA時による評価において耐震裕度を確保する観点から「a. 基本ケース＋ばらつきケース」を適用した。
V-2-10-1-5-3	緊急時対策所用発電機給油ポンプの耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保（構造強度評価） a. 基本ケース＋ばらつきケース（機能維持評価）	動的機能維持評価において耐震裕度を確保する観点から「a. 基本ケース＋ばらつきケース」を適用した。
V-2-10-1-5-5	緊急時対策所用発電機の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保（構造強度評価） a. 基本ケース＋ばらつきケース（機能維持評価）	
V-2-10-1-5-6	緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての計算書	緊急時対策所建屋	b-2. 保守側に包絡できるように余裕を確保（構造強度評価） a. 基本ケース＋ばらつきケース（機能維持評価）	

3.　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ばらつきの考慮について

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ばらつきによる影響を考慮している。

建屋－機器連成解析モデルを用いる地震応答解析は，時刻歴応答解析を用いるため材料物性のばらつきを考慮として，±10%拡幅効果を考慮されないため，その対応を以下に示す。

2. 建屋－機器連成解析における材料物性のばらつきの考慮について

建屋－機器連成解析における材料物性のばらつきの考慮は，材料物性のばらつきを考慮した建屋－機器連成解析の結果を踏まえる。具体的には，「Ⅴ-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ばらつきを考慮した地震応答解析ケース（以下「ばらつきケース」という。）について，同じ条件による原子炉建屋地震応答解析モデルとした機器との連成解析を行い，その応答解析結果に対する基本ケースの応答増幅を考慮する。

表 2 に基本ケース及びばらつきケースにおけるモデル諸元を示す。

表 2　基本ケース及びばらつきケースにおけるモデル諸元

	モデル名称	建屋剛性		地盤物性
		コンクリート強度	補助壁	地盤のせん断波速度
基本ケース	工認基本モデル	設計基準強度	非考慮	標準地盤
地盤物性の変動による影響	地盤物性＋σ考慮モデル	設計基準強度	非考慮	標準地盤＋σ相当
	地盤物性－σ考慮モデル			標準地盤－σ相当
建屋剛性の変動による影響	建屋剛性考慮モデル	実強度	考慮	標準地盤

2.1 ばらつきケースの地震応答解析結果

建屋－機器連成解析モデルを用いた地震応答解析について，基本ケースにおける各地震応答の最大値とばらつきケースにおける各地震応答の最大値を整理するとともに，その最大値の比率を表 2－1～表 2－9 に示す。

検討に用いた地震動は，基本ケースについては，全ての基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dを用いる。また，ばらつきケースについては，基本ケースの各質点で地震力が最大となる地震動として，S_s－２１，S_s－２２及びS_s－３１に加えて，原子炉建屋側での検討に用いる地震動としてS_s－Ｄ１を適用する。地震力が最大となる地震動を整理した結果を表 2－10 に示す。

最大値の比率について，構造物ごとに纏めた結果を表 2－11～表 2－13 に示す。

表 2－11　建屋－機器連成解析結果における地震力の応答比率

構造物	応答比率の最大値 （ばらつきケース／基本ケース）					
	S_s			S_d		
	せん断力	モーメント	軸力	せん断力	モーメント	軸力
原子炉格納容器	1.16	1.41*1 (1.96)	1.16	1.10	1.15	1.12
原子炉遮蔽及び 原子炉本体の基礎	1.30	1.37	1.14	1.15	1.16	1.11
原子炉圧力容器	1.32	1.34	1.14	1.21	1.17	1.10
気水分離器及び 炉心シュラウド	1.36	1.36	1.15	1.21	1.20	1.11
燃料集合体	1.33	1.29	1.10	1.18	1.17	1.06
制御棒案内管	1.33	1.24	1.10	1.16	1.14	1.07
制御棒駆動機構 ハウジング	1.25	1.25	1.14	1.15	1.14	1.10

＊1　耐震計算に用いる質点における応答比率の最大値。() の値は，耐震計算に用いない質点も考慮した場合における応答比率の最大値。

表 2－12　建屋－機器連成解析結果における地震力の応答比率

構造物	応答比率の最大値 （ばらつきケース／基本ケース）	
	ばね反力	
	S_s	S_d
ドライウェル上部シアラグ	1.20	1.19
ドライウェル下部シアラグ	1.19	1.20
格納容器スタビライザ	1.20	1.18
原子炉圧力容器スタビライザ	1.23	1.23
制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	1.22	1.19
ダイヤフラムフロア	1.26	1.22

表 2－13　建屋－機器連成解析結果における地震力の応答比率

構造物	応答比率の最大値 （ばらつきケース／基本ケース）
	相対変位
燃料集合体	1.32

2.2 材料物性のばらつきを踏まえた耐震評価条件の設定

2.1 項のばらつきケースの地震応答解析結果を踏まえて，耐震計算に用いる材料物性のばらつきを考慮した耐震評価条件の設定方法について示す。耐震計算は，①に示す「地震力への一律な係数を考慮した設定」にて設定した地震力を用いて行うが，裕度が確保できない場合については，②に示す「ばらつきケースの地震応答解析結果を踏まえた耐震評価条件の設定」にて設定した地震力を用いて耐震計算を行う。

① 地震力への一律な係数を考慮した設定

ばらつきケースの地震応答解析結果における基本ケースの地震応答解析結果の応答比率を踏まえて，「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び格納容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示す基本ケースの建屋－機器連成解析による地震応答解析結果に対して，係数 1.5 を乗じた地震力を材料物性のばらつきを踏まえた耐震評価条件として設定する。なお，一律の倍率 1.5 に包含されない質点番号 14 は，当該応答を用いた耐震計算を実施しないため，倍率の設定に考慮しない。

各構造物における材料物性のばらつき考慮として基本ケースに乗じる係数を表 2－14 に示すとともに，各係数を乗じた地震力を別表 1～別表 8 に示す。

表 2－14　地盤物性等へのばらつき考慮として基本ケースに乗じる係数

構造物	基本ケースに 乗じる係数
原子炉格納容器	1.5
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	
原子炉圧力容器	
気水分離器及び炉心シュラウド	
燃料集合体	
制御棒案内管	
制御棒駆動機構ハウジング	
原子炉格納容器	
ドライウェル上部シアラグ	
ドライウェル下部シアラグ	
格納容器スタビライザ	
原子炉圧力容器スタビライザ	
制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	
ダイヤフラムフロア	

② ばらつきケースの地震応答解析結果を踏まえた耐震評価条件の設定

ばらつきケースによる建屋－機器地震応答解析結果を表 2－1～表 2－3 に示している。地盤物性等のばらつきを考慮した耐震評価条件として，表 2－1～表 2－3 を適用する。

表2－1（1）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（せん断力）

構造物	質点番号	標高 EL（m）	せん断力(kN)				
			基本ケース（8波包絡）	地盤物性＋σ考慮モデル	地盤物性－σ考慮モデル	建屋剛性考慮モデル	比率 ばらつきケース/基本ケース
原子炉格納容器	14	44.173	—	—	—	—	—
	15	41.765	172	199	167	131	1.16
	16	39.431	581	657	564	452	1.14
	17	38.522	1670	1830	1640	1520	1.10
	18	36.431	1790	1950	1750	1610	1.09
	19	33.431	1990	2170	1950	1790	1.10
	20	30.431	12200	13900	11700	5480	1.14
	21	27.432	12400	14100	11900	5690	1.14
	22	24.422	12700	14400	12200	5990	1.14
	23	21.420	13300	15200	12700	6540	1.15
	24	18.420	13900	15800	13300	7040	1.14
	25	16.319	14400	16400	13800	7510	1.14
	26	13.523	15200	17200	14500	8180	1.14
	27	12.344	12200	13200	13100	7130	1.09
	28	11.191	12700	13700	13600	7520	1.08
	29	8.164	12900	14000	13800	7750	1.09
	30	5.141	13300	14400	14100	8060	1.09
	31	3.787	13600	14800	14400	8390	1.09
	32	-0.013	13900	15100	14700	8710	1.09
	211	-4.000	26500	29000	26200	22000	1.10
			—	—	—	—	—
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	34	34.643	—	—	—	—	—
	35	31.432	6840	8250	5630	6450	1.21
	36	28.308	4840	5850	3720	4410	1.21
	37	25.212	2380	2870	1810	2190	1.21
	38	20.061	1770	2300	1310	809	1.30
	39	19.856	6170	6650	5730	4450	1.08
	40	17.142	11800	12700	11200	9410	1.08
	41	16.624	12100	13100	11500	9690	1.09
	42	13.198	17800	19100	16700	15100	1.08
	43	11.671	11000	11500	11400	8040	1.05
	44	8.395	13700	14100	13900	10700	1.03
	45	2.189	17000	17500	17100	14100	1.03
	46	-2.167	20500	21200	20500	17800	1.04
	211	-4.000	22200	23100	22000	19500	1.05
			—	—	—	—	—

表2－1（2）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（せん断力）

構造物	質点番号	標高 EL（m）	せん断力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉圧力容器	48	42.628	―	―	―	―	―
	49	41.322	130	163	110	109	1.26
	50	40.015	409	514	353	350	1.26
	51	39.215	857	1080	756	746	1.27
	52	38.301	964	1220	762	592	1.27
	53	36.421	1480	1860	1230	1060	1.26
	54	35.723	2240	2800	1950	1800	1.25
	55	34.656	2460	3070	2160	2010	1.25
	56	33.132	4810	5740	4790	5190	1.20
	57	31.535	4310	5110	4210	4590	1.19
	58	30.560	3850	4530	3710	4080	1.18
	59	29.503	3900	4600	3310	3670	1.18
	60	28.845	4010	4750	3250	3690	1.19
	61	28.188	4160	5280	3280	3830	1.27
	62	27.531	4480	5740	3290	3950	1.29
	63	26.874	4750	6120	3400	4030	1.29
	64	26.217	4960	6430	3480	4080	1.30
	65	25.147	5160	6730	3570	4190	1.31
	66	24.596	5250	6870	3620	4230	1.31
	67	23.632	5280	6940	3650	4240	1.32
	68	23.378	5260	6930	3630	4210	1.32
	69	22.095	4270	5470	4030	3560	1.29
	70	19.856	5560	6570	5390	4910	1.19
	71	22.095	1510	1870	1150	1170	1.24
	72	21.587	1270	1580	964	963	1.25
	73	20.979	758	944	573	541	1.25
	74	20.292	―	―	―	―	―
気水分離器及びシュラウド炉心	75	35.723	―	―	―	―	―
	76	34.656	396	535	287	309	1.36
	77	33.132	1630	2190	1180	1290	1.35
	78	31.535	2310	3100	1680	1840	1.35
	79	30.560	2620	3530	1930	2100	1.35
	80	29.503	3620	4850	2680	2930	1.34
	81	28.845	5370	7040	3780	4590	1.32
	82	28.188	5670	7480	4040	4850	1.32
	83	27.531	5930	7860	4320	5080	1.33
	84	26.874	6270	8280	4590	5280	1.33
	85	26.217	6580	8700	4860	5440	1.33
	86	25.559	6890	9110	5110	5630	1.33
	87	25.147	7930	10400	5660	7030	1.32
	88	24.596	8030	10500	5730	7120	1.31
	89	23.632	8080	10600	5770	7180	1.32
	90	23.378	8070	10600	5760	7180	1.32
			―	―	―	―	―

表2－1（3）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（せん断力）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	せん断力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
燃料集合体	96	29.503	—	—	—	—	—
	97	28.845	1330	1510	1060	1150	1.14
	98	28.188	962	1260	728	792	1.31
	99	27.531	413	546	298	329	1.33
	100	26.874	329	383	257	280	1.17
	101	26.217	936	1230	727	791	1.32
	102	25.559	1340	1710	1060	1150	1.28
制御棒案内管	103	25.559	230	282	177	157	1.23
	104	24.596	89.9	115	68.4	55.3	1.28
	105	23.632	11.0	14.6	8.05	9.6	1.33
	106	23.378	120	146	92.1	79.3	1.22
	107	22.095	304	378	232	203	1.25
	108	21.587	—	—	—	—	—
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	109	21.587	—	—	—	—	—
	110	20.979	637	792	480	442	1.25
	111	20.292	688	855	519	482	1.25
	112	19.344	76.1	94.0	62.0	60	1.24
	113	18.610	23.0	28.6	18.6	18	1.25
	114	17.876	17.4	21.4	15.2	15.1	1.23
	115	17.142	56.5	69.6	47.6	46.4	1.24
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	91	20.979	68.9	84.6	57.4	54.8	1.23
	92	19.344	15.2	18.7	12.5	12.1	1.24
	93	18.610	25.6	31.3	21.7	20.8	1.23
	94	17.876	64.9	79.5	54.8	52	1.23
	95	17.142	—	—	—	—	—

表2－2（1） 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（モーメント）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉格納容器	14	44.173	51.1	99.7	45.2	27.6	1.96
	15	41.765	598	842	564	387	1.41
	16	39.431	2120	2630	2020	1490	1.25
	17	38.522	3680	4250	3530	2870	1.16
	18	36.431	7520	8470	7280	6270	1.13
	19	33.431	13700	15300	13300	11700	1.12
	20	30.431	49400	57100	47900	27800	1.16
	21	27.432	86000	99600	83400	45000	1.16
	22	24.422	125000	143000	120000	63300	1.15
	23	21.420	164000	189000	158000	83200	1.16
	24	18.420	205000	235000	197000	105000	1.15
	25	16.319	235000	269000	225000	121000	1.15
	26	13.523	277000	316000	265000	144000	1.15
	27	12.344	291000	329000	279000	152000	1.14
	28	11.191	305000	342000	293000	161000	1.13
	29	8.164	345000	385000	334000	185000	1.12
	30	5.141	385000	428000	377000	210000	1.12
	31	3.787	404000	449000	397000	221000	1.12
	32	-0.013	465000	515000	465000	264000	1.11
	211	-4.000	566000	629000	561000	347000	1.12
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34	34.643	92.7	113	67.2	52.1	1.22
	35	31.432	22100	26700	18100	20700	1.21
	36	28.308	37200	45000	29400	34400	1.21
	37	25.212	44600	53800	34300	41000	1.21
	38	20.061	46900	56500	35900	43600	1.21
	39	19.856	58500	71900	43000	46700	1.23
	40	17.142	53500	73100	38200	30800	1.37
	41	16.624	57400	77900	41700	29400	1.36
	42	13.198	94000	108000	90600	52700	1.15
	43	11.671	110000	122000	107000	62400	1.11
	44	8.395	152000	166000	149000	96400	1.10
	45	2.189	251000	270000	246000	182000	1.08
	46	-2.167	340000	363000	334000	258000	1.07
	211	-4.000	380000	405000	374000	294000	1.07

表2－2（2）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（モーメント）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉圧力容器	48	42.628	0	0	0	0	—
	49	41.322	169	213	143	142	1.27
	50	40.015	704	883	604	599	1.26
	51	39.215	1390	1750	1210	1200	1.26
	52	38.301	2270	2850	1890	1740	1.26
	53	36.421	5050	6340	4190	3730	1.26
	54	35.723	6610	8300	5550	4980	1.26
	55	34.656	9220	11600	7860	7130	1.26
	56	33.132	7330	9620	5220	3360	1.32
	57	31.535	10400	12400	7790	8860	1.20
	58	30.560	14100	16700	11400	12700	1.19
	59	29.503	17900	21100	14900	16500	1.18
	60	28.845	20100	23700	16900	18700	1.18
	61	28.188	22700	26100	18700	20700	1.15
	62	27.531	25300	28700	20400	22500	1.14
	63	26.874	28000	31800	22500	24200	1.14
	64	26.217	30600	35900	24600	26700	1.18
	65	25.147	34700	43100	27900	31000	1.25
	66	24.596	37200	46900	29500	33200	1.27
	67	23.632	42300	53600	32300	37100	1.27
	68	23.378	43600	55400	32900	38100	1.28
	69	22.095	25600	34300	17400	18900	1.34
	70	19.856	35100	46800	25000	20600	1.34
	71	22.095	1310	1610	997	1030	1.23
	72	21.587	543	666	445	431	1.23
	73	20.979	311	402	237	202	1.30
	74	20.292	829	1030	625	573	1.25
気水分離器及びシュラウド	75	35.723	0	0	0	0	—
	76	34.656	422	571	306	329	1.36
	77	33.132	2900	3900	2110	2290	1.35
	78	31.535	6580	8840	4780	5220	1.35
	79	30.560	9130	12300	6650	7270	1.35
	80	29.503	13000	17400	9470	10400	1.34
	81	28.845	16000	21600	11900	13000	1.35
	82	28.188	19400	26100	14500	15700	1.35
	83	27.531	23100	31100	17300	18800	1.35
	84	26.874	27000	36400	20300	22100	1.35
	85	26.217	31200	42000	23500	25700	1.35
	86	25.559	35700	47900	26800	29400	1.35
	87	25.147	38800	51700	29000	32300	1.34
	88	24.596	43000	57100	32000	36200	1.33
	89	23.632	50700	67300	37400	43100	1.33
	90	23.378	52700	70000	38800	45000	1.33

表2－2（3）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（モーメント）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
燃料集合体	96	29.503	0	0	0	0	—
	97	28.845	874	995	694	752	1.14
	98	28.188	1490	1820	1180	1280	1.23
	99	27.531	1710	2180	1350	1460	1.28
	100	26.874	1500	1930	1180	1280	1.29
	101	26.217	882	1130	698	756	1.29
	102	25.559	0	0	0	0	—
制御棒案内管	103	25.559	0	0	0	0	—
	104	24.596	221	272	170	152	1.24
	105	23.632	307	378	236	205	1.24
	106	23.378	307	379	235	205	1.24
	107	22.095	155	192	118	103	1.24
	108	21.587	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	109	21.587	0	0	0	0	—
	110	20.979	387	482	292	269	1.25
	111	20.292	859	1070	648	599	1.25
	112	19.344	37.4	45.9	32.8	32.9	1.23
	113	18.610	54.2	66.8	46.0	45.1	1.24
	114	17.876	41.5	51.1	34.9	34.1	1.24
	115	17.142	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	91	20.979	57.6	70.7	46.8	45.5	1.23
	92	19.344	55.2	67.6	47.0	45.3	1.23
	93	18.610	66.3	81.3	56.1	53.4	1.23
	94	17.876	47.6	58.3	40.3	38.2	1.23
	95	17.142	0	0	0	0	—

表2－3（1）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（評価用軸力）

構築物	質点番号	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉格納容器	79	44.173	—	—	—	—	—
	80	41.765	116	134	103	127	1.16
	81	39.431	407	467	360	443	1.15
	82	38.522	824	947	730	894	1.15
	83	36.431	914	1050	809	991	1.15
	84	33.431	1080	1240	956	1170	1.15
	85	30.431	1390	1590	1230	1480	1.15
	86	27.432	1600	1830	1410	1690	1.15
	87	24.422	1890	2160	1670	1980	1.15
	88	21.420	2440	2780	2160	2560	1.14
	89	18.420	2940	3340	2600	3090	1.14
	90	16.319	3420	3870	3020	3590	1.14
	91	13.523	4100	4620	3620	4300	1.13
	92	12.344	4350	4890	3840	4560	1.13
	93	11.191	4770	5360	4210	5000	1.13
	94	8.164	5010	5630	4430	5260	1.13
	95	5.141	5350	6000	4730	5600	1.13
	96	3.787	5720	6400	5050	5980	1.12
	97	-0.013	6030	6740	5330	6300	1.12
	108	-4.000	6410	7150	5670	6680	1.12
			—	—	—	—	—
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	66	34.643	—	—	—	—	—
	67	31.432	952	1080	868	843	1.14
	68	28.308	2850	3220	2600	2520	1.13
	69	25.212	5010	5660	4560	4420	1.13
	70	20.061	6610	7470	6020	5830	1.14
	71	19.856	11500	13000	10400	10200	1.14
	72	17.142	24000	27200	21900	21400	1.14
	73	16.624	24000	27200	21900	21400	1.14
	74	13.198	29300	33200	26700	26200	1.14
	75	11.671	32200	36500	29400	29000	1.14
	76	8.395	34500	39100	31600	31200	1.14
	77	2.189	37300	42300	34100	34100	1.14
	78	-2.167	40400	45100	36900	37200	1.12
	108	-4.000	42000	46300	38300	38600	1.11
			—	—	—	—	—

表2－3（2）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（評価用軸力）

構築物	質点番号	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉圧力容器	42	42.628	―	―	―	―	―
	43	41.322	83.9	94.8	76.4	75.2	1.13
	44	40.015	312	352	284	279	1.13
	45	39.215	767	867	699	688	1.14
	46	38.301	1110	1250	1010	989	1.13
	47	36.421	1600	1800	1450	1430	1.13
	48	35.723	2030	2290	1850	1820	1.13
	49	34.656	2650	3000	2420	2380	1.14
	50	33.132	2970	3360	2710	2660	1.14
	51	31.535	3360	3790	3060	3010	1.13
	52	30.560	3640	4110	3310	3260	1.13
	53	29.503	3850	4350	3500	3440	1.13
	54	28.845	4030	4560	3680	3610	1.14
	55	28.188	4170	4710	3800	3730	1.13
	56	27.531	4310	4870	3930	3860	1.13
	57	26.874	4460	5040	4060	3990	1.14
	58	26.217	4590	5200	4190	4110	1.14
	59	25.147	4770	5400	4350	4270	1.14
	60	24.596	4990	5640	4540	4460	1.14
	61	23.632	5190	5870	4730	4640	1.14
	62	23.378	5590	6330	5100	5000	1.14
	63	22.095	6010	6800	5470	5370	1.14
	64	19.856	12300	14000	11300	11000	1.14
	63	22.095	5900	6700	5400	5310	1.14
	65	21.587	5900	6700	5400	5310	1.14
	301	21.245	5900	6700	5390	5310	1.14
	19	20.979	3210	3600	2910	2870	1.13
	14	20.292	―	―	―	―	―
気水分離器及びシュラウド	24	35.723	―	―	―	―	―
	25	34.656	40.1	44.5	36.0	37.6	1.11
	26	33.132	247	275	222	232	1.12
	27	31.535	409	455	368	384	1.12
	28	30.560	673	750	606	631	1.12
	29	29.503	1110	1260	1010	1030	1.14
	30	28.845	1230	1410	1130	1140	1.15
	31	28.188	1270	1440	1160	1170	1.14
	32	27.531	1300	1480	1190	1200	1.14
	33	26.874	1330	1520	1220	1230	1.15
	34	26.217	1370	1560	1250	1260	1.14
	35	25.559	1400	1600	1280	1290	1.15
	36	25.147	1630	1860	1490	1490	1.15
	37	24.596	1800	2060	1650	1640	1.15
	38	23.632	1840	2100	1680	1670	1.15
	39	23.378	1900	2170	1740	1730	1.15
	40	23.109	1940	2210	1770	1760	1.14
	41	21.546	1970	2250	1800	1790	1.15
			―	―	―	―	―

表2－3（3）　基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（評価用軸力）

構築物	質点番号	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
燃料集合体	1	29.503	―	―	―	―	―
	2	28.845	149	163	132	134	1.10
	3	28.188	447	488	396	401	1.10
	4	27.531	744	813	660	667	1.10
	5	26.874	1040	1140	923	932	1.10
	6	26.217	1340	1470	1190	1200	1.10
	7	25.559	1630	1790	1450	1460	1.10
制御棒案内管	7	25.559	1940	2140	1740	1740	1.11
	8	24.596	1990	2190	1780	1790	1.11
	9	23.632	2010	2220	1800	1810	1.11
	10	23.378	2040	2250	1830	1830	1.11
	11	22.095	2080	2300	1860	1870	1.11
	12	21.587	―	―	―	―	―
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	12	21.587	―	―	―	―	―
	13	20.979	2130	2350	1900	1910	1.11
	14	20.292	2380	2640	2140	2130	1.11
	15	19.344	356	404	325	314	1.14
	16	18.610	326	370	297	288	1.14
	17	17.876	300	340	273	264	1.14
	18	17.142	206	234	188	182	1.14
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	19	20.979	379	429	345	334	1.14
	20	19.344	337	381	307	297	1.14
	21	18.610	310	352	283	274	1.14
	22	17.876	166	188	151	146	1.14
	23	17.142	―	―	―	―	―

表2－4 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（ばね反力）

構造物	記号	ばね反力（kN）				
		基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
ドライウェル 上部シアラグ	K_9	13000	15500	9760	12300	1.20
ドライウェル 下部シアラグ	K_{10}	15900	18800	12600	12700	1.19
ＰＣＶ スタビライザ	K_6	14400	17200	13700	15000	1.20
ＲＰＶ スタビライザ	K_4	7090	8720	7060	7520	1.23
ＣＲＤハウジング レストレントビーム	K_3	356	434	301	292	1.22
ダイヤフラムフロア	K_7	12400	15600	9540	10900	1.26

表2－5 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（相対変位）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	相対変位（mm）				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース ／基本ケース
燃料集合体	97	28.845	5.6	6.9	4.4	4.8	1.29
	98	28.188	9.7	12.0	7.7	8.3	1.29
	99	27.531	11.2	14.0	8.8	9.6	1.30
	100	26.874	9.7	12.2	7.7	8.3	1.31
	101	26.217	5.6	7.1	4.5	4.8	1.32

表2－6（1）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（せん断力）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	せん断力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉格納容器	14	44.173	—	—	—	—	—
	15	41.765	78.8	86.0	74.5	71.1	1.10
	16	39.431	272	295	257	246	1.09
	17	38.522	893	970	836	837	1.09
	18	36.431	950	1040	891	890	1.10
	19	33.431	1060	1150	992	986	1.09
	20	30.431	5130	5390	4910	3040	1.06
	21	27.432	5260	5530	5030	3160	1.06
	22	24.422	5440	5720	5200	3320	1.06
	23	21.420	5770	6060	5520	3640	1.06
	24	18.420	6060	6370	5800	3920	1.06
	25	16.319	6340	6660	6060	4180	1.06
	26	13.523	6730	7060	6440	4560	1.05
	27	12.344	6950	7330	6620	3730	1.06
	28	11.191	7200	7580	6850	3950	1.06
	29	8.164	7350	7720	6980	4090	1.06
	30	5.141	7540	7920	7160	4270	1.06
	31	3.787	7760	8140	7350	4480	1.05
	32	-0.013	7950	8330	7520	4660	1.05
	211	-4.000	15500	16400	14100	12100	1.06
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	34	34.643	—	—	—	—	—
	35	31.432	4090	4650	3330	3630	1.14
	36	28.308	2890	3300	2350	2480	1.15
	37	25.212	1420	1620	1160	1210	1.15
	38	20.061	986	1090	878	512	1.11
	39	19.856	3260	3710	2960	2560	1.14
	40	17.142	6130	6750	5850	5310	1.11
	41	16.624	6310	6930	6020	5470	1.10
	42	13.198	9630	10500	9080	8550	1.10
	43	11.671	6350	6610	6000	4410	1.05
	44	8.395	7930	8270	7440	5880	1.05
	45	2.189	9880	10400	9210	7740	1.06
	46	-2.167	11900	12500	11100	9760	1.06
	211	-4.000	12900	13600	11900	10800	1.06
			—	—	—	—	—

表2－6（2）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（せん断力）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	せん断力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉圧力容器	48	42.628	—	—	—	—	—
	49	41.322	78.7	88.4	68.0	64.6	1.13
	50	40.015	249	280	215	208	1.13
	51	39.215	521	586	449	442	1.13
	52	38.301	580	649	506	357	1.12
	53	36.421	892	1000	774	632	1.13
	54	35.723	1360	1520	1170	1070	1.12
	55	34.656	1490	1670	1290	1200	1.13
	56	33.132	2880	3360	2730	2890	1.17
	57	31.535	2530	2990	2410	2560	1.19
	58	30.560	2230	2640	2130	2280	1.19
	59	29.503	2350	2660	1910	2220	1.14
	60	28.845	2410	2720	1960	2300	1.13
	61	28.188	2650	2980	2070	2430	1.13
	62	27.531	2880	3250	2240	2530	1.13
	63	26.874	3080	3490	2380	2610	1.14
	64	26.217	3230	3680	2490	2680	1.14
	65	25.147	3390	3870	2600	2790	1.15
	66	24.596	3460	3970	2640	2830	1.15
	67	23.632	3500	4020	2660	2850	1.15
	68	23.378	3500	4020	2650	2840	1.15
	69	22.095	2500	2950	2120	2140	1.18
	70	19.856	3080	3710	2850	2740	1.21
	71	22.095	911	1040	728	685	1.15
	72	21.587	766	873	612	568	1.14
	73	20.979	458	522	366	323	1.14
	74	20.292	—	—	—	—	—
気水分離器及びシュラウド炉心	75	35.723	—	—	—	—	—
	76	34.656	263	298	197	204	1.14
	77	33.132	1080	1220	803	847	1.13
	78	31.535	1540	1740	1150	1220	1.13
	79	30.560	1750	1980	1300	1390	1.14
	80	29.503	2410	2720	1780	1940	1.13
	81	28.845	3370	4040	2630	2930	1.20
	82	28.188	3590	4300	2790	3120	1.20
	83	27.531	3800	4540	2920	3280	1.20
	84	26.874	4060	4740	3080	3420	1.17
	85	26.217	4260	4910	3240	3530	1.16
	86	25.559	4470	5130	3400	3700	1.15
	87	25.147	4930	5930	3880	4460	1.21
	88	24.596	5000	6010	3930	4520	1.21
	89	23.632	5040	6050	3960	4550	1.21
	90	23.378	5040	6050	3950	4560	1.21
			—	—	—	—	—

表2－6（3）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（せん断力）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	せん断力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
燃料集合体	96	29.503	—	—	—	—	—
	97	28.845	731	851	613	701	1.17
	98	28.188	602	688	470	509	1.15
	99	27.531	264	301	204	217	1.15
	100	26.874	181	212	150	167	1.18
	101	26.217	583	668	457	496	1.15
	102	25.559	812	933	635	719	1.15
制御棒案内管	103	25.559	138	155	112	93.2	1.13
	104	24.596	55.4	64.0	47.1	33.8	1.16
	105	23.632	7.17	8.30	5.56	6.18	1.16
	106	23.378	70.8	79.3	57.8	47.1	1.13
	107	22.095	184	208	149	122	1.14
	108	21.587	—	—	—	—	—
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	109	21.587	—	—	—	—	—
	110	20.979	385	438	308	265	1.14
	111	20.292	416	473	332	289	1.14
	112	19.344	45.6	51.8	36.9	35.0	1.14
	113	18.610	13.8	15.7	11.3	10.6	1.14
	114	17.876	10.4	11.9	8.4	8.62	1.15
	115	17.142	33.8	38.5	27.3	26.5	1.14
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	91	20.979	41.5	47.2	33.6	32.1	1.14
	92	19.344	9.19	10.4	7.50	7.10	1.14
	93	18.610	15.3	17.5	12.4	11.9	1.15
	94	17.876	39.0	44.3	31.6	30.3	1.14
	95	17.142	—	—	—	—	—

表2－7（1） 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（モーメント）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉格納容器	14	44.173	23.0	26.3	19.8	16.9	1.15
	15	41.765	265	298	232	212	1.13
	16	39.431	928	1030	856	810	1.11
	17	38.522	1730	1880	1630	1570	1.09
	18	36.431	3740	4070	3520	3450	1.09
	19	33.431	6980	7580	6560	6460	1.09
	20	30.431	22300	23600	21100	15500	1.06
	21	27.432	38100	40300	36300	25000	1.06
	22	24.422	54600	57600	52100	35100	1.06
	23	21.420	72100	76000	68800	46200	1.06
	24	18.420	90400	95300	86300	58000	1.06
	25	16.319	104000	110000	99200	66900	1.06
	26	13.523	123000	130000	118000	79800	1.06
	27	12.344	131000	138000	125000	84200	1.06
	28	11.191	140000	147000	133000	88900	1.05
	29	8.164	162000	171000	155000	102000	1.06
	30	5.141	185000	195000	176000	115000	1.06
	31	3.787	195000	206000	186000	121000	1.06
	32	-0.013	230000	242000	220000	143000	1.06
	211	-4.000	291000	305000	276000	190000	1.05
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34	34.643	50.1	55.0	46.7	30.3	1.10
	35	31.432	13200	15000	10700	11700	1.14
	36	28.308	22300	25300	18000	19400	1.14
	37	25.212	26600	30300	21600	23100	1.14
	38	20.061	27900	31900	22800	24400	1.15
	39	19.856	35200	40500	28200	28000	1.16
	40	17.142	29700	33200	26600	18100	1.12
	41	16.624	31600	34600	28500	18300	1.10
	42	13.198	47700	53600	41100	31300	1.13
	43	11.671	52600	60300	48000	35700	1.15
	44	8.395	75100	80200	71200	53400	1.07
	45	2.189	136000	142000	129000	101000	1.05
	46	-2.167	188000	197000	177000	144000	1.05
	211	-4.000	211000	221000	199000	163000	1.05

表2－7（2）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（モーメント）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉圧力容器	48	42.628	0	0	0	0	—
	49	41.322	103	116	88.8	84.4	1.13
	50	40.015	428	481	369	356	1.13
	51	39.215	845	949	728	709	1.13
	52	38.301	1380	1540	1190	1030	1.12
	53	36.421	3050	3420	2650	2220	1.13
	54	35.723	4000	4480	3460	2960	1.12
	55	34.656	5590	6260	4830	4240	1.12
	56	33.132	4460	5080	3800	2370	1.14
	57	31.535	5820	6590	4830	4990	1.14
	58	30.560	7850	8850	6560	7200	1.13
	59	29.503	10200	11300	8560	9340	1.11
	60	28.845	11700	12900	9830	10600	1.11
	61	28.188	13200	14500	11100	12100	1.10
	62	27.531	14800	16100	12400	13500	1.09
	63	26.874	16300	17900	13700	15000	1.10
	64	26.217	18200	20200	15000	16800	1.11
	65	25.147	21800	24300	17200	19600	1.12
	66	24.596	23700	26500	18700	21100	1.12
	67	23.632	27100	30400	21200	23700	1.13
	68	23.378	27900	31400	21900	24300	1.13
	69	22.095	15600	18100	12800	11300	1.17
	70	19.856	20600	23500	17600	12100	1.15
	71	22.095	785	895	631	599	1.15
	72	21.587	326	371	264	252	1.14
	73	20.979	195	226	165	122	1.16
	74	20.292	501	570	401	344	1.14
気水分離器及び炉心シュラウド	75	35.723	0	0	0	0	—
	76	34.656	281	318	210	217	1.14
	77	33.132	1930	2180	1440	1510	1.13
	78	31.535	4380	4960	3260	3450	1.14
	79	30.560	6070	6890	4530	4800	1.14
	80	29.503	8620	9760	6400	6850	1.14
	81	28.845	10700	12200	7910	8540	1.15
	82	28.188	12900	14700	9550	10400	1.14
	83	27.531	15400	17500	11400	12400	1.14
	84	26.874	18000	20600	13300	14600	1.15
	85	26.217	20800	23900	15400	16900	1.15
	86	25.559	23700	27200	17600	19400	1.15
	87	25.147	25600	29700	19100	20900	1.17
	88	24.596	28100	33000	21200	23400	1.18
	89	23.632	32500	38800	25000	27800	1.20
	90	23.378	33700	40300	26000	28900	1.20

表2－7（3）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（モーメント）

構造物	質点番号	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
燃料集合体	96	29.503	0	0	0	0	—
	97	28.845	481	560	403	461	1.17
	98	28.188	863	992	683	783	1.15
	99	27.531	1040	1190	812	903	1.15
	100	26.874	917	1060	718	793	1.16
	101	26.217	534	614	418	473	1.15
	102	25.559	0	0	0	0	—
制御棒案内管	103	25.559	0	0	0	0	—
	104	24.596	133	149	108	89.8	1.13
	105	23.632	184	207	150	123	1.13
	106	23.378	184	207	149	123	1.13
	107	22.095	93.3	106	75.5	62.0	1.14
	108	21.587	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	109	21.587	0	0	0	0	—
	110	20.979	234	267	187	161	1.15
	111	20.292	519	591	416	359	1.14
	112	19.344	22.3	25.5	18.3	18.8	1.15
	113	18.610	32.4	36.9	26.2	25.8	1.14
	114	17.876	24.8	28.2	20.1	19.5	1.14
	115	17.142	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	91	20.979	34.7	39.5	28.2	26.8	1.14
	92	19.344	33.1	37.7	26.8	25.8	1.14
	93	18.610	39.8	45.3	32.2	30.9	1.14
	94	17.876	28.6	32.5	23.2	22.2	1.14
	95	17.142	0	0	0	0	—

表2－8（1）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（評価用軸力）

構築物	質点番号	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉格納容器	79	44.173	—	—	—	—	—
	80	41.765	65.2	69.3	58.4	69.4	1.07
	81	39.431	229	243	205	243	1.07
	82	38.522	461	492	416	491	1.07
	83	36.431	511	546	461	544	1.07
	84	33.431	602	644	544	640	1.07
	85	30.431	764	824	697	810	1.08
	86	27.432	873	948	802	923	1.09
	87	24.422	1020	1120	947	1080	1.10
	88	21.420	1290	1440	1220	1360	1.12
	89	18.420	1560	1740	1470	1640	1.12
	90	16.319	1810	2010	1710	1910	1.12
	91	13.523	2170	2400	2040	2290	1.11
	92	12.344	2300	2540	2170	2430	1.11
	93	11.191	2530	2790	2370	2660	1.11
	94	8.164	2660	2930	2500	2800	1.11
	95	5.141	2830	3120	2660	2970	1.11
	96	3.787	3030	3320	2840	3160	1.10
	97	-0.013	3190	3500	2990	3320	1.10
	108	-4.000	3390	3710	3180	3510	1.10
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	66	34.643	—	—	—	—	—
	67	31.432	512	557	476	443	1.09
	68	28.308	1530	1670	1430	1330	1.10
	69	25.212	2680	2930	2510	2320	1.10
	70	20.061	3530	3870	3310	3060	1.10
	71	19.856	6070	6680	5710	5310	1.11
	72	17.142	12900	14100	12100	11300	1.10
	73	16.624	12900	14100	12100	11300	1.10
	74	13.198	15600	17200	14700	13800	1.11
	75	11.671	17200	18900	16200	15300	1.10
	76	8.395	18500	20200	17300	16500	1.10
	77	2.189	20000	21800	18700	18000	1.09
	78	-2.167	21500	23300	20300	19600	1.09
	108	-4.000	22100	23900	21100	20300	1.09
			—	—	—	—	—

表2－8（2）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（評価用軸力）

構築物	質点番号	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
原子炉圧力容器	42	42.628	—	—	—	—	—
	43	41.322	45.0	49.0	41.9	40.0	1.09
	44	40.015	167	182	156	149	1.09
	45	39.215	412	449	384	366	1.09
	46	38.301	593	645	552	526	1.09
	47	36.421	855	931	796	759	1.09
	48	35.723	1090	1190	1020	965	1.10
	49	34.656	1430	1550	1330	1260	1.09
	50	33.132	1600	1740	1490	1420	1.09
	51	31.535	1800	1960	1680	1600	1.09
	52	30.560	1950	2130	1820	1730	1.10
	53	29.503	2070	2250	1930	1830	1.09
	54	28.845	2170	2360	2020	1920	1.09
	55	28.188	2240	2440	2090	1980	1.09
	56	27.531	2310	2520	2160	2050	1.10
	57	26.874	2390	2610	2230	2120	1.10
	58	26.217	2470	2690	2300	2180	1.09
	59	25.147	2560	2790	2390	2270	1.09
	60	24.596	2680	2920	2500	2370	1.09
	61	23.632	2790	3040	2600	2460	1.09
	62	23.378	3000	3270	2800	2650	1.09
	63	22.095	3220	3520	3010	2850	1.10
	64	19.856	6640	7210	6170	5870	1.09
	63	22.095	3200	3460	2970	2870	1.09
	65	21.587	3200	3460	2970	2870	1.09
	301	21.245	3200	3460	2970	2870	1.09
	19	20.979	1750	1860	1600	1550	1.07
	14	20.292	—	—	—	—	—
気水分離器及びシュラウド炉心	24	35.723	—	—	—	—	—
	25	34.656	21.9	23.0	19.8	20.5	1.06
	26	33.132	135	142	122	126	1.06
	27	31.535	223	235	202	209	1.06
	28	30.560	367	386	333	343	1.06
	29	29.503	602	649	556	557	1.08
	30	28.845	669	725	620	617	1.09
	31	28.188	687	745	637	633	1.09
	32	27.531	704	764	654	649	1.09
	33	26.874	722	784	671	665	1.09
	34	26.217	739	804	688	681	1.09
	35	25.559	757	823	704	696	1.09
	36	25.147	876	958	819	804	1.10
	37	24.596	969	1070	907	886	1.11
	38	23.632	988	1090	926	904	1.11
	39	23.378	1030	1120	957	933	1.09
	40	23.109	1040	1140	974	949	1.10
	41	21.546	1060	1170	993	966	1.11
			—	—	—	—	—

表2－8（3）　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（評価用軸力）

構築物	質点番号	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)				
			基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
燃料集合体	1	29.503	—	—	—	—	—
	2	28.845	80.9	85.5	72.2	72.2	1.06
	3	28.188	243	257	217	217	1.06
	4	27.531	404	427	361	361	1.06
	5	26.874	565	596	505	504	1.06
	6	26.217	724	765	649	646	1.06
	7	25.559	882	931	792	787	1.06
制御棒案内管	7	25.559	1060	1120	949	941	1.06
	8	24.596	1080	1140	971	963	1.06
	9	23.632	1100	1160	983	974	1.06
	10	23.378	1110	1170	998	988	1.06
	11	22.095	1130	1200	1020	1010	1.07
	12	21.587	—	—	—	—	—
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	12	21.587	—	—	—	—	—
	13	20.979	1160	1220	1040	1030	1.06
	14	20.292	1290	1360	1170	1150	1.06
	15	19.344	190	209	179	168	1.10
	16	18.610	174	191	164	153	1.10
	17	17.876	160	176	150	141	1.10
	18	17.142	110	121	104	96.7	1.10
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	19	20.979	202	222	190	178	1.10
	20	19.344	180	197	169	158	1.10
	21	18.610	166	182	156	146	1.10
	22	17.876	88.3	97.1	83.0	77.8	1.10
	23	17.142	—	—	—	—	—

表2－9 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果の応答比較（ばね反力）

構造物	記号	ばね反力（kN）				
		基本ケース (8波包絡)	地盤物性 ＋σ考慮モデル	地盤物性 －σ考慮モデル	建屋剛性 考慮モデル	比率 ばらつきケース /基本ケース
ドライウェル 上部シアラグ	K_9	7850	8930	6190	7120	1.14
ドライウェル 下部シアラグ	K_{10}	7270	8300	6460	7390	1.15
ＰＣＶ スタビライザ	K_6	8580	9610	7890	8340	1.13
ＲＰＶ スタビライザ	K_4	4250	5090	3980	4160	1.20
ＣＲＤハウジング レストレントビーム	K_3	214	243	174	167	1.14
ダイヤフラムフロア	K_7	7570	8700	5970	6310	1.15

表2-10（1）　地震力（せん断力）が最大となる地震動

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)															
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉格納容器	44.173	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	41.765	131	126	49.6	49.0	54.6	52.9	55.0	55.2	41.0	40.7	145	58.1	144	94.0	172	160
	39.431	444	432	167	169	185	183	187	191	141	141	480	196	479	319	581	547
	38.522	1390	1300	597	587	609	651	624	686	611	520	1270	716	1350	1050	1670	1570
	36.431	1480	1390	627	615	631	690	647	727	639	549	1350	750	1420	1110	1790	1680
	33.431	1640	1560	678	664	689	760	702	800	689	603	1480	813	1550	1230	1990	1890
	30.431	7740	7520	2780	3070	3500	3150	3570	3240	2710	2490	8620	3880	7980	6510	12200	12100
	27.432	7920	7710	2830	3140	3570	3240	3640	3330	2770	2540	8780	3960	8140	6630	12400	12300
	24.422	8150	7970	2890	3250	3670	3350	3740	3450	2830	2600	8960	4060	8350	6770	12700	12600
	21.420	8560	8440	2980	3440	3830	3570	3910	3680	2940	2730	9280	4250	8740	7020	13300	13200
	18.420	8930	8850	3050	3620	3970	3770	4060	3890	3080	2890	9590	4410	9060	7210	13900	13800
	16.319	9280	9220	3110	3770	4110	3960	4180	4090	3220	3040	9850	4540	9310	7370	14400	14400
	13.523	9790	9720	3190	4000	4320	4220	4350	4390	3420	3260	10200	4730	9630	7580	15200	15100
	12.344	9330	10200	3450	4740	4250	4910	4260	5090	3490	3730	9010	4910	8780	7530	10900	12200
	11.191	9660	10500	3500	4920	4400	5110	4470	5300	3650	3870	9250	5050	9060	7700	11300	12700
	8.164	9850	10700	3520	5020	4480	5230	4590	5410	3740	3940	9380	5130	9220	7800	11500	12900
	5.141	10200	11000	3630	5160	4580	5380	4760	5570	3880	4050	9550	5230	9420	7920	11800	13300
	3.787	10400	11300	3730	5310	4730	5560	4940	5750	4020	4160	9720	5330	9620	8050	12200	13600
	-0.013	10700	11500	3820	5430	4860	5710	5100	5900	4150	4260	9850	5400	9790	8160	12500	13900
	-4.000	22000	22700	9820	13300	11600	11700	12600	11900	10200	9090	18900	11000	18100	14900	25500	26500
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
及びしゃへい壁ペデスタル	34.643	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	31.432	5040	5000	3600	3970	3410	3350	2870	3500	3550	2560	6840	4240	5010	5140	5370	5550
	28.308	3280	3340	2470	2960	2380	2260	2110	2360	2390	1730	4840	2980	3320	3540	3230	3510
	25.212	1520	1610	1390	1700	1250	1010	1200	1060	1030	853	2380	1570	1750	1760	1100	1220
	20.061	931	871	1030	808	870	564	813	544	532	447	1660	864	1770	993	1260	1090
	19.856	4980	4590	3010	2780	2940	2790	2600	2860	3180	2030	5400	3140	4800	4240	6170	5780
	17.142	9520	8850	4530	5170	4610	5140	4490	5390	4970	3850	9800	5630	9290	7920	11800	11200
	16.624	9790	9110	4660	5350	4790	5300	4580	5560	5150	3960	10100	5830	9480	8130	12100	11500
	13.198	14700	13700	7050	8320	7970	8280	6860	8610	8370	5970	15700	9440	13500	12700	17800	17300
	11.671	8140	8750	3140	4480	4080	4740	4130	4890	3890	3460	7680	4940	7320	6180	10200	11000
	8.395	10300	10800	4150	6000	5490	6030	5480	6190	5240	4440	10200	6570	8850	7940	12800	13700
	2.189	12900	13400	5930	7920	7190	7560	7220	7750	6780	5660	13200	8540	10800	9990	16100	17000
	-2.167	16100	16700	7670	9950	8980	9030	9190	9250	8100	6970	16000	10400	12900	11800	19800	20500
	-4.000	17700	18300	8480	10900	9930	9670	10200	9910	8610	7570	17400	11200	13800	12700	21600	22200
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表2-10（2）　地震力（せん断力）が最大となる地震動

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)															
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉圧力容器	42.628	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	41.322	95.6	95.6	89.1	69.1	94.7	64.4	97.1	61.8	68.3	45.8	117	88.3	130	111	108	113
	40.015	306	306	279	222	301	207	308	199	219	148	372	282	409	353	345	364
	39.215	651	651	586	472	633	443	649	426	466	317	789	597	857	743	737	775
	38.301	574	655	679	456	608	404	624	389	417	266	824	555	964	746	653	762
	36.421	963	1030	993	732	993	684	1020	658	703	469	1270	920	1480	1200	1120	1260
	35.723	1600	1640	1450	1200	1570	1130	1620	1090	1160	792	1930	1490	2240	1890	1860	2020
	34.656	1780	1830	1590	1330	1740	1260	1790	1210	1290	886	2150	1650	2460	2080	2070	2240
	33.132	4230	4170	2710	3350	2280	2420	2180	2600	2120	2150	4810	3110	4590	3840	4610	4810
	31.535	3810	3740	2560	3140	1990	2080	1920	2270	1640	1910	4310	2770	4110	3490	4000	4220
	30.560	3400	3330	2390	2860	1780	1830	1750	2010	1460	1700	3850	2480	3650	3170	3490	3710
	29.503	3280	3200	2960	2970	1830	1900	1660	1870	1530	1590	3900	2840	3700	3300	3130	3310
	28.845	3160	3100	3450	3030	2290	1980	2150	1850	1790	1690	4010	3240	3780	3440	2860	2980
	28.188	3170	3100	3800	3070	2610	2030	2490	1960	2010	1760	4060	3510	4160	3570	2690	2730
	27.531	3230	3170	4100	3080	2900	2070	2790	2100	2210	1820	4100	3730	4480	3680	2510	2510
	26.874	3250	3210	4360	3200	3150	2180	3060	2220	2380	1860	4240	3900	4750	3750	2330	2330
	26.217	3260	3230	4560	3340	3370	2260	3290	2310	2530	1880	4470	4050	4960	3800	2160	2160
	25.147	3220	3200	4770	3480	3600	2340	3550	2400	2740	1890	4700	4370	5160	4000	1900	1920
	24.596	3140	3140	4860	3550	3730	2370	3690	2440	2860	1870	4820	4560	5250	4110	1680	1710
	23.632	3050	3070	4900	3590	3820	2380	3800	2450	2950	1840	4880	4690	5280	4170	1480	1520
	23.378	2960	2990	4880	3590	3850	2370	3860	2440	2990	1810	4900	4750	5260	4180	1310	1360
	22.095	3400	3290	1870	2120	1810	1730	1780	1690	1630	1490	4030	2080	4270	3200	4080	3980
	19.856	4510	4210	2380	2970	2220	2310	2250	2490	1860	2080	4980	2740	5220	3920	5560	5420
	22.095	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	21.587	1060	980	858	735	747	675	729	697	729	576	1510	903	1190	1090	1130	1120
	20.979	869	812	754	605	649	554	635	572	594	494	1270	774	1030	927	900	895
	20.292	496	479	510	405	420	319	411	316	319	307	758	528	661	584	456	457
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
気水分離器及びシュラウド	35.723	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	34.656	233	239	352	279	251	165	252	167	214	144	396	340	394	301	123	115
	33.132	962	982	1450	1170	1060	692	1060	701	876	591	1630	1430	1610	1240	476	458
	31.535	1390	1410	2100	1670	1520	1000	1520	1020	1250	849	2310	2050	2290	1770	680	660
	30.560	1610	1630	2380	1900	1680	1140	1690	1150	1410	975	2620	2300	2600	2000	836	815
	29.503	2200	2230	3380	2670	2440	1610	2450	1640	1980	1340	3620	3290	3570	2790	1070	1040
	28.845	3870	3890	4360	3590	3430	2370	3460	2410	2970	1950	4890	4610	5370	4330	2660	2580
	28.188	4090	4110	4830	3940	3740	2570	3780	2620	3200	2110	5300	5030	5670	4620	2690	2600
	27.531	4280	4300	5300	4270	4040	2760	4050	2810	3410	2270	5700	5420	5930	4890	2700	2610
	26.874	4440	4470	5740	4590	4300	2930	4290	2980	3590	2410	6050	5770	6270	5130	2710	2620
	26.217	4570	4600	6110	4850	4520	3070	4490	3130	3740	2540	6370	6060	6580	5320	2710	2630
	25.559	4730	4760	6460	5100	4740	3210	4690	3270	3890	2660	6700	6340	6890	5540	2760	2680
	25.147	6010	5950	6440	5230	4860	3480	4740	3540	4220	2980	7150	6410	7930	6530	4650	4530
	24.596	6080	6030	6560	5330	4950	3540	4830	3600	4290	3030	7270	6530	8030	6620	4670	4550
	23.632	6120	6080	6630	5380	5000	3580	4880	3640	4320	3050	7330	6600	8080	6660	4680	4560
	23.378	6120	6080	6630	5370	5020	3590	4900	3650	4330	3040	7330	6630	8070	6650	4650	4540
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表2-10（3）　地震力（せん断力）が最大となる地震動

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)															
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20.979	413	403	448	374	362	266	354	266	267	260	637	468	574	502	364	360
	20.292	447	436	477	391	387	289	379	287	283	280	688	497	613	539	401	398
	19.344	55.4	53.3	38.6	40.3	37.6	35.0	32.4	36.0	39.5	27.1	76.1	44.5	58.1	55.3	65.7	63.8
	18.610	16.4	16.2	12.8	12.4	11.4	10.2	9.93	10.5	11.9	8.04	23.0	13.4	17.2	16.3	20.1	19.5
	17.876	13.9	13.2	8.39	8.82	8.65	8.61	8.13	8.92	9.13	6.50	17.4	10.4	13.9	13.2	15.2	15.5
	17.142	42.7	40.7	28.2	29.2	28.3	27.0	24.3	27.8	29.4	20.8	56.5	33.6	44.2	41.8	49.3	48.5
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	19.344	49.6	48.3	35.4	37.1	34.3	32.2	29.7	33.1	35.6	24.6	68.9	40.8	54.2	50.6	58.0	57.3
	18.610	10.8	10.9	8.68	8.25	7.58	6.90	6.64	7.05	7.78	5.37	15.2	8.96	12.0	11.0	12.9	12.6
	17.876	19.1	18.3	12.5	13.6	12.8	12.3	11.1	12.7	13.3	9.28	25.6	15.2	20.3	19.1	21.5	21.6
	17.142	48.2	46.3	33.2	34.2	32.5	30.9	28.0	31.8	33.6	23.7	64.9	38.7	51.6	48.0	54.9	54.7
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表2-10（4）　地震力（モーメント）が最大となる地震動

構造物	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）															
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉格納容器	44.173	33.5	24.0	21.6	17.5	18.3	11.4	18.0	10.0	10.8	8.50	51.1	19.4	50.8	25.1	47.3	39.0
	41.765	430	397	177	178	186	156	185	164	139	122	544	208	545	323	598	514
	39.431	1570	1500	619	610	669	607	671	636	498	462	1840	724	1850	1160	2120	1880
	38.522	2860	2700	1130	1050	1220	1210	1230	1270	1040	932	3000	1300	3060	2090	3680	3310
	36.431	6020	5670	2480	2340	2560	2670	2590	2810	2370	2090	5860	2780	6050	4440	7520	6880
	33.431	11100	10500	4590	4380	4710	5000	4780	5260	4480	3930	10600	5240	10900	8250	13700	12700
	30.431	34100	33200	12100	13100	15300	14400	15600	15100	11300	11100	36600	16400	35000	27400	49400	48900
	27.432	57800	56500	20400	22500	26100	24000	26600	25100	19600	18600	63300	28400	59600	47400	86000	86000
	24.422	82500	80700	29000	32400	37300	34000	38000	35600	28300	26300	90700	40800	85100	68000	124000	125000
	21.420	109000	107000	38000	42900	49000	44700	50000	46700	37200	34600	119000	53700	112000	89500	163000	164000
	18.420	136000	134000	47200	53800	61100	55900	62300	58400	46400	43300	148000	67100	139000	112000	204000	205000
	16.319	155000	153000	53900	61800	69900	64200	71300	67100	53000	49700	169000	76800	159000	128000	234000	235000
	13.523	183000	181000	62800	73000	81900	75900	83600	79300	62000	58900	198000	90100	187000	149000	277000	276000
	12.344	193000	193000	65200	78300	86300	81600	88300	85200	66000	63200	206000	95600	196000	157000	290000	291000
	11.191	204000	205000	67900	83700	90900	87400	93100	91200	70200	67700	215000	102000	206000	166000	303000	305000
	8.164	232000	237000	76000	98000	103000	103000	106000	108000	81200	79700	239000	116000	230000	188000	338000	345000
	5.141	262000	269000	85700	113000	115000	119000	119000	124000	92600	92000	263000	131000	255000	210000	374000	385000
	3.787	275000	284000	90600	120000	120000	127000	124000	132000	97800	97700	275000	138000	266000	221000	391000	404000
	-0.013	325000	337000	108000	142000	141000	151000	146000	157000	114000	116000	320000	163000	311000	260000	448000	465000
	-4.000	395000	410000	123000	175000	170000	196000	166000	203000	145000	148000	363000	193000	380000	295000	542000	566000
しゃへい壁及びペデスタル	34.643	49.6	54.0	69.3	46.8	43.5	38.9	43.8	34.5	35.0	25.6	84.7	46.8	92.7	65.8	39.7	48.2
	31.432	16200	16100	11600	12800	11000	10800	9230	11300	11400	8200	22100	13700	16100	16600	17200	17800
	28.308	26100	26500	19200	22100	18400	17800	15800	18600	18900	13600	37200	22900	26400	27600	27300	28700
	25.212	30300	30900	22900	27300	21900	20900	19500	21800	22000	16000	44600	27500	30700	32600	29700	32400
	20.061	31200	32100	24400	30900	22800	21100	21900	22200	21800	16500	46900	29200	31500	33500	24900	29700
	19.856	34200	37800	43100	31500	36400	25000	35300	24900	28300	21400	58500	35500	55500	36900	23300	27800
	17.142	30700	31100	38400	29200	31200	24300	31700	20400	23500	17800	50100	34600	53500	38200	30200	28100
	16.624	33700	33500	37500	29300	30100	24300	30900	20400	23900	17600	52100	35000	57400	40700	36900	34400
	13.198	67100	63500	31300	32200	38300	26800	37800	28300	27000	23300	75600	36800	80700	62500	94000	87800
	11.671	79500	76300	35200	36000	41500	33700	41300	35700	31000	28600	83300	40600	89400	71200	110000	104000
	8.395	113000	110000	44900	46000	50700	53100	51900	56000	45200	42700	108000	55900	114000	91300	152000	147000
	2.189	193000	191000	66700	83800	86400	100000	79500	104000	84900	76400	172000	102000	169000	140000	251000	251000
	-2.167	259000	258000	92400	123000	125000	139000	119000	145000	119000	106000	238000	145000	223000	190000	335000	340000
	-4.000	288000	288000	106000	143000	143000	157000	138000	163000	135000	120000	269000	165000	248000	212000	374000	380000

表2-10（5）　地震力（モーメント）が最大となる地震動

構造物	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）															
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉圧力容器	42.628	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	41.322	125	125	117	90.3	124	84.1	127	80.7	89.2	59.8	152	116	169	145	141	148
	40.015	525	525	481	380	517	355	530	341	376	253	638	484	704	606	591	623
	39.215	1050	1050	943	758	1030	709	1050	681	748	507	1270	961	1390	1200	1180	1250
	38.301	1550	1590	1550	1160	1580	1080	1620	1040	1130	749	1960	1470	2270	1880	1780	1940
	36.421	3360	3510	3410	2530	3450	2360	3530	2270	2450	1630	4350	3200	5050	4130	3880	4290
	35.723	4470	4630	4410	3370	4540	3150	4660	3030	3250	2190	5700	4230	6610	5450	5180	5700
	34.656	6360	6580	6060	4780	6390	4490	6560	4310	4630	3130	7950	5990	9220	7670	7380	8090
	33.132	3260	3340	5310	3400	3540	2460	3730	2350	2900	1860	5620	3550	7330	3580	1820	2760
	31.535	7840	7510	6770	7220	5270	4250	5490	4660	4650	3700	10400	5870	8740	8160	7330	7690
	30.560	10900	10400	8850	10000	6990	6020	7160	6600	5850	5090	14100	8060	11400	11300	10800	11300
	29.503	14100	13400	12000	13100	8740	7740	8910	8540	7440	6650	17900	11100	14800	14700	14000	14800
	28.845	16000	15200	14200	15100	9770	8910	9930	9670	8560	7630	20100	13200	17100	16800	15800	16800
	28.188	17900	16900	16700	17100	10800	10300	11000	10800	9770	8560	22700	15500	19500	18900	17500	18600
	27.531	19700	18600	19400	19000	12600	11600	12100	11900	11100	9710	25300	18000	22400	21100	19000	20200
	26.874	21400	20300	22300	21000	14600	13000	13700	12900	12500	10900	28000	20500	25500	23300	20300	21600
	26.217	23100	22000	25200	22900	16800	14300	15900	14000	13900	12100	30600	23200	28800	25600	21500	22900
	25.147	25700	24500	30300	25900	20700	16500	19700	16000	16400	14100	34700	27600	34300	29200	23400	24600
	24.596	27400	26300	32900	27400	22700	17600	21700	17300	17900	15100	36800	29900	37200	31100	24300	25300
	23.632	30300	29200	37600	29900	26400	19500	25300	19700	20600	16900	40200	33900	42300	34400	25600	26300
	23.378	31100	30000	38800	30600	27300	20000	26300	20300	21300	17300	41100	35000	43600	35400	26000	26500
	22.095	13400	14200	22400	16900	15900	11100	16100	9520	14900	9860	24200	20900	25600	18400	6550	7090
	19.856	19700	20400	23100	18700	15800	12200	16800	10600	16400	10200	30800	23600	35100	25300	16600	16800
	22.095	924	861	685	656	617	593	603	613	652	485	1310	777	1010	907	1030	1020
	21.587	392	375	269	290	267	252	233	260	282	193	543	319	418	397	456	450
	20.979	205	200	261	214	183	132	179	135	149	128	311	253	311	258	161	177
	20.292	541	529	587	491	471	348	461	348	352	339	829	615	750	659	474	470
気水分離器及びシュラウド	35.723	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	34.656	249	255	376	298	268	176	269	178	229	153	422	363	420	321	131	123
	33.132	1720	1750	2590	2070	1880	1230	1890	1250	1570	1060	2900	2540	2870	2210	850	820
	31.535	3930	4000	5920	4740	4300	2830	4310	2870	3550	2410	6580	5810	6520	5040	1940	1880
	30.560	5490	5590	8230	6590	5940	3940	5950	3990	4930	3360	9130	8040	9050	6990	2750	2670
	29.503	7810	7950	11800	9400	8510	5630	8530	5710	7020	4780	13000	11600	12900	9940	3870	3760
	28.845	10400	10500	14700	11800	10700	7180	10800	7290	8970	6060	16000	14600	15900	12600	5590	5430
	28.188	13100	13200	17900	14400	13200	8870	13300	9010	11100	7440	19400	17900	19300	15700	7340	7120
	27.531	15900	16100	21300	17200	15800	10700	16000	10900	13300	8920	23100	21400	23000	18900	9110	8830
	26.874	18800	19000	25100	20200	18600	12600	18800	12800	15700	10500	27000	25200	26900	22300	10900	10600
	26.217	21800	22000	29100	23400	21600	14700	21700	14900	18100	12200	31200	29200	31200	25700	12700	12300
	25.559	24900	25200	33400	26700	24700	16800	24800	17000	20700	14000	35600	33400	35700	29400	14500	14100
	25.147	27400	27600	36000	28900	26700	18200	26800	18500	22400	15200	38400	36000	38800	32100	16400	15900
	24.596	30700	30900	39600	31800	29400	20100	29400	20500	24800	16800	42200	39600	43000	35700	19000	18400
	23.632	36600	36800	46000	37000	34300	23600	34100	24000	29000	19800	49200	46000	50700	42100	23400	22700
	23.378	38200	38300	47700	38400	35500	24500	35300	24900	30100	20600	51100	47600	52700	43800	24600	23900

表2-10（6）　地震力（モーメント）が最大となる地震動

構造物	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）															
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	20.979	251	245	273	227	220	162	215	162	163	158	387	285	349	306	221	219
	20.292	558	544	600	496	486	360	476	359	357	350	859	626	770	676	496	492
	19.344	29.9	28.7	17.9	18.9	18.8	18.7	17.5	19.3	19.7	14.2	37.4	22.6	30.1	28.4	32.7	33.3
	18.610	41.5	39.5	26.4	27.9	27.1	26.1	23.5	26.9	28.3	20.1	54.2	32.3	42.7	40.4	47.3	46.9
	17.876	31.4	29.9	20.7	21.4	20.7	19.8	17.9	20.4	21.6	15.3	41.5	24.7	32.5	30.7	36.2	35.6
	17.142	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	39.8	39.8	30.9	31.7	28.5	26.0	24.8	26.7	29.5	20.1	57.6	33.7	44.7	41.6	48.2	47.2
	19.344	41.7	39.9	27.1	29.0	27.7	26.6	23.9	27.4	28.7	20.2	55.2	33.0	44.0	41.2	46.7	46.8
	18.610	49.4	47.2	33.4	35.0	33.2	31.7	28.7	32.6	34.4	24.2	66.3	39.6	52.7	49.2	56.1	55.8
	17.876	35.4	34.0	24.4	25.1	23.9	22.7	20.6	23.3	24.7	17.4	47.6	28.4	37.9	35.3	40.3	40.1
	17.142	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

表2-10（7）　地震力（軸力）が最大となる地震動

構築物	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)							
		Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
原子炉格納容器	44.173	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.765	82.8	93.8	101	107	71.1	116	110	32.5
	39.431	291	329	354	373	249	407	384	114
	38.522	591	665	716	754	503	824	775	232
	36.431	656	737	793	836	557	914	858	257
	33.431	776	868	934	985	655	1080	1010	304
	30.431	1000	1110	1190	1260	834	1390	1290	392
	27.432	1160	1270	1360	1440	955	1600	1470	453
	24.422	1380	1500	1600	1690	1120	1890	1720	539
	21.420	1810	1920	2020	2150	1430	2440	2190	704
	18.420	2200	2300	2400	2550	1720	2940	2610	856
	16.319	2580	2650	2750	2930	1990	3420	2990	1000
	13.523	3120	3150	3240	3460	2370	4100	3540	1210
	12.344	3320	3330	3440	3650	2510	4350	3760	1290
	11.191	3670	3640	3790	3970	2750	4770	4150	1420
	8.164	3870	3810	3990	4160	2890	5010	4370	1500
	5.141	4150	4040	4270	4400	3070	5350	4680	1600
	3.787	4470	4320	4590	4670	3290	5720	5020	1720
	-0.013	4750	4590	4860	4900	3470	6030	5310	1830
	-4.000	5100	4930	5200	5170	3720	6410	5670	1970
しゃへい壁及びペデスタル	34.643	－	－	－	－	－	－	－	－
	31.432	808	789	770	767	516	952	920	300
	28.308	2420	2360	2300	2290	1550	2850	2750	895
	25.212	4260	4110	4000	3990	2740	5010	4830	1570
	20.061	5630	5380	5250	5230	3640	6610	6380	2080
	19.856	9830	9000	8860	8770	6490	11500	11100	3580
	17.142	20600	19300	18400	18500	13600	24000	23300	7500
	16.624	20600	19300	18400	18500	13600	24000	23300	7500
	13.198	25300	23100	22400	22100	16900	29300	28400	9160
	11.671	28100	25300	24700	24100	18800	32200	31400	10200
	8.395	30300	27000	26500	25500	20400	34500	33900	10900
	2.189	33100	29000	28800	27200	22400	37300	37000	11900
	-2.167	36000	30800	31100	28600	24600	39900	40400	12900
	-4.000	37400	31500	32100	29100	25600	41000	42000	13500
		－					－	－	－

表2-10（8）　地震力（軸力）が最大となる地震動

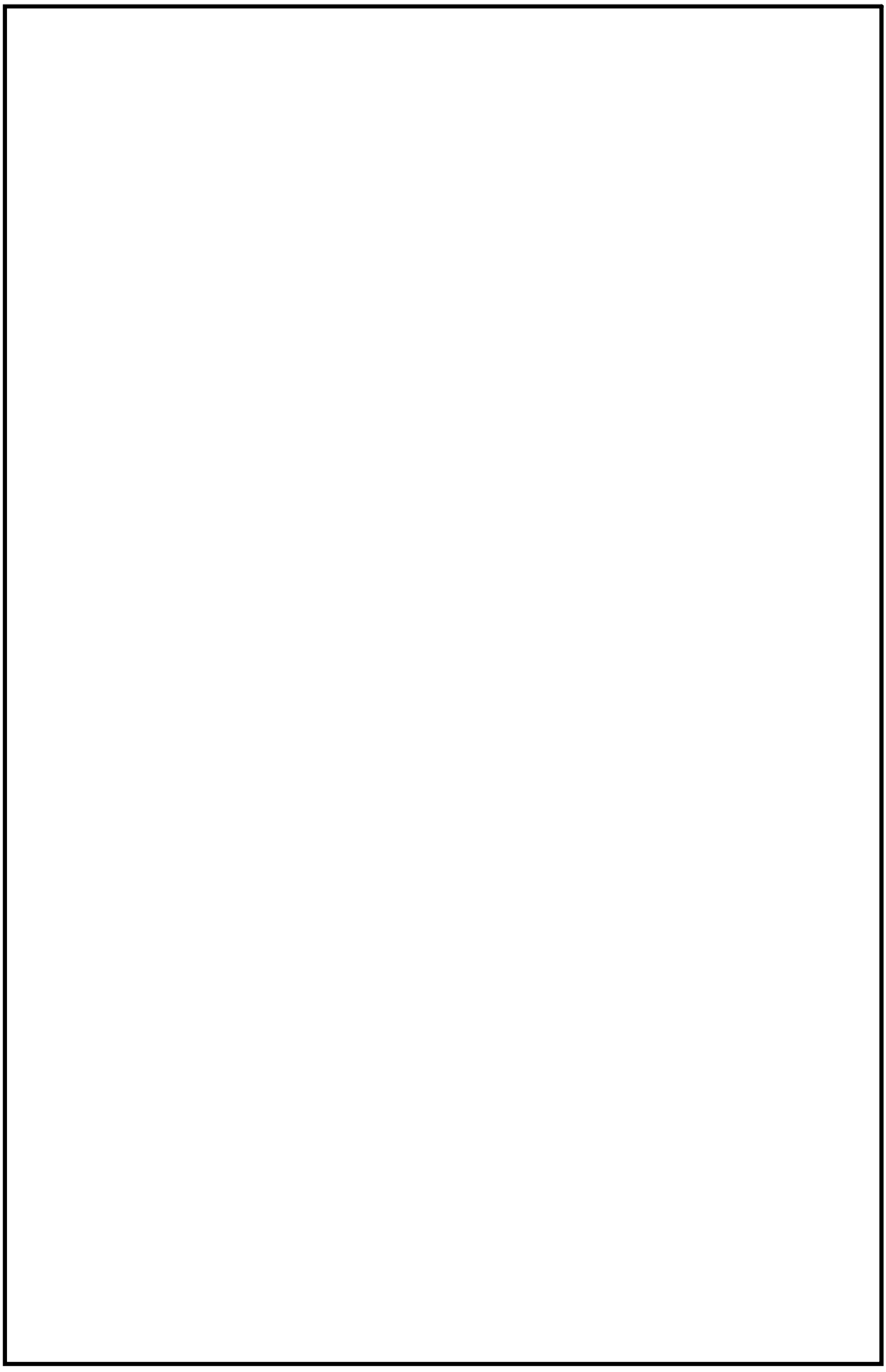
構築物	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)							
		Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
気水分離器及びシュラウド	35.723	－	－	－	－	－	－	－	－
	34.656	33.1	33.7	28.2	29.8	22.1	40.1	38.1	12.0
	33.132	204	208	174	184	136	247	235	74.0
	31.535	338	344	288	304	225	409	389	123
	30.560	557	566	475	501	371	673	641	202
	29.503	933	933	796	825	616	1110	1070	338
	28.845	1040	1040	887	918	686	1230	1190	376
	28.188	1070	1070	912	943	705	1270	1220	387
	27.531	1100	1100	936	967	724	1300	1250	397
	26.874	1130	1120	960	992	742	1330	1290	407
	26.217	1160	1150	985	1020	761	1370	1320	417
	25.559	1190	1180	1010	1040	779	1400	1350	428
	25.147	1380	1360	1180	1210	906	1630	1570	497
	24.596	1530	1500	1310	1340	1010	1800	1730	551
	23.632	1560	1530	1330	1370	1030	1840	1770	563
	23.378	1620	1580	1380	1420	1060	1900	1830	582
	23.109	1640	1610	1400	1440	1080	1940	1860	592
	21.546	1680	1640	1430	1470	1100	1970	1900	604
		－	－	－	－	－	－	－	－

表2-10 (9)　地震力（軸力）が最大となる地震動

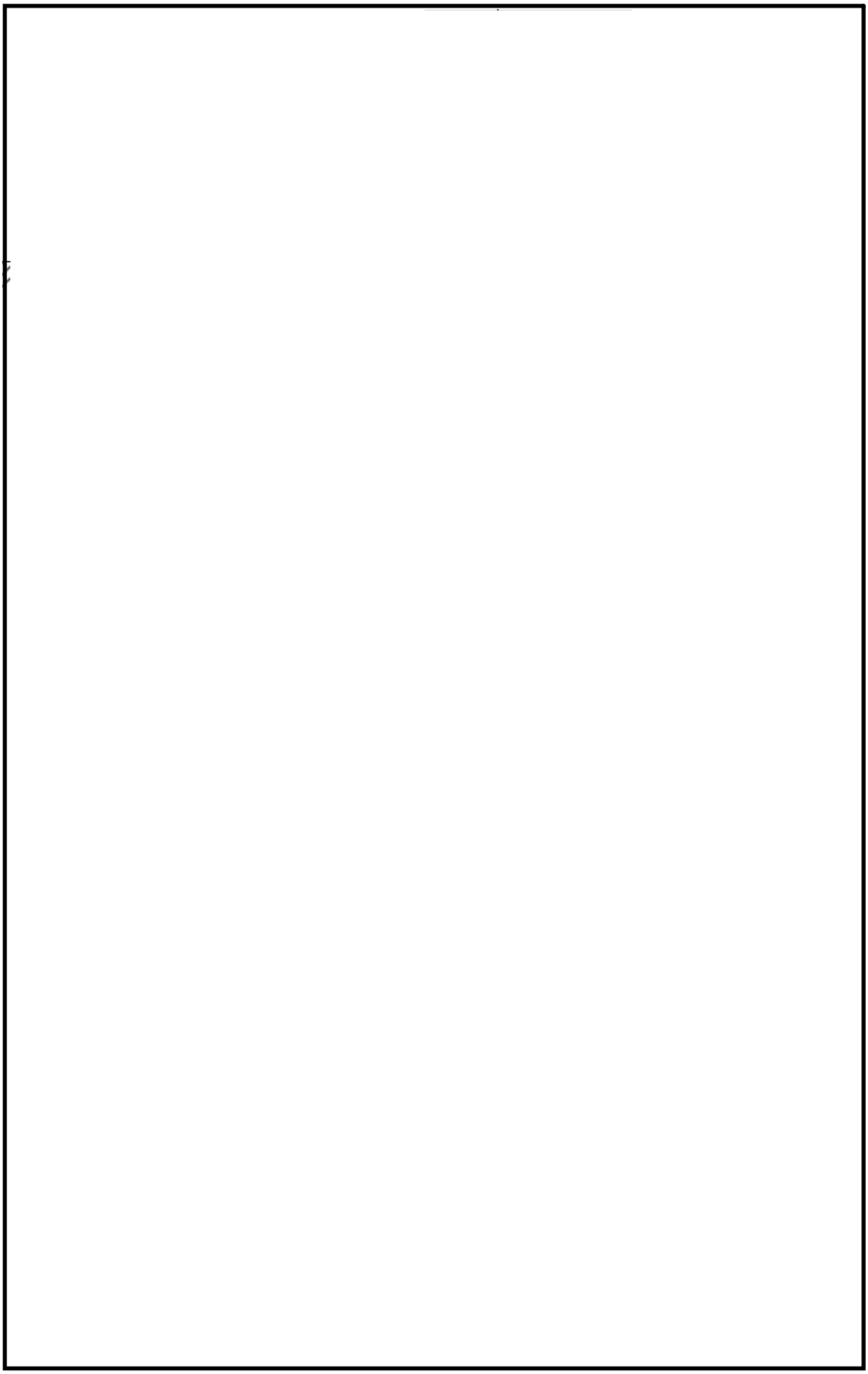
構築物	標高 EL(m)	評価用軸力(kN)							
		Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－
	20.979	1790	1750	1570	1650	1140	2130	2030	647
	20.292	2010	1950	1760	1830	1290	2380	2270	727
	19.344	307	281	264	272	204	356	344	111
	18.610	280	257	241	249	187	326	315	102
	17.876	258	236	222	229	171	300	289	93.3
	17.142	177	163	152	158	118	206	199	64.1
		－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	－	－	－	－	－	－	－	－
	19.344	326	295	281	291	216	379	366	118
	18.610	290	262	250	259	192	337	325	105
	17.876	267	242	230	239	177	310	300	96.7
	17.142	143	129	123	128	94.2	166	160	51.7
		－	－	－	－	－	－	－	－

表2-10（10）　地震力（ばね反力）が最大となる地震動

構造物	ばね反力（kN）															
	Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
ドライウェル 上部シアラグ	7530	7840	8930	7970	7630	5690	7310	5630	6660	5060	13000	8850	10300	9550	5620	6080
ドライウェル 下部シアラグ	10900	7560	6280	6800	6040	5260	6590	5350	5540	3690	12600	6810	11900	8380	15900	12500
ＰＣＶ スタビライザ	12000	11900	8580	8650	7340	7530	7650	7940	7640	6010	14400	9440	12700	11800	13500	13600
ＲＰＶ スタビライザ	6150	6180	4520	4310	4180	3800	4300	3900	3610	3140	6930	4830	7050	6070	7050	7090
ＣＲＤハウジング レストレントビーム	269	262	187	185	180	169	156	174	186	132	356	214	282	263	303	310
ダイヤフラムフロア	9310	7560	5900	7000	6390	5280	6080	5510	6210	4150	12400	6920	10400	8890	11200	9820



参考図１　原子炉本体地震応答解析モデル（水平方向）（単位：m）



参考図２　原子炉本体地震応答解析モデル（鉛直方向）（単位：m）

別表1(1) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)																
		基準地震動Ss																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉格納容器	44.173	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.765	197	189	74.4	73.6	81.9	79.4	82.5	82.8	61.5	61.0	217	87.1	215	141	258	239	258
	39.431	666	648	250	254	278	275	280	286	211	212	719	294	718	478	872	821	872
	38.522	2090	1950	895	881	913	976	936	1030	916	779	1910	1080	2020	1570	2510	2350	2510
	36.431	2220	2090	940	923	946	1040	970	1090	958	823	2020	1130	2130	1670	2680	2520	2680
	33.431	2460	2330	1020	995	1040	1140	1060	1200	1040	904	2220	1220	2330	1840	2980	2830	2980
	30.431	11600	11300	4170	4610	5250	4720	5350	4860	4070	3730	13000	5820	12000	9760	18200	18100	18200
	27.432	11900	11600	4240	4710	5360	4850	5460	4990	4150	3800	13200	5940	12200	9940	18600	18500	18600
	24.422	12300	12000	4330	4870	5500	5030	5610	5170	4250	3890	13500	6090	12600	10200	19000	18900	19000
	21.420	12900	12700	4470	5160	5750	5350	5870	5510	4410	4090	14000	6370	13100	10600	20000	19800	20000
	18.420	13400	13300	4580	5420	5950	5650	6080	5830	4610	4330	14400	6610	13600	10900	20900	20700	20900
	16.319	14000	13900	4670	5660	6170	5930	6270	6130	4830	4560	14800	6820	14000	11100	21600	21500	21600
	13.523	14700	14600	4780	6000	6470	6330	6520	6580	5130	4880	15300	7100	14500	11400	22700	22700	22700
	12.344	14000	15300	5170	7100	6370	7370	6390	7640	5230	5590	13600	7360	13200	11300	16300	18400	18400
	11.191	14500	15800	5240	7370	6590	7660	6700	7940	5470	5800	13900	7570	13600	11600	16900	19000	19000
	8.164	14800	16000	5280	7530	6720	7840	6880	8120	5620	5910	14100	7700	13900	11700	17200	19400	19400
	5.141	15200	16400	5440	7740	6870	8080	7130	8360	5810	6070	14400	7850	14200	11900	17700	19900	19900
	3.787	15600	16900	5590	7960	7090	8340	7410	8630	6030	6240	14600	7990	14500	12100	18300	20400	20400
	-0.013	16000	17300	5720	8150	7290	8560	7650	8850	6220	6390	14800	8100	14700	12300	18800	20800	20800
	-4.000	32900	34000	14800	19900	17400	17500	18900	17800	15300	13700	28400	16500	27200	22400	38300	39800	39800
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	34.643	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	31.432	7550	7500	5390	5950	5110	5020	4300	5250	5320	3830	10300	6360	7510	7710	8050	8330	10300
	28.308	4910	5010	3710	4440	3570	3390	3160	3540	3580	2600	7250	4460	4980	5310	4840	5260	7250
	25.212	2280	2410	2080	2550	1870	1510	1800	1590	1550	1280	3580	2350	2620	2640	1650	1820	3580
	20.061	1400	1310	1540	1220	1310	846	1220	815	798	670	2490	1300	2660	1490	1890	1630	2660
	19.856	7470	6880	4510	4170	4410	4180	3900	4290	4780	3040	8090	4710	7200	6360	9260	8670	9260
	17.142	14300	13300	6800	7760	6910	7700	6730	8080	7460	5770	14700	8440	14000	11900	17700	16800	17700
	16.624	14700	13700	6990	8020	7180	7950	6870	8340	7730	5940	15100	8740	14200	12200	18100	17200	18100
	13.198	22100	20600	10600	12500	12000	12400	10300	13000	12600	8950	23500	14200	20200	19000	26700	25900	26700
	11.671	12200	13200	4710	6720	6120	7110	6190	7330	5840	5190	11600	7410	11000	9270	15200	16500	16500
	8.395	15400	16200	6230	9000	8230	9040	8210	9290	7860	6650	15300	9850	13300	11900	19100	20500	20500
	2.189	19400	20100	8890	11900	10800	11400	10900	11700	10200	8480	19700	12800	16200	15000	24100	25500	25500
	-2.167	24200	25000	11500	15000	13500	13600	13800	13900	12200	10500	24000	15600	19300	17700	29700	30800	30800
	-4.000	26600	27400	12800	16400	14900	14500	15300	14900	13000	11400	26100	16800	20700	19100	32400	33300	33300
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表1(2) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN) 基準地震動Ss																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉圧力容器	42.628	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.322	144	144	134	104	142	96.6	146	92.6	103	68.7	175	133	195	167	161	170	195
	40.015	459	459	419	333	451	311	462	299	329	222	558	423	614	529	518	545	614
	39.215	976	976	878	708	949	664	973	638	699	476	1190	895	1290	1120	1110	1170	1290
	38.301	860	982	1020	684	912	606	936	583	625	399	1240	832	1450	1120	980	1150	1450
	36.421	1450	1540	1490	1100	1490	1030	1530	986	1060	704	1910	1380	2220	1800	1680	1880	2220
	35.723	2390	2460	2180	1790	2360	1690	2420	1630	1740	1190	2900	2230	3360	2830	2780	3030	3360
	34.656	2670	2740	2380	2000	2610	1880	2680	1810	1940	1330	3220	2470	3680	3120	3100	3360	3680
	33.132	6350	6250	4060	5020	3420	3630	3270	3900	3180	3220	7210	4660	6880	5760	6920	7210	7210
	31.535	5720	5610	3840	4710	2990	3120	2880	3400	2460	2870	6470	4150	6160	5240	6000	6330	6470
	30.560	5100	4990	3580	4290	2660	2740	2620	3010	2190	2550	5780	3710	5470	4760	5240	5570	5780
	29.503	4920	4800	4440	4460	2740	2840	2490	2800	2290	2390	5850	4260	5550	4940	4690	4970	5850
	28.845	4740	4650	5170	4550	3440	2970	3220	2770	2680	2540	6010	4860	5670	5150	4290	4460	6010
	28.188	4760	4650	5690	4600	3920	3040	3730	2940	3010	2640	6100	5260	6230	5350	4030	4100	6230
	27.531	4840	4750	6150	4620	4350	3100	4190	3150	3310	2720	6140	5590	6720	5520	3760	3760	6720
	26.874	4880	4810	6530	4800	4730	3260	4590	3330	3570	2790	6360	5850	7120	5630	3500	3490	7120
	26.217	4890	4840	6840	5000	5050	3390	4940	3460	3790	2820	6700	6080	7440	5690	3230	3230	7440
	25.147	4820	4800	7150	5210	5390	3500	5320	3590	4100	2830	7040	6550	7740	5990	2850	2880	7740
	24.596	4710	4710	7290	5320	5590	3560	5540	3650	4290	2810	7220	6830	7870	6160	2520	2570	7870
	23.632	4580	4600	7340	5380	5720	3570	5700	3680	4420	2760	7330	7030	7920	6250	2210	2280	7920
	23.378	4440	4480	7320	5380	5780	3550	5790	3660	4480	2710	7340	7120	7880	6260	1960	2040	7880
	22.095	5100	4930	2800	3180	2710	2590	2660	2540	2440	2230	6040	3120	6400	4800	6120	5960	6400
	19.856	6770	6310	3570	4460	3330	3460	3370	3730	2790	3120	7460	4110	7820	5880	8340	8130	8340
	22.095	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	21.587	1590	1470	1290	1110	1120	1020	1100	1050	1100	863	2270	1360	1790	1630	1700	1680	2270
	20.979	1310	1220	1140	908	973	831	952	858	891	741	1910	1160	1540	1390	1350	1350	1910
	20.292	744	719	764	608	629	478	617	474	478	460	1140	792	992	876	684	685	1140
気水分離器及び炉心シュラウド	35.723	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	34.656	350	358	528	419	377	248	378	250	321	215	593	510	591	451	184	172	593
	33.132	1450	1480	2180	1750	1590	1040	1590	1050	1320	887	2440	2140	2420	1860	714	687	2440
	31.535	2080	2120	3140	2510	2270	1500	2280	1530	1870	1280	3460	3070	3430	2660	1020	990	3460
	30.560	2410	2450	3570	2850	2520	1710	2530	1730	2110	1470	3920	3450	3900	3000	1260	1230	3920
	29.503	3300	3350	5070	4000	3660	2410	3670	2450	2970	2010	5430	4940	5360	4180	1600	1550	5430
	28.845	5810	5830	6540	5380	5140	3550	5190	3610	4460	2920	7330	6910	8050	6490	3980	3870	8050
	28.188	6130	6160	7240	5900	5610	3850	5660	3920	4800	3160	7950	7550	8510	6930	4030	3900	8510
	27.531	6420	6450	7950	6410	6050	4140	6080	4210	5110	3400	8540	8130	8900	7330	4050	3920	8900
	26.874	6660	6700	8610	6880	6450	4390	6440	4470	5380	3620	9080	8650	9410	7690	4060	3930	9410
	26.217	6860	6900	9170	7270	6780	4600	6740	4690	5600	3800	9550	9080	9870	7980	4070	3940	9870
	25.559	7100	7140	9680	7640	7110	4810	7040	4900	5840	3980	10100	9510	10400	8300	4140	4020	10400
	25.147	9010	8930	9650	7850	7290	5220	7100	5300	6320	4470	10800	9610	11900	9790	6970	6800	11900
	24.596	9120	9040	9840	7990	7430	5310	7240	5400	6430	4540	10900	9790	12100	9930	7000	6830	12100
	23.632	9180	9110	9940	8060	7500	5370	7310	5460	6480	4580	11000	9900	12100	9990	7020	6840	12100
	23.378	9180	9120	9940	8050	7530	5380	7340	5470	6490	4560	11000	9950	12100	9970	6980	6800	12100
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表1(3) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)																	
		基準地震動Ss																	
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		8波包絡	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW		
燃料集合体	29.503	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	28.845	1520	1580	1090	1050	1030	649	1130	671	621	605	2000	1030	1800	1320	1680	1670	2000	
	28.188	1020	1070	997	921	787	532	889	560	519	413	1400	848	1450	903	1070	1060	1450	
	27.531	388	395	470	404	332	226	368	243	241	169	522	389	620	391	363	366	620	
	26.874	335	352	284	305	300	170	305	175	171	166	494	292	464	348	377	367	494	
	26.217	1010	1060	955	901	773	521	875	546	497	419	1400	823	1410	902	1080	1060	1410	
	25.559	1570	1630	1320	1170	1060	716	1220	752	749	567	2010	1120	1970	1260	1660	1670	2010	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
制御棒案内管	25.559	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	24.596	227	225	234	220	177	142	167	140	132	123	344	263	294	270	215	209	344	
	23.632	83.5	84.8	117	98.5	78.1	55.5	75.6	56.6	62.8	54.0	135	111	134	114	63.3	69.3	135	
	23.378	11.7	12.0	14.8	12.0	10.9	7.90	10.7	8.07	9.56	6.81	15.3	16.0	16.5	13.6	7.29	10.6	16.5	
	22.095	116	117	124	121	90.6	71.4	85.3	71.7	68.9	61.9	179	139	156	140	108	106	179	
	21.587	294	292	341	299	257	186	248	191	197	181	457	356	421	366	252	238	457	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	20.979	619	605	672	560	542	399	531	399	401	390	955	703	860	753	545	540	955	
	20.292	671	653	716	587	581	433	569	430	424	420	1030	746	919	808	601	597	1030	
	19.344	83.1	79.9	57.9	60.4	56.4	52.4	48.6	54.0	59.2	40.7	115	66.8	87.1	83.0	98.5	95.7	115	
	18.610	24.5	24.3	19.1	18.6	17.0	15.3	14.9	15.7	17.8	12.1	34.5	20.0	25.8	24.5	30.1	29.2	34.5	
	17.876	20.8	19.8	12.6	13.3	13.0	12.9	12.2	13.4	13.7	9.75	26.1	15.6	20.9	19.8	22.8	23.2	26.1	
	17.142	64.0	61.0	42.3	43.8	42.4	40.4	36.5	41.7	44.2	31.2	84.8	50.5	66.3	62.7	73.9	72.7	84.8	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	19.344	74.4	72.4	53.1	55.6	51.5	48.2	44.5	49.6	53.3	36.9	104	61.2	81.3	75.9	86.9	86.0	104	
	18.610	16.2	16.3	13.1	12.4	11.4	10.4	9.96	10.6	11.7	8.05	22.8	13.5	17.9	16.4	19.3	18.9	22.8	
	17.876	28.6	27.5	18.8	20.3	19.1	18.4	16.6	19.0	19.9	14.0	38.3	22.8	30.4	28.6	32.3	32.3	38.3	
	17.142	72.3	69.5	49.8	51.3	48.8	46.3	42.0	47.6	50.4	35.5	97.3	58.1	77.3	72.0	82.4	82.0	97.3	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	

別表2(1) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	モーメント（kN･m）																
		基準地震動Ss																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉格納容器	44.173	50.2	36.0	32.3	26.2	27.5	17.2	26.9	15.0	16.2	12.8	76.6	29.0	76.2	37.6	71.0	58.5	76.6
	41.765	645	595	266	267	279	234	278	246	208	183	816	312	817	485	897	772	897
	39.431	2350	2240	929	915	1010	911	1010	954	747	692	2770	1090	2770	1740	3180	2810	3180
	38.522	4280	4050	1690	1570	1820	1810	1840	1900	1550	1400	4500	1940	4580	3130	5520	4960	5520
	36.431	9030	8510	3710	3510	3830	4000	3880	4210	3560	3140	8790	4170	9070	6660	11300	10400	11300
	33.431	16700	15800	6890	6570	7060	7490	7160	7890	6710	5890	15800	7860	16400	12400	20600	19000	20600
	30.431	51100	49700	18200	19600	22900	21500	23300	22600	17000	16700	54900	24600	52500	41100	74000	73300	74000
	27.432	86800	84700	30500	33800	39100	36000	39800	37600	29500	27800	94900	42500	89400	71100	129000	129000	129000
	24.422	124000	121000	43500	48600	55900	51000	57000	53300	42400	39400	136000	61100	128000	102000	186000	187000	187000
	21.420	163000	160000	57000	64300	73600	67000	74900	70100	55800	51800	179000	80600	168000	135000	245000	246000	246000
	18.420	203000	200000	70800	80600	91600	83800	93400	87600	69500	64900	222000	101000	209000	168000	306000	308000	308000
	16.319	233000	230000	80800	92700	105000	96300	107000	101000	79400	74500	254000	116000	239000	191000	351000	353000	353000
	13.523	274000	271000	94200	110000	123000	114000	126000	119000	92900	88300	296000	136000	280000	224000	415000	415000	415000
	12.344	290000	289000	97800	118000	130000	123000	133000	128000	99000	94800	309000	144000	294000	236000	434000	436000	436000
	11.191	306000	307000	102000	126000	137000	131000	140000	137000	106000	102000	323000	152000	308000	248000	454000	458000	458000
	8.164	348000	355000	114000	147000	154000	155000	159000	161000	122000	120000	358000	174000	345000	281000	507000	517000	517000
	5.141	392000	404000	129000	169000	172000	179000	178000	186000	139000	138000	395000	196000	382000	315000	561000	577000	577000
	3.787	413000	426000	136000	179000	180000	190000	187000	197000	147000	147000	412000	206000	399000	331000	586000	605000	605000
	-0.013	488000	506000	161000	213000	211000	226000	219000	235000	171000	174000	480000	244000	466000	390000	672000	697000	697000
	-4.000	593000	615000	184000	262000	254000	294000	249000	305000	217000	222000	544000	289000	569000	443000	813000	849000	849000
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	34.643	74.4	81.0	104	70.2	65.2	58.3	65.7	51.8	52.5	38.4	127	70.1	139	98.6	59.5	72.3	139
	31.432	24300	24100	17300	19200	16500	16200	13900	16900	17200	12300	33100	20500	24100	24800	25900	26700	33100
	28.308	39100	39700	28800	33100	27600	26700	23600	27900	28300	20400	55800	34400	39600	41400	40900	43100	55800
	25.212	45400	46300	34300	40900	32800	31300	29200	32700	33000	24000	66800	41200	46100	48900	44600	48500	66800
	20.061	46700	48200	36600	46300	34100	31600	32800	33200	32700	24700	70300	43700	47300	50200	37400	44500	70300
	19.856	51300	56700	64700	47200	54500	37500	53000	37300	42400	32100	87700	53300	83300	55300	34900	41700	87700
	17.142	46100	46600	57500	43800	46800	36500	47500	30600	35200	26700	75200	51900	80200	57300	45300	42100	80200
	16.624	50500	50200	56300	43900	45200	36400	46300	30600	35800	26400	78100	52400	86100	61000	55400	51600	86100
	13.198	101000	95200	46900	48300	57400	40200	56700	42500	40500	34900	114000	55200	121000	93800	141000	132000	141000
	11.671	120000	115000	52800	54000	62200	50500	61900	53600	46500	42900	125000	60900	134000	107000	165000	156000	165000
	8.395	169000	165000	67300	69000	76000	79700	77900	83900	67700	64000	162000	83800	171000	137000	228000	220000	228000
	2.189	289000	286000	100000	126000	130000	150000	120000	156000	128000	115000	257000	153000	253000	210000	376000	376000	376000
	-2.167	388000	387000	139000	185000	188000	209000	178000	217000	179000	159000	357000	217000	335000	285000	503000	509000	509000
	-4.000	432000	432000	159000	214000	214000	236000	206000	244000	202000	180000	403000	247000	371000	318000	561000	570000	570000

別表2(2) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m)																
		基準地震動Ss																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉圧力容器	42.628	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.322	188	188	175	136	186	126	190	121	134	89.7	228	173	254	218	211	222	254
	40.015	788	788	721	570	775	532	794	511	563	380	957	726	1060	909	887	934	1060
	39.215	1570	1570	1420	1140	1540	1070	1580	1020	1130	760	1910	1440	2090	1800	1770	1870	2090
	38.301	2320	2390	2320	1730	2370	1620	2430	1550	1690	1130	2950	2200	3400	2820	2660	2910	3400
	36.421	5040	5260	5120	3800	5170	3540	5300	3410	3670	2450	6520	4790	7570	6200	5820	6440	7570
	35.723	6700	6950	6610	5050	6810	4720	6990	4540	4880	3280	8540	6340	9910	8170	7760	8550	9910
	34.656	9540	9860	9090	7170	9590	6730	9840	6470	6940	4690	12000	8980	13900	11500	11100	12200	13900
	33.132	4880	5010	7960	5100	5300	3690	5600	3520	4350	2780	8430	5330	11000	5370	2740	4130	11000
	31.535	11800	11300	10200	10900	7900	6370	8230	6990	6980	5540	15700	8800	13100	12300	11000	11600	15700
	30.560	16400	15600	13300	15000	10500	9040	10800	9900	8780	7630	21100	12100	17100	16900	16100	17000	21100
	29.503	21100	20100	17900	19700	13200	11600	13400	12800	11200	9970	26800	16600	22200	22000	21000	22200	26800
	28.845	24000	22800	21300	22600	14700	13400	14900	14500	12900	11500	30100	19800	25600	25100	23700	25200	30100
	28.188	26800	25400	25100	25600	16100	15400	16500	16200	14700	12900	34100	23300	29200	28400	26200	27800	34100
	27.531	29500	27900	29100	28500	18800	17400	18100	17800	16600	14600	38000	26900	33600	31600	28400	30300	38000
	26.874	32100	30500	33400	31400	21900	19400	20600	19400	18700	16400	41900	30800	38300	35000	30400	32400	41900
	26.217	34700	32900	37800	34300	25200	21500	23800	21000	20800	18200	45800	34700	43100	38300	32200	34400	45800
	25.147	38500	36800	45400	38900	31000	24700	29500	24000	24600	21200	52000	41400	51400	43800	35100	36900	52000
	24.596	41100	39400	49400	41100	34000	26400	32500	26000	26900	22700	55100	44900	55700	46600	36400	38000	55700
	23.632	45500	43800	56400	44900	39500	29200	37900	29500	30900	25300	60300	50900	63400	51600	38400	39500	63400
	23.378	46600	44900	58200	45900	41000	29900	39400	30400	32000	26000	61600	52500	65400	53000	38900	39800	65400
	22.095	20100	21200	33600	25300	23800	16600	24200	14300	22300	14800	36300	31300	38400	27600	9820	10700	38400
	19.856	29500	30600	34700	28000	23700	18300	25100	15900	24600	15300	46200	35400	52600	37900	24900	25200	52600
	22.095	1390	1290	1030	984	925	889	905	919	977	727	1960	1170	1520	1360	1550	1530	1960
	21.587	588	562	404	435	401	377	349	389	423	289	814	479	626	596	684	674	814
	20.979	307	300	392	320	274	197	268	202	224	192	466	380	467	387	241	266	467
	20.292	812	793	881	736	706	521	691	522	528	508	1250	922	1130	988	710	705	1250
気水分離器及びシュラウド炉心	35.723	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	34.656	373	382	563	447	402	264	403	266	343	230	633	544	630	481	196	184	633
	33.132	2570	2630	3880	3110	2820	1850	2830	1870	2350	1580	4350	3810	4310	3320	1280	1230	4350
	31.535	5890	6000	8870	7110	6450	4250	6460	4300	5330	3620	9870	8710	9780	7560	2900	2810	9870
	30.560	8230	8390	12400	9880	8900	5910	8920	5980	7390	5040	13700	12100	13600	10500	4120	4000	13700
	29.503	11700	12000	17700	14100	12800	8450	12800	8570	10600	7170	19500	17300	19300	14900	5800	5640	19500
	28.845	15600	15800	22000	17700	16000	10800	16200	11000	13500	9080	24100	21900	23900	19000	8380	8140	24100
	28.188	19600	19800	26800	21600	19700	13300	20000	13500	16600	11200	29100	26800	28900	23500	11000	10700	29100
	27.531	23800	24100	32000	25800	23700	16100	23900	16300	20000	13400	34600	32100	34400	28300	13700	13300	34600
	26.874	28200	28500	37600	30300	27900	18900	28200	19300	23500	15800	40500	37800	40300	33400	16400	15900	40500
	26.217	32700	33000	43700	35100	32400	22000	32600	22300	27200	18300	46800	43800	46800	38600	19000	18400	46800
	25.559	37400	37700	50000	40100	37100	25100	37200	25600	31000	20900	53400	50000	53600	44000	21800	21100	53600
	25.147	41100	41400	54000	43300	40100	27300	40100	27700	33600	22700	57500	54000	58200	48100	24600	23800	58200
	24.596	46100	46400	59400	47700	44100	30200	44100	30700	37200	25200	63200	59400	64500	53500	28400	27600	64500
	23.632	54900	55100	69000	55500	51400	35400	51100	36000	43400	29700	73800	68900	76000	63100	35100	34100	76000
	23.378	57300	57500	71500	57500	53300	36700	52900	37300	45100	30800	76600	71400	79000	65700	36900	35800	79000

別表2(3) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	モーメント（kN･m） 基準地震動Ss																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
燃料集合体	29.503	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	28.845	1000	1040	713	691	679	427	743	442	409	398	1310	673	1190	866	1110	1100	1310
	28.188	1670	1740	1370	1300	1160	776	1330	809	749	667	2230	1200	2100	1450	1810	1790	2230
	27.531	1920	2000	1680	1560	1370	924	1570	967	907	756	2570	1450	2510	1640	2050	2030	2570
	26.874	1700	1770	1490	1360	1200	813	1370	854	819	648	2240	1280	2220	1420	1800	1790	2240
	26.217	1030	1070	863	766	693	471	797	495	493	374	1330	735	1300	824	1090	1100	1330
	25.559	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒案内管	25.559	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	24.596	218	217	226	212	170	137	161	135	127	118	332	253	283	260	207	201	332
	23.632	298	298	331	307	245	186	233	189	188	170	460	359	409	365	268	257	460
	23.378	298	298	332	306	247	186	235	189	188	171	460	359	410	365	266	255	460
	22.095	150	148	174	152	131	94.3	126	96.7	99.8	91.6	232	181	214	186	128	121	232
	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	20.979	376	368	409	341	330	243	323	243	244	237	581	427	523	458	332	328	581
	20.292	837	816	900	744	729	540	714	538	535	525	1290	939	1160	1020	744	738	1290
	19.344	44.9	43.0	26.8	28.3	28.2	28.0	26.2	28.9	29.5	21.2	56.2	33.8	45.2	42.6	49.0	50.0	56.2
	18.610	62.2	59.2	39.6	41.8	40.6	39.1	35.3	40.4	42.5	30.1	81.4	48.5	64.0	60.5	71.0	70.3	81.4
	17.876	47.0	44.8	31.1	32.1	31.1	29.7	26.8	30.6	32.4	22.9	62.2	37.0	48.7	46.1	54.3	53.4	62.2
	17.142	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	59.7	59.6	46.3	47.5	42.7	39.0	37.2	40.0	44.2	30.1	86.3	50.5	67.1	62.3	72.2	70.7	86.3
	19.344	62.5	59.8	40.6	43.5	41.5	39.9	35.8	41.1	43.0	30.3	82.8	49.5	66.0	61.8	70.0	70.1	82.8
	18.610	74.1	70.7	50.1	52.5	49.8	47.5	43.0	48.9	51.5	36.3	99.5	59.4	79.1	73.8	84.1	83.7	99.5
	17.876	53.1	51.0	36.5	37.7	35.8	34.0	30.9	35.0	37.0	26.0	71.4	42.6	56.8	52.9	60.5	60.2	71.4
	17.142	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表3(1) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構築物	標高 EL(m)	評価用軸力(kN) 基準地震動Ss								
		Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	8波包絡
原子炉格納容器	44.173	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.765	124	141	152	160	107	174	165	48.8	174
	39.431	436	493	531	560	374	610	576	171	610
	38.522	886	997	1080	1140	754	1240	1170	348	1240
	36.431	983	1110	1190	1260	835	1370	1290	386	1370
	33.431	1170	1310	1400	1480	983	1620	1520	456	1620
	30.431	1500	1670	1790	1890	1250	2080	1930	587	2080
	27.432	1740	1910	2050	2160	1440	2390	2210	679	2390
	24.422	2070	2250	2390	2530	1680	2830	2580	808	2830
	21.420	2710	2870	3030	3220	2150	3650	3280	1060	3650
	18.420	3300	3440	3600	3830	2580	4410	3910	1290	4410
	16.319	3860	3970	4120	4390	2980	5120	4490	1510	5120
	13.523	4680	4730	4850	5180	3560	6140	5300	1820	6140
	12.344	4980	5000	5150	5470	3770	6520	5640	1930	6520
	11.191	5500	5450	5680	5950	4120	7150	6220	2130	7150
	8.164	5810	5710	5980	6230	4330	7520	6560	2250	7520
	5.141	6230	6060	6410	6600	4610	8020	7020	2400	8020
	3.787	6700	6480	6880	7010	4930	8570	7530	2580	8570
	-0.013	7120	6880	7290	7350	5210	9040	7970	2740	9040
	-4.000	7650	7390	7800	7750	5570	9610	8500	2950	9610
		－	－	－	－	－	－	－	－	－
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	34.643	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	31.432	1220	1190	1160	1150	773	1430	1380	449	1430
	28.308	3630	3530	3450	3430	2330	4270	4130	1350	4270
	25.212	6390	6160	6000	5990	4110	7510	7240	2360	7510
	20.061	8450	8060	7870	7850	5470	9910	9560	3110	9910
	19.856	14800	13500	13300	13200	9730	17200	16600	5370	17200
	17.142	30900	28900	27600	27700	20400	36000	34900	11300	36000
	16.624	30900	28900	27600	27700	20400	36000	34900	11300	36000
	13.198	38000	34700	33600	33200	25300	43900	42600	13800	43900
	11.671	42100	37900	37000	36100	28200	48300	47100	15200	48300
	8.395	45500	40500	39800	38300	30600	51800	50800	16400	51800
	2.189	49600	43500	43100	40800	33600	56000	55500	17800	56000
	-2.167	54000	46200	46600	42800	36800	59900	60600	19400	60600
	-4.000	56100	47200	48200	43600	38300	61500	62900	20200	62900
		－					－	－	－	－

別表3(2) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構築物	標高 EL(m)	評価用軸力(kN) 基準地震動Ss								
		Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	8波包絡
原子炉圧力容器	42.628	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.322	107	104	99.2	99.1	70.1	126	122	39.5	126
	40.015	397	386	369	368	261	467	452	147	467
	39.215	978	951	908	907	642	1150	1120	361	1150
	38.301	1410	1370	1310	1310	923	1660	1610	520	1660
	36.421	2030	1980	1890	1890	1340	2390	2320	750	2390
	35.723	2590	2510	2400	2400	1700	3040	2950	954	3040
	34.656	3380	3280	3130	3130	2220	3980	3850	1250	3980
	33.132	3790	3670	3500	3510	2490	4450	4310	1400	4450
	31.535	4280	4140	3950	3960	2810	5030	4870	1580	5030
	30.560	4640	4480	4280	4290	3050	5450	5280	1710	5450
	29.503	4910	4730	4520	4530	3230	5770	5580	1810	5770
	28.845	5150	4960	4740	4760	3390	6050	5860	1900	6050
	28.188	5320	5120	4890	4910	3500	6250	6050	1960	6250
	27.531	5510	5290	5060	5080	3620	6460	6260	2030	6460
	26.874	5700	5470	5230	5250	3750	6690	6480	2100	6690
	26.217	5870	5630	5380	5410	3860	6890	6670	2160	6890
	25.147	6100	5840	5580	5610	4020	7160	6930	2250	7160
	24.596	6380	6100	5830	5860	4200	7480	7240	2350	7480
	23.632	6640	6340	6060	6100	4380	7790	7540	2440	7790
	23.378	7160	6810	6520	6560	4720	8390	8120	2630	8390
	22.095	7700	7300	6980	7030	5080	9010	8720	2830	9010
	19.856	15800	15100	14000	14300	10400	18500	17900	5760	18500
	22.095	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	21.587	7580	7260	6570	6750	4950	8850	8570	2750	8850
	21.245	7580	7260	6570	6750	4950	8850	8570	2750	8850
	20.979	7580	7260	6570	6750	4950	8850	8570	2750	8850
	20.292	4100	3930	3590	3690	2650	4820	4640	1490	4820
		－	－	－	－	－	－	－	－	－
気水分離器及び炉心シュラウド	35.723	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	34.656	49.6	50.6	42.3	44.7	33.1	60.1	57.2	18.0	60.1
	33.132	306	312	261	276	204	371	353	111	371
	31.535	507	516	432	456	338	614	584	184	614
	30.560	835	849	713	751	556	1010	962	303	1010
	29.503	1400	1400	1200	1240	924	1660	1600	506	1660
	28.845	1560	1560	1330	1380	1030	1850	1780	565	1850
	28.188	1610	1600	1370	1420	1060	1900	1830	580	1900
	27.531	1650	1640	1410	1450	1090	1950	1880	595	1950
	26.874	1690	1680	1440	1490	1120	2000	1930	611	2000
	26.217	1730	1720	1480	1530	1140	2050	1970	626	2050
	25.559	1780	1760	1520	1560	1170	2100	2020	641	2100
	25.147	2070	2040	1770	1820	1360	2440	2350	746	2440
	24.596	2290	2250	1960	2010	1510	2700	2600	827	2700
	23.632	2340	2290	2000	2050	1540	2760	2650	844	2760
	23.378	2420	2370	2070	2120	1600	2850	2740	873	2850
	23.109	2460	2410	2110	2160	1620	2900	2790	888	2900
	21.546	2510	2450	2150	2200	1650	2960	2840	906	2960
		－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表3(2) 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構築物	標高 EL(m)	評価用軸力(kN) 基準地震動Ss								
		Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	8波包絡
燃料集合体	29.503	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	28.845	186	184	166	176	117	224	211	67.4	224
	28.188	556	552	496	526	351	670	632	202	670
	27.531	927	919	825	874	585	1120	1060	337	1120
	26.874	1300	1290	1160	1220	820	1560	1480	471	1560
	26.217	1670	1650	1480	1570	1060	2000	1900	605	2000
	25.559	2040	2010	1800	1900	1290	2440	2320	739	2440
		－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒案内管	25.559	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	24.596	2440	2400	2150	2270	1550	2910	2770	885	2910
	23.632	2500	2460	2200	2320	1590	2980	2840	906	2980
	23.378	2530	2490	2220	2350	1610	3020	2870	917	3020
	22.095	2570	2530	2260	2380	1630	3060	2920	931	3060
	21.587	2620	2570	2300	2430	1670	3120	2970	950	3120
		－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	20.979	2680	2630	2350	2470	1710	3190	3040	970	3190
	20.292	3010	2930	2640	2750	1930	3570	3410	1090	3570
	19.344	460	421	396	408	306	534	516	167	534
	18.610	420	385	362	374	280	489	472	153	489
	17.876	386	354	332	343	257	449	434	140	449
	17.142	266	244	228	236	177	309	298	96.2	309
		－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	19.344	489	442	422	436	323	568	549	177	568
	18.610	434	393	375	388	287	505	488	158	505
	17.876	400	362	346	358	265	465	450	145	465
	17.142	214	194	185	191	142	249	240	77.5	249
		－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表4 基準地震動Ｓｓによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	記号	ばね反力（kN）																
		基準地震動Ss																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
ドライウェル 上部シアラグ	K_9	11300	11800	13400	12000	11500	8530	11000	8440	9990	7590	19500	13300	15400	14400	8430	9110	19500
ドライウェル 下部シアラグ	K_{10}	16400	11400	9410	10200	9050	7900	9890	8020	8310	5530	18800	10300	17800	12600	23800	18700	23800
ＰＣＶ スタビライザ	K_6	18000	17800	12900	13000	11000	11300	11500	11900	11500	9010	21600	14200	19000	17600	20200	20400	21600
ＲＰＶ スタビライザ	K_4	9220	9260	6770	6460	6260	5700	6440	5850	5410	4710	10400	7250	10600	9100	10600	10700	10700
ＣＲＤハウジング レストレントビーム	K_3	403	392	281	277	269	254	233	260	278	197	534	321	423	394	454	465	534
ダイヤフラムフロア	K_7	14000	11400	8840	10500	9580	7920	9110	8260	9320	6220	18600	10400	15600	13400	16700	14800	18600

別表5(1) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構築物	標高 EL(m)	せん断力(kN)																
		弾性設計用地震動Sd																
		Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉格納容器	44.173	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.765	114	118	41.0	38.6	54.1	44.3	50.6	45.6	36.7	33.9	100	48.1	110	80.7	118	119	119
	39.431	390	401	137	132	181	153	169	157	124	116	340	162	371	273	406	408	408
	38.522	1240	1180	481	459	587	546	592	576	549	442	1100	602	1220	875	1340	1300	1340
	36.431	1320	1260	505	480	606	578	611	608	572	466	1170	630	1290	928	1430	1380	1430
	33.431	1470	1410	545	517	639	635	643	667	613	510	1270	679	1410	1030	1590	1540	1590
	30.431	6490	6710	2220	2380	3060	2590	2980	2520	2390	2200	6570	3180	6750	5530	7550	7690	7690
	27.432	6670	6880	2260	2430	3090	2660	3040	2590	2430	2230	6710	3250	6890	5630	7740	7880	7880
	24.422	6890	7110	2300	2510	3110	2750	3120	2680	2480	2280	6870	3330	7060	5750	8000	8150	8150
	21.420	7300	7520	2370	2650	3250	2930	3260	2850	2550	2360	7140	3480	7350	5950	8490	8650	8650
	18.420	7650	7880	2420	2780	3370	3090	3380	3000	2610	2420	7350	3610	7570	6110	8930	9090	9090
	16.319	7970	8190	2460	2900	3470	3240	3480	3160	2650	2470	7520	3720	7760	6240	9350	9500	9500
	13.523	8410	8630	2510	3070	3620	3460	3610	3410	2730	2550	7740	3870	8000	6400	9930	10100	10100
	12.344	7850	8580	2670	3600	3670	4120	3650	4170	2900	3050	6980	4020	7290	5920	9470	10500	10500
	11.191	8090	8820	2770	3740	3790	4250	3810	4340	3030	3150	7170	4140	7530	6060	9830	10800	10800
	8.164	8230	8960	2830	3820	3850	4330	3910	4450	3100	3210	7280	4210	7660	6150	10100	11100	11100
	5.141	8400	9130	2910	3920	3930	4420	4040	4580	3200	3290	7410	4290	7830	6250	10400	11300	11300
	3.787	8580	9310	2980	4030	3990	4570	4170	4730	3310	3380	7540	4360	7990	6360	10700	11700	11700
	-0.013	8720	9450	3040	4120	4040	4690	4290	4850	3400	3450	7650	4420	8130	6460	11000	12000	12000
	-4.000	17700	18300	7860	10200	10200	9650	11000	9730	8470	7930	15700	9180	15900	12300	22200	23200	23200
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	34.643	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	31.432	4620	4640	3010	3320	3720	3070	3190	3140	3480	2430	6130	3700	4870	4820	5090	5360	6130
	28.308	3060	3140	2100	2480	2600	2040	2250	2130	2370	1650	4340	2640	3440	3350	3300	3530	4340
	25.212	1550	1660	1120	1430	1370	988	1310	979	1050	865	2120	1370	1740	1660	1280	1480	2120
	20.061	902	992	810	660	934	623	875	603	547	468	1220	760	1480	991	448	383	1480
	19.856	4550	4230	2490	2280	2920	2510	2950	2560	3110	1910	4890	2710	4180	3980	4710	4650	4890
	17.142	8250	7420	3770	4330	4400	4520	4300	4710	4690	3270	8640	4760	8370	7140	9200	9160	9200
	16.624	8490	7640	3880	4470	4580	4660	4380	4870	4870	3360	8870	4920	8540	7350	9460	9430	9460
	13.198	13000	11800	5870	6910	7630	7280	6900	7560	8030	5220	14000	8140	11900	11700	14400	14500	14500
	11.671	7140	7490	2540	3430	3490	3950	3440	4060	3520	2880	6410	4140	5920	5230	8840	9530	9530
	8.395	9100	9340	3370	4620	4740	5050	4560	5180	4810	3700	8510	5590	7200	6950	11200	11900	11900
	2.189	11500	12000	4760	6120	6210	6330	5970	6480	6230	4740	11000	7340	9060	8870	14100	14900	14900
	-2.167	14000	14600	6130	7660	7590	7460	7520	7640	7350	5840	13400	8940	11100	10400	17100	17900	17900
	-4.000	15200	15800	6760	8410	8210	7970	8290	8150	7830	6360	14500	9650	12000	10900	18600	19300	19300
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表5(2) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)																	
		弾性設計用地震動Sd																	
		Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31		8波包絡	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW		
原子炉圧力容器	42.628	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.322	101	97.3	74.4	55.5	102	64.7	105	61.6	75.8	45.1	97.1	79.1	118	97.6	90.8	91.4	118	
	40.015	321	311	232	177	324	208	332	199	243	146	310	253	373	310	293	295	373	
	39.215	681	660	479	377	680	444	698	423	515	311	657	535	782	652	627	632	782	
	38.301	602	652	564	372	668	409	686	392	497	267	647	495	870	664	488	549	870	
	36.421	1030	1050	832	586	1080	687	1110	657	791	465	1010	824	1340	1060	888	953	1340	
	35.723	1680	1680	1210	952	1700	1130	1740	1080	1290	777	1610	1340	2040	1660	1530	1600	2040	
	34.656	1870	1870	1310	1060	1880	1250	1930	1200	1430	868	1790	1480	2240	1830	1710	1790	2240	
	33.132	3960	3850	2280	2830	2150	2200	2050	2230	1950	1880	4120	2700	4150	3460	4150	4330	4330	
	31.535	3590	3470	2130	2650	1800	1800	1690	1920	1470	1670	3710	2460	3720	3140	3630	3800	3800	
	30.560	3210	3090	1970	2410	1570	1540	1510	1700	1240	1480	3340	2210	3300	2850	3190	3350	3350	
	29.503	3140	2990	2430	2500	1900	1710	1700	1620	1440	1460	3520	2590	3400	2960	2810	2960	3520	
	28.845	3070	2920	2830	2550	2420	1840	2250	1820	1830	1610	3620	2970	3560	3220	2550	2650	3620	
	28.188	3150	3010	3130	2570	2790	1990	2630	2020	2100	1700	3660	3230	3970	3390	2410	2420	3970	
	27.531	3260	3140	3380	2620	3120	2160	2980	2200	2350	1780	3770	3450	4320	3530	2280	2230	4320	
	26.874	3350	3230	3600	2780	3410	2300	3290	2360	2550	1840	4000	3620	4610	3630	2150	2110	4610	
	26.217	3400	3300	3780	2910	3650	2420	3550	2480	2720	1890	4180	3750	4840	3760	2020	1980	4840	
	25.147	3420	3340	3960	3040	3920	2540	3840	2610	2960	1920	4380	4040	5080	3970	1820	1790	5080	
	24.596	3400	3330	4040	3100	4090	2600	4020	2680	3110	1920	4510	4210	5190	4080	1640	1620	5190	
	23.632	3350	3290	4080	3130	4200	2630	4150	2710	3210	1940	4590	4330	5250	4130	1470	1460	5250	
	23.378	3280	3230	4070	3130	4250	2630	4220	2710	3270	1960	4610	4390	5250	4140	1330	1320	5250	
	22.095	3060	2870	1530	1790	1540	1520	1430	1390	1530	1270	3340	1840	3740	2750	3410	3320	3740	
	19.856	3950	3700	1970	2510	2000	1980	1980	2110	1680	1790	4350	2430	4620	3440	4520	4480	4620	
	22.095	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	21.587	969	909	717	619	847	660	838	657	717	570	1370	808	1100	1040	971	983	1370	
	20.979	807	746	630	511	737	554	730	548	585	495	1150	711	946	881	777	784	1150	
	20.292	483	447	425	346	478	341	473	340	342	318	687	486	611	552	402	402	687	
気水分離器及びシュラウド	35.723	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	34.656	255	259	300	241	282	180	280	181	235	151	378	317	395	303	110	107	395	
	33.132	1060	1080	1240	1010	1190	760	1180	768	952	626	1560	1330	1620	1260	442	429	1620	
	31.535	1520	1540	1770	1450	1700	1100	1680	1110	1340	897	2210	1910	2300	1790	636	618	2300	
	30.560	1750	1760	1990	1640	1880	1240	1860	1250	1490	1020	2500	2140	2620	2020	778	755	2620	
	29.503	2420	2440	2830	2310	2710	1770	2690	1800	2130	1430	3470	3060	3610	2830	1000	970	3610	
	28.845	3960	3920	3630	3090	3720	2510	3610	2560	3100	2000	4450	4180	5060	4020	2460	2360	5060	
	28.188	4220	4180	4020	3390	4090	2740	3970	2790	3350	2180	4890	4580	5380	4310	2500	2390	5380	
	27.531	4450	4420	4410	3690	4420	2950	4290	3010	3570	2350	5340	4960	5700	4570	2520	2410	5700	
	26.874	4650	4630	4780	3960	4710	3140	4570	3210	3760	2500	5750	5300	6080	4800	2520	2420	6080	
	26.217	4830	4810	5090	4190	4950	3310	4820	3370	3910	2620	6100	5580	6390	5060	2530	2430	6390	
	25.559	5020	5000	5380	4410	5190	3470	5070	3540	4070	2750	6420	5850	6700	5330	2590	2490	6700	
	25.147	6000	5860	5340	4520	5230	3630	5020	3700	4310	2950	6500	5800	7400	5980	4230	4060	7400	
	24.596	6080	5940	5440	4600	5340	3690	5120	3760	4390	3000	6610	5920	7500	6070	4260	4080	7500	
	23.632	6130	5990	5500	4640	5400	3730	5190	3800	4430	3020	6650	5990	7560	6110	4270	4090	7560	
	23.378	6130	6000	5500	4630	5430	3740	5210	3820	4440	3010	6630	6010	7560	6100	4250	4070	7560	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	

別表5(3) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)																	
		弾性設計用地震動Sd																	
		Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31		8波包絡	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW		
燃料集合体	29.503	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	28.845	906	1100	612	567	596	406	527	421	411	351	1050	560	1070	787	985	971	1100	
	28.188	659	798	564	504	444	342	433	362	353	273	745	495	902	541	625	618	902	
	27.531	256	308	265	226	206	149	194	161	168	120	309	237	395	241	209	209	395	
	26.874	216	266	162	167	179	108	163	111	112	98.1	259	167	272	211	225	220	272	
	26.217	650	789	540	492	444	333	422	352	337	270	741	474	875	543	628	620	875	
	25.559	955	1150	739	631	604	453	588	480	505	364	1070	652	1220	758	965	959	1220	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
制御棒案内管	25.559	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	24.596	145	149	131	125	136	96.7	130	96.9	102	83.3	207	160	191	169	124	124	207	
	23.632	60.4	66.7	63.6	55.1	60.2	43.1	58.9	41.5	49.2	38.4	80.3	67.4	83.1	68.6	37.8	37.4	83.1	
	23.378	8.32	8.58	8.30	6.71	7.92	5.56	7.71	5.64	7.10	5.28	8.96	9.85	10.8	8.85	4.15	3.76	10.8	
	22.095	74.6	79.7	68.1	67.8	69.8	49.3	66.5	49.9	53.2	42.3	107	84.6	101	87.1	62.5	62.5	107	
	21.587	195	200	187	168	197	137	192	137	153	126	276	217	264	229	148	147	276	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	20.979	408	398	374	317	413	291	408	292	310	272	577	430	538	474	319	318	577	
	20.292	440	418	398	333	442	313	437	314	327	292	623	457	571	509	351	351	623	
	19.344	51.3	49.5	33.0	33.4	39.8	32.1	36.6	32.9	38.7	25.8	68.3	39.8	54.7	52.8	54.7	55.8	68.3	
	18.610	15.4	14.7	10.6	10.2	11.8	9.54	11.1	9.71	11.6	7.67	20.7	12.1	16.4	15.8	16.1	16.4	20.7	
	17.876	12.4	12.0	7.06	7.36	9.32	7.86	8.65	8.13	9.07	6.29	15.6	9.12	13.0	12.3	13.2	13.5	15.6	
	17.142	39.2	38.5	23.6	24.2	29.6	24.7	27.2	25.3	29.0	19.9	50.7	30.0	41.5	39.5	42.0	42.9	50.7	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	19.344	47.0	44.9	30.4	30.9	36.8	30.2	33.6	30.9	34.5	23.4	62.2	36.6	50.7	48.2	49.5	50.6	62.2	
	18.610	10.4	9.83	7.13	6.81	7.91	6.63	7.40	6.74	7.55	5.13	13.8	8.15	11.2	10.6	10.7	10.9	13.8	
	17.876	17.7	17.0	10.7	11.3	13.8	11.5	12.6	11.8	12.9	8.86	23.0	13.6	19.0	18.0	18.7	19.2	23.0	
	17.142	44.9	43.5	27.9	28.5	34.4	28.8	31.5	29.5	32.7	22.5	58.4	34.6	48.1	45.6	47.6	48.7	58.4	
		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	

別表6(1) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構築物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m)																
		弾性設計用地震動Sd																
		Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉格納容器	44.173	25.4	24.3	19.4	14.9	23.6	12.5	23.4	12.5	12.7	11.1	27.9	17.5	34.5	22.7	17.2	16.8	34.5
	41.765	362	372	153	146	201	133	189	141	136	119	346	183	397	284	349	349	397
	39.431	1360	1400	520	491	686	513	643	528	464	420	1240	618	1390	1010	1360	1360	1400
	38.522	2500	2480	921	822	1180	1020	1110	1060	916	784	2100	1080	2400	1770	2590	2550	2590
	36.431	5310	5160	2010	1830	2380	2240	2290	2350	2100	1770	4590	2410	5100	3690	5610	5480	5610
	33.431	9840	9520	3720	3420	4310	4190	4200	4390	3970	3320	8530	4500	9460	6850	10500	10200	10500
	30.431	29400	29800	9730	10200	13100	11500	13200	12000	9700	8890	27600	13500	29200	23300	33200	33400	33400
	27.432	49600	50600	16300	17500	22200	19000	22400	19800	17000	14900	47900	23300	50100	40300	56500	57100	57100
	24.422	70600	72200	23200	25000	31600	27300	32000	28000	24500	21800	68900	33400	71700	57800	80800	81900	81900
	21.420	92900	95200	30400	33100	41500	36200	42000	36600	32300	28900	90700	44000	94200	76000	107000	108000	108000
	18.420	116000	119000	37700	41500	51600	45500	52300	45700	40200	36200	113000	55000	118000	94600	134000	136000	136000
	16.319	134000	137000	42900	47600	59000	52400	59800	52400	45900	41500	130000	62900	134000	108000	154000	156000	156000
	13.523	157000	161000	50000	56200	69100	62100	70000	61800	53500	48600	151000	73800	157000	127000	182000	184000	184000
	12.344	167000	172000	51700	60200	72700	66200	74000	66400	55600	50700	158000	78100	165000	133000	193000	197000	197000
	11.191	176000	182000	53700	64300	76500	70600	78000	71100	57800	53400	166000	82400	173000	139000	204000	209000	209000
	8.164	201000	209000	59700	75200	86300	83000	88300	83700	64600	63200	184000	93900	194000	156000	235000	243000	243000
	5.141	227000	237000	66700	86300	96200	96100	98700	96800	73300	73200	204000	106000	215000	174000	266000	277000	277000
	3.787	239000	250000	70000	91400	101000	103000	104000	103000	77400	77800	213000	111000	225000	182000	280000	292000	292000
	-0.013	281000	295000	82300	109000	118000	121000	122000	124000	89800	92500	248000	131000	262000	214000	329000	345000	345000
	-4.000	339000	356000	92400	133000	136000	157000	133000	162000	111000	118000	284000	156000	302000	241000	416000	436000	436000
原子炉本体の基礎 原子炉遮蔽及び	34.643	51.8	57.4	57.2	37.5	49.2	44.0	47.9	39.6	40.2	27.5	67.7	41.5	75.1	60.1	33.7	33.6	75.1
	31.432	14900	14900	9660	10700	12000	9830	10300	10100	11200	7780	19800	11900	15700	15500	16400	17200	19800
	28.308	24000	24600	16200	18500	20100	16100	17200	16700	18600	12900	33400	20200	26400	26000	26600	28200	33400
	25.212	28300	29000	19300	22900	23900	18800	20600	19700	21700	15300	39900	24300	31600	30900	30500	32700	39900
	20.061	30100	31500	20800	25900	24900	19100	22300	20100	21800	15800	41900	26200	33400	31900	29300	32400	41900
	19.856	34400	38500	35200	25800	39600	28700	39200	25200	31100	21800	52800	33300	48100	35800	27800	30800	52800
	17.142	29200	31900	31600	23100	33700	26900	34300	23000	25500	18200	41800	30400	44500	34700	15400	13000	44500
	16.624	31400	34100	30900	23200	32500	26500	33300	22700	25600	18300	44700	30700	47400	36500	20700	17600	47400
	13.198	61500	58400	25800	27200	37300	23500	36600	23800	24600	20200	59300	32500	71600	53500	64800	61000	71600
	11.671	71500	68800	28700	29300	40100	28200	39700	29600	27900	24400	68200	34900	78900	60300	77700	74900	78900
	8.395	98200	95700	35700	35800	46300	43600	46800	46000	39900	35600	92000	46300	98600	75900	113000	113000	113000
	2.189	167000	164000	51400	66300	72300	82600	65500	85900	75900	62800	148000	83700	145000	121000	199000	204000	204000
	-2.167	226000	223000	71900	94300	106000	115000	95000	119000	107000	87700	198000	121000	181000	166000	274000	282000	282000
	-4.000	253000	249000	82500	109000	120000	130000	110000	134000	121000	99100	223000	138000	199000	186000	308000	317000	317000

別表6(2) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m)																
		弾性設計用地震動Sd																
		Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
原子炉圧力容器	42.628	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.322	132	127	97.2	72.4	134	84.5	137	80.5	99.0	58.9	127	104	154	128	119	120	154
	40.015	551	534	400	304	556	357	571	340	416	249	532	434	642	533	502	505	642
	39.215	1100	1070	780	605	1100	711	1130	678	827	498	1060	861	1270	1060	1010	1010	1270
	38.301	1650	1640	1300	923	1710	1080	1760	1030	1260	740	1580	1310	2060	1660	1450	1510	2060
	36.421	3570	3610	2860	2030	3740	2380	3840	2270	2740	1620	3470	2860	4580	3650	3120	3300	4580
	35.723	4740	4780	3700	2690	4920	3160	5050	3020	3640	2160	4540	3790	6000	4810	4180	4420	6000
	34.656	6730	6770	5090	3820	6920	4490	7100	4290	5160	3080	6440	5370	8380	6760	6000	6320	8380
	33.132	3870	4180	4280	2840	4020	3000	4220	2920	3260	2040	4760	3170	6680	3430	1540	1330	6680
	31.535	8030	7990	5430	6030	4760	4450	5460	4290	4600	3600	8730	5340	8380	7430	6940	7160	8730
	30.560	10900	10700	7130	8370	6190	5810	6880	5900	5690	4870	11800	7300	11200	10200	10100	10400	11800
	29.503	13800	13400	9670	11000	7660	7380	8490	7550	7190	6230	15200	10100	14500	13300	13000	13600	15200
	28.845	15600	15000	11600	12700	9060	8370	9520	8540	8260	7060	17500	12000	16600	15100	14600	15300	17500
	28.188	17300	16500	13600	14300	10900	9380	10600	9500	9450	7870	19800	14100	18900	17100	16100	16900	19800
	27.531	19100	18000	15800	16000	13000	10600	11900	10800	10800	8880	22100	16400	21400	19000	17500	18300	22100
	26.874	20700	19500	18200	17600	15200	12000	14100	12300	12100	10100	24500	18800	24000	21000	18600	19600	24500
	26.217	22400	20900	20600	19200	17600	13600	16400	13900	13900	11300	26800	21200	27200	23200	19700	20700	27200
	25.147	25100	23300	24800	21700	21700	16200	20500	16600	17000	13300	30500	25400	32600	27200	21100	22200	32600
	24.596	26900	25200	27000	23000	24000	17600	22700	18000	18700	14400	32400	27500	35500	29200	22000	22900	35500
	23.632	30200	28300	30900	25100	28000	20000	26700	20600	21700	16200	35600	31300	40600	32700	23400	23700	40600
	23.378	31000	29200	31900	25600	29100	20700	27800	21300	22400	16700	36400	32300	41900	33600	23800	23900	41900
	22.095	13600	14700	18300	13700	17300	12700	17600	11100	16700	10300	21200	18800	23400	17900	4470	5090	23400
	19.856	19800	20700	19000	15500	17000	13300	17900	11600	17400	11400	27000	21000	30900	23700	12900	11900	30900
	22.095	843	797	572	549	698	559	690	563	639	473	1180	693	933	861	882	896	1180
	21.587	368	346	231	242	287	231	265	237	276	184	488	284	389	378	392	400	488
	20.979	205	230	214	180	210	148	208	150	174	137	282	232	293	242	140	139	293
	20.292	535	526	490	417	539	381	533	383	408	355	751	565	707	620	414	413	751
気水分離器及びシュラウド炉心	35.723	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	34.656	272	277	320	257	301	192	298	193	250	161	403	338	421	324	117	114	421
	33.132	1890	1910	2210	1790	2110	1350	2090	1370	1700	1120	2770	2370	2890	2240	789	766	2890
	31.535	4310	4360	5020	4100	4810	3100	4760	3130	3850	2550	6300	5410	6560	5090	1810	1760	6560
	30.560	6010	6080	6960	5700	6640	4300	6570	4340	5290	3530	8730	7500	9110	7060	2570	2490	9110
	29.503	8550	8650	9890	8140	9500	6160	9410	6240	7480	5040	12400	10800	13000	10100	3620	3520	13000
	28.845	11200	11300	12300	10200	11900	7810	11800	7920	9470	6350	15400	13500	16000	12500	5230	5050	16000
	28.188	14000	14000	14900	12400	14400	9600	14300	9750	11700	7780	18600	16500	19400	15100	6870	6610	19400
	27.531	16900	16900	17800	14800	17300	11600	17100	11800	14000	9320	22100	19800	23000	18000	8520	8190	23000
	26.874	19900	19900	20900	17400	20400	13600	20100	13900	16500	11000	25800	23300	26900	21100	10200	9780	26900
	26.217	23100	23100	24300	20200	23700	15800	23200	16100	19100	12700	29900	26900	31100	24300	11900	11400	31100
	25.559	26400	26400	27800	23100	27100	18100	26500	18400	21800	14500	34100	30800	35500	27800	13600	13000	35500
	25.147	28900	28800	30000	25000	29200	19600	28500	19900	23500	15600	36700	33100	38300	30100	15300	14700	38300
	24.596	32200	32100	33000	27500	32200	21600	31200	22000	25900	17200	40300	36400	42100	33500	17600	16900	42100
	23.632	38100	37800	38300	32000	37400	25200	36200	25700	30200	20100	46700	42200	48800	39300	21700	20900	48800
	23.378	39700	39400	39700	33100	38700	26100	37500	26600	31300	20900	48300	43700	50500	40900	22800	21900	50500

別表6(3) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m)																
		弾性設計用地震動Sd																
		Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
燃料集合体	29.503	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	28.845	596	721	403	374	393	267	347	277	270	231	692	369	703	518	648	639	721
	28.188	1030	1250	773	702	678	489	624	514	502	410	1180	673	1300	869	1060	1050	1300
	27.531	1200	1450	945	846	777	587	747	619	611	479	1360	828	1560	989	1200	1180	1560
	26.874	1060	1280	841	738	676	517	662	547	553	416	1190	740	1380	855	1050	1040	1380
	26.217	629	756	486	416	398	298	387	316	333	240	705	429	801	499	635	631	801
	25.559	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒案内管	25.559	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	24.596	140	143	126	120	131	93.1	125	93.3	97.4	80.2	199	154	184	162	120	120	199
	23.632	195	201	182	173	189	132	182	133	145	118	276	219	261	228	156	156	276
	23.378	195	200	183	173	190	133	183	134	146	118	276	219	261	228	155	155	276
	22.095	98.8	102	94.9	85.4	99.7	69.4	97.6	69.6	77.5	63.9	140	111	134	117	74.8	74.4	140
	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	20.979	248	242	227	193	251	177	249	178	188	166	351	262	327	288	194	193	351
	20.292	550	529	501	421	554	392	549	393	413	366	779	576	719	638	435	434	779
	19.344	26.8	26.3	15.0	15.8	19.9	17.0	18.4	17.6	19.5	13.7	33.5	19.9	28.0	26.4	28.7	29.4	33.5
	18.610	37.8	37.0	22.3	23.2	28.6	23.8	26.3	24.5	27.9	19.2	48.6	28.7	40.0	38.0	40.5	41.4	48.6
	17.876	28.8	28.2	17.4	17.8	21.7	18.1	20.0	18.6	21.3	14.6	37.2	22.0	30.5	29.0	30.8	31.5	37.2
	17.142	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	38.5	36.1	26.5	26.3	30.6	24.7	28.1	25.3	28.6	19.0	52.1	30.4	41.8	40.0	40.1	40.9	52.1
	19.344	38.5	37.2	23.2	24.2	29.5	24.7	27.0	25.4	28.0	19.3	49.6	29.4	41.1	38.9	40.8	41.8	49.6
	18.610	45.9	44.4	28.4	29.2	35.3	29.5	32.3	30.3	33.5	23.0	59.7	35.4	49.2	46.6	48.7	49.8	59.7
	17.876	33.0	32.0	20.5	20.9	25.2	21.1	23.1	21.7	24.0	16.5	42.9	25.4	35.3	33.5	35.0	35.8	42.9
	17.142	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表7(1) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構築物	標高 EL (m)	評価用軸力(kN) 弾性設計用地震動Sd								
		Sd-D1	Sd-11	Sd-12	Sd-13	Sd-14	Sd-21	Sd-22	Sd-31	8波包絡
原子炉格納容器	44.173	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.765	68.9	74.4	93.2	97.8	62.0	92.3	89.4	27.7	97.8
	39.431	242	261	327	343	217	324	313	97.1	343
	38.522	492	528	659	692	439	656	631	197	692
	36.431	546	585	730	767	486	728	699	219	767
	33.431	646	690	859	902	572	859	822	259	902
	30.431	832	882	1090	1150	728	1100	1050	333	1150
	27.432	961	1020	1250	1310	834	1270	1190	384	1310
	24.422	1150	1200	1450	1530	977	1500	1400	457	1530
	21.420	1500	1530	1830	1930	1250	1940	1760	596	1940
	18.420	1820	1840	2160	2280	1490	2340	2090	724	2340
	16.319	2120	2120	2480	2600	1710	2720	2430	846	2720
	13.523	2570	2530	2930	3050	2020	3260	2920	1020	3260
	12.344	2730	2670	3090	3210	2130	3450	3090	1090	3450
	11.191	3010	2910	3350	3480	2320	3790	3390	1200	3790
	8.164	3180	3050	3510	3640	2430	3990	3570	1260	3990
	5.141	3410	3240	3710	3850	2580	4250	3800	1350	4250
	3.787	3670	3430	3920	4070	2740	4540	4060	1450	4540
	-0.013	3890	3590	4100	4260	2880	4790	4290	1530	4790
	-4.000	4170	3860	4300	4480	3050	5080	4580	1630	5080
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34.643	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	31.432	672	604	656	702	424	768	736	249	768
	28.308	2020	1800	1950	2100	1270	2300	2200	744	2300
	25.212	3540	3140	3400	3650	2220	4020	3860	1310	4020
	20.061	4690	4120	4450	4770	2920	5300	5090	1720	5300
	19.856	8200	6900	7430	7920	5240	9100	8790	2970	9100
	17.142	17300	14800	15600	16600	11000	19300	18600	6220	19300
	16.624	17300	14800	15600	16600	11000	19300	18600	6220	19300
	13.198	21200	17800	18600	19800	13700	23500	22700	7590	23500
	11.671	23500	19500	20500	21500	15300	25800	25100	8390	25800
	8.395	25300	20800	21900	22700	16500	27700	26900	9020	27700
	2.189	27600	22300	23700	24100	18100	30000	29300	9800	30000
	-2.167	29900	23700	25400	25300	19800	32200	31800	10600	32200
	-4.000	31000	24200	26100	25600	20600	33100	33000	11000	33100
		－					－	－	－	－

別表7(2) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL (m)	評価用軸力(kN) 弾性設計用地震動Sd								
		Sd-D1	Sd-11	Sd-12	Sd-13	Sd-14	Sd-21	Sd-22	Sd-31	8波包絡
原子炉圧力容器	42.628	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	41.322	59.6	53.6	55.5	59.0	37.9	67.5	65.2	21.9	67.5
	40.015	221	199	206	219	141	251	242	81.1	251
	39.215	545	490	508	540	347	618	596	200	618
	38.301	784	704	730	777	499	889	858	288	889
	36.421	1130	1020	1060	1120	719	1290	1240	415	1290
	35.723	1440	1290	1340	1430	916	1640	1580	528	1640
	34.656	1890	1690	1750	1870	1200	2140	2060	690	2140
	33.132	2110	1890	1960	2090	1350	2390	2310	773	2390
	31.535	2390	2130	2210	2360	1520	2700	2610	873	2700
	30.560	2590	2310	2390	2560	1650	2930	2820	946	2930
	29.503	2740	2440	2530	2700	1750	3100	2990	1000	3100
	28.845	2870	2550	2650	2830	1830	3250	3130	1050	3250
	28.188	2970	2640	2740	2930	1890	3360	3240	1090	3360
	27.531	3070	2720	2830	3030	1960	3470	3350	1120	3470
	26.874	3180	2810	2920	3130	2030	3590	3460	1160	3590
	26.217	3280	2900	3010	3220	2090	3700	3570	1200	3700
	25.147	3400	3000	3120	3350	2170	3840	3700	1240	3840
	24.596	3560	3130	3260	3490	2270	4010	3870	1300	4010
	23.632	3710	3260	3390	3640	2370	4180	4030	1350	4180
	23.378	4000	3500	3650	3910	2560	4500	4340	1460	4500
	22.095	4290	3750	3920	4190	2750	4830	4660	1560	4830
	19.856	8820	7700	7950	8510	5610	9950	9550	3180	9950
	22.095	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	21.587	4240	3710	3780	4050	2670	4800	4580	1520	4800
	21.245	4240	3710	3780	4050	2670	4800	4580	1520	4800
	20.979	4240	3710	3780	4050	2670	4800	4580	1520	4800
	20.292	2290	2010	2090	2230	1430	2620	2480	822	2620
		－	－	－	－	－	－	－	－	－
気水分離器及びシュラウド	35.723	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	34.656	27.8	26.3	24.9	26.5	18.0	32.8	30.7	10.2	32.8
	33.132	172	162	154	164	111	202	189	62.5	202
	31.535	284	268	254	271	184	335	313	104	335
	30.560	468	441	418	446	303	550	516	171	550
	29.503	784	723	684	733	502	903	855	284	903
	28.845	874	804	760	816	559	1010	952	316	1010
	28.188	898	825	780	838	574	1030	978	325	1030
	27.531	922	846	800	859	589	1060	1010	333	1060
	26.874	946	867	821	881	604	1090	1030	342	1090
	26.217	970	888	841	903	619	1110	1060	350	1110
	25.559	993	908	861	925	634	1140	1080	359	1140
	25.147	1160	1050	1000	1080	738	1320	1260	416	1320
	24.596	1290	1160	1110	1190	818	1460	1390	461	1460
	23.632	1310	1180	1130	1220	834	1490	1420	470	1490
	23.378	1360	1220	1170	1260	863	1540	1470	486	1540
	23.109	1380	1240	1190	1280	878	1560	1490	495	1560
	21.546	1410	1260	1220	1310	896	1590	1520	504	1590
		－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表7(3) 弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	標高 EL（m）	評価用軸力(kN) 弾性設計用地震動Sd								
		Sd-D1	Sd-11	Sd-12	Sd-13	Sd-14	Sd-21	Sd-22	Sd-31	8波包絡
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	21.587	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	20.979	1500	1340	1380	1480	921	1730	1630	536	1730
	20.292	1680	1500	1550	1660	1030	1940	1830	603	1940
	19.344	257	215	229	244	167	285	275	92.0	285
	18.610	235	196	210	224	153	261	252	84.2	261
	17.876	216	181	193	205	140	240	231	77.3	240
	17.142	148	124	133	141	96.2	165	159	53.2	165
	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	20.979	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	19.344	273	225	245	261	176	303	293	97.8	303
	18.610	243	200	218	232	156	269	260	86.9	269
	17.876	224	184	201	214	144	248	240	80.2	248
	17.142	120	98.3	108	115	76.8	133	128	42.8	133
	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

別表8　弾性設計用地震動Ｓｄによる建屋－機器連成解析結果（基本ケース×係数）

構造物	記号*	ばね反力（kN）																
		弾性設計用地震動Sd																
		Sd-D1		Sd-11		Sd-12		Sd-13		Sd-14		Sd-21		Sd-22		Sd-31		8波包絡
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
ドライウェル 上部シアラグ	K_9	7430	8090	7500	6790	8360	5910	8320	5750	7050	5030	11800	8190	10300	9350	6550	6940	11800
ドライウェル 下部シアラグ	K_{10}	9390	7160	5280	5700	6540	5690	6680	5770	5580	4060	10900	6170	10100	8650	9020	7640	10900
ＰＣＶ スタビライザ	K_6	10800	10800	7120	7290	7800	7240	7680	7110	7280	5530	12900	8140	11600	10700	12100	12600	12900
ＲＰＶ スタビライザ	K_4	5750	5730	3730	3650	4270	3690	4380	3580	3440	2800	6160	4370	6360	5450	6140	6370	6370
ＣＲＤハウジング レストレントビーム	K_3	249	246	153	153	183	156	168	159	181	125	320	191	261	249	268	274	320
ダイヤフラムフロア	K_7	8350	7040	4940	5840	6940	5490	6640	5660	6170	4050	11400	6310	9950	8650	8440	7860	11400

4.　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フローと構成について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
5.　耐震計算書記載注意事項・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

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
（Ｆ１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
（Ｆ２パターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例）
添付資料-3-1　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ３パターン「盤」の耐震計算書記載例）
添付資料-3-2　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ３パターン「計装ラック」の耐震計算書記載例）
添付資料-3-3　「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ３パターン「計器スタンション」の耐震計算書記載例）
添付資料-4　機能維持評価で新たな検討を実施する場合
添付資料-5　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-6-1　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-6-2　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-7　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-8　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-9　「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，要領書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，東海第二発電所の工事計画認可申請における添付書類のうち「Ⅴ-2　耐震性に関する説明書」及び「Ⅴ-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。

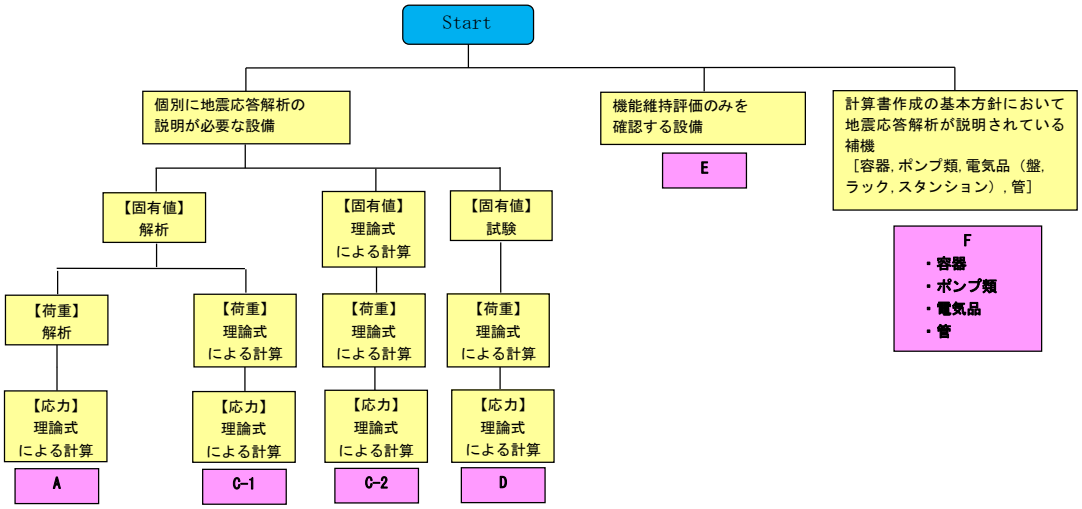
・耐震計算書を分類し，分類ごとに章構成をできるだけ統一する。

・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 ［添付資料-5 参照］	C-1 ［添付資料-6-1 参照］	C-2 ［添付資料-6-2 参照］	D ［添付資料-7 参照］	E ［添付資料-8 参照］
該当設備（例）	残留熱除去系熱交換器，水圧制御ユニット，使用済燃料貯蔵ラックなど	原子炉隔離時冷却系系統流量など	非常用ディーゼル発電機，アキュムレータなど	西側淡水貯水設備水位など	原子炉圧力容器温度，衛星電話設備（固定型）（中央制御室）など
計算書構成（目次）	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用基準 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 地震応答解析及び構造強度評価・・・・・・・・・・・・⑤ 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 4.3 解析モデル及び諸元 4.4 固有周期 4.5 設計用地震力*2 4.6 計算方法 4.7 計算条件 4.8 応力の評価 5. 機能維持評価*3, *4・・・・・⑩ 5.1 （動的 or 電気的）機能維持評価方法 6. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 6.1 設計基準対象施設としての評価結果 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用基準 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 固有周期・・・・・・・・・・④ 4.1 固有値解析方法 4.2 解析モデル及び諸元 4.3 固有値解析結果 5. 構造強度評価・・・・・・・⑦ 5.1 構造強度評価方法 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 5.3 設計用地震力*2 5.4 計算方法 5.5 計算条件 5.6 応力の評価 6. 機能維持評価*3, *4・・・・・⑩ 6.1 （動的 or 電気的）機能維持評価方法 7. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 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	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用基準 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 固有周期・・・・・・・・・・④ 4.1 固有周期の計算方法 4.2 固有周期の計算条件 4.3 固有周期の計算結果 5. 構造強度評価・・・・・・・⑦ 5.1 構造強度評価方法 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 5.3 設計用地震力*2 5.4 計算方法 5.5 計算条件 5.6 応力の評価 6. 機能維持評価*3, *4・・・・・⑩ 6.1 （動的 or 電気的）機能維持評価方法 7. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 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	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用基準 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 固有周期・・・・・・・・・・④ 4.1 基本方針 4.2 固有周期の算出方法 4.3 固有周期の算出結果 5. 構造強度評価・・・・・・・⑦ 5.1 構造強度評価方法 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 5.3 設計用地震力*2 5.4 計算方法 5.5 計算条件 5.6 応力の評価 6. 機能維持評価*3, *4・・・・・⑩ 6.1 （動的 or 電気的）機能維持評価方法 7. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 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	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用基準 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 機能維持評価・・・・・⑩ 4.1 評価用加速度 4.2 機能確認済加速度 ・⑨ 5. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果
パターン	F 1 （容器，横軸ポンプ類） ［添付資料-1 参照］	F 2 （たて軸ポンプ類） ［添付資料-2 参照］	F 3 （電気品） （盤，ラック，スタンション） ［添付資料-3 参照］	F （管） ［添付資料-9 参照］	
該当設備（例）	ほう酸水貯蔵タンク，ほう酸水注入ポンプなど	残留熱除去系ポンプ，残留熱除去系海水系ポンプなど	メタルクラッド開閉装置など	配管	
計算書構成（目次）	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 適用基準*1 3. 構造強度評価・・・・・・・⑧ 3.1 構造強度評価方法 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 4. 機能維持評価*3・・・・・・⑩ 4.1 動的機能維持評価方法 5. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 適用基準*1 3. 固有値解析及び構造強度評価・・・・・・・⑤ 3.1 固有値解析及び構造強度評価方法 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3.3 解析モデル及び諸元 3.4 固有周期 3.5 設計用地震力 4. 機能維持評価・・・・・・・⑩ 4.1 動的機能維持評価方法 5. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 適用基準*1 3. 固有周期 4. 構造強度評価・・・・・・・⑧ 4.1 構造強度評価方法 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5. 機能維持評価*4・・・・・・⑩ 5.1 電気的機能維持評価方法 6. 評価結果*5・・・・・・・・・⑪ 6.1 設計基準対象施設としての評価結果 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・・① 2. 概略系統図及び鳥瞰図 2.1 概略系統図 2.2 鳥瞰図 3. 計算条件 3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3.2 設計条件 3.3 材料及び許容応力 3.4 設計用地震力 4. 解析結果及び評価 4.1 固有周期及び設計震度 4.2 評価結果 4.2.1 管の応力評価結果 4.2.2 支持構造物評価結果 4.2.3 弁の動的機能維持評価結果 4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	

＊1：波及的影響を及ぼすおそれのある施設

＊2：計算書作成の基本方針を呼び込まない計算書の設計用地震力の記載は添付資料-10 を参照する。

＊3：動的又は電気的機能維持評価が必要な設備のみ記載

＊4：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-4 を参照する。

＊5：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。

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の種類があり，各耐震計算書はおおむ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，東海第二発電所の耐震計算書（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。

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（「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。」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。

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」,「適用基準」,「記号の説明」,「計算精度と数値の丸め方」を記載し，全体ストーリーを説明することを目的としている。

「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書においては,「計算書作成の基本方針」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（以降のページ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「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」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,「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（以降のページ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。
・「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旨記載する。
・「評価方針」では，原則として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，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。

・「適用基準」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明確に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

固有値を求めることを目的としている。固有値の求め方及び固有値を記載する。

・解析モデルを用いて固有値を算出する場合（C-1）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，適用するモデル（3 次元 FEM モデル等）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」ではモデル図，解析モデルの諸元を記載すること。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。）
- 「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，適用するモデル（1 質点系モデル等），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。

・固有値測定試験（D）において，「基本方針」，「固有周期の算出方法」，「固有周期の算出結果」を記載する。

-「基本方針」では，試験名称を記載する。

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。

-「固有周期の算出方法」では，試験方法を記載する。

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情報を記載することを目的としている。

・以下について記載する。

- 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状態
- 許容応力
- 使用材料の許容応力
- 設計用地震力
- 解析モデル及び諸元
- 固有周期
- 計算方法（応力）
- 計算条件（応力）
- 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。

- モデル，解析コード，拘束条件等を記載すること。
- 公称値を使用する旨を記載すること。
- 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。

・「解析モデル及び諸元」ではモデル図，解析モデルの諸元を記載する。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。）

・固有値解析を実施する場合は，固有振動数を記載するとともに，柔構造の場合はその振動モード図を記載する。

・応力評価の荷重に使用する解析の結果を記載すること（応力計算式を用いて手計算できる程度）。

5.2.6 「⑥地震応答解析」について

地震応答解析方法について説明し，応力評価に用いる応答解析結果を求めることを目標とする。

・下記の項目を記載する。

- 地震応答解析方法
- 設計用地震力
- 解析モデル及び諸元
- 計算方法
- 応答解析結果

・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情報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状態
- 許容応力
- 使用材料の許容応力
- 設計用地震力
- 計算方法（応力）
- 計算条件（応力）
- 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。

5.2.8 「⑧構造強度評価」について

応力評価の方法は，応力評価に使用する情報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。

- 構造強度評価方法
- 荷重の組合せ及び許容応力状態
- 許容応力
- 使用材料の許容応力

5.2.9 「⑨加振試験」について

加振試験の方法及び条件について説明することを目的としている。

・「基本事項」では，加振試験の方法及び目的を記載する。

・「設計用地震力」では加振波の条件，加振試験の条件を記載する。

5.2.10 「⑩機能維持評価」について

機能維持評価方法について説明することを目的としている。

・応答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こと。

・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-4 を参考とする。

5.2.11 「⑪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こと。

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
（Ｆ１パターン「横軸ポンプ」の耐震計算書記載例）

Ⅴ-○-○-○-○-○　○○○ポンプの耐震性についての計算書

NT2 補○ Ⅴ-○-○-○ R○

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
4. 機能維持評価 ····· 7
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 7
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「Ⅴ-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及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-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。

2.1　構造計画

○○○ポンプの構造計画を表2-1に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○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及び動的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○ポンプは，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○ポンプは，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，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。

下線部＿＿＿は，動的機能維持評価が必要な機器の場合記載する。

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。

2.3　適用基準

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。

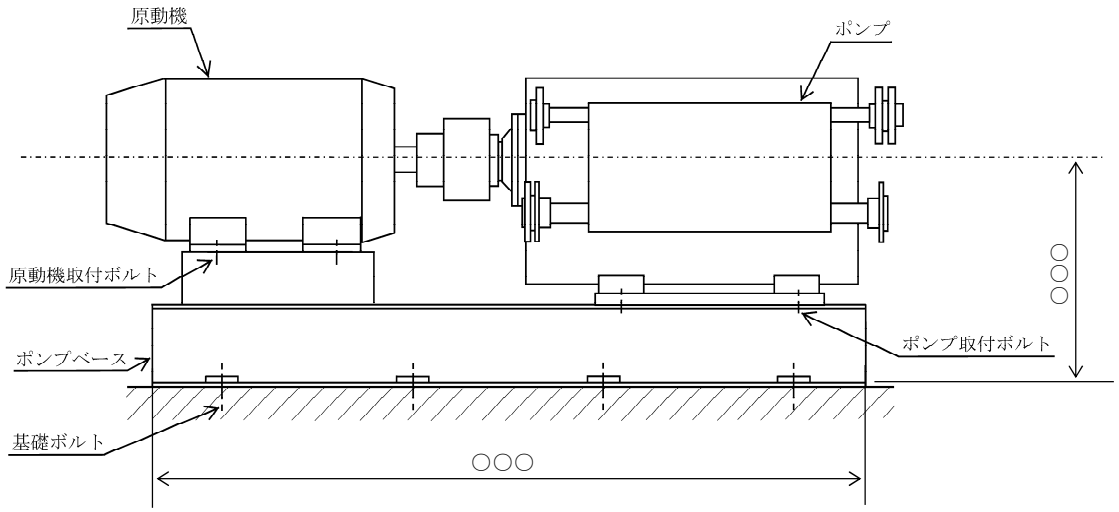
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は，目次にも本項目を記載する。

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」となる。

NT2 補○ Ⅴ-○-○-○ R○

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。	往復形横軸ポンプ	

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

○○○ポンプは横軸ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-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評価する。

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「Ⅴ-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。〕

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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	○○○設備	○○○ポンプ	S	クラス２ポンプ*1	$D+P_D+M_D+S_d^{*}$ *2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

$\mathrm{III}_A S$の評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

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
計測制御系統施設	○○○設備	○○○ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$\mathrm{IV}_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$（$V_A S$として$\mathrm{IV}_A S$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・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。

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	○○○* (16 mm＜径≦40 mm)	周囲環境温度				—
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度				—
原動機取付ボルト		周囲環境温度				—

注記　＊：新ＪＩＳにおけるSS400相当

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。

旧 JIS 材料を使用している場合は，相当する新 JIS 材料を注記する。

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。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

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	○○○* (16 mm＜径≦40 mm)	周囲環境温度				—
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度				—
原動機取付ボルト		周囲環境温度				—

注記　＊：新ＪＩＳにおけるSS400相当

本項は動的機能維持評価が必要な機器の場合

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

○○○ポンプの地震時の動的機能維持評価について，以下に示す。

○○○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「V-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 (×9.8 m/s^2)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
往復動式ポンプ	横形３連 往復動式ポンプ	水平	
		鉛直	
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	
		鉛直	

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Ｓ$_d$及び静的震度は基準地震動Ｓ$_s$を下回っており，基準地震動Ｓ$_s$による発生値が，弾性設計用地震動Ｓ$_d$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Ｓ$_d$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Ｓ$_s$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。

動的機能維持評価が必要な機器の場合

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(℃)	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	原子炉建屋 EL. *1	－*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S_sで評価する。

ⅢASの評価をS_sで実施する場合は「－*3」とし，注記で説明する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)					(M24)		－	
ポンプ取付ボルト (i＝2)					(M24)		－	
原動機取付ボルト (i＝3)					(M20)		－	

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)					－	軸	－	－
ポンプ取付ボルト (i＝2)					－	軸	－	－
原動機取付ボルト (i＝3)					－	軸直角	－	

M_pが生じない場合は“－”とする。

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

ⅢASの評価をS_sで実施する場合は「－」とする。

予想最大両振幅 (μm)	ポンプ回転速度 (min^{-1})	原動機回転速度 (min^{-1})
H_P=	N=	N=

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
ポンプ取付ボルト（i＝2）	－		－	
原動機取付ボルト（i＝3）	－		－	

ⅢASの評価をSsで実施する場合は「－」とする。

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝*2	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝*2
		せん断	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝*2	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝*2
		せん断	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b3}＝	f_{ts3}＝*2	σ_{b3}＝	f_{ts3}＝*2
		せん断	τ_{b3}＝	f_{sb3}＝	τ_{b3}＝	f_{sb3}＝

ⅢASの評価をSsで実施した場合は，算出応力値に「＊」を付記し，注記で説明する。

すべて許容応力以下である。

注記 ＊1：基準地震動Ssによる算出値

＊2：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 動的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s²）

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。

		評価用加速度	機能確認済加速度
往復動式ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

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。

2. 重大事故等対処設備

【ＤＢ＋ＳＡの場合】
前項のＤＢ評価に本ＳＡの評価追加する。

【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。

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		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	原子炉建屋 EL.*1	－*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 (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*	
							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)					(M24)		－	
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M24)		－	
原動機取付ボルト (i=3)					(M20)		－	

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	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)			－		－	軸	－	－
ポンプ取付ボルト (i=2)			－		－	軸	－	－
原動機取付ボルト (i=3)			－		－	軸直角	－	

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	ポンプ回転速度 (min^{-1})	原動機回転速度 (min^{-1})
H_P=	N=	N=

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
ポンプ取付ボルト（i＝2）	－		－	
原動機取付ボルト（i＝3）	－		－	

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}＝	f_{ts3}＝*
		せん断	－	－	τ_{b3}＝	f_{sb3}＝

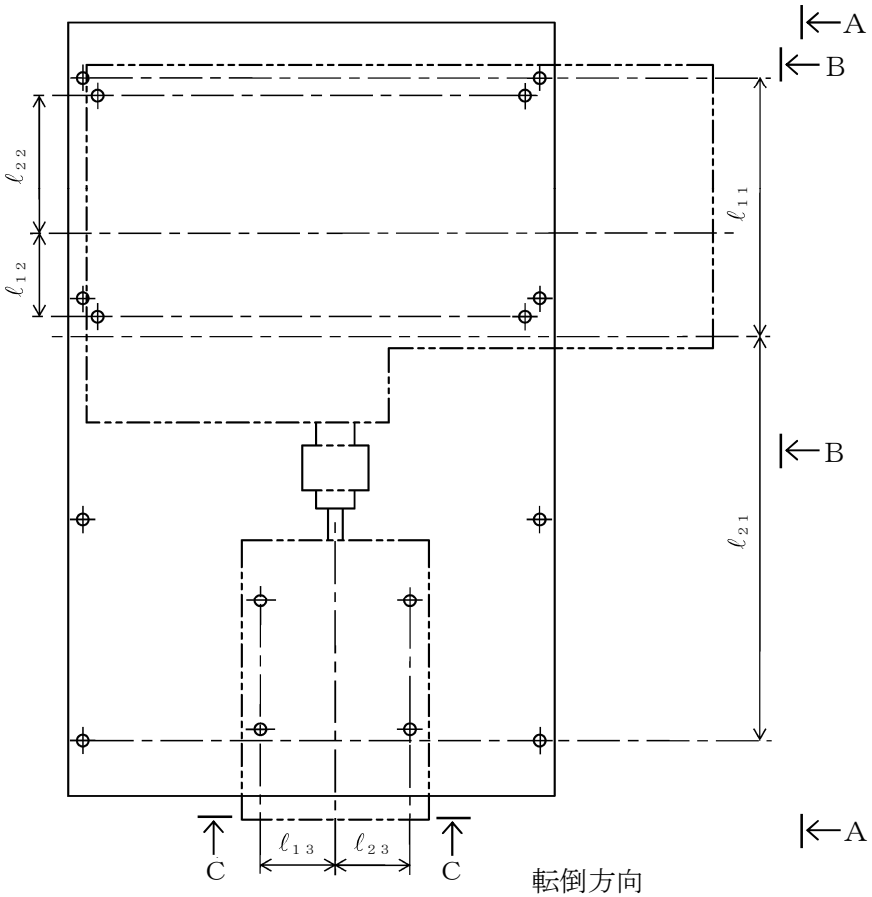
すべて許容応力以下である。

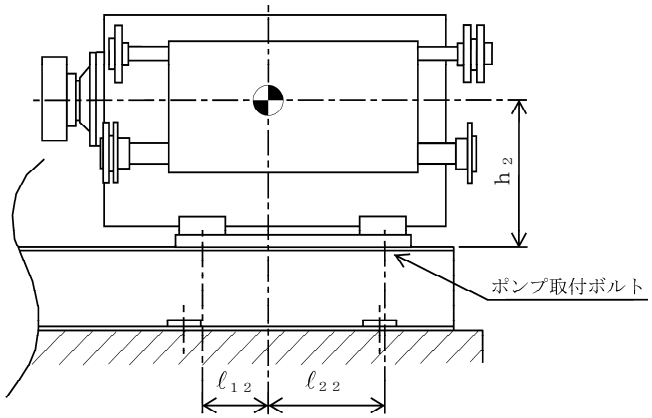
注記 ＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

2.4.2 動的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
往復動式ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

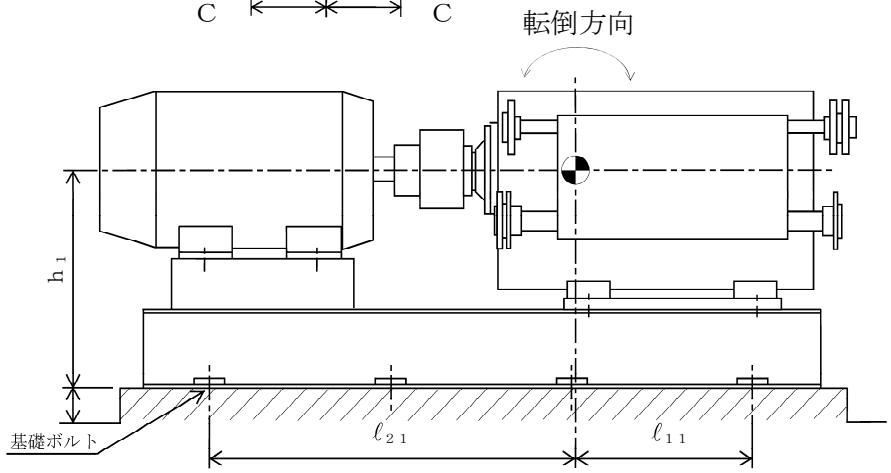
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





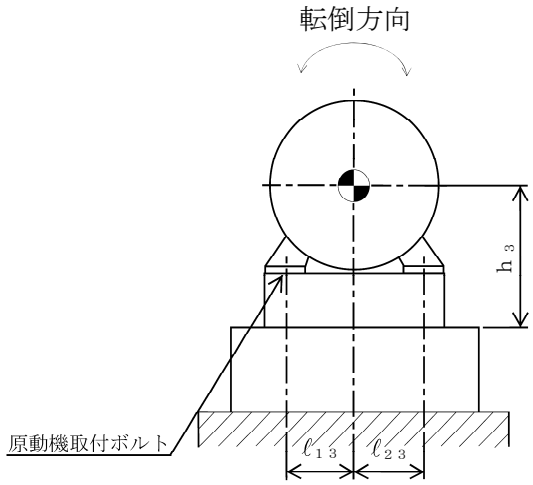
Ｂ～Ｂ矢視図

（ポンプ取付ボルト）



Ａ～Ａ矢視図

（基礎ボルト）



Ｃ～Ｃ矢視図

（原動機取付ボルト）

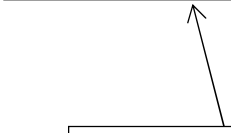
添付資料-2：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ２パターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例）

Ⅴ-○-○-○　○○○ポンプの耐震性についての計算書

NT2 補○ Ⅴ-○-○-○ R○

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 固有値解析及び構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.3 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
4. 機能維持評価 ····· 11
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 11
5. 評価結果 ····· 12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 12



・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「Ⅴ-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及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-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」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

○○○ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○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及び動的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○ポンプは，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○ポンプは，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，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。

下線部＿＿＿は，動的機能維持評価が必要な機器の場合記載する。

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。

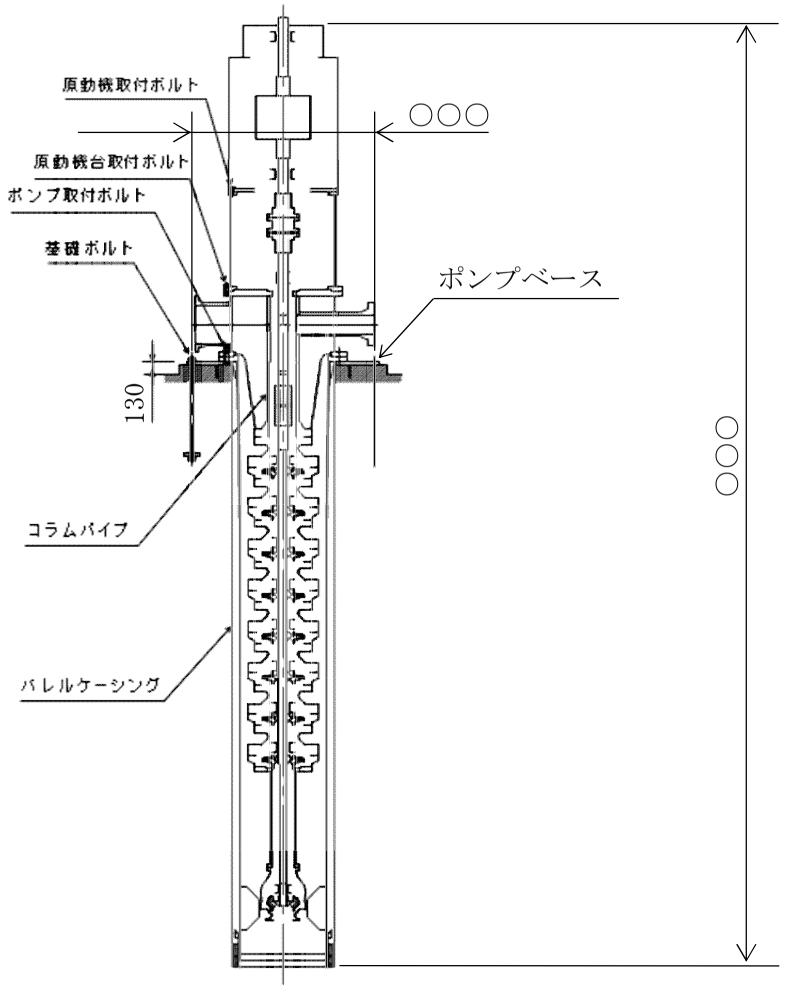
2.3　適用基準

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で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。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」となる。

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	
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 たて軸ポンプ	 （単位：mm）

3.　固有値解析及び構造強度評価

3.1　固有値解析及び構造強度評価方法

○○○ポンプの構造はたて軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-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評価する。

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「Ⅴ-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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	○○設備	○○○ ポンプ	S	クラス２ポンプ*1	$D+P_D+M_D+S_d$**2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

$\mathrm{III}_A S$の評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

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
原子炉冷却系統施設	○○設備	○○○ ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV}_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$ （$V_A S$として$\mathrm{IV}_A S$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
ⅢＡＳ	S_yと 0.6・S_uの小さい方 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S_d又は基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
ⅣＡＳ	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値		
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）			基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・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 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
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。

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	○○○*	最高使用温度		―			―
コラムパイプ		最高使用温度		―			―
基礎ボルト	(40＜径≦100 mm)	周囲環境温度		―			―
ポンプ取付ボルト		最高使用温度		―			―
原動機台取付ボルト		最高使用温度		―			―
原動機取付ボルト		周囲環境温度		―			―

注記　＊：新ＪＩＳにおける○○○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。

旧 JIS 材料を使用している場合は，相当する新 JIS 材料を注記する。

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。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

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	○○○*	最高使用温度		－			－
コラムパイプ		最高使用温度		－			－
基礎ボルト	（40＜径≦100 mm）	周囲環境温度		－			－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度		－			－
原動機台取付ボルト		最高使用温度		－			－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		－			－

注記　＊：新ＪＩＳ記号における SM400B 相当

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「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・○○○」に示す。

剛である場合には，その結果を記載する。

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。鉛直方向は，3 次モード以降で卓越し，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 3-7　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向	刺激係数	
			X	Y
1次		水平		
2次		水平	－	－

固有周期が 0.05s 以下となる次数まで記載する。また，卓越方向，刺激係数を記載する。

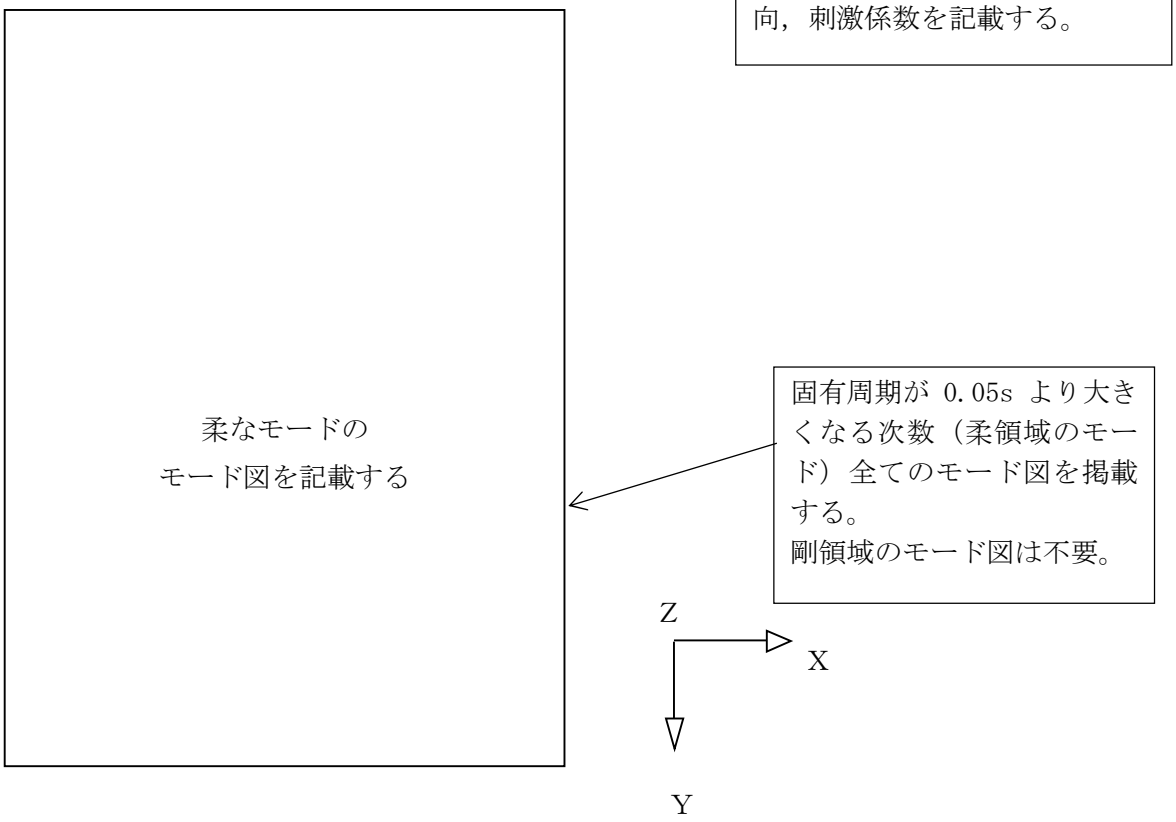


図 3-1　振動モード（１次モード　水平方向　○○○ｓ）

3.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-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「Ⅴ-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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
原子炉建屋 EL. －○.○*1		0.05 以下*2	C_H＝ 又は＊3	C_V＝	C_H＝ 又は＊4	C_V＝		－

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：弾性設計用地震動Ｓ$_d$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

＊4：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

適用する減衰定数について記載する。固有周期が 0.05 以下となる方向については「－」とする。

（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ないことを確認した設備

・ＪＥＡＧ，文献等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，打診試験，固有値解析，理論式により固有周期を算出している場合

本項は動的機能維持評価が必要な機器の場合

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について，以下に示す。

○○○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「Ⅴ-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 (×9.8 m/s^2)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平	
		鉛直	
原動機	立形ころがり軸受電動機	水平	
		鉛直	

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Ｓ$_d$及び静的震度は基準地震動Ｓ$_s$を下回っており，基準地震動Ｓ$_s$による発生値が，弾性設計用地震動Ｓ$_d$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Ｓ$_d$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Ｓ$_s$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。

動的機能維持評価が必要な機器の場合

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	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
残留熱除去系ポンプ	S	原子炉建屋 EL. *1		0.05 以下*2	C_H= 又は*3	C_V=	C_H= 又は*4	C_V=	C_p=				

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
*3：弾性設計用地震動S_dに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。
*4：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

III_ASの評価をS_sで実施する場合は「－*3」とし，注記で説明する。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	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 (i=1)			(M)			－	*2	*2		
ポンプ取付ボルト (i=2)			(M)				*1	*1		
原動機台取付ボルト (i=3)			(M)				*1	*1		
原動機取付ボルト (i=4)			(M)				*2	*2		

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。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p=	N=

(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。

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)			－			
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

部材	M (N·mm)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

ⅢASの評価をS_sで実施する場合は「－」とする。

1.4 結論

1.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次		水平

固有値解析を実施し，柔である設備は固有周期算出結果を記載する。

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	f_{ts1}=*	σ_{b1}=	f_{ts1}=*
		せん断	τ_{b1}=	f_{sb1}=	τ_{b1}=	f_{sb1}=
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}=	f_{ts2}=*	σ_{b2}=	f_{ts2}=*
		せん断	τ_{b2}=	f_{sb2}=	τ_{b2}=	f_{sb2}=
原動機台取付ボルト		引張り	σ_{b3}=	f_{ts3}=*	σ_{b3}=	f_{ts3}=*
		せん断	τ_{b3}=	f_{sb3}=	τ_{b3}=	f_{sb3}=
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b4}=	f_{ts4}=*	σ_{b4}=	f_{ts4}=*
		せん断	τ_{b4}=	f_{sb4}=	τ_{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・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

注記 ＊：基準地震動S_sによる算出値

ⅢASの評価をS_sで実施した場合は，算出応力値に「＊」を付記し，注記で説明する。

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	SMA41B	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		
		基準地震動S_s		
コラムパイプ	SM400B	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		
		基準地震動S_s		

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：基準地震動S_sによる算出値

ⅢASの評価をS_sで実施した場合は，算出応力値に「＊」を付記し，注記で説明する。

1.4.4　動的機能維持の評価結果

1.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	
原動機	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	

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。

注記　*1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。
　　*2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

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	
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			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (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					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					

（続き）

断面特性番号 （要素番号）	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2		(N/mm)
4		(N/mm)
6		(N/mm)
8		(N/mm)
10		(N/mm)
12		(N/mm)
14		(N/mm)
16		(N/mm)
18		(N/mm)
20		(N/mm)
26		(N/mm)
29		(N/mm)
30		(N/mm)
33		(N/mm)
30		(N/mm)
84		(N/mm)
84		(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	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

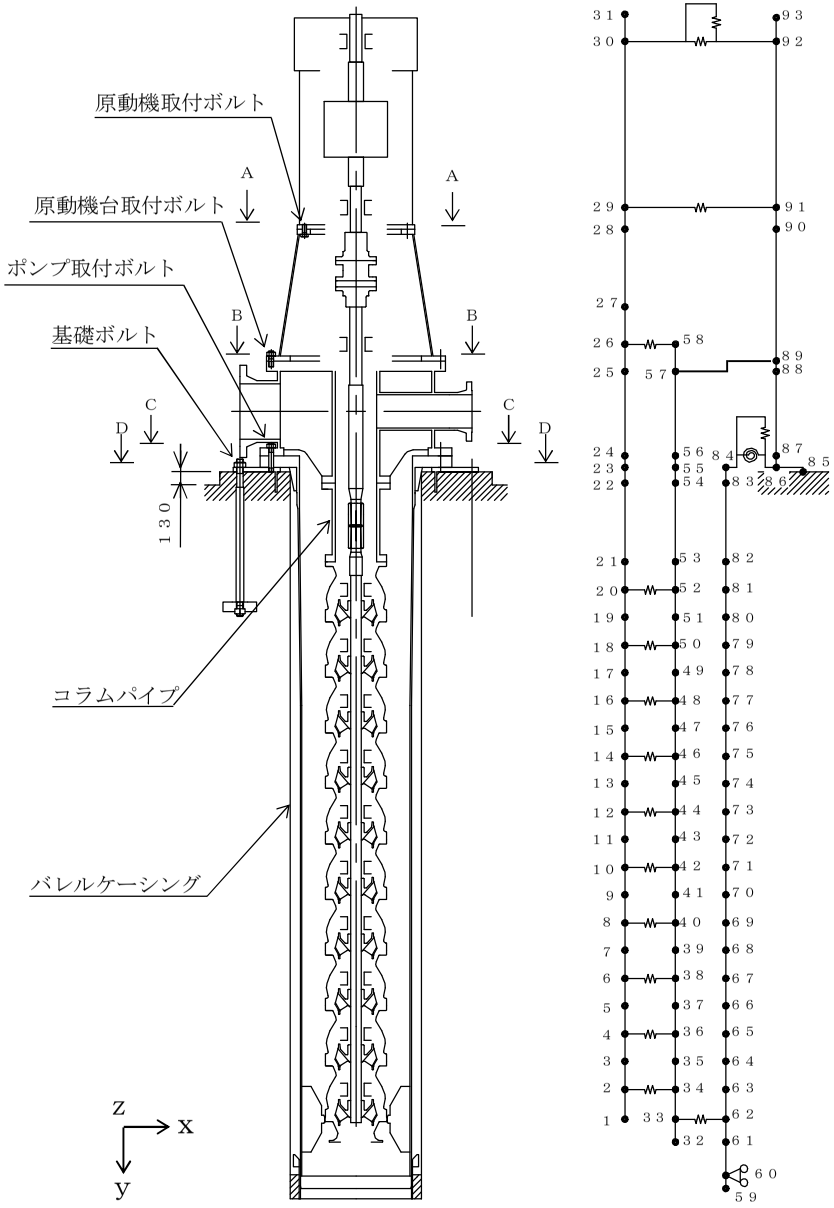
(続き)

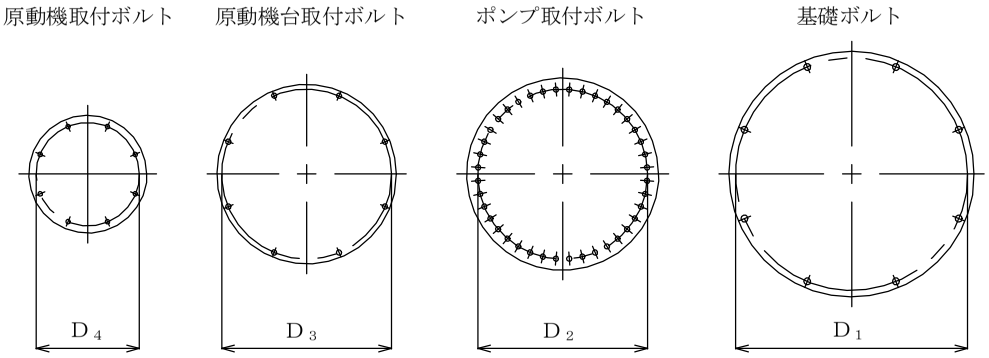
節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	

(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							
6							

材料が使用されている部位を記載する





A～A矢視図　B～B矢視図　C～C矢視図　D～D矢視図

【ＤＢ＋ＳＡの場合】
前項のＤＢ評価に本ＳＡの評価追加する。

【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

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	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
残留熱除去系ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建屋 EL. *1		以下*2	－	－	C_H＝又は＊3	C_V＝0	C_p＝				

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より，0.05秒以下であり剛であることを確認した。
＊3：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	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（ｉ＝1）			(M64)			－	*2	*2	－	
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）			(M48)				*1	*1	－	
原動機台取付ボルト（ｉ＝3）			(M48)				*1	*1	－	
原動機取付ボルト（ｉ＝4）			(M42)				*2	*2	－	

注記 ＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

(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

予想最大両振幅（μm）	回転速度 (min^{-1})
Ｈｐ＝	Ｎ＝

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	－		－		－	
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

部 材	M (N・mm)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
バレルケーシング	－	
コラムパイプ	－	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次		水平

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}=	f_{ts1}=*
		せん断	－	－	τ_{b1}=	f_{sb1}=
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}=	f_{ts2}=*
		せん断	－	－	τ_{b2}=	f_{sb2}=
原動機台取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}=	f_{ts3}=*
		せん断	－	－	τ_{b3}=	f_{sb3}=
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b4}=	f_{ts4}=*
		せん断	－	－	τ_{b4}=	f_{sb4}=

すべて許容応力以下である。

注記 *：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$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	SMA41B	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s		
コラムパイプ	SM400B	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s		

すべて許容応力以下である。

2.4.4　動的機能維持の評価結果

2.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	＊1	
	鉛直方向	＊2	
原動機	水平方向	＊1	
	鉛直方向	＊2	

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

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			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			

(2)　要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (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					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2		(N/mm)
4		(N/mm)
6		(N/mm)
8		(N/mm)
10		(N/mm)
12		(N/mm)
14		(N/mm)
16		(N/mm)
18		(N/mm)
20		(N/mm)
26		(N/mm)
29		(N/mm)
30		(N/mm)
33		(N/mm)
30		(N/mm)
84		(N/mm)
84		(N･mm/rad)

(4)　節点の質量

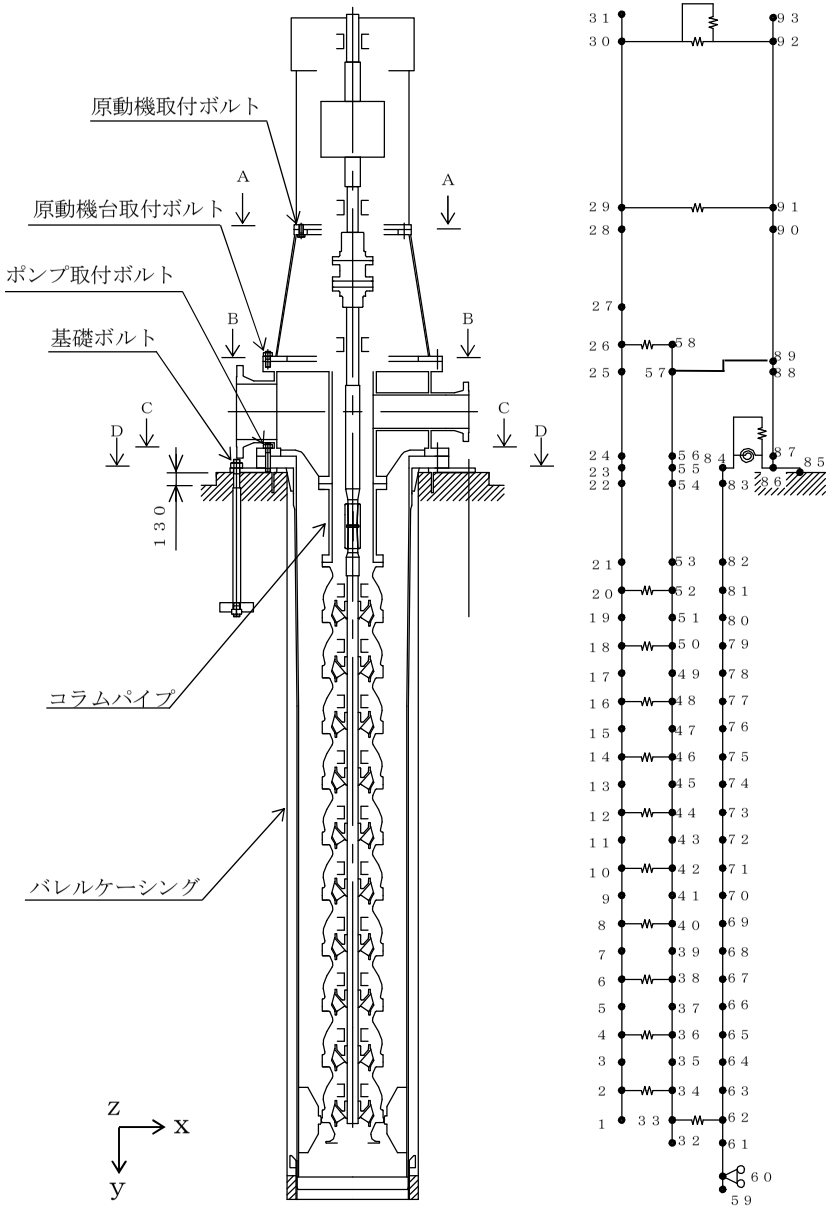
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

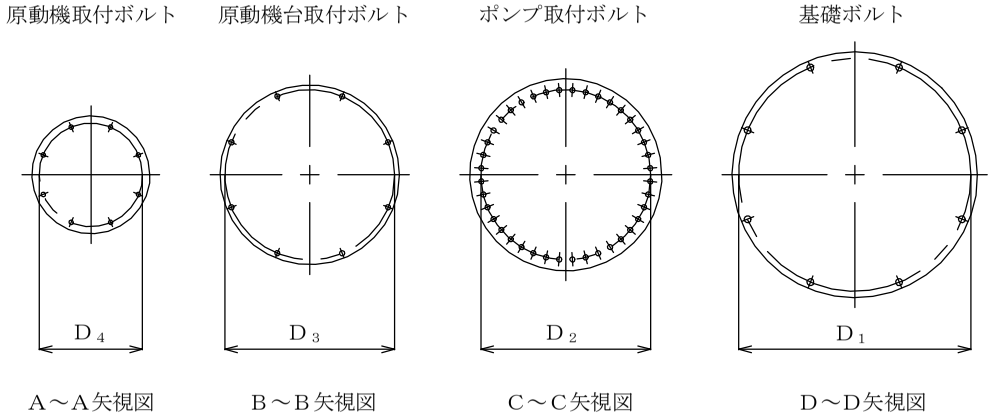
(続き)

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	

(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					クロム合金鋼	ポンプ
2					炭素量が 0.3%を超える炭素鋼	ポンプ
3					炭素量が 0.3%以下の炭素鋼	ポンプ
4					炭素量が 0.3%を超える炭素鋼	原動機
5					炭素量が 0.3%以下の炭素鋼	原動機
6					炭素量が 0.3%以下の炭素鋼	原動機


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
コラムパイプ
バレルケーシング
A
B
C
D
130
z
x
y


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
D4
D3
D2
D1
A～A矢視図
B～B矢視図
C～C矢視図
D～D矢視図

添付資料-3-1：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ３パターン「盤」の耐震計算書記載例）

Ⅴ-○-○-○　○○○○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
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
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「Ⅴ-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及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

○○○○盤の構造計画を表 2-1 に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○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及び電気的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○盤は，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○盤は，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，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。

2.1　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。

2.3　適用基準

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。

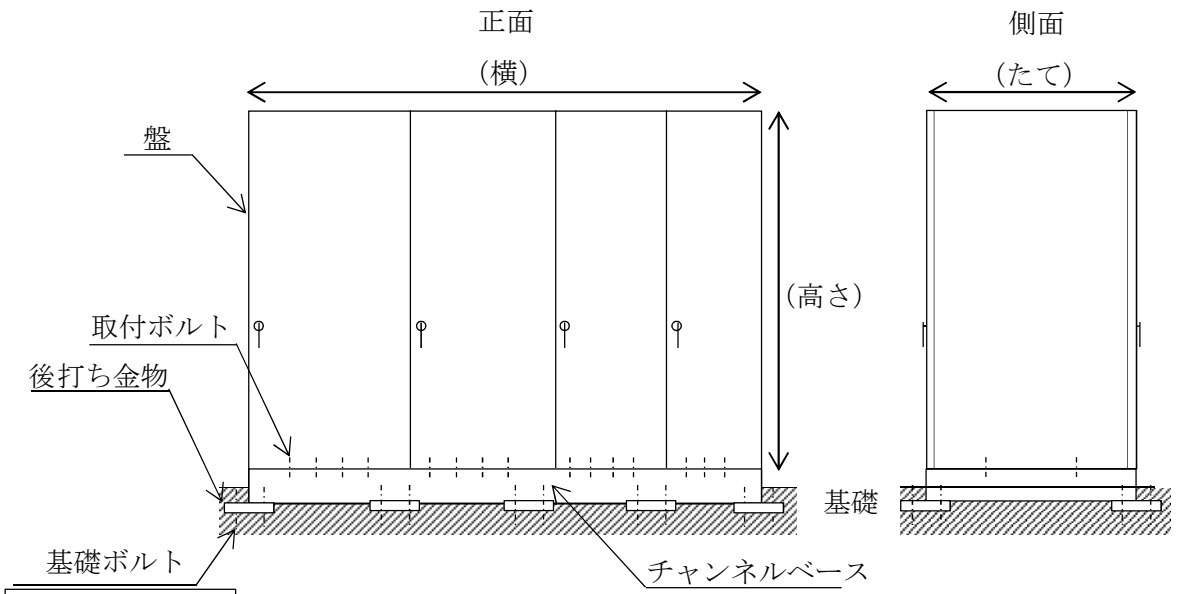
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は，目次にも本項目を記載する。

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」となる。

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	
非常用無停電電源装置は，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	約 1600 mm	約 1900 mm	約 1900 mm
横	約 1000 mm	約 1200 mm	約 1000 mm
高さ	約 2300 mm	約 2300 mm	約 2300 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）にて求める場合又は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の固有振動数（共振周波数）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（s）

水平方向	鉛直方向
0.034	0.034

加振試験にて柔な領域に固有周期がないことを確認した設備については，0.05 以下と記載する。

固有周期を「加振試験（掃引試験）」にて求める場合の記載を示す。

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，固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数（共振周波数）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（s）

水平方向	鉛直方向
0.034	0.034

固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。

該当する試験方法のみ記載のこと。

3.　固有周期

○○○○盤の固有周期は，構造が同様な盤に対する（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（s）

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

構造が同様な他の盤の結果から剛と判断する場合を示す。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

形状により，書き分けること。

○○○○盤の構造は直立形／ベンチ形／壁掛形であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-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評価する。

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

○○○○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「Ⅴ-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。〕

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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	その他の電源装置	○○○○盤	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S_d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S_s	ⅣAS

注記　*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

「*2」を記載する場合は「*1」とする。

*2：S_sと組合せ，ⅢASの評価を実施する。

ⅢASの評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

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
非常用電源設備	その他の電源装置	○○○○盤	常設耐震／防止常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋S_s*3	ⅣAS
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S_s	V_AS（V_ASとして ⅣAS 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。

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)
取付ボルト (i＝2)	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

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「Ⅴ-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。

○○○○盤の機能確認済加速度には，同形式の器具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　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
○○○○盤	水平	10.00
	鉛直	3.00

＜電気的機能維持評価不要の場合の記載（蓄電池，変圧器）＞

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価

蓄電池はＪＥＡＧ４６０１－1987 において「装置」に分類され，機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって，蓄電池の機能維持評価は，支持構造物が健全であることの確認により行う。

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。

ⅢAＳの評価をＳsで実施する場合

(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。

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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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 EL. ＊ (EL. ＊)			C_H=	C_V=	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計震度をとっている高さが異なる場合は，基準床レベルとして（EL.　　＊）を追加し，据付場所のEL.から＊を削除する。
例：中央制御室などの中間階に設置する設備，壁掛盤等に適用

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}＊ (mm)	ℓ_{2i}＊ (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	nf_i＊
基礎ボルト (i=1)					(M　)		
取付ボルト (i=2)					(M　)		

埋込金物＋取付ボルト（基礎ボルト無し）の場合は，当該行ごと削除する。以降，同様。

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	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

転倒方向が同じ場合であってもセルを結合しない。

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

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）				
取付ボルト（i＝2）				

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝　　*	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝　　*
		せん断	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝　　*	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝　　*
		せん断	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

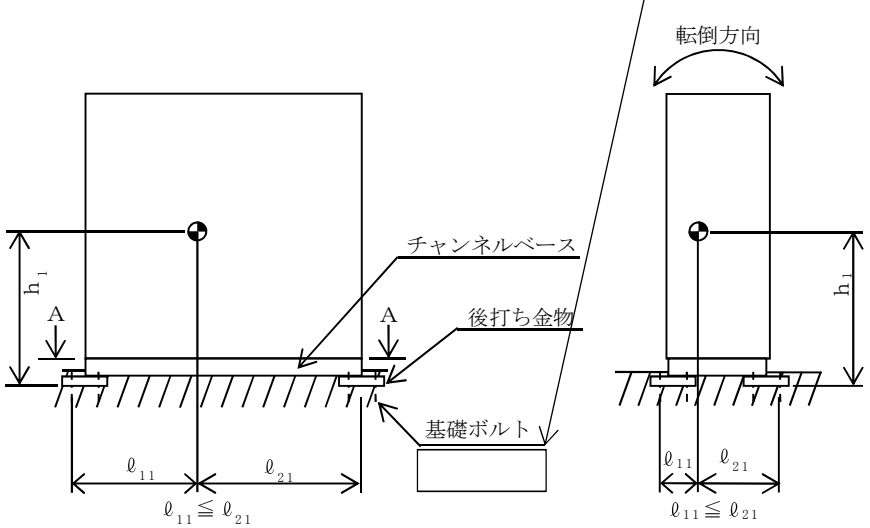
すべて許容応力以下である。　　注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○盤	水平方向		
	鉛直方向		

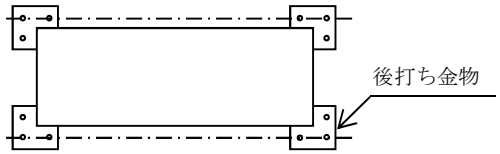
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

【後施工アンカの場合】
据付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。
又，本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1 構造計画の「概略構造図」欄にもアンカの種類を記載する。
例：基礎ボルト（ケミカルアンカ）

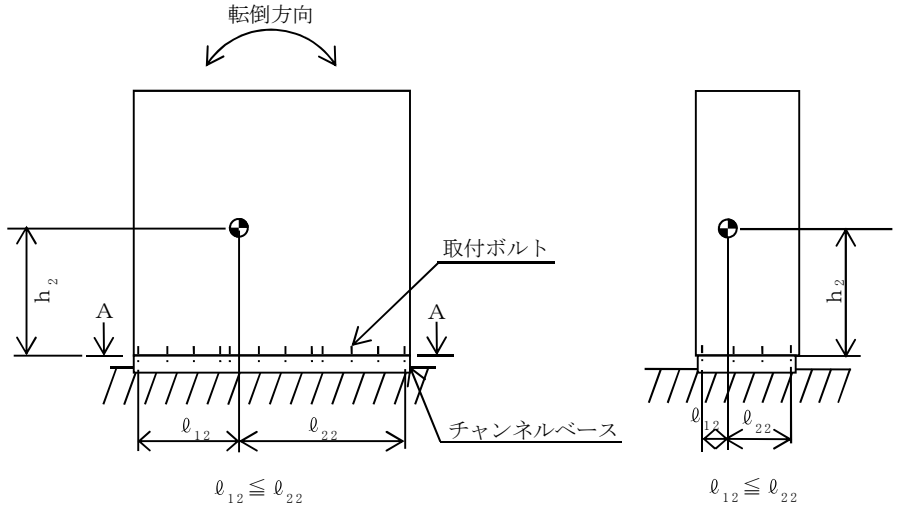


正面
（長辺方向）

側面
（短辺方向）

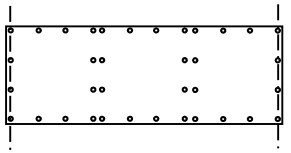


A～A矢視図



正面
（長辺方向）

側面
（短辺方向）



A～A矢視図

盤，基礎及びボルトの形状は
実機ベースで記載する。

【重大事故等対処設備単独の場合】
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】

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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 EL. *			－	－	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	nf_i*
基礎ボルト (i=1)					(M)		
取付ボルト (i=2)					(M)		

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)			－		－	
取付ボルト (i=2)			－		－	

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

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

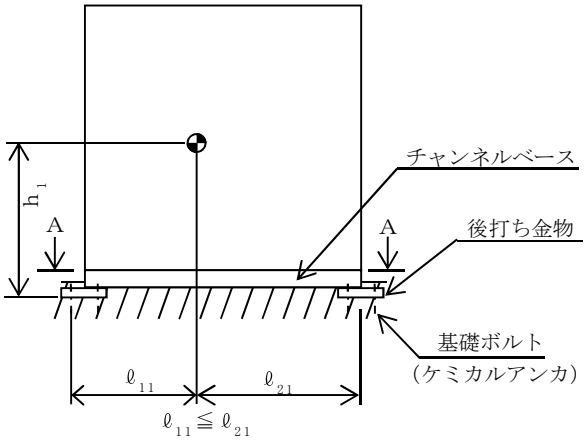
すべて許容応力以下である。

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

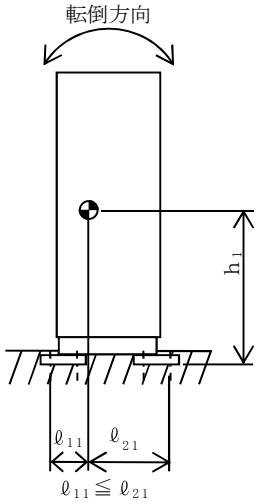
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (× 9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○盤	水平方向		
	鉛直方向		

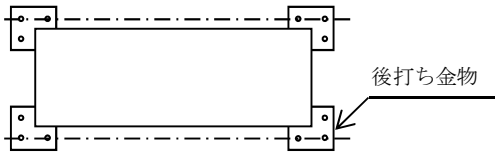
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



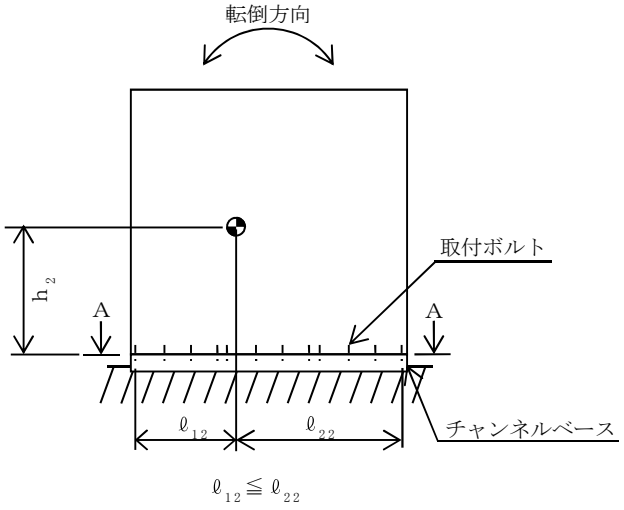
正面
（長辺方向）



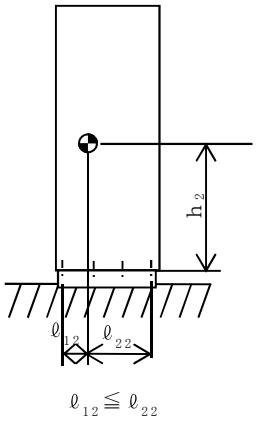
側面
（短辺方向）



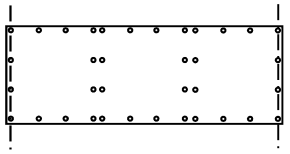
A～A矢視図



正面
（長辺方向）



側面
（短辺方向）



A～A矢視図

【フォーマットⅢ　壁掛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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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 EL. (EL.　　*)			C_H=	C_V=	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	nf_{Vi}	nf_{Hi}
基礎ボルト (i=1)						(M　)			
取付ボルト (i=2)						(M　)			

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）				
取付ボルト（i＝2）				

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝　　*	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝　　*
		せん断	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝　　*	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝　　*
		せん断	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝	τ_{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・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (× 9.8m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○盤	水平方向		
	鉛直方向		

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。

【重大事故等対処設備単独の場合】
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Ⅳ　壁掛形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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 EL. (EL.　　*)			－	－	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	nf_{Vi}	nf_{Hi}
基礎ボルト (i=1)						(M　)			
取付ボルト (i=2)						(M　)			

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)			－		－	
取付ボルト (i=2)			－		－	

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

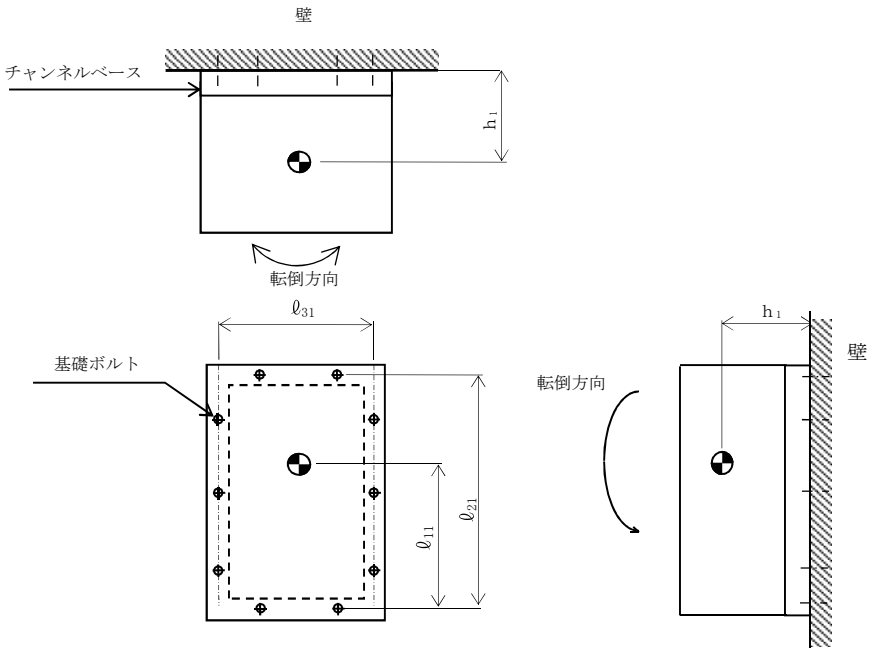
すべて許容応力以下である。

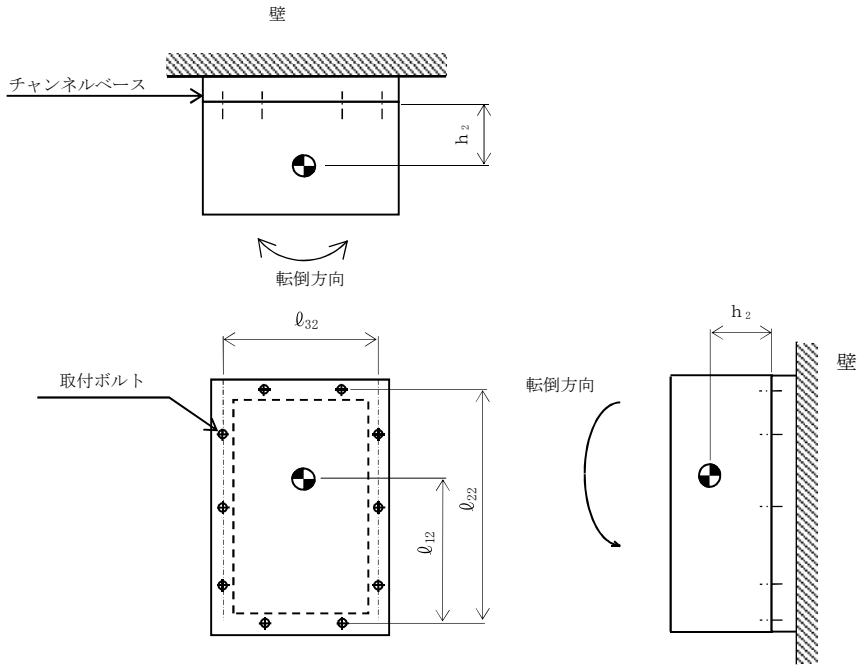
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (× 9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○盤	水平方向		
	鉛直方向		

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。


壁
チャンネルベース
h_1
転倒方向
ℓ_{31}
基礎ボルト
ℓ_{11}
ℓ_{21}
転倒方向
h_1
壁


壁
チャンネルベース
h_2
転倒方向
ℓ_{32}
取付ボルト
ℓ_{12}
ℓ_{22}
転倒方向
h_2
壁

添付資料-3-2：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ２パターン「計装ラック」の耐震）

Ⅴ-○-○-○　○○○○ポンプ出口流量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 ····· 4
3.1 固有周期の算出方法 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 5
4.2.2 許容応力 ····· 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 9
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 9
6. 評価結果 ····· 10
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 10
6.2 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「Ⅴ-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，○○○○ポンプ出口流量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。

○○○○ポンプ出口流量は，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及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラック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。

2.1　構造計画

○○○○ポンプ出口流量の構造計画を表 2-1 に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○ポンプ出口流量は，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及び電気的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○ポンプ出口流量は，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○ポンプ出口流量は，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，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。

2.1　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。

2.3　適用基準

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。

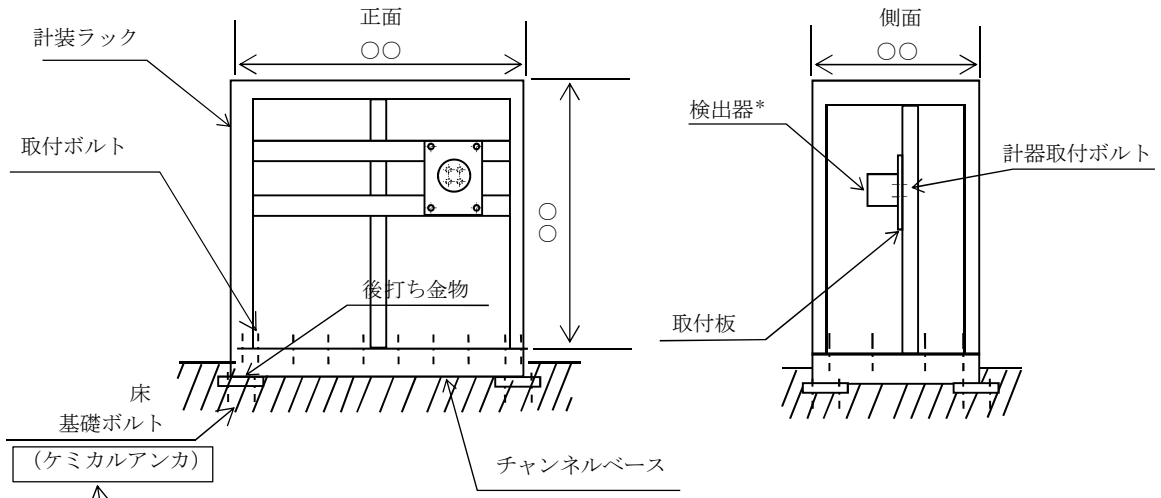
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は，目次にも本項目を記載する。

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」となる。

構造計画が複数ある場合，計器番号を記載する。

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	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，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。	○○○○検出器	【○○○○】



単位：(mm)

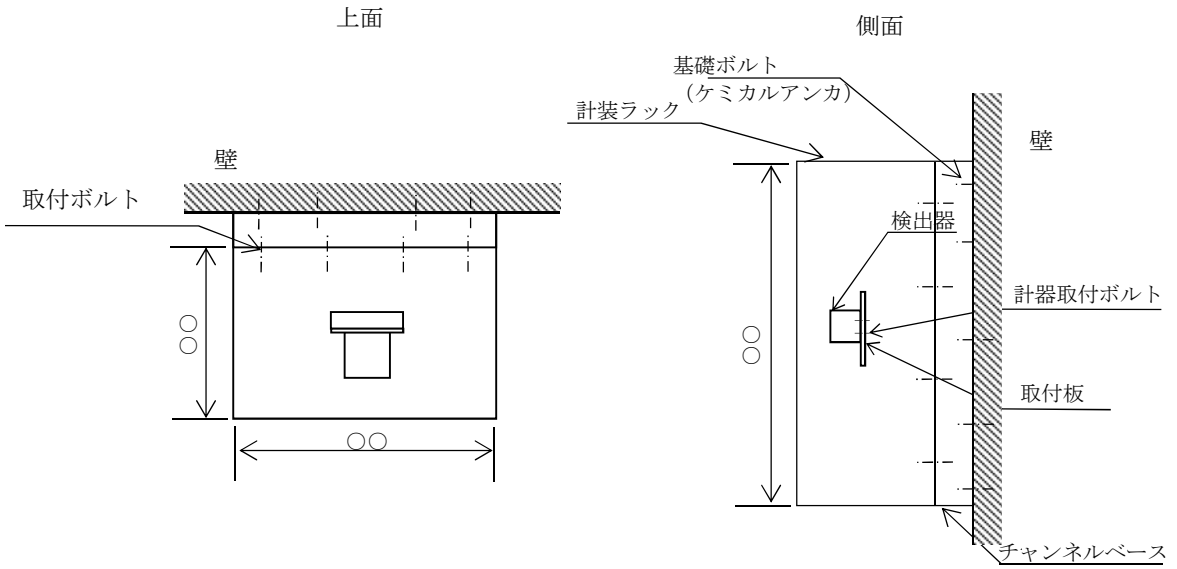
注記　＊：検出器は代表して１台を示す。

【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。

同ラック内に複数の検出器がある場合は記載する。

構造計画が複数ある場合，計器番号を記載する。

表 2-2　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，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた計器取付板に固定される。 計装ラックは，チャンネルベースに取付ボルトで固定され，チャンネルベースは壁に基礎ボルトで設置する。	○○○○検出器	【○○○○】  単位：(mm)

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）にて求める場合は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（共振周波数）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（s）

水平方向	鉛直方向
0.034	0.034

加振試験にて柔な領域に固有周期がないことを確認した設備については，0.05 以下と記載する。

固有周期を「加振試験（掃引試験）」にて求める場合の記載を示す。

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固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。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（s）

水平方向	鉛直方向
0.034	0.034

固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。

該当する試験方法のみ記載のこと。

3.　固有周期

○○○○ポンプ出口流量の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する（加振試験 or 打診試験）の結果から，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（s）

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

構造が同様な他のラックの結果から剛と判断する場合を示す。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

○○○○ポンプ出口流量の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラック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評価する。

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

○○○○ポンプ出口流量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

○○○○ポンプ出口流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-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

○○○○ポンプ出口流量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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	○○○○ポンプ出口流量	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。

「*2」を記載する場合は「*1」とする。

*2：S_sと組合せ，$Ⅲ_AS$の評価を実施する。

$Ⅲ_AS$の評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

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
計測制御系統施設	計測装置	○○○○ポンプ出口流量	常設耐震／防止 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。

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)
取付ボルト (i＝2)	SS41* (16 mm＜径≦40 mm)	周囲環境温度	50	241	394	－

注記　＊：新 JIS における SS400 相当

旧 JIS 材料を使用している場合は，相当する新 JIS 材料を注記する。

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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	SS400 (16 mm＜径≦40 mm)	周囲環境温度	120	215	373	－

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。

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

○○○○ポンプ出口流量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「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラック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。

○○○○ポンプ出口流量の機能確認済加速度には，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評価部位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　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
○○○○ポンプ出口流量	水平	10.00
	鉛直	3.00

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

○○○○ポンプ出口流量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。

ⅢAＳの評価をＳsで実施する場合のみ記載する。

(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。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○ポンプ出口流量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。

【フォーマットⅠ　直立形計装ラックの設計基準対象施設としての評価結果】
【○○○○ポンプ出口流量（○○○－○）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

対象計器が複数の場合計器番号を記載する。

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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	
○○○○ポンプ出口流量		建屋 EL. * (EL. *)			C_H=	C_V=	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

＊2：ⅢASについては，基準地震動Ssで評価する。

ⅢASの評価をSsで実施する場合は「－*2」とし，注記で説明する。

1.2 機器要目

1.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*2
基礎ボルト（i＝1）					(M)		
取付ボルト（i＝2）					(M)		

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）						
取付ボルト（i＝2）						

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

（例）

0.05 以下	0.05 以下
—	—
0.031	0.015

・同様の構造のラックで確認している場合
・加振試験にて柔な領域に固有周期がな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，打振試験による算出を実施している場合

据付場所の床面高さと設計震度をとっている高さが異なる場合は，基準床レベルとして（EL.　　*）を追加し，据付場所のEL.から*を削除する。
例：中央制御室などの中間階に設置する設備，壁掛形計装ラック等に適用

基礎ボルトが無い場合は，当該行ごと削除する。以降，同様。

ボルト径を記載する。

転倒方向が同じ場合であってもセルを結合しない。

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）				
取付ボルト（i＝2）				

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *
		せん断	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *
		せん断	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

すべて許容応力以下である。

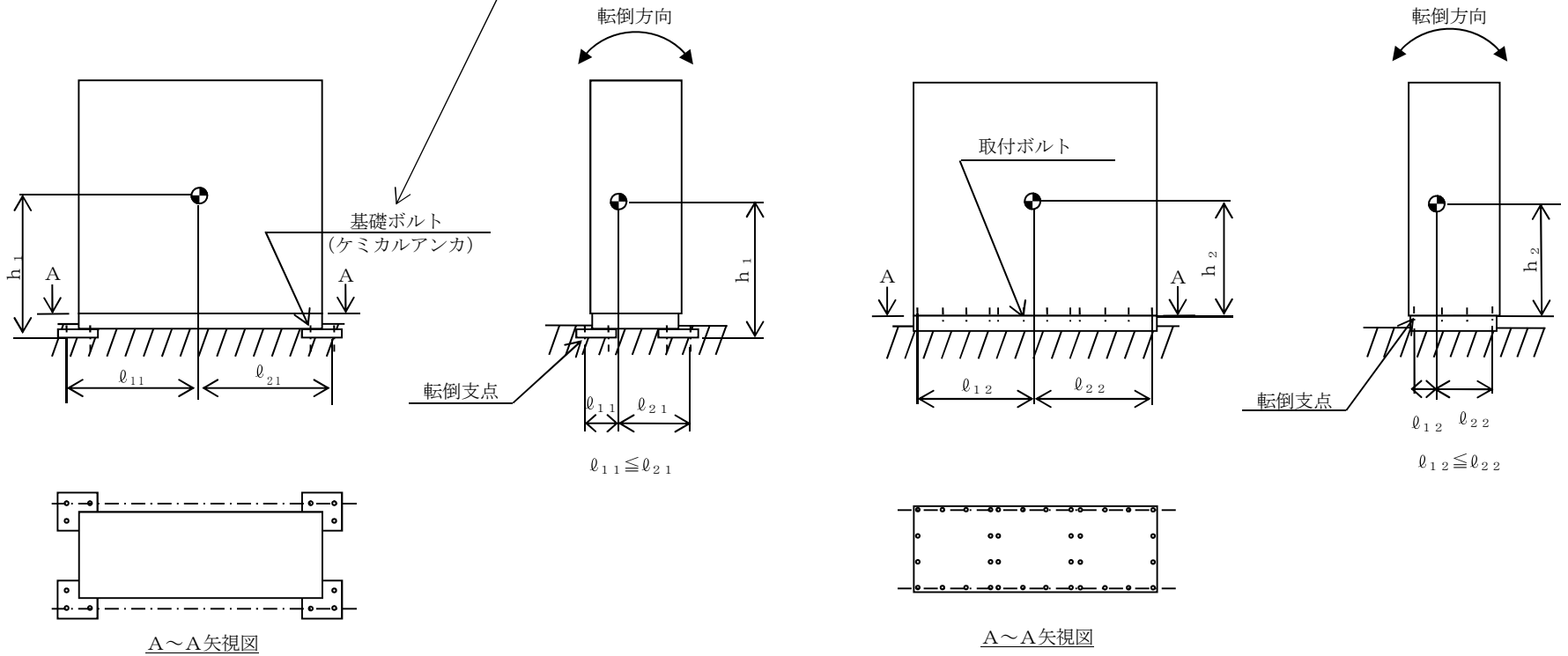
注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

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。

【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。
又，本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1　構造計画の「概略構造図」欄にもアンカの種類を記載する。
例：基礎ボルト
（ケミカルアンカ）



正面（長辺方向）　側面（短辺方向）　正面（長辺方向）　側面（短辺方向）

【重大事故等対処設備単独の場合】
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　直立形計装ラックの重大事故等対処設備としての評価結果】

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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	
○○○○ポンプ出口流量		建屋 EL. *			－	－	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

1.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*
基礎ボルト (i＝1)					(M)		
取付ボルト (i＝2)					(M)		

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)			－		－	
取付ボルト (i＝2)			－		－	

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

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

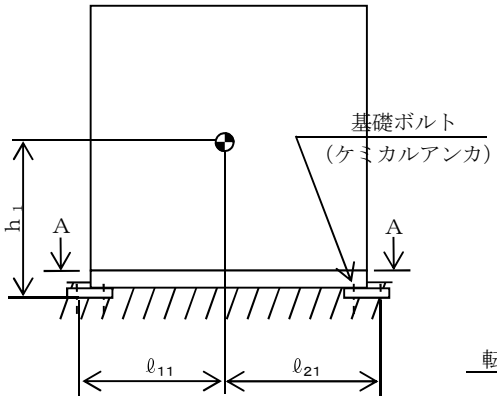
すべて許容応力以下である。

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

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

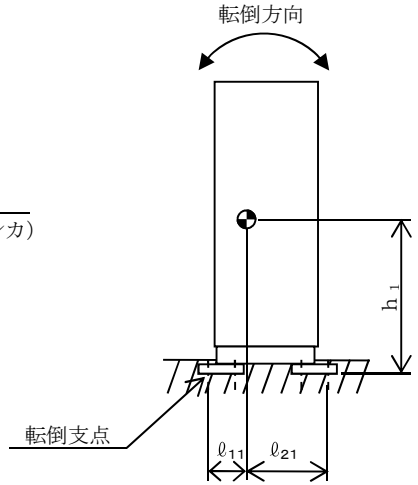
		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

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。



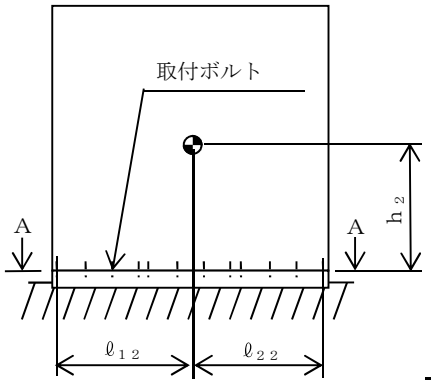
A～A矢視図

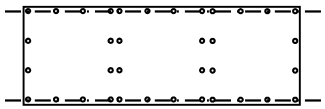
正面（長辺方向）



$\ell_{11} \leqq \ell_{21}$

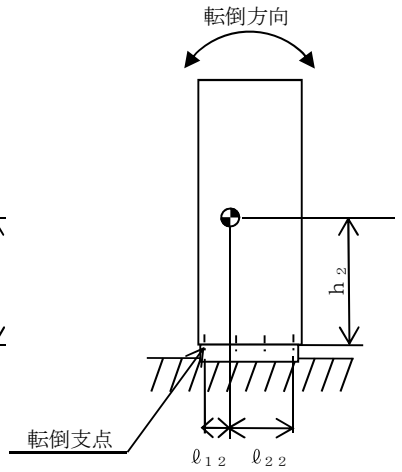
側面（短辺方向）





A～A矢視図

正面（長辺方向）



$\ell_{12} \leqq \ell_{22}$

側面（短辺方向）

【フォーマットⅢ　壁掛形計装ラックの設計基準対象施設としての評価結果】
【○○○○ポンプ出口流量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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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	
○○○○ポンプ出口流量		建屋 EL. * (EL. *)			C_H=	C_V=	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計震度をとっている高さが異なる場合は，
基準床レベルとして（EL.　　*）を追加し，据付場所のEL.から*を削除する。
例：中央制御室などの中間階に設置する設備，壁掛形計装ラック等に適用

1.2 機器要目

1.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fVi}	n_{fHi}
基礎ボルト (i=1)						(M　)			
取付ボルト (i=2)						(M　)			

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）				
取付ボルト（i＝2）				

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *
		せん断	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *
		せん断	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

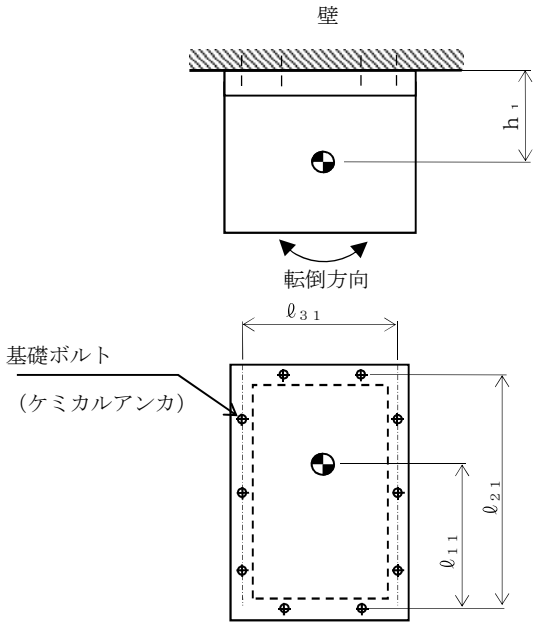
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

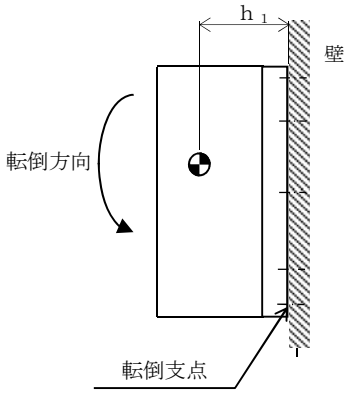
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

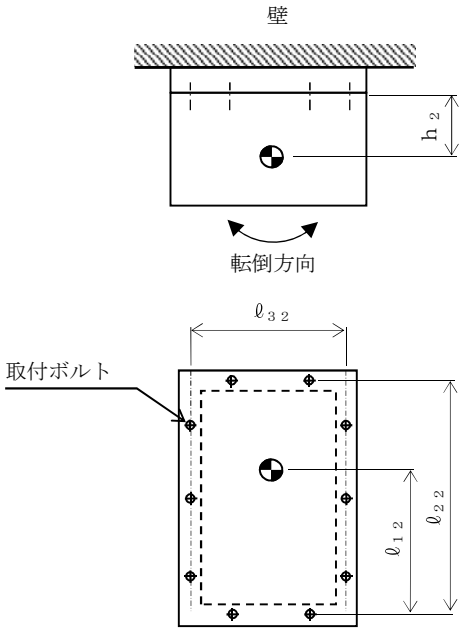
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



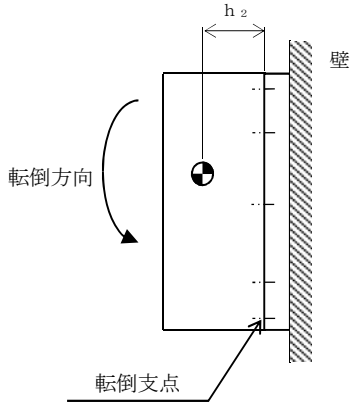
正面（水平方向）



側面（鉛直方向）



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

【重大事故等対処設備単独の場合】
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Ⅳ　壁掛形計装ラックの重大事故等対処設備としての評価結果】

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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	
○○○○ポンプ出口流量		建屋 EL. (EL. *)			－	－	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

1.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fVi}	n_{fHi}
基礎ボルト (i=1)						(M)			
取付ボルト (i=2)						(M)			

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)			－		－	
取付ボルト (i=2)			－		－	

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝ *
		せん断	－	－	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

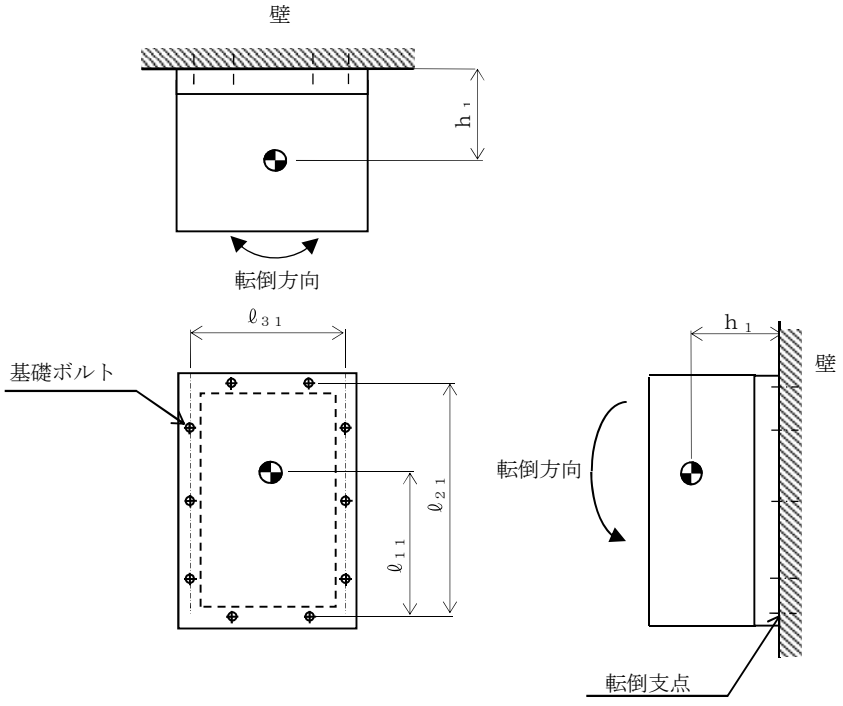
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

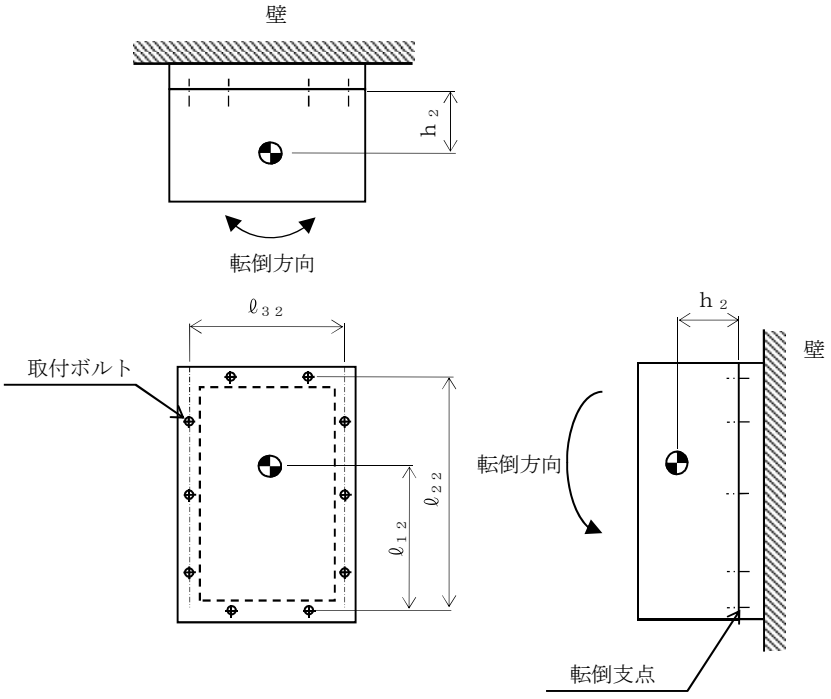
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

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）



正面（水平方向）　側面（鉛直方向）

添付資料-3-3：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ３パターン「計器スタンション」の耐震）

V-○-○-○　○○○○ポンプ出口流量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 ····· 4
3.1 固有周期の算出方法 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 7
4.1 構造強度評価方法 ····· 7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 7
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 7
4.2.2 許容応力 ····· 7
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 7
5. 機能維持評価 ····· 11
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 11
6. 評価結果 ····· 12
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 12
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 12

・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「Ⅴ-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，○○○○ポンプ出口流量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。

○○○○ポンプ出口流量は，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及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンション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。

2.1　構造計画

○○○○ポンプ出口流量の構造計画を表 2-1 に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○ポンプ出口流量は，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及び電気的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○ポンプ出口流量は，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○ポンプ出口流量は，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，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。

2.1　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。

2.3　適用基準

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で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。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」となる。

構造計画が複数ある場合，計器番号を記載する。

表 2-1　構造計画

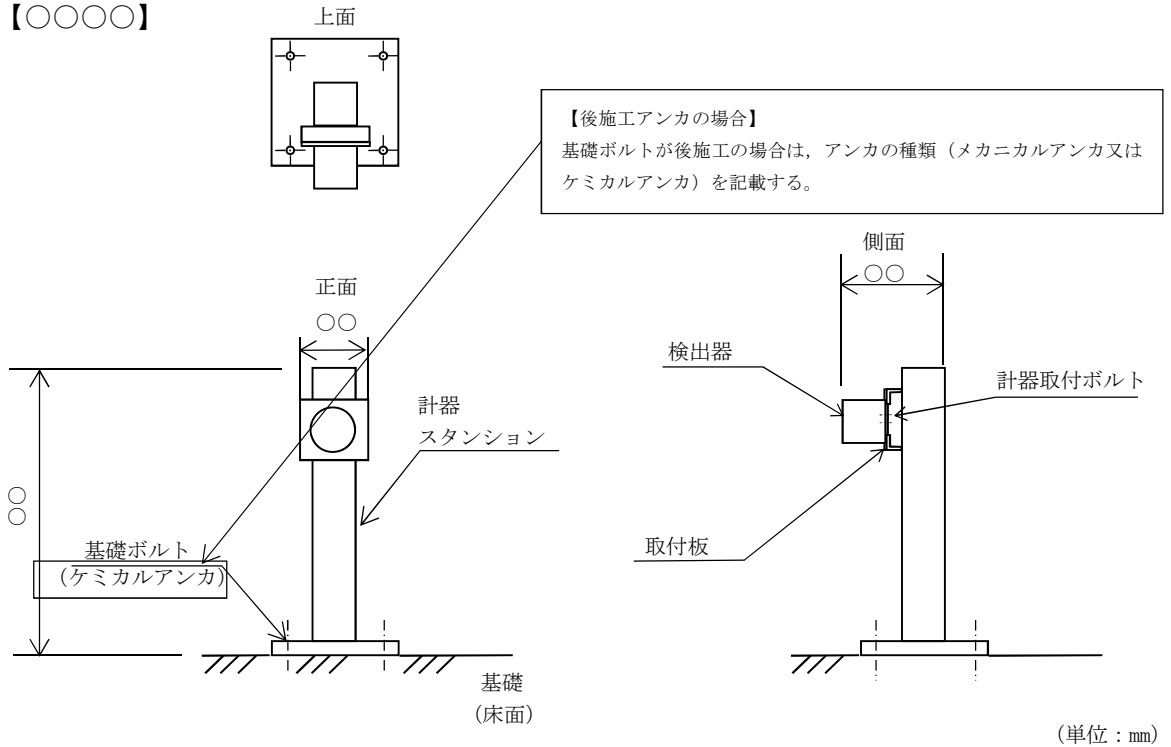
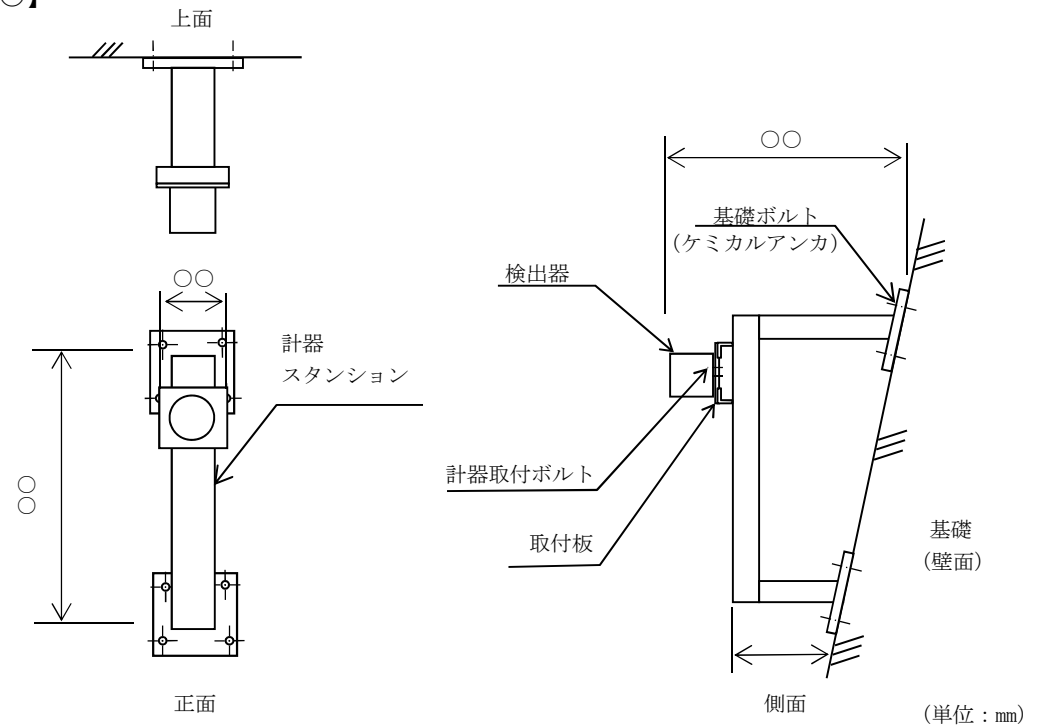
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	【○○○○】 

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，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	【○○○○】 

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）にて求める場合は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（共振周波数）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（s）

水平方向	鉛直方向
0.034	0.034

加振試験にて柔な領域に固有周期がないことを確認した設備については，0.05 以下と記載する。

固有周期を「加振試験（掃引試験）」にて求める場合の記載を示す。

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固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。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（s）

水平方向	鉛直方向
0.034	0.034

固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。

固有周期を「手計算」にて求める場合の記載を示す。

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

○○○○ポンプ出口流量の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　○○○○ポンプ出口流量は，図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で○○建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，―は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_1^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)}\cdot\cdot\cdot(3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

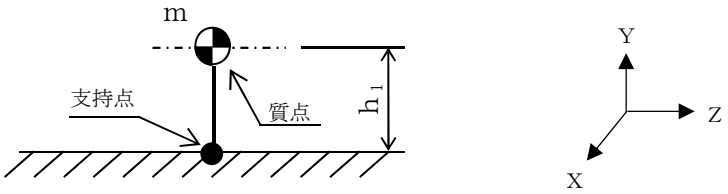
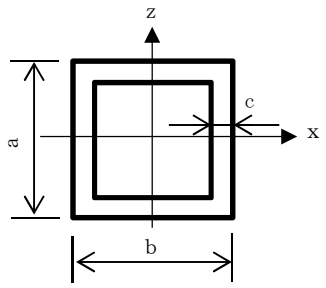


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及びスタンションの質量	m	kg	○○
取付面から重心までの距離	h_1	mm	○○
計器スタンションの材質	－	－	○○
縦弾性係数	E	MPa	○○
断面二次モーメント	I	mm^4	○○
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	○○
せん断弾性係数	G	MPa	○○
計器スタンションの断面形状（mm）	 ○○×○○×○○（a×b×c）		

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向
0.034	－

該当する試験方法のみ記載のこと。

3. 固有周期

○○○○ポンプ出口流量の固有周期は，構造が同様な計器スタンションに対する（加振試験 or 打診試験）の結果から，剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向
0.05 秒以下	0.05 秒以下

構造が同様な他のスタンションの結果から剛と判断する場合を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

○○○○ポンプ出口流量の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンション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評価する。

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

○○○○ポンプ出口流量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

○○○○ポンプ出口流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-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

○○○○ポンプ出口流量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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	○○○○ポンプ出口流量	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。

「＊2」を記載する場合は「＊1」とする。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

III_ASの評価でS_sを組合せる場合は「S_d^{**2}」とし，注記で説明する。

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
計測制御系統施設	計測装置	○○○○ポンプ出口流量	常設耐震／防止 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。

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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS41* (16 mm＜径≦40 mm)	周囲環境温度	50	241	394	－

注記　＊：新 JIS における SS400 相当

旧 JIS 材料を使用している場合は，相当する新 JIS 材料を注記する。

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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16 mm＜径≦40 mm)	周囲環境温度	120	215	373	－

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。

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

○○○○ポンプ出口流量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「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンション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。

○○○○ポンプ出口流量の機能確認済加速度には，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評価部位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 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
○○○○ポンプ出口流量	水平	10.00
	鉛直	3.00

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

○○○○ポンプ出口流量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。

ⅢASの評価をSsで実施する場合のみ記載する。

(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。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○ポンプ出口流量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。

対象計器が複数ある場合は計器番号を記載する。

0.05 以下	0.05 以下
－	－
0.031	0.015

・同様の構造のスタンションで確認している場合
・加振試験にて柔な領域に固有周期がな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，理論式による算出を実施している場合

【フォーマットⅠ　直立形計器スタンションの設計基準対象施設としての評価結果】
【○○○○ポンプ出口流量(○○○-○)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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		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	
○○○○ポンプ出口流量		建屋 EL.　　* (EL.　　*)			—*2	—*2	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。
＊2：ⅢＡＳについては，基準地震動Ｓ$_s$で評価する。

ⅢＡＳの評価をＳ$_s$で実施する場合は「－*2」とし，注記で説明する。

据付場所の床面高さと設計震度をとっている高さが異なる場合は，基準床レベルとして（EL.　　*）を追加し，据付場所のEL.から*を削除する。
例：中央制御室などの中間階に設置する設備，壁掛形計器スタンション等に適用

1.2　機器要目

1.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (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Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
基礎ボルト						

転倒方向が同じ場合でも，１つにしない。

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。

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Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
基礎ボルト				

ⅢＡＳの評価をＳ$_s$で実施する場合は「－」とする。

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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_b＝	f_{ts}＝　　＊	σ_b＝	f_{ts}＝　　＊
		せん断	τ_b＝	f_{sb}＝	τ_b＝	f_{sb}＝

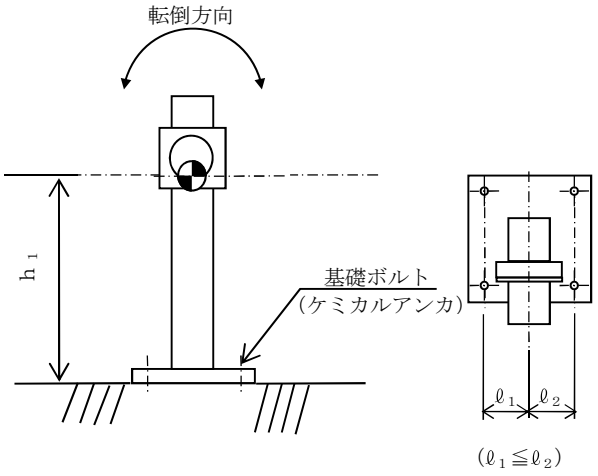
すべて許容応力以下である。　　注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8 m/s^2）

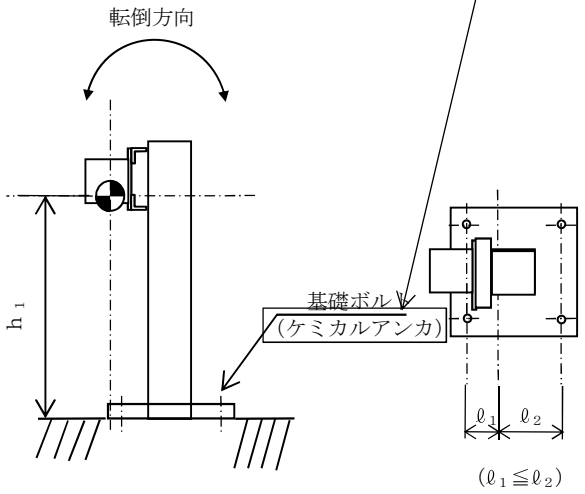
		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ 出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

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。

【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。又，本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1 構造計画の「概略構造図」欄にもアンカの種類を記載する。
例：基礎ボルト（ケミカルアンカ）



正面（左右方向）



側面（前後方向）

【重大事故等対処設備単独の場合】
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　直立形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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 出口流量		建屋 EL.　　*			—	—	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.2　機器要目

2.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部　　材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト					(M　)		

部　　材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト			—		—	

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。

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 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	—		—	

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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b＝	f_{ts}＝　＊
		せん断	－	－	τ_b＝	f_{sb}＝

すべて許容応力以下である。

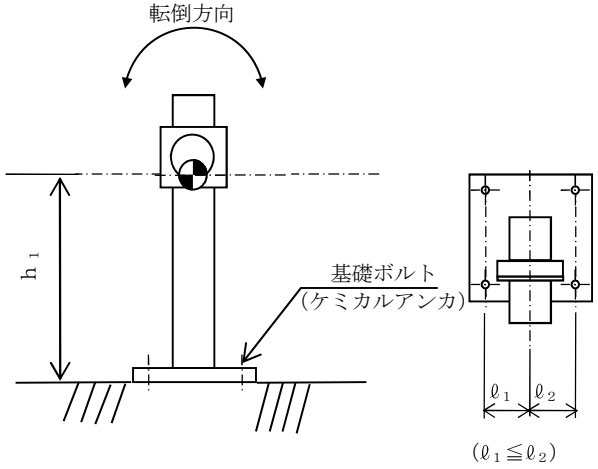
＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

2.4.2　電気的機能維持評の価結果

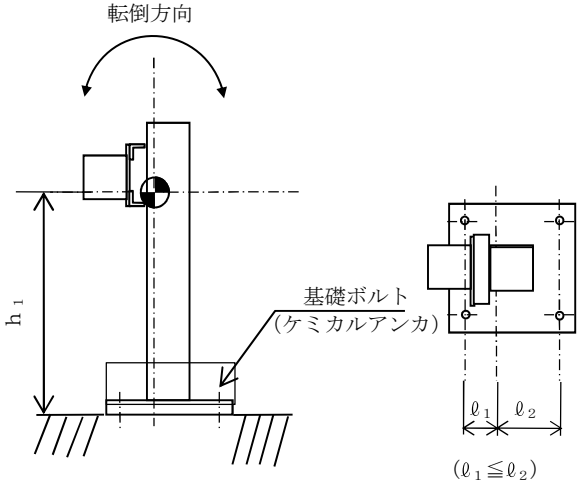
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ 出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

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（左右方向）



側面（前後方向）

【フォーマットⅢ　壁掛形計器スタンションの設計基準対象施設としての評価結果】
【○○○○ポンプ出口流量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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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 出口流量		建屋 EL. (EL.　　*)			C_H=	C_V=	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

1.2　機器要目

1.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部　　材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト						(M　)			

部　　材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト						

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 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力　　（単位：MPa）

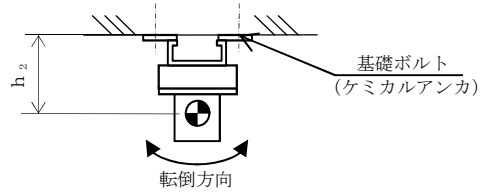
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_b＝	f_{ts}＝　　＊	σ_b＝	f_{ts}＝　　＊
		せん断	τ_b＝	f_{sb}＝	τ_b＝	f_{sb}＝

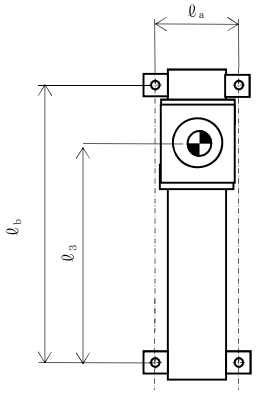
すべて許容応力以下である。　　注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8 m/s^2）

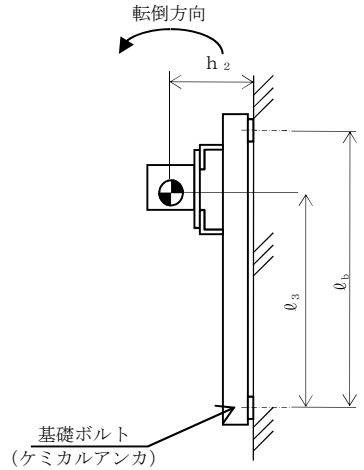
		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ 出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

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）

【重大事故等対処設備単独の場合】
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Ⅳ　壁掛形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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 出口流量		建屋 EL. (EL.　　*)			—	—	C_H=	C_V=	

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.2　機器要目

2.2.1　○○○○ポンプ出口流量

部　　材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト						(M　)			

部　　材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト			—		—	

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 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	—		—	

2.4　結論

2.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

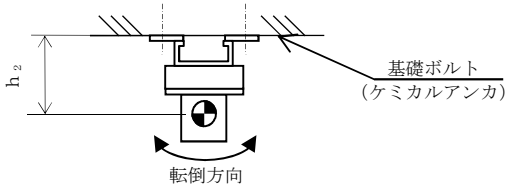
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b＝	f_{ts}＝　　＊
		せん断	－	－	τ_b＝	f_{sb}＝

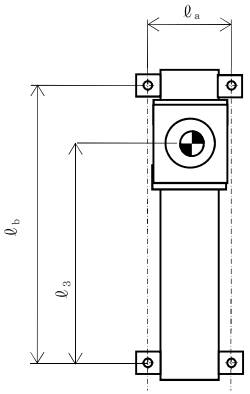
すべて許容応力以下である。　　注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

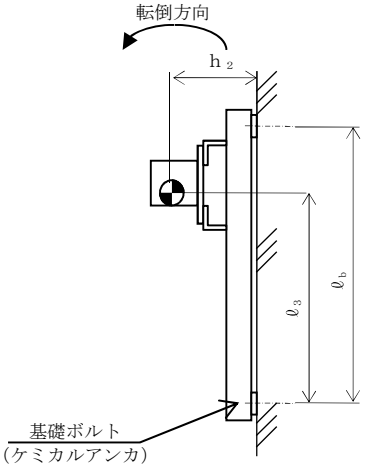
		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○ポンプ 出口流量	水平方向		
	鉛直方向		

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）

添付資料-4：機能維持評価で新たな検討を実施する場合

V-○-○-○-　○○○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
4. 機能維持評価 ····· 8
4.1 基本方針 ····· 8
4.2 ポンプの動的機能維持評価 ····· 9
4.3 ポンプ逃し弁の動的機能維持評価 ····· 18
4.4 原動機の動的機能維持評価 ····· 18
5. 評価結果 ····· 19
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 19
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 19

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。

・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「Ⅴ-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及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-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。ただし，動的機能維持に係る評価は「4. 機能維持評価」に基づき行う。

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプの構造計画を表2-1に示す。

＊NT2 補○ Ⅴ-○-○-○ R○

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○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及び動的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○ポンプは，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○ポンプは，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，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。

下線部＿＿＿は，動的機能維持評価が必要な機器の場合記載する。

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。

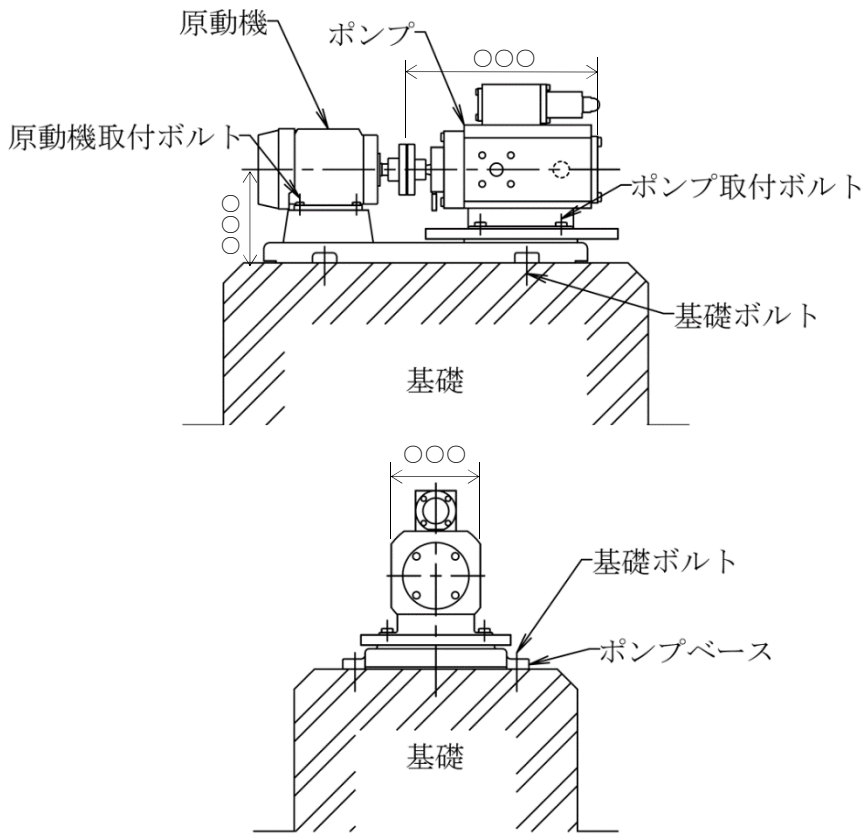
2.3 適用基準

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で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。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」となる。

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	
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。	横形ポンプスクリュー式	

（単位：mm）

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

○○○ポンプは横軸ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-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評価する。

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「Ⅴ-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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	○○○設備	○○○ポンプ	S	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$Ⅲ_AS$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記　＊：その他のポンプ及び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，以下を追加）

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
その他発電用原子炉の附属施設	○○○設備	○○○ポンプ	常設耐震／防止 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を示す。

＊2：その他のポンプ及び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 3-3　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。

・ＤＢ＋ＳＡの場合を示す。
・ＤＢ単独の場合は，許容応力（その他のポンプ）
・ＳＡ単独の場合は，許容応力（重大事故等その他のポンプ）とする。

表 3-4　許容応力（その他のポンプ及び重大事故等その他のポンプ）

許容応力状態	許容限界*1，*2（主軸等）	
	一次一般応力	一次膜応力＋一次曲げ応力
ⅢＡＳ	S_yと 0.6・S_uの小さい方 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
ⅣＡＳ	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値
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。

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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				
ポンプ取付ボルト	○○○* (径≦63 mm)	最高使用温度				－
原動機取付ボルト		最高使用温度				－

注記　＊：新ＪＩＳにおける○○○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。

旧 JIS 材料を使用している場合は，相当する新 JIS 材料を注記する。

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。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		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		最高使用温度				－
ポンプ主軸		最高使用温度				－

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

○○○ポンプは，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，原子力発電所耐震設計技術指針（ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成 3 年 6 月）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）にて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。

(1) ○○○ポンプは地震時においてもその機能が維持されるよう，動的機能維持の評価を行う。なお，本ポンプは添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，機能維持評価は，ＪＥＡＧ４６０１にて定められた評価部位の健全性を確認することで動的機能維持の確認を行う。また，原動機については横形ころがり軸受電動機であるため，添付書類「Ⅴ-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。

(2) 本ポンプは横置きの機器であることから，ＪＥＡＧ４６０１に従い構造的に一つの剛体として取扱う。

4.2　ポンプの動的機能維持評価

4.2.1　評価対象部位

○○○ポンプは，容量等がＪＥＡＧ４６０１に記載されている横形遠心式ポンプを上回ることはなく，回転機能を担う構成要素も変わらない。したがって，基本的な構成要素はＪＥＡＧ４６０１に記載されている横形ポンプと同等であることから，ＪＥＡＧ４６０１に記載の横形ポンプの動的機能維持評価項目に従い，以下の部位について評価を実施する。

①　基礎・取付ボルト

「a. 基礎ボルト」「b. 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」にて十分な裕度を有していることを確認している。

②　軸系としての評価

地震時の主軸発生応力の評価を行う。

③　摺動部（軸系）

主軸とケーシング間の摺動部（主ねじ部）の評価として地震時の隙間評価を行う。

④　軸受

軸受の地震時の面圧を評価する。

4.2.2　評価基準値

(1)　スクリュー式ポンプ

①　軸系としての評価（主軸発生応力）

軸の許容応力はその他のポンプの許容応力状態ⅢＡＳに準拠し設定する。

②　摺動部（軸系）

主軸の地震時の変形量が摺動部（主ねじ部）については主ねじとスリーブ間の隙間より小さいこと。

③　軸受

主軸の地震時の軸受への荷重が，軸受の許容面圧以下であること。

部位毎の評価基準値を記載する。

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 4-2 に示す。

表 4-2　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Ri}	ラジアル荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_T	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
C_H	水平方向震度	－
C_V	鉛直方向震度	－
d_j	軸の評価箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_j	軸の評価箇所の断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	支点Ａから軸端までの距離	mm
M	軸に作用する最大曲げモーメント	N･mm
M_{Cj}	W_Cにより発生する軸の最大曲げモーメント	N･mm
M_{Sj}	wにより発生する軸の最大曲げモーメント	N･mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N･mm
m_C	カップリング質量	kg
m_S	軸質量	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	min^{-1}
P	原動機出力	kW
P_R	ラジアル荷重による軸受の最大面圧	MPa
P_{Ri}	ラジアル荷重による軸受の面圧	MPa
P_T	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
T	軸に作用するねじりモーメント	N･mm
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
W_C	地震力を考慮した軸端部荷重	N
W_{Ri}	軸受にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_{Ri1}	*w*により発生する反力	N
W_{Ri2}	W_Cにより発生する反力	N
W_T	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
W_2	軸受にかかる通常運転時スラスト荷重	N
x_1	支点Ｂから軸評価点までの距離	mm
x_2	支点Ａから軸評価点までの距離	mm
δ_{Cjk}	W_Cにより発生する軸のたわみ量	mm
δ_{Sjk}	*w*により発生する軸のたわみ量	mm

記号	記号の説明	単位
δ_j	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
π	円周率	－
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

添字 i の意味は i=A　：支点Ａ　　，i=B　：支点Ｂ

添字 j の意味は j=１　：支点間　　，j=２　：張出部

添字 k の意味は k=s　：wによる評価　，k=c　：W_Cによる評価

4.2.4　評価方法

(1)　軸

軸の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合のねじりと曲げの組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が，その許容応力値を下回ることを確認する。

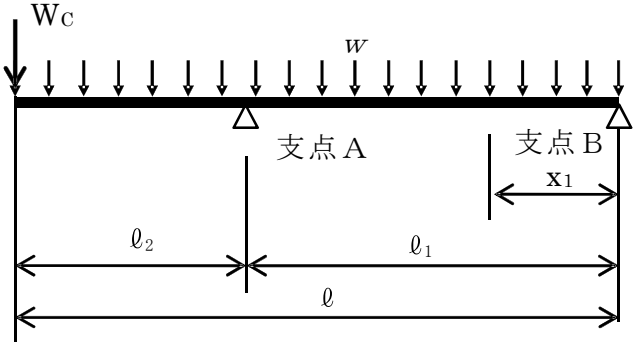


図 4-1　軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力 τ_{max} は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d_1{}^3}\right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.1)$$

ここで，ねじりモーメントTは，

$$T = M_P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.2)$$

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントM_Pは，

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.3)$$

（1 kW＝10^6N･mm/s）

軸に作用する最大曲げモーメントM

$$M = \max\left(M_{S1} + M_{C1},\ M_{S2} + M_{C2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.4)$$

ここで，主軸質量に地震力を考慮した軸等分布荷重 w は，

$$w = \frac{m_s \cdot g \cdot \sqrt{C_H{}^2 + (1 + C_V)^2}}{\ell} \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.5)$$

NT2 補○ V-○-○-○ R○

軸等分布荷重wが作用した場合の支点A-B間の最大モーメントは，

$x_1=\ell_1/2\{1-(\ell_2^2/\ell_1^2)\}$で生じる。

$$M_{S1}=\frac{W}{8\ell_1^2}(\ell_1+\ell_2)^2(\ell_1-\ell_2)^2 \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.6)$$

支点Aからの張出部での最大モーメントM_{S2}は，支点A（$x_2=0$）で生じる。

$$M_{S2}=\frac{W\ell_2^2}{2} \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.7)$$

張出部に軸端部荷重Wcが作用した場合の支点A-B間の最大モーメントは，

$$x_1=\frac{\ell_1}{2}\{1-(\frac{\ell_2^2}{\ell_1^2})\}$$ で生じる。

$$M_{C1}=\frac{Wc\ \ell_2}{\ell_2}\cdot\frac{\ell_1}{2}\cdot(1-\frac{\ell_2^2}{\ell_1^2}) \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.8)$$

張出部にカップリングの質量m_Cが作用した場合の支点Aからの張出部での最大モーメントM_{C2}は，支点A（$x_2=0$）で，

$$M_{C2}=Wc\cdot\ell_2 \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.9)$$

ここで，張出し部に作用する軸端荷重Wcは，

$$W_C=m_c\cdot g\cdot\sqrt{C_H^2+(1+C_V)^2} \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.10)$$

支点Aと支点B間の最大モーメントは，主軸の等分布質量とカップリング質量により発生する最大モーメントは（$M_{S1}+M_{C1}$）となる。

支点Aからの張出部での最大モーメントも同様にして主軸の等分布質量とカップリング質量により発生する最大モーメントは（$M_{S2}+M_{C2}$）となる。

NT2 補○ V-○-○-○ R○

(2)　軸受

軸受の評価は，地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし，地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a.　ラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_R = \max(P_{RA},\ P_{RB}) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.11)$$

支点Ａの軸受の面圧　P_{RA}は，

$$P_{RA} = \frac{W_{RA}}{A_{RA}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.12)$$

支点Ｂの軸受の面圧　P_{RB}は，

$$P_{RB} = \frac{W_{RB}}{A_{RB}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.13)$$

ここで，軸受にかかる地震時のラジアル荷重W_{Ri}は，

$$\left.\begin{aligned} W_{RA} &= W_{RA1}+W_{RA2} \\ W_{RB} &= W_{RB1}+W_{RB2} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (4.2.4.14)$$

主軸の等分布荷重 wにより支点Ａに働く反力W_{RA1}は，

$$W_{RA1} = \frac{w}{2\ell_1}\cdot(\ell_1+\ell_2)^2 \qquad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.15)$$

主軸の等分布荷重 wにより支点Ｂに働く反力W_{RB1}は，

$$W_{RB1} = \frac{w}{2\ell_1}\cdot(\ell_1^2-\ell_2^2) \qquad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.16)$$

張出部に軸端荷重Ｗｃが作用した場合の支点Ａに働く反力
W_{RA2}は，

$$W_{RA2} = \frac{Wc}{\ell_1}\cdot(\ell_1+\ell_2) \qquad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.17)$$

張出部に軸端部荷重Ｗｃが作用した場合の支点Ｂに働く反力
W_{RB2}は，

$$W_{RB2}=\frac{Wc\cdot\ell_2}{\ell_1} \qquad \cdots\cdots\cdots(4.2.4.18)$$

b. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_T=\frac{W_T}{A_T} \qquad \cdots\cdots\cdots(4.2.4.19)$$

ここで，軸受にかかる地震時のスラスト荷重W_tは，

$$W_T=(m_S+m_C)\cdot g\cdot C_H+W_2 \qquad \cdots\cdots\cdots(4.2.4.20)$$

(3) 摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し，発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

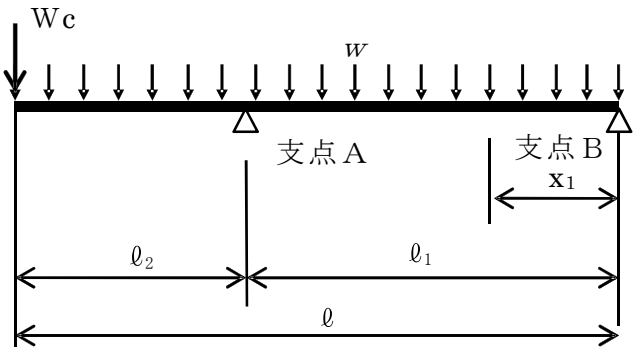


図 4-2　摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）支点Ａと支点Ｂ間におけるwによる軸のたわみ量δ_{s1S}は次式で求める。

wによる最大たわみ点は　$x_1=\ell_1/2\{1-(\ell_2^2/\ell_1^2)\}$である。

$$\delta_{s1S}=\frac{w\cdot x_1}{24EI_1\ell_1}\{\ell_1^4-2\ell_1^2x_1^2+x_1^3\ell_1-2\ell_2^2\ell_1^2+2\ell_2^2x_1^2\}\cdots(4.2.4.21)$$

摺動部（主ねじ部）支点Ａと支点Ｂ間における *w* による最大たわみ点でのＷｃによる軸のたわみ量 δ_{C1S} は次式で求める。

$$\delta_{C1S} = \frac{Wc \cdot \ell_2 \cdot x_1}{6EI\ell_1}\left(\ell_1^2 - x_1^2\right) \quad \cdots (4.2.4.22)$$

摺動部（主ねじ部）支点Ａと支点Ｂ間におけるＷｃによる最大たわみ点での *w* による軸のたわみ量 δ_{S1C} は次式で求める。

Ｗｃによる最大たわみ点は　$x_1 = \frac{\ell_1}{\sqrt{3}}$ である。

$$\delta_{S1C} = \frac{w \cdot x_1}{24EI_1\ell_1}\left\{\ell_1^4 - 2\ell_1^2 x_1^2 + x_1^3\ell_1 - 2\ell_2^2\ell_1^2 + 2\ell_2^2 x_1^2\right\} \cdots (4.2.4.23)$$

摺動部（主ねじ部）支点Ａと支点Ｂ間におけるＷｃによる軸のたわみ量 δ_{C1C} は次式で求める。

$$\delta_{C1C} = \frac{W_C\ \ell_2\ \ell_1^2}{9\sqrt{3}\ EI_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.24)$$

$$\delta_1 = \max\left(\delta_{S1S} + \delta_{C1S},\ \delta_{S1C} + \delta_{C1C}\right) \cdots\cdots\cdots (4.2.4.25)$$

NT2 補○ V-○-○-○ R○

4.3　ポンプ逃し弁の動的機能維持評価

○○○ポンプ用逃し弁は，地震時動的機能維持が確認された機種と弁体がバネ等で弁座に押し付けられている類似の構造及び振動特性であることを考慮して，表 4-2 に記載の機能確認済加速度を適用する。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
逃し弁	特殊弁 安全弁	水平	
		鉛直	

4.4　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「Ⅴ-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　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	
		鉛直	

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することを確認した。

(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S_d及び静的震度は基準地震動S_sを下回っており，基準地震動S_sによる発生値が，弾性設計用地震動S_d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S_d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S_s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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	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			
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	S	常設代替高圧電源装置置場 EL*1	－*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S_sで評価する。

ⅢASの評価をS_sで実施する場合は「－*3」とし，注記で説明する。

1.2 機器要目

(1)構造強度評価

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*1	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）					（M ）			
ポンプ取付ボルト（i＝2）					（M ）			
原動機取付ボルト（i＝3）					（M ）			

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	*2	*2			軸	軸直角	－	－
ポンプ取付ボルト（i＝2）	*3	*3			軸	軸	－	－
原動機取付ボルト（i＝3）	*3	*3			軸直角	軸直角	－	

M_pが生じない場合は“－”とする。

注記 ＊1：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角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
＊3：最高使用温度で算出

ⅢASの評価をS_sで実施する場合は「－」とする。

予想最大両振幅（μm）	回転速度（min^{-1}）
H_P＝	N=

(2)機能維持評価

m_S (kg)	m_C (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d_1 (mm)

A_{RA} (mm^2)	A_{RB} (mm^2)	A_T (mm^2)	E (MPa)	I_1 (mm^4)	N (min^{-1})	W_2 (N)

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

$Ⅲ_AS$の評価をS_sで実施する場合は「－」とする。

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力*	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}=	f_{ts1}=*	σ_{b1}=	f_{ts1}=*
		せん断	τ_{b1}=	f_{sb1}=	τ_{b1}=	f_{sb1}=
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}=	f_{ts2}=*	σ_{b2}=	f_{ts2}=*
		せん断	τ_{b2}=	f_{sb2}=	τ_{b2}=	f_{sb2}=
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b3}=	f_{ts3}=*	σ_{b3}=	f_{ts3}=*
		せん断	τ_{b3}=	f_{sb3}=	τ_{b3}=	f_{sb3}=

すべて許容応力以下である。

注記 *：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

$Ⅲ_AS$の評価をS_sで実施した場合は，算出応力値に「*」を付記し，注記で説明する。

注記 *：基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 動的機能の評価結果

1.4.2.1 機能確認済加速度との比較 （×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
逃し弁	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

逃し弁，原動機は，評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.4.2.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

1.4.2.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト，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。

1.4.2.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

(1) 軸の応力評価 （単位：MPa）

評価部位	発生応力	許容応力
軸	τ_{max}=	

すべて許容応力以下である。

(2) 軸受の評価 （単位：MPa）

評価部位	荷 重	発生面圧	許容面圧
軸 受	ラジアル（原動機側）	P_{RA}=	
	ラジアル（負荷側）	P_{RB}=	
	スラスト	P_{T}=	

すべて許容面圧以下である。

(3) 摺動部（主ねじ）の評価 （単位：mm）

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ）	δ_1=	

すべてスリーブ間隙以下である。

【ＤＢ＋ＳＡの場合】
前項のＤＢ評価に本ＳＡの評価追加する。

【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。

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	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			
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	常設代替高圧電源装置置場 EL. *1	－*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

(1)構造強度評価

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} *1 (mm)	ℓ_{2i} *1 (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi} *1	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)					(M16)		－	
ポンプ取付ボルト (i＝2)					(M16)		－	
原動機取付ボルト (i＝3)					(M10)		－	

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	*2	*2	－		－	軸直角	－	－
ポンプ取付ボルト (i＝2)	*3	*3	－		－	軸	－	－
原動機取付ボルト (i＝3)	*3	*3	－		－	軸直角	－	

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min⁻¹)
H_P=	N=

注記 ＊1：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角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
＊3：最高使用温度で算出

(2)機能維持評価

m_S (kg)	m_C (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d_1 (mm)

A_{RA} (mm^2)	A_{RB} (mm^2)	A_T (mm^2)	E (MPa)	I_1 (mm^4)	N (min^{-1})	W_2 (N)

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	－		－	
ポンプ取付ボルト (i=2)	－		－	
原動機取付ボルト (i=3)	－		－	

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}=	f_{ts1}=*
		せん断	－	－	τ_{b1}=	f_{sb1}=
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}=	f_{ts2}=*
		せん断	－	－	τ_{b2}=	f_{sb2}=
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}=	f_{ts3}=*
		せん断	－	－	τ_{b3}=	f_{sb3}=

すべて許容応力以下である。

注記 *：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}−1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.4.2 動的機能の評価結果

2.4.2.1 機能確認済加速度との比較 （×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
逃し弁	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

逃し弁，原動機は，評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.4.2.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

2.4.2.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト，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。

2.4.2.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

(1) 軸の応力評価 （単位：MPa）

評価部位	発生応力	許容応力
軸	τ_{max}=	

すべて許容応力以下である。

(2) 軸受の評価 （単位：MPa）

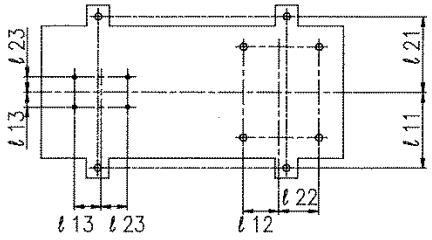
評価部位	荷 重	発生面圧	許容面圧
軸 受	ラジアル（原動機側）	P_{RA}=	
	ラジアル（負荷側）	P_{RB}=	
	スラスト	P_{T}=	

すべて許容面圧以下である。

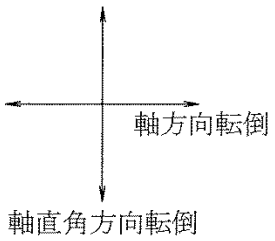
(3) 摺動部（主ねじ）の評価 （単位：mm）

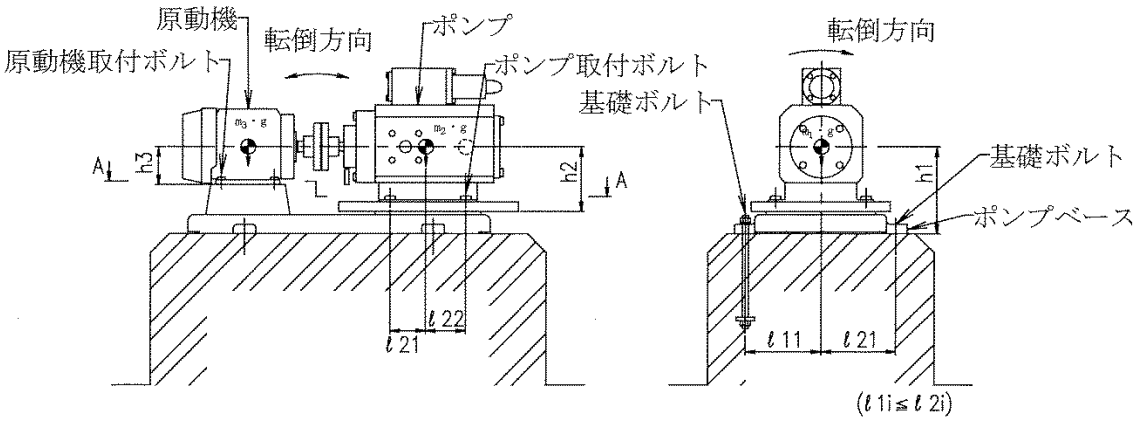
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ）	δ_1=	

すべてスリーブ間隙以下である。


ℓ23
ℓ13
ℓ21
ℓ11
ℓ13
ℓ23
ℓ12
ℓ22

A-A矢視図


軸方向転倒
軸直角方向転倒


原動機
転倒方向
ポンプ
原動機取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
A
h3
h2
A
ℓ22
ℓ21
転倒方向
基礎ボルト
ポンプベース
h1
ℓ11
ℓ21
(ℓ1i≦ℓ2i)

添付資料－5：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）

V-〇-〇-〇　〇〇〇熱交換器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 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 11
3. 評価部位 ····· 12
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 12
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 18
4.4 固有周期 ····· 19
4.5 設計用地震力 ····· 21
4.6 計算方法 ····· 22
4.7 計算条件 ····· 38
4.8 応力の評価 ····· 38
5. 評価結果 ····· 40
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 40
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 40
6. 引用文献 ····· 40

必要な場合，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。〕

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，残留熱除去系熱交換器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。

○○○熱交換器は，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

○○○熱交換器の構造計画を表2-1に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋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及び動的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○は，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○は，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，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。

下線部＿＿＿は，動的機能維持評価が必要な機器の場合記載する。

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。

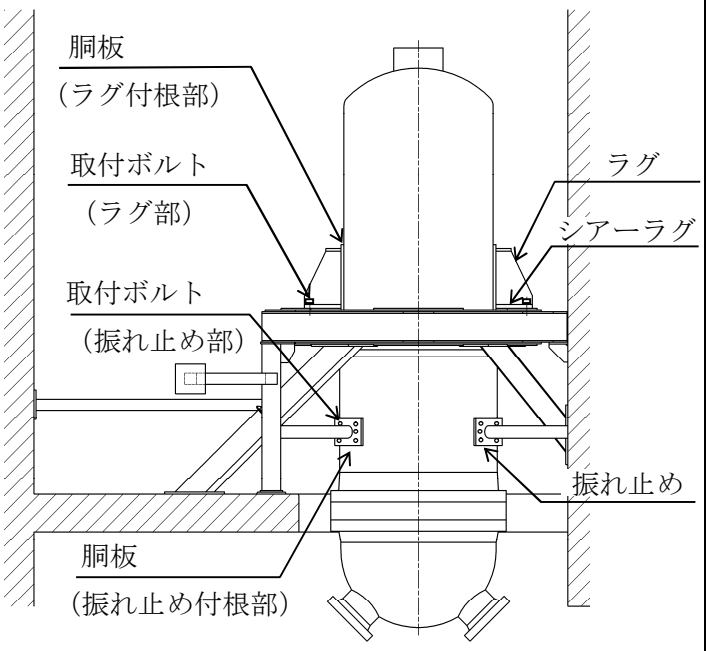
2.3 適用基準

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で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。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」となる。

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	
胴を4個のラグで支持し，ラグをそれぞれ架台に取付ボルトで取り付ける。	水室，管板，胴を有するラグ支持たて置円筒形容器	

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

○○○熱交換器の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」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」にて示す残留熱除去系熱交換器の部位を踏まえ「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及び荷重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。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

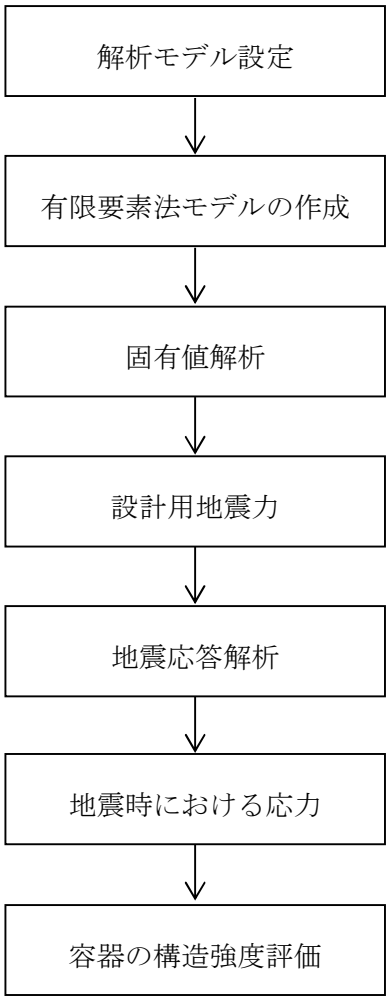


図 2-1　○○○熱交換器の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A_{Lb}	取付ボルト（ラグ部及び振れ止め部）の軸断面積	mm^2
A_{Tb}	取付ボルト（振れ止め部）の軸断面積	mm^2
A_{Ls1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
A_{Ls2}	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
A_{Ts}	鉛直方向荷重に対する振れ止めのせん断断面積	mm^2
A_T	半径方向荷重に対する振れ止めの断面積	mm^2
A_S	せん断方向荷重に対するシアーラグの断面積	mm^2
a_L	ラグの半径方向端面から胴板までの距離	mm
a_T	振れ止めの円周方向の幅	mm
b_L	ラグの半径方向端面から取付ボルト中心までの距離	mm
C_{L1}	ラグの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_{L2}	ラグの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_{T1}	振れ止めの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_{T2}	振れ止めの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_{Lcj}，C_{Tcj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
$C_{L\ell j}$	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
c_L	ラグの据付くシアーラグ端面から取付ボルト中心までの距離	mm
D_i	胴の内径	mm
d_T	振れ止め中心から取付ボルト中心までの距離	mm
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	F値を求める際において，設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_V	鉛直方向地震力による荷重	N
F_{L01}	運転時質量によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{L01V}	鉛直方向地震力によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{L11}	水平方向地震力によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{Trg}	運転時質量により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{TrV}	鉛直方向地震力により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{TrH}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{Tsr}	振れ止めの引張方向に作用する荷重	N
$F_{Ts\ell}$	振れ止めのせん断方向に作用する荷重	N
F_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに作用するせん断方向の荷重	N
f_{Ssb}	シアーラグの許容せん断応力（f_sを 1.5 倍した値又は f_s^* を 1.5 倍した値）	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
f_{Tsb}	振れ止めの取付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_{Lt}	ラグの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{Tt}	振れ止めの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{Lto}	引張力のみを受けるラグの取付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_{Tto}	引張力のみを受ける振れ止めの取付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_{Tts}	引張力とせん断力を同時に受ける振れ止めの取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_L	ラグ部の胴の断面二次モーメント	mm^4
I_T	振れ止め部の胴の断面二次モーメント	mm^4
k_{Lcj}，$k_{L\ell j}$，k_{Tcj}	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
K_{1Nj}，K_{1Mj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの膜応力及び曲げ応力に対する補正係数（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
M_{LH}	水平方向地震力によるラグ部の胴の曲げモーメント	N･mm
M_{TH}	水平方向地震力による振れ止め部の胴の曲げモーメント	N･mm
M_{L1}	水平方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N･mm
M_{L3}	水平方向地震力によるラグ付根部のねじりモーメント	N･mm
M_{T3}	水平方向地震力による振れ止め付根部のねじりモーメント	N･mm
M_{Lc}	水平方向地震力によるラグ付根部の周方向モーメント	N･mm
M_{Tc}	水平方向地震力による振れ止め付根部の周方向モーメント	N･mm
$M_{L\ell}$	運転時質量によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N･mm
$M_{L\ell V}$	鉛直方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N･mm
M_{Ts}	振れ止めに作用する曲げモーメント	N･mm
M_{Tb}	振れ止めの取付ボルトの締結部に作用する曲げモーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n_L	ラグ1個当たりの取付ボルトの本数	－
n_T	振れ止め1個当たりの取付ボルトの本数	－

記　号	記　号　の　説　明	単　位
P	半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに作用する軸方向の荷重	N
Q_L	水平方向地震力によるラグ付根部の周方向荷重	N
Q_T	水平方向地震力による振れ止め付根部の周方向荷重	N
Q_S	シアーラグに作用するせん断方向荷重	N
R_L	運転時質量によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
R_{L1}	水平方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
R_{LV}	鉛直方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
r_{mL}	ラグ部の胴の平均半径	mm
r_{mT}	振れ止め部の胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	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
t_L	ラグ部の胴の厚さ	mm
t_T	振れ止め部の胴の厚さ	mm
Z_{Lsp}	ラグのねじり断面係数	mm^3
$Z_{Ls\ell}$	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{Lst}	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{Ts}	振れ止めの鉛直方向軸に対する断面係数	mm^3
β，β_{L1}，β_{L2}，β_{Lc}，$\beta_{L\ell}$，β_{T1}，β_{T2}，β_{Tc}，β_N，β_M	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	－
γ_L，γ_T	引用文献(2)によるシェルパラメータ	－
π	円周率	－
σ_{L0}	胴のラグ付根部の一次一般膜応力最大値	MPa
σ_{T0}	胴の振れ止め付根部の一次一般膜応力最大値	MPa
$\sigma_{L0\phi}$	胴のラグ付根部の周方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{T0\phi}$	胴の振れ止め付根部の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{L0x}	胴のラグ付根部の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_{T0x}	胴の振れ止め付根部の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_{L1}	胴のラグ付根部の一次応力の最大値	MPa
σ_{T1}	胴の振れ止め付根部の一次応力の最大値	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
σ_{L11}，σ_{L12}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の組合せ一次応力	MPa
σ_{T11}，σ_{T12}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の組合せ一次応力	MPa
σ_{L2}	胴のラグ付根部の一次応力＋二次応力の最大値	MPa
σ_{T2}	胴の振れ止め付根部の一次応力＋二次応力の最大値	MPa
σ_{L21}，σ_{L22}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の組合せ一次応力＋二次応力の変動値	MPa
σ_{T21}，σ_{T22}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の組合せ一次応力＋二次応力の変動値	MPa
σ_{Lb}	ラグ部の取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{Tb}	振れ止め部の取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{Ls}	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{Ts}	振れ止めの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{Ls1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{Ts1}，σ_{Ts2}	振れ止めの引張応力及び曲げ応力	MPa
σ_{Ls2}	水平方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{Ls7}	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{Lxe1}，σ_{Lxe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の軸方向一次応力の和	MPa
σ_{Txe1}，σ_{Txe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{L\phi e1}$，$\sigma_{L\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{T\phi e1}$，$\sigma_{T\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の周方向一次応力の和	MPa
σ_{L2xe1}，σ_{L2xe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
σ_{T2xe1}，σ_{T2xe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi e1}$，$\sigma_{L2\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の周方向一次応力＋二次応力	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
$\sigma_{T2\phi e1}$, $\sigma_{T2\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の周方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{L\phi1}$, σ_{Lx1}	内圧による胴のラグ付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{T\phi1}$, σ_{Tx1}	内圧による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{Lx2}	運転時質量による胴のラグ付根部及び軸方向応力	MPa
σ_{Tx2}	運転時質量による胴の振れ止め付根部及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{L\phi3}$, σ_{Lx3}	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{T\phi rg}$, σ_{Txrg}	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{Lx4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴のラグ付根部の軸方向応力	MPa
σ_{Tx4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の振れ止め付根部の軸方向応力	MPa
$\sigma_{L\phi5}$, σ_{Lx5}	水平方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi5}$, σ_{L2x5}	水平方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{L\phi7}$, σ_{Lx7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi7}$, σ_{L2x7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T\phi7}$, σ_{Tx7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi7}$, σ_{T2x7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T\phi rH}$, σ_{TxrH}	水平方向地震力が作用した場合の半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi rH}$, σ_{T2xrH}	水平方向地震力が作用した場合の半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
σ_{Lx11}	鉛直方向地震力によるラグ付根部の胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{Tx11}	鉛直方向地震力による振れ止め付根部の胴断面に生じる引張応力	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
$\sigma_{L\phi 12}$, σ_{Lx12}	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T\phi rV}$, σ_{TxrV}	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi 12}$, σ_{L2x12}	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi rV}$, σ_{T2xrV}	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
τ_{L3}	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{T3}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{S}	シアーラグに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{Lc1}	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{Tc1}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{L\ell 1}$	運転時質量により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{L\ell 2}$	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{L\ell 6}$	鉛直方向地震力により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{Ls1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
τ_{Ts1}	運転時質量と地震力による振れ止めのせん断応力	MPa
τ_{Ls2}	水平方向地震力によるラグのせん断応力	MPa
τ_{Ls7}	鉛直方向地震力によるラグのせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積*2		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊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。

「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

○○○熱交換器の耐震評価は，「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，胴板（ラグ付根部及び振れ止め付根部），ラグ，振れ止め，取付ボルト（ラグ部及び振れ止め部），シアーラグについて実施する。○○○熱交換器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) 容器及び内容物の質量はラグの中心を基準にして6 部分に分け，各部分の全質量が，それぞれの重心に集中するものとする。

(2) 地震力は，容器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，原則として，応力評価において組合せるものとする。なお，取付ボルトにおいては，作用する荷重の算出において組合せるものとする。

(3) 容器の胴は4 個のラグで支持され，ラグはそれぞれ架台に取付ボルトで取り付いている。また，容器の胴は4 個の振れ止めで横揺れを押さえられており，振れ止めはそれぞれ振れ止めサポートに取付ボルトで取り付いている。

(4) 水平方向は，胴をはりと考え，変形モードは胴の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の鉛直方向は剛とみなす。

(5) 胴板とラグ及び振れ止めとの取付部において胴板の局部変形を考慮する。

(6) ラグは，胴の半径方向にスライド可能とし，半径方向の荷重は受けもたないものとする。また，円周方向の荷重に対しては，取付ボルト間の中心を軸とする回転方向に自由度を有しているものとする。

(7) 振れ止めは，胴の鉛直方向にスライド可能とし，鉛直方向の荷重は受けもたないものとする。

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

○○○熱交換器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-○に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-○に示す。

4.2.2　許容応力

○○○熱交換器の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表4-○及び表4-○のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○熱交換器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-○に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-○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-○　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	耐震設計上の耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	○○○設備	○○○熱交換器	S	クラス２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２容器の支持構造物を含む。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

III_ASの評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

表 4-○　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
原子炉冷却系統施設	○○○設備	○○○熱交換器	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２容器*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-○ 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]			
	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
ⅢＡＳ	S_yと0.6・S_uの小さい方 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のうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S_d又は基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S_y以下であれば，疲労解析は不要[*2]	
ⅣＡＳ	0.6・S_u	左欄の1.5倍の値		
ＶＡＳ （ＶＡＳとして，ⅣＡＳの許容限界を用いる。）			基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S_y以下であれば，疲労解析は不要[*2]	

注記 ＊1：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。
＊2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。S_mは 2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

・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-○ 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（ラグ及び振れ止め）	許容限界*1，*2（取付ボルト）		許容限界*1，*2（シアーラグ）
	一次応力	一次応力		一次応力
	組合せ	引張り	せん断	せん断
ⅢＡＳ	1.5・f_t	1.5・f_t	1.5・f_s	1.5・f_s
ⅣＡＳ	1.5・f_t^*	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*	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。

表 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)
胴板	○○○*	最高使用温度		—			—
ラグ	（40 mm＜厚さ≦75 mm）	最高使用温度		—			—
振れ止め		最高使用温度		—			—
取付ボルト		周囲環境温度		—			—
シアーラグ		周囲環境温度		—			—

注記　＊：新ＪＩＳにおける○○○相当

旧 JIS 材料を使用している場合は，相当する新 JIS 材料を注記する。

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。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

表 4-○　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		—			—
ラグ		最高使用温度		—			—
振れ止め		最高使用温度		—			—
取付ボルト		周囲環境温度		—			—
シアーラグ		周囲環境温度		—			—

4.3　解析モデル及び諸元

○○○熱交換器の解析モデルを図4-○に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表4-○に示す。

(1)　熱交換器本体及び架台をはり要素でモデル化する。

(2)　熱交換器本体を6 質点系振動モデルとして考える。

(3)　拘束条件は，壁面及び床面と架台の取合い部を完全拘束とし，ラグ及び振れ止めは一方向にスライド可能とする。

(4)　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「V-○-○　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。

解析モデル図を記載する

図4-○　解析モデル

表4-○　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_0	kg	
温度条件 （最高使用温度又は雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

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ごとに記載する。

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表4-○に，振動モード図を図4-○に示す。鉛直方向は，○次モード以降で卓越し，固有周期は0.05秒以下であり剛であることを確認した。

剛である場合には，その結果を記載する。

表 4-○　固有値解析結果

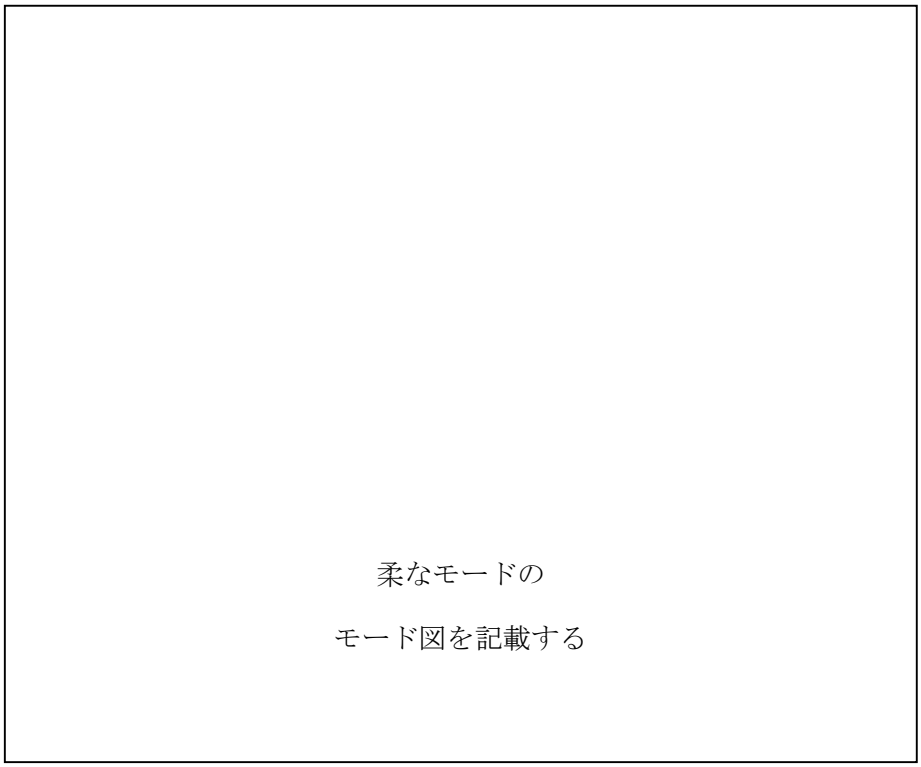
モード	固有周期 （ｓ）	卓越方向	刺激係数		
			ＥＷ方向	ＮＳ方向	鉛直方向
1 次		水平			
2 次		水平			
3 次		水平			

柔なモードには刺激係数を記載する。

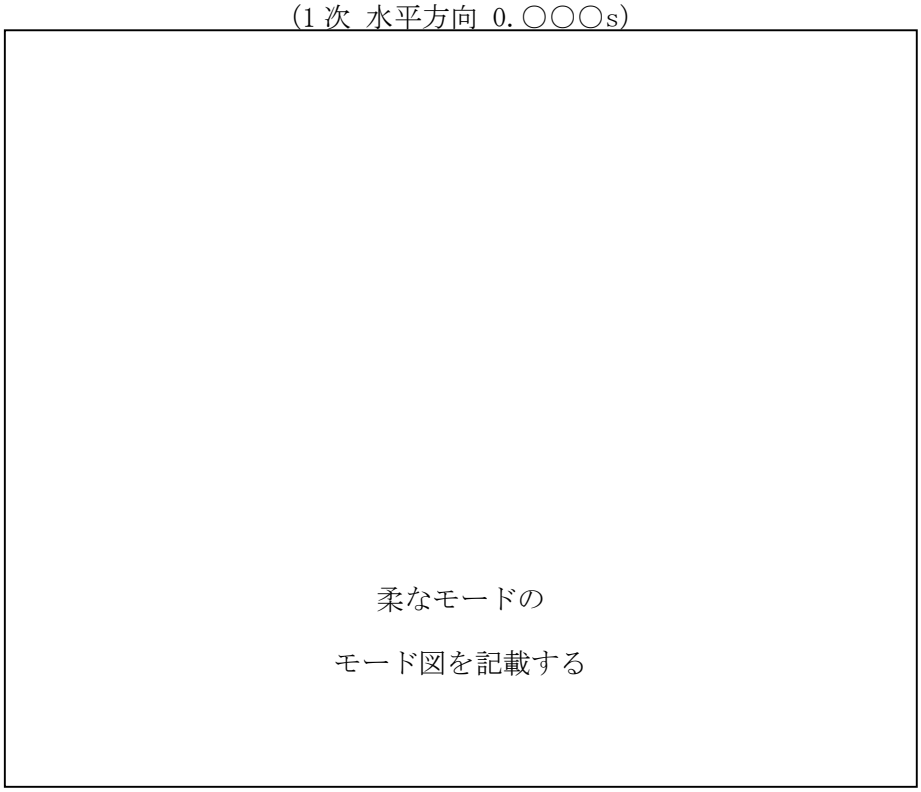
表 4-○　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平

【剛な設備（1 次モードが 0.05 s 以下）】
1 次モードの固有値と卓越方向のみを記載する。



（1 次 水平方向 0.○○○s）



（2 次 水平方向 0.○○○ s ）

図4-○　振動モード

4.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-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「Ⅴ-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4-10及び表4-11に示す。

表 4-10　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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数 (%)	
	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	水平方向	鉛直方向
原子炉建屋 EL. *1			C_H＝又は＊2	C_V＝又は＊2	C_H＝又は＊3	C_V＝又は＊3	*4	*4

注記　＊1:基準床レベルを示す。

＊2:弾性設計用地震動Ｓ$_d$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Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊4：溶接構造物に適用される減衰定数の値

適用する減衰定数について記載する。固有周期が 0.05 以下となる方向については「－」とする。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

表 4-11　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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数 (%)	
	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	水平方向	鉛直方向
原子炉建屋 EL. *1			－	－	C_H＝又は＊2	C_V＝又は＊2	*3	*3

注記　＊1:基準床レベルを示す。

＊2:基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊3:溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

応力計算は，ＳＲＳＳ法を用いて行い，水平震度については，ＥＷ方向及びＮＳ方向の場合に分けて組合せるものとする。

4.6.1.1　胴板（ラグ付根部）の応力

(1)　内圧による応力

$$\sigma_{L\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_L)}{2\cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{Lx1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_L)}{4\cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.3)$$

(2)　運転時質量による応力

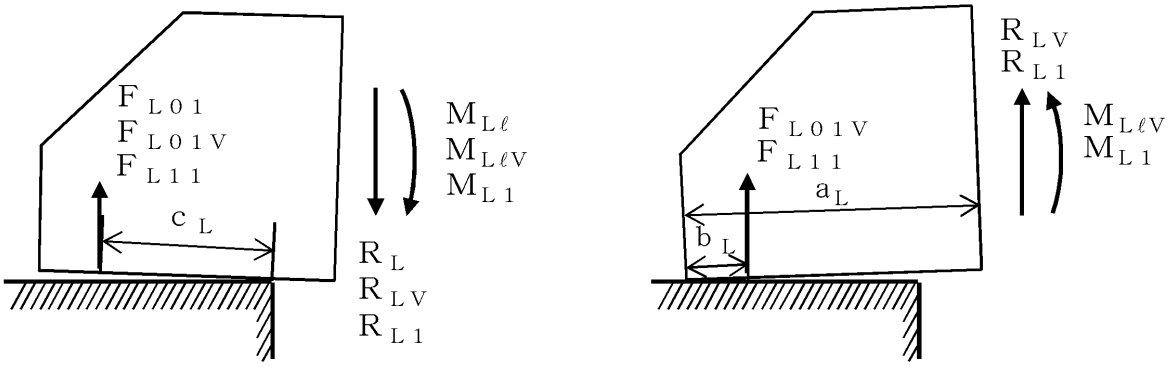
$$\sigma_{Lx2}=\frac{m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t_L)\cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

(3)　鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

鉛直方向地震力による荷重F_vは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Lx11}=\frac{|F_V|}{\pi\cdot(D_i+t_L)\cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.5)$$

(4)　運転時質量による胴のラグ付根部の応力



（下向き鉛直荷重）　　（上向き鉛直荷重）

図4-5　鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量による鉛直方向モーメント$M_{L\ell}$及び反力R_Lは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

鉛直方向曲げモーメント$M_{L\ell}$により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータγ_L及びアタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$は，以下のように定義する。

$$\gamma_L = r_{mL} / t_L \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.6)$$

$$\beta_{L1} = C_{L1} / r_{mL} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.7)$$

$$\beta_{L2} = C_{L2} / r_{mL} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.8)$$

$$\beta_{L\ell} = \sqrt[3]{\beta_{L1} \cdot \beta_{L2}^{\,2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.9)$$

ただし，$\beta_{L\ell} \leqq 0.5$

シェルパラメータγ_L及びアタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$によって引用文献(2)の図より値（以下＊を付記するもの）を求めることにより，次式で求める。

$$\sigma_{L\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{L\ell} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot t_L \cdot \beta_{L\ell}} \right) \cdot C_{L\ell 1} \quad (4.6.1.1.10)$$

$$\sigma_{Lx3} = \left\{ \frac{N_x}{M_{L\ell} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot t_L \cdot \beta_{L\ell}} \right) \cdot C_{L\ell 2} \quad (4.6.1.1.11)$$

反力R_Lによるせん断応力

$$\tau_{L\ell 1} = \frac{|R_L|}{4 \cdot C_{L2} \cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.12)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴のラグ付根部の応力

鉛直方向地震力による鉛直方向モーメント$M_{L\ell V}$は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント$M_{L\ell V}$により生じる周方向応力及び軸方向応力はシェルパラメータγ_L及びアタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$によって引用文献(2)の図より値（以下＊を付記するもの）を求めることにより，次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 12} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{L\ell V} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell V}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 1} \quad (4.6.1.1.13)$$

$$\sigma_{Lx12} = \left\{ \frac{N_x}{M_{L\ell V} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell V}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 2} \quad (4.6.1.1.14)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi12}=\left\{\frac{M_{\phi}}{M_{L\ell V}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L\ell V}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_L^{2}}\right) \quad (4.6.1.1.15)$$

$$\sigma_{L2x12}=\left\{\frac{M_{x}}{M_{L\ell V}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L\ell V}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_L^{2}}\right) \quad (4.6.1.1.16)$$

ここで，アタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$は，次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は更に$k_{L\ell}$を乗じた値とする。

$$\beta_{L\ell}=\sqrt[3]{\beta_{L1}\cdot\beta_{L2}^{2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.17)$$

鉛直方向地震力による反力R_{LV}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用し，反力R_{LV}によるせん断応力は，次式で表される。

$$\tau_{L\ell6}=\frac{|R_{LV}|}{4\cdot C_{L2}\cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.18)$$

(6)　水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{Lx4}=\frac{M_{LH}\cdot(D_i+2\cdot t_L)}{2\cdot I_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.19)$$

水平方向地震力による曲げモーメントM_{LH}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

ここで，胴の断面二次モーメントI_Lは次のように求める。

$$I_L=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t_L)^{3}\cdot t_L \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.20)$$

(7)　水平方向地震力による胴のラグ付根部に作用する荷重及びモーメント

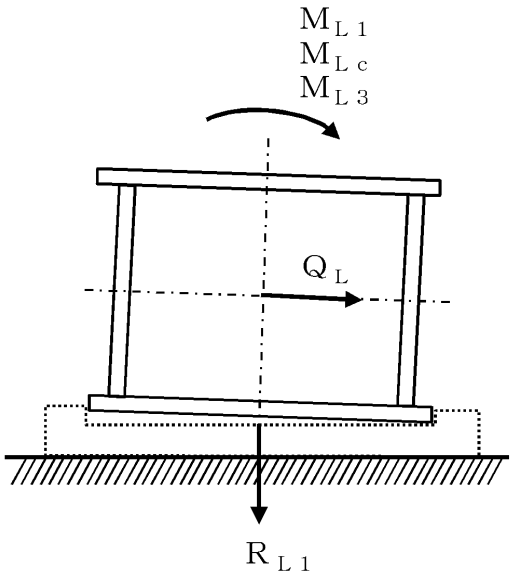


図4-6　ラグに作用する周方向曲げモーメント及びねじりモーメントと力

水平方向地震力による鉛直方向曲げモーメントの最大値M_{L1}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

鉛直方向モーメントM_{L1}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，（4.6.1.1.10）式の$\sigma_{L\phi3}$及び（4.6.1.1.11）式のσ_{Lx3}と同様にして次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi5}=\left\{\frac{N_{\phi}}{M_{L1}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{L1}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{L\ell1}\quad(4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{Lx5}=\left\{\frac{N_{x}}{M_{L1}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{L1}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{L\ell2}\quad(4.6.1.1.22)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi5}=\left\{\frac{M_{\phi}}{M_{L1}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L1}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\quad\cdots\quad(4.6.1.1.23)$$

$$\sigma_{L2x5}=\left\{\frac{M_{x}}{M_{L1}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L1}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\quad\cdots\quad(4.6.1.1.24)$$

ここで，アタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$は次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は，更に$k_{L\ell}$を乗じた値とする。

$$\beta_{L\ell}=\sqrt[3]{\beta_{L1}\cdot\beta_{L2}{}^{2}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(4.6.1.1.25)$$

水平方向地震による周方向曲げモーメントの最大値M_{Lc}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

周方向曲げモーメントM_{Lc}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 7}=\left\{\frac{N_{\phi}}{M_{Lc}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{Lc}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{Lc1} \quad (4.6.1.1.26)$$

$$\sigma_{Lx7}=\left\{\frac{N_{x}}{M_{Lc}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{Lc}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{Lc2} \quad (4.6.1.1.27)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi 7}=\left\{\frac{M_{\phi}}{M_{Lc}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Lc}|}{r_{mL}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\cdot \quad (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{L2x7}=\left\{\frac{M_{x}}{M_{Lc}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Lc}|}{r_{mL}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\cdot \quad (4.6.1.1.29)$$

ここで，アタッチメントパラメータβ_{Lc}は次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は更にk_{Lc}を乗じた値とする。

$$\beta_{Lc}=\sqrt[3]{\beta_{L1}{}^{2}\cdot\beta_{L2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.30)$$

水平方向地震による周方向せん断力の最大値Q_{L}，鉛直方向せん断力の最大値R_{L1}及びねじりモーメントの最大値M_{L3}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

周方向せん断力Q_{L}によるせん断応力

$$\tau_{Lc1}=\frac{|Q_{L}|}{4\cdot C_{L1}\cdot t_{L}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.31)$$

鉛直方向せん断力R_{L1}によるせん断応力

$$\tau_{L\ell 2}=\frac{|R_{L1}|}{4\cdot C_{L2}\cdot t_{L}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.32)$$

ねじりモーメントM_{L3}により生じる胴のせん断応力

$$\tau_{L3}=\frac{|M_{L3}|}{2\cdot\pi\cdot C_{L1}{}^{2}\cdot t_{L}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.33)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって算出される胴のラグ付根部に生じる応力は，以下により組み合わされる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_{L0}=\max\left[\sigma_{L0\phi},\ \sigma_{L0x}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.34)$$

$$\sigma_{L0\phi}=\sigma_{L\phi1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{L0x}=\sigma_{Lx1}+\sigma_{Lx2}+\sqrt{\sigma_{Lx11}^{2}+\sigma_{Lx4}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.36)$$

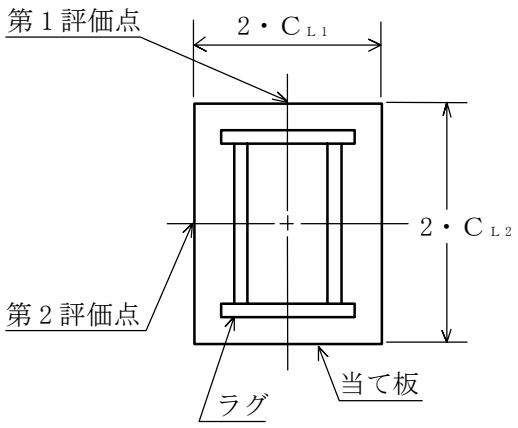


図4-7　　胴（ラグ付根部）の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_{L1}=\mathrm{Max}(\sigma_{L11},\ \sigma_{L12}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.37)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力は，次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{L\phi e1}=\sigma_{L\phi1}+\sigma_{L\phi3}+\sqrt{\sigma_{L\phi5}^{2}+\sigma_{L\phi12}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.38)$$

$$\sigma_{Lxe1}=\sigma_{Lx1}+\sigma_{Lx2}+\sigma_{Lx3}+\sqrt{\left(\sigma_{Lx4}+\sigma_{Lx5}\right)^{2}+\left(\sigma_{Lx11}+\sigma_{Lx12}\right)^{2}} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.39)$$

$$\sigma_{L11}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{L\phi e1}+\sigma_{Lxe1}+\sqrt{\left(\sigma_{L\phi e1}-\sigma_{Lxe1}\right)^{2}+4\cdot\left(\tau_{Lc1}+\tau_{L3}\right)^{2}}\right\} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.40)$$

第2評価点

$$\sigma_{L\phi e2} = \sigma_{L\phi 1} + \sigma_{L\phi 7} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.41)$$

$$\sigma_{Lxe2} = \sigma_{Lx1} + \sigma_{Lx2} + \sqrt{\left(\sigma_{Lx4} + \sigma_{Lx7}\right)^2 + \sigma_{Lx11}{}^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.1.42)$$

$$\sigma_{L12} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{L\phi e2} + \sigma_{Lxe2} + \sqrt{\left(\sigma_{L\phi e2} - \sigma_{Lxe2}\right)^2 + 4 \cdot \left[\tau_{L\ell 1} + \sqrt{\left(\tau_{L\ell 2} + \tau_{L3}\right)^2 + \tau_{L\ell 6}{}^2}\right]^2} \right\} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.43)$$

c. 胴の一次＋二次応力の変動値

$$\sigma_{L2} = \mathrm{Max}\left(\sigma_{L21},\ \sigma_{L22}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.44)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる
一次＋二次応力の変動値は，次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{L2\phi e1} = \sqrt{\left(\sigma_{L\phi 5} + \sigma_{L2\phi 5}\right)^2 + \left(\sigma_{L\phi 12} + \sigma_{L2\phi 12}\right)^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.1.45)$$

$$\sigma_{L2xe1} = \sqrt{\left(\sigma_{Lx4} + \sigma_{Lx5} + \sigma_{L2x5}\right)^2 + \left(\sigma_{Lx11} + \sigma_{Lx12} + \sigma_{L2x12}\right)^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.1.46)$$

$$\sigma_{L21} = \sigma_{L2\phi e1} + \sigma_{L2xe1} + \sqrt{\left(\sigma_{L2\phi e1} - \sigma_{L2xe1}\right)^2 + 4 \cdot \left(\tau_{Lc1} + \tau_{L3}\right)^2} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.47)$$

第2評価点

$$\sigma_{L2\phi e2} = \sigma_{L\phi 7} + \sigma_{L2\phi 7} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.48)$$

$$\sigma_{L2xe2} = \sqrt{\left(\sigma_{Lx4} + \sigma_{Lx7} + \sigma_{L2x7}\right)^2 + \sigma_{Lx11}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.49)$$

$$\sigma_{L22} = \sigma_{L2\phi e2} + \sigma_{L2xe2} + \sqrt{\left(\sigma_{L2\phi e2} - \sigma_{L2xe2}\right)^2 + 4 \cdot \left[\sqrt{\tau_{L\ell 6}{}^2 + \left(\tau_{L\ell 2} + \tau_{L3}\right)^2}\right]^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.50)$$

4.6.1.2　胴板（振れ止め付根部）の応力

(1)　内圧による応力

$$\sigma_{T\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_T)}{2\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.2)$$

$$\sigma_{Tx1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_T)}{4\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.3)$$

(2)　運転時質量による応力

$$\sigma_{Tx2}=\frac{m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t_T)\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.4)$$

(3)　鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

鉛直方向地震力による荷重F_Vは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Tx11}=\frac{|F_V|}{\pi\cdot(D_i+t_T)\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.5)$$

(4)　運転時質量による胴の振れ止め付根部の応力

振れ止めは，鉛直方向にスライド可能であるため，振れ止め付根部に運転時質量による鉛直方向モーメント及び反力は，生じないものとする。

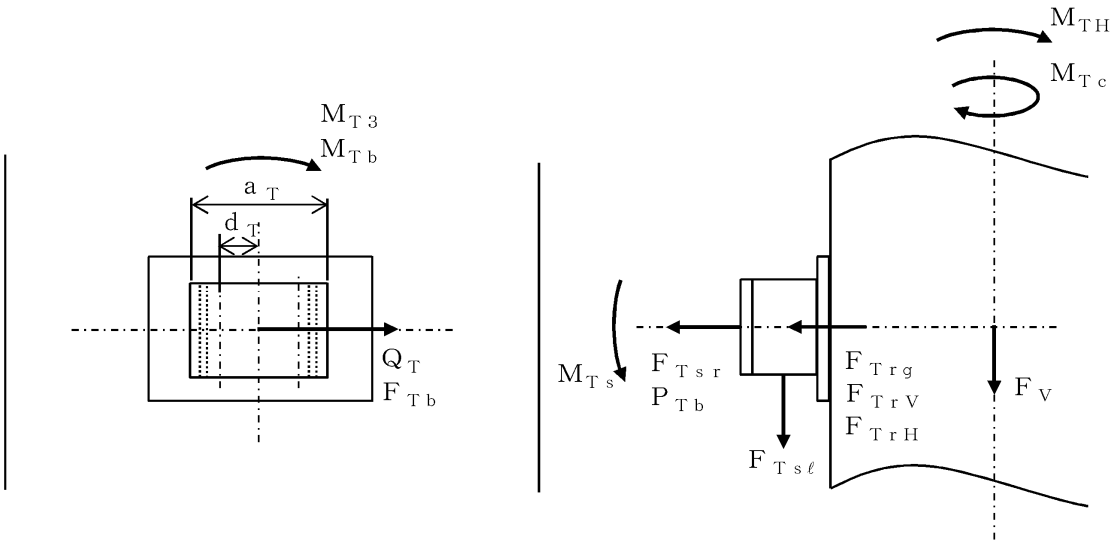


図4-8　胴及び振れ止めに作用するモーメントと力

運転時質量により半径方向に働く荷重F_{Trg}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

半径方向に働く荷重F_{Trg}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータγ_T及びアタッチメントパラメータβ_Nは，K_{1N}を用いて以下のように定義する。

$$\gamma_T = r_{mT} / t_T \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.6)$$

$$\beta_{T1} = C_{T1} / r_{mT} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.7)$$

$$\beta_{T2} = C_{T2} / r_{mT} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.8)$$

$$\beta_N = \left\{1 - 1/3 \cdot (\beta_{T1}/\beta_{T2} - 1)\cdot(1 - K_{1N})\right\}\cdot\sqrt{\beta_{T1}\cdot\beta_{T2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.9)$$

シェルパラメータγ_T及びアタッチメントパラメータβ_Nによって引用文献(2)の図より値（以下＊を付記するもの）を求めることにより，次式で求める。

$$\sigma_{T\phi rg} = \left\{\frac{N_\phi}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trg}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.10)$$

$$\sigma_{Txrg} = \left\{\frac{N_x}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trg}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.11)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴の振れ止め付根部の応力

振れ止めは鉛直方向にスライド可能であるため，振れ止め付根部に鉛直方向地震力による鉛直方向モーメント及び反力は，生じないものとする。

鉛直方向地震力により半径方向に働く荷重F_{TrV}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

半径方向に働く荷重F_{TrV}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，次のようにして求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi rV} = \left\{\frac{N_\phi}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{TrV}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.12)$$

$$\sigma_{TxrV} = \left\{\frac{N_x}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{TrV}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.13)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi rV} = \left\{\frac{M_\phi}{P}\right\}^* \cdot \left(\frac{6\cdot|F_{TrV}|}{t_T^{\,2}}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.14)$$

$$\sigma_{T2xrV} = \left\{\frac{M_x}{P}\right\}^* \cdot \left(\frac{6\cdot|F_{TrV}|}{t_T^{\,2}}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.15)$$

ここで，アタッチメントパラメータβ_Mは，次式で表される。

$$\beta_M=\{1-1/3\cdot(\beta_{T1}/\beta_{T2}-1)\cdot(1-K_{1M})\}\cdot\sqrt{\beta_{T1}\cdot\beta_{T2}} \quad (4.6.1.2.16)$$

(6) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{Tx4}=\frac{M_{TH}\cdot(D_i+2\cdot t_T)}{2\cdot I_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.17)$$

水平方向地震による曲げモーメントM_{TH}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

ここで，胴の断面二次モーメントI_Tは，次のように求める。

$$I_T=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t_T)^3\cdot t_T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.18)$$

(7) 水平方向地震力による胴の振れ止め付根部に作用する荷重及びモーメント

振れ止めは，鉛直方向にスライド可能であるため，振れ止め付根部に水平方向地震による鉛直方向曲げモーメント及び鉛直方向せん断力は生じないものとする。

水平方向地震による周方向曲げモーメントの最大値M_{Tc}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

周方向曲げモーメントM_{Tc}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi7}=\left\{\frac{N_\phi}{M_{Tc}/(r_{mT}^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{|M_{Tc}|}{r_{mT}^2\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T}\right)\cdot C_{Tc1} \quad (4.6.1.2.19)$$

$$\sigma_{Tx7}=\left\{\frac{N_x}{M_{Tc}/(r_{mT}^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{|M_{Tc}|}{r_{mT}^2\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T}\right)\cdot C_{Tc2} \quad (4.6.1.2.20)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi7}=\left\{\frac{M_\phi}{M_{Tc}/(r_{mT}\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Tc}|}{r_{mT}\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T^2}\right) \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.21)$$

$$\sigma_{T2x7}=\left\{\frac{M_x}{M_{Tc}/(r_{mT}\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Tc}|}{r_{mT}\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T^2}\right) \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.22)$$

ここで，アタッチメントパラメータβ_{Tc}は次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は，更にk_{Tc}を乗じた値とする。

$$\beta_{Tc}=\sqrt[3]{\beta_{T1}^2\cdot\beta_{T2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.23)$$

水平方向地震による周方向せん断力の最大値Q_T，ねじりモーメントの最大値M_{T3}及び半径方向に働く荷重F_{TrH}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

周方向せん断力Q_Tによるせん断応力

$$\tau_{Tc1}=\frac{|Q_T|}{4\cdot C_{T1}\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.24)$$

ねじりモーメントM_{T3}により生じる胴のせん断応力

$$\tau_{T3}=\frac{|M_{T3}|}{2\cdot \pi \cdot C_{T1}{}^2\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.25)$$

半径方向に働く荷重F_{TrH}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，(4.6.1.2.12) 式～ (4.6.1.2.15) 式と同様にして次のようにして求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi rH}=\left\{\frac{N_\phi}{P/r_{mT}}\right\}^*\cdot\left(\frac{|F_{TrH}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.26)$$

$$\sigma_{TxrH}=\left\{\frac{N_x}{P/r_{mT}}\right\}^*\cdot\left(\frac{|F_{TrH}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.27)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi rH}=\left\{\frac{M_\phi}{P}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|F_{TrH}|}{t_T{}^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.28)$$

$$\sigma_{T2xrH}=\left\{\frac{M_x}{P}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|F_{TrH}|}{t_T{}^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.29)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって算出される胴の振れ止め付根部に生じる応力は，以下により組み合わされる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_{T0}=\max\left[\sigma_{T0\phi},\ \sigma_{T0x}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.30)$$

$$\sigma_{T0\phi}=\sigma_{T\phi_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.31)$$

$$\sigma_{T0x}=\sigma_{Tx1}+\sigma_{Tx2}+\sqrt{\sigma_{Tx11}{}^2+\sigma_{Tx4}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.32)$$

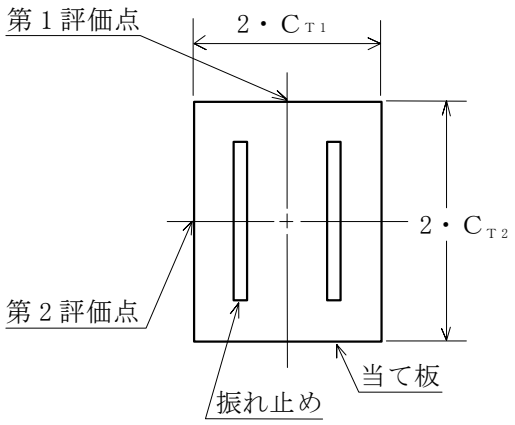


図4-9　　胴（振れ止め付根部）の評価点

b.　一次応力

$$\sigma_{T1}=\mathrm{Max}(\sigma_{T11},\ \sigma_{T12}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.33)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力は，次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{T\phi e1}=\sigma_{T\phi 1}+\sigma_{T\phi rg}+\sqrt{\sigma_{T\phi rV}^{2}+\sigma_{T\phi rH}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.34)$$

$$\sigma_{Txe1}=\sigma_{Tx1}+\sigma_{Tx2}+\sigma_{Txrg}+\sqrt{\left(\sigma_{Tx4}+\sigma_{TxrH}\right)^{2}+\left(\sigma_{Tx11}+\sigma_{TxrV}\right)^{2}} \quad \cdots \quad (4.6.1.2.35)$$

$$\sigma_{T11}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{T\phi e1}+\sigma_{Txe1}+\sqrt{\left(\sigma_{T\phi e1}-\sigma_{Txe1}\right)^{2}+4\cdot\left(\tau_{Tc1}+\tau_{T3}\right)^{2}}\right\} \quad \cdots \quad (4.6.1.2.36)$$

第2評価点

$$\sigma_{T\phi e2}=\sigma_{T\phi 1}+\sigma_{T\phi rg}+\sqrt{\sigma_{T\phi rV}^{2}+\left(\sigma_{T\phi 7}+\sigma_{T\phi rH}\right)^{2}} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.37)$$

$$\sigma_{Txe2}=\sigma_{Tx1}+\sigma_{Tx2}+\sigma_{Txrg}+\sqrt{\left(\sigma_{Tx4}+\sigma_{Tx7}+\sigma_{T\phi rH}\right)^{2}+\left(\sigma_{Tx11}+\sigma_{TxrV}\right)^{2}} \quad \cdots \quad (4.6.1.2.38)$$

$$\sigma_{T12}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{T\phi e2}+\sigma_{Txe2}+\sqrt{\left(\sigma_{T\phi e2}-\sigma_{Txe2}\right)^{2}+4\cdot\tau_{T3}^{2}}\right\} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.39)$$

c.　胴の一次＋二次応力の変動値

$$\sigma_{T2}=\mathrm{Max}(\sigma_{T21},\ \sigma_{T22}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.40)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次＋二次応力の変動値は，次式で求める。

イ．　振れ止めの付根部

第1評価点

$$\sigma_{T2\phi e1}=\sqrt{\left(\sigma_{T\phi rH}+\sigma_{T2\phi rH}\right)^2+\left(\sigma_{T\phi rV}+\sigma_{T2\phi rV}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.41)$$

$$\sigma_{T2xe1}=\sqrt{\left(\sigma_{Tx4}+\sigma_{TxrH}+\sigma_{T2xrH}\right)^2+\left(\sigma_{Tx11}+\sigma_{TxrV}+\sigma_{T2xrV}\right)^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.42)$$

$$\sigma_{T21}=\sigma_{T2\phi e1}+\sigma_{T2xe1}+\sqrt{\left(\sigma_{T2\phi e1}-\sigma_{T2xe1}\right)^2+4\cdot\left(\tau_{Tc1}+\tau_{T3}\right)^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.43)$$

第2評価点

$$\sigma_{T2\phi e2}=\sqrt{\left(\sigma_{T\phi 7}+\sigma_{T2\phi 7}+\sigma_{T\phi rH}+\sigma_{T2\phi rH}\right)^2+\left(\sigma_{T\phi rV}+\sigma_{T2\phi rV}\right)^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.44)$$

$$\sigma_{T2xe2}=\sqrt{\left(\sigma_{Tx4}+\sigma_{Tx7}+\sigma_{T2x7}+\sigma_{TxrH}+\sigma_{T2xrH}\right)^2+\left(\sigma_{Tx11}+\sigma_{TxrV}+\sigma_{T2xrV}\right)^2} \quad \cdots \quad (4.6.1.2.45)$$

$$\sigma_{T22}=\sigma_{T2\phi e2}+\sigma_{T2xe2}+\sqrt{\left(\sigma_{T2\phi e2}-\sigma_{T2xe2}\right)^2+4\cdot\tau_{T3}^{\ 2}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.46)$$

4.6.1.3　ラグの応力

(1)　運転時質量による応力

$$\sigma_{Ls1}=\frac{|M_{L\ell}|}{Z_{Lst}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.1)$$

$$\tau_{Ls1}=\frac{|R_L|}{A_{Ls1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.2)$$

(2)　鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{Ls7}=\frac{|M_{L\ell V}|}{Z_{Lst}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.3)$$

$$\tau_{Ls7}=\frac{|R_{LV}|}{A_{Ls1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.4)$$

(3)　水平方向地震力による応力

$$\sigma_{Ls2}=\frac{|M_{L1}|}{Z_{Lst}}+\frac{|M_{Lc}|}{Z_{Ls\ell}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.5)$$

$$\tau_{Ls2}=\frac{|R_{L1}|}{A_{Ls1}}+\frac{|M_{L3}|}{Z_{Lsp}}+\frac{|Q_L|}{A_{Ls2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.6)$$

(4)　組合せ応力

ラグの最大応力は，次式で求める。

$$\sigma_{Ls}=\sqrt{\left(\sigma_{Ls1}+\sqrt{{\sigma_{Ls2}}^2+{\sigma_{Ls7}}^2}\right)^2+3\cdot\left(\tau_{Ls1}+\sqrt{{\tau_{Ls2}}^2+{\tau_{Ls7}}^2}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.7)$$

4.6.1.4　振れ止めの応力

(1)　運転時質量と地震力による応力

運転時質量と地震力により半径方向に働く荷重F_{Tsr}，鉛直方向に働く荷重$F_{TS\ell}$及び曲げモーメントM_{TS}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Ts1}=\frac{F_{Tsr}}{A_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.1)$$

$$\tau_{Ts1}=\frac{F_{Ts\ell}}{A_{Ts}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.2)$$

$$\sigma_{Ts2}=\frac{M_{Ts}}{Z_{Ts}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.3)$$

(2)　組合せ応力

振れ止めの最大応力は次式で求める。

$$\sigma_{Ts}=\sqrt{(\sigma_{Ts1}+\sigma_{Ts2})^2+3\cdot\tau_{Ts1}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.4)$$

4.6.1.5　取付ボルト（ラグ部）の応力

R_L，R_{L1}，R_{LV} 及び $M_{L\ell}$，M_{L1}，$M_{L\ell V}$ は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

$$F_{L01}=|R_L|+\frac{|M_{L\ell}|}{c_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.5.1)$$

$$F_{L11}=|R_{L1}|+\frac{|M_{L1}|}{a_L-b_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.5.2)$$

$$F_{L01V}=|R_{LV}|+\frac{|M_{L\ell V}|}{c_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.5.3)$$

$$\sigma_{Lb}=\frac{F_{L01}+\sqrt{{F_{L11}}^2+{F_{L01V}}^2}}{n_L \cdot A_{Lb}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.5.4)$$

4.6.1.6　取付ボルト（振れ止め部）の応力

運転時質量と地震力により軸方向に作用する荷重P_{Tb}，締結部の曲げモーメントM_{Tb}及びせん断方向に作用する荷重F_{Tb}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Tb}=\frac{P_{Tb}}{n_T \cdot A_{Tb}}+\frac{M_{Tb}}{\left(\frac{a_T}{2}-d_T\right)\cdot\frac{n_T}{2}\cdot A_{Tb}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.6.1)$$

$$\tau_{Tb}=\frac{F_{Tb}}{n_T \cdot A_{Tb}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.6.2)$$

4.6.1.7　シアーラグの応力

シアーラグには，せん断応力のみ発生するものとする。

Q_Sは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「○○○○」により得られる値を使用する。

$$\tau_S=\frac{Q_S}{A_S} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.7.1)$$

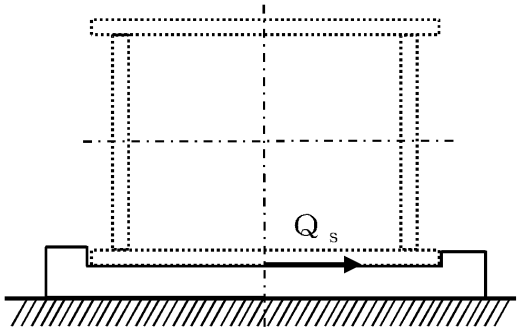


図4-10　シアーラグに作用する力

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【○○○熱交換器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　胴の応力評価

4.6.1.1項及び4.6.1.2項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。ただし，S_aは4.2.2項　表4-3による。

4.8.2　ラグ及び振れ止めの応力評価

4.6.1.3項で求めたラグ及び4.6.1.4項で求めた振れ止めの組合せ応力が許容応力f_t以下であること。

ただし，f_tは下表による。

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.3　取付ボルトの応力評価

4.6.1.5項及び4.6.1.6項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (4.8.3.1)$$

せん断応力 τ_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 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

4.8.4　シアーラグの応力評価

4.6.1.7項で求めたシアーラグのせん断応力が許容せん断応力 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 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系熱交換器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Ｓ$_d$及び静的震度は基準地震動Ｓ$_s$を下回っており，基準地震動Ｓ$_s$による発生値が，弾性設計用地震動Ｓ$_d$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Ｓ$_d$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Ｓ$_s$で実施する場合は追記する。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器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。

6. 引用文献

(1) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.

(2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

【○○○熱交換器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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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			
○○○熱交換器	S	原子炉建屋 EL. *1			C_H= 又は*2	C_V= 又は*2	C_H= 又は*3	C_V= 又は*3			

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：弾性設計用地震動S_d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S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値
*：III_ASについては，基準地震動S_sで評価する。

III_ASの評価をS_sで実施する場合は，注記で説明する。

1.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	D_i (mm)	t_L (mm)	t_T (mm)	C_{L1} (mm)	C_{L2} (mm)	C_{T1} (mm)	C_{T2} (mm)	A_{Ls1} (mm^2)	A_{Ls2} (mm^2)	A_{Ts} (mm^2)	A_T (mm^2)	A_S (mm^2)	Z_{Lsp} (mm^3)	Z_{Ls_l} (mm^3)

Z_{Lst} (mm^3)	Z_{Ts} (mm^3)	k_{L_l1}	k_{L_l2}	k_{Lc1}	k_{Lc2}	k_{Tc1}	k_{Tc2}	C_{L_l1}	C_{L_l2}	C_{Lc1}	C_{Lc2}	C_{Tc1}	C_{Tc2}	n_L	n_T

a_L (mm)	b_L (mm)	c_L (mm)	a_T (mm)	d_T (mm)	A_{Lb} (mm^2)	A_{Tb} (mm^2)
					(M36)	(M36)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（ラグ） (MPa)	S_u（ラグ） (MPa)	F（ラグ） (MPa)	F*（ラグ） (MPa)
*1	*1	—	*1	*1		

S_y（振れ止め） (MPa)	S_u（振れ止め） (MPa)	F（振れ止め） (MPa)	F*（振れ止め） (MPa)	S_y（取付ボルト）*2 (MPa)	S_u（取付ボルト）*2 (MPa)	F（取付ボルト）*2 (MPa)	F*（取付ボルト）*2 (MPa)	S_y（シアーラグ） (MPa)	S_u（シアーラグ） (MPa)	F（シアーラグ） (MPa)	F*（シアーラグ） (MPa)
*1	*1			*3	*3			*3	*3		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：ラグ部と振れ止め部は同一値
*3：周囲環境温度で算出

1.3 計 算 数 値

1.3.1 胴板（ラグ付根部）に生じる応力

(1) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{L0}＝
		軸方向	σ_{Lx1}＝	－	σ_{Lx2}＝	σ_{Lx4}＝	σ_{Lx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{L0}＝
		軸方向	σ_{Lx1}＝	－	σ_{Lx2}＝	σ_{Lx4}＝	σ_{Lx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{L0}＝
		軸方向	σ_{Lx1}＝	－	σ_{Lx2}＝	σ_{Lx4}＝	σ_{Lx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{L0}＝
		軸方向	σ_{Lx1}＝	－	σ_{Lx2}＝	σ_{Lx4}＝	σ_{Lx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 3}=$	−	$\sigma_{L\phi 5}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 12}=$	$\sigma_{L11}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx3}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$	−	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{LC1}=$	$\tau_{L3}=$		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi 7}=$	−	−	$\sigma_{L12}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	−	$\sigma_{Lx4}=$	−	$\sigma_{Lx7}=$	$\sigma_{Lx11}=$	−	
			せん断	−	−	$\tau_{L_l1}=$ 4		$\tau_{L_l2}=$	$\tau_{L3}=$ 0		$\tau_{L_l6}=$		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 3}=$	−	$\sigma_{L\phi 5}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 12}=$	$\sigma_{L11}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx3}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$	−	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{LC1}=$	$\tau_{L3}=$ 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi 7}=$	−	−	$\sigma_{L12}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	−	$\sigma_{Lx4}=$	−	$\sigma_{Lx7}=$	$\sigma_{Lx11}=$	−	
			せん断	−	−	$\tau_{L_l1}=$		$\tau_{L_l2}=$	$\tau_{L3}=$ 0		$\tau_{L_l6}=$		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 3}=$	−	$\sigma_{L\phi 5}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 12}=$	$\sigma_{L11}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx3}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$	−	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{LC1}=$	$\tau_{L3}=$		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi 7}=$	−	−	$\sigma_{L12}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	−	$\sigma_{Lx4}=$	−	$\sigma_{Lx7}=$	$\sigma_{Lx11}=$	−	
			せん断	−	−	$\tau_{L_l1}=$		$\tau_{L_l2}=$	$\tau_{L3}=$		$\tau_{L_l6}=$		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 3}=$	−	$\sigma_{L\phi 5}=$	−	−	$\sigma_{L\phi 12}=$	$\sigma_{L11}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx3}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$	−	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{LC1}=$	$\tau_{L3}=$		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi 7}=$	−	−	$\sigma_{L12}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	−	$\sigma_{Lx2}=$	−	$\sigma_{Lx4}=$	−	$\sigma_{Lx7}=$	$\sigma_{Lx11}=$	−	
			せん断	−	−	$\tau_{L_l1}=$		$\tau_{L_l2}=$	$\tau_{L3}=$		$\tau_{L_l6}=$		

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=$ $\sigma_{L2\phi 12}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$ $\sigma_{L2\phi 5}=$	－	$\sigma_{L21}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$ $\sigma_{L2x12}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$ $\sigma_{L2x5}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lc1}=$		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$ $\sigma_{L2\phi 7}=$	$\sigma_{L22}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$	－	$\sigma_{Lx7}=$ $\sigma_{L2x7}=$	
			せん断	$\tau_{Lt6}=$		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lt2}=$		
	N S 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=$ $\sigma_{L2\phi 12}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$ $\sigma_{L2\phi 5}=$ 10	－	$\sigma_{L21}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$ $\sigma_{L2x12}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$ $\sigma_{L2x5}=$ 18	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lc1}=$		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$ $\sigma_{L2\phi 7}=$	$\sigma_{L22}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$	－	$\sigma_{Lx7}=$ $\sigma_{L2x7}=$	
			せん断	$\tau_{Lt6}=$		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lt2}=$		

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	E W 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=$ $\sigma_{L2\phi 12}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$ $\sigma_{L2\phi 5}=$	－	$\sigma_{L21}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$ $\sigma_{L2x12}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$ $\sigma_{L2x5}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lc1}=$		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$ $\sigma_{L2\phi 7}=$	$\sigma_{L22}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$	－	$\sigma_{Lx7}=$ $\sigma_{L2x7}=$	
			せん断	$\tau_{Lt6}=$		$\tau_{L3}=$	$\tau_{L2}=$		
	N S 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=$ $\sigma_{L2\phi 12}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$ $\sigma_{L2\phi 5}=$	－	$\sigma_{L21}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$ $\sigma_{L2x12}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$ $\sigma_{L2x5}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lc1}=$		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$ $\sigma_{L2\phi 7}=$	$\sigma_{L22}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$	－	$\sigma_{Lx7}=$ $\sigma_{L2x7}=$	
			せん断	$\tau_{Lt6}=$		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lt2}=$		

1.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{T0}＝
		軸方向	σ_{Tx1}＝	－	σ_{Tx2}＝	σ_{Tx4}＝	σ_{Tx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{T0}＝
		軸方向	σ_{Tx1}＝	－	σ_{Tx2}＝	σ_{Tx4}＝	σ_{Tx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{T0}＝
		軸方向	σ_{Tx1}＝	－	σ_{Tx2}＝	σ_{Tx4}＝	σ_{Tx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{T0}＝
		軸方向	σ_{Tx1}＝	－	σ_{Tx2}＝	σ_{Tx4}＝	σ_{Tx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rg}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T11}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	−	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{Tc1}=$	$\tau_{T3}=$		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rg}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi 7}=$	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T12}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{T3}=$			−		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi r}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T11}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	−	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{Tc1}=$	$\tau_{T3}=$		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rg}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi 7}=$	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T12}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{T3}=$			−		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rg}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T11}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	−	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{Tc1}=$	$\tau_{T3}=$		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rg}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi 7}=$	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T12}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{T3}=$			−		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rg}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T11}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	−	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{Tc1}=$	$\tau_{T3}=$		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	−	−	$\sigma_{T\phi rg}=$	−	$\sigma_{T\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi 7}=$	−	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T12}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	−	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	−	−	−		$\tau_{T3}=$			−		

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	－	$\sigma_{T21}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$　3	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$　$\tau_{Tc1}=$			
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi7}=$　$\sigma_{T2\phi7}=$	$\sigma_{T22}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$　3	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$　$\sigma_{T2x7}=$	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	－	$\sigma_{T21}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$　3	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$　$\tau_{Tc1}=$			
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi7}=$　$\sigma_{T2\phi7}=$　4	$\sigma_{T22}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$　3	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$　$\sigma_{T2x7}=$	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	－	$\sigma_{T21}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$　$\tau_{Tc1}=$			
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi7}=$　$\sigma_{T2\phi7}=$	$\sigma_{T22}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$　$\sigma_{T2x7}=$	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	－	$\sigma_{T21}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$　$\tau_{Tc1}=$			
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi7}=$　$\sigma_{T2\phi7}=$	$\sigma_{T22}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$　$\sigma_{T2x7}=$	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$			

1.3.3 ラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{LS1}=	τ_{LS1}=	σ_{LS2}=	τ_{LS2}=	σ_{LS7}=	τ_{LS7}=	σ_{LS}=
	N S 方向	σ_{LS1}=	τ_{LS1}=	σ_{LS2}=	τ_{LS2}=	σ_{LS7}=	τ_{LS7}=	σ_{LS}=
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{LS1}=	τ_{LS1}=	σ_{LS2}=	τ_{LS2}=	σ_{LS7}=	τ_{LS7}=	σ_{LS}=
	N S 方向	σ_{LS1}=	τ_{LS1}=	σ_{LS2}=	τ_{LS2}=	σ_{LS7}=	τ_{LS7}=	σ_{LS}=

1.3.4 振れ止めに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{TS1}=	τ_{TS1}=	σ_{TS2}=	σ_{TS}=
	N S 方向	σ_{TS1}=	τ_{TS1}=	σ_{TS2}=	σ_{TS}=
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{TS1}=	τ_{TS1}=	σ_{TS2}=	σ_{TS}=
	N S 方向	σ_{TS1}=	τ_{TS1}=	σ_{TS2}=	σ_{TS}=

1.3.5 取付ボルト（ラグ部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{Lb}=	－
	N S 方向	σ_{Lb}=	－
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{Lb}=	－
	N S 方向	σ_{Lb}=	－

1.3.6 取付ボルト（振れ止め部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{Tb}=	τ_{Tb}=
	N S 方向	σ_{Tb}=	τ_{Tb}=
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{Tb}=	τ_{Tb}=
	N S 方向	σ_{Tb}=	τ_{Tb}=

1.3.7 シアーラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	τ_s=
	N S 方向	－	τ_s=
基準地震動Ss	E W 方向	－	τ_s=
	N S 方向	－	τ_s=

1.4. 結　論

1.4.1 固有周期

モ　ー　ド	固　有　周　期 （ｓ）	卓　越 方　向
１次		水平
２次		水平
３次		水平
４次		水平
５次		鉛直

解析を実施し，柔である設備は固有周期算出結果を記載する。

1.4.2 応　　力

（単位：MPa）

部　　材	材　　料	応　　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算　出　応　力	許　容　応　力	算　出　応　力	許　容　応　力
胴　　板 （ラグ付根部）	SB410	一次一般膜	σ_{L0}＝	S_a＝	σ_{L0}＝	S_a＝
		一　　次	σ_{L1}＝	S_a＝	σ_{L1}＝	S_a＝
		一次＋二次	σ_{L2}＝	S_a＝	σ_{L2}＝	S_a＝
胴　　板 （振れ止め 付根部）	SB410	一次一般膜	σ_{T0}＝	S_a＝	σ_{T0}＝	S_a＝
		一　　次	σ_{T1}＝	S_a＝	σ_{T1}＝	S_a＝
		一次＋二次	σ_{T2}＝	S_a＝	σ_{T2}＝	S_a＝
ラ　　グ	SM400A	組　合　せ	σ_{Ls}＝	f_{Lt}＝	σ_{Ls}＝	f_{Lt}＝
振れ止め	SM400A	組　合　せ	σ_{Ts}＝	f_{Tt}＝	σ_{Ts}＝	f_{Tt}＝
取付ボルト （ラグ部）	SCM435	引　張　り	σ_{Lb}＝	f_{Lto}＝	σ_{Lb}＝	f_{Lto}＝
取付ボルト （振れ止め部）	SCM435	引　張　り	σ_{Tb}＝	f_{Tts}＝ *	σ_{Tb}＝	f_{Tts}＝ *
		せ　ん　断	τ_{Tb}＝	f_{Tsb}＝	τ_{Tb}＝	f_{Tsb}＝
シアーラグ	SM400A	せ　ん　断	τ_{S}＝	f_{Ssb}＝	τ_{S}＝	f_{Ssb}＝

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{Tts}＝Min[1.4・f_{Tto}－1.6・τ_{Tb}，f_{Tto}]より算出

【○○○熱交換器の耐震性についての計算結果】

3. 重大事故等対処設備

【ＤＢ＋ＳＡの場合】
前項のＤＢ評価に本ＳＡの評価を追加する。

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし，章番を1. とする。

3.1 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			
○○○熱交換器	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建屋 EL. *1			－	－	C_H＝ 又は＊2	C_V＝ 又は＊2			

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

3.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	D_i (mm)	t_L (mm)	t_T (mm)	C_{L1} (mm)	C_{L2} (mm)	C_{T1} (mm)	C_{T2} (mm)	A_{Ls1} (mm^2)	A_{Ls2} (mm^2)	A_{Ts} (mm^2)	A_T (mm^2)	A_S (mm^2)	Z_{Lsp} (mm^3)	Z_{Ls_l} (mm^3)

Z_{Lst} (mm^3)	Z_{Ts} (mm^3)	k_{L_l1}	k_{L_l2}	k_{Lc1}	k_{Lc2}	k_{Tc1}	k_{Tc2}	C_{L_l1}	C_{L_l2}	C_{Lc1}	C_{Lc2}	C_{Tc1}	C_{Tc2}	n_L	n_T

a_L (mm)	b_L (mm)	c_L (mm)	a_T (mm)	d_T (mm)	A_{Lb} (mm^2)	A_{Tb} (mm^2)
					(M36)	(M36)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（ラグ） (MPa)	S_u（ラグ） (MPa)	F（ラグ） (MPa)	F*（ラグ） (MPa)
＊1	＊1	－	＊1	＊1	－	

S_y（振れ止め） (MPa)	S_u（振れ止め） (MPa)	F（振れ止め） (MPa)	F*（振れ止め） (MPa)	S_y（取付ボルト）*2 (MPa)	S_u（取付ボルト）*2 (MPa)	F（取付ボルト）*2 (MPa)	F*（取付ボルト）*2 (MPa)	S_y（シアーラグ） (MPa)	S_u（シアーラグ） (MPa)	F（シアーラグ） (MPa)	F*（シアーラグ） (MPa)
＊1	＊1	－		＊3	＊3	－		＊3	＊3	－	

注記 ＊1：最高使用温度で算出
＊2：ラグ部と振れ止め部は同一値
＊3：周囲環境温度で算出

3.3 計 算 数 値

3.3.1 胴板（ラグ付根部）に生じる応力

(1) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	－	－	－	－	$\sigma_{L0}=$
		軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	－	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx11}=$	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	－	－	－	－	$\sigma_{L0}=$
		軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	－	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx11}=$	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
	N S 方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	－	－	$\sigma_{L\phi 3}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$	－	－	$\sigma_{L\phi 12}=$	$\sigma_{L11}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	－	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx3}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$	－	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$	
			せん断	－	－	－		$\tau_{LC1}=$	$\tau_{L3}=$		－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	－	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$	－	－	$\sigma_{L12}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	－	$\sigma_{Lx2}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$	－	$\sigma_{Lx7}=$	$\sigma_{Lx11}=$	－	
			せん断	－	－	$\tau_{L_l1}=$		$\tau_{L_l2}=$	$\tau_{L3}=$		$\tau_{L_l6}=$		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	－	－	$\sigma_{L\phi 3}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$	－	－	$\sigma_{L\phi 12}=$	$\sigma_{L11}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	－	$\sigma_{Lx2}=$	$\sigma_{Lx3}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$	－	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$	
			せん断	－	－	－		$\tau_{LC1}=$	$\tau_{L3}=$		－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$	－	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$	－	－	$\sigma_{L12}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$	－	$\sigma_{Lx2}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$	－	$\sigma_{Lx7}=$	$\sigma_{Lx11}=$	－	
			せん断	－	－	$\tau_{L_l1}=$		$\tau_{L_l2}=$	$\tau_{L3}=$		$\tau_{L_l6}=$		

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=$　$\sigma_{L2\phi 12}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$　$\sigma_{L2\phi 5}=$	－	$\sigma_{L21}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$　$\sigma_{L2x12}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$　$\sigma_{L2x5}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lc1}=$		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$　$\sigma_{L2\phi 7}=$	$\sigma_{L22}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$	－	$\sigma_{Lx7}=$　$\sigma_{L2x7}=$	
			せん断	$\tau_{Lf6}=$		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lf2}=$		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=$　$\sigma_{L2\phi 12}=$	－	$\sigma_{L\phi 5}=$　$\sigma_{L2\phi 5}=$	－	$\sigma_{L21}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	$\sigma_{Lx12}=$　$\sigma_{L2x12}=$	$\sigma_{Lx4}=$	$\sigma_{Lx5}=$　$\sigma_{L2x5}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lc1}=$		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$　$\sigma_{L2\phi 7}=$	$\sigma_{L22}=$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=$	－	$\sigma_{Lx4}=$　4	－	$\sigma_{Lx7}=$　$\sigma_{L2x7}=$	
			せん断	$\tau_{Lf6}=$		$\tau_{L3}=$	$\tau_{Lf2}=$		

3.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{T0}＝
		軸方向	σ_{Tx1}＝	－	σ_{Tx2}＝	σ_{Tx4}＝	σ_{Tx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝	－	－	－	－	σ_{T0}＝
		軸方向	σ_{Tx1}＝	－	σ_{Tx2}＝	σ_{Tx4}＝	σ_{Tx11}＝	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$	－	－	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T11}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	－	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	－	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	－	－	－		$\tau_{Tc1}=$ 0 $\tau_{T3}=$			－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi 7}=$	－	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T12}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	－	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	－	－	－		$\tau_{T3}=$			－		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$	－	－	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T11}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	－	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	－	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	－	－	－		$\tau_{Tc1}=$	$\tau_{T3}=$		－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi 7}=$	－	$\sigma_{T\phi rV}=$	$\sigma_{T12}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$	－	$\sigma_{Tx2}=$	$\sigma_{Txrg}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$	
			せん断	－	－	－		$\tau_{T3}=$			－		

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	－	$\sigma_{T21}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$　$\tau_{Tc1}=$			
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi7}=$　$\sigma_{T2\phi7}=$	$\sigma_{T22}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$　$\sigma_{T2x7}=$	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	－	$\sigma_{T21}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	－	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$　$\tau_{Tc1}=$			
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}=$　$\sigma_{T2\phi rV}=$	－	$\sigma_{T\phi rH}=$　$\sigma_{T2\phi rH}=$	$\sigma_{T\phi7}=$　$\sigma_{T2\phi7}=$	$\sigma_{T22}=$
			軸方向	$\sigma_{Tx11}=$	$\sigma_{TxrV}=$　$\sigma_{T2xrV}=$	$\sigma_{Tx4}=$	$\sigma_{TxrH}=$　$\sigma_{T2xrH}=$	$\sigma_{Tx7}=$　$\sigma_{T2x7}=$	
			せん断	－		$\tau_{T3}=$			

3.3.3 ラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－	－	－	－	－	－
	N S 方向	－	－	－	－	－	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{LS1}＝	τ_{LS1}＝	σ_{LS2}＝	τ_{LS2}＝	σ_{LS7}＝	τ_{LS7}＝	σ_{LS}＝
	N S 方向	σ_{LS1}＝	τ_{LS1}＝	σ_{LS2}＝	τ_{LS2}＝	σ_{LS7}＝	τ_{LS7}＝	σ_{LS}＝

3.3.4 振れ止めに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－	－	－
	N S 方向	－	－	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{TS1}＝	τ_{TS1}＝	σ_{TS2}＝	σ_{TS}＝
	N S 方向	σ_{TS1}＝	τ_{TS1}＝	σ_{TS2}＝	σ_{TS}＝

3.3.5 取付ボルト（ラグ部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Lb}＝	－
	N S 方向	σ_{Lb}＝	－

3.3.6 取付ボルト（振れ止め部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Tb}＝	τ_{Tb}＝
	N S 方向	σ_{Tb}＝	τ_{Tb}＝

3.3.7 シアーラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	－	τ_s＝
	N S 方向	－	τ_s＝

3.4. 結　論

3.4.1 固有周期

モ　ー　ド	固　有　周　期 （ｓ）	卓　越 方　向
１次		水平
２次		水平
３次		水平
４次		水平
５次		鉛直

3.4.2 応　　力

（単位：MPa）

部　　材	材　　料	応　　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算　出　応　力	許　容　応　力	算　出　応　力	許　容　応　力
胴　　板 （ラグ付根部）	SB410	一次一般膜	－	－	σ_{L0}＝	S_a＝
		一　　次	－	－	σ_{L1}＝	S_a＝
		一次＋二次	－	－	σ_{L2}＝	S_a＝
胴　　板 （振れ止め 付根部）	SB410	一次一般膜	－	－	σ_{T0}＝	S_a＝
		一　　次	－	－	σ_{T1}＝	S_a＝
		一次＋二次	－	－	σ_{T2}＝	S_a＝
ラ　　グ	SM400A	組　合　せ	－	－	σ_{Ls}＝	f_{Lt}＝
振れ止め	SM400A	組　合　せ	－	－	σ_{Ts}＝	f_{Tt}＝
取付ボルト （ラグ部）	SCM435	引　張　り	－	－	σ_{Lb}＝	f_{Lto}＝
取付ボルト （振れ止め部）	SCM435	引　張　り	－	－	σ_{Tb}＝	f_{Tts}＝ *
		せ　ん　断	－	－	τ_{Tb}＝	f_{Tsb}＝
シアーラグ	SM400A	せ　ん　断	－	－	τ_S＝	f_{Ssb}＝

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{Tts}＝Min[1.4・f_{Tto}－1.6・τ_{Tb}，f_{Tto}]より算出

添付資料-6-1：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）

Ⅴ-○-○-○　○○○○圧力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 適用基準 ····· 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 ····· 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 ····· 19
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 19
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 電気的機能維持評価方法 ····· 21
7. 評価結果 ····· 22
7.1 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。

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，「Ⅴ-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，○○○○圧力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。

○○○○圧力は，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

○○○○圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○圧力は，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及び電気的機能維持評価を示す。

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

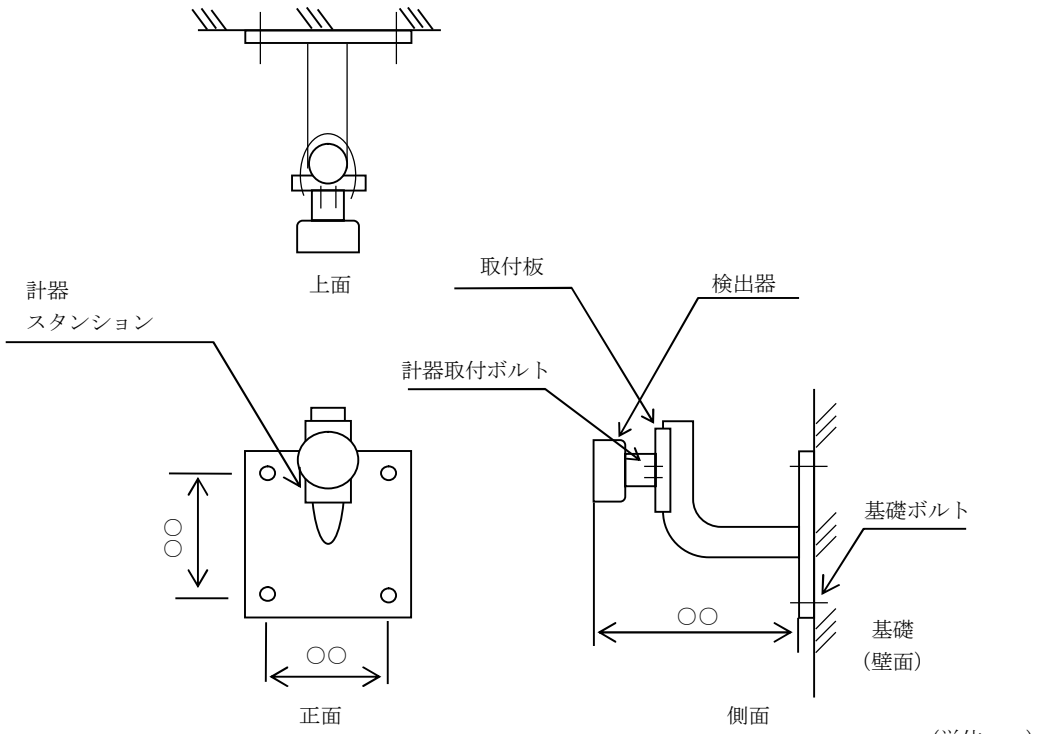
○○○○圧力は，設計基準対象施設においてはＢＣクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

ＳＡのみの場合

○○○○圧力は，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動的機能維持評価を示す。

構造計画が複数ある場合，計器番号を記載する。

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	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【○○○○】 

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

○○○○圧力の応力評価は，「V-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」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○○○○圧力の部位を踏まえ「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。また，○○○○圧力の機能維持評価は，「V-2-1-9 機能維持の基本方針　4.3　電気的機能維持」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。

○○○○圧力の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

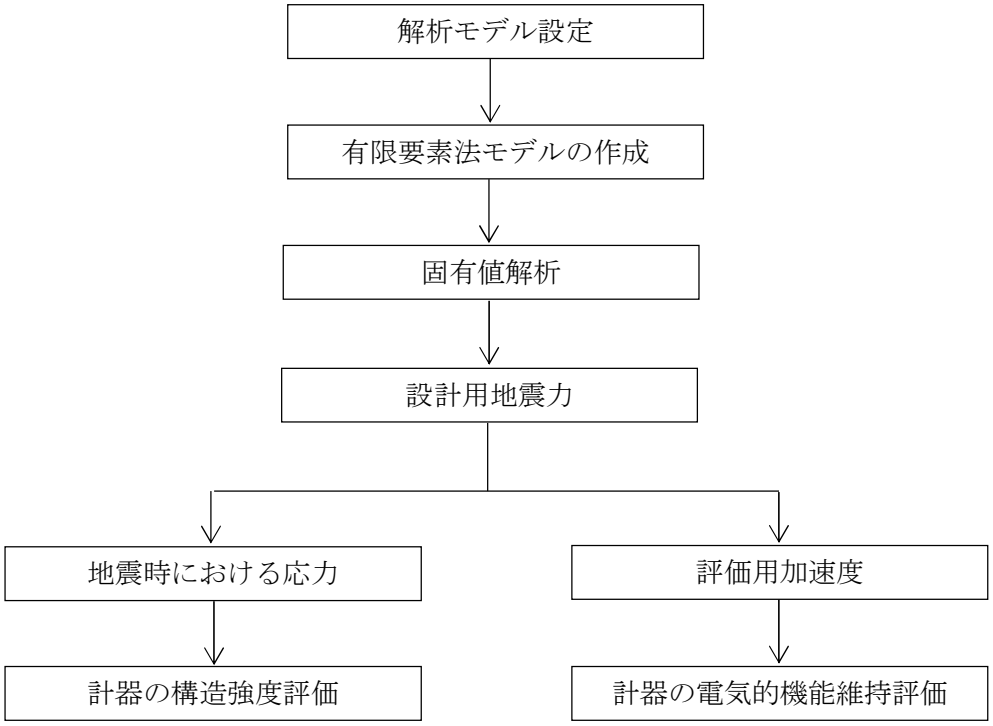


図 2-1　○○○○圧力の耐震評価フロー

ポンプ，ブロワ及びファン等で振動等を考慮する必要がある設備に対しては，フロー図に「機械的荷重」を記載する。
なお，記載する場所は，「計算書作成の基本方針」を参照する。

2.3　適用基準

適用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（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984，ＪＥＡＧ４６０１－1987及びＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版）（日本電気協会電気技術基準調査委員会　昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）（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_{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（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_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(壁掛形)	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	計器スタンションの質量	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)	－
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(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
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
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊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

○○○○圧力の耐震評価は，「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。○○○○圧力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

○○○○圧力の固有値解析方法を「4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.2　解析モデル及び諸元

○○○○圧力の解析モデルを3次元はりモデルとして図4-1に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはＬ字に曲がった円筒で原子炉建屋壁面に固定されることから，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器諸元を表4-1，部材の機器要目を表4-2に示す。

(1)　図4-1中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図4-1中の ◕ は検出器質点を示し，m_aは○ kgである。

(3)　図4-1中の ━━ は計器スタンション，━ ━ は仮想鋼材，⫽● は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

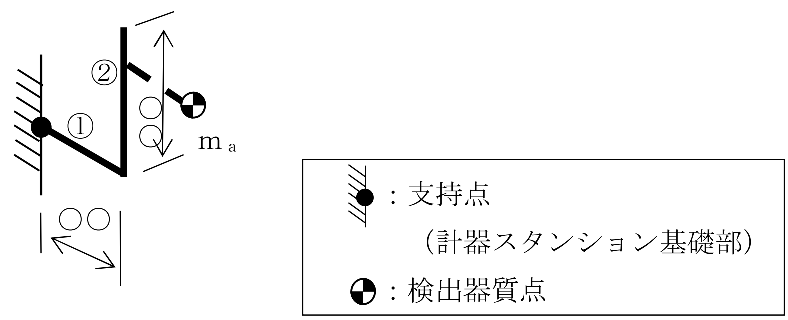
(4)　拘束条件は，○○部を完全拘束とする。

（記載例）【(4)　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。】

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。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「Ｖ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

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。



（単位：mm）

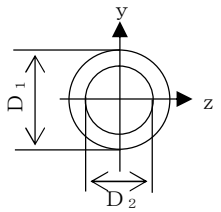
図4-1　○○○○圧力解析モデル

表4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	○○
質量	m_a	kg	○○
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	○○
縦弾性係数	E	MPa	○○
ポアソン比	ν	－	○○
要素数	－	個	○○
節点数	－	個	○○

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。）

表 4-2　部材の機器要目

材料	○○
対象要素	①－②
A （mm^2）	○○
I_y （mm^4）	○○
I_z （mm^4）	○○
I_p （mm^4）	○○
Z_y （mm^3）	○○
Z_z （mm^3）	○○
Z_p （mm^3）	○○
断面形状（mm）	 D_1＝○○，D_2＝○○

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，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4-3　固有値解析結果（s）

モード	固有周期	卓越方向
1次	0.046	水平

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は,○○○○圧力に対して,水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　○○○○圧力は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　○○○○圧力の質量は検出器及び計器スタンションを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○○圧力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

○○○○圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-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

○○○○圧力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。

NT2 補① Ⅴ-○-○-○ R0

・ＤＢ＋ＳＡの場合
○○○○圧力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。

・ＤＢ＋ＳＡの場合
○○○○圧力の使用材料の許容応力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
計測制御系統施設	計測装置	○○○○圧力	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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	○○○圧力	S	－*	$D+P_D+M_D+S_d^*$	$Ⅲ_AS$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

「＊2」を記載する場合は「＊1」とする。

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。

＊2：S_sと組合せ，$Ⅲ_AS$の評価を実施する。

$Ⅲ_AS$の評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

ＳＡ単独の場合を示す。
・ＤＢ単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
・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。

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

ＳＡ単独の場合を示す。
・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（設計基準対象施設）」を追加する。

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	SS400 (16 mm＜径≦40 mm)	周囲環境温度	100	221	373	－

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。

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

ＳＡ単独の計算書の場合は，記載不要とする。

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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
原子炉建屋 EL. 48.30 (EL. 51.70*1)	0.046	0.05 以下*2	－	－	C_H＝ 4.93	C_V＝ 3.36

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

ＳＡ単独の場合を示す。
・ＤＢ＋ＳＡの場合は，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。

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。

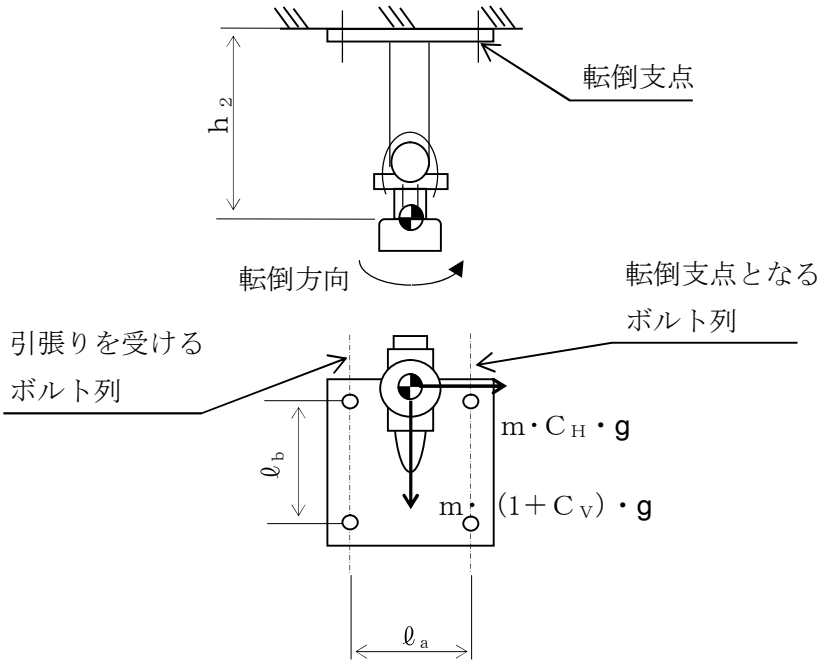


図5-1(1)　計算モデル

(壁掛形　水平方向転倒の場合)

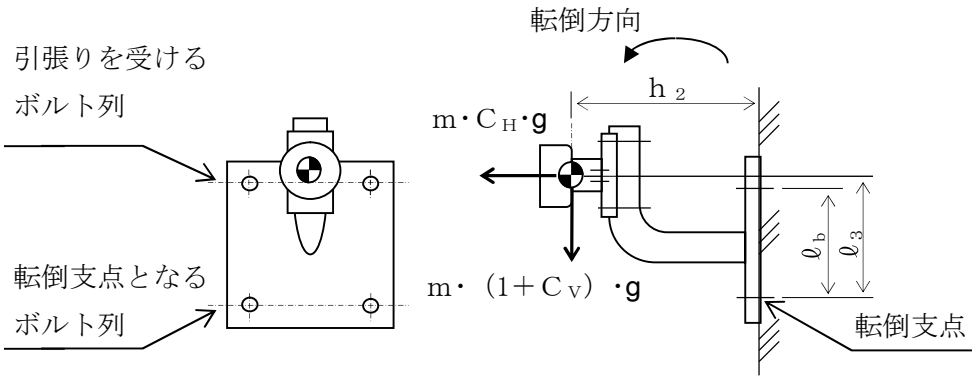


図5-1(2)　計算モデル

(壁掛形　鉛直方向転倒の場合)

(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)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

(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

a.　直立形の場合

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

b.　壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.9)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎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【○○○○圧力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

5.4.1.1項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力τ_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。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{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

○○○○圧力の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

○○○○圧力の機能確認済加速度は，「Ⅴ-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評価部位の加速度を適用する。

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 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
○○○○圧力	水平	10.00
	鉛直	10.00

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○圧力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

○○○○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S_d及び静的震度は基準地震動S_sを下回っており，基準地震動S_sによる発生値が，弾性設計用地震動S_d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S_d又は静的震度による発生値の算出を省略した。

下線部：III_AＳの評価をS_s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。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○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。

対象計器が複数ある場合は計器番号を記載する。

【○○○○圧力（○○○-○）の耐震性についての計算結果】

0.05 以下	0.05 以下
－	－
0.031	0.015

・同様の構造のスタンションで確認している場合
・固有値解析にて柔な領域に固有周期がな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

固有値解析による算出を実施している場合

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	
○○○○圧力	常設／緩和	原子炉建屋 EL. *1 (EL. *1)	0.046	0.05 以下*2	－	－	C_H=	C_V=	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

据付場所の床面高さと設計震度をとっている高さが異なる場合は，基準床レベルとして（EL. *）を追加し，据付場所の EL. から*を削除する。
例：中央制御室などの中間階に設置する設備，壁掛形計器スタンション等に適用

2.2 機器要目

2.2.1 ○○○○ポンプ出口流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (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 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト			－		－	

転倒方向が同じ場合でも，１つにしない。

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 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	－		－	

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b＝	f_{ts}＝ *
		せん断	－	－	τ_b＝	f_{sb}＝

すべて許容応力以下である。

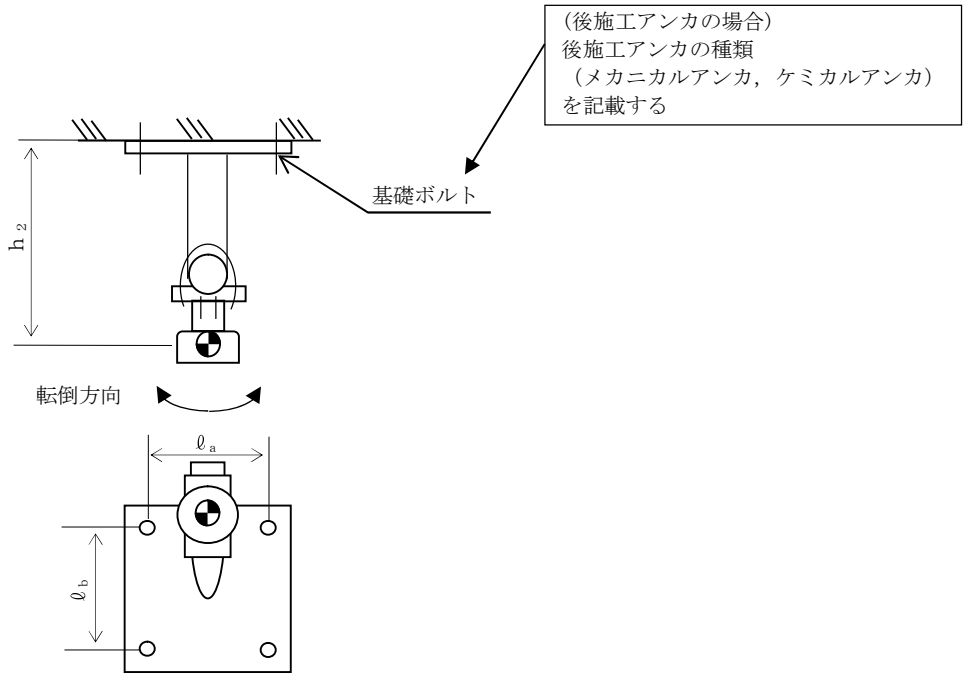
注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

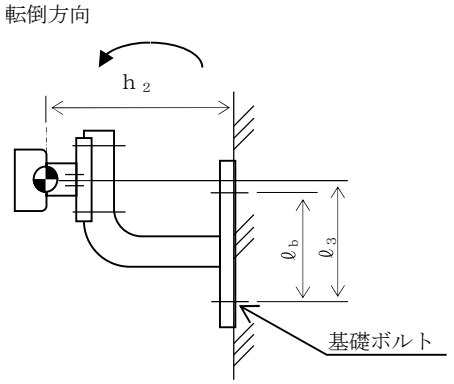
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○圧力	水平方向		
	鉛直方向		

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）

添付資料-6-2：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パターンの耐震計算書記載例）

Ⅴ-○-○-○　○○○発電機○○○機関の耐震性についての計算書

目次

1.　○○○機関 1
1.1　概要 1
1.2　一般事項 1
1.2.1 構造計画 1
1.2.2 評価方針 3
1.2.3　適用基準 3
1.2.4　記号の説明 4
1.2.5　計算精度と数値の丸め方 6
1.3　評価部位 6
1.4　固有周期 7
1.4.1　固有周期の計算方法 7
1.4.2　固有周期の計算条件 7
1.4.3　固有周期の計算結果 8
1.5　構造強度評価 8
1.5.1 構造強度評価方法 8
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 9
1.5.3 設計用地震力 13
1.5.4 計算方法 14
1.5.5 計算条件 18
1.5.6 応力の評価 18
1.6　機能維持評価 19
1.6.1　機能維持評価方法 19
1.7　評価結果 19
1.7.1　設計基準対象施設としての評価結果 20
1.7.2　重大事故等対処設備としての評価結果 20

・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. ○○○機関

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，○○○発電機○○○機関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。その耐震評価は，応力評価及び機能維持評価により行う。

○○○発電機○○○機関は，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及び動的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

○○○発電機○○○機関の構造計画を表 1-1 に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋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及び動的機能維持評価を示す。　※下線部は別表第二記載機器のみ記載

ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○は，設計基準対象施設においてはＢ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，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。　※下線部は該当クラスを記載

ＳＡのみの場合

○○○○は，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，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。

下線部＿＿＿は，動的機能維持評価が必要な機器の場合記載する。

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。

2.3 適用基準

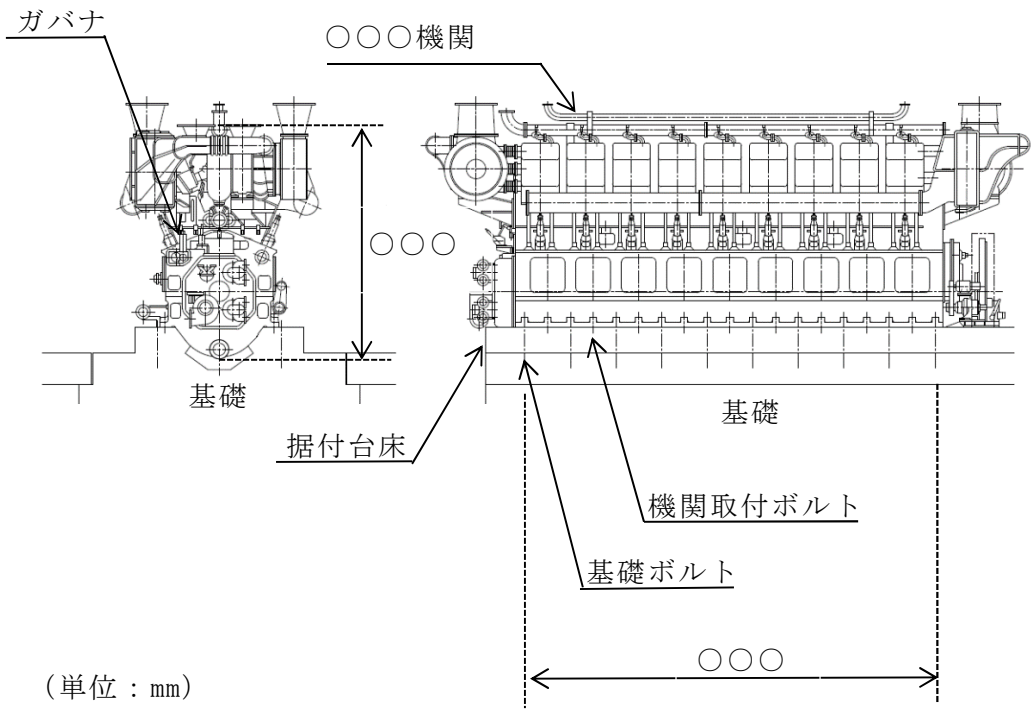
波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。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」となる。

NT2 補○ Ⅴ-○-○-○ R○

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
○○○機関を機関取付ボルトで据付台床に取り付け，据付台床を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	○○○機関	

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。

1.2.2 評価方針

○○○発電機○○○機関の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」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,「1.2.1 構造計画」にて示す○○○機関の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において,「1.4 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを,「1.5 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，○○○機関の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「4.1 動的機能維持（2）回転機器及び弁」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維持確認済加速度以下であることを,「1.6 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「1.7 評価結果」に示す。

○○○発電機○○○機関の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

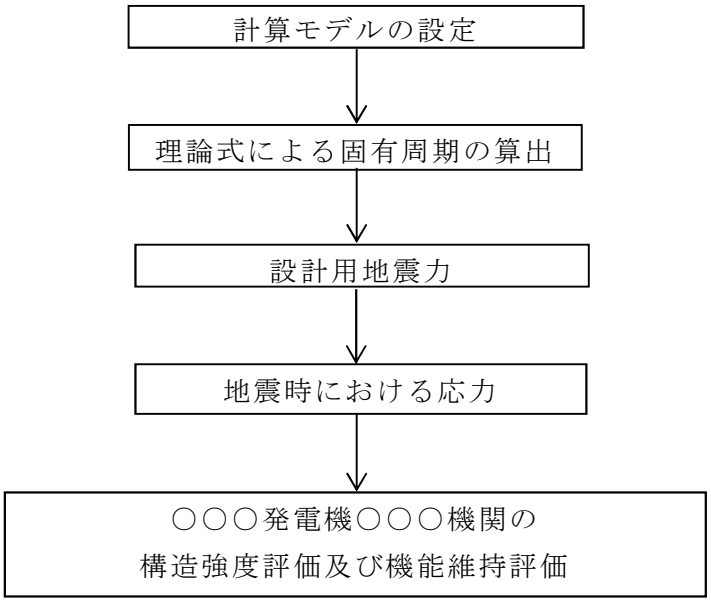


図 1-1　○○○発電機○○○機関の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987(日本電気協会)

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A	最小断面積	mm^2
A_{bi}	ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_{EH}	○○○機関往復運動による水平方向震度	－
C_{EV}	○○○機関往復運動による鉛直方向震度	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d_i	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sbi}	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_{toi}	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_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	据付台床上面から重心までの距離	mm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm^4
L	据付面から据付台床上面までの距離	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M_E	○○○機関回転により作用するモーメント	N･mm
m_i	運転時質量	kg
N	回転速度（○○○機関の定格回転速度）	min^{-1}
n_i	ボルトの本数	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
P	○○○機関出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力	N

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	－
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007年）をいう。

注2：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，n_i，$_nf_i$，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，σ_{bi}及びτ_{bi}の添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：機関取付ボルト

注3：ｈｉ及びｍｉの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：据付面

ｉ＝2：機関取付面

注記＊：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-2 に示すとおりである。

表 1-2　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*1	mm	―	―	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊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。

1.3　評価部位

○○○機関の耐震評価は，「1.5.1 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機関取付ボルト，基礎ボルトについて実施する。○○○機関の耐震評価部位については，表 1-1 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。

1.4　固有周期

1.4.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

○○○機関は，図 1-2 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

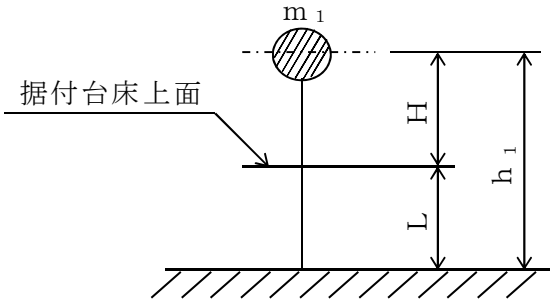


図 1-2　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left(\frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{L^2 \cdot H}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{L}{A_S \cdot G} \right)} \quad \cdots\cdots\cdots (1.4.1.1)$$

(3)　鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \frac{h_1}{A \cdot E}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.4.1.2)$$

1.4.2　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，「1.7.1 設計基準対象施設としての評価結果」の機器要目に示す。

剛である場合には，その結果を記載する。

1.4.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を，表 1-3 に示す。計算結果より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 1-3　固有周期(s)

水平方向	鉛直方向

1.5　構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

(1)　○○○機関質量は，重心に集中するものとする。

(2)　地震力は○○○機関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)　○○○機関は据付台床上にあり，据付台床は基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。また，○○○機関は据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。

(4)　転倒方向は図 1-3 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

厳しいとは，「許容値／発生値」の小さい方をいう。

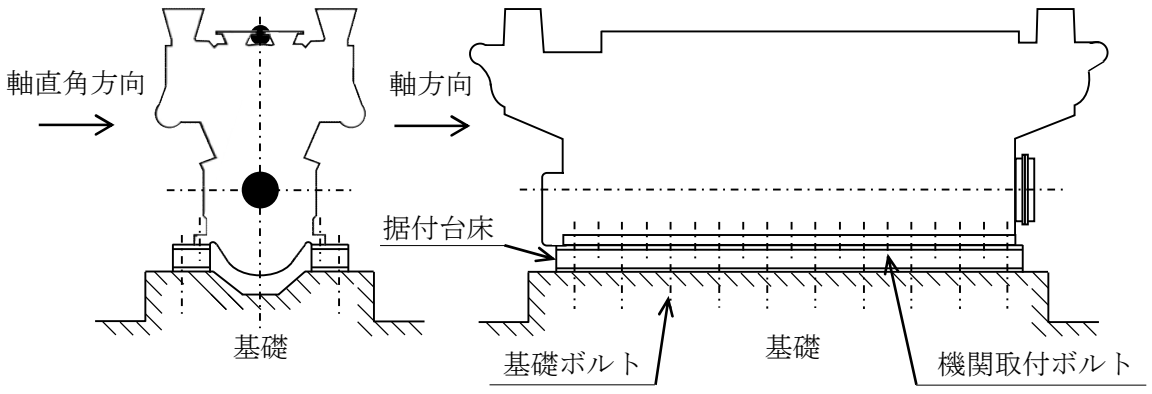


図 1-3　概要図

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○発電機○○○機関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 1-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

1.5.2.2　許容応力

○○○発電機○○○機関の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-6 のとおりとする。

1.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

○○○発電機○○○機関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 1-7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-8 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 1-4　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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	○○○設備	○○○発電機 ○○○機関	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。

＊2：S_sと組合せ，$Ⅲ_AS$の評価を実施する。

$Ⅲ_AS$の評価でS_sを組合せる場合は「S_d^{**2}」とし，注記で説明する。

10

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

表 1-5　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
その他発電用原子炉の附属施設	○○○設備	○○○発電機 ○○○機関	常設耐震／防止 常設／緩和	－*4	$D+P_D+M_D+S_s$*2	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	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を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

＊3：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。

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（その他支持構造物）
・ＳＡ単独の場合は，許容応力（重大事故等その他支持構造物）とする。

表 1-6 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。

表 1-7　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	○○○*	周囲環境温度				―
機関取付ボルト	（径＞40 mm）	周囲環境温度				―

注記　＊：新ＪＩＳにおける○○○相当

旧 JIS 材料を使用している場合は，相当する新 JIS 材料を注記する。

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。

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。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

表 1-8　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		周囲環境温度				―
機関取付ボルト		周囲環境温度				―

1.5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-9 及び表 1-10 に示す。

表 1-9 ○○○機関の設計用地震力（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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
原子炉建屋 EL. .*1			－*2	－*2	C_H＝	C_V＝

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：Ⅲ$_A$Ｓについては，基準地震動Ｓ$_s$で評価する。

（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ないことを確認した設備

・ＪＥＡＧ，文献等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，打診試験，固有値解析，理論式により固有周期を算出している場合

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

表 1-10 ○○○機関の設計用地震力（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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
原子炉建屋 EL. .*1			－	－	C_H＝	C_V＝

注記　＊1：基準床レベルを示す。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1　基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は地震による震度，○○○機関の往復運動による震度及び○○○機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

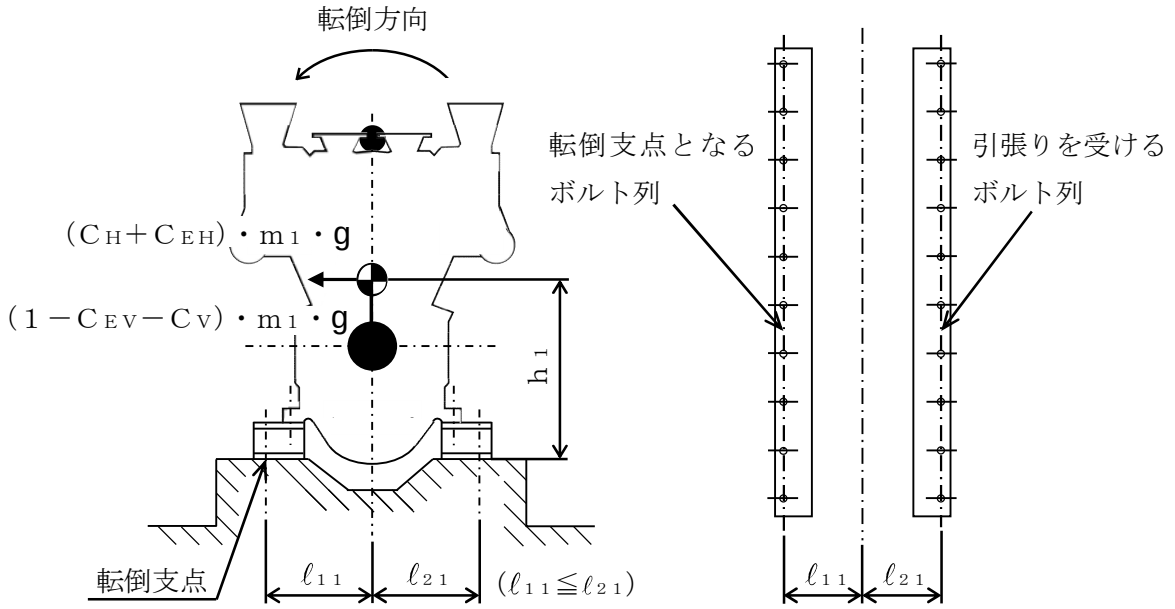


図 1-4　計算モデル（軸直角方向転倒）

NT2 補○ V-○-○-○ R○

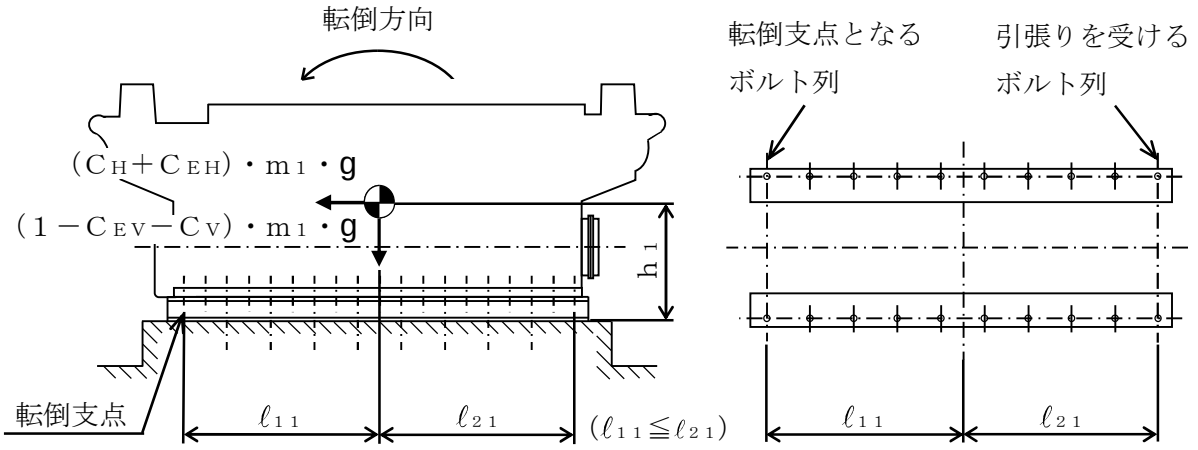


図 1-5　計算モデル（軸方向転倒）

(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 1-4 及び図 1-5 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。なお，計算モデル図 1-5 の場合は，○○○機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b1}=\frac{(C_H+C_{EH})\cdot m_1\cdot g\cdot h_1+M_E-(1-C_{EV}-C_V)\cdot m_1\cdot g\cdot \ell_{11}}{n_{f1}\cdot(\ell_{11}+\ell_{21})} \quad \cdots\cdots\cdots(1.5.4.1)$$

注記＊：$M_E=\left(\frac{60}{2\cdot\pi\cdot N}\right)\cdot 10^6\cdot P$

(1 kW＝10^6 N･mm/s)

ここで，C_{EH}及びC_{EV}は○○○機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b1}=\frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.5.4.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_{b1}は

$$A_{b1}=\frac{\pi}{4}\cdot d_1{}^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.5.4.3)$$

ただし，F_{b1}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。

せん断力

$$Q_{b1}=(C_H+C_{EH})\cdot m_1\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.5.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1}=\frac{Q_{b1}}{n_1\cdot A_{b1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.5.4.5)$$

1.5.4.2　機関取付ボルトの応力

機関取付ボルトの応力は地震による震度，○○○機関の往復運動による震度及び○○○機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

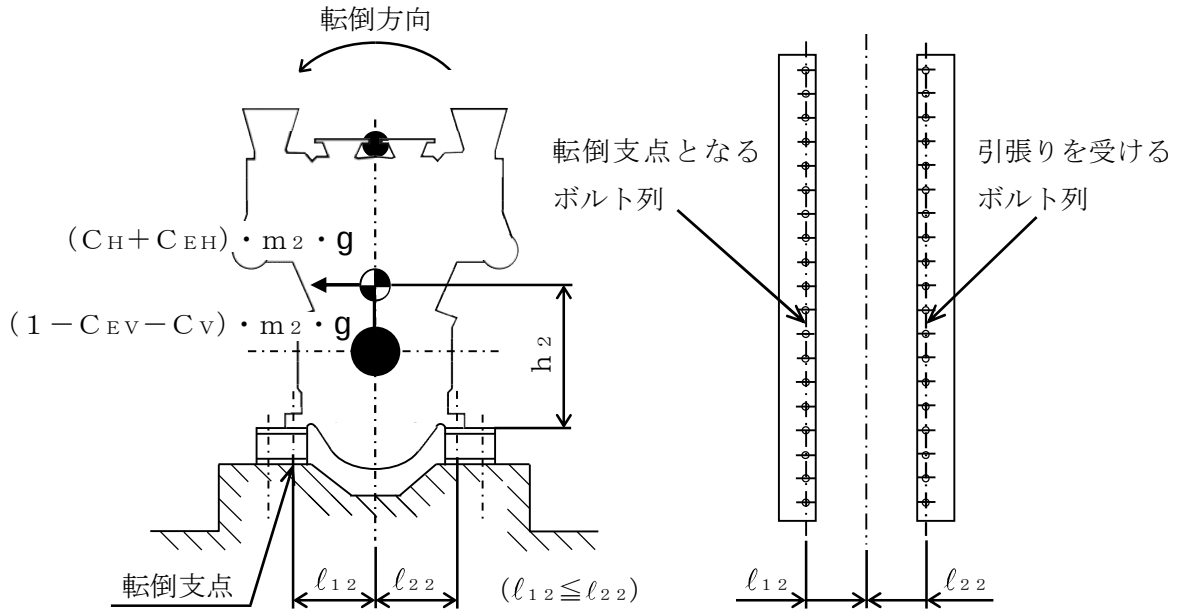


図 1-6　計算モデル（軸直角方向転倒）

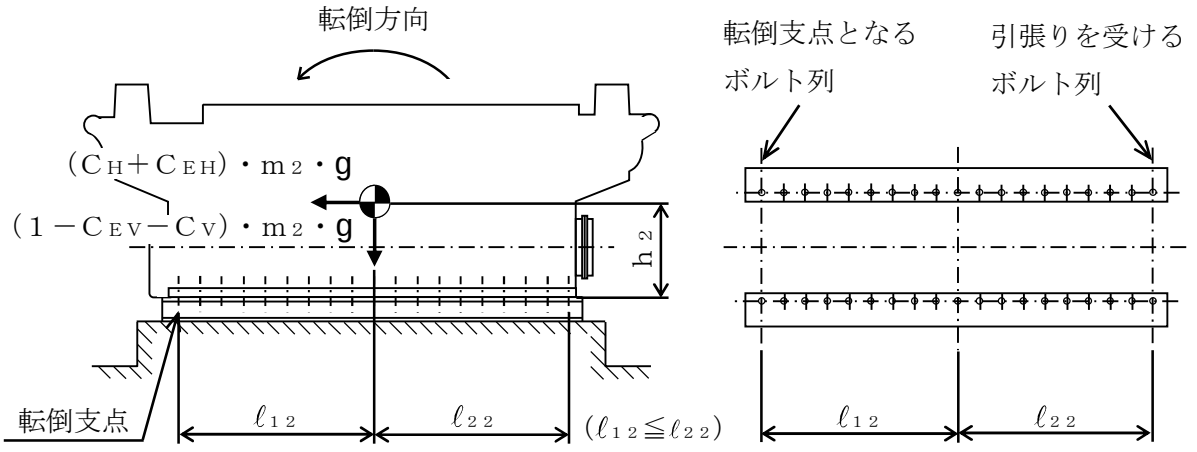


図 1-7　計算モデル（軸方向転倒）

NT2 補○ V-○-○-○ R○

(1) 引張応力

機関取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 1-6 及び図 1-7 で機関取付ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の列の機関取付ボルトで受けるものとして計算する。なお，計算モデル図 1-7 の場合は，○○○機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b2}=\frac{(C_H+C_{EH})\cdot m_2\cdot g\cdot h_2+M_E-(1-C_{EV}-C_V)\cdot m_2\cdot g\cdot \ell_{12}}{n_{f2}\cdot(\ell_{12}+\ell_{22})} \quad \cdots\cdots\cdots(1.5.4.6)$$

注記＊：$M_E=\left(\frac{60}{2\cdot\pi\cdot N}\right)\cdot 10^6\cdot P$

(1 kW＝10^6 N･mm/s)

ここで，C_{EH}及びC_{EV}は○○○機関の往復運動による起振力及び○○○機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b2}=\frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \cdots\cdots\cdots(1.5.4.7)$$

ここで，機関取付ボルトの軸断面積A_{b2}は

$$A_{b2}=\frac{\pi}{4}\cdot d_2{}^2 \quad \cdots\cdots\cdots(1.5.4.8)$$

ただし，F_{b2}が負のとき機関取付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

機関取付ボルトに対するせん断力は機関取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2}=(C_H+C_{EH})\cdot m_2\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots(1.5.4.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b2}=\frac{Q_{b2}}{n_2\cdot A_{b2}} \quad \cdots\cdots\cdots(1.5.4.10)$$

1.5.5 計算条件

応力の計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○発電機○○○機関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。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1 節で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。

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

$$f_{tsi} = 1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.6.1)$$

かつ，

$$f_{tsi} \leqq f_{toi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.6.2)$$

ただし，f_{toi} 及び f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

本項は動的機能維持評価が必要な機器の場合

1.6　機能維持評価

○○○発電機○○○機関の地震時又は地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

1.6.1　機能維持評価方法

○○○発電機○○○機関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を持っているため，添付書類Ⅴ-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 1-11 に示す。

表 1-11　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
機　関	○○○機関	水平	
		鉛直	
ガバナ		水平	
		鉛直	

1.7　評価結果

1.7.1　設計基準対象施設としての評価結果

○○○発電機○○○機関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Ｓ$_{d}$及び静的震度は基準地震動Ｓ$_{s}$を下回っており，基準地震動Ｓ$_{s}$による発生値が，弾性設計用地震動Ｓ$_{d}$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Ｓ$_{d}$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Ｓ$_{s}$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。

（ＤＢ＋ＳＡの場合，以下を追加）

1.7.2　重大事故等対処設備としての評価結果

○○○発電機○○○機関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。

【○○○発電機○○○機関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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		○○○機関往復運動による水平方向震度	○○○機関往復運動による鉛直方向震度	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				
○○○発電機 ○○○機関	S	原子炉建屋 EL. *1			－*2	－*2	C_H=	C_V=	C_{EH}=	C_{EV}=	－	

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：ⅢASについては，基準地震動S_sで評価する。

ⅢASの評価をS_sで実施する場合は注記で説明する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm) *2		ℓ_{2i} (mm) *2		n_i	n_{fi} *2	
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)									
機関取付ボルト (i=2)									

ⅢASの評価をS_sで実施する場合は「－」とする。

部材	A_{bi} (mm^2)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_E (N･mm)	
				弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	3 (φ)	*1	*1			軸	軸	－	－
機関取付ボルト (i=2)	(M)	*1	*1			軸	軸	－	－

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min^{-1})	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm^2)	断面二次モーメント I (mm^4)	有効せん断断面積 A_S (mm^2)	据付面から据付台床上面までの距離 L(mm)	据付台床上面から重心までの距離 H(mm)
		*1	*1					

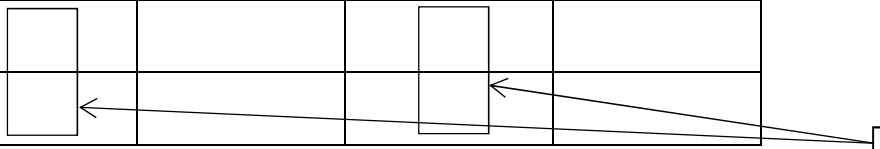
注記＊1：周囲環境温度で算出

注記＊2：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。

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)				
機関取付ボルト (i=2)				



ⅢASの評価をS_sで実施する場合は「－」とする。

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	*1	引張り	$\sigma_{b1}=$	$f_{ts1}=$*	$\sigma_{b1}=$	$f_{ts1}=$*2
		せん断	$\tau_{b1}=$	$f_{sb1}=$	$\tau_{b1}=$	$f_{sb1}=$
機関取付ボルト	*1	引張り	$\sigma_{b2}=$	$f_{ts2}=$*	$\sigma_{b2}=$	f_{ts2}*2
		せん断	$\tau_{b2}=$	$f_{sb2}=$	$\tau_{b2}=$	$f_{sb2}=$

注記 *1：新ＪＩＳにおける○○○相当

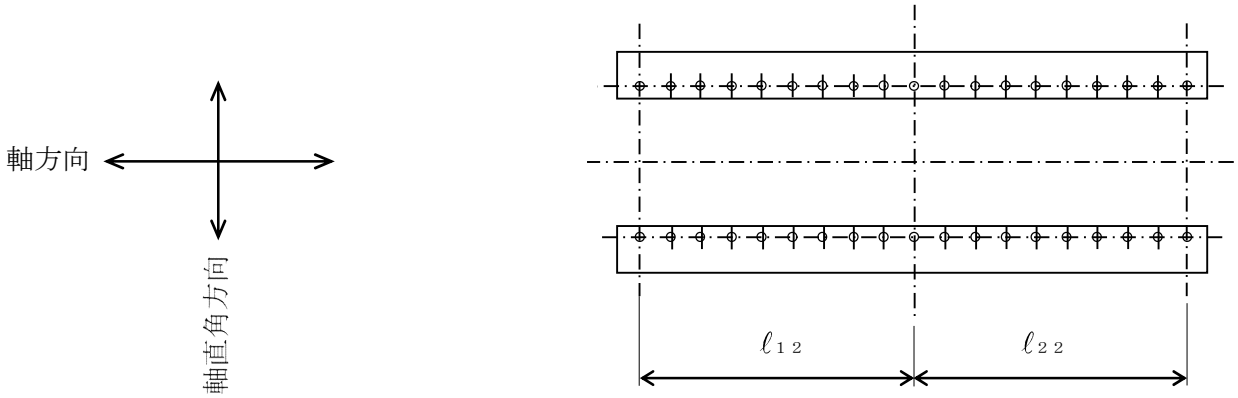
*2：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

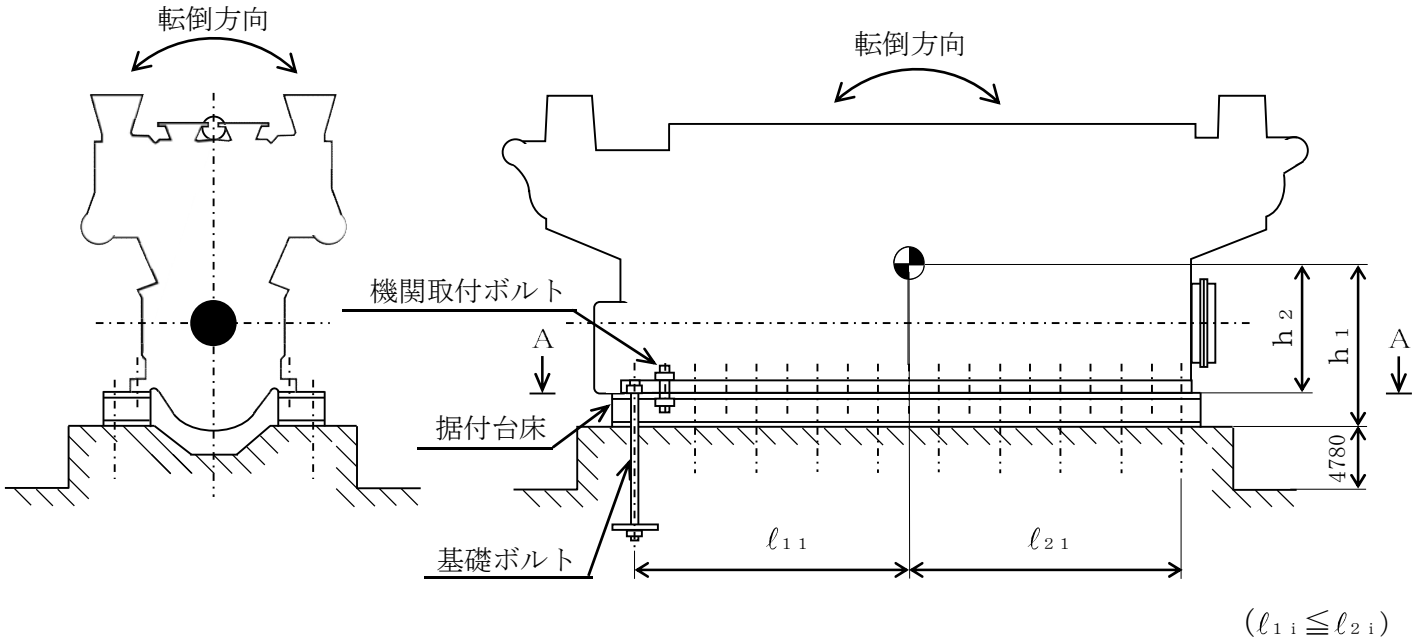
1.4.2 動的機能の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機関	水平方向		
	鉛直方向		
ガバナ	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度(1.0 ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



A～A矢視図



$(\ell_{1i} \leqq \ell_{2i})$

【○○○発電機○○○機関の耐震性についての計算結果】

【ＤＢ＋ＳＡの場合】
前項のＤＢの評価に本ＳＡの評価を追加する。

【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。

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		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	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				
非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建屋 EL. *			—	—	C_H=	C_V=	C_{EH}=	C_{EV}=	—	

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm) *2		ℓ_{2i} (mm) *2		n_i	n_{fi} *2	
			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)			—		—			—	
			—		—			—	
機関取付ボルト (i=2)			—		—			—	
			—		—			—	

部材	A_{bi} (mm^2)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_E (N･mm)	
				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)	(φ64)	*1	*1	—		—	軸	—	—
機関取付ボルト (i=2)	(M48)	*1	*1	—		—	軸	—	—

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min^{-1})	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm^2)	断面二次モーメント I (mm^4)	有効せん断断面積 A_S (mm^2)	据付面から据付台床上面までの距離 L (mm)	据付台床上面から重心までの距離 H (mm)
		*1	*1					

注記＊1：周囲環境温度で算出
注記＊2：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。

2.3 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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
機関取付ボルト (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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	*1	引張り	－	－	σ_{b1}＝	f_{ts1}＝*2
		せん断	－	－	τ_{b1}＝	f_{sb1}＝
機関取付ボルト	*1	引張り	－	－	σ_{b2}＝	f_{ts2}＝*2
		せん断	－	－	τ_{b2}＝	f_{sb2}＝

注記 ＊1：新ＪＩＳにおけるSS400相当

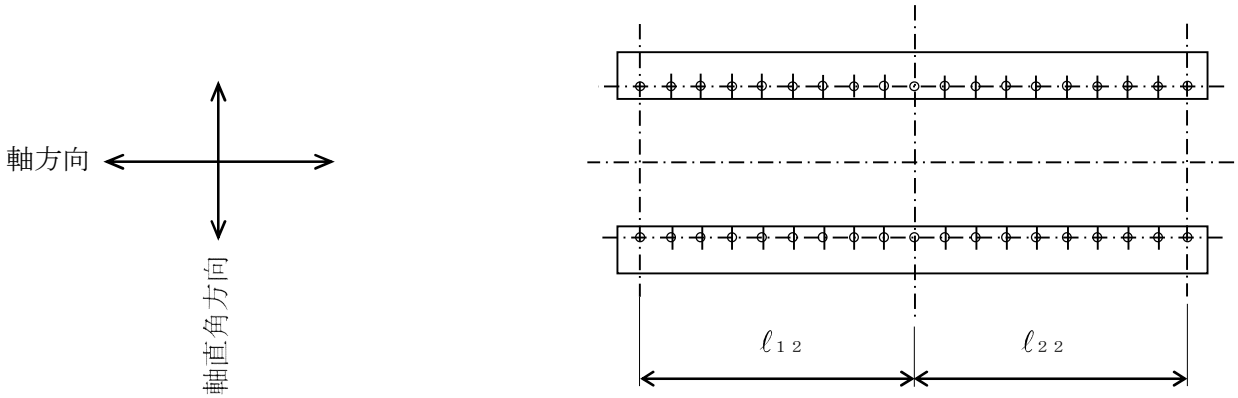
＊2：f_{tsi}＝ Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}， f_{toi}]

すべて許容応力以下である。

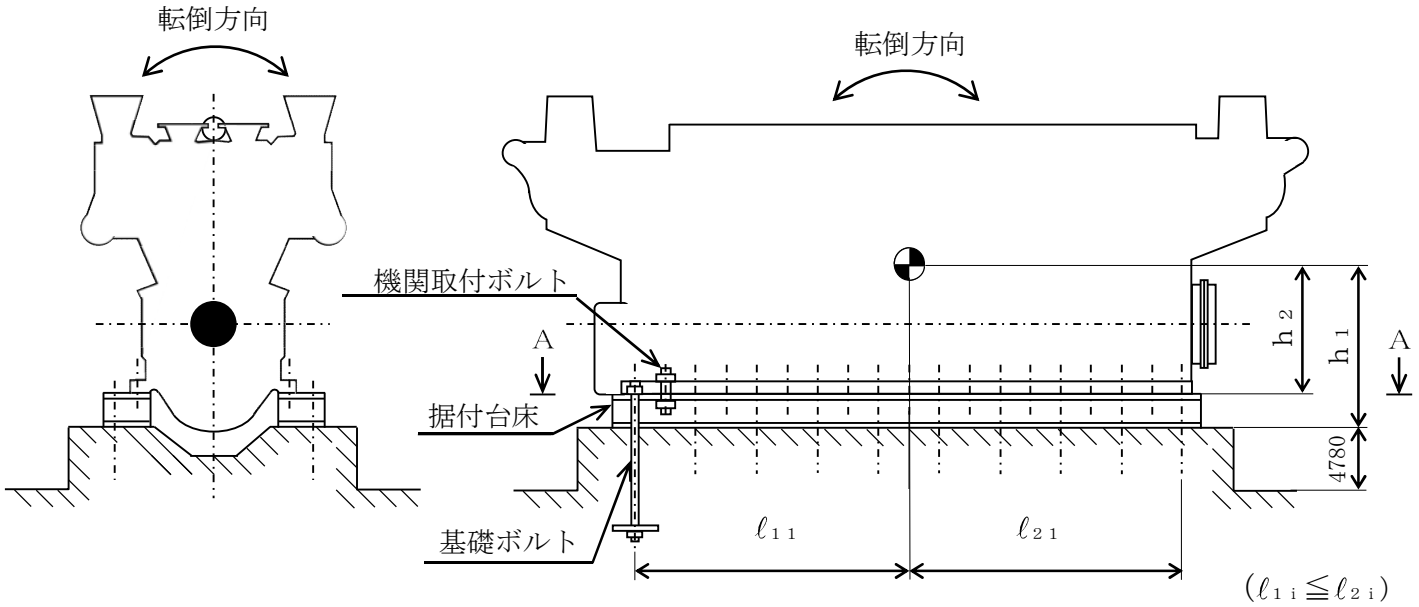
2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機関	水平方向		
	鉛直方向		
ガバナ	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度(1.0 ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。


軸方向
軸直角方向
ℓ_{12}
ℓ_{22}

A～A矢視図


転倒方向
転倒方向
機関取付ボルト
A
据付台床
基礎ボルト
h_2
h_1
A
4780
ℓ_{11}
ℓ_{21}
($\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$)

添付資料-7：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）

V-○-○-○　○○○○水位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 適用基準 ····· 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 固有周期の算出方法 ····· 7
4.3 固有周期の算出結果 ····· 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 ····· 9
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 9
5.2.2 許容応力 ····· 9
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 9
5.3 設計用地震力 ····· 13
5.4 計算方法 ····· 14
5.4.1 応力の計算方法 ····· 14
5.5 計算条件 ····· 18
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 18
5.5.2 取付ボルトの応力計算条件 ····· 19
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 電気的機能維持評価方法 ····· 21
7. 評価結果 ····· 22
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 22

・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，「Ⅴ-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，○○○○水位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。

○○○○水位は，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。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

○○○○水位の構造計画を表 2-1 に示す。

ＤＢ（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○水位は，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及び電気的機能維持評価を示す。

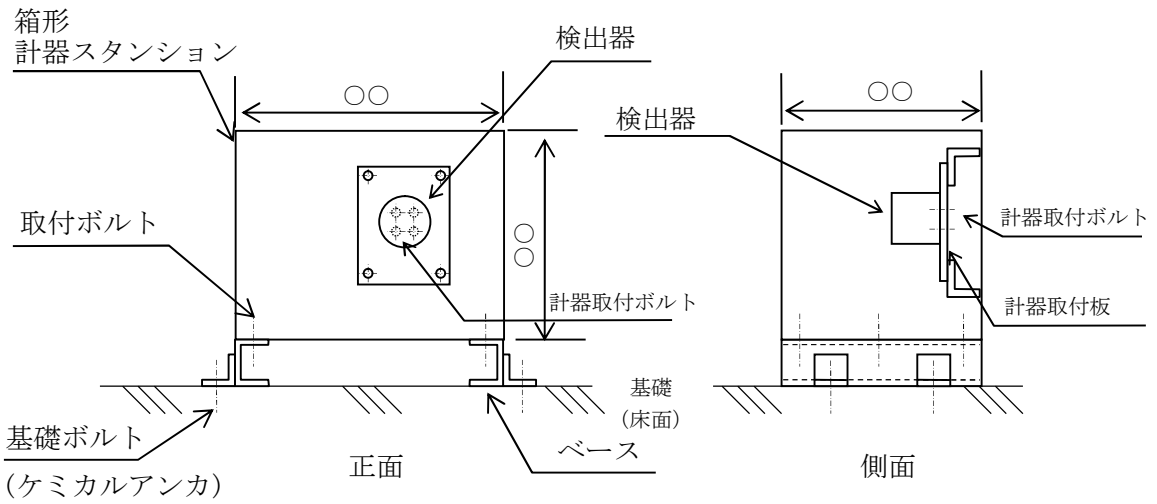
ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○水位は，設計基準対象施設においてはＢＣ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，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。

ＳＡのみの場合

○○○○水位は，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，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。

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，計器取付ボルトにより箱形計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 箱形計器スタンションは，基礎ボルトにより床面に設置されたベースに取付ボルトで固定される。	○○○○水位検出器	 箱形 計器スタンション 検出器 ○○ 検出器 ○○ 取付ボルト ○ ○ 計器取付ボルト 計器取付ボルト 計器取付板 基礎 (床面) 基礎ボルト (ケミカルアンカ) ベース 正面 側面 (単位：mm)

〔後施工アンカの場合〕
後施工アンカの種類（メカニカルアンカ，ケミカルアンカ）を記載する。

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

○○○○水位の応力評価は，「V-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」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○○○○水位の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で測定した固有周期に基づく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，○○○○水位の機能維持評価は，「V-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」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。

○○○○水位の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

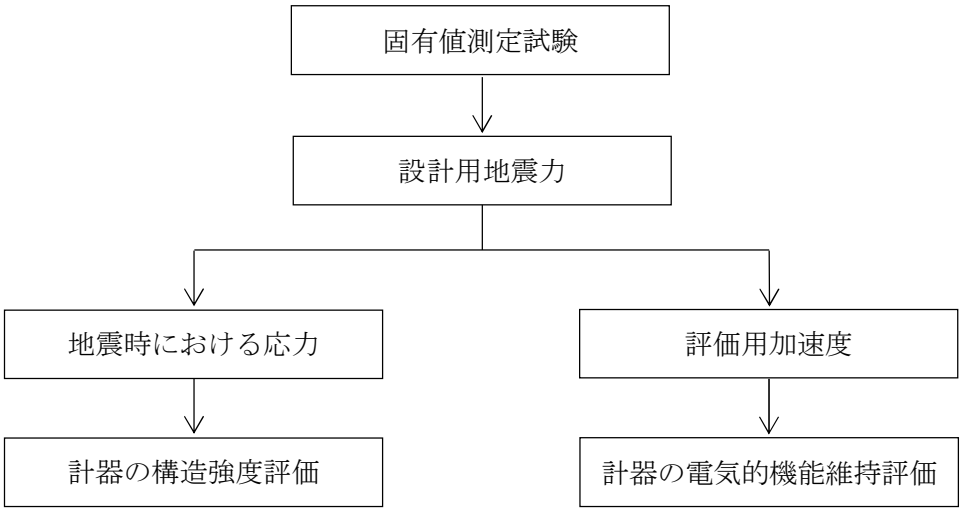


図 2-1　○○○○水位の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用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（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類･許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１･補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
F_i*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*1（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*1（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離*1	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*1, *3	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*1, *3	mm
m_i	計器スタンションの質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*1	－
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表9に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める値*1	MPa
S_{yi}（RT）	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値*1	MPa
π	円周率	－
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記　＊1：A_{bi}，d_i，F_i*，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，h_i，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，σ_{bi}，τ_{bi}の添え字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：取付ボルト

＊2：m_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：計器スタンション＋ベース

ｉ＝2：計器スタンション

＊3：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

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

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊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

○○○○水位の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

○○○○水位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

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。

4.2　固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。○○○○水位の外形図を表 2-1 の構造計画に示す。

4.3　固有周期の算出結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。鉛直方向は固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向は柔な領域に固有周期がないことから，剛であることを確認した。

表 4-1　固有周期(s)

水平	鉛直
0.05 以下	0.040

【固有周期を「打振試験（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

計器スタンションの固有周期は，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固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により記録解析する。測定の結果，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 4-1 に示す。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　○○○○水位の質量は重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は○○○○水位に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　○○○○水位は取付ボルトでベースに固定されており，ベースは基礎ボルトで基礎に固定されるものとする。

(4)　転倒方向は，図 5-1，図 5-2 計算モデルにおける短辺方向及び長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)　○○○○水位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

○○○○水位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

○○○○水位の許容応力は，添付書類「Ⅴ-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

○○○○水位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

○○○○水位の使用材料の許容応力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。

・ＤＢ＋ＳＡの場合

○○○○水位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。

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
計測制御系統施設	計測装置	○○○○水位	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$\mathrm{IV_AS}$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
計測制御系統施設	計測装置	○○○○水位	S	*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III_AS}$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV_AS}$

「＊2」を記載する場合は「＊1」とする。

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。

＊2：S_sと組合せ，$\mathrm{III_AS}$の評価を実施する。

$\mathrm{III_AS}$の評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

ＳＡ単独の場合を示す。
・ＤＢ単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
・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。

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

ＳＡ単独の場合を示す。
・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（設計基準対象施設）」を追加する。

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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	SS400 (径≦16 mm)	周囲環境温度	50	245	400	—
取付ボルト (ｉ＝2)	SS400 (径≦16 mm)	周囲環境温度	50	245	400	—

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。

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，「Ⅴ-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 5-4 に示す。

ＳＡ単独の計算書の場合は，記載不要とする。

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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
○○○○ EL. 0. 70*1	0. 038	－*2	－	－	C_H＝ 2. 00	C_V＝ 2. 67

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。

（記載例 1）

既に振動試験が行われているものと同等又は類似のものの固有周期を使用する場合

水平方向	鉛直方向
0. 05 以下	0. 05 以下

（記載例 2）

固有周期は十分に小さく，計算は省略する場合

水平方向	鉛直方向
0. 038	－*2

ＳＡ単独の場合を示す。
・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。

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。

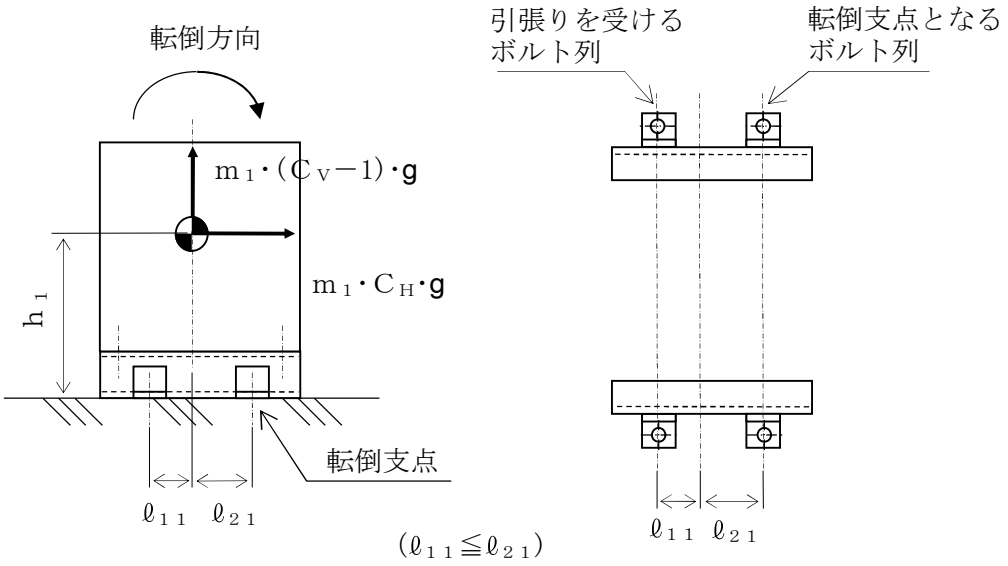


図5-1　計算モデル（短辺方向転倒）

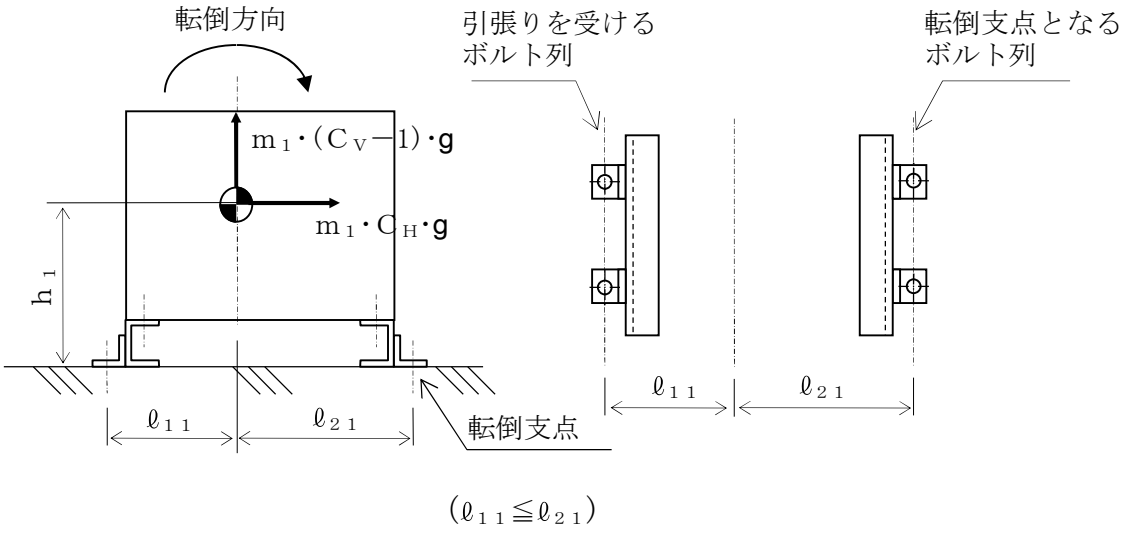


図5-2　計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1}=\frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g+m_1 \cdot (C_V-1) \cdot \ell_{11} \cdot g}{n_{f1} \cdot (\ell_{11}+\ell_{21})} \quad \cdots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1}=\frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \cdots (5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_{b1}は次式により求める。

$$A_{b1}=\frac{\pi}{4} \cdot d_1^{\,2} \quad \cdots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1}= m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \cdots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1}=\frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \cdots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2　取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，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。

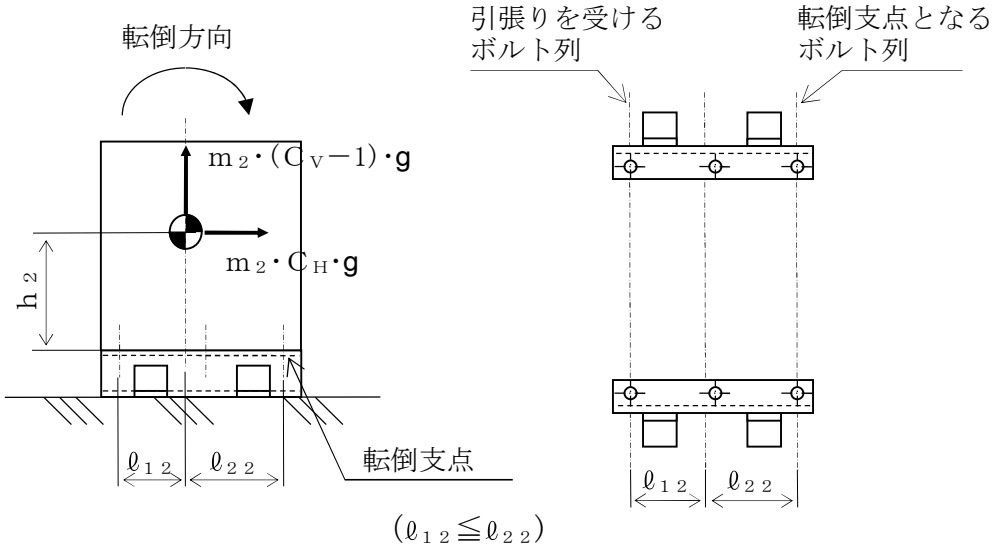


図5-3　計算モデル（短辺方向転倒）

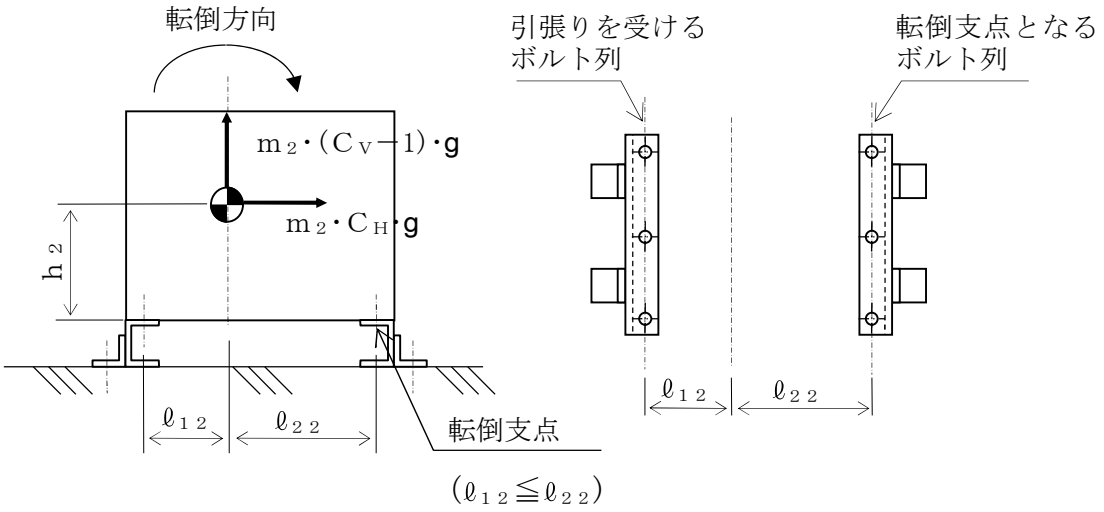


図5-4　計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は，図5-3及び図5-4でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad \cdot (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.2)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積A_{b2}は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^{\,2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.5)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-5 に示す。

表 5-5　基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	－	－	○○
温度条件（周囲環境温度）	－	℃	○○
ボルトの呼び径	d_1	mm	○○
計器スタンションの質量	m_1	kg	○○
重力加速度	g	m/s^2	○○
据付面から重心までの距離	h_1	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{11}	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{21}	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{11}	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{21}	mm	○○
ボルトの本数	n_1	－	○○
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（長辺方向）	n_{f1}	－	○○
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（短辺方向）	n_{f1}	－	○○

計算条件の項に関しては，基本は文章で簡略化※1 し，結果の「設計条件」，「機器要目」等に記載のないものは，本表を作成するものとする。

なお，記載した方が説明性が高くなる場合は記載してもよい。

本件の場合は，長辺方向の距離（ℓ_{11}，ℓ_{21}）の記載が，結果の「機器要目」にないため，設計条件の表としては長辺方向の距離の項目のみ必要となるが，説明性を高くなるため本表のままとする。

※1：簡略化する場合の記載例

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【○○○○水位の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2　取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-6 に示す。

表 5-6　取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	－	－	○○
温度条件（周囲環境温度）	－	℃	○○
ボルトの呼び径	d_2	mm	○○
計器スタンション質量	m_2	kg	○○
重力加速度	g	m/s^2	○○
取付面から重心までの距離	h_2	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{12}	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{22}	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{12}	mm	○○
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{22}	mm	○○
ボルトの本数	n_2	－	○○
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（長辺方向）	n_{f2}	－	○○
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（短辺方向）	n_{f2}	－	○○

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}は次式より求めた許容引張応力f_{tsi}以下であること。ただし，f_{toi}は下表による。

$$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.6.1.1)$$

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

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

○○○○水位の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

○○○○水位の機能確認済加速度は，「Ⅴ-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評価部位の加速度を適用する。

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 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
○○○○水位	水平	○○
	鉛直	○○

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○水位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

○○○○○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S_d及び静的震度は基準地震動S_sを下回っており，基準地震動S_sによる発生値が，弾性設計用地震動S_d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S_d又は静的震度による発生値の算出を省略した。

下線部：$\mathrm{III}_A S$の評価をS_s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。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

○○○○○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。

対象計器が複数ある場合は計器番号を記載する。

【○○○○水位（○○○－○）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) 水平方向	固有周期(s) 鉛直方向	弾性設計用地震動S_d又は静的震度 水平方向設計震度	弾性設計用地震動S_d又は静的震度 鉛直方向設計震度	基準地震動S_s 水平方向設計震度	基準地震動S_s 鉛直方向設計震度	周囲環境温度 (℃)
○○○○水位	常設耐震／防止 常設／緩和	○○○○ EL.0.70*1	0.038	－*2	－*3	－*3	C_H=2.00	C_V=2.67	40

0.05以下	0.05以下
－	－
0.031	0.015

・同様の構造のスタンションで確認している場合
・加振試験にて柔な領域に固有周期がな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，打診試験による算出を実施している場合

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S_sで評価する。

ⅢAＳの評価をS_sで実施する場合は「－」とし，注記で説明する。

1.2 機器要目

1.2.1 ○○○○水位

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向 弾性設計用地震動S_d又は静的震度	転倒方向 基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	55	400	90 90	140 140	113.1 (M12)	4	2 2	245	400	245	－	短辺方向
取付ボルト (i=2)	49	325	100 100	150 150	78.54 (M10)	6	2 2	24	400	245	－	短辺方向

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

ボルト径を記載する。

転倒方向が同じ場合でも，一つにしない。

据付場所の床面高さと設計震度をとっている高さが異なる場合は，基準床レベルとして（EL.　　*）を追加し，据付場所のEL.から*を削除する。
例：中央制御室などの中間階に設置する設備，壁掛形計器スタンション等に適用

ＳＡ＋ＤＢの場合は，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。

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S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	－	335.6	－	1.079×10^3
取付ボルト (i=2)	－	95.62	－	961.1

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	－	－	$\sigma_{b1}=3$	$f_{ts1}=147$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=113$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	－	－	$\sigma_{b2}=2$	$f_{ts2}=183$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=141$

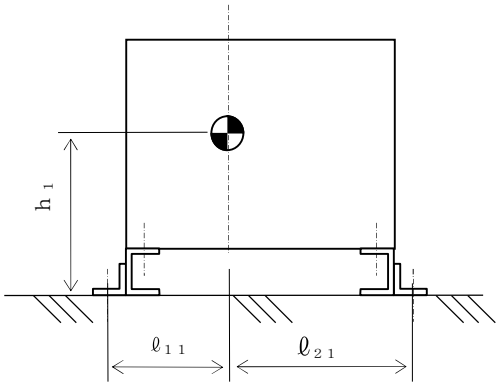
すべて許容応力以下である。

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

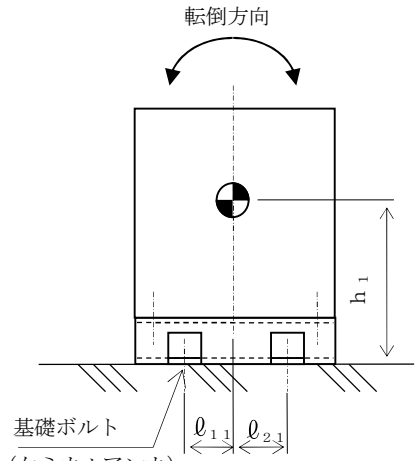
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○水位	水平方向	○○	○○
	鉛直方向	○○	○○

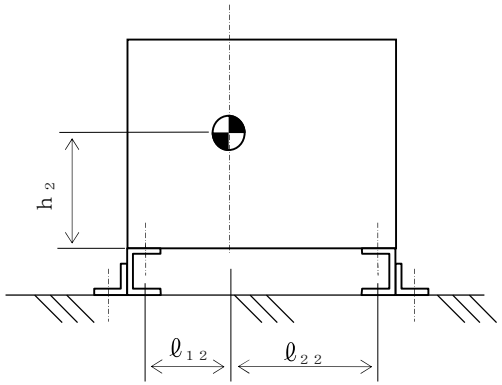
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



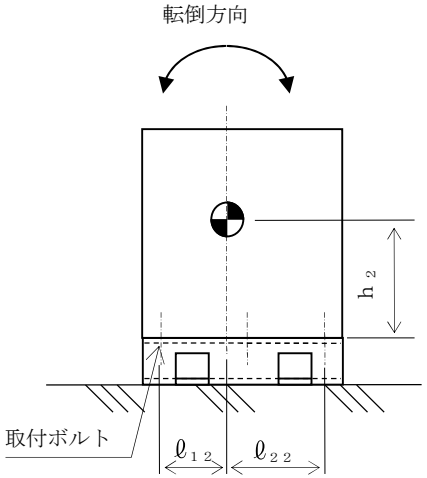
($\ell_{11} \leqq \ell_{21}$)



($\ell_{11} \leqq \ell_{21}$)

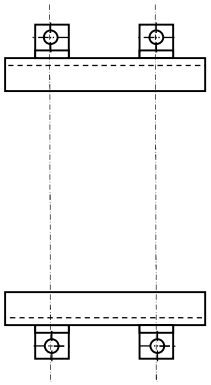


($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)



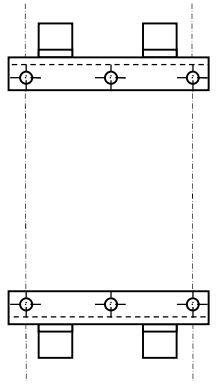
($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

〔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。
また，本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1　構造計画の「概略構造図」欄にもアンカの種類を記載する。
例：基礎ボルト
（ケミカルアンカ）



正面（長辺方向）

側面（短辺方向）



正面（長辺方向）

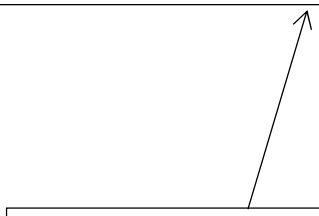
側面（短辺方向）

添付資料-8：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）

V-○-○-○　○○○○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 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 4
4.1 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「Ⅴ-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（Ｓクラス）＋ＳＡの場合

○○○○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，設計基準対象施設及び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。

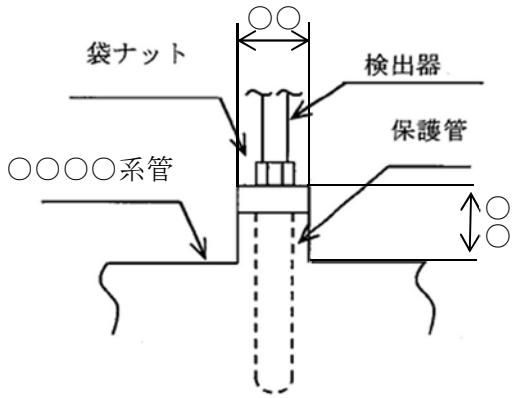
ＤＢ（ＢＣクラス）＋ＳＡの場合

○○○○温度は，設計基準対象施設においてはＢＣ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構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

ＳＡのみの場合

○○○○温度は，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。

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。	測温抵抗体	 （単位：mm）

2.2　評価方針

○○○○温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」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。

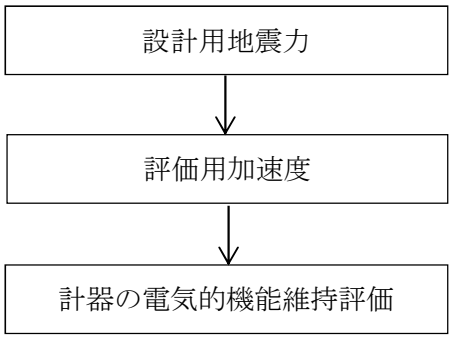


図 2-1　○○○○温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用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（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

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「Ⅴ-2-5-5-6-2　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。

○○○○温度の機能維持評価は，検出器取付位置の応答加速度により実施する。○○○○温度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. 機能維持評価

4.1 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ることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として，添付書類「Ⅴ-2-5-5-6-2 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○○○○温度取付部に相当する質点に生じる応答加速度とする。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 (×9.8 m/s^2)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
○○○○温度	○○○建屋 EL.○○.○○ (EL.○○.○○*)	水平	
		鉛直	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

○○○○温度の機能確認済加速度については以下に示す。

○○○○温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-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評価部位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　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
○○○○温度	水平	10.00
	鉛直	10.00

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。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。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。

【○○○○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

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		

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。

各検出器の値を記載する。

2. 重大事故等対処設備

2.1 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度（○○○○）	水平方向		
	鉛直方向		

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。

各検出器の値を記載する。

添付資料-9：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
（Ｆ４パターン「管」の耐震計算書記載例）

Ⅴ-2-6-4-1-3　管の耐震性についての計算書

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 ····· 8
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 8
3.2　設計条件 ····· 9
3.3　材料及び許容応力 ····· 15
3.4　設計用地震力 ····· 16
4.　解析結果及び評価 ····· 17
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 17
4.2　評価結果 ····· 23
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 23
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 24
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 ····· 26

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，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又は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通りである。

(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１１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（裕度）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。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，種類及び型式ごとの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

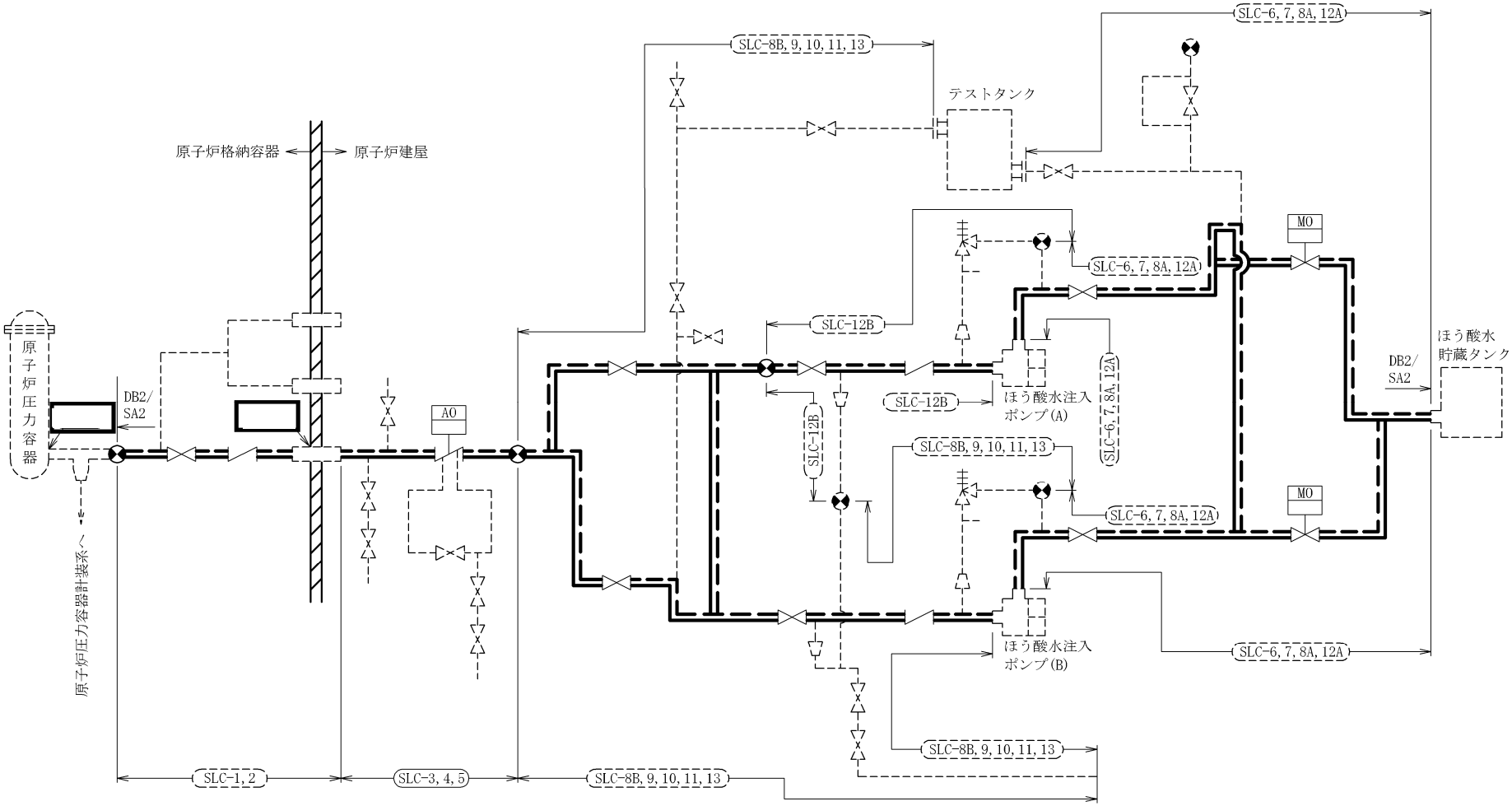
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

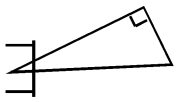
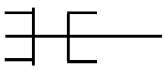
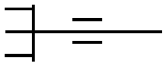
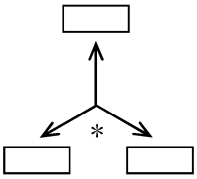
記　　号	内　　容
―――――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管



ほう酸水注入系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

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 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
──── （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解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図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
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊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。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

--

5

鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(1/3)

鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(2/3)

鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(3/3)

3. 計算条件

3.1 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を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入系	ＤＢ	—	クラス２管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
			ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$*6,*7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	

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／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊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。

＊6：重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ閉じ込め機能維持要求として，原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する荷重の組合せを示す。

＊7：荷重の組合せ$V_L(L)+S_d$は$V_L(LL)+S_s$に包絡されるため，評価を省略する。

表に対する注記は一律記載する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3W～6Z,6Z～12Z 12Z～18W,24W～55A	9.66	302	48.6	5.1	SUS304TP	S	[redacted]

配管の付加質量

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

質量	対応する評価点
[redacted]	3W～6Z,6Z～12Z,12Z～18W,24W～55A

弁部の寸法

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
18W～20				20～22			
22～24W							

弁部の質量

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	18W～20,20～22	[redacted]	22～24W

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

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
1N						
** 1N **						
** 1N **						
10						
** 1501 **						
** 181 **						
182						
2401						
** 2401 **						
** 27 **						
** 27 **						
** 29 **						
** 29 **						
3003						
311						
33						
35						
37						
391						
41						
42						
45						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

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
49						
51						
5300						
55A						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	302	—	126	391	110

使用しない場合は，－を記載する。

3.4　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備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-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「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
SLC-3, 4, 5	原子炉建屋	[redacted]	

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SLC-3,4,5

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
11 次							
12 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

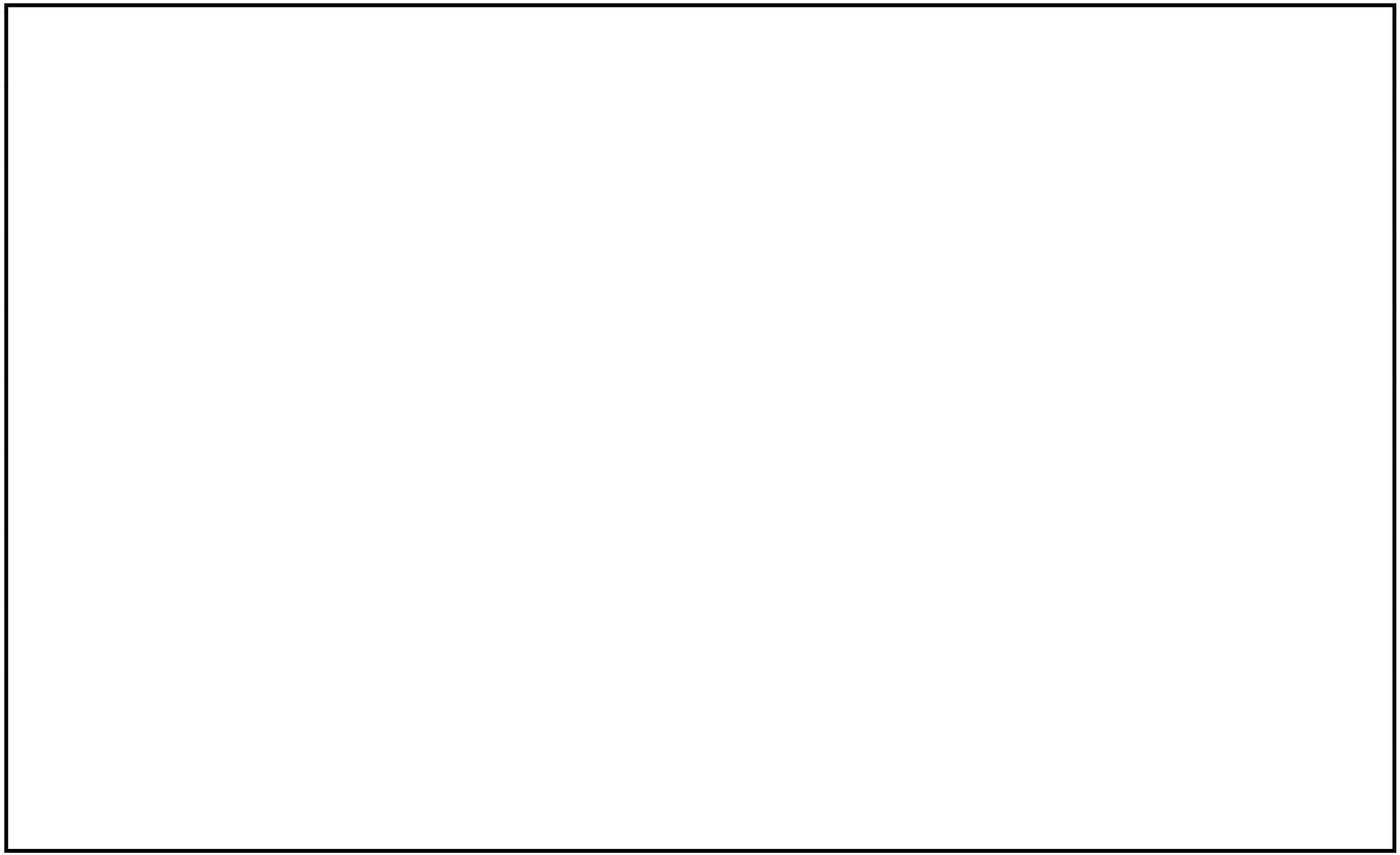
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

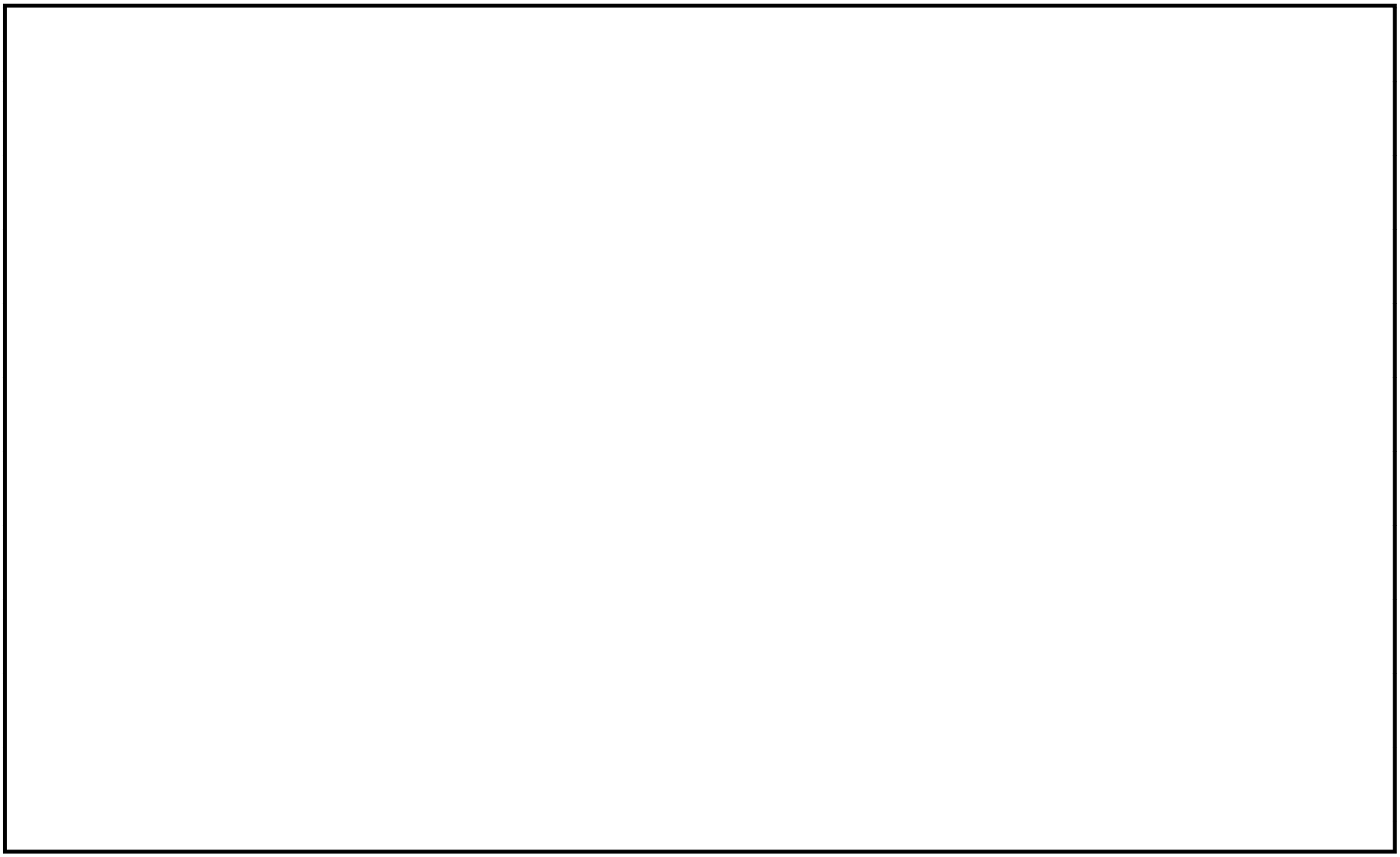
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
11 次				
12 次				

代表的振動モード図

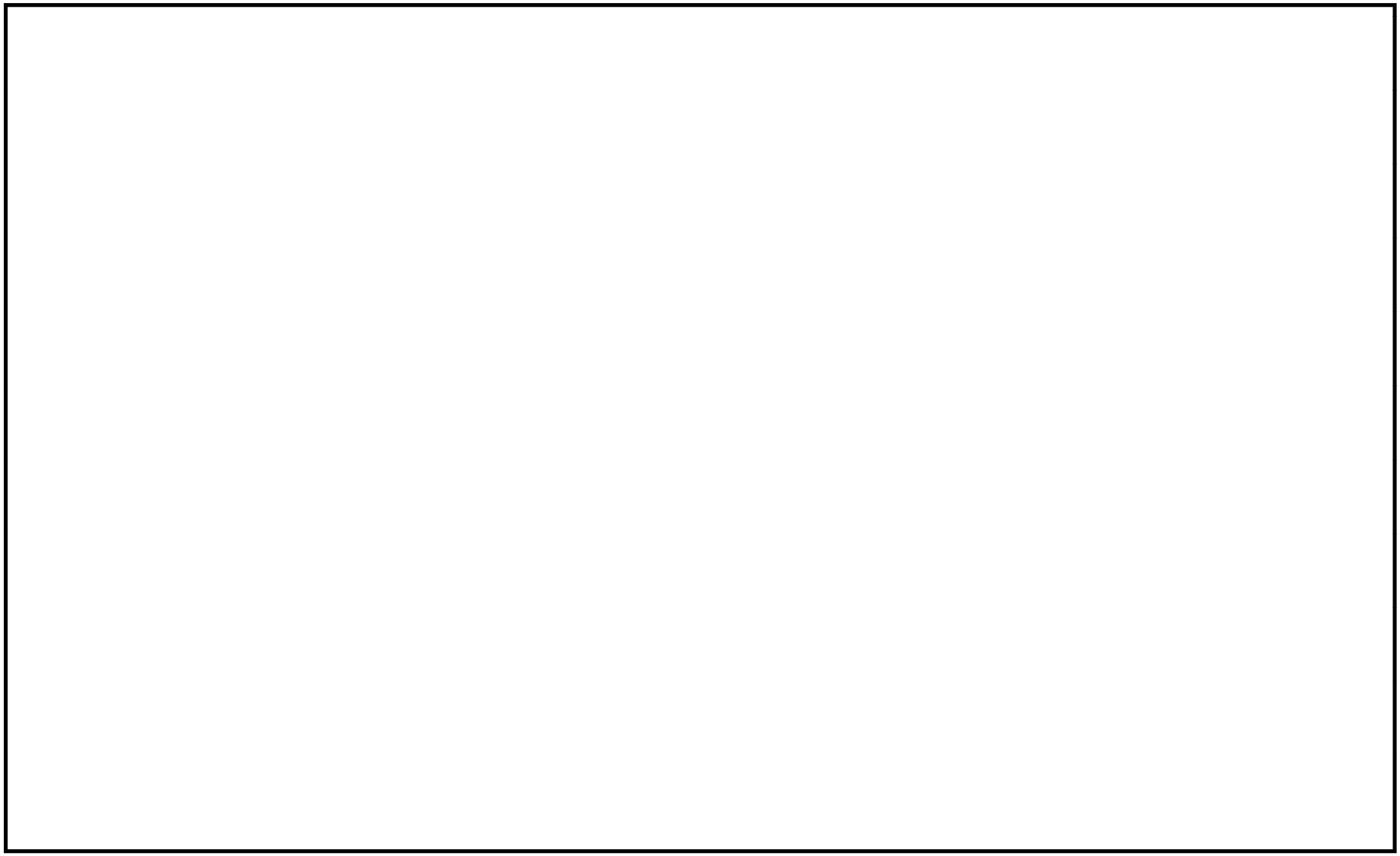
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	SLC-3, 4, 5



鳥瞰図	SLC-3, 4, 5



鳥瞰図	SLC-3,4,5

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２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	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 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
SLC-3,4,5	ⅢAS	30W	S_{prm}（S_d）	96	132	—	—	—
SLC-3,4,5	ⅣAS	30W	S_{prm}（S_s）	144	351	—	—	—
SLC-3,4,5	ⅣAS	30W	S_n（S_s）	—	—	202	252	—

注記 ＊：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，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

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。

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)
SNO-SLC-27C	オイルスナッバ	HSP-05	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		2.9	7.5
SNM-SLC-35T1	メカニカルスナッバ	SMS-03			0.3	4.5
SH-SLC-R004	スプリングハンガ	VSA-L4			1.2	1.7

対象がない場合は，「－」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			
RE-SLC-50	レストレイント	パイプバンド	STK400 SM400B	66	0	5.0	0	－	－	－	圧縮	16	142
AN-SLC-90	アンカ	ラグ	SUS304	66	2.8	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	組合せ	85	141

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

評価対象がある場合は，「*」を記載する。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

対象がない場合は，「－」を記載する。

評価対象がある場合は，「* 応答加速度は，打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。」と記載する。

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，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

評価クラス毎に記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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
1	SLC-1,2	800	56	132	2.35	－	8W	75	351	4.68	－	4	146	252	1.72	－	－	－	－
2	SLC-3,4,5	30W	96	132	1.37	○	30W	144	351	2.43	○	30W	202	252	1.24	○	－	－	－
3	SLC-6,7,8A	11	25	188	7.52	－	11	33	431	13.06	－	28	38	376	9.89	－	－	－	－
4	SLC-8B,9,10	25W	97	283	2.91	－	25W	120	376	3.13	－	25W	82	376	4.58	－	－	－	－
5	SLC-12B	431W	77	283	3.67	－	431W	98	376	3.83	－	431W	81	376	4.64	－	－	－	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

5.　弁の動的機能維持評価について

目　次

1.　はじめに..... 1
2.　弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について..... 1
3.　スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について..... 3
4.　高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果..... 3

添付 1 高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価
添付 2 弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて
添付 3 耐震計算書における機能維持評価の代表選定方法の妥当性について
添付 4 評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

1.　はじめに

本資料では，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則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（以下「技術基準規則解釈等の改正」という。）を踏まえて，弁の動的機能維持の検討方針を示す。

2.　弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について，規格基準に基づく設計手順を整理し，比較することにより示す。規格基準に基づく手法としてＪＥＡＧ4601の当該記載部の抜粋を図1に示す。

(1)　規格基準に基づく設計手順の整理

ＪＥＡＧ4601において，弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（以下「ZPA」という。）を用いること，また，柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモーダル解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより，弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2)　今回工認における東海第二発電所の設計手順

今回工認における東海第二発電所の弁駆動部での応答加速度値の設定は，上記のＪＥＡＧ4601の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。

ａ．剛の場合

配管系が剛な場合は，最大加速度に一定の余裕を考慮し1.2倍した値(1.2ZPA)を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し，機能維持評価を実施する。

ｂ．柔の場合

配管系の固有値が柔の場合は，ＪＥＡＧ4601の手順と同様にスペクトルモーダル解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて，剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から1.2倍した最大加速度（1.2ZPA）による弁駆動部の応答加速度を算定し，何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また，今回工認における弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において，剛領域の振動モードの影響を踏まえて，振動数領域を

20Hz から今回工認においては，50Hz まで考慮した地震応答解析により，弁駆動部の応答加速度値の算定を行う。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を表 1 に示す。表 1 に示すとおり，東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては，規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

表 1　弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の固有値	ＪＥＡＧ4601	東海第二発電所
剛の場合	最大加速度(1.0ZPA)を適用する。	最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析*1から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を適用する。

＊1　振動数領域として 50Hz まで考慮した地震応答解析により算定する。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり，(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み，地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は，配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は，静的応答解析を行うが，この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのＺＰＡ（ゼロ周期加速度）であり，これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また，剛の範囲にない場合には，原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い，算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に，弁の詳細評価が必要となる場合には，弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお，減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。

図１　ＪＥＡＧ4601（1991）の抜粋

3.　スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価について，動的機能維持要求弁として主蒸気逃がし安全弁，主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管に対して検討を行った。本検討では，東海第二発電所における従来の弁の機能維持評価に用いる振動数領域は20Hz までとしていたが，新たに 50Hz，100Hz まで考慮したスペクトルモーダル解析を実施した。本検討の詳細は添付１に示す。

解析結果として 50Hz まで振動数を考慮した場合については，20Hz に比べて応答加速度が増加したものの，100Hz まで考慮した場合では，50Hz の応答加速度に対して，弁駆動部の応答加速度値に増加がないことから，東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる振動数領域については，50Hz までを基本として評価を実施することとする。

また，本評価は代表的な弁での検討であるため，その他の動的機能要求弁についても同様の検討を行うことにより，機能維持の確認を行う。

4.　高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果

機能維持評価対象弁の高振動数領域を考慮した地震応答解析の結果について，表２に示す。表２には振動数領域を 50Hz までを基本として，100Hz まで考慮した場合の応答加速度も合わせて示す。また，100Hz まで考慮した応答加速度が 50Hz まで考慮した

場合の応答加速度に対して，10%以上の応答増加が有る場合については，その影響として更なる高振動数領域まで考慮した解析により，応答増加の影響を確認した。

表 2 に示すとおり，高振動数領域まで考慮した弁の応答加速度値として，機能維持対象弁は機能確認済加速度に収まることを確認した。

表 2(1)　高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX（50Hz，1.2ZPA）			MAX（100Hz，1.2ZPA）			増加率（②/①）	備　考
						評価用加速度*（①）	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度*（②）	機能確認済加速度	裕度		
1	MS	B22-F013A	主蒸気逃がし安全弁Ａ	安全弁	水平	6.63 (6.63) (1.54)	9.6	1.44	6.63 (6.63) (1.54)	9.6	1.44	1.00	
					鉛直	2.25 (2.25) (1.24)	6.1	2.71	2.35 (2.35) (1.24)	6.1	2.59	1.05	
2	MS	B22-F013B	主蒸気逃がし安全弁Ｂ	安全弁	水平	5.51 (5.51) (1.54)	9.6	1.74	5.51 (5.51) (1.54)	9.6	1.74	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.24)	6.1	2.83	2.15 (2.15) (1.24)	6.1	2.83	1.00	
3	MS	B22-F013C	主蒸気逃がし安全弁Ｃ	安全弁	水平	5.41 (5.41) (1.54)	9.6	1.77	5.41 (5.41) (1.54)	9.6	1.77	1.00	
					鉛直	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.00	
4	MS	B22-F013D	主蒸気逃がし安全弁Ｄ	安全弁	水平	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	1.00	
					鉛直	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.00	
5	MS	B22-F013E	主蒸気逃がし安全弁Ｅ	安全弁	水平	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	6.02 (6.02) (1.54)	9.6	1.59	1.00	
					鉛直	2.35 (2.35) (1.24)	6.1	2.59	2.45 (2.45) (1.24)	6.1	2.48	1.05	
6	MS	B22-F013F	主蒸気逃がし安全弁Ｆ	安全弁	水平	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	1.00	
					鉛直	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.00	
7	MS	B22-F013G	主蒸気逃がし安全弁Ｇ	安全弁	水平	6.33 (6.33) (1.54)	9.6	1.51	6.33 (6.33) (1.54)	9.6	1.51	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.00	
8	MS	B22-F013H	主蒸気逃がし安全弁Ｈ	安全弁	水平	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	1.00	
					鉛直	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.00	
9	MS	B22-F013J	主蒸気逃がし安全弁Ｊ	安全弁	水平	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	1.00	
					鉛直	2.04 (2.04) (1.24)	6.1	2.99	2.04 (2.15) (1.24)	6.1	2.99	1.00	
10	MS	B22-F013K	主蒸気逃がし安全弁Ｋ	安全弁	水平	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	6.74 (6.74) (1.54)	9.6	1.42	1.00	
					鉛直	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.00	
11	MS	B22-F013L	主蒸気逃がし安全弁Ｌ	安全弁	水平	5.61 (5.61) (1.54)	9.6	1.71	5.61 (5.61) (1.54)	9.6	1.71	1.00	
					鉛直	1.24 (1.02) (1.24)	6.1	4.91	1.24 (1.02) (1.24)	6.1	4.91	1.00	
12	MS	B22-F013M	主蒸気逃がし安全弁Ｍ	安全弁	水平	5.31 (5.31) (1.54)	9.6	1.80	5.31 (5.31) (1.54)	9.6	1.80	1.00	
					鉛直	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.74 (1.74) (1.24)	6.1	3.50	1.00	

＊：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

表 2(2)　高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX（50Hz，1.2ZPA）			MAX（100Hz，1.2ZPA）			増加率 (②/①)	備　考
						評価用加速度* (①)	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度* (②)	機能確認済加速度	裕度		
13	MS	B22-F013N	主蒸気逃がし安全弁Ｎ	安全弁	水平	5.10 (5.10) (1.54)	9.6	1.88	5.21 (5.21) (1.54)	9.6	1.84	1.03	
					鉛直	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.84 (1.84) (1.24)	6.1	3.31	1.00	
14	MS	B22-F013P	主蒸気逃がし安全弁Ｐ	安全弁	水平	4.39 (4.39) (1.54)	9.6	2.18	4.39 (4.39) (1.54)	9.6	2.18	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.43 (1.43) (1.24)	6.1	4.26	1.00	
15	MS	B22-F013R	主蒸気逃がし安全弁Ｒ	安全弁	水平	4.80 (4.80) (1.54)	9.6	2.00	4.80 (4.80) (1.54)	9.6	2.00	1.00	
					鉛直	2.35 (2.35) (1.24)	6.1	2.59	2.45 (2.45) (1.24)	6.1	2.48	1.05	
16	MS	B22-F013S	主蒸気逃がし安全弁Ｓ	安全弁	水平	4.70 (4.70) (1.54)	9.6	2.04	4.80 (4.80) (1.54)	9.6	2.00	1.03	
					鉛直	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.64 (1.64) (1.24)	6.1	3.71	1.00	
17	MS	B22-F013U	主蒸気逃がし安全弁Ｕ	安全弁	水平	5.72 (5.72) (1.54)	9.6	1.67	5.82 (5.82) (1.54)	9.6	1.64	1.02	
					鉛直	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.53 (1.53) (1.24)	6.1	3.98	1.00	
18	MS	B22-F013V	主蒸気逃がし安全弁Ｖ	安全弁	水平	5.21 (5.21) (1.54)	9.6	1.84	5.21 (5.21) (1.54)	9.6	1.84	1.00	
					鉛直	1.24 (1.23) (1.24)	6.1	4.91	1.33 (1.33) (1.24)	6.1	4.58	1.08	
19	MS	B22-F022A	主蒸気隔離弁第１弁Ａ	空気作動グローブ弁	水平	6.33 (6.33) (1.54)	10.0	1.57	6.33 (6.33) (1.54)	10.0	1.57	1.00	
					鉛直	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	1.00	
20	MS	B22-F022B	主蒸気隔離弁第１弁Ｂ	空気作動グローブ弁	水平	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	1.00	
					鉛直	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	5.51 (5.51) (1.24)	6.2	1.12	1.00	
21	MS	B22-F022C	主蒸気隔離弁第１弁Ｃ	空気作動グローブ弁	水平	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	7.35 (7.35) (1.54)	10.0	1.36	1.00	
					鉛直	5.31 (5.31) (1.24)	6.2	1.16	5.31 (5.31) (1.24)	6.2	1.16	1.00	
22	MS	B22-F022D	主蒸気隔離弁第１弁Ｄ	空気作動グローブ弁	水平	7.04 (7.04) (1.54)	10.0	1.42	7.04 (7.04) (1.54)	10.0	1.42	1.00	
					鉛直	5.41 (5.41) (1.24)	6.2	1.14	5.41 (5.41) (1.24)	6.2	1.14	1.00	
23	MS	B22-F028A	主蒸気隔離弁第２弁Ａ	空気作動グローブ弁	水平	4.70 (4.70) (1.54)	10.0	2.12	4.70 (4.70) (1.54)	10.0	2.12	1.00	
					鉛直	3.98 (3.98) (1.24)	6.2	1.55	3.98 (3.98) (1.24)	6.2	1.55	1.00	
24	MS	B22-F028B	主蒸気隔離弁第２弁Ｂ	空気作動グローブ弁	水平	5.10 (5.10) (1.54)	10.0	1.96	5.10 (5.10) (1.54)	10.0	1.96	1.00	
					鉛直	3.88 (3.88) (1.24)	6.2	1.59	3.88 (3.88) (1.24)	6.2	1.59	1.00	

＊：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

表 2(3)　高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX（50Hz，1.2ZPA）			MAX（100Hz，1.2ZPA）			増加率（②/①）	備　考
						評価用加速度*（①）	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度*（②）	機能確認済加速度	裕度		
25	MS	B22-F028C	主蒸気隔離弁第２弁Ｃ	空気作動グローブ弁	水平	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	1.00	
					鉛直	3.78 (3.78) (1.24)	6.2	1.64	3.78 (3.78) (1.24)	6.2	1.64	1.00	
26	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第２弁Ｄ	空気作動グローブ弁	水平	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	4.80 (4.80) (1.54)	10.0	2.08	1.00	
					鉛直	3.57 (3.57) (1.24)	6.2	1.73	3.68 (3.68) (1.24)	6.2	1.68	1.04	
27	FW	B22-F010A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.80 (4.80) (1.59)	6.0	1.25	4.90 (4.90) (1.59)	6.0	1.22	1.03	
					鉛直	3.17 (3.17) (1.31)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.31)	6.0	1.89	1.00	
28	FW	B22-F010B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.59 (4.59) (1.59)	6.0	1.30	4.59 (4.59) (1.59)	6.0	1.30	1.00	
					鉛直	2.96 (2.96) (1.31)	6.0	2.02	2.96 (2.96) (1.31)	6.0	2.02	1.00	
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.88 (3.88) (1.59)	6.0	1.54	3.88 (3.88) (1.59)	6.0	1.54	1.00	
					鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	6.0	4.58	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	4.19	1.10	
30	FW	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.68 (3.68) (1.59)	6.0	1.63	3.78 (3.78) (1.59)	6.0	1.58	1.03	
					鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	6.0	4.58	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	4.19	1.10	
31	RHR	E12-F008	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁（外側）	電動ゲート弁	水平	4.29 (4.29) (1.10)	6.0	1.39	4.29 (4.29) (1.10)	6.0	1.39	1.00	
					鉛直	1.23 (1.23) (0.96)	6.0	4.87	1.23 (1.23) (0.96)	6.0	4.87	1.00	
32	RHR	E12-F009	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁（内側）	電動ゲート弁	水平	3.37 (3.37) (1.54)	6.0	1.78	3.37 (3.37) (1.54)	6.0	1.78	1.00	
					鉛直	4.19 (4.19) (1.24)	6.0	1.43	4.19 (4.19) (1.24)	6.0	1.43	1.00	
33	RHR	E12-F023	残留熱除去系ヘッドスプレイ隔離弁	電動グローブ弁	水平	2.35 (2.35) (1.55)	6.0	2.55	2.35 (2.35) (1.55)	6.0	2.55	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.17)	6.0	2.79	2.15 (2.15) (1.17)	6.0	2.79	1.00	
34	RHR	E12-F024A	残留熱除去系Ａ系テストライン弁	電動ゲート弁	水平	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.64 (1.64) (1.01)	6.0	3.65	1.64 (1.64) (1.01)	6.0	3.65	1.00	
35	RHR	E12-F024B	残留熱除去系Ｂ系テストライン弁	電動ゲート弁	水平	2.96 (2.96) (1.34)	6.0	2.02	2.96 (2.96) (1.34)	6.0	2.02	1.00	
					鉛直	1.33 (1.33) (1.01)	6.0	4.51	1.33 (1.33) (1.01)	6.0	4.51	1.00	
36	RHR	E12-F027A	残留熱除去系Ａ系サプレッション・プールスプレイ弁	電動ゲート弁	水平	1.64 (1.64) (1.13)	6.0	3.65	1.64 (1.64) (1.13)	6.0	3.65	1.00	
					鉛直	4.80 (4.80) (0.99)	6.0	1.25	4.80 (4.80) (0.99)	6.0	1.25	1.00	

＊：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

表 2(4)　高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX（50Hz，1.2ZPA）			MAX（100Hz，1.2ZPA）			増加率 (②/①)	備　考
						評価用加速度* (①)	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度* (②)	機能確認済加速度	裕度		
37	RHR	E12-F027B	残留熱除去系Ｂ系サプレッション・プールスプレイ弁	電動 ゲート弁	水平	3.17 (3.17) (1.13)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.13)	6.0	1.89	1.00	
					鉛直	2.05 (2.05) (0.99)	6.0	2.92	2.05 (2.05) (0.99)	6.0	2.92	1.00	
38	RHR	E12-F041A	残留熱除去系Ａ系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	4.19 (4.19) (1.55)	6.0	1.43	4.19 (4.19) (1.55)	6.0	1.43	1.00	
					鉛直	2.76 (2.76) (1.36)	6.0	2.17	2.76 (2.76) (1.36)	6.0	2.17	1.00	
39	RHR	E12-F041B	残留熱除去系Ｂ系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	5.00 (5.00) (1.55)	6.0	1.20	5.00 (5.00) (1.55)	6.0	1.20	1.00	
					鉛直	3.17 (3.17) (1.36)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.36)	6.0	1.89	1.00	
40	RHR	E12-F041C	残留熱除去系Ｃ系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	4.39 (4.39) (1.55)	6.0	1.36	4.39 (4.39) (1.55)	6.0	1.36	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.36)	6.0	2.79	2.15 (2.15) (1.36)	6.0	2.79	1.00	
41	RHR	E12-F042A	残留熱除去系Ａ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.25 (2.25) (1.34)	6.0	2.66	2.25 (2.25) (1.34)	6.0	2.66	1.00	
					鉛直	4.90 (4.90) (1.01)	6.0	1.22	4.90 (4.90) (1.01)	6.0	1.22	1.00	
42	RHR	E12-F042B	残留熱除去系Ｂ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.05 (2.05) (1.34)	6.0	2.92	2.05 (2.05) (1.34)	6.0	2.92	1.00	
					鉛直	4.19 (4.19) (1.01)	6.0	1.43	4.19 (4.19) (1.01)	6.0	1.43	1.00	
43	RHR	E12-F042C	残留熱除去系Ｃ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.34)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	4.70 (4.70) (1.01)	6.0	1.27	4.70 (4.70) (1.01)	6.0	1.27	1.00	
44	RHR	E12-F048A	残留熱除去系熱交換器Ａバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	2.56 (2.56) (1.10)	6.0	2.34	2.56 (2.56) (1.10)	6.0	2.34	1.00	
					鉛直	1.64 (1.64) (0.96)	6.0	3.65	1.64 (1.64) (0.96)	6.0	3.65	1.00	
45	RHR	E12-F048B	残留熱除去系熱交換器Ｂバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	3.07 (3.07) (1.10)	6.0	1.95	3.07 (3.07) (1.10)	6.0	1.95	1.00	
					鉛直	0.96 (0.72) (0.96)	6.0	6.25	0.96 (0.72) (0.96)	6.0	6.25	1.00	
46	RHR	E12-F050A	残留熱除去系Ａ系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	5.82 (5.82) (1.54)	6.0	1.03	5.82 (5.82) (1.54)	6.0	1.03	1.00	
					鉛直	2.15 (2.15) (1.24)	6.0	2.79	2.15 (2.15) (1.24)	6.0	2.79	1.00	
47	RHR	E12-F050B	残留熱除去系Ｂ系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	3.57 (3.57) (1.54)	6.0	1.68	3.57 (3.57) (1.54)	6.0	1.68	1.00	
					鉛直	2.04 (2.04) (1.24)	6.0	2.94	2.04 (2.04) (1.24)	6.0	2.94	1.00	
48	RHR	E12-F053A	残留熱除去系Ａ系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	1.34 (0.31) (1.34)	6.0	4.47	1.34 (1.03) (1.34)	6.0	4.47	1.00	
					鉛直	1.01 (0.92) (1.01)	6.0	5.94	1.01 (0.92) (1.01)	6.0	5.94	1.00	

＊：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

表 2(5)　高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX（50Hz，1.2ZPA）			MAX（100Hz，1.2ZPA）			増加率 (②/①)	備　考
						評価用加速度* (①)	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度* (②)	機能確認済加速度	裕度		
49	RHR	E12-F053B	残留熱除去系Ｂ系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	5.62 (5.62) (1.13)	6.0	1.06	5.62 (5.62) (1.13)	6.0	1.06	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (0.99)	6.0	4.19	1.43 (1.43) (0.99)	6.0	4.19	1.00	
50	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.45 (2.45) (1.13)	6.0	2.44	2.45 (2.45) (1.13)	6.0	2.44	1.00	
					鉛直	0.99 (0.92) (0.99)	6.0	6.06	1.03 (1.03) (0.99)	6.0	5.82	1.05	
51	HPCS	E22-F005	高圧炉心スプレイ系テスタブル逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	2.76 (2.76) (1.55)	6.0	2.17	2.86 (2.86) (1.55)	6.0	2.09	1.04	
					鉛直	1.34 (1.13) (1.34)	6.0	4.47	1.34 (1.13) (1.34)	6.0	4.47	1.00	
52	LPCS	E21-F005	低圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	1.13 (0.92) (1.13)	6.0	5.30	1.13 (0.92) (1.13)	6.0	5.30	1.00	
					鉛直	1.84 (1.84) (0.99)	6.0	3.26	1.84 (1.84) (0.99)	6.0	3.26	1.00	
53	LPCS	E21-F006	低圧炉心スプレイ系テスト逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	3.68 (3.68) (1.55)	6.0	1.63	3.68 (3.68) (1.55)	6.0	1.63	1.00	
					鉛直	2.25 (2.25) (1.36)	6.0	2.66	2.25 (2.25) (1.36)	6.0	2.66	1.00	
54	RCIC	E51-F063	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.70 (4.70) (1.54)	6.0	1.27	4.70 (4.70) (1.54)	6.0	1.27	1.00	
					鉛直	3.98 (3.98) (1.24)	6.0	1.50	3.98 (3.98) (1.24)	6.0	1.50	1.00	
55	RCIC	E51-F064	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	1.55 (1.43) (1.55)	6.0	3.87	1.55 (1.54) (1.55)	6.0	3.87	1.00	
					鉛直	3.17 (3.17) (1.17)	6.0	1.89	3.17 (3.17) (1.17)	6.0	1.89	1.00	
56	RCIC	E51-F065	原子炉隔離時冷却系外側テスト逆止弁	逆止弁	水平	1.55 (0.21) (1.55)	6.0	3.87	1.55 (0.21) (1.55)	6.0	3.87	1.00	
					鉛直	1.17 (0.21) (1.17)	6.0	5.12	1.17 (0.31) (1.17)	6.0	5.12	1.00	
57	RCIC	E51-F066	原子炉隔離時冷却系内側テスト逆止弁	逆止弁	水平	1.85 (1.33) (1.85)	6.0	3.24	1.85 (1.64) (1.85)	6.0	3.24	1.00	
					鉛直	4.90 (4.90) (1.39)	6.0	1.22	4.90 (4.90) (1.39)	6.0	1.22	1.00	
58	CUW	G33-F001	原子炉冷却材浄化系内側隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.80 (4.80) (1.40)	6.0	1.25	4.80 (4.80) (1.40)	6.0	1.25	1.00	
					鉛直	1.43 (1.43) (1.18)	6.0	4.19	1.43 (1.43) (1.18)	6.0	4.19	1.00	
59	CUW	G33-F004	原子炉冷却材浄化系外側隔離弁	電動 ゲート弁	水平	2.76 (2.76) (1.34)	6.0	2.17	2.76 (2.76) (1.34)	6.0	2.17	1.00	
					鉛直	1.01 (0.11) (1.01)	6.0	5.94	1.01 (0.51) (1.01)	6.0	5.94	1.00	
60	HCU	C12-126	ＨＣＵスクラム弁（加圧・流入側）	空気作動グローブ弁	水平	1.29 - (1.29)	6.0	4.65	1.29 - (1.29)	6.0	4.65	1.00	
					鉛直	0.98 — (0.98)	6.0	6.12	0.98 – (0.98)	6.0	6.12	1.00	

＊：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

表 2(6)　高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX（50Hz，1.2ZPA）			MAX（100Hz，1.2ZPA）			増加率 (②/①)	備　考
						評価用加速度* (①)	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度* (②)	機能確認済加速度	裕度		
61	HCU	C12-127	ＨＣＵスクラム弁（排出側）	空気作動グローブ弁	水平	1.29 － (1.29)	6.0	4.65	1.29 － (1.29)	6.0	4.65	1.00	
					鉛直	0.98 － (0.98)	6.0	6.12	0.98 － (0.98)	6.0	6.12	1.00	
62	FRVS	SB2-4A	ＦＲＶＳ・ＳＧＴＳ系入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	3.47 (3.47) (1.67)	6.0	1.72	3.47 (3.47) (1.67)	6.0	1.72	1.00	
					鉛直	3.78 (3.78) (1.44)	6.0	1.58	3.78 (3.78) (1.44)	6.0	1.58	1.00	
63	FRVS	SB2-4B	ＦＲＶＳ・ＳＧＴＳ系入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	5.11 (5.11) (1.67)	6.0	1.17	5.11 (5.11) (1.67)	6.0	1.17	1.00	
					鉛直	3.47 (3.47) (1.44)	6.0	1.72	3.47 (3.47) (1.44)	6.0	1.72	1.00	
64	FRVS	SB2-5A	非常用ガス再循環系トレインＡ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	5.52 (5.52) (1.67)	6.0	1.08	5.52 (5.52) (1.67)	6.0	1.08	1.00	
					鉛直	5.62 (5.62) (1.44)	6.0	1.06	5.62 (5.62) (1.44)	6.0	1.06	1.00	
65	FRVS	SB2-5B	非常用ガス再循環系トレインＢ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	1.94 (1.94) (1.74)	6.0	3.09	2.04 (2.04) (1.74)	6.0	2.94	1.06	
					鉛直	5.92 (5.92) (1.52)	6.0	1.01	5.92 (5.92) (1.52)	6.0	1.01	1.00	
66	FRVS	SB2-7A	非常用ガス再循環系トレインＡ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00	
67	FRVS	SB2-7B	非常用ガス再循環系トレインＢ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00	
68	FRVS	SB2-13A	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	2.55 (2.55) (1.67)	6.0	2.35	2.55 (2.55) (1.67)	6.0	2.35	1.00	
					鉛直	4.39 (4.39) (1.44)	6.0	1.36	4.39 (4.39) (1.44)	6.0	1.36	1.00	
69	FRVS	SB2-13B	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	4.29 (4.29) (1.67)	6.0	1.39	4.29 (4.29) (1.67)	6.0	1.39	1.00	
					鉛直	4.59 (4.59) (1.44)	6.0	1.30	4.59 (4.59) (1.44)	6.0	1.30	1.00	
70	SGTS	SB2-9B	非常用ガス処理系トレインＢ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00	
71	SGTS	SB2-9A	非常用ガス処理系トレインＡ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.40 － (1.40)	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00 － (1.00)	6.0	6.00	1.00	
72	SGTS	SB2-11B	非常用ガス処理系トレインＢ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.00	

＊：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

表 2(7)　高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX（50Hz，1.2ZPA）			MAX（100Hz，1.2ZPA）			増加率 (②/①)	備　考
						評価用加速度* (①)	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度* (②)	機能確認済加速度	裕度		
73	SGTS	SB2-11A	非常用ガス処理系トレインＡ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.94 (1.94) (1.67)	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.44 (0.01) (1.44)	6.0	4.16	1.00	

＊：上段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz又は100Hz）の値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）の値。

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

1. はじめに

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価として，主蒸気逃がし安全弁及び主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管について，スペクトルモーダル解析にて考慮する範囲として 20Hz，50Hz 及び 100Hz までとし，各々評価結果として，弁駆動部の応答加速度を算定した。

2. 解析モデル

弁の機能維持評価に用いる主蒸気系配管の解析モデルを図 1 に示す。評価に用いる解析モデルは，原子炉圧力容器ノズルから主蒸気隔離弁の下流側をアンカ点としたモデルであり，また主蒸気逃がし安全弁の排気管についてもモデル化している。

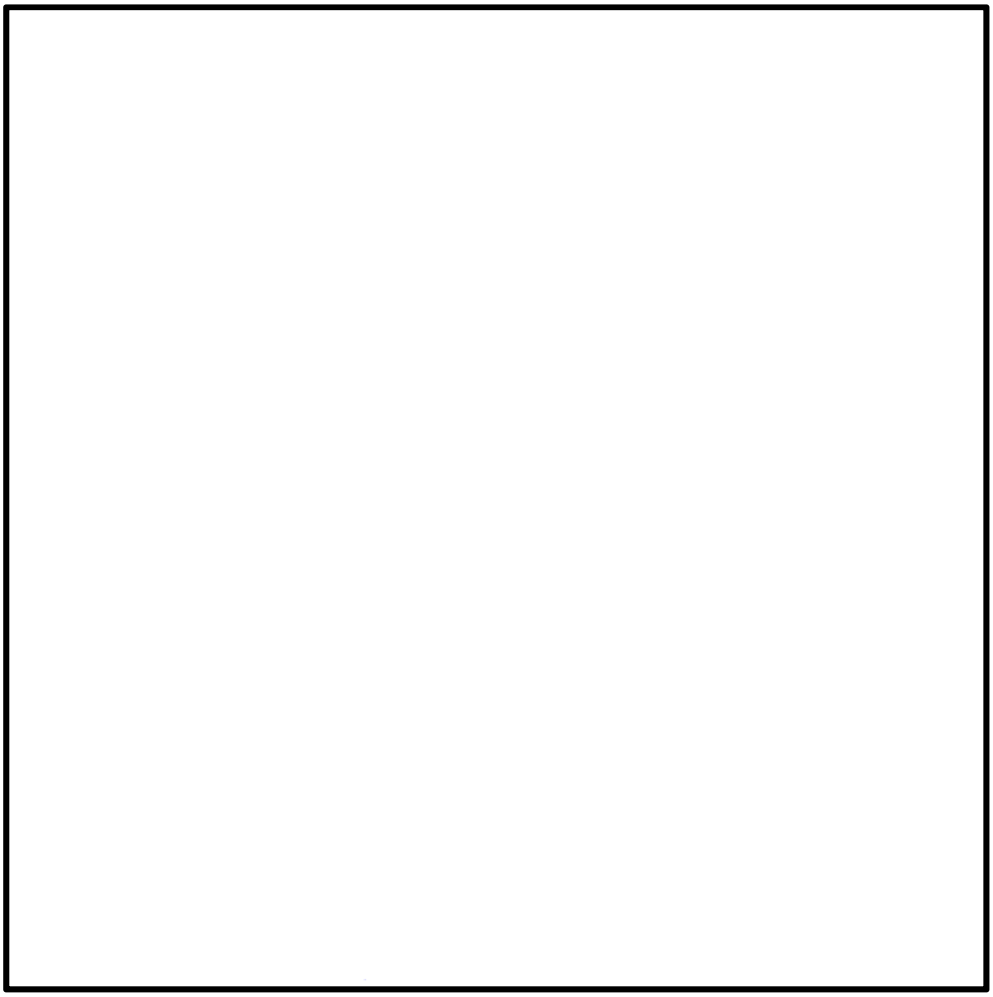


図 1 主蒸気系配管の解析モデル図

3.　入力条件

当該解析モデルは柔構造であることから，スペクトルモーダル解析から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を適用して機能維持評価を行う。

スペクトルモーダル解析における入力条件としては，設計用床応答曲線に 1.5 倍の余裕を見込んだ加速度値を用いることとする。なお設計用床応答曲線の作成を 20Hz としていることから，20Hz を超えた範囲については，最大応答加速度を入力とする。入力条件となる動的機能維持評価用床応答スペクトルを図 2 に示す。動的機能維持評価用床応答スペクトルの適用性を添付 2 に示す。

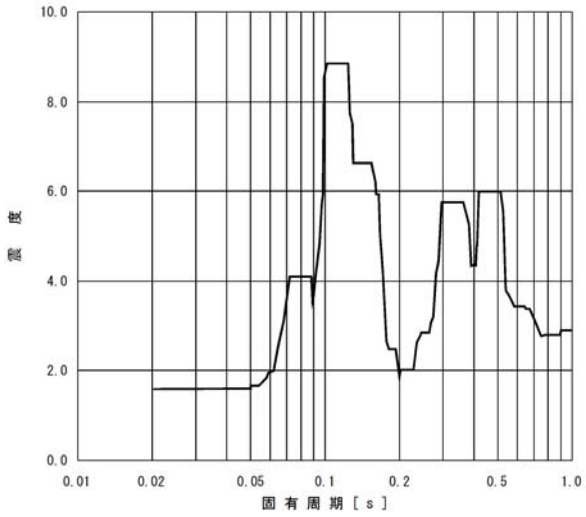


図 2(1)　原子炉本体の基礎（EL.19.856m）の動的機能維持評価用床応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 2.0%）

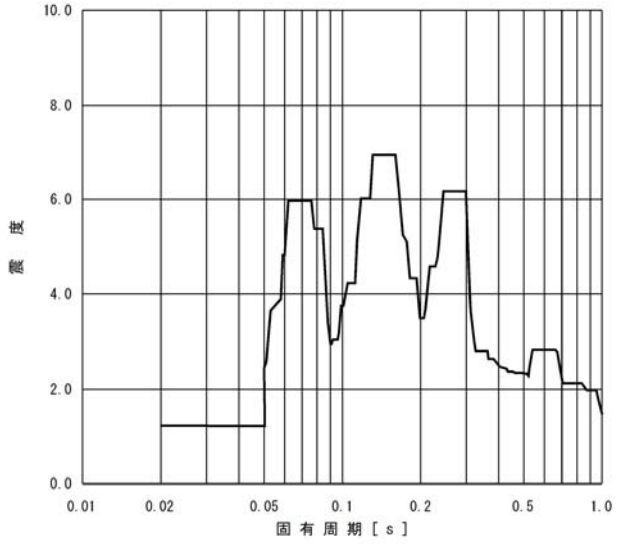


図 2(2)　原子炉本体の基礎（EL.19.856m）の動的機能維持評価用床応答スペクトル
（鉛直方向，減衰定数 2.0%）

4.　固有値解析結果

主蒸気系配管の固有値解析結果として，固有周期，刺激係数及び設計震度を表 1 に，振動モード図を図 3 に示す。

表 1　主蒸気系配管の固有周期，刺激係数及び設計震度

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
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次								
138 次								

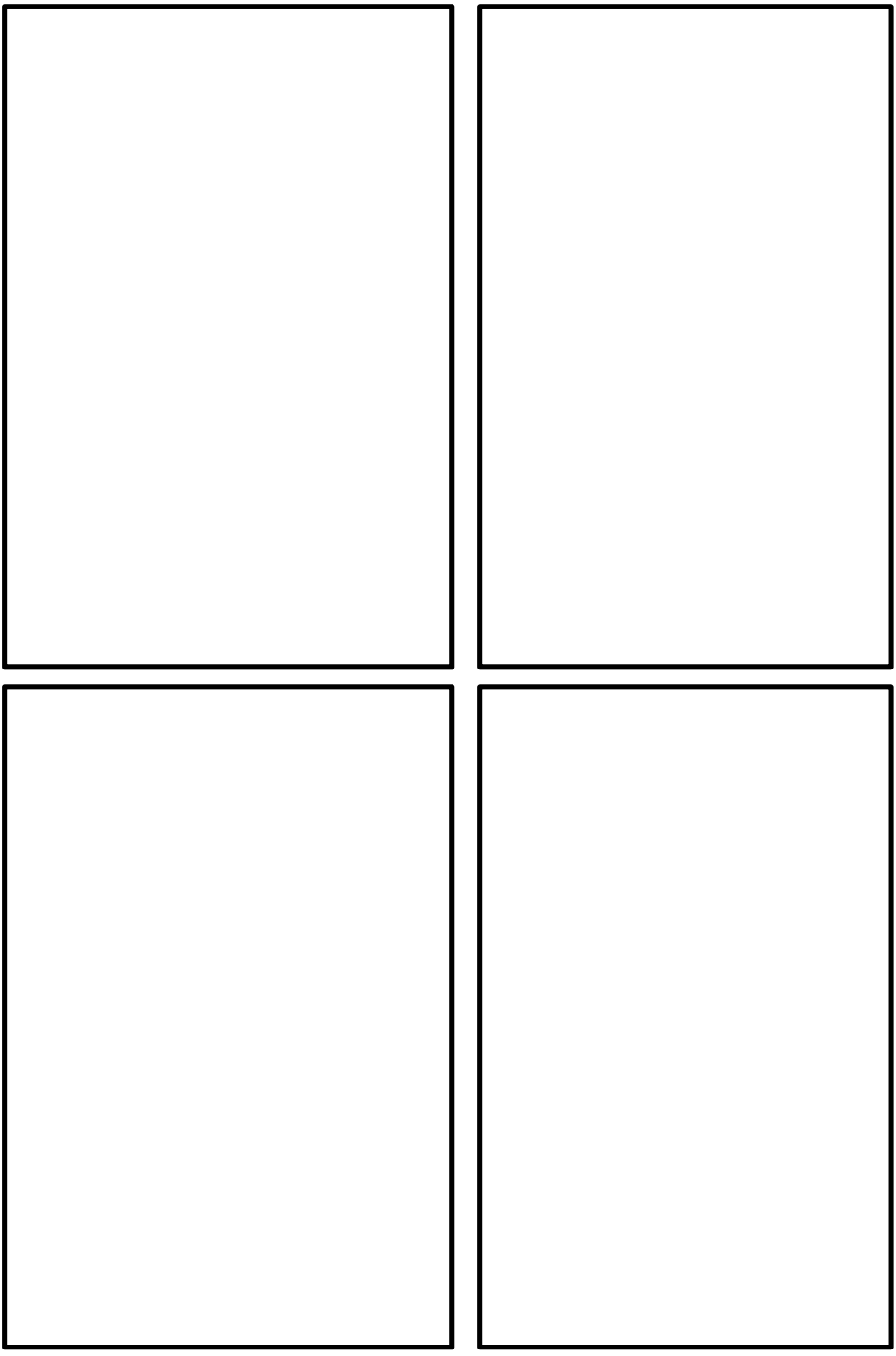


図 3(1)　主蒸気系配管の振動モード図

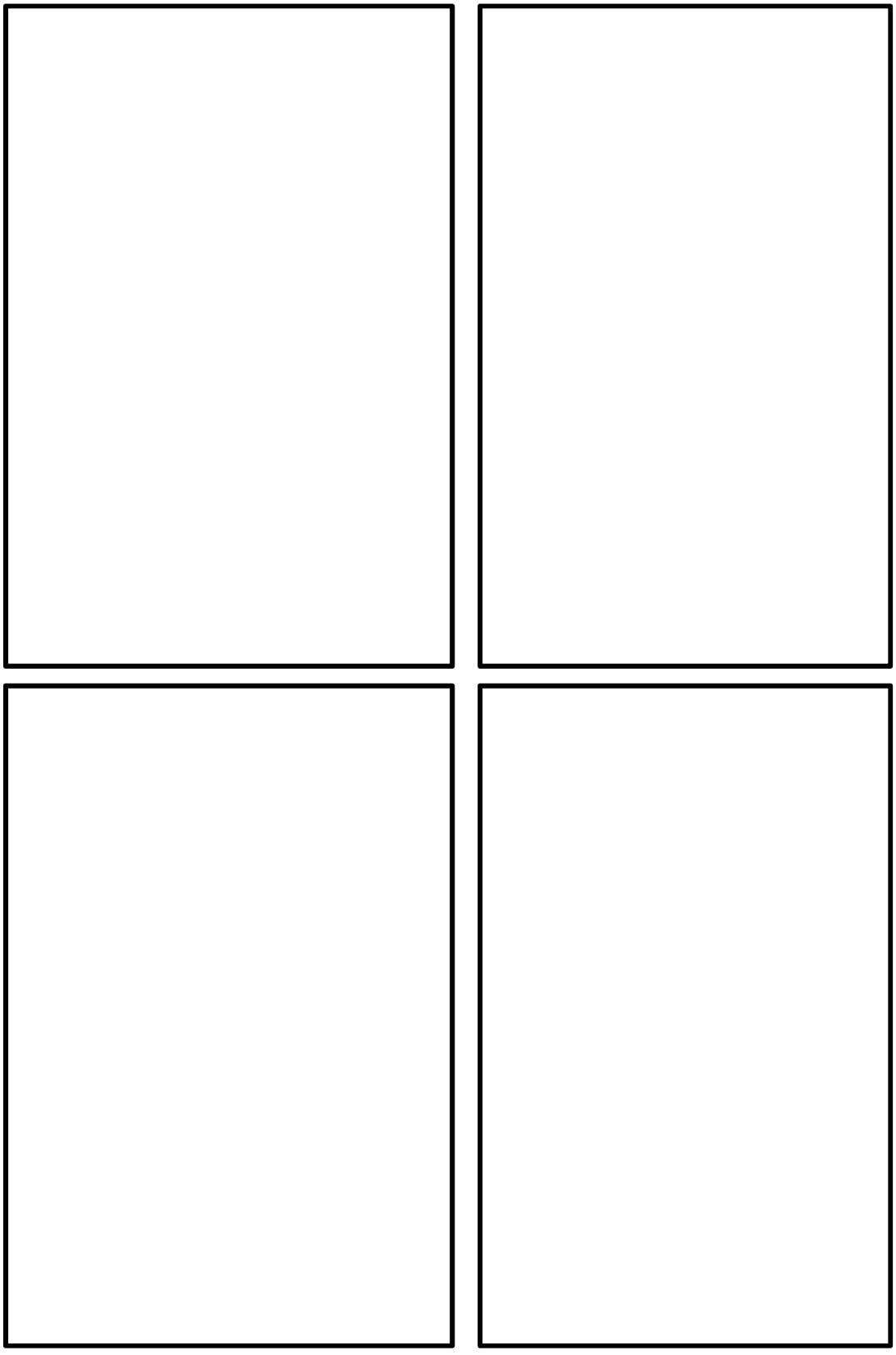


図 3(2)　主蒸気系配管の振動モード図

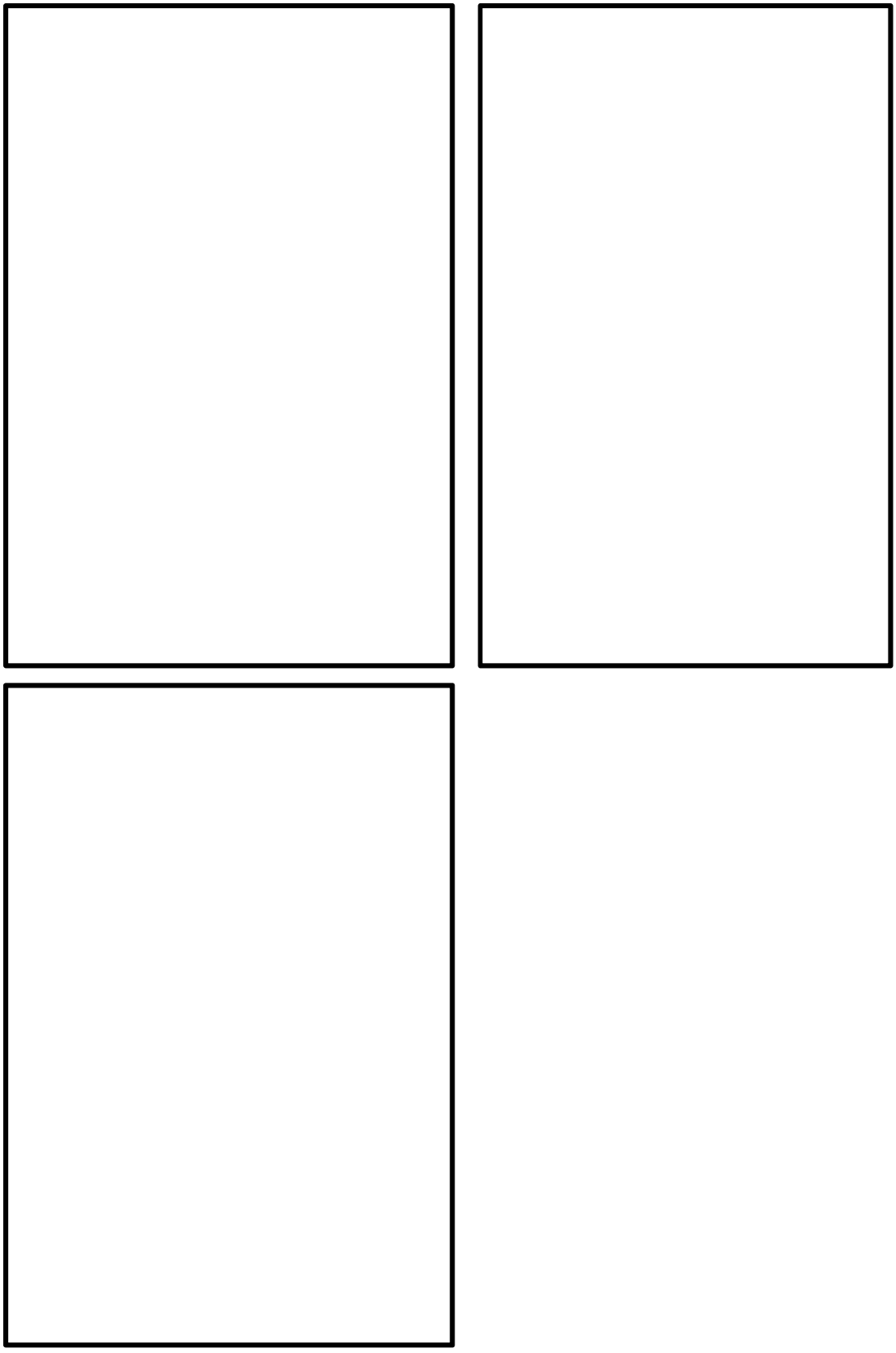


図 3(3)　主蒸気系配管の振動モード図

5.　解析結果

解析モデルを用いた地震応答解析による弁駆動部における応答加速度の算定結果を表 2 に示す。表 2 に示すとおり 20Hz の応答加速度に対して，50Hz まで考慮した応答加速度は増加しているものの，100Hz まで考慮した応答加速度は，50Hz に対して増加は認められなかった。

表 2　弁駆動部における応答加速度

弁名称	方向	スペクトルモーダル解析(G)			最大加速度(1.2ZPA)(G)
		20Hz	50Hz	100Hz	
主蒸気逃がし安全弁	水平	5.41	5.52	5.52	1.54
	鉛直	1.84	2.05	2.05	1.24
主蒸気隔離弁（格納容器内側）	水平	7.35	7.35	7.35	1.54
	鉛直	5.41	5.41	5.41	1.24
主蒸気隔離弁（格納容器外側）	水平	4.90	5.00	5.00	1.54
	鉛直	3.88	3.88	3.88	1.24

弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

1. はじめに

工事計画に係る補足説明資料【補足-340-13 機電分耐震計算書の補足について】の「2.設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法」にて，機器・配管系の耐震設計における剛柔判断の固有振動数を 20Hz とすることの妥当性を確認している。前述の資料では，20Hz 近傍にて卓越する応答を示す原子炉格納容器の設計用床応答曲線を用いる配管系について，従来の応力評価手法の妥当性の確認を実施している。

本資料では上記図書と同様に，当該配管に設置された動的機能維持要求弁の加速度応答の算出に用いる床応答スペクトル（図 1 参照）として，20Hz まで作成した設計用床応答曲線に 20Hz より剛側を最大加速度とすることが妥当であることを確認する。

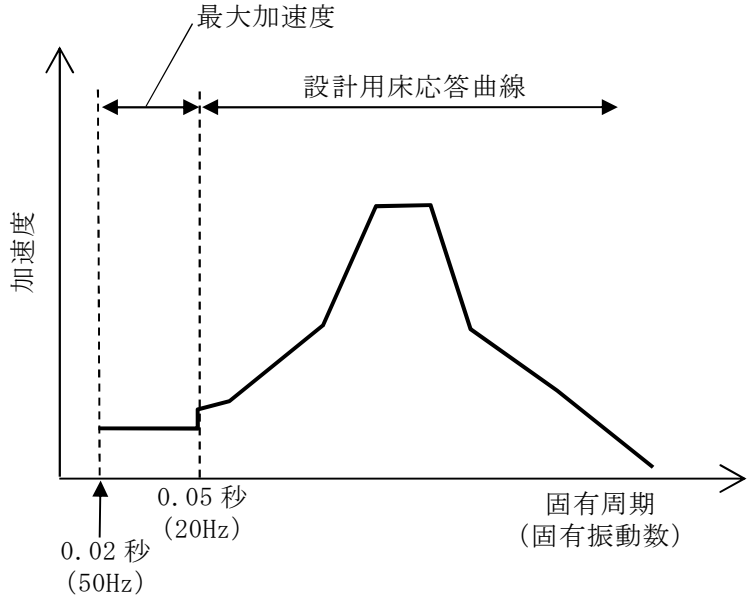


図 1　動的機能維持要求弁に用いる床応答スペクトル（イメージ図）

2. 配管系の地震応答解析

原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用し，スペクトルモーダル解析を実施する解析モデルは，原子炉隔離時冷却系配管の１モデルのみである。当該解析モデルを図 2 に示すとおり，原子炉圧力容器ノズル付近に逆止弁を有し，当該弁が動的機能維持の確認が必要となる。

図 2 原子炉隔離時冷却系配管解析モデル図

3. 確認内容

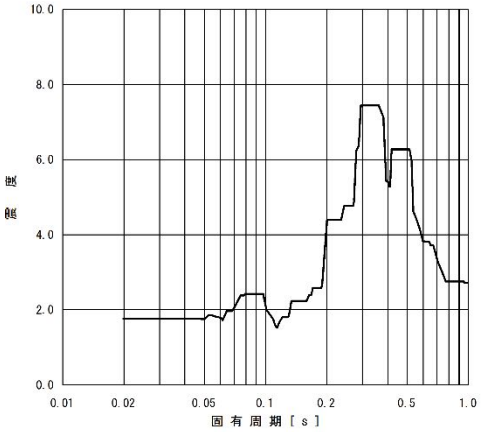
動的機能維持対象弁の応答加速度値の算出に用いる床応答スペクトルとして，以下 2 種類作成し，スペクトルモーダル解析により弁位置の応答加速度を算出することにより行う。

a．動的機能維持評価用床応答スペクトル

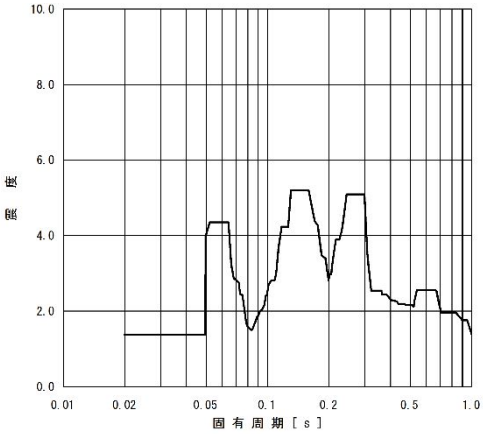
東海第二発電所動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルで有り，床応答スペクトルの作成を 20Hz とし，20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成する（図 3)。

b．検討用床応答スペクトル

動的機能維持確認用床応答スペクトルでの応答比較のために用いる床応答スペクトルとし,床応答スペクトルの作成範囲を 50Hz とする（図 4)。



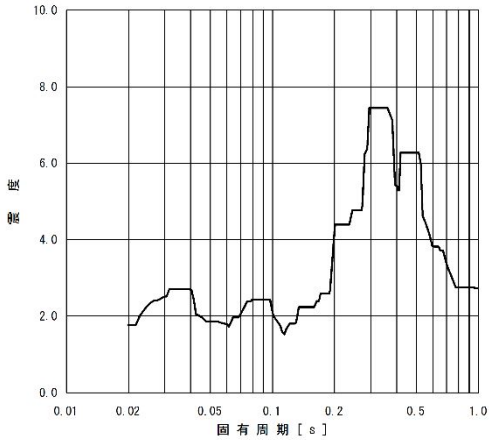
水平方向



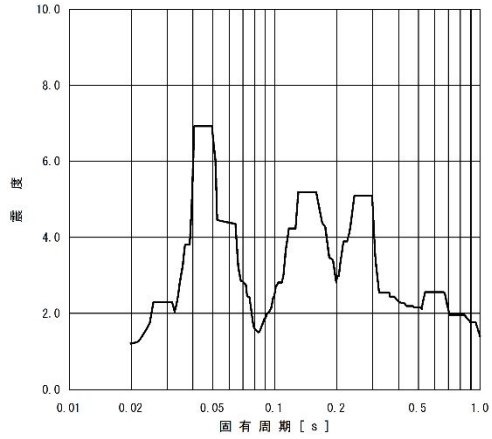
鉛直方向

図 3　動的機能維持評価用床応答スペクトル

（原子炉格納容器　EL. 39.431m 減衰定数 2.5%）



水平方向



鉛直方向

図 4　検討用床応答スペクトル

（原子炉格納容器　EL. 39.431m 減衰定数 2.5%）

4. 解析結果及び考察

(1) 解析結果

固有値解析結果として，固有振動数及び刺激係数を表 2 に，主要次数のモード図を図 5 に示す。

各床応答スペクトルを用いた地震応答解析による弁駆動部の応答加速度の算定結果を表 1 に示す。表 1 に示すとおり今回評価に適用する 20Hz まで作成した床応答スペクトル及び最大加速度 1.2ZPA の弁駆動部の応答加速度よりも 50Hz まで作成した応答スペクトルのほうが大きく値となったものの，その差は僅かであり，また確認済加速度より小さいことが確認できた。

表 1 弁駆動部位置における応答加速度

		弁駆動部の応答加速度 (G)		確認済加速度 (G)
		水平方向	鉛直方向	
動的機能維持評価用	動的機能維持確認用床応答スペクトル*1による結果	1.33	4.90	6.0
	最大加速度 1.2ZPA	1.85	1.39	
	包絡値	1.85	4.90	
検討用	検討用床応答スペクトル*2による結果	1.94	5.10	6.0

＊１：床応答スペクトルの作成を 20Hz とし，20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成（図 3）

＊２：床応答スペクトルの範囲を 50Hz として作成（図 4）

(2) 解析結果を踏まえた対応

本検討に用いた床応答スペクトルは，20Hz に応答が卓越する構築物に設置される配管系を用いて検討を実施した。20Hz に卓越する応答を有する厳しい条件においても弁位置の応答増加は，1.85Ｇから 1.94Ｇの増加でその割合は 5%程度であった。

本解析結果を踏まえて，20Hz に卓越する応答を示す構築物として原子炉格納容器の

床応答スペクトルを用いる配管系において，10％の裕度が確保できない弁については，3.項に示す「検討用床応答スペクトル」を用いた地震応答解析結果から算定される弁駆動部の応答加速度に対しても，弁の機能維持が確保できることを確認する。具体的には，弁駆動部の応答加速度が確認済加速度に収まることを確認する。応答加速度が確認済加速度を超える場合には，ＪＥＡＧ4601－1991 による詳細解析により弁の機能維持が確保できることを確認する。

弁の動的機能維持評価の結果，裕度 10％を確保できない弁について原子炉格納容器の床応答スペクトルを用いたものはなかった。

表 2 原子炉隔離時冷却系配管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
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次								
11 次								
12 次								

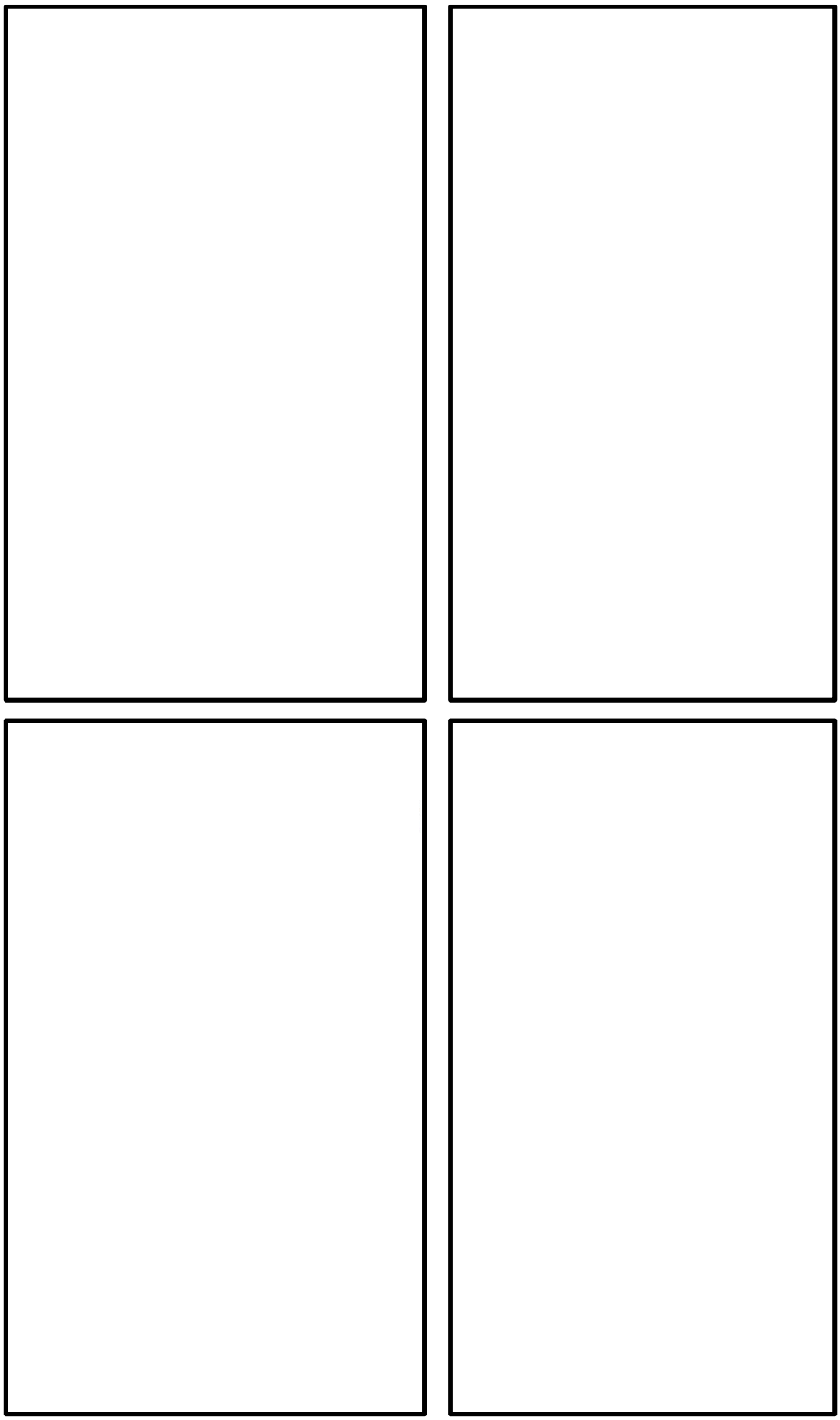


図 5(1)　原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

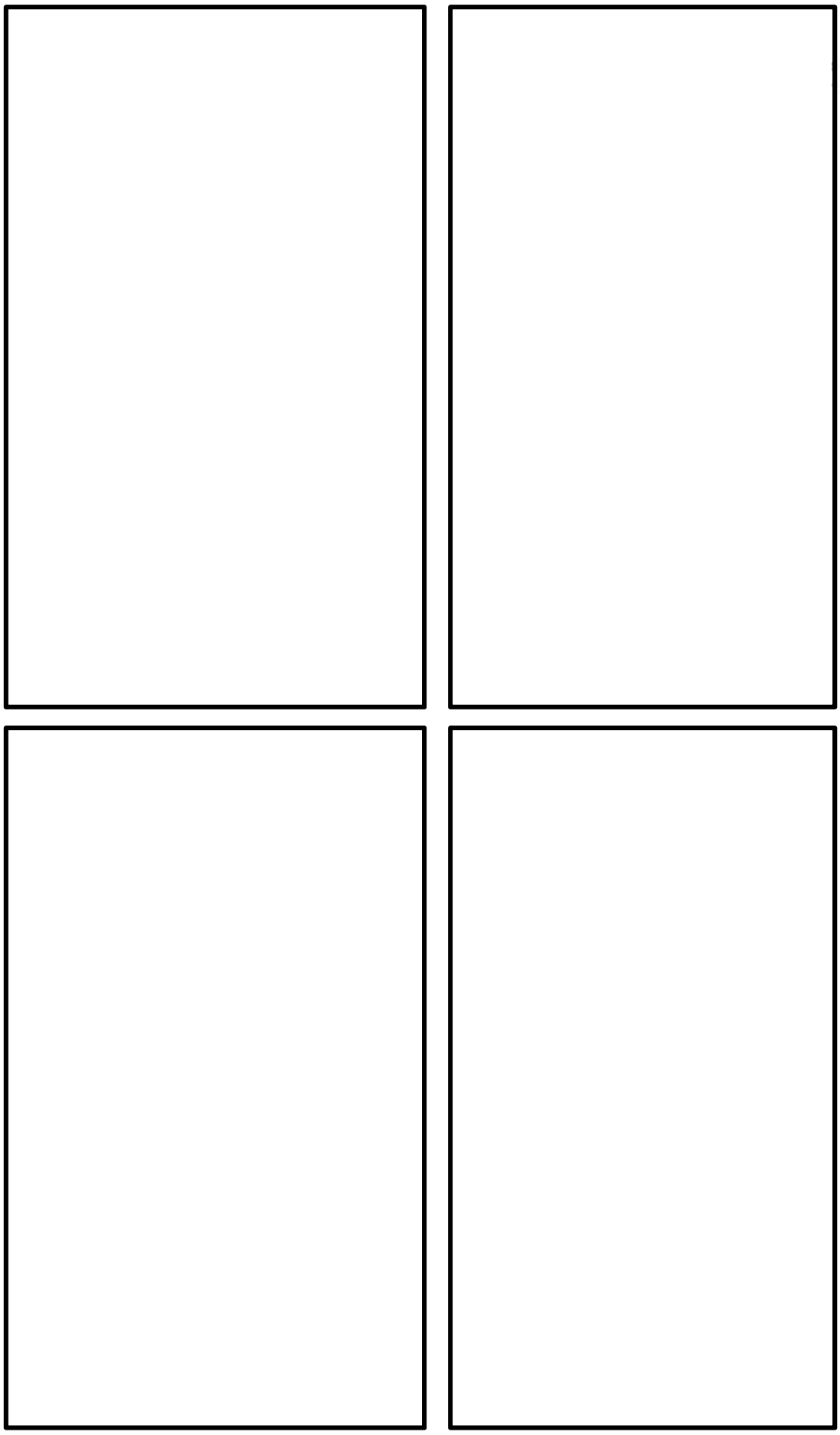


図 5(2)　原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

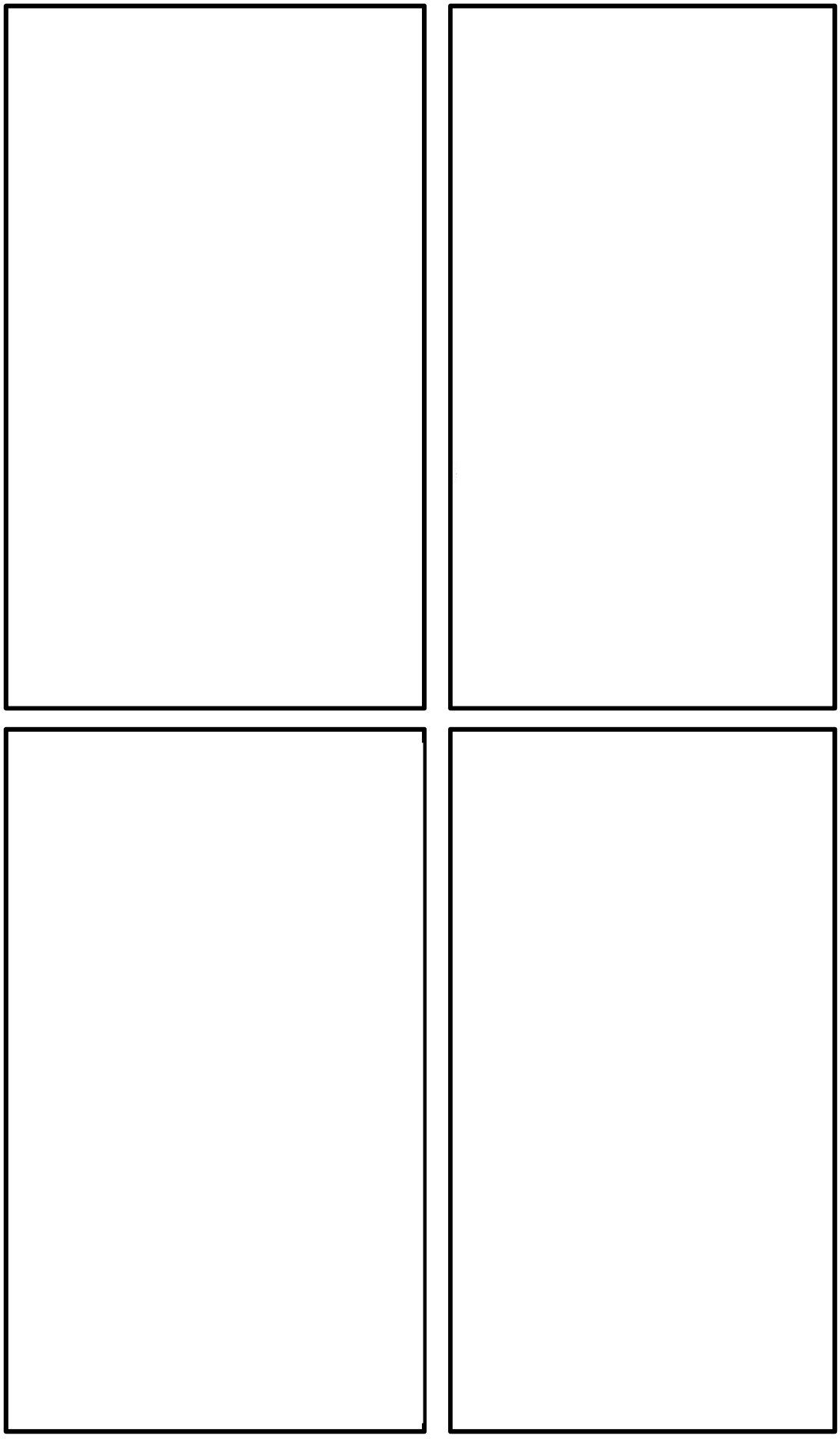


図 5(3)　原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

添付３

耐震計算書における機能維持評価の代表選定方法の妥当性について

１．概要

東海第二発電所については，工認耐震計算書のうち各申請設備の「管の耐震性についての計算書」において，弁の機能維持評価を実施している。「管の耐震性についての計算書」においては，工認の要目表に記載のある弁のうち，動的機能維持が要求される弁を選定し，弁型式ごとに「機能確認済加速度」に対する「評価用加速度」の裕度が最も小さい弁の評価結果を代表として記載している。

本資料は「管の耐震性についての計算書」に記載している機能維持評価の代表機器選定方法の妥当性について説明するものである。

２．機能維持評価対象の代表機器の選定方法について

機能維持評価対象機器の代表機器を選定するために，工認の要目表に記載のある弁から，JEAG4601・補－1984 並びに JEAG4601－1991 追補版に基づき動的機能維持評価の要求の有無を整理した。(別添 1 参照)

本資料は，設計基準対象施設を対象として整理しているが，重大事故等対象施設として動的機能維持が要求される弁が新たに追加されないことを確認している。

別添１

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 （●　７３個）	動的機能維持が 要求される理由※１ 表Ⅱ－１分類例	動的機能維持要求が除外される理由※２
1	MS	B22-F013A	主蒸気逃がし安全弁A	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
2	MS	B22-F013B	主蒸気逃がし安全弁B	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
3	MS	B22-F013C	主蒸気逃がし安全弁C	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
4	MS	B22-F013D	主蒸気逃がし安全弁D	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
5	MS	B22-F013E	主蒸気逃がし安全弁E	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
6	MS	B22-F013F	主蒸気逃がし安全弁F	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
7	MS	B22-F013G	主蒸気逃がし安全弁G	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
8	MS	B22-F013H	主蒸気逃がし安全弁H	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
9	MS	B22-F013J	主蒸気逃がし安全弁Ｊ	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
10	MS	B22-F013K	主蒸気逃がし安全弁K	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
11	MS	B22-F013L	主蒸気逃がし安全弁L	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
12	MS	B22-F013M	主蒸気逃がし安全弁M	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
13	MS	B22-F013N	主蒸気逃がし安全弁N	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
14	MS	B22-F013P	主蒸気逃がし安全弁P	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
15	MS	B22-F013R	主蒸気逃がし安全弁R	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
16	MS	B22-F013S	主蒸気逃がし安全弁S	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
17	MS	B22-F013U	主蒸気逃がし安全弁U	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
18	MS	B22-F013V	主蒸気逃がし安全弁V	安全弁	●	As-（ｉ）-①-② As-（ⅱ）-①-①	
19	MS	B22-F022A	主蒸気隔離弁第１弁A	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
20	MS	B22-F022B	主蒸気隔離弁第１弁B	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
21	MS	B22-F022C	主蒸気隔離弁第１弁C	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
22	MS	B22-F022D	主蒸気隔離弁第１弁D	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
23	MS	B22-F028A	主蒸気隔離弁第２弁A	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
24	MS	B22-F028B	主蒸気隔離弁第２弁B	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
25	MS	B22-F028C	主蒸気隔離弁第２弁C	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
26	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第２弁D	空気作動 グローブ弁	●	As-（ｉ）-①-①	
27	FW	B22-F010A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As-（ｉ）-③-①	
28	FW	B22-F010B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As-（ｉ）-③-①	

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 （● ７３個）	動的機能維持が 要求される理由※１ 表Ⅱ－１分類例	動的機能維持要求が 除外される理由※２
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As-（ｉ）-③-①	
30	FW	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	●	As-（ｉ）-③-①	
31	RHR	E12-F005	残留熱除去系停止時冷却ライン安全弁	安全弁	×	—	①
32	RHR	E12-F008	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁（外側）	電動 ゲート弁	●	As-（ⅱ）-④-①	
33	RHR	E12-F009	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁（内側）	電動 ゲート弁	●	As-（ⅱ）-④-①	
34	RHR	E12-F023	残留熱除去系ヘッドスプレイ隔離弁	電動 グローブ弁	●	As-（ⅱ）-④-①	
35	RHR	E12-F024A	残留熱除去系Ａ系テストライン弁	電動 ゲート弁	●	As-（ⅳ）	
36	RHR	E12-F024B	残留熱除去系Ｂ系テストライン弁	電動 ゲート弁	●	As-（ⅳ）	
37	RHR	E12-F025A	残留熱除去系Ａ出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
38	RHR	E12-F025B	残留熱除去系Ｂ出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
39	RHR	E12-F025C	残留熱除去系Ｃ出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
40	RHR	E12-F027A	残留熱除去系Ａ系サプレッション・プールスプレイ弁	電動 ゲート弁	●	A-（ⅱ）-①-①	
41	RHR	E12-F027B	残留熱除去系Ｂ系サプレッション・プールスプレイ弁	電動 ゲート弁	●	A-（ⅱ）-①-①	
42	RHR	E12-F041A	残留熱除去系Ａ系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	A-（ｉ）-①-3)-①	
43	RHR	E12-F041B	残留熱除去系Ｂ系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	A-（ｉ）-①-3)-①	
44	RHR	E12-F041C	残留熱除去系Ｃ系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	A-（ｉ）-①-3)-①	
45	RHR	E12-F042A	残留熱除去系Ａ系注入弁	電動 ゲート弁	●	A-（ｉ）-①-3)-①	
46	RHR	E12-F042B	残留熱除去系Ｂ系注入弁	電動 ゲート弁	●	A-（ｉ）-①-3)-①	
47	RHR	E12-F042C	残留熱除去系Ｃ系注入弁	電動 ゲート弁	●	A-（ｉ）-①-3)-①	
48	RHR	E12-F048A	残留熱除去系熱交換器Ａバイパス弁	電動 グローブ弁	●	As-（ⅱ）-④-① A-（ⅱ）-①-①	
49	RHR	E12-F048B	残留熱除去系熱交換器Ｂバイパス弁	電動 グローブ弁	●	As-（ⅱ）-④-① A-（ⅱ）-①-①	
50	RHR	E12-F050A	残留熱除去系Ａ系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	As-（ⅱ）-④-①	
51	RHR	E12-F050B	残留熱除去系Ｂ系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	●	As-（ⅱ）-④-①	
52	RHR	E12-F053A	残留熱除去系Ａ系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	●	As-（ⅱ）-④-①	
53	RHR	E12-F053B	残留熱除去系Ｂ系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	●	As-（ⅱ）-④-①	
54	RHR	E12-FF028	残留熱除去系停止時冷却入口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
55	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	●	As-（ⅱ）-③-①	
56	HPCS	E22-F005	高圧炉心スプレイ系テスタブル逆止弁	空気作動 逆止弁	●	As-（ⅱ）-③-①	

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 （● ７３個）	動的機能維持が 要求される理由※１ 表Ⅱ－１分類例	動的機能維持要求が除外される理由※２
57	HPCS	E22-F014	高圧炉心スプレイ系入口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
58	HPCS	E22-F035	高圧炉心スプレイ系出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
59	LPCS	E21-F005	低圧炉心スプレイ系注入弁	**電動 ゲート弁**	●	A-（ｉ）-①-2)-①	
60	LPCS	E21-F006	低圧炉心スプレイ系テスト逆止弁	空気作動 逆止弁	●	A-（ｉ）-①-2)-①	
61	LPCS	E21-F018	低圧炉心スプレイ系出口ライン安全弁	安全弁	×	—	①
62	RCIC	E51-F017	原子炉隔離時冷却系ポンプ入口ライン逃し弁	安全弁	×	—	①
63	RCIC	E51-F063	RCICタービン蒸気供給隔離弁	**電動 ゲート弁**	●	As-（ⅳ）	
64	RCIC	E51-F064	RCICタービン蒸気供給隔離弁	**電動 ゲート弁**	●	As-（ⅳ）	
65	RCIC	E51-F065	原子炉隔離時冷却系外側テスト逆止弁	逆止弁	●	As-（ⅱ）-②-②	
66	RCIC	E51-F066	原子炉隔離時冷却系内側テスト逆止弁	逆止弁	●	As-（ⅱ）-②-②	
67	CUW	G33-F001	原子炉冷却材浄化系内側隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-（ｉ）-④-①	
68	CUW	G33-F004	原子炉冷却材浄化系外側隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-（ｉ）-④-①	
69	SLC	C41-F029A	ほう酸水注入ポンプＡ逃し弁	安全弁	×	—	①
70	SLC	C41-F029B	ほう酸水注入ポンプＢ逃し弁	安全弁	×	—	①
71	HCU	C12-126	ＨＣＵスクラム弁（加圧・流入側）	空気作動グローブ弁	●	As-（ⅲ）-①-②	
72	HCU	C12-127	ＨＣＵスクラム弁（排出側）	空気作動グローブ弁	●	As-（ⅲ）-①-②	
73	ED	G13-F132	原子炉格納容器ドレン系機器ドレン隔離弁（外側）	空気作動ゲート弁	×	—	②
74	ED	G13-F133	原子炉格納容器ドレン系機器ドレン隔離弁（内側）	空気作動ゲート弁	×	—	②
75	FD	G13-F129	原子炉格納容器ドレン系床ドレン隔離弁（外側）	空気作動ゲート弁	×	—	③
76	FD	G13-F130	原子炉格納容器ドレン系床ドレン隔離弁（内側）	空気作動ゲート弁	×	—	③
77	FRVS	SB2-4A	ＦＲＶＳ・ＳＧＴＳ系入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
78	FRVS	SB2-4B	ＦＲＶＳ・ＳＧＴＳ系入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
79	FRVS	SB2-5A	非常用ガス再循環系トレインＡ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
80	FRVS	SB2-5B	非常用ガス再循環系トレインＢ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
81	FRVS	SB2-7A	非常用ガス再循環系トレインＡ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
82	FRVS	SB2-7B	非常用ガス再循環系トレインＢ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
83	FRVS	SB2-13A	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
84	FRVS	SB2-13B	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	

別添１

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が要求される弁 （●　７３個）	動的機能維持が 要求される理由※１ 表Ⅱ－１分類例	動的機能維持要求が除外される理由※２
85	SGTS	SB2-9B	非常用ガス処理系トレインＢ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
86	SGTS	SB2-9A	非常用ガス処理系トレインＡ入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
87	SGTS	SB2-11B	非常用ガス処理系トレインＢ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
88	SGTS	SB2-11A	非常用ガス処理系トレインＡ出口ダンパ	空気作動バタフライ弁	●	A-（ⅱ）-③-①	
89	FCS	2-43V-6A	可燃性ガス濃度制御系ウォータセパレータＡ出口逃し弁	安全弁	×	—	①
90	FCS	2-43V-6B	可燃性ガス濃度制御系ウォータセパレータＢ出口逃し弁	安全弁	×	—	①
91	AC	2-26B-1	ベンティング用空気供給弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
92	AC	2-26B-2	ドライウェルＮ２ガスパージ用入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
93	AC	2-26B-5	サプレッションチェンバＮ２ガスパージ用入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
94	AC	2-26B-6	サプレッションチェンバＮ２ガス補給弁	空気作動グローブ弁	×	—	⑤
95	AC	2-26B-7	Ｎ２ガス補給用供給弁	空気作動グローブ弁	×	—	⑤
96	AC	2-26B-8	Ｎ２ガスパージ用供給弁	空気作動バタフライ弁	×	—	⑤
97	AC	2-26B-9	ドライウェルＮ２ガス補給弁	空気作動グローブ弁	×	—	⑤
98	AC	2-26B-10	サプレッション・チェンバベント弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
99	AC	2-26B-12	ドライウェルベント弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
100	AC	2-26B-13	原子炉建屋排気系統入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
101	AC	2-26B-14	非常用ガス再循環系統入口弁	空気作動バタフライ弁	×	—	④
102	DG	3-14Z1	ＤＧ　２Ｄエアレシーバ安全弁	安全弁	×	—	①
103	DG	3-14Z101	ＤＧ　２Ｃエアレシーバ安全弁	安全弁	×	—	①
104	HPCSDG	3-14Z201	ＤＧ　ＨＰＣＳエアレシーバ安全弁	安全弁	×	—	①

※１：別紙１参照

※２：別紙２参照

動的機能維持の必要性の有無については，JEAG4601・補-1984 に規定されている。「表Ⅱ－１　具体的な動的設備とその分類例（ＢＷＲ）」（P52 参照）において，動的機能が要求される機器例が示されており，今回の別添１に記載の要目表対象弁に対して分類例番号を記載し，動的機能維持が要求される弁を整理した。

（例：主蒸気逃がし安全弁　→　As-（ｉ）-①-②，As-（ⅱ）-①-①）

表Ⅱ－１　具体的な動的設備とその分類例（BWR）

耐震重要度分類	動的機能の分類	系統	動的機能が要求される機器	要求機能	備考
A_S	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する弁のうち，その健全性を維持するために動的機能が必要なもの	① 主蒸気系	① 主蒸気隔離弁 ② 逃がし安全弁（安全弁機能）	$\alpha(S_2)$	図Ⅱ－１　参照 他の動的機能分類で動的機能が要求される弁は除く。
		② 主蒸気ドレン系	① ドレンライン隔離弁	$\alpha(S_2)$	
		③ 給水系	① 給水逆止弁	$\alpha(S_2)$	
		④ 原子炉冷却材浄化系	① 隔離弁	$\alpha(S_2)$	
	(ii) 原子炉停止後，炉心から崩壊熱を除去するために必要な動的設備	① 主蒸気系	① 逃がし安全弁（逃がし弁機能）	$\beta(S_2)$	図Ⅱ－１　参照
		② 原子炉隔離時冷却系	① タービン，② 弁 ③ ポンプ	$\beta(S_2)$	図Ⅱ－２　参照
		③ 高圧炉心スプレイ系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_2)$	図Ⅱ－３　参照
		④ 残留熱除去系（停止時冷却モード）	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_2)$	図Ⅱ－４　参照
		⑤ 非常用補機冷却系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_2)$	
		⑥ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁，③ ポンプ	$\beta(S_2)$	
	(iii) 原子炉の緊急停止のために，急激に負の反応度を付加するために必要な動的設備，及び原子炉の停止状態を維持するために必要な動的設備	① 制御棒駆動系	① 駆動機構 ② スクラム弁	$\alpha(S_2)$	図Ⅱ－５　参照
	(iv) 原子炉格納容器バウンダリを構成	① 不活性ガス系	① PCV 隔離弁	$\beta(S_1)$	図Ⅱ－６　参照 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損

耐震重要度分類	動的機能の分類	系統	動的機能が要求される機器	要求機能	備考
A_S	する弁のうち，原子炉冷却材圧力バウンダリ破損の一定時間後に閉止が必要なもの				（LOCA）後，一般の隔離弁は直ちに閉となるため，地震時の動的機能維持の必要はない。ただし，LOCA後，ECCS等の停止に伴なう原子炉格納容器バウンダリ閉止に必要な弁は，S_1地震後機能維持を要す。 また，他の動的機能分類で動的機能が要求される弁は除く。
A	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損後，炉心から崩壊熱を除去するために必要な動的設備	① 非常用炉心冷却系 1）高圧炉心スプレイ系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_1)$	A_Sクラスの(ii)の③で確認
		2）低圧炉心スプレイ系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_1)$	図Ⅱ－7 参照
		3）残留熱除去系（低圧炉心注水モード）	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_1)$	図Ⅱ－8 参照
		② 非常用補機冷却系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_1)$	A_Sクラスの(ii)の⑤で確認
		③ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁，③ ポンプ	$\beta(S_1)$	A_Sクラスの(ii)の⑥で確認
	(ii) 放射性物質の放出を伴なうような事故の際にその外部放散を抑制するために必要な動的設備で，上記耐震A_Sクラスの(iv)以外の設備	① 残留熱除去系（PCVスプレイモード）	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_1)$	図Ⅱ－9 参照
		② 可燃性ガス濃度制御系	① ブロア	$\beta(S_1)$	図Ⅱ－10 参照
		③ 非常用ガス処理系	① 排気ファン	$\beta(S_1)$	図Ⅱ－11 参照
		④ 非常用補機冷却系	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_1)$	A_Sクラスの(ii)の⑤で確認
		⑤ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁，③ ポンプ	$\beta(S_1)$	A_Sクラスの(ii)の⑥で確認
	(iii) 使用済燃料プール水を補給するために必要な動的設備	① 燃料プール水補給設備（非常用）	① 弁，② ポンプ	$\beta(S_1)$	

動的機能維持の必要性の有無については，JEAG4601・補-1984 に規定されている。以下のリストは，JEAG に基づき，動的機能維持要求が除外されるとしたものについて，その具体的な理由をまとめたものである。

番号	動的機能維持要求が除外される理由
①	原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性，原子炉停止後の崩壊熱除去等，プラントの事故対応や停止操作時において動作を必要としない安全弁であり，評価対象外。
②	格納容器機器ドレンサンプ出口ラインに設置されている格納容器隔離弁であり，冷却材喪失事故直後に動作（「開」→「閉」），その後動作要求がないため（「閉」維持），評価対象外。
③	格納容器床ドレンサンプ出口ラインに設置されている格納容器隔離弁であり，冷却材喪失事故直後に動作（「開」→「閉」），その後動作要求がないため（「閉」維持），評価対象外。
④	原子炉格納容器のベントラインに設置されている格納容器隔離弁及び空気作動弁であり，冷却材喪失事故直後に動作（「閉」→「開」），その後動作要求がないため（「開」維持），評価対象外。
⑤	原子炉格納容器への窒素供給ラインに設置されている格納容器隔離弁及び空気作動弁であり，冷却材喪失事故直後に動作（「開」又は「閉」→「閉」），その後動作要求がないため（「閉」維持），評価対象外。

評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

1. はじめに

弁の動的機能維持評価対象弁 73 台のうち 14 台に振動数領域を 50Hz まで考慮した場合の加速度に対して 100Hz まで考慮した場合の加速度に増加が確認されたことから，本増加要因に対する検討を以下に実施する。また，表 1 に示すとおり，検討対象弁は，応答増加が大きかった 6%以上のうち，水平方向及び鉛直方向で応答増加率が最も大きい弁を選定する。

表 1　応答増加が大きい機能維持対象弁及び検討対象弁の選定

弁番号	弁名称	方向	評価用加速度*1		機能確認済み加速度	応答増加率 (②/①)	検討対象弁
			最大値(①) (50Hz) (1.2ZPA)	最大値(②) (100Hz) (1.2ZPA)			
B22-F013V	主蒸気逃がし安全弁 V	鉛直	1.24 (1.23) (1.24)	1.33 (1.33) (1.24)	6.1	1.08	－
B22-F032A	原子炉給水逆止弁	鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	1.10	鉛直の代表として選定
B22-F032B	原子炉給水逆止弁	鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	1.10	－
SB2-5B	非常用ガス再循環系トレインＢ入口ダンパ	水平	1.94 (1.94) (1.74)	2.04 (2.04) (1.74)	6.0	1.06	水平の代表として選定

＊1：上段が動的解析結果（50Hz 又は 100Hz）と最大応答加速度（1.2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz 又は 100Hz）による値，下段が最大応答加速度（1.2ZPA）による値

2. 評価加速度の増加率の検討

(1) B22-F032A （原子炉給水逆止弁）

当該弁の評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図 1 に，当該配管系の主要仕様を表 2 に，各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表 3 に示す。

図1に示すとおり，当該弁が設置された配管の支持構造として，弁上流にはアンカ点を有し，下流側には鉛直方向を支持するレストレイントが設置されている。これにより，鉛直方向に対して高い剛性を有していることから，50Hz以上の高次のモードで励起することにより，100Hzまで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

また，当該弁が設置された配管系の振動モードとして，33次のモードにおいて，鉛直方向の刺激係数が大きく，同振動モード図でも当該弁位置で卓越するモードを有しており，特に当該モードが加速度増加に影響を与えたものと考えられる（図2参照）。

(2) SB2-5B （非常用ガス再循環系トレインＢ入口ダンパ）

当該弁の評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図 3 に，当該配管系の主要仕様を表 4 に，各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表 5 に示す。

図3に示すとおり，当該弁が設置された配管の支持構造として，弁上流には水平方向を支持するレストレイント，下流側にも水平方向を支持するスナッバが設置されている。これにより，水平方向に対して高い剛性を有していることから，50Hz以上の高次のモードで励起することにより，100Hzまで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

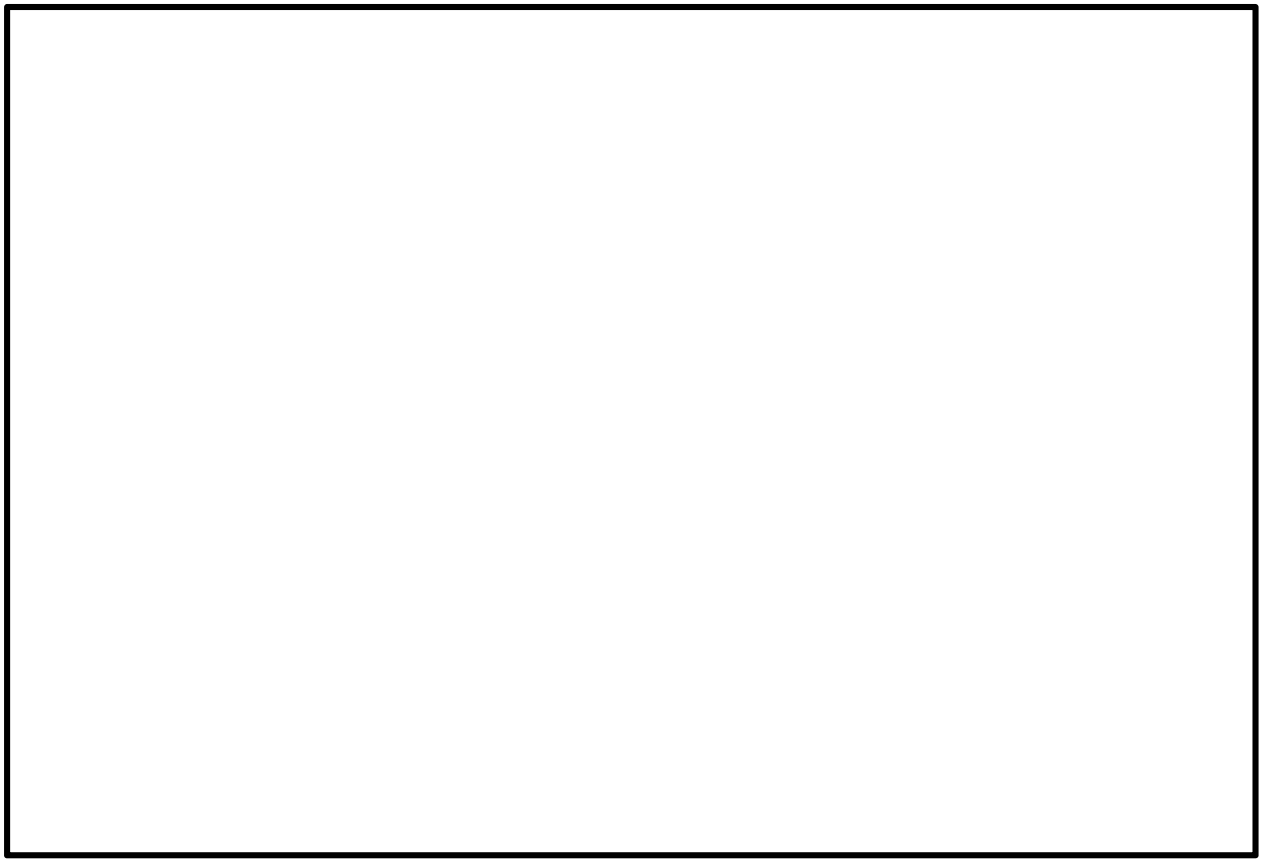
また，当該弁が設置された配管系の振動モードを確認した結果，弁駆動部に影響を与えているモードとして，9 次及び 11 次のモードがあり，特に 11 次のモードの水平方向の刺激係数は高い値となっている。このため，50Hz 以上である当該モードの影響により加速度増加に影響を与えたものと考えられる（図 4 参照）。

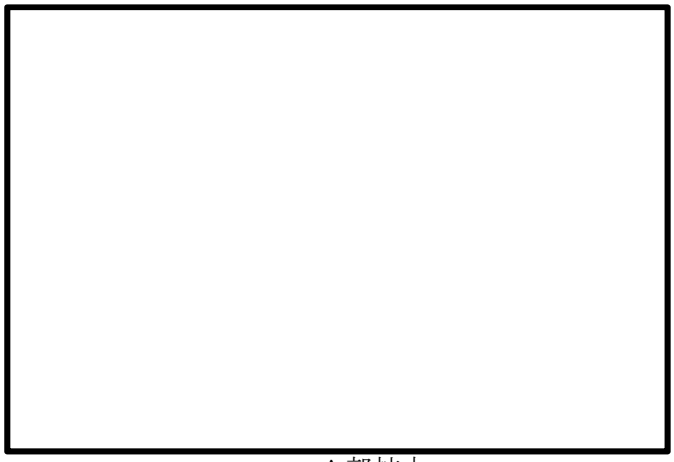
3. まとめ

動的機能維持評価において，100Hz まで考慮した場合の加速度に増加が確認された弁について，その増加に至った要因を検討した。対象とした２弁ともに，対象弁近傍に加速度増加に至った方向と同方向に支持構造物を有していることが確認された。このため，対象弁近傍では高い剛性を有していることにより，50Hz 以上による高次モードによる影響で加速度増加に至ったものと考えられる。

増加率 1.06 倍以上となった B22-F013V（主蒸気逃がし安全弁 V）の解析モデル図を図 5 に示すが，弁近傍に加速度増加に至った方向と同方向に支持構造物を有している。また，他の主蒸気逃がし安全弁と比べて，弁近傍の主蒸気管には鉛直方向に対し

て垂直にスナッバが設置されており，B22-F013V 近傍の配管系は，他の主蒸気逃がし安全弁近傍の配管系よりも高い剛性を有している。なお，B22-F013C（主蒸気逃がし安全弁 C）近傍にもスナッバが有るものの，鉛直方向に対して角度を持って設置されているため，鉛直方向の支持剛性としては B22-F013V 近傍に設置されたスナッバより小さくなる。以上のことから，上記２弁と同様の理由で加速度増加に至ったものと考えられる。





A部拡大

図 1　給水系配管の解析モデル図（モデル No.FDW-1,2,3,4,9）

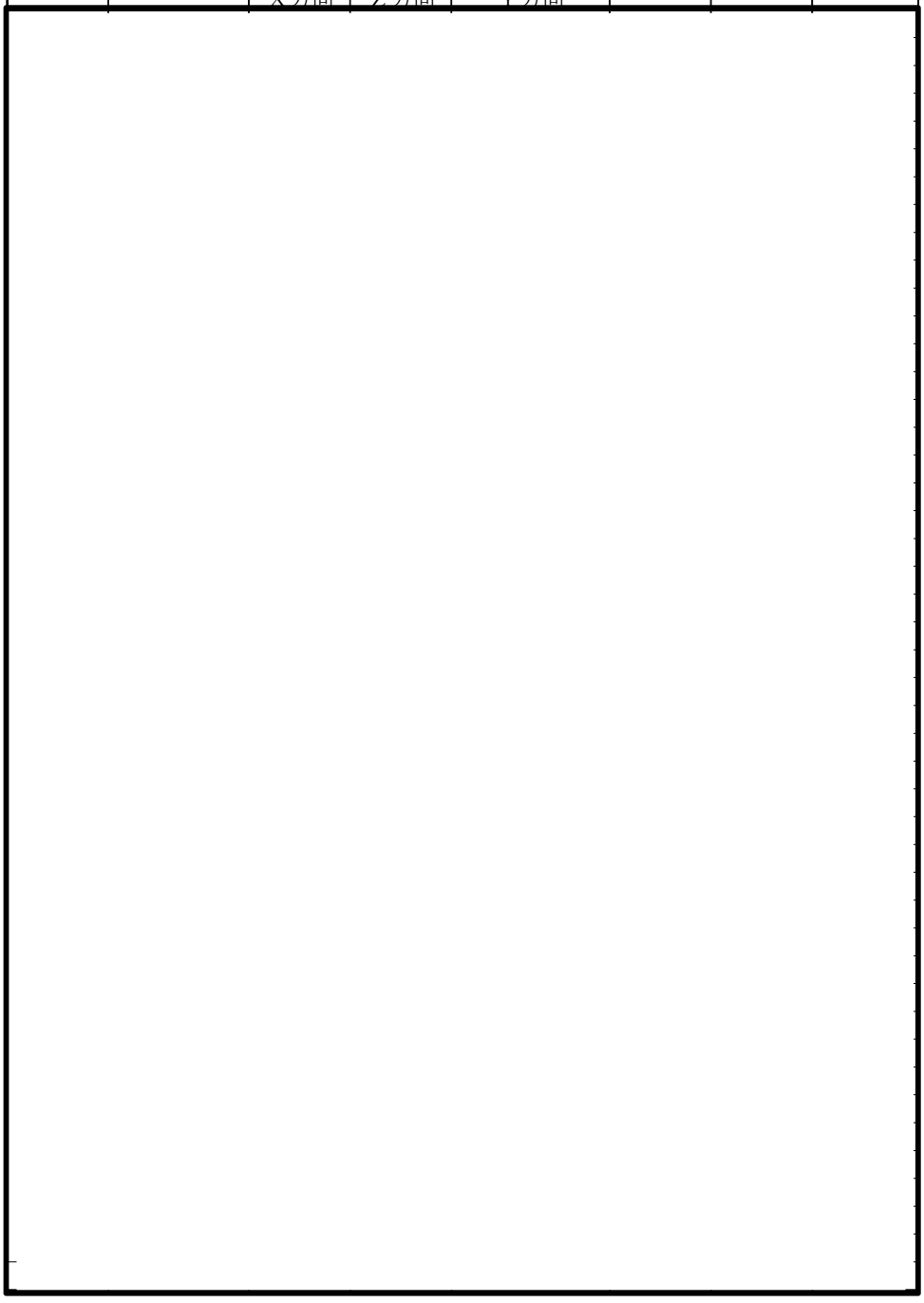
表 2 主給水系主配管及び主要弁の主要仕様

	項目			主要仕様
主配管	最高使用圧力		MPa	8.62
	最高使用温度		℃	302
	外径		mm	508
	厚さ		mm	[redacted] (26.2*1)
	材料			GSTPL 相当
主要弁 B22-F032 A	主要寸法	呼び径	―	500 A
		弁箱厚さ	mm	[redacted]
		弁ふた厚さ	mm	
	材料	弁箱		
		弁ふた	―	
		弁体		

注記　＊ 1：公称値を示す。

表 3　給水系配管の刺激係数等（モデル No.FDW-1,2,3,4,9）

モード	固有周期 (s)	Ss			刺激係数		
		水平震度		鉛直震度	X方向	Y方向	Z方向
		X方向	Z方向	Y方向			



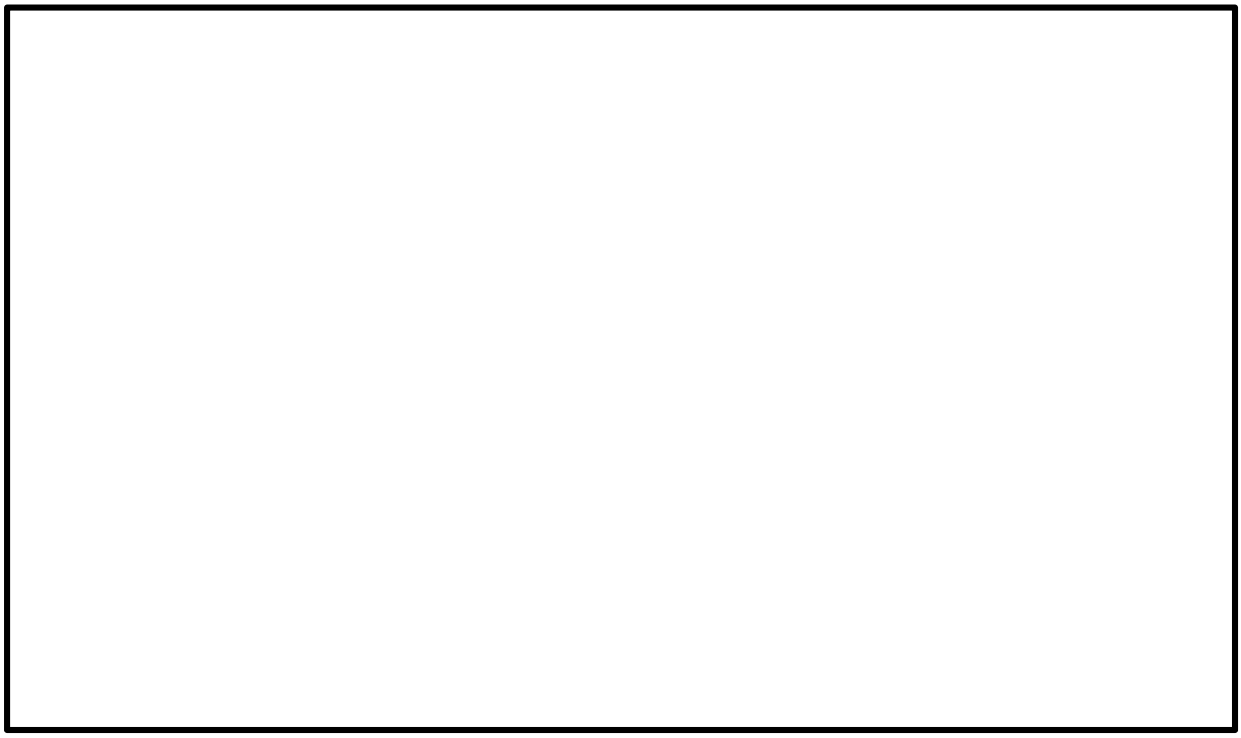
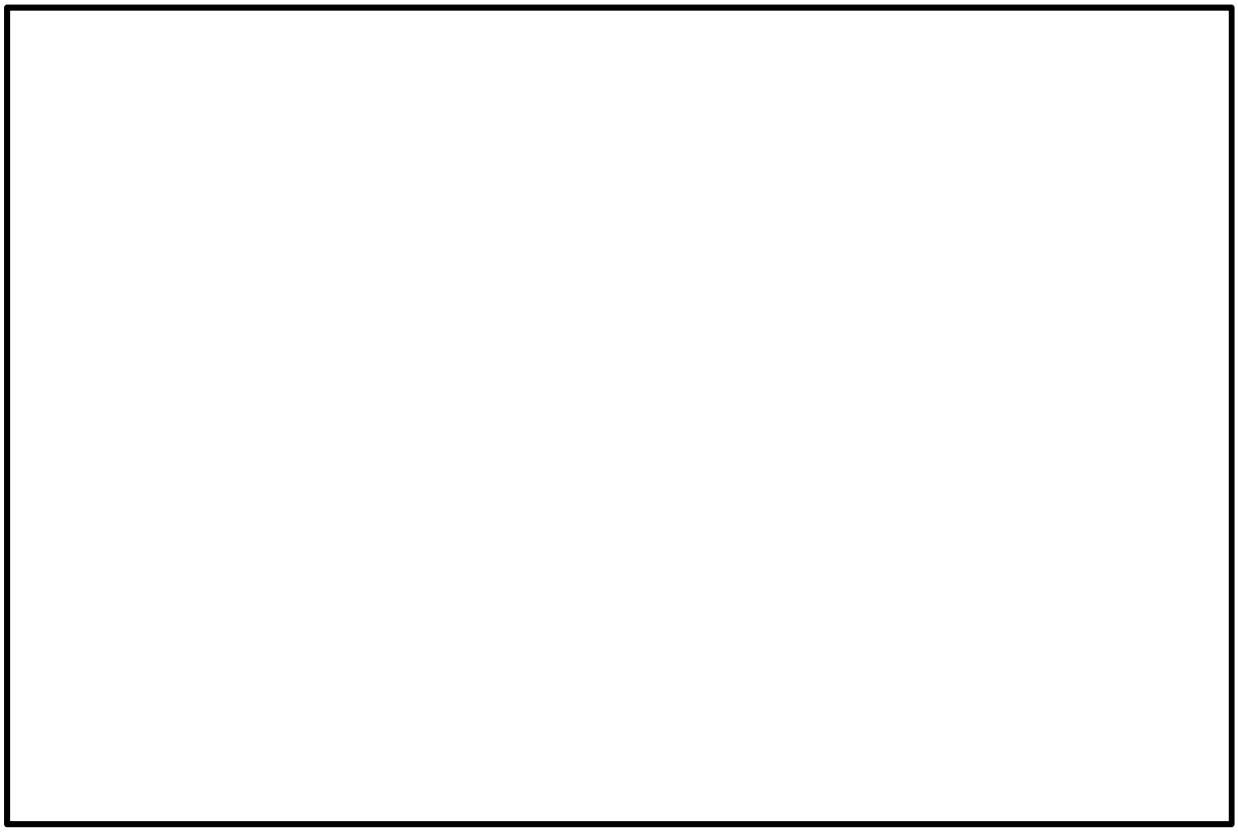
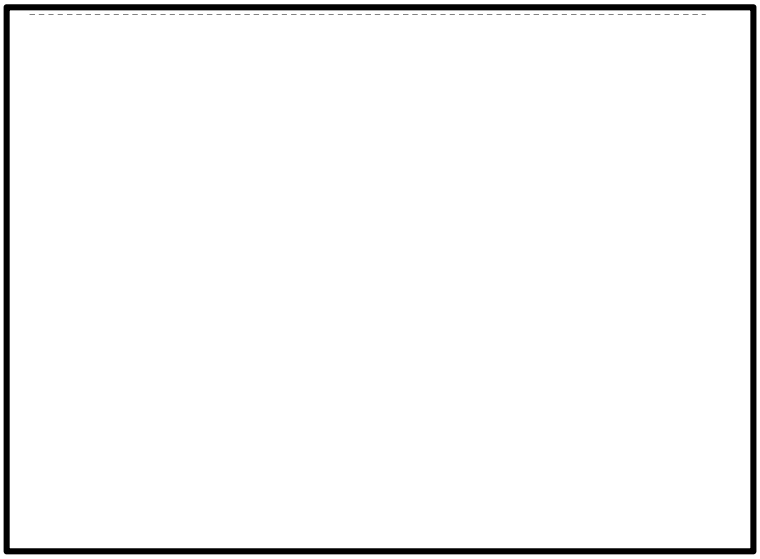


図 2　給水系配管の代表的な振動モード図（モデル No.FDW-1,2,3,4,9）





A部拡大

図 3　非常用ガス再循環系配管の解析モデル図（モデル No. FRVS-6）

表 4 非常用ガス再循環系主配管及び主要弁の主要仕様

	項目			主要仕様
主配管	最高使用圧力		MPa	0.014
	最高使用温度		℃	72
	外径		mm	609.6
	厚さ		mm	[redacted](12.0*1)
	材料		－	SM41
主要弁 SB2-5A, B	主要寸法	呼び径	－	600A
		弁箱厚さ	mm	[redacted]
		弁ふた厚さ	mm	
	材料	弁箱		
		弁ふた	－	

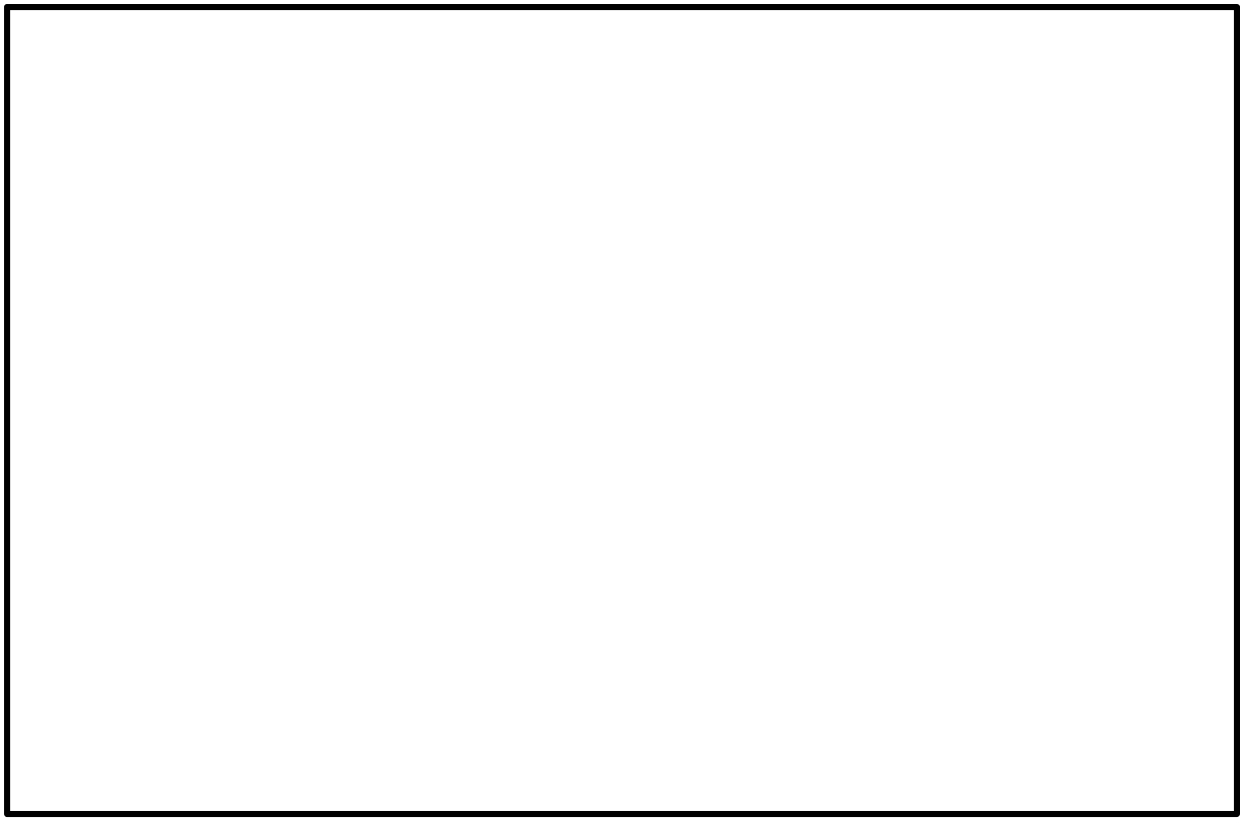
注記　＊ 1：公称値を示す。

表５　非常用ガス再循環系配管の刺激係数等（モデル No.FRVS-6）

モード	固有周期 (s)	Ｓｓ			刺　激　係　数		
		水平震度		鉛直震度			
		Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向	Ｘ方向	Ｙ方向	Ｚ方向
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							

50Hzまでの
振動数領域

100Hzまでの
振動数領域



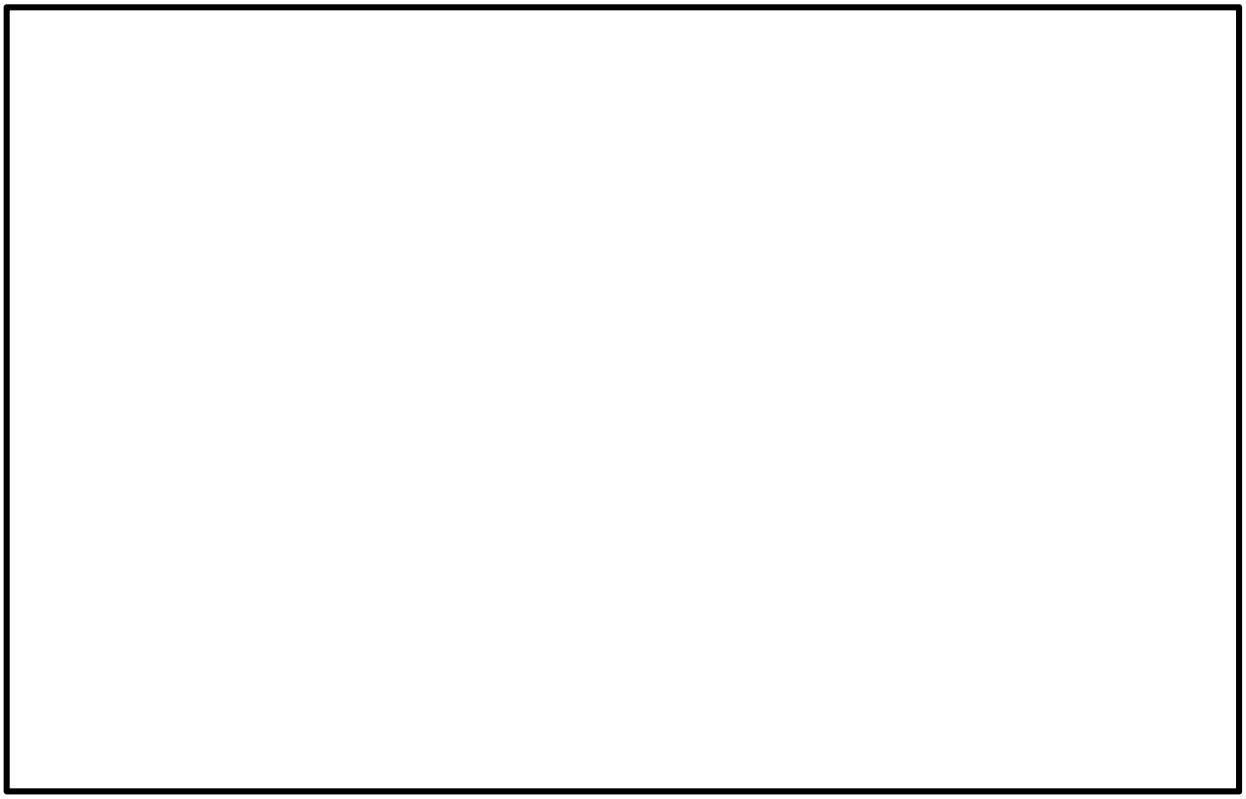


図 4　非常用ガス再循環系配管の代表的な振動モード図（モデル No.FRVS-6）

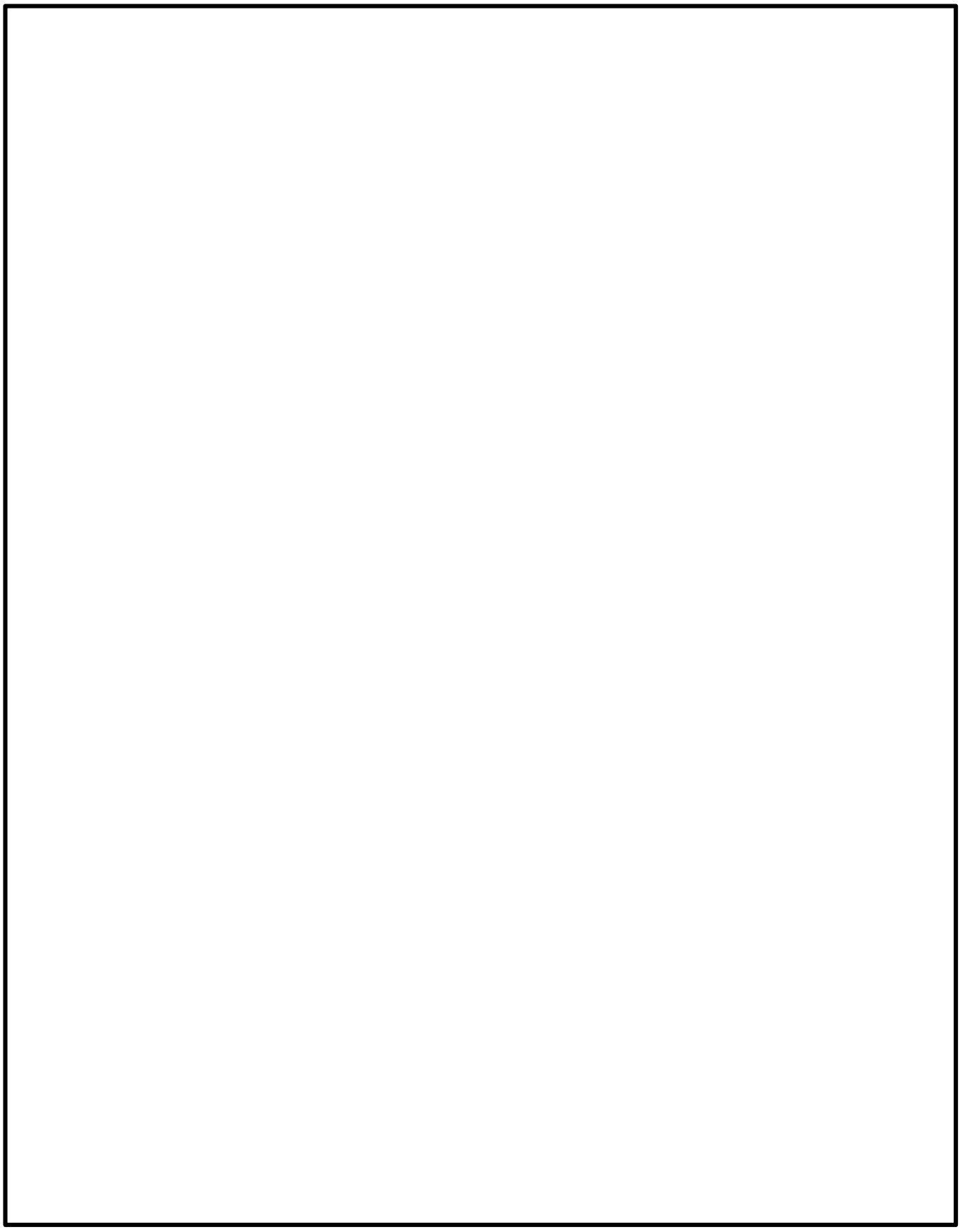


図 5　主蒸気系配管の解析モデル図（モデル No.MS-D）

6.　動的機能維持の詳細評価について

（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）

1.　はじめに

本資料では，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則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（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて，動的機能維持についての検討方針，新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出及び検討結果を示す。

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（抜粋）

第５条（地震による損傷の防止）

３ 動的機器に対する「施設の機能を維持していること」とは、基準地震動による応答に対して、当該機器に要求される機能を保持することをいう。具体的には、当該機器の構造、動作原理等を考慮した評価を行うこと、既往研究で機能維持の確認がなされた機能確認済加速度等を超えていないことを確認することをいう。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

4.6.2 動的機能

【審査における確認事項】

Ｓクラスの施設を構成する主要設備又は補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動Ｓ$_s$を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。

【確認内容】

動的機能については以下を確認する。

(1)水平方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。

(2)鉛直方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が水平方向の動的機能保持に関する評価に係る JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試

験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。

(3)上記(1)及び(2)の評価に当たっては、当該機器が JEAG4601 に規定されている機種、形式、適用範囲等と大きく異なる場合又は機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考にして設定された機能確認済加速度を超える場合（評価方法が JEAG4601 に規定されている場合を除く。）については、既往の研究等を参考に異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目毎に評価を行い、評価基準値を超えていないこと。また、当該分析結果に基づき抽出した評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、加振試験（既往の研究等において実施されたものを含む。）により動的機能保持を確認した加速度を超えないこと。

2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針

動的機器の耐震性評価法は原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ4601-1991 追補版（以下ＪＥＡＧ4601 という）に従い実施するものとするが，ＪＥＡＧ4601 で定める機能確認済加速度（ＪＥＡＧ4601 に定められた既往研究で機能維持の確認がなされた入力又は応答レベル）と評価用加速度との比較による評価法には適用範囲が定められている。

本資料では，ＪＥＡＧ4601 に定められた機種，型式及び適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備について，設備の抽出を行うとともに，既往の研究等を参考に地震時異常要因分析を実施し，当該分析に基づき抽出した評価項目の評価を行い，評価基準値を超えていないことを確認する。また，評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備について，設備の抽出を行うとともに，ＪＥＡＧ4601 の基本評価項目の評価を行い，評価基準値を超えていないことを確認する。

なお，上記にて抽出した設備，評価部位について，構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には，当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が，新たな加振試験により動的機能維持を確認した加速度を超えないことを確認している。

3. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

3.1 検討対象設備

検討対象設備は，耐震Ｓクラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし，動的機能が必要な設備としてＪＥＡＧ4601 で適用範囲が定められ

ている機種（立形ポンプ，横形ポンプ，電動機 等）とする。

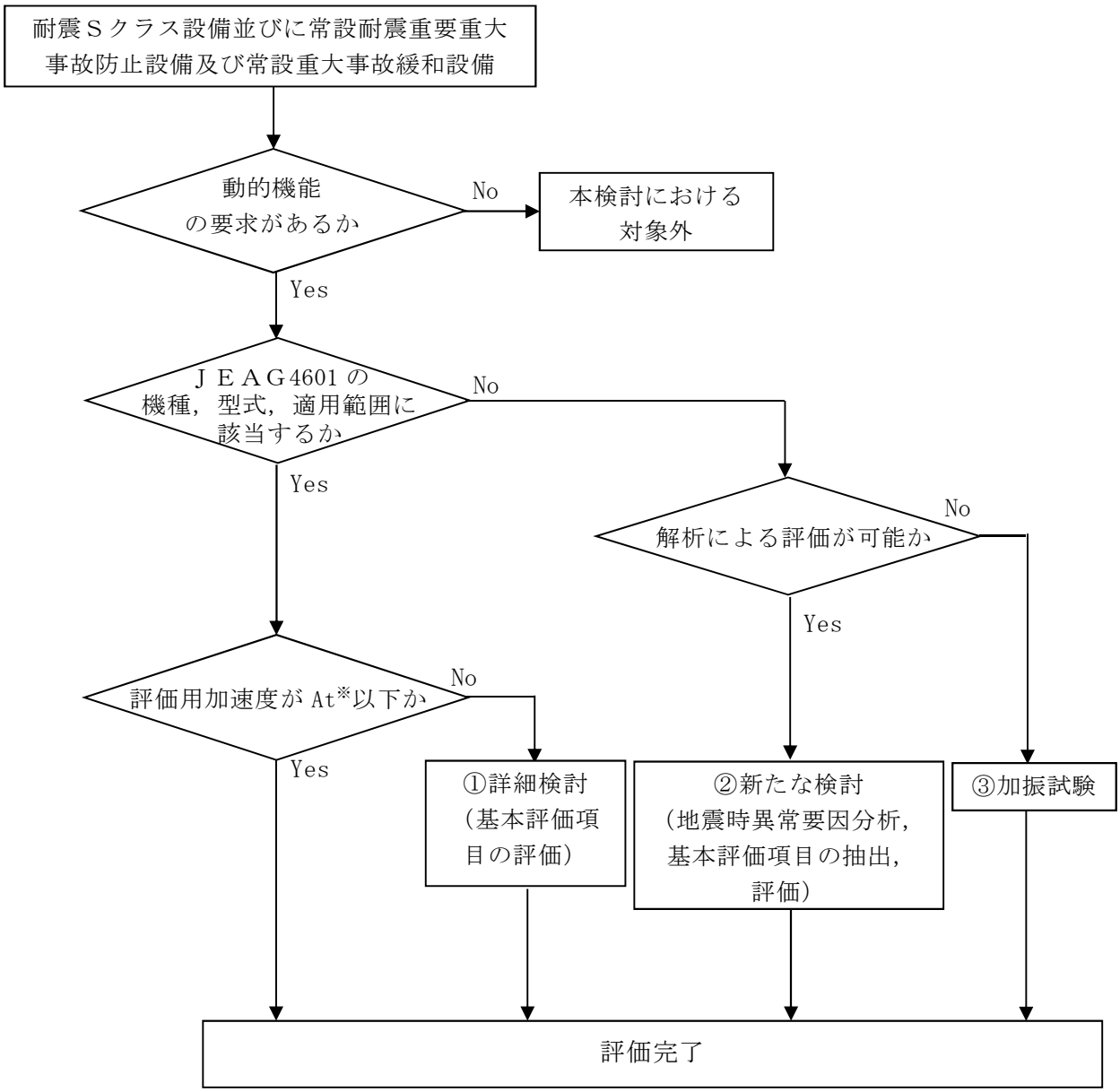
3.2 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

第 1 図にて設備の抽出及び検討のフローを示す。検討対象設備について，ＪＥＡＧ4601 に定める機能確認済加速度（At）との比較による評価方法が適用できる機種に対して構造，作動原理，各機器の流量，出力等がＪＥＡＧ4601 で定められた適用範囲と大きく異ならないことを確認する。大きく異なる場合は，解析による評価が可能かにより，新たな検討（地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価）が必要な設備，又は加振試験を実施する設備として抽出する。

さらに評価用加速度がＪＥＡＧ4601 及び既往の研究等※により妥当性が確認されている機能確認済加速度（At）以内であることの確認を行い，機能確認済加速度を超える設備については詳細検討（基本評価項目の評価）が必要な設備として抽出する。なお，弁についてはＪＥＡＧ4601 にて評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められているため，本資料の対象外とする。

上記の整理結果として別表 1 に検討対象設備を示すとともに，新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報としてＪＥＡＧ4601 に該当する機種名等を整理した。

※ 電力共同研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 10 年度～平成 13 年度）」



※　At：機能確認済加速度

第１図　動的機能維持評価フロー

(3) 抽出結果

別表 1 をもとに第 1 図にて新たな検討，詳細検討及び加振試験が必要な設備を抽出した結果を第 1 表に示す。

①詳細検討（基本評価項目の評価）

評価用加速度が機能確認済加速度を超え詳細検討が必要となる設備はなかった。なお，取水構造物に設置される残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプについては，当初に保守的な設定をした鉛直方向の評価用加速度が機能確認済加速度を超えたため，詳細検討を実施予定であったが，取水構造物の設計進捗により評価用加速度が機能確認済加速度以下であることが確認できたため，詳細検討は不要となった。

②新たな検討（地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価）

新たな検討として，地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価が必要となる設備として，横形スクリュー式ポンプ（以下「スクリュー式ポンプ」という。），横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプ」という。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，（社）日本電気協会　電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会で地震時機能維持評価について検討された機器の内，遠心式横形ポンプと類似であり，遠心式横形ポンプの地震時異常要因分析及び評価項目を参考とすることが可能である。また，電共研※において，スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析及び評価項目の抽出を行っており，それらの検討を用いることが可能である。

そのため，スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，新たな検討として，上記検討を参考に地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価を実施する。

※　動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）

③加振試験

新たな加振試験が必要な設備として以下の設備が抽出された。

○可搬型代替注水大型ポンプ，可搬型代替注水中型ポンプ，可搬型代替低圧電源車，タンクローリ，窒素供給装置，窒素供給装置用電源車

車両型設備であり（第 2～6 図参照）解析による評価が困難なことから加振試験

を実施。詳細は下記資料参照。

・補足-340-3

【可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書に関する補足説明資料】

○常設代替高圧電源装置

車両型設備であり（第 7 図参照）解析による評価が困難なことから加振試験を実施。詳細は下記資料参照。

・補足-340-15

【常設代替高圧電源装置の耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

○常設高圧代替注水系ポンプ

ポンプ形式はタービン駆動の横形多段遠心式だが，ポンプとタービンが一体となった設備であり（第 8 図参照），ＪＥＡＧ4601 の適用機種と構造が異なることから加振試験を実施。詳細は下記資料参照。

・補足-340-17

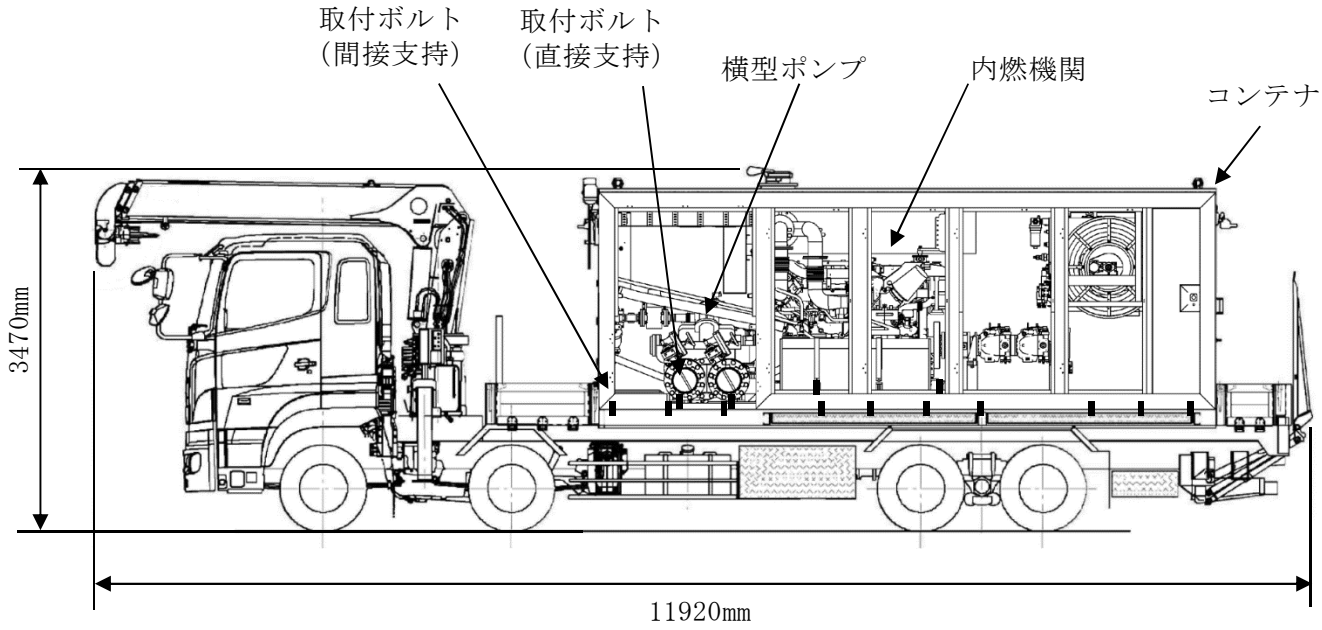
【常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

4. 詳細検討が必要な機器の動的機能維持評価について

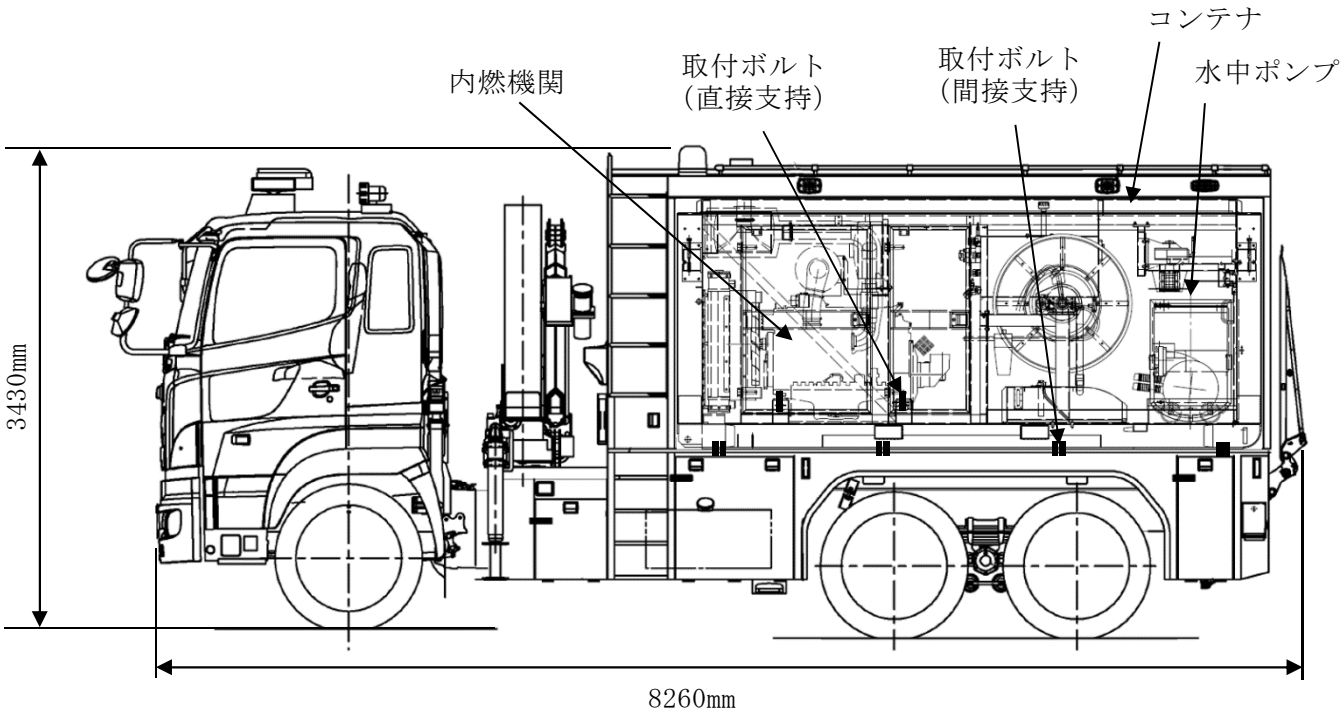
ＪＥＡＧ4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ，新たに評価項目の検討が必要な設備における動的機能維持評価について別紙にて説明する。

【機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ新たに評価項目の検討が必要な設備】

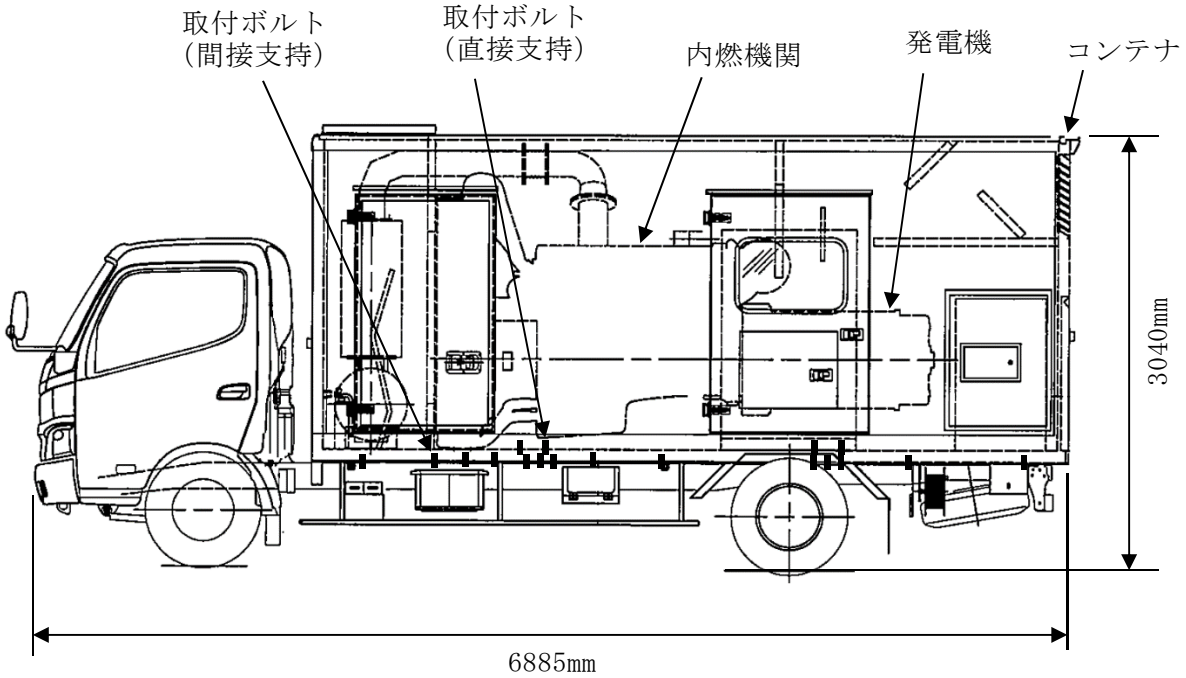
・別紙１：非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプ



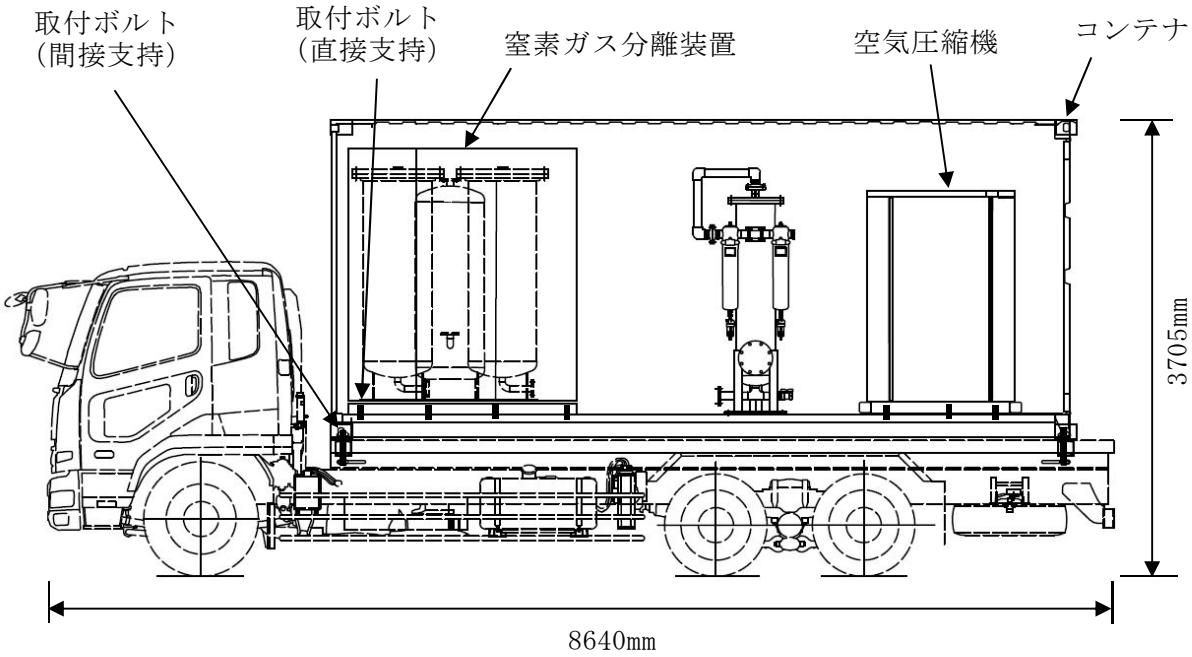
第2図　可搬型代替注水大型ポンプ　構造図



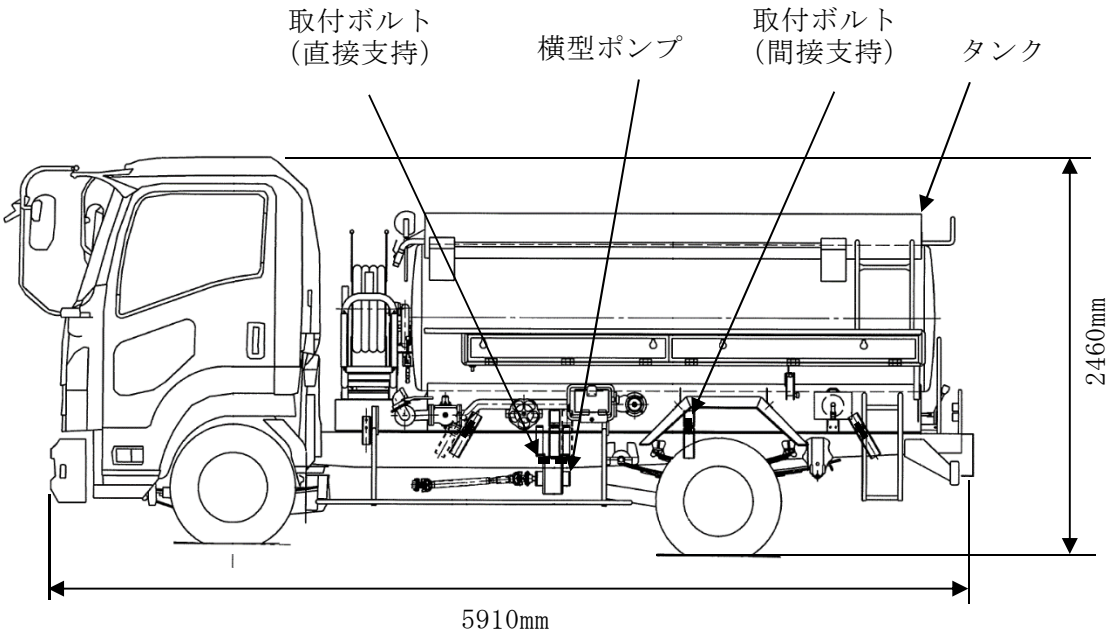
第3図　可搬型代替注水中型ポンプ　構造図



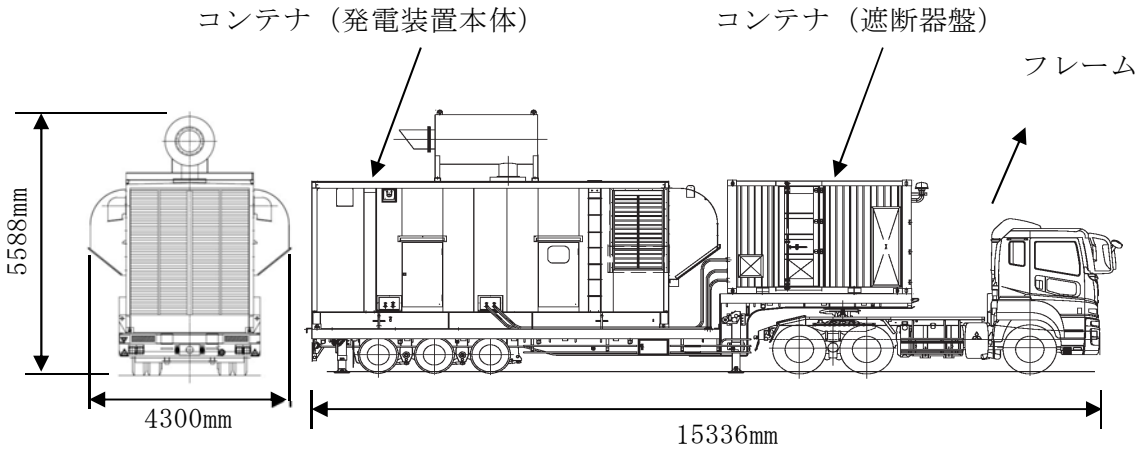
第4図　可搬型代替低圧電源車及び窒素供給装置用電源車　構造図



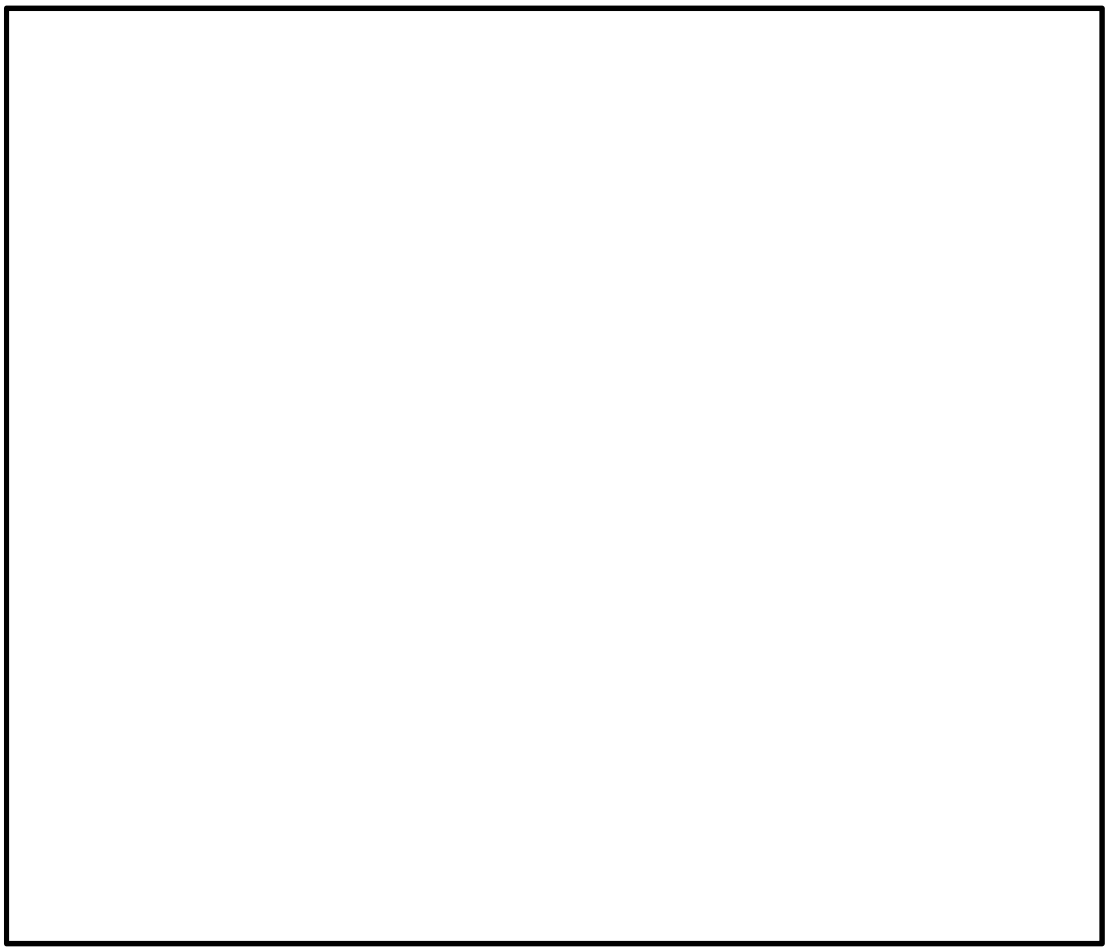
第5図　窒素供給装置　構造図



第6図　タンクローリ　構造図



第７図　常設代替高圧電源装置車両（No.1～No.5）　構造図



第 8 図　常設高圧代替注水系ポンプ　構造図

第 1 表(1) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601 の機種，型式，適用範囲に該当するか ○：該当 ×：否（新たな評価項目の検討が必要）	機能確認済加速度（At）以下か ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
立形ポンプ	残留熱除去系ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	○
	緊急用海水ポンプ	○	○
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	－
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	－
	常設低圧代替注水系ポンプ	○	○
	代替燃料プール冷却系ポンプ	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	○ （別紙 2 参照）	○
	代替循環冷却系ポンプ	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	×	－
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ	×	－
ポンプ駆動用タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ用電動機	○	○
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	○
	中央制御室換気系空気調和機ファン用電動機	○	○

第 1 表(2) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601 の機種，型式，適用範囲に該当するか ○：該当 ×：否（新たな評価項目の検討が必要）	機能確認済加速度（At）以下か ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
電動機	中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機用電動機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	○
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	○
	代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機	○ (別紙 2 参照)	○
	代替循環冷却系ポンプ用電動機	○	○
	緊急用海水ポンプ用電動機	○	○
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	○
ファン	中央制御室換気系空気調和機ファン	○	○
	中央制御室換気系フィルタ系ファン	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	○
	緊急時対策所非常用送風機	○	○

第 1 表(3) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601 の機種，型式，適用範囲に該当するか ○：該当 ×：否（新たな評価項目の検討が必要）	機能確認済加速度（At）以下か ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	○
	非常用ディーゼル発電機調速装置及び非常用ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調速装置及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
往復動式ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	○
制御棒	制御棒	○	○[注 1]

注１）地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位に対して下回ることを確認

ＪＥＡＧ4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ，新たに評価項目の検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

1. はじめに

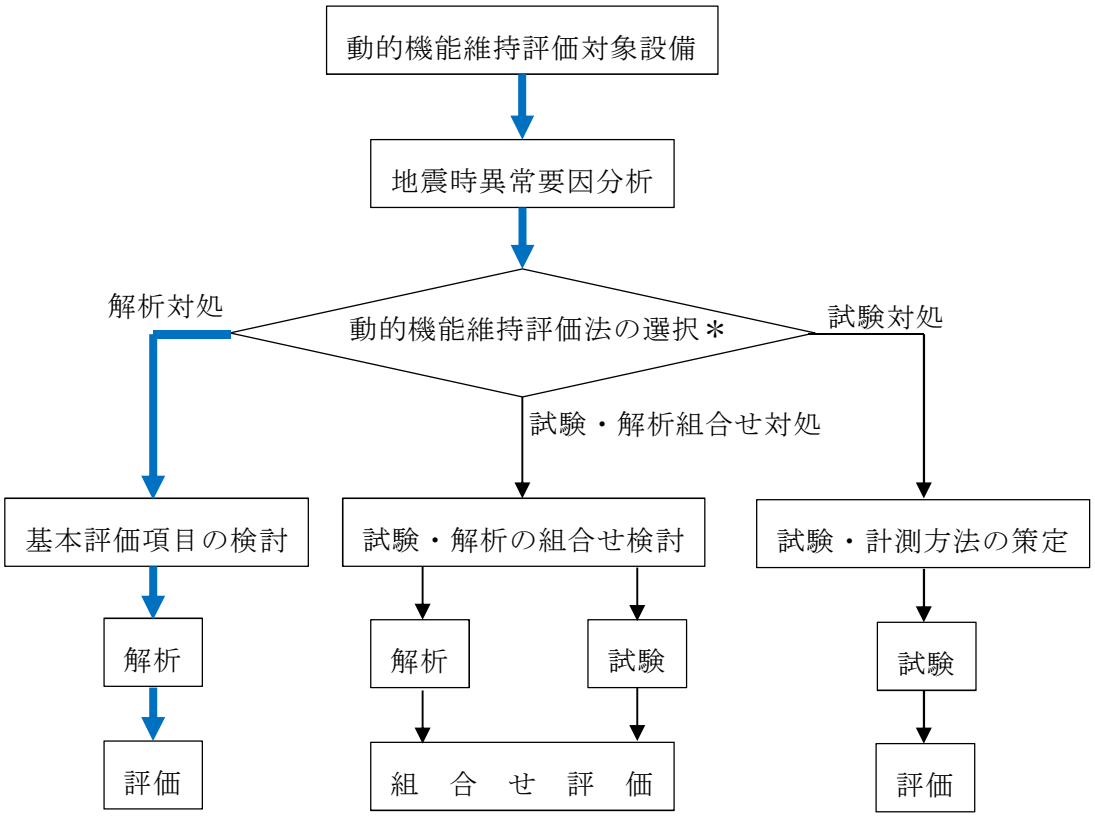
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプの動的機能維持評価について，ＪＥＡＧ4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ，新たに評価項目の検討が必要となる。本資料では，それら設備の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 評価項目の抽出方針

ＪＥＡＧ4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れた設備における動的機能維持の検討方針としては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として（社）日本電気協会　電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。

今回ＪＥＡＧ4601 に定められた適用機種の範囲から外れた設備については，基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 1 図に示す。なお，ＪＥＡＧ4601 においても，機能維持評価の基本方針として，地震時の異常要因分析を考慮し，動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。



＊対象物の複雑さ等で選択

本評価でのフロー

第１図　動的機能維持評価のフロー

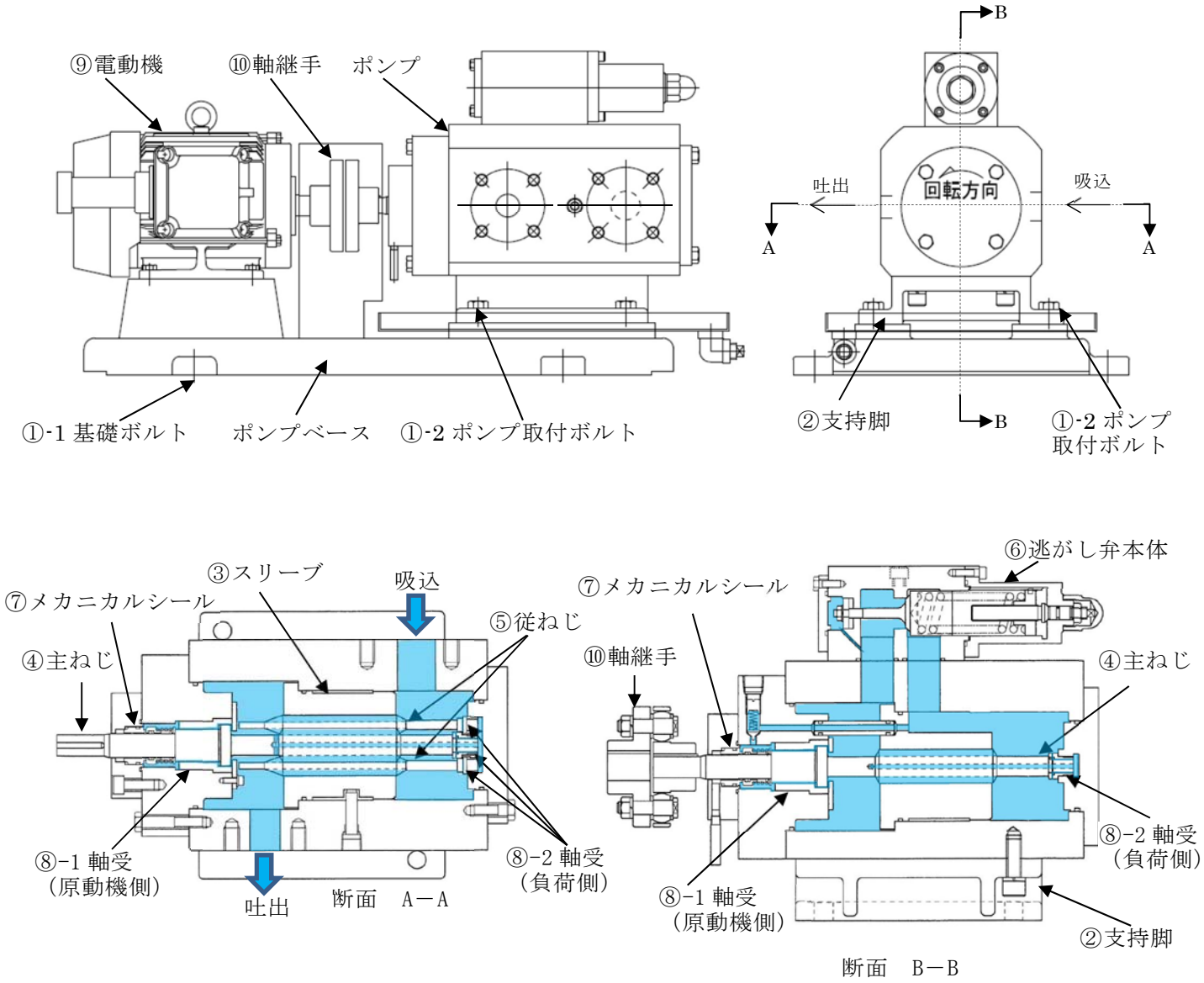
地震時異常要因分析を検討するに当たり，参考とする機種／型式を第1表に示すとともに，第2図，第3図及び第4図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。また，主要仕様を第2表及び第3表に示す。

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，共に容積式の横形ポンプであり，一定容積の液をスクリュー又はギヤにて押し出す構造のポンプである。一方，遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）はインペラの高速回転により液を吸込み・吐出すポンプであり内部流体の吐出構造が異なるが，ケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有していること，固定方法については，基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に，駆動機器である横形ころがり軸受の電動機とポンプが取付ボルトにより設置され，電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること，主軸，軸受及びメカニカルシール部のクリアランスにより地震荷重はメカニカルシール部には負荷されず，軸受を通してケーシングに伝達されることから，基本構造が同じといえる。このため，スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプについては，遠心式ポンプを参考とし，地震時異常要因分析を実施する。

なお，非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては，新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり，評価する設備となる。

第1表　新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

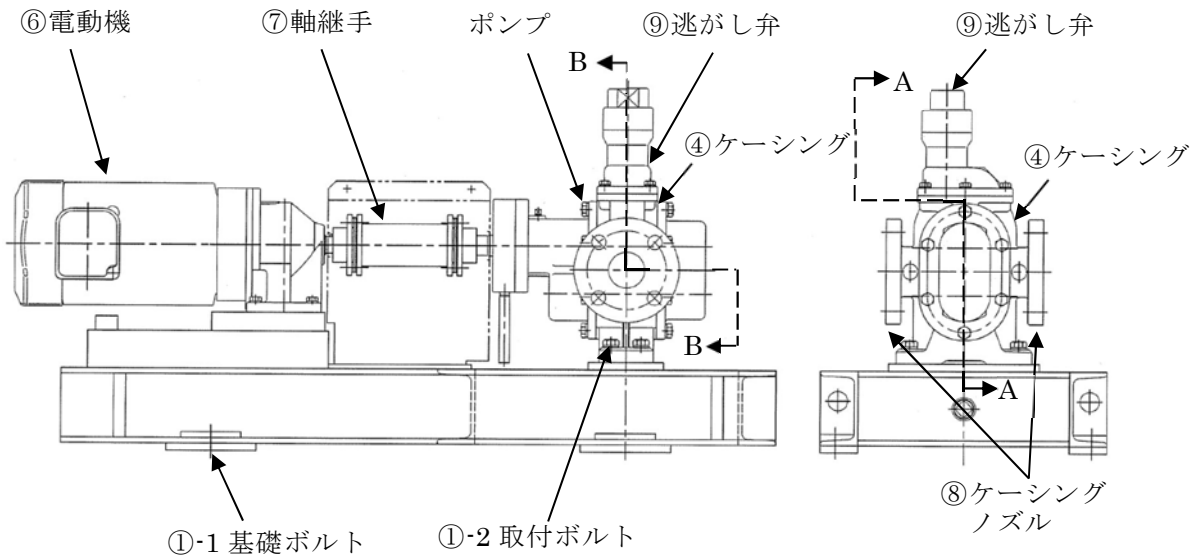
新たな検討が必要な設備	機種／型式	参考とする機種／型式
・非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	横形ポンプ／スクリュー式	横形ポンプ／単段遠心式
・緊急時対策所用発電機給油ポンプ	横形ポンプ／ギヤ式	



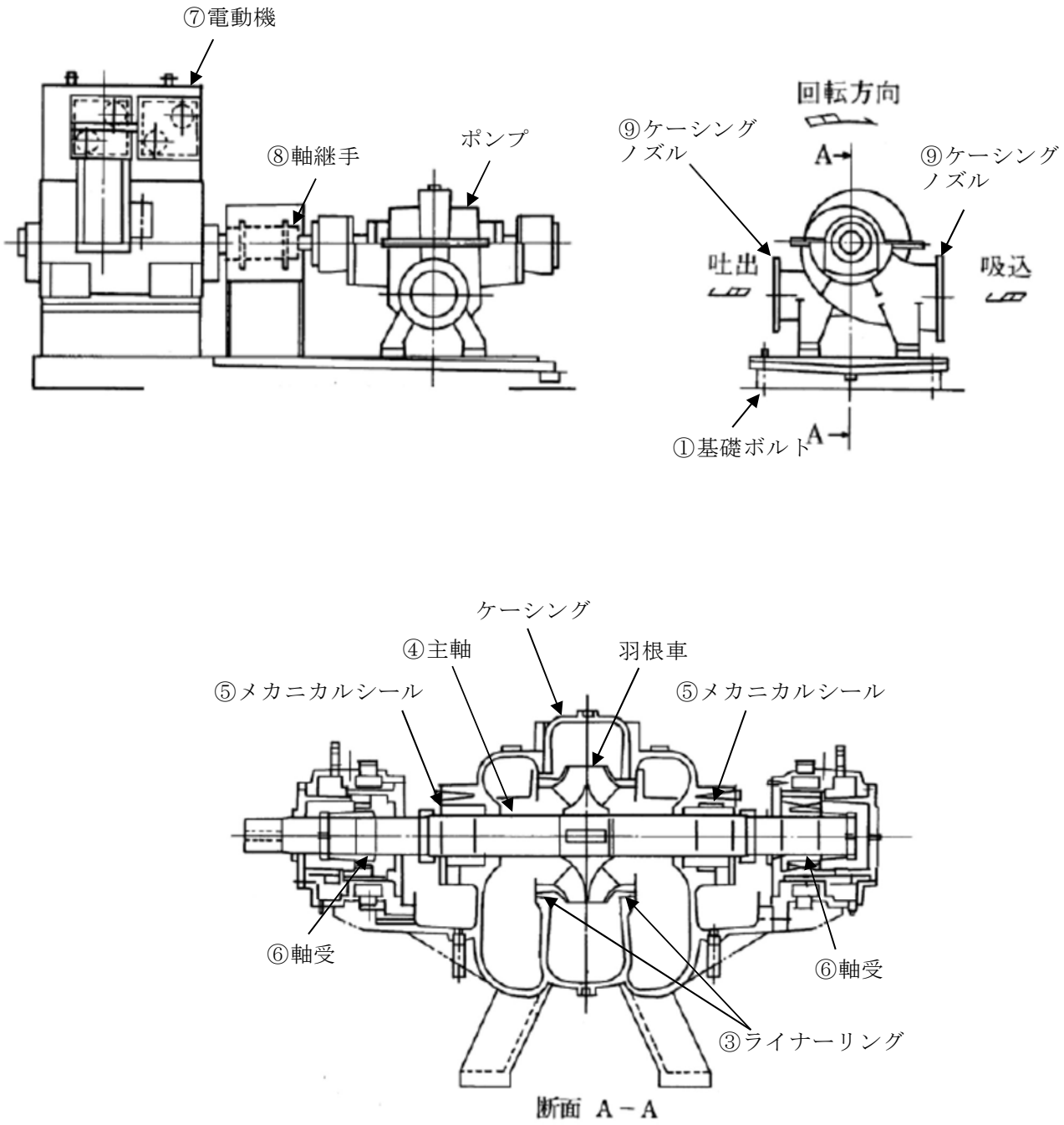
：接液部

注：スリーブ内に納められた主ねじと従ねじはかみ合って回転しており，ねじの１リードごとに作られる密閉される空間に入った流体は，ねじ面に沿って吐出側へ移動する。

第２図　スクリュー式ポンプ構造概要図



第 3 図　ギヤ式ポンプ構造概要図



第 4 図　遠心式ポンプ構造概要図

第 2 表　スクリュー式ポンプの主要仕様

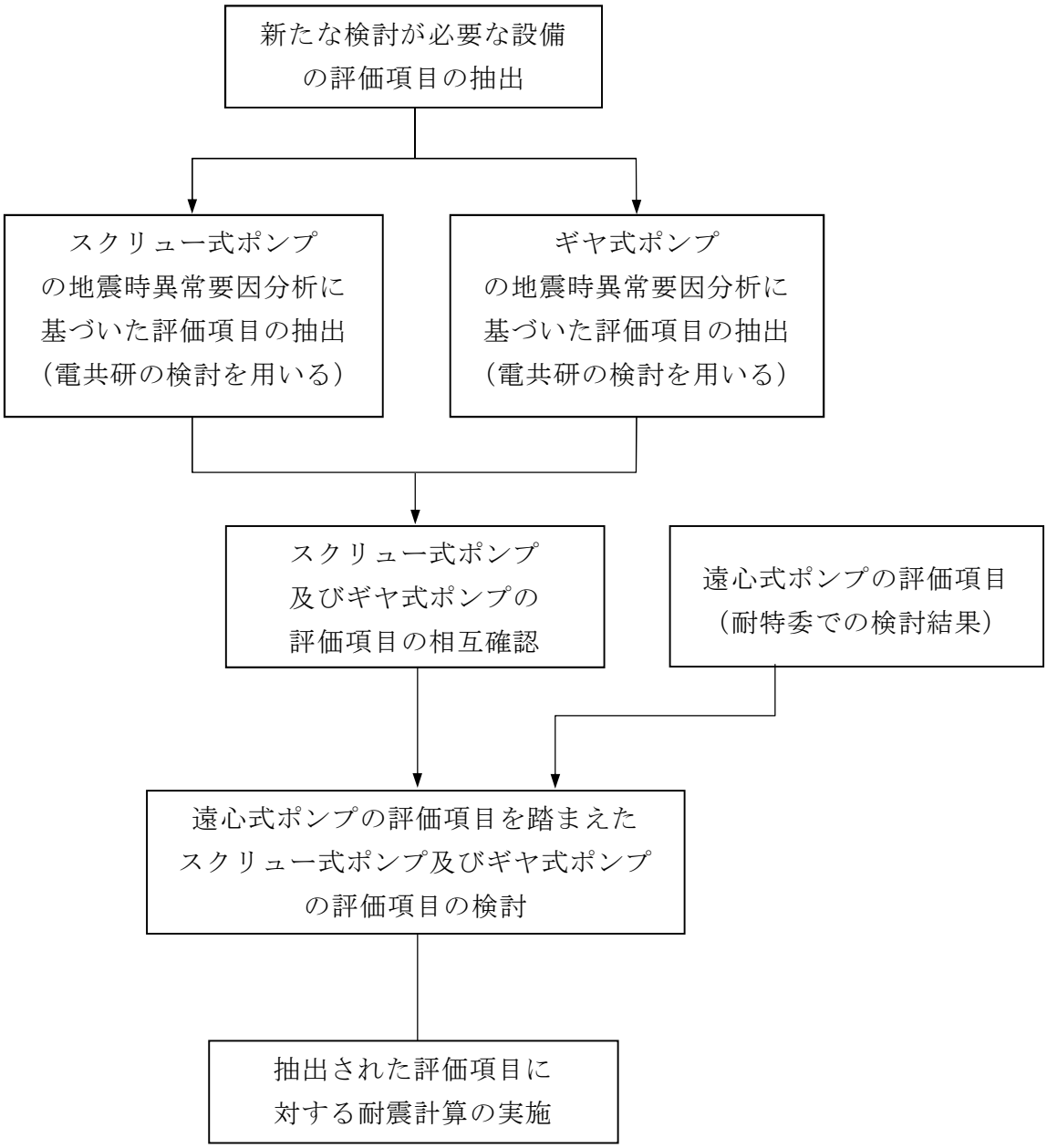
		非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	常設代替高圧電源装置用燃料移送ポンプ
容　　量	m^3/h/個	1.92 以上	1.04 以上	3.02 以上
揚　　程	MPa	0.195 以上(2C 用) 0.156 以上(2D 用)	0.190 以上	0.285 以上
最高使用圧　力	MPa	1.00	1.00	1.00
最高使用温　度	℃	55	55	55
原動機出　力	kW/個	1.2	1.2	2.2

第 3 表　ギヤ式ポンプの主要仕様

		緊急時対策所用発電機給油ポンプ
容　　量	m^3/h/個	1.3 以上
揚　　程	MPa	0.3
最高使用圧力	MPa	0.5
最高使用温度	℃	45
原動機出力	kW/個	1.5

3.　新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討が必要な設備として，スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第5図に示す。



第5図　　動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

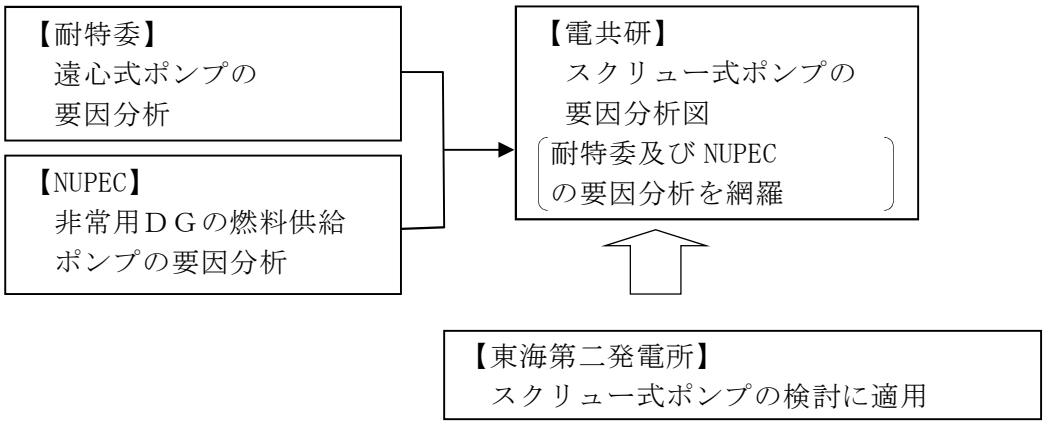
ａ．スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の抽出

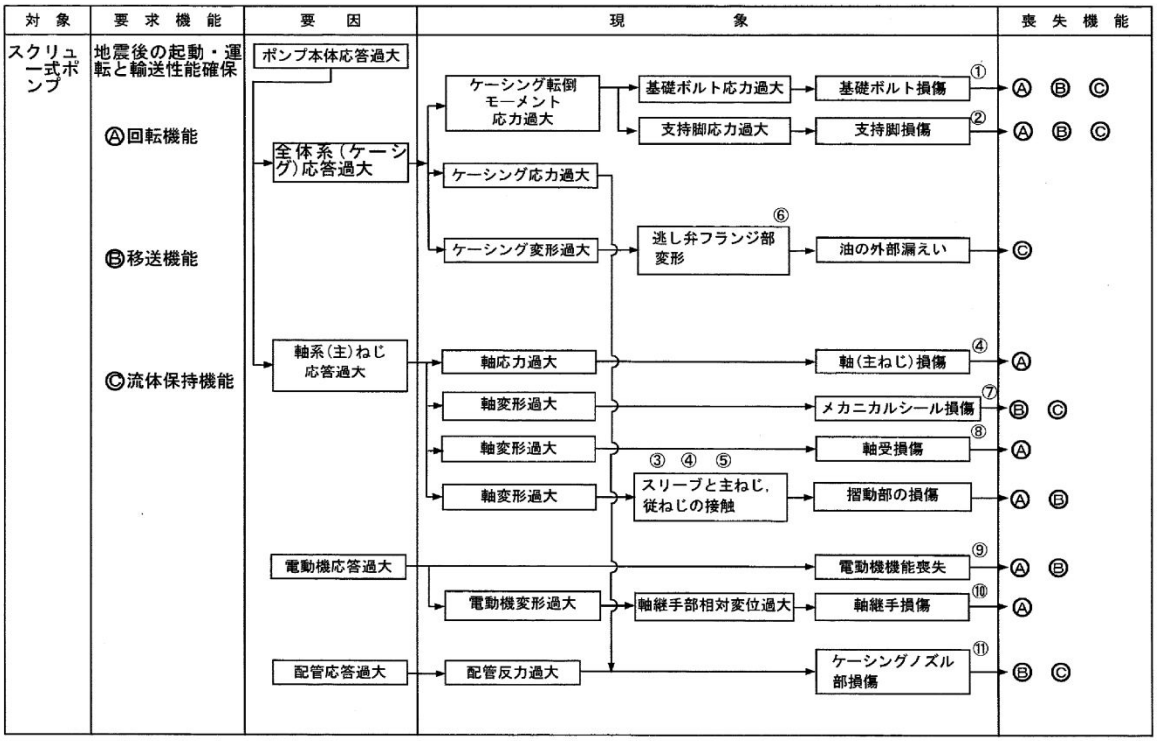
スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び評価項目は，電共研※での検討内容を用いる。電共研では第 6 図に示すとおり，耐特委における遠心式ポンプ及び NUPEC における非常用ＤＧの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように，スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い，評価項目を抽出している。

スクリュー式ポンプの要因分析図を第 7 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 4 表のとおりである。

※　動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）



第 6 図　　地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）



第７図　スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図

第 4 表　スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

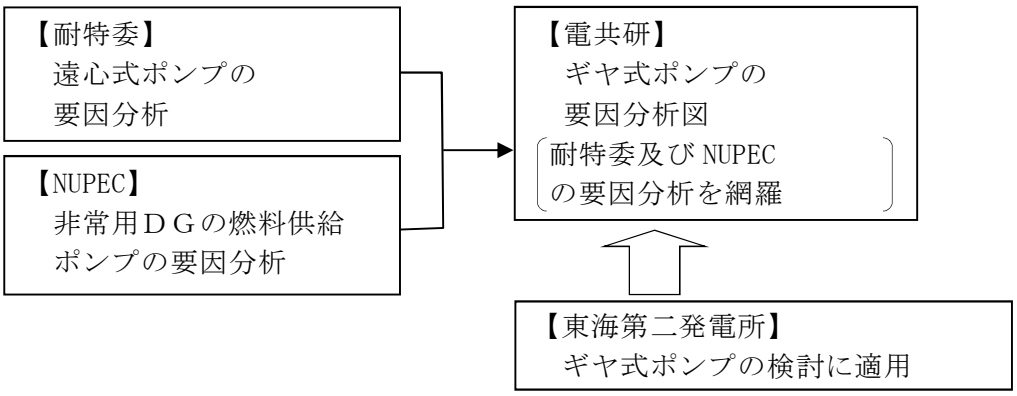
	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト （取付ボルト含む）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 （③スリーブ④主ねじ⑤従ねじのクリアランス）	軸系（主）ねじの応答が過大となることで，軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじが接触し，摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系（主ねじ）	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部が変形し油の外部漏えいに至る。
⑦	メカニカルシール	軸系（主）ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

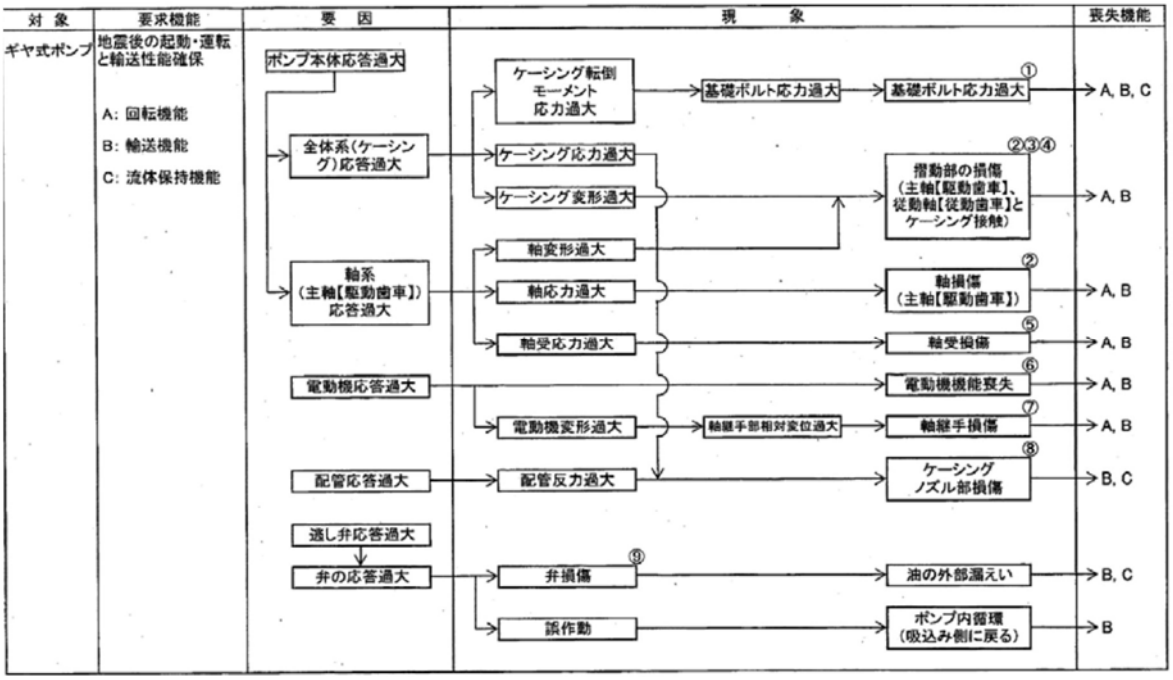
ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は，電共研※での検討内容を用いる。電共研では，第 8 図に示すとおり耐特委における遠心式ポンプ及び NUPEC における非常用 DG の燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように，ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い，評価項目を抽出している。

ギヤ式ポンプの要因分析図を第 9 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 5 表のとおりである。

※　動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）



第 8 図　　地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）



第 9 図　ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第5表　ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト （取付ボルト含む）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルトを含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。
② ③ ④	摺動部 （②主軸又は③従動軸と④ケーシングのクリアランス）	ポンプ全体系の応答が過大となることで，主軸（主動歯車）及び従動軸（従動歯車）の応答が過大となり軸部の変形により，ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。
②	軸	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	軸受	軸受応力（軸受荷重）が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑥	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑨	逃がし弁	弁の応答が過大となり，弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい，ポンプ内循環が発生し，輸送機能及び流体保持機能が喪失する。

(c) スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの抽出した評価項目に対する相互確認

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，ポンプ構造が類似していることを踏まえて，各ポンプの評価項目の抽出結果を比較することにより，その検討結果について相互の確認を行う。

ⅰ） スクリュー式ポンプで抽出した評価項目に対してギヤ式ポンプで抽出されなかった評価項目

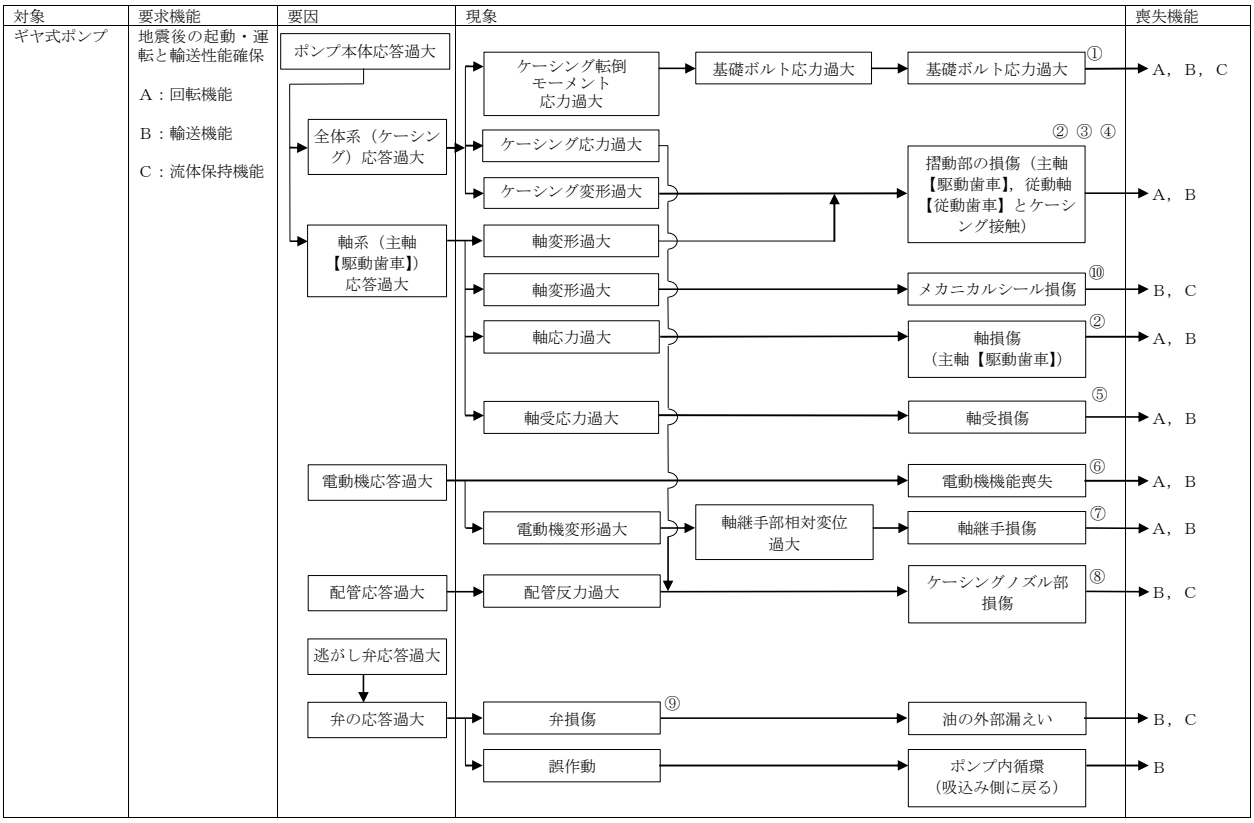
① 支持脚

ギヤ式ポンプはポンプケーシングに取付ボルト用のフランジが直接取り付けられており構造上存在しない。

② メカニカルシール

ギヤ式ポンプについてもメカニカルシールが設置されており，損傷すれば

スクリュー式ポンプと同様に輸送機能及び流体保持機能に影響を与えることからギヤ式ポンプについても評価項目として選定する。メカニカルシールを追加したギヤ式ポンプの要因分析図を第 10 図に示す。

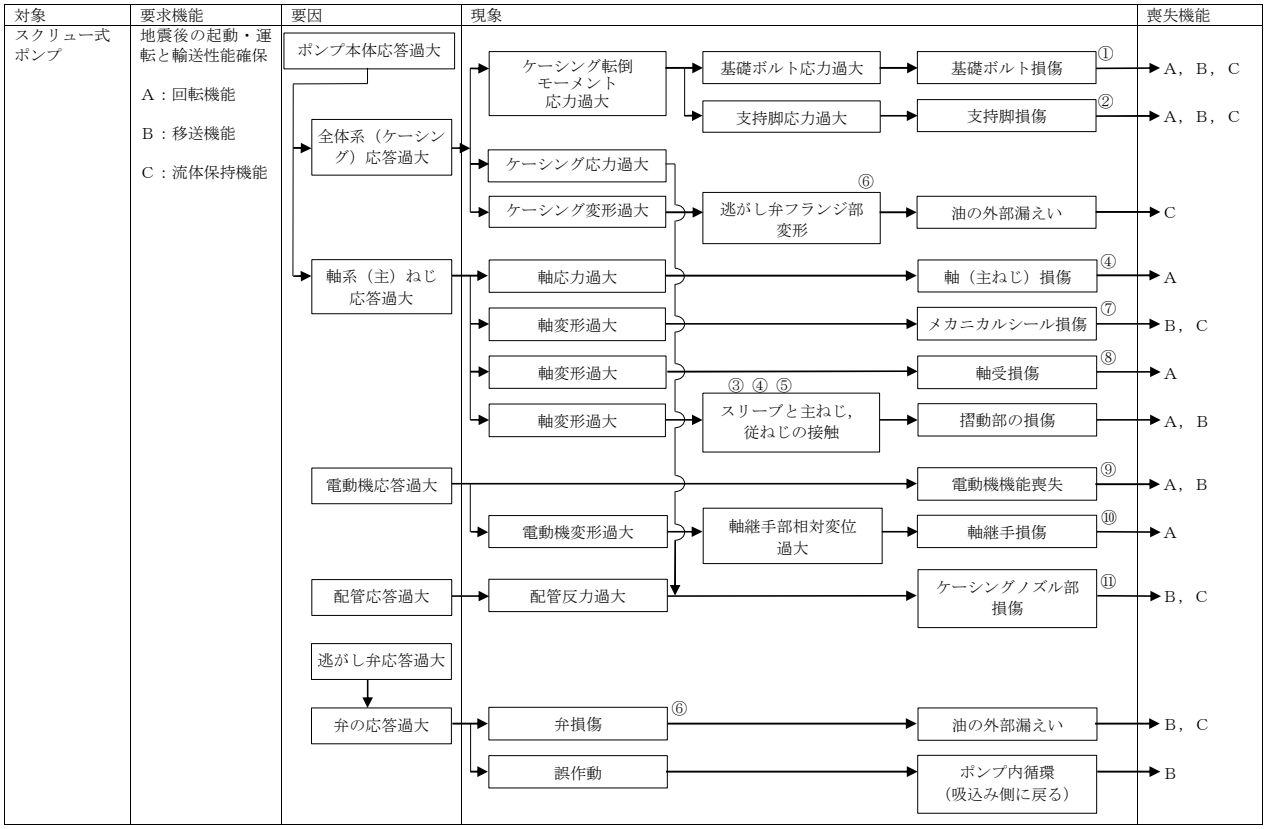


第 10 図　ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

ⅱ） ギヤ式ポンプで抽出した評価項目に対してスクリュー式ポンプで抽出されなかった評価項目

③ 逃がし弁（移送機能）

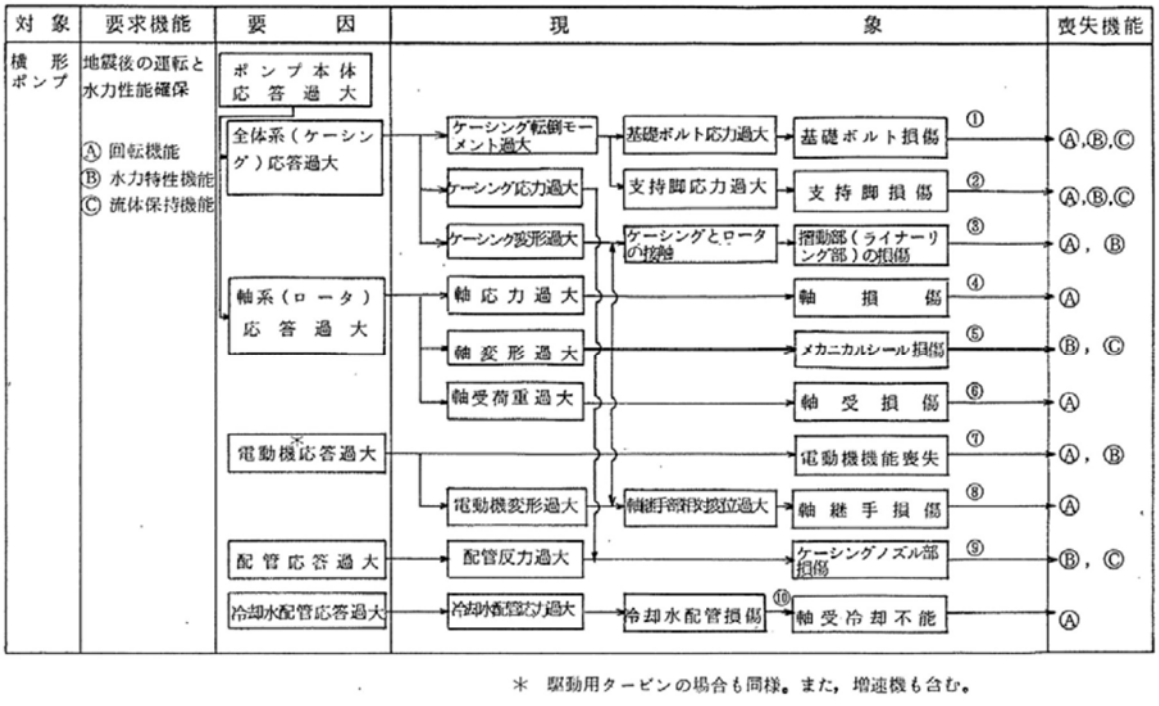
スクリュー式ポンプについても逃がし弁が設置されており，誤作動すればギヤ式ポンプと同様に移送機能に影響を与えることからスクリュー式ポンプについても評価項目として選定する。逃がし弁を追加したスクリュー式ポンプの要因分析図を第 11 図に示す。



第 11 図　スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図

b．耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目

新たな検討が必要な設備としてスクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討において，公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプの要因分析図を第 12 図に，要因分析図から抽出される評価項目を第 6 表に示す。



第 12 図　遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第 6 表　遠心式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む），支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで，支持脚の応力が過大となり損傷に至り，ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （インペラとライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり，インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り，回転機能及び輸送機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり，メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり，損傷することで軸冷却不能に至り，回転機能が喪失する。

c．遠心式ポンプの評価項目を踏まえたスクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の検討

スクリュー式ポンプの要因分析結果について，耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果，スクリュー式ポンプの評価項目は，遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリュー式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり，遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え，構造の差異により抽出されたスクリュー式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお，構造の差異として抽出された評

価項目は下記のとおりである。

・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくスクリュー式ポンプのみで抽出）

・摺動部（スクリュー式ポンプ及び遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが，構成部品が異なる。）

・軸冷却水配管（スクリュー式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは，大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから，軸受の冷却が必要となる。このため，地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため，軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリュー式ポンプの標準設計として，軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが，スクリュー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため，軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

スクリュー式ポンプは遠心式ポンプと同様に，基礎ボルトで固定された架台の上に，駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており，地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については，スクリュー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく，高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため，取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため，取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③④⑤ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より，遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に，スクリュー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

スクリュー式ポンプのスクリュー部は，構造が非常に剛であり，地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また，スリーブ部については，ケーシング部に設置されている。

軸系（主ねじ）についてはラジアル軸受で支持されており，軸変形によりスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため，動

的機能維持の評価項目として選定する。

④ 軸系の評価

スクリュー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり，一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが，軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため，スクリュー式ポンプにおいても，遠心式ポンプと同様に，軸応力過大により軸損傷が発生しないことを確認するため，軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であり，弁に作用する最大加速度が，安全弁の機能確認済加速度以下であることを確認する。

⑦ メカニカルシール

メカニカルシールは，高い剛性を有するケーシングに固定されており，地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し，軸は地震時でも軸受で支持されており，有意な変位は生じることはなく，軸封部との接触は生じないため，計算書の対象外とする。

⑧ 軸受の評価

ポンプにおいて，軸受の役割は回転機能の保持であり，その役割はスクリュー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより，ポンプの機能喪失につながるため，動的機能維持の評価項目として選定する。また，評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑨ 電動機の評価

スクリュー式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり，耐特委（ＪＥＡＧ4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから，機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑩ 軸継手の評価

スクリュー式ポンプは，遠心式ポンプと同様に，軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから，軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため，計算書の評価対象外とする。

⑪ ケーシングノズルの評価

東海第二発電所で使用するスクリュー式ポンプの吸込，吐出部は直接配管のフラ

ンジを接続する構造でありノズル形状を有さないため，計算書の対象外とする。

以上から,スクリュー式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち,計算書の評価対象とするものは以下のとおりである。

・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
・摺動部（軸系）の評価
・軸系としてねじの評価
・逃がし弁の評価
・軸受の評価
・電動機の評価

評価項目における評価基準値の説明を第７表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第１２表に示す。評価内容については以下の添付書類に示す。

・添付書類「Ⅴ-2-10-1-2-4 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」
・添付書類「Ⅴ-2-10-1-3-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」
・添付書類「Ⅴ-2-10-1-4-3 常設代替高圧電源装置用燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」

第７表　評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として$Ⅳ_{A}S$を評価基準値とした。
③④ 摺動部	主ねじとスリーブの接触により回転機能，移送機能が阻害されるという観点から，主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
④ 軸	回転機能の確保の観点から，軸（主ねじ）の変形を弾性範囲内に留めるよう$Ⅲ_{A}S$を評価基準値とした。
⑥ 逃がし弁	移送機能の確保の観点から，機能確認済加速度は，水平方向1.0[G]，鉛直方向1.0[G]を評価基準とした。（注１）
⑧ 軸受	回転機能の確保の観点から，メーカが推奨する許容面圧を評価基準とした。
⑨ 電動機	回転機能，移送機能の確保の観点から，水平方向はＪＥＡＧ4601に記載の電動機（横形ころがり軸受機）の機能確認済加速度である4.7[G]，鉛直方向は1.0[G]を評価基準とした。

（注１）

逃がし弁の機能確認済加速度は以下の考えで定めた。

機能確認済加速度は，ＪＥＡＧ4601の表3.5.10-8「弁駆動部の機能確認済加速度」に定められた安全弁のうち，最も小さいＰＷＲ加圧器安全弁の5.0[G]を参考に設定する（第８表）。

第８表　ＪＥＡＧ4601で定める弁駆動部の機能確認済加速度

種別	弁型式		機能確認済加速度[G]
特殊弁	安全弁	ＢＷＲ主蒸気逃がし安全弁	9.6
		ＰＷＲ加圧器安全弁	5.0
		ＰＷＲ主蒸気安全弁	10.0

ＪＥＡＧ4601に定められた安全弁とスクリュー式ポンプの逃がし弁の構造は第９表に示すとおりであり，両者の構造は以下のとおり同等である。

- 構造はシート部を構成する弁座（本体）と弁体，圧力バウンダリとなる本体とふたにより構成される。
- 内部流体圧力と，ばねによる弁体押付け力との釣り合いにより開閉動作を行う。
- ＪＥＡＧ4601に記載の安全弁の例として口径200A以下と記載されていることに対し，

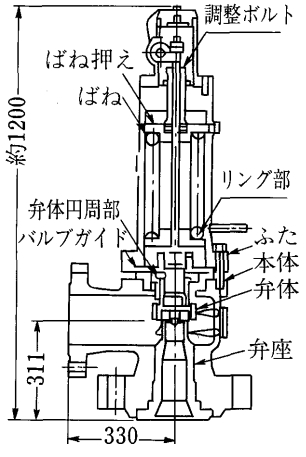
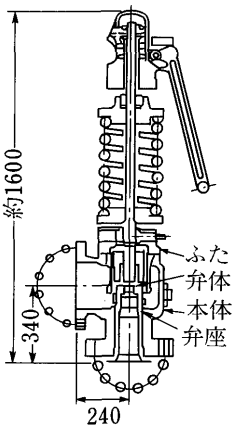
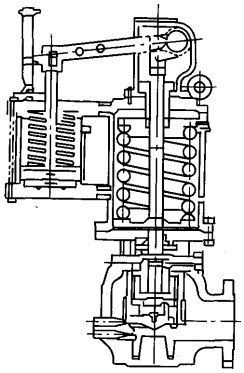
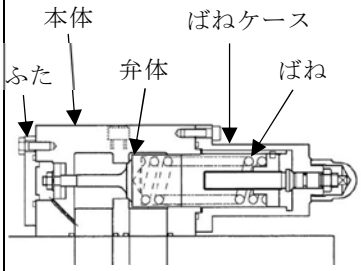
スクリュー式ポンプ逃がし弁のポンプとの取り合い部の口径はすべて 200A 以下となっている。

ただし，機能確認済加速度を設定するに当たっては，ＰＷＲ加圧器安全弁が縦置きであるのに対し，スクリュー式ポンプ逃がし弁は横置き設置であるため，以下のように配慮する（第１０表）。

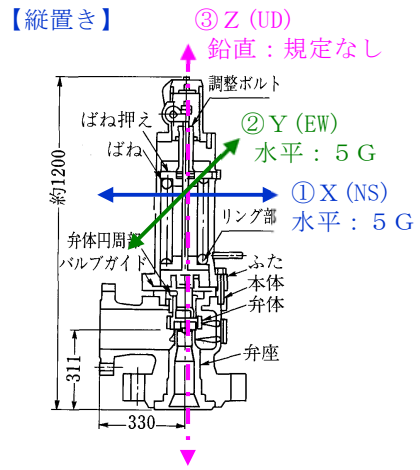
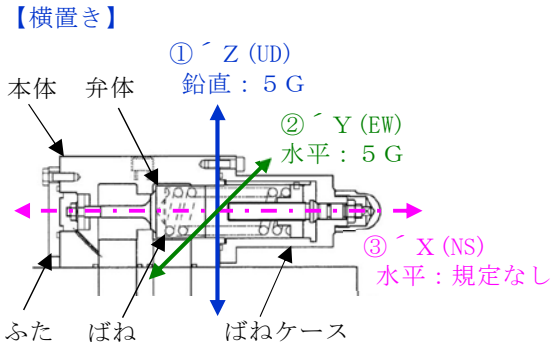
- ＰＷＲ加圧器安全弁の水平方向の機能確認済加速度を 90° 変換して鉛直方向の機能確認済加速度として 5.0[G]を適用（①´）することが可能と考えるが，設置向きの違いを勘案して安全側に 1.0[G]を許容値として評価する。
- ＰＷＲ加圧器安全弁で規定していない鉛直方向（弁軸方向）が，スクリュー式ポンプ逃がし弁の水平方向（弁軸方向）になる（③´）ことから，水平方向の許容値に１.0[G]を適用する。

なお，原子力発電所耐震設計技術規定ＪＥＡＣ4601-2008（以下「ＪＥＡＣ4601-2008」という）においては，第１１表に示す機能確認済加速度が規定されており，原子力発電所耐震設計技術規定ＪＥＡＣ4601-2015 では燃料移送ポンプ（スクリュ式）の機能確認済加速度として水平：4.5[G]，鉛直：2.0[G]が定められている。

第９表　ＪＥＡＧ4601 で定める安全弁とスクリュー式ポンプ逃がし弁の構造比較

ＪＥＡＧ4601			スクリュー式ポンプ逃がし弁
ＰＷＲ 加圧器安全弁	ＰＷＲ 主蒸気安全弁	ＢＷＲ 主蒸気逃がし安全弁	
			

第１０表　スクリュー式ポンプ逃がし弁の機能確認済加速度の設定の考え方

ＪＥＡＧ4601　ＰＷＲ加圧器安全弁	スクリュー式ポンプ逃がし弁
	
水平：5.0[G]　　鉛直：1.0[G]	水平：1.0[G]　　鉛直：1.0[G]

第１１表　ＪＥＡＣ4601-2008 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

弁型式	機能確認済加速度[G]	
	水平	鉛直
ＢＷＲ主蒸気逃がし安全弁	9.6	6.1
ＰＷＲ加圧器安全弁	13.0	3.0
ＰＷＲ主蒸気安全弁	13.0	3.0
ＰＷＲ主蒸気安全弁 （固有周期が 20Hz 未満の安全弁）	10.0	3.0

第１２表（１）　非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ　評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張（MPa）	4	184	○
		せん断（MPa）	4	142	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張（MPa）	3	433	○
		せん断（MPa）	2	333	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	―（mm）			○
④ 軸	応力	せん断（MPa）	8	495	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平 （×9.8m/s^2）	0.81	1.0	○
		鉛直 （×9.8m/s^2）	0.71	1.0	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル (原動機側) （MPa）	0.0790		○
		⑧-2 ラジアル (負荷側) （MPa）	0.1356		○
		⑧-2 スラスト （MPa）	0.1588		○
⑨ 原動機	加速度	水平 （×9.8m/s^2）	0.81	4.7	○
		鉛直 （×9.8m/s^2）	0.71	1.0	○

第１２表（２）　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ　評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張（MPa）	4	184	○
		せん断（MPa）	4	142	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張（MPa）	3	433	○
		せん断（MPa）	2	333	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	―（mm）			○
④ 軸	応力	せん断（MPa）	8	495	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平 （×9.8m/s^2）	0.81	1.0	○
		鉛直 （×9.8m/s^2）	0.71	1.0	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル （原動機側） （MPa）	0.0790		○
		⑧-2 ラジアル （負荷側） （MPa）	0.1356		○
		⑧-2 スラスト （MPa）	0.1588		○
⑨ 原動機	加速度	水平 （×9.8m/s^2）	0.81	4.7	○
		鉛直 （×9.8m/s^2）	0.71	1.0	○

第１２表（３）　常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ　評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張（MPa）	4	184	○
		せん断（MPa）	4	142	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張（MPa）	3	433	○
		せん断（MPa）	3	333	○
③スリーブ ④主ねじ	変位	―（mm）			○
④ 軸	応力	せん断（MPa）	6	495	○
⑥ 逃がし弁	加速度	水平 （×9.8m/s^2）	0.81	1.0	○
		鉛直 （×9.8m/s^2）	0.71	1.0	○
⑧ 軸受	面圧	⑧-1 ラジアル（原動機側）（MPa）	0.0678		○
		⑧-2 ラジアル（負荷側）（MPa）	0.0835		○
		⑧-2 スラスト（MPa）	0.1769		○
⑨ 電動機	加速度	水平 （×9.8m/s^2）	0.81	4.7	○
		鉛直 （×9.8m/s^2）	0.71	1.0	○

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の検討

ギヤ式ポンプの要因分析結果について，耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果，ギヤ式ポンプの評価項目は，遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり，遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え，構造の差異により抽出されたギヤ式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお，構造の差異として抽出された評価項目は下記のとおりである。

・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくギヤ式ポンプのみで抽出）

・摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが，構成部品が異なる。）

・軸冷却水配管（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは，大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから，軸受の冷却が必要となる。このため，地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため，軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でギヤ式ポンプの標準設計として，軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが，ギヤ式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため，軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に，基礎ボルトで固定された架台の上に，駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており，地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

②③④ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より，遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に，ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

ギヤ式ポンプのギヤ部は，構造が非常に剛であり，地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また，ケーシングについては，横形ポンプと同様に耐圧構造であり，使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。

主軸又は従動軸については，損傷によってギヤがケーシングと接触することで回

転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は，従動軸の重量に比べ大きく，軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため，評価項目は，主軸（ギヤ部）を対象として行う。

② 主軸の評価

ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり，一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが，主軸の重量は，従動軸に比べ大きく，軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため，主軸の健全性確認を行うことによって，一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため，ギヤ式ポンプにおいても，遠心式ポンプと同様に，軸損傷が発生しないことを確認するため，主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 軸受の評価

ポンプにおいて，軸受の役割は「回転機能の保持」であり，その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。

当該軸受が損傷することにより，ポンプの機能喪失につながるため，動的機能維持の評価項目として選定する。また，評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑥ 電動機の評価

ギヤ式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり，耐特委（ＪＥＡＧ4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから，機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑦ 軸継手の評価

ギヤ式ポンプは，遠心式ポンプと同様に，軸受でスラスト荷重を受け持つことから，軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため，計算書の評価対象外とする。

⑧ ケーシングノズルの評価

ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は，遠心式ポンプと同様に，機器と配管の接続部であるが，ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで，ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため，計算書の評価対象外とする。

⑨ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であるため，弁に作用する最大加速度が，安全弁の機能確認済加

速度以下であることを確認する。

⑩ メカニカルシール

メカニカルシールは，高い剛性を有するケーシングに固定されており，地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し，軸は地震時でも軸受で支持されており，有意な変位は生じることはなく，軸封部との接触は生じないため，計算書の対象外とする。

以上から，ギヤ式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下のとおりである。

・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価
・主軸（ギヤ部）の評価
・主軸の評価
・軸受の評価
・電動機の評価
・逃がし弁の評価

評価項目における評価基準値の説明を第１３表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第１６表に示す。評価内容については以下の添付書類に示す。

・添付書類「Ⅴ-2-10-1-5-3 緊急時対策所用発電機給油ポンプの耐震性についての計算書」

第１３表　評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として$Ⅳ_{A}S$を評価基準値とした。
②④ 主軸（ギヤ部）	主軸とケーシングの接触により回転機能，移送機能が阻害されるという観点から，主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
② 主軸	回転機能の確保の観点から，主軸の変形を弾性範囲内に留めるよう$Ⅲ_{A}S$を評価基準値とした。
⑤ 軸受	回転機能の確保の観点から，メーカが推奨する許容面圧を評価基準とした。
⑥ 電動機	回転機能，移送機能の確保の観点から，水平方向はＪＥＡＧ4601 に記載の電動機（横形ころがり軸受機）の機能確認済加速度である 4.7[G]，鉛直方向は 1.0[G]を評価基準とした。
⑨ 逃がし弁	移送機能の確保の観点から，水平方向はＪＥＡＧ4601 に記載の安全弁の機能確認済加速度である 5.0[G]，鉛直方向及び軸方向は 1.0[G]を評価基準とした。（注１）

（注１）

逃がし弁の機能確認済加速度は以下の考えで定めた。

機能確認済加速度は，ＪＥＡＧ4601 の表 3.5.10-8「弁駆動部の機能確認済加速度」に定められた安全弁のうち，最も小さいＰＷＲ加圧器安全弁の 5.0[G]を参考に適用する（第１４表）。

第１４表　ＪＥＡＧ4601 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

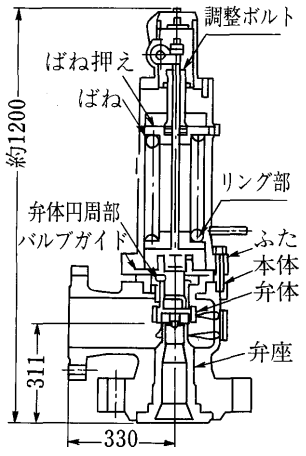
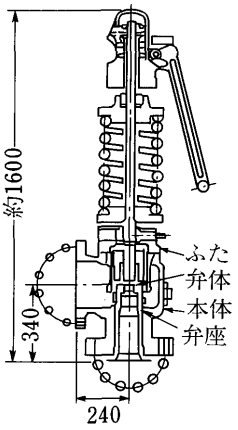
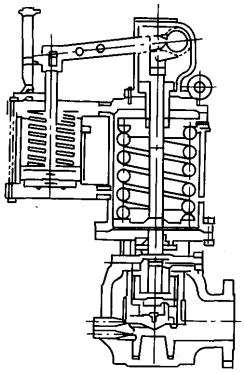
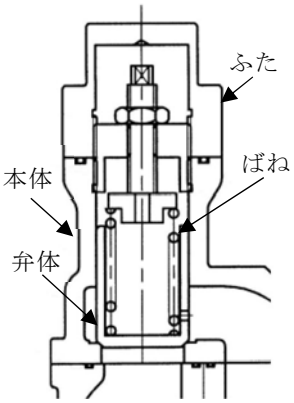
種別	弁型式		機能確認済加速度[G]
特殊弁	安全弁	ＢＷＲ主蒸気逃がし安全弁	9.6
		ＰＷＲ加圧器安全弁	5.0
		ＰＷＲ主蒸気安全弁	10.0

ＪＥＡＧ4601 に定められた安全弁とギヤ式ポンプの逃がし弁の構造は第１５表に示すとおりであり，両者の構造は以下のとおり同等であるため，ＪＥＡＧ4601 に定められた安全弁の機能確認済加速度が適用可能と考える。

- 構造はシート部を構成する弁座（本体）と弁体，圧力バウンダリとなる本体とふたにより構成される。

- 内部流体圧力と，ばねによる弁体押付け力との釣り合いにより開閉動作を行う。
- ＪＥＡＧ4601 に記載の安全弁の例として口径 200A 以下と記載されていることに対し，ギヤ式ポンプ逃がし弁のポンプとの取り合い部の口径はすべて 200A 以下となっている。

第１５表　ＪＥＡＧ4601 で定める安全弁とギヤ式ポンプ逃がし弁の構造比較

ＪＥＡＧ4601			ギヤ式ポンプ 逃がし弁
ＰＷＲ 加圧器安全弁	ＰＷＲ 主蒸気安全弁	ＢＷＲ 主蒸気逃がし安全弁	
			

第１６表　緊急時対策所用発電機給油ポンプ　評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張（MPa）	6	475	○
		せん断（MPa）	5	366	○
①-2 ポンプ取付ボルト	応力	引張（MPa）	12	205	○
		せん断（MPa）	2	157	○
②④ 主軸（ギヤ部）	変位	―（mm）			○
② 主軸	応力	組合せ（MPa）	4	858	○
⑤ 軸受	面圧	―（MPa）	1		○
⑥ 電動機	加速度	水平（×9.8m/s^2）	1.2	4.7	○
		鉛直（×9.8m/s^2）	1.0	1.0	○
⑨ 逃がし弁	加速度	水平（×9.8m/s^2）	1.2	5.0	○
		鉛直（×9.8m/s^2）	1.0	1.0	○

4.　まとめ

新たな検討が必要な設備について，地震時要因分析を行い，基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い，評価項目の抽出を行った。また，抽出した項目について評価を行い，機能が喪失することがないことを確認した。

格納容器圧力逃がし装置　移送ポンプの地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価

1. はじめに

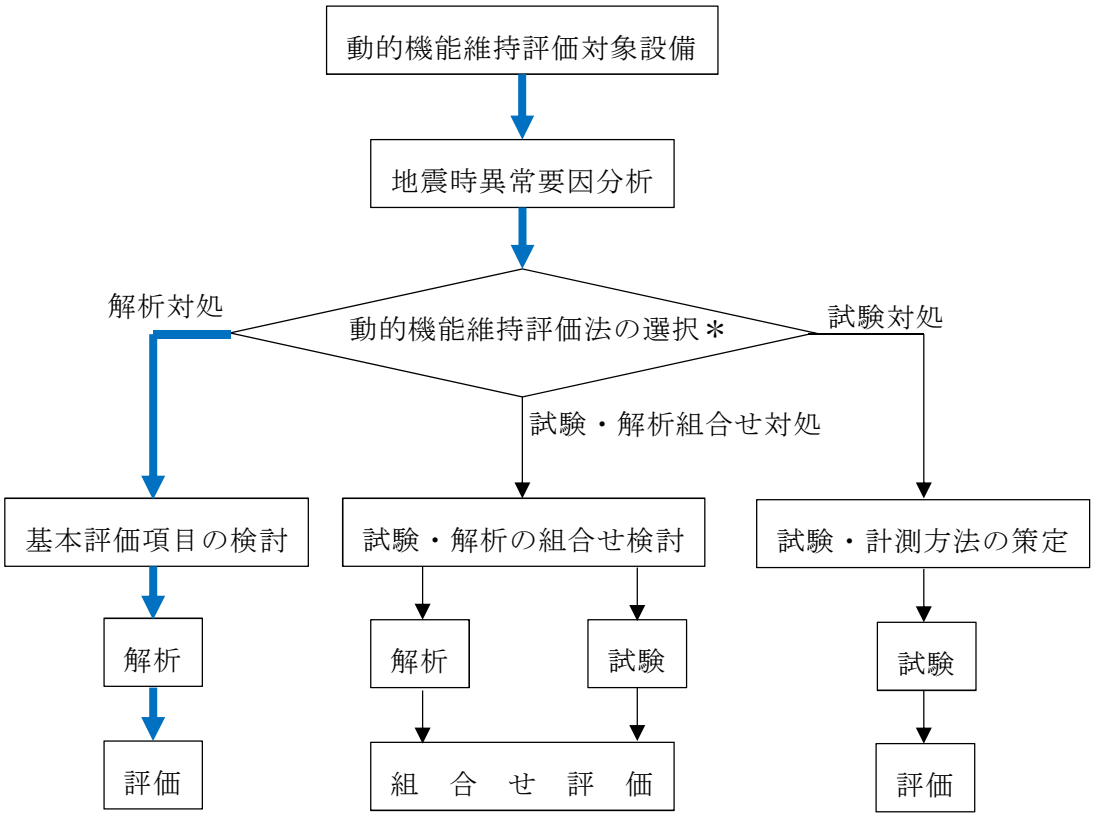
格納容器圧力逃がし装置　移送ポンプ（以下「移送ポンプ」という。）の動的機能の評価において，ＪＥＡＧ4601 にて定められた機能確認済加速度との比較により評価を実施している。移送ポンプは，内部流体が高線量であるため外部への拡散防止が必要であり，漏えい対策としてメカニカルシール等の軸封装置が不要であるキャンドモータポンプを採用しているが，作動原理，基本構造及びこれに基づく振動性状等の面からＪＥＡＧ4601 にて定められた横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機の機能確認済加速度が適用できると考える。しかしながら，ＪＥＡＧ4601 に記載の横形ポンプ，電動機の例にキャンドモータポンプはないため，移送ポンプの地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価を行った。

2. 評価項目の抽出方針

移送ポンプにおける動的機能維持の検討方針としては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として（社）日本電気協会　電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。

移送ポンプは，横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 1 図に示す。なお，ＪＥＡＧ4601 においても，機能維持評価の基本方針として，地震時の異常要因分析を考慮し，動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。



第１図　動的機能維持評価のフロー

また，耐特委の成果を基にＪＥＡＧ4601 の動的機器の耐震評価法が定められており，地震時異常要因分析を検討するに当たり，参考とするＪＥＡＧ4601 の機種／型式／適用範囲を第１表に示すとともに，移送ポンプの構造概要図を図２に示す。また，主要仕様を第２表に示す。

ＪＥＡＧ4601 に記載されている地震時機能維持を要求される横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機（第３図）と移送ポンプの作動原理，基本構造及びこれに基づく振動性状等は以下のとおりであり，同じといえる。このため，移送ポンプについては，耐特委の横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機を参考とし，地震時異常要因分析を実施する。

・移送ポンプとＪＥＡＧ4601 に記載の横形ポンプは共に横形単段遠心式ポンプであり，羽根車の高速回転により液を吸い込み・吐き出すポンプである。原動機については，共に横形すべり軸受電動機であり，堅牢な固定子フレーム，ケーシングと軸受に支えられた回転子とから構成される。ポンプの固定方法については，共に基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に駆動機構である原動機とポンプが取付ボルトにより設置される。

・ＪＥＡＧ4601 に記載の横形ポンプは，原動機からの動力を，軸継手を介してポンプ側へ伝達する方式であり，主軸，軸受及びメカニカルシール部のクリアランスにより，軸系の地震荷重はメカニカルシール部に負荷されず，軸受を通して剛なケーシングに伝達される。一方，移送ポンプは軸継手を有しておらず，電動機の軸に直接羽根車が固定されており，また，メカニカルシール等を有していないが，軸系の地震荷重は軸受を通して剛なケーシングに伝達される。

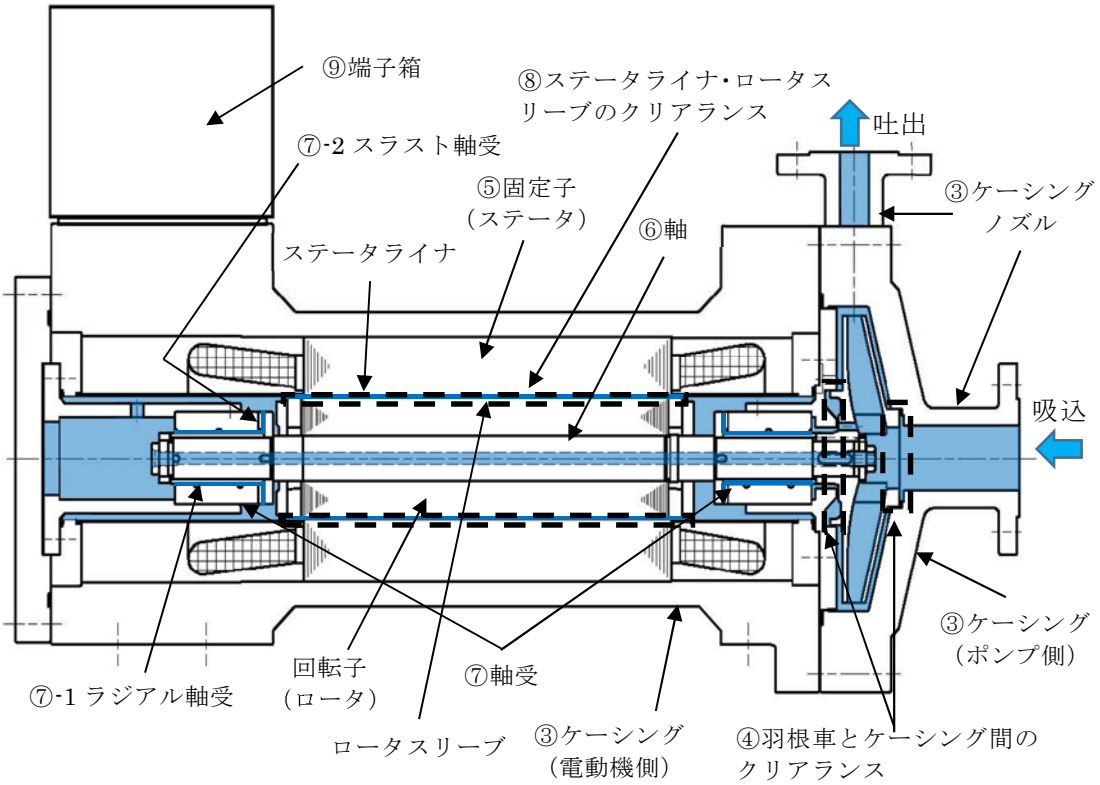
・移送ポンプは，電動機の固定子と回転子の間はポンプの取り扱流体で満たされているが，その量はロータの質量の 1%に満たない量であり，振動性状に影響はない。

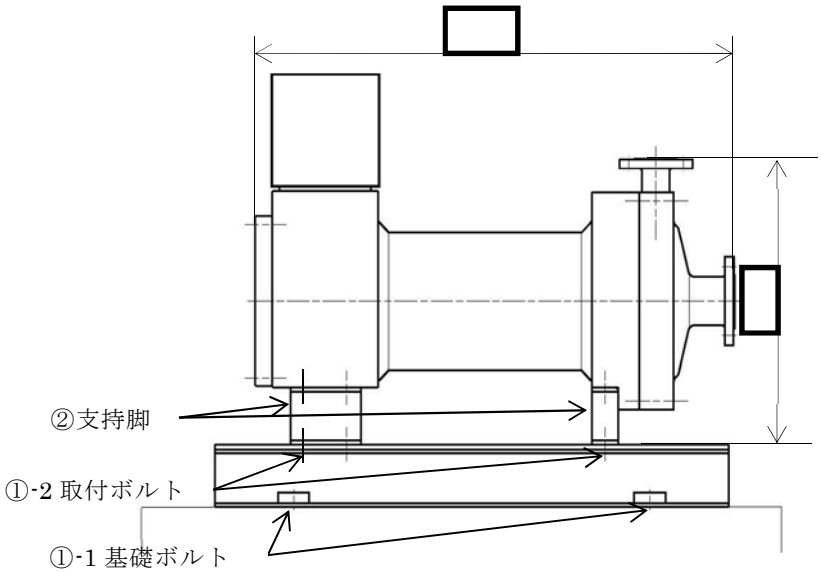
第 1 表　移送ポンプの参考とする機種／型式

新たな検討を行う設備	機種／型式／流量，出力	参考とするＪＥＡＧ4601 の機種／型式／適用範囲
・移送ポンプ	キャンドモータポンプ ・横形ポンプ／ 単段遠心式／ 流量：10 m^3/h ・電動機／ 横形すべり軸受機／ 出力：7.5 kW	・横形ポンプ／ 単段遠心式／ 流量：～2400 m^3/h ・電動機／ 横形すべり軸受機 出力：～1400 kW

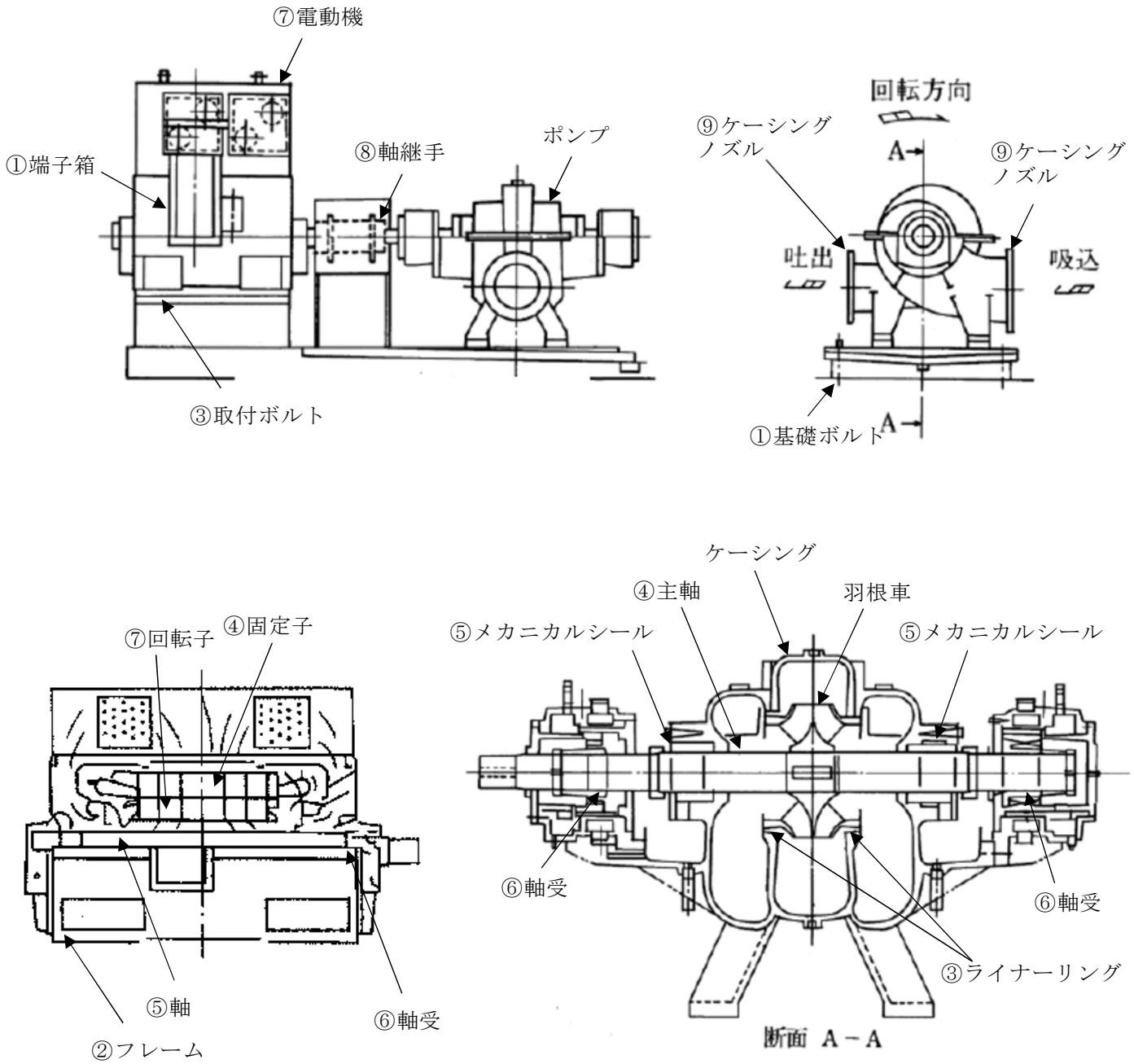
第 2 表　移送ポンプの主要仕様

名称		移送ポンプ
容量	m^3/h/個	10
揚程	m	40
最高使用圧力	MPa	2.5
最高使用温度	℃	200
原動機出力	kW/個	7.5





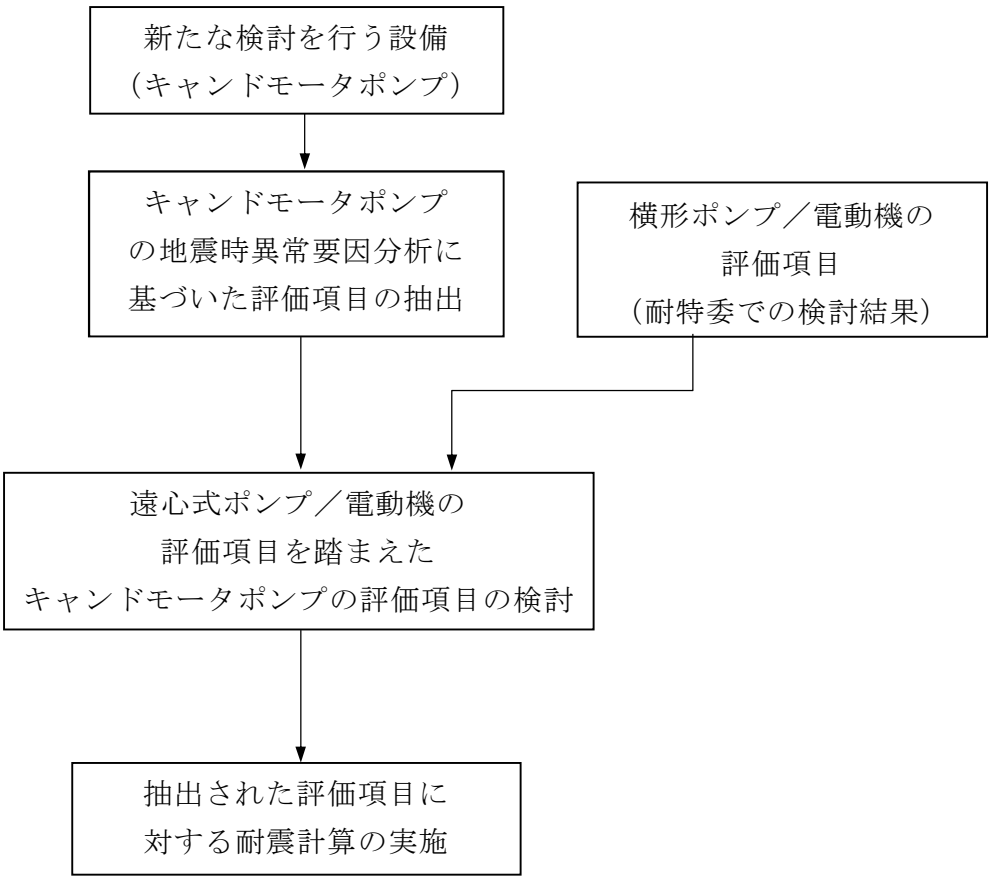
第 2 図　移送ポンプ構造概要図



第 3 図　遠心式ポンプ／電動機　構造概要図

3.　新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討を行う設備として，移送ポンプ（キャンドモータポンプ）に対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第４図に示す。

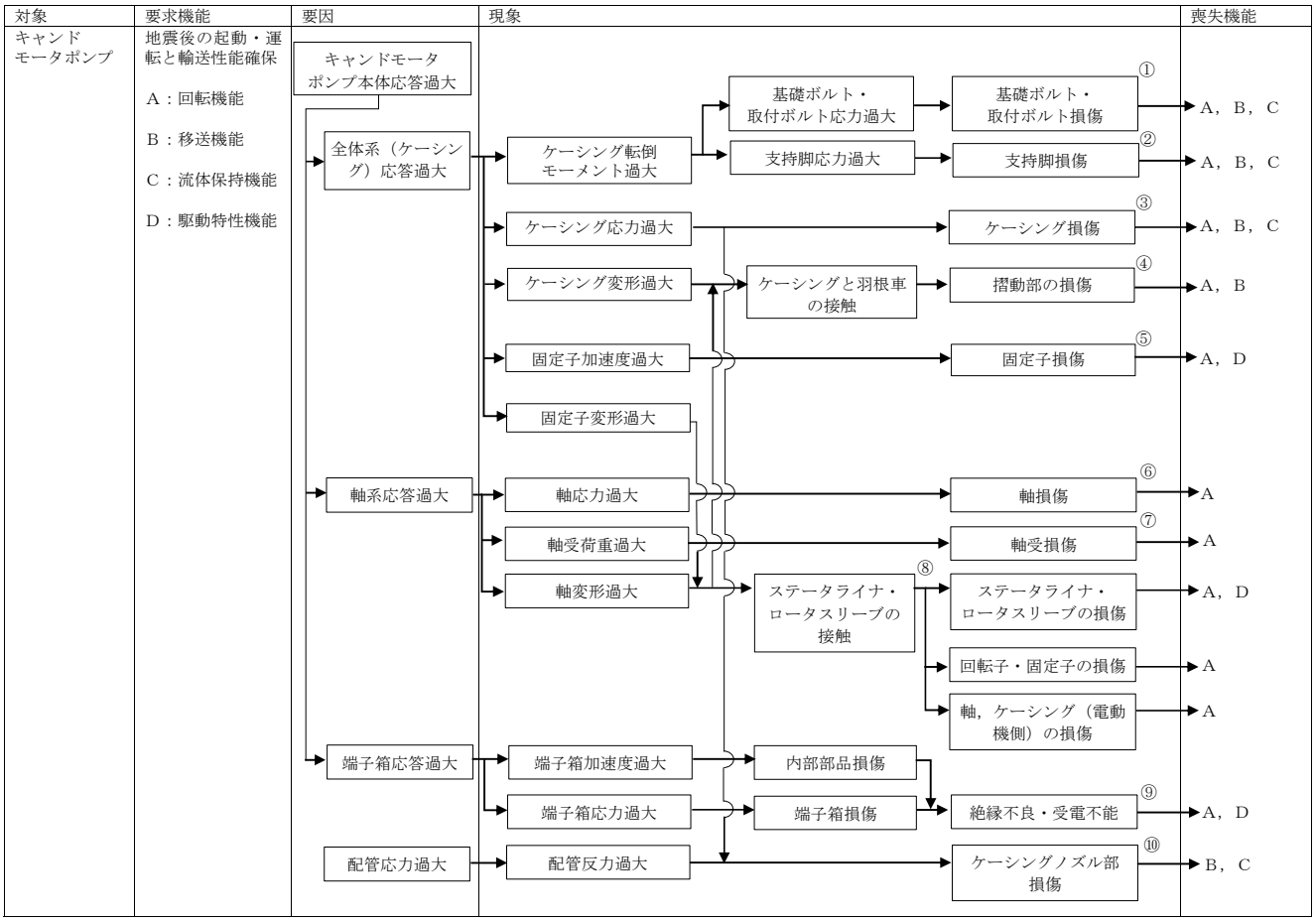


第４図　　動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

ａ．キャンドモータポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) キャンドモータポンプの評価項目の抽出

キャンドモータポンプの地震時異常要因分析図を第 5 図に示す。地震時異常要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 3 表のとおりである。



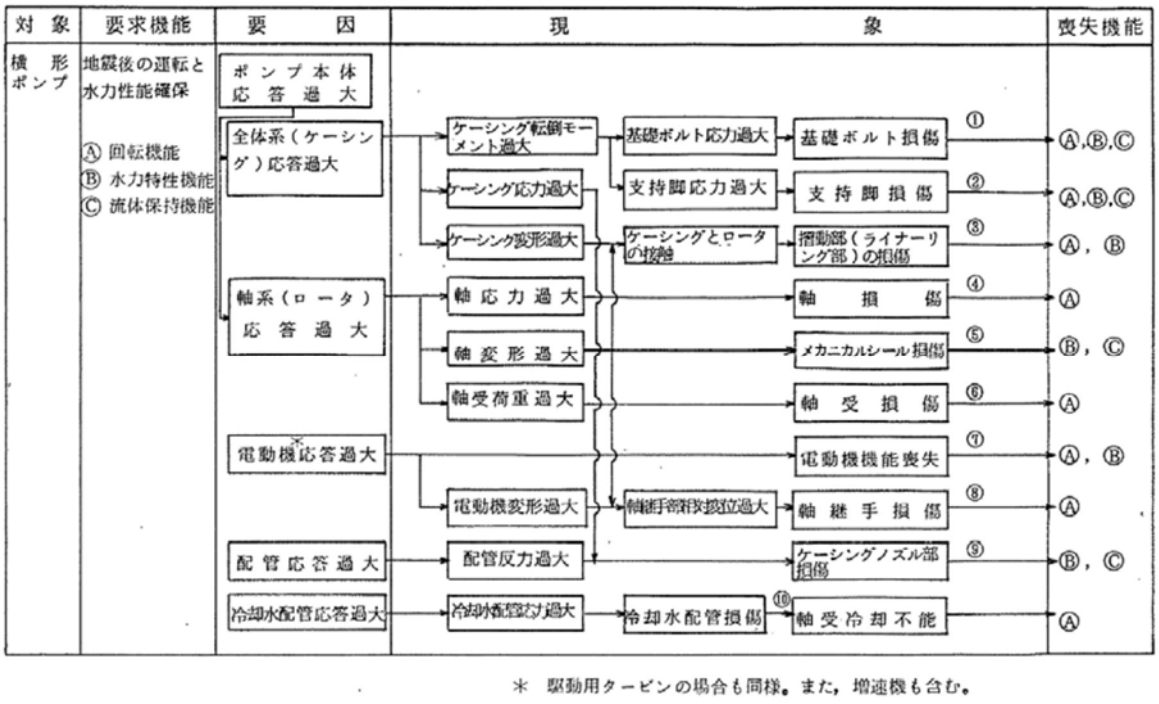
第 5 図　キャンドモータポンプの地震時異常要因分析図

第3表　キャンドモータポンプ地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト 取付ボルト	全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト・取付ボルトの応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することで機能喪失する。
③	ケーシング	全体系の応答が過大となることにより，電動機構成部品の支持構造部材であるケーシングの応力が過大となり，ケーシングが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。
④	摺動部	軸の応答が過大となり，軸変形が過大となることにより羽根車とケーシングが接触し，摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
⑤	固定子	全体系の応答が過大となることにより，固定子自身に作用する加速度が過大となり，固定子の損傷に至ることにより，回転機能が喪失する。
⑥	軸	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能が喪失する。
⑦	軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能が喪失する。
⑧	ステータライナ・ ロータスリーブ	軸の応答が過大となり，軸変形が過大となることによりステータライナ，ロータスリーブが接触し，損傷に至り回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑨	端子箱	端子箱の応答が過大となることにより，端子箱もしくは内部部品が損傷し，絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑩	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

b．耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目

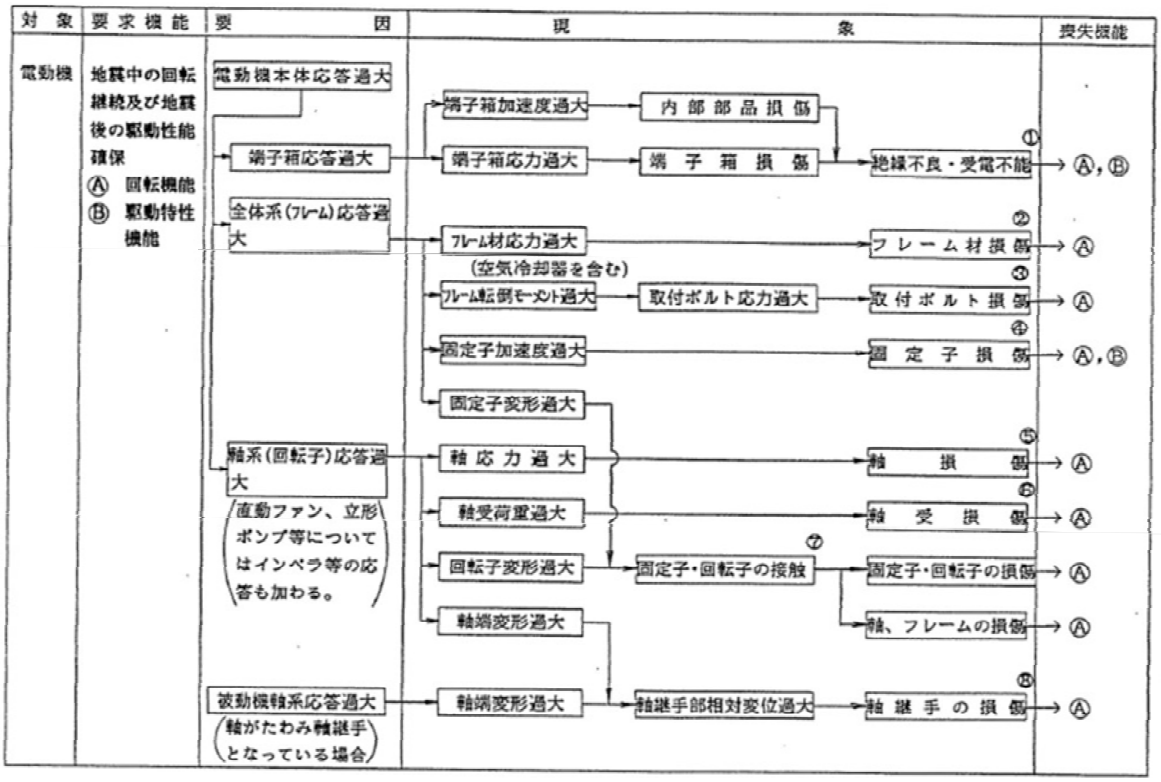
キャンドモータポンプの評価項目の検討において，公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプ，電動機の地震時異常要因分析図を第 6 図及び第 7 図に，要因分析図から抽出される評価項目を第 4 表及び第 5 表に示す。



第 6 図　遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第 4 表　遠心式ポンプ地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む），支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで，転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで，支持脚の応力が過大となり損傷に至り，ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （羽根車とライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり，羽根車がライナーリングと接触することで損傷に至り，回転機能及び水力特性機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり，メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能及び水力特性機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで，回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり，ケーシングノズルが損傷することで水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり，損傷することで軸冷却不能に至り，回転機能が喪失する。



第 7 図　電動機の地震時異常要因分析図

第 5 表　電動機地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	端子箱	端子箱の応答が過大となることにより，端子箱もしくは内部部品が損傷し，絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
②	フレーム	全体系（フレーム）の応答が過大となることにより，電動機構成部品の支持構造部材であるフレーム材の応力が過大となりフレームが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。
③	取付ボルト	電動機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより電動機を原動機台に固定している取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより回転機能が喪失する。
④	固定子	全体系の応答が過大となることにより，固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑤	軸	軸系（回転子）の応答が過大となることで軸応力が過大となり，軸が損傷することにより回転機能が喪失する。
⑥	軸受	軸系（回転子）の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで軸の回転が阻害され，回転機能が喪失する。
⑦	固定子・回転子	全体系（フレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え，軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により，固定子・回転子の接触が発生し，固定子・回転子が損傷することで回転機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機（ポンプ）軸と電動機軸の相対変位が過大となり，軸継手が損傷することで被駆動機への回転運動の伝達が喪失する。

ｃ．遠心式ポンプ／電動機の評価項目を踏まえたキャンドモータポンプの評価項目の検討

キャンドモータポンプの地震時異常要因分析結果について，耐特委における遠心式ポンプ／電動機の地震時異常要因分析結果と同様に整理した結果，キャンドモータポンプの評価項目は，遠心式ポンプ／電動機とほぼ同様となった。キャンドモータポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり，遠心式ポンプ／電動機の耐特委における評価項目に加え，構造の差異により抽出されたキャンドモータポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお，構造の差異として抽出された評価項目は下記のとおりである。

・ステータライナ・ロータスリーブ（電動機の評価項目になくキャンドモータポンプのみで抽出）
・メカニカルシール（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
・軸継手（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
・冷却水配管（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
・空気冷却器（キャンドモータポンプの評価項目になく電動機のみで抽出）

キャンドモータポンプは軸封部がなくポンプと電動機が一体となった構造となっており，電動機のステータライナ内はポンプ取り扱い流体で満たされている。軸封部がないことからメカニカルシールを有しておらず，羽根車が電動機軸に取り付けられていることから軸継手も有していない。電動機のステータライナ内はポンプ取り扱い流体の流れがあり，移送ポンプにおいては別途軸受，電動機の冷却が不要なことから，ポンプ冷却水配管，電動機空気冷却器を有していない。

キャンドモータポンプの動的機能維持の評価項目を抽出した結果を以下に示す。

① 基礎ボルト，取付ボルトの評価

キャンドモータポンプは遠心式ポンプ，電動機と同様に，基礎ボルトで固定された架台の上に，取付ボルトで設置されており，地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については，キャンドモータポンプと遠心式ポンプ，電動機とで構造に大

きな違いはなく，高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため，取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため，取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③ ケーシングの評価

ケーシングについては，キャンドモータポンプと遠心式ポンプ，電動機とで構造に大きな違いはなく，高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため，取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため，取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

④ 摺動部の評価

キャンドモータポンプは遠心式ポンプと同様に，羽根車とケーシング間のクリアランス部が，地震時に接触し損傷した場合移送機能喪失にかかわるため，動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 固定子の評価

固定子はケーシング（電動機側）内部に取り付けられ，ケーシング（電動機側）は十分厚く，高い強度を有する設計であることを確認している。そのため，ケーシングが損傷しなければ固定子の健全性は確保されるため，計算書の評価対象外とする。

⑥ 軸の評価

キャンドモータポンプはポンプ部と電動機部の軸が一体の構造であり，遠心式ポンプ／電動機とは異なるが，軸系の損傷によってキャンドモータポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため，キャンドモータポンプにおいても，遠心式ポンプ／電動機と同様に，軸応力過大により軸損傷が発生しないことを確認するため，軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑦ 軸受の評価

遠心式ポンプ／電動機において，軸受の役割は回転機能の保持であり，その役割はキャンドモータポンプも遠心式ポンプ，電動機も同じである。当該軸受が損傷することにより，キャンドモータポンプの機能喪失につながるため，動的機能維持の評価項目として選定する。また，評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑧ ステータライナ・ロータスリーブの評価

軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により，ステー

タライナ・ロータスリーブが接触，損傷し，回転機能及び駆動特性機能喪失にかかわるため，動的機能維持の評価項目として選定する。

⑨ 端子箱の評価

電動機の端子箱本体は，箱状の構造物で十分な剛性が確認されており，地震加速度の大きさに関わらず取付ボルトに有意な荷重がかかることから，取付ボルトを評価項目として選定する。

⑪ ケーシングノズルの評価

ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施しており，ケーシングノズルが損傷することはなく，回転機能，移送機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認しているため，計算書の評価対象外とする。

以上から，キャンドモータポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下のとおりである。

・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
・摺動部の評価
・軸の評価
・軸受の評価
・ステータライナ・ロータスリーブの評価
・端子箱（取付ボルト）の評価

評価項目における評価基準値の説明を第 6 表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第 7 表に示す。評価内容については別紙 2 添付 1 に示す。

第 6 表　評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として$Ⅳ_{A}S$を評価基準値とした。
④ 摺動部	羽根車とケーシングの接触により回転機能，移送機能が阻害されるという観点から，羽根車とケーシングのクリアランスを評価基準値とした。
⑥ 軸	回転機能の確保の観点から，メーカが推奨する許容応力を評価基準値とした。
⑦ 軸受	回転機能の確保の観点から，メーカが推奨する許容荷重（許容面圧）を評価基準とした。
⑧ ステータライナ・ロータスリーブ	ステータライナとロータスリーブの接触により回転機能，駆動特性機能が阻害されるという観点から，ステータライナとロータスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
⑨ 端子箱（取付ボルト）	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として$Ⅳ_{A}S$を評価基準値とした。

第 7 表　移送ポンプ　評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張（MPa）	7	184	○
		せん断（MPa）	5	142	○
①-2 取付ボルト	応力	引張（MPa）	9	398	○
		せん断（MPa）	3	306	○
④摺動部（ライナーリング部）	変位	―（mm）			○
⑥ 軸	応力	せん断（MPa）			○
⑦ 軸受	面圧	⑦-1 ラジアル（MPa）			○
		⑦-2 スラスト（MPa）			○
⑧ ステータライナ・ロータスリーブ	変位	―（mm）			○
⑨ 端子箱(取付ボルト)	応力	引張（MPa）			○
		せん断（MPa）			○

4. まとめ

新たな検討を行った移送ポンプについて，基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い，評価項目の抽出を行った。また，抽出した項目について評価を行い，機能が喪失することがないことを確認した。

別紙 2 添付 1

移送ポンプの地震時異常要因分析、基本評価項目の抽出に基づく評価

1. 評価対象部位

移送ポンプは，回転機能，移送機能，流体保持機能が維持されることを確認するために，以下の部位について評価を実施する。

a. 基礎ボルト
b. 取付ボルト
c. 軸
d. 軸受
e. 摺動部
f. ステータライナ・ロータスリーブ
g. 端子箱（取付ボルト）

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については，添付書類「Ⅴ-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書」にて十分な裕度を有していることを確認している。

以上より，本書においては，軸，軸受，摺動部，ステータライナ・ロータスリーブ及び端子箱（取付ボルト）を評価対象部位とする。

2. 評価基準値

軸系の許容応力は、メーカが推奨する許容応力値を評価基準値として設定する。軸受については軸受の許容荷重値（許容面圧）を評価基準値として設定する。摺動部については、羽根車とケーシング間の隙間を評価基準値として設定する。ステータライナ・ロータスリーブについては、当該箇所の隙間を評価基準値として設定する。端子箱（取付ボルト）の許容応力については、支持構造物の許容応力状態ⅣＡＳに準拠し設定する。

3. 記号の説明

移送ポンプの評価に使用する記号を表1－1に示す。

表1－1　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Ri}	ラジアル荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_{Ti}	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_T	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
C_H	水平方向震度	－
C_V	鉛直方向震度	－
C_P	ポンプ振動による震度	－
d_{SO}	軸外径	mm
d_{SI}	軸内径	mm
d_{BO}	軸受外径	mm
d_{BI}	軸受内径	mm
d_T	端子箱取付ボルト径	mm
D_T	端子箱取付ボルトのピッチ円直径	mm
n	端子箱取付ボルトの本数	－
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H_P	予想最大両振幅	μm
I	軸の断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	支点Aから軸端までの距離	mm
ℓ_B	軸受長さ	mm
h	端子箱取付面から端子箱重心位置までの距離	mm
M	軸に作用する最大曲げモーメント	N･mm
M_{Cj}	W_Cにより発生する軸の最大曲げモーメント	N･mm
M_{Sj}	wにより発生する軸の最大曲げモーメント	N･mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N･mm
m_C	羽根車質量	kg
m_S	軸質量	kg
m_T	端子箱質量	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	min^{-1}
P	原動機出力	kW

記号	記号の説明	単位
P_R	ラジアル荷重による軸受の最大面圧	MPa
P_{Ri}	ラジアル荷重による軸受の面圧	MPa
P_T	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
T	軸に作用するねじりモーメント	N･mm
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
W_C	地震力を考慮した軸端部荷重	N
$W_{Ri(j)}$	軸受にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_T	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
F	端子箱取付ボルトに作用する引張力	N
Q	端子箱取付ボルトに作用するせん断力	N
σ_T	端子箱取付ボルトに作用する引張応力	MPa
τ_T	端子箱取付ボルトに作用するせん断応力	MPa
x_M	支点Ａ－Ｂ間の最大モーメントが生じる距離	mm
x	支点Ｂから軸評価点までの距離	mm
δ_c	W_Cによりｘの位置に発生する軸のたわみ量	mm
δ_s	ｗによりｘの位置に発生する軸のたわみ量	mm
δ	ｘの位置に発生する摺動部、ステータライナ・ロータスリーブ間における軸のたわみ量	mm
π	円周率（＝3.141593）	－
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

添字ｉの意味は i=A　：支点Ａ　、i=B　：支点Ｂ

添字ｊの意味は j=１　：支点間　、j=２　：張出部

添字ｋの意味は k=s　：ｗによる評価　、k=c　：Ｗｃによる評価

4.　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1－2 に示すとおりである。

表 1－2　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
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*1	mm	―	―	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の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。

5.　評価方法

(1)　軸

軸の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合のねじりと曲げの組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が，その許容応力値を下回ることを確認する。

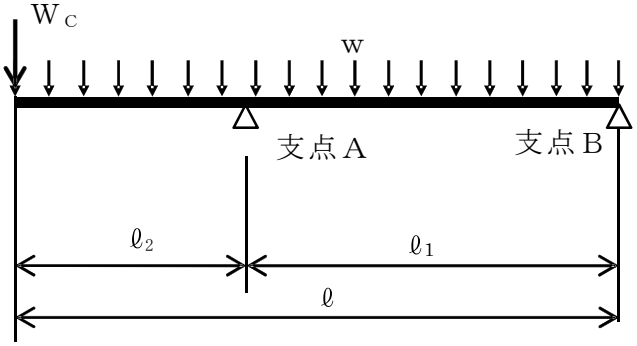


図 1－1　軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力τ_{max}は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left(\frac{16 \cdot d_{SO}}{\pi \cdot (d_{SO}^4 - d_{SI}^4)} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \quad \cdots\cdots\cdots (5.1)$$

ここで，ねじりモーメントTは

$$T = M_P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.2)$$

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントM_Pは

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.3)$$

（1 kW＝10^6N･mm/s）

軸に作用する最大曲げモーメントM

$$M = \max (M_{S1} + M_{C1} , M_{S2} + M_{C2}) \quad \cdots\cdots\cdots (5.4)$$

ここで，主軸質量に地震力を考慮した等分布荷重wは

$$w = \frac{m_s \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2}}{\ell} \quad \cdots\cdots (5.5)$$

等分布荷重ｗが作用した場合の支点Ａ-Ｂ間の最大モーメントは、

$x_M = \ell_1/2\{1-(\ell_2^2/\ell_1^2)\}$で生じる。

$$M_{S1} = \frac{w}{8\ell_1^2}(\ell_1+\ell_2)^2(\ell_1-\ell_2)^2 \quad \cdots\cdots\cdots (5.6)$$

支点Ａからの張出部での最大モーメントM_{S2}は、支点Ａで生じる

$$M_{S2} = \frac{w\ell_2^2}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.7)$$

張出部に軸端部荷重Ｗｃが作用した場合の支点Ａ-Ｂ間の最大モーメントは、

$x_M = \frac{\ell_1}{2}\{1-(\frac{\ell_2^2}{\ell_1^2})\}$ で生じる。

$$M_{C1} = \frac{Wc\ \ell_2}{\ell_1}\cdot\frac{\ell_1}{2}\cdot(1-\frac{\ell_2^2}{\ell_1^2}) \quad \cdots\cdots\cdots (5.8)$$

張出部に羽根車の質量m_cが作用した場合の支点Ａからの張出部での最大モーメントM_{C2}は　支点Ａで

$$M_{C2} = Wc\cdot\ell_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.9)$$

ここで　張出し部に作用する軸端荷重Ｗｃは、

$$W_C = m_c\cdot g\cdot\sqrt{(C_H+C_P)^2+(1+C_V+C_P)^2} \quad \cdots (5.10)$$

支点Ａと支点Ｂ間の最大モーメントは、主軸の等分布質量と羽根車質量により発生するモーメント（$M_{s1}+M_{C1}$）となる。

支点Ａからの張出部での最大モーメントも同様にして主軸の等分布質量と羽根車質量により発生するモーメント（$M_{s2}+M_{C2}$）となる。

(2)　軸受

軸受の評価は，地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし，地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a.　ラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_R = \max(P_{RA},\ P_{RB}) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.11)$$

支点Ａの軸受の面圧　P_{RA}は、

$$P_{RA} = \frac{W_{RA}}{A_{RA}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.12)$$

支点Ｂの軸受の面圧　P_{RB}は、

$$P_{RB} = \frac{W_{RB}}{A_{RB}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.13)$$

軸受投影面積A_{RA}及びA_{RB}は、

$$A_{RA} = A_{RB} = d_{BI} \cdot \ell_B \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.14)$$

ここで，軸受にかかる地震時のラジアル荷重W_Rは

$$\left.\begin{aligned} W_{RA} &= W_{RA1} + W_{RA2} \\ W_{RB} &= W_{RB1} + W_{RB2} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.15)$$

主軸の等分布荷重ｗにより支点Ａに働く反力W_{RA1}は、

$$W_{RA1} = \frac{w}{2\ell_1} \cdot (\ell_1 + \ell_2)^2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.16)$$

主軸の等分布荷重ｗにより支点Ｂに働く反力W_{RB1}は

$$W_{RB1} = \frac{w}{2\ell_1} \cdot (\ell_1^{\,2} - \ell_2^{\,2}) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.17)$$

張出部に軸端荷重Ｗｃが作用した場合の支点Ａに働く反力
W_{RA2}は、

$$W_{RA2}=\frac{Wc}{\ell_1}\cdot(\ell_1+\ell_2) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.18)$$

張出部に軸端部荷重Ｗｃが作用した場合の支点Ｂに働く反力W_{RB2}は、

$$W_{RB2}=\frac{Wc\cdot\ell_2}{\ell_1} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.19)$$

b. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_T=\frac{W_T}{A_{TA}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.20)$$

軸受投影面積A_{TA}は、

$$A_{TA}=\frac{\pi}{4}\cdot(d_{BO}{}^2\cdot-d_{BI}{}^2) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.21)$$

ここで，軸受にかかる地震時のスラスト荷重W_tは

$$W_T=(m_s+m_c)\cdot g\cdot(C_H+C_P) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.22)$$

(3)　摺動部、ステータライナ・ロータスリーブ

摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の評価位置における軸のたわみ量を算出し，発生するたわみ量が評価位置の隙間内であることを確認する。

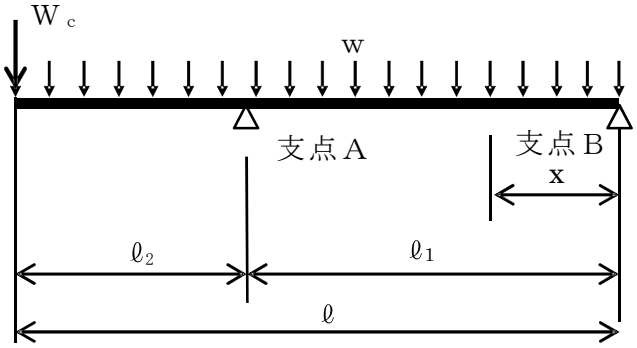


図 1－2　摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価モデル

wによる軸のたわみ量δsは次式で求める。

$$\delta_s = \frac{w \cdot x}{24EI\ell_1}\{\ell_1^4 - 2\ell_1^2 x^2 + x^3\ell_1 - 2\ell_2^2\ell_1^2 + 2\ell_2^2 x^2\} \quad \cdots (5.23)$$

Wcによる軸のたわみ量δcは次式で求める。

$$\delta_C = \frac{Wc \cdot \ell_2 \cdot x}{6EI\ell_1}(\ell_1^2 - x^2\} \quad \cdots (5.24)$$

以上より、評価位置xにおけるたわみ量δは次式で求める。

$$\delta = \delta_s + \delta_C \quad \cdots (5.25)$$

(4)　端子箱（取付ボルト）

（ａ）引張応力

取付ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F = \frac{m_T \cdot h \cdot g \cdot (C_H + C_P) - m_T \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \dfrac{D_T}{2}}{\dfrac{3}{8} \cdot n \cdot D_T} \quad \cdot\cdot(5.26)$$

引張応力

$$\sigma_T = \frac{F}{A_T} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.27)$$

ここで、ボルトの断面積A_Tは次式により求める。

$$A_T = \frac{\pi}{4} \cdot d_T^{\,2} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.28)$$

（ｂ）せん断応力

取付ボルトに作用するせん断力はボルト全数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q = m_T \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.29)$$

せん断応力

$$\tau_T = \frac{Q}{n \cdot A_T} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.30)$$

6.　評価結果

移送ポンプの異常要因分析、基本評価項目の抽出に基づく評価結果を次頁以降の表に示す。

7. 評価結果

7.1 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			
移送ポンプ	横形単段遠心式	10	格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL. -12.8*1	—*2	—*2	C_H＝1.79	C_V＝0.89	C_P＝0.21	200	

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			
移送ポンプ（電動機）	横形すべり軸受機	7.5	格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL. -12.8*1	—*2	—*2	C_H＝1.79	C_V＝0.89	C_P＝0.21	200	

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。

7.2 機器要目

m_S (kg)	m_C (kg)	m_T (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_B (mm)	h (mm)	d_{SO} (mm)	d_{SI} (mm)	d_{BO} (mm)	d_{BI} (mm)	d_T (mm)	D_T (mm)	n
														8

A_{RA}, A_{RB} (mm^2)	A_{TA}, A_{TB} (mm^2)	A_T (mm^2)	E (MPa)	I (mm^4)

H_P (μm)	N (min^{-1})

7.3 結論　移送ポンプの評価

7.3.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト，取付ボルトについては，添付書類「Ⅴ-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書」にて十分な構造強度を有していることを確認しているため計算は省略する。

7.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

7.3.2.1 軸の応力評価

（単位：MPa）

評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

7.3.2.2 軸受の評価

（単位：MPa）

評価部位	荷　重	発生面圧	許容面圧
軸　受	ラジアル		
	スラスト		

すべて許容面圧以下である。

7.3.2.3 摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価　（単位：mm）

評価部位	たわみ量	隙間
摺動部		
ステータライナ・ロータスリーブ		

すべて隙間以下である。

7.3.2.4 端子箱(取付ボルト)の評価

（単位：MPa）

評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力
端子箱(取付ボルト)				

すべて許容応力以下である。

別表１　検討対象設備の抽出結果

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	ＪＥＡＧ4601 機種／型式 （注１）			Ａｔ確認			備 考
					機種	型式	容量 （ ）内は当該設備の容量	方向	評価用加速度	機能確認済加速度	
原子炉本体											
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設											
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備											
代替燃料プール注水系											
常設低圧代替注水系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	～700m^3/h (200m^3/h)	水平	1.31	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.92	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (190kW)	水平	1.31	4.7	
								鉛直	0.92	1.0	
可搬型代替注水大型ポンプ	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
可搬型代替注水中型ポンプ	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
代替燃料プール冷却系											
代替燃料プール冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	単段遠心式	～2400m^3/h (124m^3/h)	水平	0.86	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.65	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (30kW)	水平	0.86	4.7	
								鉛直	0.65	1.0	
原子炉冷却系統施設											
原子炉冷却材再循環設備											
原子炉冷却材再循環系											
再循環系ポンプ	無	－	－	－	－	－	－	－	－	－	JEAG4601・補-1984にて動的機能維持の要求はないが，地震により軸固着を生じないことを確認している。 補足-340-2【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】添付-10 再循環系ポンプの軸固着に対する評価について
原子炉冷却材の循環設備											
残留熱除去設備											
残留熱除去系											
残留熱除去系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	ピットバレル形	～1800m^3/h (1691.9m^3/h)	水平	0.48	10.0	
								鉛直	0.50	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (900kW)	水平	0.48	2.5	
								鉛直	0.50	1.0	
格納容器圧力逃がし装置											
格納容器圧力逃がし装置 移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	単段遠心式	～2400m^3/h (10m^3/h)	水平	0.44	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	移送ポンプ（キャンドモータポンプ）と，JEAG4601における単段遠心式横形ポンプ及び横形すべり軸受電動機は，作動原理，基本構造及びこれに基づく振動性状等，動的機能の評価の面からは同じと判断できるため，JEAG4601に定められた機能確認済加速度は適用可能である。(別紙2参照)
								鉛直	0.50	1.0	
					電動機	横形すべり軸受	～950kW (7.5kW)	水平	0.44	2.6	
								鉛直	0.50	1.0	
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備											
高圧炉心スプレイ系											
高圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	ピットバレル形	～1800m^3/h (1576.5m^3/h)	水平	0.48	10.0	
								鉛直	0.50	1.0	
					電動機	立形すべり軸受	～2700kW (2280kW)	水平	0.48	2.5	
								鉛直	0.50	1.0	
低圧炉心スプレイ系											
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	ピットバレル形	～1800m^3/h (1638.3m^3/h)	水平	0.48	10.0	
								鉛直	0.50	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (1250kW)	水平	0.48	2.5	
								鉛直	0.50	1.0	
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	～700m^3/h (142m^3/h)	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.50	1.0	
					ポンプ駆動用タービン	ＲＣＩＣポンプ用	プラント出力等による構造，寸法の違いはほとんどない。(541kW)	水平	0.48	2.4	
								鉛直	0.50	1.0	
高圧代替注水系											
常設高圧代替注水系ポンプ	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	ポンプ形式はタービン駆動の横形多段遠心式だが，ポンプとタービンが一体となった設備であり，JEAG4601の適用機種と構造等が異なることから加振試験を実施。

注１：検討対象とする設備の内，ＪＥＡＧ機種／型式が「－」となる設備については，新たに評価項目の検討を行う。

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	ＪＥＡＧ4601 機種／型式 （注１）			Ａｔ確認			備 考
					機種	型式	容量 （ ）内は当該設備の容量	方向	評価用加速度	機能確認済加速度	
低圧代替注水系											
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）										
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）										
可搬型代替注水中型ポンプ	－（前段で整理済）										
代替循環冷却系											
代替循環冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	～700m^3/h (250m^3/h)	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.50	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (140kW)	水平	0.48	4.7	
								鉛直	0.50	1.0	
原子炉冷却材補給設備											
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却系ポンプ	－（前段で整理済）										
原子炉補機冷却設備											
残留熱除去系海水系											
残留熱除去系海水系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m^3/h (885.7m^3/h)	水平	0.91	10.0	
								鉛直	0.86	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (900kW)	水平	0.91	2.5	
								鉛直	0.86	1.0	
代替残留熱除去系海水系											
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）										
緊急用海水系											
緊急用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m^3/h (844m^3/h)	水平	1.52	10.0	
								鉛直	0.87	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (510kW)	水平	1.52	2.5	
								鉛直	0.87	1.0	
計測制御系統施設											
制御材											
制御棒	有	加振試験による確認	－	－	制御棒	ＢＷＲ標準型式	－	水平	16.8mm	40mm	
							－	鉛直	鉛直方向地震による影響は，「8.制御棒挿入性評価について」に整理。		
ほう酸水注入設備											
ほう酸水注入系											
ほう酸水注入ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	往復動式ポンプ	横形	流量，吐出圧力等ほぼ同一 (9.78m^3/h)	水平	0.93	1.6	
								鉛直	0.80	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (37kW)	水平	0.93	4.7	
								鉛直	0.80	1.0	
放射性廃棄物の廃棄施設											
放射線管理施設											
放射線管理用計測装置											
換気設備											
中央制御室換気系											
中央制御室換気系空気調和機ファン	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直結式	～2500m^3/min (708.3m^3/min)	水平	1.29	2.3	
								鉛直	0.98	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (45kW)	水平	1.29	4.7	
								鉛直	0.98	1.0	
中央制御室換気系フィルタ系ファン	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	～2500m^3/min (85.0m^3/min)	水平	1.29	2.6	
								鉛直	0.98	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (7.5kW)	水平	1.29	4.7	
								鉛直	0.98	1.0	
緊急時対策所換気系											
緊急時対策所非常用送風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	～2500m^3/min (83.3m^3/min)	水平	0.90	2.6	
								鉛直	0.78	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (15kW)	水平	0.90	4.7	
								鉛直	0.78	1.0	

注１：検討対象とする設備の内，ＪＥＡＧ機種／型式が「－」となる設備については，新たに評価項目の検討を行う。

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	ＪＥＡＧ4601 機種／型式 （注１）			Ａｔ確認			備 考
					機種	型式	容量 （ ）内は当該設備の容量	方向	評価用加速度	機能確認済加速度	
原子炉格納施設											
圧力低減設備その他の安全設備											
原子炉格納容器安全設備											
格納容器スプレイ冷却系											
残留熱除去系ポンプ	－（前段で整理済）										
代替格納容器スプレイ冷却系											
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）										
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）										
可搬型代替注水中型ポンプ	－（前段で整理済）										
代替循環冷却系ポンプ	－（前段で整理済）										
緊急用海水ポンプ	－（前段で整理済）										
格納容器下部注水系											
常設低圧代替注水系ポンプ	－（前段で整理済）										
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）										
可搬型代替注水中型ポンプ	－（前段で整理済）										
原子炉建屋放水設備											
可搬型代替注水大型ポンプ	－（前段で整理済）										
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備											
非常用ガス処理系											
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直結式	～2500m3/min (59.5m^3/min)	水平	0.99	2.3	
								鉛直	0.89	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (5.5kW)	水平	0.99	4.7	
								鉛直	0.89	1.0	
非常用ガス再循環系											
非常用ガス再循環系排風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	～2500m3/min (283.3m^3/min)	水平	0.99	2.6	
								鉛直	0.89	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (55kW)	水平	0.99	4.7	
								鉛直	0.89	1.0	
可燃性ガス濃度制御系											
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	～2500m3/min (5.7m^3/h)	水平	1.11	2.6	
								鉛直	0.84	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (15kW)	水平	1.11	4.7	
								鉛直	0.84	1.0	
窒素ガス代替注入系											
窒素供給装置	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
その他発電用原子炉の附属設備											
非常用電源設備											
非常用発電装置											
非常用ディーゼル発電機											
非常用ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	～15500kW (5500kW)	水平	0.72	1.1	
								鉛直	0.75	1.0	
					非常用ディーゼル発電機	ガバナ	ＵＧ型	水平	0.72	1.8	
								鉛直	0.75	1.0	
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	(1.92m^3/h)	－	－	－	スクリュー式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (1.2kW)	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.71	1.0	
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m^3/h (272.6m^3/h)	水平	0.91	10.0	
								鉛直	0.86	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (55kW)	水平	0.91	2.5	
								鉛直	0.86	1.0	

注１：検討対象とする設備の内，ＪＥＡＧ機種／型式が「－」となる設備については，新たに評価項目の検討を行う。

施設区分／設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない －：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 －：検討対象でない設備	ＪＥＡＧ4601 機種／型式 （注１）			Ａｔ確認			備 考
					機種	型式	容量 （ ）内は当該設備の容量	方向	評価用加速度	機能確認済加速度	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機											
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	～15500kW (3050kW)	水平	0.72	1.1	
								鉛直	0.75	1.0	
					非常用ディーゼル発電機	ガバナ	ＵＧ型	水平	0.72	1.8	
								鉛直	0.75	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	(1.04m^3/h)	－	－	－	スクリュー式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (1.2kW)	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.71	1.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m^3/h (232.8m^3/h)	水平	0.91	10.0	
								鉛直	0.86	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (55kW)	水平	0.91	2.5	
								鉛直	0.86	1.0	
常設代替高圧電源装置											
常設代替高圧電源装置	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	(3.02m^3/h)	－	－	－	スクリュー式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (2.2kW)	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.71	1.0	
緊急時対策所用発電機											
緊急時対策所用発電機	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
緊急時対策所用発電機給油ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	－	(1.3m^3/h)	－	－	－	ギヤ式ポンプ
								－	－	－	
					電動機	横形ころがり軸受	～950kW (1.5kW)	水平	1.2	4.7	
								鉛直	1.0	1.0	
可搬型代替低圧電源車											
可搬型代替低圧電源車	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
タンクローリ	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
可搬型窒素供給装置用電源車											
可搬型窒素供給装置用電源車	有	加振試験による確認	－	－	－	－	－	－	－	－	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
タンクローリ	－（前段で整理済）										
補機駆動用燃料設備											
可搬型											
タンクローリ	－（前段で整理済）										
弁											
一般弁											
グローブ弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
ゲート弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
バタフライ弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
逆止弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
特殊弁											
主蒸気隔離弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
安全弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	
制御棒駆動系スクラム弁	有	JEAG4601による確認	○	－	－	－	－	－	－	－	

注１：検討対象とする設備の内，ＪＥＡＧ機種／型式が「－」となる設備については，新たに評価項目の検討を行う。

7.　原子炉格納容器の耐震安全性評価について

目　　次

1. はじめに ····· 1
2. 他プラントでの適用例を参照する項目及びその説明 ····· 1
3. 各評価対象項目の評価方針及び評価内容 ····· 7
3.1 原子炉格納容器の応答解析手法について ····· 7
3.2 シアラグ部等の応力解析手法について ····· 14
3.3 機器搬入用ハッチ等の応力解析手法について ····· 21
3.4 配管貫通部の応力解析手法について ····· 27
3.5 電気配線貫通部の解析手法について ····· 29
3.6 ダイヤフラム・フロアの解析手法について ····· 33
3.7 ベント管の応答解析手法について ····· 40
3.8 格納容器スプレイヘッダの応力解析手法について ····· 45

1. はじめに

既工認との手法の相違点の整理において，今回工認に適用する評価手法が既工認で適用した評価手法と異なる場合には，他プラント既工認での評価手法の適用実績を確認することとしている。東海第二発電所（以下「東海第二」という。）では，以下に示す原子炉格納容器及びその他関連設備を除いて基本的に平成 18 年 9 月の耐震設計審査指針改訂後のプラントとして大間原子力発電所１号機（以下「大間１号機」という。）を適用実績確認の対象としている。

一方で，大間１号機はＡＢＷＲであり，東海第二とは炉型が異なることから，原子炉格納容器及びその他関連設備については,その参照を適切に考慮する必要がある。このため，本資料においては既工認での適用例を参照するプラントについて整理するとともに，評価方針及び評価内容の概要について示す。

2. 他プラントでの適用例を参照する項目及びその説明

原子炉格納容器及びその他関連設備について，東海第二における既工認の手法と今回工認の手法との相違点に対して，他プラントでの適用例を参考とする項目を記載するとともに，参照するプラント名及びその説明を表 1 に整理した。

表１　原子炉格納容器及びその他関連設備において参照するプラント及びその説明

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目		参照するプラント	説　明	備　考
原子炉格納容器						
1	ドライウェル	応答解析	解析モデル（鉛直）	美浜３号機	東海第二の鉛直方向の原子炉格納容器本体（ドライウェル部）の地震力を算定するにあたって，原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し，建屋と大型機器系を連成させた地震応答解析（以下「建屋－機器連成解析」という。）を実施する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜３号機としている。	3.1 項に示す
			減衰定数（鉛直）	美浜３号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として，溶接構造物の１％を適用する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様に鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として，１％を適用している美浜３号機としている。	
		応力解析	－	－	－	－
2	サプレッション・チェンバ	応答解析	解析モデル（鉛直）	美浜３号機	東海第二の鉛直方向の原子炉格納容器本体（サプレッション・チェンバ部）の地震力を算定するにあたって，原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し，建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜３号機としている。	3.1 項に示す
			減衰定数（鉛直）	美浜３号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として，溶接構造物の１％を適用する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として，１％を適用している美浜３号機としている。	
		応力解析	－	－	－	－

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目		参照するプラント	説　明	備　考
3	上部シアラグ及びスラビライザ	応答解析	解析モデル（鉛直）	美浜３号機	東海第二の上部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して，当該箇所の鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては，原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し，建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜３号機としている。	3.1 項に示す
			減衰定数（鉛直）	美浜３号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として，溶接構造物の１％を適用する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として，１％を適用している美浜３号機としている。	
		応力解析	解析手法	柏崎刈羽５号機	原子炉格納容器構造（MARK－Ⅱ型）が同じ柏崎刈羽５号機を参照する。	3.2 項に示す
			解析モデル	柏崎刈羽５号機	同上	
4	下部シアラグとダイヤフラムブラケット	応答解析	解析モデル（鉛直）	美浜３号機	東海第二の下部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して，当該箇所の鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては，原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し，建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜３号機としている。	3.1 項に示す
			減衰定数（鉛直）	美浜３号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として，溶接構造物の１％を適用する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として，１％を適用している美浜３号機としている。	
		応力解析	解析手法	柏崎刈羽５号機	原子炉格納容器構造（MARK－Ⅱ型）が同じ柏崎刈羽５号機を参照する。	3.2 項に示す
			解析モデル	柏崎刈羽５号機	同上	

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目		参照するプラント	説　明	備　考
5	胴アンカー部	応答解析	解析モデル（鉛直）	美浜３号機	東海第二の原子炉格納容器本体底部の鉛直方向の地震力を算定するにあたって，原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し，建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜３号機としている。	3.1 項に示す
			減衰定数（鉛直）	美浜３号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として，溶接構造物の１％を適用する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として，１％を適用している美浜３号機としている。	
		応力解析	－	－	－	－
6	機器搬入用ハッチ	応答解析	－	－	－	－
		応力解析	解析手法	大間１号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから，大間１号機を参照する。また，大間１号機はコンクリート製格納容器であるが，下部ドライウェルアクセストンネル鏡板に機器搬入用ハッチを取り付けており，東海第二と同様の形状を有している。	3.3 項に示す
			解析モデル	大間１号機	同上	
7	所員用エアロック	応答解析	－	－	－	－
		応力解析	解析手法	大間１号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから，大間１号機を参照する。 また，大間１号はコンクリート製格納容器であるが，下部ドライウェルアクセストンネル鏡板に所員用エアロックを取り付けており，東海第二と同様の形状を有している。	3.3 項に示す
			解析モデル	大間１号機	同上	
8	サプレッション・チェンバアクセスハッチ	応答解析	－	－	－	－
		応力解析	解析手法	大間１号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから，大間１号機を参照する。 ただし，大間１号炉のサプレッション・チェンバ用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付く構造であるため，当該部の評価は，類似設備として機器搬入用ハッチを参照する。	3.3 項に示す
			解析モデル	大間１号機	同上	

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目		参照するプラント	説　明	備考
9	配管貫通部	応答解析	減衰定数（配管反力）	大間１号機	配管貫通部に発生する反力は，配管解析により算出する。配管解析は炉型に関係なく同様に実施するため大間１号機を参照する。	－
		応力解析	解析手法	東北電力 東通１号機	配管貫通部の構造は，鋼製格納容器プラントでは同一構造であるため，最新プラントである東通１号機を参照する。	3.4 項に示す
			解析モデル	東北電力 東通１号機	同上	
10	電気配線貫通部	応答解析	解析手法	福島第一４号 (H22 年改造工認)	東海第二と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。 ＊ 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いたＦＥＭ解析の実施	3.5 項に示す
			解析モデル	福島第一４号 (H22 年改造工認)	同上	
			減衰定数	福島第一４号 (H22 年改造工認)	同上	
		応力解析	解析手法	福島第一４号 (H22 年改造工認)	東海第二と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。 ＊ 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いたＦＥＭ解析の実施	3.5 項に示す
			解析モデル	福島第一４号 (H22 年改造工認)	同上	

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目		参照するプラント	説　明	備　考
圧力低減装置その他関連の安全設備						
11	ダイヤフラム・フロア	応答解析	解析モデル（鉛直）（設置位置の応答加速度算出）	大飯３，４号機	東海第二のダイヤフラム・フロアの評価に際しては，当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度を用いる。原子炉本体の基礎の鉛直方向加速度の算定にあたっては，多質点系モデルにモデル化し，建屋－機器連成解析を実施する。なお，原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度は，原子炉建屋の地震応答解析結果を用いる（別途整理済み）。 参照するプラントとしては，東海第二と同様の鉄筋コンクリートを多質点系モデルにモデル化している大飯３，４号としている。	3.6 項に示す
			減衰定数（鉛直）	大飯３，４号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉本体の基礎の鉛直方向の減衰定数として，鉄筋コンクリートの５％を適用する。 参照するプラントとしては，東海第二と同様の鉄筋コンクリートの鉛直方向の減衰定数として，５％を適用している大飯３，４号としている。	
		応力解析	解析モデル（モデル形状の変更）	柏崎刈羽４号機	原子炉格納容器構造（MARK－Ⅱ型）が同じ柏崎刈羽４号機を参照する。	3.6 項に示す
12	ベント管	応答解析	解析手法	柏崎刈羽４号機	原子炉格納容器構造（MARK－Ⅱ型）が同じ柏崎刈羽４号機を参照する。	3.7 項に示す
			解析モデル	柏崎刈羽４号機	同上	
		応力解析	－	－	－	－
13	格納容器スプレイヘッダ	応答解析	減衰定数（鉛直）	大間１号機	一般的な配管解析であるため，大間１号機を参照する。	3.8 項に示す
		応力解析	－	－	－	－

3. 各評価対象項目の評価方針及び評価内容

2.項で整理した参照プラント及びその説明を基に，以降に東海第二の評価方針及び評価内容を示す。

3.1　原子炉格納容器の応答解析手法について

今回工認では鉛直方向に動的地震動が導入され，原子炉格納容器の耐震性評価に適用する鉛直方向の地震荷重を新たに設定するため，原子炉格納容器をモデル化した建屋－機器連成解析モデルを追加している。つぎの評価対象項目について，追加した建屋－機器連成解析モデルの応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

【評価対象項目】

・ドライウェル（応答解析）

・サプレッション・チェンバ（応答解析）

・上部シアラグ及びスタビライザ（応答解析）

・下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応答解析）

・胴アンカー部（応答解析）

(1) 構造

原子炉格納容器の概要図を図1に示す。原子炉格納容器は，全高[　　]mの鋼製の容器であり，ドライウェルトップヘッド，ドライウェル本体，サプレッション・チェンバ本体及び付属構造物から構成されている。ドライウェルトップヘッドは内径[　　]m，板厚[　]mmの円筒胴及びその上に板厚[　]mmの鏡板を有している。ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の基本形状は各々円錐形，円筒形で，サプレッション・チェンバ本体は円筒内径[　　]mであり，原子炉格納容器の板厚は[　　]mmである。また，サプレッション・チェンバの基部である胴アンカー部は，原子炉建屋基礎に埋設されている。アンカー部は，ベースプレート，アンカープレート及びベースプレートとアンカープレートとを接続する基礎ボルトで構成されている。

主要な付属構造物として，上部シアラグ，下部シアラグ，ダイヤフラムブラケット，機器搬入用ハッチ，所員用エアロック，サプレッション・チェンバアクセスハッチ及び

複数の配管貫通部，電気配線貫通部等がある。

原子炉格納容器の内部には，主要構造物として原子炉圧力容器，原子炉遮蔽，原子炉本体の基礎，原子炉圧力容器スタビライザ，原子炉格納容器スタビライザ，ダイヤフラム・フロアがある。また，サプレッション・チェンバ内に［　　］ton の水を保有している。

上部及び下部シアラグ部は，原子炉格納容器側のメイルシアラグと原子炉建屋遮蔽側のフィメイルシアラグとの嵌め合い構造を有しており，水平方向変位を拘束している。また，原子炉格納容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され，トラス構造の片持ち梁でその端部は原子炉格納容器の上部シアラグと嵌め合い構造となっており，水平方向変位を拘束している。原子炉圧力容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され，原子炉圧力容器のスタビライザブラケットを介して水平方向変位を拘束している。

水平地震力は，上部シアラグ，下部シアラグ及びサプレッション・チェンバの基部から伝達され，鉛直地震力は，サプレッション・チェンバの基部から伝達される。

応答解析で参照プラントとした美浜３号機の原子炉格納容器は，鋼製の円筒形で上下に鏡板を有する容器である。基本形状が円筒形である点で，東海第二の原子炉格納容器は美浜３号機の原子炉格納容器と大きな構造の差を有していない。

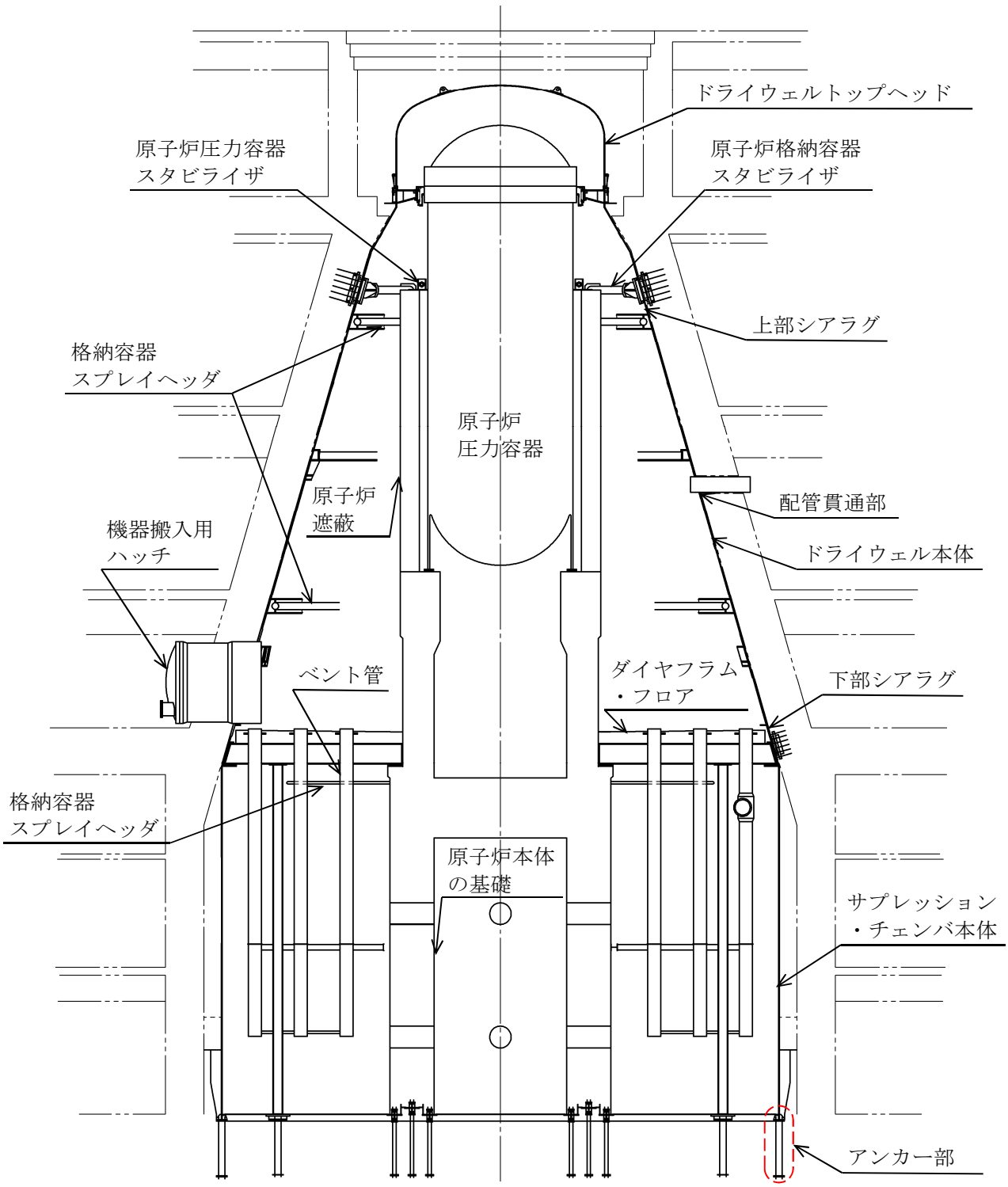


図１　原子炉格納容器の概要図

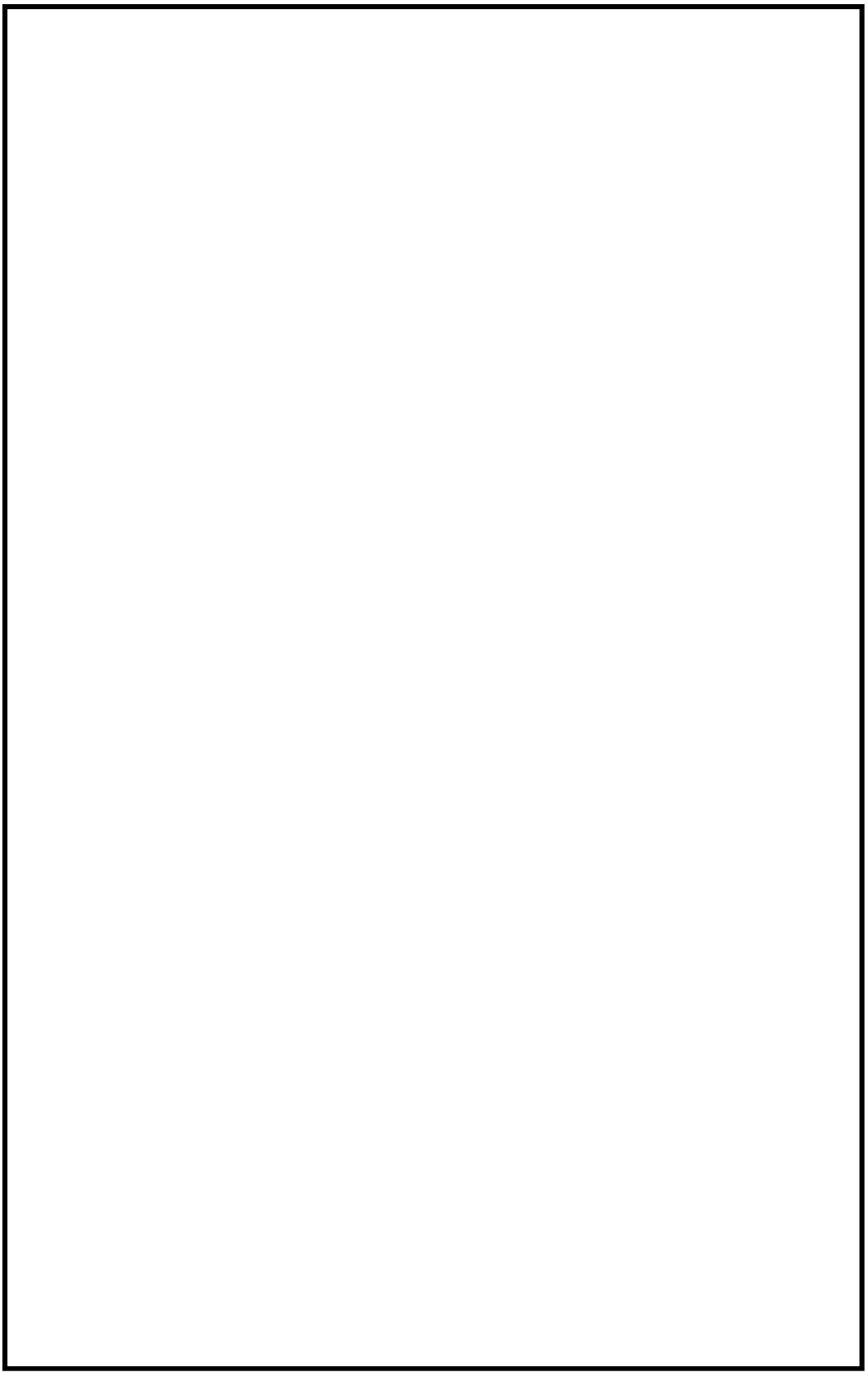
(2) 地震応答解析モデル及び減衰定数

原子炉格納容器の地震応答解析モデルは，水平方向及び鉛直方向共に，ドライウェルトップヘッド，ドライウェル本体，サプレッション・チェンバ本体を多質点系はりモデルにてモデル化し，原子炉格納容器の質量分布は質点質量に置き換える。質点位置は，水平方向地震応答解析モデルと鉛直方向地震応答解析モデルとで同じであり，形状不連続部，ハッチ類等の付加物接合部などを選定している。

水平方向地震応答解析モデルは，各質点間を等価な曲げ及びせん断剛性を有する無質量のばねにより結合する多質点系はりモデルであり，既工認と同じモデルである。鉛直方向地震応答解析モデルは，各質点間を等価な軸方向剛性を有する無質量のばねにより結合する多質点系はりモデルである。なお，球殻部及び円錐殻部は，質点間の平均断面における曲げ，せん断及び軸方向剛性としている。

原子炉格納容器のモデルを含んだ鉛直方向の建屋－機器連成解析モデル図を図 2 に示す。原子炉格納容器を多質点系はりモデルにてモデル化する考え方は，美浜３号機と同様である。

また，減衰定数については，溶接構造物であるため 1.0％を適用しており，美浜３号機の減衰定数と同様である。



原子炉格納容器モデル化の範囲

図 2　鉛直方向の建屋－機器地震応答解析モデル

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは，既工認では軸対称殻要素であるのに対し，今回工認ではシェル要素による三次元モデルにてモデル化する。解析モデルは，形状不連続，板厚変化及びビームシート等付加構造物の形状を考慮したモデルであり，局部的な応力を算出できるよう要素分割する。全周の 180° 分をモデル化し，境界を対称条件としている。また，基部は固定条件である。

東海第二の三次元シェルモデル図を図 3 に示す。原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は，トップヘッドやサプレッション・チェンバアクセストンネル鏡板を三次元シェルモデルでモデル化する大間 1 号機の考え方と同様である。なお，東海第二と同じ原子炉格納容器構造（ＭＡＲＫ－Ⅱ型）のプラントでは，原子炉格納容器本体の応力解析に適用するモデルは軸対称殻要素を採用している。また，ＭＡＲＫ－Ｉ型原子炉格納容器構造の一部のプラントでは，三次元シェルモデルを採用している。

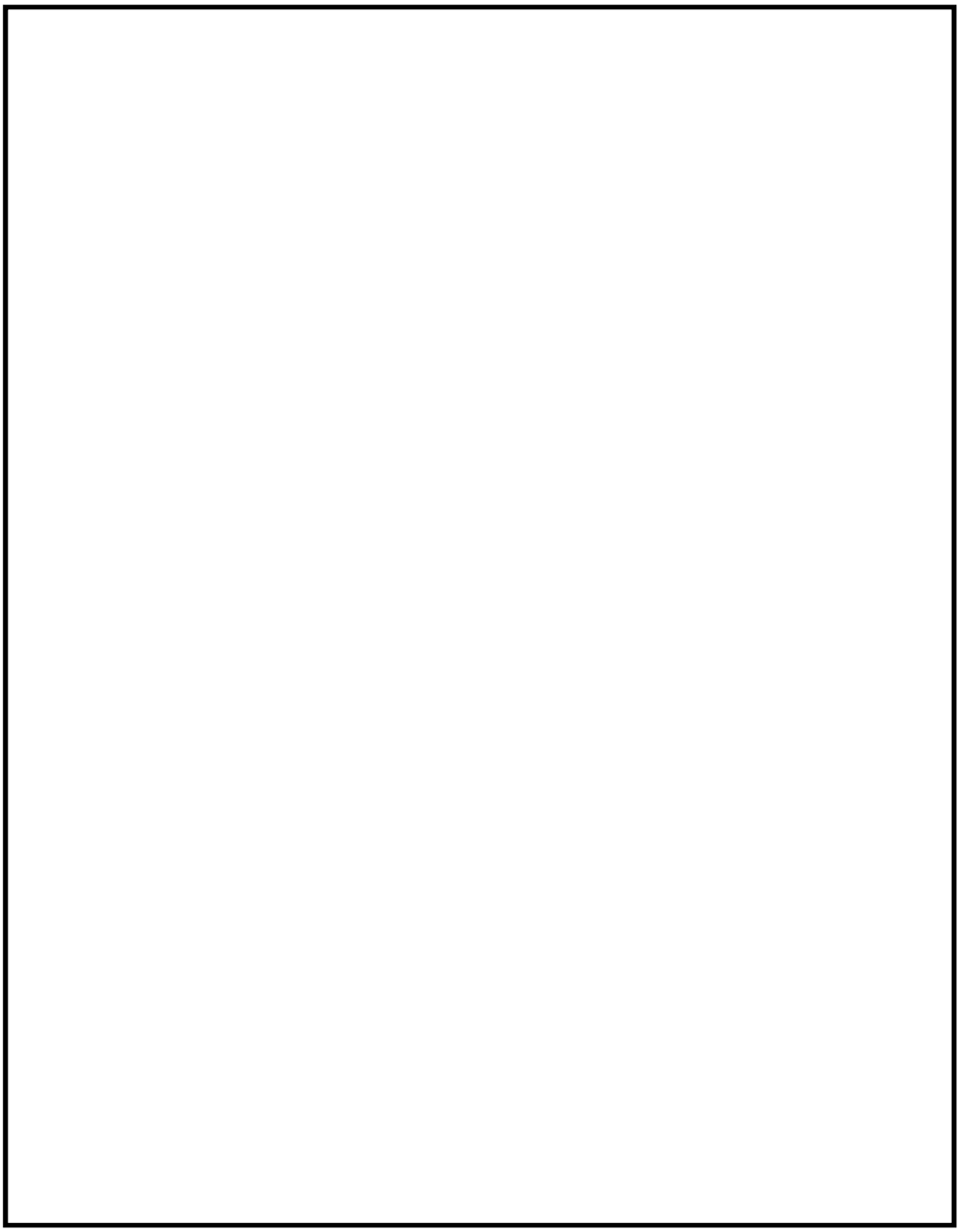


図 3　三次元シェルモデル図（原子炉格納容器）

3.2　シアラグ部等の応力解析手法について

今回工認では，つぎの評価対象項目に対して，三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて，シアラグ部等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

・上部シアラグ及びスタビライザ（応力解析）

・下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応力解析）

(1) 構造

上部シアラグ及び下部シアラグの概要図を図 4 及び図 5 に示す。

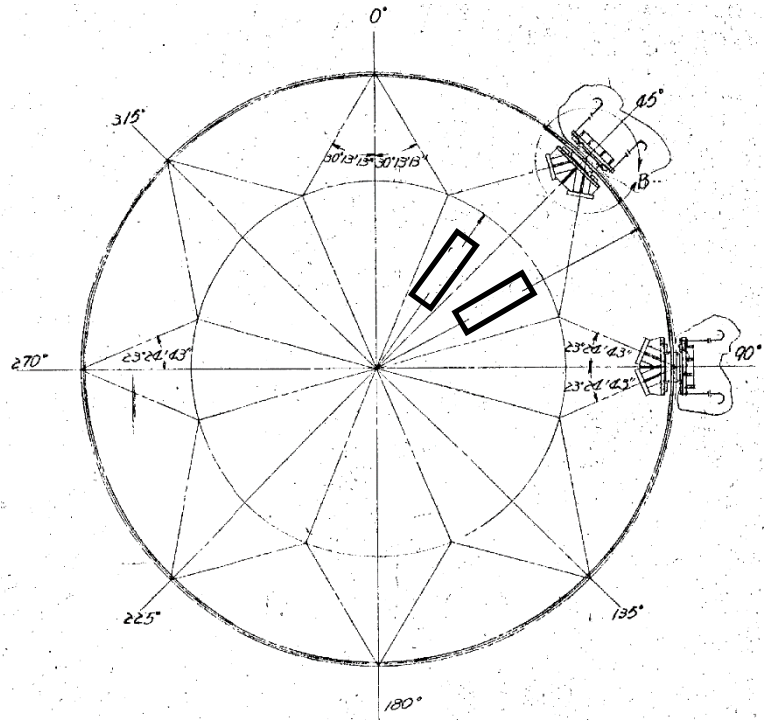
上部シアラグ及び下部シアラグは，ドライウェルの水平方向地震力を原子炉建屋に伝達するために設置している。

上部シアラグ及びスタビライザは，ドライウェル円錐胴の上部に周方向に 8 ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のメイルシアラグは原子炉建屋側のフィメイルシアラグと嵌め合い構造に，また，原子炉格納容器内側のメイルシアラグはスタビライザ側のフィメイルシアラグと嵌め合い構造になっており，水平方向変位を拘束する一方で，鉛直方向には変位拘束はない。メイルシアラグはドライウェル円錐胴の厚肉部に溶接されており，原子炉建屋側のフィメイルシアラグはベースプレートを介してアンカーボルトで原子炉建屋に固定され，スタビライザ側のフィメイルシアラグはウェブを介して原子炉格納容器スタビライザとフランジ構造で接続されている。

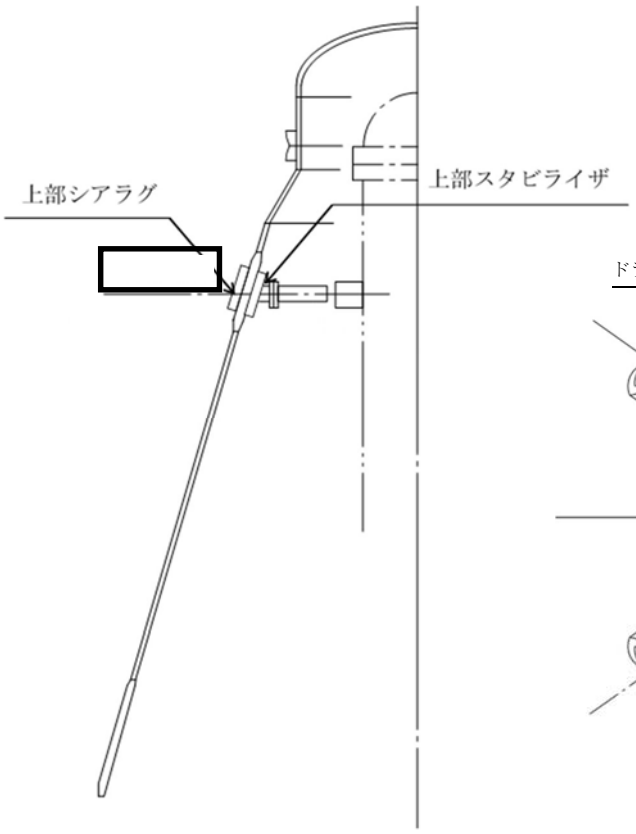
下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットは，ドライウェル円錐胴の下部に周方向に 18 ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のメイルシアラグは原子炉建屋側のフィメイルシアラグと嵌め合い構造に，また，原子炉格納容器内側のダイヤフラムブラケットはダイヤフラム・フロアの半径方向大梁と嵌め合い構造になっており，水平方向変位を拘束する一方で，鉛直方向には変位拘束はない。メイルシアラグはドライウェル円錐胴の厚肉部に溶接されており，原子炉建屋側のフィメイルシアラグはベースプレートを介してアンカーボルトで原子炉建屋に固定され，ダイヤフラムブラケットはドライウェル円錐胴の厚肉部に溶接されている。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 5 号機は原子炉格納容器構造（ＭＡＲＫ－Ⅱ型）が同じであり，シアラグ部を含めて大きな構造の差を有していない。なお，同じ

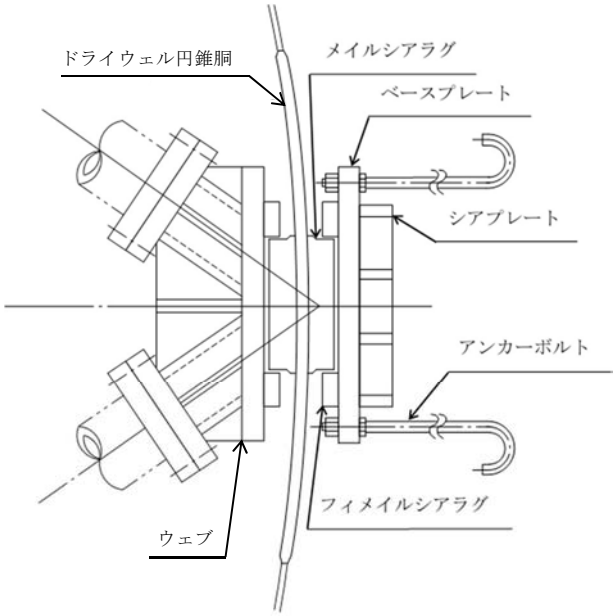
原子炉格納容器構造を有するプラントには柏崎刈羽４号機があるが，工認計算書を添付していないことから，参照プラントは柏崎刈羽５号機としている。



(a) 水平断面図

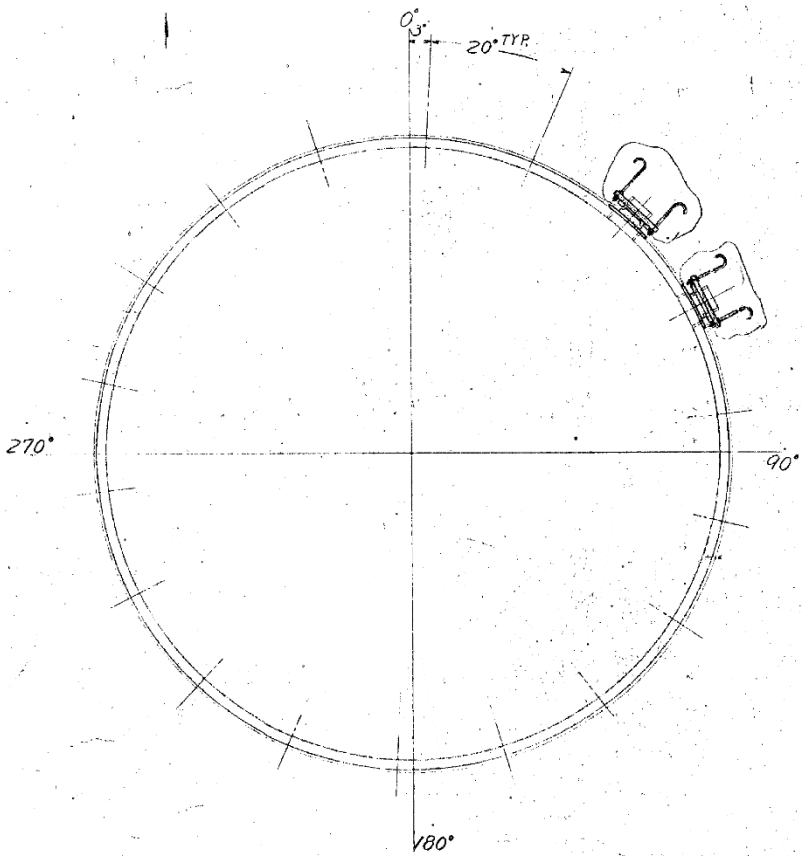


(b) 垂直断面図

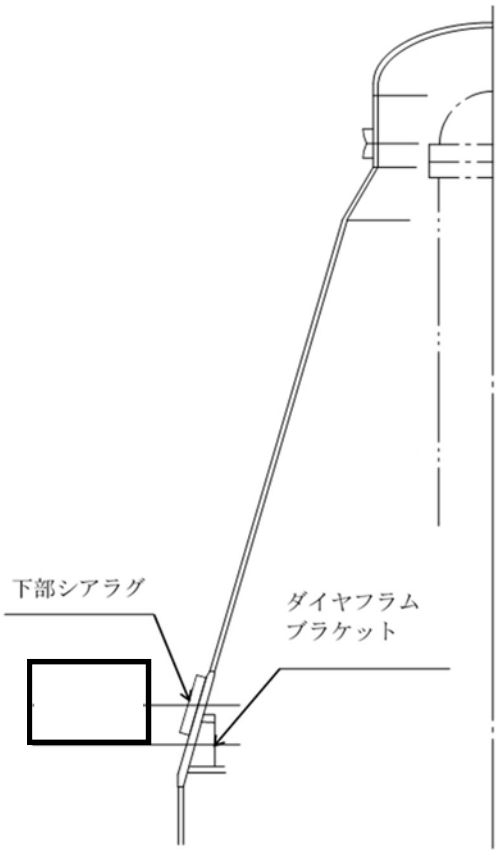


(c) 上部シアラグ詳細平面図

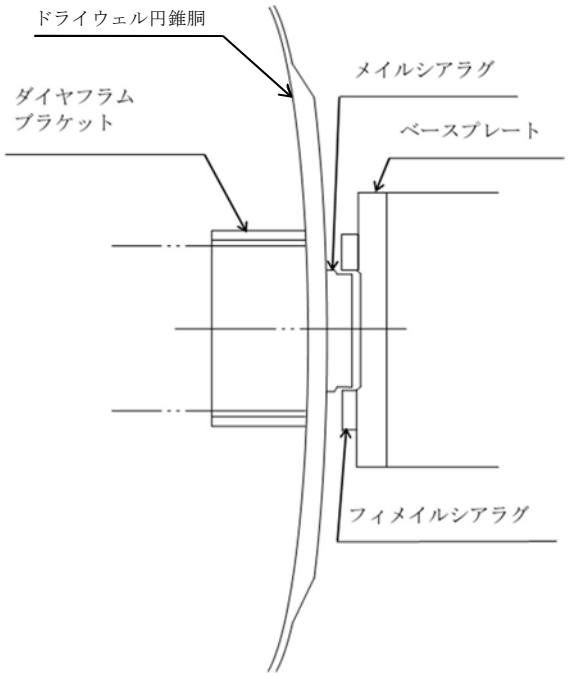
図 4　上部シアラグ及びスタビライザの概要図



(a) 水平断面図



(b) 垂直断面図



(c) 下部シアラグ詳細平面図

図 5　下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは，三次元シェルモデルにてモデル化する。原子炉格納容器胴板，シアラグ取付厚板部及びメイルシアラグをシェル要素でモデル化する。解析モデルは，形状不連続，板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり，局部的な応力を算出できるよう要素分割する。シアラグ部 1 基に作用する水平方向地震力により発生するシアラグ部近傍の応力に着目し，全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また，基部は固定条件である。

シアラグ部等を含んだ三次元シェルモデル図を図 6 及び図 7 に示す。シアラグ部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は，柏崎刈羽 5 号機の考え方と同様である。

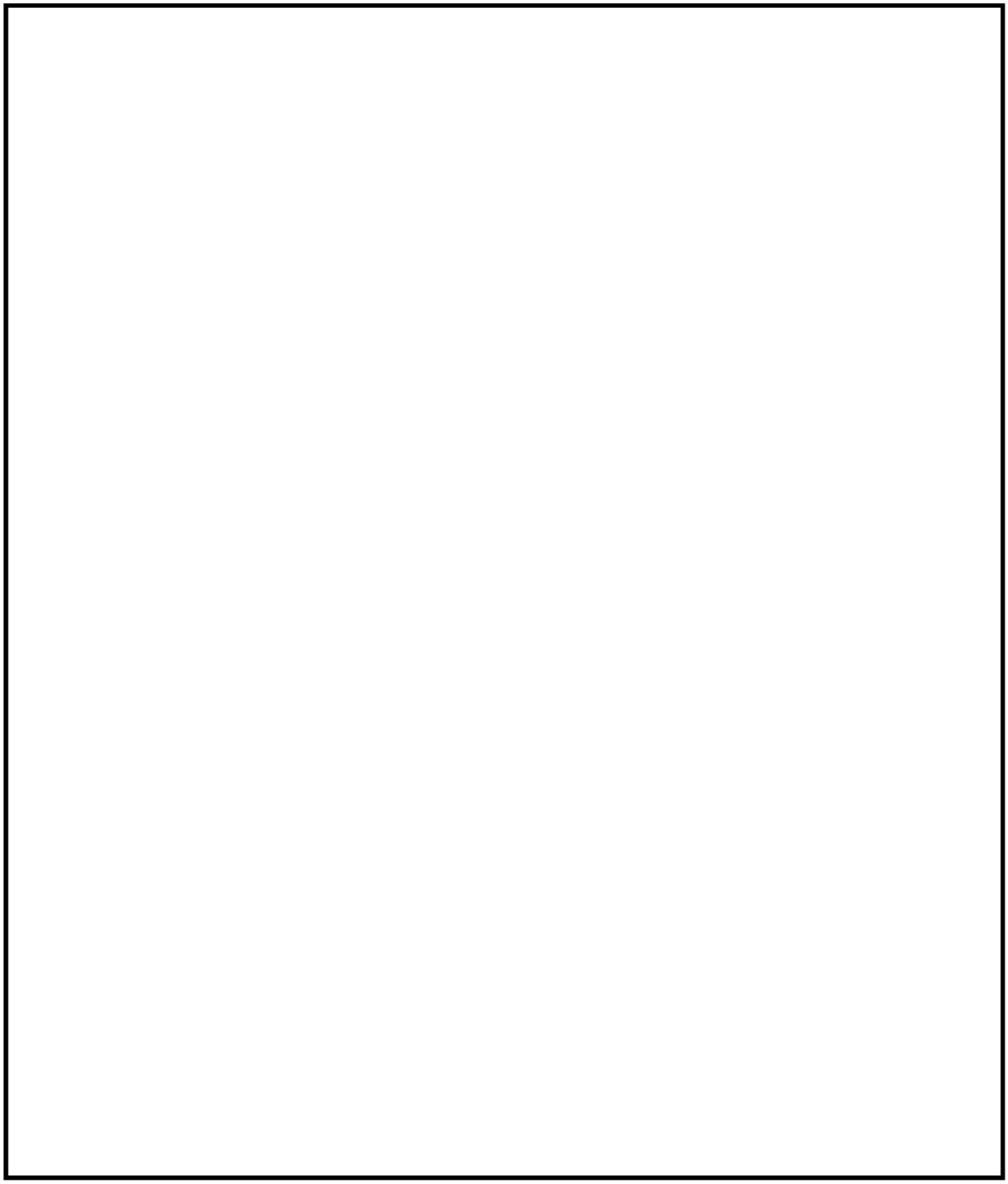


図 6　三次元シェルモデル（上部シアラグ部）

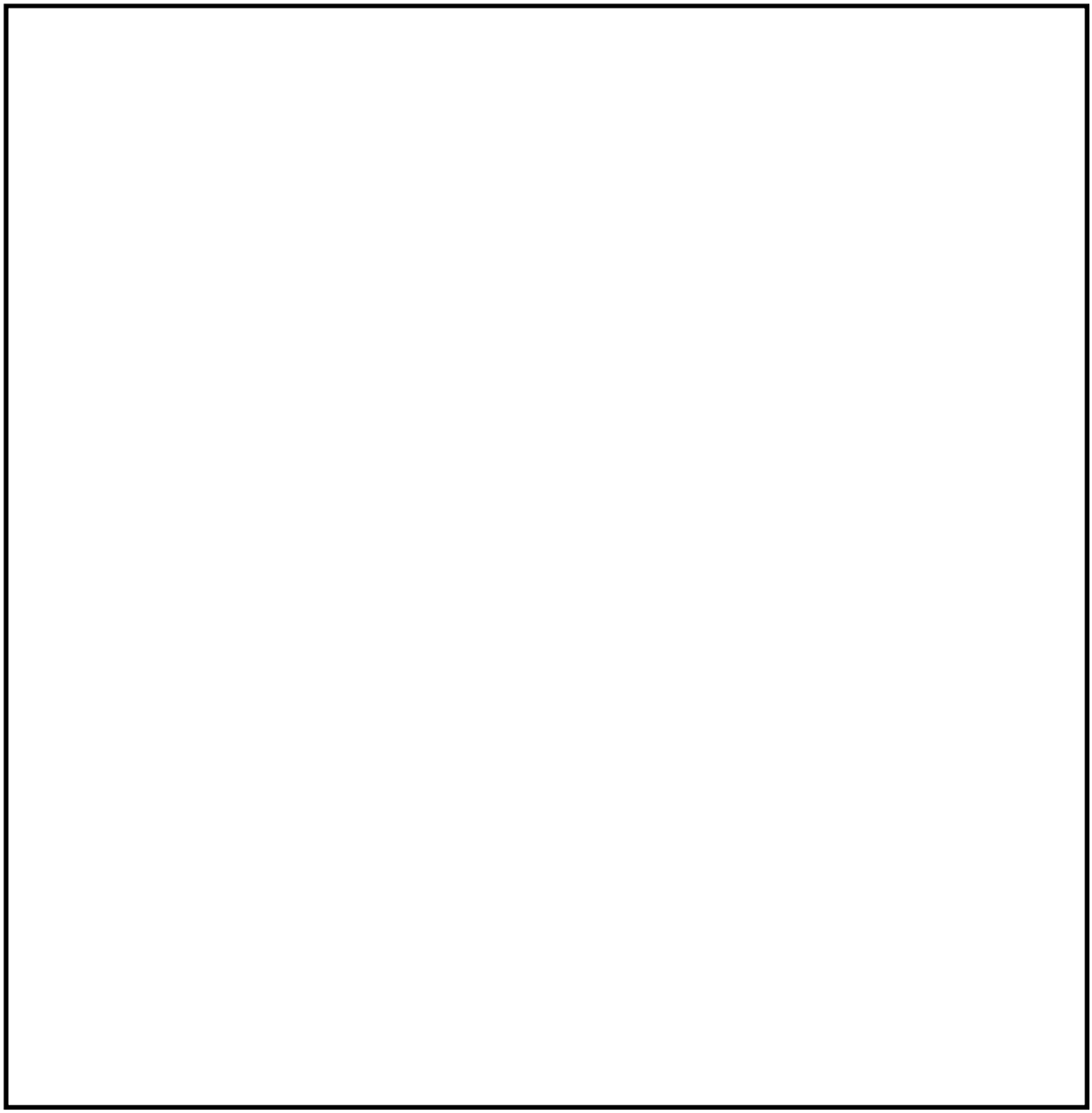


図 7　三次元シェルモデル（下部シアラグ部）

3.3　機器搬入用ハッチ等の応力解析手法について

今回工認では，つぎの評価対象項目に対して，三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて，機器搬入用ハッチ等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

・機器搬入用ハッチ（応力解析）

・所員用エアロック（応力解析）

・サプレッション・チェンバアクセスハッチ（応力解析）

(1) 構造

機器搬入用ハッチ等の概要図を図 8 から図 10 に示す。機器搬入用ハッチ等は鋼製円筒形の構造であり，機器搬入用ハッチ及び所員用エアロックはドライウェル円錐胴部に，サプレッション・チェンバアクセスハッチはサプレッション・チェンバ円筒胴部にそれぞれ溶接により取り付けられている。機器搬入用ハッチは内径[redacted]mm，板厚[redacted]mm の円筒胴及びフランジ接続の板厚[redacted]mm の球形鏡板を，所員用エアロックは内径[redacted]mm，板厚[redacted]mm の円筒胴で原子炉格納容器の内側及び外側に扉を，サプレッション・チェンバアクセスハッチは内径[redacted]mm，板厚[redacted]mm の円筒胴及びフランジ接続の板厚[redacted]mm の球形鏡板を有している。

大間 1 号機と東海第二発電所の機器搬入用ハッチ等は，鋼製円筒形状である基本構造は同じであり，大きな構造の差を有していない。ただし，大間 1 号機のサプレッション・チェンバ用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付く構造であるため，当該部の評価は類似設備として機器搬入用のハッチを参照する。

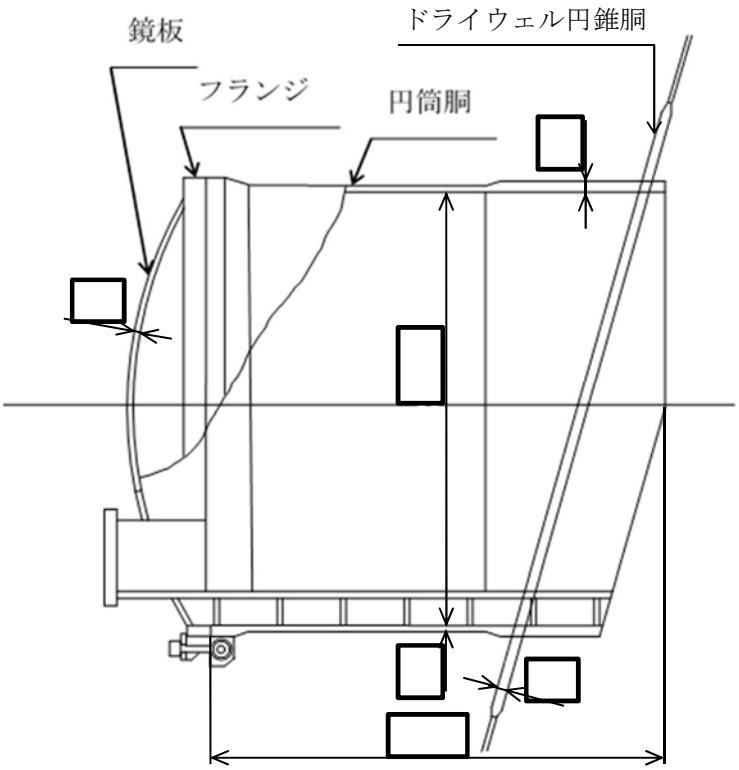


図８　機器搬入用ハッチの概要図

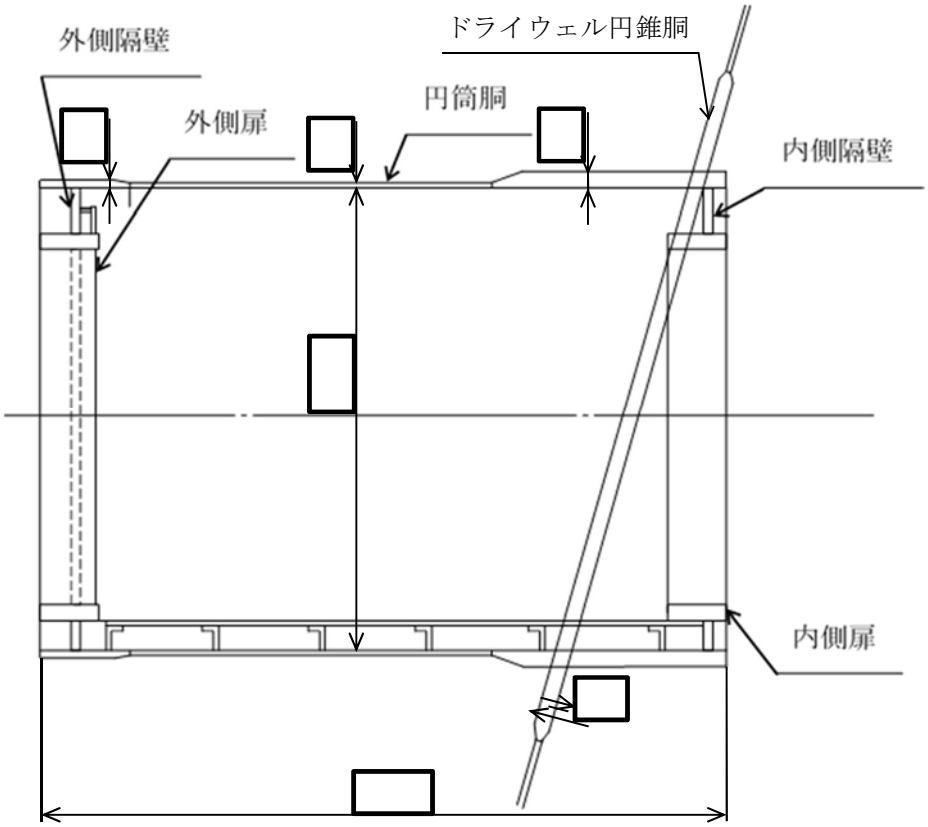


図９　所員用エアロックの概要図

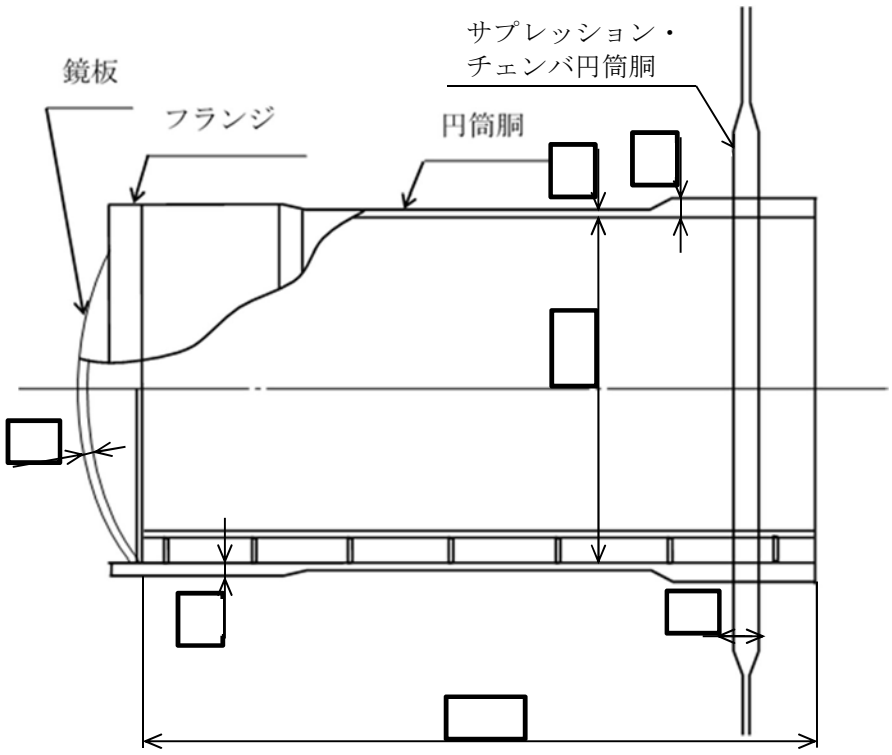


図 10　サプレッション・チェンバアクセスハッチの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは，三次元シェルモデルにてモデル化する。機器搬入用ハッチ等の主要構造部材及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは，形状不連続，板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり，局部的な応力を算出できるよう要素分割する。原子炉格納容器の円周方向全体の変形挙動に着目してモデル化し，基部は固定条件である。

機器搬入用ハッチ等を含んだ三次元シェルモデル図を図 11 から図 13 に示す。機器搬入用ハッチ等を含んだ原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は，大間 1 号機と同様である。

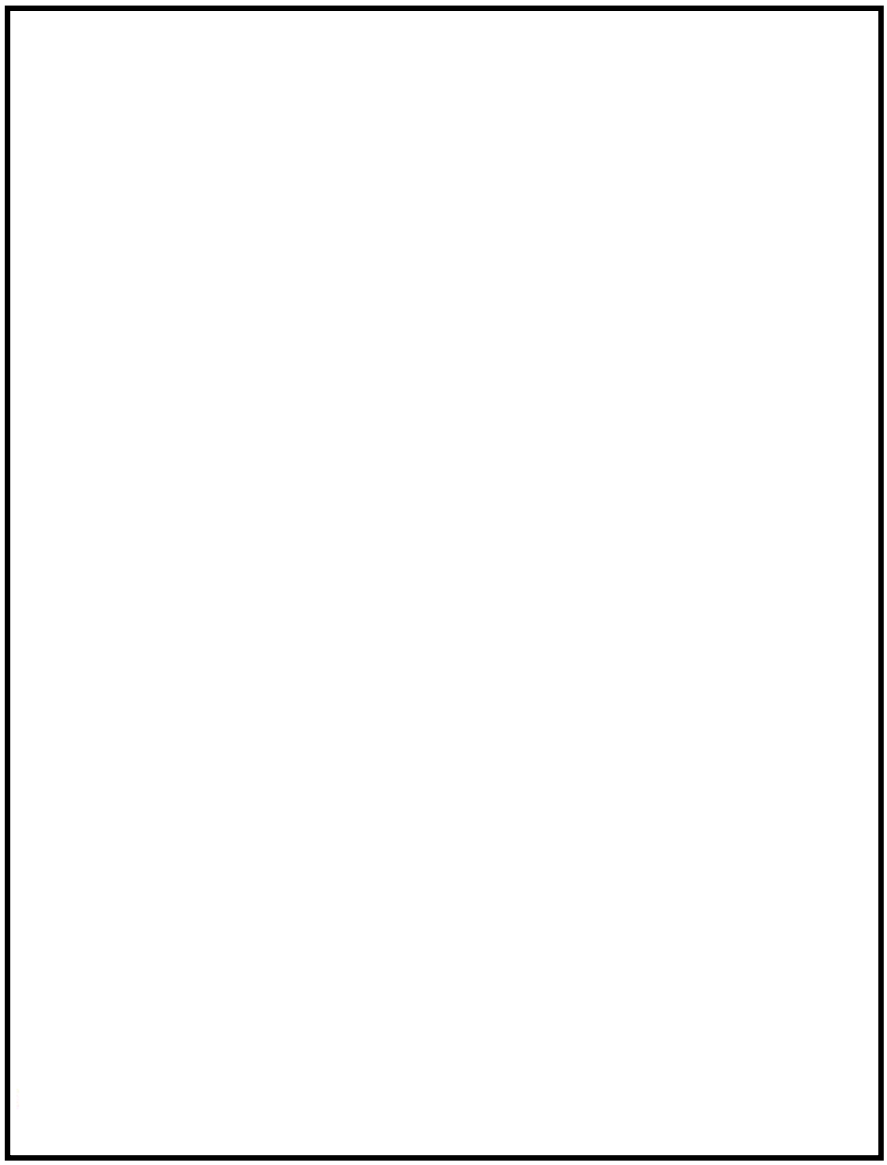


図 11　三次元シェルモデル（機器搬入用ハッチ）

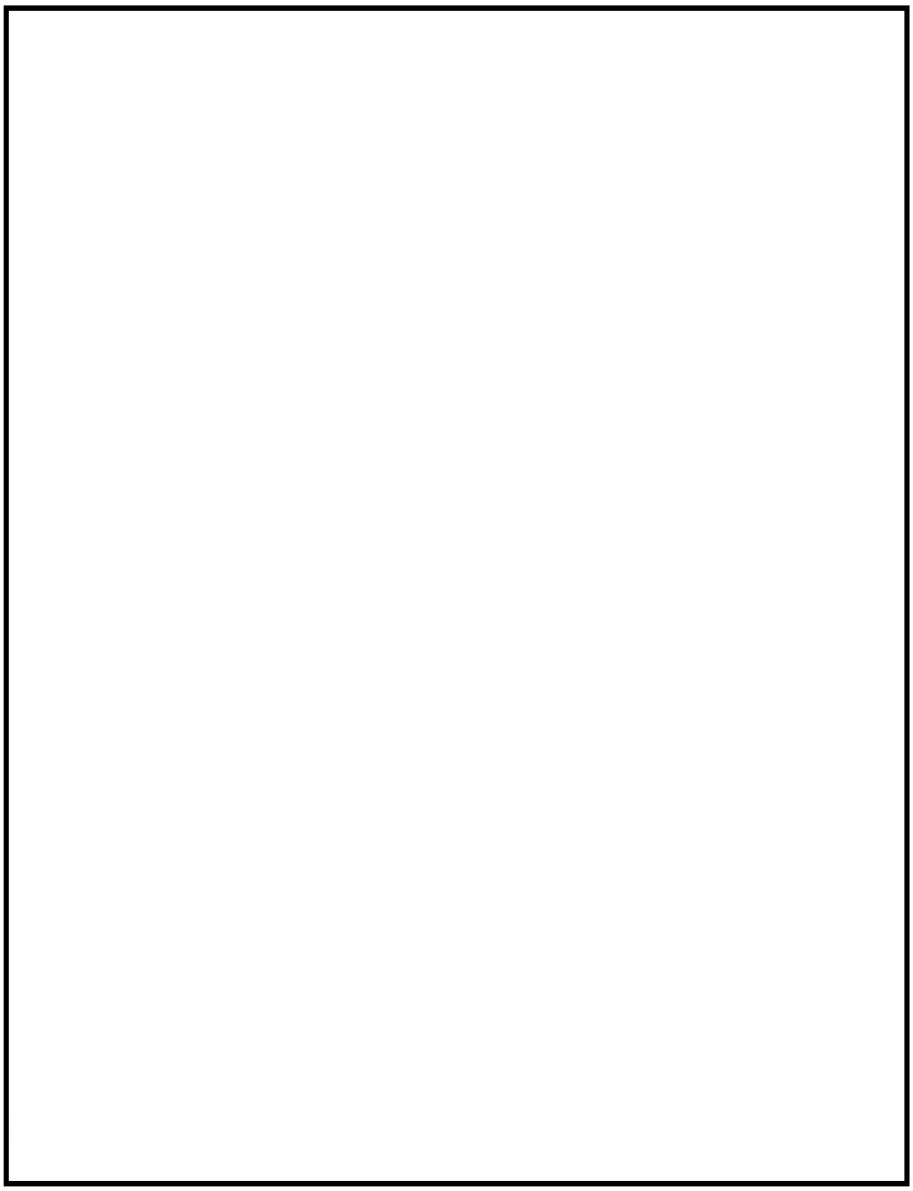


図 12　三次元シェルモデル（所員用エアロック）

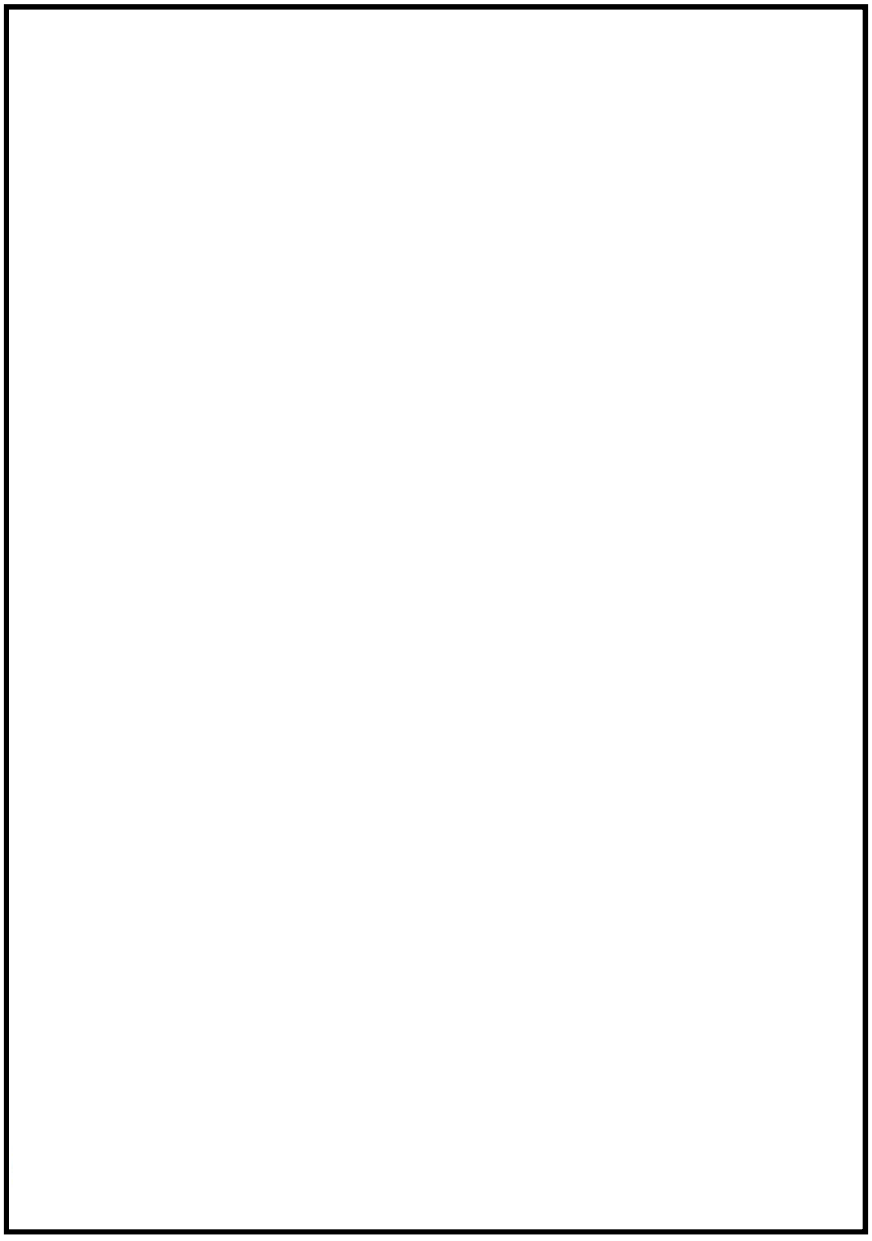


図 13　三次元シェルモデル（サプレッション・チェンバアクセスハッチ）

3.4　配管貫通部の応力解析手法について

今回工認では，つぎの評価対象項目に対して，三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて，配管貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

・配管貫通部（応力解析）

(1) 構造

配管貫通部の概要図を図 14 に示す。配管貫通部は鋼製円筒形の構造であり，原子炉格納容器を貫通する配管が直接溶接にて接合する型式と，原子炉格納容器に接合されたスリーブを介して，配管とスリーブとを接合する型式とがある。

東北電力東通 1 号機と東海第二の配管貫通部は，鋼製円筒形状である基本構造は同じであり，大きな構造の差を有していない。

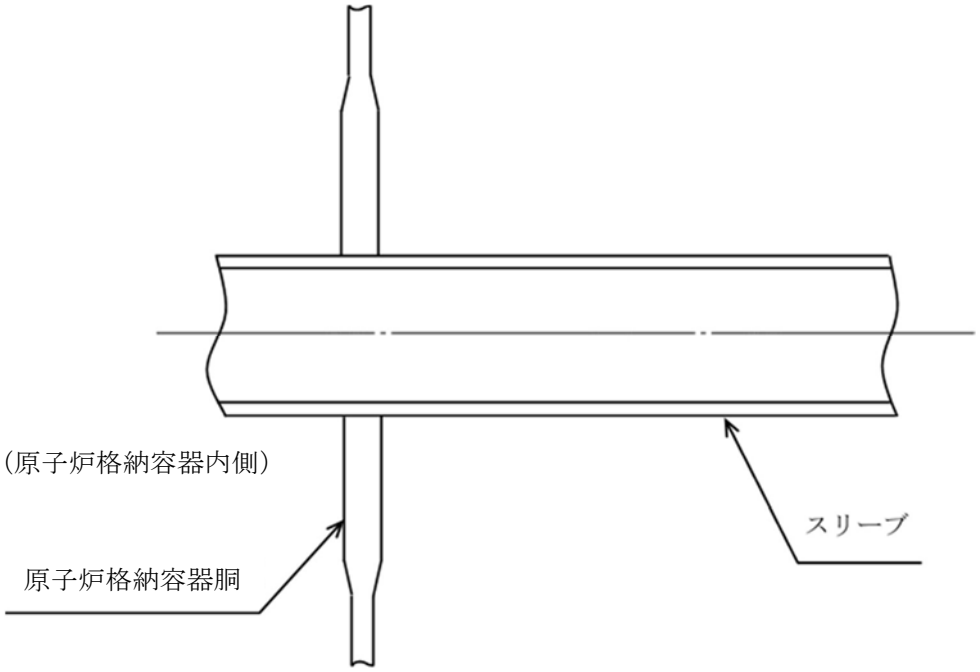


図 14　配管貫通部の概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは，三次元シェルモデルにてモデル化する。配管貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは，形状不連続，板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり，局部的な応力を算出できるよう要素分割する。配管貫通部に作用する地震力により発生する配管貫通部近傍の応力に着目し，全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また，基部は固定条件である。

配管貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 15 に示す。配管貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は，東北電力東通 1 号機と同様である。

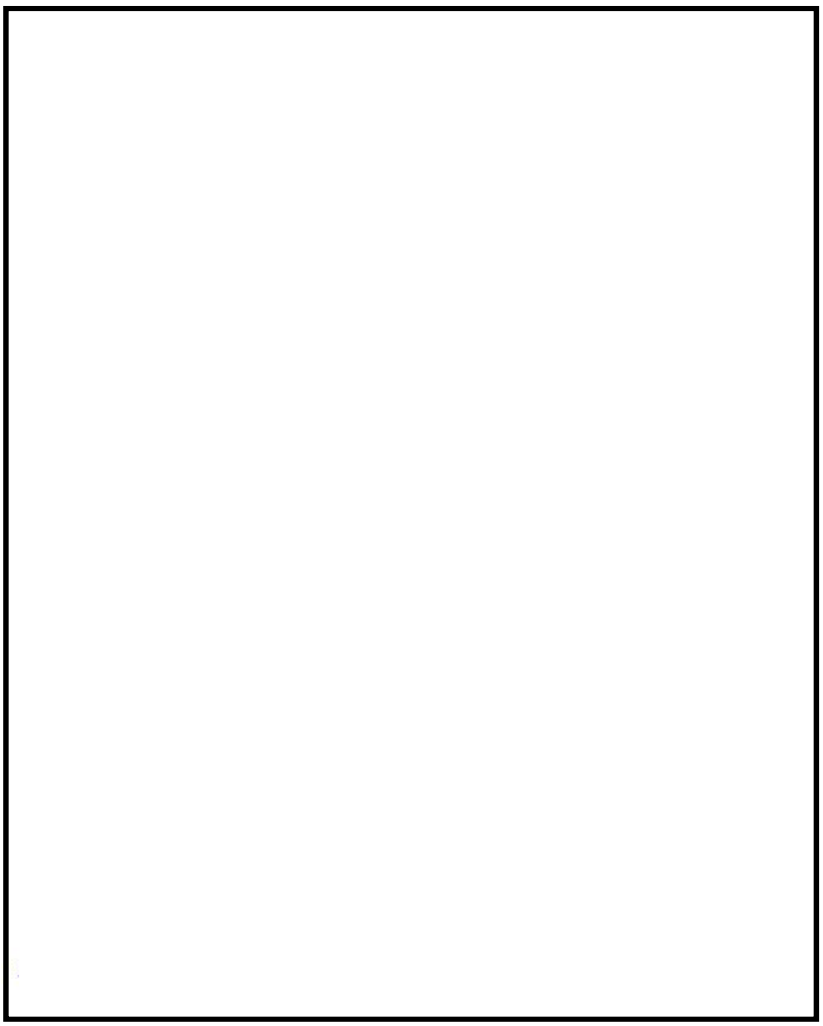


図 15　三次元シェルモデル例（配管貫通部）

3.5　電気配線貫通部の解析手法について

今回工認では，つぎの評価対象項目に対して，三次元ビームモデルにてモデル化した電気配線貫通部の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また，三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて，電気配線貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，地震応答解析モデルのモデル化方針，減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

・電気配線貫通部（応答解析）

・電気配線貫通部（応力解析）

(1) 構造

電気配線貫通部の概要図を図 16 に示す。電気配線貫通部は，原子炉格納容器を貫通するスリーブの外側端部に溶接したアダプタ・ヘッドを介して接続箱を，スリーブの内側端部に接続箱を取り付けている。

福島第一４号機と東海第二の電気配線貫通部は，鋼製円筒形状である基本構造は同じであり，大きな構造の差を有していない。

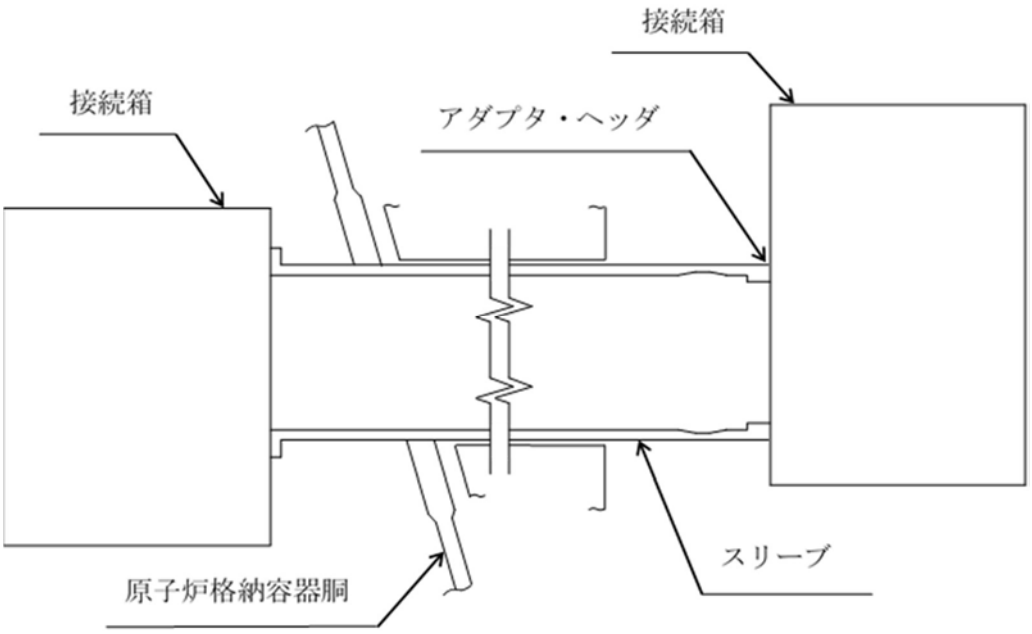


図 16　電気配線貫通部の概要図

(2) 応答解析モデル及び減衰定数

スペクトルモーダル解析に適用するモデルは，多質点系はりモデルにてモデル化する。接続箱の質量は質点に，スリーブの質量は等分布に置き換え，原子炉格納容器剛性を模擬したシェルばねにより結合する。ここで，シェルばねは，電気配線貫通部を含めた原子炉格納容器の三次元シェルモデル（応力解析モデルと同一）を用いて算出する。三次元シェルモデルの電気配線貫通部端部に単位荷重を①水平方向（原子炉格納容器径方向）（以下「P方向」という。），②水平方向（原子炉格納容器周方向）（以下「M_C方向」という。），③鉛直方向（以下「M_L方向」という。）の3方向に各々負荷し，得られた変形量から3方向（P方向，M_C方向，M_L方向）のばね定数を算出する。ばね作用方向以外の残りの 3 方向の境界条件は固定条件とし，それ以外の要素には境界条件を設定しない。（自由条件）

電気配線貫通部の三次元ビームモデル図を図17に示す。電気配線貫通部のモデル化の考え方は福島第一４号機（改造工認）と同様である。

また，減衰定数については，溶接構造物であるため1.0%を適用しており，福島第一４号機（改造工認）の減衰定数と同様である。

なお，福島第一４号機（改造工認）より以前のプラントでは，理論式に基づき固有周期を算出し，適用する設計用床応答曲線から応答加速度を設定している。

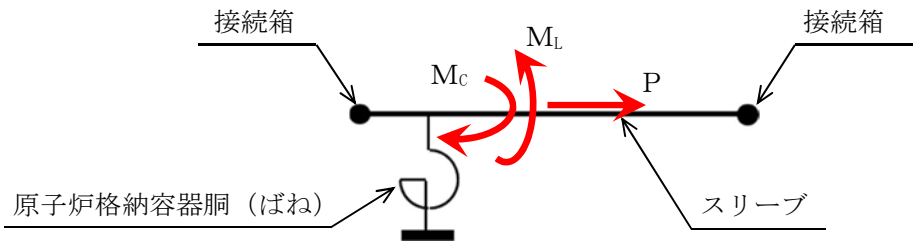


図 17　三次元ビームモデル（電気配線貫通部）

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは，三次元シェルモデルにてモデル化する。電気配線貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは，形状不連続，板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり，局部的な応力を算出できるよう要素分割する。電気配線貫通部に作用する地震力により発生する電気配線貫通部近傍の応力に着目し，全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また，基部は固定条件である。

電気配線貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 18 に示す。電気配線貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は，福島第一 4 号機と同様である。

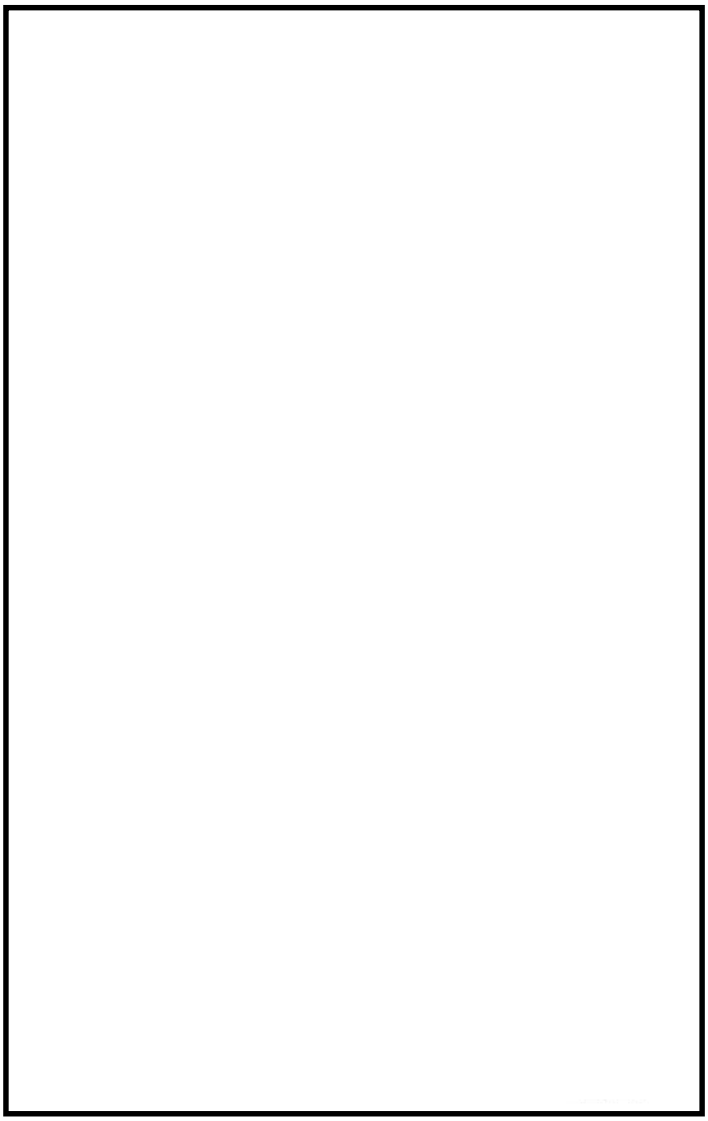


図 18　三次元シェルモデル例（電気配線貫通部）

電気配線貫通部のシェルばね計算例

ここでは，添付資料「Ⅴ-2-9-2-10　電気配線貫通部の耐震性についての計算書」に掲載の電気配線貫通部 [　　] を例にシェルばねの計算過程を示す。

①三次元シェルモデル作成

電気配線貫通部 [　　] 及び [　　] 周りの原子炉格納容器胴をシェル要素にて解析モデルを作成する。

貫通部番号	[　　]
貫通部外径 (mm)	[　　]
貫通部板厚 (mm)	
原子炉格納容器板厚（厚板部） (mm)	
原子炉格納容器板厚（一般部） (mm)	

[　　]

②単位荷重付加

電気配線貫通部先端に単位荷重を負荷し，変位量を求め，ばね定数を算出する。

方向	ばね定数
水平方向（原子炉格納容器径方向）（Ｐ方向）	[　　]
水平方向（原子炉格納容器周方向）（M_c方向）	
鉛直方向（M_L方向）	

3.6　ダイヤフラム・フロアの解析手法について

今回工認では，つぎの評価対象項目に対して，建屋－機器連成解析モデルにてモデル化した原子炉本体の基礎のダイヤフラム・フロア設置位置での応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また，三次元シェル及びはりモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて，ダイヤフラム・フロアに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，地震応答解析モデルのモデル化方針，減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針，並びに固有振動数について示す。

【評価対象項目】

・ダイヤフラム・フロア（応答解析）

・ダイヤフラム・フロア（応力解析）

(1) 構造

ダイヤフラム・フロアの概要図を図 19 に示す。ダイヤフラム・フロアは，ドライウェル部とサプレッション・チェンバ部との境界に設置される直径約[redacted]m の軸対称形の円環平板形状の構造物である。厚さ[redacted]m の円環状の鉄筋コンクリート床スラブ，床スラブを支持する半径方向に配置した鋼製大梁及び大梁間に円周方向及び半径方向に複数配置した鋼製小梁により構成されている。また，床スラブには，108 本のジェットデフレクタ付きベント管（内径[redacted]mm）及び 18 本の主蒸気排気管貫通部（内径[redacted]mm）を有している。円環内周端は原子炉本体の基礎に結合支持され，円環外周部で大梁を支持するため原子炉格納容器底面から鋼製柱を円周状に 20° 間隔で 18 本設置している。円環外周端は原子炉格納容器に設置したダイヤフラムブラケットに，大梁端部が水平方向で隙間をもって嵌め合う構造となっている。

また，ダイヤフラム・フロアの内周端を支持する原子炉本体の基礎は，鉄筋コンクリート製の円筒形の構造物である。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽４号機は原子炉格納容器構造（ＭＡＲＫ－Ⅱ型）が同じであり，ダイヤフラム・フロアに大きな構造の差を有していない。

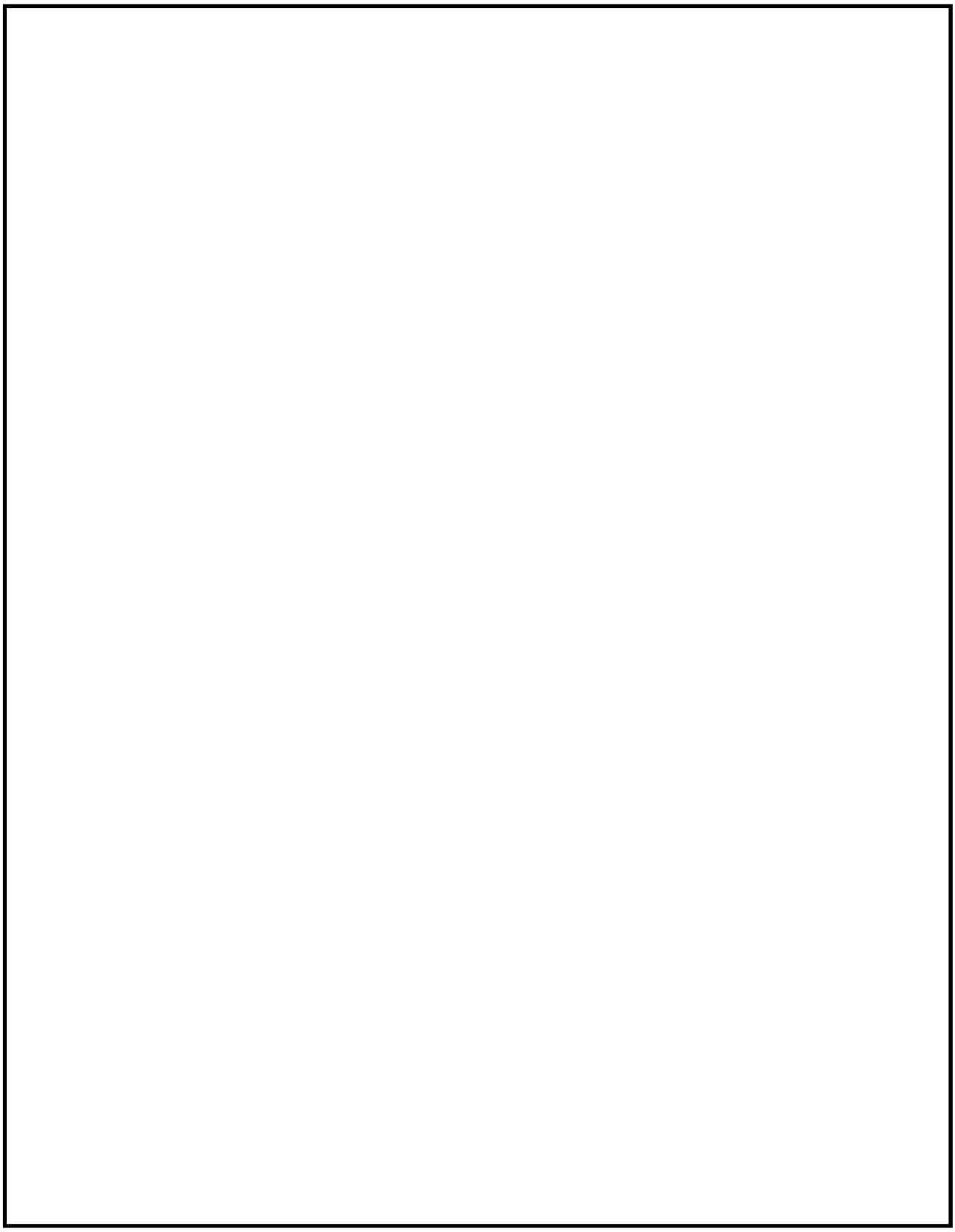


図 19　ダイヤフラム・フロアの概要図

(2) 鉛直方向応答解析モデル及び減衰定数

ダイヤフラム・フロアは，本項「(4) 固有振動数」に記載のとおり剛構造であることを確認していることから，鉛直方向の応答増幅はない。よって，ダイヤフラム・フロアの評価に際して鉛直方向加速度は，当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び原子炉建屋基礎版の最大応答加速度を適用する。

鉛直方向応答解析に適用する原子炉本体の基礎のモデルは，多質点系はりモデルとし，ダイヤフラム・フロアの質量は原子炉本体の基礎の質点及び原子炉建屋基礎版に[redacted]の割合で付加している。

ダイヤフラム・フロアの質量を付加した原子炉本体の基礎を含む建屋－機器連成解析モデル図を図 20 に示す。

鉄筋コンクリート製の円筒形構造物である原子炉本体の基礎を多質点系はりモデルにてモデル化する考え方は，参照プラントとした大飯３，４号機の鉄筋コンクリート製の円筒形構造物と同様である。

また，原子炉本体の基礎の減衰定数については，鉄筋コンクリートであるため 5%を適用しており，大飯３，４号機の減衰定数と同様である。

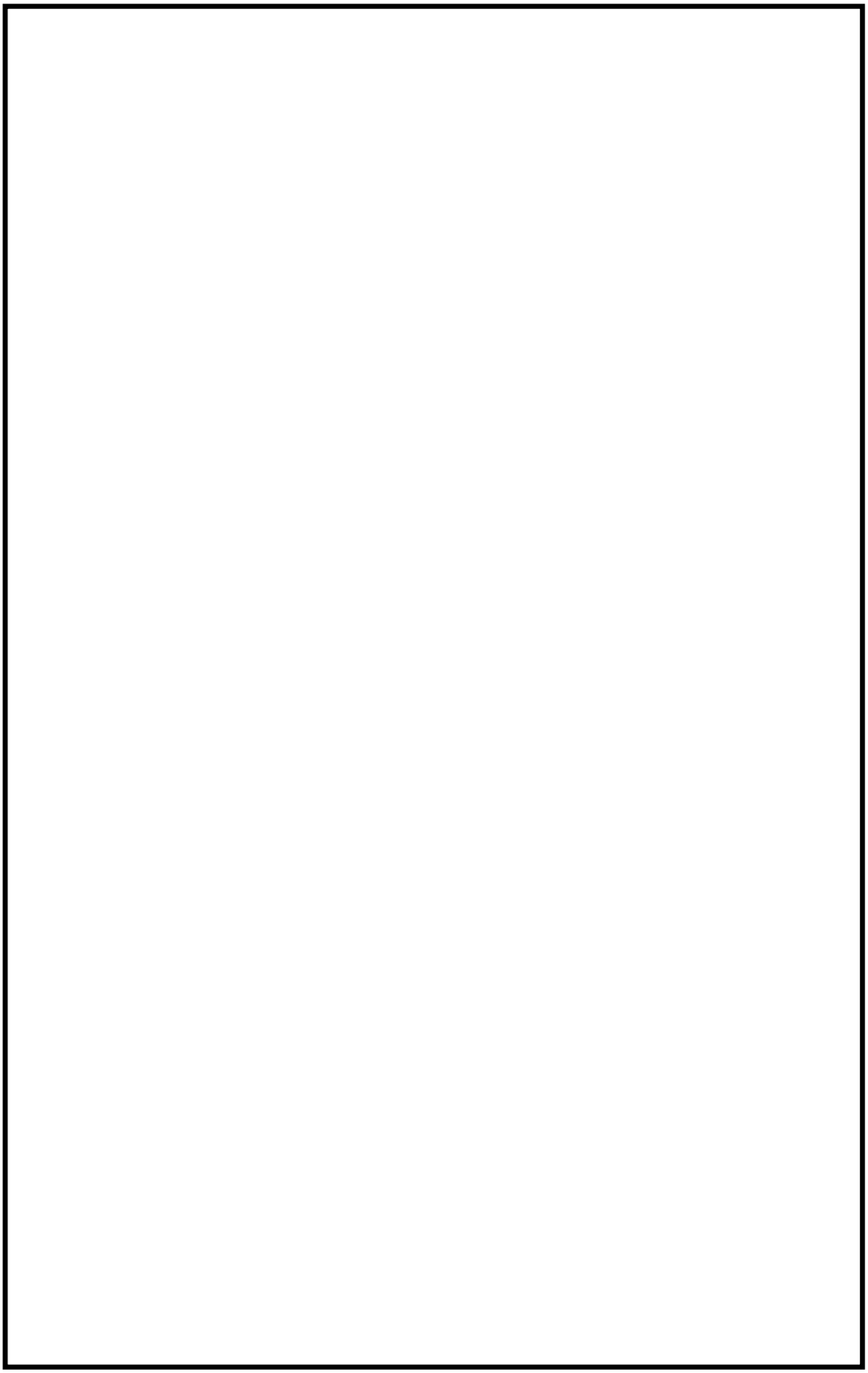


図 20　建屋－機器連成解析モデル図（鉛直方向）

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは，三次元シェル及びビームモデルにてモデル化する。鉄筋コンクリートスラブをシェル要素で，鉄骨の大梁，小梁及び柱をビーム要素でモデル化する。ベント管，格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）等の構造物を付加質量として考慮する。解析モデルは，形状不連続，板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり，局部的な応力を算出できるよう要素分割する。ダイヤフラム・フロアに作用する地震力により発生する応力に着目し，原子炉本体の基礎との接合部及び柱基部を固定条件とし，大梁外周端を自由条件としている。

ダイヤフラム・フロアの解析モデル図を図 21 に示す。ダイヤフラム・フロアを三次元シェル及びビームモデルでモデル化する考え方は，柏崎刈羽４号機と同じである。

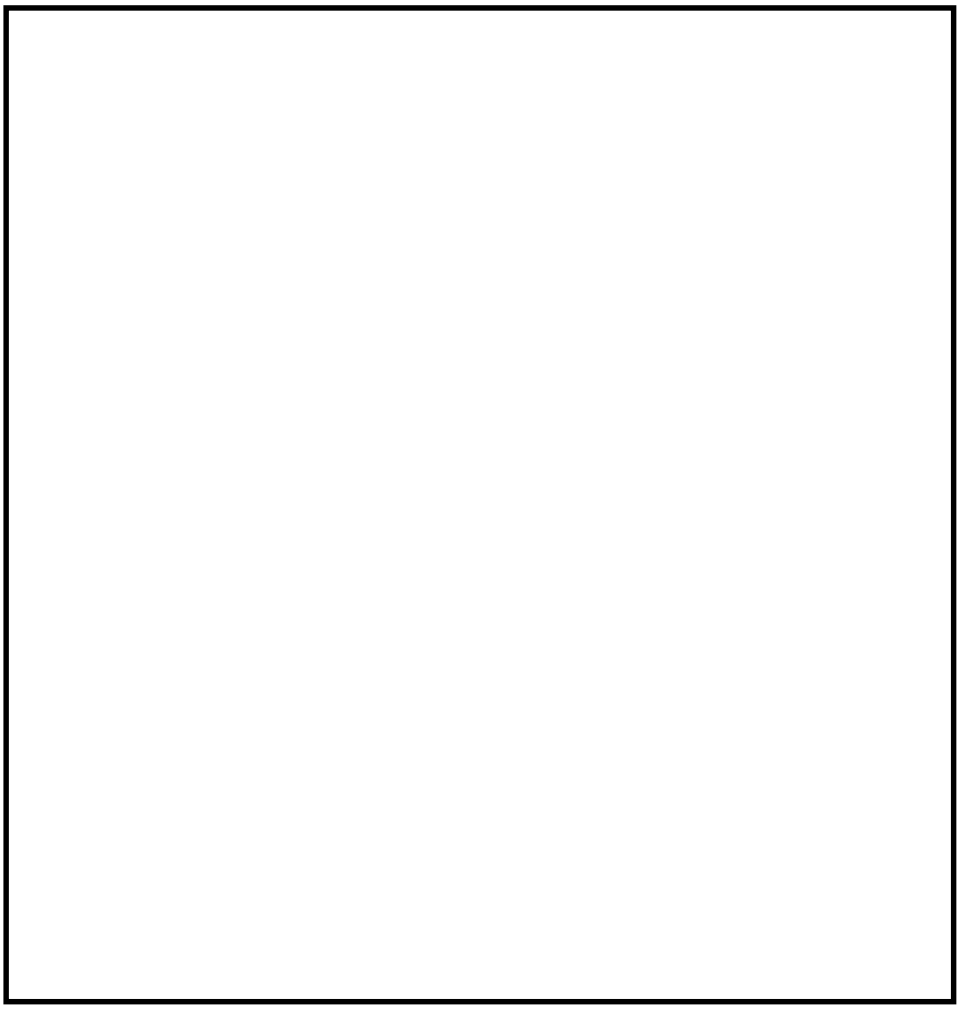


図 21　三次元シェル及びビームモデル（ダイヤフラム・フロア）

(4) 固有振動数

三次元シェル及びビームモデルにてモデル化したダイヤフラム・フロアの固有値解析を実施した。ここで，ダイヤフラム・フロアの固有値を算出する応答解析用モデルは，添付書類「Ⅴ-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書」に示されている。得られた固有値の中で，ダイヤフラム・フロア全体の振動が卓越する固有振動数を表 2 に，振動モードを図 22 から図 24 に示す。解析の結果，固有振動数は 20Hz を超えており，ダイヤフラム・フロアは剛構造である。なお，鉛直方向の卓越モードは 1 次，2 次ともに床スラブが面外（鉛直方向）に変形するモードとなっている。1 次モードは外周端側の変形が卓越し，2 次モードは内周端と柱との間の領域及び外周端の変形が卓越している。

表 2　固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)	卓越モード

図 22　振動モード図（　　）

図 23　振動モード図（　　）

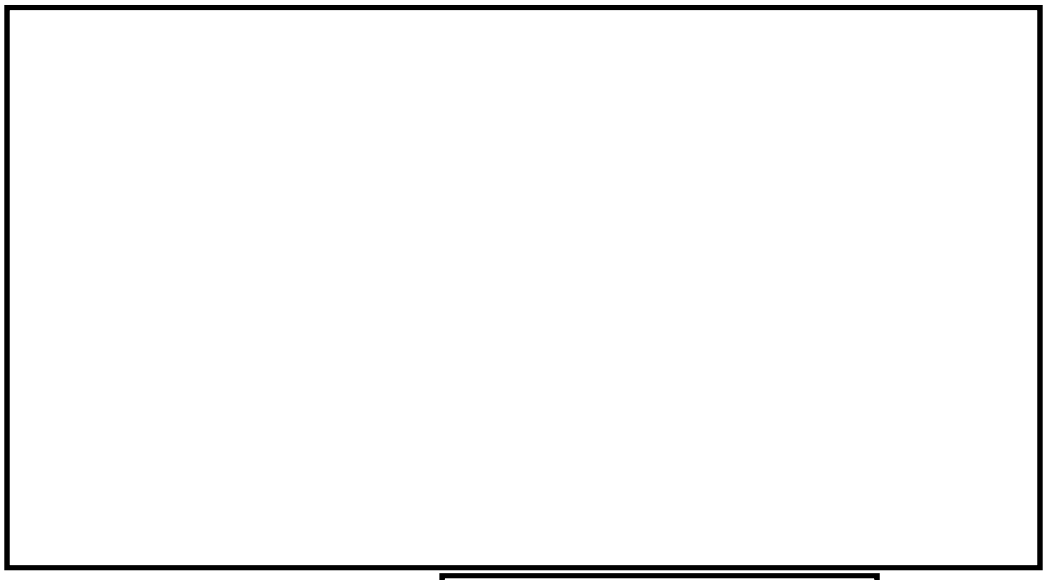


図 24　振動モード図（　　）

3.7　ベント管の応答解析手法について

今回工認では，つぎの評価対象項目に対して，三次元ビームモデルにてモデル化したベント管の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

【評価対象項目】

・ベント管（応答解析）

(1) 構造

ベント管の概要図を図 25 に示す。ベント管は，内径[　]mm，板厚[　]mm，長さ[　]m の管で，通常時，下部[　]m が水中に入っている。ベント管のダイヤフラム・フロア貫通部上部には，事故時ジェット力が作用しないようジェットデフレクタが設置されており，鉄筋コンクリート製床スラブに固定されている。ベント管の最下部（水中部）にはベント管相互を少なくとも 3 本接続する水平ブレーシングを，ベント管下部（気中部）にはベント管相互及び原子炉本体の基礎を接続する水平ブレーシングを設置している。

これにより，ベント管が独立して振動することを抑制すると共に，原子炉本体の基礎と接続することで水平方向の過大な振動を抑えることができる。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽４号機は原子炉格納容器構造（ＭＡＲＫ－Ⅱ型）が同じであり，ベント管に大きな構造の差を有していない。

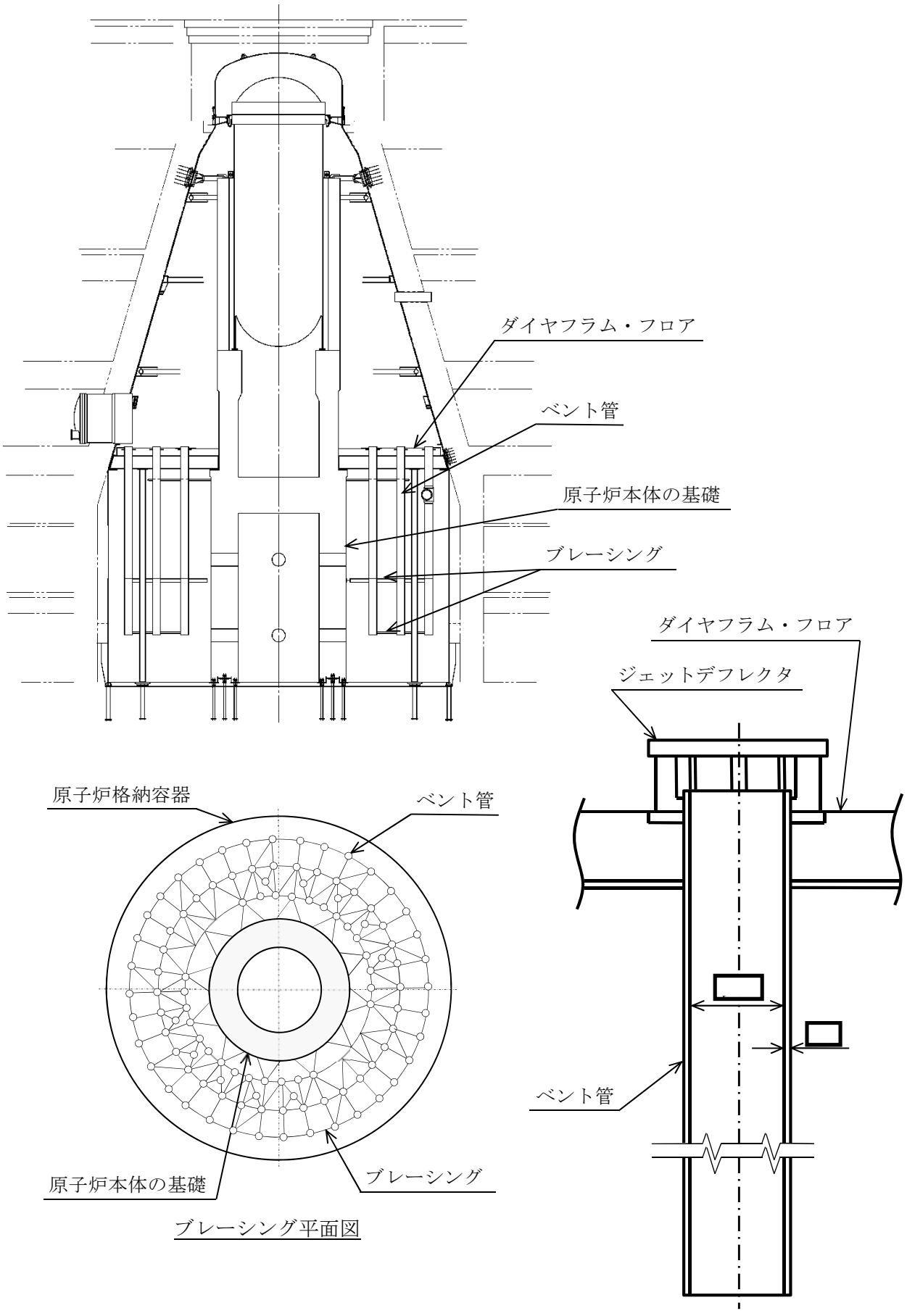


図 25　ベント管の概要図

(2) 応答解析モデル，固有振動数及び減衰定数

応答解析手法はスペクトルモーダル解析であり，適用するモデルは，三次元ビーム要素でモデル化しベント管の質量は等分布に置き換え，各節点間を等価な剛性で結合する。ベント管上部は，ダイヤフラム・フロア接続部で固定条件とし，原子炉本体の基礎と接続するブレーシング取付位置において，水平方向変位をばねによる拘束条件としている。ばね定数は，ベント管全数に対して原子炉本体の基礎と接続するブレーシング取付位置に水平方向の単位荷重を作用させた際に得られるベント管の変位量から算出している。

三次元ビームモデル図を図 26 に，ベント管の固有振動数を表 3 に，振動モードを図 27 に示す。ベント管を三次元ビームモデルでモデル化する考え方は，柏崎刈羽４号機と同じである。

また，減衰定数については，ＪＥＡＧ4601-1991 の配管系の設計用減衰定数における規定の適用条件を満足していないことから 0.5%としている。減衰定数を 0.5%とする考え方は，柏崎刈羽４号機と同じである。

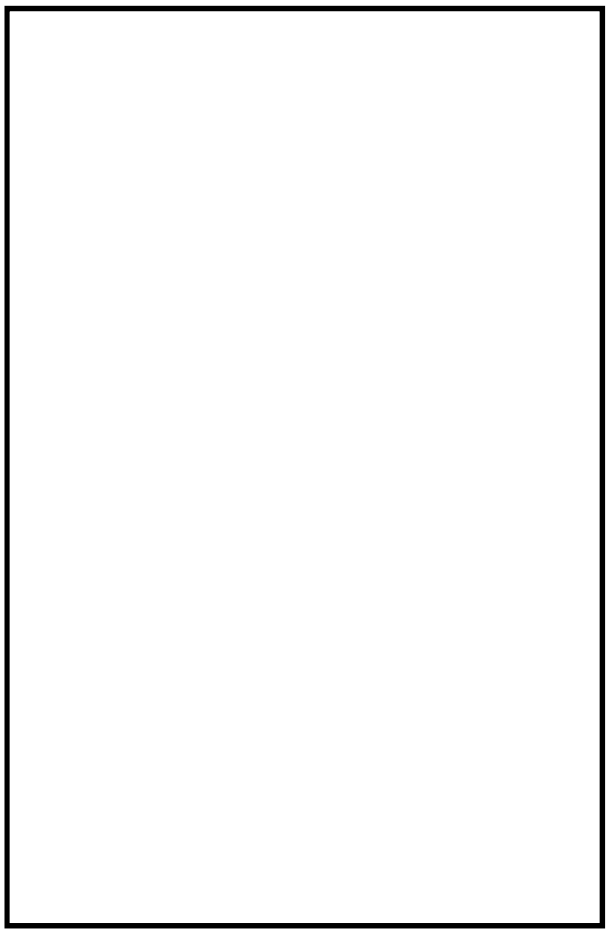


図 26　三次元ビームモデル（ベント管）

表 3　ベント管の固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)

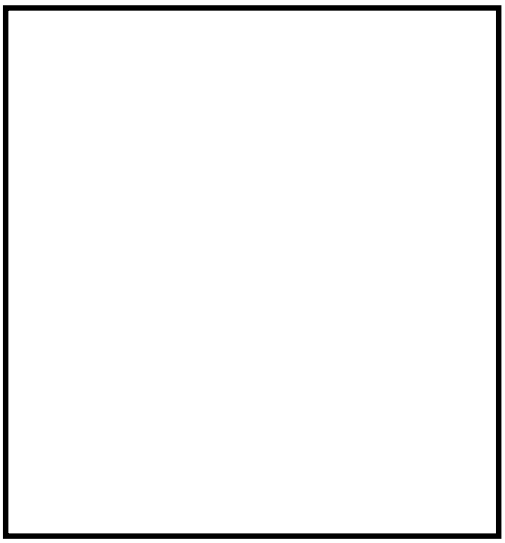


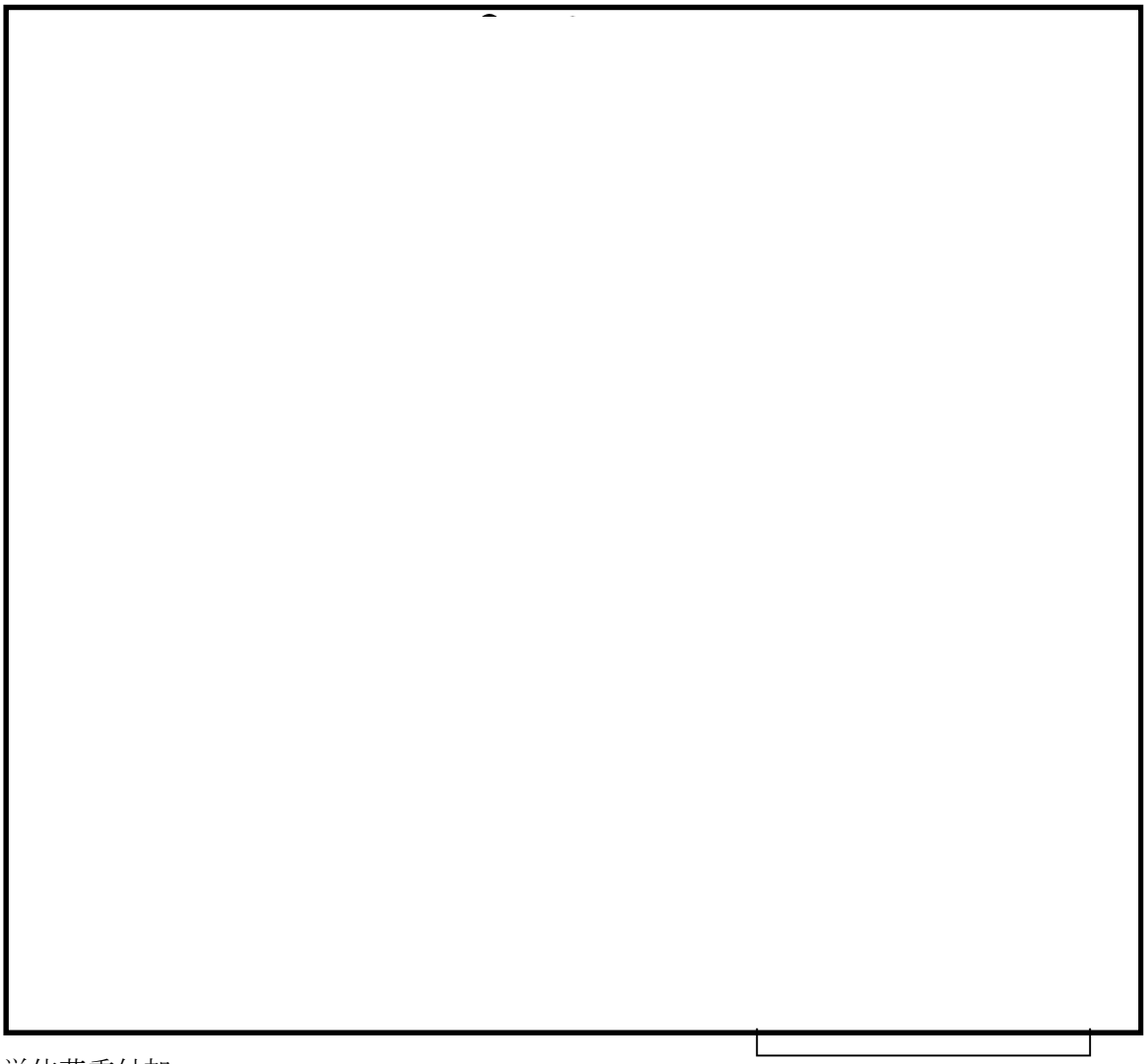
図 27　振動モード図

ベント管ブレーシングのばね定数

ここでは，ベント管ブレーシングのばね定数の計算方法を示す。

①三次元はりモデル作成

原子炉本体の基礎と接続するベント管ブレーシングについて，はり要素にて解析モデルを作成する。



②単位荷重付加

全てのベント管位置に単位荷重を負荷し，平均の変位量を求め，ばね定数を算出する。

	X 方向	Y 方向
ばね定数		

③応答解析用ばね定数

ベント管の応答解析では既工認でのばね定数 を使用する。

添付２に示すばね定数と既工認でのばね定数の扱い

添付２におけるベント管ブレーシングのばね定数算出では，保有する最新の図面に基づき解析モデルを構築した。今回計算したばね定数 は，既工認でのばね定数 に比べ柔らかいものとなっているが，ベント管の耐震性についての計算書では，既工認から構造等の変更はないことから，既工認のばね定数を使用して応答解析を実施している。

ここでは，今回計算したばね定数 を使用した場合のベント管の固有振動数及び応力評価について示す。

	固有振動数（Hz）	
使用するばね定数 （kg/cm）	既工認	今回計算
次数		

評価部位		応力分類	D＋P_D＋M_D＋S_s		
			発生値（MPa）		許容値 （MPa）
使用するばね定数（kg/cm）			既工認*	今回計算	
P１	上部	P_L＋P_b	139	136	380
		P_L＋P_b＋Q	196	190	458
P２	ブレーシング部	P_L＋P_b	291	294	380
		P_L＋P_b＋Q	422	428	458

注記＊：　既工認のばね定数を使用した発生値は，添付書類「Ⅴ-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」による。

応力計算の結果，応力評価点Ｐ１は既工認のばね定数を使用した方が，今回計算したばね定数 を使用したものより大きくなっている。応力評価点Ｐ２は，今回計算したばね定数を使用した方が，既工認のばね定数を使用したものより大きくなるが，応力増分の最大は一次＋二次応力で 6MPa 程度であり，発生応力は許容値内に収まっている。

よって，今回工認の耐震性についての計算書では，既工認のばね定数 を使用する。

3.8　格納容器スプレイヘッダの応力解析手法について

今回工認では，つぎの評価対象項目に対して，三次元ビームモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて，格納容器スプレイヘッダに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に，評価対象項目の構造を示すと共に，応力解析モデルのモデル化方針について示す。

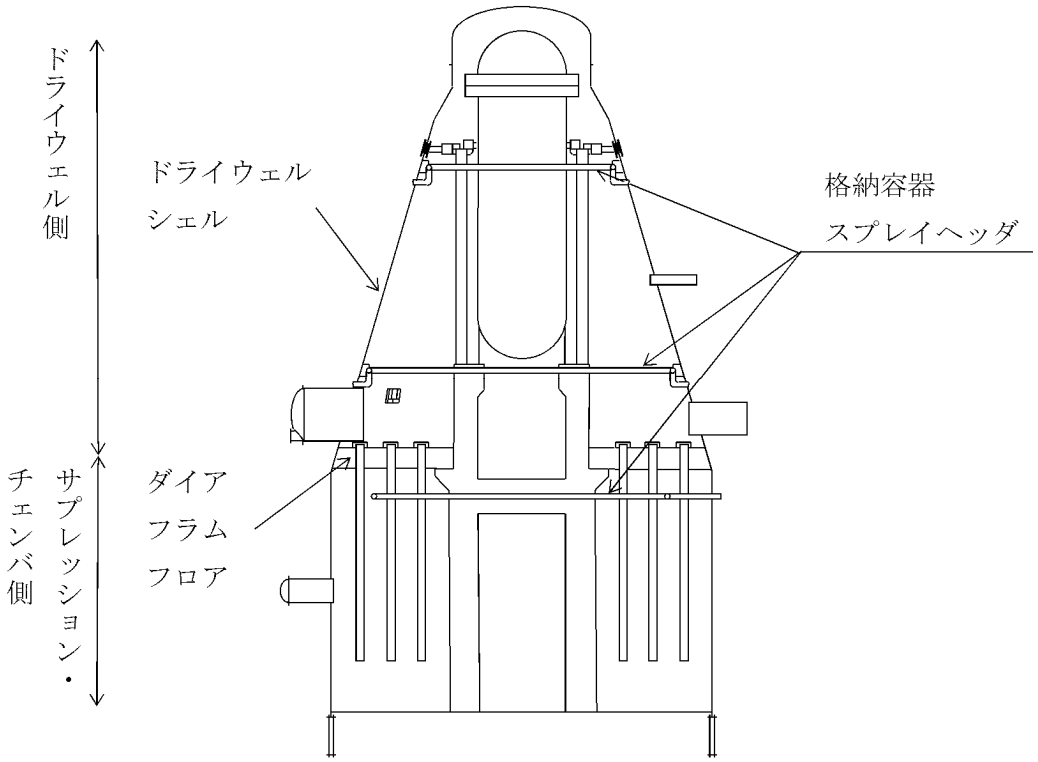
【評価対象項目】

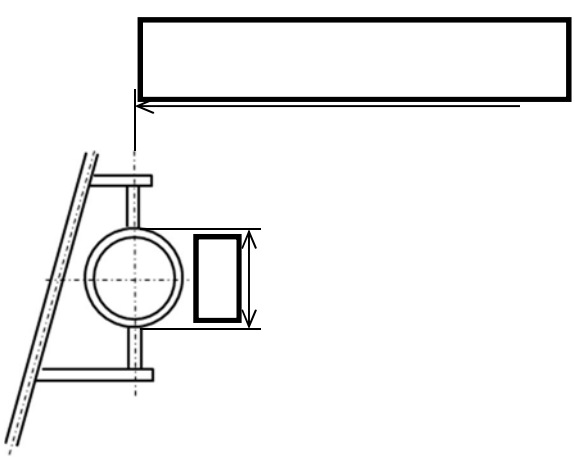
・格納容器スプレイヘッダ（応力解析）

(1) 構造

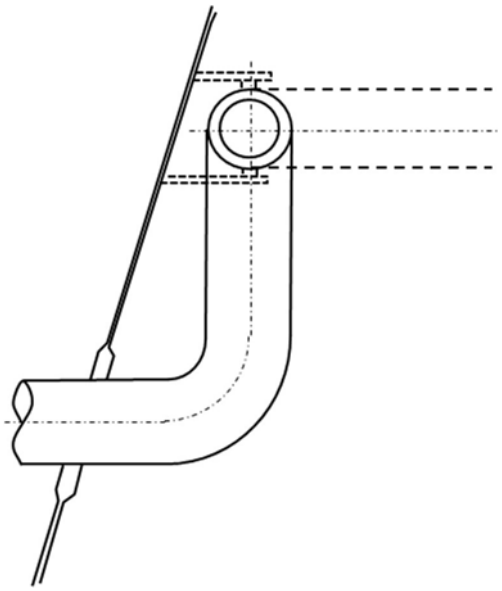
格納容器スプレイヘッダの概要図を図 28 に示す。ドライウェルの上部及び下部に格納容器スプレイヘッダ（ドライウェル側）が，サプレッション・チェンバに格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）が各々設置されている。格納容器スプレイヘッダ（ドライウェル側）は，外径[　　]mm の管で作られ，上部スプレイヘッダは直径約[　　]m，下部スプレイヘッダは直径約[　　]m の円環構造となっていて，案内管により配管貫通部を介して，原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分はドライウェル部に接合されており，ドライウェルと一体で挙動する。格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）は，外径[　　]mm の管で作られ，直径約[　　]m の円環構造となっていて，案内管により配管貫通部を介して，原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分がダイヤフラム・フロアの柱に支持されている。

応答解析で参照プラントとした大間 1 号機の格納容器スプレイヘッダは，配管支持構造物が鉄筋コンクリート製原子炉格納容器やダイヤフラム・フロアに設置されている円環構造の配管である。基本形状が円環構造の配管である点で，東海第二の格納容器スプレイヘッダは大間 1 号機の格納容器スプレイヘッダと大きな構造の差を有していない。





格納容器スプレイヘッダ（ドライウェル側）



格納容器スプレイヘッダ（ドライウェル側）案内管

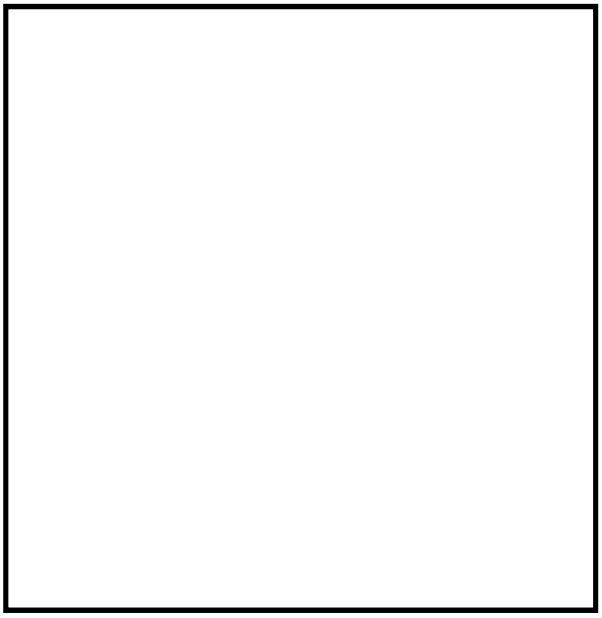
図 28　格納容器スプレイヘッダの概要図

(2) 応答解析モデル

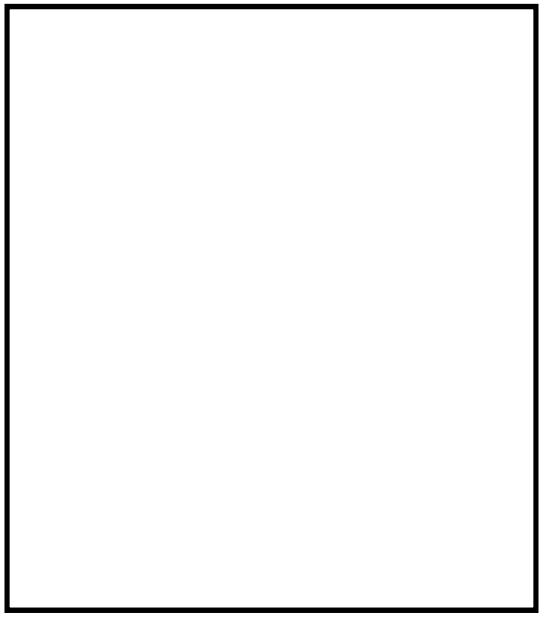
格納容器スプレイヘッダ（ドライウェル側）のうち，円環部は原子炉格納容器と一体で挙動することから，案内管に対する地震応答を取得する。案内管の応答解析手法は静的解析である。格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）についての応答解析手法はスペクトルモーダル解析である。減衰定数については，ＪＥＡＧ4601-1991 の配管系の設計用減衰定数における規定の適用条件を満足していないことから 0.5%としている。

応答解析に適用するモデルは，三次元ビーム要素でモデル化し格納容器スプレイヘッダの質量は等分布に置き換え，各節点間を等価な剛性で結合する。

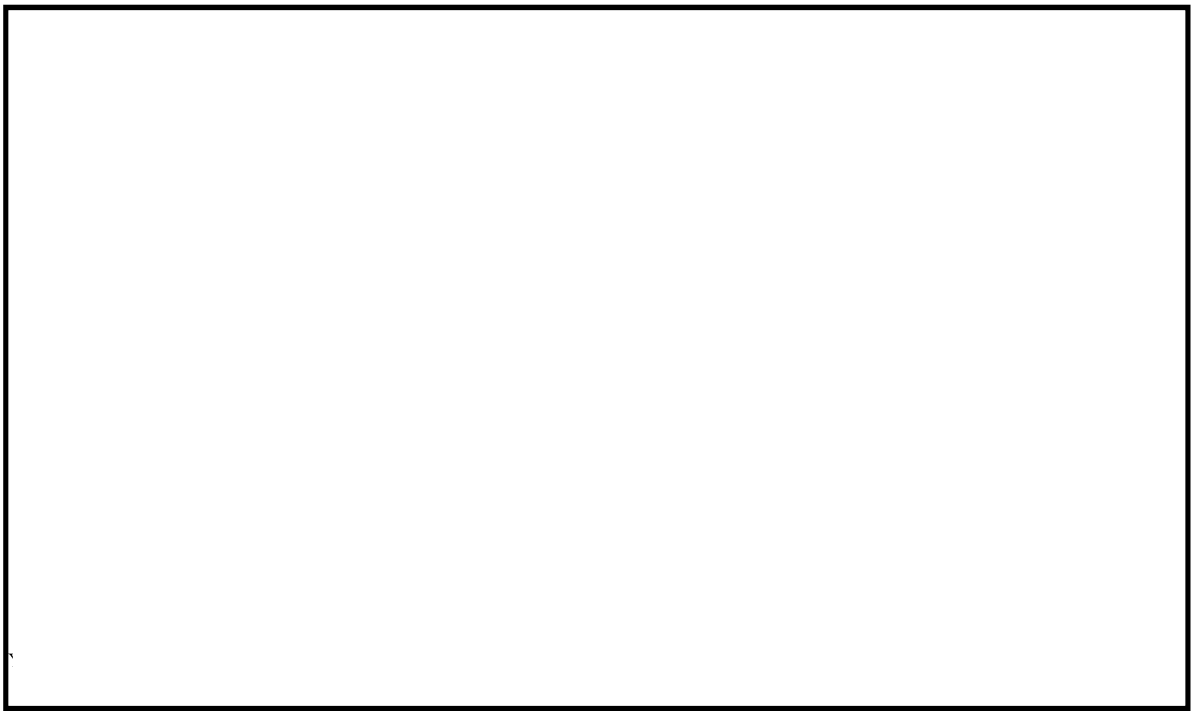
三次元ビームモデル図を図 29 に示す。格納容器スプレイヘッダの減衰定数を 0.5%とする考え方は，大間 1 号機と同じである。



上部ドライウェルスプレイヘッダ
案内管



下部ドライウェルスプレイヘッダ
案内管



格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）

図 29　三次元ビームモデル（格納容器スプレイヘッダ）

8.　制御棒の挿入性評価について

目　次

1.　はじめに…… 1
2.　制御棒挿入性評価について…… 2
3.　鉛直地震動の影響について…… 5
3.1　既往研究の制御棒挿入性の整理…… 5
3.2　鉛直地震動の影響評価…… 6
3.2.1 制御棒に作用する荷重…… 6
3.2.2 燃料集合体の浮上り…… 11
4.　まとめ…… 15

1. はじめに

制御棒挿入性への鉛直方向加速度の影響については，社団法人日本電気協会原子力発電耐震設計専門部会「水平・上下地震動に対する機器の機能維持評価法の検討に関する調査報告書」（以下「耐専報告書」という。）並びに独立行政法人原子力安全基盤機構「原子炉施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その２（ＢＷＲ制御棒挿入性）に係る報告書」（以下「機器耐力その２報告書」という。）及び「原子炉施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その３（総合評価）に係る報告書」（以下「機器耐力その３報告書」という。）にて整理されている。東海第二発電所（以下「東海第二」という。）における鉛直方向加速度による制御棒挿入性の影響評価について，既往検討成果に基づき影響評価を実施した。

2.　制御棒挿入性評価について

今回工認における制御棒挿入性評価については，ＪＥＡＧ4601-1991 追補版でのＢＷＲ用制御棒の評価手法を適用する。ＪＥＡＧ4601-1991 追補版の制御棒挿入性の評価手順を図 1 に示す。

制御棒の耐震性についての計算書では，建屋・機器連成系応答解析から得られた燃料集合体の相対変位が，制御棒の挿入試験で得られた燃料集合体の相対変位（約 40mm）以内であることを確認している。東海第二の制御棒の耐震性についての評価概要を表 1 に示す。

表 1　制御棒の耐震性についての評価概要

燃料集合体相対変位	機能確認済相対変位	鉛直方向震度 （上部格子板位置）
16.8mm*1	約 40mm*3	0.83*2 (1.24*1)

＊1：　添付書類「Ⅴ-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」の基準地震動Ｓｓにおける地震応答解析結果を 1.5 倍した値

＊2：　添付書類「Ⅴ-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」の基準地震動Ｓｓにおける地震応答解析結果

＊3：　機能確認済相対変位は，昭和 53 年まで当時の株式会社 日立製作所（現在の日立ＧＥニュークリア・エナジー株式会社）にて実施した挿入性試験で取得したもの。燃料集合体の相対変位が約 40mm においても，90%ストロークスクラム時間が 3.5 秒以内である。挿入性試験の内容は，添付書類「Ⅴ-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」に記載がある。

なお，挿入性試験は，フォロワ付制御棒で実施している。（図 2 参照）フォロワとは，制御棒先端にあるステンレス鋼製のハンドル部を延長した部分のことであり，その設置目的は，制御棒先端部の出力分布の勾配を緩やかにして，制御棒引抜時の出力変動幅を低減し，燃料の健全性向上を図ることである。また，フォロワ付制御棒が国内プラントに採用されたのは東海第二の運転開始以

降であるため，東海第二にはフォロワ付制御棒は採用されていないが，フォロワ付の方が制御棒の質量が増加する分，挿入時間は増す方向であり，試験としては安全側である。

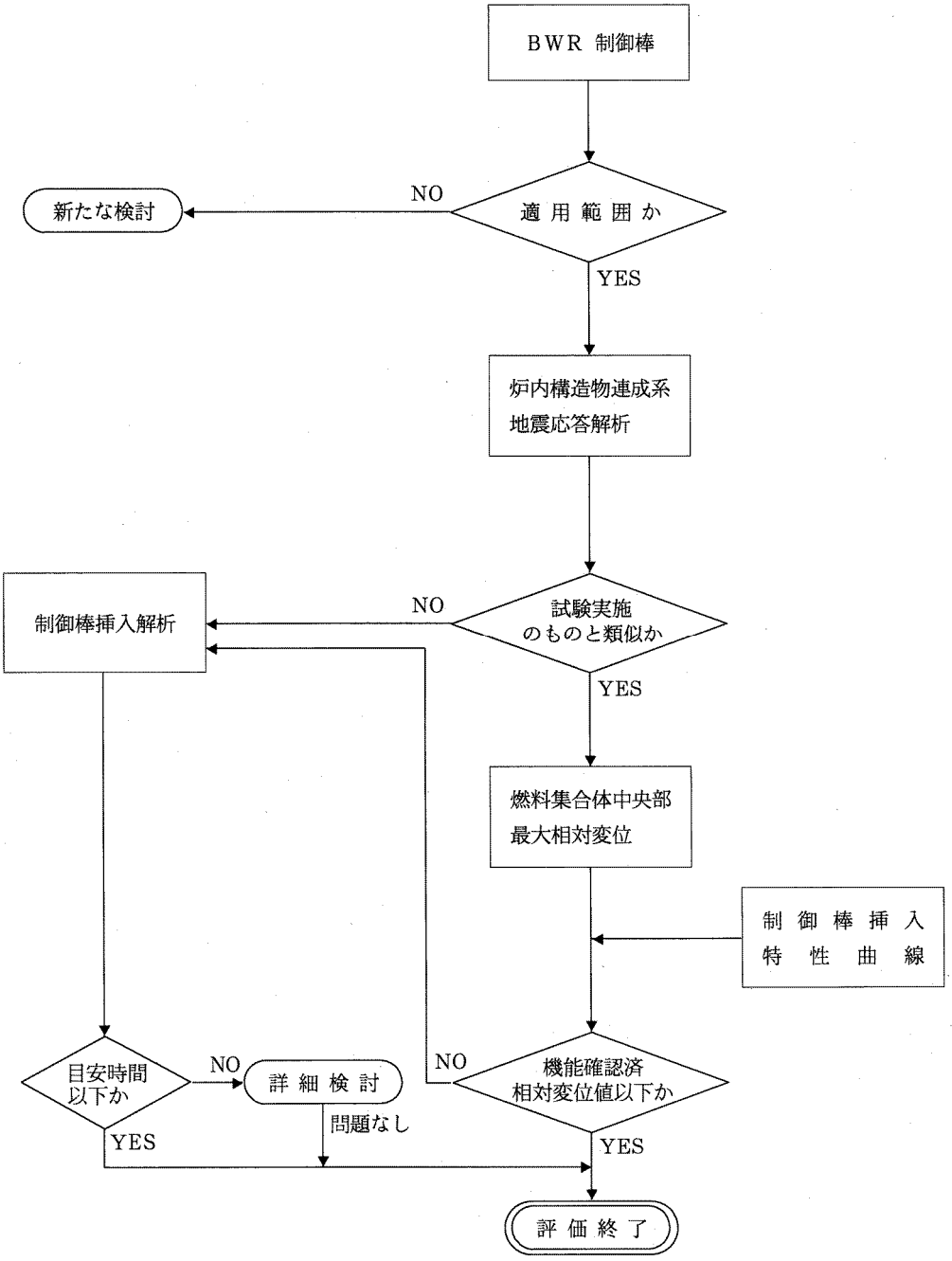


図１　制御棒挿入性の評価手順（ＢＷＲ）（ＪＥＡＧ4601-1991 追補版）

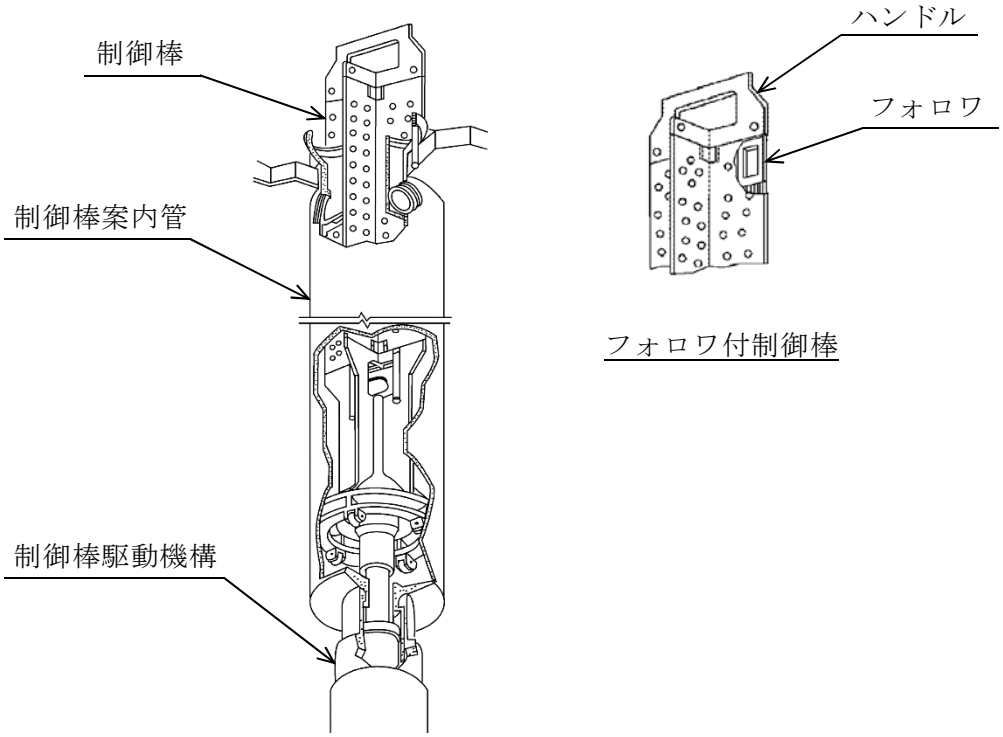


図 2　制御棒概略構造図

3.　鉛直地震動の影響について

3.1　既往研究の制御棒挿入性の整理

(1)　NUPEC 実証試験では，最大約 0.3×9.8m/s^2 までの上下地震動による試験を行い，上下方向の地震加速度が作用しても挿入性に影響しないことが確認されている。

(2)　耐専報告書では，制御棒挿入時に制御棒に作用する挿入力とその他作用力を算出し，その大小関係と方向から上下地震動に対する影響を評価し，1.0×9.8m/s^2 に対して影響は小さく無視できるとしている。なお，ここでは，水平地震力による燃料中央部のたわみ変位は 34mm である。

(3)　機器耐力その２報告書では，1.0×9.8m/s^2 以上の上下方向加速度が燃料集合体に作用する場合には，燃料集合体が浮上る可能性があることから，制御棒挿入性への影響として，制御棒の挿入現象・挿入時間及び燃料集合体の浮上りについて検討し，解析による制御棒挿入時間の評価及び 2.0×9.8m/s^2 が作用し仮に燃料集合体に浮上りが生じた場合でも，燃料支持金具から離脱することはないことを報告している。

(4)　機器耐力その３報告書では，上下地震動として最大加速度 2.0×9.8m/s^2 に対する検討を実施し，上下地震動による制御棒挿入性への影響はきわめて小さいことを報告している。

3.2　鉛直地震動の影響評価

制御棒挿入性に対する鉛直方向加速度による影響については，次の項目について評価する。

① 制御棒に作用する荷重

② 燃料集合体の浮上り

3.2.1 制御棒に作用する荷重

(1) 評価方針

耐専報告書における影響評価と同様に制御棒挿入時に制御棒に作用する荷重を静的荷重と扱い，また各荷重の作用方法は安全側の評価となるように設定する。ここで設定した条件において制御棒に作用する上下方向の荷重から，鉛直方向加速度が制御棒挿入性に与える影響を評価する。表 2 に影響評価で考慮する荷重と設定方針を示す。

表 2　制御棒挿入性影響評価で考慮する荷重と設定方針

No.	制御棒に作用する荷重の種類	設定方法
1	制御棒自重	下向きに働く力として設定
2	制御棒駆動機構の挿入圧及び炉圧	定格炉圧時の炉圧スクラムでの挿入力として設定
3	炉水による浮力	制御棒に生じる浮力を制御棒の体積に基づき設定
4	上下地震力による抗力	炉心支持板位置の鉛直方向加速度から下向きに作用する力として設定
5	水平地震力による抗力	耐専報告書で算定された水平地震力による抗力（摩擦力）を用いる。* この算定では燃料中央部でのたわみ変位は 34mm である。一方，東海第二の燃料集合体相対変位は 16.8mm である。

＊：　耐専報告書記載の文献（“BWR CONTROL ROD DRIVE SCRAMMABILITY DURING EARTHQUAKES”, ASME PVP Vol.182）における，水平方向加振中の制御棒挿入試験での計測結果から解析した制御棒に生じる水平力を基にしている。

(2) 評価結果

表 2 の設定方針により算出した制御棒に作用する各鉛直方向荷重を表 3 及び図 3 に示す。制御棒挿入機構の挿入力が主体の上向きの力は 5155N である。一方，自重や鉛直地震動による下向きの力は 3783N である。よって，方向性を考慮した荷重の総和は上向きの力が 1372N 上回っている。

表 3　制御棒挿入性影響評価で考慮する荷重と算出根拠

No.	制御棒に作用する荷重の種類	荷重（N）*	算出根拠
1	制御棒自重	－ 814	〔東海第二〕 制御棒質量：83kg
2	制御棒駆動機構の挿入圧及び炉圧	＋ 5061	〔東海第二〕 定格圧力（6.93MPa）時の挿入力
3	炉水による浮力	＋ 94	〔東海第二〕 制御棒体積に炉水密度を考慮
4	上下地震力による抗力 （別紙参照）	－ 1460	〔東海第二〕 鉛直方向加速度 1.24×9.8m/s^2 が制御棒及び制御棒駆動機構部に作用するとして算定
5	水平地震力による抗力（摩擦力）	－ 1509	〔耐専報告書〕 水平地震動による燃料中央部のたわみ変位が 34mm になる状態で，50%ストロークのスクラムした場合に，制御棒に生じる水平力の解析値が約 15092N であり，一般的な動摩擦係数 0.1 として抗力を算定
作用力の合計		＋ 1372	－

＊：　荷重の方向を，上向き＋，下向きーとした。

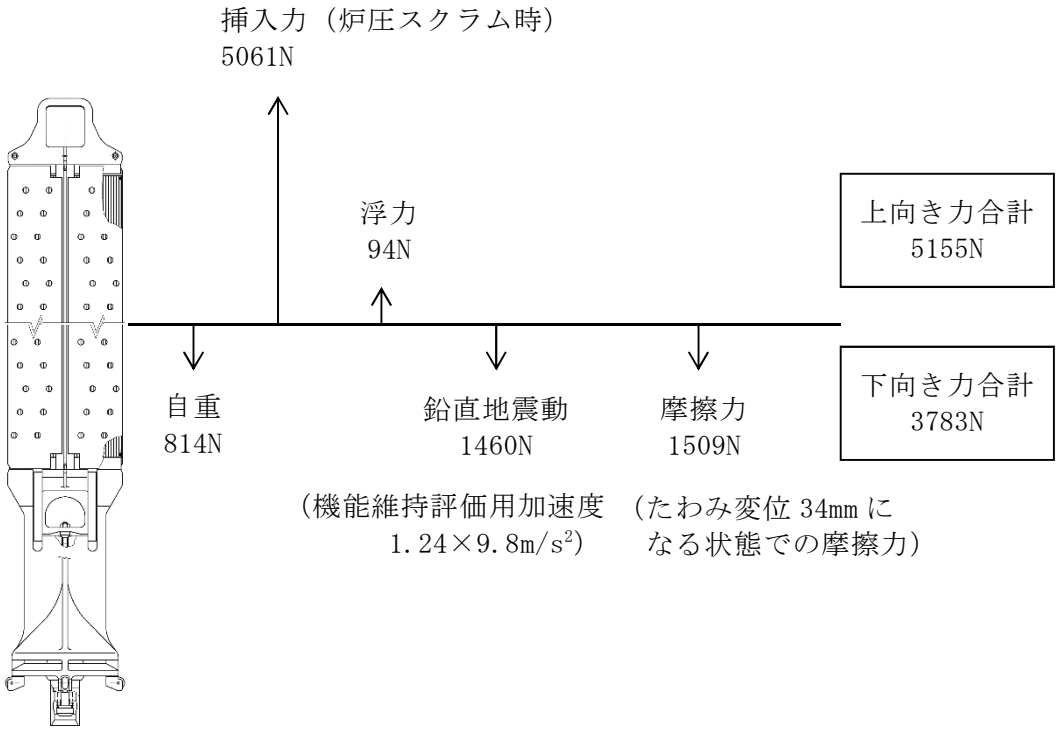


図 3　制御棒に作用する鉛直方向荷重

〔上下地震動による抗力で生じるスクラム時間遅れ〕

(1) 評価方針

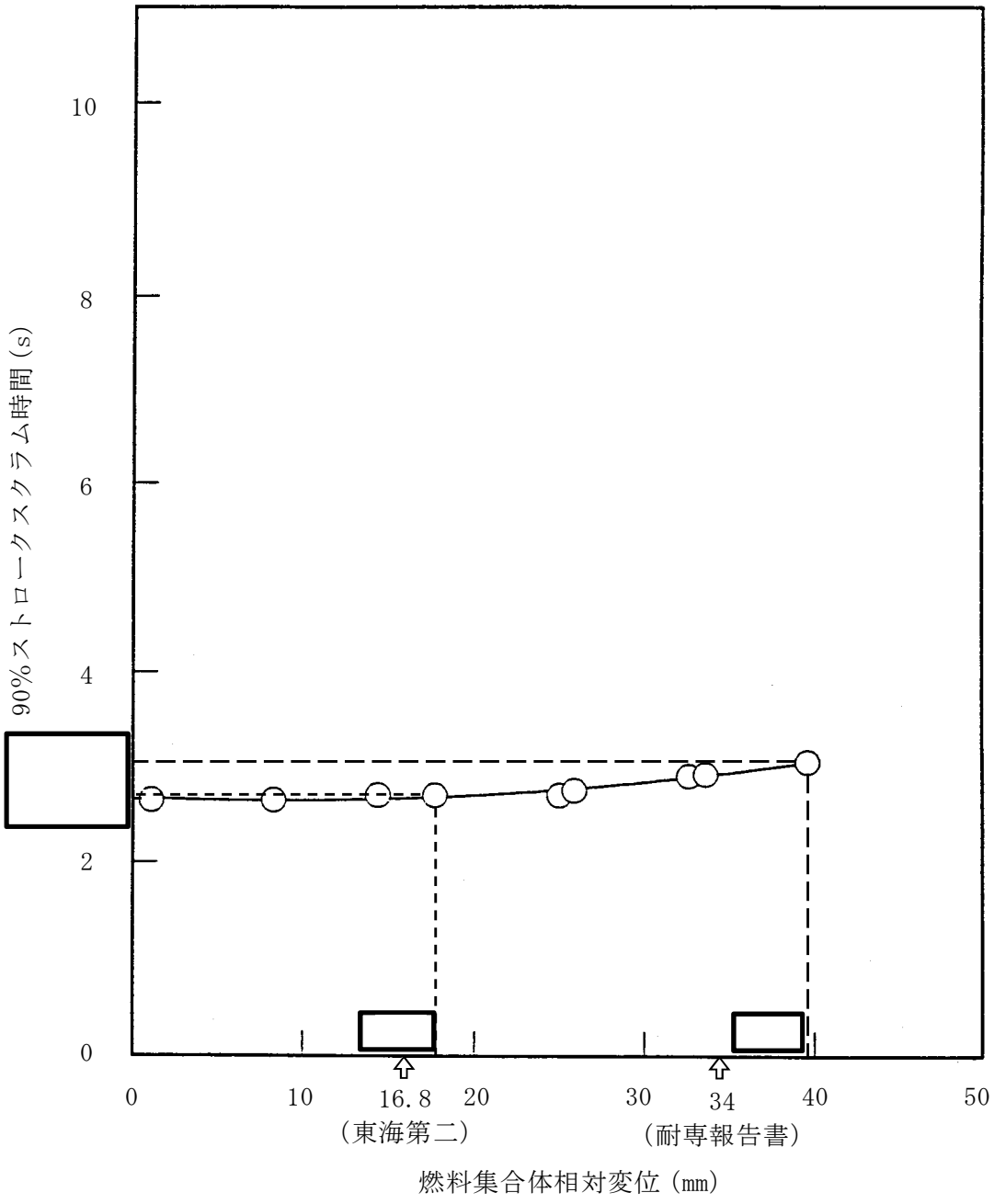
鉛直地震力による抗力でスクラム時間に遅れが生じることから，燃料のたわみ変位によって生じる下向き抗力とスクラム遅れ時間との相関を仮定し，整理する。

(2) 評価結果

資料Ⅴ-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」の「図 4－3　燃料集合体相対変位と 90%ストロークスクラム時間の関係」（別図 1 参照）によると，非加振時（□ mm 変位時）のスクラム時間は 2.65 秒であるのに対し，相対変位□ mm におけるスクラム時間は□秒であり，スクラム時間は 0.4 秒増加している。一方，耐専報告書によると，燃料中央部のたわみ変位 34mm での抗力（摩擦力）は 1509N であることから，制御棒挿入に対する抗力（摩擦力）1509N が常時下向きに作用する場合，スクラム時間は保守的に捉えて 0.4 秒増加すると推定できる。

次に，「表 3　制御棒挿入性影響評価で考慮する荷重と算出根拠」より鉛直方向加速度 1.24×9.8m/s^2 作用時には抗力 1460N が生じることから，この時のスクラム時間の遅れは，摩擦力と時間遅れが比例するとして□（秒）となる。

東海第二の相対変位 16.8mm に対するスクラム時間（90%ストローク）は，別図 1 の相対変位□ mm でのスクラム時間を保守的に用いて□秒であるとすると，鉛直地震力による影響を考慮したスクラム時間は□(秒）となる。これは，90%ストロークスクラムの目安時間 3.5 秒以内である。



別図1　燃料集合体相対変位と90%ストロークスクラム時間の関係

(添付書類「V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」に加筆)

3.2.2 燃料集合体の浮上り

(1) 評価方針

制御棒上部は，スクラム開始前の初期状態においても燃料集合体間に挿入されており，仮に上下地震動による浮上りが生じた場合でも燃料集合体下部の水平方向の移動は制御棒により拘束されるため，制御棒挿入が不可能になることはないと考えられる。

本項では，機器耐力その２報告書を基に，仮に上下地震動により燃料集合体に浮上りが生じた場合として，次の 2 ケースについて検討する。

① 上下地震動による燃料集合体の浮上り

② 水平及び上下地震動による燃料集合体の浮上り

(2) 評価結果

a. 上下地震動による燃料集合体の浮上り

機器耐力その２報告書では，上下地震動による燃料集合体の燃料支持金具からの浮上り量について，1 自由度 1 質点の簡易解析モデルに正弦波を入力する解析により検討している。モデルを図 4 に，解析結果を図 5 に示す。浮上り量の最大は，入力加速度 2.0×9.8m/s^2，周波数 5Hz の場合で浮上り量は 68mm となっている。

東海第二の鉛直方向震度は 1.24×9.8m/s^2 であり，機器耐力その２報告書の解析結果における 1.5×9.8m/s^2 での浮上り量 37mm を超えることはなく，浮上り量は燃料支持金具設置深さ 60mm より小さい。

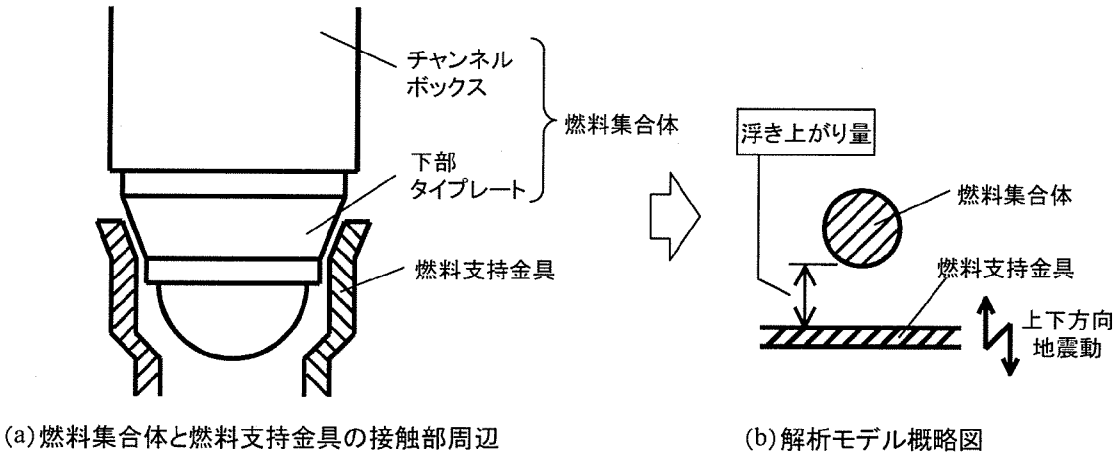


図 8.3.3-1　燃料集合体の浮き上がり量解析モデルの概略図

図 4　燃料集合体の浮上り量解析モデルの概略図（機器耐力その２報告書）

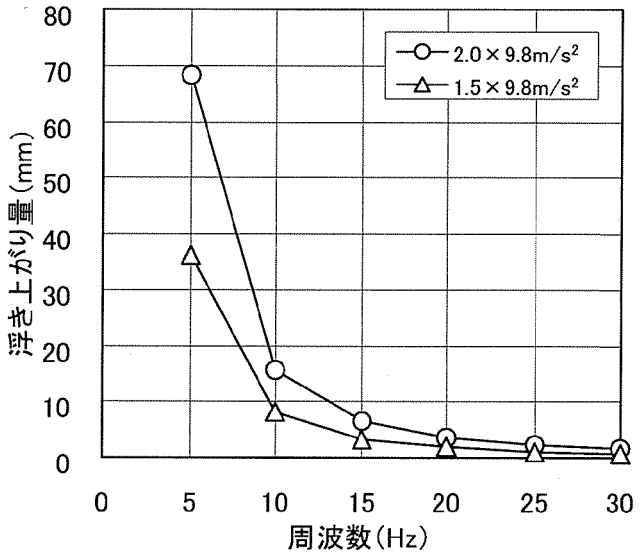


図 8.3.3-2　浮き上がり量解析結果(正弦波)

図 5　浮上り量解析結果（正弦波）（機器耐力その２報告書）

b. 水平及び上下地震動による燃料集合体の浮上り

機器耐力その２報告書では，上下方向に加えて水平方向の地震力を考慮し，燃料集合体が燃料支持金具から離脱する可能性について検討している。燃料集合体が上下地震動により浮上り，水平地震動の加速度により燃料支持金具の面に沿って上方向に移動する事象を考えている。概要図を図 6 に示す。

図 6 の条件において力学的検討を行い，上下地震動によって燃料集合体が浮上った状態で水平方向の地震動の影響を受けた場合の水平動による上方向の移動量を求めている。実プラントの基準地震動条件での検討では，移動量評価条件は表 4 に示すとおりで，水平動に対する評価結果では，上下動が 1.5×9.8m/s^2 のときの水平動による上方向の移動量は 1.1mm，2.0×9.8m/s^2 のときの移動量は 1.3mm となっている。結果として，水平及び上下地震動による上方向の移動量は，上下動が 1.5×9.8m/s^2 のときは 5.8mm＋1.1mm=6.9mm，上下動が 2.0×9.8m/s^2 のときは 21.2mm＋1.3mm=22.5mm となり，上下地震動に加え水平地震動を考慮した場合でも，燃料支持金具設置深さ 60mm に対し十分小さい値となることが確認されている。

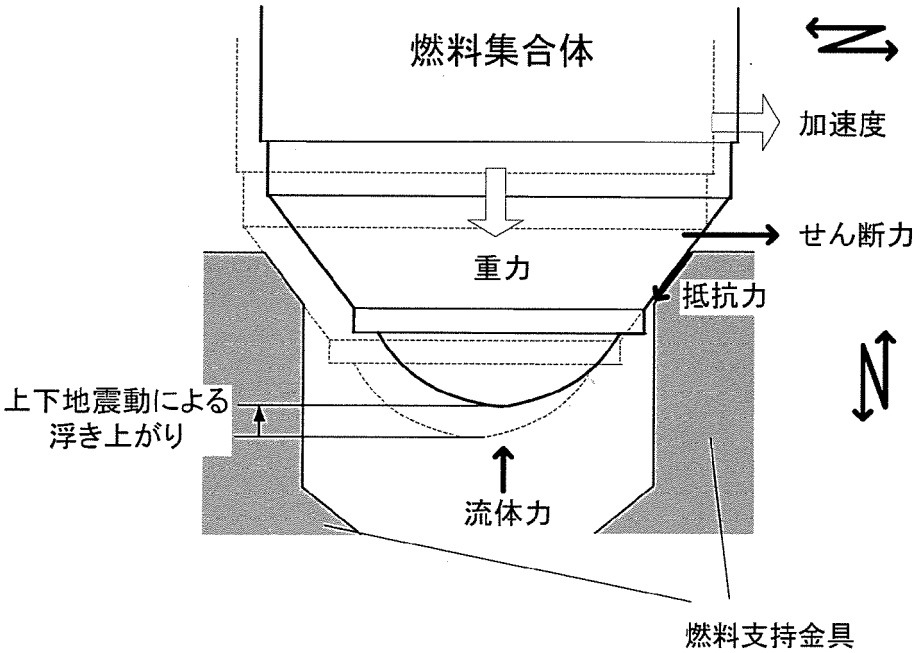


図 8.3.4-1　水平・上下方向の地震動による浮き上がり検討概要図

図 6　水平・上下方向の地震動による浮上り検討概要図（機器耐力その２報告書）

表４　2.0×9.8m/s^{2}及び1.5×9.8m/s^{2}のときの移動量評価条件（機器耐力その２報告書）

表 8.3.4-1　2.0×9.8m/s^{2}及び1.5×9.8m/s^{2}のときの移動量評価条件

上下地震動 最大加速度 [m/s^2]	燃料集合体下端 加速度最大値 (水平方向)[m/s^2]	燃料集合体下端 せん断力最大値 (水平方向)[N]	上下地震動による 浮き上がり量 [mm]
1.5×9.8	7.62×9.8	5.23×10^6	5.8
2.0×9.8	10.0×9.8	5.50×10^6	21.2

次に東海第二の基準地震動条件での移動量評価条件を整理し，機器耐力その２報告書の移動量評価条件と対比して，表５に示す。機器耐力その２報告書の検討条件に対し，東海第二の基準地震動Ｓ$_s$の条件の方が，燃料集合体下端の加速度最大値及びせん断力最大値ともに小さい。このため，水平及び上下地震動による上方向の移動量は，機器耐力その２報告書で算出された6.9mm（1.5×9.8m/s^{2}の場合）より小さくなり，浮上りによる燃料支持金具からの離脱の影響はないと考える。

なお，燃料集合体の浮上りに伴い，一時的に燃料集合体と燃料支持金具の間の流量が増加し，燃料集合体内の流量低下が生じる可能性があるが，浮上り量も小さく，浮上り継続時間も短時間であることから，燃料集合体の冷却が著しく損なわれることはないと考える。

表５　東海第二の移動量評価条件（機器耐力その２報告書と対比）

	上下地震動 最大加速度 (m/s^2)	燃料集合体下端 加速度最大値 (水平方向) (m/s^2)	燃料集合体下端 せん断力最大値 (水平方向)（N）
機器耐力その２ 報告書	1.5×9.8	7.62×9.8	5.23×10^6
	2.0×9.8	10.0×9.8	5.50×10^6
東海第二	1.24×9.8	1.25×9.8	2.01×10^6

4. まとめ

鉛直地震動が作用した場合を想定し，制御棒に作用する荷重，燃料集合体の浮上りについて影響を検討した。

まず，制御棒に作用する荷重について，制御棒に作用する上下方向地震力と地震スクラムにより生じるその他作用力との大小関係を評価し，影響を検討した。その結果，交番荷重である鉛直地震動の加速度 $1.24\times9.8\mathrm{m/s^2}$ が，仮に常時下向きに作用するとした場合でも，制御棒の上向き挿入力は下向きの力に対して，十分大きくなっている。なお，今回の影響評価では，下記①，②に示すように保守性を有している。

① 制御棒駆動機構による上向きの挿入力として，水圧制御ユニットアキュムレータによるスクラムよりも低い炉圧スクラム（6.93MPa）による挿入力を用いている。

② 水平地震力による抗力として，耐専報告書記載の文献に基づき，燃料中央部のたわみ変位が 34mm になる状態でスクラムした場合に制御棒に生じる水平力を使用している。一方，東二の燃料集合体相対変位は 16.8mm であり，この時の水平地震力による抗力は 34mm での抗力より小さい。

また，鉛直地震動による抗力で生じるスクラム時間の遅れについて，燃料のたわみ変位によって生じる下向き抗力とスクラム遅れ時間との相関を仮定し検討した。その結果，常時下向きの地震力によるスクラム時間の遅れを加算してもスクラム目安時間を超えることはなく，実際には鉛直地震動は交番荷重として作用することから，挿入時間の遅れに対し影響はないと考える。

さらに，燃料集合体に浮上りが生じるとした場合の評価について，機器耐力その２報告書を参照して検討した。燃料支持金具から燃料集合体が離脱する可能性は極めて小さいとしている機器耐力その２報告書における耐震評価条件と，東海第二の基準地震動S_sの評価条件を比較し，東海第二の耐震評価条件は機器耐力その２報告書の耐震評価条件より小さいことから，燃料集合体の浮上りによる影響はないと考える。

以上のことから，制御棒の挿入性に対する鉛直方向地震による影響は小さく問題ないと考える。

9. 電気盤等の機能維持評価に適用する水平方向の評価用地震力について

1. はじめに

電気盤，計装ラック（以下「電気盤等」という。）については，ＪＮＥＳ*で実施された電気盤等の加振試験より固有振動数 20Hz 以上を有していても，器具取付位置での応答は，水平方向入力に対して応答増幅があることが確認されている。

当該事象を踏まえて東海第二発電所の電気盤等の機能維持評価に適用する水平方向の評価用加速度の保守性を確認する。

＊　独立行政法人原子力安全基盤機構 平成 16 年度原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書その１（横形ポンプ，電気品）

2. 評価用加速度の保守性の確認

電気盤等については，固有振動数を 20Hz 以上の剛構造とすることを基本として設計している。以下では固有振動数が 20Hz 以上であり，評価に用いる加速度（以下「評価用加速度」という。）として最大応答加速度（ZPA）をベースとしている電気盤等について，評価用加速度の保守性を確認する。

2.1 原子炉建屋に設置される電気盤等

原子炉建屋に設置される電気盤等の機能維持評価に適用する評価用加速度は，「補足 340-13 機電分耐震計算書の補足　2.設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法」にて，最大応答加速度（1.0ZPA）を 1.5 倍した値又は材料物性のばらつきを考慮した値を用いることとしていることから，各々のケースについて確認を行う。

(1) 評価用加速度として最大応答加速度（1.0ZPA）を 1.5 倍した値を用いる場合の保守性

原子炉建屋の水平方向の床応答スペクトルは，0.1 秒より剛領域では応答増幅がないことが確認されている（添付図 1)。このため，電気盤等の応答増幅が影響される 20Hz での床応答スペクトルの地震力が，評価用加速度として用いる 1.0ZPA の 1.5 倍の値よりも下回っていれば，評価用加速度が保守性を有しているといえる。

これより，評価用加速度（1.0ZPA×1.5 倍）が床応答スペクトルにおける 20Hz での地震力を上回っていることを確認する（表 1)。表 1 に示すとおり，評価用加速度は，床応答スペクトルにおける 20Hz での地震力を上回っていることを確認した。

表 1 評価用加速度（1.0ZPA×1.5）と床応答スペクトルの地震力（20Hz）との比較

標高 EL. (m)	評価用加速度 (1.0ZPA×1.5)	床応答スペクトルの地震力 (20Hz での震度)	
		基本ケース	材料物性のばらつき等を考慮したケース
46.5	1.46	1.07	1.10
38.8	1.40	0.99	1.04
34.7	1.37	0.96	1.07
29.0	1.29	1.05	1.15
20.3	1.11	0.90	1.03
14.0	0.95	0.68	0.82
8.2	0.92	0.63	0.66
2.0	0.80	0.58	0.61
-4.0	0.72	0.53	0.57

＊1　減衰定数 4.0%を用いた。

(2) 評価用加速度として材料物性のばらつき等の最大応答加速度（1.0ZPA）を用いる場合の保守性

(1)項と同様の考え方に基づき，電気盤等の応答増幅が影響される 20Hz での床応答スペクトルの地震力が，評価用加速度として用いる材料物性のばらつき等の最大応答加速度よりも下回っていれば，評価用加速度が保守性を有しているといえる。

これより，評価用加速度として用いる材料物性のばらつき等の最大応答加速度が床応答スペクトルにおける 20Hz での地震力とを比較した（表 2)。表 2 に示すとおり，評価用加速度は，床応答スペクトルにおける 20Hz での地震力よりも小さな値となっている。このため，評価用加速度として材料物性のばらつき等の最大応答加速度を用いる場合については，応答スペクトルにおける 20Hz での地震力を考慮した評価を行う必要がある。

表 2 評価用加速度（材料物性のばらつき等を考慮）と床応答スペクトルの地震力（20Hz）との比較

標高 EL.（m）	評価用加速度（材料物性のばらつき等を考慮）	床応答スペクトルの地震力＊1（20Hz での震度）	
		基本ケース	材料物性のばらつき等を考慮したケース
46.5	1.05	1.07	1.10
38.8	0.99	0.99	1.04
34.7	0.98	0.96	1.07
29.0	0.91	1.05	1.15
20.3	0.85	0.90	1.03
14.0	0.69	0.68	0.82
8.2	0.61	0.63	0.66
2.0	0.58	0.58	0.61
-4.0	0.52	0.53	0.57

＊1　減衰定数 4.0%を用いた。

3. まとめ

3.1　原子炉建屋に設置される電気盤等

原子炉建屋に設置される電気盤等の機能維持評価に適用する評価用加速度について，最大応答加速度（1.0ZPA）を 1.5 倍した値又は材料物性のばらつきを考慮した値を用いる場合において以下のとおり整理する。

(1) 最大応答加速度（1.0ZPA）を 1.5 倍した値を用いる場合

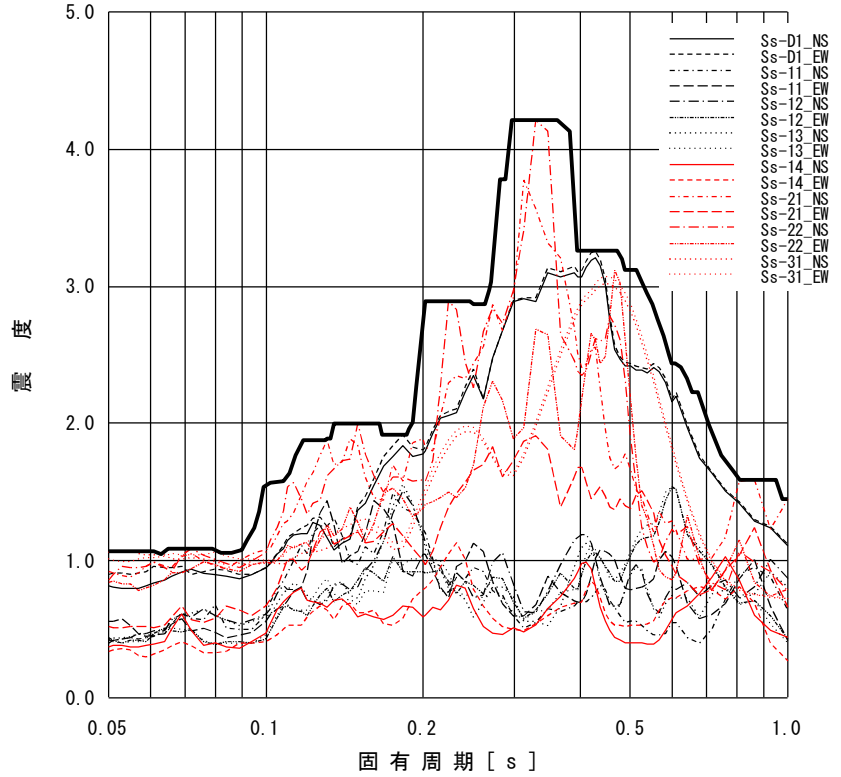
評価用加速度は，床応答スペクトルにおける 20Hz での地震力を上回っていることが確認できたため，現行とおりの値を用いて評価を行う。

(2) 材料物性のばらつき等の最大応答加速度（1.0ZPA）を用いる場合

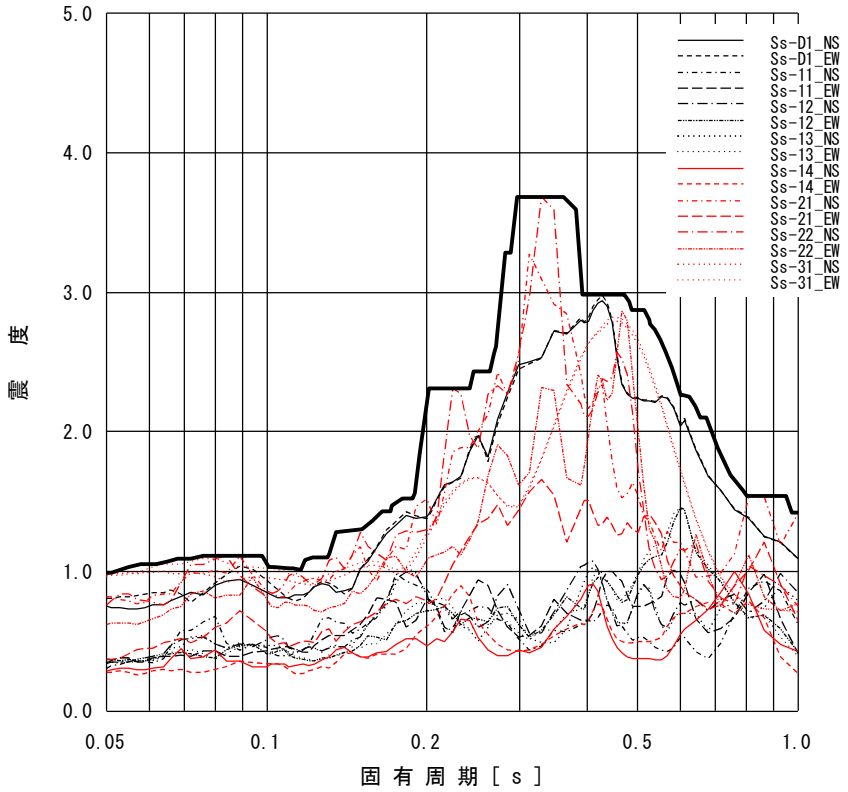
評価用加速度は，床応答スペクトルにおける 20Hz での地震力よりも小さな値となっているため，応答スペクトルにおける 20Hz での地震力を考慮することとし，表 2 における最大値を用いた評価を行う（表 3)。

表 3　材料物性のばらつき等の最大応答加速度（1.0ZPA）を用いる場合の評価用加速度

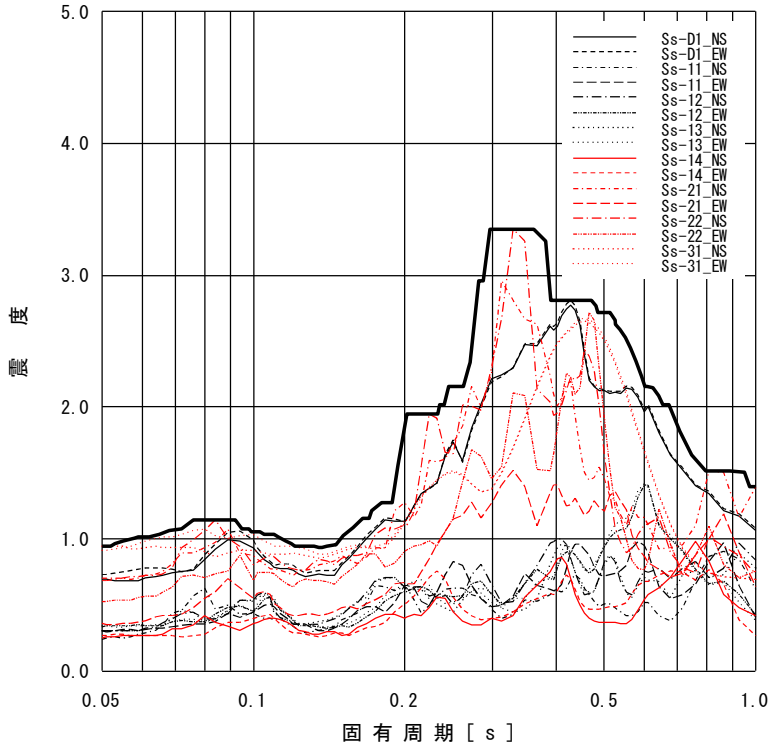
標高 EL. (m)	評価用加速度
46.5	1.10
38.8	1.04
34.7	1.07
29.0	1.15
20.3	1.03
14.0	0.82
8.2	0.66
2.0	0.61
-4.0	0.57



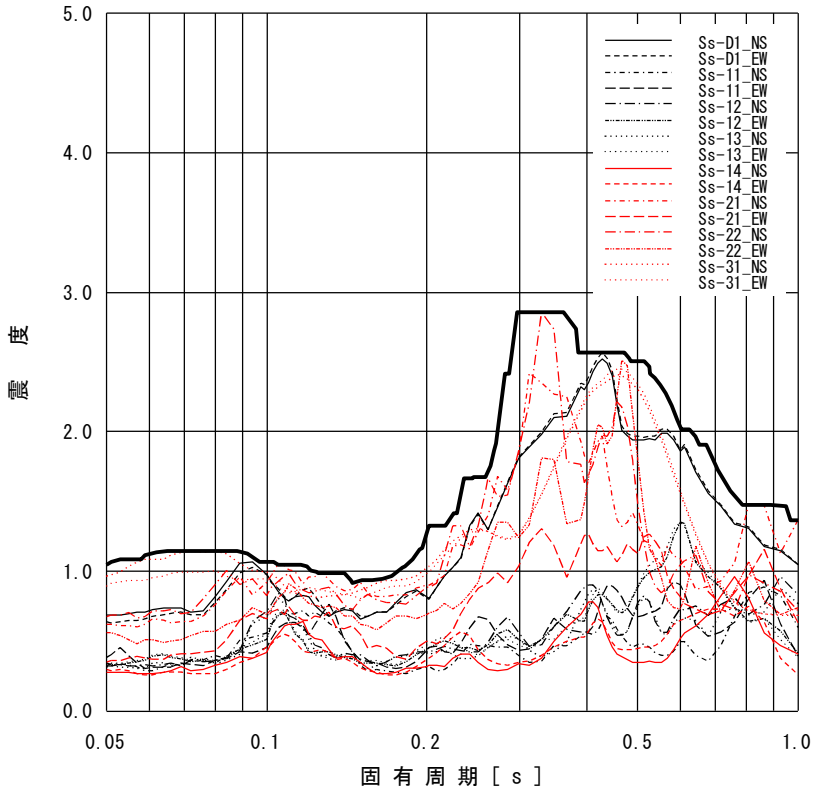
添付図 1-1　原子炉建屋（EL. 46.5m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4.0%）



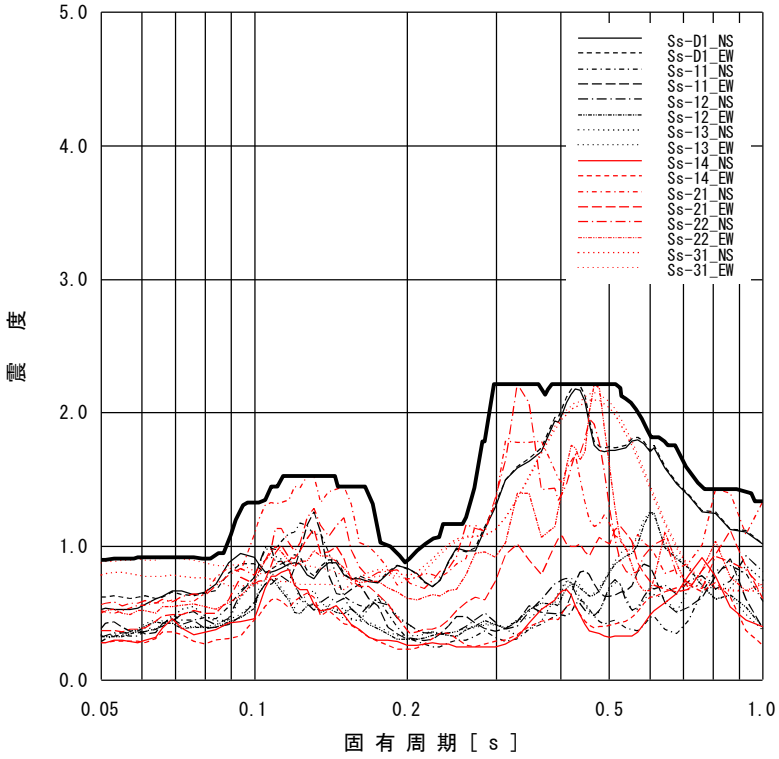
添付図 1-2　原子炉建屋（EL. 38.8m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4.0%）



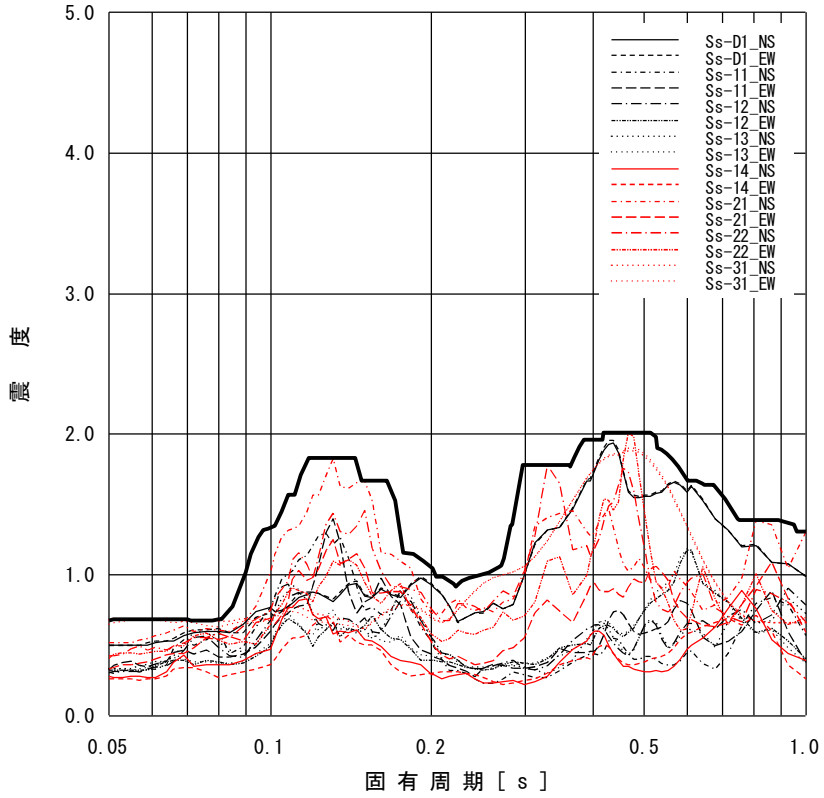
添付図 1-3　原子炉建屋（EL. 34. 7m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4. 0%）



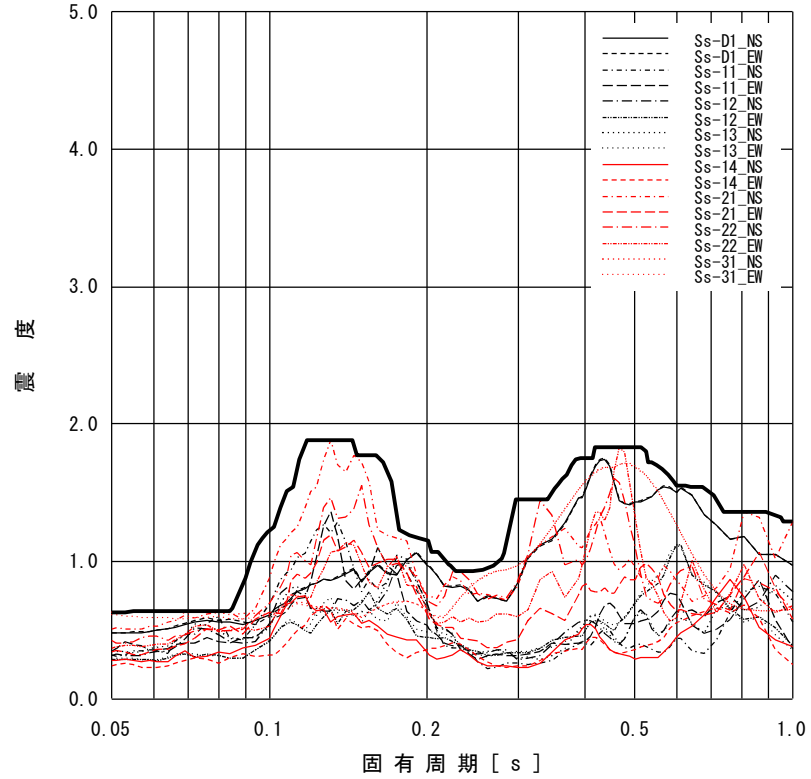
添付図 1-4　原子炉建屋（EL. 29. 0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4. 0%）



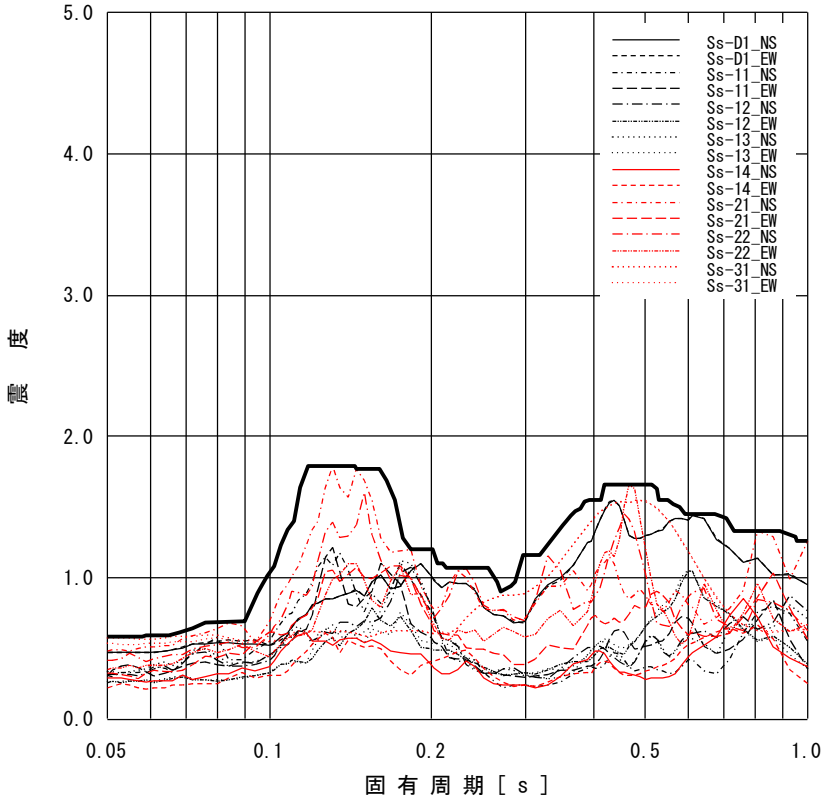
添付図 1-5　原子炉建屋（EL. 20. 3m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4. 0%）



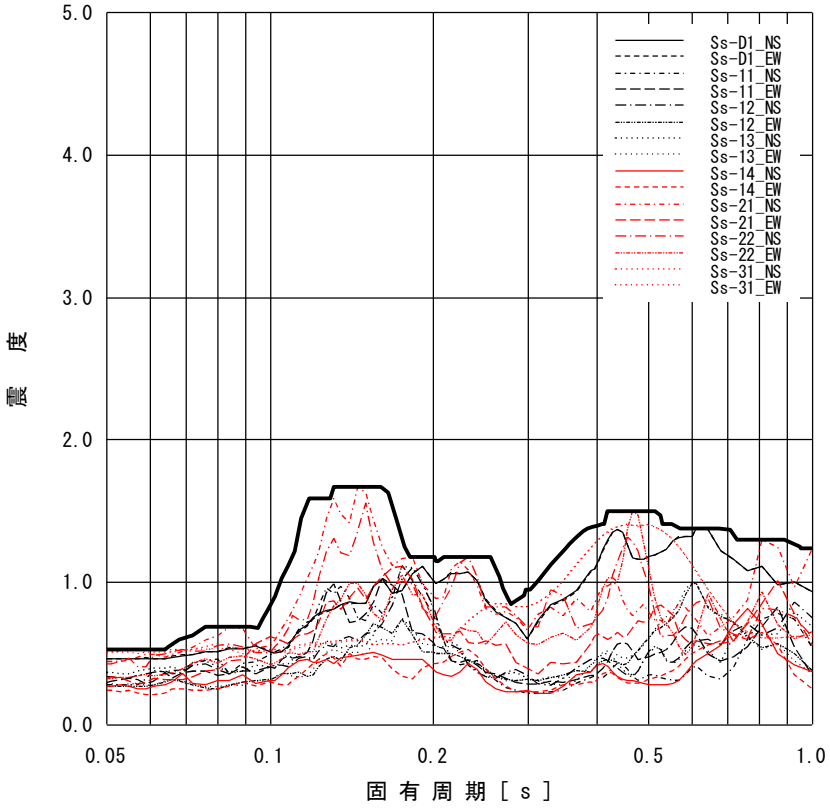
添付図 1-6　原子炉建屋（EL. 14. 0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4. 0%）



添付図 1-7　原子炉建屋（EL.8.2m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4.0%）



添付図 1-8　原子炉建屋（EL.2.0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4.0%）



添付図 1-9　原子炉建屋（EL.-4.0m）の加速度応答スペクトル
（水平方向，減衰定数 4.0%）

10. 大型機器，構造物の地震応答計算書の補足について

目　　次

1. 地震応答解析モデルの設定について ····· 1
1.1 はじめに ····· 1
1.2 質点位置 ····· 4
1.3 質点質量 ····· 7
1.4 断面剛性（有効せん断断面積及び断面二次モーメント） ····· 8
1.5 構造物間ばね定数 ····· 9
1.6 ダイヤフラム・フロア質量のモデル化 ····· 21
1.7 原子炉本体の基礎のコンクリート物性 ····· 27
1.8 解析モデルの扱い ····· 31
1.9 原子炉内部構造物の水中での振動の影響を考慮するための付加質量について ····· 35
1.10 ＲＰＶスタビライザに適用する減衰定数2.0%の設定根拠について ····· 36
1.11 ＰＣＶ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性を考慮しない場合の地震応答について ····· 37
1.12 ＰＣＶの鉛直方向地震応答解析モデルにおける剛性比較について ····· 48
2. シアラグ部のクリアランスについて ····· 50
2.1 はじめに ····· 50
2.2 シアラグ部概略構造とクリアランス評価 ····· 50
3. 大型機器系の耐震評価における鉛直震度から算出した鉛直方向荷重と軸力との比較結果について ····· 53

1. 地震応答解析モデルの設定について

1.1 はじめに

地震応答解析モデルの設定については，添付書類「Ⅴ-2-1-5 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おり，設定内容については，添付書類「Ⅴ-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，解析モデルは基本的に既工認のモデル諸元を適用しており，かつ，最近のプラントで適用実績があるモデル化手法を参照しモデル諸元を設定している。今回工認での大型機器，構造物の地震応答解析モデルを図1に示す。

本資料において，解析モデルの作成内容として，質点位置，質量算出例，断面剛性算出例，ばね定数の設定方法等について，以下に示す。

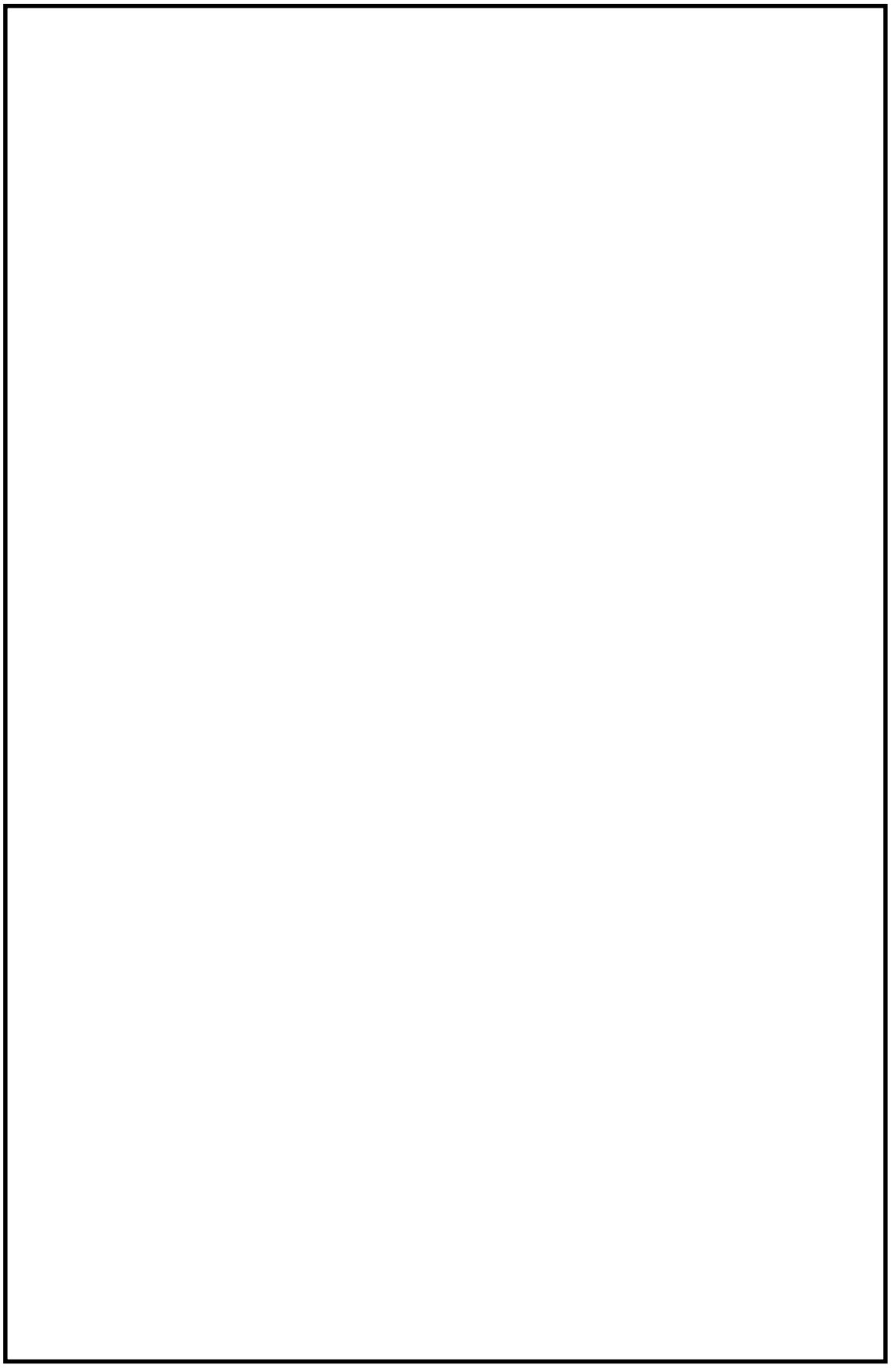


図 1(1)　大型機器，構造物の地震応答解析モデル（水平方向）

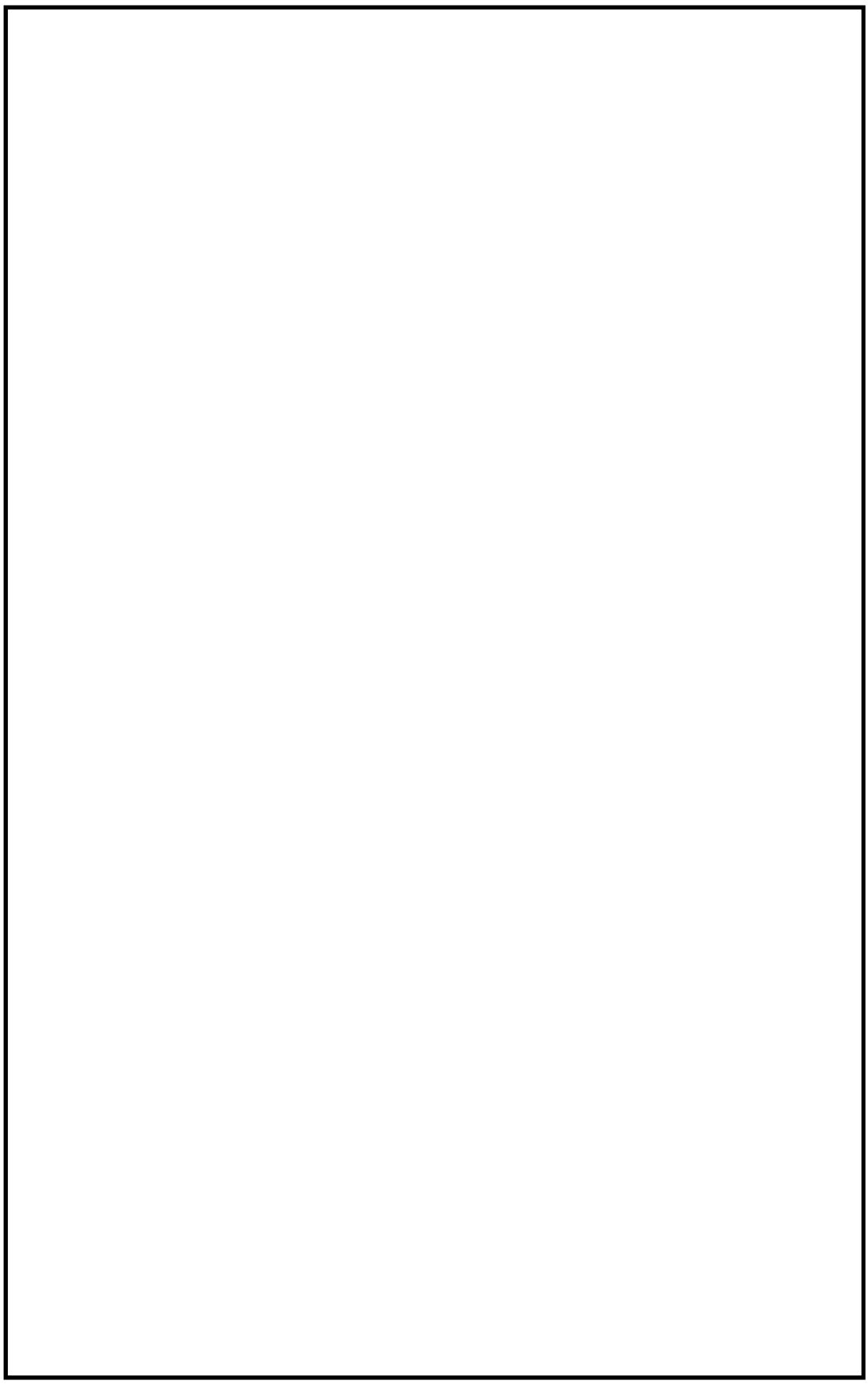
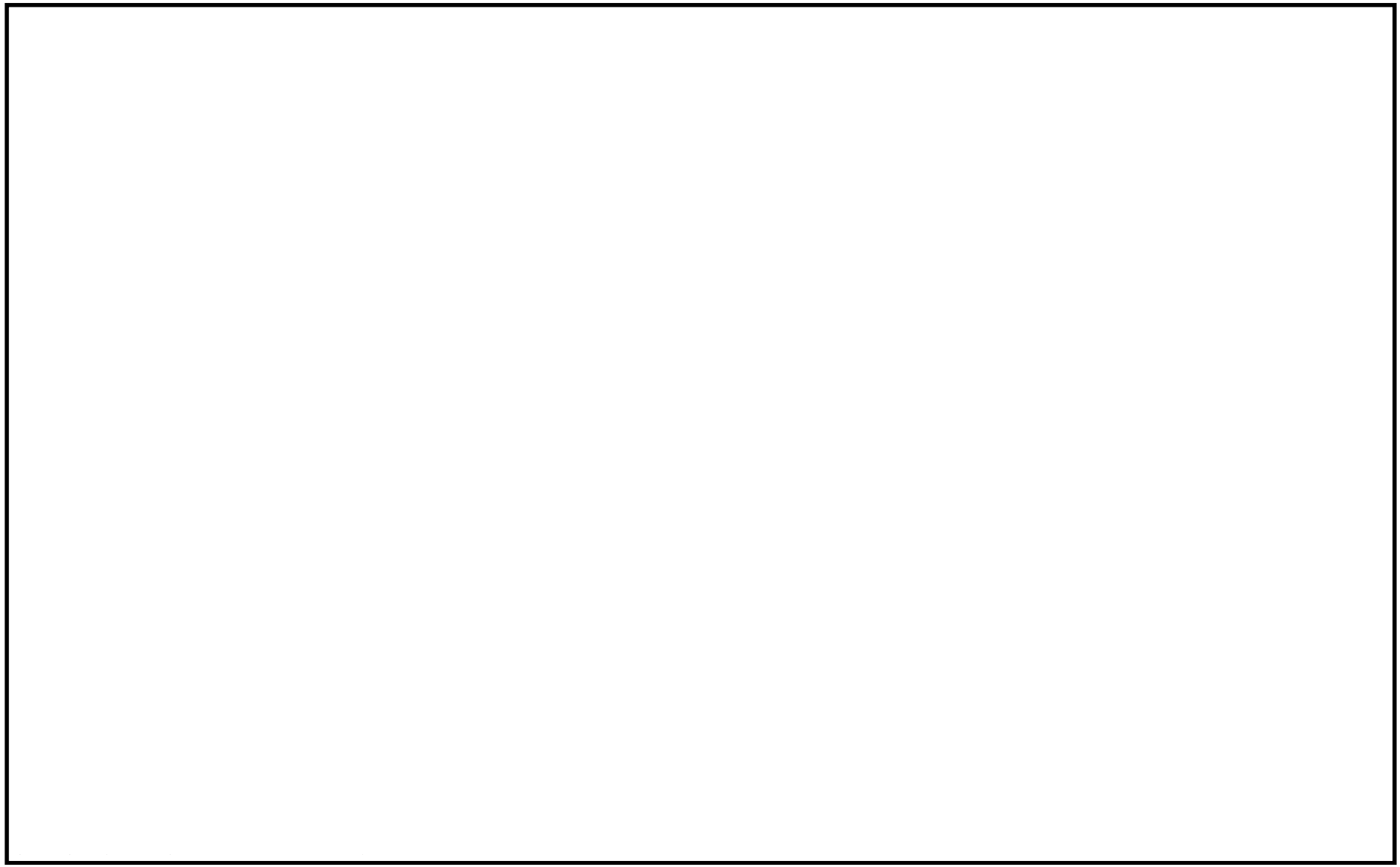


図 1(2)　大型機器，構造物の地震応答解析モデル（鉛直方向）

1.2　質点位置

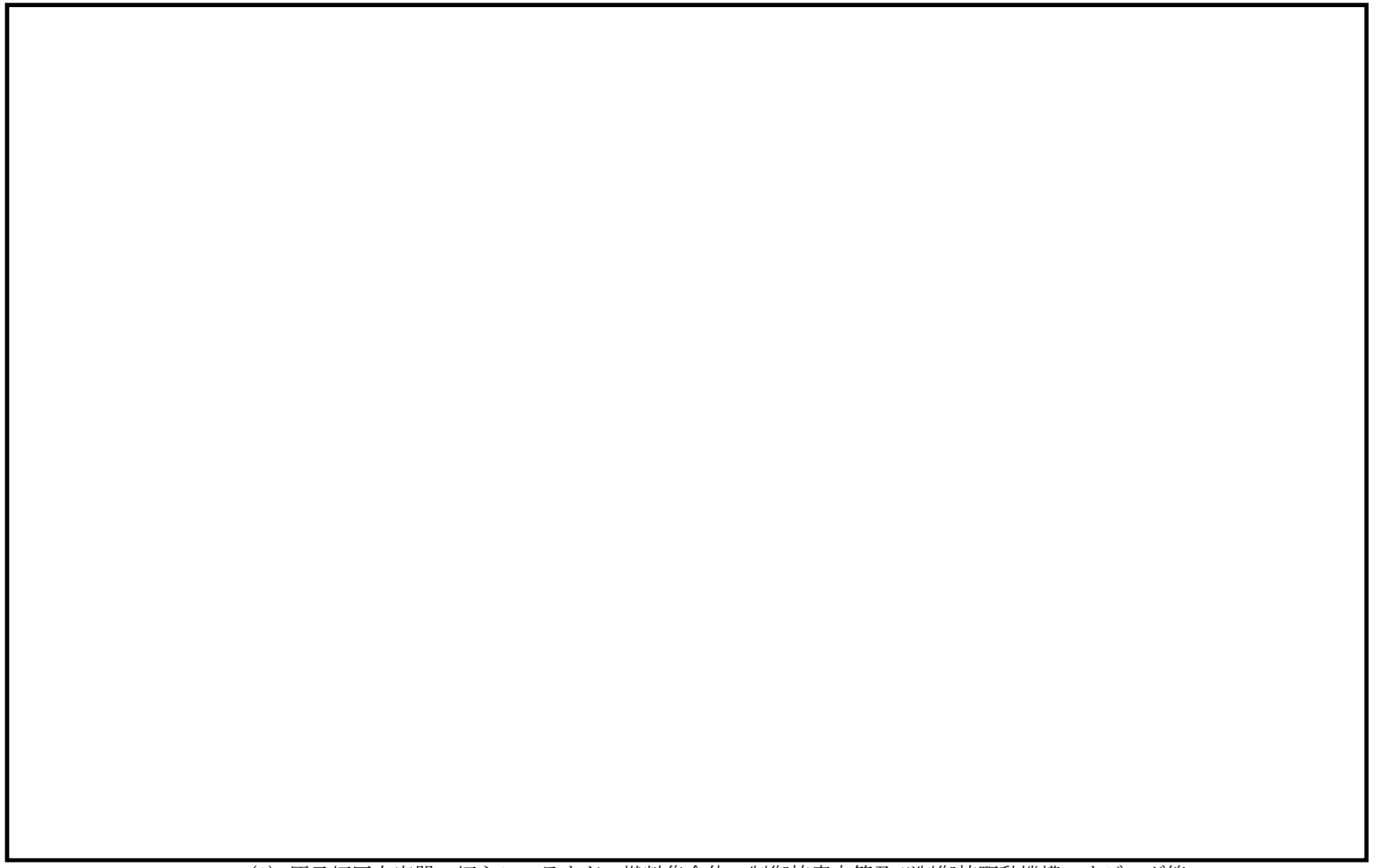
解析モデルで設定した質点位置は，各構造物の地震応答を把握できるように，モデル化する各構造物の形状を踏まえて設定している。各構造物断面図上に質点位置を示した図として，原子炉格納容器（以下「ＰＣＶ」という。），原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎について図 1(1)に，原子炉圧力容器（以下「ＲＰＶ」という。），炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等について図 1(2)に示す。なお，地震応答解析では，図 1 以外に原子炉建屋の地震応答解析モデルと連成させて応答解析を実施している。

質点位置は，各構造物の形状不連続部，ハッチ類等の付加物接合部及び各構造物の接続部などに設け，振動モードを把握できる間隔としている。各質点位置の設定について図 2 に示す。



(1) 原子炉格納容器，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎

図 2　地震応答解析モデル（水平方向）



(2) 原子炉圧力容器，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等

図 2　地震応答解析モデル（水平方向）

1.3　質点質量

各質点に付与する質量は，各構造物の連続する 2 質点間の質量の 1/2 を各質点に付加している。ここで，2 質点間の付加物の質量も考慮する。質点質量の算出例として，ＰＣＶ円筒胴部の質点 No.31 について図 3 に示す。

<table>
<tr><td>No.</td><td>標高 EL.（m）</td><td colspan="2">質量算定高さ（m）</td><td>内径（m）</td><td>板厚（m）</td></tr>
<tr><td>30
―
31
32</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">31</td><td rowspan="4">質量
（t）</td><td rowspan="3">※
計算値</td><td>胴板（円筒）</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>付加物（サプレッション・チェンバアクセスハッチのうち当該標高分）</td></tr>
<tr><td>合計</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析モデルのデータ諸元</td></tr>
</table>

※ 鋼材密度：7.85 t/m^3 を使用

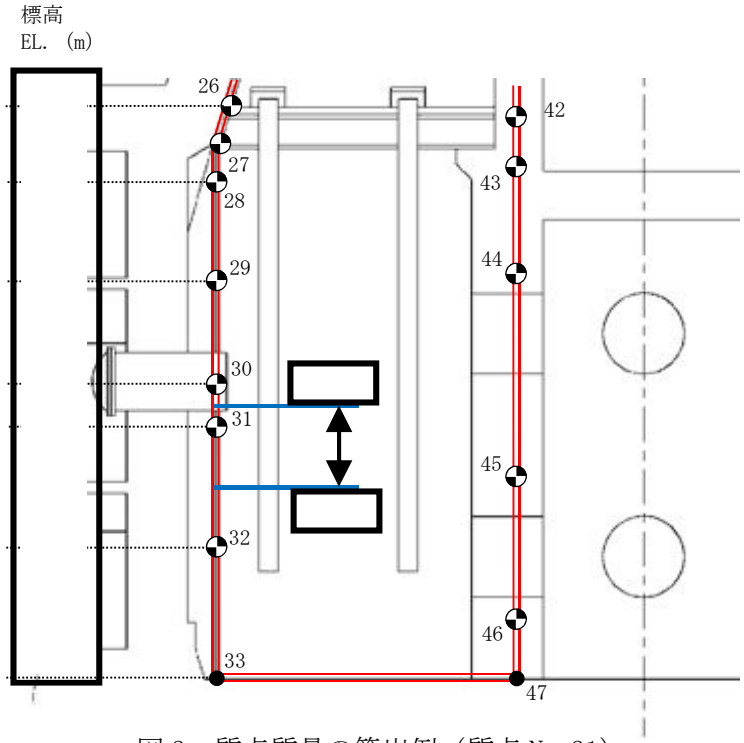


図 3　質点質量の算出例（質点 No.31）

1.4　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 2 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おり，断面二次モーメント及び有効せん断断面積を設定している。断面二次モーメント及び有効せん断断面積の算出例として，ＰＣＶ円筒胴部の質点 No. 30～31 について図 4 に示す。

No.	標高 EL.（m）	内径 D_i（m）	板厚 t（m）	計算値		解析モデルのデータ諸元※3	
				有効せん断断面積（m^2）※1	断面二次モーメント（m^4）※2	有効せん断断面積（m^2）	断面二次モーメント（m^4）
30							
31							

※1：　$A_e = \frac{\pi}{8} \cdot \{(D_i + 2t)^2 - {D_i}^2\}$　ＰＣＶでは，断面積の 1/2 とする。

※2：　$I = \frac{\pi}{64} \cdot \{(D_i + 2t)^4 - {D_i}^4\}$

※3：　既工認におけるデータ諸元を今回工認のデータ諸元とする。

※4：　断面剛性は，板厚 [redacted] m を採用して，算定する。

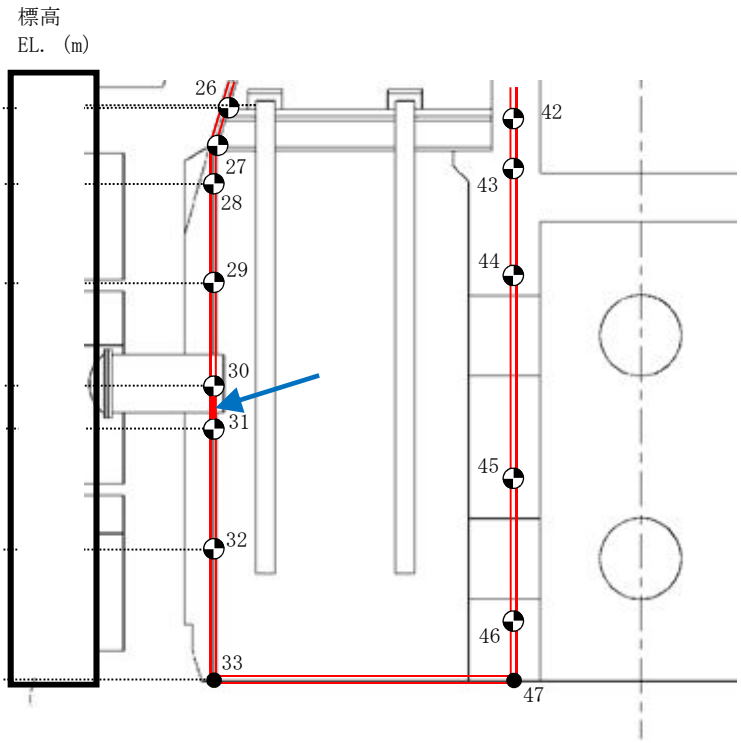


図 4　断面剛性の算出例（質点 No. 30～31）

1.5　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している。各機器の耐震性評価において応答解析結果のばね反力を使用するＲＰＶスタビライザ（K_4），ＰＣＶスタビライザ（K_6），ダイヤフラム・フロア（K_7），上部シアラグ（K_9）及び下部シアラグ（K_{10}）について，ばね定数の算出を以下に示す。

(1) ＲＰＶスタビライザ（K_4）

ＲＰＶスタビライザは，原子炉遮蔽頂部に円周状に 8 ヶ所設置され，ＲＰＶ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 組のディスクスプリングを介して両側から挟み込む構造である。ＲＰＶと原子炉遮蔽との水平方向地震荷重を伝達する。

ばね定数の算定では，ＲＰＶスタビライザの構成部材の内，スタビライザブラケットからの水平方向外力に対し支持に寄与する部材を対象にした。ＲＰＶスタビライザの構造及びばね定数算出モデルを図 5 に示す。ＲＰＶスタビライザ構成部材の内，スタビライザブラケットを挟み込む範囲の各ばねを引張側と圧縮側とで，片側分で直列ばねに設定する。さらに，引張側と圧縮側のばねを並列ばねとし，ＲＰＶスタビライザ基部部材のばねと合わせて直列ばねとする。

a）引張側の片側分のばね定数 $K_{1\mathrm{half(T)}}$

$$\frac{1}{K_{1\mathrm{half(T)}}}=\frac{1}{K_{\mathrm{H}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{SL}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{SP}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{S}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{W}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{R}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{G}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{YT}}}$$

b）圧縮側の片側分のばね定数 $K_{1\mathrm{half(C)}}$

$$\frac{1}{K_{1\mathrm{half(C)}}}=\frac{1}{K_{\mathrm{H}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{SL}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{SP}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{S}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{W}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{R}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{G}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{YC}}}$$

c）ＲＰＶスタビライザ 1 基のばね定数 $K_{1\mathrm{S}}$

$$\frac{1}{K_{1\mathrm{S}}}=\frac{1}{K_{1\mathrm{half(T)}}+K_{1\mathrm{half(C)}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{B}}}+\frac{1}{K_{\mathrm{SM}}}$$

d）ＲＰＶスタビライザ 8 基（全体）のばね定数 K_4

$K_4 = 4K_{1\mathrm{S}}$ ＝ [redacted]

ここで，

K_{H}　：六角ナットのばね定数　＝ [redacted]

K_{SL}　：スリーブのばね定数　＝

K_{SP}　：スペーサーのばね定数　＝

K_{S}　：ディスクスプリングのばね定数　＝

K_{W}　：ワッシャのばね定数　＝

K_{R}　：ロッドのばね定数　＝

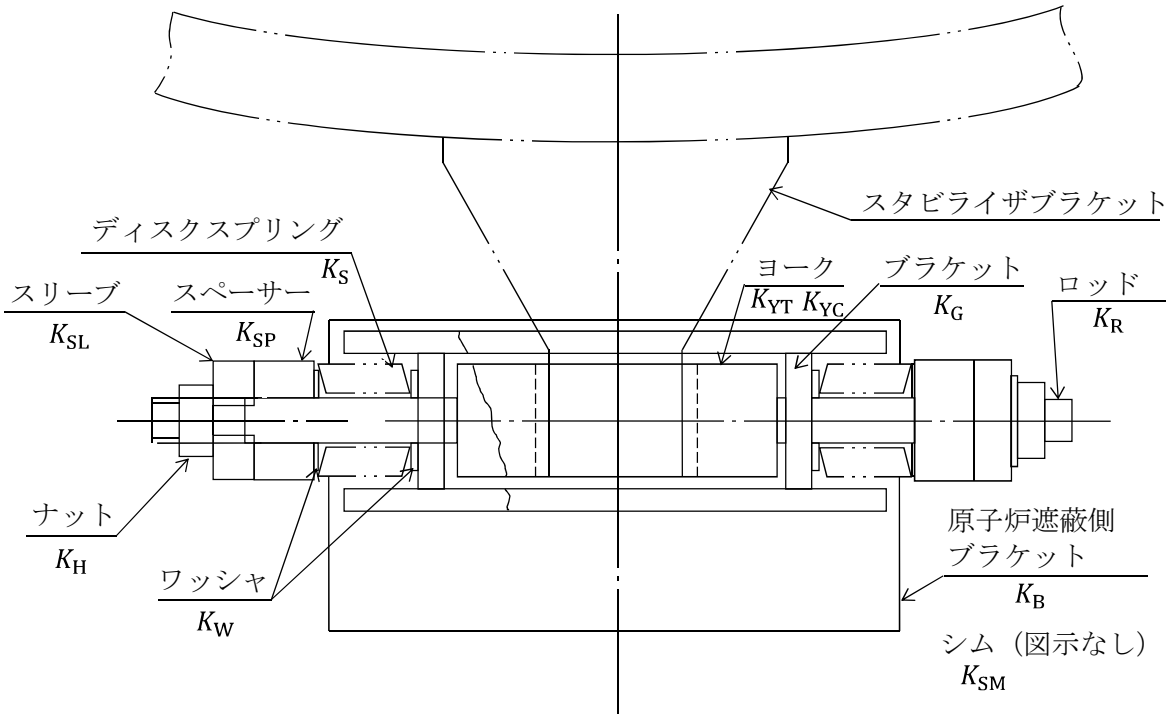
K_{G}　：ブラケットのばね定数　＝

K_{YT} ：ヨークの引張方向ばね定数

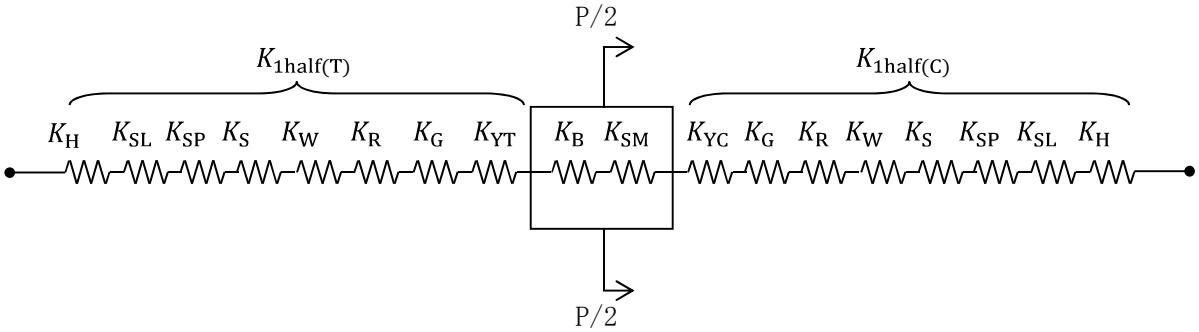
K_{YC} ：ヨークの圧縮方向ばね定数

K_B ：原子炉遮蔽側ブラケットのばね定数

K_{SM} ：シムのばね定数



(1) ＲＰＶスタビライザ構造



(2) ばね定数算出モデル

図５　ＲＰＶスタビライザの構造及びばね定数算出モデル

(2) ＰＣＶスタビライザ（K_6）

ＰＣＶスタビライザは，円筒断面の８組のトラス構造で，原子炉遮蔽頂部に円周状に設置されている。トラス構造の一方の端部が原子炉遮蔽頂部に溶接接続され，他方の端部は上部シア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。なお，上部シアラグは円周方向に等間隔（等角度）で設置されているが，原子炉遮蔽側は不等間隔で設置されており，ＮＳ方向／ＥＷ方向でばね定数が異なる。（図６参照）

ばね定数の算定では，ＰＣＶスタビライザの構成部材をモデル化し，解析により，強制変位を負荷した際に得られる変位からばね定数を算出する。

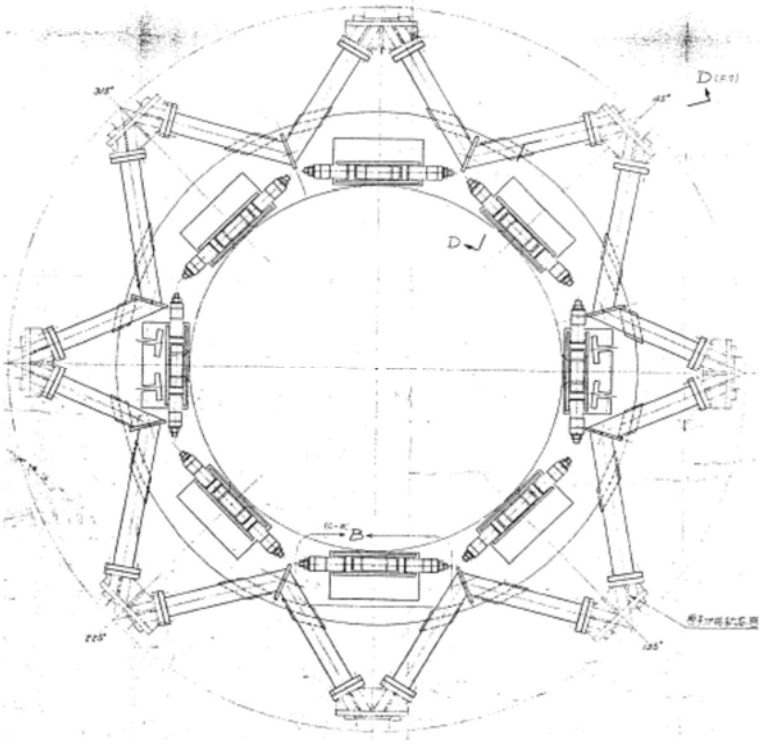
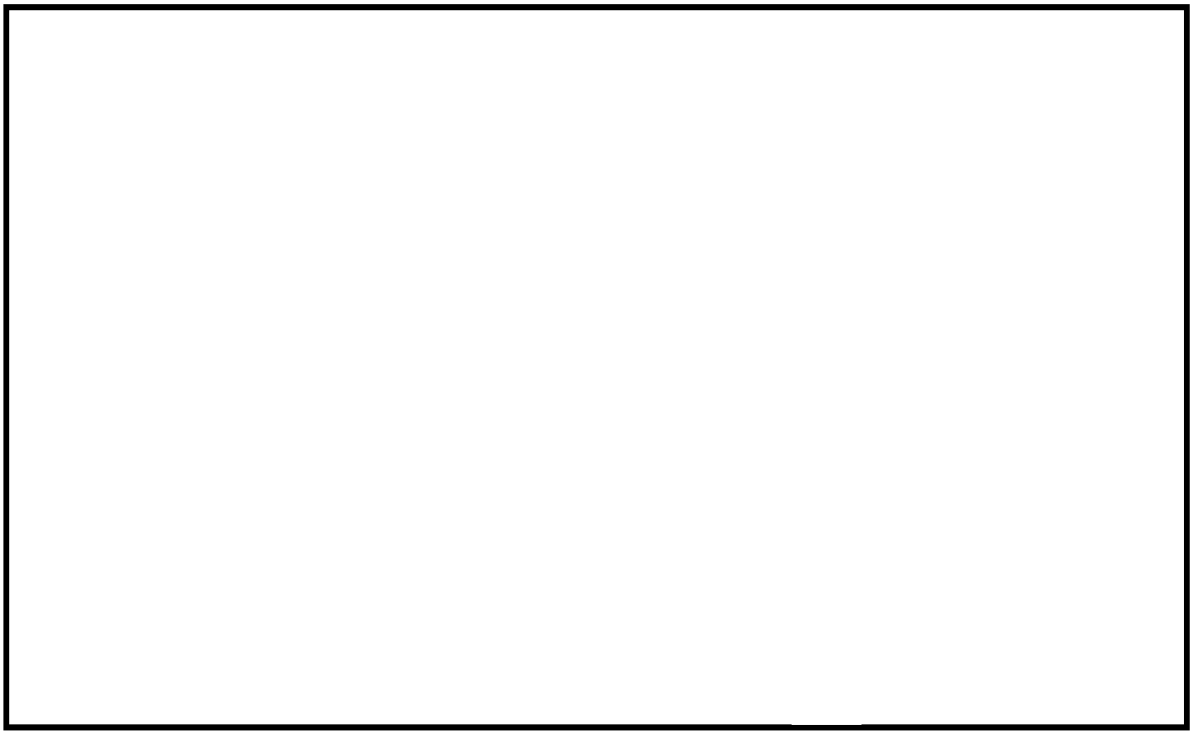
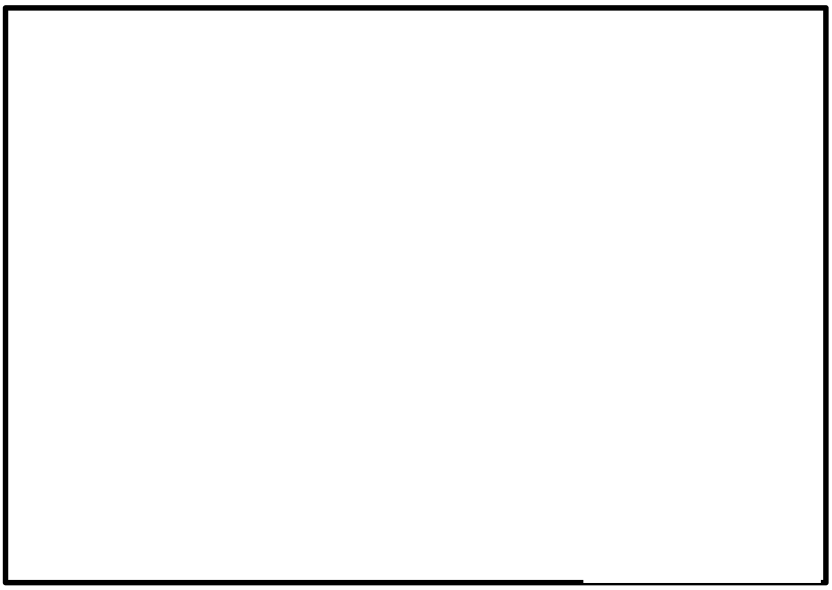


図６　ＰＣＶスタビライザ概要図（平面図）

ばね定数算定用の解析モデルを図 7 に示す。各シアラグ部の円周方向の変位を拘束した条件で，原子炉遮蔽を介して原子炉遮蔽側取付部に強制変位を負荷する。



(1) 全体図



(2) A部拡大図

図 7　ＰＣＶスタビライザ解析モデル図

強制変位を負荷させた際の変形図を図 8 に示す。ＰＣＶスタビライザのばね定数 K_6 は，解析結果から得た荷重－変位関係から算出する。

方向	解析結果(荷重)(N)	強制変位量(mm)	ばね定数 K_6 (kN/m)
ＮＳ			
ＥＷ			

図８　ＰＣＶスタビライザの変形図（強制変位負荷）

(3) ダイヤフラム・フロア（K_7）

ダイヤフラム・フロアは，軸対称形の円環平板形状の構造物であり，円環平板の鉄筋コンクリート床スラブ，床スラブを支持する半径方向に配置した鋼製大梁及び大梁間に円周方向及び半径方向に複数配置した鋼製小梁により構成されている。円環内周端は原子炉本体の基礎に結合支持され，円環外周部で大梁を支持するため原子炉格納容器底面から鋼製柱を円周状に 20° 間隔で 18 本設置している。円環外周端は原子炉格納容器に設置したダイヤフラムブラケットに，大梁端部が水平方向で隙間をもって嵌め合う構造となっている。（図 9 参照）

ばね定数の算定では，ダイヤフラム・フロアの構成部材をモデル化し，解析により，強制変位を負荷した際に得られる変位からばね定数を算出する。

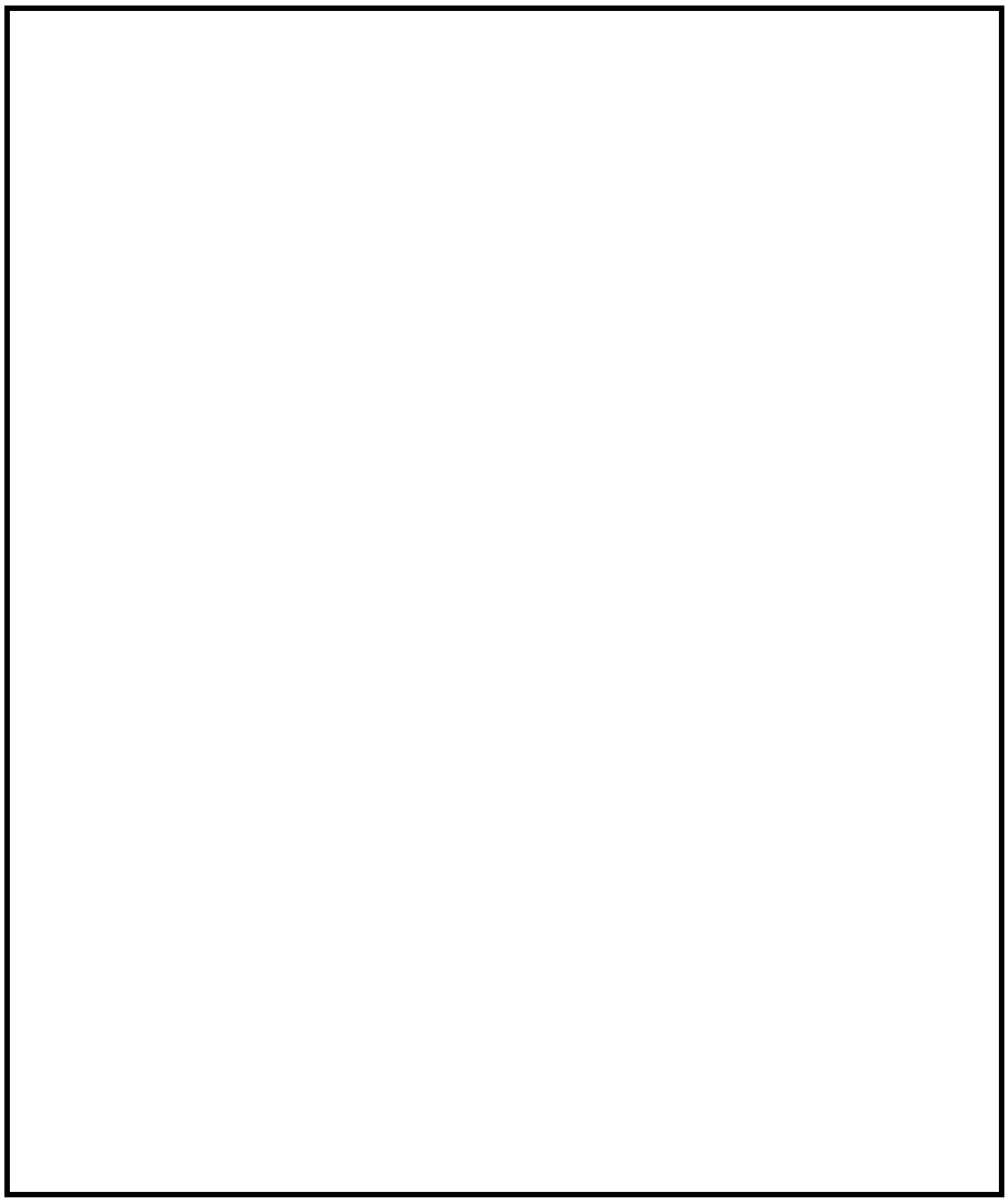


図 9　ダイヤフラム・フロア概要図

ばね定数算定用の解析モデルを図 10 に示す。原子炉本体の基礎に支持される円環内周端の変位を拘束し，ダイヤフラムブラケットと嵌め合い構造の円環外周の大梁端で円周方向の変位を拘束し，鋼製柱の原子炉建屋基礎版側端部で変位を拘束した条件で，原子炉本体の基礎を介して円環内周端に強制変位を負荷する。

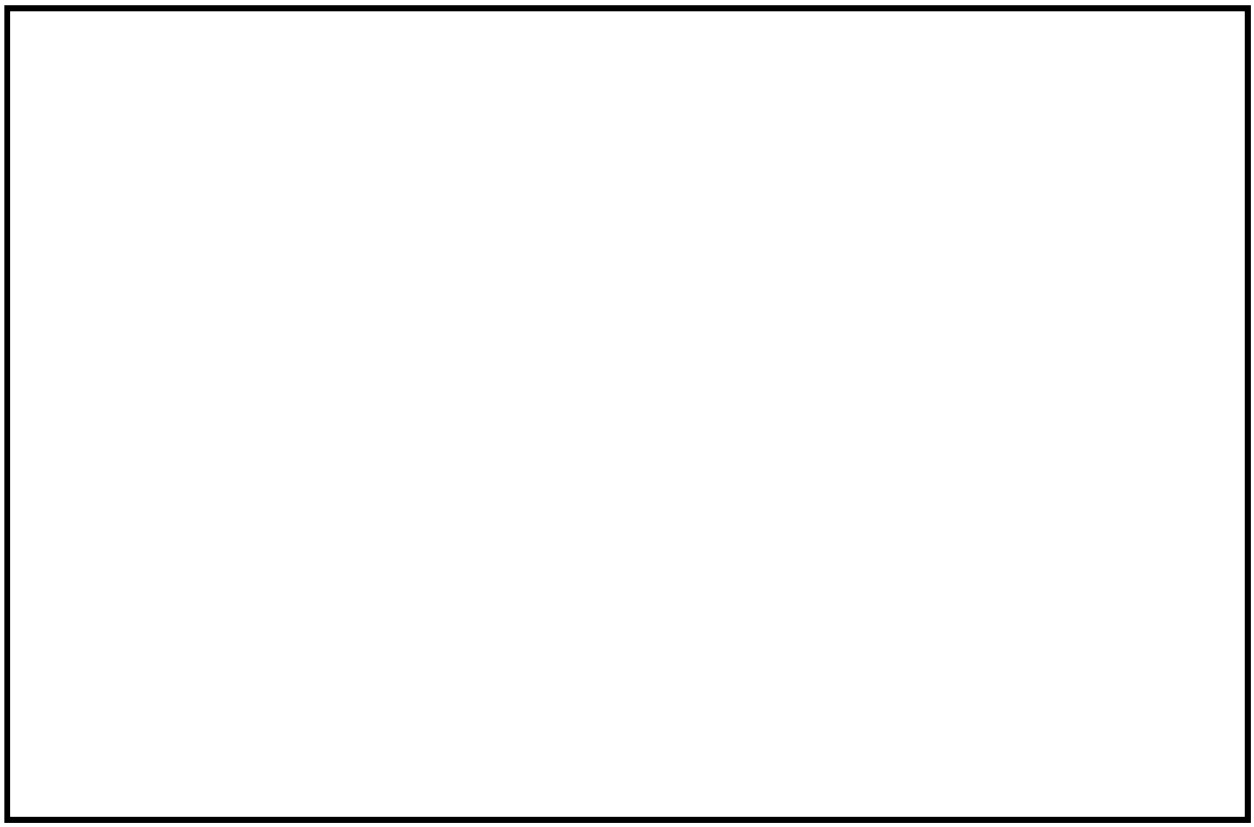


図 10　ダイヤフラム・フロア解析モデル図

強制変位を負荷させた際の変形図を図 11 に示す。ダイヤフラム・フロアのばね定数 K_7 は，解析結果から得た荷重－変位関係から算出する。

解析結果(荷重)(N)	強制変位量(mm)	ばね定数 K_7 (kN/m)

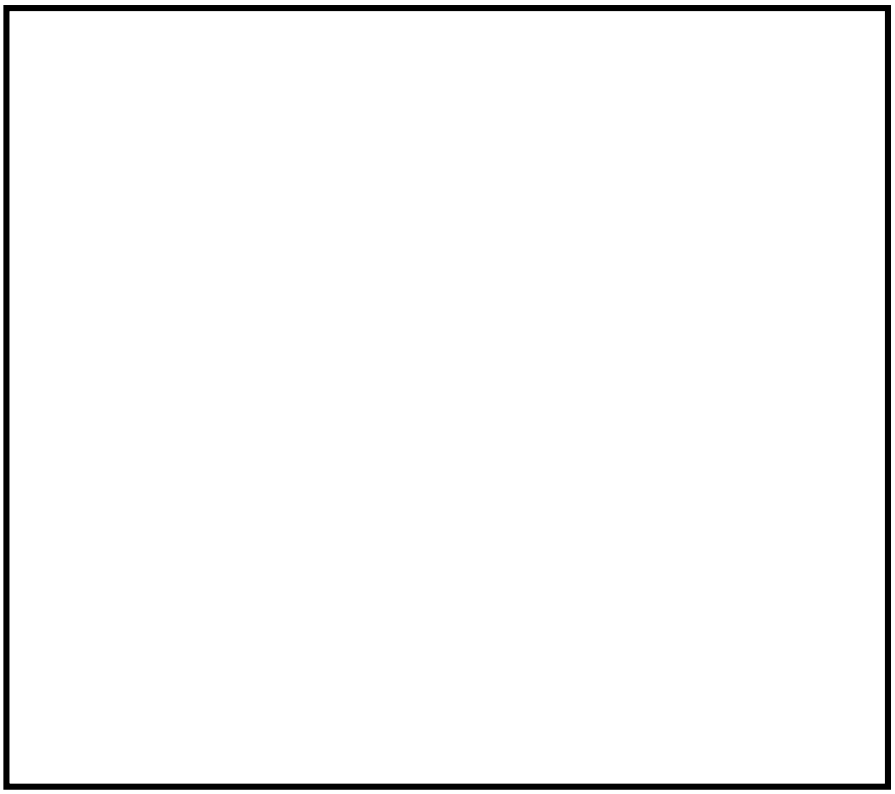


図 11　ダイヤフラム・フロアの変形図（強制変位負荷）

(4) 上部シアラグ（K_9）

上部シアラグは，ドライウェル円錐胴の上部に周方向に 8 ヶ所設置され，原子炉格納容器外側のメイルシアラグが原子炉建屋側のフィメイルシア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。（図 12 参照）

ばね定数は，メイルシアラグ及びフィメイルシアラグのせん断変形に対する剛性から算出する。

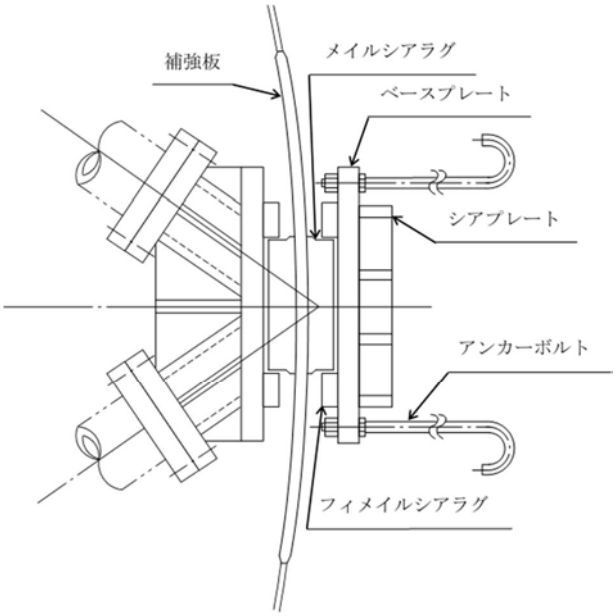


図 12　上部シアラグ概要図

せん断力（F）を受ける際のせん断変形の式から求める荷重－変位関係より，図 13 に示すメイルシアラグ及びフィメイルシアラグの各部に対するシアラグ 1 基分のばね定数（K_{9U}）を算出する。

$$\upsilon = \frac{1}{G}\int_0^x \kappa\left(\frac{F}{A}\right)dx = \frac{\kappa \cdot F}{G}\left(\frac{L_1 + {L_2}/{2}}{A_1} + \frac{L_3 + {L_2}/{2}}{A_2}\right)$$

$$K_{9U} = \frac{F}{\upsilon} = \frac{G}{\kappa}\left(\frac{L_1 + {L_2}/{2}}{A_1} + \frac{L_3 + {L_2}/{2}}{A_2}\right)^{-1}$$

よって，シアラグ 8 基全体のばね定数 K_8 は，円周状にシアラグが配置されていることから，次のとおりとなる。

$K_9 = 4 \cdot K_{9U} =$ [redacted]

ここで,

υ　：せん断ひずみ

G　：せん断弾性係数　＝

κ　：断面の形状係数　＝

A_1　：フィメイルシアラグの断面積　＝

A_2　：メイルシアラグの断面積　＝

L_1　：フィメイルシアラグの長さ　＝

L_2　：シアラグ接触面の長さ　＝

L_3　：メイルシアラグの長さ　＝

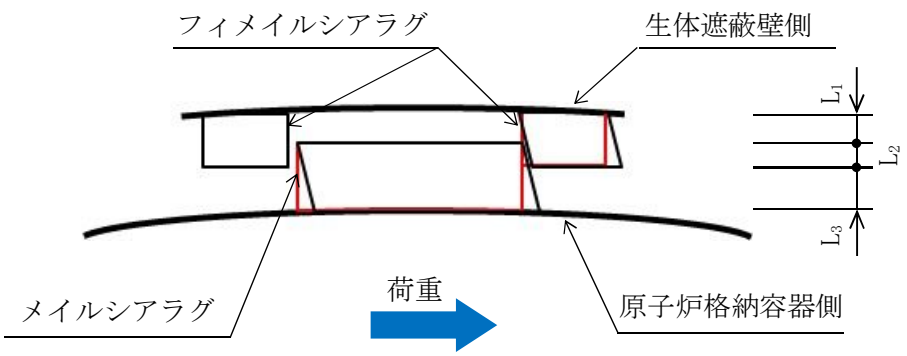


図 13　上部シアラグばね定数算出概念図

(5) 下部シアラグ（K_{10}）

下部シアラグは，ドライウェル円錐胴の下部に周方向に 18 ヶ所設置され，原子炉格納容器外側のメイルシアラグが原子炉建屋側のフィメイルシア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。（図 14 参照）

ばね定数は，上部シアラグと同様に，メイルシアラグ及びフィメイルシアラグのせん断変形に対する剛性から算出する。

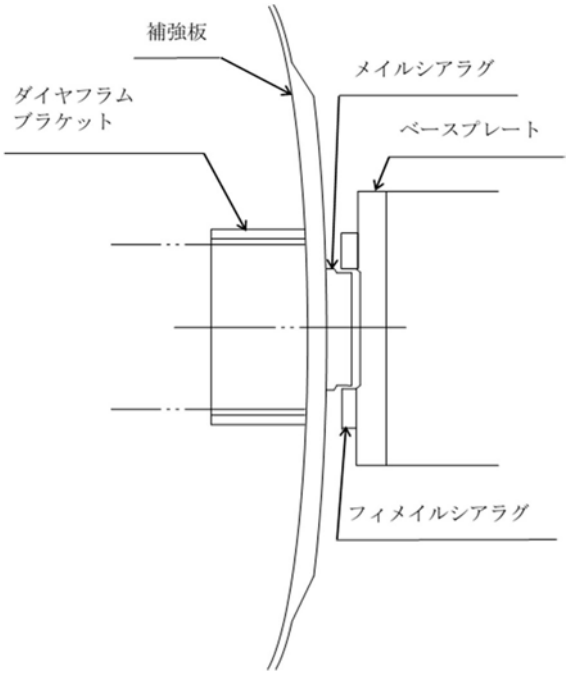


図 14　下部シアラグ概要図

せん断力（F）を受ける際のせん断変形の式から求める荷重－変位関係より，図 13 に示すメイルシアラグ及びフィメイルシアラグの各部に対するシアラグ 1 基分のばね定数（K_{9D}）を算出する。

$$\upsilon = \frac{1}{G}\int_0^x \kappa\left(\frac{F}{A}\right)dx = \frac{\kappa \cdot F}{G}\left(\frac{L_1 + {L_2}/{2}}{A_1} + \frac{L_3 + {L_2}/{2}}{A_2}\right)$$

$$K_{10D} = \frac{F}{\upsilon} = \frac{G}{\kappa}\left(\frac{L_1 + {L_2}/{2}}{A_1} + \frac{L_3 + {L_2}/{2}}{A_2}\right)^{-1}$$

よって，シアラグ 18 基全体のばね定数 K_9 は，円周状にシアラグが配置されていることから，次のとおりとなる。

$K_{10} = 9 \cdot K_{10D} =$ [redacted]

ここで,

υ　：せん断ひずみ

G　：せん断弾性係数　＝

κ　：断面の形状係数　＝

A_1　：フィメイルシアラグの断面積　＝

A_2　：メイルシアラグの断面積　＝

L_1　：フィメイルシアラグの長さ　＝

L_2　：シアラグ接触面の長さ　＝

L_3　：メイルシアラグの長さ　＝

1.6　ダイヤフラム・フロア質量のモデル化

ダイヤフラム・フロアは，ＰＣＶのドライウェル部とサプレッション・チェンバ部との境界に設置される円環平板形状の構造物である。円環状の鉄筋コンクリート床スラブ，床スラブを支持する半径方向に 20°間隔で 18 本配置した鋼製大梁及び大梁間に円周方向及び半径方向に複数配置した鋼製小梁により構成されている。円環内周端は原子炉本体の基礎に結合支持され，円環外周部で大梁を支持するためＰＣＶ底面から鋼製柱を 18 本設置している。円環外周端はＰＣＶに設置したダイヤフラムブラケットに，大梁端部が隙間をもって嵌め合う構造となっており，水平方向荷重を伝達するが，鉛直方向荷重は伝達しない。また，床スラブには，108 本のジェットデフレクタ付きベント管及び 18 本の主蒸気排気管貫通部を有している。（図 15 参照）

ダイヤフラム・フロア質量のモデル化は既工認と整合させ，内周端が結合支持された原子炉本体の基礎及び大梁を支持する柱とで負担させた。水平方向及び鉛直方向のモデル化において，ダイヤフラム・フロア質量のうち [redacted] に相当する [redacted] ton を原子炉本体の基礎の質点（No.42）に負荷させている。

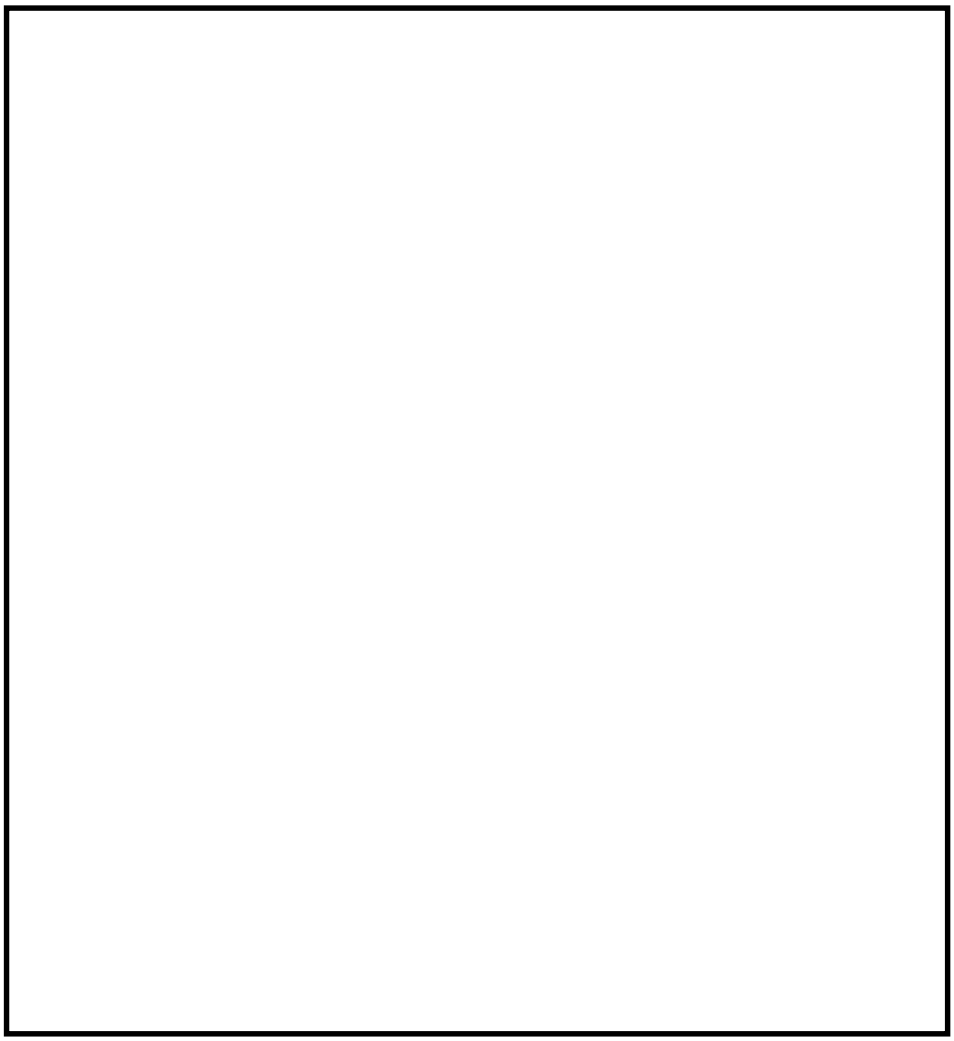


図 15　ダイヤフラム・フロア概要図

別紙

ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びＰＣＶに負荷させた場合の地震応答

今回の工認申請では，ダイヤフラム・フロアの質量のモデル化については，既工認におけるモデル化と整合させることとし，水平方向及び鉛直方向のモデルにおいて，原子炉本体の基礎の質点（No.42）にダイヤフラム・フロア質量の［　　］相当の［　　］tonを負荷させている。これは，ダイヤフラム・フロアを原子炉本体の基礎及び18本の柱で支持する構造であること並びに水平方向荷重をダイヤフラム・フロア大梁とＰＣＶ側のダイヤフラムブラケットで伝達する構造であることによるものである。このため，ＰＣＶにはダイヤフラム・フロア質量は付加していない。

一方，東海第二発電所以降のMark-Ⅱプラントでは，水平方向のモデル化において，ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びＰＣＶで 1/2 ずつ負荷させて応答解析しているプラントがある。

そこで，他プラントにならい，ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びＰＣＶで1/2ずつ負荷させた場合の水平方向の地震応答について，検討を行った。

(1) 検討方針

ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びＰＣＶで 1/2 ずつ負荷させ，水平方向の地震応答解析について影響を確認する。

また，検討する地震動はS_s－Ｄ１，地震方向はＮＳ方向とし，ダイヤフラム・フロア質量以外の解析条件の変更はない。

(2) 検討結果

影響検討として，せん断力，モーメント及びばね反力について，今回工認の応答結果と共に整理した。

地震応答解析結果のせん断力を別表1に，モーメントを別表2に，ばね反力を別表3に示す。下部シアラグ及びダイヤフラム・フロアのばね反力は付加質量増加に伴い26%，10%増加しているが，せん断力及びモーメントの増加は数%程度である。

なお，下部シアラグ部シアプレートの設計用地震力（1.5倍）での耐震裕度は，1.25である。

別表 1(1) 地震荷重（ＮＳ方向，せん断力）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)		
		①Ss-D1×1.0（質量付加）	②Ss-D1×1.0（今回工認）	比率 ①/②
原子炉格納容器		—	—	—
		132	131	1.01
		446	444	1.00
		1410	1390	1.01
		1500	1480	1.01
		1660	1640	1.01
		7750	7740	1.00
		7930	7920	1.00
		8160	8150	1.00
		8580	8560	1.00
		8940	8930	1.00
		9290	9280	1.00
		9800	9790	1.00
		9430	9330	1.01
		9760	9660	1.01
		9960	9850	1.01
		10300	10200	1.01
		10500	10400	1.01
		10800	10700	1.01
		22100	22000	1.00
		—	—	—
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎		—	—	—
		5200	5040	1.03
		3350	3280	1.02
		1620	1520	1.07
		956	931	1.03
		4930	4980	0.99
		9420	9520	0.99
		9690	9790	0.99
		14700	14700	1.00
		8760	8140	1.08
		11000	10300	1.07
		13600	12900	1.05
		16800	16100	1.04
		18400	17700	1.04
		—	—	—

別表 1(2) 地震荷重（ＮＳ方向，せん断力）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)		
		①Ss-D1×1.0（質量付加）	②Ss-D1×1.0（今回工認）	比率 ①/②
原子炉圧力容器		—	—	—
		99	96	1.04
		318	306	1.04
		675	651	1.04
		582	574	1.01
		991	963	1.03
		1650	1600	1.03
		1840	1780	1.03
		4330	4230	1.02
		3920	3810	1.03
		3500	3400	1.03
		3390	3280	1.03
		3290	3160	1.04
		3240	3170	1.02
		3290	3230	1.02
		3320	3250	1.02
		3320	3260	1.02
		3280	3220	1.02
		3200	3140	1.02
		3110	3050	1.02
		3010	2960	1.02
		3430	3400	1.01
		4440	4510	0.98
		—	—	—
		1070	1060	1.01
		871	869	1.00
		488	496	0.98
		—	—	—

別表 1(3) 地震荷重（ＮＳ方向，せん断力）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)		
		①Ss-D1×1.0（質量付加）	②Ss-D1×1.0（今回工認）	比率 ①/②
気水分離器及びシュラウド		—	—	—
		238	233	1.02
		983	962	1.02
		1410	1390	1.01
		1640	1610	1.02
		2240	2200	1.02
		3930	3870	1.02
		4140	4090	1.01
		4340	4280	1.01
		4500	4440	1.01
		4640	4570	1.02
		4810	4730	1.02
		6080	6010	1.01
		6160	6080	1.01
		6200	6120	1.01
		6190	6120	1.01
		—	—	—
燃料集合体		—	—	—
		1010	1020	0.99
		677	679	1.00
		266	259	1.03
		224	224	1.00
		671	673	1.00
		1050	1050	1.00
		—	—	—

別表 1(4) 地震荷重（ＮＳ方向，せん断力）

構造物	標高 EL(m)	せん断力(kN)		
		①Ss-D1×1.0（質量付加）	②Ss-D1×1.0（今回工認）	比率 ①/②
制御棒案内管		—	—	—
		148	151	0.98
		54.3	55.7	0.97
		7.8	7.8	1.00
		75.3	77.2	0.98
		191	196	0.97
		—	—	—
制御棒駆動機構ハウジング（内側）		—	—	—
		404	413	0.98
		439	447	0.98
		57.0	55.4	1.03
		16.7	16.4	1.02
		14.3	13.9	1.03
		44.3	42.7	1.04
		—	—	—
制御棒駆動機構ハウジング（外側）		—	—	—
		50.9	49.6	1.03
		10.9	10.8	1.01
		19.6	19.1	1.03
		49.4	48.2	1.02
		—	—	—

別表 2(1) 地震荷重（ＮＳ方向，モーメント）

構造物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
原子炉格納容器		34.4	33.5	1.03
		432	430	1.00
		1570	1570	1.00
		2880	2860	1.01
		6090	6020	1.01
		11300	11100	1.02
		34200	34100	1.00
		58000	57800	1.00
		82700	82500	1.00
		109000	109000	1.00
		136000	136000	1.00
		156000	155000	1.01
		183000	183000	1.00
		193000	193000	1.00
		204000	204000	1.00
		233000	232000	1.00
		263000	262000	1.00
		276000	275000	1.00
		326000	325000	1.00
		397000	395000	1.01
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎		51.4	49.6	1.04
		16700	16200	1.03
		27100	26100	1.04
		31000	30300	1.02
		32500	31200	1.04
		36300	34200	1.06
		30900	30700	1.01
		33700	33700	1.00
		66000	67100	0.98
		78800	79500	0.99
		113000	113000	1.00
		197000	193000	1.02
		266000	259000	1.03
		297000	288000	1.03

別表 2(2) 地震荷重（ＮＳ方向，モーメント）

構造物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
原子炉圧力容器		－	－	－
		130	125	1.04
		545	525	1.04
		1090	1050	1.04
		1610	1550	1.04
		3470	3360	1.03
		4610	4470	1.03
		6570	6360	1.03
		3210	3260	0.98
		8030	7840	1.02
		11200	10900	1.03
		14500	14100	1.03
		16500	16000	1.03
		18500	17900	1.03
		20400	19700	1.04
		22300	21400	1.04
		24000	23100	1.04
		26800	25700	1.04
		28100	27400	1.03
		30900	30300	1.02
		31700	31100	1.02
		14000	13400	1.04
		20000	19700	1.02
		940	924	1.02
		403	392	1.03
		199	205	0.97
		531	541	0.98

別表 2(3) 地震荷重（ＮＳ方向，モーメント）

構造物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m) ①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
気水分離器及びシュラウド	[redacted]	－	－	－
		254	249	1.02
		1760	1720	1.02
		4010	3930	1.02
		5600	5490	1.02
		7970	7810	1.02
		10600	10400	1.02
		13300	13100	1.02
		16100	15900	1.01
		19100	18800	1.02
		22100	21800	1.01
		25300	24900	1.02
		27800	27400	1.01
		31200	30700	1.02
		37200	36600	1.02
		38700	38200	1.01
燃料集合体		－	－	－
		663	666	1.00
		1110	1120	0.99
		1280	1280	1.00
		1130	1130	1.00
		686	687	1.00
		－	－	－

別表 2(4) 地震荷重（ＮＳ方向，モーメント）

構造物	標高 EL(m)	モーメント (kN･m) ①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
制御棒案内管	[redacted]	－	－	－
		142	146	0.97
		194	199	0.97
		194	199	0.97
		96.7	100	0.97
		－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（内側）		－	－	－
		246	251	0.98
		547	558	0.98
		30.7	29.9	1.03
		43.0	41.5	1.04
		32.5	31.4	1.04
		－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）		40.6	39.8	1.02
		42.7	41.7	1.02
		50.7	49.4	1.03
		36.3	35.4	1.03
		－	－	－

別表 3 地震荷重（ＮＳ方向，ばね反力）

構造物	ばね反力 (kN) ①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	276	269	1.03
原子炉圧力容器スタビライザ	6270	6150	1.02
原子炉格納容器スタビライザ	12200	12000	1.02
ダイヤフラム・フロア	10200	9310	1.10
上部シアラグ	7800	7530	1.04
下部シアラグ	13700	10900	1.26

1.7　原子炉本体の基礎のコンクリート物性

今回工認の地震応答計算では，原子炉本体の基礎のコンクリートは，既工認で適用している「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」に基づき，ポアソン比 0.17 を使用している。一方，最新の「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」では，ポアソン比は 0.2 である。

そこで，原子炉本体の基礎のコンクリートのポアソン比を 0.2 とした場合の影響について，検討を行った。

(1) 検討方針

ポアソン比は縦弾性係数と横弾性係数の関係から定まるものであり，地震応答解析に使用する諸元のうち，せん断剛性に関係する。このため，水平方向の地震応答解析について影響を確認する。

また，検討する地震動は，S_s－Ｄ１とし，せん断剛性以外の解析条件の変更はない。

(2) 検討結果

影響検討として，固有周期，応答加速度，ばね反力について整理した。

固有周期の比較を表 1 に示す。ＥＷ方向の 9 次モードにおいて，周期に変化がみられるが，これはＲＰＶが卓越するモードである。それ以外に固有周期の変化はない。

応答加速度については，原子炉遮蔽，原子炉本体の基礎及びＲＰＶについての比較を表 2 に示す。一部の節点で 0.01 の変化があるが，加速度への影響はほぼない。

ばね反力については，上部シアラグ及び下部シアラグについての比較を表 3 に示す。ばね反力への影響はごく小さい。

以上より，原子炉本体の基礎のコンクリートのポアソン比を 0.2 とした場合の応答解析を行った結果，固有周期に有意な変動はなく，地震応答に有意な変化は生じていない。よって，今回工認では，当該部位のポアソン比は既工認と同じとする。

表 1　固有周期の比較

固有周期(s)				
次数	NS方向		EW方向	
	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2
1	0.411	0.411	0.413	0.413
2	0.203	0.203	0.203	0.203
3	0.196	0.196	0.195	0.195
4	0.136	0.136	0.134	0.134
5	0.114	0.114	0.113	0.113
6	0.103	0.103	0.106	0.106
7	0.086	0.086	0.087	0.087
8	0.084	0.084	0.084	0.084
9	0.077	0.077	0.076	0.077
10	0.063	0.063	0.063	0.063
11	0.059	0.059	0.059	0.059
12	0.057	0.057	0.056	0.056
13	0.052	0.052	0.05	0.05

表２　加速度の比較

加速度（G）					
節点番号	部位	NS方向		EW方向	
		ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2
34	原子炉遮蔽	0.9	0.9	0.89	0.89
35		0.89	0.89	0.86	0.86
36		0.88	0.88	0.84	0.84
37		0.85	0.85	0.81	0.81
38		0.8	0.8	0.75	0.75
39	原子炉本体の基礎	0.79	0.79	0.75	0.75
40		0.74	0.75	0.72	0.72
41		0.73	0.74	0.72	0.72
42		0.66	0.66	0.67	0.67
43		0.64	0.64	0.65	0.65
44		0.61	0.61	0.61	0.61
45		0.57	0.57	0.57	0.57
46		0.56	0.56	0.56	0.56
48	原子炉圧力容器	1.12	1.13	1.12	1.13
49		1.08	1.09	1.08	1.09
50		1.05	1.05	1.05	1.05
51		1.03	1.03	1.02	1.03
52		1	1	1	1
53		0.95	0.96	0.95	0.95
54		0.94	0.94	0.93	0.94
55		0.91	0.91	0.91	0.91
56		0.89	0.89	0.88	0.88
57		0.88	0.88	0.86	0.86
58		0.88	0.88	0.85	0.85
59		0.87	0.87	0.84	0.84
60		0.87	0.87	0.84	0.84
61		0.86	0.86	0.83	0.83
62		0.86	0.86	0.82	0.83
63		0.85	0.85	0.82	0.82
64		0.85	0.85	0.81	0.81
65		0.84	0.84	0.81	0.81
66		0.83	0.84	0.8	0.8
67		0.82	0.83	0.79	0.79
68		0.82	0.82	0.78	0.79
69		0.81	0.82	0.77	0.78
70		0.79	0.79	0.75	0.75
71		0.81	0.82	0.77	0.78
72		0.81	0.81	0.77	0.77
73		0.81	0.81	0.77	0.77

表 3　ばね反力の比較

バネ反力(kN)				
部位	NS方向		EW方向	
	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2
上部シアラグ	7530	7540	7840	7840
下部シアラグ	10900	11000	7560	7660

1.8　解析モデルの扱い

(1) 検討方針

既工認では，建屋と連成して地震応答を計算する大型機器，構造物系の解析モデルについて，次の 2 つのモデルを用いていた。

これに対して今回工認では，炉内構造物等もモデル化したモデル②を用いて地震応答解析を実施している。

モデル①：　原子炉建屋～ＰＣＶ～原子炉遮蔽・原子炉本体の基礎～ＲＰＶ

モデル②：　原子炉建屋～ＰＣＶ～原子炉遮蔽・原子炉本体の基礎～ＲＰＶ～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

本資料において，2 つのモデルを整理すると共に，モデル②のみを用いて地震応答解析を実施している理由について示す。

(2) 地震応答解析モデルの整理とモデル②を適用する理由

モデル①及び②についての整理を表 4 に示す。既工認では，評価対象設備に合わせ，まずモデル①による地震応答解析を実施し，その後，炉内構造物の耐震計算に合わせてモデル②による地震応答解析を実施した。これは，工認申請の進捗によるものである。モデル②での炉内構造物のモデル化の際に，ＲＰＶについては，炉内構造物の質点標高に合わせて細分化している。

今回工認では，設計進捗に合わせてモデルを使い分ける必要はないことから，モデル②を用いて地震応答解析を実施するものとした。

表 4　地震応答解析モデルの整理

項 目	モデル①〔図 16 参照〕	モデル②〔図 17, 18 参照〕
主なモデル化対象設備	・原子炉建屋〔C/S〕 ・ＰＣＶ〔PCV〕 ・原子炉遮蔽〔S/WALL〕 ・原子炉本体の基礎〔PED〕 ・ＲＰＶ〔RPV〕 ・シアラグ（上部，下部）〔K_1, K_2〕 ・シールベロー〔K_3〕 ・スタビライザ〔K_4, K_6〕 ・ダイヤフラム・フロア〔K_5〕	←（同左） ←（同左） ←（同左） ←（同左） ←（同左）※1 ←（同左）〔K_9, K_{10}〕 ←（同左）〔K_5〕 ←（同左）〔K_4, K_6〕 ←（同左）〔K_7〕 ・炉内構造物 （気水分離器，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
既工認での適用対象設備 （既工認分割申請回）	（分割申請第 1 回） ・ＰＣＶ ・原子炉遮蔽 ・原子炉本体の基礎 ・ＲＰＶ ・シアラグ（上部，下部） ・スタビライザ ・ダイヤフラム・フロア	（分割申請第 20 回） ・炉内構造物 （気水分離器，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
今回工認での適用対象設備	－	・ＰＣＶ ・原子炉遮蔽 ・原子炉本体の基礎 ・ＲＰＶ ・シアラグ（上部，下部） ・スタビライザ ・ダイヤフラム・フロア ・炉内構造物 （気水分離器，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

※1：原子炉圧力容器については，炉内構造物の質点標高に合わせ細分化している。

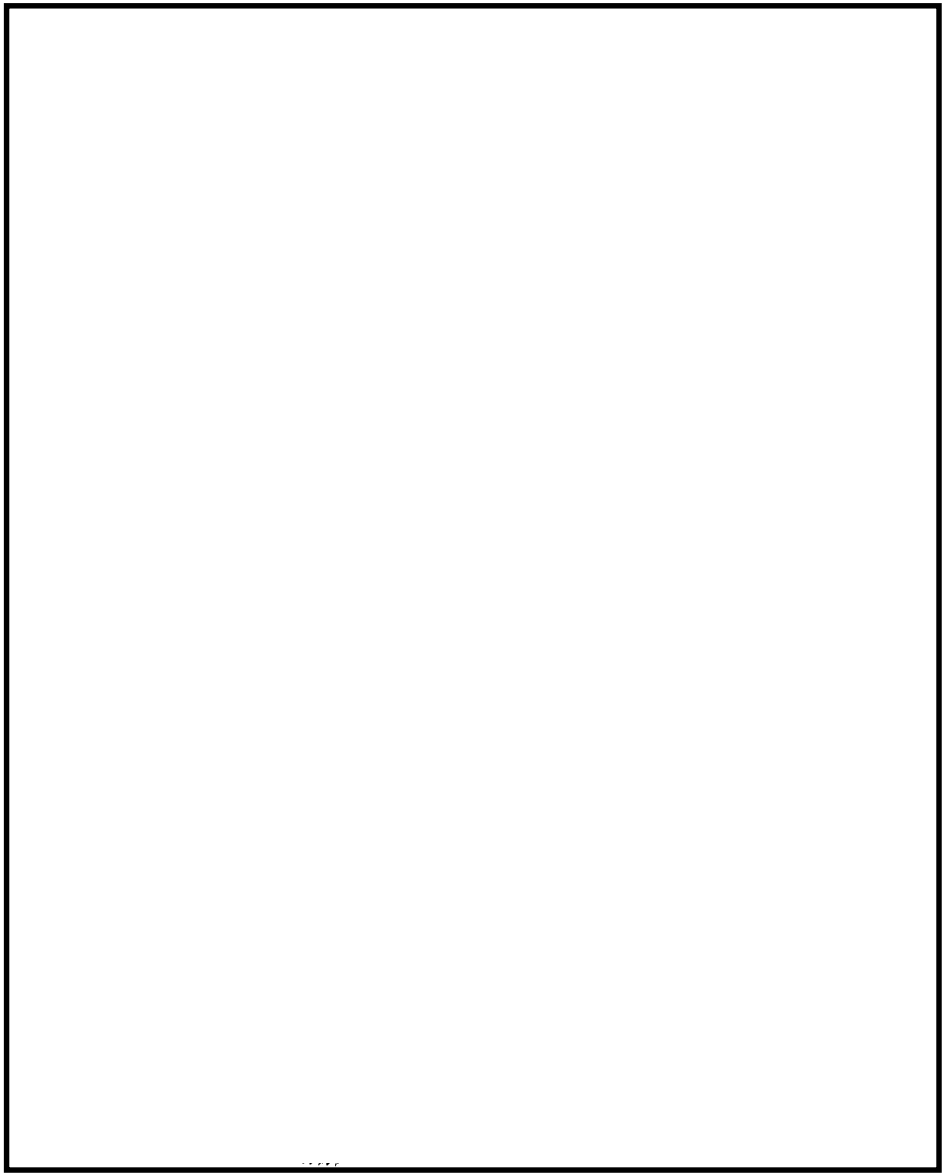


図 16　地震応答解析モデル：モデル①　（既工認：分割申請第 1 回）

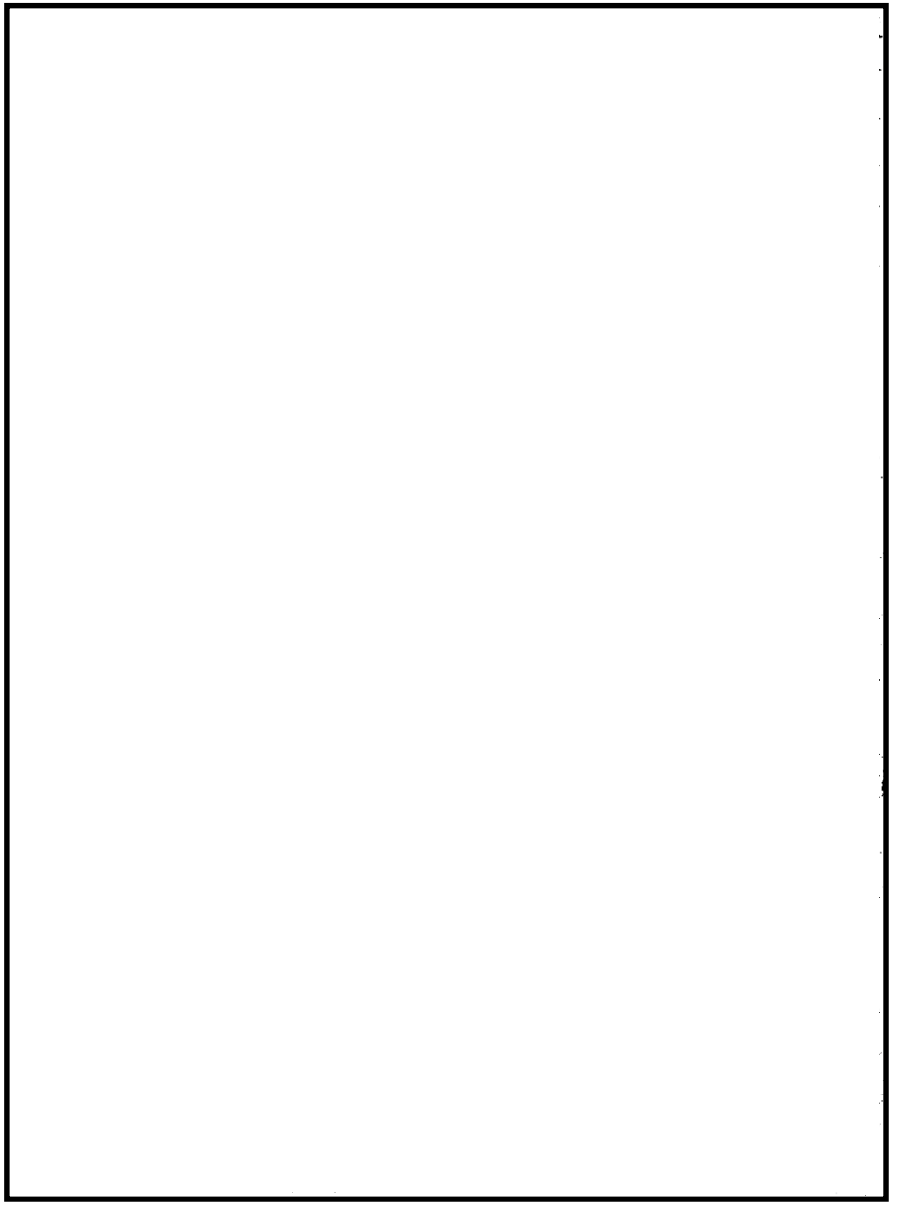


図 17　地震応答解析モデル：モデル②　（既工認：分割申請第 20 回）

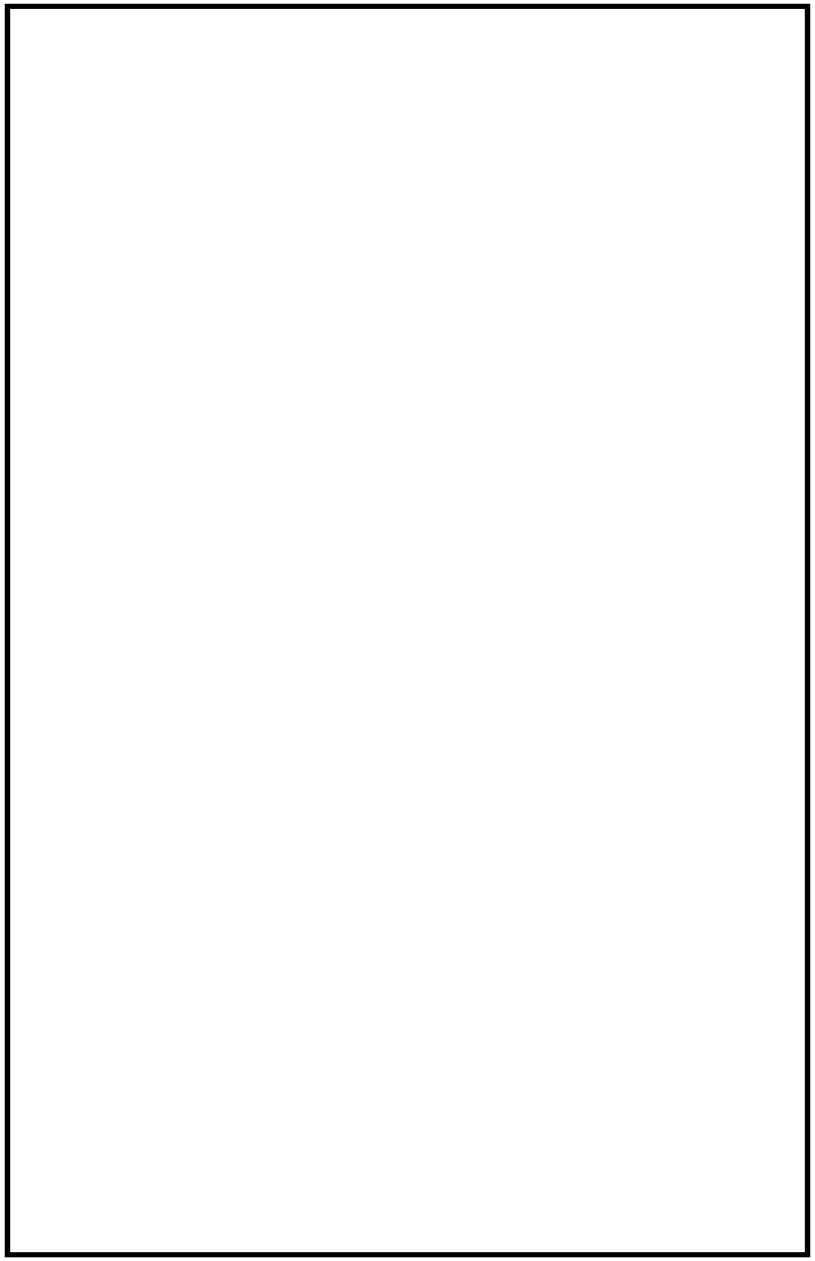


図 18　地震応答解析モデル：モデル②　（今回工認）

1.9　原子炉内部構造物の水中での振動の影響を考慮するための付加質量について

(1) 水の付加質量

構造物が流体中で振動する場合，流体－構造物間の相互作用により水中構造物は，複雑な振動特性を示し，固有振動数及び応答が低下することが知られている。一般に，このような現象を評価するため，「付加質量」の概念が用いられている。

付加質量の概念としては，流体中にある構造物が加速度α を受けて運動する場合，構造物は流体を押しのけて進むことになり，構造物には流体を排除するのに必要な力F_W が作用する。F_W は，α に比例することが知られており，

$$F_W = m_V \cdot \alpha \qquad \text{（式 1）}$$

で表される。ここで，

m_V ：構造物の形状等によって決定される質量

また，周囲に流体が存在しないとした場合に，質量M の物体にα の加速度を与えるために必要な力F_S は，

$$F_S = M \cdot \alpha \qquad \text{（式 2）}$$

で表される。

したがって，流体中の場合，同一の加速度を与えるために必要な力F は，上述の力の和として下記（式 3）にて表せる。

$$F = F_S + F_W = (M + m_V) \cdot \alpha \qquad \text{（式 3）}$$

（式 3）は，同一の加速度を与えるために流体中においてはあたかも質量がm_V だけ増加したような傾向を示すことを意味している。

このような現象を付加質量効果と呼び，m_V を付加質量（又は仮想質量）と呼んでいる。

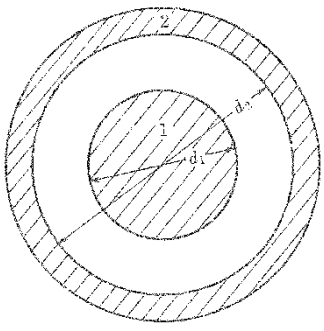
(2) 地震応答解析モデルにおける水の付加質量効果

地震応答解析モデルにおける水の付加質量効果については，燃料集合体と炉心シュラウドとの関係や，炉心シュラウドとＲＰＶとの関係など等価な 2 重円筒と考え，水の付加質量を考慮した質量マトリックスを構造重量による質量マトリックスに足し合わせ，全体の運動方程式を（式 4）を用い構築している。（出典：ＪＥＡＧ4601-1987）

$$\begin{bmatrix} M^V & -M^V - M^D \\ -M^V - M^D & M^V + 2M^D + M^F \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} \qquad \text{（式 4）}$$

ここで，

M^V ：仮想質量
M^D ：排除質量
M^F ：円筒間の水の質量
$\ddot{y}_1$ ：内筒の変位
$\ddot{y}_2$ ：外筒の変位



d_1 ： 内筒外径　　d_2 ： 外筒内径

２重円筒モデル概念図

1.10　ＲＰＶスタビライザに適用する減衰定数 2.0%の設定根拠について

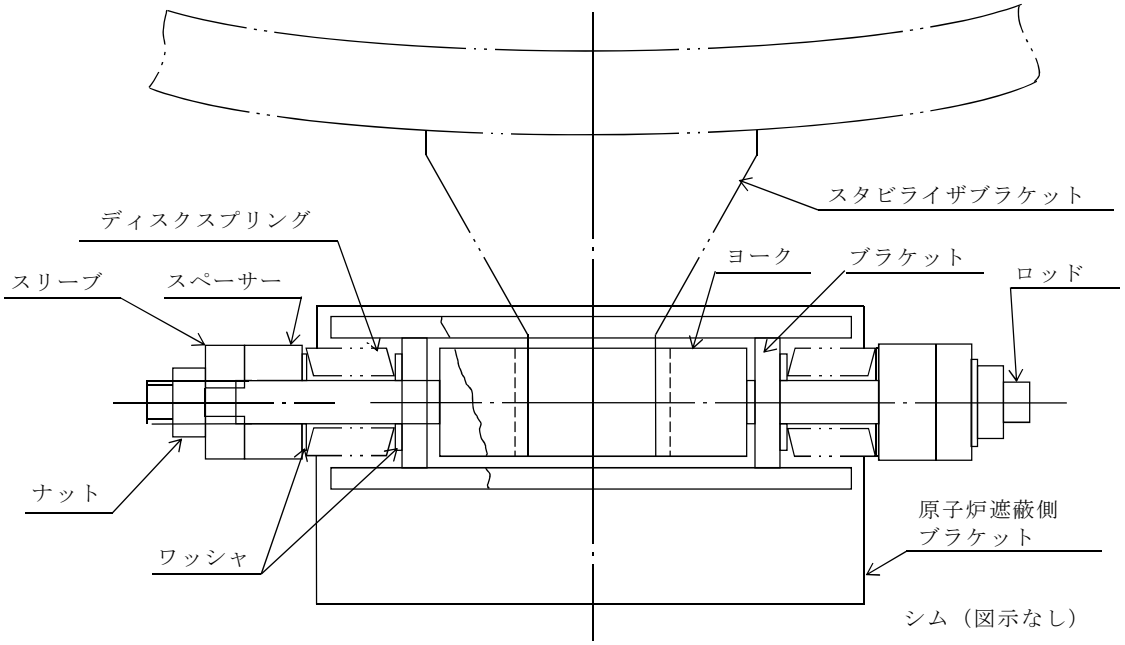
ＲＰＶスタビライザは，地震応答解析において，ＲＰＶと原子炉遮蔽との水平方向地震荷重を伝達するものとして，等価なばねでモデル化している。また，減衰定数はボルト及びリベット構造物の 2.0%を適用している。

1.5 項(1)に示すように，ＲＰＶスタビライザは複数の構成部材があり，ディスクスプリング，ロッド，ナット等の部材に生じる摩擦により，減衰が生じる。したがって，ＪＥＡＧ4601-1991 追補版で規定する,「ボルト及びリベット構造物」の減衰定数 2.0%を適用している。

なお，ＲＰＶスタビライザの構成部材とそれら部材間の荷重伝達形態を整理したものを表 5 に示す。

表 5　ＲＰＶスタビライザの構成部材と荷重伝達形態

部材名称	荷重伝達形態
スタビライザブラケット	
シム	接触
ヨーク	接触
ロッド	ねじ接合
ナット	ねじ接合
スリーブ	接触
スペーサー	接触
ワッシャ	接触
ディスクスプリング	接触
ブラケット	接触
原子炉遮蔽側ブラケット	溶接接合



1.11　ＰＣＶ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性を考慮しない場合の地震応答について

回転慣性は，広がりを持つ基礎と地盤の相互影響による回転応答成分を考慮するために地震応答解析モデルに取り入れている。既工認においては，ＰＣＶ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎も原子炉建屋と同様に，比較的大型の構造物であることを考慮して，回転慣性を取り入れた地震応答解析モデルとしていた。今回の工認においては，既工認の考え方と整合を図ることとし，ＰＣＶ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性を考慮して地震応答解析を実施している。

ここでは，ＰＣＶ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性が地震応答に与える影響について，定量的な確認を行った。

(1) 検討方針

回転慣性を考慮しているＰＣＶ（質点番号 14～32），原子炉遮蔽（質点番号 34～38）及び原子炉本体の基礎（質点番号 38～47）に対して，回転慣性を無視して水平方向の地震応答解析を実施することにより影響を確認する。また，検討する地震動はＳ$_s$－Ｄ１，方向はＮＳ方向とし，回転慣性以外の解析条件に変更はない。

(2) 検討結果

影響検討として，加速度，地震荷重（せん断力，モーメント）及びばね反力について整理した。

回転慣性を考慮した場合と考慮しない場合の比較について，加速度を表 6 に，せん断力を表 7 に，モーメントを表 8 に，また，ばね反力を表 9 に示す。ＰＣＶ上部のモーメントにおいて，比率（回転慣性なし／回転慣性あり）が 0.75～0.95 と小さくなっているものの，それ以外の構造物の比率は 0.97～1.03 であり，影響はごく小さい。

以上より，ＰＣＶ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎について回転慣性を考慮しない場合の応答解析を実施した結果，ＰＣＶ上部のモーメントを除き地震荷重及びばね反力に有意な変化は生じていないことを確認した。

表 6(1)　加速度（ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL (m)	1.2×最大床加速度（×9.8m/s^2）		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉格納容器	14		1.10	1.05	1.05
	15		1.04	1.01	1.03
	16		0.96	0.96	1.00
	17		0.94	0.93	1.01
	18		0.89	0.88	1.01
	19		0.84	0.84	1.00
	20		0.79	0.79	1.00
	21		0.77	0.76	1.01
	22		0.74	0.73	1.01
	23		0.69	0.69	1.00
	24		0.63	0.63	1.00
	25		0.61	0.61	1.00
	26		0.60	0.60	1.00
	27		0.59	0.59	1.00
	28		0.59	0.59	1.00
	29		0.58	0.58	1.00
	30		0.57	0.57	1.00
	31		0.57	0.57	1.00
	32		0.56	0.56	1.00
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34		0.89	0.90	0.99
	35		0.88	0.89	0.99
	36		0.87	0.88	0.99
	37		0.84	0.85	0.99
	38		0.79	0.80	0.99
	39		0.78	0.79	0.99
	40		0.74	0.74	1.00
	41		0.73	0.73	1.00
	42		0.66	0.66	1.00
	43		0.64	0.64	1.00
	44		0.61	0.61	1.00
	45		0.57	0.57	1.00
	46		0.56	0.56	1.00

表 6(2)　加速度（ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL (m)	1.2×最大床加速度（×9.8m/s^2）		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉圧力容器	48		1.12	1.12	1.00
	49		1.09	1.08	1.01
	50		1.05	1.05	1.00
	51		1.03	1.03	1.00
	52		1.00	1.00	1.00
	53		0.95	0.95	1.00
	54		0.93	0.94	0.99
	55		0.90	0.91	0.99
	56		0.89	0.89	1.00
	57		0.88	0.88	1.00
	58		0.87	0.88	0.99
	59		0.87	0.87	1.00
	60		0.86	0.87	0.99
	61		0.86	0.86	1.00
	62		0.85	0.86	0.99
	63		0.84	0.85	0.99
	64		0.84	0.85	0.99
	65		0.83	0.84	0.99
	66		0.82	0.83	0.99
	67		0.82	0.82	1.00
	68		0.81	0.82	0.99
	69		0.80	0.81	0.99
	72		0.80	0.81	0.99
	73		0.80	0.81	0.99
	74		0.79	0.80	0.99
気水分離器及びシュラウド	75		2.60	2.59	1.00
	76		2.14	2.13	1.00
	77		1.68	1.68	1.00
	78		1.37	1.37	1.00
	79		1.25	1.24	1.01
	80		1.14	1.14	1.00
	81		1.08	1.09	0.99
	82		1.02	1.02	1.00
	83		0.96	0.96	1.00
	84		0.91	0.92	0.99
	85		0.86	0.87	0.99
	86		0.82	0.82	1.00
	87		0.80	0.80	1.00
	88		0.79	0.81	0.98
	89		0.81	0.82	0.99
	90		0.81	0.82	0.99

表 6(3)　加速度（ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL (m)	1.2×最大床加速度（×9.8m/s^2）		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
制御棒案内管	103		0.82	0.82	1.00
	104		0.86	0.87	0.99
	105		0.95	0.96	0.99
	106		0.97	0.98	0.99
	107		1.03	1.03	1.00
	108		1.04	1.04	1.00
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	109		1.04	1.04	1.00
	110		0.86	0.87	0.99
	111		0.79	0.80	0.99
	112		0.79	0.80	0.99
	113		0.79	0.79	1.00
	114		0.77	0.77	1.00
	115		0.76	0.76	1.00
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	91		0.80	0.81	0.99
	92		0.79	0.80	0.99
	93		0.78	0.79	0.99
	94		0.77	0.78	0.99
	95		0.75	0.76	0.99

表 7(1)　地震荷重（せん断力，ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL. (m)	せん断力(kN)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉格納容器	14		－	－	－
	15		135	131	1.03
	16		453	444	1.02
	17		1390	1390	1.00
	18		1480	1480	1.00
	19		1630	1640	0.99
	20		7820	7740	1.01
	21		7990	7920	1.01
	22		8220	8150	1.01
	23		8640	8560	1.01
	24		9020	8930	1.01
	25		9370	9280	1.01
	26		9880	9790	1.01
	27		9370	9330	1.00
	28		9700	9660	1.00
	29		9900	9850	1.01
	30		10200	10200	1.00
	31		10500	10400	1.01
	32		10700	10700	1.00
	11		22000	22000	1.00
			－	－	－
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34		－	－	－
	35		4920	5040	0.98
	36		3250	3280	0.99
	37		1490	1520	0.98
	38		991	931	1.06
	39		5020	4980	1.01
	40		9560	9520	1.00
	41		9820	9790	1.00
	42		14700	14700	1.00
	43		8270	8140	1.02
	44		10400	10300	1.01
	45		13000	12900	1.01
	46		16200	16100	1.01
	11		17800	17700	1.01
			－	－	－

表 7(2)　地震荷重（せん断力，ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL. (m)	せん断力(kN)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉圧力容器	48		－	－	－
	49		96	96	1.00
	50		307	306	1.00
	51		652	651	1.00
	52		574	574	1.00
	53		972	963	1.01
	54		1610	1600	1.01
	55		1790	1780	1.01
	56		4200	4230	0.99
	57		3780	3810	0.99
	58		3370	3400	0.99
	59		3240	3280	0.99
	60		3130	3160	0.99
	61		3150	3170	0.99
	62		3210	3230	0.99
	63		3240	3250	1.00
	64		3250	3260	1.00
	65		3210	3220	1.00
	66		3140	3140	1.00
	67		3050	3050	1.00
	68		2960	2960	1.00
	69		3410	3400	1.00
	70		4520	4510	1.00
	71		－	－	－
	72		1050	1060	0.99
	73		864	869	0.99
	74		494	496	1.00
			－	－	－
気水分離器及びシュラウド	75		－	－	－
	76		234	233	1.00
	77		966	962	1.00
	78		1390	1390	1.00
	79		1610	1610	1.00
	80		2210	2200	1.00
	81		3880	3870	1.00
	82		4100	4090	1.00
	83		4290	4280	1.00
	84		4450	4440	1.00
	85		4590	4570	1.00
	86		4750	4730	1.00
	87		6010	6010	1.00
	88		6080	6080	1.00
	89		6120	6120	1.00
	90		6120	6120	1.00
			－	－	－

表 7(3)　地震荷重（せん断力，ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL. (m)	せん断力(kN)		
			①Ss-D1×1.0（回転慣性なし）	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
燃料集合体	96		－	－	－
	97		1020	1020	1.00
	98		681	679	1.00
	99		258	259	1.00
	100		224	224	1.00
	101		676	673	1.00
	102		1050	1050	1.00
			－	－	－
制御棒案内管	103		－	－	－
	104		151	151	1.00
	105		55.1	55.7	0.99
	106		7.7	7.8	0.99
	107		76.8	77.2	0.99
	108		195	196	0.99
			－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	109		－	－	－
	110		411	413	1.00
	111		446	447	1.00
	112		55.4	55.4	1.00
	113		16.4	16.4	1.00
	114		13.7	13.9	0.99
	115		42.5	42.7	1.00
			－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	91		－	－	－
	92		48.9	49.6	0.99
	93		10.8	10.8	1.00
	94		18.9	19.1	0.99
	95		47.6	48.2	0.99
			－	－	－

表 8(1)　地震荷重（モーメント，ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL. (m)	モーメント (kN･m)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉格納容器	14		－	33.5	－
	15		323	430	0.75
	16		1380	1570	0.88
	17		2640	2860	0.92
	18		5720	6020	0.95
	19		10600	11100	0.95
	20		33600	34100	0.99
	21		57400	57800	0.99
	22		82000	82500	0.99
	23		108000	109000	0.99
	24		135000	136000	0.99
	25		155000	155000	1.00
	26		182000	183000	0.99
	27		192000	193000	0.99
	28		203000	204000	1.00
	29		231000	232000	1.00
	30		260000	262000	0.99
	31		274000	275000	1.00
	32		312000	325000	0.96
	11		382000	395000	0.97
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34		－	49.6	－
	35		15800	16200	0.98
	36		25400	26100	0.97
	37		30000	30300	0.99
	38		30700	31200	0.98
	39		34400	34200	1.01
	40		31400	30700	1.02
	41		33100	33700	0.98
	42		65700	67100	0.98
	43		77600	79500	0.98
	44		111000	113000	0.98
	45		190000	193000	0.98
	46		257000	259000	0.99
	11		286000	288000	0.99

※ 質点番号 14 と 34 については，回転慣性を考慮することによりモーメントが発生するため，回転慣性を考慮した場合にはモーメント値を，回転慣性を考慮しない場合には「－」を記載している。

表 8(2)　地震荷重（モーメント，ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL.（m）	モーメント（kN･m）		
			①Ss-D1×1.0（回転慣性なし）	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉圧力容器	48		－	－	－
	49		125	125	1.00
	50		526	525	1.00
	51		1050	1050	1.00
	52		1560	1550	1.01
	53		3390	3360	1.01
	54		4510	4470	1.01
	55		6420	6360	1.01
	56		3320	3260	1.02
	57		7750	7840	0.99
	58		10800	10900	0.99
	59		13900	14100	0.99
	60		15800	16000	0.99
	61		17700	17900	0.99
	62		19400	19700	0.98
	63		21200	21400	0.99
	64		22800	23100	0.99
	65		25400	25700	0.99
	66		27100	27400	0.99
	67		30100	30300	0.99
	68		30800	31100	0.99
	69		13600	13400	1.01
	70		20000	19700	1.02
	71		915	924	0.99
	72		388	392	0.99
	73		204	205	1.00
	74		539	541	1.00
気水分離器及びシュラウド	75		－	－	－
	76		250	249	1.00
	77		1730	1720	1.01
	78		3940	3930	1.00
	79		5510	5490	1.00
	80		7840	7810	1.00
	81		10400	10400	1.00
	82		13100	13100	1.00
	83		15900	15900	1.00
	84		18900	18800	1.01
	85		21900	21800	1.00
	86		25000	24900	1.00
	87		27500	27400	1.00
	88		30800	30700	1.00
	89		36700	36600	1.00
	90		38300	38200	1.00

表 8(3)　地震荷重（モーメント，ＮＳ方向）

名称	質点番号	標高 EL. (m)	モーメント (kN･m)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
燃料集合体	96		－	－	－
	97		669	666	1.00
	98		1120	1120	1.00
	99		1280	1280	1.00
	100		1140	1130	1.01
	101		689	687	1.00
	102		－	－	－
制御棒案内管	103		－	－	－
	104		145	146	0.99
	105		198	199	0.99
	106		198	199	0.99
	107		98.9	100	0.99
	108		－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（内側）	109		－	－	－
	110		250	251	1.00
	111		556	558	1.00
	112		29.6	29.9	0.99
	113		41.2	41.5	0.99
	114		31.2	31.4	0.99
	115		－	－	－
制御棒駆動機構ハウジング（外側）	91		39.9	39.8	1.00
	92		41.2	41.7	0.99
	93		48.8	49.4	0.99
	94		35.0	35.4	0.99
	95		－	－	－

表９　ばね反力（ＮＳ方向）

名称	ばね反力（kN）		
	①Ss-D1×1.0 （回転慣性なし）	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
上部シアラグ	7420	7530	0.99
下部シアラグ	10800	10900	0.99
原子炉格納容器スタビライザ	11800	12000	0.98
原子炉圧力容器スタビライザ	6120	6150	1.00
制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	266	269	0.99
ダイヤフラム・フロア	9140	9310	0.98

1.12 ＰＣＶの鉛直方向地震応答解析モデルにおける剛性比較について

鉛直方向地震応答解析モデルでは，2 質点間の剛性をばね定数にて設定した多質点はりモデルとしている。剛性については，水平方向の地震応答解析モデルのモデル化方針と同様に，円筒胴，円錐胴及び球形胴は 2 質点間の平均断面を適用している。

そこで，円錐胴及び球形胴におけるモデル化の妥当性を確認するため，ＰＣＶ円錐胴を対象に，軸対称シェル要素を用いた円錐胴の剛性を算出し，多質点はりモデルの剛性と比較を実施した。また，ＰＣＶドライウェルトップヘッドを対象に，三次元シェル要素を用いた球形胴の剛性を算出し，多質点はりモデルの剛性と比較を実施した。

(1) 円錐胴

軸対称シェル要素を用いた円錐胴の検討用モデルは，ＰＣＶ円錐胴（標高 EL. 36.431m～12.344m）の胴板をモデル化した。軸ばね剛性は，円錐胴上端に軸方向の単位荷重を作用させ，その変形量から算出した。

検討対象のＰＣＶ円錐胴の形状及び軸ばね剛性比較を図 19 に示す。比較の結果，円錐胴の軸ばね剛性の偏差は約□%であるが，自重を支持するため軸方向の剛性は高いことから，鉛直方向の地震応答に有意な影響を与えることはないと判断する。

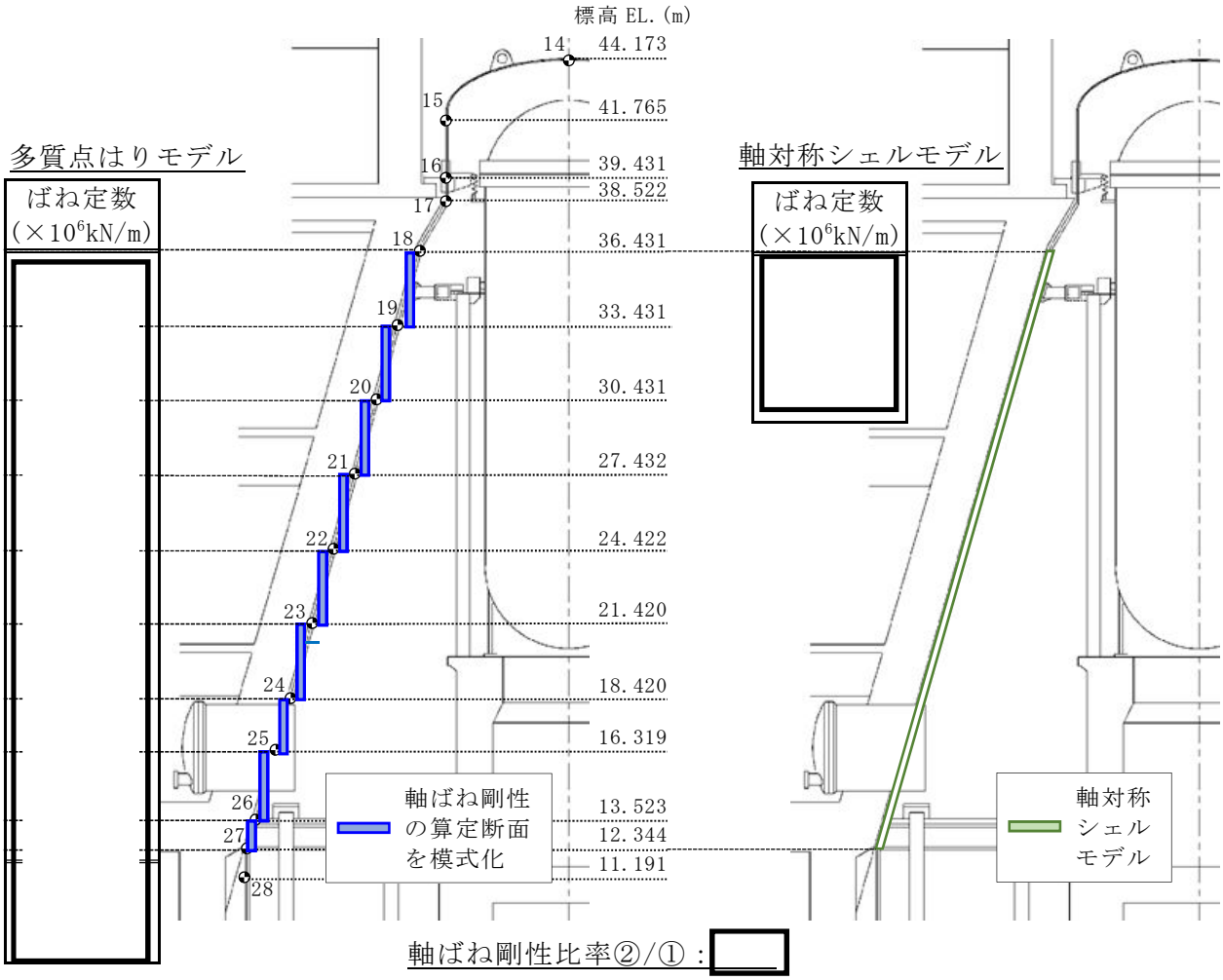


図 19　軸ばね剛性比較（ＰＣＶ円錐胴）

(2) ＰＣＶトップヘッド

ＰＣＶトップヘッドの軸ばね剛性について，三次元シェルモデルで算出し，多質点はりモデルのばね定数と比較した。

三次元シェルモデルは，主フランジ部を固定条件とし，球殻部上部に単位荷重を作用させて得られる変位量からばね定数を算出した。なお，ＰＣＶトップヘッドは，主フランジ部の円筒胴の上にさら型鏡板が取り付く構造で，鏡板は球形部及び球殻部の複合形状である。算出したばね定数の比較を下表に示す。

三次元シェルモデルによるばね定数は，多質点はりモデルのばね定数の 17%と小さいものとなっているが，これは，ＰＣＶトップヘッド鏡板は内径に比べ板厚が薄く径厚比が大きいため，三次元シェルモデルによる軸方向ばね剛性が小さくなったものと考える。

なお，地震応答解析結果では，ＰＣＶトップヘッドの鉛直方向加速度は大きいが，質量が小さく，軸力による応力は小さく，耐震性に有意な影響を与えることは無いと考える。

多質点はりモデル

質点番号	標高 EL.（m）	ばね定数（×10^6kN/m）

三次元シェルモデル

ばね定数（×10^6kN/m）
ばね比率②/①： 0.17

2.　シアラグ部のクリアランスについて

2.1　はじめに

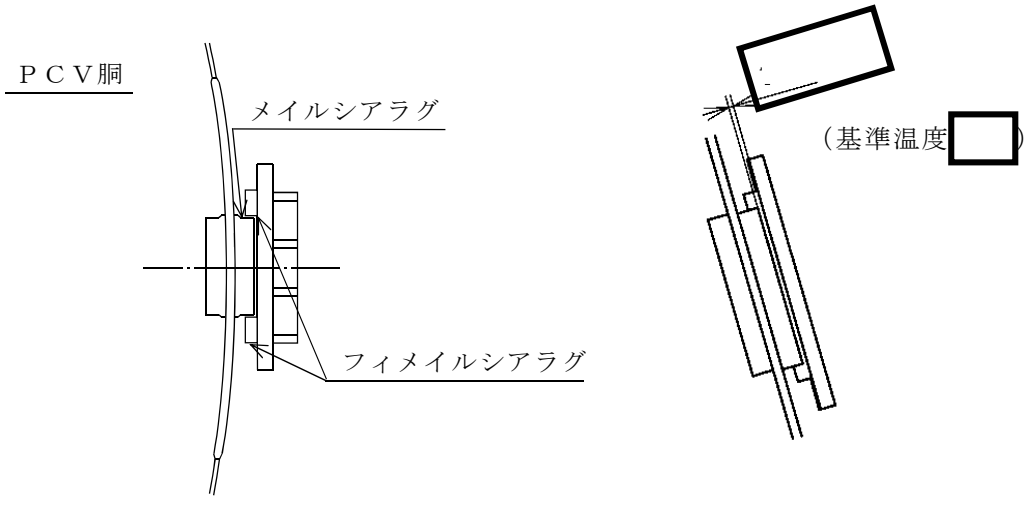
ＰＣＶと原子炉建屋シェル壁の間には空隙が設けられ，ドライウェルの上部及び下部に設置されたシアラグを介して水平方向地震荷重を伝達する構造になっている。

シアラグ部には，設計基準事象で設定する内圧及び熱膨張を考慮し，クリアランスを設けている。本資料において，重大事故等時の場合でもクリアランスが確保され，ＰＣＶの健全性に影響がないことを以下に示す。

2.2　シアラグ部概略構造とクリアランス評価

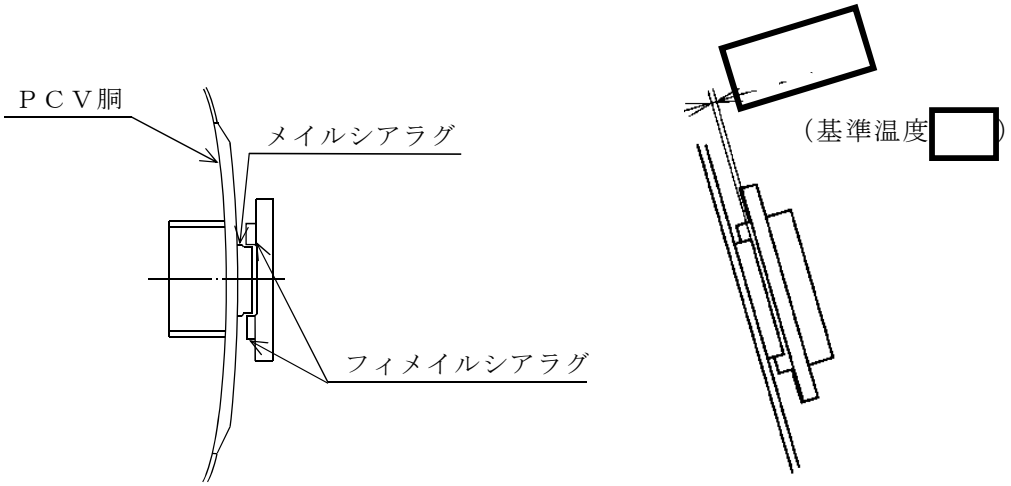
シアラグ部は，ＰＣＶ側のメイルシアラグとシェル壁側のフィメイルシアラグとから構成されており，ＰＣＶ半径方向にクリアランスを設けている。上部及び下部シアラグの概略図を図 20 及び図 21 に示す。

このクリアランスにより，内圧及び熱膨張によりメイルシアラグとフィメイルシアラグとが接触しＰＣＶに過大な局部応力が生じることはない。



(a) 平面図　　(b) 正面図

図 20　上部シアラグ概略図



(a) 平面図　　(b) 正面図

図 21　下部シアラグ概略図

当該部のクリアランスは，運転時及び事故時の温度条件によるＰＣＶ本体の変位と原子炉建屋シェル壁の変位の相対変位の分だけ減少することとなる。ここで，重大事故等時についてＰＣＶ本体と原子炉建屋シェル壁に想定する温度と圧力の組合せを表10のとおり整理した。

表10　ＰＣＶ本体及び原子炉建屋シェル壁の重大事故等時の温度，圧力

ＰＣＶ本体		原子炉建屋
温度	圧力	温度

※1：変位0の状態として基準温度[ ]とする。
※2：ＰＣＶ壁面での最大温度
※3：通常時運転温度

表10の整理に基づき，シアラグ部のクリアランスを評価した。評価結果を表11に示す。評価の結果，重大事故時等において，シアラグ部のクリアランスが確保されていることを確認した。

表11　シアラグ部のクリアランス評価

	クリアランス（mm）
上部シアラグ	
下部シアラグ	

3. 大型機器系の耐震評価における鉛直震度から算出した鉛直方向荷重と軸力との比較結果について

ＰＣＶ，ＲＰＶ，炉心支持構造物等の耐震評価に用いる鉛直方向荷重の算定において，「①鉛直荷重（自重）に鉛直震度を乗じて鉛直方向荷重を算出している設備」と「②大型機器連成解析結果から得られる軸力」とを整理した。

また，「①鉛直荷重（自重）に鉛直震度を乗じて鉛直方向荷重を算出している設備」については，耐震評価に用いた鉛直方向荷重が「②大型機器連成解析結果から得られる軸力」よりも大きい値であることを確認した。

基準地震動Ｓ$_s$の確認結果を表12に，弾性設計用地震動Ｓ$_d$の確認結果を表13に示す。「①鉛直荷重（自重）に鉛直震度を乗じて鉛直方向荷重を算出している設備」における耐震評価に用いた鉛直方向荷重は，「②大型機器連成解析結果から得られる軸力」よりも大きい値であることを確認した。

ここで，「①鉛直荷重（自重）に鉛直震度を乗じて鉛直方向荷重を算出している設備」には，鉛直震度から算出した鉛直方向荷重と軸力とを比較し保守的な荷重を使用するもの（ＲＰＶ本体関係）及び通常運転時鉛直荷重と異なる燃料交換時鉛直荷重を使用するもの（ＰＣＶ関係）がある。

また，鉛直震度に乗じる鉛直荷重（自重）については，設計条件や通常運転時での強度評価に適用することから保守的に設定している。このため，鉛直震度から算出した鉛直方向荷重は軸力に比べて大きな値となっている。

表12　鉛直震度から算出した鉛直荷重が軸力よりも上回ることの確認(基準地震動S_s)

目録番号	目録名称	鉛直方向の荷重算出に軸力(建屋機器連成解析結果)を用いているか ○:用いている(軸力を用いている。) ×:用いていない(鉛直震度から荷重を算出している。)	鉛直震度から荷重を算出している場合の追加検討		
			鉛直震度から算出した鉛直荷重の値(kN) (①)	軸力(kN) (②)	①>②
V-1-2-1	原子炉本体の基礎に関する説明書	×	2.16E+04	1.92E+04	○
V-2-3-3	炉心の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	× (燃料集合体の評価は、燃料棒単体についての強度評価を実施しており、建屋機器連成解析における軸力(燃料集合体の剛性を支配するチャンネルボックスに作用する軸力)ではなく、連成解析で得られた鉛直方向加速度の最大値に燃料棒自重を乗じた軸力が燃料被覆管に作用するものとして解析している。)			
V-2-3-3-2	炉心支持構造物の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-3-3-2-1	炉心支持構造物の応力解析の方針	-	-	-	-
V-2-3-3-2-2	炉心シュラウドの耐震性についての計算書	○	-	-	-
V-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:○ V2:× ここで，V1:炉心シュラウドから作用する荷重 V2:容器胴板に作用する荷重	V2:2.01E+04	V2:8.39E+03	○
V-2-3-3-2-4	上部格子板の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-3-3-2-5	炉心支持板の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-3-3-2-6	燃料支持金具の耐震性についての計算書	○	-	-	-
V-2-3-3-2-7	制御棒案内管の耐震性についての計算書	○	-	-	-
V-2-3-4	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-1	原子炉圧力容器本体の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-3-4-1-1	原子炉圧力容器の応力解析の方針	-	-	-	-
V-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の応力計算書(その1)	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-2に含める)	下部鏡板の耐震性についての計算書	V1，V2:× ここで，V1:下部鏡板に作用する荷重 V2:容器胴板に作用する荷重	V1:2.02E+04 V2:2.01E+04	V1:1.85E+04 V2:8.39E+03	○
(V-2-3-4-1-2に含める)	給水ノズル(N4)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-2に含める)	原子炉圧力容器スカートの耐震性についての計算書	V1，V2:× ここで，V1:下部鏡板に作用する荷重 V2:容器胴板に作用する荷重	V1:2.02E+04 V2:2.01E+04	V1:1.85E+04 V2:8.39E+03	○
V-2-3-4-1-3	原子炉圧力容器の応力計算書(その2)	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	胴板の耐震性についての計算書	×	2.01E+04	8.39E+03	○
(V-2-3-4-1-3に含める)	制御棒駆動機構ハウジング貫通部の耐震性についての計算書	V1，V2:× ここで，V1:炉内側から作用する荷重 V2:炉外側から作用する荷重	V1:19.6kN V2:6.97kN	V1:19.3kN V2:6.14kN	○
(V-2-3-4-1-3に含める)	再循環水出口ノズル(N1)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	再循環水入口ノズル(N2)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	主蒸気ノズル(N3)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	炉心スプレイノズル(N5)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	差圧検出・ほう酸水注入管ノズル(N10)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	低圧注水ノズル(N17)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	上鏡スプレイノズル(N6)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	ベントノズル(N7)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	ジェットポンプ計測管貫通部ノズル(N8)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	計装ノズル(N11)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	計装ノズル(N12)の耐震性についての計算書	-	-	-	-

目録番号	目録名称	鉛直方向の荷重算出に軸力（建屋機器連成解析結果）を用いているか ○：用いている（軸力を用いている。） ×：用いていない（鉛直震度から荷重を算出している。）	鉛直震度から荷重を算出している場合の追加検討		
			鉛直震度から算出した鉛直荷重の値（kN） （①）	軸力（kN） （②）	①>②
（V-2-3-4-1-3に含める）	計装ノズル（N16）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
（V-2-3-4-1-3に含める）	ドレンノズル（N15）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
（V-2-3-4-1-3に含める）	ブラケット類の耐震性についての計算書	－	－	－	－
（V-2-3-4-1-3に含める）	原子炉圧力容器の基礎ボルトの耐震性についての計算書	×	3.23E+04	2.53E+04	○
V-2-3-4-3	原子炉圧力容器付属構造物の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-3-1	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	－	－	－	－
V-2-3-4-3-2	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	－	－	－	－
V-2-3-4-3-3	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	－	－	－	－
V-2-3-4-3-4	差圧検出・ほう酸水注入管（ティーよりN10ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4	原子炉圧力容器内部構造物の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-1	原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針	－	－	－	－
V-2-3-4-4-2	蒸気乾燥器の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-3	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	○	－	－	－
V-2-3-4-4-4	シュラウドヘッドの耐震性についての計算書	○	－	－	－
V-2-3-4-4-5	ジェットポンプの耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-6	給水スパージャの耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-7	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	－	－	－	－
V-2-3-4-4-8	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	－	－	－	－
V-2-3-4-4-9	高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-10	差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-11	中性子計測案内管の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9	原子炉格納施設の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-2	原子炉格納容器の耐震についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-2-1	原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書	↓	↓	↓	↓
評価点1	EL.38301	×	1.81E+03	1.37E+03	○
評価点2	EL.36218	×	5.05E+05	1.62E+03	○
評価点3	EL.25320	×	1.48E+04	2.83E+03	○
評価点4	EL.12148	×	2.32E+04	7.15E+03	○
評価点5	EL.7958～EL.3958	×	2.32E+04	8.57E+03	○
評価点6(DB)	EL.-4010	×	2.45E+04	9.61E+03	○
評価点6(SA)	EL.-4010	×	1.07E+05	9.61E+03	○
V-2-9-2-2	原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-2-3	上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書(PCV胴の評価点③と同じ)	×	1.48E+04	2.83E+03	○
V-2-9-2-4	下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震性についての計算書(PCV胴の評価点④と同じ)	×	2.32E+04	7.15E+03	○
V-2-9-2-5	胴アンカー部の耐震性についての計算書(DB)	×	2.45E+06	9.61E+03	○
	胴アンカー部の耐震性についての計算書(SA)	×	1.07E+05	9.61E+03	○
V-2-9-2-6	機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書(PCV胴の評価点4と同じ)	×	2.32E+04	7.15E+03	○

目録番号	目録名称	鉛直方向の荷重算出に軸力(建屋機器連成解析結果)を用いているか ○:用いている(軸力を用いている。) ×:用いていない(鉛直震度から荷重を算出している。)	鉛直震度から荷重を算出している場合の追加検討		
			鉛直震度から算出した鉛直荷重の値(kN) (①)	軸力(kN) (②)	①>②
V-2-9-2-7	所員用エアロックの耐震性についての計算書(PCV胴の評価点4と同じ)	×	2.32E+04	7.15E+03	○
V-2-9-2-8	サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書 (DB)(PCV胴の評価点6と同じ)	×	2.45E+04	9.61E+03	○
V-2-9-2-8	サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書 (SA)(PCV胴の評価点6と同じ)(実ばらつき条件)	×	8.54E+04	7.41E+03	○
V-2-9-2-9	配管貫通部の耐震性についての計算書(DB)	×	2.45E+04	9.61E+03	○
	配管貫通部の耐震性についての計算書(SA)	×	1.07E+05	9.61E+03	○
V-2-9-2-10	電気配線貫通部の耐震性についての計算書(DB)	↓	↓	↓	↓
評価点4	EL.12148	×	2.32E+04	7.15E+03	○
V-2-9-2-11	サプレッションチェンバ底部ライナー部の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-9-4	圧力低減設備その他の安全設備の耐震性についての計算書	—	—	—	—
V-2-9-4-1	ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-9-4-3	原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-9-4-3-1	格納容器スプレイヘッダの耐震性についての計算書	-	-	-	-

表13　鉛直震度から算出した鉛直荷重が軸力よりも上回ることの確認(弾性設計用地震動S_d)

目録番号	目録名称	鉛直方向の荷重算出に軸力(建屋機器連成解析結果)を用いているか ○:用いている(軸力を用いている。) ×:用いていない(鉛直震度から荷重を算出している。)	鉛直震度から荷重を算出している場合の追加検討		
			鉛直震度から算出した鉛直荷重の値(kN) (①)	軸力(kN) (②)	①>②
V-1-2-1	原子炉本体の基礎に関する説明書	×	1.60E+04	9.84E+03	○
V-2-3-3	炉心の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	× (燃料集合体の評価は、燃料棒単体についての強度評価を実施しており、建屋機器連成解析における軸力(燃料集合体の剛性を支配するチャンネルボックスに作用する軸力)ではなく、連成解析で得られた鉛直方向加速度の最大値に燃料棒自重を乗じた軸力が燃料被覆管に作用するものとして解析している。)			
V-2-3-3-2	炉心支持構造物の耐震性についての計算書				
V-2-3-3-2-1	炉心支持構造物の応力解析の方針	－	－	－	－
V-2-3-3-2-2	炉心シュラウドの耐震性についての計算書	○	－	－	－
V-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:○ V2:× ここで，V1:炉心シュラウドから作用する荷重 V2:容器胴板に作用する荷重	V2:1.09E+04	V2:4.5E+03	○
V-2-3-3-2-4	上部格子板の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-3-2-5	炉心支持板の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-3-2-6	燃料支持金具の耐震性についての計算書	○	－	－	－
V-2-3-3-2-7	制御棒案内管の耐震性についての計算書	○	－	－	－
V-2-3-4	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-1	原子炉圧力容器本体の耐震性についての計算書	-	-	-	-
V-2-3-4-1-1	原子炉圧力容器の応力解析の方針	-	-	-	-
V-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の応力計算書(その1)	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-2に含める)	下部鏡板の耐震性についての計算書	V1，V2:× ここで，V1:下部鏡板に作用する荷重 V2:容器胴板に作用する荷重	V1:1.10E+04 V2:1.09E+04	V1:9.95E+03 V2:4.50E+03	○
(V-2-3-4-1-2に含める)	給水ノズル(N4)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-2に含める)	原子炉圧力容器スカートの耐震性についての計算書	V1，V2:× ここで，V1:下部鏡板に作用する荷重 V2:容器胴板に作用する荷重	V1:1.10E+04 V2:1.09E+04	V1:9.95E+03 V2:4.50E+03	○
V-2-3-4-1-3	原子炉圧力容器の応力計算書(その2)	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	胴板の耐震性についての計算書	×	1.09E+04	4.50E+03	○
(V-2-3-4-1-3に含める)	制御棒駆動機構ハウジング貫通部の耐震性についての計算書	V1，V2:× ここで，V1:炉内側から作用する荷重 V2:炉外側から作用する荷重	V1:10.7E+03 V2:3.80E+03	V1:10.5E+03 V2:3.28E+03	○
(V-2-3-4-1-3に含める)	再循環水出口ノズル(N1)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	再循環水入口ノズル(N2)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	主蒸気ノズル(N3)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	炉心スプレイノズル(N5)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	差圧検出・ほう酸水注入管ノズル(N10)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	低圧注水ノズル(N17)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	上鏡スプレイノズル(N6)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	ベントノズル(N7)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	ジェットポンプ計測管貫通部ノズル(N8)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	計装ノズル(N11)の耐震性についての計算書	-	-	-	-
(V-2-3-4-1-3に含める)	計装ノズル(N12)の耐震性についての計算書	-	-	-	-

目録番号	目録名称	鉛直方向の荷重算出に軸力（建屋機器連成解析結果）を用いているか ○：用いている（軸力を用いている。） ×：用いていない（鉛直震度から荷重を算出している。）	鉛直震度から荷重を算出している場合の追加検討		
			鉛直震度から算出した鉛直荷重の値（kN） （①）	軸力（kN） （②）	①＞②
（V-2-3-4-1-3に含める）	計装ノズル（N16）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
（V-2-3-4-1-3に含める）	ドレンノズル（N15）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
（V-2-3-4-1-3に含める）	ブラケット類の耐震性についての計算書	－	－	－	－
（V-2-3-4-1-3に含める）	原子炉圧力容器の基礎ボルトの耐震性についての計算書	×	1.75E+04	1.36E+04	○
V-2-3-4-3	原子炉圧力容器付属構造物の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-3-1	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	－	－	－	－
V-2-3-4-3-2	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	－	－	－	－
V-2-3-4-3-3	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	－	－	－	－
V-2-3-4-3-4	差圧検出・ほう酸水注入管（ティーよりN10ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4	原子炉圧力容器内部構造物の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-1	原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針	－	－	－	－
V-2-3-4-4-2	蒸気乾燥器の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-3	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	○	－	－	－
V-2-3-4-4-4	シュラウドヘッドの耐震性についての計算書	○	－	－	－
V-2-3-4-4-5	ジェットポンプの耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-6	給水スパージャの耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-7	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	－	－	－	－
V-2-3-4-4-8	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	－	－	－	－
V-2-3-4-4-9	高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-10	差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-3-4-4-11	中性子計測案内管の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9	原子炉格納施設の耐震性についての計算書	―	―	―	―
V-2-9-2	原子炉格納容器の耐震についての計算書	―	―	―	―
V-2-9-2-1	原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書	↓	↓	↓	↓
評価点1	EL.38301	×	1.02E+03	7.67E+02	○
評価点2	EL.36218	×	2.85E+03	9.02E+02	○
評価点3	EL.25320	×	8.32E+03	1.53E+03	○
評価点4	EL.12148	×	1.31E+04	3.79E+03	○
評価点5	EL.7958～EL.3958	×	1.31E+04	4.54E+03	○
評価点6(DB)	EL.-4010	×	1.38E+04	5.08E+03	○
評価点6(SA)	EL.-4010	×	6.00E+04	5.08E+03	○
V-2-9-2-2	原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-2-3	上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書(PCV胴の評価点③と同じ)	×	8.32E+03	1.53E+03	○
V-2-9-2-4	下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震性についての計算書(PCV胴の評価点④と同じ)	×	1.31E+04	3.79E+03	○
V-2-9-2-5	胴アンカー部の耐震性についての計算書(DB)	×	1.38E+04	5.08E+03	○

目録番号	目録名称	鉛直方向の荷重算出に軸力（建屋機器連成解析結果）を用いているか ○：用いている（軸力を用いている。） ×：用いていない（鉛直震度から荷重を算出している。）	鉛直震度から荷重を算出している場合の追加検討		
			鉛直震度から算出した鉛直荷重の値（kN） （①）	軸力（kN） （②）	①＞②
	胴アンカー部の耐震性についての計算書（SA）	×	6.00E+04	5.08E+03	○
V-2-9-2-6	機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書（PCV胴の評価点4と同じ）	×	1.31E+04	3.79E+03	○
V-2-9-2-7	所員用エアロックの耐震性についての計算書（PCV胴の評価点4と同じ）	×	1.31E+04	3.79E+03	○
V-2-9-2-8	サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書（DB）（PCV胴の評価点6と同じ）	×	1.38E+04	5.08E+03	○
V-2-9-2-8	サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書（SA）（PCV胴の評価点6と同じ）（実ばらつき条件）	×	4.45E+04	3.84E+03	○
V-2-9-2-9	配管貫通部の耐震性についての計算書（DB）	×	1.38E+04	5.08E+03	○
	配管貫通部の耐震性についての計算書（SA）	×	6.00E+04	5.08E+03	○
V-2-9-2-10	電気配線貫通部の耐震性についての計算書（DB）	↓	↓	↓	↓
評価点3	EL.25320	×	8.32E+03	1.53E+03	○
評価点4	EL.12148	×	1.31E+04	3.79E+03	○
V-2-9-2-11	サプレッションチェンバ底部ライナー部の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-4	圧力低減設備その他の安全設備の耐震性についての計算書	―	―	―	―
V-2-9-4-1	ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-4-3	原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書	－	－	－	－
V-2-9-4-3-1	格納容器スプレイヘッダの耐震性についての計算書	－	－	－	－

11.　配管解析における重心位置スペクトル法の適用について

1. 概要

配管のスペクトルモーダル解析において，配管モデルの重心位置の上階の床応答曲線を単一入力で用いる手法（以下，「重心位置スペクトル法」という。）は従来から適用しており，今回の管の耐震性についての計算書の配管解析についても適用している。

以下にその手法の妥当性を示す。

2. 重心位置スペクトル法について

配管系は，同じ建屋内の複数階，あるいは異なる建屋の間に渡って設置されることが多く，各支持点では異なった地震入力を受けるため，複数の床応答曲線を入力に用いる多入力解析法を適用することにより実現象に近い結果が算出される。しかしながら，実設計においては設計合理性等の観点より，床応答曲線の単一入力による解析を実施している。重心スペクトル法では，配管モデルの重心位置を求め，その重心位置レベルの上階の床応答曲線を単一入力で適用することを原則としている。

なお，複数建屋を渡る配管の入力震度は，配管モデルの重心位置を求め，その重心位置の上階となるそれぞれの建屋の床応答曲線を包絡したものを適用する。図 1 に複数建屋を渡る配管の床応答曲線適用概略図を，図 2 に各建屋の床応答曲線の包絡方法を示す。

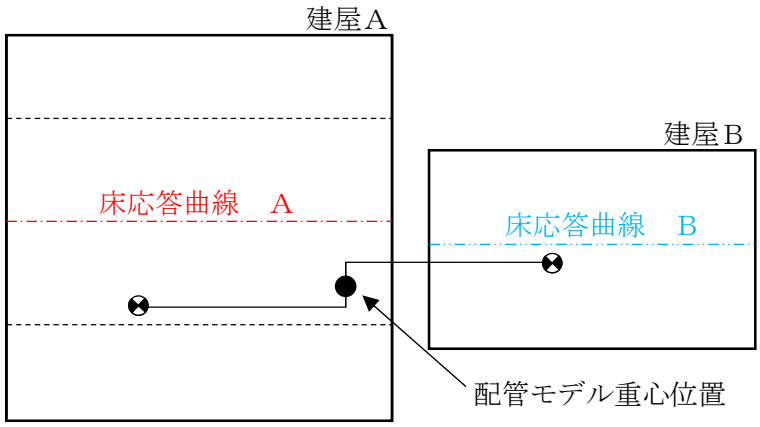


図 1.　複数建屋を渡る配管の床応答曲線適用概略図

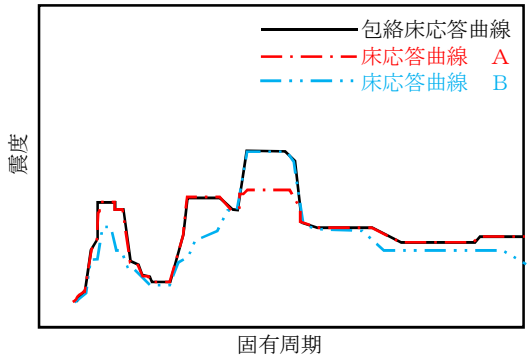


図 2.　各建屋の床応答曲線の包絡方法

3. 重心位置スペクトル法を適用する妥当性

上記重心位置スペクトル法を適用することの妥当性を示すものとして、ＪＥＡＧでの記載及び(財)原子力工学センターにおける検討を示す。

(1) ＪＥＡＧ４６０１－1987 の記載

ＪＥＡＧ４６０１－1987 には，以下記載があり重心位置スペクトル法が適用できると判断される。

「設計用床応答スペクトルは，当該系の重心位置に近いか，あるいは耐震支持点の最も多い床の物等，最も適切な床の物を採用することを基本とするが，耐震安全性評価上必要がある場合は，関連する床応答スペクトルによる多入力解析，またはそれと同等の近似解析を用いることができる。」

(2) (財)原子力工学センターにおける耐震設計の高度化に関する調査報告書

参考文献に示す(財)原子力工学センターにおける，耐震設計の高度化に関する調査報告書にて，重心位置の床応答スペクトルを用いた耐震解析が，実現象に対して保守性を有していることが確認されている。

4. 参考文献

(1) 昭和 63 年度　耐震設計の高度化に関する調査報告書　別冊 2（機器系）((財)原子力工学センター　平成元年 3 月)

(2) 平成 2 年度　耐震設計の高度化に関する調査報告書　別冊 2 (機器系)((財)原子力工学センター　平成 3 年 3 月)

12. 応力を基準とした標準支持間隔法の適用について

1. 概要

緊急時対策所用代替電源設備に係る燃料油配管（以下「燃料油配管」という。）については，応力を基準とした標準支持間隔法を適用する計画としている。燃料油配管の主要仕様を表 1 に示す。燃料油配管の標準支持間隔の設定においては，燃料油配管が設置される緊急時対策所建屋及び緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の設備評価用床応答曲線における水平方向及び鉛直方向の卓越振動数を踏まえた支持方針とする。

表 1　燃料油配管主要仕様

<table>
<tr><th colspan="2">名称</th><th>最高使用
圧力
(MPa)</th><th>最高使用
温度
(℃)</th><th>外径*1
(mm)</th><th>厚さ
(mm)</th><th>材料</th></tr>
<tr><td rowspan="5">緊急時対策所用発電機</td><td rowspan="3">緊急時対策所用発電機
燃料油貯蔵タンク
～
緊急時対策所用発電機
給油ポンプ</td><td>静水頭*2</td><td rowspan="4">45*2</td><td>60.5</td><td>3.9*1</td><td rowspan="4">STPT370</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0.5*2</td><td>60.5</td><td>3.9*1</td></tr>
<tr><td>48.6</td><td>3.7*1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">緊急時対策所用発電機
給油ポンプ
～
緊急時対策所用発電機
燃料油サービスタンク 2</td><td>静水頭*2</td><td rowspan="2">48.6</td><td rowspan="2">3.7*1</td></tr>
<tr><td>0.5*2</td><td>45*2</td><td>STPT370</td></tr>
<tr><td>緊急時対策所用発電機
燃料油サービスタンク
～
緊急時対策所用発電機
内燃機関</td><td>静水頭*2</td><td>45*2</td><td>27.2</td><td>2.9*1</td><td>STPT370</td></tr>
</table>

注記　＊1：公称値を示す。

＊2：重大事故等時における使用時の値を示す。

2. 燃料油配管の制限振動数について

燃料油配管の制限振動数を表 2 に示す。また燃料油配管を設置する緊急時対策所建屋及び緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の床応答曲線と制限振動数の関係を図 1～図 4 に示す。標準支持間隔の設定に適用する制限振動数は，水平方向及び鉛直方向の床応答曲線のピークを剛側に避けた結果となっている。

表 2　燃料油配管の制限振動数

建　屋	床応答曲線高さ E.L　(m)	制限振動数 (Hz)
緊急時対策所建屋		
緊急時対策所用発電機 燃料油貯蔵タンク基礎		

図 1 緊急時対策所建屋の床応答曲線と制限振動数との関係（水平方向）

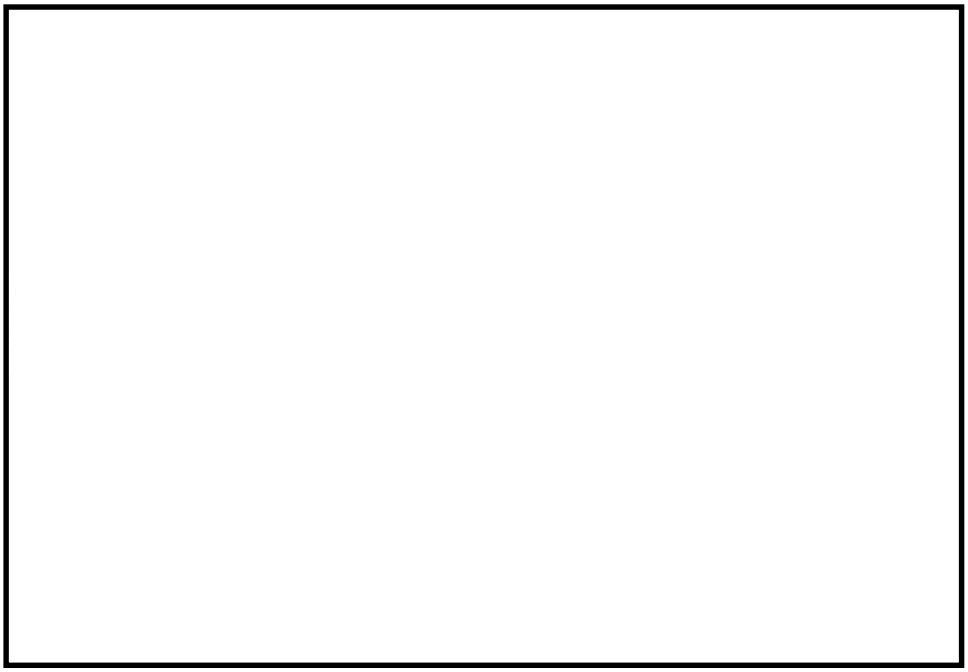


図 2 緊急時対策所建屋の床応答曲線と制限振動数との関係（鉛直方向）

図 3　緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の床応答曲線と制限振動数との関係（水平方向）

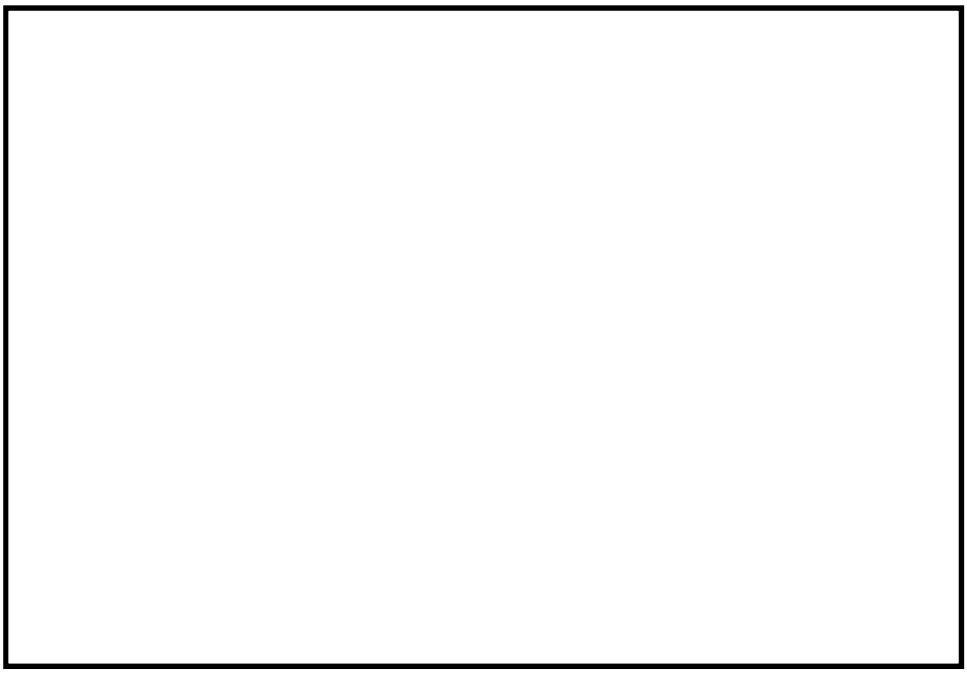


図 4　緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の床応答曲線と制限振動数との関係（鉛直方向）

3．応力を基準とした標準支持間隔法における固有周期及び応力算定方法

応力基準における標準支持間隔法では，梁の運動方程式に境界条件を与えて解析的に解く事により得られた理論式に基づき，各振動モードの固有振動数，固有ベクトル，刺激係数を算出した上で，床応答曲線から選択した応答加速度を適用する事によって，応答スペクトル解析が行われている。

以下に運動方程式から求められた式の導出手順を示す。

(1) 配管系のモデル化

応力基準における標準支持間隔法では，図5に示す配管について，2スパン3点支持の等分布質量を持つ梁としてモデル化している。

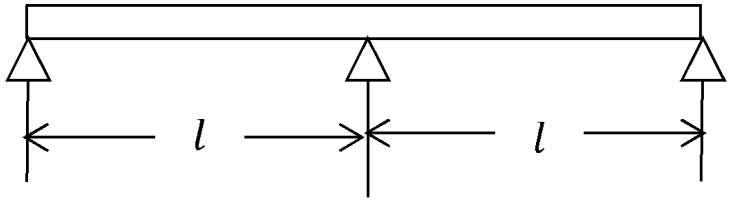


図5　等分布質量を持つ2スパン3点支持梁モデル

この時，図5に示す梁モデルの振動を表す運動方程式は，以下の様になる。

運動方程式　$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{EI}{w}\frac{\partial^4 y}{\partial t^4}$　　・・・ (1)

ここで　　w：分布質量
E：縦弾性係数
I：断面二次モーメント
y：変位
t：時間

(2) 固有値解析

(1)式の運動方程式を解く事によって，固有振動数，固有関数，刺激係数を算出する。

運動方程式の解を

$y=Y(x)(A\cos(\omega t)+B\sin(\omega t))$ ・・・(2)

とおいて，運動方程式に代入すると，次式が得られる。

$$\frac{d^4Y}{dx^4}-k^4Y=0$$

ここで，$k^4=\frac{w}{EI}\omega^2$とおく

また，運動方程式の一般解については次式となる。

$y = A_r\cos(kx)+B_r\sin(kx)+C_r\sinh(kx)+D_r\cosh(kx)$ ・・・(3)

ここで，Ar，Br，Cr，Drの係数は支持点の境界条件によって求められる

以上の関係式を踏まえて解析モデルの境界条件を踏まえて以下の関係式が算出される。

1スパン目の梁の固有関数

$y_1 = A_2(\mathrm{cosec}(kl)\cdot\sin(kx)-\mathrm{cosec}h(kl)\cdot\sinh(kx))$ ・・・(4)

同様にして，2スパン目の梁の固有関数

$y_2 = A_2(\cos(kx)-\cosh(kx)-\cot(kl)\cdot\sin(kx)+\coth(kl)\cdot\sinh(kx))$ ・・(5)

また，固有振動数fpが求められる。

$$fp = \frac{dAkn^2}{2\pi}\sqrt{\frac{EI}{wl^4}}$$ ・・・(6)

ここで，dAk_nは，振動数係数である。また，固有関数より，刺激係数$_s\beta$が求まる。

$$_n\beta=\frac{\int_0^l {}_ny_1\,dx}{\int_0^l {}_ny_1{}^2\,dx}$$ ・・・(7)

ここで，　$_n\beta$：刺激係数）

$_ny_1$：n次固有関数

一方，配管－サポート連成系の振動数の算出は，

$$fps=\frac{fp}{\sqrt{1+\left(\frac{fp}{fs}\right)^2}}$$ ・・・(8)

となる。サポートの固有振動数は，配管とサポートの質量を付加した状態で算出されており，式(8)で配管とサポートの固有振動数を合成する事によって，サポートの質量の効果が配管系の固有振動数に反映される。

(3) 応答加速度の読み取り

応答加速度α_nは作成された床応答曲線から各モードの配管－サポート連成系の振動数fpsで決定する。床応答曲線から各モードの応答加速度α_nを求める方法を図6に示す。

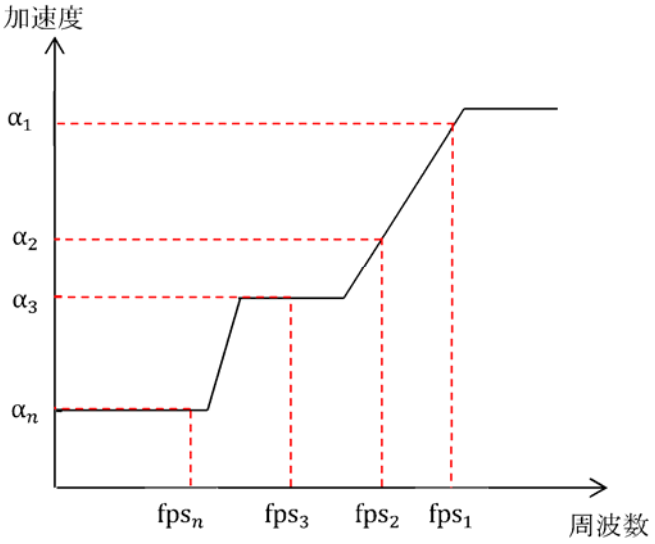


図6 床応答曲線

(4) 応答算出（応答合成）

モーメントは，以下の梁理論式に基づき，先に求めた変位関数を微分して求める。

$$M = EI\frac{d^2y}{dx^2}$$

なお，最大モーメントは2スパン梁の中央支持点に生じることから，$x=l$とおいて，

$$nMmax = -2w \cdot \beta n \cdot \alpha n \cdot \frac{1}{k_n{}^2} \quad \cdots (9)$$

また，曲げモーメント式を配管の断面係数で割ると配管応力が得られる。

$$\sigma max = \frac{Mmax}{z} = -2w \cdot \beta n \cdot \alpha n \cdot \frac{1}{k_n{}^2} \cdot \frac{1}{z} \quad \cdots (10)$$

定ピッチスパン法では，10次までのモード合成を実施していることから，配管応力は以下となる。なお，緊急時対策所建屋の燃料油配管の10次モードの固有周期は0.067秒となる。

$$\sigma max = 2w \cdot \frac{1}{z} \cdot \left[\sum_{n=1}^{10}\left\{\alpha n \cdot \frac{\beta n}{k_n{}^2}\right\}^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad \cdots (11)$$

(5) 応力評価

ＪＥＡＧ4601の規程に従い応力評価を行う。

13. ダクトの耐震計算方法について

1. 概要

主配管範囲のダクト支持点設計における直管部，曲がり部及び集中質量部の考慮について考え方を示すものである。

2. ダクト支持点設計

ダクトは適切な剛性を有するとともに，許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保している。ダクト系の直管部，曲がり部及び集中質量部の標準的な構成要素の支持間隔について，固有振動数，地震応力値等が適切であるかを検証した。

3. 直管部支持間隔

ダクト実機は連続梁であることから，ダクト１スパンに着目した場合は両端固定梁に近似されるが，設計では，支持間隔Lの算出を１スパン両端支持梁として定ピッチスパンを算出することにより，裕度を有するものとしている。両端固定梁を両端支持梁としてモデル化することによる保守性について，各計算式の比較を行い，検証した結果を以下に示す。

3.1 振動数基準スパンにおける裕度の検証

固有振動数を一定としたときの，両端支持梁の支持間隔L_1(計算結果)と両端固定梁の支持間隔L_2（実機近似)の比較結果を以下に示す。

$$L_1 = \sqrt{\frac{\pi^2}{2\cdot\pi\cdot f}\cdot\sqrt{\frac{E\cdot I\cdot g}{w}}} \quad \cdots\cdots\cdots (3.1)$$ 出典：機械工学便覧α2編 振動力学

$$L_2 = \sqrt{\frac{4.730^2}{2\cdot\pi\cdot f}\cdot\sqrt{\frac{E\cdot I\cdot g}{w}}} \quad \cdots\cdots\cdots (3.2)$$ 出典：機械工学便覧α2編 振動力学

L_1：等価分布質量を受ける両端支持梁の振動数基準支持間隔(mm)
L_2：等価分布質量を受ける両端固定梁の振動数基準支持間隔(mm)
f　：固有振動数(Hz)
E　：縦弾性係数(N/mm^2)
I　：断面二次モーメント(mm^4)
g　：重力加速度(mm^4)
w　：ダクト単位長さ重量(N/mm)

(3.1),(3.2)式より，同一断面，重量のダクトにおける支持間隔L_1はL_2の0.67 倍(33%の設計裕度を有する)である。したがって，実機に対し保守的な支持間隔が算出される結果となり，振動数基準スパンにおいて設計裕度を有している。

3.2 モーメント基準スパンにおける裕度の検証

モーメントを一定としたときに，両端支持梁の支持間隔L_3(計算結果)と両端固定梁の支持間隔L_4(実機近似)の比較結果を以下に示す。

$$L_3 = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{w}} \quad \cdots\cdots\cdots (3.3)$$ 出典：機械工学便覧α3編 材料力学

$$L_4 = \sqrt{\frac{12 \cdot M}{w}} \quad \cdots\cdots\cdots (3.4)$$ 出典：機械工学便覧α3編 材料力学

L_3：等価分布質量を受ける両端支持梁の振動数基準支持間隔(mm)
L_4：等価分布質量を受ける両端固定梁の振動数基準支持間隔(mm)
M ：許容座屈曲げモーメント(N･mm)

(3.3),(3.4)式より，同一断面，重量のダクトにおける支持間隔L_3はL_4の 0.82 倍(18%の設計裕度を有する)である。したがって，実機に対し保守的な支持間隔が算出される結果となり，モーメント基準スパンにおいて設計裕度を有していると言える。

4. 曲がり部支持間隔

ダクトの曲がり部については，これらの近傍を支持することを原則とし，その支持間隔は直管部の支持間隔以内に収まるよう支持点設計を行っている。

しかし，曲がり部は直管部に比べ曲がり面と直角な方向（面外方向）の振動数が低下するため，面外振動を抑えるよう支持を行う必要性，並びに，曲がり角に対する振動数低下の関係についても考慮する必要性がある。これに対し，曲がり部面外方向への振動数低下の影響については，曲がり部近傍にて面外振動を抑える支持を行うことで対策は可能であるが，曲がり角に対する振動数低下の影響については，直管部と同様にダクトを１スパン両端単純支持梁としたモデル化により支持間隔を算定することで，3.項で検証した裕度内に曲がり角に対する振動数低下率が収まることの検証を行い，その結果を以下に示す。

4.1 曲がり角と振動数低下による縮小率の検証

曲がり角と面外方向の振動数係数λの関係を図１に示す。図１より，曲がり角がπ(＝直管)の場合，$\lambda_{\pi/2}$=4.73 であるのに対して，ℓ1＝ℓ2 の場合に最も振動数係数が低下し，曲がり角がπ/2(＝曲管)の場合で，$\lambda_{\pi/2}$=3.95 まで低下することがわかる。したがって，ダクトの振動数を低下させないようにするための支持間隔の縮小率は次式のとおりとなる。(4.1)式より，直管部に対する曲がり部支持間隔の縮小率は 0.83 倍(17%)である。

$$\frac{l_{曲管}}{l_{直管}} = \frac{\lambda_{\pi/2}}{\lambda_{\pi}} = \frac{3.95}{4.73} = 0.83 \cdots\cdots (4.1)$$

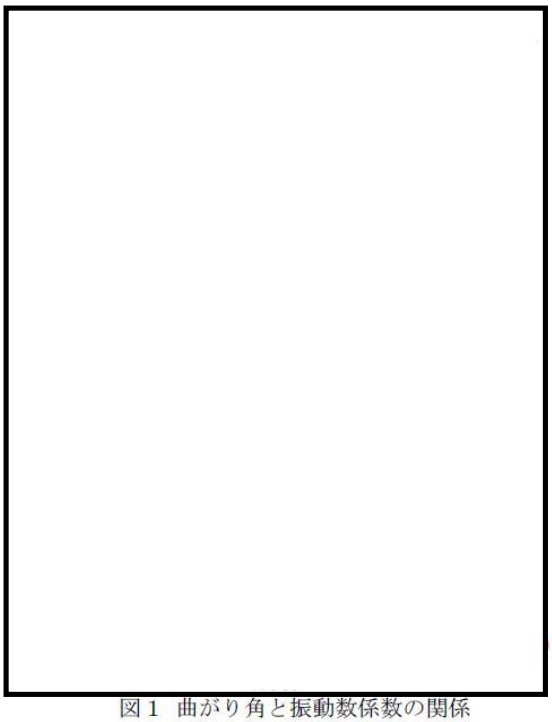


図１ 曲がり角と振動数係数の関係
（JEAG4601-1987 より引用）

4.2 検証結果

以上の結果より，直管部に対する曲がり部支持間隔の縮小率(17%)は，第 3 章で検証した直管部支持間隔の裕度以内(min(33%, 18%))に収まる結果であり，現状，１スパン両端支持梁による直管部の定ピッチスパンは，実機の曲がり部に対して設計裕度を有している，と言える。

5. 集中質量部支持間隔

ダクトに自動ダンパ等の重量物が取り付く場合は，重量物自体又は近傍を支持するものとしている。また，設計考慮として，実際に集中重量を考慮した許容スパンを算定し，重量物の近傍支持としている実機の耐震支持間隔と比較することにより検証を行う。

14. Bijlaard の方法の適用文献について

1. 経緯

「Ⅴ-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書」,「Ⅴ-2-5-3-1-1　アキュームレータの耐震性についての計算書」及び「Ⅴ-2-9-5-4-1　低圧マニホールドの耐震性についての計算書」の胴の脚取付部の評価には，ＪＥＡＧ４６０１－1987 に基づき Bijlaard の方法を適用している。

ＪＥＡＧ４６０１－1987 では，表 1 に示す「Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, WRC bulletin 107 / August 1965.」（以下，Bijlaard 引用文献という。）の 1979 年版を適用することが記載されている。しかし，Bijlaard 引用文献の 1979 年版の応力係数表には「β_1/β_2」と記載があり，他の発行年版「β_2/β_1」と違うため，上記の耐震性についての計算書においては，応力係数表を「β_2/β_1」として適用する。本資料では，応力係数表の「β_1/β_2」と「β_2/β_1」の違いによる影響を確認する。

2. 適用文献の発行年による応力係数表の違いについて

Bijlaard の方法は，胴及び脚付根部の形状からシェルパラメータγ，アタッチメントパラメータβを決定し，Bijlaard 引用文献に記載された図表から応力や応力係数を読み取ることにより，胴の脚付根部に発生する応力を算出する方法である。

ここで，ＪＥＡＧ４６０１－1987 では，Bijlaard 引用文献 1979 年版を適用することが記載されているが，引用文献の発行年版により応力係数の「β_1/β_2」の記載に違いがある。各発行年版の違いを表 1 に示す。

表 1　Bijlaard の方法に用いる引用文献の発行年による違い

引用文献名	発行年	応力係数表 (Table-8) の記載	備考
Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, WRC bulletin 107 / August 1965.	(1)1965 年	β_2/β_1	
	(2)1979 年	β_1/β_2	ＪＥＡＧ４６０１－1987 にて引用
	(3)2002 年	β_2/β_1	ＪＥＡＧ４６０１－2015 にて引用
Wichman, K.R. et al.: Precision Equations and Enhanced Diagrams for Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells Due to External Loadings for Implementation of WRC Bulletin 107, Welding Research Council bulletin, WRC bulletin 537 / 2010	(4)2010 年	β_2/β_1	

3. 影響評価

Bijlaard の方法における応力係数表の「β_1/β_2」と「β_2/β_1」の違いによる影響について，アキュームレータを代表として確認した結果を表 2 に示す。確認の結果，現状適用している 1979 年版「β_1/β_2」と 2002 年版「β_2/β_1」の違いによる影響は小さいことを確認した。

表 2　応力係数表の違いによる影響確認結果

<table>
<tr><th>1979年版（β_1/β_2）</th><th>2002年版（β_2/β_1）</th></tr>
<tr><td>

(1) 計算条件
a.　シェルパラメータ　γ
rm ＝ (Di＋t)/2 ＝ (　550　＋ 12.0)　/　2 ＝　281.0　(mm)
γ ＝ rm/t ＝　281.0　/　12.0 ＝　23.4167

b.　アタッチメントパラメータ　β
β_1 ＝　C_1/rm　＝　75　/　281.0　＝　0.266904
β_2 ＝　C_2/rm　＝　90　/　281.0　＝　0.320285
β_1　/　β_2 ＝ 0.266904　/　0.320285　＝　0.833333

(2) 長手方向曲げモーメントMℓに対する応力係数
Table 8-Longitudinal Moment (M_L)より，

<table>
<tr><td></td><td></td><td>β_1/β_2=0.5</td><td></td><td>β_1/β_2=1</td><td></td></tr>
<tr><td>γ</td><td></td><td>15</td><td>100</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>Cℓ for Nϕ</td><td></td><td>0.90</td><td>0.97</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>Cℓ for Nx</td><td></td><td>0.76</td><td>0.68</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="2">γによる補間</td><td>Cℓ_1</td><td colspan="2">0.906931</td><td colspan="2">1.00</td></tr>
<tr><td>Cℓ_2</td><td colspan="2">0.752078</td><td colspan="2">1.00</td></tr>
<tr><td rowspan="2">β_1/β_2による補間</td><td>Cℓ_1</td><td colspan="4">0.968977　→　0.97</td></tr>
<tr><td>Cℓ_2</td><td colspan="4">0.917359　→　0.92</td></tr>
</table>

$$\sigma_{\phi 3} = 2.203 \times \frac{4.01452E+04}{281^2 \times 12 \times 0.301399} \times 0.97$$
$$= 0.300389 \ (MPa)$$

$$\sigma_{x 3} = 1.008 \times \frac{4.01452E+04}{281^2 \times 12 \times 0.301399} \times 0.92$$
$$= 0.130361 \ (MPa)$$

(3) 組合せ応力
(a) 一次応力
i)　水平方向地震力(Z方向)及び鉛直方向地震力が作用した場合
(i) 第1脚付け根部
第1評価点

$$\sigma_{\phi z1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 71}$$
$$= 5.36180E+01 + \mathbf{3.00389E-01} + 1.27287E-02 + 0.00000E+00 + 3.75486E-01 + 1.59109E-02 + 3.34240E-01 + 7.67129E-01$$
$$= \mathbf{5.54239E+01} \ (MPa)$$

$$\sigma_{\phi x1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} + \sigma_{x9} + \sigma_{x61} + \sigma_{x71}$$
$$= 2.68090E+01 + 1.38859E-01 + \mathbf{1.30360E-01} + 1.32265E-02 + 3.49412E-01 + 1.73574E-01 + 1.62950E-01 + 1.65331E-02 + 3.47311E-01 + 3.32913E-01 = \mathbf{2.84741E+01} \ (MPa)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2}\left\{ (\sigma_{\phi z1} + \sigma_{\phi x1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z1} - \sigma_{\phi x1})^2} \right\}$$
$$= \frac{1}{2}\left\{ (5.54239E+01 + 2.84741E+01) + \sqrt{(5.54239E+01 - 2.84741E+01)^2} \right\}$$
$$= \mathbf{5.54239E+01} = 56 \ (MPa)$$

</td><td>

(1) 計算条件

β_2　/　β_1 ＝ 0.320285　/　0.266904　＝　1.20000

(2) 長手方向曲げモーメントMℓに対する応力係数
Table 8-Longitudinal Moment (M_L)より，

<table>
<tr><td></td><td></td><td>β_2/β_1=1</td><td></td><td>β_2/β_1=2</td><td></td></tr>
<tr><td>γ</td><td></td><td>－</td><td>－</td><td>15</td><td>100</td></tr>
<tr><td>Cℓ for Nϕ</td><td></td><td>－</td><td>－</td><td>0.87</td><td>0.81</td></tr>
<tr><td>Cℓ for Nx</td><td></td><td>－</td><td>－</td><td>1.30</td><td>1.15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">γによる補間</td><td>Cℓ_1</td><td colspan="2">1.00</td><td colspan="2">0.864059</td></tr>
<tr><td>Cℓ_2</td><td colspan="2">1.00</td><td colspan="2">1.28515</td></tr>
<tr><td rowspan="2">β_1/β_2による補間</td><td>Cℓ_1</td><td colspan="4">0.972812　→　0.97</td></tr>
<tr><td>Cℓ_2</td><td colspan="4">1.057029　→　1.06</td></tr>
</table>

$$\sigma_{\phi 3} = 2.203 \times \frac{4.01452E+04}{281^2 \times 12 \times 0.301399} \times 0.97$$
$$= 0.300389 \ (MPa)$$

$$\sigma_{x 3} = 1.008 \times \frac{4.01452E+04}{281^2 \times 12 \times 0.301399} \times 1.06$$
$$= 0.150198 \ (MPa)$$

(3) 組合せ応力
(a) 一次応力
i)　水平方向地震力(Z方向)及び鉛直方向地震力が作用した場合
(i) 第1脚付け根部
第1評価点

$$\sigma_{\phi z1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 71}$$
$$= 5.36180E+01 + \mathbf{3.00389E-01} + 1.27287E-02 + 0.00000E+00 + 3.75486E-01 + 1.59109E-02 + 3.34240E-01 + 7.67129E-01$$
$$= \mathbf{5.54239E+01} \ (MPa)$$

$$\sigma_{\phi x1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} + \sigma_{x9} + \sigma_{x61} + \sigma_{x71}$$
$$= 2.68090E+01 + 1.38859E-01 + \mathbf{1.50198E-01} + 1.32265E-02 + 3.49412E-01 + 1.73574E-01 + 1.62950E-01 + 1.65331E-02 + 3.47311E-01 + 3.32913E-01 = \mathbf{2.84940E+01} \ (MPa)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2}\left\{ (\sigma_{\phi z1} + \sigma_{\phi x1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z1} - \sigma_{\phi x1})^2} \right\}$$
$$= \frac{1}{2}\left\{ (5.54239E+01 + 2.84940E+01) + \sqrt{(5.54239E+01 - 2.84940E+01)^2} \right\}$$
$$= \mathbf{5.54239E+01} = 56 \ (MPa)$$

</td></tr>
<tr><td colspan="2">

(4) 結論
バイラードの文献において，1979年版と2002年版について比較を実施したところ，上記に示すように，発生応力の差は軽微であり最終的に切上げ表示をした場合は変わらない結果である。
よって，1979年版を適用した計算結果と2002年版で適用した計算結果は大差ないことを確認した。

</td></tr>
</table>

15. 主蒸気管の弾性設計用地震動Ｓ$_d$での耐震評価について

本資料では，主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）における耐震重要度分類の考え方及び耐震評価結果について示す。

15-1 主蒸気管における耐震重要度分類及び評価用に適用する地震動の考え方について

15-2 評価用地震動における評価結果

15-1 主蒸気管における耐震重要度分類及び評価用に適用する地震動の考え方について

1. はじめに

主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）については，耐震Ｂクラスに分類され，また弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対して破損しないことの検討を行うこととしている。

本資料においては，主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）の耐震重要度分類の考え方及び評価に適用する地震動の考え方について示す。

2. 耐震クラス設定の考え方

耐震重要度分類において，主蒸気管は，以下のクラス分類の規定に基づき，Ｂクラスに分類している。

「安全機能を有する施設のうち，機能喪失した場合の影響がＳクラスの施設と比べ小さい施設であって，原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて，一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設」

さらに，主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）については，仮に破断した場合に，一次冷却系から直接外部へ放射性気体（核分裂生成物）を放出する事象が引き起こされる可能性があることに配慮して，弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対して破損しないことの検討を行うこととした。

設備の耐震上の重要度分類にあたって，ＪＥＡＧ4601・補－1984 重要度分類編において検討した内容が整理されている。（図 1 参照）

この中で，「放射性物質に関連する設備の耐震重要度分類と被ばく線量」に関して，設備単体が破損したときに全身 0.5 レム以上の被ばくを与えるものは基準地震動Ｓ$_1$による機能維持の確認を行うべき，としている。これにより，基準地震動Ｓ$_2$による設備の同時破損を想定しても，被ばく線量を「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」の目安線量に対して十分小さくすることができることになる。

また，主蒸気管については，仮に原子炉格納容器外で破損した場合の被ばく線量は，小児甲状腺 1.5 レム以下となることが当時の評価方法で得られており，基準地震動Ｓ$_1$に対し機能維持をする必要は必ずしもない。一方で，複数基立地の発電所で主蒸気管の同時破損を想定すると，仮定の仕方により目安線量を超える場合もあり得るとして，主塞止弁ま

での部分は，基準地震動Ｓ$_1$で破損しないことの確認を行っておくことが望ましいとしている。さらに，被ばく評価の基準が見直されたら，基準地震動Ｓ$_1$に対する検討も再度見直す必要があるとしている。

被ばく評価の基準に関しては，「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（平成２年８月 30 日原子力安全委員会決定）で判断基準が示されている。主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）については，破損時に上記審査指針に定められている事故時の実効線量に関する判断基準(5mSv)を超えないという条件が満たされる必要がある。

東海第二の原子炉設置変更許可申請書における主蒸気管破断時の評価結果によると，被ばく量は 0.18mSv であり，上記の判断基準（5mSv）と比較して小さい。このことから，主蒸気管は耐震Ｂクラスとすることは妥当である。一方で，主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）が破断した場合，一次冷却系から直接外部へ放射性気体（核分裂生成物）を放出する事象が引き起こされる可能性があることに配慮することとし，念のため，主蒸管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）を弾性設計用地震動Ｓ$_d$で破損しないことの検討を行うこととしたものである。

以上のように，被ばく評価結果に基づき耐震Ｂクラスの妥当性を確認するとともに，放射性物質の放出の可能性に配慮して弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対して破損しないことの検討を行うこととしたものであり，基準地震動Ｓ$_1$を弾性設計用地震動Ｓ$_d$に読み換えたものではない。

【参考：耐震設計審査指針改訂（平成 18 年９月）による耐震重要度と適用する地震動との関連について】

次に耐震重要度分類と適用する地震動に関して，ＪＥＡＧ4601・補－1984 重要度分類編発刊当時は，耐震Ａクラスのうち特に重要な施設を耐震Ａｓクラスとし，耐震Ａクラス施設に対して基準地震動Ｓ$_1$を，耐震Ａｓクラス施設に対して基準地震動Ｓ$_1$，Ｓ$_2$を適用することとなっていた。その後，平成 18 年に改訂された耐震設計審査指針において，耐震重要度分類については，Ａｓクラス及びＡクラスを統合してＳクラスとし，適用する地震動は基準地震動Ｓ$_s$のみとなった。さらに，施設の安全機能の保持を高い精度で確認するため弾性設計用地震動Ｓ$_d$を規定し，Ｓクラス施設に適用することとなった。

上記のような改訂経緯から，基準地震動Ｓ$_1$と弾性設計用地震動Ｓ$_d$とは直接関連するものではない。

4. 放射性物質に関連する設備の耐震重要度分類と被ばく線量

4.1 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて1次冷却材を内蔵しているか，又は内蔵し得る設備（特にＢＷＲ主蒸気管）(1)

これらの設備は本文では，耐震Ｂクラスに分類されているが，耐震上の重要度分類に当たっては，基準地震動Ｓ$_2$による設備破損が想定される場合にはこれによる被ばくが少なくとも「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」（以下立地審査指針という。）の目安線量を超えないという条件がみたされる必要がある。また，基準地震動 Ｓ$_2$より発生頻度の高い基準地震動Ｓ$_1$に対しては，これより小さい線量に抑えるべきと考えられるが，これに相当する線量としてその設備単体が破損した時に全身 0.5 (2) レム以上の被ばくを与えるものは基準地震動Ｓ$_1$による機能維持の確認を行うべきものとする。こうすることにより，たとえ基準地震動Ｓ$_2$による設備の同時破損を想定しても，その際の被ばく線量を立地審査指針の目安線量に対し十分小さくすることができる。

ＢＷＲ主蒸気管がもし原子炉格納容器外で破損すれば現在の評価方法では，小児甲状腺1.5レム以下の被ばく線量となるので，基準地震動Ｓ$_1$に対し機能維持をする必要は必ずしもない。しかし，現在の被ばく評価法が保守的なため，一発電所に多数基が設置されている場合，基準地震動Ｓ$_1$による複数の主蒸気管の同時破損の仮定のしかたによっては，目安線量を超える場合もあり得る。したがって，ＢＷＲ主蒸気管のうち主塞止弁までの部分は，当面基準地震動Ｓ$_1$で破損しないことの確認を行っておくことが望ましいと考えられる。

なお，現在の被ばく評価における線源，解析条件の設定は非常に苛酷なものであり，炉水の放射能濃度，沃素の燃料からの追加放出量等の線源の見直し，放出過程での大幅な放射能の減衰効果等の評価法の見直しが行われれば，かなりの基数があっても甲状腺被ばくを十分低く抑えることが可能と考えられるので，現在の被ばく評価の基準が見直された時点で，上記基準地震動Ｓ$_1$に対する検討について再度見直される必要がある。

それ以外の設備については，主蒸気管破断事故より被ばく線量が小さいので原則として耐震Ｂクラスとする。

注：(1) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されている配管としてはＢＷＲの主蒸気管の他にＢＷＲでは，①原子炉冷却材浄化系 ②給水系，ＰＷＲでは，①抽出系 ②余剰抽出系がある。ＢＷＲの逃がし安全弁排気管，ＰＷＲの加圧器逃がし弁排気管のようにその下流側が開放されており内蔵機能を持っていないものは，本分類に該当しないものとする。

(2) 目安線量として全身被ばく線量を0.5レム，小児甲状腺被ばく線量を1.5レムと考える。

図１　ＪＥＡＧ4601・補－1984 重要度分類編（抜粋）

15-2 評価用地震動における評価結果

1. はじめに

説明資料〔15-1 主蒸気管における耐震重要度分類及び評価用に適用する地震動の考え方について」において，主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）は，耐震Ｂクラス，かつ，弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対して破損しないことの検討を行うこととしている。

ここでは，主蒸気管（外側主蒸気隔離弁より主塞止弁まで）について，弾性設計用地震動Ｓ$_d$を作用させた場合の応力評価を示す。

2. 応力評価

(1) 評価条件

主蒸気管のうち，外側主蒸気隔離弁より主塞止弁までを評価対象とし，評価条件を下表に示す。また，評価に適用する設計用床応答曲線を添付-1 に示す。なお，タービン建屋の設計用床応答曲線については，添付書類「Ⅴ-2-11-2-11 タービン建屋の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルに弾性設計用地震動Ｓ$_d$を入力して得られる各床の応答解析結果から設定した。

系統名称	耐震設計上の重要度分類	設置建屋	設置高さ EL.（m）	減衰定数（%）
主蒸気系 (MS-T-1)	B	原子炉建屋		
		タービン建屋		

(2) 固有周期及び刺激係数

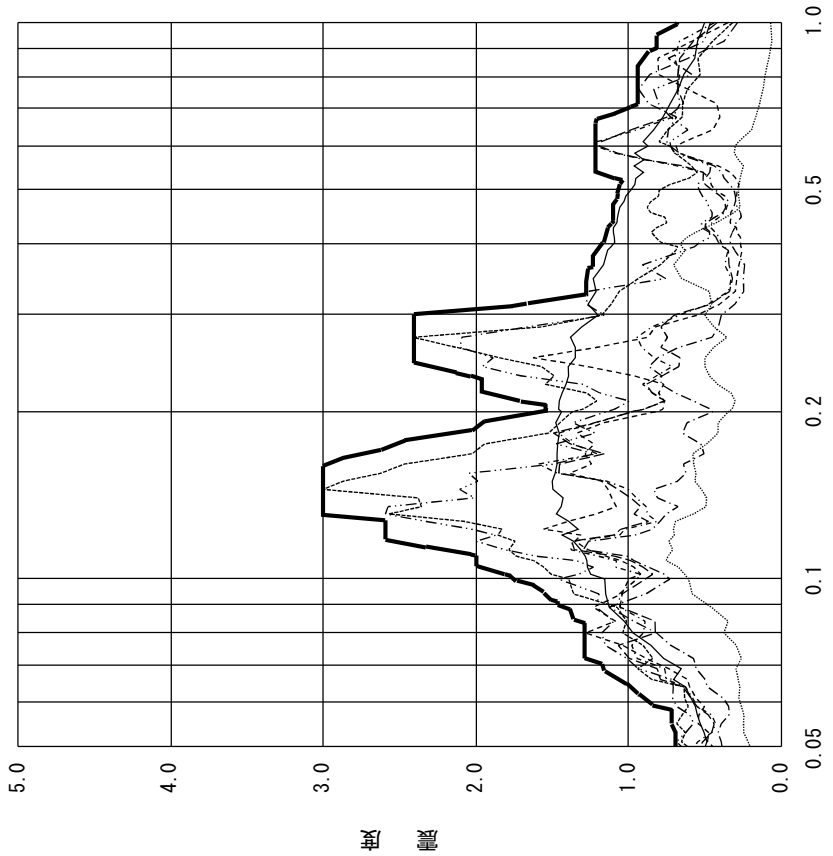
主蒸気系（MS-T-1）の固有周期及び刺激係数を下表に示す。また，振動モードの代表として3次までのモード図を添付-2に示す。

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				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
102次				

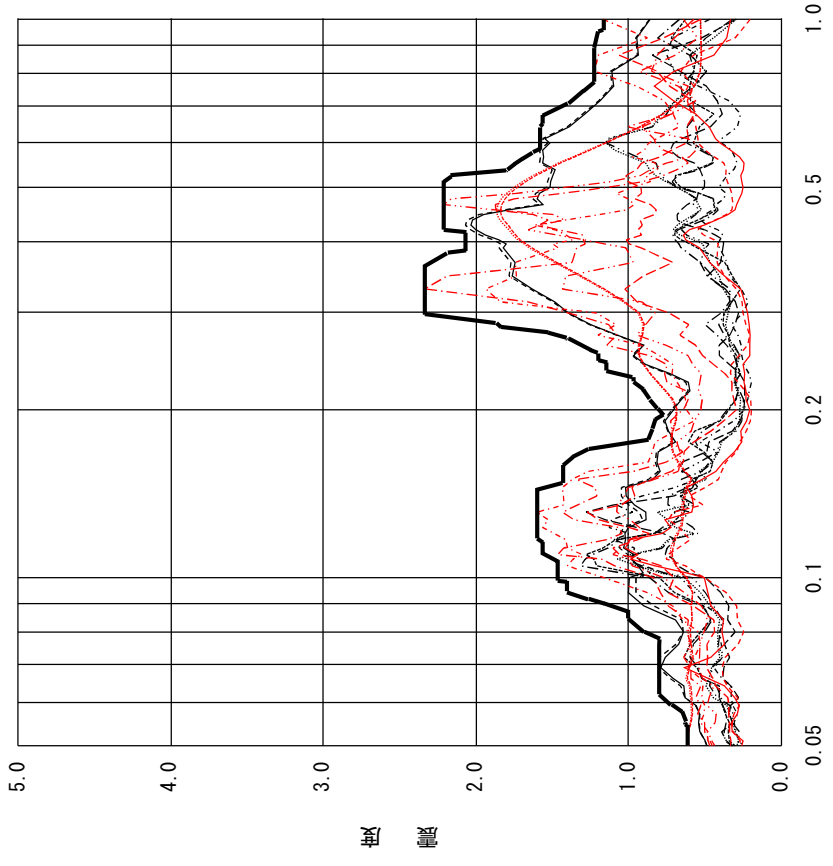
(3) 評価結果

主蒸気系（MS-T-1）の最大応力点の応力評価結果を下表に示す。また，最大応力点を添付-3に示す。なお，許容応力に関して，機能維持の観点からは許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$に対する評価で十分であるが，ここでは，許容応力状態$\mathrm{III_AS}$における許容応力とする。

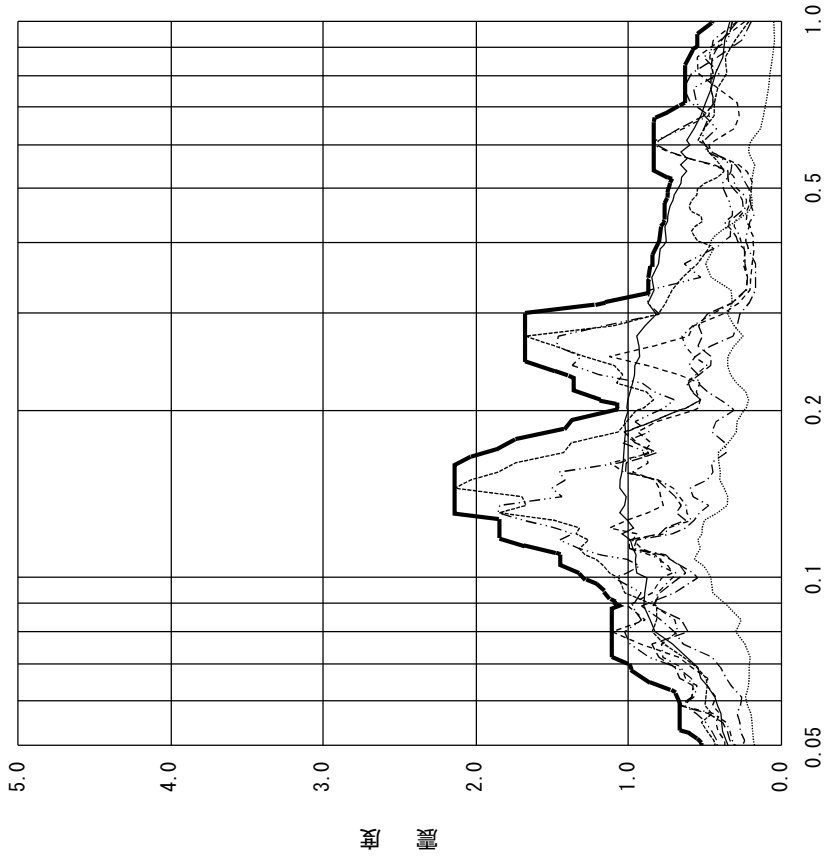
応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
一次応力	168	380
一次＋二次応力	256	418



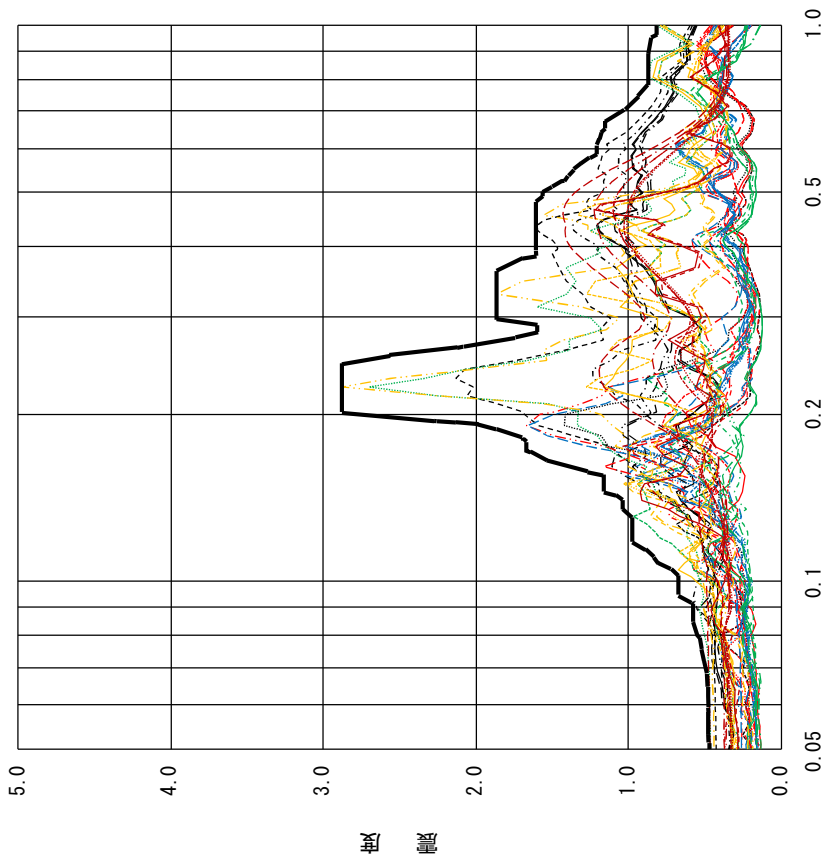
(弾性設計用地震動Ｓｄ，水平方向，
原子炉建屋，標高 EL. 20.300m，減衰定数 3.0%)
設計用床応答曲線



(弾性設計用地震動Ｓｄ，水平方向，
原子炉建屋，標高 EL. 20.300m，減衰定数 3.0%)
設計用床応答曲線



(弾性設計用地震動Ｓｄ，鉛直方向，
タービン建屋，標高 EL. 18.000m，減衰定数 3.0%)
設計用床応答曲線



(弾性設計用地震動Ｓｄ，水平方向，
タービン建屋，標高 EL. 18.000m，減衰定数 3.0%)
設計用床応答曲線

16. コンクリートのポアソン比に対する検討について

今回工認では，原子炉本体の基礎及びダイヤフラム・フロアにおけるコンクリートは，既工認で適用している「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」に基づき，ポアソン比 0.167 を使用している。一方，最新の「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」では，ポアソン比は 0.2 である。

ここでは，ポアソン比の差異による影響に関して以下の検討を行った。

(1) 地震応答解析において，原子炉本体の基礎のコンクリートについてポアソン比を 0.2 とした場合の影響

本検討内容については，本補足説明資料〔補足-340-13〕の「10. 大型機器，構造物の地震応答計算書の補足について」に示す。

(2) 耐震性評価において，原子炉本体の基礎のコンクリートについてポアソン比を 0.2 とした場合の影響

本資料の第 1 編に検討内容を示す。

(3) 耐震性評価において，ダイヤフラム・フロアのコンクリートについてポアソン比を 0.2 とした場合の影響

本資料の第２編に検討内容を示す。

第１編　原子炉本体の基礎のポアソン比を 0.2 とした場合の耐震性評価への影響

1. 概要

建設時の工事計画認可申請書の「原子炉本体の基礎に関する説明書」における適用規格は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）」（以下「ＲＣ規準」という。）であり，本補正工事計画認可申請書における適用規格は「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）（日本機械学会）」（以下「ＣＣＶ規格」という。）である。

建設時のＲＣ規準と現行のＣＣＶ規格のポアソン比には相違があり，ＲＣ規準とＣＣＶ規格で規定されている値はそれぞれ 0.167 と 0.2 である。

本補正工事計画認可申請書の「原子炉本体の基礎に関する説明書」では，設計当時からの評価の一貫性を考慮し，建設時のＲＣ規準のポアソン比 0.167 をそのまま用いている。

本補足説明資料は，ＣＣＶ規格で規定されているポアソン比 0.2 を用いた場合においても，原子炉本体の基礎の健全性が確保されていることを示すものである。

2. 評価結果

原子炉本体の基礎の耐震評価結果を表 1～表 7 に示す。また，強度評価結果を表 8 及び表 9 に示す。

この結果から，ポアソン比 0.167 と 0.2 で結果に違いは出るものの，その差は微小であり，結果に影響を与えるものではないことを確認した。

また，発生値は許容値を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

表１　荷重状態Ⅲ　軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（たて方向）

（設計基準対象施設としての耐震評価）

箇所名	荷重番号	応力状態	設計応力		a_{ty}	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
			N_y (kN/m)	M_y (kN･m/m)	(mm^2/m)	$c\sigma c$ N/mm^2	$s\sigma c$ N/mm^2	$s\sigma t$ N/mm^2	cf_c N/mm^2	sf_c N/mm^2	sf_t N/mm^2	
A	3	2	3775	-875	11998	0.0	113.1	201.7	-16.5	-345	345	可
B	3	2	8771	-1090	15970	0.0	233.2	316.1	-16.5	-345	345	可
C	3	2	815	-299	9697	0.0	12.9	71.2	-16.5	-345	345	可
D	3	2	-512	-36	7095	-0.8	-10.2	-5.1	-16.5	-345	345	可

表２　荷重状態Ⅳ　軸力及び曲げモーメントによるひずみ検討結果（たて方向）

（設計基準対象施設としての耐震評価）

箇所名	荷重番号	応力状態	設計応力		a_{ty}	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
			N_y (kN/m)	M_y (kN･m/m)	(mm^2/m)	$c\varepsilon c$ ($\times10^{-6}$)	$s\varepsilon c$ ($\times10^{-6}$)	$s\varepsilon t$ ($\times10^{-6}$)	$c\varepsilon cu$ ($\times10^{-6}$)	$s\varepsilon cu$ ($\times10^{-6}$)	$s\varepsilon tu$ ($\times10^{-6}$)	
A	4	1	5510	-1958	11998	0	637	1604	-3000	-5000	5000	可
B	4	1	8438	-966	15970	0	1109	1469	-3000	-5000	5000	可
C	4	1	2183	-223	9697	0	443	656	-3000	-5000	5000	可
D	4	1	147	-117	7095	-66	-17	189	-3000	-5000	5000	可

表３　面外せん断の検討結果（たて方向）

（設計基準対象施設としての耐震評価）

箇所名	荷重状態	荷重番号	応力状態	設計応力		Q (N/mm)	許容値 面外(Q_A) (N/mm)	p_w (%)	判定
				M (kN･m/m)	Q (kN/m)				
A	Ⅲ	3	2	-307	605	605	2992	0.54	可
	Ⅳ	4	1	-1958	-853	853	3990	0.54	可
B	Ⅲ	3	2	-1091	-579	579	1551	0.00	可
	Ⅳ	4	1	-1113	-718	718	1757	0.00	可
C	Ⅲ	3	2	-299	-124	124	1364	0.00	可
	Ⅳ	4	1	-223	-119	119	1717	0.00	可
D	Ⅲ	3	2	-37	-160	160	576	0.00	可
	Ⅳ	4	1	-117	-171	171	576	0.00	可

表 4　脚部アンカー部の評価結果

（設計基準対象施設としての耐震評価）

荷重状態	荷重番号	アンカー引抜力		許容値		判定
		アンカーボルト (N/mm^2)	アンカー定着部 ($N/2.65°$)	アンカーボルト (N/mm^2)	アンカー定着部 ($N/2.65°$)	
Ⅲ	3	164	7.312×10^5	651	8.084×10^5	可
Ⅳ	4	233	1.061×10^6		1.077×10^6	可

表 5　荷重状態Ⅴ　軸力及び曲げモーメントによるひずみ検討結果（たて方向）

（重大事故等時の機能維持のための耐震評価）

箇所名	荷重記号	応力状態	設計応力		a_{ty} (mm^2/m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
			N_y (kN/m)	M_y (kN·m/m)		$_c\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_t$ ($\times10^{-6}$)	$_c\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{tu}$ ($\times10^{-6}$)	
A	(b)	1	2734	-1770	11998	0	119	993	-3000	-5000	5000	可
	(c)	1	3415	-1506	11998	0	323	1066	-3000	-5000	5000	可
B	(b)	1	5875	-1163	15970	0	682	1113	-3000	-5000	5000	可
	(c)	1	7971	-1387	15970	0	960	1475	-3000	-5000	5000	可
C	(b)	1	-211	-169	9697	-35	-25	30	-3000	-5000	5000	可
	(c)	1	1156	-234	9697	0	180	403	-3000	-5000	5000	可
D	(b)	1	157	-242	7095	-144	-52	340	-3000	-5000	5000	可
	(c)	1	166	-254	7095	-151	-55	357	-3000	-5000	5000	可

表 6　面外せん断の検討結果（たて方向）

（重大事故等時の機能維持のための耐震評価）

箇所名	荷重状態	荷重記号	応力状態	設計応力		Q (N/mm)	許容値 面外(Q_A) (N/mm)	p_w (%)	判定
				M (kN·m/m)	Q (kN/m)				
A	V	(b)	1	-1771	-701	701	3990	0.54	可
	V	(c)	1	-1506	-461	461	3990	0.54	可
B	V	(b)	1	-1163	-705	705	2296	0.00	可
	V	(c)	1	-1388	-618	618	2131	0.00	可
C	V	(b)	1	-168	-80	80	1896	0.00	可
	V	(c)	1	-235	-121	121	1794	0.00	可
D	V	(b)	1	-244	-407	407	576	0.00	可
	V	(c)	1	-254	-418	418	576	0.00	可

表７　脚部アンカー部の評価結果

（重大事故等時の機能維持のための耐震評価）

荷重状態	荷重番号	アンカー引抜力		許容値		判定
		アンカーボルト (N/mm^2)	アンカー定着部 (N/[redacted])	アンカーボルト (N/mm^2)	アンカー定着部 (N/[redacted])	
V	（c）	233	1.061×10^6	651	1.077×10^6	可

表８　荷重状態Ⅴ　軸力及び曲げモーメントによるひずみ検討結果（たて方向）

（重大事故等時の機能維持のための強度評価）

箇所名	荷重記号	応力状態	設計応力		a_{ty} (mm^2/m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
			N_y (kN/m)	M_y (kN･m/m)		$_c\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_t$ ($\times10^{-6}$)	$_c\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{tu}$ ($\times10^{-6}$)	
A	(a)	1	-3024	-623	11998	-110	-103	-40	-3000	-5000	5000	可
B	(a)	1	-7122	-97	15970	-170	-169	-160	-3000	-5000	5000	可
C	(a)	1	-2267	-7	9697	-75	-74	-73	-3000	-5000	5000	可
D	(a)	1	114	-190	7095	-113	-42	264	-3000	-5000	5000	可

表９　面外せん断の検討結果（たて方向）

（重大事故等時の機能維持のための強度評価）

箇所名	荷重状態	荷重記号	応力状態	設計応力		Q (N/mm)	許容値 面外(Q_A) (N/mm)	p_w (%)	判定
				M (kN･m/m)	Q (kN/m)				
A	V	(a)	1	638	570	570	2992	0.54	可
B	V	(a)	1	-98	-256	256	2488	0.00	可
C	V	(a)	1	-7	39	39	1538	0.00	可
D	V	(a)	1	-193	-347	347	576	0.00	可

第２編　ダイヤフラム・フロアのコンクリートのポアソン比を 0.2 とした場合の耐震性評価への影響

3. 概要

建設時の工事計画認可申請書の「ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書」における適用規格は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本機械学会）」（以下「ＲＣ規準」という。）であり，本補正工事計画認可申請書における適用規格は「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)（日本機械学会）」(以下「ＣＣＶ規格」という。）である。

建設時のＲＣ規準と現行のＣＣＶ規格のポアソン比には相違があり，ＲＣ規準とＣＣＶ規格で規定されている値はそれぞれ 0.167 と 0.2 である。

本補正工事計画認可申請書の「ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書」では，設計当時からの評価の一貫性を考慮し,建設時のＲＣ規準のポアソン比 0.167 をそのまま用いている。

本補足説明資料は，ＣＣＶ規格で規定されているポアソン比 0.2 を用いた場合においても，ダイヤフラム・フロアの健全性が確保されていることを示すものである。

4. 評価結果

ダイヤフラム・フロアの設計基準対象施設としての耐震評価結果を表 1～表 11 に示す。また，重大事故等対処設備としての耐震評価結果を表 12～表 20 に示す。

この結果から，ポアソン比 0.167 と 0.2 で結果に違いは出るものの，その差は微小であり，結果に影響を与えるものではないことを確認した。

また，発生値は許容値を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

表１　荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（円周方向）

評価部位	荷重状態	検討応力	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		a_{tx}	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N_x (kN/m)	M_x (kN･m/m)	(mm^2/m)	${}_c\sigma_c$ N/mm^2	${}_s\sigma_c$ N/mm^2	${}_s\sigma_t$ N/mm^2	${}_cf_c$ N/mm^2	${}_sf_c$ N/mm^2	${}_sf_t$ N/mm^2	
No.1	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	−114	−9	3380	−0.5	−6.6	−0.6	−20.5	−345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	−97	−9	3380	−0.5	−5.9	−0.2	−20.5	−345	345	可
No.2	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	−2680	103	16900	−4.3	−59.9	−30.8	−20.5	−345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	3159	103	16900	0.0	73.0	114.1	−20.5	−345	345	可
No.3	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	−584	−142	13520	−2.9	−35.2	17.2	−20.5	−345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	482	−142	13520	−1.5	−12.4	53.2	−20.5	−345	345	可
No.4	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	−633	−174	13520	−3.4	−41.5	23.5	−20.5	−345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	669	−174	13520	−1.7	−13.1	68.0	−20.5	−345	345	可

注１：□ は検討応力の最大値を示す。

表２　荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによるひずみ検討結果（円周方向）

評価部位	荷重状態	検討応力	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		a_{tx}	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N_x (kN/m)	M_x (kN･m/m)	(mm^2/m)	${}_c\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_t$ ($\times10^{-6}$)	${}_c\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_{tu}$ ($\times10^{-6}$)	
No.1	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	1	−5	3380	−11	−7	26	−3000	−5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	9	−3	3380	−6	−3	22	−3000	−5000	5000	可
No.2	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	5212	178	16900	0	579	926	−3000	−5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	2918	114	16900	0	310	533	−3000	−5000	5000	可
No.3	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	996	−238	13520	−139	−64	468	−3000	−5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	556	−137	13520	−82	−39	266	−3000	−5000	5000	可
No.4	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	1200	−288	13520	−168	−78	564	−3000	−5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	669	−168	13520	−101	−49	324	−3000	−5000	5000	可

注１：□ は検討ひずみの最大値を示す。

表３　面外せん断力による検討結果（円周方向）

評価部位	荷重状態	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		Q_x (N/mm)	許容値	判定
				M_x (kN･m/m)	Q_x (kN/m)		Q_{A1} (N/mm)	
No.1	Ⅲ	13	2	−9	10	10	339	可
	Ⅳ	14	1	−2	16	16	339	可
No.2	Ⅲ	13	2	103	−250	250	5400	可
	Ⅳ	14	1	178	−351	351	5400	可
No.3	Ⅲ	13	2	−143	741	741	3780	可
	Ⅳ	14	1	−239	1275	1275	3780	可
No.4	Ⅲ	13	2	−175	−181	181	3780	可
	Ⅳ	14	1	−288	−301	301	3780	可

注1：□ は面外せん断力の最大値を示す。

表 4　荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（半径方向）

評価部位	荷重状態	検討応力	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		a_{ty}	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N_y (kN/m)	M_y (kN·m/m)	(mm^2/m)	${}_c\sigma_c$ N/mm^2	${}_s\sigma_c$ N/mm^2	${}_s\sigma_t$ N/mm^2	${}_cf_c$ N/mm^2	${}_sf_c$ N/mm^2	${}_sf_t$ N/mm^2	
No.1	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	11	32	3380	-1.2	-10.9	33.5	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	86	32	3380	-1.0	-7.1	44.3	-20.5	-345	345	可
No.2	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	-336	11	16900	-0.6	-7.3	-4.1	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	429	11	16900	0.0	10.5	15.0	-20.5	-345	345	可
No.3	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	-88	-231	13520	-3.6	-40.0	55.4	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	38	-231	13520	-3.4	-37.3	59.7	-20.5	-345	345	可
No.4	Ⅲ	${}_c\sigma_c$	13	2	-290	-94	13520	-1.8	-21.4	14.3	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	${}_s\sigma_t$	13	2	242	-94	13520	-1.1	-10.1	32.4	-20.5	-345	345	可

注１：□ は検討応力の最大値を示す。

表 5　荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによるひずみ検討結果（半径方向）

評価部位	荷重状態	検討応力	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		a_{ty}	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N_y (kN/m)	M_y (kN·m/m)	(mm^2/m)	${}_c\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_t$ ($\times10^{-6}$)	${}_c\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	${}_s\varepsilon_{tu}$ ($\times10^{-6}$)	
No.1	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	123	63	3380	-119	-56	388	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	68	37	3380	-71	-34	226	-3000	-5000	5000	可
No.2	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	684	23	16900	0	77	121	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	383	15	16900	0	41	70	-3000	-5000	5000	可
No.3	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	18	-403	13520	-382	-273	500	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	15	-227	13520	-213	-152	282	-3000	-5000	5000	可
No.4	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	14	1	490	-159	13520	-110	-62	281	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	${}_s\varepsilon_t$	15	1	274	-92	13520	-64	-36	161	-3000	-5000	5000	可

注１：□ は検討ひずみの最大値を示す。

表 6　面外せん断力による検討結果（半径方向）

評価部位	荷重状態	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		Q_y (N/mm)	許容値	判定
				M_y (kN·m/m)	Q_y (kN/m)		Q_{A1} (N/mm)	
No.1	Ⅲ	13	2	32	-26	26	339	可
	Ⅳ	14	1	63	-39	39	339	可
No.2	Ⅲ	13	2	12	14	14	5400	可
	Ⅳ	14	1	23	22	22	5400	可
No.3	Ⅲ	13	2	-231	-480	480	3780	可
	Ⅳ	14	1	-403	-850	850	3780	可
No.4	Ⅲ	13	2	-94	303	303	3780	可
	Ⅳ	14	1	-160	530	530	3780	可

注1：□ は面外せん断力の最大値を示す。

表 7　大梁の水平方向荷重に対する評価結果（評価部位：No. 5）

荷重の組合せ	M (kN･m)	Q (kN)	σb (N/mm²)	τ (N/mm²)	組合せ (N/mm²)	許容値(N/mm²)	
						せん断	曲げ組合せ
13	142.7	1426.8	36.7	33.1	68.1	135	235
14	220.7	2207.2	56.7	51.1	105.2		
15	123.6	1235.5	31.7	28.6	58.9		

表 8　大梁の鉛直方向荷重に対する評価結果（評価部位：No. 5）

荷重の組合せ	M (kN･m)	Q (kN)	σb (N/mm²)	τ (N/mm²)	組合せ (N/mm²)	許容値(N/mm²)	
						せん断	曲げ組合せ
13	755.7	999.8	31.4	31.3	62.7	135	235
14	1109.1	1554.6	46.1	48.6	96.0		
15	725.0	1004.3	30.2	31.4	62.2		

表 9　小梁の評価結果（評価部位：No. 6）

荷重の組合せ	M (kN･m)	Q (kN)	σb (N/mm²)	τ (N/mm²)	組合せ (N/mm²)	許容値(N/mm²)	
						せん断	曲げ組合せ
13	624.6	383.9	69.6	26.7	83.6	135	235
14	1014.5	651.7	113.0	45.3	137.6		
15	643.4	383.1	71.7	26.6	85.3		

表 10　柱の評価結果（評価部位：No.7）

荷重の組合せ	N (kN)	断面積 (mm²)	σc (N/mm²)	許容値 (N/mm²)
13	2349.9	52440	44.9	144
14	3426.7		65.4	
15	2355.0		44.9	

表 11　シヤーコネクタの評価結果（評価部位：No.8）

荷重の組合せ	F (kN)	T (kN/本)	本数	許容値 (kN/本)
13	1426.9	39.7	36	82
14	2207.2	61.4		
15	1235.6	34.4		

表 12　荷重状態Ⅴの軸力及び曲げモーメントによるひずみ検討結果（円周方向）

評価部位	荷重状態	検討応力	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		a_{tx}	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N_x (kN/m)	M_x (kN･m/m)	(mm^2/m)	$_c\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_t$ ($\times10^{-6}$)	$_c\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{tu}$ ($\times10^{-6}$)	
No.1	V	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	51	-19	3380	-33	-14	126	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	25	-22	3380	-44	-24	125	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	1	-24	3380	-49	-29	114	-3000	-5000	5000	可
No.2	V	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	-46	179	16900	-148	-108	171	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	3453	218	16900	0	286	711	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	4774	289	16900	-324	408	971	-3000	-5000	5000	可
No.3	V	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	205	-13	13520	0	21	54	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	652	-148	13520	-83	-36	297	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	914	-250	13520	-159	-81	467	-3000	-5000	5000	可
No.4	V	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	-40	92	13520	-89	-65	107	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	688	-192	13520	-123	-64	356	-3000	-5000	5000	可
	V	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	1099	-275	13520	-165	-80	530	-3000	-5000	5000	可

注：　　は検討ひずみの最大値を示す。

表 13　荷重状態Ⅴの面外せん断力による検討結果（円周方向）

評価部位	荷重状態	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		Q_x (N/mm)	許容値	判定
				M_x (kN･m/m)	Q_x (kN/m)		Q_{A1} (N/mm)	
No.1	V	SA2’	1	-26	7	7	339	可
	V	SA7	1	-23	15	15	339	可
	V	SA8	1	-20	19	19	339	可
No.2	V	SA2’	1	179	-595	595	5400	可
	V	SA7	1	244	-665	665	5400	可
	V	SA8	1	289	-706	706	5400	可
No.3	V	SA2’	1	-11	144	144	3780	可
	V	SA7	1	-147	839	839	3780	可
	V	SA8	1	-250	1344	1344	3780	可
No.4	V	SA2’	1	92	-414	414	3780	可
	V	SA7	1	-119	-431	431	3780	可
	V	SA8	1	-275	-432	432	3780	可

注1：　　は面外せん断力の最大値を示す。

表 14　荷重状態Ⅴの軸力及び曲げモーメントによるひずみ検討結果（半径方向）

評価部位	荷重状態	検討応力	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		a_{ty}	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N_y (kN/m)	M_y (kN·m/m)	(mm^2/m)	$_c\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_c$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_t$ ($\times10^{-6}$)	$_c\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{cu}$ ($\times10^{-6}$)	$_s\varepsilon_{tu}$ ($\times10^{-6}$)	
No.1	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	3	−12	3380	−18	−4	98	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	42	50	3380	−101	−55	268	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	118	68	3380	−130	−64	408	−3000	−5000	5000	可
No.2	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	−3	22	16900	−18	−13	21	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	452	28	16900	0	38	93	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	625	37	16900	0	54	127	−3000	−5000	5000	可
No.3	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	−21	99	13520	−94	−68	119	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	25	−229	13520	−214	−152	286	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	201	363	13520	−329	−229	481	−3000	−5000	5000	可
No.4	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA2’	1	102	−7	13520	0	10	28	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA7	1	322	−98	13520	−66	−36	177	−3000	−5000	5000	可
	Ⅴ	$_s\varepsilon_t$	SA8	1	449	−166	13520	−120	−70	282	−3000	−5000	5000	可

注：□は検討ひずみの最大値を示す。

表 15　荷重状態Ⅴの面外せん断力による検討結果（半径方向）

評価部位	荷重状態	荷重の組合せ	応力状態	設計応力		Q_y (N/mm)	許容値	判定
				M_y (kN·m/m)	Q_y (kN/m)		Q_{A1} (N/mm)	
No.1	Ⅴ	SA2’	1	−13	−120	120	339	可
	Ⅴ	SA7	1	35	−96	96	339	可
	Ⅴ	SA8	1	68	−73	73	339	可
No.2	Ⅴ	SA2’	1	22	29	29	5400	可
	Ⅴ	SA7	1	31	37	37	5400	可
	Ⅴ	SA8	1	38	43	43	5400	可
No.3	Ⅴ	SA2’	1	99	123	123	3780	可
	Ⅴ	SA7	1	217	429	429	3780	可
	Ⅴ	SA8	1	363	789	789	3780	可
No.4	Ⅴ	SA2’	1	8	−207	207	3780	可
	Ⅴ	SA7	1	−106	393	393	3780	可
	Ⅴ	SA8	1	−166	528	528	3780	可

注1：□は面外せん断力の最大値を示す。

表 16　大梁の水平方向荷重に対する評価結果（評価部位：No.5）

荷重の組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm²)	τ (N/mm²)	組合せ (N/mm²)	許容値(N/mm²)	
						せん断	曲げ組合せ
SA2’	47.6	475.8	12.3	11.1	22.9	135	235
SA7	145.9	1458.9	37.5	33.8	69.6		
SA8	201.6	2015.9	51.8	46.7	96.1		

表 17　大梁の鉛直方向荷重に対する評価結果（評価部位：No.5）

荷重の組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm²)	τ (N/mm²)	組合せ (N/mm²)	許容値(N/mm²)	
						せん断	曲げ組合せ
SA2’	1054.9	1357.8	43.9	42.5	85.7	135	235
SA7	1548.1	1633.4	64.4	51.1	109.5		
SA8	1784.5	2150.9	74.2	67.3	138.2		

表 18　小梁の評価結果（評価部位：No.6）

荷重の組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm²)	τ (N/mm²)	組合せ (N/mm²)	許容値(N/mm²)	
						せん断	曲げ組合せ
SA2’	202.0	32.1	22.5	2.3	22.9	135	235
SA7	747.3	370.6	83.3	25.8	94.6		
SA8	1132.7	632.3	126.2	43.9	147.4		

表 19　柱の評価結果（評価部位：No.7）

荷重の組合せ	N (kN)	断面積 (mm^2)	σ_c (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)
SA2’	4118.5	52440	78.6	144
SA7	5175.2		98.7	
SA8	6144.8		117.2	

表 20　シヤーコネクタの評価結果（評価部位：No.8）

荷重の組合せ	F (kN)	T (kN/本)	本数	許容値 (kN/本)
SA2’	475.8	13.3	36	82
SA7	1458.9	40.6		
SA8	2015.9	56.0		

17.　剛な設備の固有周期の算出について

目　次

頁

1. はじめに..... 1
2. 代表設備..... 1
3. 算出方針..... 1
4. 固有周期の算出..... 2
4.1 代替燃料プール冷却系ポンプの固有周期の算出 2
4.1.1 固有周期の計算方法 2
4.1.2 固有周期の算出 4
4.2 中央制御室換気系空気調和機ファンの固有周期の算出 7
4.2.1 固有周期の計算方法 7
4.2.2 固有周期の算出 9
4.3 中央制御室換気系フィルタユニットの固有周期の算出 11
4.3.1 固有周期の計算方法 11
4.3.2 固有周期の算出 12
4.4 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの固有周期の算出 13
4.4.1 固有周期の計算方法 13
4.4.2 固有周期の算出 13
5. まとめ..... 14

1. はじめに

耐震設計においては，横軸ポンプ，ファン，空調ユニット，海水ストレーナ等について，固有周期は十分に小さく計算は省略している。本資料では，それらの代表設備に対して固有周期の算出を行い，固有周期は十分に小さく，剛体であることの確認を行った。

2. 代表設備

代表設備として以下の設備の固有周期の算出を行った。

- 代替燃料プール冷却系ポンプ（横軸ポンプ）
- 中央制御室換気系空気調和機ファン（ファン）
- 中央制御室換気系フィルタユニット（空調ユニット）
- 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ（海水ストレーナ）

3. 算出方針

原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ4601-1991　追補版に準拠し固有周期の算出を行う。

4. 固有周期の算出

4.1 代替燃料プール冷却系ポンプの固有周期の算出

4.1.1 固有周期の計算方法

代替燃料プール冷却系ポンプ（図 1-1）の固有周期は，ポンプ本体，ロータの 2 質点にて算出を行う（図 1-2 及び図 1-3 参照）。

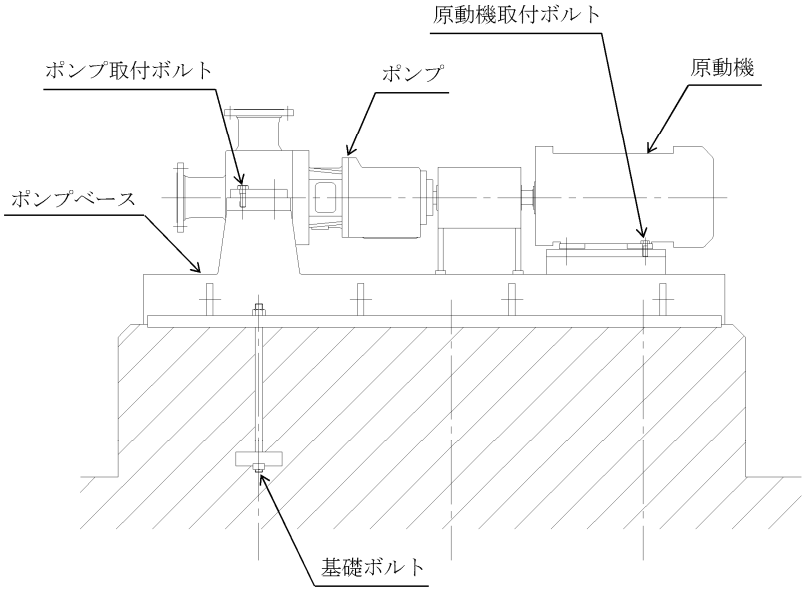


図 1-1 代替燃料プール冷却系ポンプ外形図

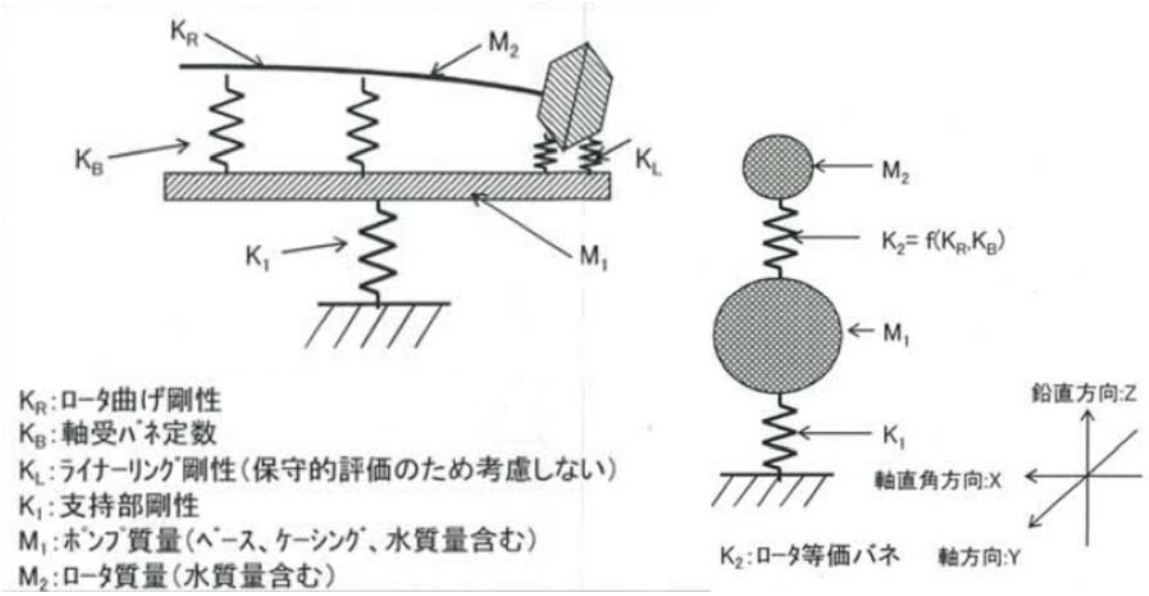


図 1-2 計算モデル　（軸直角方向，鉛直方向）

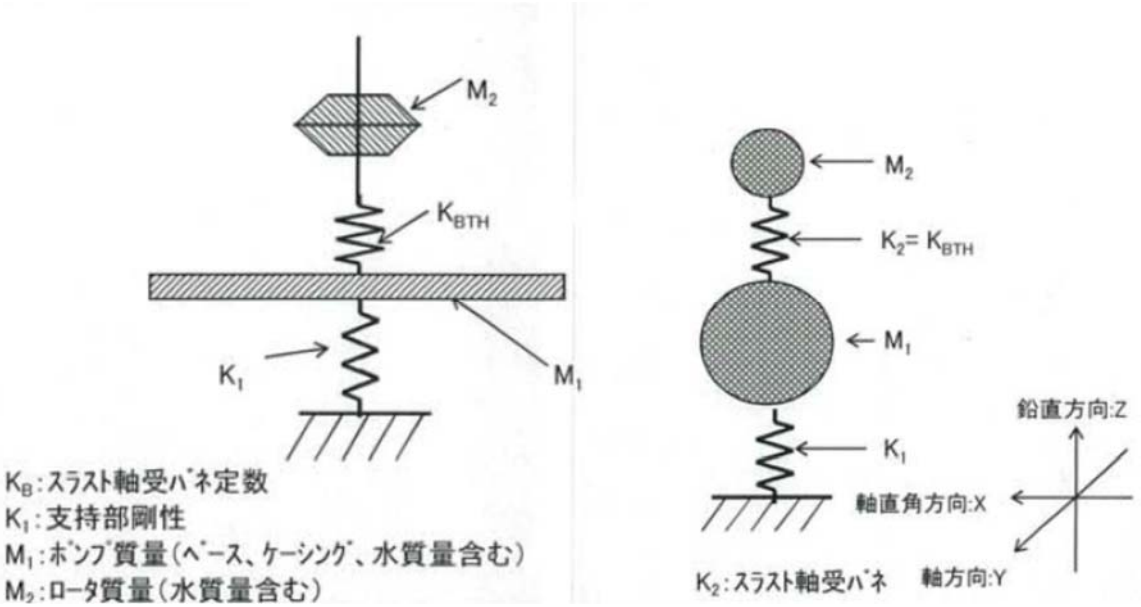


図 1-3 計算モデル　（軸方向）

ポンプ全体系の固有値は下記式にて求める。

$$f_{1,2} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{a+e}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a-e}{2}\right)^2 + b \times e}}$$

ここで

$$a = \frac{K_1 + K_2}{M_1}$$

$$b = \frac{K_2}{M_1}$$

$$e = \frac{K_2}{M_2}$$

よって，ポンプ全体系の固有周期は以下の通りとなる。

$$T_{1,2P} = \frac{1}{f_{1,2}}$$

原動機全体系の固有値は下記式にて求める。

$$f_{1M} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_{1M}}{M_{1M}}}$$

よって，原動機全体系の固有周期は以下の通りとなる。

$$T_M = \frac{1}{f_{1M}}$$

4.1.2 固有周期の算出

機器要目及び計算結果を表1に示す。

表1(1)　軸直角方向　機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
M_1	ポンプ質量（ベース，ケーシング，水質量含む）		kg
M_{1M}	原動機質量（ベース質量含む）		kg
M_2	ポンプロータ質量		kg
K_R	ロータ曲げ剛性		N/m
K_{BCP}	ラジアル軸受ＣＰ側ばね定数		N/m
K_B	ラジアル軸受反ＣＰ側ばね定数		N/m
K_2	ロータ等価ばね定数		N/m
K_1	ポンプ支持部ばね定数		N/m
K_{1M}	原動機支持部ばね定数		N/m
f_1	ポンプ全体系固有値		Hz
f_2	ポンプ全体系固有値		Hz
f_{1M}	原動機全体系固有値		Hz
T_{1P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{2P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{1M}	原動機全体系固有周期		s

表1(2)　鉛直方向　機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
M_1	ポンプ質量（ベース，ケーシング，水質量含む）		kg
M_{1M}	原動機質量（ベース質量含む）		kg
M_2	ポンプロータ質量		kg
K_R	ロータ曲げ剛性		N/m
K_{BCP}	ラジアル軸受ＣＰ側ばね定数		N/m
K_B	ラジアル軸受反ＣＰ側ばね定数		N/m
K_2	ロータ等価ばね定数		N/m
K_1	ポンプ支持部ばね定数		N/m
K_{1M}	原動機支持部ばね定数		N/m
f_1	ポンプ全体系固有値		Hz
f_2	ポンプ全体系固有値		Hz
f_{1M}	原動機全体系固有値		Hz
T_{1P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{2P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{1M}	原動機全体系固有周期		s

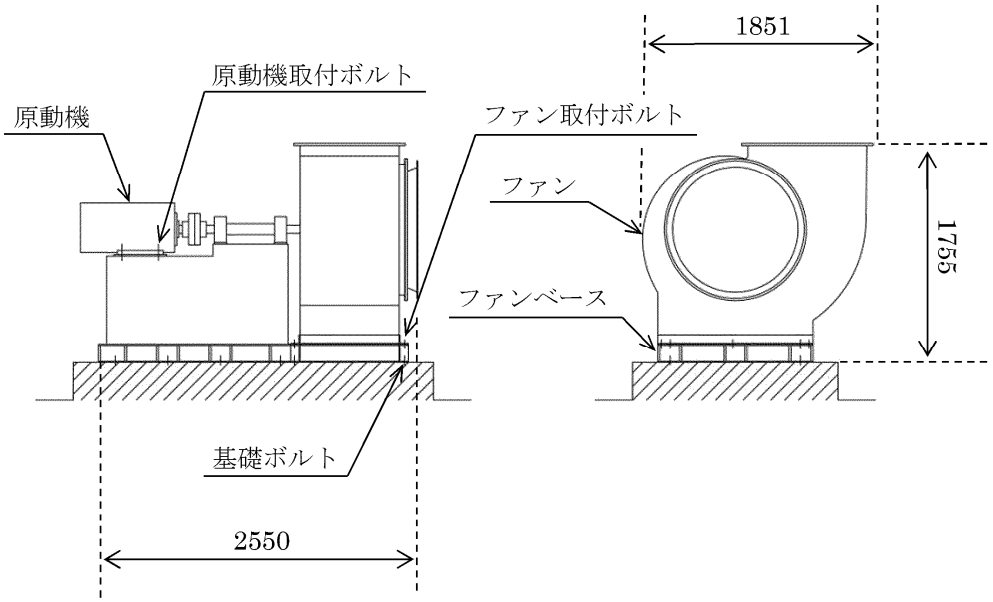
表1(3)　軸方向　機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
M_1	ポンプ質量（ベース，ケーシング，水質量含む）		kg
M_{1M}	原動機質量（ベース質量含む）		kg
M_2	ポンプロータ質量		kg
K_2	スラスト軸受ばね定数		N/m
K_1	ポンプ支持部ばね定数		N/m
K_{1M}	原動機支持部ばね定数		N/m
f_1	ポンプ全体系固有値		Hz
f_2	ポンプ全体系固有値		Hz
f_{1M}	原動機全体系固有値		Hz
T_{1P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{2P}	ポンプ全体系固有周期		s
T_{1M}	原動機全体系固有周期		s

4.2 中央制御室換気系空気調和機ファンの固有周期の算出

4.2.1 固有周期の計算方法

中央制御室換気系空気調和機ファン（図 2-1）の固有周期は，ケーシング系，軸系それぞれ算出を行う。



（単位：mm）

図 2-1　中央制御室換気系空気調和機ファン外形図

・ケーシング系

ケーシング系は図 2-2 に示すモデルで固有周期の算出を行う。

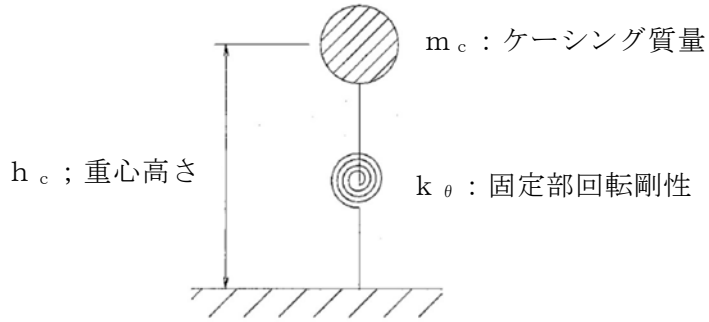


図 2-2　ケーシング系モデル

ケーシング系水平方向固有周期は下記式にて求める。なお，固定部剛性は，下記に示す各部剛性の直列ばねとして算出した。

・ケーシングフランジ剛性

・ベース上フランジ剛性

・ベース下フランジ剛性

・ケーシング固定ボルト剛性

・基礎ボルト剛性

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k\theta \cdot 1000}{m_c \cdot h_c}}$$

ケーシング系鉛直方向固有周期は下記式にて求める。

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_v \cdot 1000}{m_c}}$$

よって，ケーシング系の固有周期は以下の通りとなる。

$$T = \frac{1}{f}$$

・軸系

軸系は図 2-3 に示す解析モデルにて固有値解析を行い,固有値を算出した。ここで,ファン軸，電動機及び共通架台をそれぞれビーム要素で作成した。軸受のばね剛性はラジアル荷重と荷重―変位曲線から求めた変位量から算出した。共通架台固定部及び電動機固定部の剛性はケーシング系と同様の考えに従って算出した。

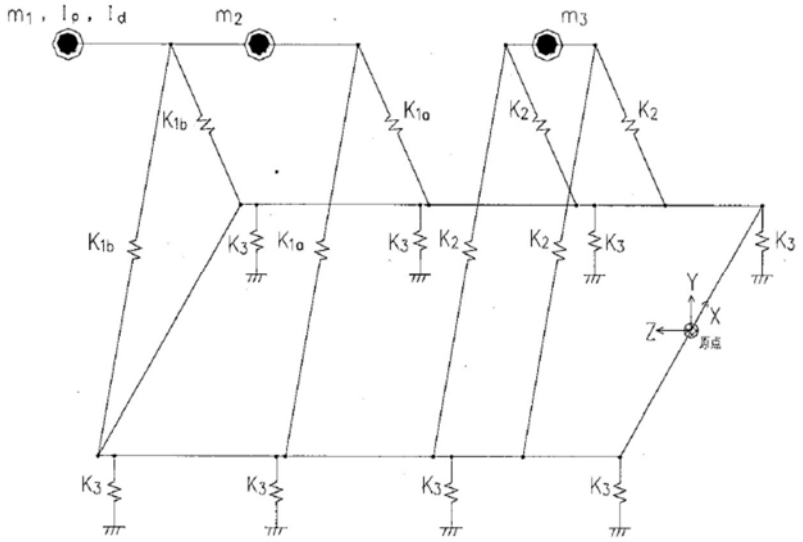


図 2-3　軸系モデル

4.2.2 固有周期の算出

機器要目及び計算結果を表2に示す。

表2(1)　軸直角方向　ケーシング系機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m_c	ケーシング質量		kg
h_c	ケーシング重心高さ		mm
k_θ	固定部回転剛性		N・mm/rad
f	ケーシング系固有値		Hz
T	ケーシング系固有周期		s

表2(2)　軸方向　ケーシング系機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m_c	ケーシング質量		kg
h_c	ケーシング重心高さ		mm
k_θ	固定部回転剛性		N・mm/rad
f	ケーシング系固有値		Hz
T	ケーシング系固有周期		s

表2(3)　鉛直方向　ケーシング系機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m_c	ケーシング質量		kg
k_v	固定部剛性		N/mm
f	ケーシング系固有値		Hz
T	ケーシング系固有周期		s

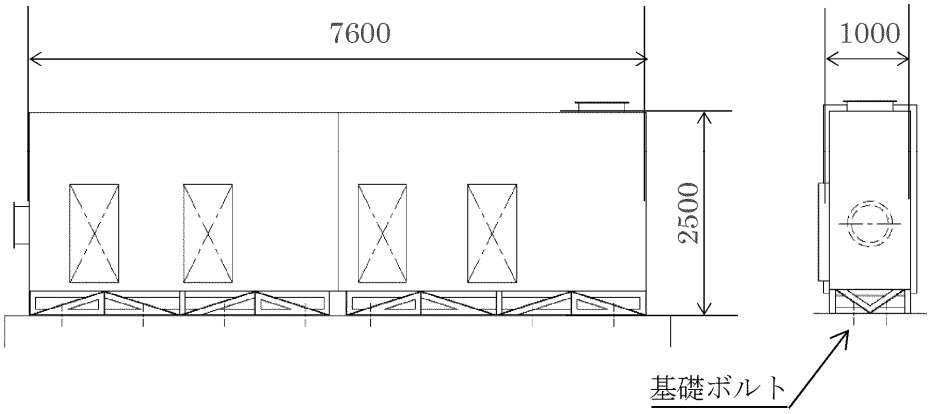
表2(4)　軸系機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
f	軸系固有値		Hz
T	軸系固有周期		s

4.3 中央制御室換気系フィルタユニットの固有周期の算出

4.3.1 固有周期の計算方法

中央制御室換気系フィルタユニット（図 3-1）は図 3-2 に示すモデルで固有周期の算出を行う。



（単位：mm）

図 3-1　中央制御室換気系フィルタユニット外形図

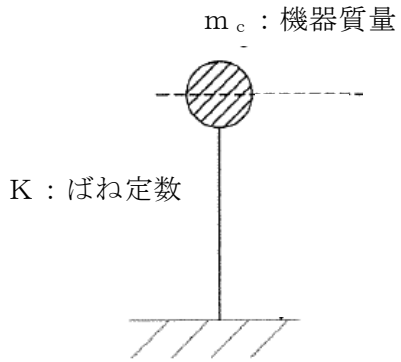


図 3-2　ケーシング系モデル

ケーシンの固有周期は下記式にて求める。

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m_c}}$$

よって，ケーシング系の固有周期は以下の通りとなる。

$$T = \frac{1}{f}$$

4.3.2 固有周期の算出

機器要目及び計算結果を表3に示す。

表3(1)　水平方向　機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m_c	機器質量		kg
K	水平方向ばね定数		N/m
f	固有値		Hz
T	固有周期		s

表3(2)　鉛直方向　機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m_c	機器質量		kg
K	鉛直方向ばね定数		N/m
f	固有値		Hz
T	固有周期		s

4.4 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの固有周期の算出

4.4.1 固有周期の計算方法

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナは図 4-1 に示すモデルで固有周期の算出を行う。水平方向ばね定数は剛性の小さい脚部の断面二次モーメントから算出する。

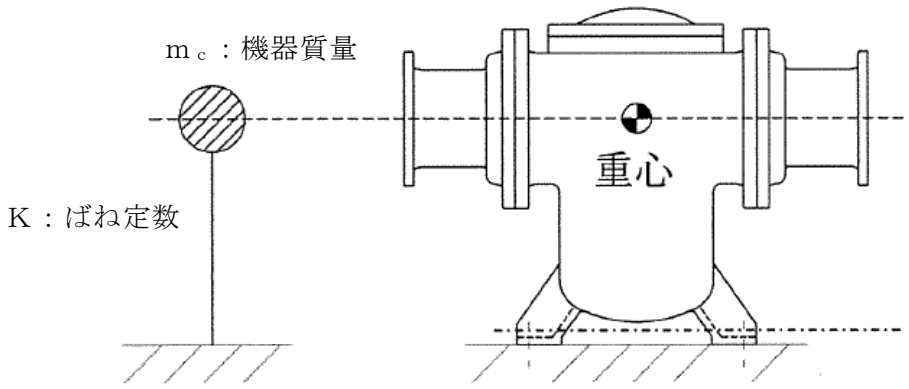


図 4-1　非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ　モデル

4.4.2 固有周期の算出

機器要目及び計算結果を表4に示す。

表4　水平方向　機器要目及び計算結果

記号	記号説明	値	単位
m_c	機器質量		kg
K	水平方向ばね定数		N/m
f	固有値		Hz
T	固有周期		s

鉛直方向は水平方向に比べ剛性が高く，水平方向が剛であるため，鉛直方向も剛であると判断し固有値計算を省略する。

5. まとめ

代替燃料プール冷却系ポンプ，中央制御室換気系空気調和機ファン，中央制御室換気系フィルタユニット，非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナについて，固有周期の算出を行い，固有周期は十分に小さく（0.05s以下），剛体であることを確認した。そのため，他の横軸ポンプ，ファン，空調ユニット，海水ストレーナについても同様に，固有周期は十分に小さく剛体であると判断し，固有周期の計算は省略する。

18. 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

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
2. JEAG4601 における記載内容
3. 東海第二発電所の等価繰返し回数の設定
4. 一律に設定する等価繰返し回数の設定
5. 一律に設定する等価繰返し回数設定における保守性
6. 一律に設定する等価繰返し回数設定における保守性を踏まえた追加検討
7. まとめ

補足 1　ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方
補足 2　一律に設定する等価繰返し回数の妥当性について
補足 3　個別に設定する等価繰返し回数について
補足 4　弾性設計用地震動Ｓ$_d$の等価繰返し回数の設定について

参考 1　疲労評価の対象設備
参考 2　各設備の部位毎のピーク応力
参考 3　ピーク応力の算定方法について
参考 4　時刻歴応答波形から直接等価繰返し回数を算定した場合との比較検討
参考 5　地震時等価繰返し回数算定エビデンス
参考 6　等価繰返し回数の算定における材料物性のばらつき等の影響検討
参考 7　多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について

1.　はじめに

東海第二発電所の今回工認における耐震評価の疲労評価は，ＪＥＡＧ4601－1987（以下「ＪＥＡＧ4601」という。）の記載手順に従い，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保守側に疲労累積係数を評価できるよう設定した等価繰返し数を設定することで，評価の簡便化を図っている。東海第二発電所の疲労評価に用いる等価繰返し回数は，設備ごとに個別に設定した値又は一律に設定した値を用いている。

なお，既工認の等価繰返し回数は，ＯＢＥ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設計の考え方を踏襲し設定している。

2.　ＪＥＡＧ4601 における記載内容

ＪＥＡＧ4601 の疲労評価の手順に関する記載は，以下のとおりである。（ＪＥＡＧ4601－1987　p574 より）

- 疲れ解析は，１次＋２次＋ピーク圧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。
- 地震動の等価繰返し回数を求める場合にはピーク応力法あるいはエネルギ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。

3.　東海第二発電所の等価繰返し回数の設定

東海第二発電所の耐震評価における疲労評価は，ＪＥＡＧ4601 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り，東海第二発電所で一律に設定した値を用いている。この値はピーク応力法により算定した等価繰返し回数を安全側に丸めることによる保守性を有した値としている。なお，一律に設定した等価繰返し回数を用いるのは原子炉建屋内の設備とする。原子炉建屋以外に設置される疲労評価が必要な設備は，設備毎に個別に算出した等価繰返し回数を用いる。

一律に設定した値と，設備毎に個別に算出された値の使い分けフローを図 1 に示す。ここで，フロー中の疲労評価対象設備は，工認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。

工認計算書で対象とする設備・部位は，東海第二発電所の既工認や大間 1 号機の建設工認を踏まえ，選定しているものであり，耐震設計として評価すべき設備・部位を網羅して設定している。

また，疲労評価を実施するものとしては，ＪＥＡＧ4601・補 1984 に基づき疲労評価が

必要となる設備・部位であり，具体的には以下が対象となる。

○ 設計基準対象設備

・クラス 1 容器，管，ポンプ（ＪＥＡＧ4601 補 1984 における疲労評価不要の条件（クラス 1 容器については，第 1 種容器の許容応力表の注 5）に従うものを除く。）

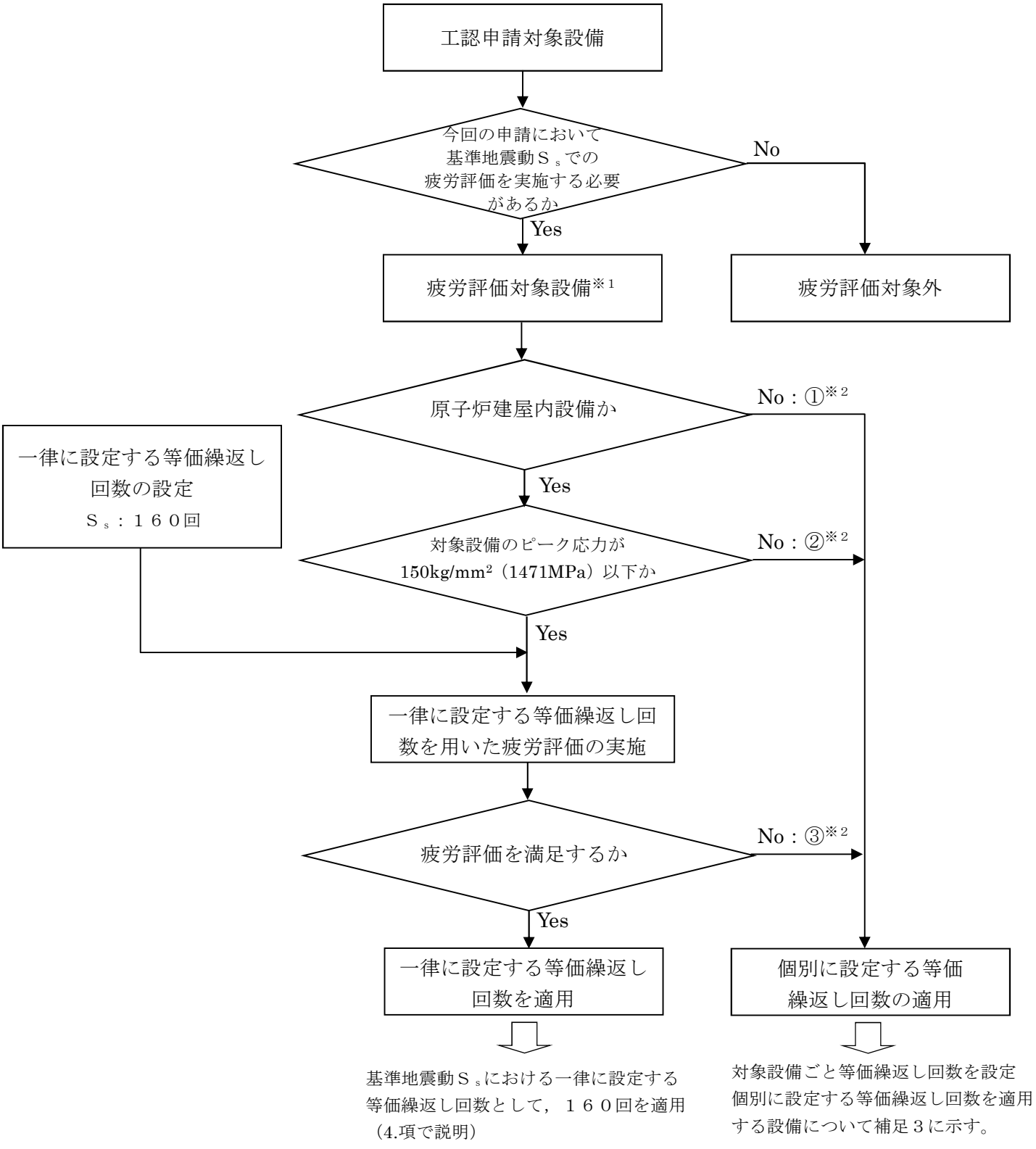
・クラス MC 容器（ＪＥＡＧ4601 補 1984 における疲労評価不要の条件（第 2 種容器の許容応力表の注 4）に従うものを除く。）

・クラス 2，3 容器，クラス 2，3 管，クラス 2，その他ポンプ（1 次＋2 次応力評価が許容値を満足するものを除く。）

○ 重大事故等対処施設

・重大事故等クラス 2 容器，管，ポンプ（設計基準対象設備のクラスに準ずる。）

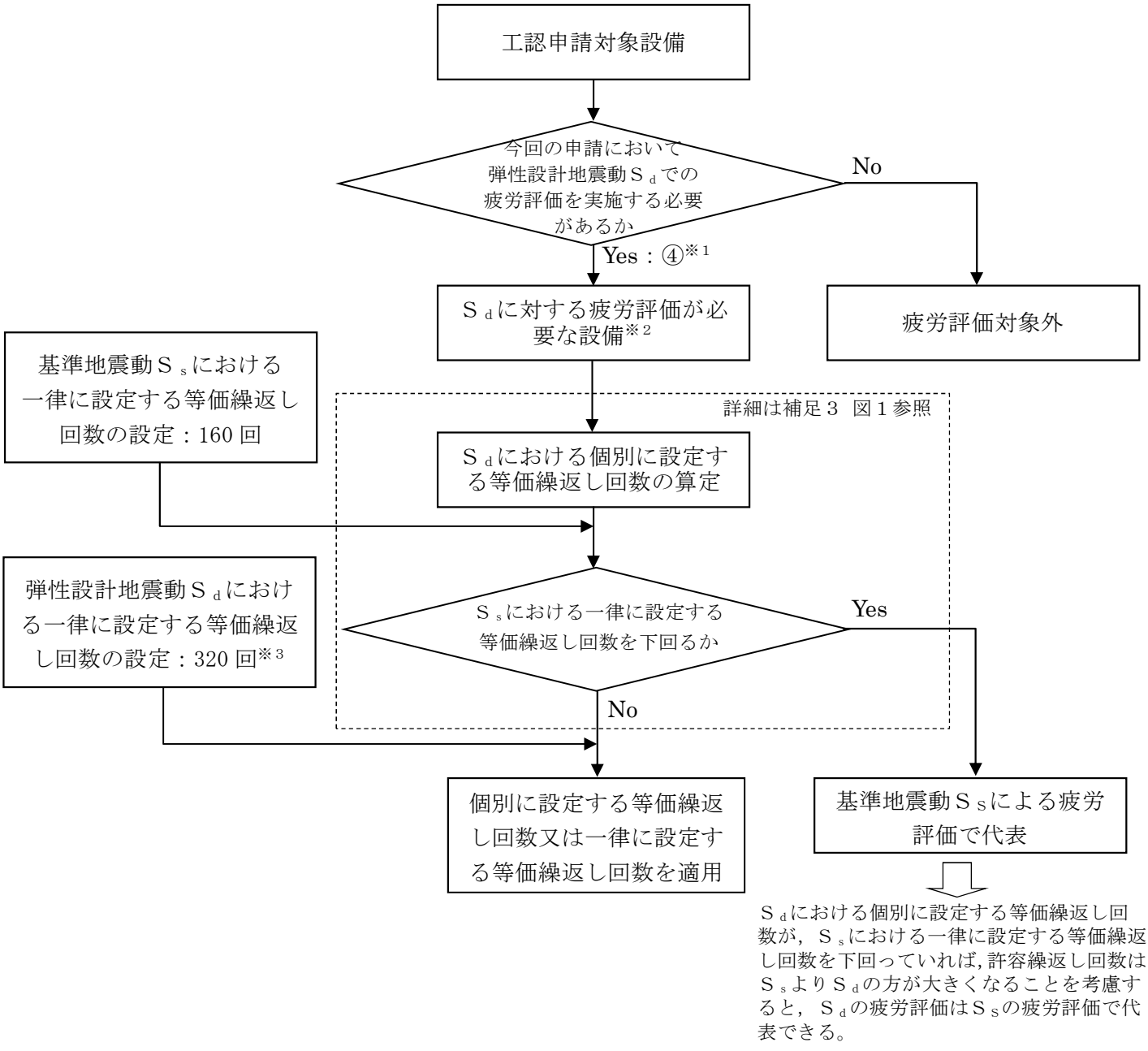
東海第二発電所の等価繰返し回数の設定が保守的な設定であることを確認する際は，等価繰返し回数設定のパラメータ（ピーク応力，固有周期，対象床面，地震波，減衰定数，設計疲労線図）に加え，ばらつきによる影響（水平 2 方向，時刻歴解析による評価設備，材料物性の影響）に対しても検討する。



※１　疲労評価対象設備については，参考１参照。このフローによらず個別に設定する等価繰返し回数を適用する場合がある。

※２　該当する設備は補足３参照。

図１（１）　基準地震動Ｓｓにおける等価繰返し回数設定フロー



※１　該当する設備は補足３参照。

※２　疲労評価対象設備については，参考１参照。このフローによらず個別に設定する等価繰返し回数を適用する場合がある。

※３　弾性設計地震動Ｓｄにおける一律に設定する等価繰返し回数の設定については補足４参照。

図１（２）　弾性設計用地震動Ｓｄにおける等価繰返し回数設定フロー

4．一律に設定する価繰返し回数の設定について

(1) 算定方法

東海第二発電所のピーク応力法による等価繰返し回数算定方法の手順を，ＪＥＡＧ4601 に記載されたピーク応力法による算定フロー（図 2，以下「フロー」という。）との対比で説明する。

このフローには分岐があり，建屋時刻歴応答を直接機器の評価に用いる場合と，建屋応答を床応答曲線として用いる場合が示されている。

左側のフローは，時刻歴応答を用いて設備の応答を求めている場合のフローであり，この場合，等価繰返し回数算出に必要となる設備の荷重時刻歴が算出されることになることから，この時刻歴波形を用いて直接等価繰返し回数を算定するものである。

一方，右側のフローは，床応答曲線を用いて機器の応力を算定している場合のフローであり，改めて機器の固有周期に応じた応答時刻歴を求めているものであり，設備の時刻歴応答解析を改めて行わず，一質点系モデルにより，応答時刻歴を算定するものである。

東海第二発電所の今回工認においては，個別機器ごとの等価繰返し回数の設定を合理化するため，主要施設が設置される原子炉建屋及び，原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器に対して，図 2 に示す右側のフローにより，対象設備一律に適用可能な等価繰返し回数を設定する*1。基準地震動Ｓｓにおける等価繰返し回数算定のフローを図３に示す。

等価繰返し回数の検討は，「昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書」に記載されており，当該報告書における算定方法と，今回の算定方法の比較を表 1 に示す。なお，設備の繰返し回数を個別に算定する場合においては，個別のピーク応力，固有周期，減衰定数，設置される床面における等価繰返し回数を算定することになり，算定される等価繰返し回数としては，一律に設定した等価繰返し回数の方がより保守的な算定となる。（各パラメータに対する検討は 5．項参照。）

以下に具体的な手順を示す。①～④の手順はフロー中の番号に対応している。

＊１　ただし，一律に設定した等価繰返し回数で許容値を超える（疲労累積係数が 1 を超える）場合及び原子炉建屋以外に設置される設備において，疲労評価が必要になった場合は，個別に等価繰返し回数の設定を行う。

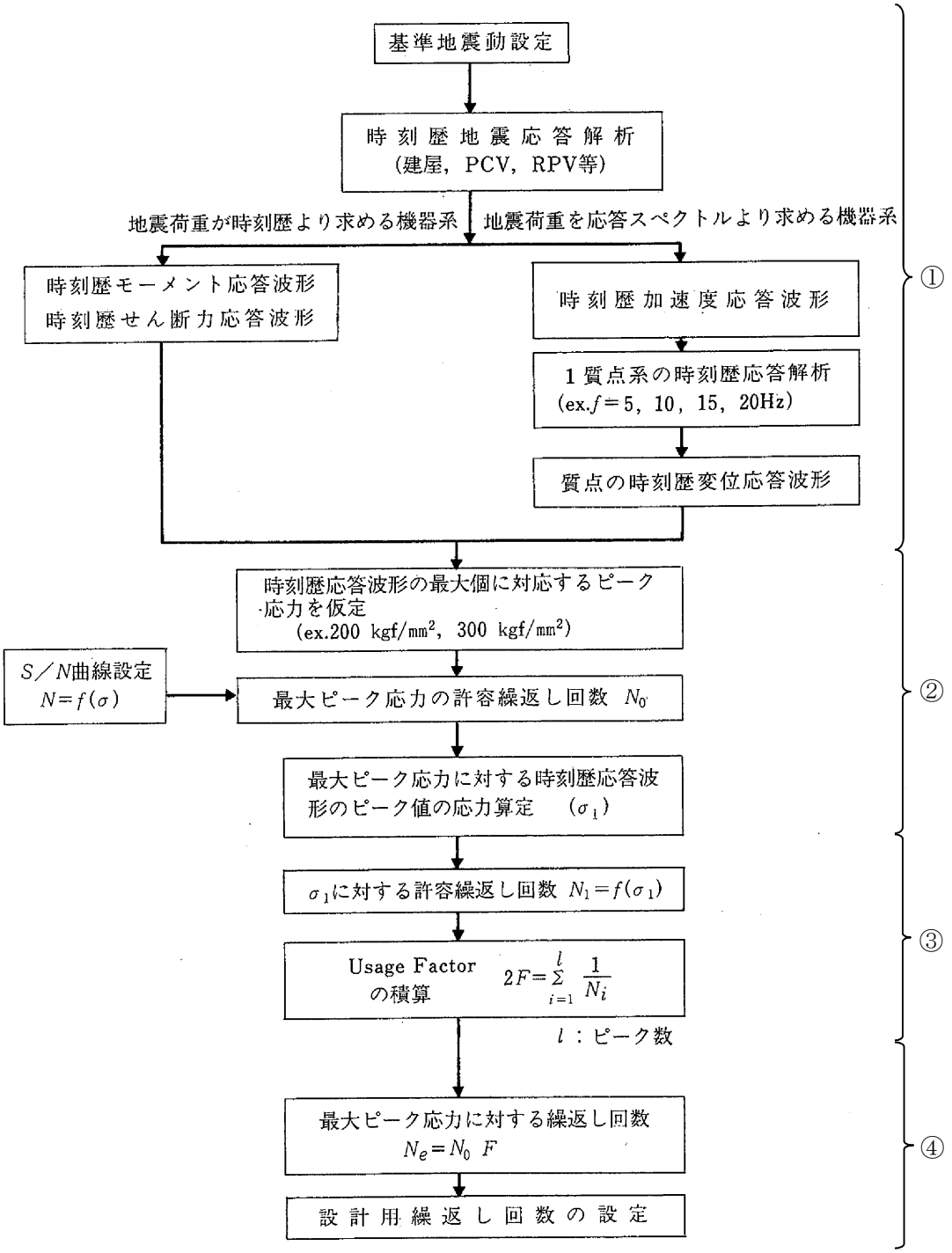


図2 ピーク応力法による算定フロー（ＪＥＡＧ4601－1987に追記）

表１　昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書における算定条件と東海第二における一律に設定する等価繰返し回数算定条件との比較

		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）		東海第二発電所 一律に設定する等価繰返し回数の設定	
		【手法 1】	【手法２】	原子炉格納容器，原子炉圧力容器等大型機器	原子炉建屋に設置された機器・配管系
対象設備		原子炉圧力容器スカート	第一種配管		
算出方法 （ＪＥＡＧのフローの左右どちらか）		時刻歴解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法（JEAG における左側のフロー）	建屋床応答を入力とした 1 質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法（JEAG における右側のフロー）	標準化報告書【手法 2】と同じ（JEAG における右側のフロー）	同左
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	標準化報告書【手法 2】と同じ	同左
	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した 300kg/mm^2	150kg/mm^2（1471MPa） 「昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書」の検討にて十分とされている値*	同左
対象建屋・床		代表設備の設置床面	同左	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と同じ	全ての床面
固有周期		時刻歴解析結果より直接算定	設備の固有周期でなく，全固有周期	標準化報告書【手法 2】と同じ	同左
減衰定数		報告書に言及なし	同左	1.0%，0.5%	同左
設計用疲労線図		代表設備材料の線図を使用	同左	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と同じ	同左
地盤条件		Vs＝500，1000．1500m/s	Vs=1500m/s	東海第二の地盤条件 Vs=約 700m/s	同左

＊：設備のピーク応力が 150 kg／mm^2（1471MPa）を超える場合は個別に評価を行う。

① 全設備の固有周期に対する応答加速度時刻歴波形の算定

ピーク応力法による等価繰返し回数を求めるためには，設備の応力時刻歴波が必要となる。図２のフローでは地震荷重を時刻歴より求める場合（左側のフロー）は時刻歴モーメント応答波形又は時刻歴せん断力波形を用いること，及び，応答スペクトルより求める場合（右側のフロー）は時刻歴変位応答波形を用いることとなっているが，今回工認の算定では，右側のフローとして時刻歴変位応答波の波形を用いることとしている。

建屋地震応答解析又は建屋－機器連成解析（フローでは「時刻歴地震応答解析」と記載）の結果から算出される変位加速度応答波を用いて，振動数ｆの１質点系に入力した場合の時刻歴変位応答波形を求める。この時刻歴波形は，固有振動数全てに対して算出する。

② 時刻歴ピーク応力値の設定

設備に発生するピーク応力の最大値を①で求めた時刻歴波形の最大値とすることで，応力の時刻歴波を作成する。なお，フローの「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，この設備に発生するピーク応力の最大値を①で求めた時刻歴波形の最大値とすることに対応している。なおピーク応力は，当該床面・固有周期に対応する設備のピーク応力ではなく，対象設備全てのピーク応力最大値を，時刻歴波の最大値と仮定しており，また，多質点系モデルの場合，ピーク応力は各モードの重ね合わせの結果として算定されるものであり，必ずしも波形の最大値がピーク応力の最大値になるとは限らないが，多質点系モデルの場合においても，最大値がピーク応力であると仮定していることを指している。

ここで,東海第二発電所における地震時等価繰返し回数の設定に用いるピーク応力は，150 kg／mm^2（1471MPa）を用いている。設備のピーク応力が 150 kg／mm^2（1471MPa）を超える場合は個別に評価を行う。

③ 各ピーク点の応力に対する許容繰返し回数（Ni）を設計疲労線図より求め，疲れ累積係数 UF（Usage Factor）を求める。

図４に示す設計疲労線図を用い，応力時刻歴波に対して各時刻歴振幅に対する許容繰返し回数を算定する。

各応力時刻歴波の振幅 σ_i に対する許容繰返し回数 N_i と，ピークのサイクル数 n_i（1つのピークで１サイクルとする）から，UF を算定する。

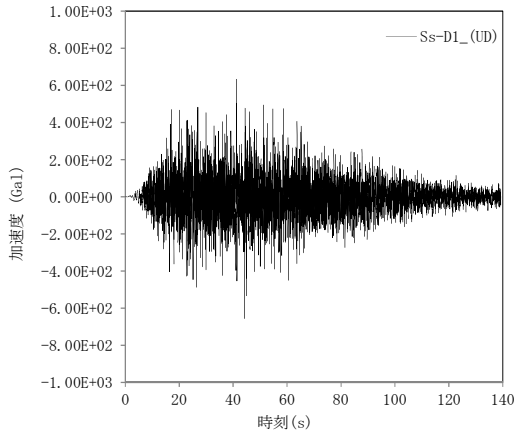
$$2UF=\frac{n_0}{N_0}+\frac{n_1}{N_1}+\frac{n_2}{N_2}+\cdots$$

④ UF と,最大ピーク応力に対する許容繰返し回数 N_0 の積をとることにより最大ピーク応力に対する等価繰返し回数 Ne を求める。

③で算定した UF と，②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。

$$Ne = UF \times N_0$$

時刻歴加速度応答波形



例：[　　]　EL46.50m

↓

①振動数 f の 1 質点系に入力した場合の時刻歴変位応答波形を求める。
（全ての固有振動数に対して求める。）

↓

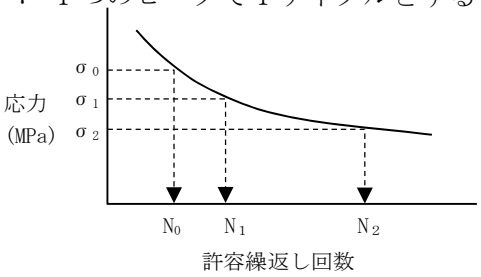
②時刻歴変位応答波形のピークの最大値を最大ピーク応力 150kg/mm^2(1471MPa)とする。

↓

③疲れ累積係数を求める。

各ピーク応力 σ_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。

＊ 1 つのピークで 1 サイクルとする



疲れ累積係数（UF）を求める。

$$2UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \cdots$$

$$= \sum_{i=0}^{l-1} \frac{n_i}{N_i}$$

↓

④等価繰返し回数（N_e）を求める。

$$N_e = N_0 \times UF$$

$$= N_0 \times \sum_{i=0}^{l-1} \frac{n_i}{N_i}$$

図３　基準地震動Ｓ$_s$における等価繰返し回数算定フロー

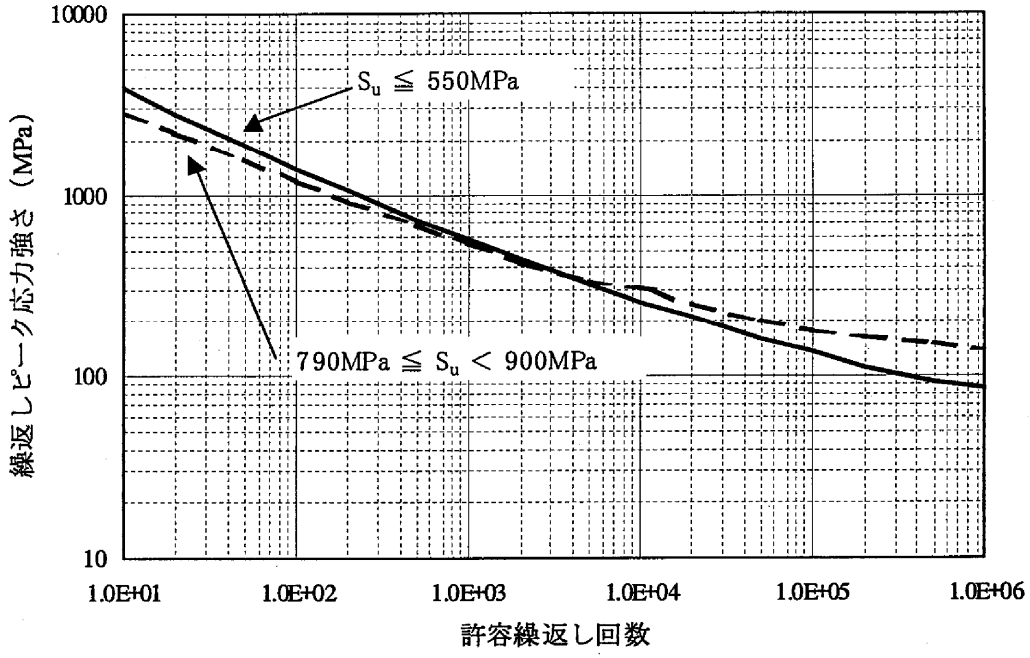


図４　炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼の設計疲労線図
（ＪＳＭＥ設計・建設規格より抜粋）

(2) 算定結果

(1) に基づき一律に設定する等価繰返し回数を算定した結果を示す。

ａ．原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器

原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器の各質点の水平（ＮＳ，ＥＷ）及び鉛直（ＵＤ）方向の加速度時刻歴より求めた１質点系の変位応答に対する等価繰返し回数を表２に示す。一律に設定する等価繰返し回数については，表２の数値を保守的に丸めた 160 回を設定する。

ｂ．原子炉建屋に設置された機器・配管系

原子炉建屋の各質点の水平（ＮＳ，ＥＷ）及び鉛直（ＵＤ）方向の加速度時刻歴より求めた１質点系の変位応答に対する等価繰返し回数を表３に示す。一律に設定する等価繰返し回数については，表３の数値を保守的に丸めた 160 回を設定する。

ここで，多方向入力の等価繰返し回数の算定方法として，各方向の最大値，ＳＲＳＳ，代数和等の等価繰返し回数を組み合わせる方法が考えられる。これらの中でＳＲＳＳや代数和は過度に保守的な評価となるため（参考７参照），各方向の最大値を保守的に丸めた回数を等価繰返し回数とした。

表２(1)　原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ｓｓ－Ｄ１			Ｓｓ－１１			Ｓｓ－１２			Ｓｓ－１３		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD

注）質点Ｎｏ．は水平方向のモデル（図５参照）の番号を示す。

表２(2)　原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ｓ$_s$－１４			Ｓ$_s$－２１			Ｓ$_s$－２２			Ｓ$_s$－３１		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD

注）質点Ｎｏ．は水平方向のモデル（図５参照）の番号を示す。

表３(1) [redacted]の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ｓs－Ｄ１			Ｓs－１１			Ｓs－１２			Ｓs－１３		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
[redacted] EL. 46.500 m 質点 No. 3	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 38.800 m 質点 No.4	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 34.700 m 質点 No.5	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 29.000 m 質点 No.6	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 20.300 m 質点 No.7	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 14.000 m 質点 No.8	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 8.200 m 質点 No.9	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 2.000 m 質点 No.10	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. -4.000 m 質点 No.11	h=0.5%												
	h=1.0%												

注）質点Ｎｏ．は図７及び図８の番号を示す。

表３(2) [redacted]の等価繰返し回数の算定結果

	減衰定数	Ｓｓ－１４			Ｓｓ－２１			Ｓｓ－２２			Ｓｓ－３１		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
[redacted] EL. 46.500 m 質点 No.3	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 38.800 m 質点 No.4	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 34.700 m 質点 No.5	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 29.000 m 質点 No.6	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 20.300 m 質点 No.7	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 14.000 m 質点 No.8	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 8.200 m 質点 No.9	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. 2.000 m 質点 No.10	h=0.5%												
	h=1.0%												
[redacted] EL. -4.000 m 質点 No.11	h=0.5%												
	h=1.0%												

注）質点Ｎｏ．は図７及び図８の番号を示す。

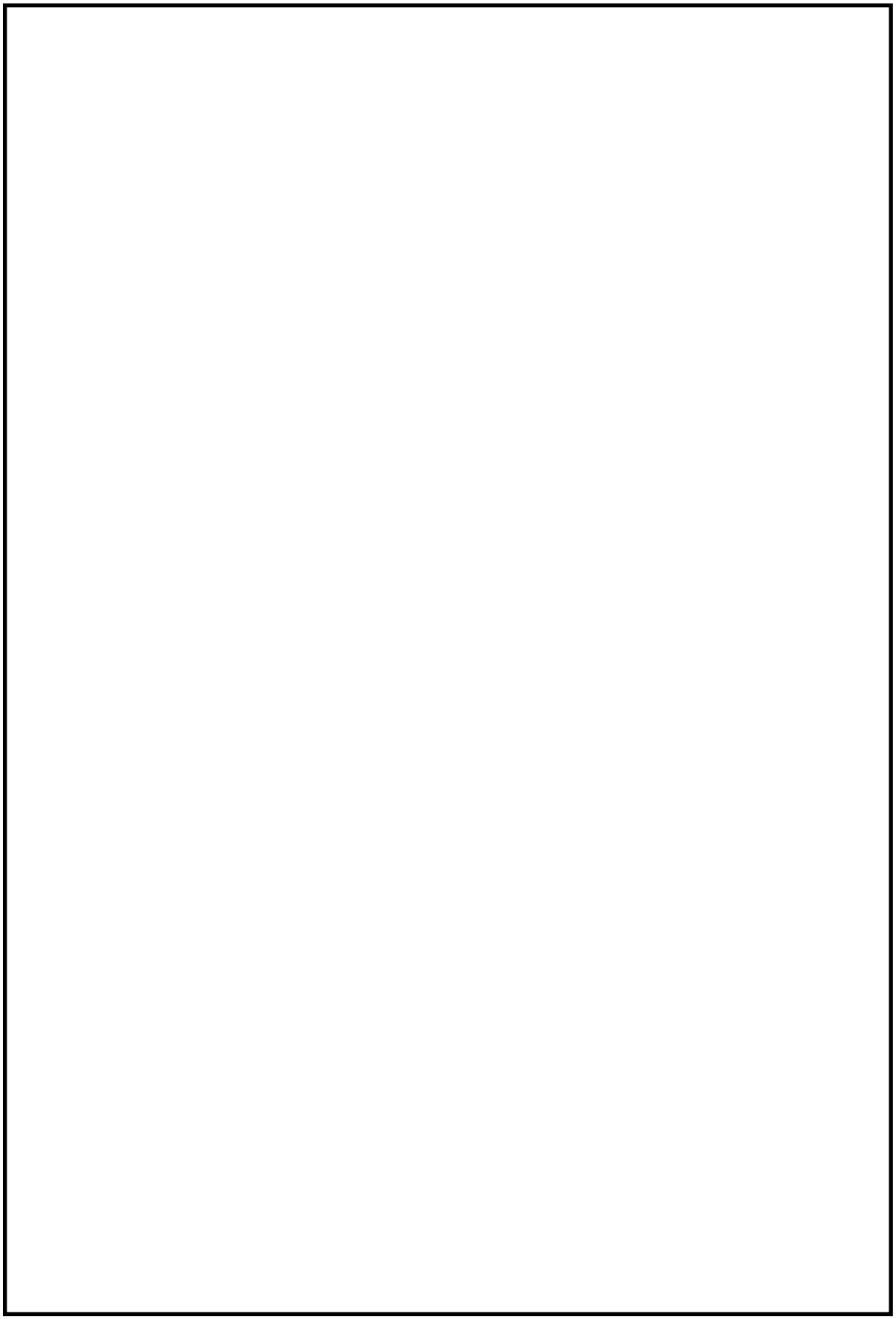


図５　原子炉格納容器,原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定位置(水平方向)

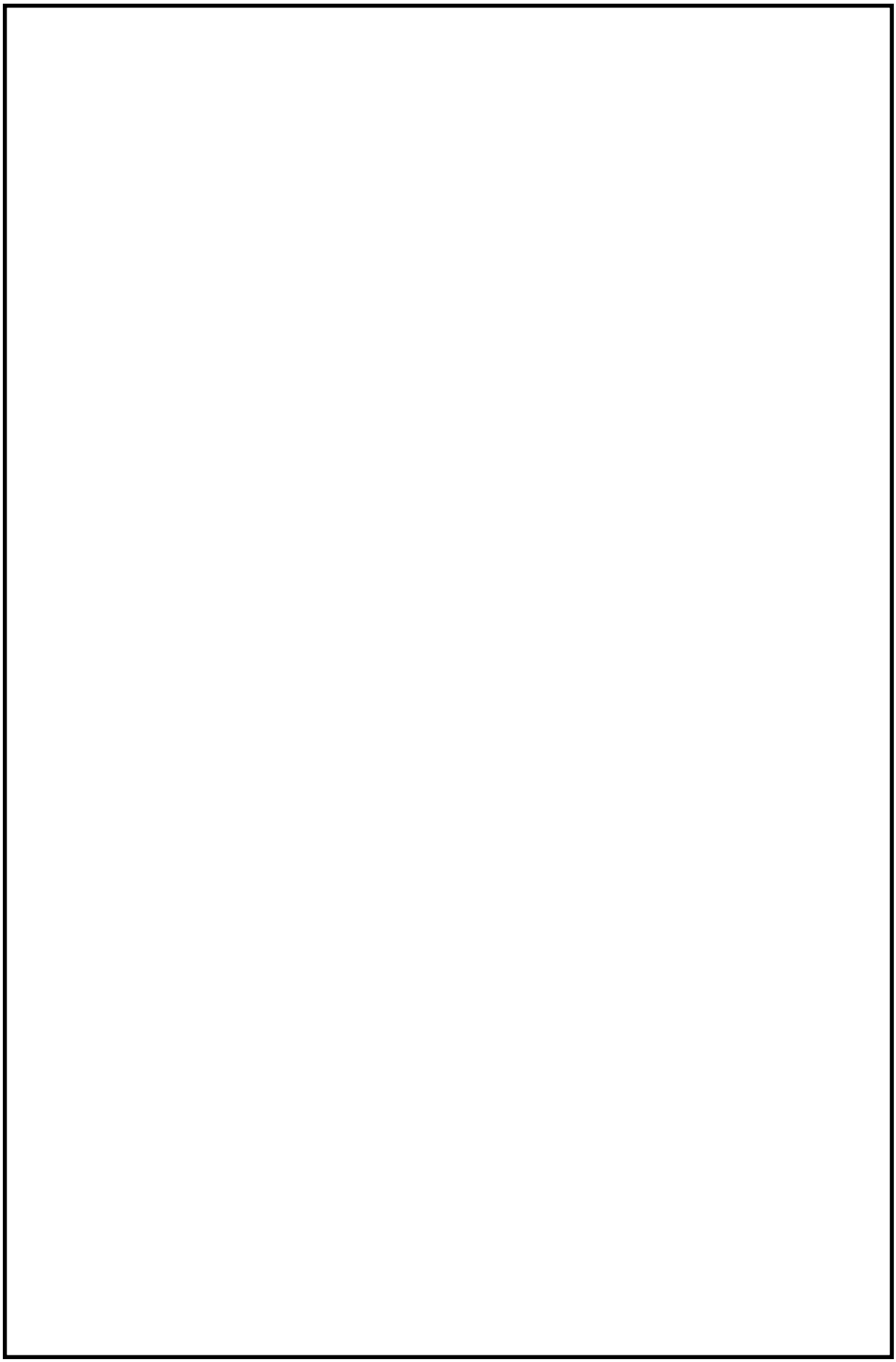


図６　原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定位置（鉛直方向）

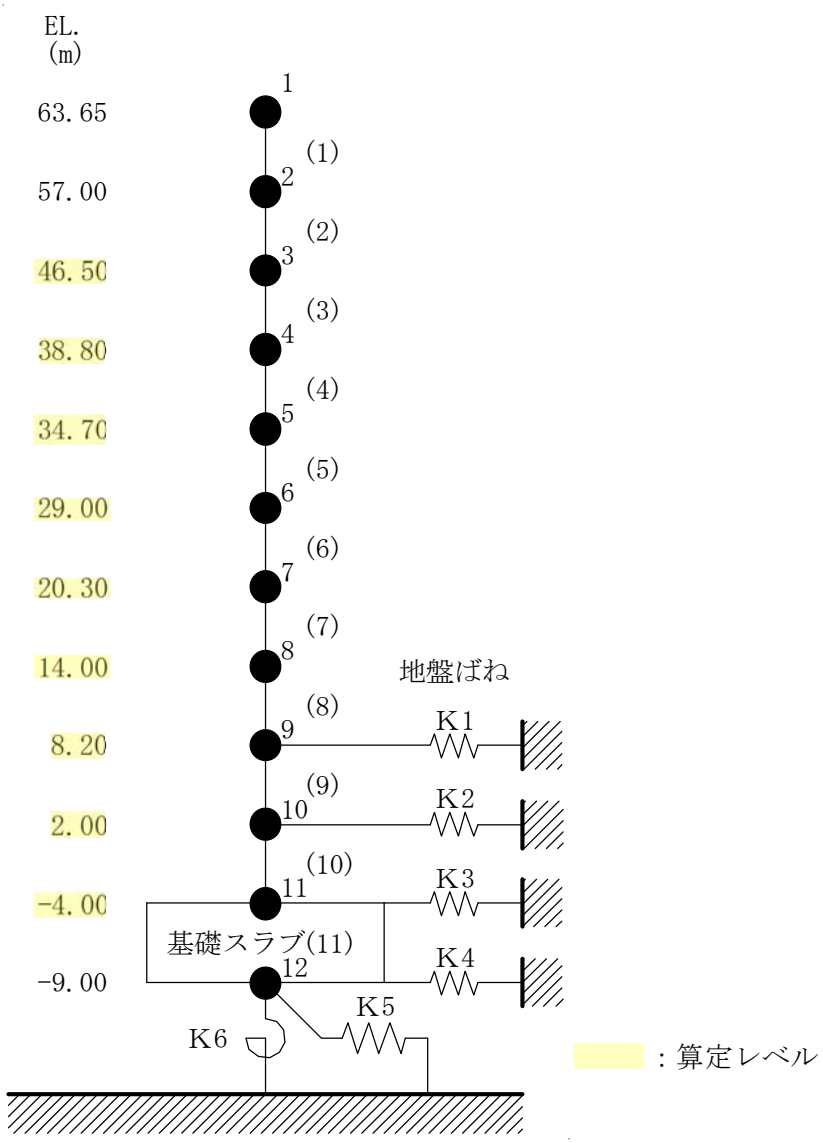


図７ の等価繰返し回数の算定位置（水平方向）

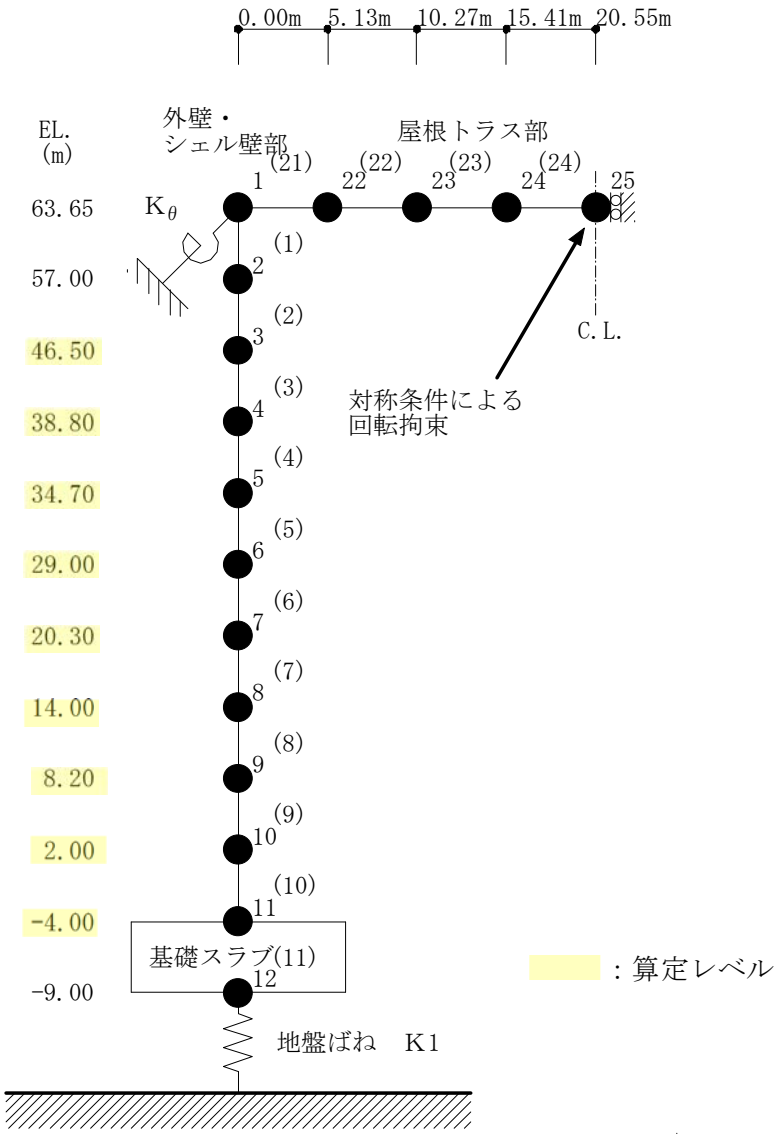


図８ [　　] の等価繰返し回数の算定位置（鉛直方向）

5.　一律に設定する等価繰返し回数設定における保守性

等価繰返し回数の設定におけるパラメータとしては，以下の 6 種類がある。ここでは，それぞれのパラメータに対する包絡性を検討し，一律に設定する等価繰返し回数が保守的な回数であることを確認する。

①ピーク応力
②固有周期
③対象床面
④地震波
⑤減衰定数
⑥設計疲労線図

①　ピーク応力

同じ波形で応力値の大きな波と小さな波があった場合，ピーク応力法で等価繰返し回数を算出すると，応力値の大きな波の方が回数を大きく算出することになる。

東海第二発電所における一律に設定する等価繰返し回数の設定に用いるピーク応力は，150 kg／mm^2（1471MPa）を用いる。当設定は，「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」での検討にて，当値まで考慮すれば十分とされた値*1である。なお，設備のピーク応力が 150 kg／mm^2（1471MPa）を超える場合は個別に評価を行う。

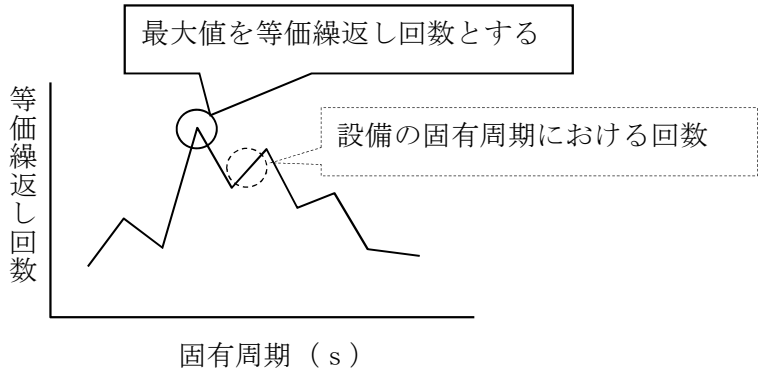
＊１　「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」での整理。

現在用いられている材料において RPV 本体材料であるＳＱＶ２Ａ及びＳＦＶＶ３の一次＋二次応力に対する許容値が最も高く，その値は 3Sm ＝ 56.4kg／mm^{2}となる。

応力係数の極大値 5 とすれば，ピーク応力の値としては片振幅に対して，56.4×5÷2＝141 kg／mm^{2}となることから，最大ピーク応力としては，150 kg／mm^{2}まで考慮すれば十分としている。

②　固有周期

今回工認の基準地震動Ｓ$_s$の一律に設定する等価繰返し回数の設定においては，設備の固有周期の有無に係わらず全周期帯での最大の等価繰返し回数としている。実際の設備としては，特定の固有周期を有していることから，当該建屋（又は質点）の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり，保守側の算出となっている。



③　代表床面（質点）における等価繰返し回数の設定

原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器については，「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」と同様に代表質点にて等価繰返し回数を設定しており，代表質点は，クラス１の機器・配管系の設置位置を選定している。また，(2) 項の表 3 で示した等価繰返し回数は，原子炉建屋に設置された機器・配管系は全ての床面の回数を算定した上で，最大の回数を記載しており，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

④　地震波

東海第二発電所における地震波としては，Ｓ$_s$－Ｄ，１１，１２，１３，１４，２１，２２，３１がある。今回の等価繰返し回数の設定においては，全てのＳｓを用いており，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

また，Ｓ$_d$における一律に設定する等価繰返し回数は，Ｓｓの２倍の回数を用いている。Ｓ$_d$の等価繰返し回数をＳｓの等価繰返し回数の２倍の回数とすることが保守的な設定であることは，1.1.2(2)にて示している。

⑤　減衰定数

一律に設定する等価繰返し回数の算定においては，減衰定数は 0.5%及び 1.0%を用いている。表 2 及び表 3 に示すとおり減衰定数が小さいほど，等価繰返し回数が多く算定される傾向にあり，機器・配管系に適用される最小の減衰定数は，0.5%であることから，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

⑥　設計疲労線図

疲労評価に用いている設計用疲労線図としては，JSME に記載されている「オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金」と「炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼」の 2 種類が該当する。

一律に設定する等価繰返し回数の算定は，設計疲労線図は代表設備の設計疲労線図（炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼）を用いる。「炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼」の設計用疲労線図を用いるほうが，同じピーク応力とした場合に「オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金」よりも許容繰返し回数が小さくなり，地震繰返し回数が多く算定されるため，設備の等価繰返し回数は，確実にそれ以下の回数となり保守側の算出となっている。

6. 一律に設定する等価繰返し回数設定における保守性を踏まえた追加検討

a. 6つのパラメータによる等価繰返し回数への影響

5. 項では，6 つのパラメータに対して検討を行った。その結果，一律に設定する等価繰返し回数は最も厳しい条件を仮定した回数，また「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」で検討された手法を用いており，等価繰返し回数の設定としては保守性を有している。

b. 6つのパラメータ以外による等価繰返し回数への影響

a. 項では，6つのパラメータに対する検討を行ったが，6つのパラメータ以外に等価繰返し回数に影響する要因としては，以下の項目が挙げられる。一律に設定した等価繰返し回数は，保守性は有しており，その設定に問題はないと考えるが，以下の要因に対しても，問題がないことを確認する。

(a) 時刻歴解析を用いている設備（ＪＥＡＧ4601－1987（P. 576）の左側のフロー）についても，1質点系の応答波形を用いて回数を設定（ＪＥＡＧ4601－1987（P. 576）の右側のフロー）している

(b) 水平2方向による影響

(c) 材料物性の影響

(a) 時刻歴解析を用いている設備への影響

時刻歴解析を行う設備は，ＪＥＡＧ4601 の左側のフローを用いることとされているが，今回の等価繰返し回数の算定においてはＪＥＡＧ4601 の右側のフローを用いている。時刻歴解析を用いている設備に対して，その時刻歴応答荷重（ＪＥＡＧの左側のフロー）を用いて等価繰返し回数を算定した結果と，1質点系の応答波形（ＪＥＡＧの右側のフロー）を用いて算出した結果の比較を参考４に示す。

設備の時刻歴応答荷重より直接算定した回数は，160 回より十分小さく，一律に設定する等価繰返し回数の設定に問題ないことを確認した。

(b) 水平2方向による影響

疲労評価対象設備における水平1方向及び鉛直方向の地震動に対するピーク応力と，水平2方向及び鉛直方向の地震動に対するピーク応力を参考２に纏めた。なお，水平2方向の考慮は「補足-340-7【水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する

検討について】」における検討結果を踏まえ纏めた。

上部シアラグと格納容器との接合部は水平 1 方向を考慮した場合と，水平 2 方向を考慮した場合が共に 150 kg／mm^2（1471MPa）を上回っていることから，個別に等価繰返し回数を設定する（補足３参照)。

その他の設備については,水平 2 方向による影響を考慮しても,150 kg／mm^2(1471MPa)を下回っていることから，一律に設定する等価繰返し回数の設定に影響ないことを確認した。

(c) 材料物性の影響

原子炉建屋における建屋剛性及び地盤物性のばらつき等を考慮した場合の等価繰返し回数を算定した結果を参考６に示す。材料物性のばらつき等を考慮した場合でも，等価繰返し回数の算定結果への影響は軽微であり，一律に設定する繰返し回数の 160 回以下であることを確認した。

7. まとめ

東海第二発電所における等価繰返し回数は一律に設定した値と個別に設定した値を用いている。本資料において一律に設定した等価繰返し回数が，ＪＥＡＧ4601 に基づき妥当な設定であり，保守的な設定となっていることを確認した。

なお，一律に設定する等価繰返し回数については，等価繰返し回数算定に影響する 6 つのパラメータ（ピーク応力，固有周期，対象床面，地震波，減衰定数，設計疲労線図）を踏まえても，パラメータ全体として保守的であること，また，それ以外の要因（時刻歴波形を用いた場合の影響，水平 2 方向の影響及び材料物性の影響）に対しても検討を行い，保守的な設定となっていることを確認した。

以上より，今回の東海第二発電所における一律に設定した保守的な値はＪＥＡＧ4601 に基づき妥当な設定となっている。

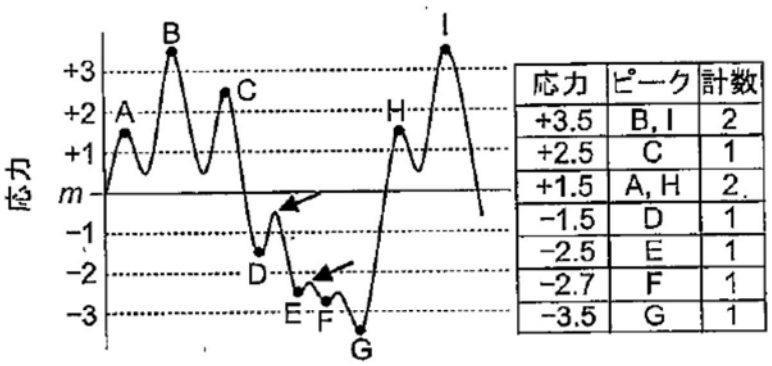
ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方

東海第二発電所におけるピーク応力法のサイクル数は，ピーク法にて求める。

ピーク法は ASTM E1049 にて疲労評価のサイクル数の求め方として規格化されている手法であり妥当な手法である。なお，ASTM E1049 は疲労評価のサイクル数の求め方として，ピーク法以外の手法についても記載があるが，特定の手法を推奨しているものではない。

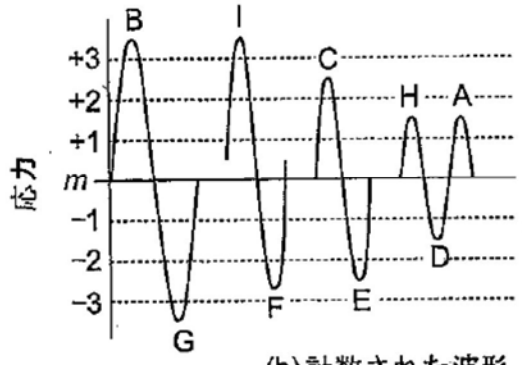
ピーク法における各ピーク点におけるサイクル数 n については，図１に示すとおり，応力波形から平均値以上では極大値（正のピーク），平均値以下では極小値(負のピーク)を計測する方法である。正のピークの最大値と負のピークの最小値により１つのサイクルの波形とし，次の正と負のピークで１つのサイクルとしてカウントする方法である。この方法では矢印に示すような微小振幅をカウントしないが，本評価では１質点系応答解析で算定した周期毎の応答変位時刻歴に基づきカウントを行うため，対象となる波形は特定周期の正弦波時刻歴となり，矢印に示すような微小振幅が生じることは考えにくい。

次頁以降に，本カウント方法に関する文献説明を示す。



応力	ピーク	計数
+3.5	B, I	2
+2.5	C	1
+1.5	A, H	2
−1.5	D	1
−2.5	E	1
−2.7	F	1
−3.5	G	1

(a)変動応力波形



応力範囲	ピーク	計数
7	B-G	1
6.2	I-F	1
5	C-E	1
3	H-D-A	1.5

(b)計数された波形

図 4.34　ピーク法による波形計数例

「材料強度学」（社団法人　日本材料学会，平成 18 年 3 月 15 日第 2 版）より参照

図１サイクル数カウント方法

添付１（1/2）

補足２

一律に設定する等価繰返し回数の妥当性について

１．一律に設定する等価繰返し回数の既工認の設定方法からの変更について

今回の東海第二発電所の等価繰返し回数の設定については，ＪＥＡＧ4601 に記載されているエネルギー換算法，ピーク応力法の 2 つの手法のうちピーク応力法を用いて等価繰返し回数を算定し，算定した等価繰返し回数を保守的に丸めた値を一律に設定する等価繰返し回数（原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の大型機器及び原子炉建屋に設置された機器・配管系：基準地震動Ｓ$_s$ 160 回，弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 320 回）としているため，妥当な設定と言える。以下では既工認の設定方法からの変更について説明する。

（１）既工認における等価繰返し回数の設定方針

ＢＷＲプラントにおける等価繰返し回数は，ＯＢＥ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設計の考え方を踏襲し設定している。そのため，東海第二発電所の既工認において，一律に設定する等価繰返し回数は 60 回と設定していた。

（２）今回工認における等価繰返し回数の算定方針

等価繰返し回数を算定する手法としては，ＪＥＡＧ4601 に基づくこととする。ＪＥＡＧ4601 ではエネルギー換算法及びピーク応力法による繰返し回数の説明があるが，エネルギー換算法は，機器系の固有振動に対する応力の全体応力に対する寄与が小さくなる剛な領域では，過大に安全側の評価となっているため*，ピーク応力法を用いる。

東海第二発電所の今回工認における基本方針としては，ＪＥＡＧ4601 には特に要求が無いが，基準地震動Ｓ$_s$より弾性設計用地震動Ｓ$_d$の方が発生頻度が多いことを踏まえ，設計上の配慮として，基準地震動Ｓ$_s$については 1 回分，また，弾性設計用地震動Ｓ$_d$については 2 回分を考慮する。

なお，上記の算定方法は，新規制基準対応工認における先行プラント（大飯 3・4 号機等）と同じ方法である。

＊：昭和５５年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書

２．米国における等価繰返し回数設定の考え方との相違について

（１）米国における等価繰返し回数の考え方

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１に示す。

別紙１に示すとおり，NUREG-0800 に定められた SRP3.7.3 Rev.4 では，プラントライフ中に，ＳＳＥ地震１回＋ＯＢＥ地震５回を想定した疲労評価を行うよう要求がある。その際の等価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)。

（２）ＯＢＥ地震と弾性設計用地震動Ｓ$_d$の関係性

ＯＢＥ地震は，プラント運転継続に必要な機能が維持できる地震として設定されるものであり，米国ではＯＢＥ地震レベル以下の地震が発生しても，原子炉を停止する必要がない。

一方で，弾性設計用地震動Ｓ$_d$は，基準地震動Ｓ$_s$に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確認するために設定された地震動である。東海第二発電所における原子炉スクラムの地震レベルと比較すると，東海第二発電所では加速度検出器設置位置において地震加速度大（水平方向 300gal（EL. 14.0m），水平方向 250gal（EL. -4.0m），水平方向 120gal（EL. -4.0m））でスクラムするよう設定しており，弾性設計用地震動Ｓ$_d$地震が発生した場合には必ずプラント自動停止となる。

従って，運転継続を前提としたＯＢＥ地震と，プラント自動停止レベルを上回る弾性設計用地震動Ｓ$_d$はその位置付けが異なるものであることから，等価繰返し回数算定の際に想定する事象の回数の設定においてＯＢＥ地震と弾性設計用地震動Ｓ$_d$が対応するものではないと考えている。

上記を踏まえ，ＯＢＥ地震の回数とは独立して弾性設計用地震動Ｓ$_d$の回数を設定することとした。

（３）米国の考え方を準用した東海第二発電所の等価繰返し回数の検証

ＯＢＥ地震はプラント運転継続に必要な機能が維持できる地震とされており，これに相当する地震としては，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（参考１参照)。ＪＥＡＧ4601 においては，この地震動Ｓ$_0$は 1/3 Ｓ$_1$程度の大きさとされている。米国の考え方（ＳＳＥ地震:1 回分＋ＯＢＥ地震：5 回分を考慮して疲労評価）に対応させるものとして，仮に基準地震動Ｓ$_s$を 1 回分＋1/3 弾性設計用地震動Ｓ$_d$を 5 回分考慮した場合の疲労

評価に基づく等価繰返し回数を算定した。算定した等価繰返し回数は，表１のとおりとなり，今回用いている等価繰返し回数 160 回よりも小さいことを確認した。

以上の検討は，基準地震動Ｓ$_s$による等価繰返し回数が大きく算定されているＳｓ－Ｄ１に対して，原子炉建屋 EL.46.50m（減衰 0.5%）の等価繰返し回数を代表して算定した。

ここで，スクラム設定値を下回る小さな地震が発生したとしても，その影響は今回検討した 1/3 Ｓ$_d$以下の影響であり，スクラム設定値を下回る小さな地震が疲労評価に与える影響は有意ではない。

表１　Ｓ$_S$を１回分＋1/3Ｓ$_d$を５回分考慮した際の等価繰返し回数

標高 (EL.)	減衰	等価繰返し回数		
		Ｓ$_s$：１回分	1/3 Ｓ$_d$：５回分	合計
46.50m	0.5%			

＊:プラントライフ中に基準地震動Ｓ$_s$1 回分と 1/3 弾性設計用地震動Ｓ$_d$5 回分が発生した場合の検討を行うため，Ｓ$_s$と 1/3 Ｓ$_d$を繋げた地震動を用いて等価繰返し回数の算定を行う。Ｓ$_s$と 1/3 Ｓ$_d$を繋げた地震動を用いることで，Ｓ$_s$及び 1/3Ｓ$_d$を通じて発生する最大ピーク応力（1471MPa と仮定）に対する等価繰返し回数を算定する。

1/3Ｓ$_d$ ５回分の等価繰返し回数は以下に示す手順で算定した。

(1)　Ｓ$_s$ １回分の等価繰返し回数を算定

(2)　Ｓ$_s$ １回分と 1/3 Ｓ$_d$ １回分を繋げた地震動の等価繰返し回数を算定

(3)　(2)－(1) より 1/3 Ｓ$_d$ １回分の等価繰返し回数を算定

(4)　(3) ×5 で 1/3 Ｓ$_d$ ５回分の繰り返し回数を算定

補足２ 別紙１

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 米国連邦法であり，行政法の一つ。 10CFR は，エネルギー行政に係る事項を定めている。	①ＳＳＥ地震（safe shutdown earthquake）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。安全停止に係る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。 ②ＯＢＥ地震（operating basis earthquake）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。 ・ＯＢＥ地震では，プラントは運転継続する。（②）
SRP3.7.3 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。 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 イベントと，ＯＢＥ地震 5 イベント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。 ②一方，Service Level A，B の過渡事象に対する，疲労評価を実施し，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（SRP 3.9.3）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。

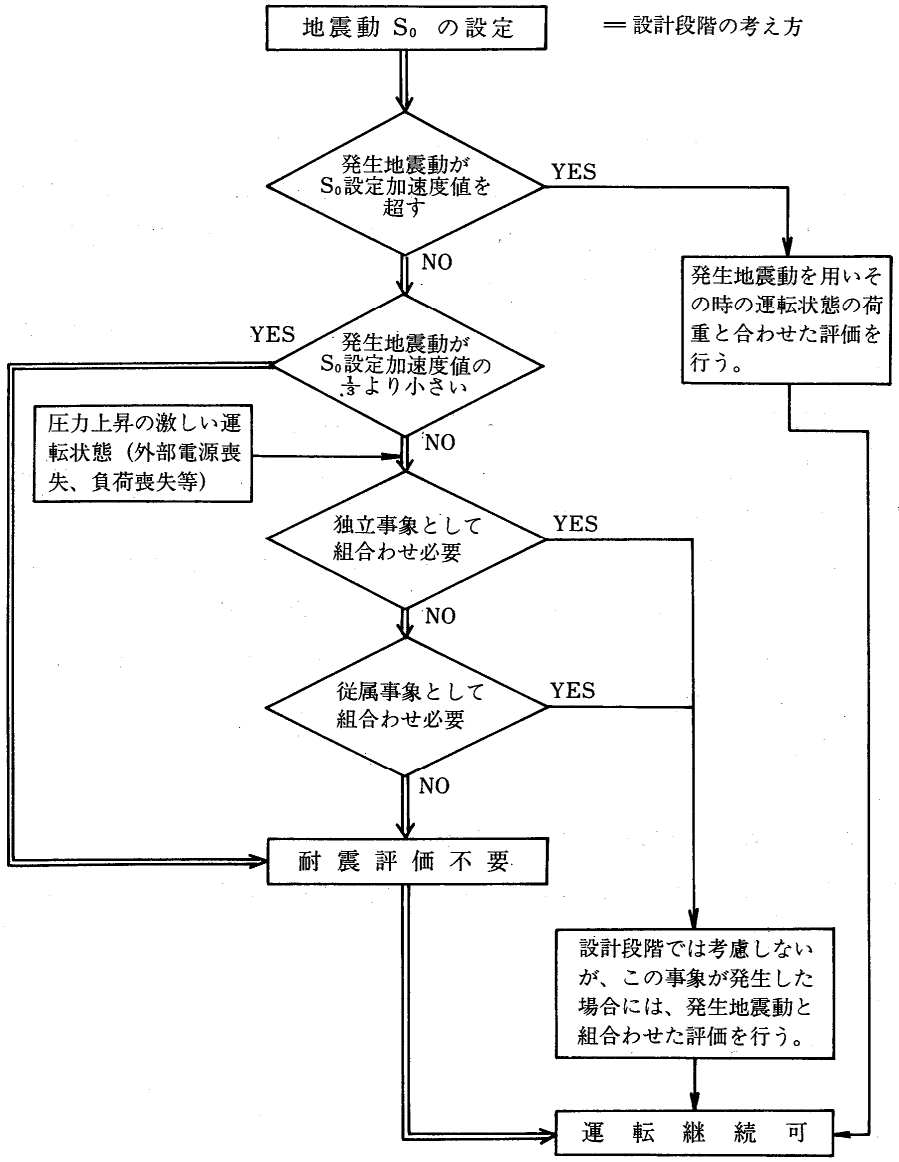
本資料は，この地震動S_0についての考え方をまとめたものであり，その大きさを適切な大きさに決めることにより，地震動S_0と他の厳しい運転状態の荷重の組合わさった事象が，実際に発生した場合のみに限り評価を行うことをあらかじめ決めておけば，設計段階においての地震動S_0に対する評価は原則として不要であることを述べている。

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σ_t，軸方向応力σ_lのみを考え，以下の記号を用いる。

P_D ＝最高使用圧力（kg/mm²）　　R ＝容器の半径（mm）

P^* ＝通常運転時圧力（kg/mm²）　　t ＝容器の板厚（mm）

σ_{t1}＝P_Dによる円周方向応力（kg/mm²）

σ_{t2}＝P^*による円周方向応力（kg/mm²）

σ_{l1}＝P_Dによる軸方向応力（kg/mm²）

σ_{l2}＝P^*による軸方向応力（kg/mm²）

σ_{l3}＝地震動S_0による軸方向応力（kg/mm²）　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，

$$\sigma_{t1} \geqq \sigma_{l2} + \sigma_{l3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ③$$

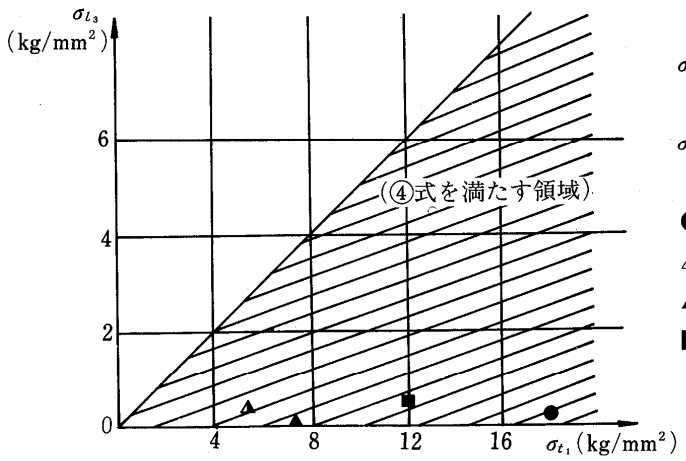
当該容器の１次一般膜応力について③式が満されていれば地震動S_0の考慮は不要となる。

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

$$\sigma_{t1} \geqq 2\ \sigma_{l3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ④$$

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



σ_{t_1}：最高使用圧力による円周方向１次一般膜応力

σ_{l_3}：地震時S_0による軸方向１次一般膜応力（$S_0 = \frac{1}{3}S_1$）

●：原子炉圧力容器の例（t/R＝0.05）

◭：熱交換器の例(その１)(t/R＝0.05)

▲：熱交換器の例(その2)(t/R＝0.024)

■：原子炉格納容器の例（t/R＝0.003）

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，

$$\sigma_{t1} \geqq \sigma_{l2} + \sigma_{l3} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑤$$

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 $III_A S$ 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（$III_A S$）の比較

	材　　質	I_A の１次応力の許容値 ①	$III_A S$ 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/mm²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/mm²）	許容繰返し回数，N_1	応力（kg/mm²）	許容繰返し回数，N_0	
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2×10^2	33.3	5×10^3	25
	2	80	4×10^2	36.7	9×10^3	23
	3	60	9×10^2	20	2.8×10^4	31
	4	40	2.5×10^3	13.3	10^5	40
オーステナイト系ステンレス鋼	5	100	4×10^2	33.3	2.8×10^4	70
	6	80	8.5×10^2	26.7	8×10^4	94
	7	60	2.2×10^3	20	5×10^5	227
	8	40	1.3×10^4	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/mm²）	許容繰返し回数，N_1	応力（kg/mm²）	許容繰返し回数，N_0	
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2×10^2	20	2.8×10^4	140
	2	80	4×10^2	16	7×10^4	175
	3	60	9×10^2	12	2×10^5	222
	4	40	2.5×10^3	8	10^6	400
オーステナイト系ステンレス鋼	5	100	4×10^2	20	5×10^5	1250
	6	80	8.5×10^2	16	∞	∞
	7	60	2.2×10^3	12	∞	∞
	8	40	1.3×10^4	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。

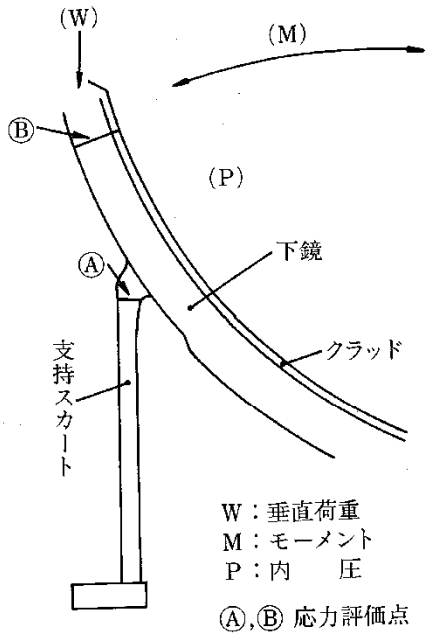
b．地震動S_0による荷重と過渡状態の応力との重ね合わせの影響

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。

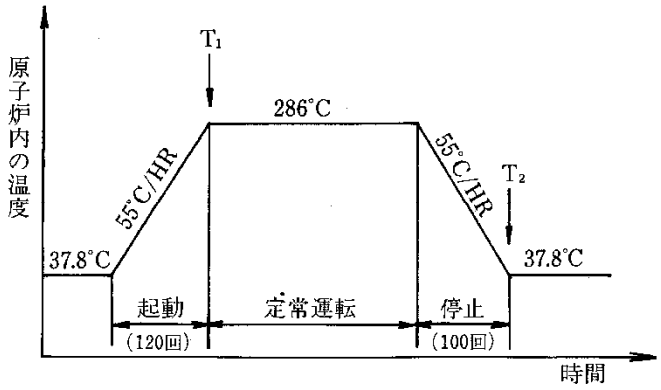
代表例として，原子炉圧力容器スカート部を考える。

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5×10^4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	σ_t	4.0	−0.2	−0.6	3.2	$\sigma_t=4.5$	−0.8	−3.8	− 2.4	− 4.6
		σ_l	−4.3	−0.8	−5.0	− 10.1	$\sigma_l=-3.9$	−28.0	11.0	− 38.1	5.2
		σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0	$\sigma_r=0.0$	0.0	0.0	0.0	0.0
	外側	σ_t	6.0	−0.2	0.6	6.4		17.0	−9.8	23.4	− 9.4
		σ_l	4.3	−0.9	−1.0	2.4		28.0	−11.0	30.4	− 12.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
Ⓑ	内側	σ_t	12.1	−0.1	−0.2	11.8	$\sigma_t=11.8$	−2.0	2.0	9.8	1.7
		σ_l	12.1	−0.4	−0.5	11.2	$\sigma_l=11.2$	−2.0	2.0	9.2	1.1
		σ_r	−0.9	0.0	0.0	− 0.9	$\sigma_r=-0.5$	0.0	0.0	− 0.9	0.0
	外側	σ_t	12.0	−0.1	−0.2	11.7		2.0	−2.0	13.7	− 2.3
		σ_l	12.0	−0.4	−0.5	11.1		2.0	−2.0	13.1	− 2.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.1	0.0

注：σ_t：円周方向応力
σ_l：軸方向応力
σ_r：半径方向応力

補足３

個別に設定する等価繰返し回数について

１．適用

本資料は東海第二発電所の今回工認における，耐震計算書の疲労評価で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設備に対する，等価繰返し回数の算定方法を定めたものである。

２．対象設備

疲労評価が必要となる設備について，本文 図１のフローにて個別に設定する等価繰返し回数を算定・適用する設備の整理を行っている。フローにて抽出される以下の設備に対して，個別に設定する等価繰返し回数を算定する。

① 原子炉建屋以外に設置される設備
② 発生するピーク応力が 150kg/mm^2（1471MPa）を超える設備
③ 一律に定める等価繰返し回数を用いた疲労評価が満足しない設備
④ S_dに対する疲労評価が必要な設備（＊１）

＊１：S_dに対する疲労評価をS_sの疲労評価で代表させるために，S_dの等価繰返し回数がS_sの一律に設定する等価繰返し回数（１６０回）を下回ることを確認する。

３．個別に設定する等価繰返し回数算定方針

３．１ 前項①～③の等価繰返し回数算定方針

個別に設定する等価繰返し回数の算定方針について，表１に示す。

３．２ ④の等価繰返し回数算定方針

S_dの等価繰返し回数を求める際は，図１のフローに従い算定する。S_d８波／S_s８波の応答比の算出方法は３．３項に示す。

表１　昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書、一律に設定する等価繰返し回数と個別に設定する等価繰返し回数での算定条件比較

（下線部が一律に設定する等価繰り返し回数との相違点）

		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）		東海第二発電所 一律に設定する等価繰返し回数の設定		東海第二発電所 個別に設定する等価繰返し回数の算定方法			
		【手法 1】	【手法２】	原子炉格納容器，原子炉圧力容器等大型機器	原子炉建屋に設置された機器・配管系	原子炉格納容器，原子炉圧力容器等大型機器		原子炉建屋に設置された機器・配管系	
対象設備		原子炉圧力容器スカート	第一種配管			建屋-機器連成解析でモデル化されていない剛な設備	建屋-機器連成解析でモデル化されている設備	剛な設備	柔な設備
						耐震評価条件：震度	耐震評価条件：荷重	耐震評価条件：震度	耐震評価条件 床応答スペクトル
算出方法（ＪＥＡＧのフローの左右どちらか）		時刻歴解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法（JEAG における左側のフロー）	建屋床応答を入力とした１質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法（JEAG における右側のフロー）	標準化報告書【手法 2】と同じ（JEAG における右側のフロー）	同左	標準化報告書【手法 2】と同じ（JEAG における右側のフロー）	標準化報告書【手法 1】と同じ（JEAG における左側のフロー）	標準化報告書【手法 2】と同じ（JEAG における右側のフロー）	同左
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	標準化報告書【手法 2】と同じ	同左	標準化報告書【手法 2】と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	標準化報告書【手法 1】と同じ。以下を用いる。 ・時刻歴せん断力波形、 ・時刻歴モーメント波形 ・時刻歴軸力波形	標準化報告書【手法 2】と同じ。以下を用いる。 ・変位応答時刻歴波	同左
	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した 300kg/mm^2	150kg/mm^2（1471MPa）「昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書」の検討にて十分とされている値	同左	150kg/mm^2（1471MPa）「昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書」の検討にて十分とされている値(注１)	同左	150kg/mm^2（1471MPa）「昭和 55 年度　耐震設計の標準化に関する調査報告書」の検討にて十分とされている値(注１)	同左
対象建屋・床		代表設備の設置床面	同左	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と同じ	全ての床面	評価対象設備の設置床面	同左	評価対象設備の設置床面	同左
固有周期		時刻歴解析結果より直接算定	設備の固有周期でなく，全固有周期	標準化報告書【手法 2】と同じ	同左	設備の固有周期(時刻歴解析結果より応答増幅を考慮しない条件(固有周期 0.05s))で算定。	標準化報告書【手法 1】と同じ。時刻歴解析結果より直接算定。	設備の固有周期(剛のため 0.05s)で算定。	標準化報告書【手法 2】と同じ。設備の固有周期でなく，全固有周期(注３)。
減衰定数		報告書に言及なし	同左	1.0%，0.5%	同左	評価対象設備の減衰	時刻歴解析結果より直接算定するため、減衰の設定は不要。（時刻歴解析モデルで設定されている）	評価対象設備の減衰	同左
設計用疲労線図		代表設備材料の線図を使用	同左	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と同じ	同左	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と同じ(注２)	同左	標準化報告書【手法 1】及び【手法 2】と同じ(注２)	同左
地盤条件		Vs＝ 500,1000.1500m/s	Vs=1500m/s	東海第二の地盤条件 Vs=約 700m/s	同左	東海第二の地盤条件 Vs=約 700m/s	同左	東海第二の地盤条件 Vs=約 700m/s	同左

注１：S_sに対してピーク応力を 150kg/mm^2（1471MPa）と設定する。S_dのピーク応力は図１に基づき設定する。
　　設備のピーク応力が解析条件として設定したピーク応力値を超える場合は設備のピーク応力にて評価を行う。

注２：等価繰返し回数低減のため，必要に応じて個別に設定する設備の使用材料の設計用疲労線図を用いる。

注３：必要に応じて設備の１次固有周期より短周期側の等価繰返し回数の最大値を用いる。

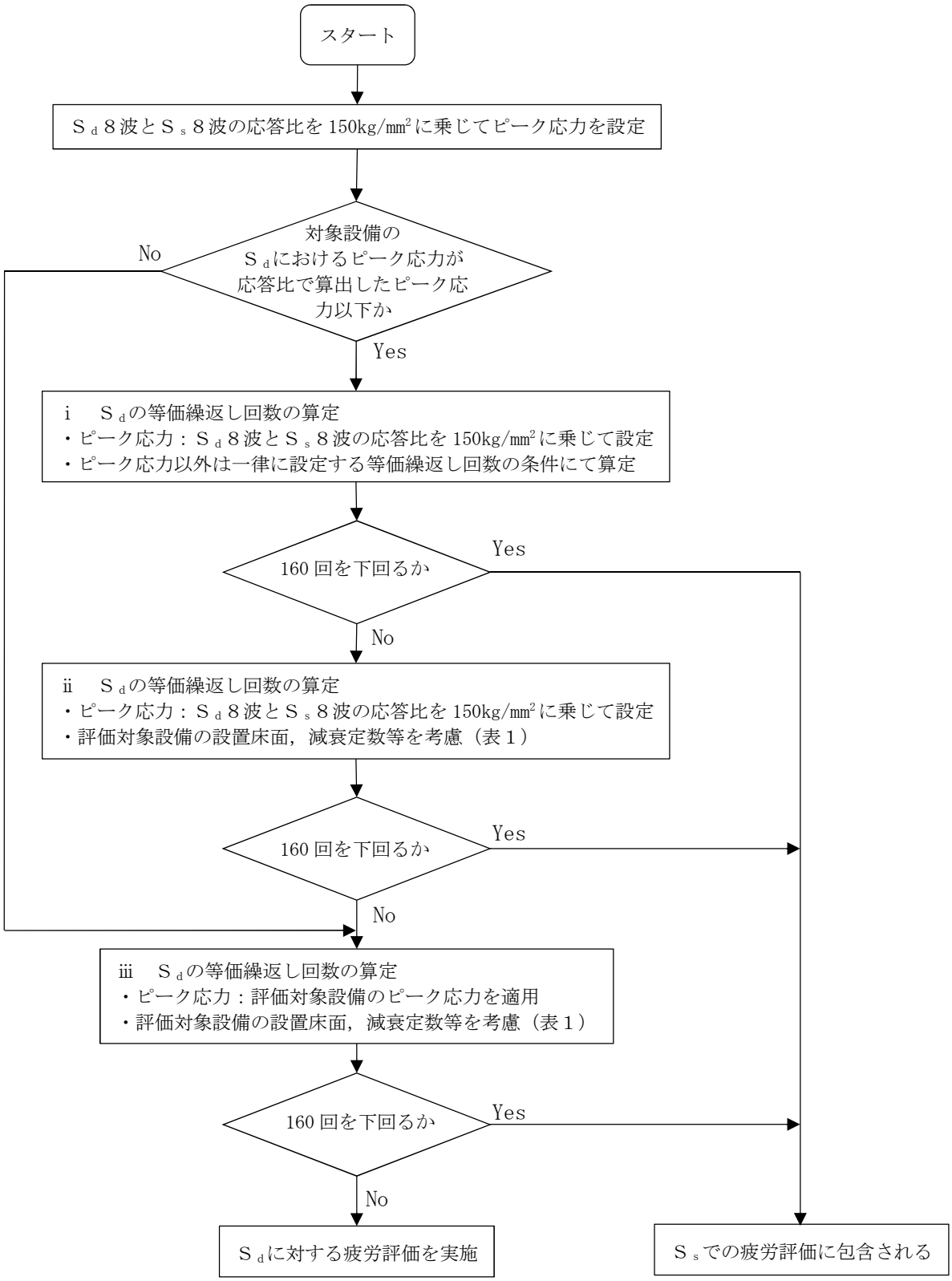


図１　Ｓｄの等価繰返し回数算定手順

３．３　S_s８波／S_d８波の応答比の算出方法

S_sでの一律に設定する等価繰返し回数の算定に適用しているピーク応力は150kg/mm^2(1471MPa)を適用している。S_dでのピーク応力はS_sとS_dの応答比で発生すると仮定し，150kg/mm^2(1471MPa)に応答比を乗じることにより求める。

応答比は，各標高（建屋モデルの質点）におけるS_s８波とS_d８波それぞれの最大値の比から求める。

【手順１】各標高でのS_s８波とS_d８波の応答比を算定し，最大値を求める

標高	S_s応答			S_d応答			比率	応答比最大値
	S_s－Ｄ１	…	S_s－３１	S_d－Ｄ１	…	S_d－３１	Max(S_d８波)/Max(S_s８波)	
A	$CH_{Ss\text{-}D1A}$	…	$CH_{Ss\text{-}31A}$	$CH_{Sd\text{-}D1A}$	…	$CH_{Sd\text{-}31A}$	$Max(CH_{Sd\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})/Max(CH_{Ss\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})$	R_A
B	$CH_{Ss\text{-}D1B}$	…	$CH_{Ss\text{-}31B}$	$CH_{Sd\text{-}D1B}$	…	$CH_{Sd\text{-}31B}$	$Max(CH_{Sd\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})/Max(CH_{Ss\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})$	R_B
C	$CH_{Ss\text{-}D1C}$	…	$CH_{Ss\text{-}31C}$	$CH_{Sd\text{-}D1C}$	…	$CH_{Sd\text{-}31C}$	$Max(CH_{Sd\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})/Max(CH_{Ss\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})$	R_C
D	$CH_{Ss\text{-}D1D}$	…	$CH_{Ss\text{-}31D}$	$CH_{Sd\text{-}D1D}$	…	$CH_{Sd\text{-}31D}$	$Max(CH_{Sd\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})/Max(CH_{Ss\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})$	R_D
E	$CH_{Ss\text{-}D1E}$	…	$CH_{Ss\text{-}31E}$	$CH_{Sd\text{-}D1E}$	…	$CH_{Sd\text{-}31E}$	$Max(CH_{Sd\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})/Max(CH_{Ss\text{-}D1A}\sim CH_{Ss\text{-}31A})$	R_E

【手順２】各標高の応答比最大値からS_dのピーク応力を設定する。

標高Ａに設置される設備のS_dのピーク応力＝ $\dfrac{150\text{kg/mm}^2(1471\text{MPa})}{S_s\text{のピーク応力}}$ × $\dfrac{R_A}{\text{応答比最大値}}$

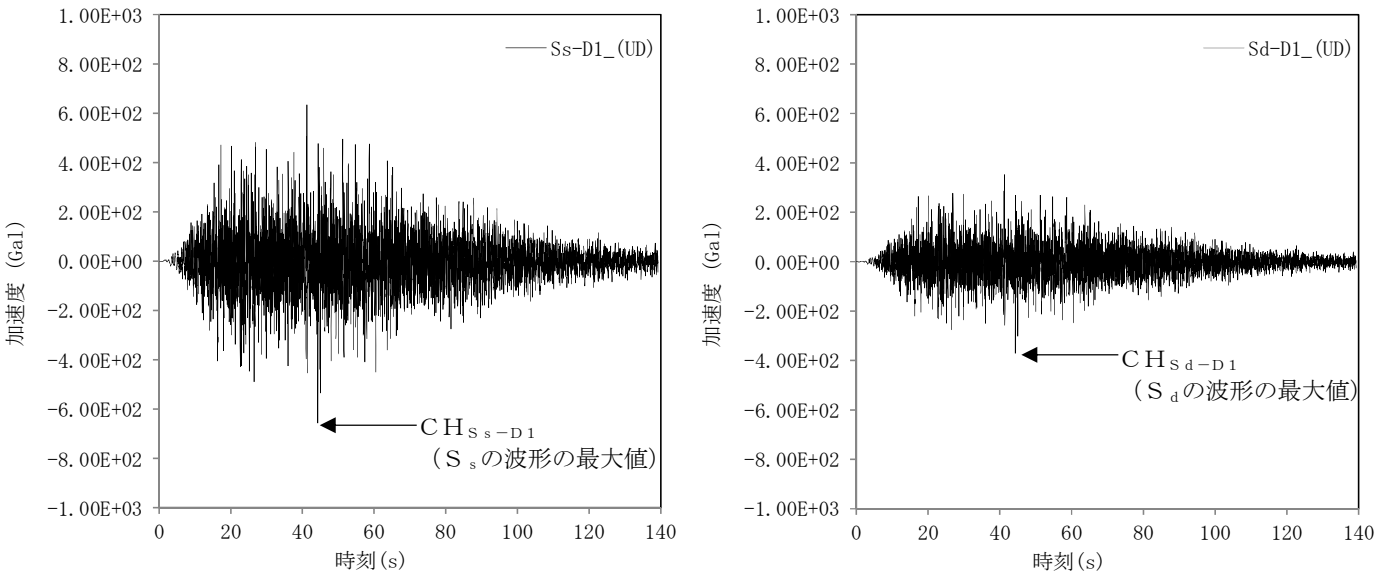


図２　加速度時刻歴波形の最大値の例
（原子炉建屋 EL.46.50m　S_s－Ｄ１(UD)とS_d－Ｄ１(UD)）

４．　個別に定める等価繰返し回数算定結果

３項の方針に基づき算定した等価繰返し回数を保守的に丸めて設定した等価繰返し回数（以下「評価用等価繰返し回数」という。）を以下に示す。なお，表４－４～表４－２５の質点番号は本文 図５，図６に対応する。

４．１　①原子炉建屋以外に設置される設備

該当する設備無し。

４．２　②発生するピーク応力が 150kg/mm^2（1471MPa）を超える設備

該当する設備は上部シアラグと格納容器との接合部があり，ピーク応力は 1918MPa となっている。

算定した等価繰返し回数と，その値を保守的に丸めて設定した設備の等価繰返し回数（評価用等価繰返し回数）を表４－１に示す。

表４－１　発生するピーク応力が 150kg/mm^2（1471MPa）を超える設備の等価繰返し回数

設備	評価	考慮する耐震条件	算定結果	算定した等価繰返し回数	評価用等価繰返し回数	備考
上部シアラグと格納容器との接合部	S_s	荷重	表４－４	[redacted]	40	当該部に発生する応力の内，ばね反力による応力が支配的であるため，ばね反力の時刻歴波にて算定し，等価繰返し回数を設定。

４．３　③一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が満足しない設備

該当する設備は，主蒸気系配管（MS-A），原子炉冷却材浄化系配管がある。そのため，算定した等価繰返し回数と，その値を保守的に丸めて設定した設備の等価繰返し回数（評価用等価繰返し回数）を表４－２に示す。

表４－２　一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価が満足しない設備の等価繰返し回数

設備	評価	考慮する耐震条件	算定結果	算定した等価繰返し回数	評価用等価繰返し回数	備考
主蒸気系配管（MS-A）	S_s	ＦＲＳ	表４－５	[redacted]	110	
原子炉冷却材浄化系配管（CU-PD-9）	S_s	ＦＲＳ	表４－５	[redacted]	110	

４．４　④S_dに対する疲労評価が必要な設備

算定した等価繰返し回数と，その値を保守的に丸めて設定した設備の等価繰返し回数（評価用等価繰返し回数）を表４－３に示す。

表４－３　Ｓ$_d$に対する疲労評価が必要な設備の等価繰返し回数

設備	評価	考慮する耐震条件	算定結果	算定した等価繰返し回数*1	評価用等価繰返し回数	備考
原子炉圧力容器　胴板	Ｓ$_d$	震度，荷重	表４－６		160	
原子炉圧力容器　下部鏡板	Ｓ$_d$	震度，荷重				
原子炉圧力容器スカート	Ｓ$_d$	震度，荷重				
制御棒駆動機構ハウジング貫通部	Ｓ$_d$	震度，荷重	表４－７		160	
再循環水出口ノズル（Ｎ１）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－８		160	
再循環水入口ノズル（Ｎ２）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ，震度）	表４－９		160	
主蒸気ノズル（Ｎ３）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－１０		160	
給水ノズル（Ｎ４）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ，震度）	表４－１１		160	
炉心スプレイノズル（Ｎ５）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ，震度）	表４－１２		160	
上鏡スプレイノズル（Ｎ６）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－１３		160	
ベントノズル（Ｎ７）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－１４		160	
ジェットポンプ計測管貫通部ノズル（Ｎ８）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－１５		160	
差圧検出・ほう酸水注入管ノズル（Ｎ１０）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ，震度）	表４－１６		160	
計装ノズル（Ｎ１１）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－１７		160	
計装ノズル（Ｎ１６）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－１８		160	
計装ノズル（Ｎ１２）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－１９		160	
ドレンノズル（Ｎ１５）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ）	表４－２０		160	
低圧注水ノズル（Ｎ１７）	Ｓ$_d$	配管反力（ＦＲＳ，震度）	表４－２１		160	
上部シアラグと格納容器との接合部	Ｓ$_d$	荷重	表４－２２		80	
原子炉格納容器　機器搬入用ハッチ	Ｓ$_d$	ＦＲＳ，震度，荷重	表４－２３		160	
制御棒駆動機構	Ｓ$_d$	震度，荷重	表４－２４		160	
非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンク	Ｓ$_d$	震度	表４－２５		160	
配管（疲労評価が必要な個所）	Ｓ$_d$	ＦＲＳ	表４－２６		160	CU-PD-9，MS-A は除く
配管（CU-PD-9）	Ｓ$_d$	ＦＲＳ	表４－２７		110	
配管（MS-A）	Ｓ$_d$	ＦＲＳ	表４－２８		110	

＊１：（　）内は算定したＳ$_d$１回分の回数。

表４－４　上部シアラグと格納容器との接合部（Ｓｓ）　等価繰返し回数算定結果（ばね反力）

質点番号	減衰(%)	ピーク応力*(MPa)			１質点系の固有周期(s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ばね反力）																最大回数
							Ｓｓ－Ｄ１		Ｓｓ－１１		Ｓｓ－１２		Ｓｓ－１３		Ｓｓ－１４		Ｓｓ－２１		Ｓｓ－２２		Ｓｓ－３１		
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

*：耐震計算により求めたピーク応力。

表４－５　主蒸気系配管（Ｓｓ），原子炉冷却材浄化系配管（Ｓｓ）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号［ ］内は鉛直質点番号	減衰(%)	ピーク応力(MPa)			１質点系の固有周期(s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							Ｓｓ－Ｄ１			Ｓｓ－１１			Ｓｓ－１２			Ｓｓ－１３			Ｓｓ－１４			Ｓｓ－２１			Ｓｓ－２２			Ｓｓ－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

表４－６（１）　胴板（Ｓｄ），下部鏡板（Ｓｄ），原子炉圧力容器スカート（Ｓｄ）　等価繰返し回数算定結果（震度）

質点番号［ ］内は鉛直質点番号	減衰(%)	ピーク応力*(MPa)			１質点系の固有周期(s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（震度）							最大回数
							Ｓｄ－Ｄ１	Ｓｄ－１１	Ｓｄ－１２	Ｓｄ－１３	Ｓｄ－１４	Ｓｄ－２１	Ｓｄ－２２	Ｓｄ－３１	
		NS	EW	UD			UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	

*：ＳｓとＳｄの応答比から求めたピーク応力。

表４－６（２）　胴板（S_d），下部鏡板（S_d），原子炉圧力容器スカート（S_d）　等価繰返し回数算定結果（せん断力）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（せん断力）														最大回数
							S_d－Ｄ１		S_d－１１		S_d－１２		S_d－１３		S_d－１４		S_d－２１		S_d－２２		S_d－３１		
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

*：S_sとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－６（３）　胴板（S_d），下部鏡板（S_d），原子炉圧力容器スカート（S_d）　等価繰返し回数算定結果（モーメント）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（モーメント）														最大回数
							S_d－Ｄ１		S_d－１１		S_d－１２		S_d－１３		S_d－１４		S_d－２１		S_d－２２		S_d－３１		
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

*：S_sとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－６（４）　胴板（S_d），下部鏡板（S_d），原子炉圧力容器スカート（S_d）　等価繰返し回数算定結果（軸力）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			1質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（軸力）								最大 回数
							S_d－D１	S_d－１１	S_d－１２	S_d－１３	S_d－１４	S_d－２１	S_d－２２	S_d－３１	
		NS	EW	UD			UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	

*：S_sとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－７（１）　制御棒駆動機構ハウジング貫通部（S_d）　等価繰返し回数算定結果（震度）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			1質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（震度）								最大回数
							S_d－D１	S_d－１１	S_d－１２	S_d－１３	S_d－１４	S_d－２１	S_d－２２	S_d－３１	
		NS	EW	UD			UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	

*：S_sとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－７（２）　制御棒駆動機構ハウジング貫通部（S_d）　等価繰返し回数算定結果（せん断力）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			1質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（せん断力）														最大回数
							S_d－D１		S_d－１１		S_d－１２		S_d－１３		S_d－１４		S_d－２１		S_d－２２		S_d－３１		
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

*：S_sとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－７（３）　制御棒駆動機構ハウジング貫通部（S_d）　等価繰返し回数算定結果（モーメント）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			1質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（モーメント）														最大回数
							S_d－Ｄ１		S_d－１１		S_d－１２		S_d－１３		S_d－１４		S_d－２１		S_d－２２		S_d－３１	
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

＊：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－７（４）　制御棒駆動機構ハウジング貫通部（S_d）　等価繰返し回数算定結果（軸力）

質点番号 [ ]内は鉛直質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			1質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（軸力）							最大回数
							S_d－Ｄ１	S_d－１１	S_d－１２	S_d－１３	S_d－１４	S_d－２１	S_d－２２	S_d－３１	
		NS	EW	UD			UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	

＊：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－８　再循環水出口ノズル（Ｎ１）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－９　再循環水入口ノズル（Ｎ２）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ，震度）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ，震度）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－１０　主蒸気ノズル（Ｎ３）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－１１　給水ノズル（Ｎ４）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ，震度）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ，震度）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－１２　炉心スプレイノズル（Ｎ５）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ，震度）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力 (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ，震度）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*1：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

*2：耐震計算から求めたピーク応力。

*3：ノズル反力を算定する配管の１次固有周期は高圧炉心スプレイ配管：0.108s，低圧炉心スプレイ配管：0.112s であり，配管の１次固有周期より短周期側での最大値。

表４－１３　上鏡スプレイノズル（Ｎ６）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－１４　ベントノズル（Ｎ７）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

＊：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－１５　ジェットポンプ計測管貫通部ノズル（Ｎ８）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

＊：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－１６　差圧検出・ほう酸水注入管ノズル（Ｎ１０）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（震度，ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（震度，ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

＊：耐震計算により求めたピーク応力を保守的に設定した値。

表４－１７　計装ノズル（Ｎ１１）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力*1 (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

＊１：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

＊２：ノズル反力を算定する配管の１次固有周期はMS-91-1：0.020s，MS-80-1：0.018sのため，0.05sにおける等価繰返し回数。

表４－１８　計装ノズル（Ｎ１６）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力*1 (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*１：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

*２：ノズル反力を算定する配管の１次固有周期はMS-89-1：0.049s，MS-81-1：0.052s，MS-82-1：0.049s，MS-90-1：0.054sのため，0.054sより短周期側での最大値。

表４－１９　計装ノズル（Ｎ１２）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：耐震計算から求めたピーク応力。

表４－２０　ドレンノズル（Ｎ１５）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－２１　低圧注水ノズル（Ｎ１７）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ，震度）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力 (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ，震度）																						最大 回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*1：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

*2：耐震計算から求めたピーク応力。

表４－２２　上部シアラグと格納容器との接合部（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ばね反力）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ばね反力）															最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１		Ｓ$_d$－１１		Ｓ$_d$－１２		Ｓ$_d$－１３		Ｓ$_d$－１４		Ｓ$_d$－２１		Ｓ$_d$－２２		Ｓ$_d$－３１	
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

*：耐震計算により求めたピーク応力。

表４－２３（１）　原子炉格納容器　機器搬入用ハッチ（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（せん断力）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（せん断力）															最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１		Ｓ$_d$－１１		Ｓ$_d$－１２		Ｓ$_d$－１３		Ｓ$_d$－１４		Ｓ$_d$－２１		Ｓ$_d$－２２		Ｓ$_d$－３１	
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－２３（２）　原子炉格納容器　機器搬入用ハッチ（S_d）　等価繰返し回数算定結果（モーメント）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（モーメント）														最大回数
							S_d－Ｄ１		S_d－１１		S_d－１２		S_d－１３		S_d－１４		S_d－２１		S_d－２２		S_d－３１	
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２３（３）　原子炉格納容器　機器搬入用ハッチ（S_d）　等価繰返し回数算定結果（軸力）

質点番号 [ ]内は鉛直質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（軸力）								最大回数
							S_d－Ｄ１	S_d－１１	S_d－１２	S_d－１３	S_d－１４	S_d－２１	S_d－２２	S_d－３１	
		NS	EW	UD			UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２３（４）　原子炉格納容器　機器搬入用ハッチ（S_d）　等価繰返し回数算定結果（震度，ＦＲＳ）

質点番号 [ ]内は鉛直質点番号	減衰 (%)	ピーク応力 (MPa)			１質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（震度，ＦＲＳ）																				最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*1：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

*2：耐震計算から求めたピーク応力。

表４－２４（１）　制御棒駆動機構（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（震度）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（震度）								最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１	Ｓ$_d$－１１	Ｓ$_d$－１２	Ｓ$_d$－１３	Ｓ$_d$－１４	Ｓ$_d$－２１	Ｓ$_d$－２２	Ｓ$_d$－３１	
		NS	EW	UD			UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	

＊：Ｓ$_s$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－２４（２）　制御棒駆動機構（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（モーメント）

質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（モーメント）														最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１		Ｓ$_d$－１１		Ｓ$_d$－１２		Ｓ$_d$－１３		Ｓ$_d$－１４		Ｓ$_d$－２１		Ｓ$_d$－２２		Ｓ$_d$－３１	
		NS	EW	UD			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	

＊：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－２５　非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンク（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（震度）

質点番号 [　]内は鉛直質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（震度）																						最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

＊：耐震計算により求めたピーク応力。

表４－２６（１）　配管（MS-B，MS-C，MS-D）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（２）　配管（CU-R-7）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（３）　配管（FDW-1,2,3,4,9，FDW-5,6,7,8,11）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（４）　配管（HPCS-1）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（５）　配管（HPCS-4,5，LPCS-2,3，RHR-70）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（６）　配管（LPCS-1，RHR-PD-29，RHR-PD-35，RHR-PD-36）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（７）　配管（PLR-PD-1，PLR-PD-2）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（８）　配管（RCIC-19,20,29）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：S_SとS_dの応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（９）　配管（RCIC-24-1）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：耐震計算により求めたピーク応力を保守的に設定した値。

表４－２６（１０）　配管（RCIC-24-2）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（１１）　配管（RHR-34,37,38,39,50）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－２６（１２）　配管（RHR-40,41,42,89）（Ｓ$_d$）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																						最大回数
							Ｓ$_d$－Ｄ１			Ｓ$_d$－１１			Ｓ$_d$－１２			Ｓ$_d$－１３			Ｓ$_d$－１４			Ｓ$_d$－２１			Ｓ$_d$－２２			Ｓ$_d$－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

*：Ｓ$_S$とＳ$_d$の応答比から求めたピーク応力。

表４－２７　配管（CU-PD-9）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力* (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

＊：耐震計算により求めたピーク応力。

表４－２８　配管（MS-A）（S_d）　等価繰返し回数算定結果（ＦＲＳ）

質点番号 [　]内は鉛直 質点番号	減衰 (%)	ピーク応力*1 (MPa)			１質点系の 固有周期 (s)	設計用疲労線図	等価繰返し回数（ＦＲＳ）																								最大回数
							S_d－Ｄ１			S_d－１１			S_d－１２			S_d－１３			S_d－１４			S_d－２１			S_d－２２			S_d－３１			
		NS	EW	UD			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	

＊１：耐震計算により求めたピーク応力。

＊２：配管（MS-A）の１次固有周期は 0.095s であり，１次固有周期より短周期側での最大値。

弾性設計用地震動Ｓ$_d$の等価繰返し回数の設定について

１．はじめに

本資料は，弾性設計用地震動Ｓ$_d$の一律に設定する等価繰返し回数の算定について纏めたものである。

２．算定条件

弾性設計用地震動Ｓ$_d$の一律に設定する等価繰返し回数は，下記条件にて求める。

２．１　地震波

弾性設計用地震動Ｓ$_d$は基準地震動Ｓ$_s$に 1/2 以上の係数を乗じて設定しており，周波数特性，継続時間等同じ特性を持つ。そのため，基準地震動Ｓ$_s$において，Ｓ$_s$－Ｄ１の等価繰返し回数が最大となったため，Ｓ$_d$－Ｄ１に対する等価繰返し回数を算定する。

２．２　ピーク応力

弾性設計用地震動Ｓ$_d$のピーク応力は基準地震動Ｓ$_s$の応答加速度と弾性設計用地震動Ｓ$_d$の応答加速度との応答比で発生すると仮定し，基準地震動Ｓ$_s$での一律に設定する等価繰返し回数の算定に適用するピーク応力（150kg/mm2（1471MPa））に，各方向の応答比を乗じることにより求める（補足３　３．３項参照)。

２．３　考慮する弾性設計用地震動Ｓ$_d$の回数

弾性設計用地震動Ｓ$_d$については基準地震動Ｓ$_s$より地震の発生頻度が多いことを踏まえ，2 回分を考慮する。なお，等価繰返し回数の算定は，弾性設計用地震動Ｓ$_d$1 回分を算定し，その値を 2 倍した値とする。

２．４　その他

上記以外の条件については，基準地震動Ｓ$_s$の一律に設定する等価繰返し回数の算定と同じ条件とする（本文 表１参照)。

３．　算定結果

弾性設計用地震動Ｓ$_d$1 回分の等価繰返し回数を算定し，その値を 2 倍した値を表１に示す。表１より，弾性設計用地震動Ｓ$_d$1 回分の等価繰返し回数の最大値は 133 回であるため，保守的に丸めた回数は 160 回とし，２回分を考慮した値 320 回を弾性設計用地震動Ｓ$_d$の一律に設定する等価繰返し回数とする。

＜参考＞東海第二発電所における弾性設計用地震動Ｓ$_d$の一律に設定する等価繰返し回数検討の経緯

弾性設計用地震動Ｓ$_d$の一律に設定する等価繰返し回数については，当初検討においては弾性設計用地震動Ｓ$_d$の回数を１回とし，基準地震動Ｓ$_s$の一律に設定する等価繰返し回数と同じ 160 回としていたが，弾性設計用地震動Ｓ$_d$の発生頻度は基準地震動Ｓ$_s$よりも高いため 2 回を考慮することとした。また，弾性設計用地震動Ｓ$_d$の一律に設定する等価繰返し回数の算出に当たっては，基準地震動Ｓ$_s$と弾性設計用地震動Ｓ$_d$の時刻歴応答波形を繋げて算出する方法から，弾性設計用地震動Ｓ$_d$のみの時刻歴加速度波形を用いて弾性設計用地震動Ｓ$_d$の最大ピーク応力に対する等価繰返し回数を算出する方法に変更した。

表１（１）弾性設計用地震動Ｓ$_d$における原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の等価繰返し回数算定結果

評価点	減衰	Ｓ$_d$ピーク応力[*1] (MPa)			１質点系の固有周期	設計用疲労線図	等価繰返し回数[*2] Ｓ$_d$－Ｄ１		
		NS	EW	UD			NS	EW	UD

*1：基準地震動Ｓ$_s$での一律に設定する等価繰返し回数の算定に適用するピーク応力（150kg/mm^2（1471MPa））に，各方向の基準地震動Ｓ$_s$の応答加速度と弾性設計用地震動Ｓ$_d$の応答加速度との応答比を乗じることにより求めた値。

*2：算定した弾性設計用地震動Ｓ$_d$1回分の値を2倍した値。（ ）内は算定した弾性設計用地震動Ｓ$_d$1回分の値。

表１（２）弾性設計用地震動Ｓ$_d$における［　　］の等価繰返し回数算定結果

評価点	減衰	Ｓ$_d$ピーク応力*1 (MPa)			１質点系の固有周期	設計用疲労線図	等価繰返し回数*2 Ｓ$_d$－Ｄ１		
		NS	EW	UD			NS	EW	UD
［　　］ EL 46.500m 質点 No. 3									
［　　］ EL 38.800m 質点 No. 4									
［　　］ EL 34.700m 質点 No. 5									
［　　］ EL 29.000m 質点 No. 6									
［　　］ EL 20.300m 質点 No. 7									
［　　］ EL 14.000m 質点 No. 8									
［　　］ EL 8.200m 質点 No. 9									
［　　］ EL 2.000m 質点 No. 10									
［　　］ EL -4.000m 質点 No. 11									

*1：基準地震動Ｓ$_s$での一律に設定する等価繰返し回数の算定に適用するピーク応力（150kg/mm^2（1471MPa））に，各方向の基準地震動Ｓ$_s$の応答加速度と弾性設計用地震動Ｓ$_d$の応答加速度との応答比を乗じることにより求めた値。

*2：算定した弾性設計用地震動Ｓ$_d$1回分の値を2倍した値。（ ）内は算定した弾性設計用地震動Ｓ$_d$1回分の値。

参考１

疲労評価の対象設備

一次＋二次＋ピーク応力評価（疲労評価）について工認計算書で対象とする設備・部位は，東海第二発電所の既工認や大間１号機の建設工認を踏まえ，選定しているものであり，耐震設計として評価すべき設備・部位を網羅して設定している（詳細は「補足-340-2【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】」添付-3 参照）。

また，疲労評価を実施するものとしては，ＪＥＡＧ4601・補 1984 に基づき疲労評価が必要となる設備・部位であり，具体的には以下が対象となる。

○ 設計基準対象設備

・クラス１容器，管，ポンプ（ＪＥＡＧ4601 補 1984 における疲労評価不要の条件（クラス１容器については，第１種容器の許容応力表の注 5）に従うものを除く。）

・クラス MC 容器（ＪＥＡＧ4601 補 1984 における疲労評価不要の条件（第２種容器の許容応力表の注 4）に従うものを除く。）

・クラス 2，3 容器，クラス 2，3 管，クラス 2，その他ポンプ（1 次＋2 次応力評価が許容値を満足するものを除く。）

○ 重大事故等対処施設

・重大事故等クラス２容器，管，ポンプ（設計基準対象設備のクラスに準ずる。）

東海第二発電所における疲労評価対象設備について，表１に示す。

表１　疲労評価の対象設備

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
原子炉圧力容器（ノズル含む） （クラス１容器）	○	
原子炉圧力容器スカート （クラス１容器）	○	
原子炉圧力容器スタビライザブラケット （クラス１容器）	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため，一次応力にて代表する。
スチームドライヤサポートブラケット （クラス１容器）	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため，一次応力にて代表する。
給水スパージャブラケット （クラス１容器）	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため，一次応力にて代表する。
炉心スプレイブラケット （クラス１容器）	×	既工認実績から地震荷重による一次＋二次応力の裕度は一次応力よりも高い裕度を有するため，一次応力にて代表する。
差圧検出・ほう酸水注入管 （ティーより N10 ノズルまでの外管） （クラス１配管）	×	設計・建設規格 PVB-3140(6)を適用し，荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に，設計疲労線図における許容繰返し回数に対応する繰返しピーク応力強さの値が，機械的荷重により生じる応力の全振幅以上の値であることを確認しているため，評価を省略する。
使用済燃料乾式貯蔵容器 （キャスク容器） （クラス１容器相当）	×	設計・建設規格 PVB-3140(6)を適用し，荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に，設計疲労線図における許容繰返し回数に対応する繰返しピーク応力強さの値が，機械的荷重により生じる応力の全振幅以上の値であることを確認しているため，評価を省略する。

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
使用済燃料乾式貯蔵容器 （タイプⅡ）（キャスク容器） （クラス１容器相当）	×	設計・建設規格 PVB-3140(6)を適用し，荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に，設計疲労線図における許容繰返し回数に対応する繰返しピーク応力強さの値が，機械的荷重により生じる応力の全振幅以上の値であることを確認しているため，評価を省略する。
使用済燃料乾式貯蔵容器 （一次蓋締付けボルト） （クラス１容器相当）	○	
使用済燃料乾式貯蔵容器 （タイプⅡ） （一次蓋締付けボルト） （クラス１容器相当）	○	
使用済燃料乾式貯蔵容器 （二次蓋）（クラス３容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
使用済燃料乾式貯蔵容器 （タイプⅡ）（二次蓋） （クラス３容器相当）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ （クラス３容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ （クラス３容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
低圧マニホールド （クラス２，３容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
残留熱除去系熱交換器 （クラス２，３容器ラグ支持たて置円筒形容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
残留熱除去系ストレーナ （クラス２配管）	×	二次応力が発生しないため。
高圧炉心スプレイ系ストレーナ （クラス２配管準用）	×	二次応力が発生しないため。
低圧炉心スプレイ系ストレーナ （クラス２配管準用）	×	二次応力が発生しないため。
制御棒駆動機構 （クラス１配管）	○	
ほう酸水貯蔵タンク （クラス２，３容器 平底たて置円筒形容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
原子炉格納容器本体 （クラスＭＣ容器）	○	
原子炉格納容器 機器搬入用ハッチ 所員用エアロック サプレッションチェンバ・アクセスハッチ 電気配線貫通部 （クラスＭＣ容器）	○	
原子炉格納容器本体 上部シアラグと格納容器胴との接合部 （クラスＭＣ容器）	○	
原子炉格納容器 配管貫通部 下部シアラグと格納容器胴との接合部 （クラスＭＣ容器）	×	設計・建設規格 PVB-3140(6)を適用し，荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に，設計疲労線図における許容繰返し回数に対応する繰返しピーク応力強さの値が，機械的荷重により生じる応力の全振幅以上の値であることを確認しているため，評価を省略する。

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
原子炉格納容器 格納容器スプレイヘッダ （ドライウェル側）（サプレッション・チェンバ側） （クラス２配管）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
原子炉格納容器 ベント管 （クラス２配管）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
非常用ディーゼル発電機 空気だめ （クラス２，３容器　横置容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
非常用ディーゼル発電機 空気だめ （クラス２，３支持構造物（クラス２，３容器））	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
軽油貯蔵タンク （クラス２，３容器　横置き円筒容器） （クラス３容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
非常用ディーゼル発電機 燃料油デイタンク （クラス２，３容器　横置容器）	○	
非常用ディーゼル発電機 燃料油デイタンク （クラス２，３支持構造物（クラス２，３容器））	○	

設備名称	疲労評価の実施の有無 ○：有 ×：無	省略理由
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 空気だめ （クラス２，３容器　横置容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 空気だめ （クラス２，３支持構造物（クラス２，３容器））	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 燃料油デイタンク （クラス２，３容器　横置容器）	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 燃料油デイタンク （クラス２，３支持構造物（クラス２，３容器））	×	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認しているため疲労評価は不要。
クラス１配管	○	
クラス２，３配管	○	規格基準（JEAG4601・補 1984）に従い，一次＋二次応力で求めた応力範囲が 2Sy 以下であることを確認している場合は疲労評価は不要。

参考２

各設備の部品毎のピーク応力

設備名称	評価部位	①ピーク応力 (MPa)	②ピーク応力(MPa) （水平２方向考慮）＊	ピーク応力 (MPa) （①と②の最大値）	備考
原子炉圧力容器 （クラス１容器）	胴板	2	2	2	水平２方向の地震力の影響は軽微
	下部鏡板	48	48	48	水平２方向の地震力の影響は軽微
	制御棒駆動機構ハウジング貫通部	295	295	295	水平２方向の地震力の影響は軽微
	ノズル	936	936	936	設計用地震力として√2倍以上を考慮
原子炉圧力容器スカート （クラス１容器）	原子炉圧力容器スカート	193	193	193	水平２方向の地震力の影響は軽微
使用済燃料乾式貯蔵容器 （一次蓋締付けボルト） （クラス１容器相当）	一次蓋締付けボルト	6	6	6	水平２方向の地震力の影響は軽微
使用済燃料乾式貯蔵容器 （タイプⅡ） （一次蓋締付けボルト） （クラス１容器相当）	一次蓋締付けボルト	3	3	3	水平２方向の地震力の影響は軽微
制御棒駆動機構 （クラス１配管）	管	8	8	8	水平２方向の地震力の影響は軽微
原子炉格納容器本体 （クラスＭＣ容器）	下段Ｂビームシートとの接合部	1079	1079	1079	水平２方向の地震力の影響は軽微
機器搬入用ハッチ （クラスＭＣ容器）	機器搬入用ハッチ本体と補強板との結合部	788	788	788	設計用地震力として設計用床応答曲線の√2倍以上を考慮
	ドライウェル円錐胴と補強板との接合部	925	925	925	設計用地震力として設計用床応答曲線の√2倍以上を考慮

設備名称	評価部位	①ピーク応力 (MPa)	②ピーク応力(MPa) （水平２方向考慮）＊	ピーク応力 (MPa) （①と②の最大値）	備考
所員用エアロック （クラスＭＣ容器）	ドライウェル円錐胴と補強板との接合部	393	393	393	設計用地震力として設計用床応答曲線の√2倍以上を考慮
サプレッションチェンバ・アクセスハッチ （クラスＭＣ容器）	サプレッションチェンバ・アクセスハッチ本体と補強板との結合部	773	1094	1094	②は①を√2倍して算出
	サプレッションチェンバ円筒胴と補強板との結合部	694	982	982	②は①を√2倍して算出
電気配線貫通部 （クラスＭＣ容器）	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部（胴側）	776	776	776	水平２方向の地震力の影響は軽微
	補強板取付部（胴側）	421	421	421	水平２方向の地震力の影響は軽微
上部シアラグと格納容器胴との接合部 （クラスＭＣ容器）	上部シアラグと格納容器胴との接合部	1918	1918	1918	水平２方向の地震力の影響は軽微
非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンク （クラス２，３容器　横置容器）	胴	958	958	958	水平２方向の地震力の影響は軽微
非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンク（クラス２，３支持構造物（クラス２，３容器））	脚	639	639	639	水平２方向の地震力の影響は軽微
クラス１，２，３配管 （最大ピーク応力発生個所：原子炉冷却材浄化系（CU-PD-9））	配管	578	578	578	設計用地震力として設計用床応答曲線の√2倍以上を考慮

＊：水平２方向のピーク応力の考え方は「補足-340-7【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

参考３

ピーク応力の算定方法について

ここでは、代表設備（主蒸気系配管（配管解析モデル MS-B））のピーク応力の算定方法について説明する。

（１）地震時のピーク応力算定方法

地震時のピーク応力算定フローを図１に、算定方法を以下に示す。

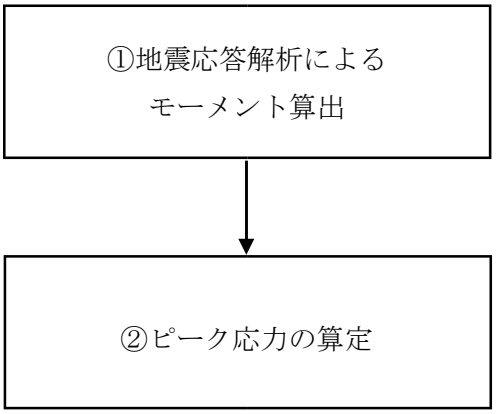


図１　地震時のピーク応力算定フロー

①地震応答解析によるモーメント算出

MS-B に生じるモーメントの算定に当たっては、MS-B 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）を実施する。

この地震応答解析から得られたモーメントを表１に示す。

表１ 地震応答解析から得られたモーメント

(N・mm)

分類	部位	方向*	モーメント			算出に使用
			MX	MY	MZ	
慣性力	主管	X-Y				○
		Y-Z				—
	分岐管	X-Y				○
		Y-Z				—
相対変位	主管	X-Y				—
		Y-Z				○
	分岐管	X-Y				—
		Y-Z				○

＊ X：EW 方向，Y：UD 方向，Z：NS 方向

②ピーク応力の算定

表１に示す設計荷重から、ピーク応力を算定する。

表１に示すモーメントにより算出した地震によるピーク応力(*Sp*)は、下式を用いて算定する。（ＪＥＡＧ4601・補-1984 許容応力編　2.2.1）

$$S_p = \frac{K2b \times C2b \times Mbs}{Zb} + \frac{K2r \times C2r \times Mrs}{Zr}$$

$S_p =$ [　　]

$=$ [　　] (MPa)

ここから、繰返しピーク応力（*Sl*)は、下式を用いて算出する。

Sl= *Ke* × *Sp*/2 = [　　] (MPa)

縦弾性係数による温度補正（302℃）した後の繰返しピーク応力(*Sl'*)を以下に示す。

Sl'= [　　] (MPa)

なお、上記で使用している記号は以下の通り。

Sp	：ピーク応力
K2,C2	：応力係数（設計・建設規格 2005/2007 PPB-3813）
Mbs	：表１より算出した分岐管のモーメント（モーメントの各方向を SRSS）
Mrs	：表１より算出した主管のモーメント（モーメントの各方向を SRSS）
Zb	：分岐管の断面係数
Zr	：主管の断面係数
Sl	：繰返しピーク応力（温度補正前）
Sl'	：繰返しピーク応力（温度補正後）
Ke	：ＪＥＡＧ4601・補-1984 許容応力編　2.2.1 により計算した値

参考４

時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算定した場合との比較検討

１．はじめに

JEAG4601 におけるフローには分岐があり，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）（左側のフロー）と，地震荷重を応答スペクトルより求める機器系（建屋応答に基づく 1 質点系応答解析により算定した時刻歴変位波形を用いる場合）（右側のフロー）が示されている。今回の東海第二発電所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，1 質点系応答解析により算定した時刻歴変位波形を用いる場合（右側のフロー）にて検討することとしている。

なお，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（左側のフロー）で等価繰返し回数を算定することは可能であるが，これらの荷重は特定の設備のみ使用されるものであることから，今回の等価繰返し回数の設定においては，右側のフローを用いている。

本資料では，JEAG4601 の左側のフローである時刻歴応答解析から算出される時刻歴応答波形（荷重）を等価繰返し回数の算定に用いる場合においても，今回の等価繰返し回数 160 回の設定に問題がないことを確認する。

２．時刻歴応答解析から算出される時刻歴応答波形（荷重）を用いた等価繰返し回数

２．１ 対象設備

「昭和 55 年　耐震設計の標準化に関する調査報告書」において原子炉圧力容器スカート（RPV スカート）について左側のフローでの評価を実施している。そのため，代表として RPV スカートに対して，時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算定する。なお RPV スカートは東海第二発電所では疲労評価を実施している設備である。

検討対象設備として選定した RPV スカートのピーク応力は，表１に示すとおりである。

表１ 検討対象設備の選定結果

検討対象設備	ピーク応力 (MPa)	耐震評価のインプットに用いる 解析結果
原子炉圧力容器 スカート	171※1	モーメント 軸力

※１：繰り返し回数の算出の際は 150kg/mm^2（1471MPa）を用いる。

以下では，RPV スカートにおいても，今回の等価繰返し回数 160 回の設定に問題がないことを確認する。

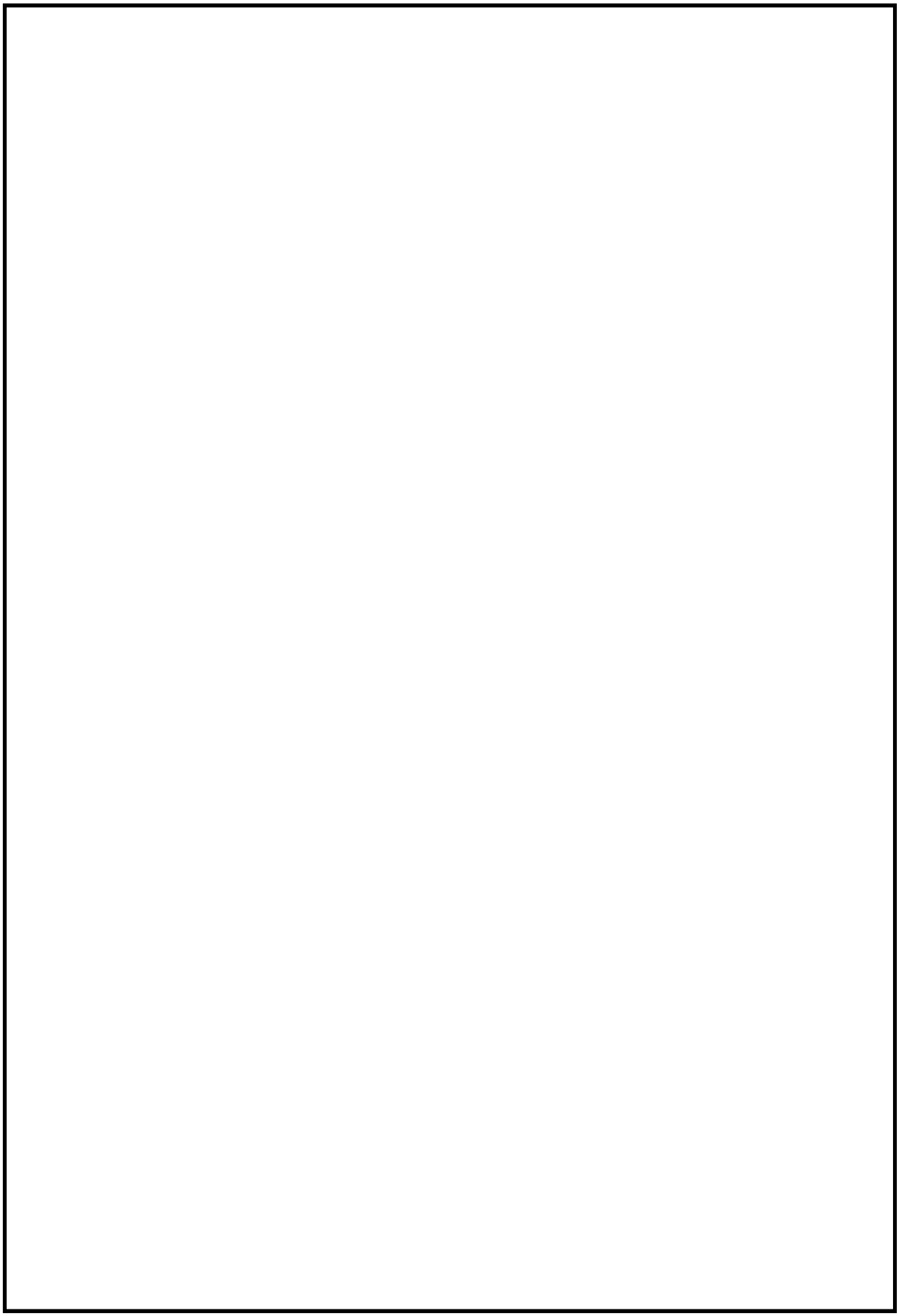


図１ RPV スカート等価繰返し回数評価点
（時刻歴を用いた節点・座標系）

２．２ 検討内容

RPV スカートの荷重（モーメント，軸力）の時刻歴波を用いて等価繰返し回数を算定する。

当該部位の評価においては，建屋－大型機器系連成解析により得られた荷重（モーメント，軸力）時刻歴に基づき算出する。図２－１～図２－３に解析の荷重の時刻歴波としてモーメント・軸力の時刻歴波を示す。

次に，解析にて算出した時刻歴波を用いて RPV スカートの等価繰返し回数を算定する。RPV スカートは荷重（モーメント，軸力）を用いて評価しているため，それぞれの時刻歴波を用いて等価繰返し回数を算定した。

なお，等価繰返し回数の算出の際は 150kg/mm^2（1471MPa）を用いる。※

※：各荷重・モーメントの時刻歴波において，波の振幅に関係なく，荷重・モーメントの最大値をピーク応力の最大値である 1471MPa に置き換えることで応力の時刻歴波とし，等価繰返し回数を算定する。

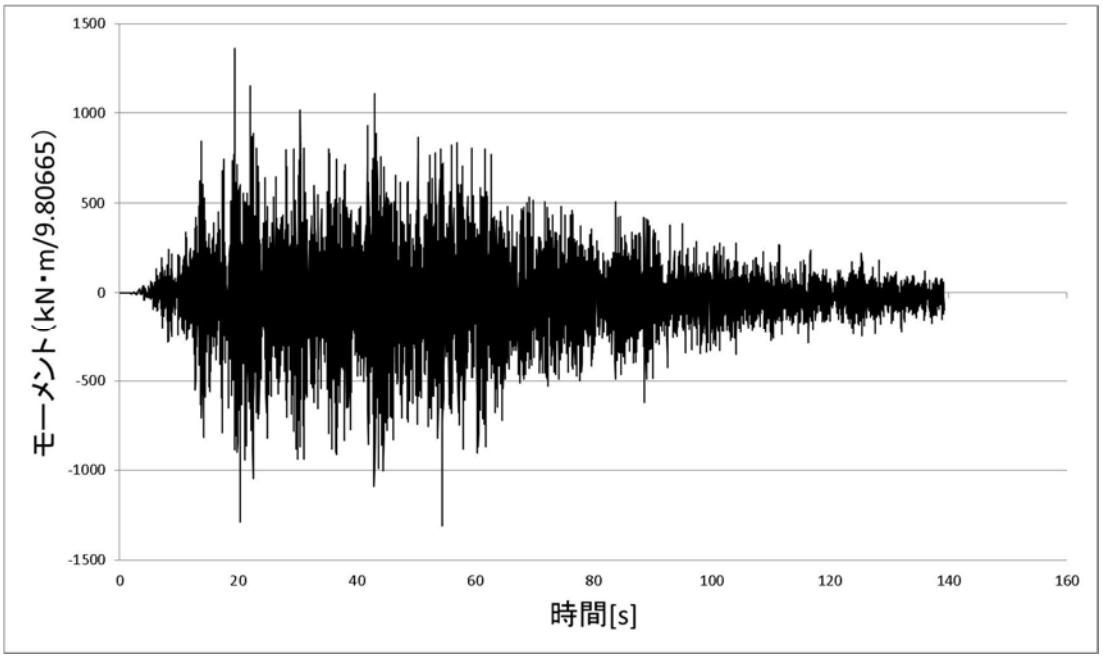


図２－１　建屋－大型機器系連成解析モデル時刻歴（モーメント）(NS 方向)

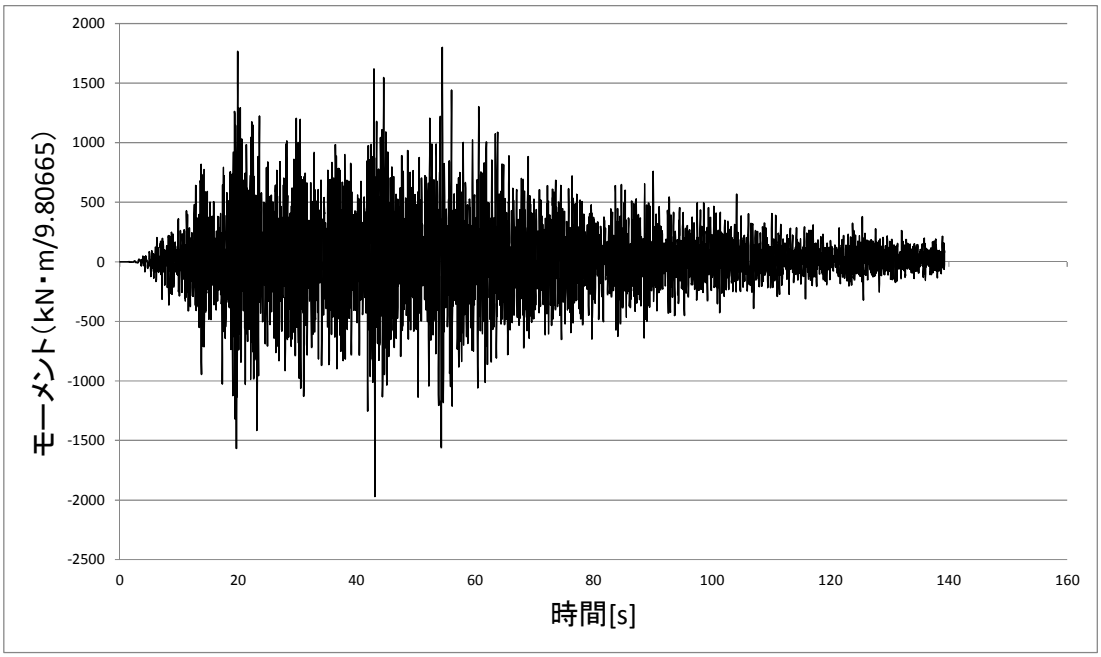


図２－２　建屋－大型機器系連成解析モデル時刻歴（モーメント）（EW 方向）

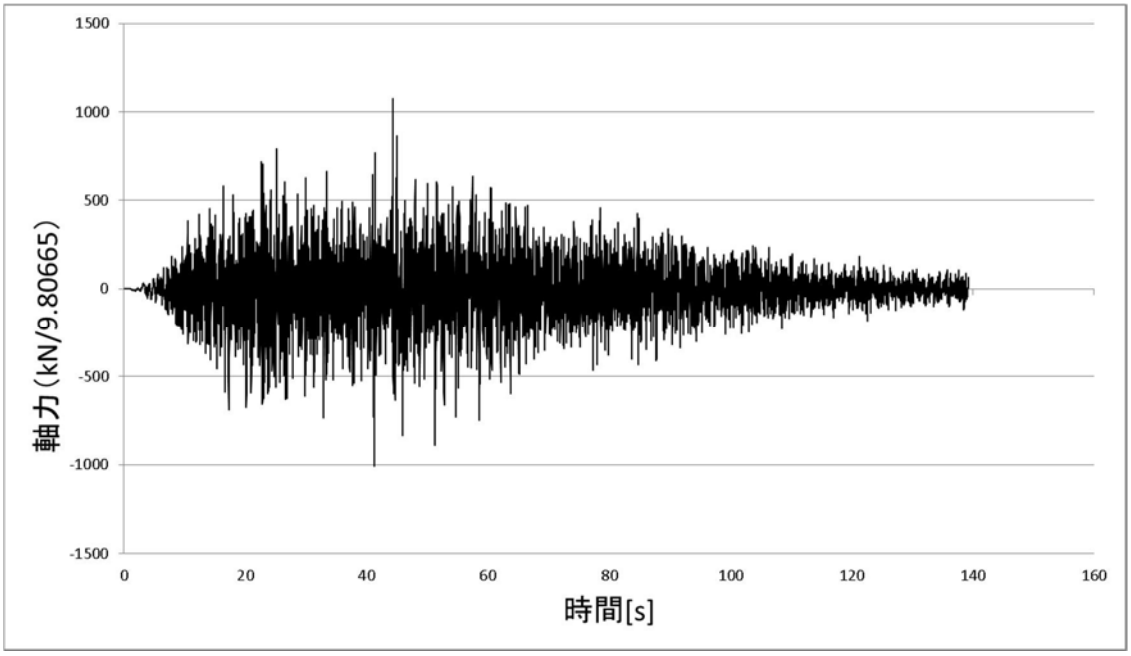


図２－３　建屋－大型機器系連成解析モデル時刻歴（軸力）（UD 方向）

２．３ 検討結果

RPV スカートにおける等価繰返し回数の算定結果を表２に示す。

Ｓ$_s$－Ｄ１の時刻歴波について等価繰返し回数を算定した結果，RPV スカートのモーメント時刻歴波（図２－１，２－２参照）において最大等価繰返し回数[redacted]となった。

以上より，設備の時刻歴応答波形より直接算定した回数は，160 回より十分小さく，一律に設定した等価繰返し回数の設定に問題はないと考えられる。

表２ 荷重時刻歴波形（解析結果）を用いた等価繰返し回数算定結果

評価点	ピーク応力	位置	NS 方向 モデル （モーメント）	EW 方向 モデル （モーメント）	UD 方向 モデル （軸力）
原子炉圧力容器 スカート	1471MPa (150kg/mm^2)	[redacted]			

参考５

地震時等価繰返し回数算定エビデンス

1．はじめに

本資料は，ピーク法を考慮したピーク応力法の地震等価繰返し回数の算定についてまとめたものである。

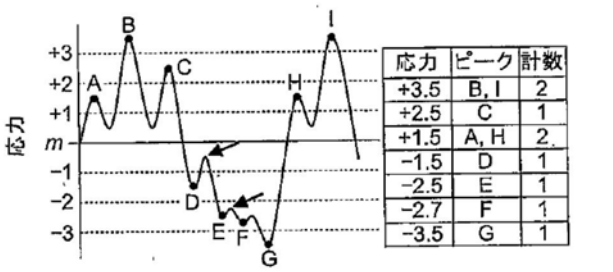
ピーク法を考慮したピーク応力法による等価繰返し回数の算定方法について，各ステップの詳細な説明を示す。

2．ピーク法を考慮したピーク応力法による等価繰返し回数の算定方法

・ステップ１

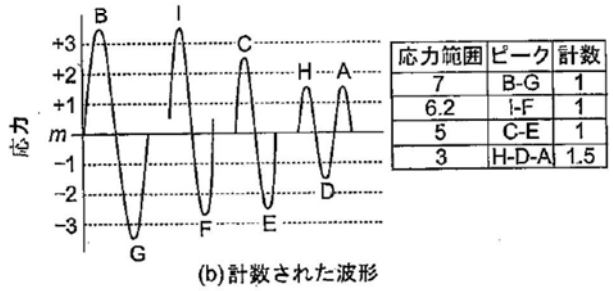
加速度時刻歴波形から１質点系応答解析により，各周期応答変位を算定する。算定した応答変位時刻歴波形から平均値ｍ以上では極大値（正のピーク），平均値ｍ以下では極小値(負のピーク)を計測し，正のピークの最大値と負のピークの最小値により１つのサイクルの波形とし，次の正と負のピークで１つのサイクルとしてカウントする。

地震による疲労評価に適用する等価繰り返し回数算定においては，地震荷重が交番荷重であり，設計で適用する地震力と対応させるため，本評価では平均値を０とし，０値を基準とした片振幅としてカウントする。



応力	ピーク	計数
+3.5	B, I	2
+2.5	C	1
+1.5	A, H	2
−1.5	D	1
−2.5	E	1
−2.7	F	1
−3.5	G	1

(a)変動応力波形



応力範囲	ピーク	計数
7	B-G	1
6.2	I-F	1
5	C-E	1
3	H-D-A	1.5

(b)計数された波形

図 4.34　ピーク法による波形計数例

「材料強度学」（社団法人　日本材料学会，平成 18 年 3 月 15 日第 2 版）より参照

・ステップ 2

抽出したピーク点の応力に対する許容繰返し回数（N_i）を設計疲労線図より求め，ピーク点の疲れ累積係数 UF（Usage Factor）を求める。

○ＵＦの算定式

$$2UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} \cdots$$

ここで，n_i：各ピークのサイクル数（1 つのピークで 1 サイクルとする）

N_i：各ピークに対する許容繰返し回数

・ステップ 3

最大ピーク応力に対応する許容繰返し回数（N_0）を設計疲労線図より求め，UF に乗じることで，最大ピーク応力に対する等価繰返し回数（N_e）を求める。

○最大ピーク応力に対する等価繰返し回数(N_e)

$N_e = UF \times N_0$

3．等価繰返し回数算定エビデンス

以降では，下表に示す原子炉建屋 EL 46.500m のＳ$_s$－Ｄ１の等価繰返し回数の算定エビデンスを示す。

表１　原子炉建屋 EL 46.500m のＳ$_s$－Ｄ１の等価繰返し回数

標高	地震動	ピーク応力：1471MPa (150kg/mm^2))		
		NS 方向	EW 方向	UD 方向
EL46.500m	Ｓ$_s$－Ｄ１			

原子炉建屋 EL 46.500m のＳ$_s$－Ｄ１の加速度時刻歴波形を図 3-1～図 3-3 に示す。本時刻歴から 1 質点系応答解析により，各周期応答変位を算定する。

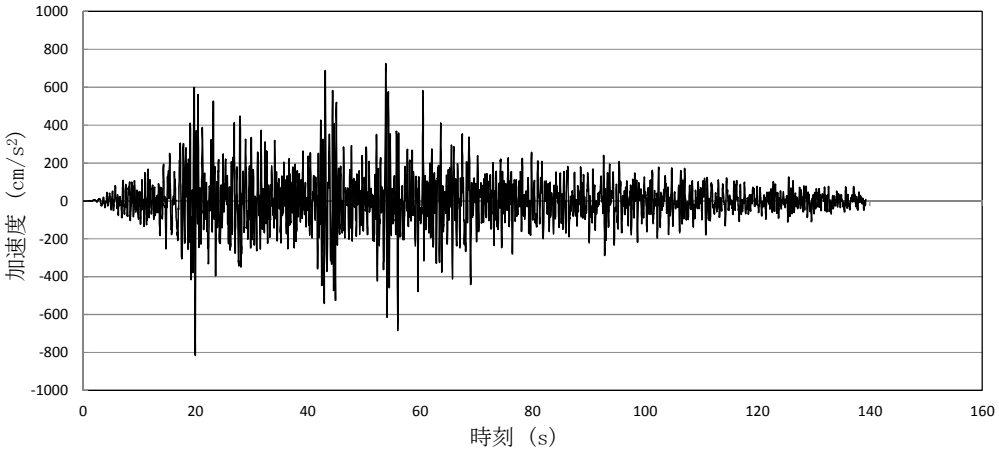


図 3-1 加速度時刻歴波形（NS 方向）

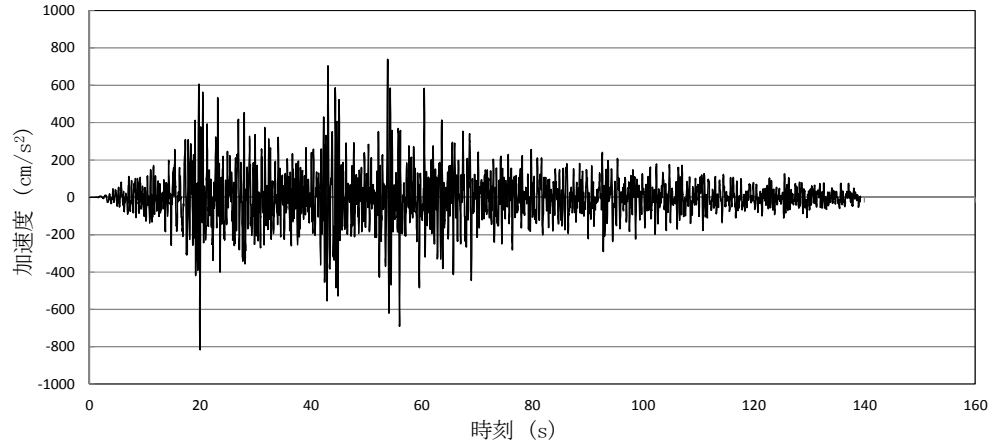


図 3-2 加速度時刻歴波形（EW 方向）

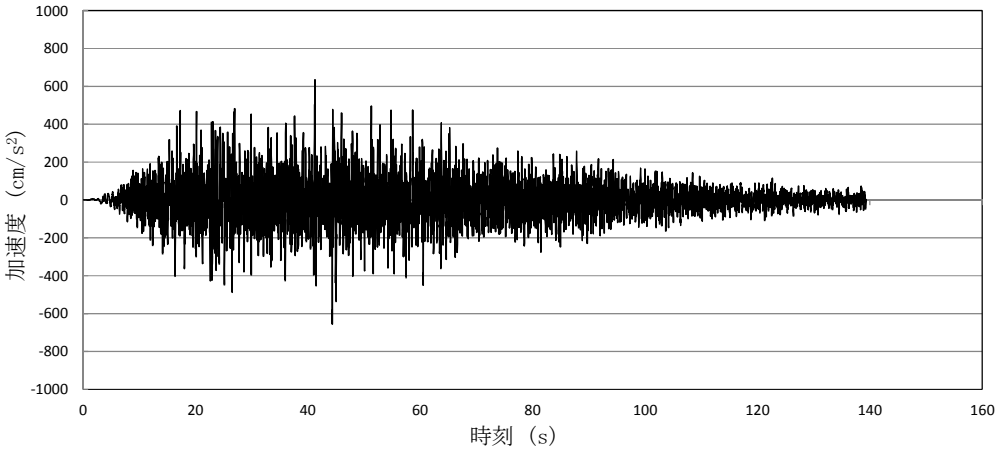


図 3-3 加速度時刻歴波形（UD 方向）

応答変位時刻歴波形に対し最大ピーク応力を 1471MPa として，ピーク応力法により周期毎の等価繰返し回数（N_e）を算定した。

各周期毎の等価繰返し回数結果を図 3-4～図 3-6 に示す。表-1 の等価繰返し回数は各周期の等価繰返し回数の最大値である。

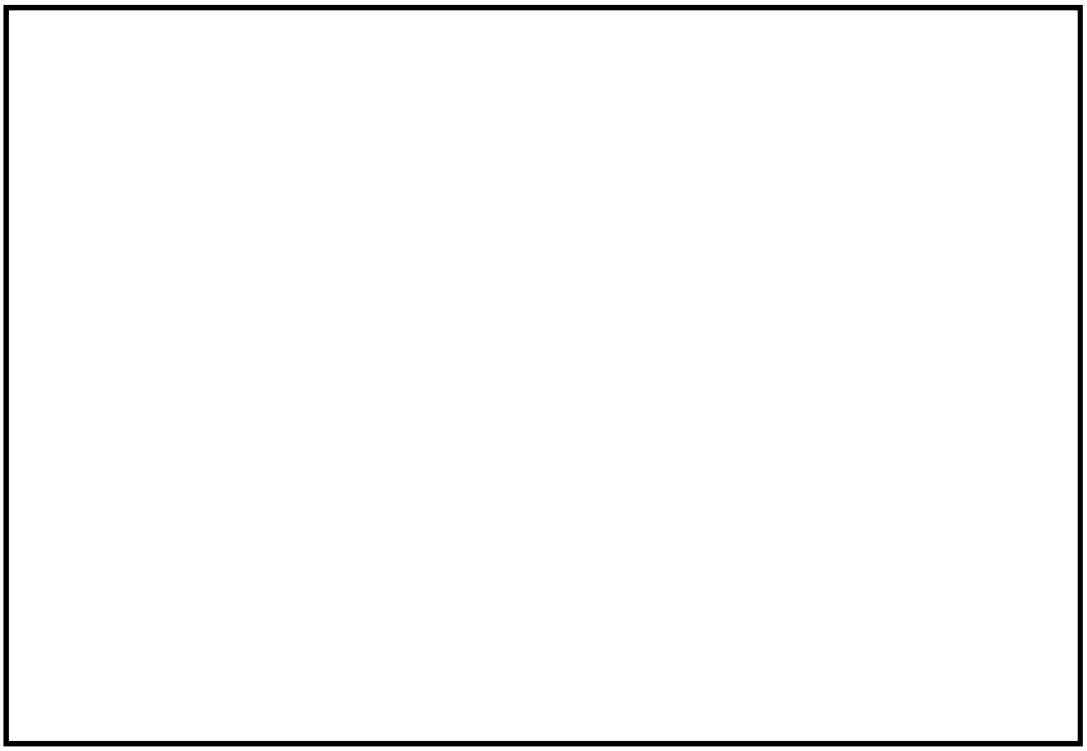


図 3-4 等価繰返し回数（NS 方向）

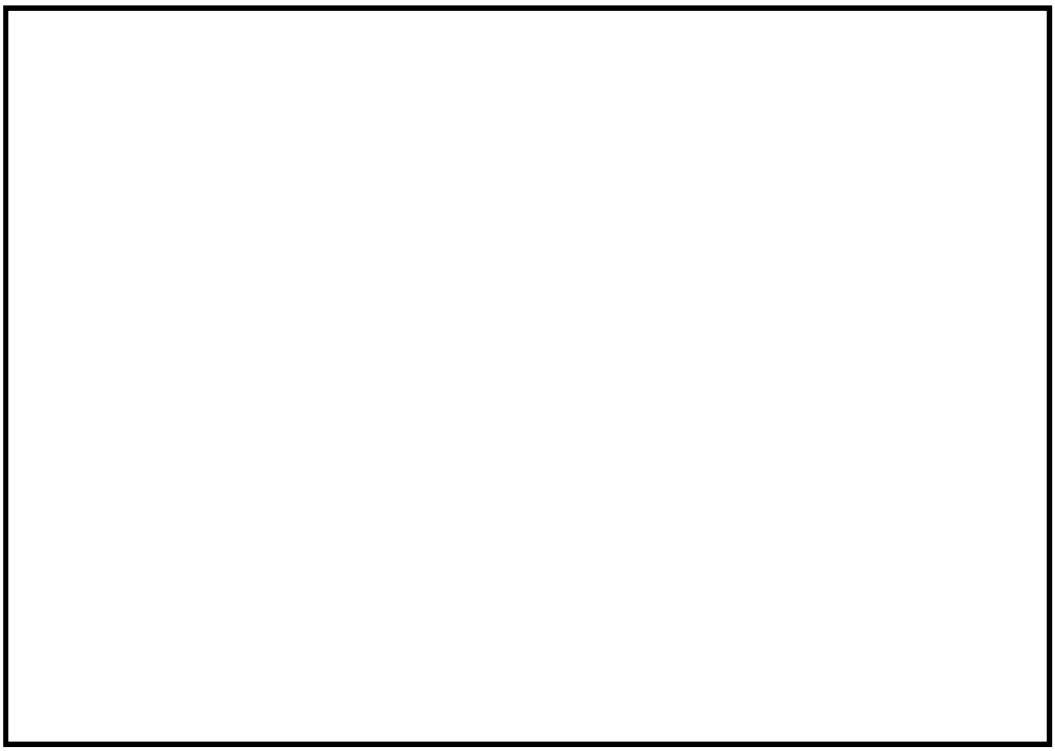


図 3-5 等価繰返し回数（EW 方向）

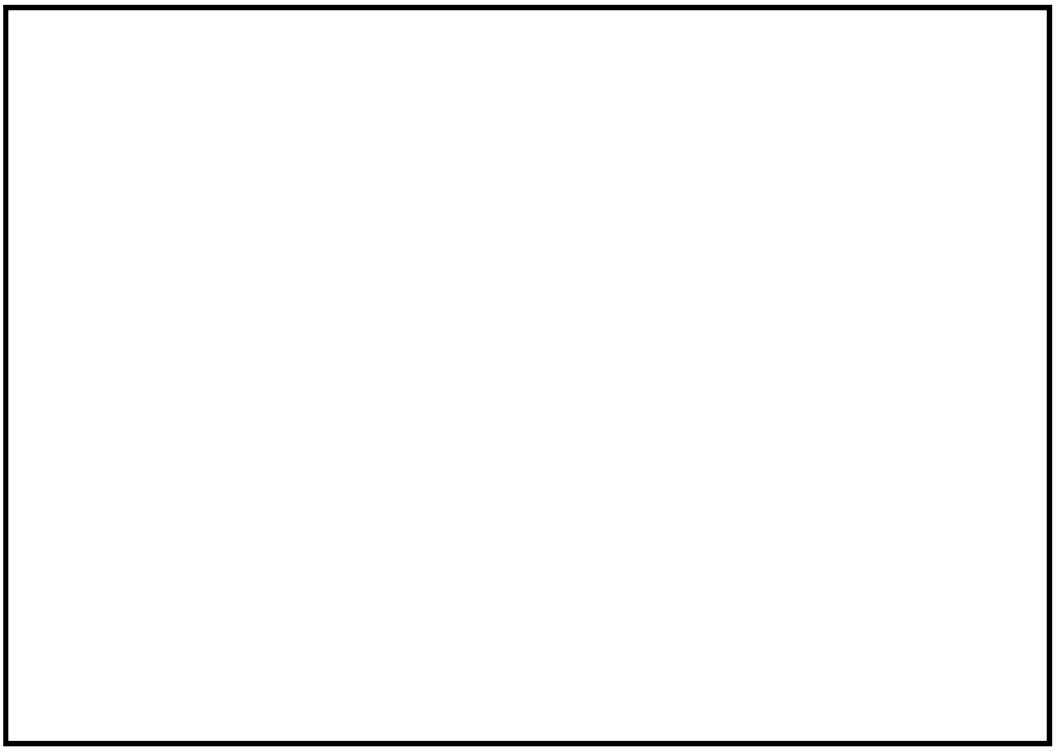


図 3-6 等価繰返し回数（UD 方向）

4．等価繰返し回数算定プログラムについて

等価繰返し回数算定に用いたプログラムの概要及び検証結果を添付１に示す。

添付１

等価繰返し回数算定プログラムについて

1. はじめに

本資料は，等価繰返し回数算定において使用した計算機プログラム（解析コード）ＳＡＳについて説明するものである。

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	Seismic Analysis System（ＳＡＳ）
使用目的	等価繰返し回数の算定
開発機関	日立GEニュークリア・エナジー株式会社
開発時期	2016年（初版開発時期　2009年）
使用したバージョン	Ver6.1.0
コードの概要	ＳＡＳ（以下「本解析コード」という。）は，耐震設計に使用する条件を作成することを目的に，地震波時刻歴データの波形書式の変換機能，地震波時刻歴データから床応答スペクトルを計算する機能，応答分布図や振動モード図の作成機能など，耐震解析プログラムを統合したシステムである。このうち指定された方法で等価繰返し回数を算定する機能を使用する。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードで算定した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。 ・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インストールして用いていることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。 ・算定方法はJEAG4601-1987記載の設計用繰返し回数の設定（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（ＳＡＳ）における等価繰返し回数算定機能の検証

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「ＳＡＳ」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。算定方法はJEAG4601-1987記載の設計用繰返し回数の設定（ピーク応力法）のフローに従うものとし，本解析コードを用いた，等価繰返し回数算定のフローを下記に示す。

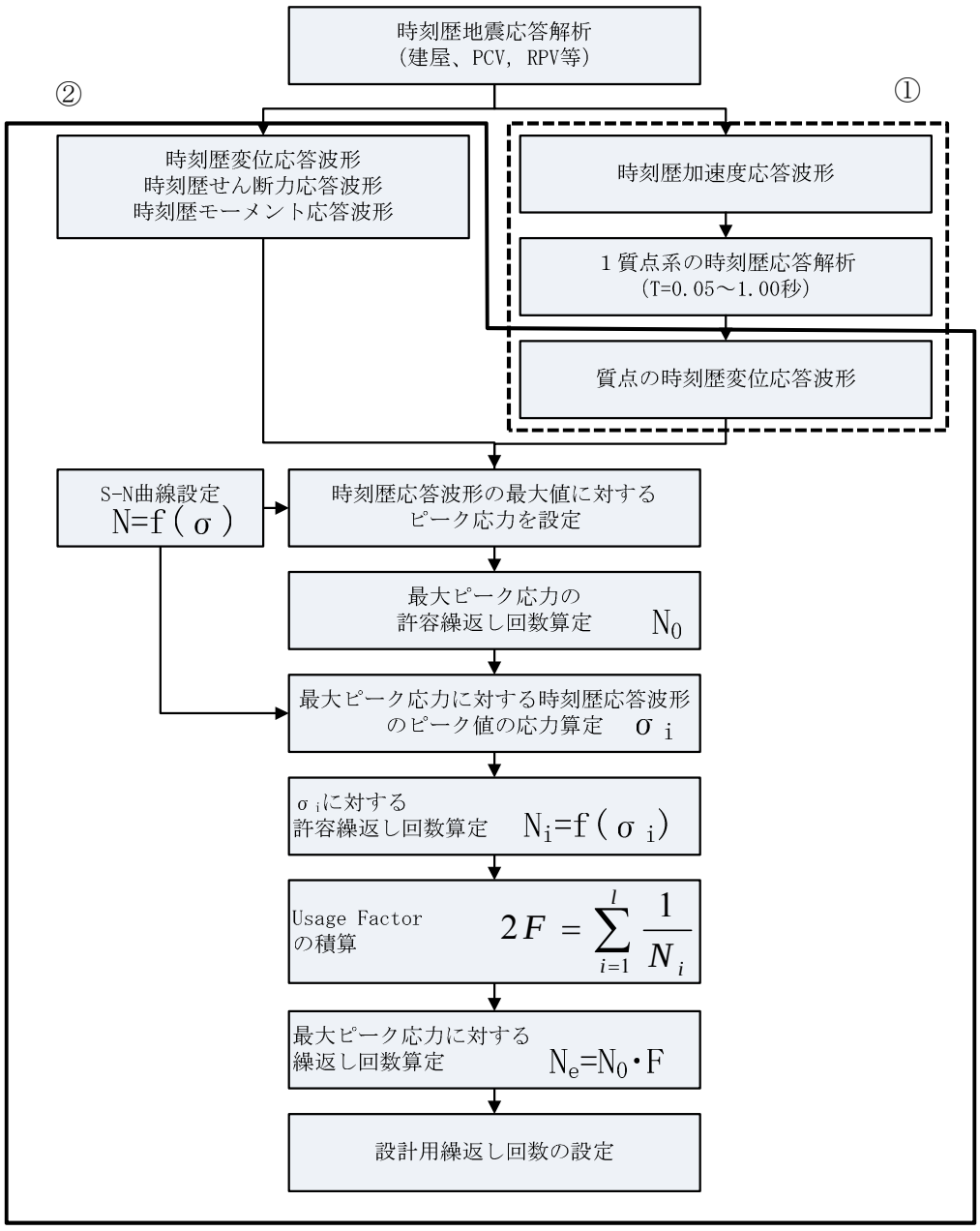


図１　等価繰返し回数算定フロー（ピーク応力法）

3.2　解析コードの検証

(1)　検証の概要

解析コード「ＳＡＳ」による計算結果の妥当性の確認には，手計算により算出した等価繰返し回数を用いる。

「ＳＡＳ」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

図 2 を入力地震波として，「ＳＡＳ」を用いて計算する。等価繰返し回数算定において，図 1 に示す等価繰返し回数算定フロー(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，添付書類「Ⅴ-5-62　計算機プログラム (解析コード) の概要・Seismic Analysis System (ＳＡＳ)」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。

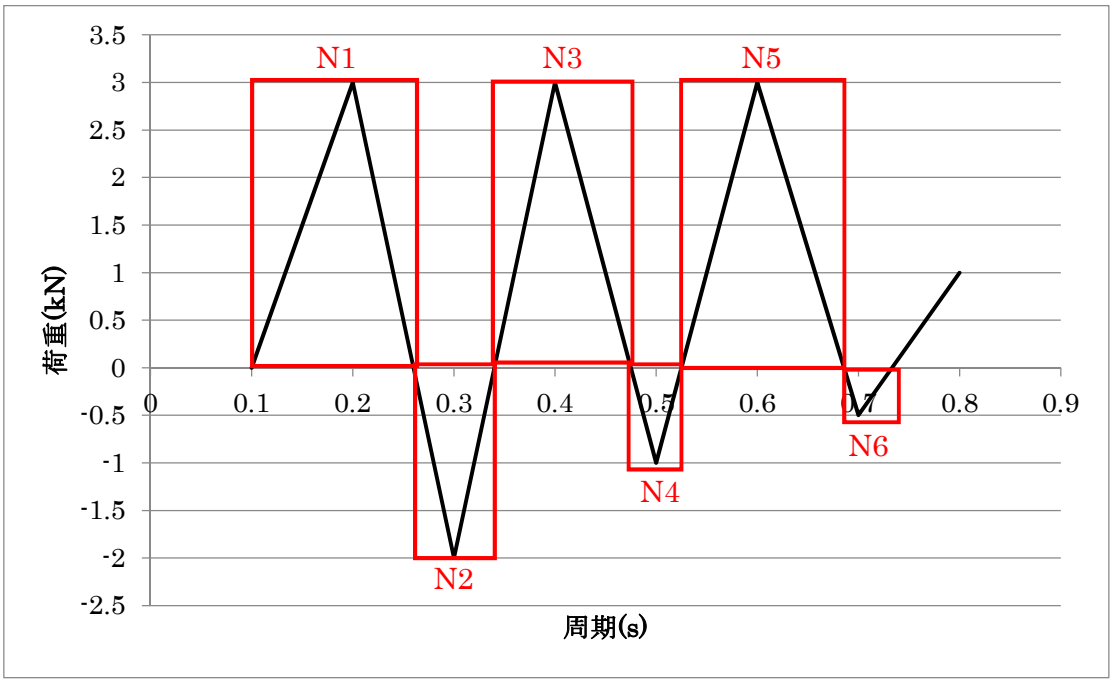


図 2　検証ケース　入力地震波

(3) 算定条件

JEAG4601-1987 記載の等価繰返し回数算定フロー(ピーク応力法)のうち時刻歴波形に対する等価繰返し回数を算定する。算定条件は以下とする。

表 1　設計疲労線図 材料データ

許容繰返し回数	繰返しピーク応力強さ
10 回	410 kg/mm^2 (4021 MPa)
100 回	150.0 kg/mm^2 (1471 MPa)
1000 回	59.0 kg/mm^2 (579 MPa)
10000 回	27.0 kg/mm^2 (265 MPa)
100000 回	15.0 kg/mm^2 (148 MPa)
1000000 回	8.8 kg/mm^2 (87 MPa)

(4)　計算結果の比較

「ＳＡＳ」及び手計算で計算した等価繰返し回数を表 2 に示す。

表 2　「ＳＡＳ」及び手計算の計算結果

No.	項目	手計算内容	「ＳＡＳ」による計算結果
1	最大ピーク応力の仮定	150 kg/mm^2 (1471 MPa)	150 kg/mm^2 (1471 MPa)
2	最大ピーク応力の許容繰返し回数 N_0 の算定	N_0 = 100 回	―*
3	最大ピーク応力に対する時刻歴応答ピーク値 σ_i の応力算定	σ_1 = 150 kg/mm^2 (1471 MPa) σ_2 = 100 kg/mm^2 (981 MPa) σ_3 = 150 kg/mm^2 (1471 MPa) σ_4 = 50 kg/mm^2 (491 MPa) σ_5 = 150 kg/mm^2 (1471 MPa) σ_6 = 25 kg/mm^2 (246 MPa) ※　荷重振幅 3 kN を最大ピーク応力に規格化	―*
4	応力に対する許容繰返し回数 N_i の算定	N_1=100 回, N_2=272 回, N_3=100 回 N_4=1628 回, N_5=100 回, N_6=13519 回	―*
5	Usage Factor F の算出	F=(1/100＋1/272＋1/100＋1/1628＋1/100＋1/13519)×1/2 = 0.017182	―*
6	最大ピーク応力に対する等価繰返し回数 N_e の算定	N_e = 100×0.017182 = 1.7182=2 回 ※小数部を切上げ	2 回

＊：プログラムによる自動計算。

(5)　検証結果

表 2 に示す等価繰返し回数の比較結果のとおり，両者は一致しており，「ＳＡＳ」を用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

等価繰返し回数の算定における材料物性のばらつき等の影響検討

「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」の疲労評価用地震等価繰返し回数の検討において，ピーク応力法を用いた等価繰返し回数の評価時の解析条件として，地盤条件を変更した検討をしている。本資料においては，材料物性のばらつき等を考慮した建屋応答時刻歴波を用いた場合の影響検討を実施した。

１．材料物性のばらつき等を考慮した場合の等価繰返し回数の算定

原子炉建屋における建屋剛性及び地盤物性のばらつきを考慮した場合の等価繰返し回数を算定する。表１に等価繰返し回数の算定条件を示す。

表１ 等価繰返し回数の算定条件

対象建屋	ピーク応力	地震動	固有周期	減衰定数	設計疲労線図	検討ケース
原子炉建屋	1471MPa※	Ｓｓ－Ｄ１	全周期帯	0.5% 1%	炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼	(ケース 1) 地盤物性＋σ 考慮モデル
						(ケース 2) 地盤物性－σ 考慮モデル
						(ケース 3) 建屋剛性 考慮モデル

※ピーク応力については，150kg/mm^2（1471MPa）を用いる。

表２，３に等価繰返し回数の算定結果を示す。材料物性のばらつき等を考慮した場合でも，等価繰返し回数の算定結果への影響は軽微であり，一律に設定した繰返し回数の 160 回以下であることが確認できる。

２．材料物性のばらつき等を重畳させた場合の影響検討

本文６項において，「a.６つのパラメータによる等価繰返し回数への影響」，「b.６つのパラメータ以外による等価繰返し回数への影響」の検討を行っている。

「a.６つのパラメータによる等価繰返し回数への影響」では，等価繰返し回数が大きくなるよう最も厳しい条件を仮定して一律に設定した等価繰返し回数を設定していることを確認している。

「b.６つのパラメータ以外による等価繰返し回数への影響」では，時刻歴解析を用いている設備への影響，水平２方向による影響，材料物性のばらつき等の影響の評価を行っている。

時刻歴解析を用いている設備への影響については，原子炉圧力容器スカートを代表として検討した結果，Ｓｓ－Ｄ１における時刻歴応答解析から算出される時刻歴応答波形（荷重）で

等価繰返し回数を算定した結果（ＪＥＡＧ4601 左側フロー），[redacted]（原子炉圧力容器スカートにおける最大値）となり，原子炉圧力容器スカート下端（原子炉本体の基礎[redacted]）の，Ｓｓ－Ｄ１における建屋応答に基づく 1 質点系応答解析により算定した時刻歴変位波形で等価繰返し回数の算定した結果（ＪＥＡＧ4601 右側フロー）の最小値[redacted]を下回っていることを確認している（参考４参照）。

水平 2 方向による影響については，一律に設定する等価繰返し回数を用いて疲労評価を行う設備について，水平 2 方向を考慮したピーク応力が，一律に設定する等価繰返し回数算定に用いたピーク応力 150kg/mm^2（1471MPa）を下回っているため（参考２参照），算定した等価繰返し回数が変わらないことを確認している。

材料物性のばらつき等の影響については，前項に示すとおり等価繰返し回数の算定結果への影響は軽微であることを確認している。

そのため，「a.6 つのパラメータによる等価繰返し回数への影響」及び材料物性のばらつき等の影響を含む「b.6 つのパラメータ以外による等価繰返し回数への影響」を重畳させた場合，材料物性のばらつき等以外の影響については，算定した等価繰返し回数を増加させる要因とはならないため，前項における材料物性のばらつき等の影響による評価結果と同じであり，価繰返し回数の算定結果への影響は軽微であることが確認できる。

表２ 材料物性のばらつき等を考慮した［　　］の等価繰返し回数の算定結果

評価点*	減衰	基本ケース			ばらつきケース								
		Ｓ$_s$－Ｄ１			ケース１			ケース２			ケース３		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
［　　］ EL　46.500m 質点 No.3	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　38.800m 質点 No.4	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　34.700m 質点 No.5	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　29.000m 質点 No.6	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　20.300m 質点 No.7	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　14.000m 質点 No.8	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　8.200m 質点 No.9	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　2.000m 質点 No.10	h=0.5%												
	h=1.0%												
［　　］ EL　-4.000m 質点 No.11	h=0.5%												
	h=1.0%												

＊：質点 No.は本文 図７参照

表３　材料物性のばらつき等を考慮した原子炉格納容器，原子炉圧力容器等の等価繰返し回数の算定結果

評価点*	減衰	基本ケース			ばらつきケース								
		Ｓ$_s$－Ｄ１			ケース１			ケース２			ケース３		
		NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD

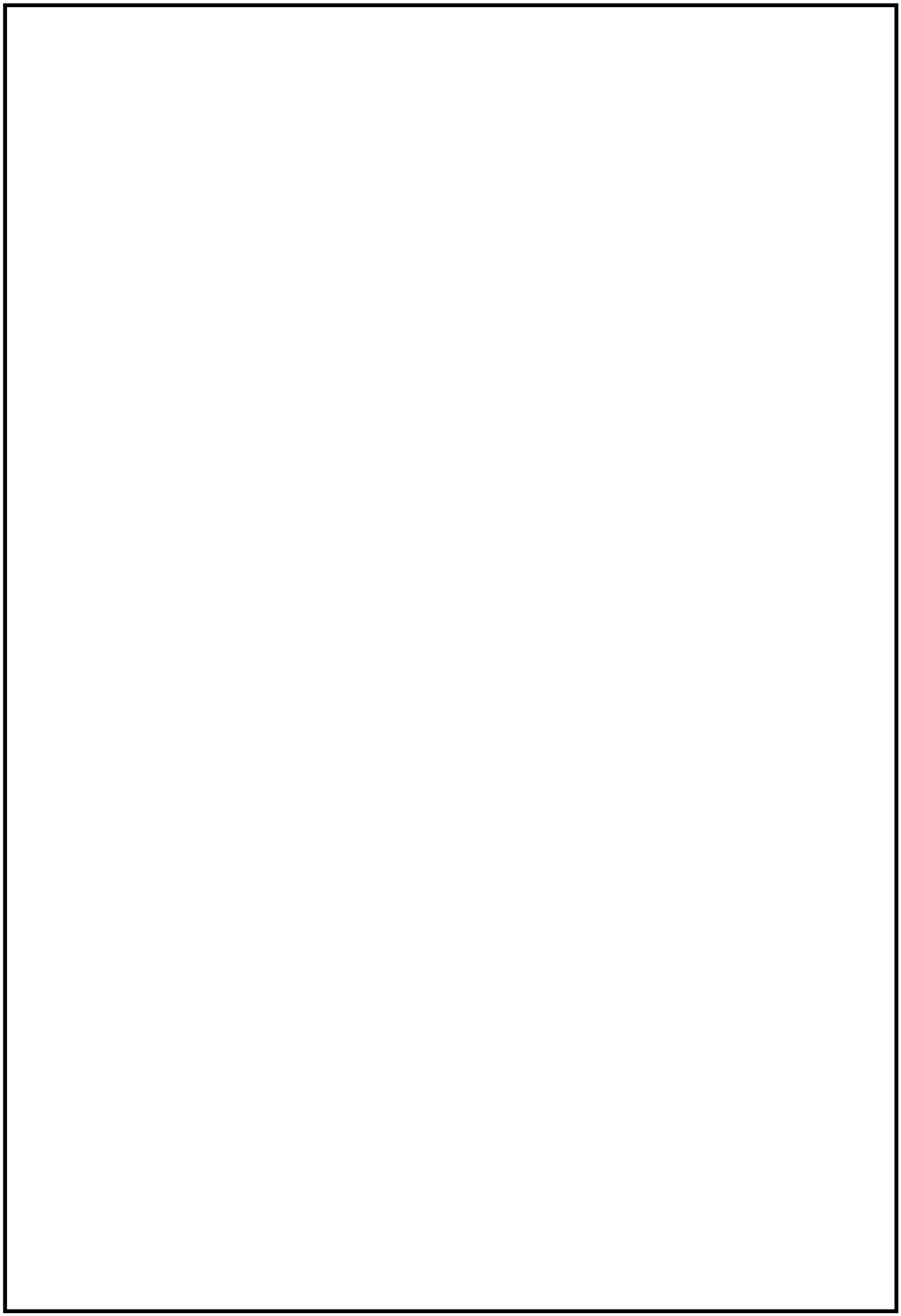
＊：質点 No. は本文 図５参照

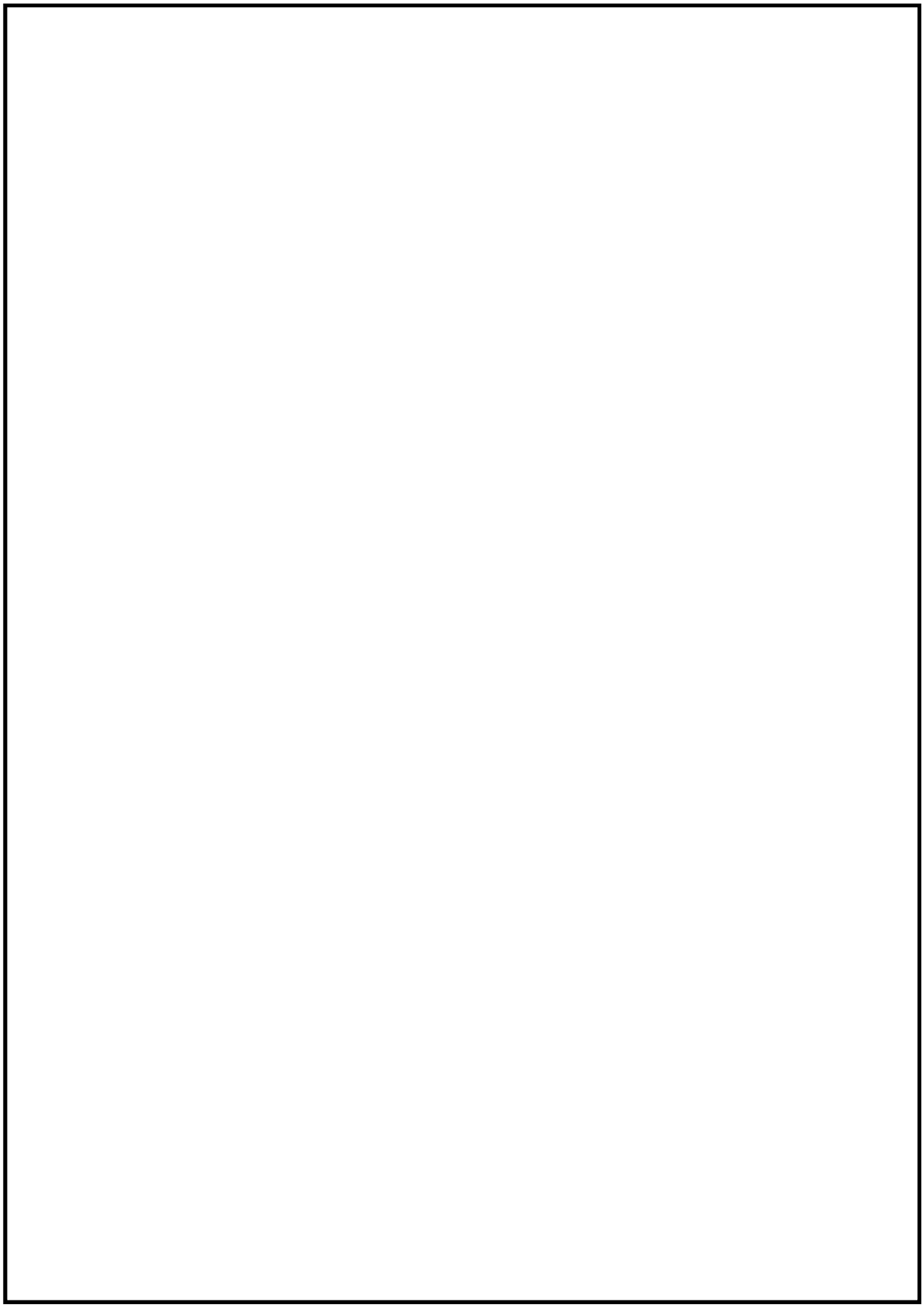
参考７

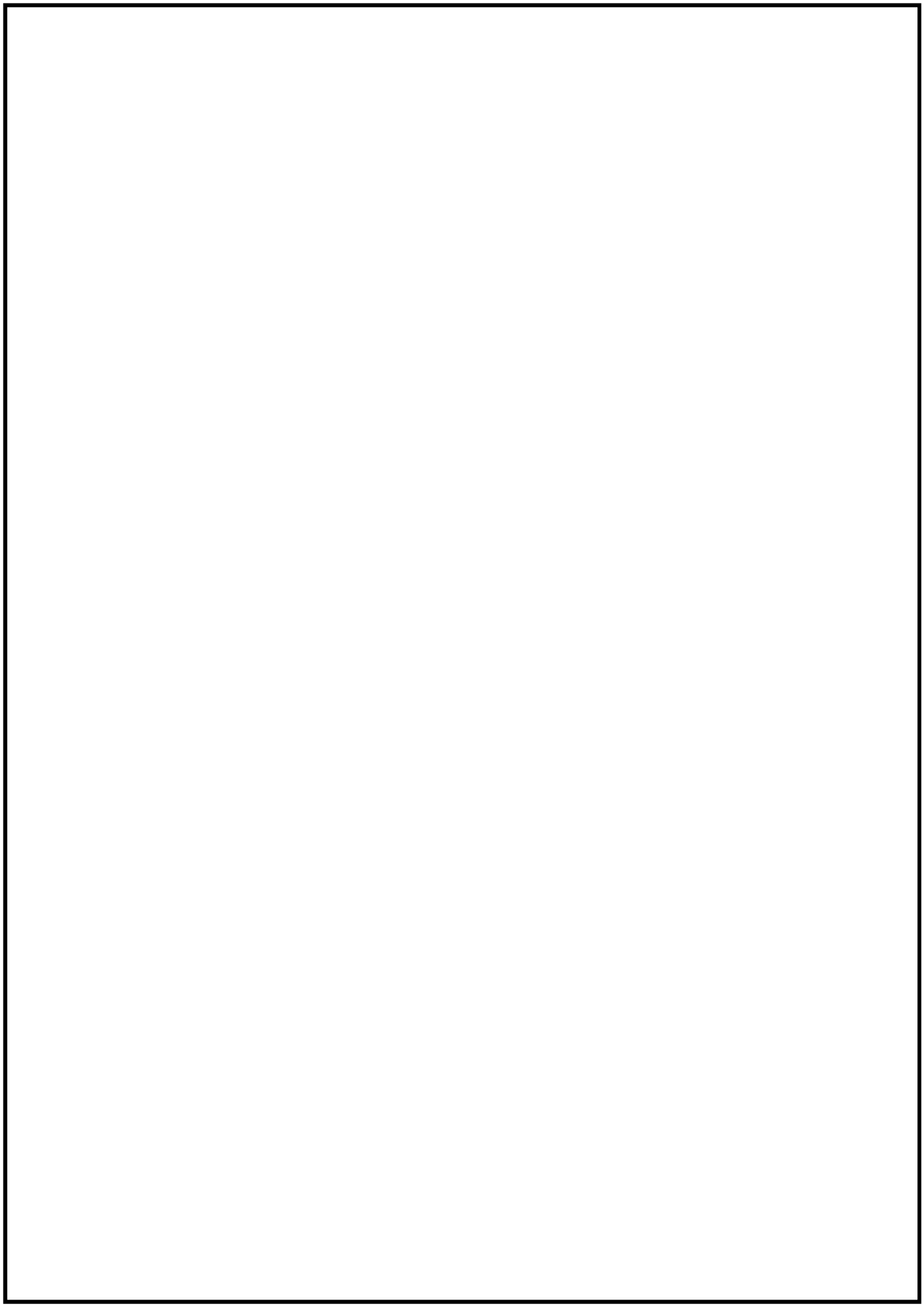
多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について

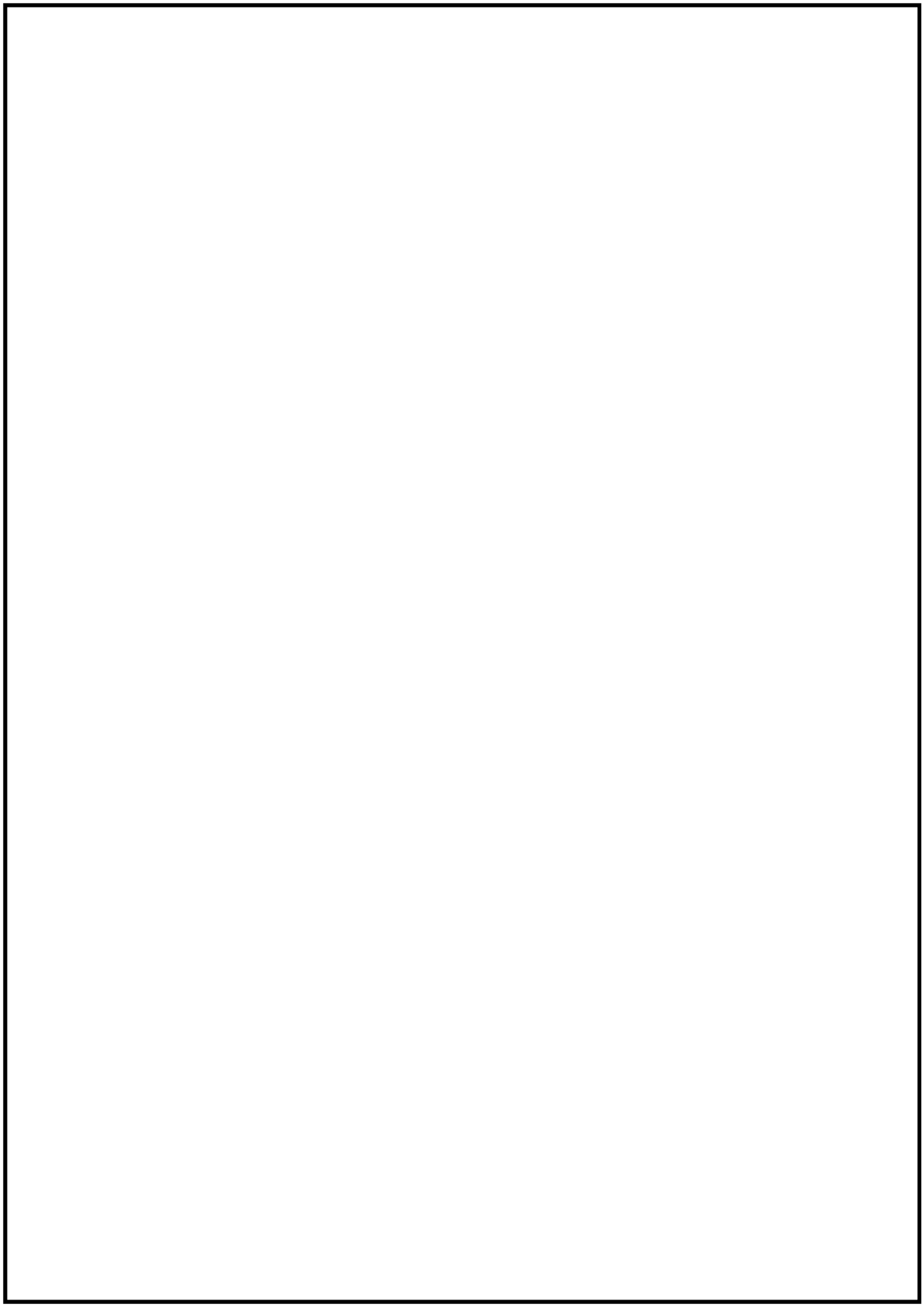
１．はじめに

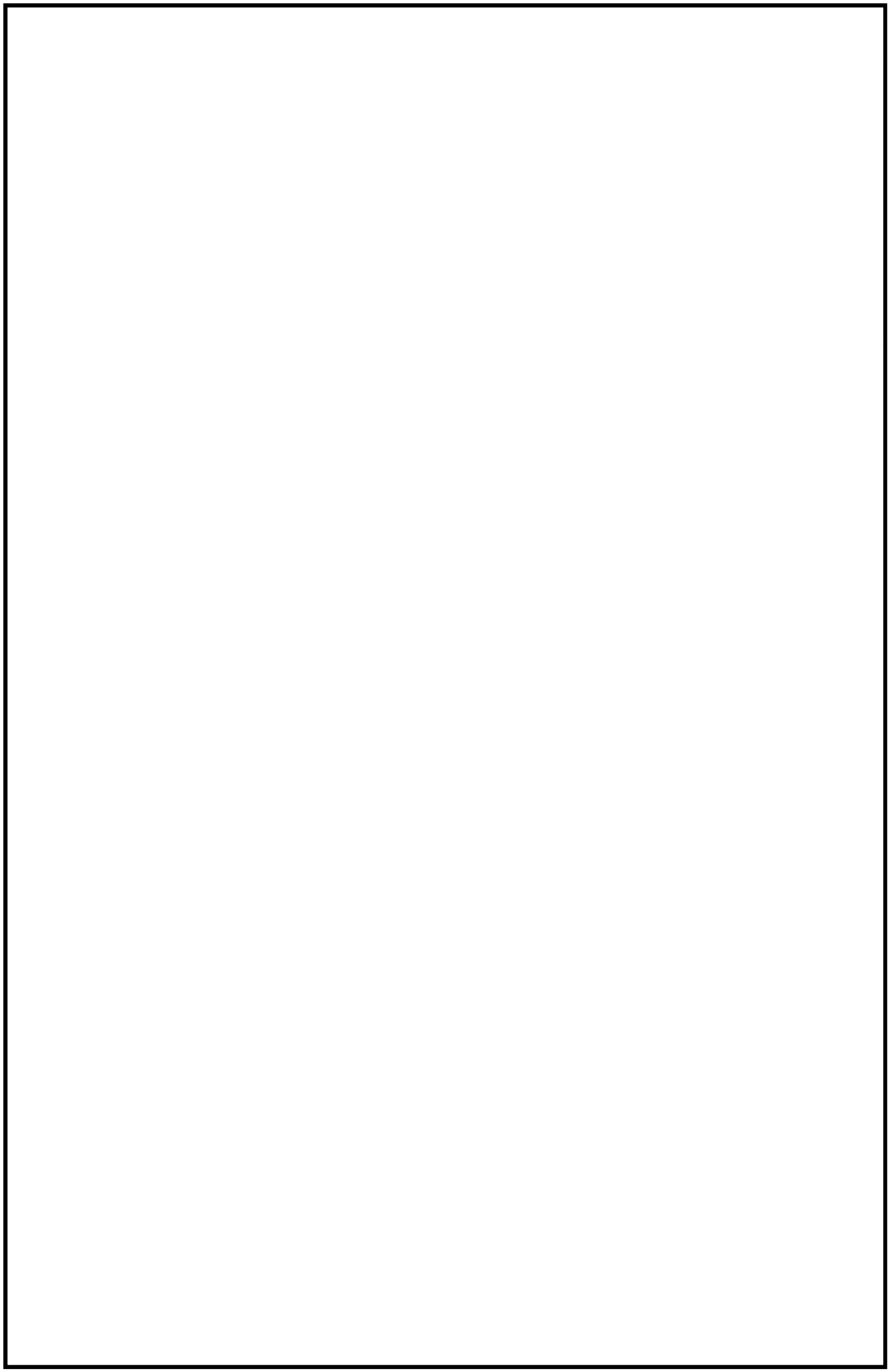
本資料は多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法についてまとめたものである。本内容は電共研「新規制基準対応を踏まえた機器・配管系評価方法に関する研究」（平成２９年３月）にて検討されており，２項にて電共研における成果を示し，３項にて東海第二発電所において多方向入力時に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当であることを示すものである。

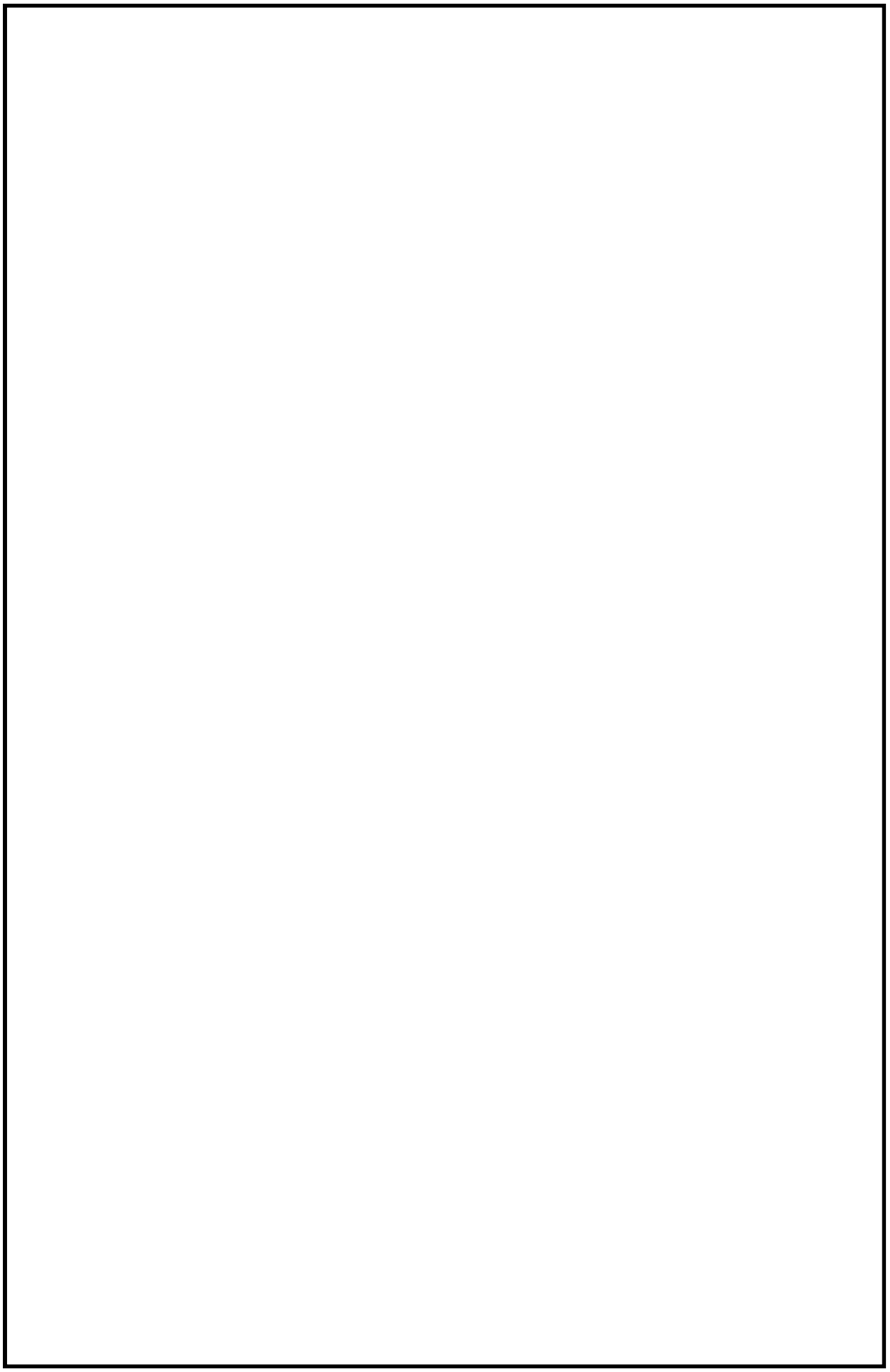


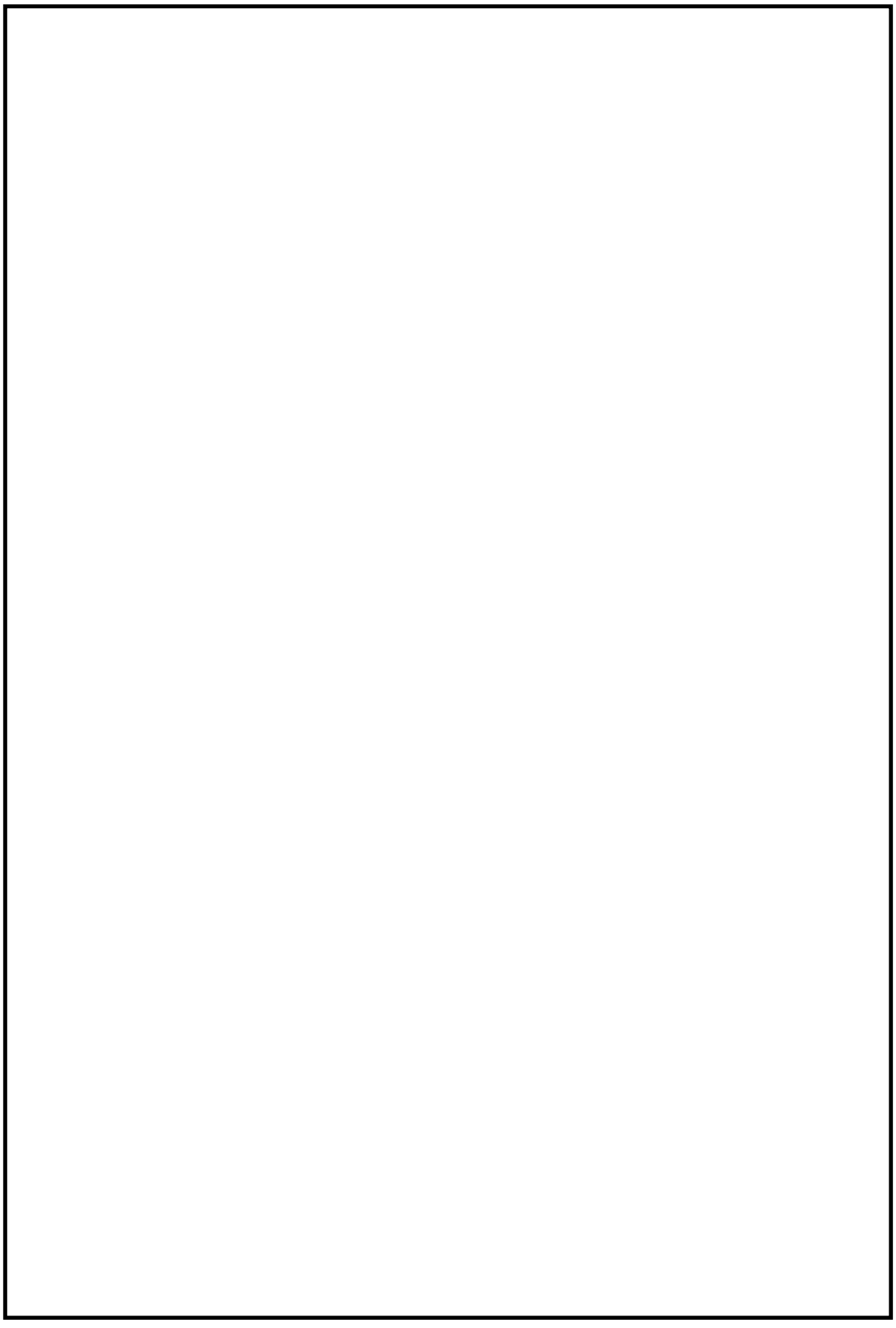


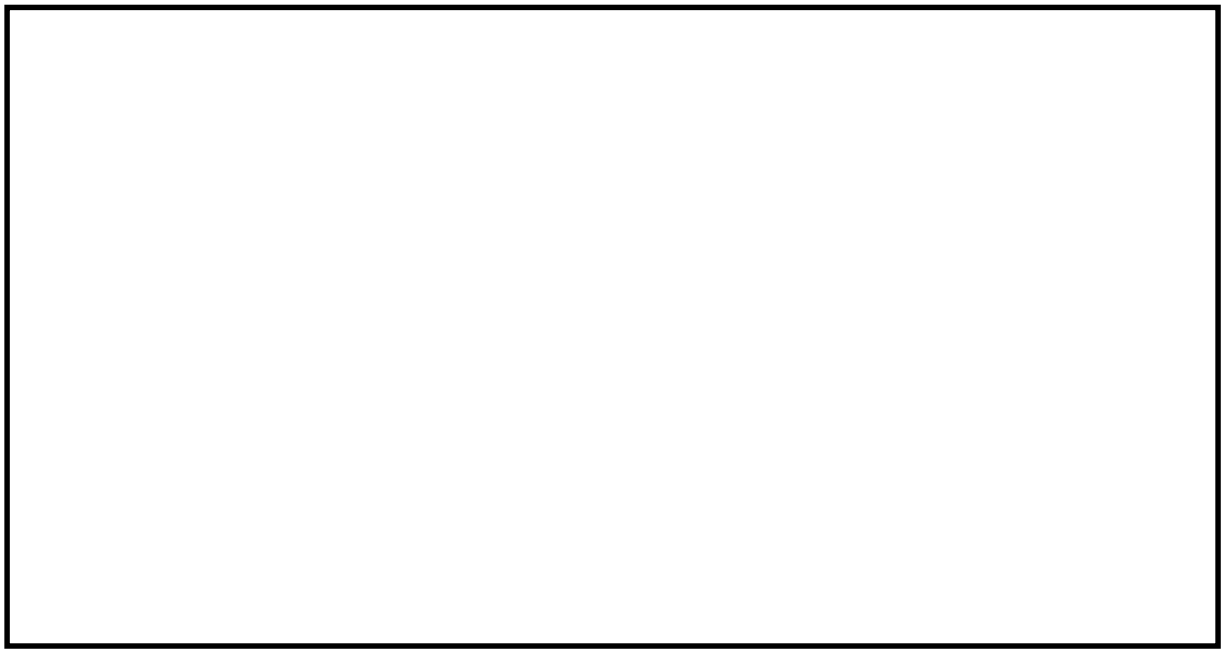


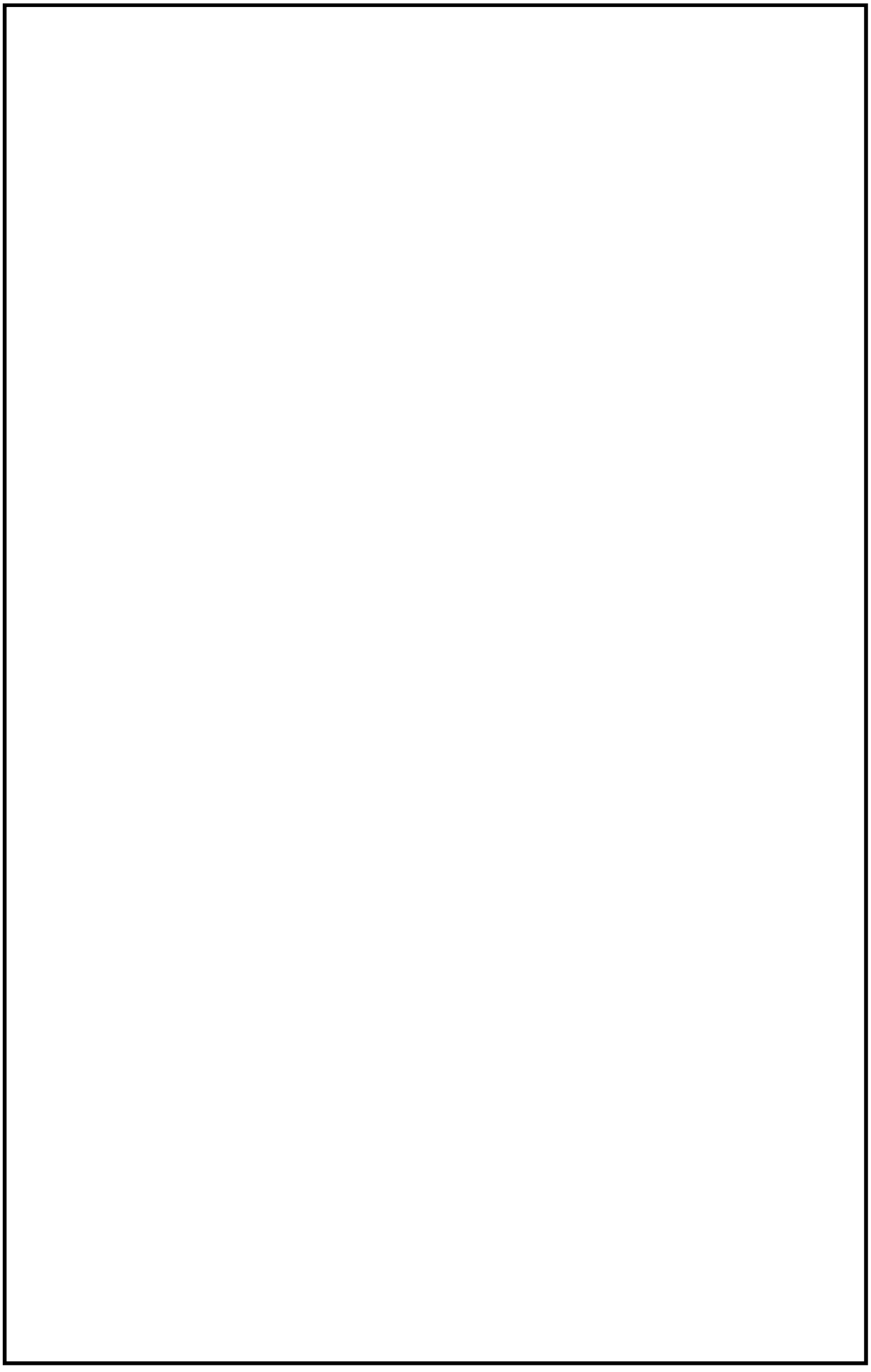






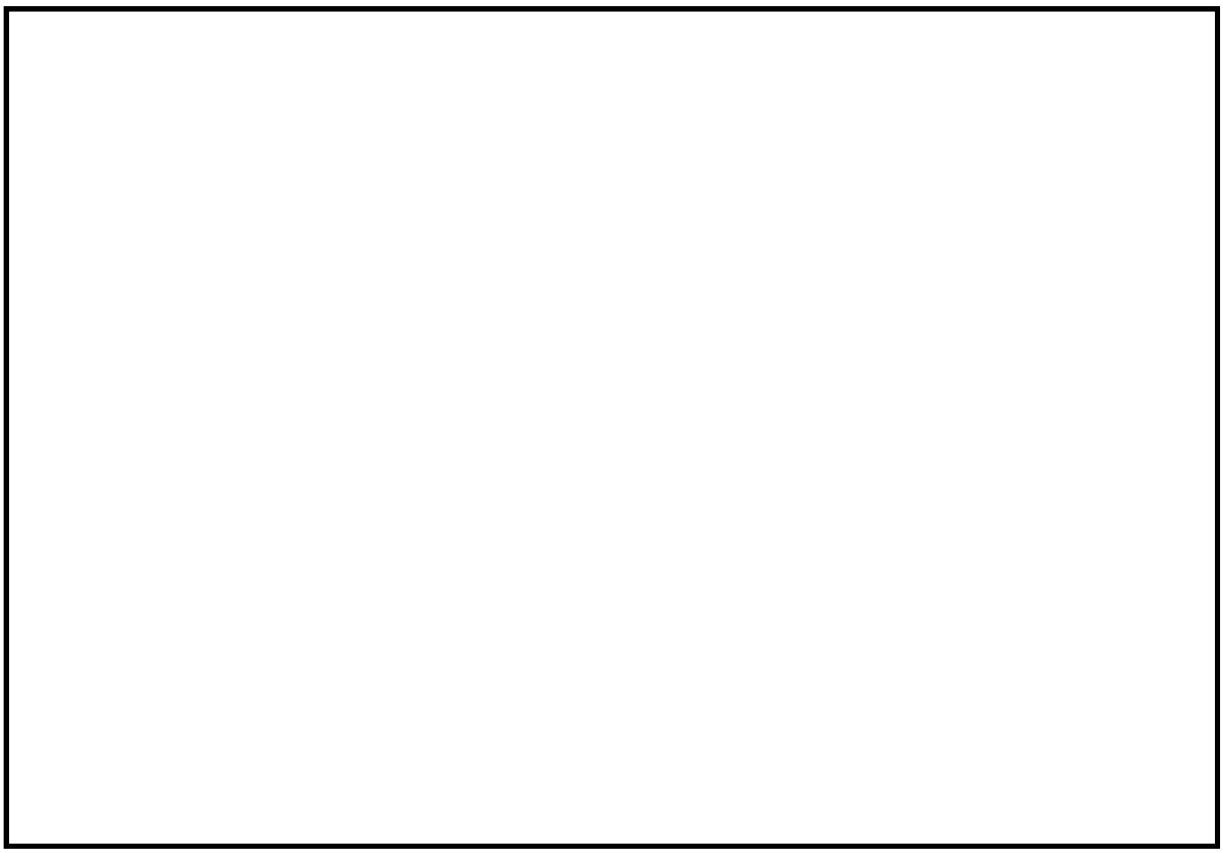




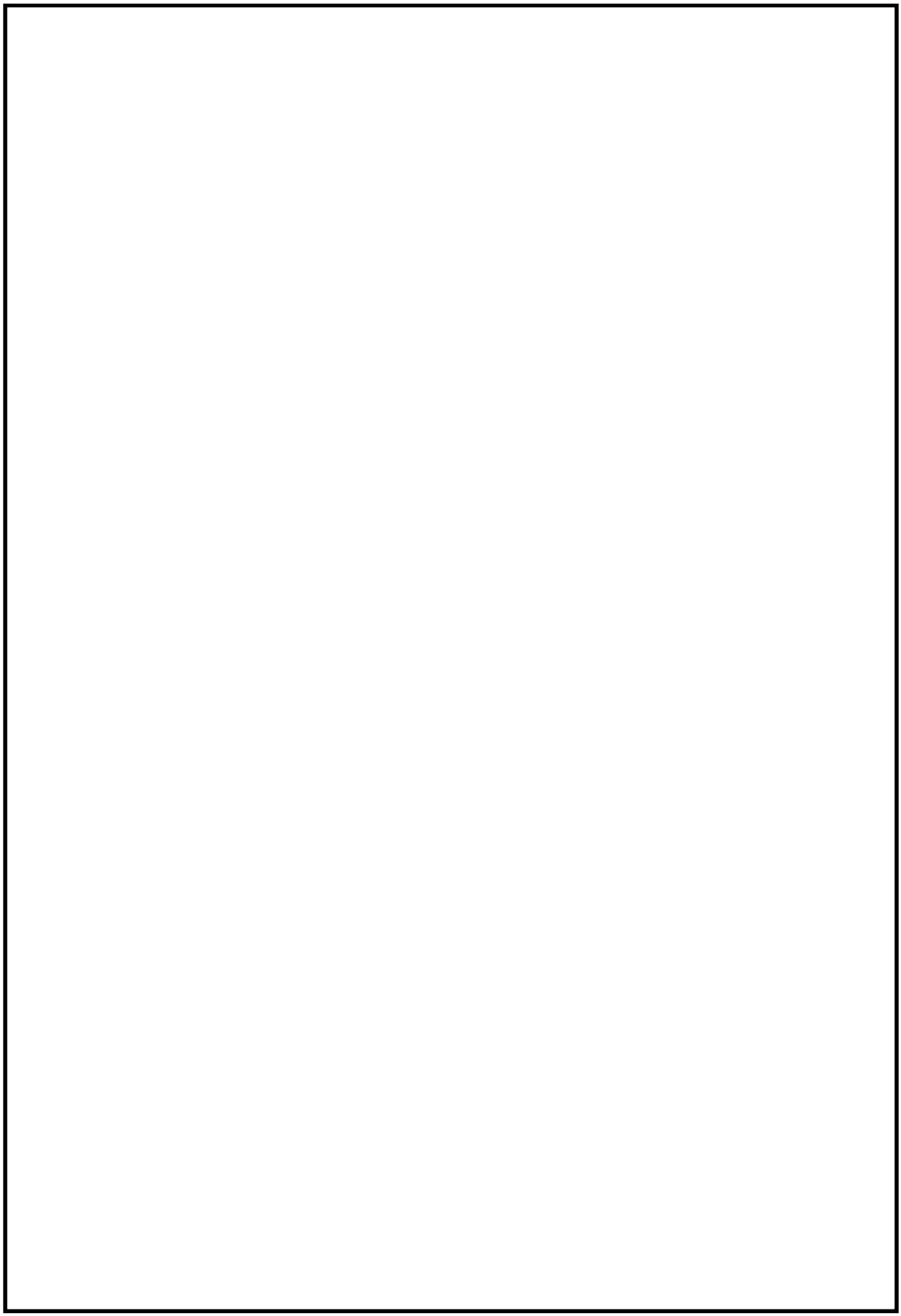


３ 東海第二発電所における多方向入力を対象とした等価繰返し回数算定方法について

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，東海第二発電所においても，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。



19. 再循環系ポンプの軸固着に対する評価について

再循環系ポンプの軸固着に対する評価について

1. 概要

クラス１ポンプである再循環系ポンプ（以下「ＰＬＲポンプ」という。）については，JEAG4601・補-1984 にて動的機能維持の要求はないが，地震により軸固着を生じないことを確認するよう求められている。このため，軸固着が生じず，ＰＬＲポンプの回転機能が維持可能であることを確認した。以下に評価内容を示す。

2. ＰＬＲポンプ及びモータ軸受の軸固着の検討方針

ＰＬＲポンプ及びモータ軸受の軸固着の検討としては，JEAG4601・補-1984，JEAG4601-1991 追補版に記載の動的機能評価維持評価のうち，回転機能の維持を確認すればよく，軸受部の損傷がなければ回転機能は維持されるため，軸受評価を実施する。

3. ＰＬＲポンプ及びモータ軸受構造

ＰＬＲポンプ及びモータ軸受の構造概要図を図１に支持構造物及び地震応答解析モデルを図２に示す。

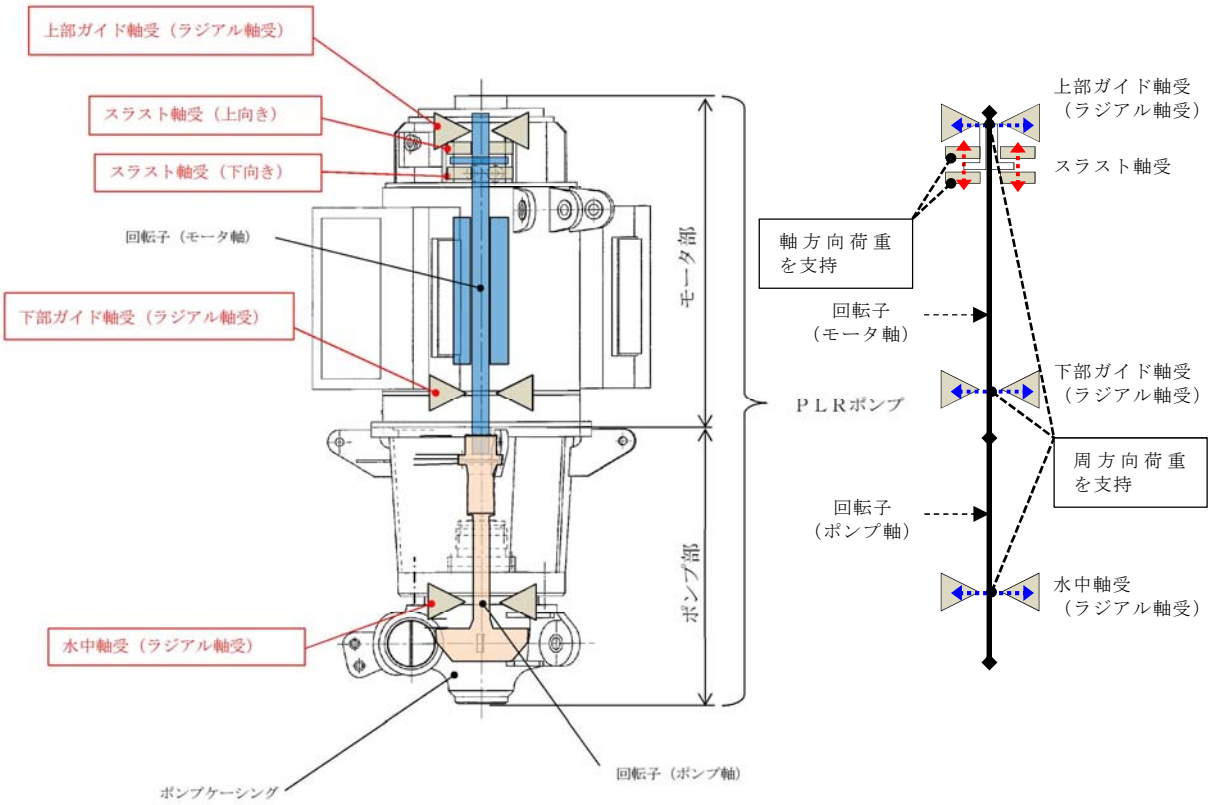


図１　ＰＬＲポンプ及びモータ構造概要図

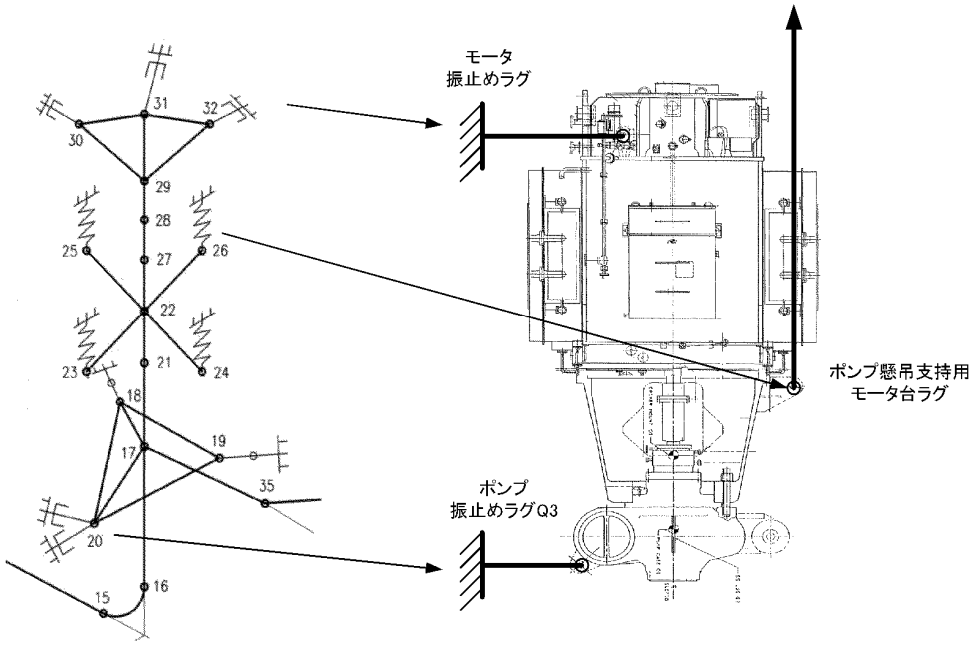


図２　ＰＬＲポンプ及びモータの支持構造図及び地震応答解析モデル

4.　モータスラスト軸受評価

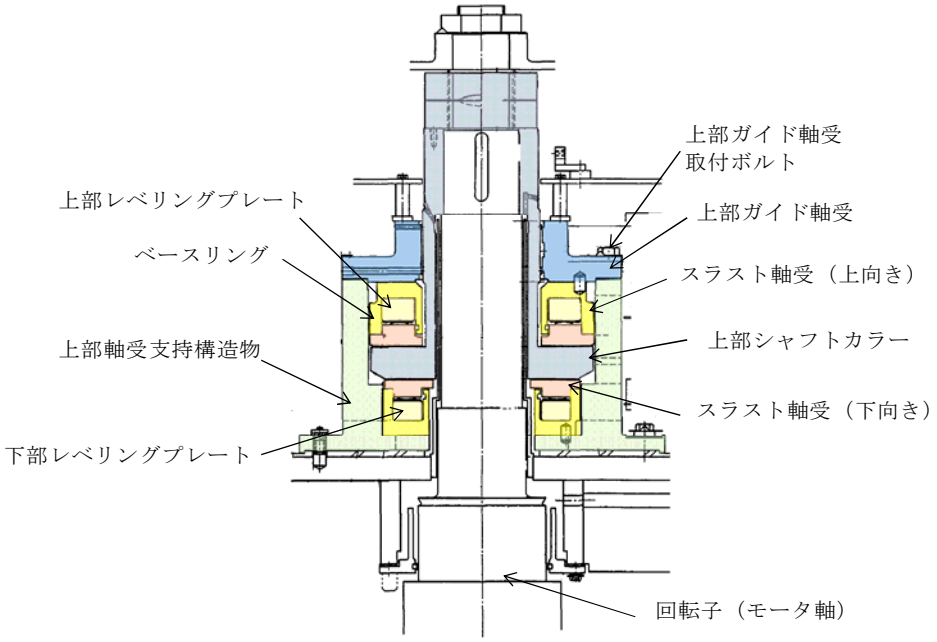
4.1　評価方針

軸受評価は，スラスト軸受の許容荷重と，地震時にＰＬＲポンプに発生する鉛直方向荷重の比較にて実施する。すなわち「許容荷重 ＞ 発生する鉛直方向荷重」であればモータスラスト軸受の健全性は確保される。

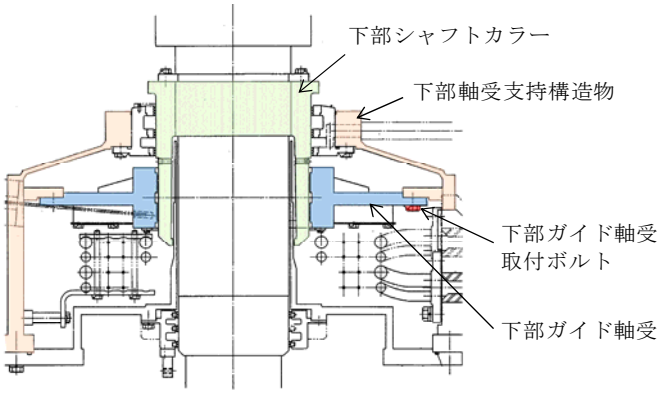
4.2　モータ軸受の構造概要

ＰＬＲポンプモータ軸受の構造図を図３に示す。上部軸受は，スラスト軸受（上向き），スラスト軸受（下向き）及び上部ガイド軸受から構成されており，下部軸受は下部ガイド軸受にて構成されている。上部軸受は回転子部の上部シャフトカラーを上下で挟むようにスラスト軸受（上向き）とスラスト軸受（下向き）が設置されており，それぞれの軸受は上部軸受支持構造物で支えられている。また，スラスト軸受（上向き）とスラスト軸受（下向き）はレベリングプレート及びベースリングにて位置調整されている。上部ガイド軸受は１２本の取付ボルトにて上部軸受支持構造物で支えられている。

上部ガイド軸受と同様に下部ガイド軸受は８本の取付ボルトにて下部軸受支持構造物で支えられている。



上部軸受構造図



下部軸受構造図

図３　ＰＬＲポンプモータ軸受構造図

4.3　許容荷重

許容荷重については，軸受構造物上の許容荷重と油膜形成上の許容荷重を比較することで求める。

a.　軸受構造上の許容荷重

軸受構造物については軸受を構成する各部品について，上向き及び下向きスラスト荷重に対する許容荷重を算出する。当該モータにおいては，構成部品のうちで最も低い許容荷重を有する箇所はレベリングプレートであり，軸受が動作を継続できる最大の荷重を軸受構造物の許容荷重としている。

b.　油膜形成上の許容荷重

油膜形成上の許容荷重は軸受油膜特性（油膜厚さと軸受荷重の関係）と最小油膜厚さより求めている。

定格運転時にＰＬＲポンプモータの上部シャフトカラーと軸受間に油膜が維持される荷重を油膜形成上の許容荷重とする。地震力が発生した際の機能性評価のため，油膜厚さは通常運転時の値は使用せず軸受が接触しない厚さを最小油膜厚さとして評価する(図４参照)。また，油膜形成上の軸受荷重は回転速度に依存するため，回転速度による影響を考慮する。

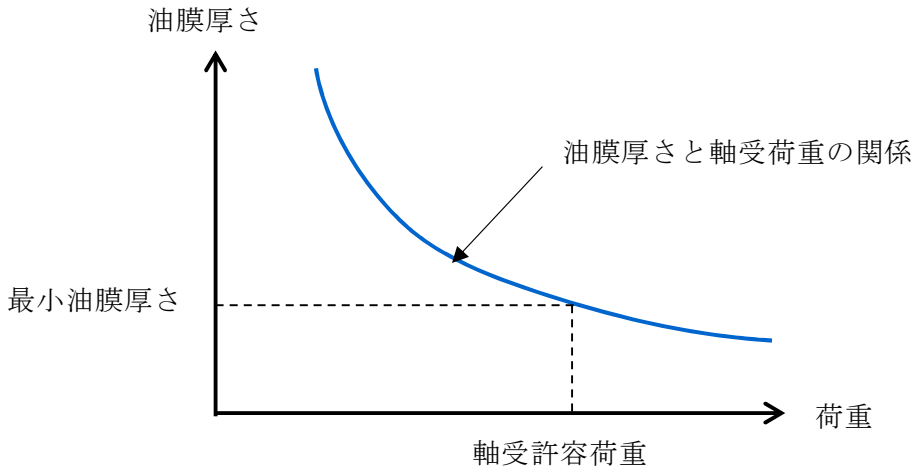


図４　軸受許容荷重算出概念図

c.　軸受の許容値

それぞれの軸受に対する許容値を表１に示す。

表１　軸受の許容値

種別	軸受構造上の許容荷重	油膜形成上の許容荷重	許容値
スラスト軸受（上向き）			
スラスト軸受（下向き）			

4.4　発生荷重について

4.4.1 鉛直上向き

ＰＬＲポンプ軸には，再循環系の圧力等によるスラスト力が上向きに作用している。鉛直上向きの発生荷重については上向きに作用するスラスト力と鉛直加速度により発生する荷重を下式により算出する。また，上向きに作用するスラスト力には下向きに発生するスラスト流体力は考慮しない。

なお，評価で用いる加速度は原子炉再循環系配管の地震応答解析モデルにおける各ＰＬＲポンプ及びモータの質点に生じる鉛直加速度のうち最大の値を用いる。

「発生荷重」＝「内圧等によるスラスト力」＋「軸の質量」×「鉛直方向地震加速度－重力加速度」

＜算出方法＞

以下の式により算出する。

$A_1 = B_1 + C \times (D - g)$

A_1：鉛直上向き方向発生荷重

B_1：内圧等によるスラスト力（上向き）（スラスト流体力除く）

Ｃ：回転子の質量

Ｄ：鉛直方向地震加速度

g ：重力加速度（＝9.80665[m/s^2]）

ここで東海第二については以下の値となる

B_1：[redacted][kN]

※ＰＬＲポンプ通常運転中はＰＬＲ圧力によるスラスト力が上向きに作用しているため，モータスラスト軸受（上向き）にてスラスト力を保持している。

Ｃ：[redacted] [ton]

Ｄ：37 [m/s^2]（ＰＬＲポンプモータの質点に生じる最大加速度であるＢ号機の値）

以上より

A_1＝[redacted]

であるため鉛直上向き方向発生荷重はＡ＝[redacted][kN]となる。

4.4.2 鉛直下向き

「4.4.1 鉛直上向き」と同様に，鉛直下向きに対して評価を行う。鉛直下向きの評価にあたっては，下向きに発生するスラスト流体力を考慮する。

「発生荷重」＝「軸の質量」×「鉛直方向地震加速度＋重力加速度」－「内圧等によるスラスト力」

＜算出方法＞

$A_2 = C \times (D + g) - B_2$

A_2：鉛直下向き方向発生荷重

B_2：内圧等によるスラスト力（上向き）（スラスト流体力含む）（＝　　[kN]）

C：回転子の質量（＝　　[ton]）

D：鉛直方向地震加速度（＝ 37 [m/s^2]）

g：重力加速度（＝9.80665[m/s^2]）

A_2＝

であるため鉛直下向き方向発生荷重はA_2＝　　[kN]となる。

4.5　評価結果

評価結果を表２に示す。評価の結果，冷却材ポンプのスラスト軸受部に発生する荷重は許容荷重を下回るため，ＰＬＲポンプのスラスト軸受の健全性は確保される。

表２　評価結果

種別		発生荷重	許容荷重
スラスト軸受	上向き		
	下向き		

5.　ＰＬＲポンプ及びモータのラジアル軸受健全性評価

5.1　評価方針

ＰＬＲポンプ及びモータのラジアル軸受の健全性評価について示す。評価方法は４項のスラスト軸受と同様，ラジアル方向の許容値と発生する水平方向荷重を比較することで行う。

また，ラジアル軸受としては，ＰＬＲモータに二つ，ＰＬＲポンプに一つある。

5.2　構造概要

ＰＬＲポンプの軸受構造を図５に示す。ＰＬＲポンプ軸受（ラジアル軸受）は水中軸受であり，主軸と軸受の間に水膜を形成することで，ポンプの回転機能を維持している。ＰＬＲポンプ軸受は，静止構造物であるケーシングカバーに８本の軸受取付ボルトにて取付けられている。また，ＰＬＲポンプモータのラジアル軸受については図３に示す通りである。

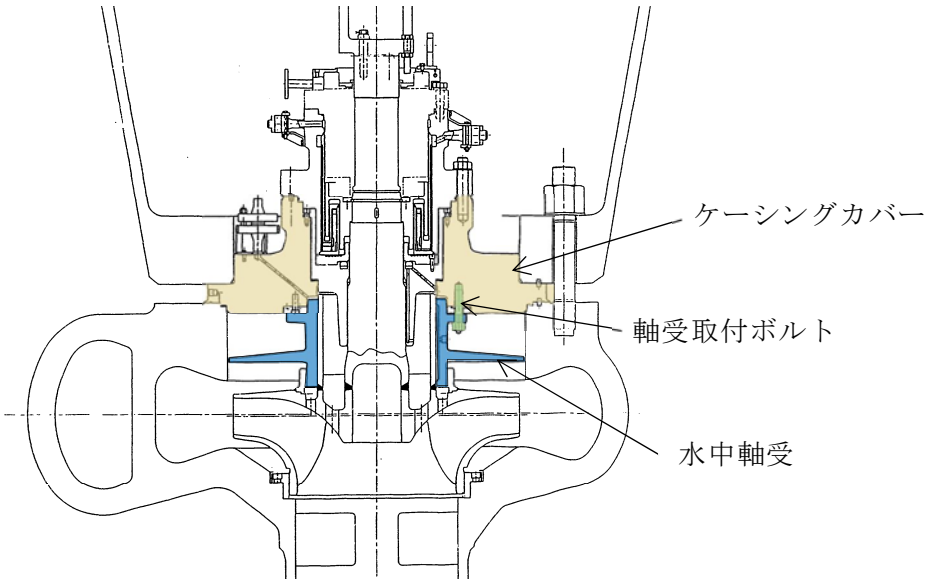


図５　ＰＬＲポンプ軸受構造図

5.3　許容値について

4.2 項のスラスト軸受と同様の考え方によりＰＬＲポンプ軸受及びポンプモータ軸受の許容値としては，以下の２つの考え方に基づいて設定している。

【ＰＬＲポンプ】

①　軸受水膜形成上の許容荷重

ＰＬＲポンプ軸受と軸受間の水膜が維持される（主軸と軸受が接触しない）許容荷重として設定するもの。

②　軸受構造上の許容応力

ＰＬＲポンプ軸受の構造上の許容応力として，軸受を締結している軸受取付ボルトの許容応力として設定するもの。

【ＰＬＲポンプモータ】

①　軸受油膜形成上の許容荷重

ＰＬＲポンプモータ軸受と軸受間の油膜が維持される（主軸と軸受が接触しない）許容荷重として設定するもの。

②　軸受構造上の許容荷重

ＰＬＲポンプモータ軸受の構造上の許容荷重として，軸受を締結している軸受取付ボルトの許容荷重として設定するもの。

ＰＬＲポンプ軸受の許容値を表３にＰＬＲポンプモータの許容値を表４に示す。

表３　ＰＬＲポンプ軸受の許容値

種別	軸受構造上の 許容応力	水膜形成上の 許容荷重
ラジアル軸受 （水中軸受）		

表４　ＰＬＲポンプモータ軸受の許容値

種別	軸受構造上の 許容荷重	油膜形成上の 許容荷重	許容値
ラジアル軸受 （上部ガイド軸受）			
ラジアル軸受 （下部ガイド軸受）			

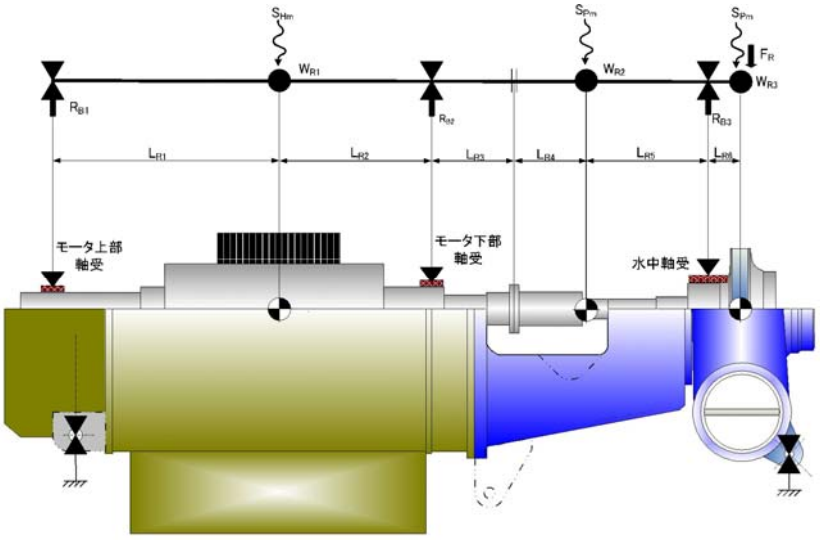
5.4　発生荷重について

ラジアル方向の評価にあたっては，回転による半径方向荷重（ラジアル流体力）を考慮する。また，水中軸受に作用する発生荷重は，図６に示すＰＬＲポンプ及びモータの回転体系の荷重のつり合い解析にて求める。

「発生荷重」＝「ラジアル流体力」＋「地震荷重」

地震時の発生加速度は原子炉冷却材再循環系の耐震性についての計算書のうち添付書類「Ⅴ-2-5-2-1-1 管の耐震性についての計算書」にて得られる再循環系ポンプ及びモータ位置の水平の最大応答加速度（下表参照）を使用する。

評価部位	水平方向加速度(m/s^2)
ポンプ部	20
モータ部	43



記号の説明

記号	記号名称	記号	記号名称
W_{R1}	モータ回転子質量	R_{B3}	ポンプ水中軸受部反力
W_{R2}	ポンプ回転子質量（羽根車除く）	S_{Hm}	モータ部水平地震加速度
W_{R3}	羽根車質量	S_{Pm}	ポンプ部水平地震加速度
R_{B1}	モータ上部ガイド軸受部反力	F_R	ラジアル流体力
R_{B2}	モータ下部ガイド軸受部反力	L_{R1}～L_{R6}	各寸法

図６　回転体の荷重のつり合い解析モデル

上記モデルによる荷重のつり合い解析を行い各軸受部の反力 RB1（モータ上部ラジアル軸受），RB2（モータ下部ラジアル軸受），RB3（ポンプ軸受）を回転数比 Nx=(n/no) に対して求め，これを軸受の発生荷重としている。100%回転時の解析結果を表５に示す。

表５　軸受に生じる荷重（100％回転時）

軸受名称	発生荷重（Ｓｓ時）
上部ガイド軸受	
下部ガイド軸受	
水中軸受	

5.5　評価結果

ＰＬＲポンプ軸受の評価結果を表６に，ＰＬＲポンプモータ軸受の評価結果を表７に示す。評価の結果，ＰＬＲポンプ及びモータのラジアル軸受部に発生する荷重は許容値を下回るため，ＰＬＲポンプのラジアル軸受の健全性は確保される。

表５　ＰＬＲポンプ軸受評価結果

種別	発生値	許容値
ラジアル軸受 （水膜形成上）		
ラジアル軸受 （軸受構造物）		

表６　ＰＬＲポンプモータ軸受の評価結果

種別	発生荷重	許容荷重
ラジアル軸受 （上部ガイド軸受）		
ラジアル軸受 （下部ガイド軸受）		

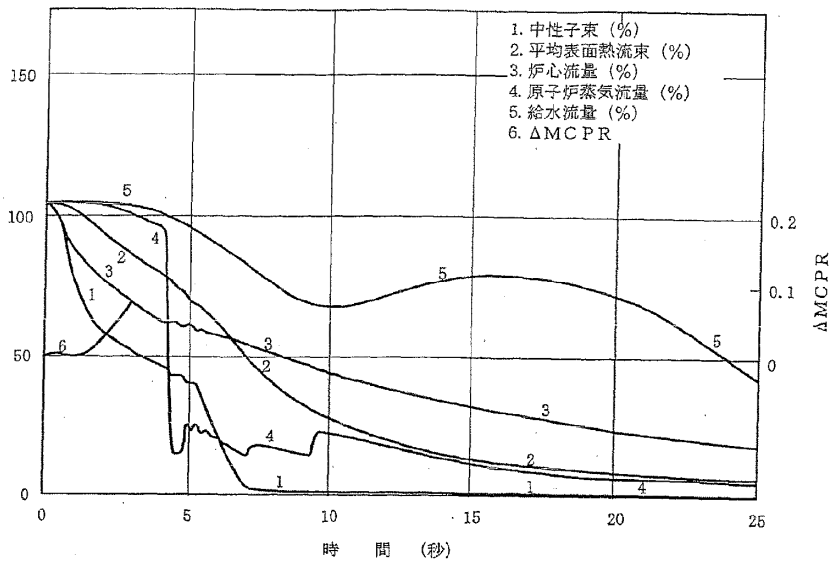
４項及び５項の評価で考慮した各発生荷重について，表７「ＰＬＲ軸受に作用する荷重」にまとめる。

なお，コーストダウン運転時はＰＬＲ回転数が低下することから，水膜（油膜）形成上の許容荷重は低下する傾向になる。

コーストダウンにより回転数が低下すると，許容荷重が下がるため，定格運転の約 50%の回転数（約５秒）で許容荷重が発生荷重を下回り，地震時に軸と軸受の接触が生じる可能性がある。

地震によりＰＬＲポンプ２台トリップが発生した際には，ポンプ回転軸と軸受の接触が生じる可能性がある約５秒よりも前に，原子炉水位高（レベル８）によるタービントリップにより原子炉がスクラムし原子炉出力が低下するため，下図に示すように MCPR は初期値を下回ることはなく,炉心の熱的余裕が失われるようなことにはならないと考えられる。

さらに地震時には地震加速度大により原子炉がスクラムする場合には，より早く原子炉出力が低下することからも，ポンプ回転軸と軸受の接触が生じる可能性により熱的余裕が失われることにはならないと考えられる。



東海第二発電所　「原子炉冷却材流量の喪失」の解析図

なお，仮に発生荷重＞許容荷重となって軸と軸受の片当たりを想定する場合でも，ＰＬＲポンプ主軸と軸受内面は異種材料であるとともに，ＰＬＲポンプ回転数低下により軸固着の要因となる接触による摩擦を考慮しても軸固着が発生することはないと言え，また，構造強度上の許容荷重は満足していることから，変形により軸固着が生じることはない。

表７　ＰＬＲ軸受に作用する荷重

No.	ＰＬＲポンプ軸受に発生する荷重		荷重を受ける軸受	考慮する荷重の方向	補足説明
	分類	発生する荷重			
1	内圧による荷重	ＰＬＲ系統内圧により発生するスラスト力（上向き）	スラスト軸受（上向き，下向き）	鉛直上向き	運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮している。
2	死荷重	ロータ自重（下向き）	スラスト軸受（上向き，下向き）	鉛直下向き	運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮している。
3	機械的荷重	機械の振動による荷重	ラジアル軸受	考慮しない	ロータの危険速度は定格回転速度よりも十分に高く，静止部材に対する相対振動は十分小さいことから考慮しない。
4		ラジアル流体力	ラジアル軸受	水平方向	運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮する。
5		スラスト流体力	スラスト軸受（上向き）	考慮しない	スラスト流体力は，以下の２つの荷重が発生する。 ①ポンプヘッドによる荷重（鉛直下向き） ②羽根車の吸込口から出口に向かって水流が方向変化することによる荷重（鉛直上向き） それぞれを足し合わせたスラスト流体力は鉛直下向きの荷重となるため，保守的な評価として，スラスト軸受（上向き）に対しては考慮せず，スラスト軸受（下向き）に対しては考慮する。
6			スラスト軸受（下向き）	考慮する	

20. 補機類のアンカー定着部の評価について

補機類のアンカー定着部の評価について

1. 概要

既工認における補機類の基礎ボルト及びコンクリートの定着部の設計は，コンクリート部の評価断面積はボルト又はスリーブの表面積として，ボルトの引抜き力よりもコクリートの定着力が大きくなるような，必要な埋込深さを算定していた。

現行規格におけるコンクリート部の評価断面積とした場合，既工認における基礎ボルト及びコンクリート定着部の設計は基礎ボルトよりもコンクリート定着部の方が高い耐震性を有する設計となることから，基礎ボルトに着目した耐震評価を行うことでコンクリート定着部の健全性も確認できる。

このため，以下では，ボルト配置が円形の高圧炉心スプレイ系ポンプ及び矩形の非常用ガス処理系フィルタトレインを例に基礎ボルトとコンクリート定着部の許容荷重の比較を示す。

2. 既工認と今回工認での定着部評価の相違

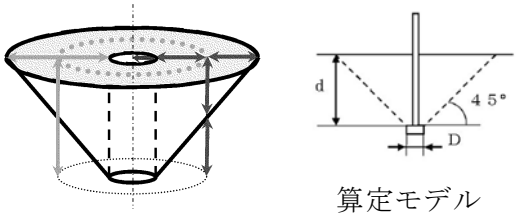
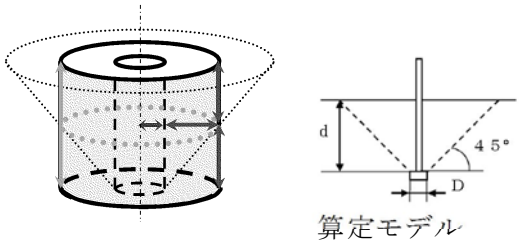
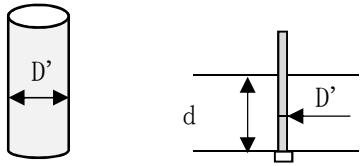
既工認におけるコンクリート部の評価は，東海第二は JEAG4601･補-1984 適用以前に建設されたプラントであることから，当時の鋼構造設計規準に基づく付着評価を実施していた。

付着評価の評価断面はボルト又はスリーブ表面積としており，JEAG4601-1991 追補版に定められる評価断面よりも厳しい断面である。

具体的には，表１に示すとおり，既工認の評価断面は，単独ボルトの条件では JEAG4601-1991 追補版と比べ小さく，JEAG4601-1991 追補版の評価断面に変えた場合の裕度は既工認におけるボルトの裕度より，コンクリートの裕度の方が大きくなる。

ボルトの引張許容値から定めた限界引抜き力に対して，JEAG4601-1991 追補版と同様のコンクリート許容せん断応力度及びせん断力算定断面積（コーン状破壊を想定）による引抜き耐力が上回るような，必要埋込深さとなり，基礎ボルトに着目した耐震評価を行うことでコンクリート定着部の健全性も確認できる。

表１　コンクリート定着部の評価

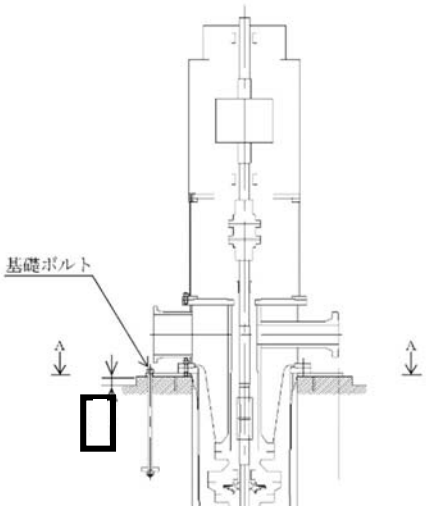
	今回工認	（参考）	既工認
適用規格	JEAG4601-1991 追補版	JEAG4601-1984	鋼構造設計規準
評価内容	コンクリートの押抜き力（シアコーン）により生じるせん断応力評価	コンクリートの押抜き力（パンチングシア）により生じるせん断応力評価	コンクリートへの付着評価
評価手法	 算定モデル せん断力算定断面積 （コーン状破断面） ＝π（大半径）^{2}−π（小半径）^{2} $=\pi\left(\frac{D}{2}+d\right)^2-\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2$ $=\pi\cdot d\cdot(D+d)$ d:埋込深さ D:埋込板直径	 算定モデル せん断力算定断面積 （パンチングシア形状） ＝高さ×円周長さ $=d\cdot\pi\cdot(D+d)$ $=\pi\cdot d\cdot(D+d)$ d:埋込深さ D:埋込板直径	 算定モデル せん断力算定断面積 （ボルト，スリーブ表面） ＝高さ×円周長さ $=d\cdot\pi\cdot D'$ $=\pi\cdot d\cdot D'$ d:埋込深さ D’:スリーブ又はボルト直径

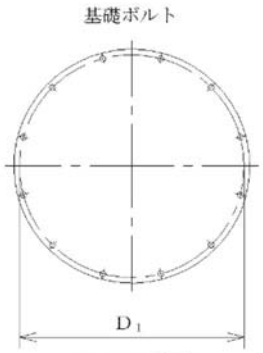
3.　評価例

3.1　高圧炉心スプレイ系ポンプ

3.1.1　高圧炉心スプレイ系ポンプの基礎ボルト配置

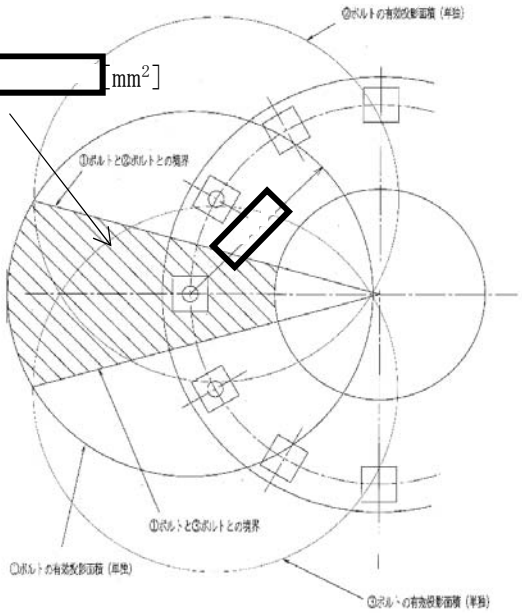
高圧炉心スプレイ系ポンプの基礎ボルト配置を以下に示す。



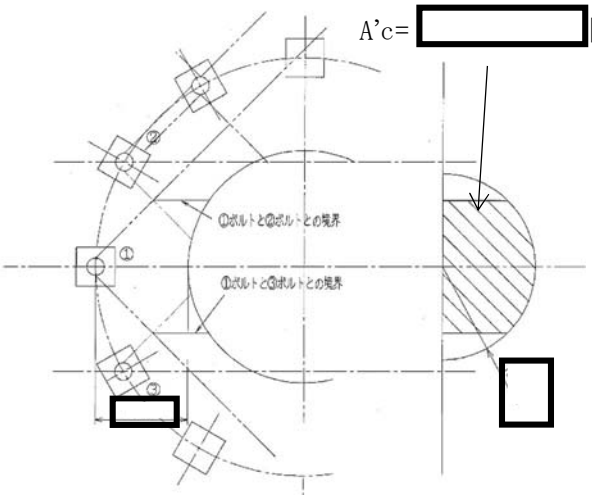


A～A矢視図

Ac= [mm²]



A'c= [mm²]



3.1.2　高圧炉心スプレイ系ポンプの定着部評価

【引張荷重】

基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価は JEAG4601-1991 追補版より

$p \leqq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$

ここに

$p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_C}$

$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot Fc$

p　：基礎ボルト１本当たりの引張荷重（N）

p_a　：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）

p_{a1}　：コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

p_{a2}　：基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

K_1：コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数（Ⅳ$_A$Ｓの 0.6 とする）

K_2：支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数（Ⅳ$_A$Ｓの 0.75 とする）

Fc　：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）：22.1N/mm^2

Ａc　：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

α_c　：支圧面積と有効投影面積から定まる定数（$=\sqrt{Ac/A_0}$ かつ 10 以下）

A_0　：支圧面積（mm^2）

$A_0 = L^2 - \frac{\pi}{4} \times d^2 =$ [redacted] $= 52239.172$

よって，

$p_{a1} = 0.31 \times 0.6 \times$ [redacted] $\times \sqrt{22.1} = 1386532 \fallingdotseq 1.38 \times 10^6[\mathrm{N}]$

$p_{a2} = 0.75 \times 5.509 \times 52239.172 \times 22.1 = 4770046 \fallingdotseq 4.77 \times 10^6[\mathrm{N}]$

$p_a = \min(1.38 \times 10^6,\ 4.77 \times 10^6) = 1.38 \times 10^6[\mathrm{N}]$

以上より，基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重は

$1.38 \times 10^6[\mathrm{N}]$である。

一方，基礎ボルト（M64：SS400）の許容応力 210MPa　から求まる基礎ボルト１本あたりの引張許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 64^2 \times 210 = 675568.1 \fallingdotseq 6.76 \times 10^5[\mathrm{N}]$$

である。

基礎ボルトの引張許容荷重$6.76 \times 10^5[\mathrm{N}]$と比較して，コンクリート部の許容引張荷重は$13.8 \times 10^5[\mathrm{N}]$であり，コンクリート部の許容引張荷重が十分大きい。

【せん断荷重】

基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601 1991 追補版より

$q \leqq q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$

ここに

$q_{a1} = 0.5 \cdot K_3 \cdot Ab \cdot \sqrt{Ec \cdot Fc}$

$q_{a2} = 0.31 \cdot K_4 \cdot Ac_1 \cdot \sqrt{Fc}$

q ：基礎ボルト１本当たりのせん断荷重（N）

q_a ：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）

q_{a1}：基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

q_{a2}：へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

K_3 ：複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数（ⅣＡＳの 0.8 とする）

K_4 ：へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数（ⅣＡＳの 0.6 とする）

Ab ：基礎ボルトの谷径断面積（スタッドの場合は軸部断面積）（mm^2）（M64：$2.597 \times 10^3 mm^2$）

Ec ：コンクリートのヤング率（N/mm^2）：$20600 N/mm^2$

Fc ：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）：$22.1 N/mm^2$

Ac_1 ：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

へりあきの面積はへりあきのある基礎ボルトとへりあきのない基礎ボルトの平均をへりあき面積とする。

Ac_1 = [redacted] $=1317261.96 mm^2$

よって，

$q_{a1} = 0.5 \times 0.8 \times 2.597 \times 10^3 \times \sqrt{20600 \times 22.1} = 700909 \fallingdotseq 7.00 \times 10^5 [N]$

$q_{a2} = 0.31 \times 0.6 \times 1317261.96 \times \sqrt{22.1} = 1151811 \fallingdotseq 11.5 \times 10^5 [N]$

$q_a = \min(7.00 \times 10^5, 11.5 \times 10^5) = 7.00 \times 10^5 [N]$

以上より，コンクリート部の許容せん断荷重は$7.00 \times 10^5 [N]$である。

一方，基礎ボルト（M64：SS400）の許容応力 160MPa から求まる基礎ボルトの１本あたりのせん断許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 64^2 \times 160 = 514718.5 \fallingdotseq 5.15 \times 10^5 [N]$$

である。

基礎ボルトのせん断許容荷重$5.15 \times 10^5 [N]$と比較して，コンクリート部の許容せん断荷重は$7.00 \times 10^5 [N]$であり，コンクリート部の許容せん断荷重が十分大きい。

【組合せ荷重】

基礎ボルトが引張，せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601-1991 追補版より

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1$$

ここに

p_a ：引張荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）＝$\min(p_{a1}, p_{a2})$

q_a ：せん断荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）＝$\min(q_{a1}, q_{a2})$

p ：基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重（N）

q ：基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重（N）

仮に p に対して，基礎ボルト 1 本当たりの引張許容荷重を，また q に対して基礎ボルト 1 本当たりのせん断許容荷重を用いて保守的に計算すると，

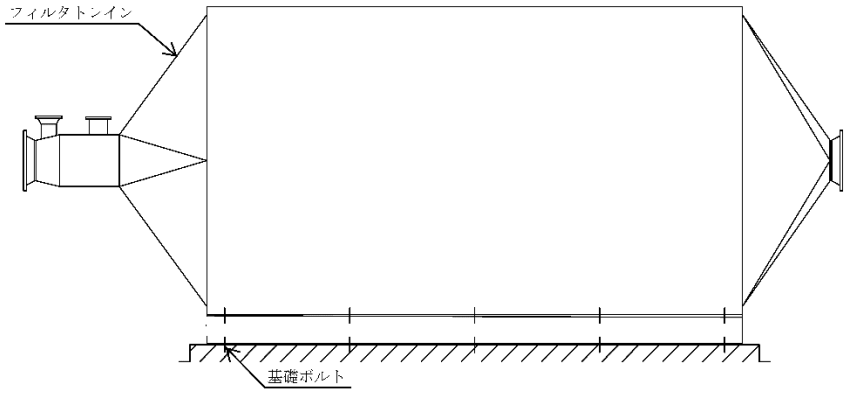
$$\left(\frac{6.76\times10^5}{13.8\times10^5}\right)^2+\left(\frac{5.15\times10^5}{7.00\times10^5}\right)^2 \fallingdotseq 0.79 < 1$$

となり，組合せ荷重評価に対しても，基礎ボルトよりコンクリート部の方が十分余裕がある。

3.2　非常用ガス処理系フィルタトレイン

3.2.1　非常用ガス処理系フィルタトレインの基礎ボルト配置

非常用ガス処理系フィルタトレインの基礎ボルト配置を以下に示す。



3.2.2　非常用ガス処理系フィルタトレインの定着部評価

【引張荷重】

基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価は JEAG4601-1991 追補版より

$p \leqq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$

ここに

$p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_C}$

$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot Fc$

p　：基礎ボルト１本当たりの引張荷重（N）

p_a　：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）

p_{a1}　：コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

p_{a2}　：基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

K_1：コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数（Ⅳ$_A$Ｓの 0.6 とする）

K_2：支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数（Ⅳ$_A$Ｓの 0.75 とする）

Fc　：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）：22.1N/mm^2

Ａc　：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

α_c　：支圧面積と有効投影面積から定まる定数（$=\sqrt{Ac/A_0}$ かつ 10 以下）

A_0　：支圧面積（mm^2）

A_0 = [redacted] $= 7540\ \mathrm{mm}^2$

$\alpha = \sqrt{\frac{2.517\times10^5}{7540}} = 5.77$

よって，

$p_{a1} = 0.31 \times 0.6 \times 2.517 \times 10^5 \times \sqrt{22.1} = 220086 \fallingdotseq 2.20 \times 10^5[\mathrm{N}]$

$p_{a2} = 0.75 \times 5.77 \times 7540 \times 22.1 = 721108 \fallingdotseq 7.21 \times 10^5[\mathrm{N}]$

$p_a = \min(2.20 \times 10^5,\ 7.21 \times 10^5) = 2.20 \times 10^5[\mathrm{N}]$

以上より，コンクリート部の許容引張荷重は$2.20 \times 10^5[\mathrm{N}]$である。

一方，基礎ボルト（M20：SS400）の許容応力 210MPa　から求まる基礎ボルトの１本あたりの引張許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 20^2 \times 210 = 65973.5 \fallingdotseq 6.60 \times 10^4[\mathrm{N}]$$

である。

基礎ボルトの引張許容荷重$6.60 \times 10^4[\mathrm{N}]$と比較して，コンクリート部の許容引張荷重は$22.0 \times 10^4[\mathrm{N}]$であり，コンクリート部の許容引張荷重が十分大きい。

【せん断荷重】

基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601 1991 追補版 より

$q \leqq q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$

ここに

$q_{a1} = 0.5 \cdot K_3 \cdot Ab \cdot \sqrt{E_C \cdot F_C}$

$q_{a2} = 0.31 \cdot K_4 \cdot Ac_1 \cdot \sqrt{F_C}$

q ：基礎ボルト１本当たりのせん断荷重（N）

q_a ：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）

q_{a1}：基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

q_{a2}：へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

K_3 ：複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数（Ⅳ$_A$Ｓの 0.8 とする）

K_4 ：へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数（Ⅳ$_A$Ｓの 0.6 とする）

Ab ：基礎ボルトの谷径断面積（スタッドの場合は軸部断面積）（mm^2）（M20：235mm^2）

Ec ：コンクリートのヤング率（N/mm^2）：20600N/mm^2

Fc ：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）：22.1N/mm^2

Ac_1 ：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

Ac_1= [redacted] = 98174.77

よって，

$q_{a1} = 0.5 \times 0.8 \times 235 \times \sqrt{20600 \times 22.1} = 63424 \fallingdotseq 6.34 \times 10^4[N]$

$q_{a2} = 0.31 \times 0.6 \times 98174.77 \times \sqrt{22.1} = 85843 \fallingdotseq 8.58 \times 10^4[N]$

$q_a = \min(6.34 \times 10^4,\ 8.58 \times 10^4) = 6.34 \times 10^4[N]$

以上より，基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重は $6.34 \times 10^4[N]$ である。

一方，基礎ボルト（M20：SS400）の許容応力 160MPa から求まる基礎ボルト 1 本当たりのせん断許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 20^2 \times 160 = 50265.5 \fallingdotseq 5.03 \times 10^4[N]$$

である。

基礎ボルトのせん断許容荷重$5.03 \times 10^4[N]$と比較して，コンクリート部の許容せん断荷重は$6.34 \times 10^4[N]$であり，コンクリート部の許容せん断荷重が十分大きい。

【組合せ荷重】

基礎ボルトが引張，せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601-1991 追補版より

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1$$

ここに

p_a ：引張荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）＝$\min(p_{a1}, p_{a2})$

q_a ：せん断荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）＝$\min(q_{a1}, q_{a2})$

p ：基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重（N）

q ：基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重（N）

仮に p に対して，基礎ボルト 1 本当たりの引張許容荷重を，また q に対して基礎ボルト 1 本当たりのせん断許容荷重を用いて保守的に計算すると，

$$\left(\frac{6.60\times10^4}{22.0\times10^4}\right)^2+\left(\frac{5.03\times10^4}{6.34\times10^4}\right)^2 \fallingdotseq 0.72 < 1$$

となり，組合せ荷重評価に対しても，基礎ボルトよりコンクリート部の方が十分余裕がある。

4. 評価結果まとめ

「3. 評価例」の評価のまとめを表 4-1，2 に示す。基礎ボルトよりもコンクリート定着部の方が高い耐震性を有する設計となっている。

表 4-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの評価結果

基礎ボルト1本当たりの許容荷重及びコンクリートの許容荷重	基礎ボルトの引張許容荷重 p（N）	コンクリート部の許容引張荷重 pa（N）	基礎ボルトのせん断許容荷重 q（N）	コンクリート部の許容せん断荷重 qa（N）
	6.76×10^5	13.8×10^5	5.15×10^5	7.00×10^5
引張・せん断評価	p<pa OK		q<qa OK	
組合せ評価	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1 \quad OK$			

表 4-2 非常用ガス処理系フィルタトレインの評価結果

基礎ボルト1本当たりの許容荷重及びコンクリートの許容荷重	基礎ボルトの引張許容荷重 p（N）	コンクリート部の許容引張荷重 pa（N）	基礎ボルトのせん断許容荷重 q（N）	コンクリート部の許容せん断荷重 qa（N）
	6.60×10^4	22.0×10^4	5.03×10^4	6.34×10^4
引張・せん断評価	p<pa OK		q<qa OK	
組合せ評価	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1 \quad OK$			