

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-13 改1
提出年月日	平成30年3月19日

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-340-13 【機電分耐震計算書の補足について】

平成30年3月

日本原子力発電株式会社

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拡張マージンの考慮
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の検討方針

下線：ご提出資料

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	45
4.1 はじめに	45
4.2 試験目的	45
4.3 試験内容	45
4.4 試験結果	49
4.5 まとめ	56
5. 1本あたりの地震荷重の算出について	59
5.1 詳細モデルによる影響評価	59
5.2 最外周部の偏心の扱いについて	65
別紙ー1 試験体に対する極限解析について	

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、J E A G 4601, J S M E 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。

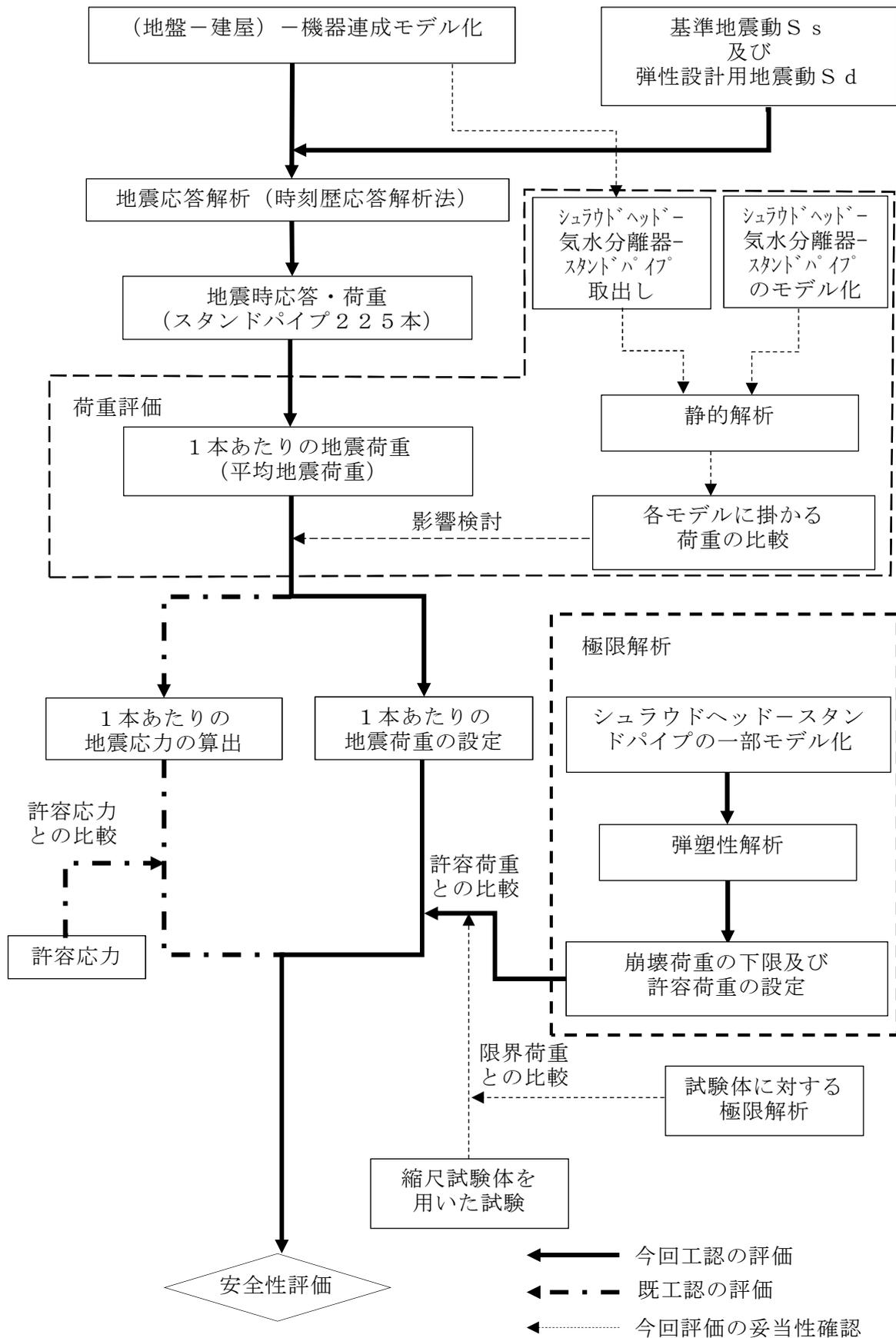


図 2-1 スタンドパイプの耐震評価フロー

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

J E A G 4601, J S M E 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, J E A G 4601, J S M E 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, J E A G 4601 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 J S M E 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。

J S M E 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
J E A G 4601	炉心支持構造物 炉内構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 J S ME 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 J S M E 設計・建設規格 炉心支持構造物の規格に対するスタンダー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	評価範囲はシユウラウドヘッドとスタンダードパイプであり、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 PartI 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	破壊靱性試験要求			
CSS-2310	破壊靱性不要となる規定	使用する材料は破壊靱性試験を行い、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靱性試験を要しない。	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 に記載される破壊靱性試験は不要の条件を満たしているため。
CSS-2320	破壊靱性試験における試験片数と組数	破壊靱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、破壊靱性試験を行わないため。
CSS-2330	破壊靱性試験の方法および判定基準	破壊靱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、破壊靱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。 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 L_e を求め，実際の荷重が許容荷重値を超えないこと。	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	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最大値と最小値の差は3Sm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）を満足することを確認したため，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	純せん断応力を生じる部分がないため。
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	シユラウドヘッドとスタンドパイプの継手部は隅肉溶接であり、支圧応力を生じる部分がないため。
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-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	強め輪は設けていないため。
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	
CSS-3300	簡易弾塑性解析	CSS-3112で一次+二次応力強さが3 S m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3 S m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	設計仕様書に従って、完了要求事項に従って、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。

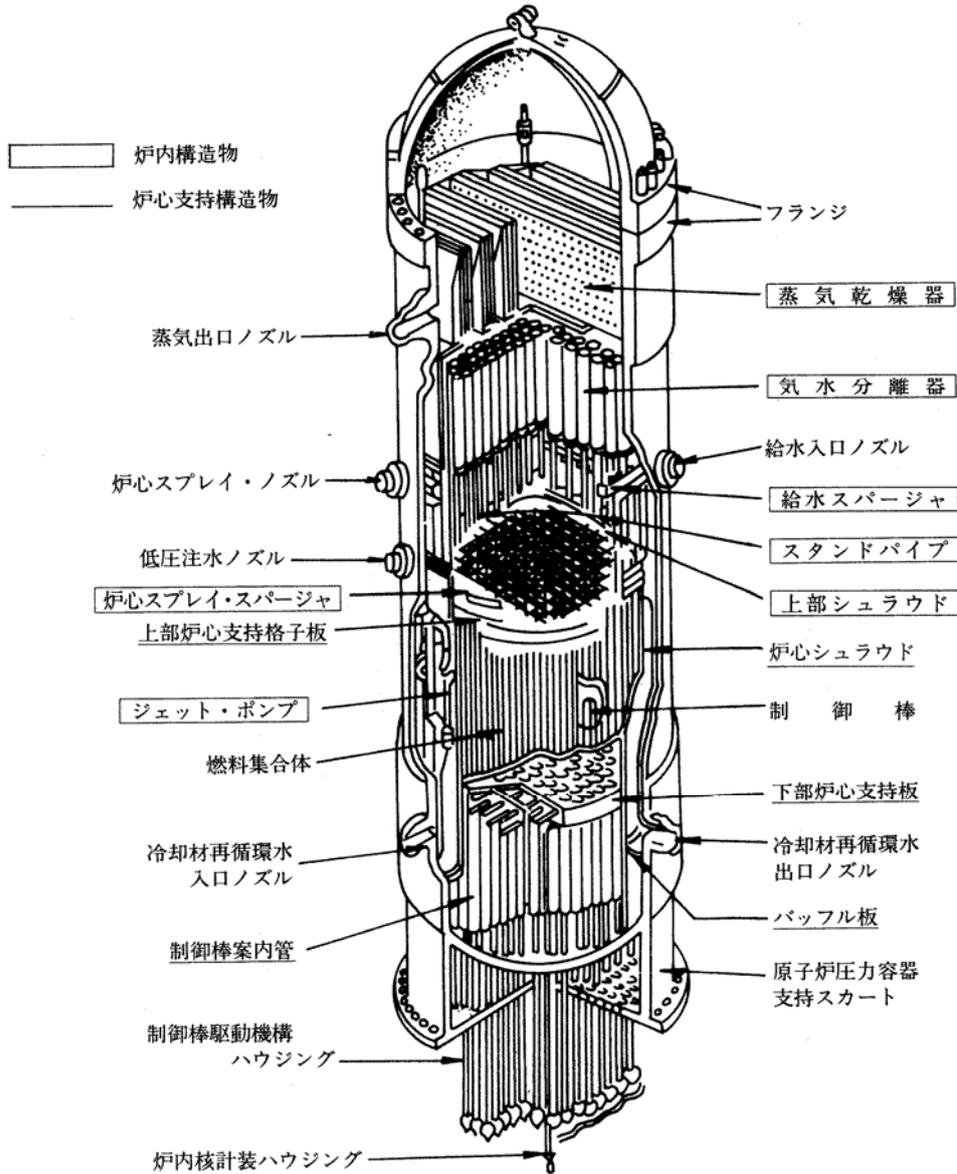


図 3 - 1 JEAG4601 炉心支持構造物と炉内構造物の分類に関する抜粋

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	—	—	$3 S_m^{(2)}$	運転状態I及び ⁽³⁾ 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。	$0.6 S_m^{(4)}$	$S_y^{(5)}$ ($1.5 S_y$)	$0.8 S_m^{(7)}$
II _A	—	—			$0.6 S_m^{(4)}$	$S_y^{(5)}$ ($1.5 S_y$)	$0.8 S_m^{(7)}$
III _A	$1.5 S_m^{(1)}$	左欄の1.5倍の値 ⁽¹⁾	—	—	$0.9 S_m^{(4)}$	$1.5 S_y^{(5)}$ ($2.25 S_y$)	$1.2 S_m^{(7)}$
IV _A	$2/3 S_u^{(1)}$ 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 $2/3 S_u$ と $2.4 S_m$ の小さい方。	左欄の1.5倍の値 ⁽¹⁾	—	—	$1.2 S_m^{(4)}$	$2 S_y^{(5)}$ ($3 S_y$)	$1.6 S_m^{(7)}$
III _A S	$1.5 S_m^{(1)}$	左欄の1.5倍の値 ⁽¹⁾	—	—	$0.9 S_m^{(4)}$	$1.5 S_y^{(6)}$ ($2.25 S_y$)	$1.2 S_m^{(7)}$
IV _A S	$2/3 S_u^{(1)}$ 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 $2/3 S_u$ と $2.4 S_m$ の小さい方。	左欄の1.5倍の値 ⁽¹⁾	—	—	$1.2 S_m^{(4)}$	$2 S_y^{(6)}$ ($3 S_y$)	$1.6 S_m^{(7)}$

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) $3 S_m$ 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項第一号へによる。
- (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 J E A G 4601 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)

応力の分類 供用状態	一次応力		二次応力	ピーク応力	特別な応力限界
	一般膜応力	曲げ応力	膜応力と曲げ応力		
	P_m	P_b	Q		
設計条件	P_m S_m 弾性解析 または $\frac{2}{3}P_{cr}$ 極限解析(注1) または $0.44L_e$ 試験(注5)	P_m+P_b $1.5S_m$ 弾性解析 または $\frac{2}{3}P_{cr}$ 極限解析(注1) または $0.44L_e$ 試験(注5)	評価不要	評価不要	—
供用状態A およびB			P_m+P_b+Q $3S_m$ 弾性解析 または P_m+P_b+Q+F S_a 疲労解析	P_m+P_b+Q+F S_a 疲労解析	支圧荷重 S_y または 平均支圧応力 $1.5S_y$ せん断荷重 $0.6S_m$ 平均せん断応力 $0.8S_m$ 最大ねじりせん断応力
供用状態C	P_m $1.5S_m$ 弾性解析 または P_{cr} 極限解析(注1) または $0.6L_e$ 試験(注5)	P_m+P_b $2.25S_m$ 弾性解析 または P_{cr} 極限解析(注1) または $0.6L_e$ 試験(注5)	評価不要	評価不要	供用状態A およびB の1.5倍
供用状態D	P_m $\frac{2.4S_m}{2/3S_u}$ (注2, 注3) 弾性解析 $\frac{2}{3}S_u$ (注4) または $0.9P_{cr}$ 極限解析(注1) または $0.8L_e$ 試験(注5)	P_m+P_b $\frac{3.6S_m}{S_u}$ (注2, 注3) 弾性解析 S_u (注4) または $0.9P_{cr}$ 極限解析(注1) または $0.8L_e$ 試験(注5)	評価不要	評価不要	供用状態A およびB の2倍

- (備考)
- (注1) 供用状態D以外の P_{cr} 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 P_{cr} は $\text{MIN}[2.3S_m, 0.7S_u]$ 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 J SME 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（ P_{cr} ）を求め、求めた崩壊荷重の下限から許容荷重を設定ものである。極限解析フローを図3-4に示す。

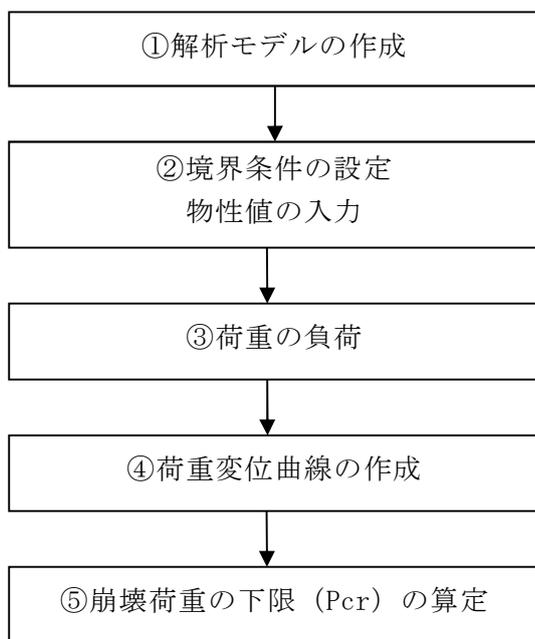


図3-4 極限解析フロー

① 解析モデルの作成

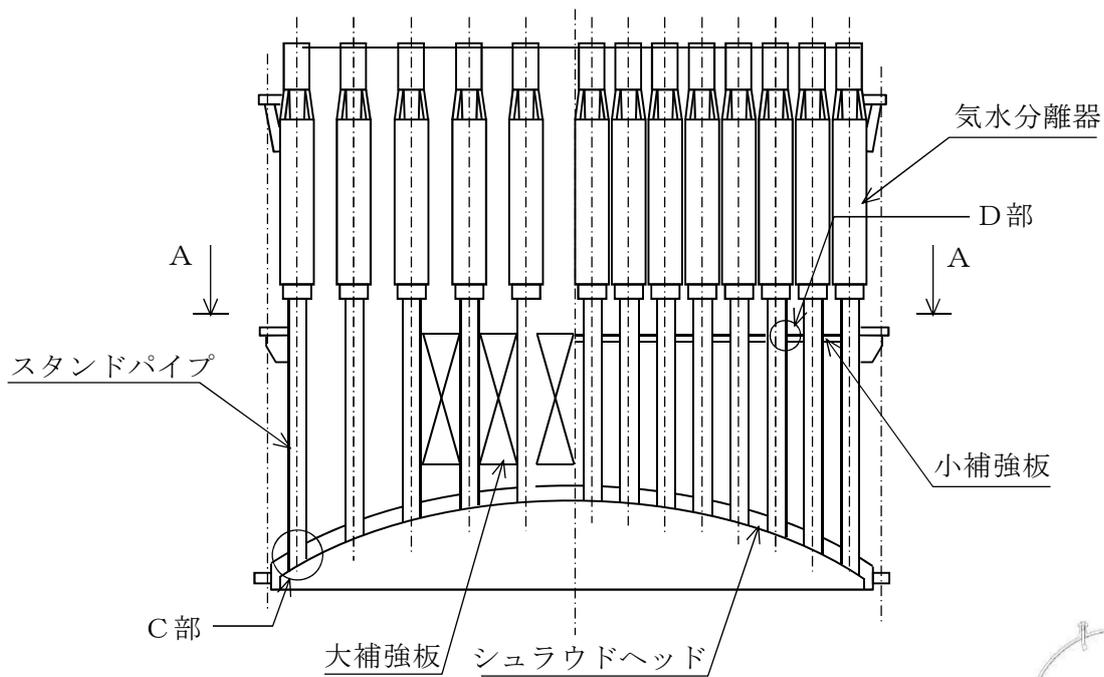
気水分離器及びスタンドパイプは、図3-5に示すとおり、シュラウドヘッド穴部に差し込まれ内外面を溶接にて取り付けている。気水分離器に作用する地震時の荷重は、スタンドパイプを介してシュラウドヘッドへ伝達される構造となっている。また、各スタンドパイプは大小の補強板で連結されている。

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。

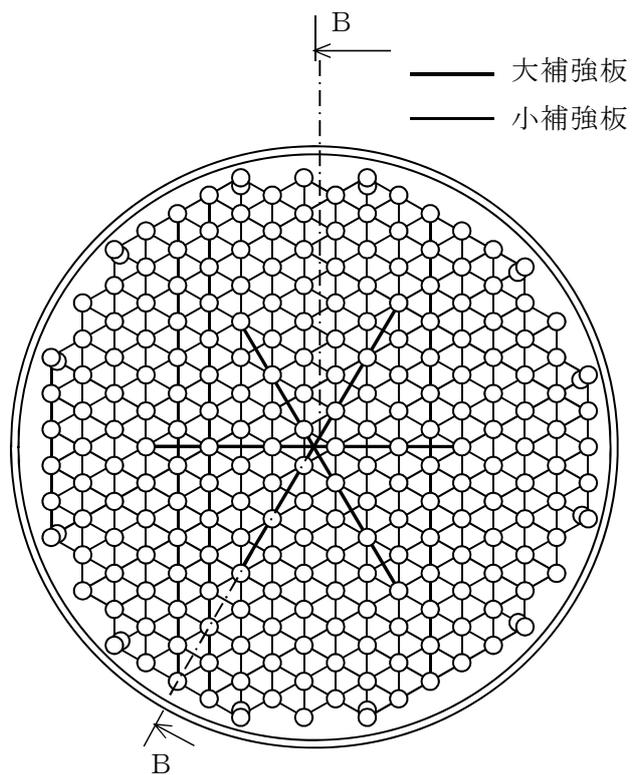
モデルは評価上厳しくなる構造不連続部であるスタンドパイプ付根部の許容荷重を設定する観点から、付根部を含むスタンドパイプの一部分（スタンドパイプ長さ1000mmまで）をモデル化する。

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

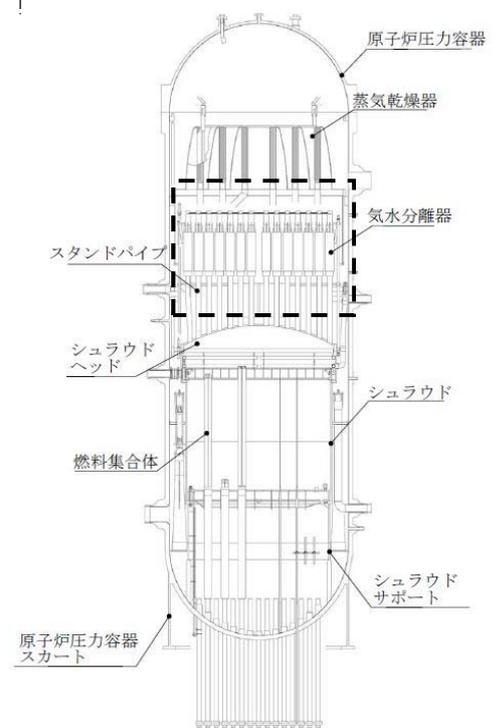
央位置及び斜めに取り付く最外周位置の2種類のモデルとする。



B～B断面図



A～A断面図



原子炉压力容器内部構造物

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)

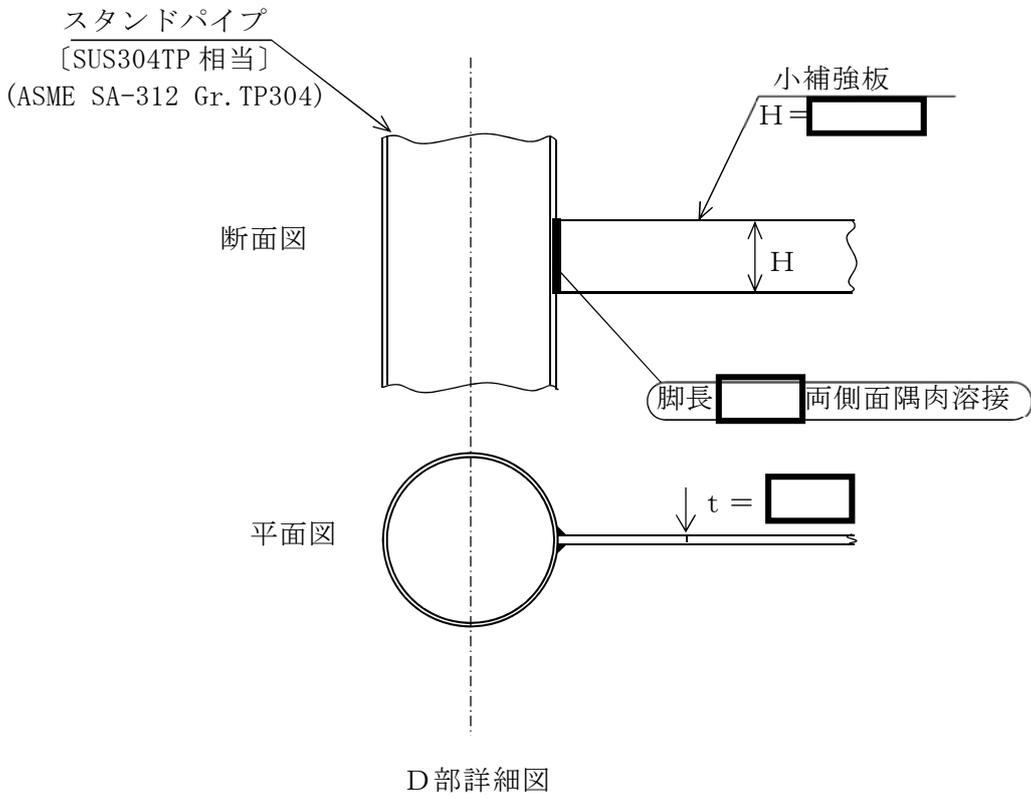
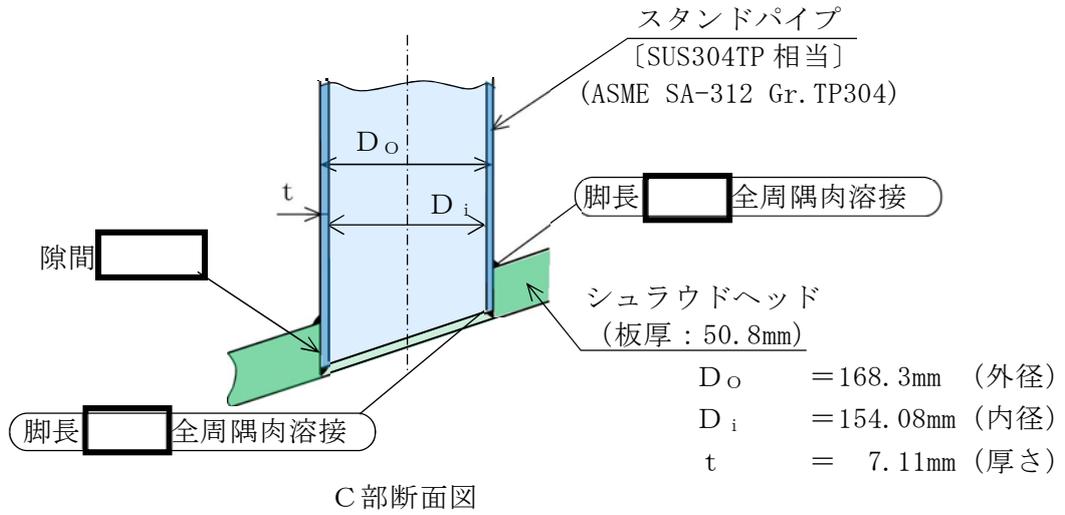
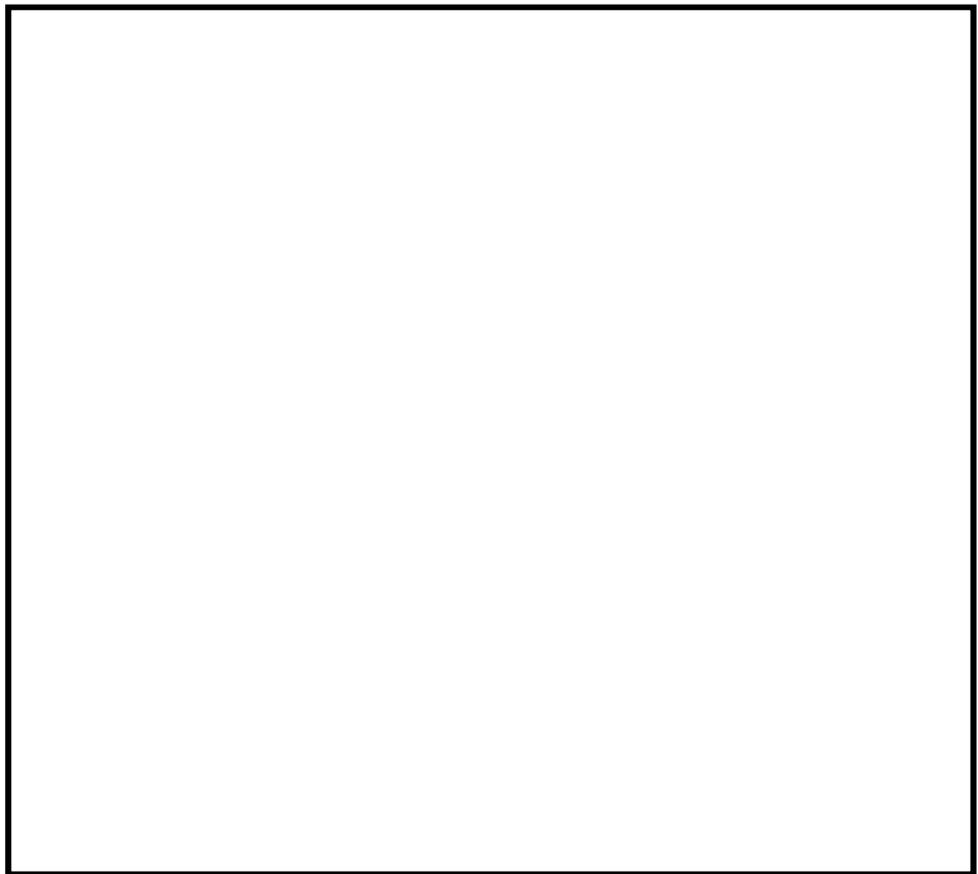
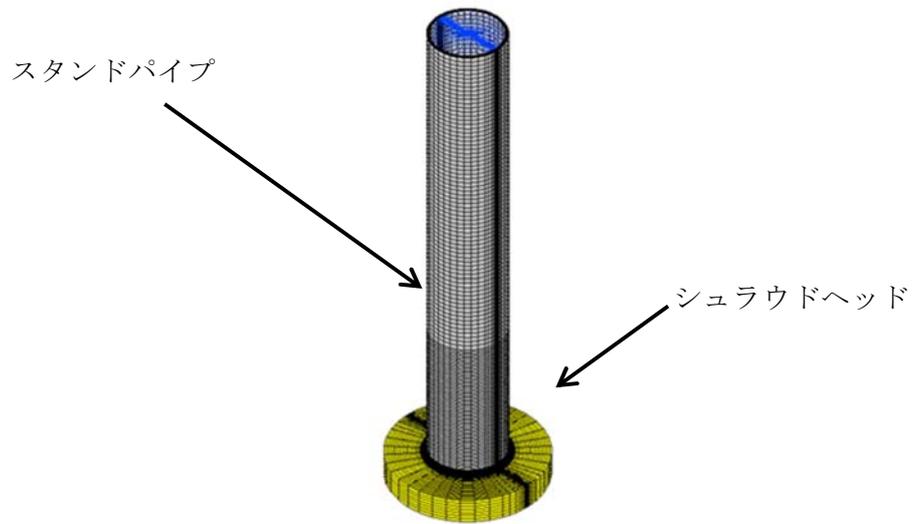
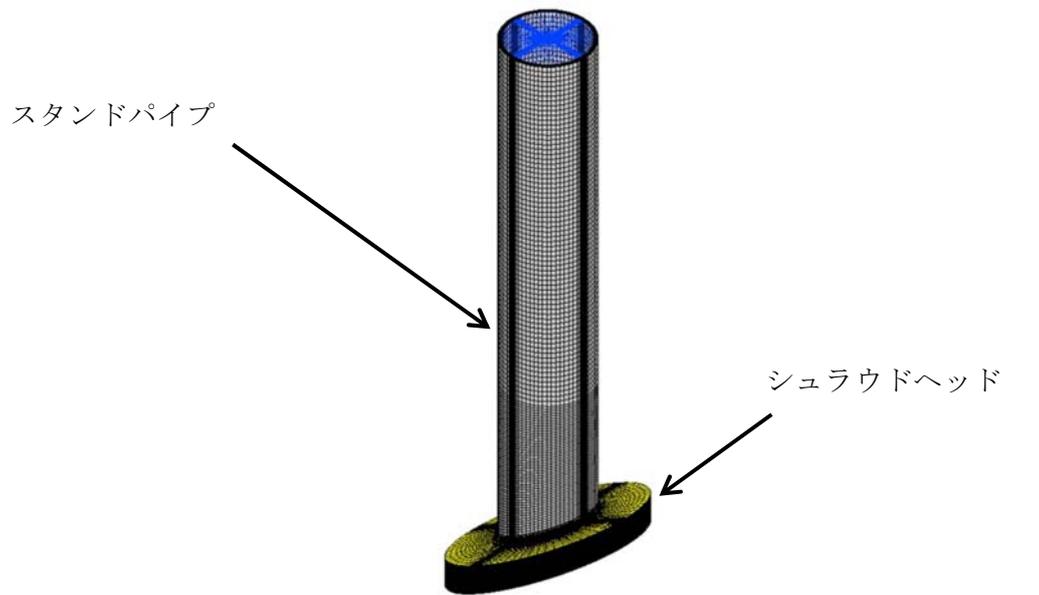


図 3 - 5 炉内構造物 (気水分離器及びスタンドパイプ) 構造概要図 (2/2)

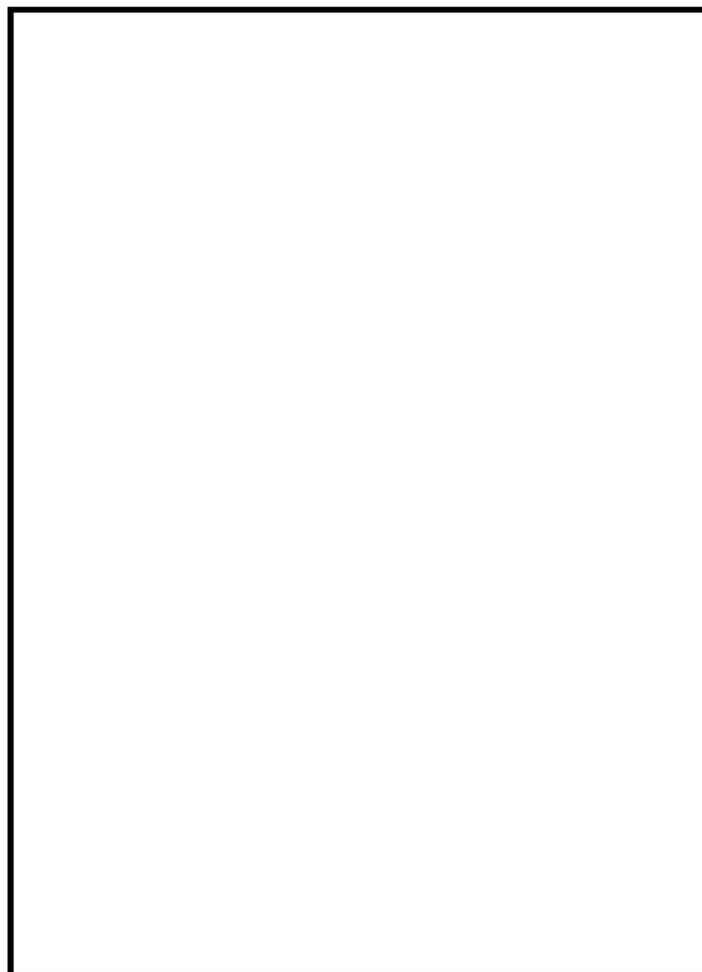


溶接部

図 3 - 6 極限解析に用いる解析モデル概要図 (中央位置)



A部



B部

C部

D部

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。

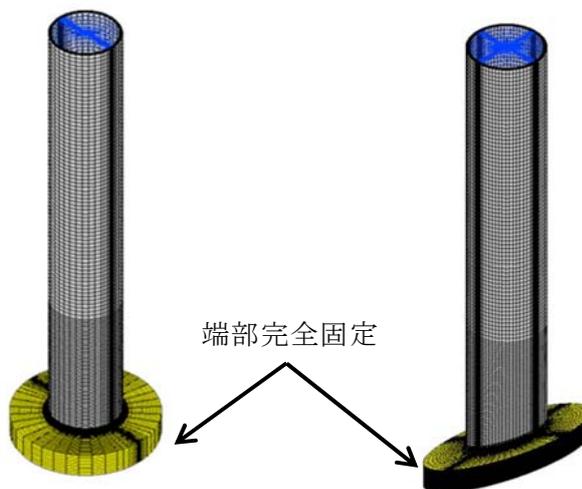


図3-7 解析モデルの境界条件

解析モデルの物性値は、許容応力状態Ⅳ_{AS}における許容荷重を求める際には、J S ME 設計・建設規格 CSS-3160 に規定されているとおり、 $2.3S_m$ と $0.7S_u$ 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Ⅲ_{AS}における許容荷重を求める際には、同じく、 $1.5S_m$ 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 × 10 ⁵ [MPa]	降伏応力 [MPa]		
		許容応力状態 IV _A S		許容応力状態 III _A S
		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

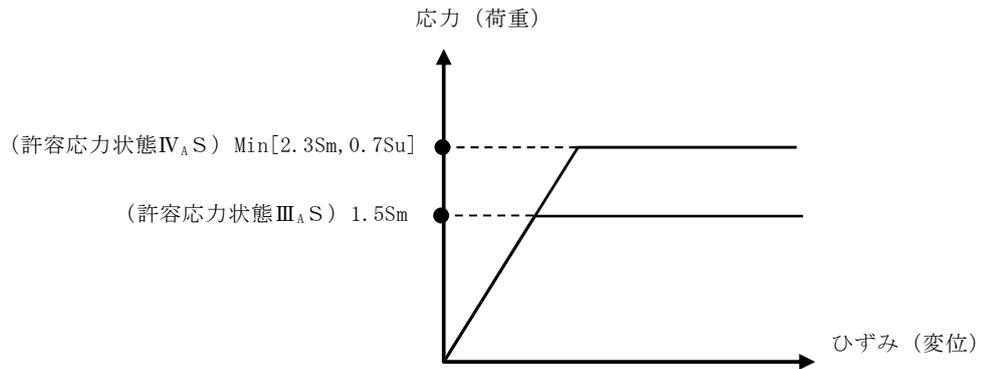


図 3 - 8 弾完全塑性体として応力とひずみの関係

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对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。

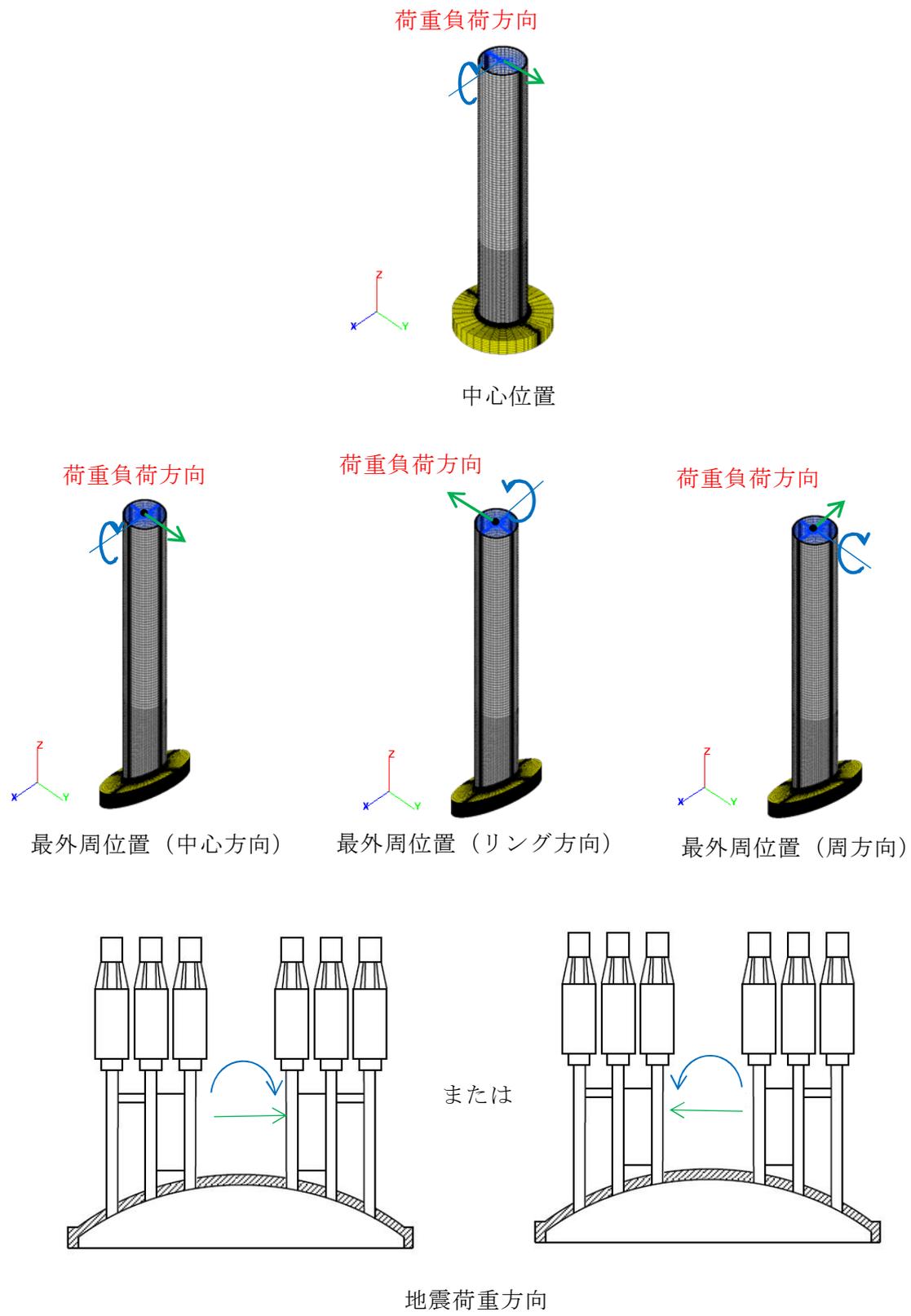
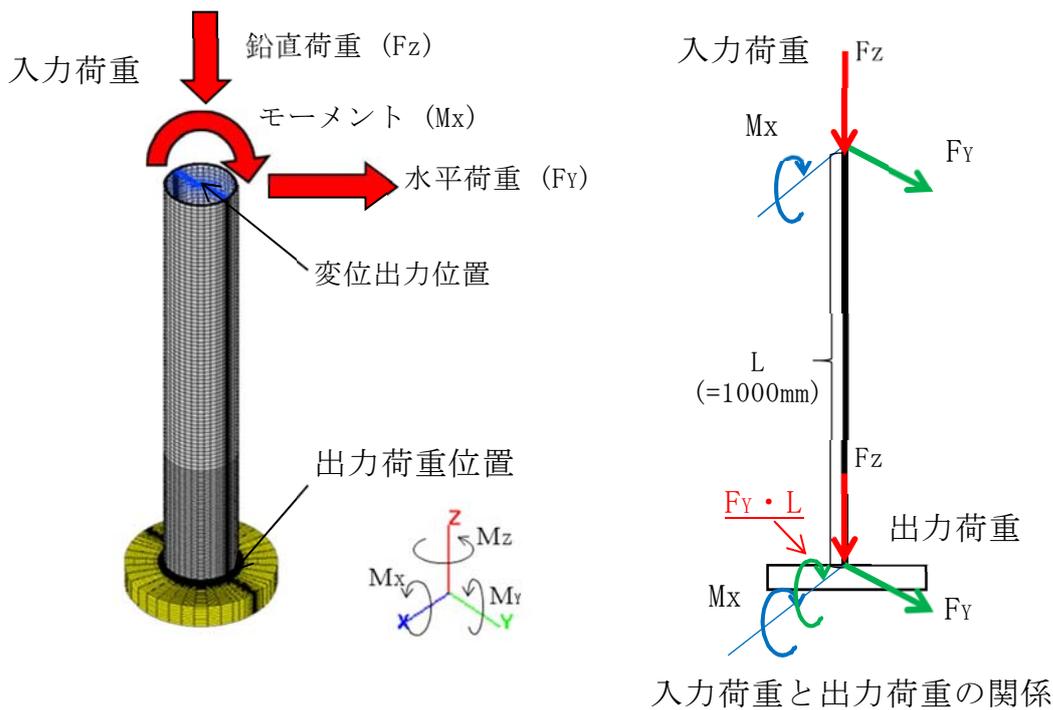


図 3 - 9 入力荷重の方向と地震荷重方向の関係



評価用入力荷重 (S s 地震用 倍率 1.0 倍時)

入力荷重成分		S s 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 ($F_Y \cdot L$) 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)

$F_Y \cdot L$: 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 (S s 地震用 倍率 1.0 倍時)

出力荷重成分		S s 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]

S s 地震荷重 (平均地震荷重)

荷重成分		S s 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 - 1 0 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 S_s 又は S_d 地震荷重で除した各地震荷重に対する荷重倍率で示す。

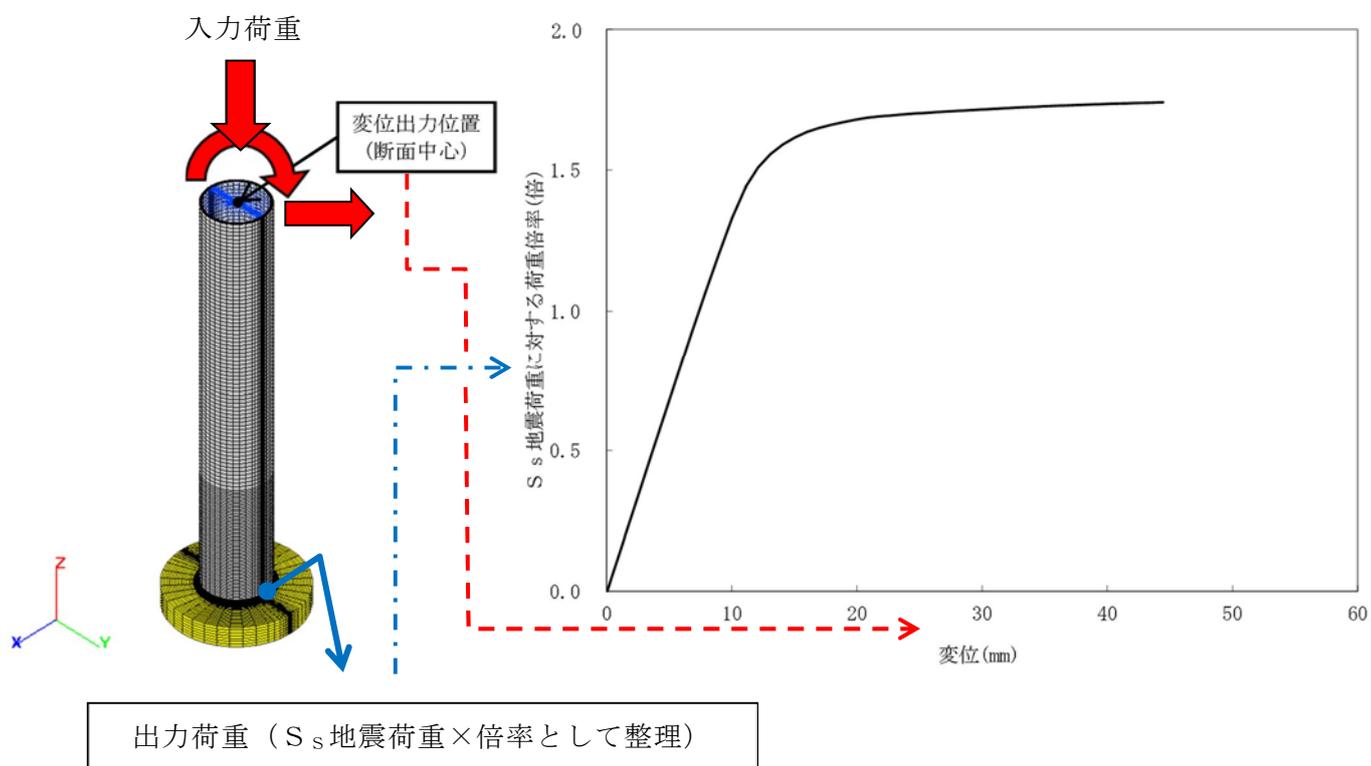


図3-11 荷重変位曲線の作成（ S_s 地震に対する評価の例，中心位置の場合）

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。

S_s地震時及びS_d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。S_s地震荷重及びS_d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、S_s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、J S M E 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とる観点から、モデル長さを1000mm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によって生じる水平荷重によるモーメントの影響を考慮していることから変化しない。

モデル長さを1000mmから1500mmに変化させた場合の荷重変位曲線を図3-19図に示す。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する。

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する。

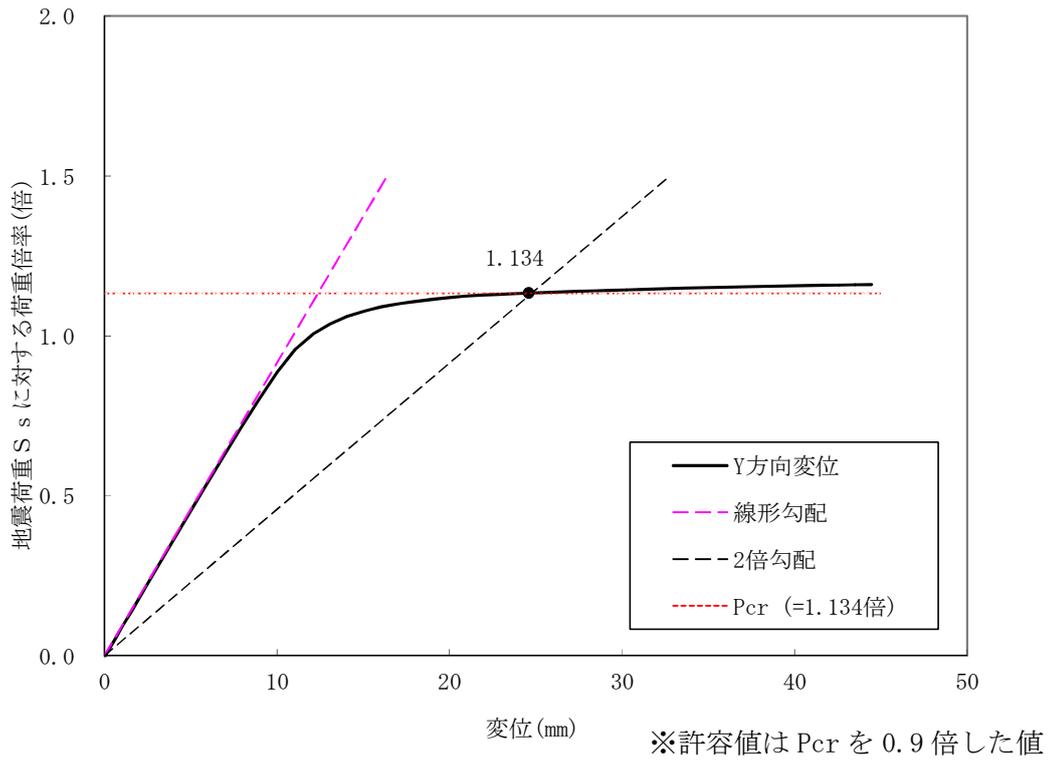


図 3-12 S_s 地震時の崩壊荷重の下限の算定結果 (中心位置)

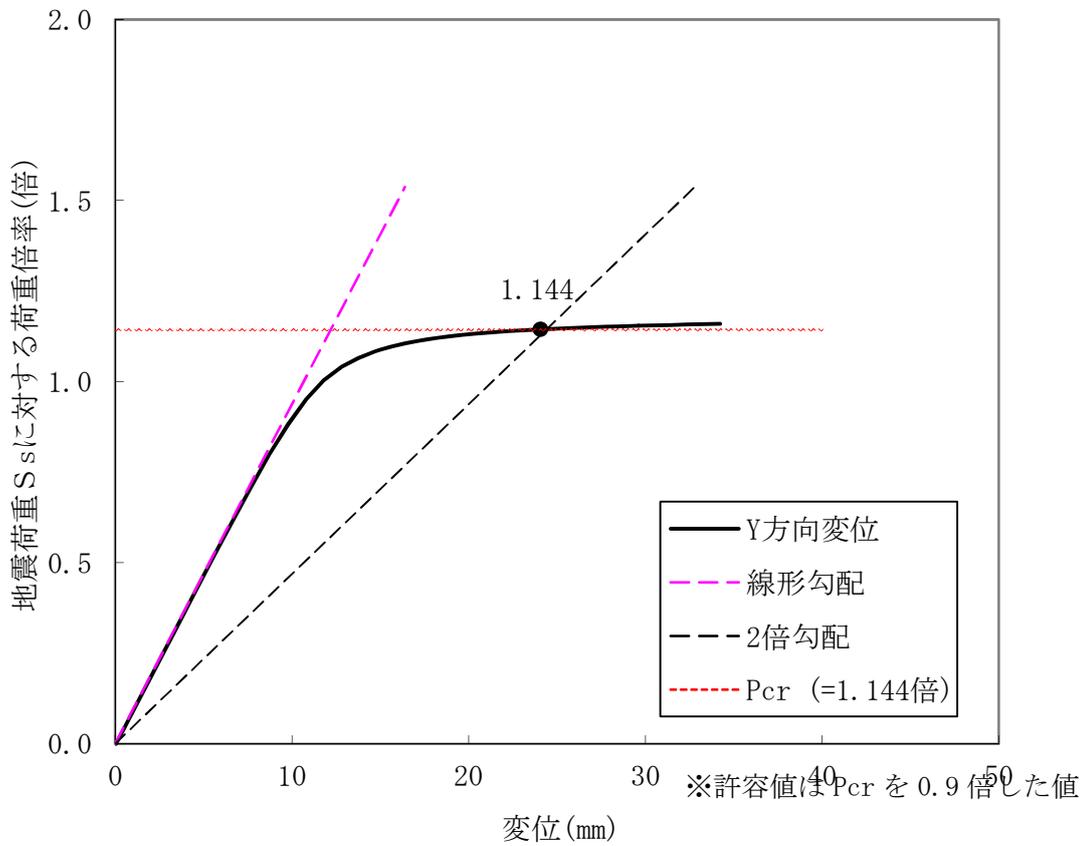


図 3-13 S_s 地震時の崩壊荷重の下限の算定結果
(最外周位置 中心方向に荷重負荷)

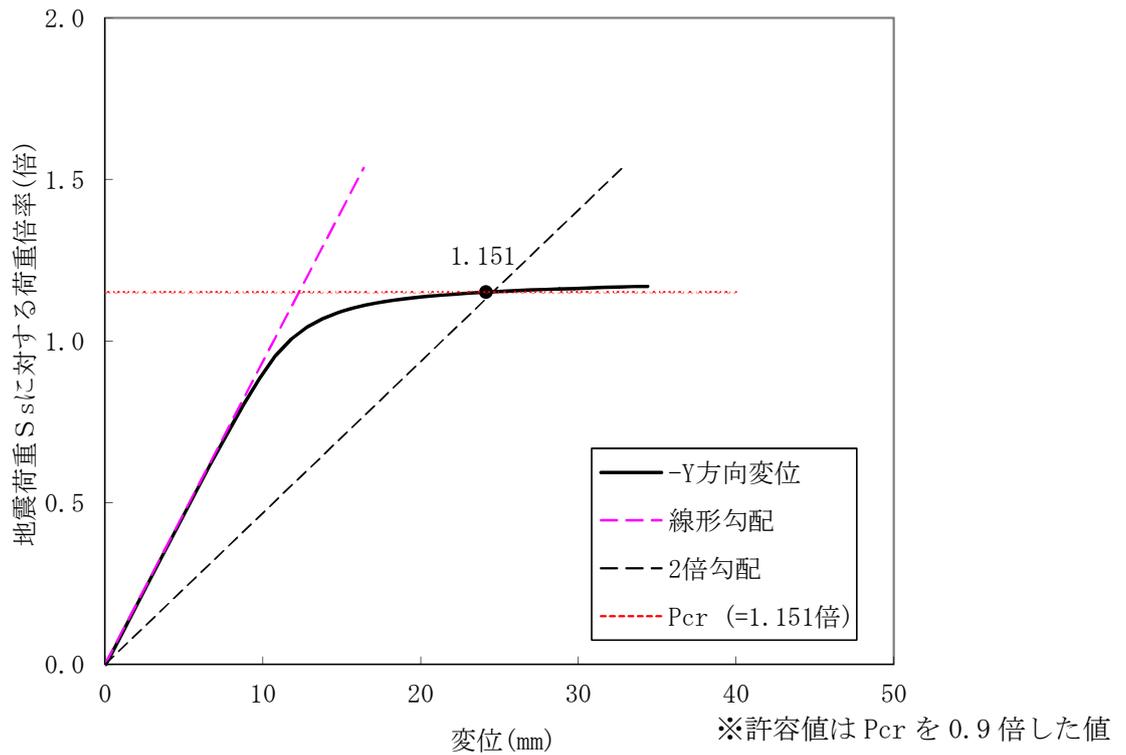


図 3-14 S_s 地震時の崩壊荷重の下限の算定結果
 (最外周位置 リング方向に荷重負荷)

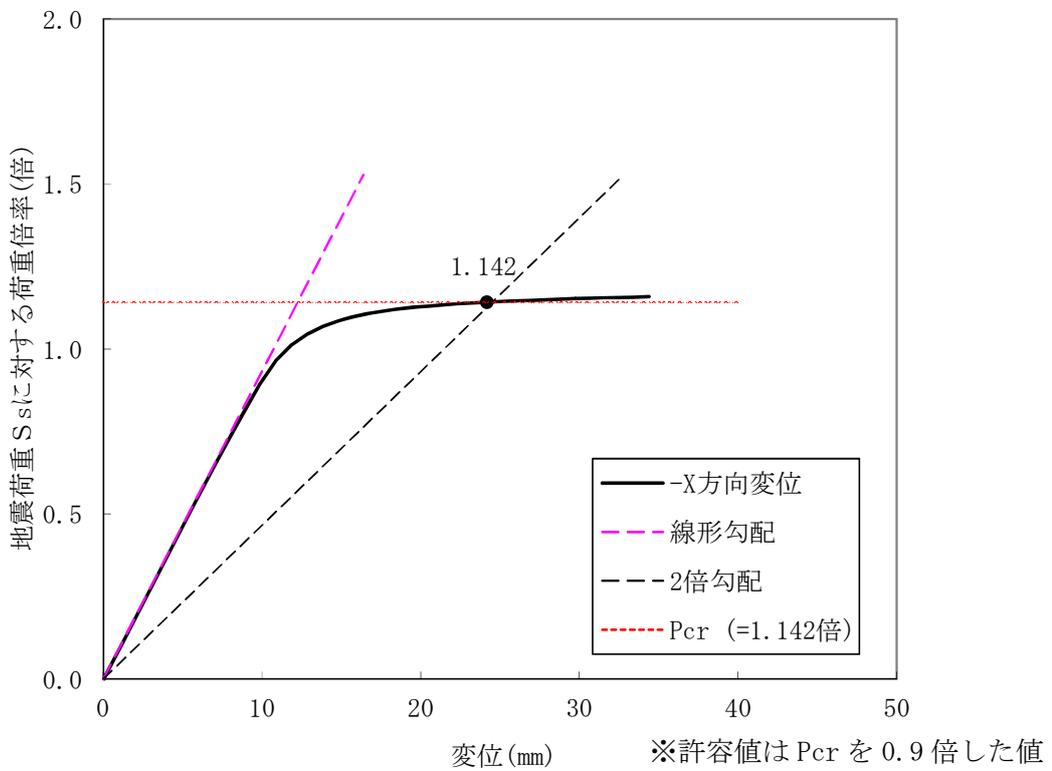


図 3-15 S_s 地震時の崩壊荷重の下限の算定結果
 (最外周位置 周方向に荷重負荷)

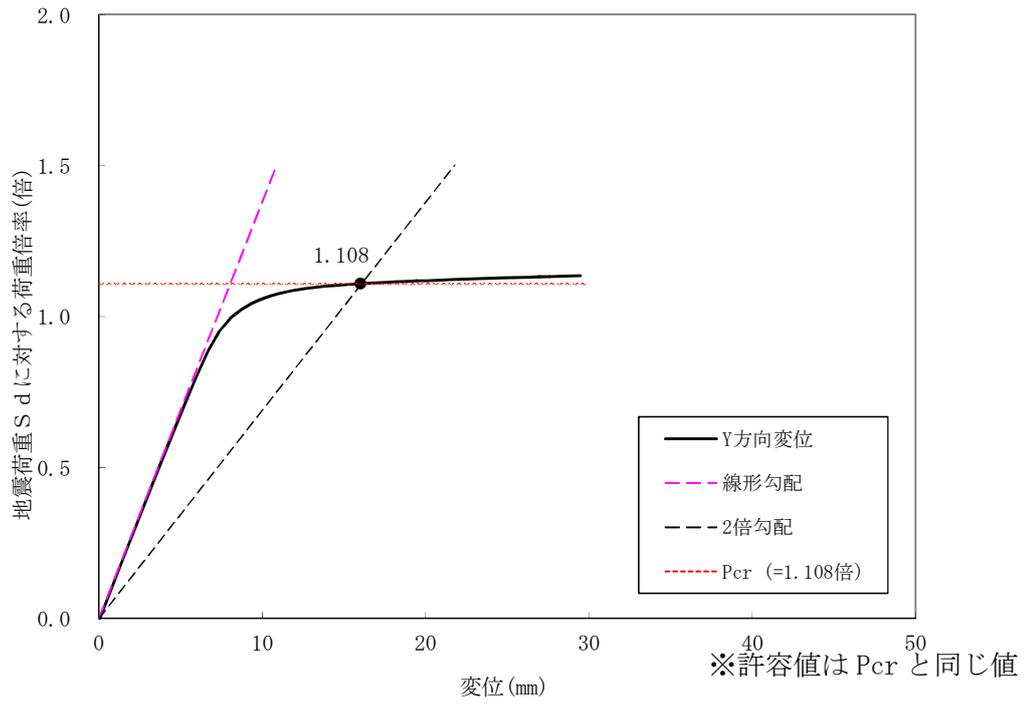


図 3-16 S_d地震時の崩壊荷重の下限の算定結果 (中心位置)

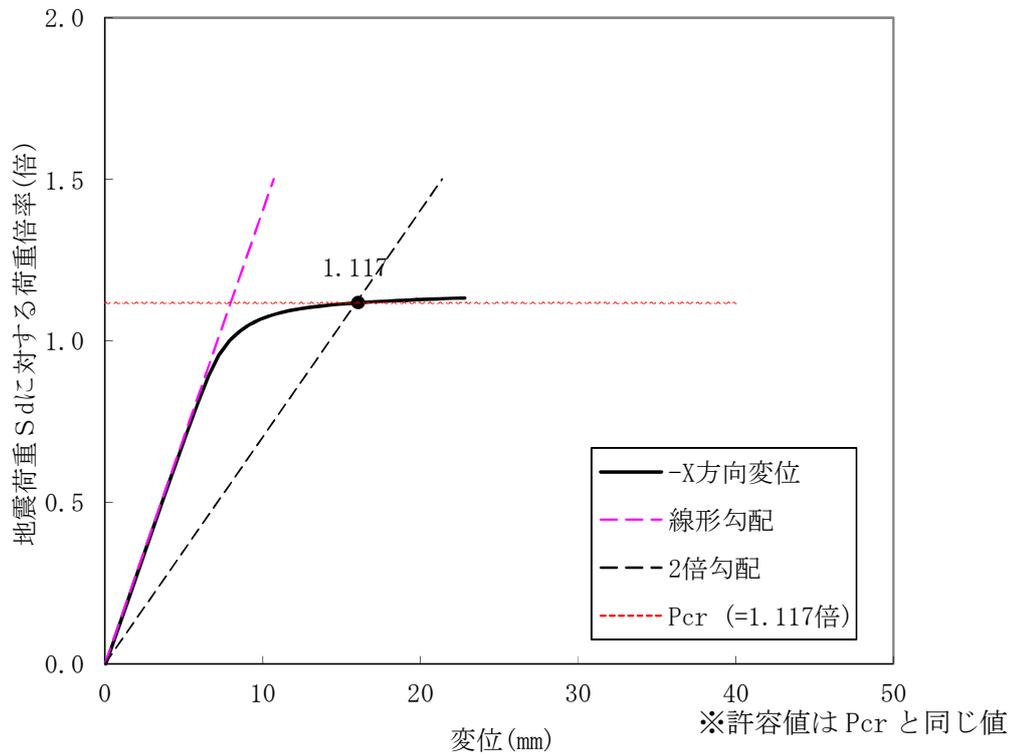


図 3-17 S_d地震時の崩壊荷重の下限の算定結果 (最外周位置 周方向に荷重負荷)

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 ト負荷方向	許容応力状態	裕度 (P _{cr} /地震荷重)
中央部	—	IV _A S	1.134
最外周部	中心方向	IV _A S	1.144
	リング方向	IV _A S	1.151
	周方向	IV _A S	1.142
中央部	—	III _A S	1.108
最外周部	周方向※	III _A S	1.117

※：中心方向，リング方向，周方向のうちIV_ASの裕度が最も低いものを実施

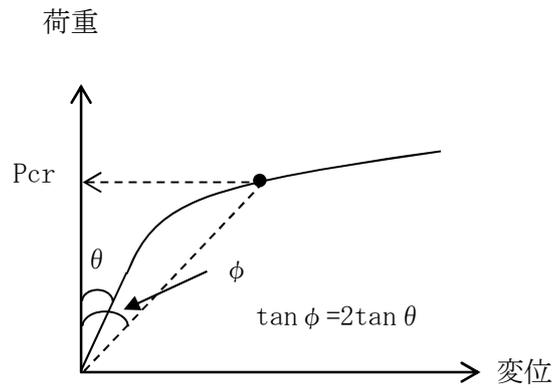
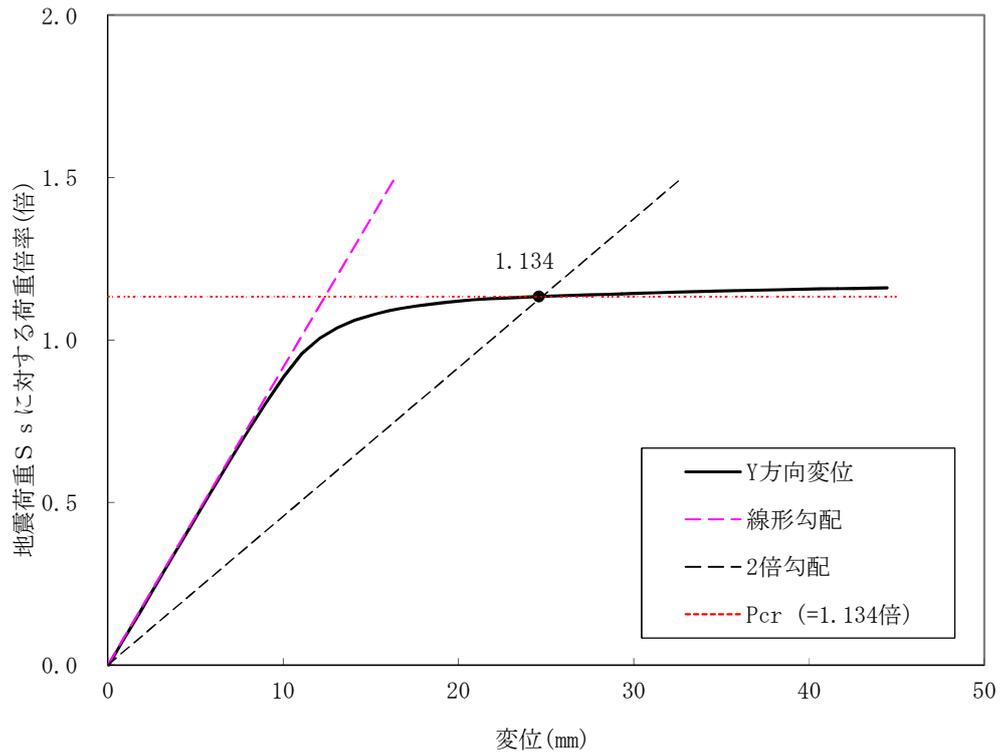
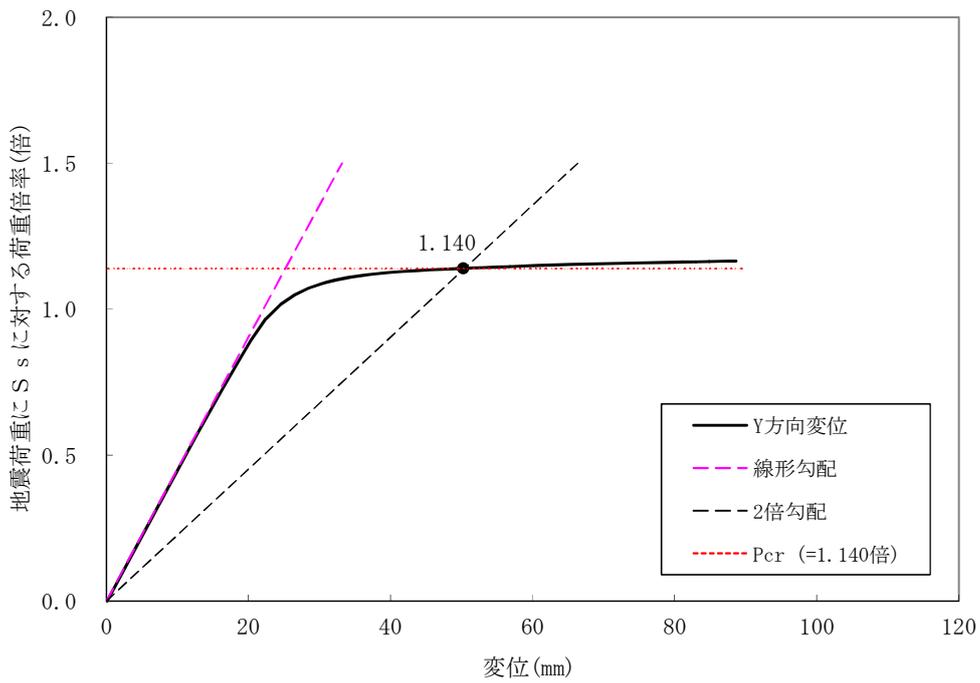


図 3-18 崩壊荷重の下限 (P_{cr}) の定義

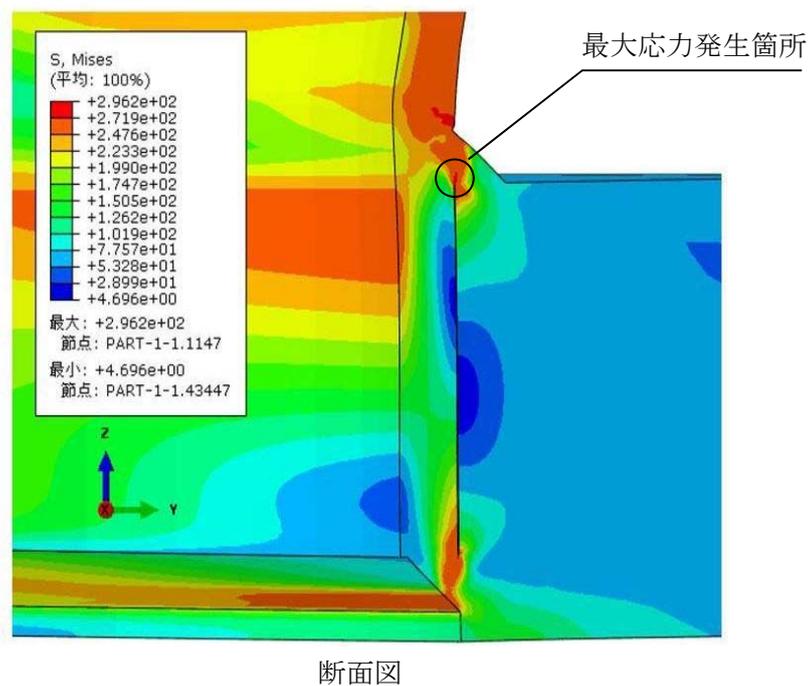
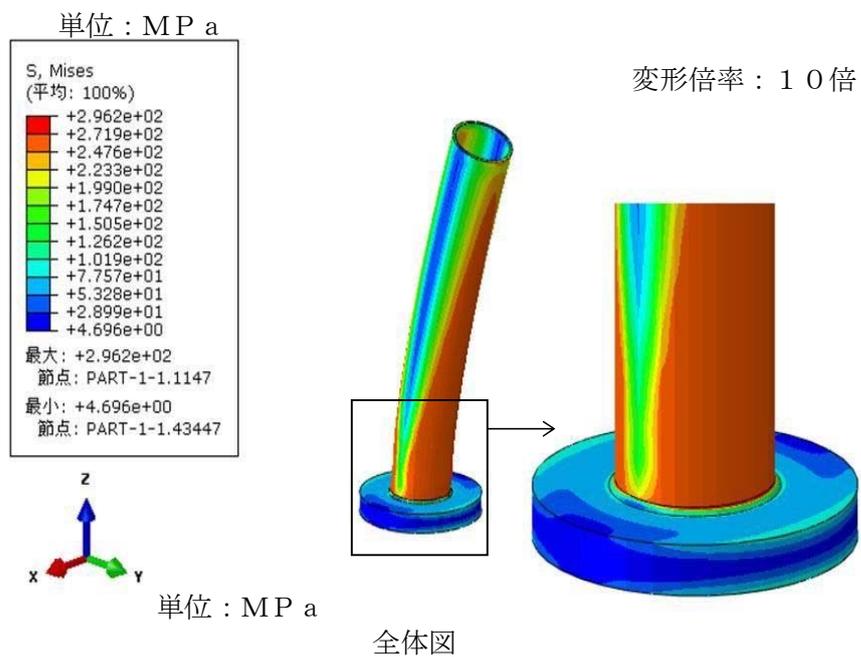


モデル長さ 1000m の場合



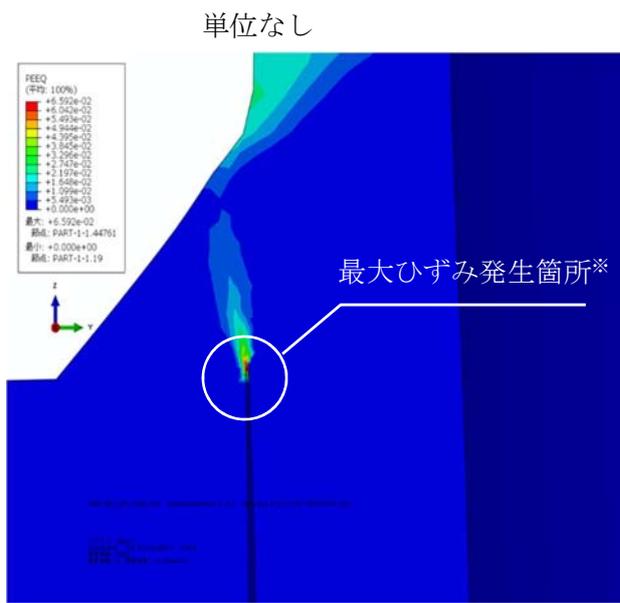
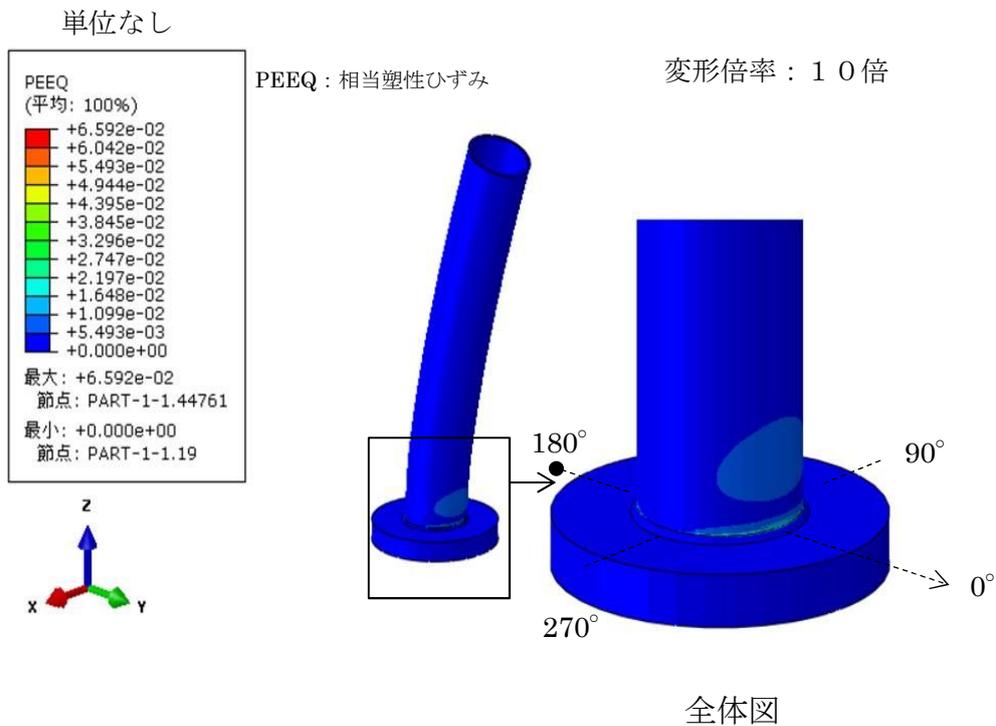
モデル長さ 1500mm の場合

図 3-19 長さを変化させた場合の極限解析結果

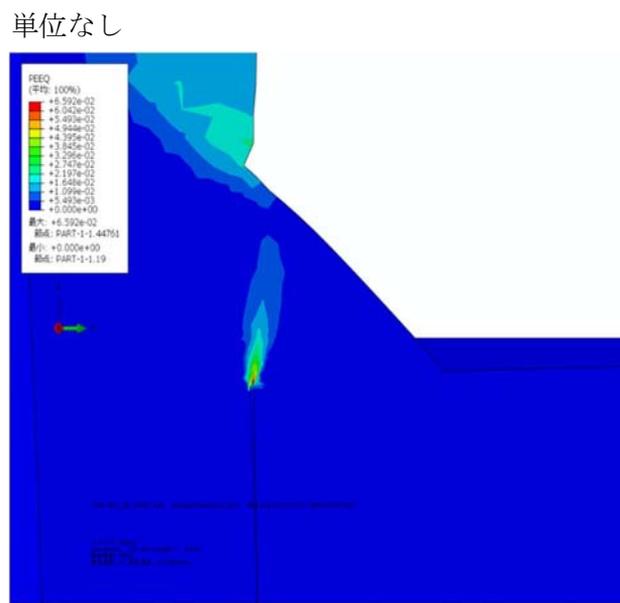


応力分布図

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



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

断面図

鏡板表面位置

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) (2/5)

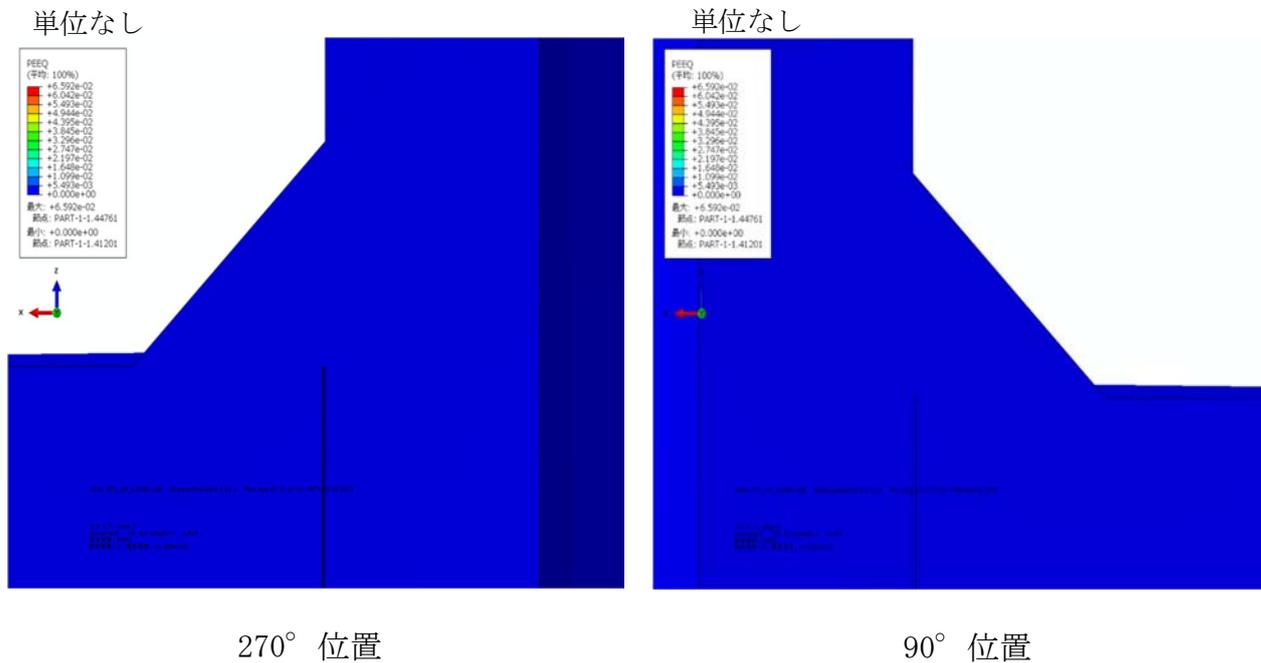
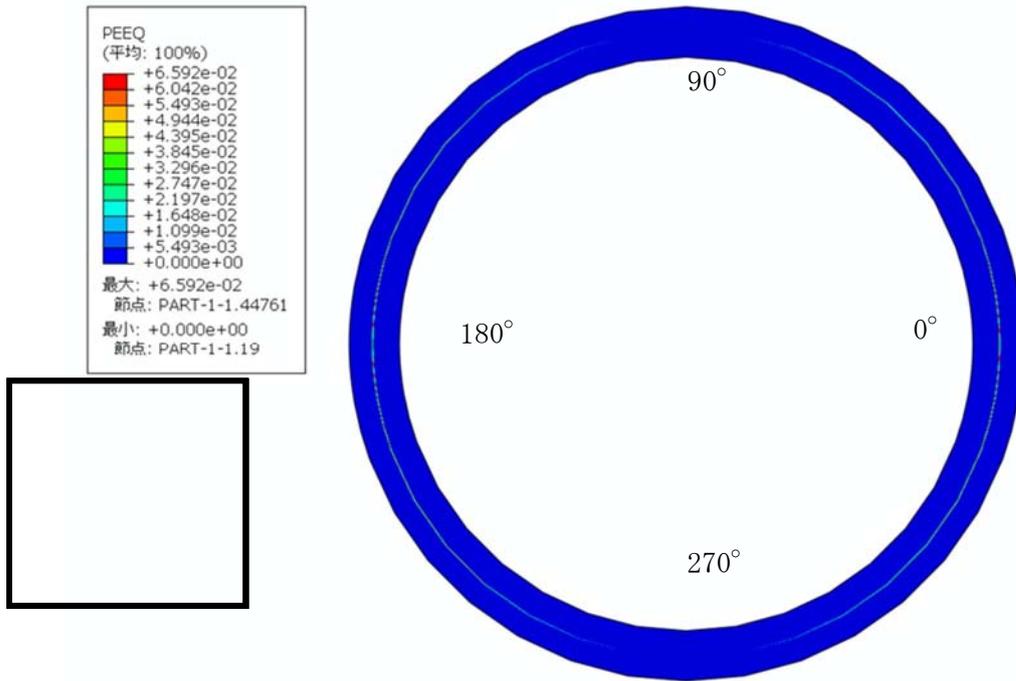


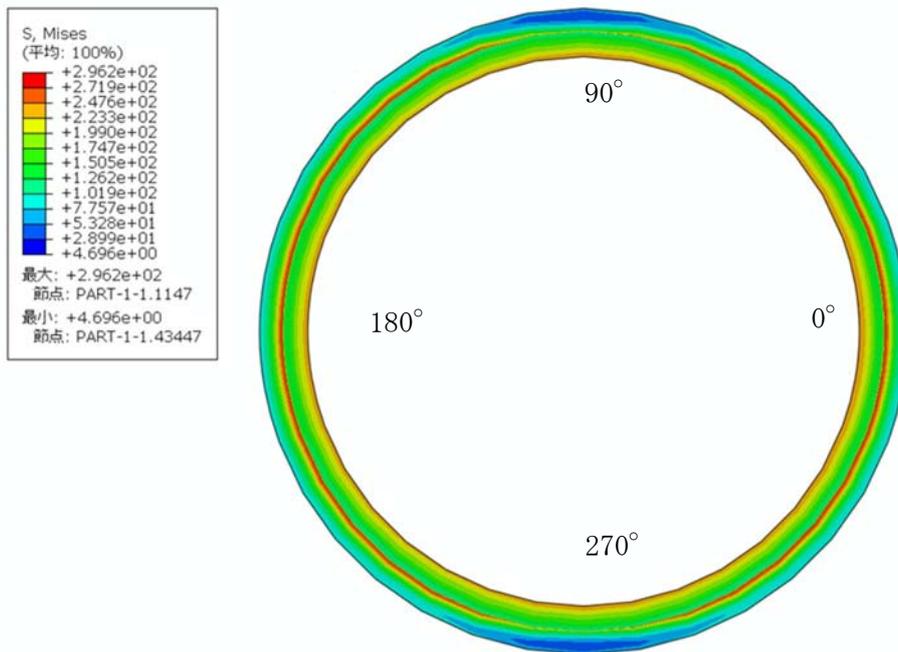
図3-20 崩壊荷重の下限 (Pcr) での応力・ひずみ分布図 (中心位置) (3/5)

単位なし



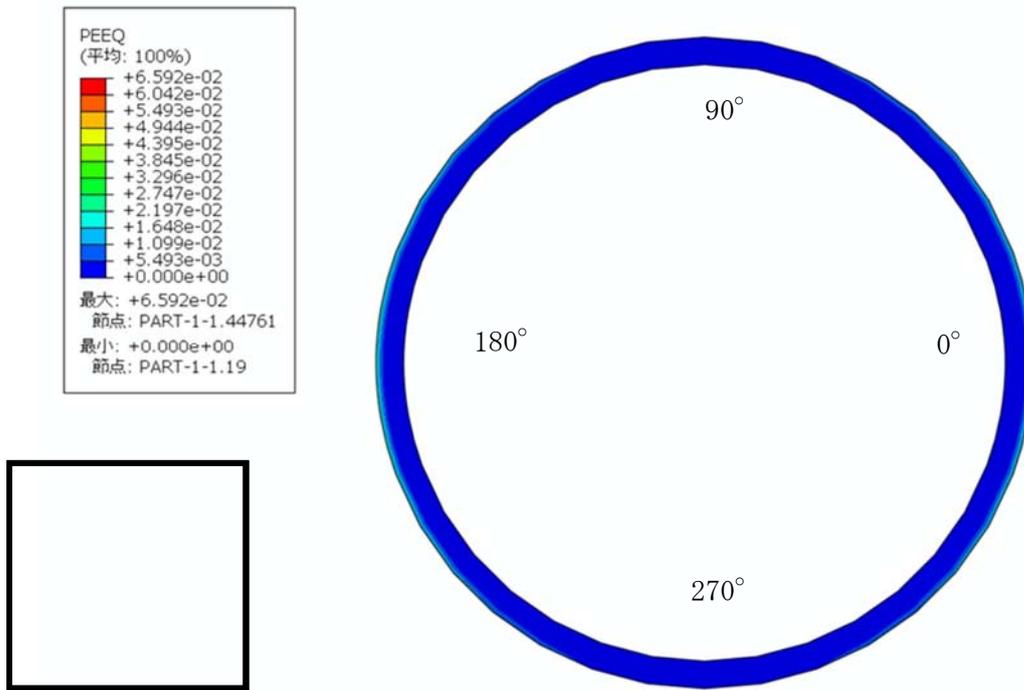
ひずみ分布図（平面図） 最大ひずみ発生位置高さ

単位:MP a

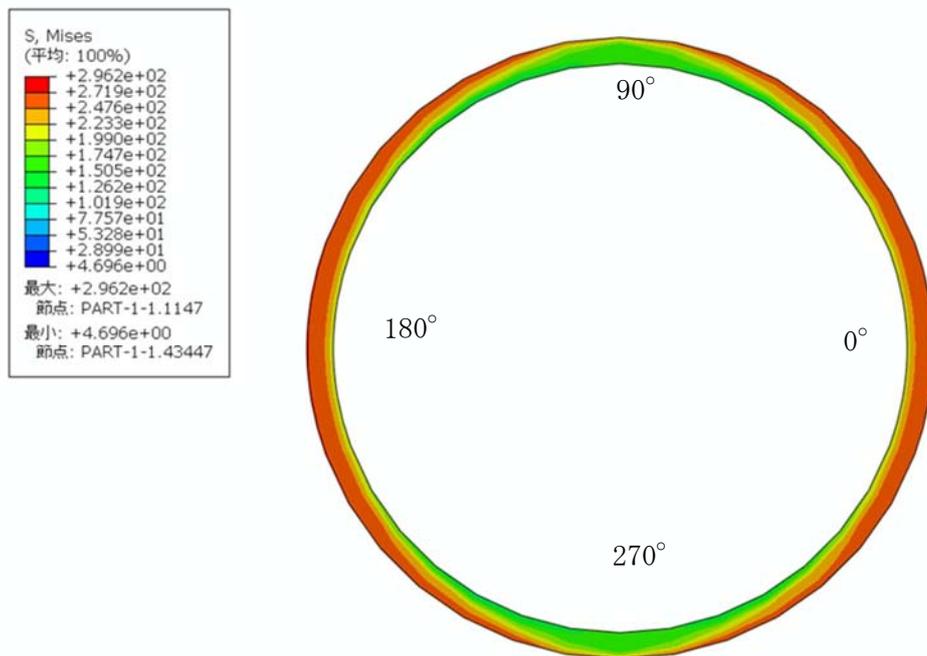


応力分布図（平面図） 最大ひずみ発生位置高さ

図3-20 崩壊荷重の下限 (P_{cr}) での応力・ひずみ分布図(4/5)

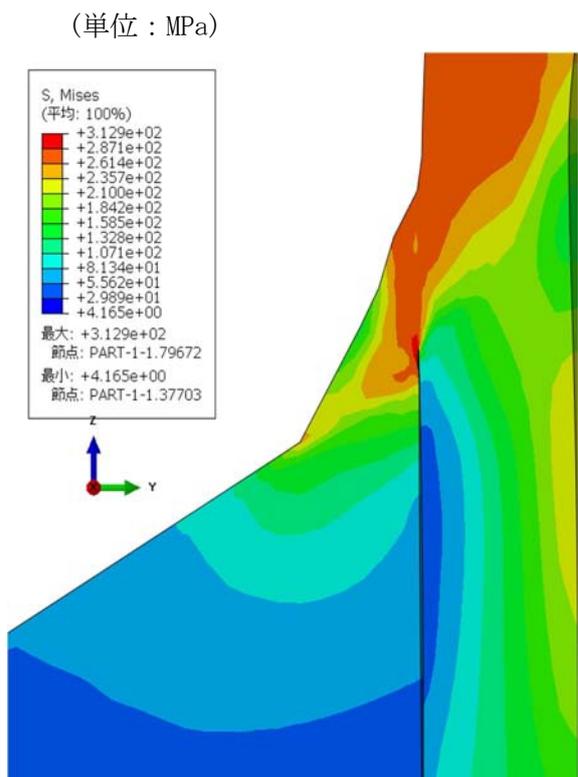
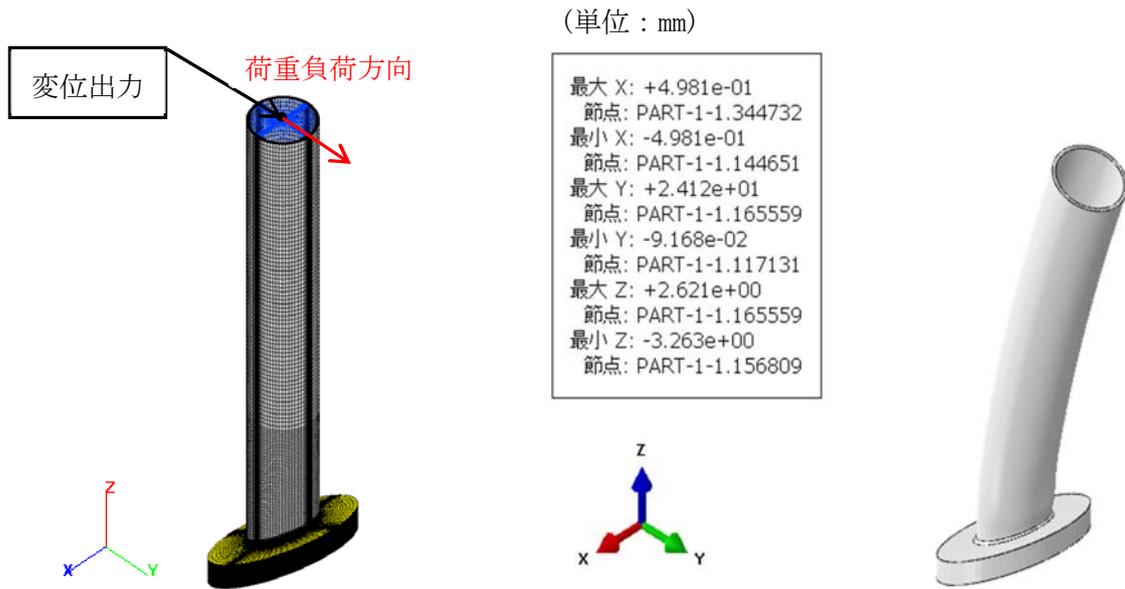


ひずみ分布図（平面図）隅肉溶接上端を含む位置

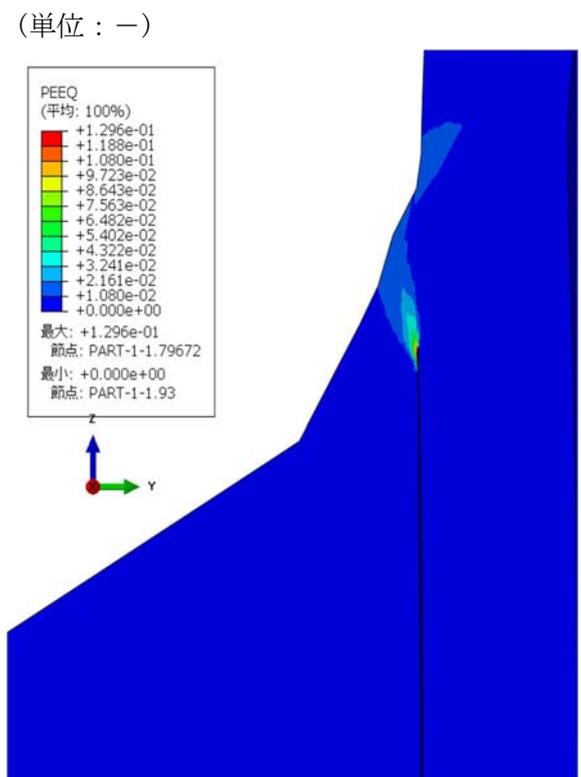


応力分布図（平面図）（隅肉溶接上端を含む位置）

図3-20 崩壊荷重の下限 (P_{cr}) での応力・ひずみ分布図(5/5)

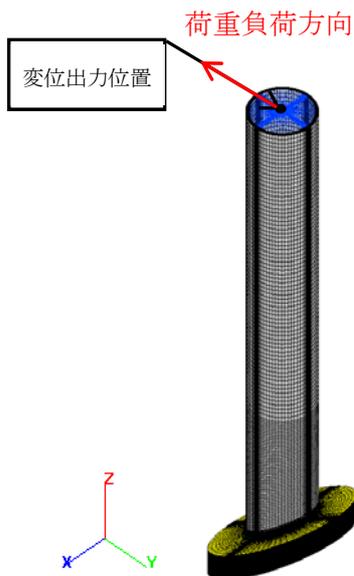


応力分布図(引張側断面)
 (2倍勾配交点)



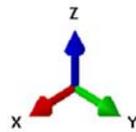
ひずみ分布図(引張側断面)
 (2倍勾配交点)

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)

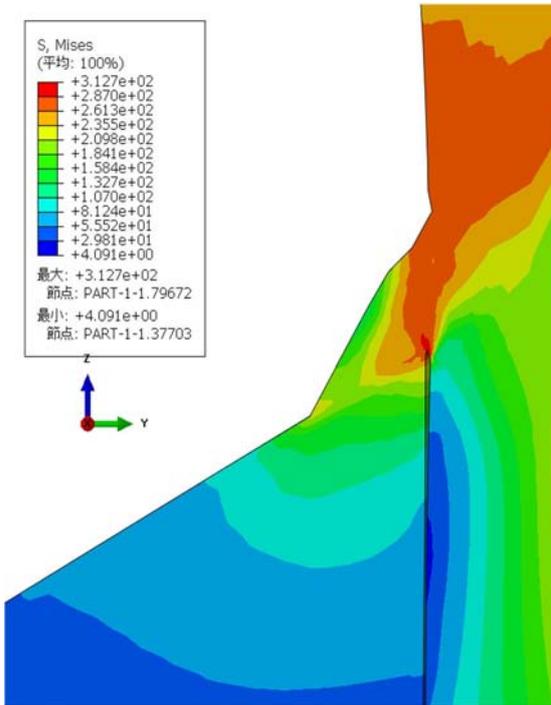


(単位 : mm)

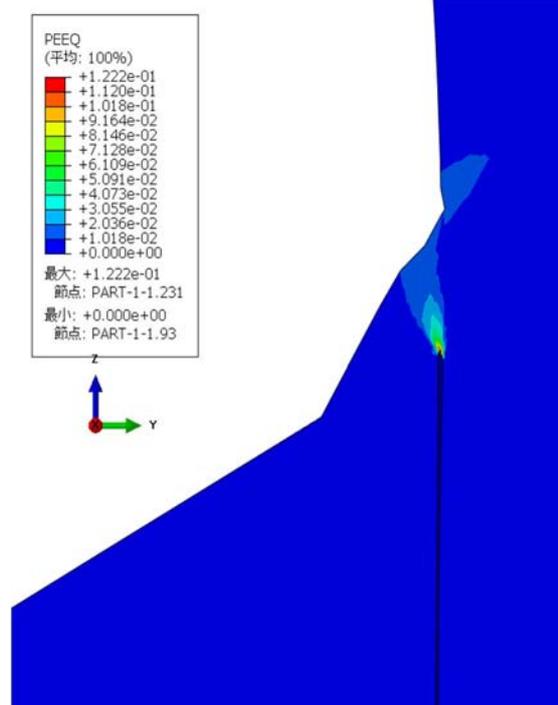
最大 X: +4.248e-01
 節点: PART-1-1.144551
 最小 X: -4.248e-01
 節点: PART-1-1.344632
 最大 Y: +9.590e-02
 節点: PART-1-1.117126
 最小 Y: -2.421e+01
 節点: PART-1-1.156809
 最大 Z: +2.607e+00
 節点: PART-1-1.156809
 最小 Z: -3.327e+00
 節点: PART-1-1.165559



(単位 : MPa)



(単位 : -)



応力分布図 (圧縮側断面)

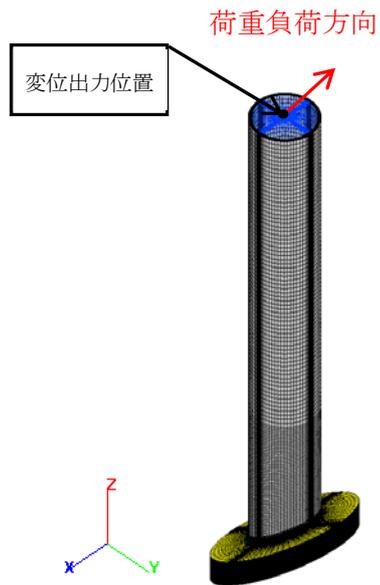
ひずみ分布図 (圧縮側断面)

(2 倍勾配交点)

(2 倍勾配交点)

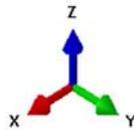
図 3 - 2 2 崩壊荷重の下限 (P_{cr}) での応力・ひずみ分布図

(リング方向に荷重負荷)

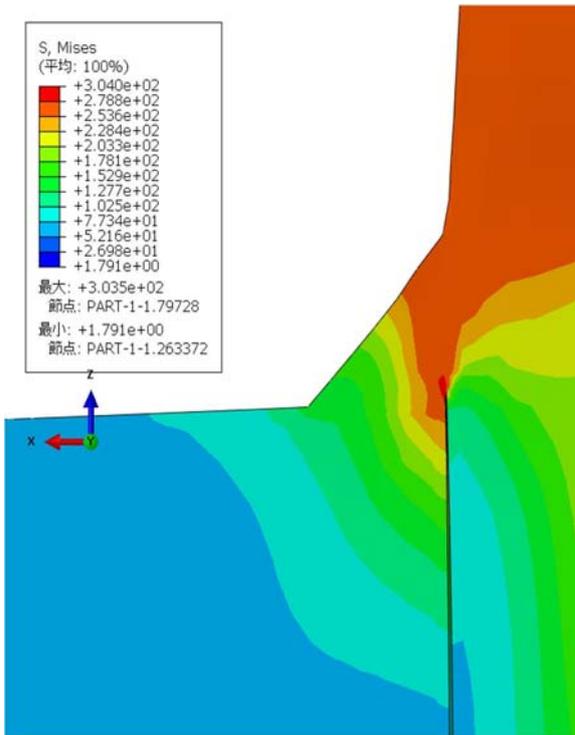


(単位 : mm)

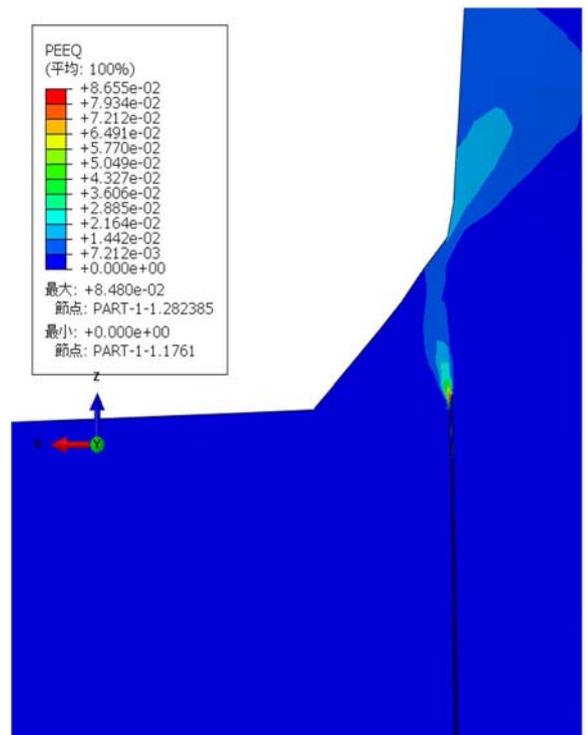
最大 X:	+7.514e-02
節点:	PART-1-1.120205
最小 X:	-2.427e+01
節点:	PART-1-1.381740
最大 Y:	+3.257e-01
節点:	PART-1-1.341834
最小 Y:	-3.370e-01
節点:	PART-1-1.141753
最大 Z:	+2.607e+00
節点:	PART-1-1.360600
最小 Z:	-3.285e+00
節点:	PART-1-1.160799



(単位 : MPa)



(単位 : -)



応力分布図(引張側断面)

ひずみ分布図(引張側断面)

(2倍勾配交点)

(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3-5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3-5 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	J S M E 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模擬体として試験を実施し、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小試験体に荷重（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(P_{cr})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 P_{cr} 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、試験機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 3-1 に、試験装置の概略図を図 4-1 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機に固定し、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形挙動を計測し、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機に試験体を取り付け、301 °C（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 縮小モデル試験体の仕様

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

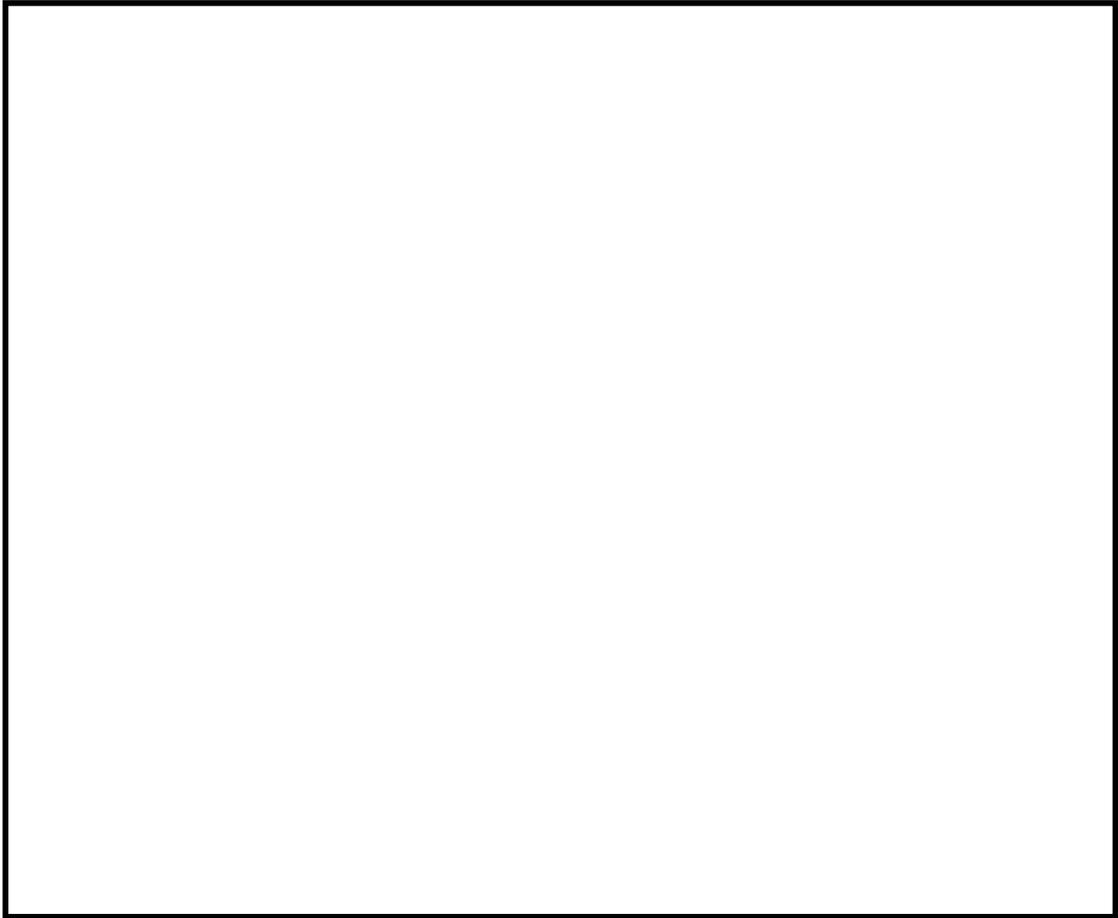


图 4 - 1 試驗体形状



ロードセル

クロスヘッド

恒温槽

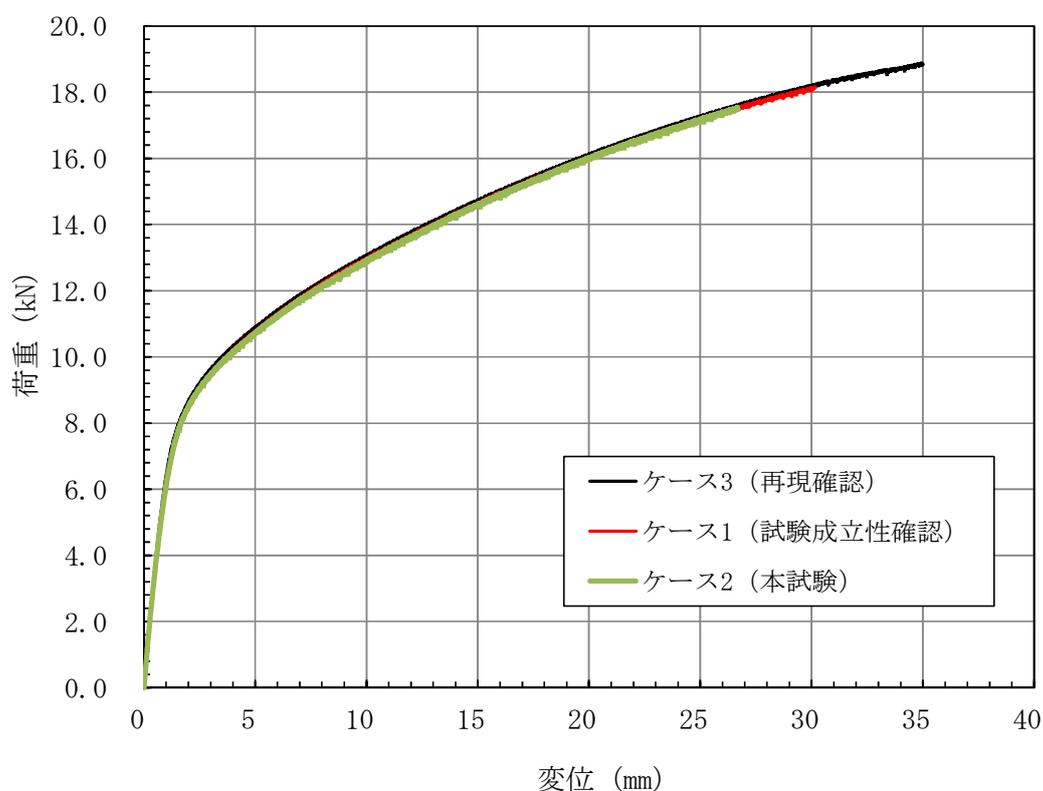
試験体

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。

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、試験力にモーメントアーム（0.148 m）を乗じて求める。スケール則は、荷重（モーメント）に対しては実機寸法と縮尺試験体の塑性断面係数の比※（= 27）を乗じる。

変位に対しては、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、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場合、表4－2となり、極限解析で得られる崩壊荷重の下限値(P_{cr})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、図4－3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も生じるため解析に比べて大きな変位となるためと考える（図4－6参照）。

※：円筒形の塑性断面係数 Z_p （= $(D_o^3 - D_i^3) / 6$ ）の比

D_o ：外径， D_i ：内径

（表3－1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： Z_p （実機）= 1.849×10^5 [mm³]

試験体の塑性断面係数： Z_p （試験体）= 6.846×10^3 [mm³]

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	許容応力状態IVaS
⑤極限解析(Pcr)により 得られる許容荷重	—	44.75	許容荷重=0.9×④

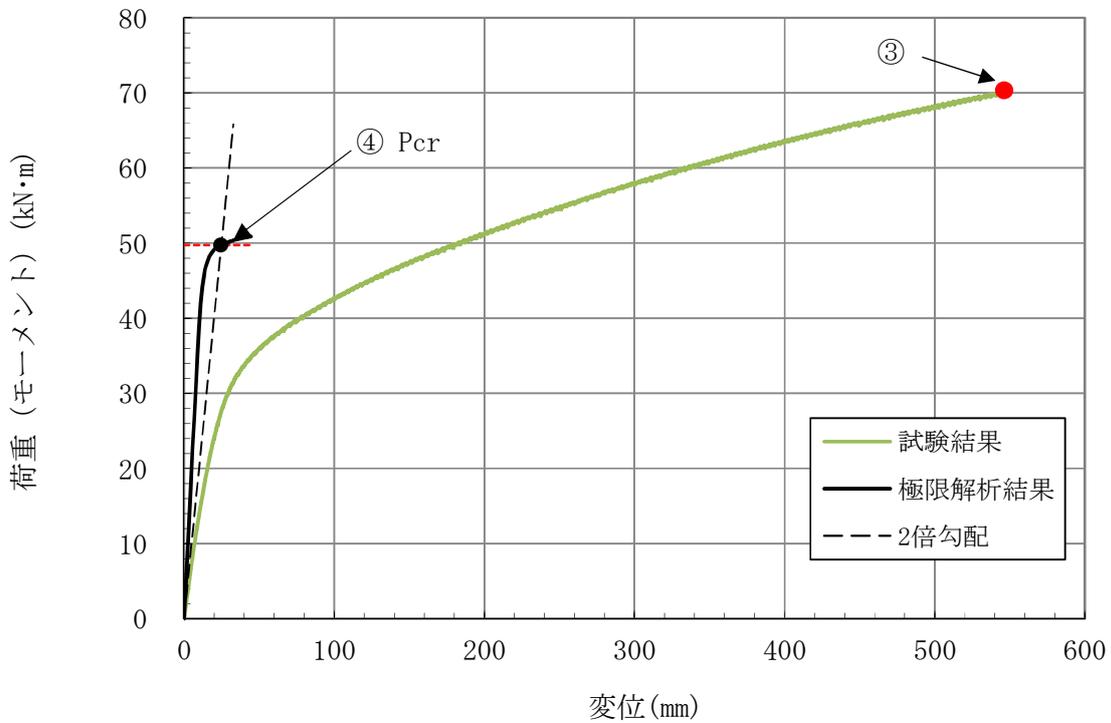
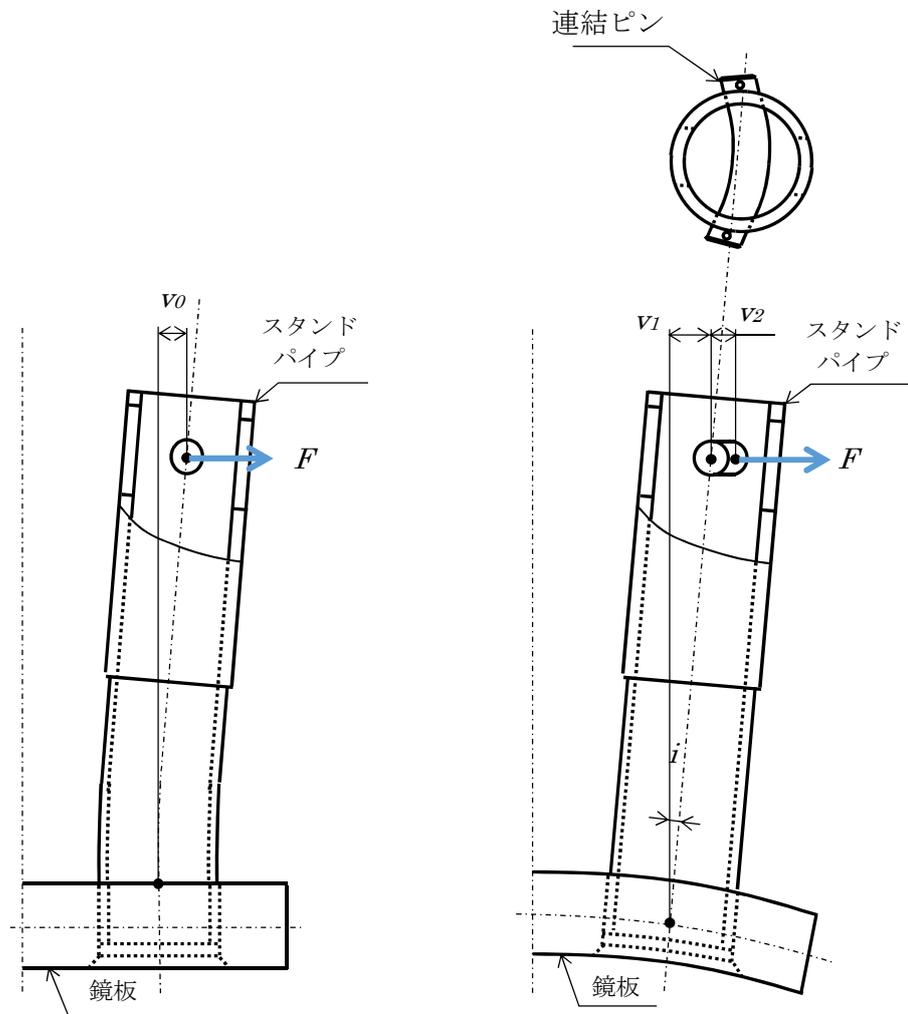


図 4-5 試験結果と極限解析結果の比較



スタンドパイプのたわみ

鏡板と連結ピンのたわみ

厳密な試験体の変位 $v_T =$ スタンドパイプたわみ + 鏡板たわみ + 連結ピンたわみ
 $= v_0 + v_1 + v_2$
 今回の評価に用いた変位比 ($= v_A / v_0$) > 厳密な変位比 ($= v_A / v_T$)
 ここで, v_A : 極限解析の変位

図4-6 スタンドパイプのたわみと鏡板と連結ピンのたわみの概要

4.5 まとめ

東海第二のスタンドパイプの縮小モデル試験体に荷重（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。

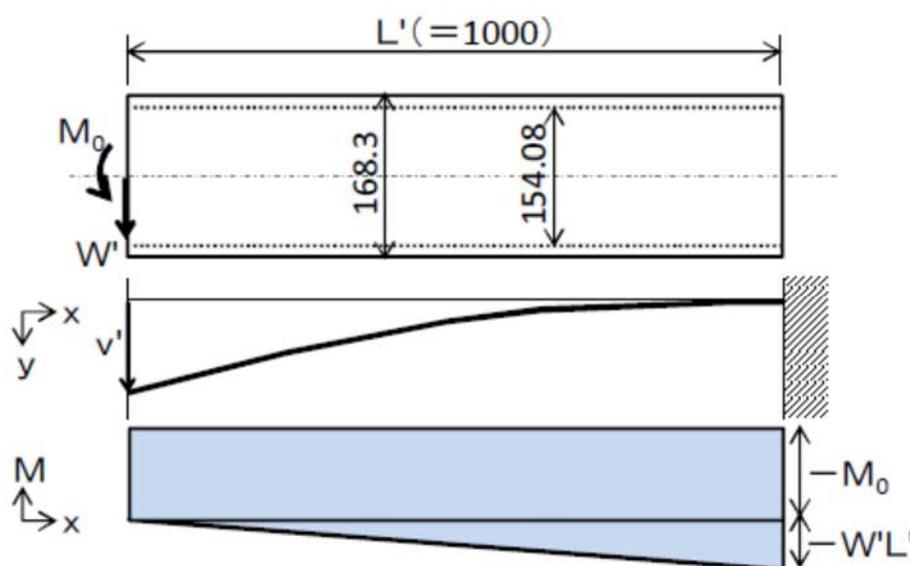
以上より，極限解析による評価手法は十分な保守性を有していることを確認した。

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 P_{cr} (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

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

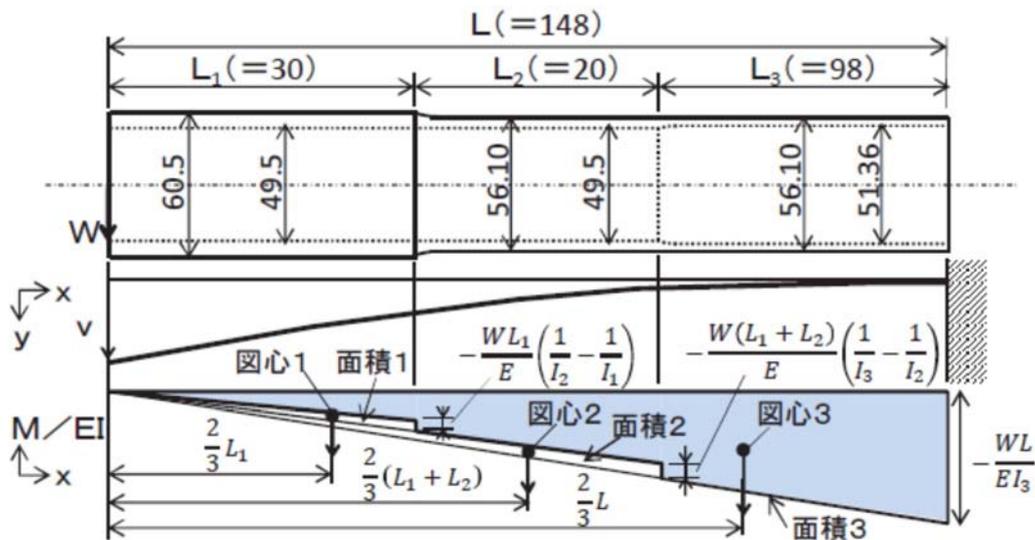
$$M_0 = M' - W'L'$$

実機スタンドパイプの諸元

項目	実機
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 S_s	
W' 水平力 (kN)	3460
M' 曲げモーメント ($kN \cdot mm$)	9870000
W'/M' (mm^{-1})	$3.506E-04$

②試験体の変位の算出

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量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

$$\begin{aligned}
 v &= (\text{面積3}) \times (\text{図心3までの距離}) - (\text{面積2}) \times (\text{図心2までの距離}) - \\
 &\quad (\text{面積1}) \times (\text{図心1までの距離}) \\
 &= \{WL/(EI_3)\} \cdot (L/2) \cdot (2L/3) - \{W(L_1+L_2)/(1/I_3-1/I_2)/E\} \cdot \{(L_1+L_2)/2\} \cdot (2(L_1+L_2)/3) \\
 &\quad - \{WL_1/(1/I_2-1/I_1)/E\} \cdot (L_1/2) \cdot (2L_1/3) \\
 &= \sigma Z/E \cdot \{L_2/(3I_3) - (L_1+L_2)^3/(3L) \cdot (1/I_3-1/I_2) - L_1^3/(3L) \cdot (1/I_2-1/I_1)\} \\
 &= 257.1 \sigma / E
 \end{aligned}$$

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 _{1o} , D _{2o} , D _{3o} (mm)	60.5	56.1	56.1
内径 D _{1i} , D _{2i} , D _{3i} (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)	150		
長さ L ₁ , L ₂ , L ₃ (mm)	30	20	98

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によって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。

解析結果を図5-3に示す。また、詳細モデルの固有値解析結果を図5-4示す。図5-3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。

これは、図5-5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。

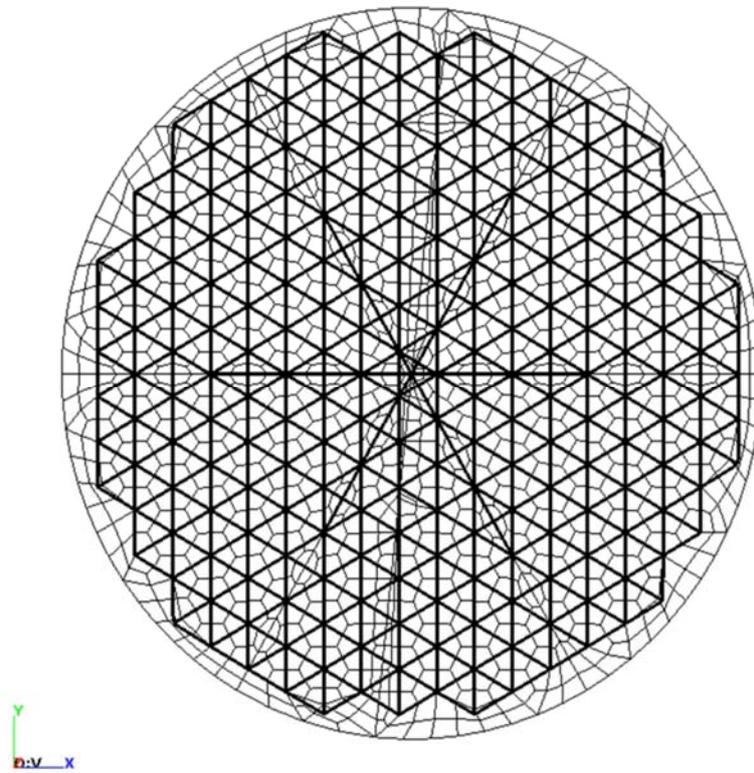
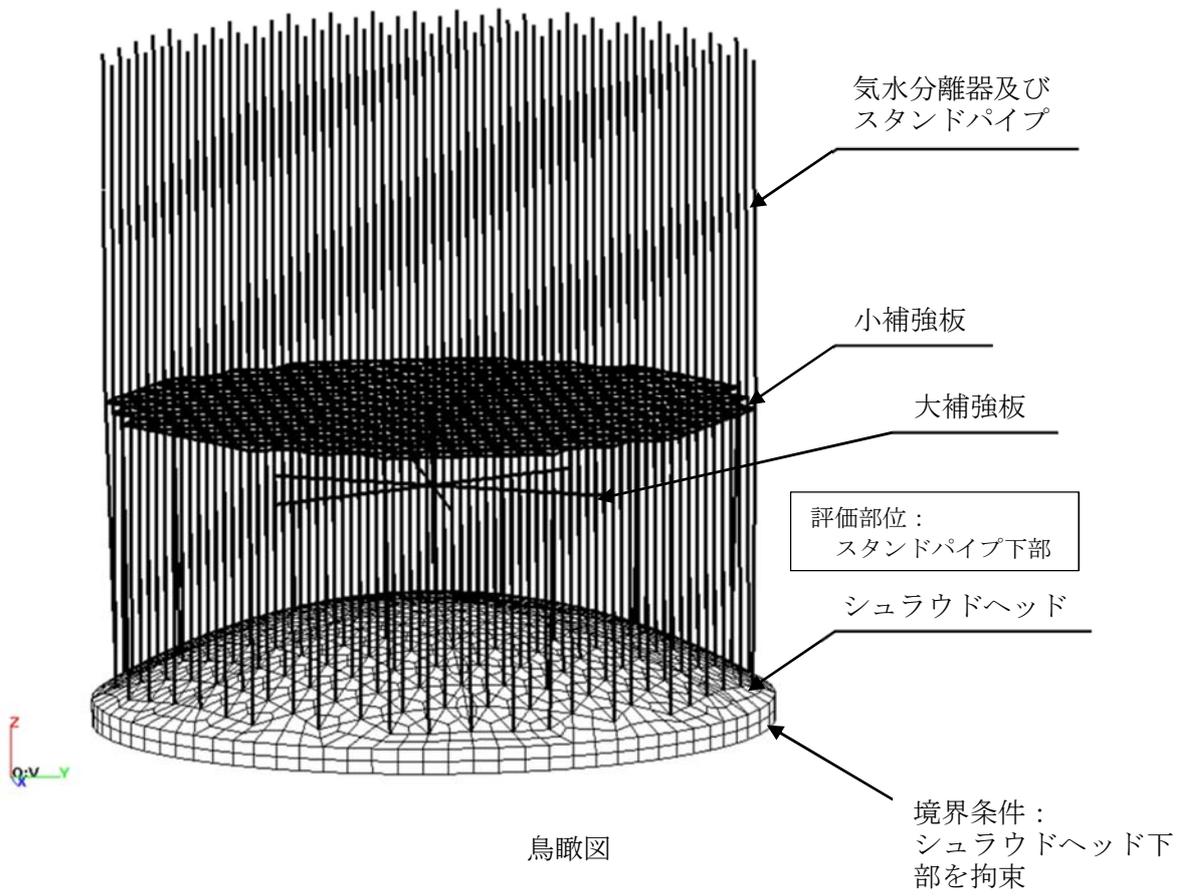
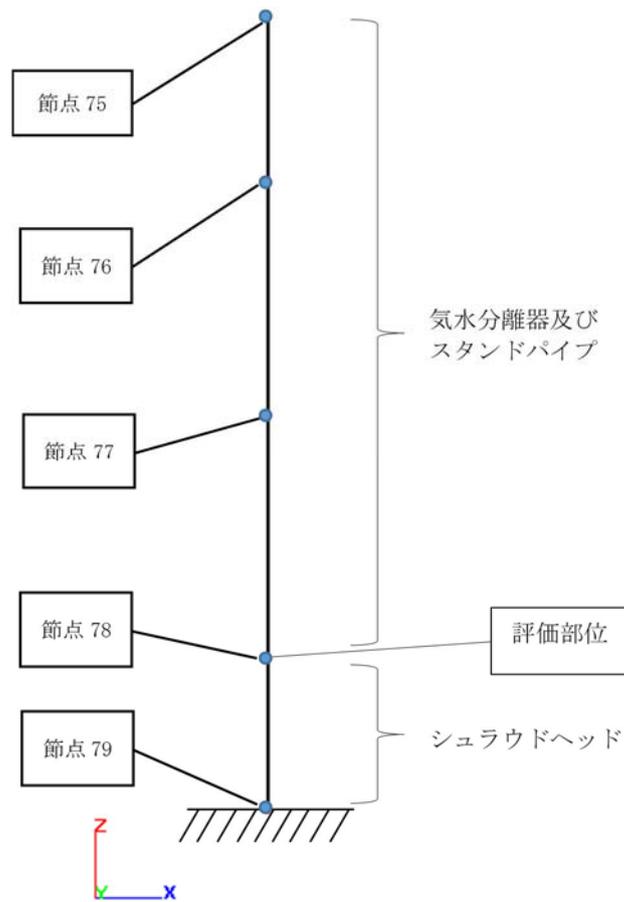


図5-1 シュラウドヘッド，気水分離器及びスタンドパイプ詳細モデル



解析モデル図

連成解析モデルのうち、気水分離器、スタンドパイプ及びシュラウドヘッド部分をモデル化

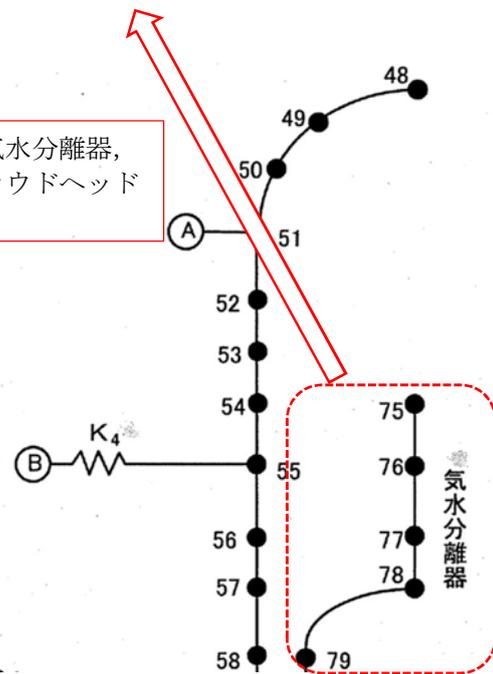


図5-2 シュラウドヘッド，気水分離器及びスタンドパイプ連成モデル

(単位：kN・m)

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

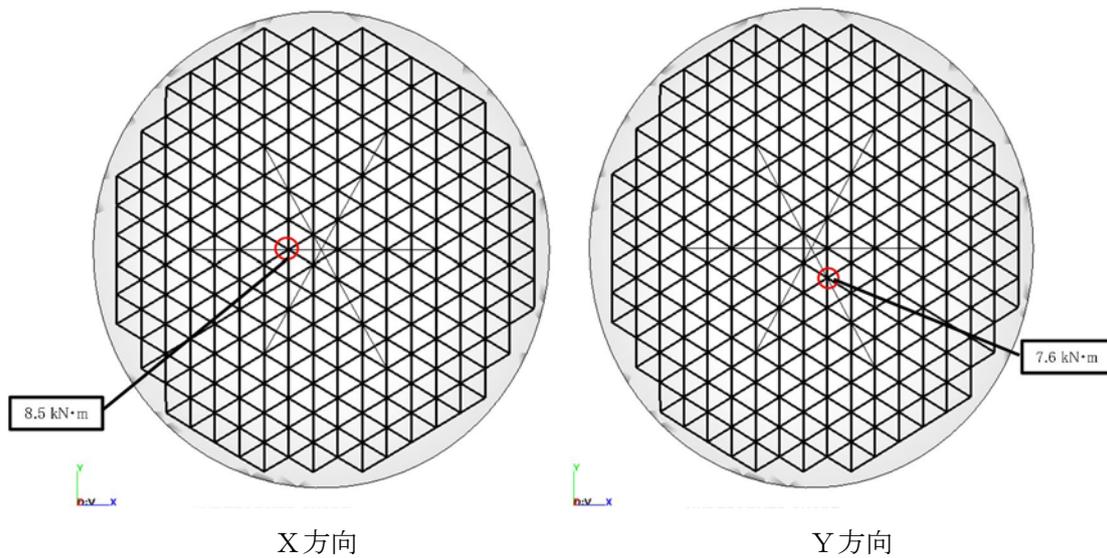


図5-3 連成モデルと詳細モデルの荷重比較

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

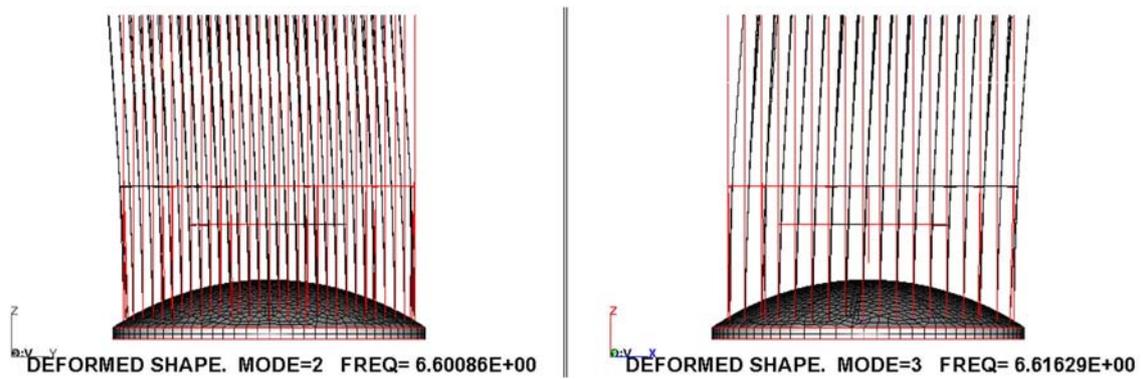


図5-4 詳細モデルの振動モード図

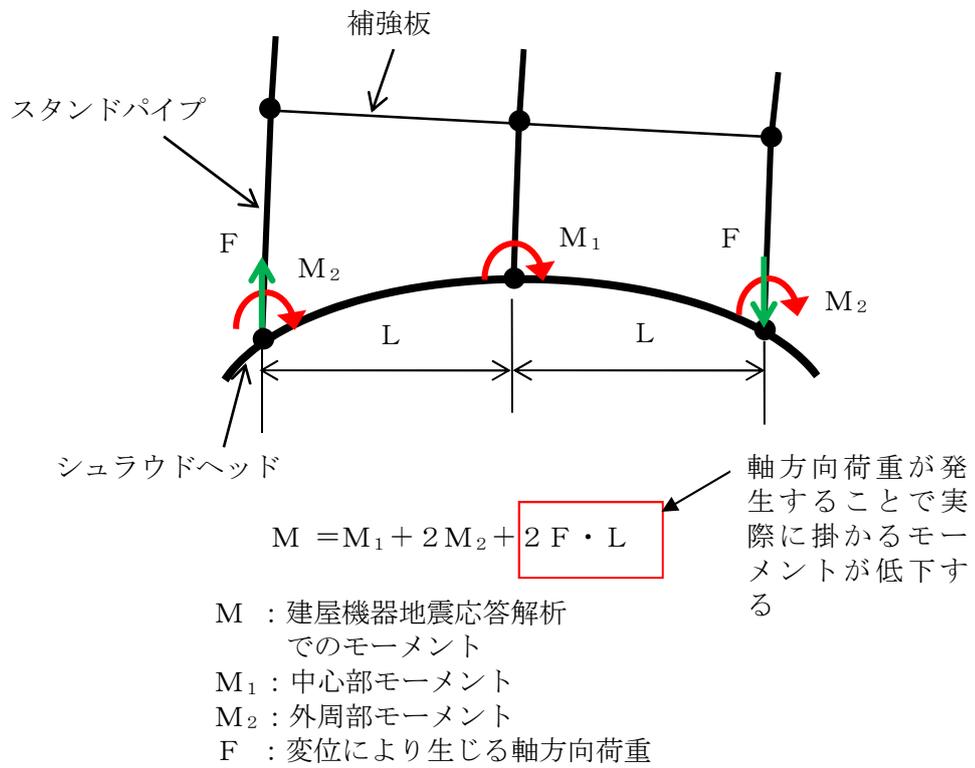


図 5 - 5 変位に伴い発生する荷重挙動の概略図

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

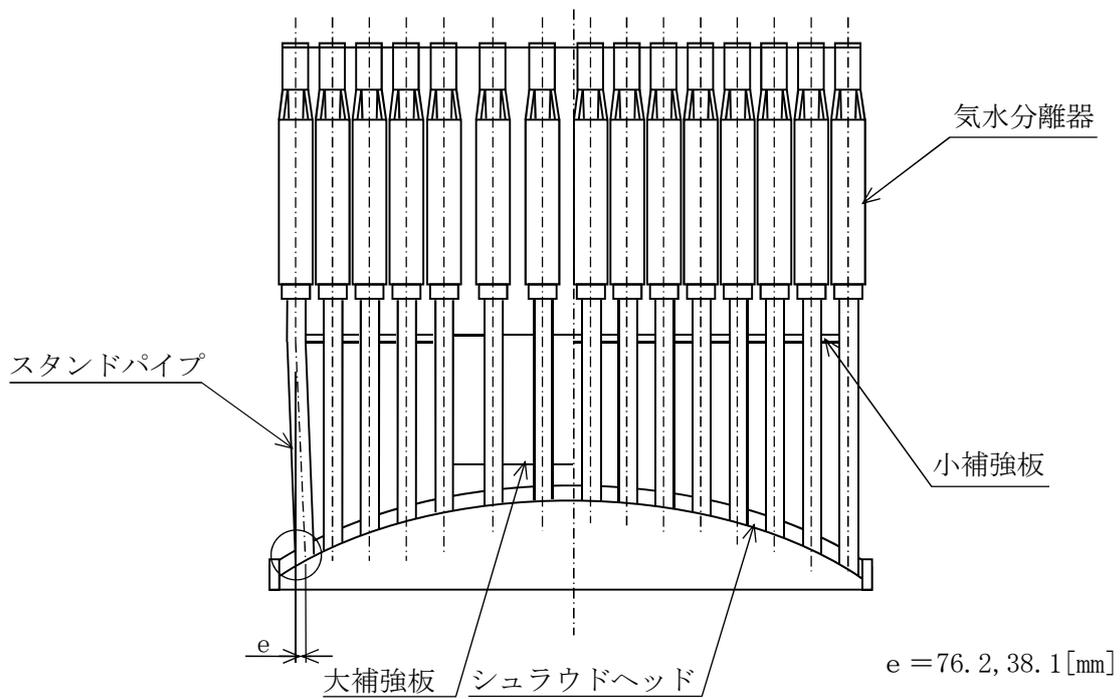
モーメント及び水平方向の地震荷重は偏心することによりスタンドパイプ付根部に対して新たに生じる荷重はない。

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： $V_{\text{自重}}/225 \times e = 1.91347 \times 10^5 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$

$V_{\text{自重}}$ ：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： $V_{\text{地震}}/225 \times e = 1.38628 \times 10^5 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$

$V_{\text{地震}}$ ：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

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模擬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。試験体に対しても極限解析を実施し、補足的に得られた許容荷重が試験結果にて得られた限界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所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 P_{cr} (=13.7 kN) よりも、保守的であることがわかった。

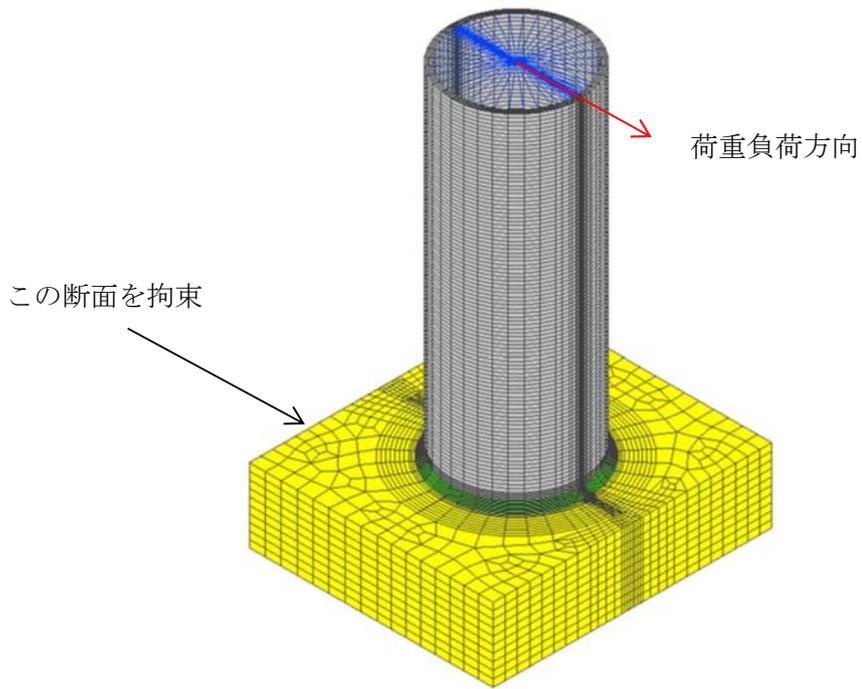


図 2 - 1 縮尺試験体の解析モデル図

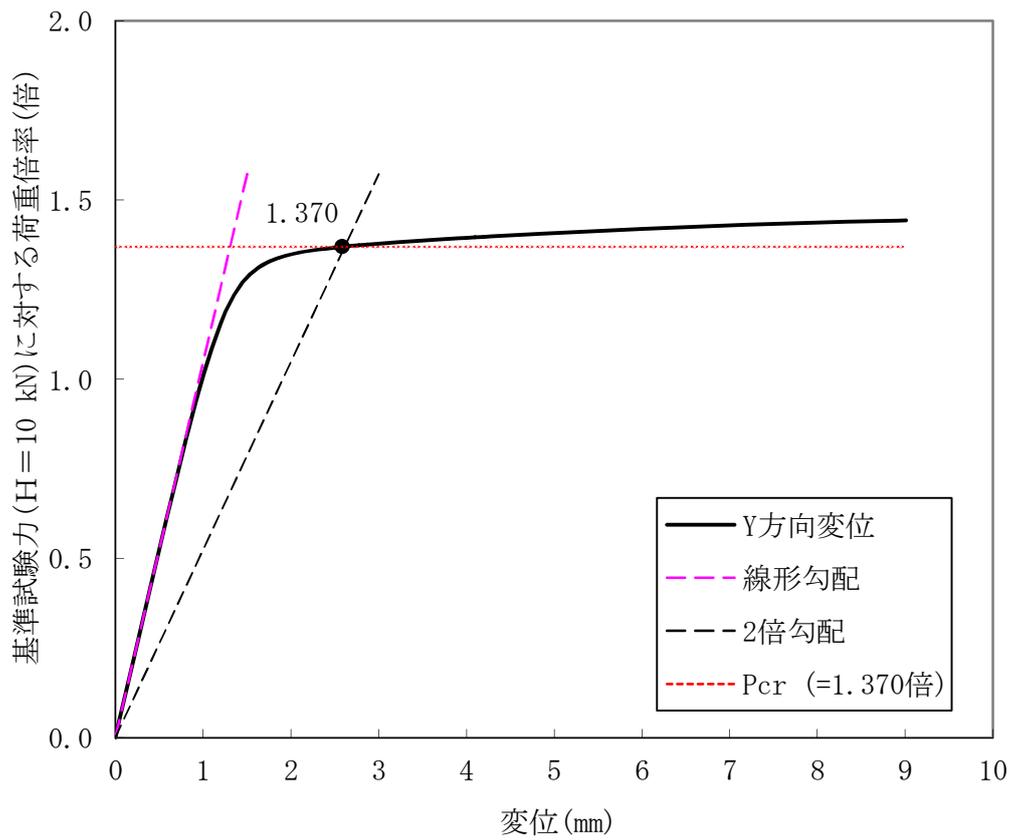


図 2 - 2 縮尺試験体の荷重-変位曲線

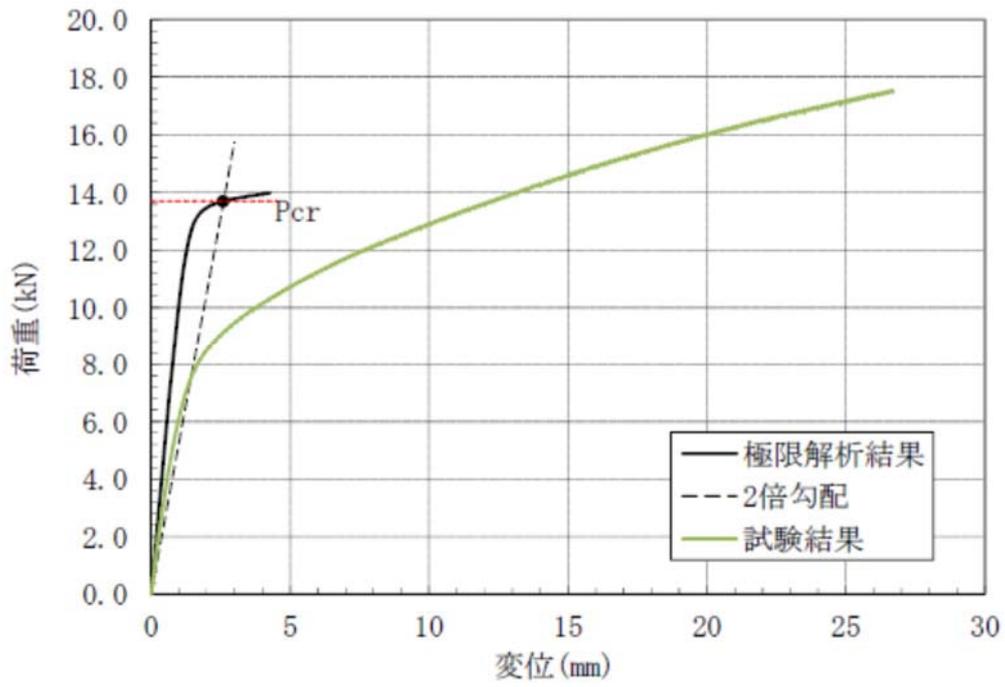


図 3 - 1 試験結果と試験体に対する極限解析結果との比較

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分類フロー及び構成について	2
5. 耐震計算書記載注意事項	3

参考図書

- V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-5 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(説明用)
- V-2-1-14-6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-9 計器スタクションの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- 添付資料-1 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「容器」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-2 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-3 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「計器ラック」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-4-1 機能維持評価で詳細検討を実施する場合(評価用加速度>機能確認済加速度)
- 添付資料-4-2 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)

下線：ご提出資料

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。

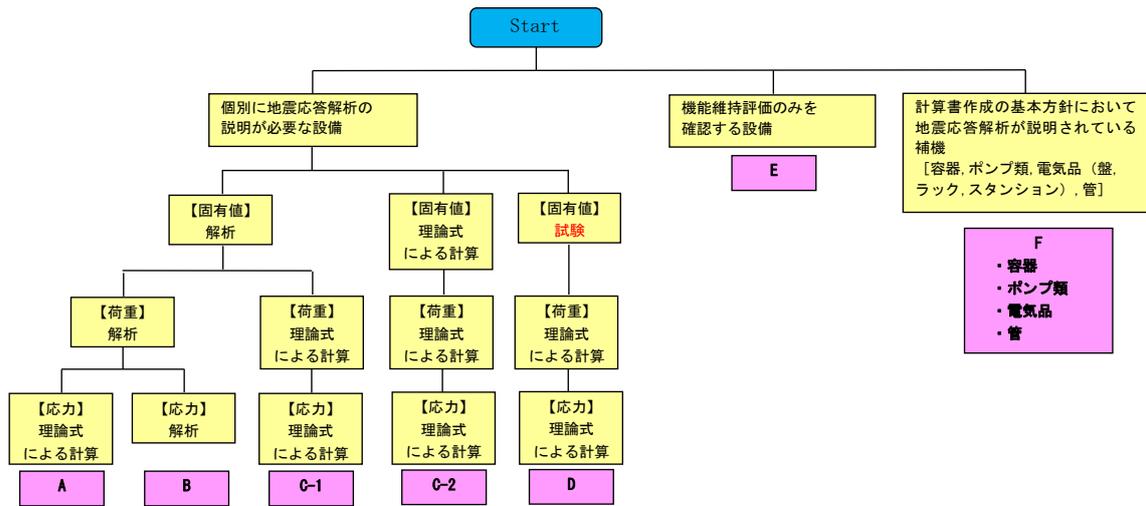
3. 基本方針

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分類フロー及び構成について

図 4-1 に機電設備耐震計算書分類フロー及び各分類の構成を示す。



A [添付資料-5 参照]	B	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]
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 設計用地震力*2 4.4 解析モデル及び諸元 4.5 固有周期 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 電氣的) 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. 地震応答解析・・・・・・・・・・・・⑥ 4.1 地震応答解析方法 4.2 設計用地震力*2 4.3 解析モデル及び諸元 4.4 計算方法 4.5 応答解析結果 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 電氣的) 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 固有周期解析方法 4.2 解析モデル及び諸元 4.3 固有周期解析結果 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 電氣的) 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 電氣的) 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 電氣的) 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
E [添付資料-8 参照]	F (容器) [添付資料-1 参照]	F (ポンプ類) [添付資料-2 参照]	F (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]
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 (動的 or 電氣的) 機能維持評価方法 4.2 加振試験・・・・・・・・・・・・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	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. 評価結果*5・・・・・・・・・・・・⑪ 4.1 設計基準対象施設としての評価結果 4.2 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. 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・・・・・・・・・・・・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. 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*4,・・・・⑩ 4.1 電氣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. 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

*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: 動的又は電氣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分類フロー及び各分類の構成

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、具体的な記載例は参考図書に示す。

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氣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氣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、基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は「基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と記載する。
 - 「解析モデル及び諸元」ではモデル図、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ぞれごとに記載する。（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。

- 基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は、「基礎（据付）ボルト部の「なお、基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。
- ・「設計用地震力」では、添付資料-9 の記載を参考とする。
- ・「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ぞれごとに記載する。（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）。
- ・許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5.2.6 「⑥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。
- ・許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5.2.7 「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
- 許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5.2.8 「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
- 計算書作成の基本方針を呼び込む設備の計算書（容器，ポンプ等，電気品）については計算書作成の基本方針のフォーマットが使用できることについて構造上等からの適用性根拠を記載する。

例)

～ポンプは横置ポンプであり～

～設備は設備の構造上、ポンプと同様の 1 質点系モデルによる耐震評価が行えるため～

- ・どの計算書作成の基本方針を使用するか説明する。
- ・その他の記載時の注意事項については 5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照。
- ・許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5.2.9 「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。
- ・「設計用地震力」では、添付資料-9 の記載を参考とする。

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 J E A G 4601 に記載の詳細評価を実施する。
- ・J E A G 4601 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。

例)

「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣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。」

説明用

V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性
についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 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 固有周期の計算方法	7
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 設計用地震力	12
5.3 計算方法	13
5.4 応力の評価	21
6. 耐震計算書のフォーマット	25

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているスカート支持たて置円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないスカート支持たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

スカート支持たて置円筒形容器の応力評価は、「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、「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。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

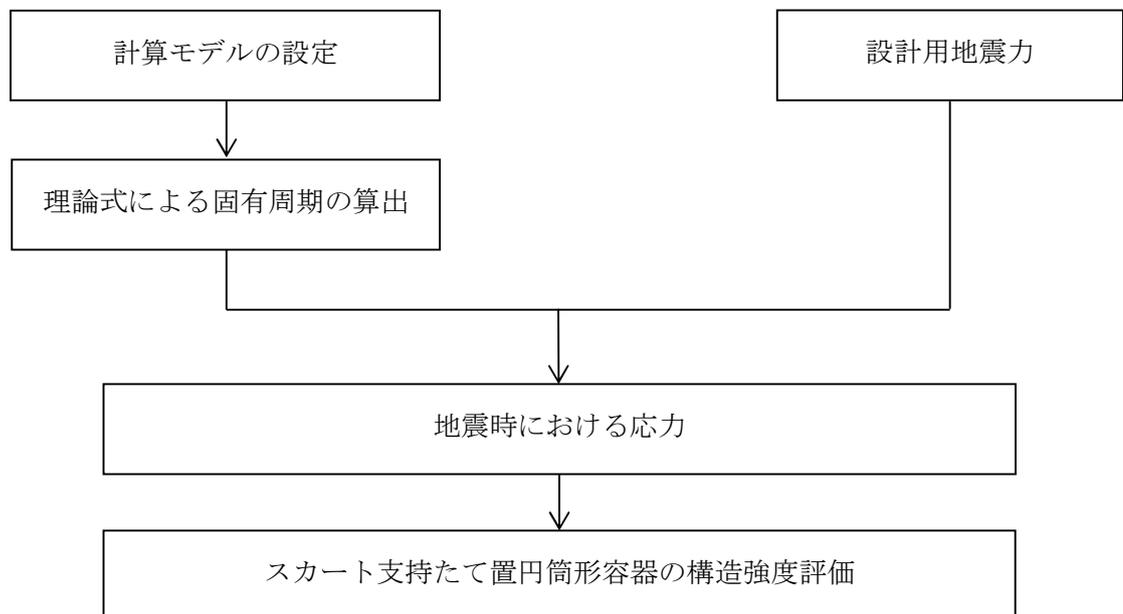


図2-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _s	スカートの軸断面積	mm ²
A _{s e}	スカートの有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
D _j	スカートに設けられた各開口部の穴径 (j = 1, 2, 3…j ₁)	mm
D _s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	スカートの縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	スカートの許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G _s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
I _s	スカートの断面二次モーメント	mm ⁴
j ₁	スカートに設けられた開口部の穴の個数	—
K _H	水平方向ばね定数	N/m

記号	記号の説明	単位
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
l_1, l_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-2に示す距離)	mm
l_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
l_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N・mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q'	Q により上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重 Q による容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重 Q' による容器の上端での変位量	mm
δ_o	荷重 Q, Q' による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—

記号	記号の説明	単位
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	水平方向地震によりスカートに生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 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2-1に示すとおりである。

表 2-1 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
比重	—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 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
	スカートの厚さ	mm	—	小数点以下第 1 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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価は「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胴、スカート及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

スカート支持たて置円筒形容器の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器はスカートで支持され、スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴とスカートをはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図4-1に示す下端固定の1質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の1質点系振動モデルとして考える。

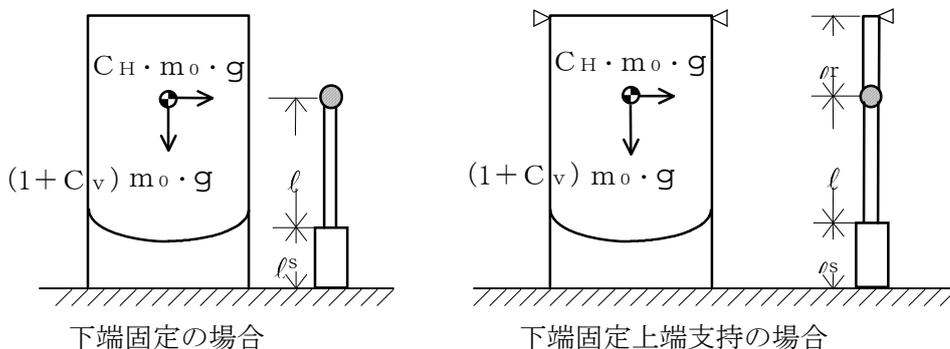


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

a. 下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot l^2 \cdot l_s + 3 \cdot l \cdot l_s^2 + l_s^3) + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

ここで、スカートの開口部（図4-2参照）による影響を考慮し、胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

洞の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.3)$$

スカート断面性能は次式で求める。

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \dots\dots\dots (4.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは次式で求める。

(図 4-2 及び図 4-3 参照)

$$Y = \sum_{j=1}^{j_1} (D_s + t_s) \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \cdot \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

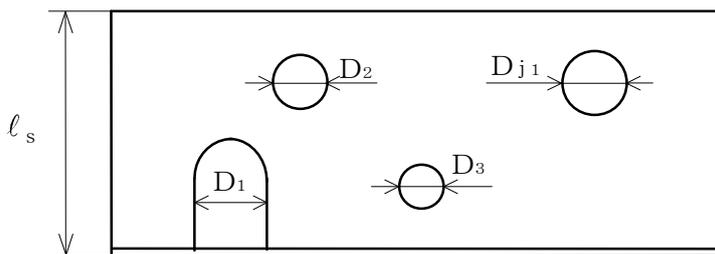


図4-2 スカート開口部の形状

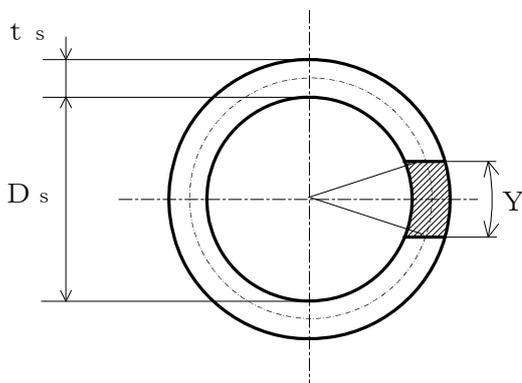


図4-3 スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b. 下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重Qが作用したときに上端の支持部に生じる反力Q'は、図4-4に示すように荷重Q及び反力Q'による上端の変位量δとδ'が等しいとして求める。

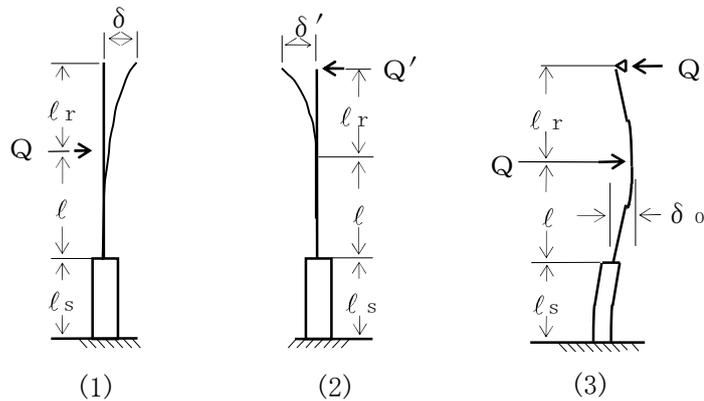


図4-4 下端固定上端支持の場合の変形モデル

図4-4の(1)の場合

$$\delta = \frac{Q \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{ 2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r) \} + \frac{Q \cdot l}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots \dots \dots (4.1.8)$$

図4-4の(2)の場合

$$\delta' = \frac{Q' \cdot (l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{ 3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3 \} + \frac{Q' \cdot (l + l_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots \dots \dots (4.1.9)$$

(4.1.8) 式と (4.1.9) 式を等しく置くことにより、

$$Q' = Q \cdot \left\{ \frac{l^2 \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r)}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \Bigg/ \left\{ \frac{(l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{l + l_r}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \dots \dots \dots (4.1.10)$$

したがって、図4-4の(3)に示す重心位置での変位量 δ_o は図4-4の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合わせから求めることができ、ばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{Q}{\delta_o} = 1000 \left/ \left\{ \frac{l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot l^2 \cdot l_s + 3 \cdot l \cdot l_s^2 + l_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right. \right. \\ \left. \left. + \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right) \cdot \left(\frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right) - \frac{Q'}{Q} \cdot \left(\frac{2 \cdot l^3 + 3 \cdot l^2 \cdot l_r}{6 \cdot E \cdot I} \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{3 \cdot l_s^2 \cdot l + l_s^3 + 3 \cdot l_s \cdot l^2 + 3 \cdot l_s \cdot l \cdot l_r + \frac{3}{2} \cdot l_s^2 \cdot l_r}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right) \right\} \right. \quad (4.1.11)$$

固有周期は (4.1.7) 式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は、次式で求める。

$$K_v = 1000 \left/ \left(\frac{l}{E \cdot A} + \frac{l_s}{E_s \cdot A_s} \right) \right. \quad \dots \quad (4.1.12)$$

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots \quad (4.1.13)$$

$$A_s = \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \quad \dots \quad (4.1.14)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{K_v}} \quad \dots \quad (4.1.15)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) スカート部材において、マンホール等の開口部があって補強をしていない場合は、欠損の影響を考慮する。
- (3) 設計用地震力は「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。

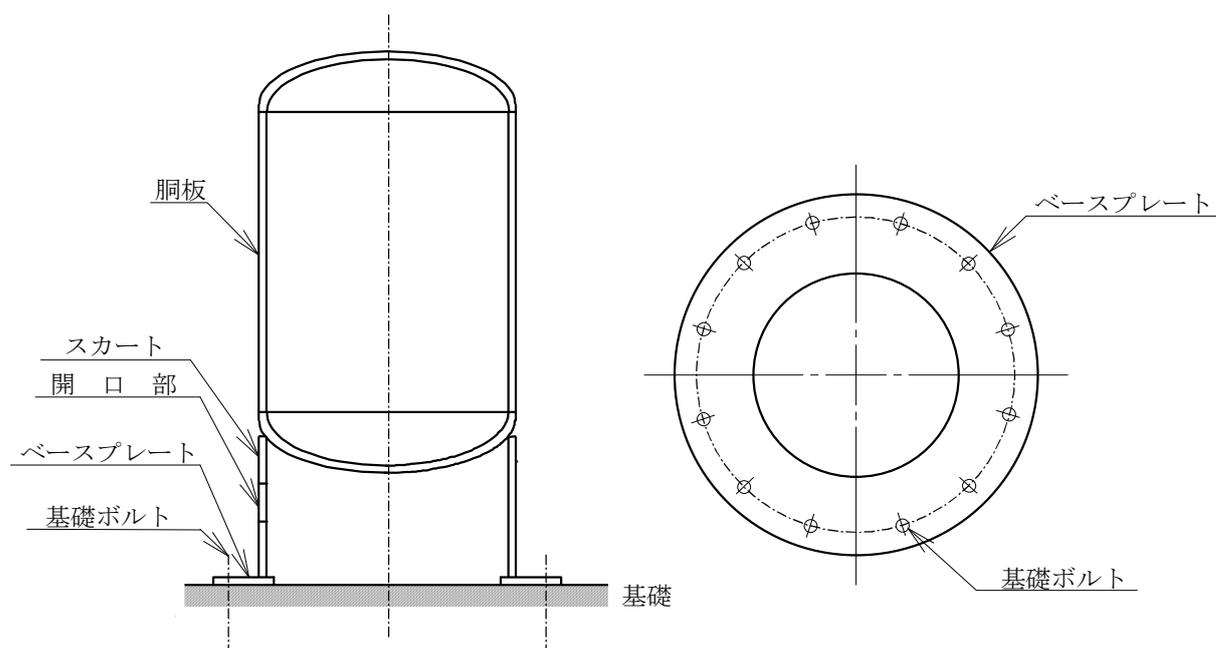


図5-1 概要図

5.2 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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はSRSS法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として、上部には胴自身の質量による圧縮応力が、下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$\sigma_{x 6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.11)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.13)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.14)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.15)$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (5.3.1.17)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.18)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.19)$$

σ_{xc} が正の値 (圧縮側) のとき, 次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

したがって、胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (5.3.1.1.26)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.27)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.28)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.29)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.30)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.31)$$

したがって、胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{2c}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.32)$$

とする。

5.3.1.2 スカートの計算方法

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートに作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (l_s + l) \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

b. 下端固定上端支持の場合

軸方向応力は(5.3.1.2.3)式で表されるが、曲げモーメント M_s は次の M_{s1} 又は M_{s2} のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| l - \frac{Q'}{Q} \cdot (l + l_r) \right| \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

$$M_{s2} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| l_s + l - \frac{Q'}{Q} \cdot (l_s + l + l_r) \right| \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \cdots \cdots (5.3.1.2.9)$$

【SRSS法】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \cdots \cdots (5.3.1.2.10)$$

5.3.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメント M_s は下端固定の場合、(5.3.1.2.5)式を、下端固定上端支持の場合は(5.3.1.2.6)式又は(5.3.1.2.7)式のいずれか大きい方を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図5-2参照)

以下にその手順を示す。

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k) \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$$

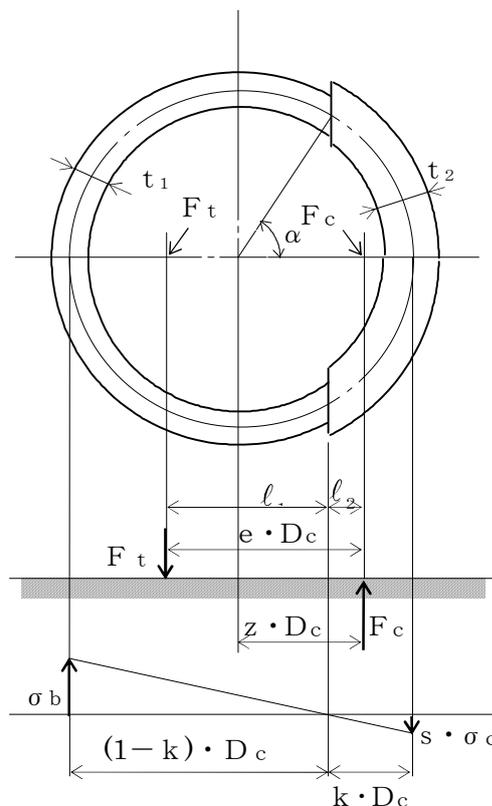


図5-2 基礎の荷重説明図

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

【SRSS法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + (1 - \frac{z}{e}) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、(5.3.1.3.3)式及び(5.3.1.3.4)式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を(5.3.1.3.7)式又は(5.3.1.3.9)式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.3.1.3.14)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

a. 下端固定の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.15)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.16)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1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 は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	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
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。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あっては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5.4.2 スカートの応力評価

- (1) 5.3.1.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 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	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
 （座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.4.2.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - e^{x \cdot p \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right)} \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.2.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.2.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.12)$$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.4.3.1)$$

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. 耐震計算書のフォーマット

スカート支持たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処施設単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○容器的耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
		建屋 *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =			

注記 *: 基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

静水頭の場合の記載例は別紙参照

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D ₁ (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s (mm)	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)

D_j (j=1,2,3,...)は開口ごとに表示する。

D _{b i} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	F (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)

ボルト径を記載する。

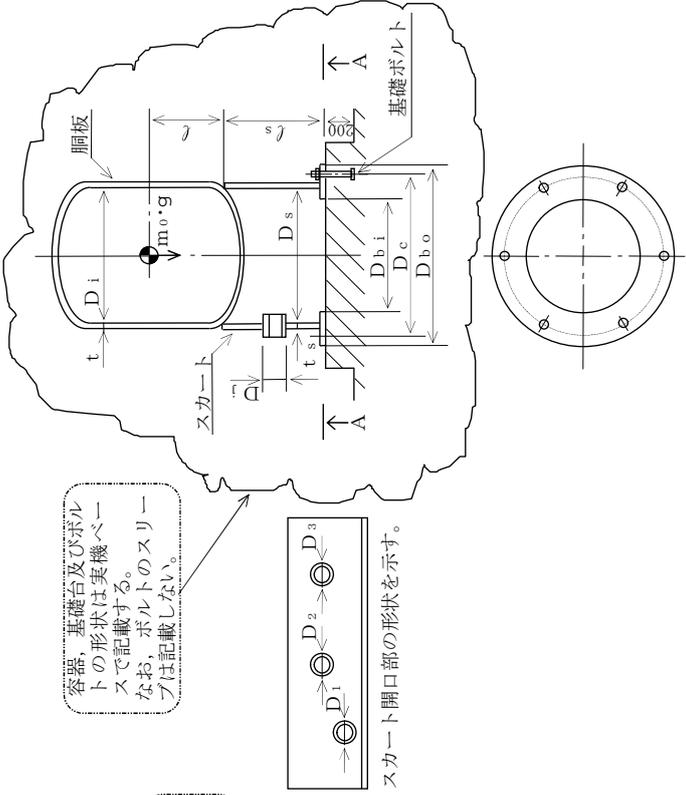
S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
	*1	*1	*2	*2		

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合には該当する強度区分を記載する。(胴、スカートについても同様とする。)

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。



容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。なお、ボルトのスリープは記載しない。

スカート開口部の形状を示す。

A~A 矢視図

1.3. 計算数値
1.3.1 胴に生じる応力
(1) 一次一般膜応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
潜水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x 3} =$	—	—	$\sigma_{x 3} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	—
圧縮側	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	—
引張側	—	$\sigma_{o t} =$	—	—	$\sigma_{o t} =$	—
組合せ応力	—	—	—	—	—	—

算出応力値記載上の留意事項
 ・評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)については“—”(バー)表示とする。この場合、記号及び“=”(イコール)を削除し“—”(バー)のみとする。
 ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも“—”(バー)ではなくマイナースとして応力値を記載する。
 ・算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”と表示する。

(単位: MPa)

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—
圧縮側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—
引張側	—	$\sigma_{2t} =$	—	—	$\sigma_{2t} =$	—
組合せ応力(変動値)	—	$\sigma_{2c} =$	—	—	$\sigma_{2c} =$	—

(単位: MPa)

1.3.2 スカートに生じる応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s 3} =$		$\sigma_{s 3} =$	
水平方向地震による応力	$\sigma_{s 2} =$		$\sigma_{s 2} =$	
せん断	$\tau_s =$		$\tau_s =$	

(単位: MPa)

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
引張応力	$\sigma_b =$	$\tau_b =$	—	—
せん断応力	$\tau_b =$		—	—

(単位: MPa)

1.4. 結論

1.4.1 固有周期 (単位:s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

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 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次十二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
		組合せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
スカート		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	(無次元)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	(無次元)
		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
基礎ボルト		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

別紙

**【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)**

【○○○容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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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. 建屋 *			$C_{H1} =$	$C_{V1} =$	$C_{H2} =$	$C_{V2} =$	静水頭			

注記 *：基準床レベルを示す。
設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
l (mm)	l_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	H (mm)	s	r_n	D_c (mm)	D_{b_o} (mm)

D_{b_i} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			M_s (N·mm)	M_s (N·mm)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)

ボルト径を記載する。

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

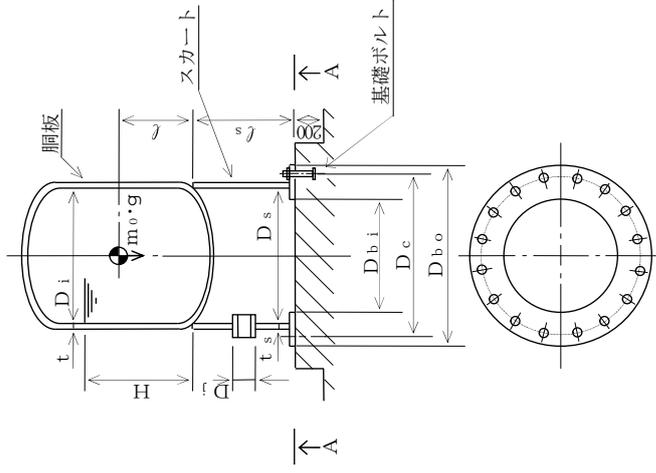
S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

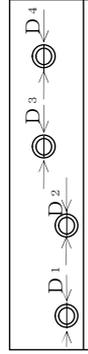
厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。
(胴、スカートについても同様とする。)

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。

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。



A~A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○容器的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

【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。

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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
		EL. *									

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

静水頭の場合の記載例は別紙参照

2.2 機器要目

m ₀ (kg)		D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
				*1	*2	*1	*2

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s (mm)	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)

D_j (j=1, 2, 3, ...)は開口ごとに表示する。

D _{b i} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)		M _s (N・mm)	

ボルト径を記載する。

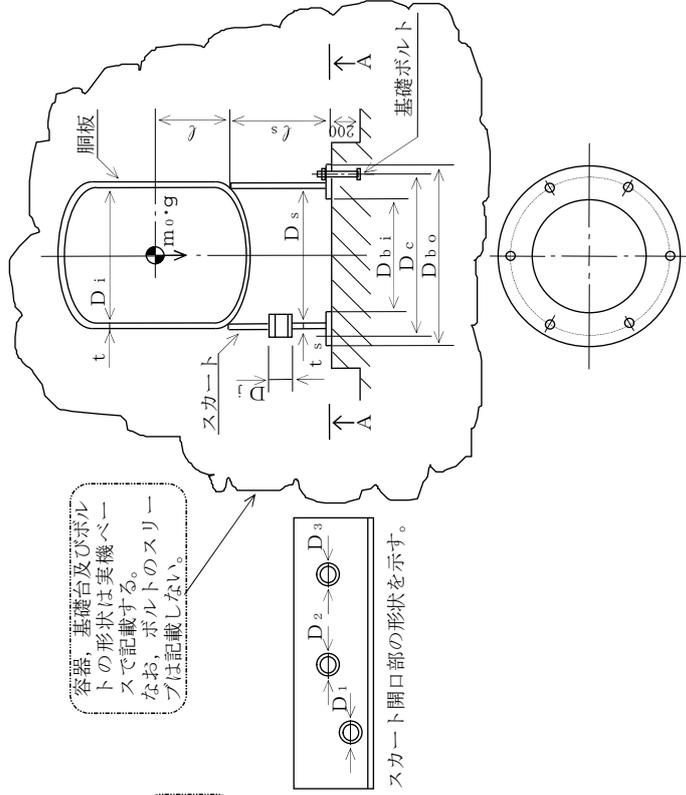
S _y (脚板) (MPa)	S _u (脚板) (MPa)	S (脚板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2			

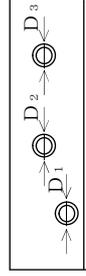
注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。(脚、スカートについても同様とする。)

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。



容器、基礎石及びボルトの形状は実機ペーパーで記載する。なお、ボルトのスリープは記載しない。



スカート開口部の形状を示す。

A～A矢視図

2.3. 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	周方向応力	せん断応力	周方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	$\sigma_{x1} =$	—
運転時質量による引張応力	—	—	$\sigma_{x2} =$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	$\sigma_{x5} =$	—
空質量による圧縮応力	—	—	$\sigma_{x3} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	$\sigma_{x6} =$	—
水平方向地震による応力	—	—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$
応力の和	—	—	$\sigma_{xt} =$	—
圧縮側	—	—	$\sigma_{xc} =$	—
引張側	—	—	$\sigma_{xt} =$	—
組合せ応力	—	—	$\sigma_{0t} =$	—
圧縮	—	—	—	—

(単位：MPa)

静水頭の場合のみ記載する。
内圧の場合は「—」とする。

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)については“—”(バー)表示とする。この場合、記号及び“=”(イコール)を削除し“—”(バー)のみとする。
- ・ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも“—”(バー)ではなくマイナスとして応力値を記載する。
- ・算出応力値が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”と表示する。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	周方向応力	せん断応力	周方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	$\sigma_{x5} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	$\sigma_{x6} =$	—
水平方向地震による応力	—	—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$
引張側	—	—	$\sigma_{2xt} =$	—
圧縮側	—	—	$\sigma_{2xc} =$	—
組合せ応力	—	—	$\sigma_{2t} =$	—
(変動値)	—	—	$\sigma_{2c} =$	—

(単位：MPa)

2.3.2 スカートに生じる応力

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{ss} =$
鉛直方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s3} =$	
水平方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s2} =$	
せん断	—	—	$\tau_{ss} =$	

(単位：MPa)

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
引張応力	—	—	$\sigma_{b} =$	—
せん断応力	—	—	$\tau_{b} =$	—

(単位：MPa)

2.4. 結論

2.4.1 固有周期 (単位:s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

2.4.2 応力 (単位:MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 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
胴板		一次一般膜	-	-	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次二次	-	-	$\sigma_2 =$	$S_a =$
		組合せ	-	-	$\sigma_s =$	$f_t =$
スカート		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c}$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c}$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$
		(座屈の評価)	-	-	(無次元)	
基礎ボルト		引張り	-	-	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	-	-	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

別紙

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるペーページのみ掲載)

【○○○容器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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向				
		建屋 * EL.							静水頭			

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

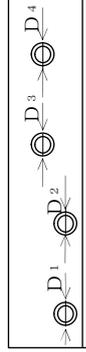
2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	H (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)

33

ボルト径を記載する。

D _{b i} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
	(M)					



スカート開口部の形状を示す。

S _y (筒板) (MPa)	S _u (筒板) (MPa)	S (筒板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2	-	-

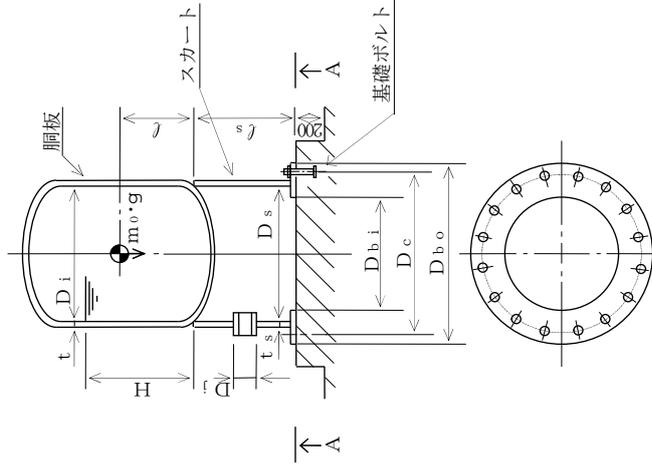
S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	-	-

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。
(筒、スカートについても同様とする。)

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。



A～A矢視図

説明用

V-2-1-14-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての
計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	10
4.1 固有周期の計算方法	10
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 設計用地震力	13
5.3 計算方法	13
5.4 応力の評価	26
6. 耐震計算書のフォーマット	28
7. 引用文献	28

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横置一胴円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS_s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない横置一胴円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横置一胴円筒形容器の応力評価は、「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、「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。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

横置一胴円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

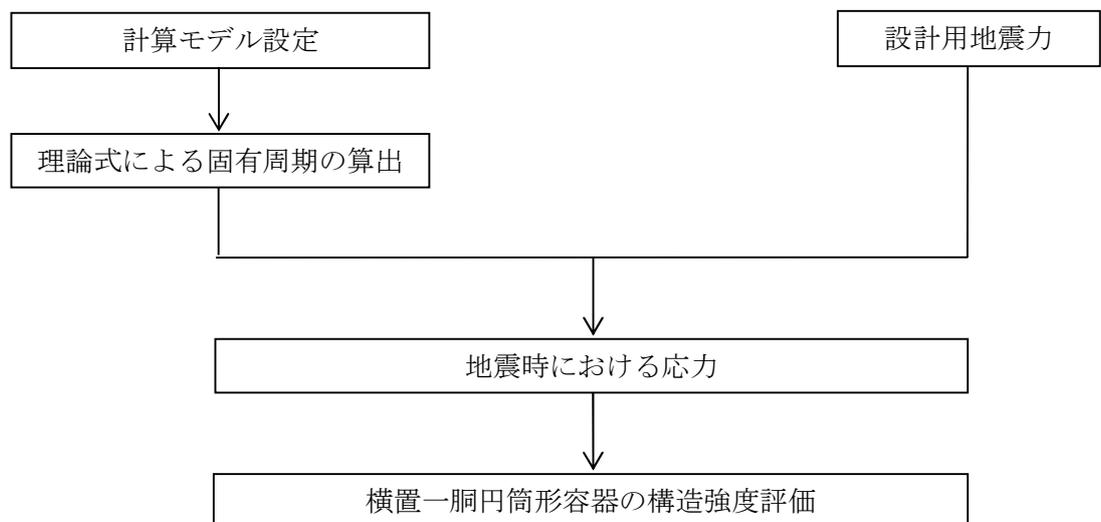


図2-1 横置一胴円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
$C_{c j}$	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_H	水平方向設計震度	—
$C_{l j}$	軸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_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
d_3	第1脚底板端面から基礎ボルト（内側）中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4

記号	記号の説明	単位
$I_{s y}$	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数（第1脚上の荷重は含まない。）	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数（第2脚上の荷重は含まない。）	—
$K_{1 j}, K_{2 j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K^l	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_v	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
$K_{c j}, K^l_{j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
l_0	脚中心間距離	mm
l_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。） ($i=1, 2, 3 \dots j_1$)	mm
l_w	当板における脚の取り付けられない部分の長手方向長さ	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_{c 1}$	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M^l	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M^{l_1}	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm/mm}$
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm/mm}$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i=1, 2, 3 \dots j_1$)	kg
$m_{s 1}$	第1脚の質量	kg
$m_{s 2}$	第2脚の質量	kg
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	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N

記号	記号の説明	単位
P_e	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_l	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
r_m	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	第1脚付け根部における胴の外半径	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_o	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	—
ρ_l	液体の密度 (=比重×10 ⁻⁶)	kg/mm ³
σ_o	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{oc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_{0l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{1l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2l}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2lx}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi41}, \sigma_{\phi42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi411}, \sigma_{\phi421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi412}, \sigma_{\phi422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi51}, \sigma_{\phi52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_l	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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
比重	—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2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	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}
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

横置一胴円筒形容器の耐震評価は「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胴、脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- b. 容器の胴は2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴は剛とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚1個につき1列の場合は下端を単純支持とする。
その他の場合は固定とする。
- e. 第2脚は長手方向にスライドできるものとし、その方向の力はすべて第1脚で受けるものとする。
- f. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- g. 本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図4-1～図4-4に示す。

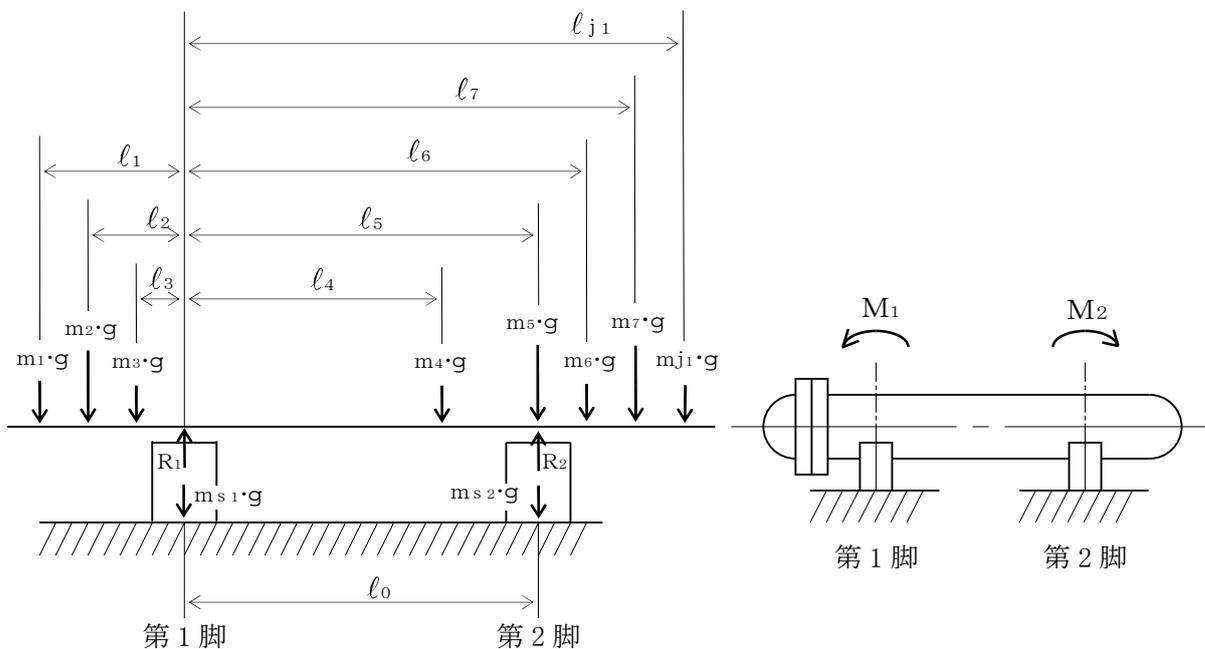


図4-1 荷重状態

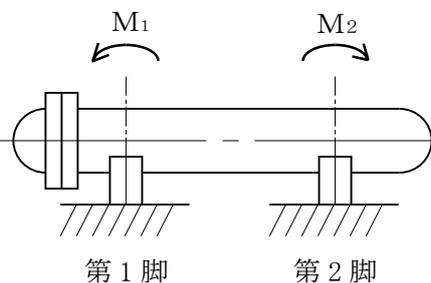


図4-2 脚の位置での曲げモーメント

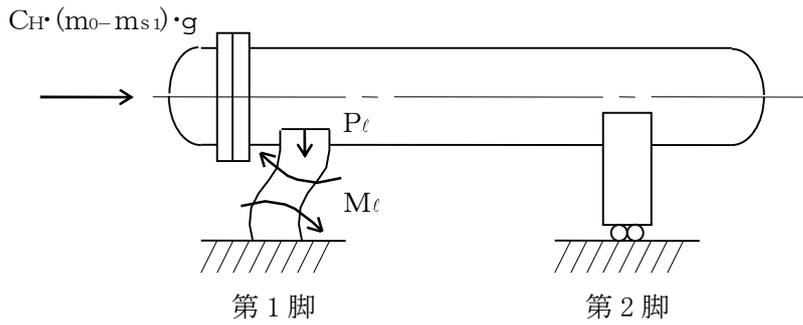


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

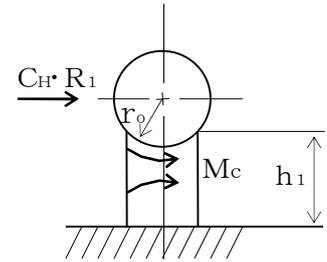


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

h. 本容器は、前記の条件より図4-5、図4-6及び図4-7のような1質点系振動モデルとして考える。

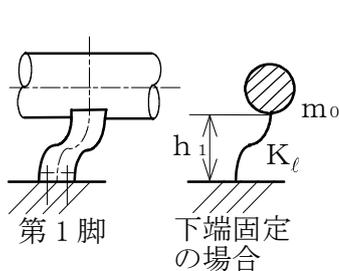


図4-5 長手方向の固有周期計算モデル

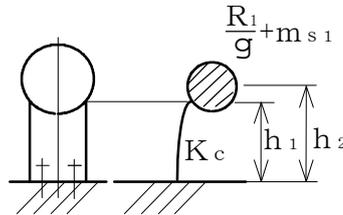


図4-6 横方向の固有周期計算モデル

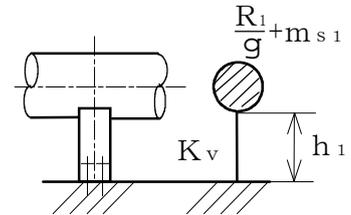


図4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図4-1において第1脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i - R_2 \cdot l_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i / l_0 \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

(3) 長手方向の固有周期

図4-5におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\ell} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s_y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_\ell}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-6におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_1 + m_{s1}}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-7におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{A_s \cdot E_s} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_1 + m_{s1}}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a. ~f. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器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。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。
- (2) 第1脚と第2脚は同形状であり、受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。
- (3) 設計用地震力は「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。

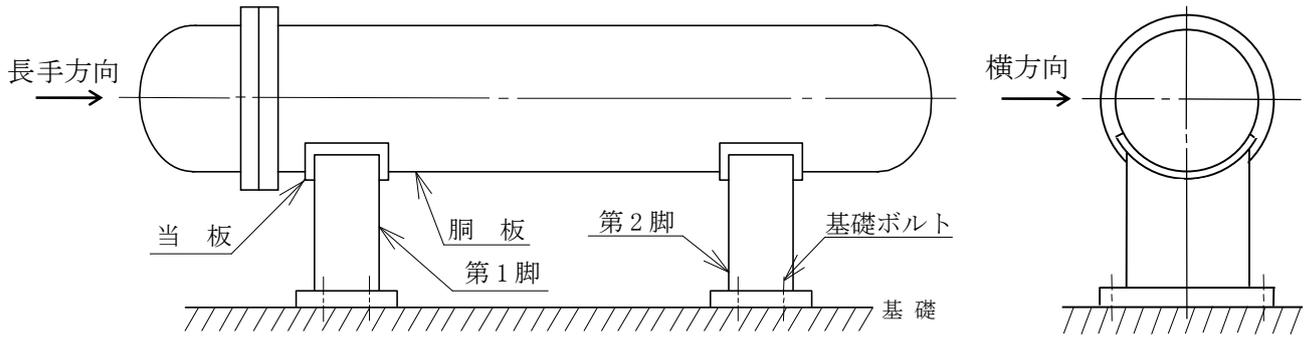


図5-1 概要図

5.2 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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はSRSS法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 曲げモーメント

図4-1に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図4-2において脚付け根部における曲げモーメント M_1 及び M_2 は次式で求める。

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j_2} m_i \cdot g \cdot |l_i| \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$M_2 = \sum_{i=j_1-1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot |l_i - l_0| \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

(2) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

(3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)で求めた曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

いま、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図5-2に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。

したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \quad \dots\dots (5.3.1.1.12)$$

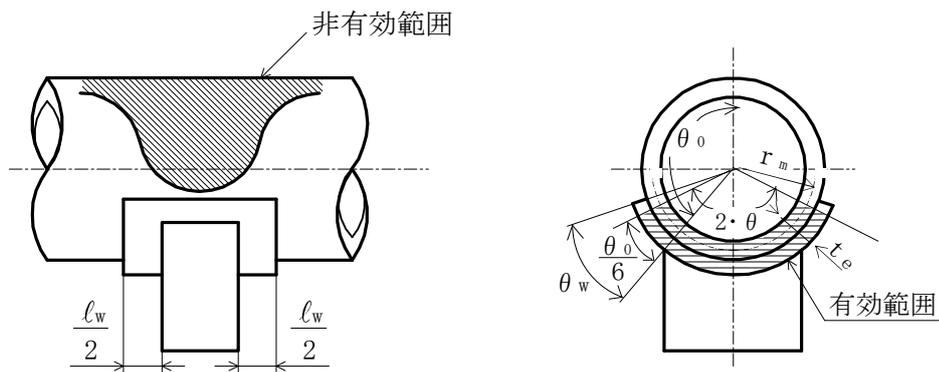


図 5-2 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0^{*1}}{6} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2} \right) \cdot t}^{*2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

(4) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

この反力 P 及び P_e 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)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図5-3に示す。

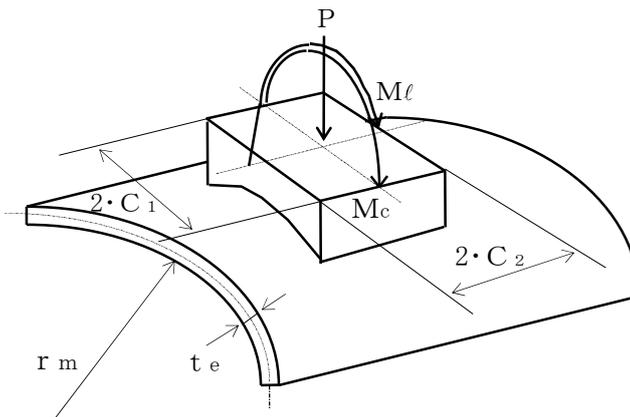


図5-3 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1 \text{ のとき}$$

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β 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応力は次式で求める。

反力 P による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

反力 P_e による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 71} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 71} = \left(\frac{N_x}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 72} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 72} = \left(\frac{M_x}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.27)$$

(5) 長手方向地震による脚付け根部の応力

第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4-3のように変形し、脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_{\ell} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.3.1.1.28)$$

$$P_{\ell} = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \dots\dots\dots (5.3.1.1.29)$$

曲げモーメント M_{ℓ} と鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β 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 (5.3.1.1.31) 式～ (5.3.1.1.38) 式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ 及び P_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は(4)と同じであるが、 M_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。

ただし、二次応力を求める場合は更に $K_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.30)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント M_ℓ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 411} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots \quad (5.3.1.1.31)$$

$$\sigma_{x 411} = \left\{ \frac{N_x}{M_\ell / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.32)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_\ell / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_\ell}{r m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.33)$$

$$\sigma_{x 421} = \left\{ \frac{M_x}{M_\ell / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_\ell}{r m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.34)$$

鉛直荷重 P_ℓ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 412} = \left(\frac{N_\phi}{P_\ell / r m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 412} = \left(\frac{N_x}{P_\ell / r m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 422} = \left(\frac{M_\phi}{P_\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 422} = \left(\frac{M_x}{P_\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.38)$$

また、水平方向荷重により胴には、次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 413} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.39)$$

したがって、曲げモーメント M_ℓ 、鉛直荷重 P_ℓ 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \quad \dots \quad (5.3.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \quad \dots \quad (5.3.1.1.41)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \quad \dots \quad (5.3.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \quad \dots \quad (5.3.1.1.43)$$

また、長手方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_\ell = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.44)$$

(6) 横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

横方向地震が作用した場合、第1脚の付け根部に生じる曲げモーメント M_c は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.45)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.46)$$

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β 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（5.3.1.1.48）式～（5.3.1.1.51）式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は(4)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。ただし、二次応力を求める場合は更に K_{c_j} を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.47)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.48)$$

$$\sigma_{x 51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.49)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_c / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.51)$$

また、横方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.52)$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{o\ell} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{o\ell\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{o\ell x}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.53)$$

ここで,

$$\sigma_{o\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.54)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{o\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 413} \dots\dots\dots (5.3.1.1.55)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{o\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 6}^2 + \sigma_{x 413}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.56)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{oc} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{oc\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{ocx}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.57)$$

ここで,

$$\sigma_{oc\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.58)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{ocx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.59)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{ocx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.60)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、S R S S法、それぞれに対して、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{o\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{oc}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.61)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.62)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.63)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 41} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.64)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots (5.3.1.1.65)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 41}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.66)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.67)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.68)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 51} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.69)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots (5.3.1.1.70)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 51}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.71)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、絶対値和、SRSS法、それぞれに対して、

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.72)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.73)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.74)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.75)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.76)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x 41} + \sigma_{x 42})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.77)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.78)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.79)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x 51} + \sigma_{x 52} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.80)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.81)$$

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x 51} + \sigma_{x 52})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.82)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法、それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.83)$$

とする。

5.3.1.2 脚の計算方法

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\ell}}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

ここで、

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.10)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.11)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、絶対値和、SRSS法、それぞれに対して、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

とする。

5.3.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.1)$$

鉛直荷重は

【絶対値和】

$$P_s = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) - P_{\ell} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$$

【SRSS法】

$$P_s = R_1 + m_{s1} \cdot g - \sqrt{\{C_v \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)\}^2 + P_{\ell}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

とする。

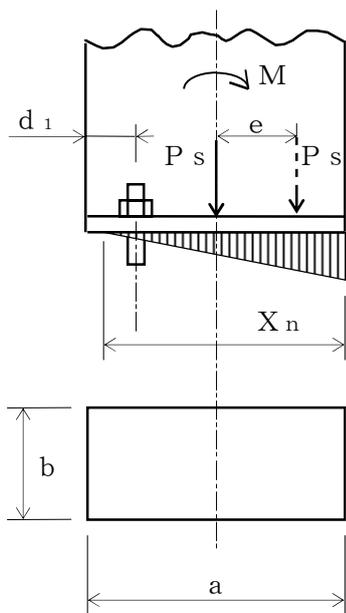


図5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

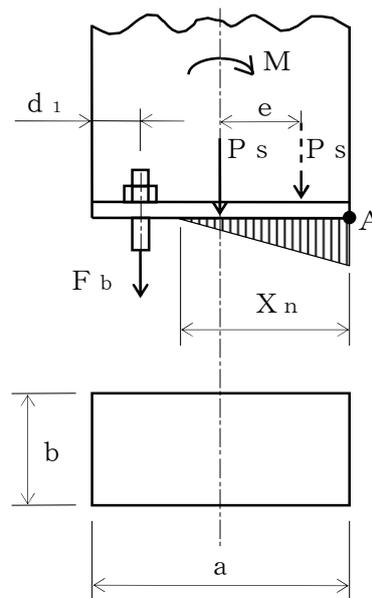


図5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図5-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-5のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-5において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、

R_1 を R_2 に置き換える。

a. 引張応力

(a) 長手方向から見て図5-6のように応力を2列の基礎ボルトで受ける場合

鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

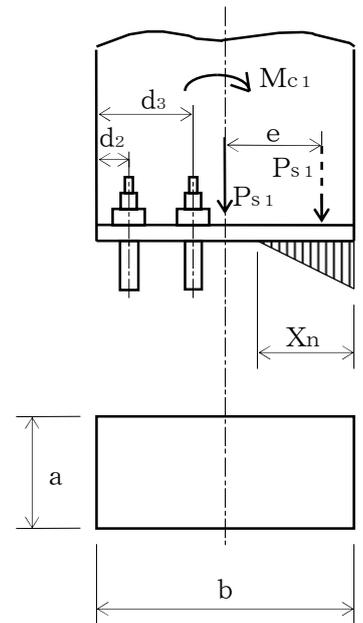


図 5-6 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その3)

で求める。

(1)と同様にして中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot \left\{ \left(e + \frac{b}{2} - d_2\right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(e + \frac{b}{2} - d_3\right) \cdot (b - X_n - d_3) \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

ただし

$$e = M_{c1} / P_{s1} \dots \dots \dots (5.3.1.3.13)$$

より求めると、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_{s1} \cdot (e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3}) \cdot (b - X_n - d_2)}{(b - d_2 - \frac{X_n}{3}) \cdot (b - X_n - d_2) + (b - d_3 - \frac{X_n}{3}) \cdot (b - X_n - d_3)} \dots \dots \dots (5.3.1.3.14)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.3.1.3.15)$$

(b) 長手方向から見て応力を1列の基礎ボルトで受ける場合

(1)と同様にして引張応力は求められるが、MをM_{c1}、P_sをP_{s1}、d₁をd₂、aをb、bをa及びn₁をn₂に置き換え、得られた基礎ボルトの応力をσ_{b2}とする。

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.3.1.3.16)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものをσ_b及びτ_bとする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \dots \dots \dots (5.3.1.3.17)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \dots \dots \dots (5.3.1.3.18)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1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 は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	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
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。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あつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

5.4.2 脚の応力評価

5.3.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 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	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ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. 耐震計算書のフォーマット

横置一胴円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (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.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
		EL. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =			

静水頭の場合の記載例は別紙参照

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

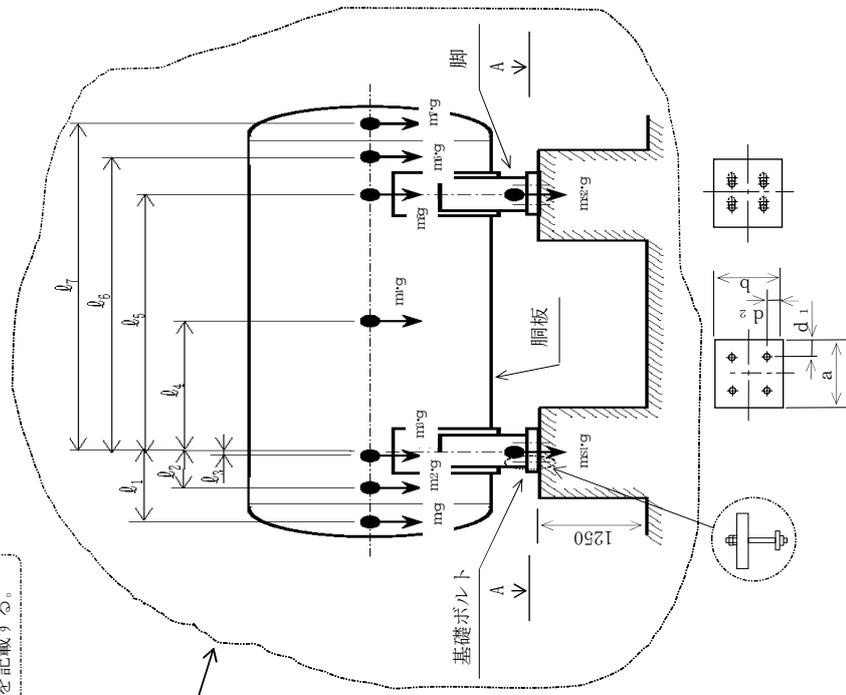
ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)

m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D ₁ (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	ℓ _w (mm)
				*1				

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。なお、ボルトのスリーブは記載しない。

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“θ_w”及び“ℓ_w”を記載する。なお、無効とした場合は“θ_w”及び“ℓ_w”を記載しない。



A～A矢視図

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)

K_{11}^{*1}	K_{12}^{*4}	K_{21}^{*4}	K_{22}^{*4}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	(M)

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	*2	*3	*3			*3	*3		

注記の記載箇所は表の右側近傍を原則とするが、紙面の都合にて記載できない場合は、表の右下の近傍とする。

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。脚、脚及び S_u についても該当する場合は記載する。

注記 *1: 本計算においては当板を有効とした。
*2: 最高使用温度で算出
*3: 周囲環境温度で算出
*4: 表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“ θ_w ”及び“ ℓ_w ”を記載する。なお、無効とした場合

胴板と当板の材料が異なる場合
当板の S_y , S_u 及び S 値を記載する。

S_y (MPa)	S_u (MPa)	S (MPa)	F (MPa)
*1	*1	*1	*1
*2	*2	*2	*2
*3	*3	*3	*3

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出
*3: 当板の材料を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	長手方向	軸方向	周方向	軸方向
	周方向応力	周方向応力	周方向応力	周方向応力	周方向応力	周方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$
運転時質量による長手方向曲げ	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$
モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ	-	$\sigma_{x 413} =$	-	$\sigma_{x 413} =$	-	-
モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{\phi 1} =$	-	$\sigma_{\phi 1} =$	-	$\sigma_{\phi 1} =$
長手方向地震による胴軸断面 全面に生じる引張応力	-	$\sigma_{\phi 1} =$	-	$\sigma_{\phi 1} =$	-	$\sigma_{\phi 1} =$
組合せ応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)については「-」(バー)表示とする。
- ・この場合、記号及び「=」(イコール)を削除し「-」(バー)のみとする。
- ・算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は「0」

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	長手方向	軸方向	周方向	軸方向
	周方向応力	周方向応力	周方向応力	周方向応力	周方向応力	周方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$
運転時質量による長手方向曲げ	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$
モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$
モーメントにより生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$
運転時質量による脚反力	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$
鉛直方向地震による脚反力	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$
により生じる応力	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$
水平方向地震 引張り	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$
せん断	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$
組合せ応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 2} =$

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x6} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x6} =$	$\sigma_{\phi 2} =$
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x6} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x6} =$	$\sigma_{x6} =$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$	$\sigma_{x71} =$
	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x72} =$	$\sigma_{x72} =$
引張り	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x51} =$	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x51} =$	$\sigma_{x51} =$
	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{x52} =$
せん断	$\tau_{\phi 42} =$	$\tau_{c} =$	$\tau_{\phi 42} =$	$\tau_{\phi 42} =$	$\tau_{c} =$	$\tau_{c} =$
	$\sigma_{2f} =$	$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2f} =$	$\sigma_{2f} =$	$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2c} =$

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
運転時質量による応力	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s3} =$
	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ	$\sigma_{sf} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{sf} =$	$\sigma_{sf} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{sc} =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
鉛直方向地震及び水 平方方向地震による応力	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による 応力	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b2} =$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$
横方向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

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 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次	$\sigma_1 =$	$S_a =$	$\sigma_1 =$	$S_a =$
		一次+二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
脚		組合せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
基礎ボルト		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

胴板と当板の材料が異なる場合、当板の材料名及び許容応力を記載する。

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	許容応力
胴板		$S_a =$
脚		$f_t =$
基礎ボルト		$f_{ts} =$
		$f_{sb} =$

*：当板の材料を示す。

在記

【○○○○タンク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

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

別紙

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)		固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
		水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向				
EL. *						水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	静水頭			
						C _H =	C _V =				

注記 * : 基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

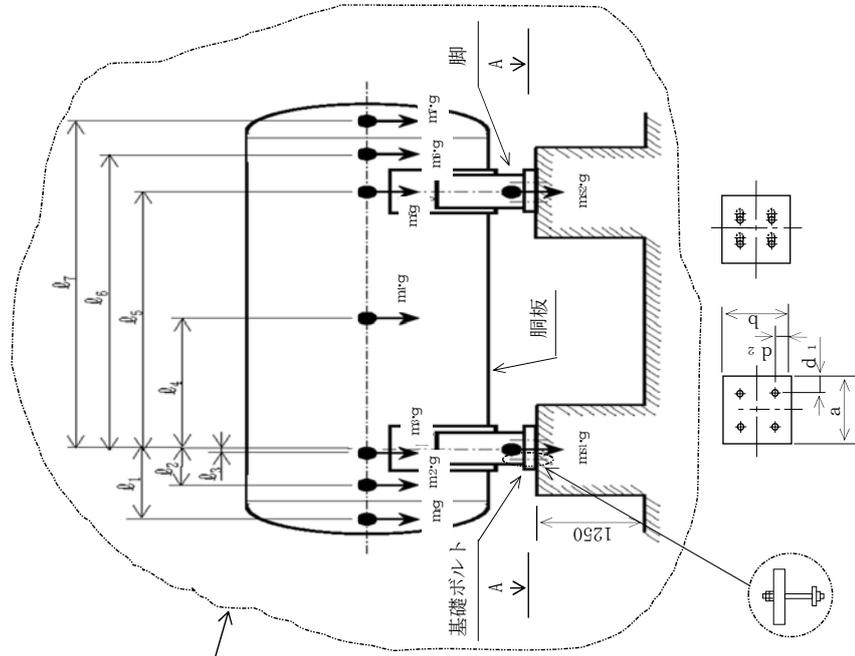
ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)

m _{s0} (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D ₁ (mm)	t	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。なお、ボルトのスリーブは記載しない。

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“θ_w”及び“ℓ_w”を記載する。なお、無効とした場合は記載不要



A~A 矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震による胴軸断面 全面に生じる引張応力	-	$\sigma_{x 413} =$	-	$\sigma_{x 413} =$	-	$\sigma_{x 413} =$	-	-
組合せ応力	$\sigma_{0\ell} =$		$\sigma_{0c} =$		$\sigma_{0\ell} =$		$\sigma_{0c} =$	

算出応力値記載上の留意事項
 ・評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)には値が0となるもの)に ついては“ - ” (バー) 表示とする。
 この場合、記号及び“ = ” (イコール) を削除し“ - ” (バー) のみとする。
 ・算出応力が小数点以下第2位 以降に発生する場合は“0”

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$						
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	-						
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2} =$						
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6} =$						
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$						
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$						
水平方向地震 引張り による応力	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 511} =$	$\sigma_{x 511} =$
	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 511} =$	$\sigma_{x 511} =$
	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 511} =$	$\sigma_{x 511} =$
せん断 による応力	$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$	
	$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$		$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
地震の方向						
応力の方向						
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	—	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	$\sigma_{x 6} =$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{x 71} =$
	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{x 72} =$
	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{x 51} =$
せん断	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x 421} =$	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x 421} =$	$\sigma_{x 52} =$
	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{x 52} =$
組合せ応力	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$	$\tau_{c} =$
組	$\sigma_{2\ell} =$	$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2\ell} =$	$\sigma_{2\ell} =$	$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2c} =$

1.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
地震の方向						
運動時質量による応力	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s3} =$
	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{sc} =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
地震の方向						
鉛直方向地震及び水	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b2} =$
平方方向地震による応力	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$
水平方向地震による 応力						

【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 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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
		水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
EL. 建屋*						-	-					

静水頭の場合の記載例は別紙参照

注記 * : 基礎床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

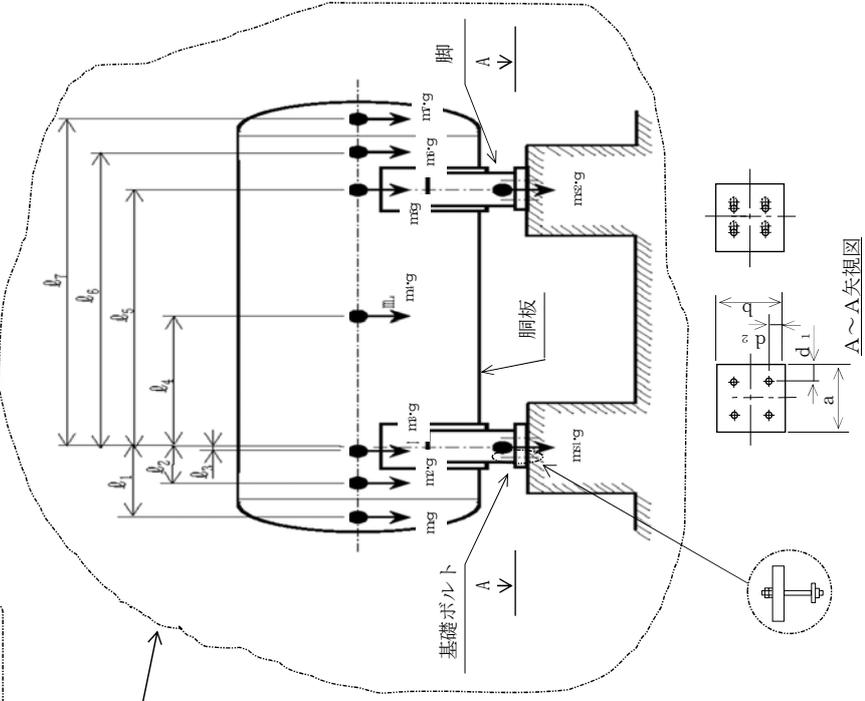
容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。なお、ボルトのスリーブは記載しない。

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“θ_w”及び“ℓ_w”を記載する。なお、無効としない場合は記載不要。



A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)

K_{11}^{*4}	K_{12}^{*4}	K_{21}^{*4}	K_{22}^{*4}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	(M)

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	*2	*3	*3	—	—	*3	*3	—	—

注記の記載箇所は表の右側近傍を原則とするが、紙面の都合にて記載できない場合は、表の右下の近傍とする。

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。胴、脚及び S_u についても該当する場合は記載する。

注記 *1: 本計算においては当板を有効とした。
*2: 最高使用温度で算出
*3: 周囲環境温度で算出
*4: 表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“ θ_w ”及び“ ℓ_w ”を記載する。なお、無効とした場合

胴板と当板の材料が異なる場合
当板の S_y , S_u 及び S 値を記載する。

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
*1 *3	*1 *3	*1 *3	

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出
*3: 当板の材料を示す。

2.3 計算数値
2.3.1 個に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-
運転時質量による長手方向曲げ	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$
モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 4+1+3} =$	-	-
モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	-	-
長手方向地震による胴軸断面 全面に生じる引張応力	-	-	-	-	-	-	-	-
組合せ応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi l} =$	-	$\sigma_{\phi c} =$	-

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」

(単位: MPa)

算出応力値記載上の留意事項
 ・評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)には値が0となるもの)に ついては“ - ” (バー) 表示とする。
 ・この場合、記号及び“ = ” (イコール) を削除し“ - ” (バー) のみとする。
 ・算出応力が小数点以下第2位 以降に発生する場合は“0”

(2) 一次応力

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-
運転時質量による長手方向曲げ	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$
モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 3} =$	-	$\sigma_{x 3} =$
モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 7+1} =$	-	$\sigma_{x 7+1} =$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 7+1} =$	$\sigma_{x 7+1} =$	$\sigma_{\phi 7+1} =$	$\sigma_{x 7+1} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 4+1+1} =$ $\sigma_{\phi 4+1+2} =$	$\sigma_{x 4+1+1} =$ $\sigma_{x 4+1+2} =$	$\sigma_{\phi 5+1} =$	$\sigma_{x 5+1} =$
せん断	-	-	-	-	$\tau_{\phi 4+1} =$	$\tau_{\phi 4+1} =$	$\tau_{\phi c} =$	$\tau_{\phi c} =$
組合せ応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」

(単位: MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}$	-	$\sigma_{\phi 2}$	-
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	σ_{x6}	-	σ_{x6}
水平方向地震 による応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 71}$	σ_{x71}	$\sigma_{\phi 71}$	σ_{x71}
	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 72}$	σ_{x72}	$\sigma_{\phi 72}$	σ_{x72}
	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 41}$	σ_{x41}	$\sigma_{\phi 41}$	σ_{x51}
	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 421}$	σ_{x421}	$\sigma_{\phi 422}$	σ_{x422}
せん断 力	-	-	-	-	$\tau_{\phi 42}$	τ_{x42}	$\tau_{\phi 42}$	τ_{x42}
	-	-	-	-	τ_{ϕ}	$\tau_{x\phi}$	τ_{ϕ}	$\tau_{x\phi}$
組	-	-	-	-	$\sigma_{2\phi}$	$\sigma_{2x\phi}$	$\sigma_{2\phi}$	$\sigma_{2x\phi}$

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
地震の方向	-	-	-	-	-	-	-	-
圧縮	-	-	σ_{s1}	σ_{s1}	-	-	σ_{s1}	σ_{s1}
圧縮	-	-	σ_{s4}	σ_{s4}	-	-	σ_{s4}	σ_{s4}
曲げ	-	-	σ_{s2}	σ_{s2}	-	-	σ_{s3}	σ_{s3}
せん断	-	-	τ_{s2}	τ_{s2}	-	-	τ_{s3}	τ_{s3}
組合せ 力	-	-	$\sigma_{s\phi}$	$\sigma_{s\phi}$	-	-	$\sigma_{s\phi}$	$\sigma_{s\phi}$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
地震の方向	-	-	-	-	-	-	-	-
引張り	-	-	σ_{b1}	σ_{b1}	-	-	σ_{b2}	σ_{b2}
せん断 力	-	-	τ_{b1}	τ_{b1}	-	-	τ_{b2}	τ_{b2}

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$
横方向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	心	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
胴板		一次一般膜	—	—	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		—	—	—	$\sigma_1 =$	$S_a =$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 =$	$S_a =$
脚		組合せ	—	—	$\sigma_s =$	$f_t =$
		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
基礎ボルト		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

*すべて許容応力以下である。

胴板と当板の材料が異なる場合、当板の材料名及び許容応力を記載する。

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	許容応力
胴板	()	$S_a = *$
脚	()	$f_t = *$
基礎ボルト		$f_{ts} =$
		$f_{sb} =$

注記 *：当板の材料を示す。

別紙

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		基準地震動	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向					
		EL. 建屋*			—	—	CH=	静水頭			

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

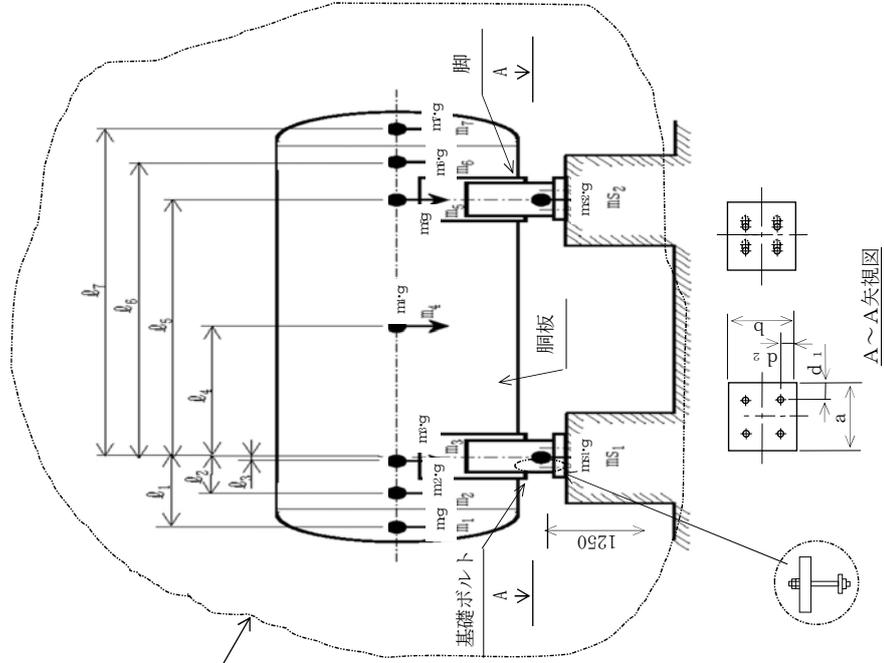
容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。なお、ボルトのスリーブは記載しない。

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)

m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
				*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“θ_w”及び“ℓ_w”を記載する。なお、無効とした場合は、記載不要



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度						基準地震動 S _s					
	長手方向		横方向		軸方向		長手方向		横方向		軸方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	-	-
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 2} =$	-	-	$\sigma_{x 2} =$	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-	-	$\sigma_{x 6} =$	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	-	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 413} =$	-	-	-	-
組合せ応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{0\ell} =$	$\sigma_{0\ell} =$	$\sigma_{0\ell} =$	$\sigma_{0\ell} =$	$\sigma_{0c} =$	$\sigma_{0c} =$

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)については“0” (バー) (バー)
- ・表示とする。
- ・この場合、記号及び“=” (イコール) を削除し“0” (バー) のみとする。
- ・算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”

(2) 一次応力

(単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度						基準地震動 S _s					
	長手方向		横方向		軸方向		長手方向		横方向		軸方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	-	-
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 2} =$	-	-	$\sigma_{x 2} =$	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-	-	$\sigma_{x 6} =$	$\sigma_{x 6} =$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{x 3} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{x 71} =$
水平方向地震 引張り	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
による応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
せん断	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\tau_c =$	$\tau_c =$
組合せ応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{1\ell} =$	$\sigma_{1\ell} =$	$\sigma_{1\ell} =$	$\sigma_{1\ell} =$	$\sigma_{1c} =$	$\sigma_{1c} =$

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}$	-	-
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	σ_{x6}	σ_{x6}
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 71}$	$\sigma_{\phi 71}$	σ_{x71}
水平方向地震による せん断力	-	-	-	$\sigma_{\phi 72}$	$\sigma_{\phi 72}$	σ_{x72}
	-	-	-	$\sigma_{\phi 41}$	$\sigma_{\phi 51}$	σ_{x51}
せん断力	-	-	-	$\sigma_{\phi 421}$	σ_{x421}	σ_{x52}
	-	-	-	$\sigma_{\phi 422}$	σ_{x422}	σ_{x52}
組合せ応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 42}$	τ_{c}	τ_{c}
組	-	-	-	σ_{2f}	σ_{2c}	σ_{2c}

2.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
回転質量による応力	-	-	-	σ_{s1}	σ_{s1}	σ_{s1}
鉛直方向地震による応力	-	-	-	σ_{s4}	σ_{s4}	σ_{s4}
水平方向地震による応力	-	-	-	σ_{s2}	σ_{s2}	σ_{s2}
せん断力	-	-	-	τ_{s2}	τ_{s2}	τ_{s2}
	-	-	-	σ_{sf}	σ_{sf}	σ_{sf}
組	-	-	-	σ_{sc}	σ_{sc}	σ_{sc}

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	-	-	-	σ_{b1}	σ_{b2}	σ_{b2}
水平方向地震による せん断力	-	-	-	τ_{b1}	τ_{b2}	τ_{b2}

説明用

V-2-1-14-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書
作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 固有周期の計算方法	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 設計用地震力	7
5.3 計算方法	8
5.4 応力の評価	13
6. 耐震計算書のフォーマット	16

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている平底たて置円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS_s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用されない平底たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

平底たて置円筒形容器の応力評価は、「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、「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。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

平底たて置円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

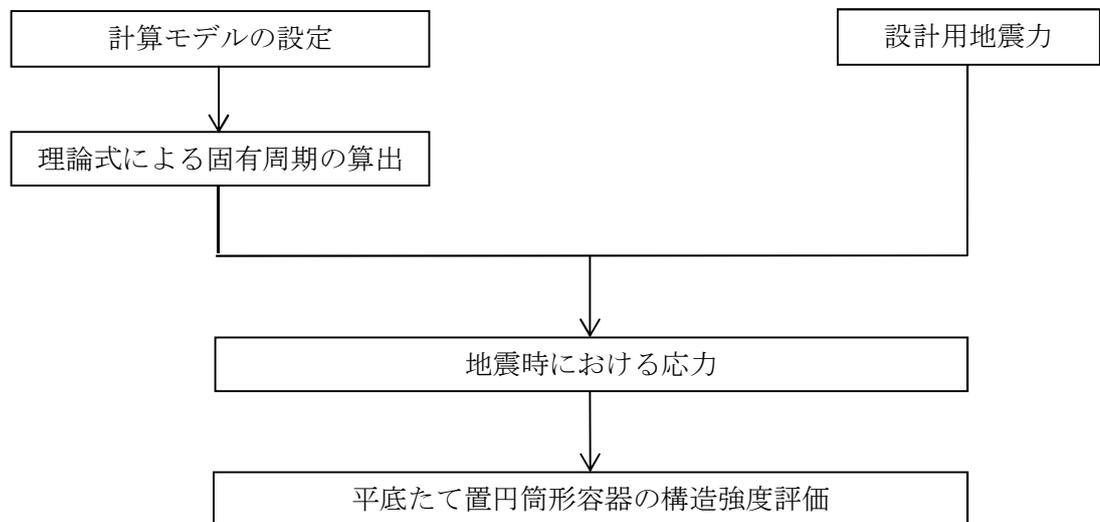


図2-1 平底たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1 －1987 及び J E A G 4 6 0 1 －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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l ₁ , l ₂	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-2に示す距離)	mm
l _g	基礎から容器重心までの距離	mm
M _s	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm
m _o	容器の運転時質量	kg
m _e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
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

記号	記号の説明	単位
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類		単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		°C	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2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		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
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り強さ及び降伏点は、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

平底たて置円筒形容器の耐震評価は「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胴及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図4-1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

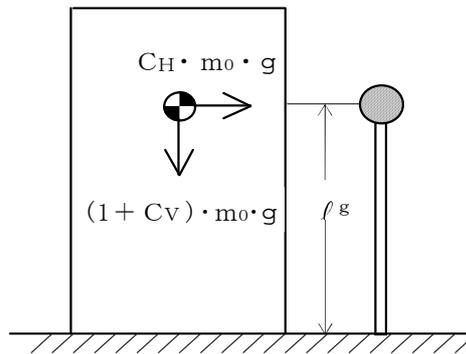


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{l_g^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{l_g}{G \cdot A_e}} \quad \dots \quad (4.1.1)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots \quad (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots \quad (4.1.3)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots \quad (4.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{l_g}{A \cdot E}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 設計用地震力は「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。

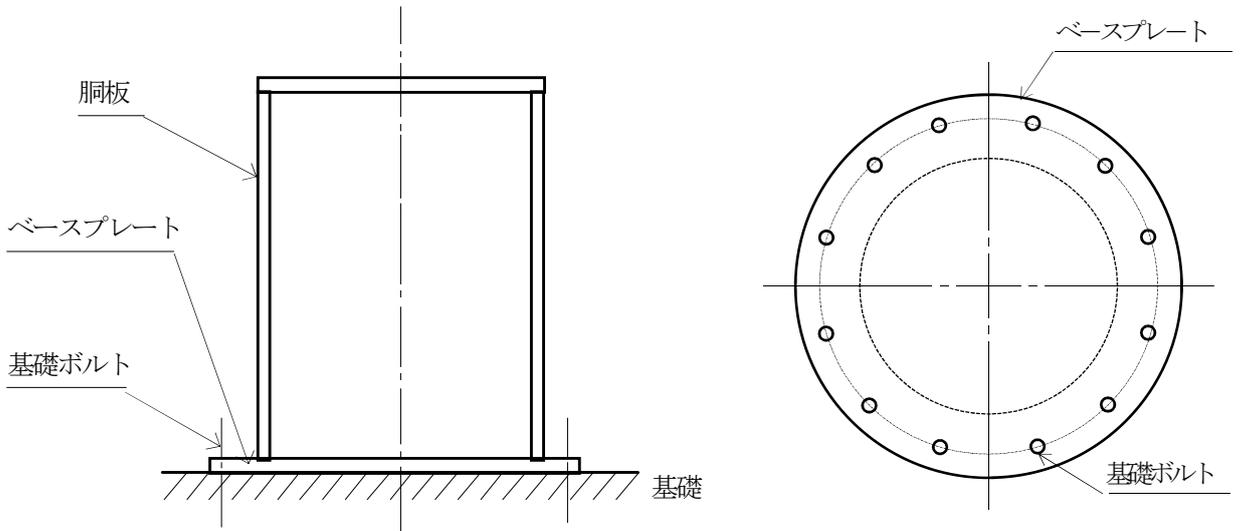


図5-1 概要図

5.2 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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はS R S S法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot l_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

$$\sigma_{0 t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{x t} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{x t})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 3}^2 + \sigma_{x 4}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，SRSS法それぞれに対して，

$$\sigma_o = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

したがって，胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は，絶対値和，SRSS法それぞれに対して，

$$\sigma_2 = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{2c}) \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

とする。

5.3.1.2 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図5-2参照)

以下にその手順を示す。

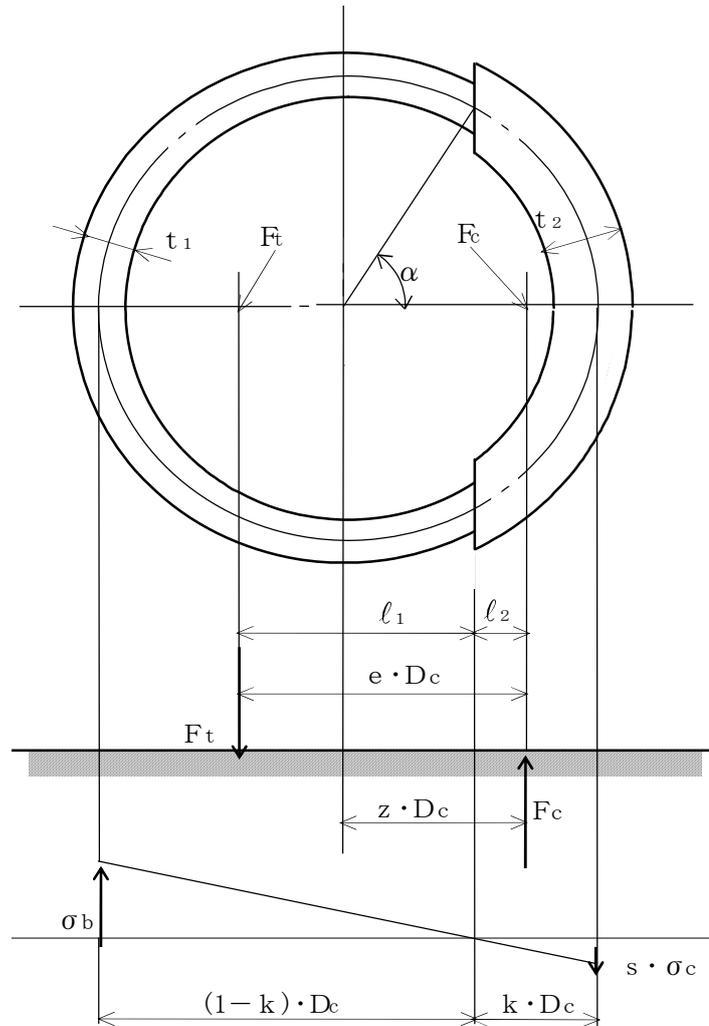


図5-2 基礎の荷重説明図

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1-2 \cdot k) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \quad \dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.10)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、(5.3.1.2.3) 式及び (5.3.1.2.4) 式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (5.3.1.2.7) 式又は (5.3.1.2.9) 式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.15)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.2.16)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

- (1) 5.3.1.1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 は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	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
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。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あつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2\left(\frac{9600 \cdot g}{F}\right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき} \\ f_b = \phi_2\left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t}\right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

5.4.2 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.2 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

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. 耐震計算書のフォーマット

平底たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 * : 重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2. 」から「1. 」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇タンク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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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.		建屋 *	C _H =	C _V =	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

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	l _g (mm)	H (mm)	s	n
				*1	*1				

D _c (mm)	D _{b0} (mm)	D _{b1} (mm)	A _b (mm ²)	S _y (鋼板) (MPa)	S _u (鋼板) (MPa)	S (鋼板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
			(M)	*1	*1	*1	*1	*2	*2	

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

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。

ボルト径を記載する。

1.3 計算数値

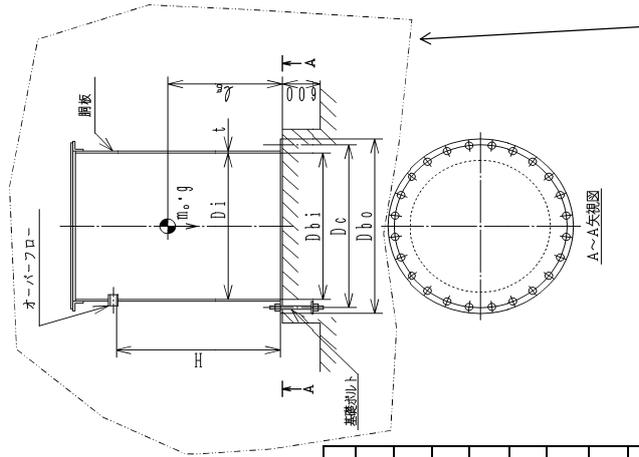
1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	σ _{φ1} =	-	-	σ _{φ1} =	-	-
鉛直方向地震による引張応力	σ _{φ2} =	-	-	σ _{φ2} =	-	-
空質量による圧縮応力	-	σ _{X2} =	-	-	σ _{X2} =	-
鉛直方向地震による軸方向応力	-	σ _{X3} =	-	-	σ _{X3} =	-
水平方向地震による応力	-	σ _{X1} =	τ =	-	σ _{X1} =	τ =
応力の和	σ _φ =	σ _{Xt} =	-	σ _φ =	σ _{Xt} =	-
応力の差	σ _φ =	σ _{Xc} =	-	σ _φ =	σ _{Xc} =	-
引張り	σ _{φt} =	σ _{φt} =		σ _{φt} =	σ _{φt} =	
圧縮	σ _{φc} =	σ _{φc} =		σ _{φc} =	σ _{φc} =	

算出応力値記載上の留意事項

- ・ 評価対象外及び応力が発生しないもの (引張応力の圧縮又は値が0となるもの) については “-” (バー) 表示とする。この場合、記号及び “-” (バー) を削除し “0” (ゼロ) のみとする。
- ・ ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも “-” (バー) ではなくマイナスとして応力値を記載する。
- ・ 算出応力が小数点以下第 2 位以降に発生する場合は “0” と表示する。



容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{X3} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{X3} =$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{X1} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{X4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2X1} =$	—
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2Xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} =$		$\sigma_{2t} =$		
	圧縮	$\sigma_{2c} =$		$\sigma_{2c} =$		

(単位: MPa)

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s
引張応力	$\sigma_b =$	$\sigma_b =$
せん断応力	$\tau_b =$	$\tau_b =$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	T _H =
鉛直方向	T _V =

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 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次-般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次+二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
		圧縮と曲げの組合せ (盛屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	$S_a =$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【〇〇〇〇〇〇タンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

設計震度をとっている床レベルを記載する。

【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。

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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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. 建屋 *						C _H =				
								C _V =				

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _{bo} (mm)	D _{bi} (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	H (mm)	ℓ _g (mm)	s	n
				*1	*1	*1						
			(M)					*2				

D _c (mm)	D _{bo} (mm)	D _{bi} (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (基礎ボルト)	F* (基礎ボルト)
				*1	*1	*1			*2	*2

2.3 計算数値

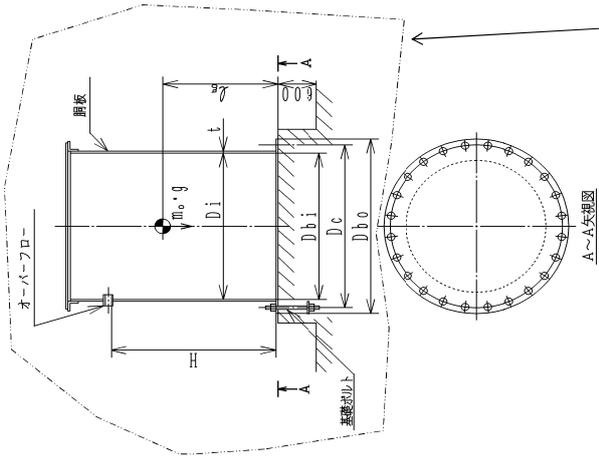
2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	せん断応力	軸方向応力	周方向応力	せん断応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	σ _{θ1} =	-	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	-	-	-	σ _{θ2} =	-	-
空質量による圧縮応力	-	-	-	-	σ _{X2} =	-
鉛直方向地震による軸方向応力	-	-	-	-	σ _{X3} =	-
水平方向地震による応力	-	-	-	-	σ _{X1} =	τ =
応力の和	-	-	-	σ _θ =	σ _{X1} =	-
引張側	-	-	-	σ _θ =	σ _{Xc} =	-
圧縮側	-	-	-	-	σ _{Xc} =	-
引張り	-	-	-	σ _{θt} =	σ _{θc} =	-
圧縮	-	-	-	σ _{θc} =	σ _{θt} =	-

算出応力値記載上の留意事項

- ・ 評価対象外及び応力が発生しないもの (引張応力の圧縮又は値が0となるもの) については “-” (バー) 表示とする。
- ・ この場合、記号及び “-” (バー) を削除し “0” (バー) のみとする。
- ・ ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも “-” (バー) ではなくマイナスとして応力値を記載する。
- ・ 算出応力が小数点以下第 2 位以降に発生する場合は “0” と表示する。



容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースに記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	—	—	—	$\sigma_{\theta 2}$ =	σ_{x3} =	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	σ_{x4} =	τ =
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2,0}$ =	$\sigma_{2x,t}$ =	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2,0}$ =	$\sigma_{2x,c}$ =	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	—	$\sigma_{2,t}$ =	—
	圧縮	—	—	—	$\sigma_{2,c}$ =	—

(単位: MPa)

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	σ_b =
せん断応力	—	τ_b =

(単位: MPa)

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	TH =
鉛直方向	TV =

2.4.2 応力

部材	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
胴板			一次一般順	—	—	σ_0 =	S_n =
			一次+二次 圧縮と曲げ の組合せ (歴屈の評価)	—	—	σ_2 =	S_n =
基礎ボルト			引張り	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}^2 + \sigma_{x3}^2)}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	f_{ts} =
			せん断	—	—	τ_b =	f_{sb} =

(単位: MPa)

すべて許容応力以下である。

説明用

V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 設計用地震力	6
4.3 計算方法	6
4.4 応力の評価	14
5. 機能維持評価	15
5.1 動的機能維持評価方法	15
6. 耐震計算書のフォーマット	15

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

なお、本基本方針は横軸ブロワ及びファンにも適用する。（その場合は、ポンプをブロワ又はファンと読み替える。）

ただし、本基本方針が適用できない横軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横軸ポンプの応力評価は、「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、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 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、横軸ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 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確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

横軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

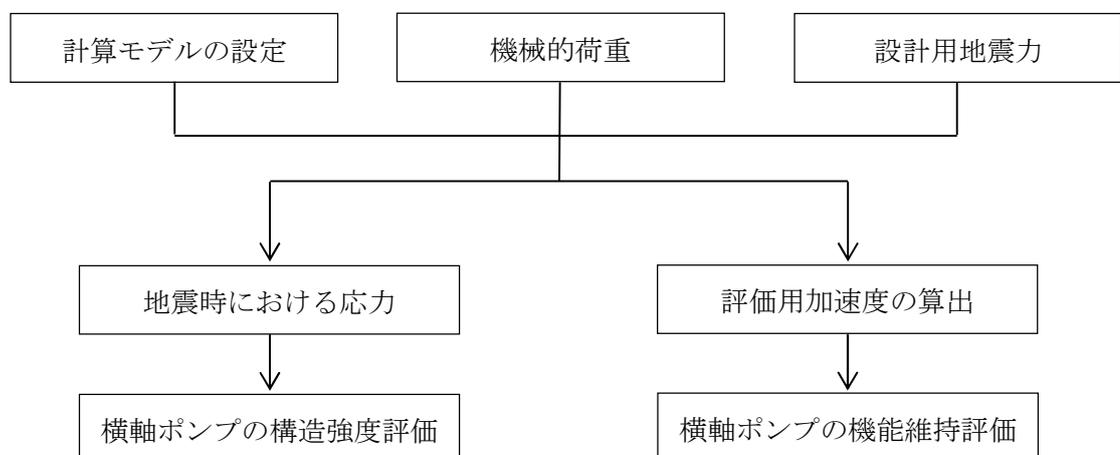


図2-1 横軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987 及び J E A G 4 6 0 1 —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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H_p	予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m_i	運転時質量* ²	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min ⁻¹
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記 *¹: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , 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
- $i = 2$: ポンプ取付ボルト
- $i = 3$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

i =4 : 減速機取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ポンプ取付面

$i = 3$: 原動機取付面

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 4$: 減速機取付面

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

2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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

横軸ポンプの耐震評価は「4.1 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評価を実施する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。
したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。
- (2) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (3) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (4) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (5) 転倒方向は図 4-1 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。
- (6) 設計用地震力は「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。
なお、横軸ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

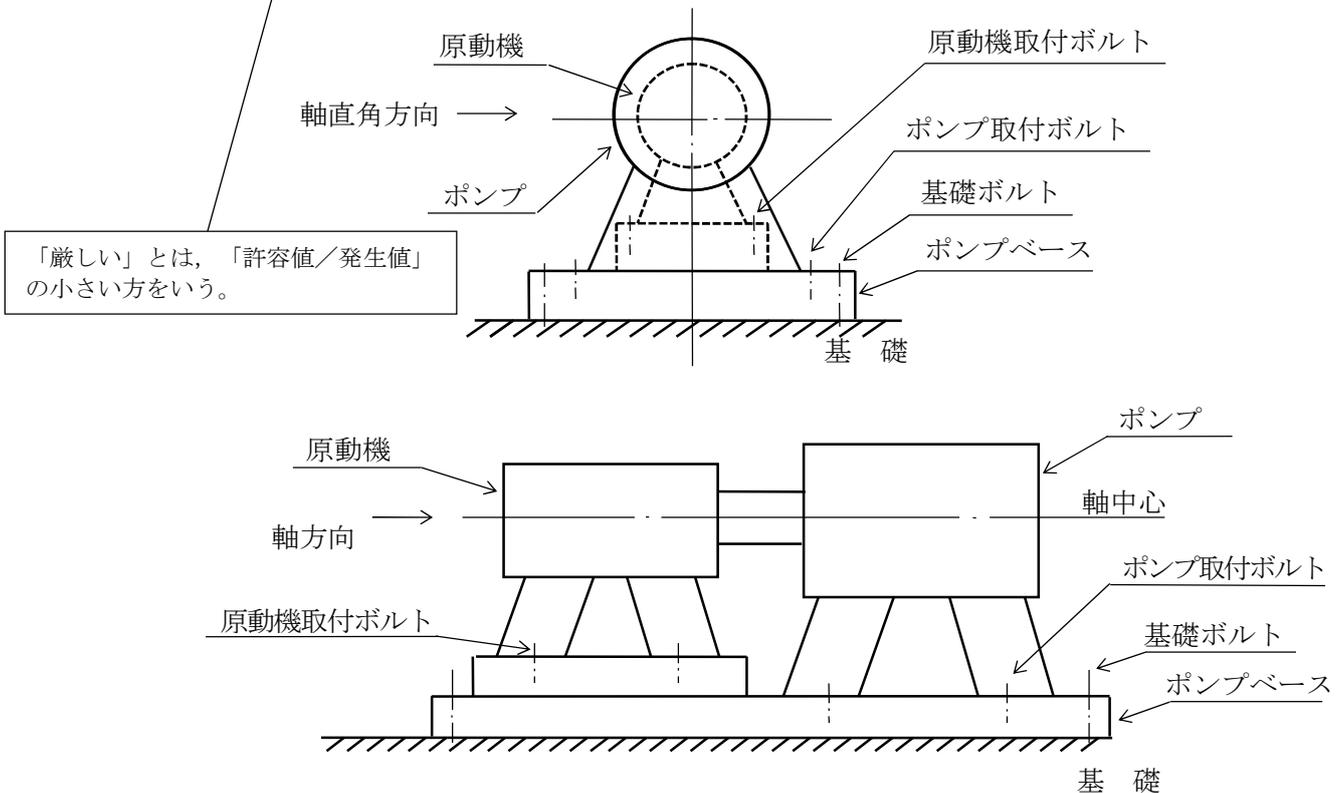


図 4-1 概要図

4.2 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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

4.3 計算方法

4.3.1 応力の計算方法

4.3.1.1 ボルトの計算方法

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

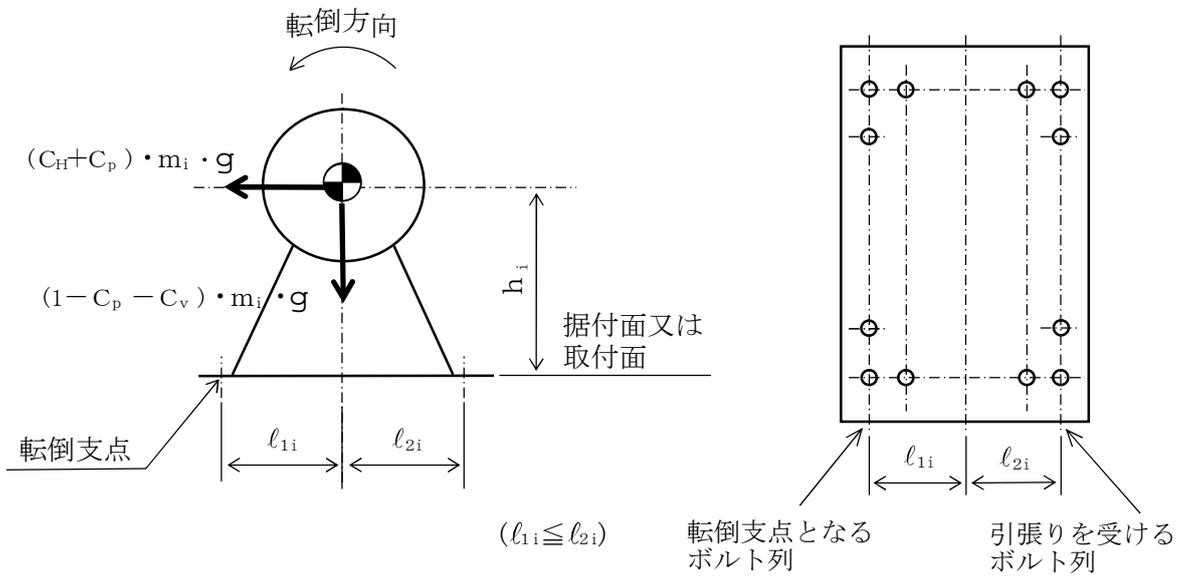


図 4-2(1) 計算モデル

(軸直角方向転倒-1 $(1 - C_p - C_v) \geq 0$ の場合)

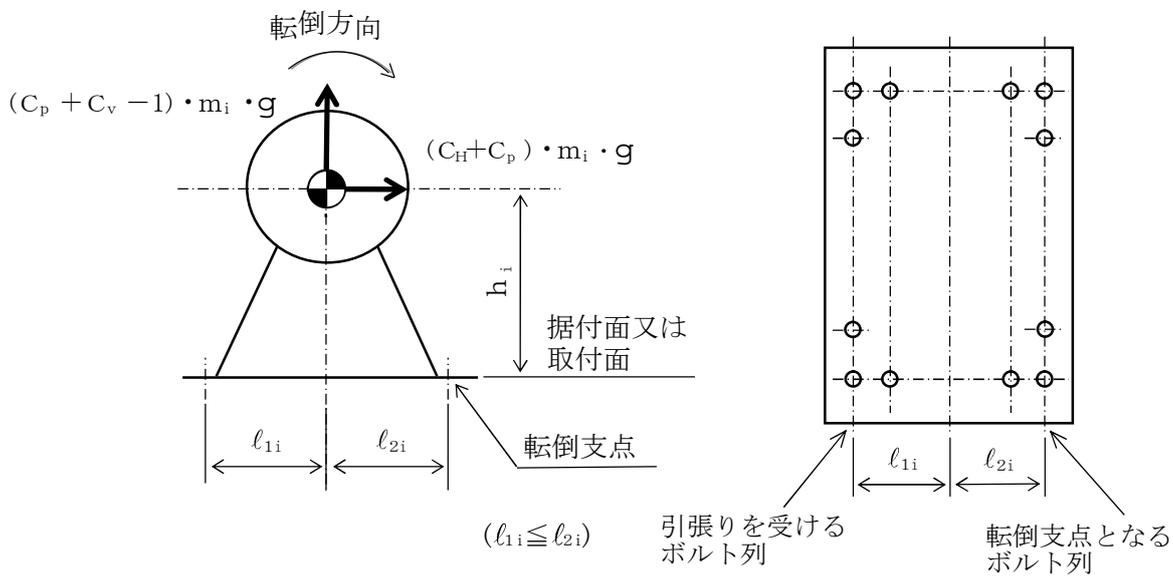


図 4-2(2) 計算モデル

(軸直角方向転倒-2 $(1 - C_p - C_v) < 0$ の場合)

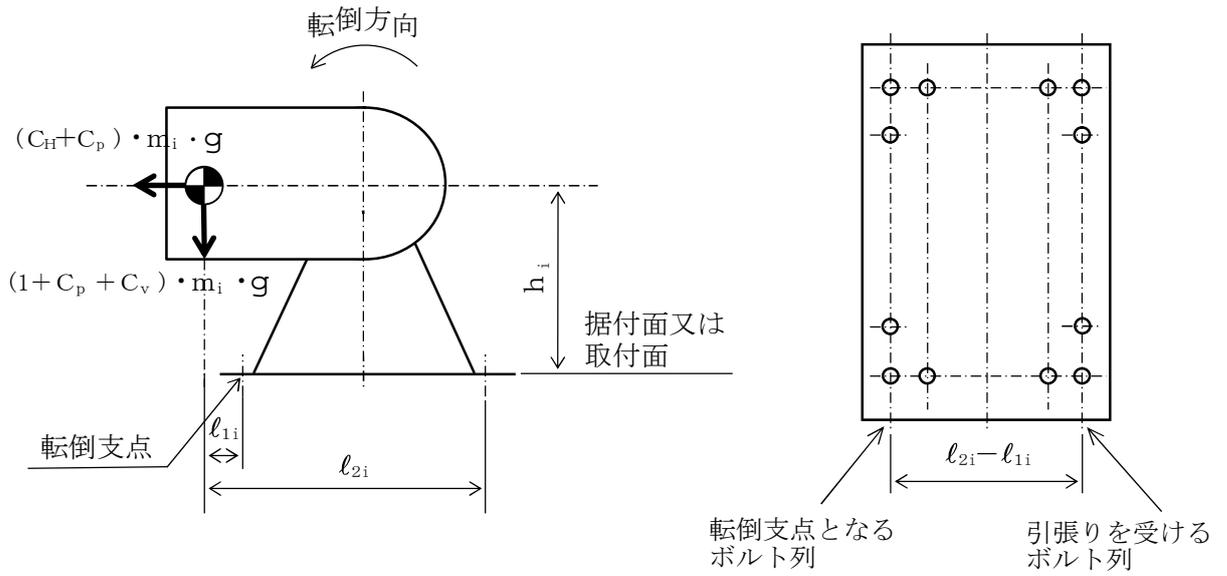


図 4-2 (3) 計算モデル

(軸直角方向転倒-3 軸直角方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$ の場合)

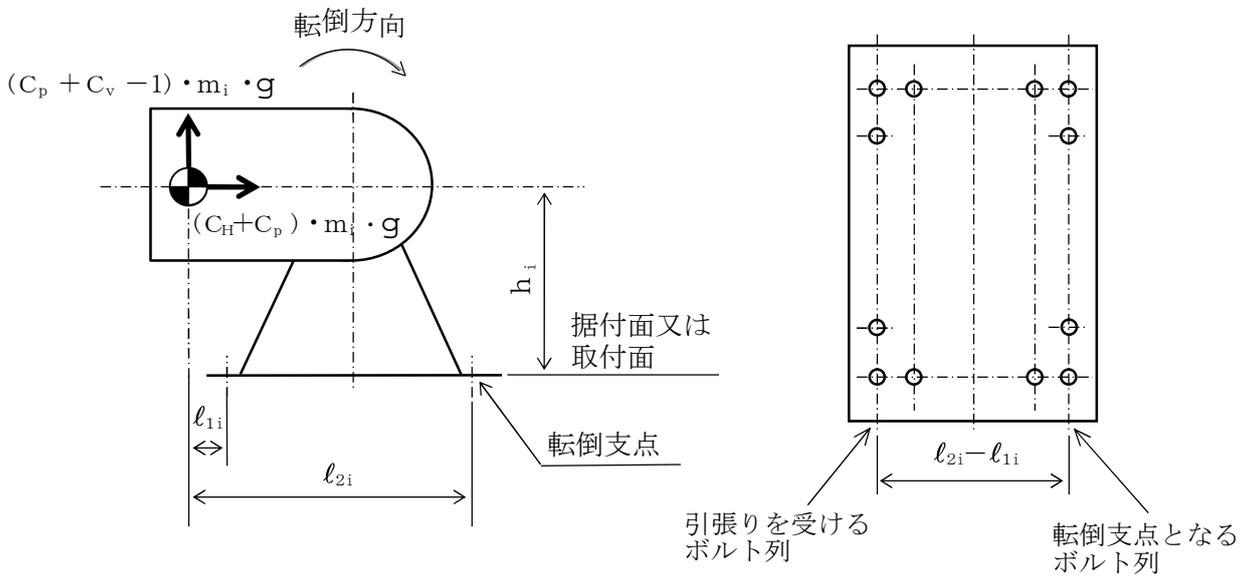


図 4-2 (4) 計算モデル

(軸直角方向転倒-4 軸直角方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$ の場合)

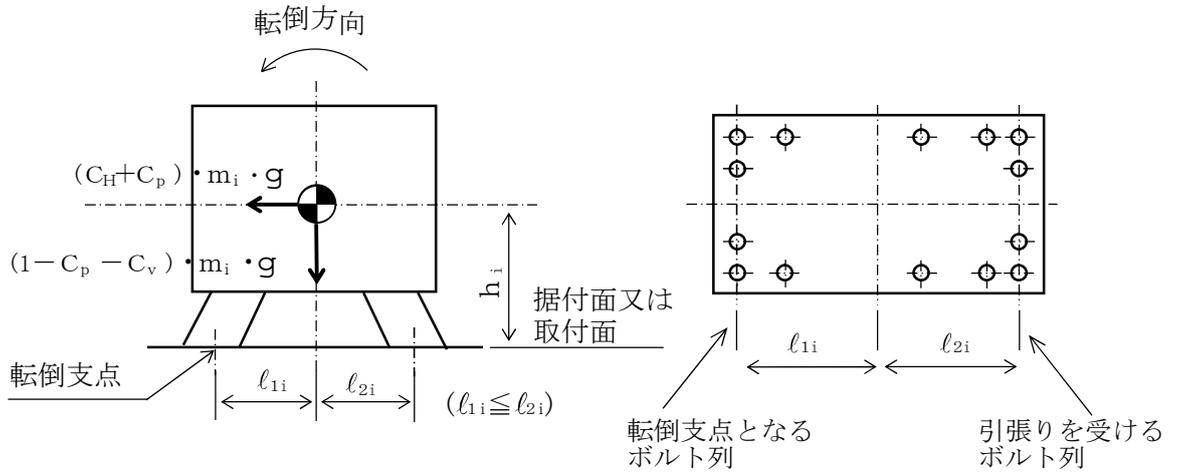


図 4-3 (1) 計算モデル
(軸方向転倒-1 $(1 - C_p - C_v) \geq 0$ の場合)

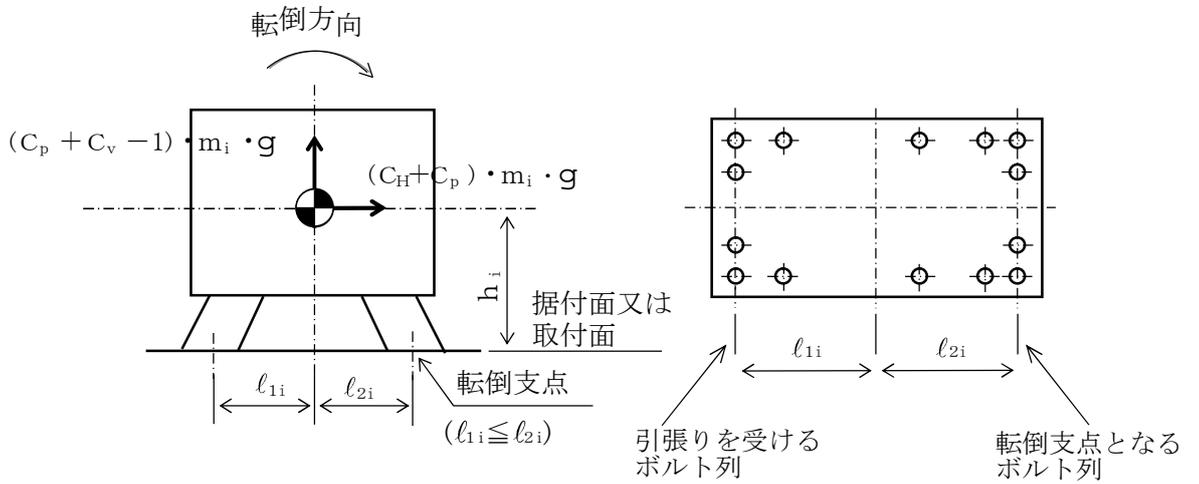


図 4-3 (2) 計算モデル
(軸方向転倒-2 $(1 - C_p - C_v) < 0$ の場合)

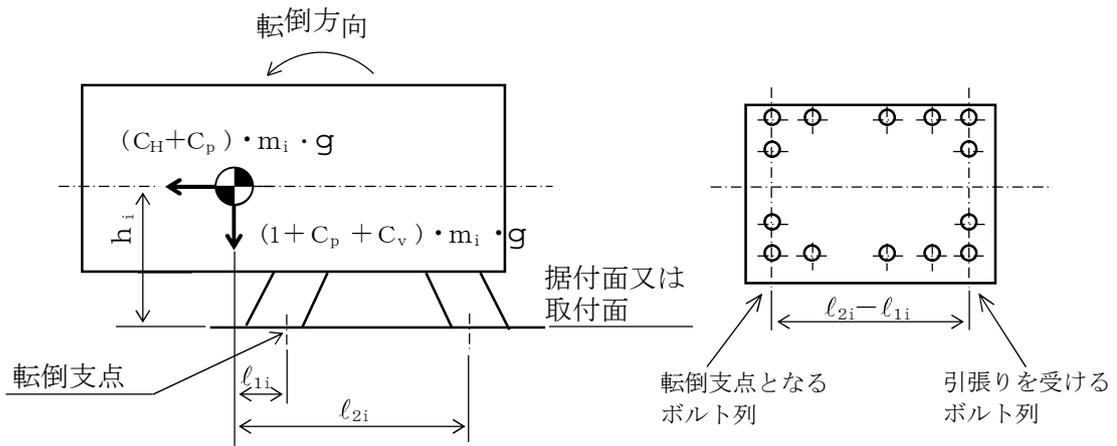


図4-3 (3) 計算モデル
 (軸方向転倒-3 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$ の場合)

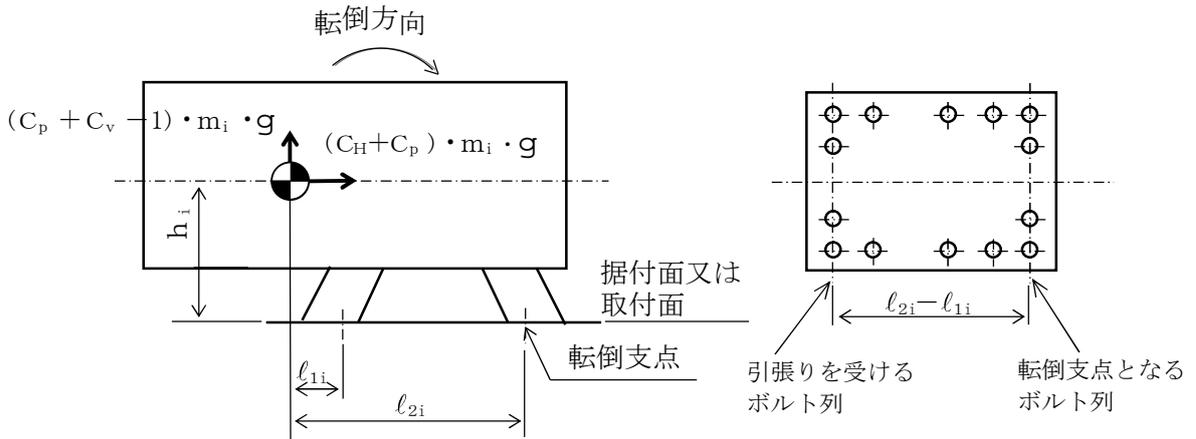


図4-3 (4) 計算モデル
 (軸方向転倒-4 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$ の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-2 及び図 4-3 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお、ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト (i=1) 及び計算モデル図 4-3 の場合のボルト (i=1~4) については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。
引張力

計算モデル図 4-2(1) 及び 4-3(1) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.1)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.2)

計算モデル図 4-2(2) 及び 4-3(2) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.3)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.4)

計算モデル図 4-2(3) 及び 4-3(3) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (1 + C_p + C_v) \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.5)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.6)

計算モデル図 4-2(4) 及び 4-3(4) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (C_p + C_v - 1) \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.7)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.8)

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

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

..... (4.3.1.1.9)

(1kW=10⁶N・mm/s)

ただし、ベースが共通でポンプと原動機間に減速機がある場合、ポンプ及び減速機取付ボルト(i=2及び4)における(4.3.1.1.9)式中のNはポンプ回転速度とする。

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

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

..... (4.3.1.1.10)

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.11)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.12)$$

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

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b i} = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \dots\dots\dots (4.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.14)$$

4.4 応力の評価

4.4.1 ボルトの応力評価

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

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s bi}$ 以下であること。ただし、 $f_{s bi}$ 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 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

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。

機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

また，ポンプについては軸継手の評価を行い，動的機能を有していることを確認する。

6. 耐震計算書のフォーマット

横軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

電動機にスラスト軸受がなく軸方向荷重がポンプ側に作用する形式のうち，ギヤカップリングを使用している場合に適用する。その場合は，本記載を追加する。

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フオーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○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	耐震重要度分類	掘付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
建屋	EL.	EL.	—*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。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *3 (mm)	ℓ _{2i} *3 (mm)	A _{b i} (mm)	n _i	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	鉛直方向
基礎ボルト (i=1)					(M)					
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M)					
原動機取付ボルト (i=3)					(M)					
減速機取付ボルト (i=4)					(M)					

ボルト径を記載する。

ボルトの評価温度を記載する。なお、使用しない場合は、“—”表示とする。

転倒方向が同じ場合は、1つとする。

部材	S _{v i} (MPa)	S _{u i} (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	
基礎ボルト (i=1)	*2	*2					
ポンプ取付ボルト (i=2)	*1	*1					
原動機取付ボルト (i=3)	*1	*1					
減速機取付ボルト (i=4)	*1	*1					

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出
*3: 基礎ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動 S_s に対する評価時の要目を示す。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =	N=

M_Pが生じない場合は“—”とする。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」と「基準地震動 S_s」で転倒方向が異なる場合は本注記*3を追加する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 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)				
減速機取付ボルト (i=4)				

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	$\sigma_{bl} =$	$f_{ts1} =$	$\sigma_{bl} =$	$f_{ts1} =$
		せん断	$\tau_{bl} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{bl} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能の評価結果 (単位：×9.8m/s²)

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

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.4.2.2 軸継手の評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量

すべて許容変位量以下である。

記載例を示す。
(荷重 or 変位量)

電動機にスラスト軸受がなく軸方向荷重がポンプ側に作用する形式のうち、ギヤカップリングを使用している場合に記載する。なお、その場合、評価用加速度と機能確認済加速度との比較結果を「1.4.2.1 機能確認済加速度との比較」とすること。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了
※：評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、適宜、詳細評価を追加する。

確定 S_s を記載する。

【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 重大事故等対処設備としての評価結果】
【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 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	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
		建屋	—*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} (mm)	n _i	n _{f i}	
							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)		—	
減速機取付ボルト (i=4)					(M)		—	

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は、“—”表示とする。

ボルト径を記載する。

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (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	—		—	—		
ポンプ取付ボルト (i=2)	*1	*1	—		—	—		
原動機取付ボルト (i=3)	*1	*1	—		—	—		
減速機取付ボルト (i=4)	*1	*1	—		—	—		

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

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 =

2.3 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)	-	-	-	-
減速機取付ボルト (i=4)	-	-	-	-

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	-	-	$\sigma_{bl} =$	$f_{ts1} =$
		せん断	-	-	$\tau_{bl} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	-	-	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	-	-	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト		引張り	-	-	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$
		せん断	-	-	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト		引張り	-	-	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$
		せん断	-	-	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機能の評価結果 (単位：×9.8m/s²)

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

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

2.4.2.2 軸継手の評価 (単位：mm)

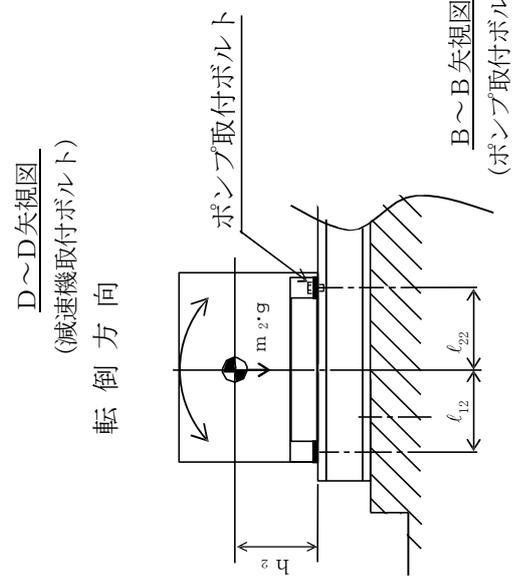
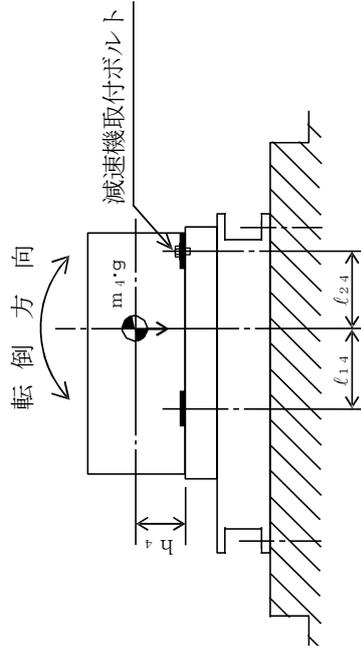
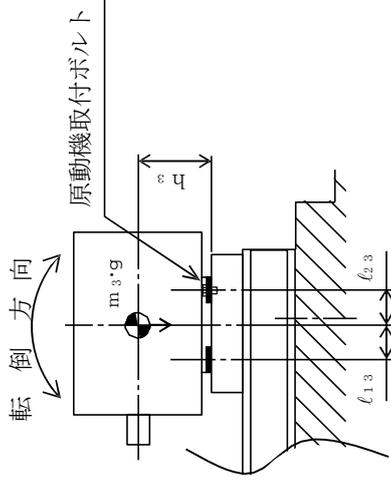
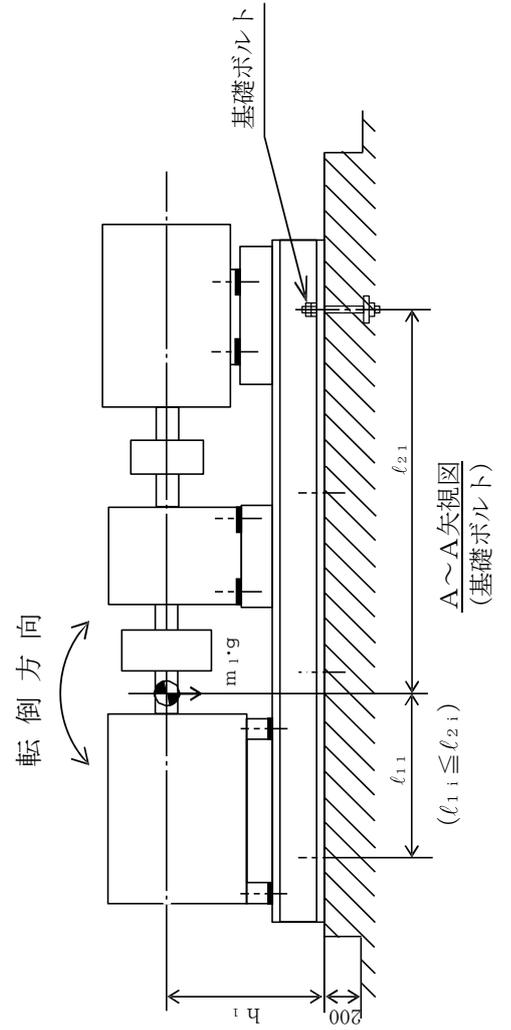
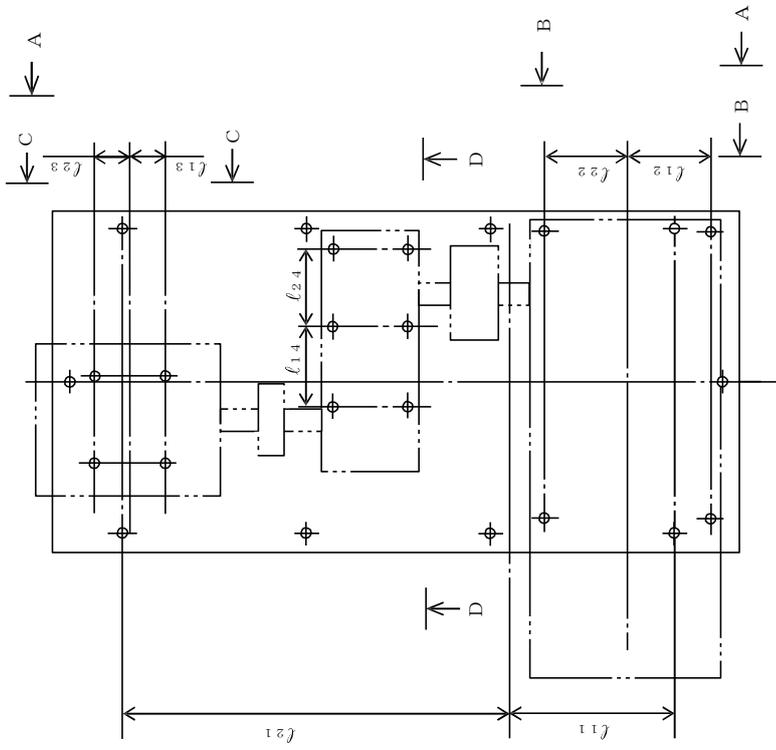
評価部位	変位量	許容変位量

すべて許容変位量以下である。

記載例を示す。
(荷重 or 変位量)

電動機にスラスト軸受がなく軸方向荷重がポンプ側に作用する形式のうち、ギヤカップリングを使用している場合に記載する。なお、その場合評価用加速度と機能確認済加速度との比較結果を「2.4.2.1 機能確認済加速度との比較」とすること。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了
※：評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、適宜、詳細評価を追加する。



説明用

V-2-1-14-5 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

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 構造強度評価	6
4.1 構造強度評価方法	6
4.2 設計用地震力	7
4.3 計算方法	7
4.4 応力の評価	10
5. 機能維持評価	12
5.1 動的機能維持評価方法	12
6. 耐震計算書のフォーマット	12

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているたて軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS_s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないたて軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

たて軸ポンプの応力評価は、「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、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.1 構造強度評価方法」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 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、たて軸ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 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確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

たて軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

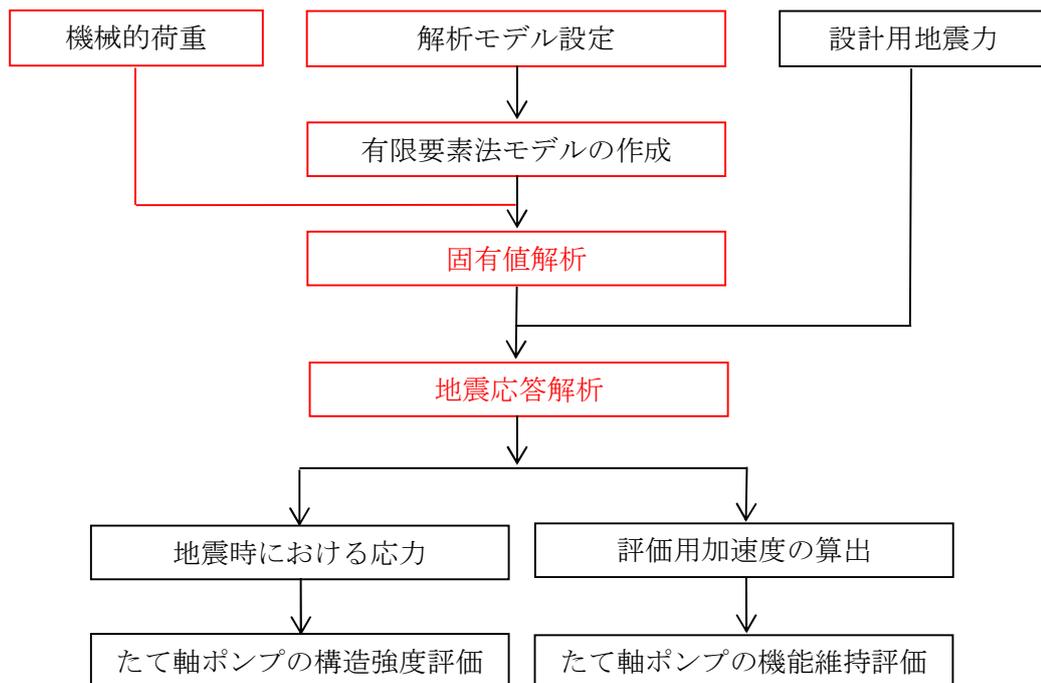


図2-1 たて軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b i	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A c	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _p	ポンプ振動による震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D c	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D i	ボルトのピッチ円直径* ¹	mm
d i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F b i	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり) * ¹	N
f _{s b i}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f _{t o i}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f _{t s i}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _p	予想最大両振幅	μm
M	図 4-2 計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M _i	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント* ²	N・mm
M _p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては, ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては, コラムパイプ総質量	kg
m _i	運転時質量* ³	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min ⁻¹
n _i	ボルトの本数* ¹	—
n _{f i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
P _c	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
Q _{b i}	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S _a	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
S _u , S _{u i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S _y , S _{y i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
S _{y i} (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa

記号	記号の説明	単位
T_i	固有周期*4	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
σ_{cH}	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{cV}	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{zP}	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta P}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記 *1: A_{bi} , D_i , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , n_i , n_{fi} , 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
- $i = 2$: ポンプ取付ボルト
- $i = 3$: 原動機台取付ボルト
- $i = 4$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は、 $i = 2$: ポンプ取付ボルト(下), $i = 3$: ポンプ取付ボルト(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*2: M_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 
- $i = 2$: 
- $i = 3$: 
- $i = 4$: 

*3: m_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 据付面
- $i = 2$: ポンプ取付面
- $i = 3$: 原動機台取付面
- $i = 4$: 原動機取付面

なお、ポンプ取付面(上), (下)がある場合は、 $i = 2$: ポンプ取付面(下), $i = 3$: ポンプ取付面(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*4: T_i の添字*i*の意味は、固有周期の次数を示す。

2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

たて軸ポンプの耐震評価は「4.1 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、取付ボルト並びにバレルケーシング及びコラムパイプについて評価を実施する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (2) 下部サポートは鉛直方向にスライドできるものとし、水平方向の地震力を受けるものとする。
- (3) ポンプは原動機を含めて多質点モデルにてモデル化し、軸とケーシングとを分け軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとする。
- (4) モデル化に際しては、原動機、ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。
- (5) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (6) 設計用地震力は「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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

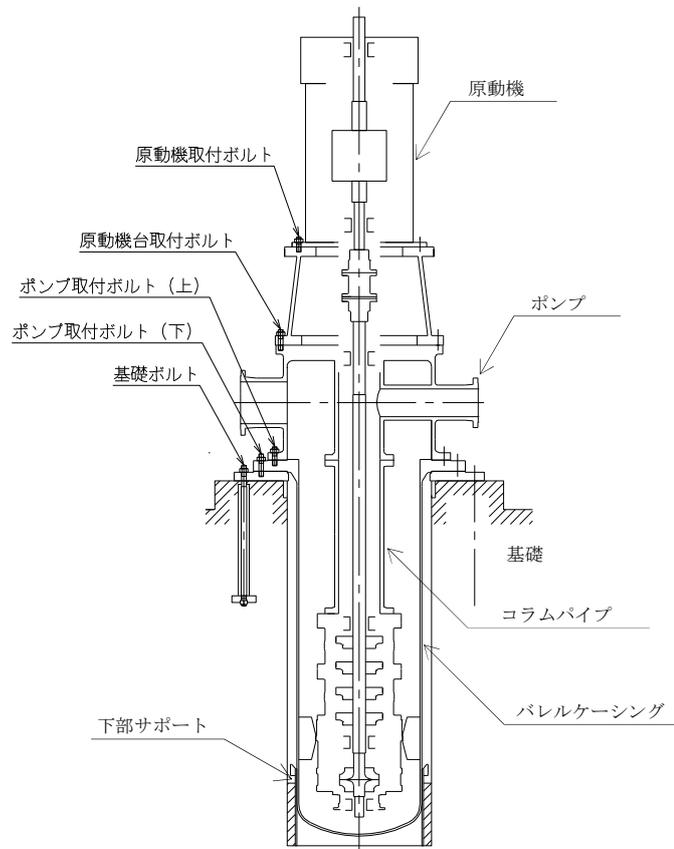


図 4-1 概要図

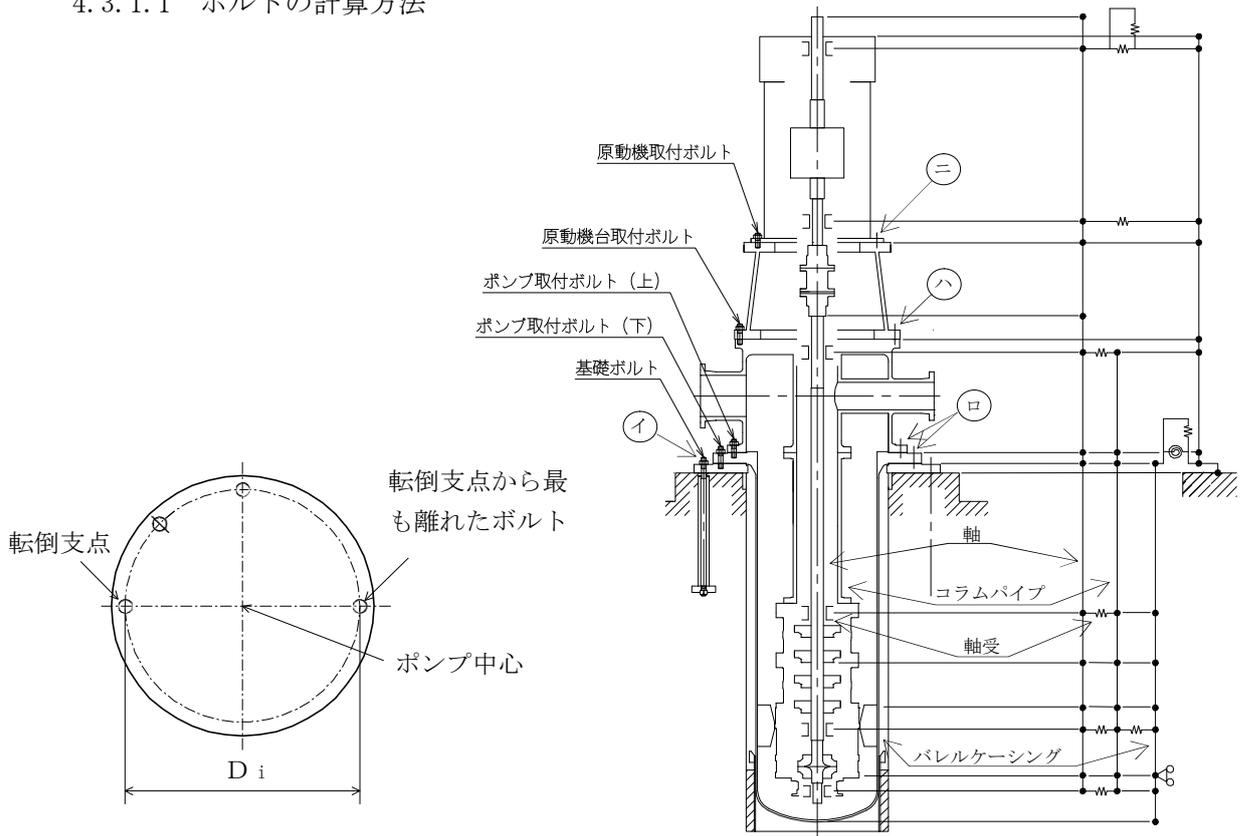
4.2 設計用地震力

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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

4.3 計算方法

4.3.1 応力の計算方法

4.3.1.1 ボルトの計算方法



$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: ポンプ取付ボルト* 注記* : ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は, $i = 2$: ポンプ取付ボルト(下), $i = 3$: ポンプ取付ボルト(上)とし, $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

$i = 3$: 原動機台取付ボルト*

$i = 4$: 原動機取付ボルト*

図 4-2 計算モデル

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

なお、転倒モーメント並びにせん断力は、計算機コード「NASTRAN」により算出するが、その際、水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し、鉛直方向には、設計震度と自重を考慮する。

(1) 引張応力

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

$$F_{b i} = \frac{M_i - (1 - C_p - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{f i} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.3.1.1.1)$$

ここで、 M_i は計算機コード「NASTRAN」により求める。

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

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.4)$$

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

(2) せん断応力

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

せん断力

せん断力は計算機コード「NASTRAN」により求める $Q_{b i}$ 及びポンプ回転により作用するモーメント M_p を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.5)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.1.1.6)$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

4.3.1.2 バレルケーシング及びコラムパイプの計算方法

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた各部に働くモーメントにより、曲げ応力は以下のようになる。

$$\sigma_{cH} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.3.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{cV} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \dots\dots\dots (4.3.1.2.2)$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.3)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma = \text{Max} (\sigma_{cH} + \sigma_{cV} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.3.1.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

4.4 応力の評価

4.4.1 ボルトの応力評価

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

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s bi}$ 以下であること。ただし、 $f_{s bi}$ 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 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.4.2 バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

4.3.1.2 項で求めた応力が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 は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
		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
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。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あつては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

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。機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

また，ポンプについては軸受の評価を行い，動的機能を有していることを確認する。

6. 耐震計算書のフォーマット

たて軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇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

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は“—”表示とする。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば
区別せず、最高使用圧力を記載する。

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 $S_{d,i}$ 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	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
		建屋 EL.*			$C_{H1} =$	$C_{V1} =$	$C_{H2} =$	$C_{V2} =$	$C_p =$				

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	$A_{b,i}$ (mm ²)	n_i	$n_{f,i}$	M_p (N·mm)	$S_{y,i}$ (MPa)	$S_{u,i}$ (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(下) (i=2)			(M)				*1	*1		
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1		
原動機台取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1		
原動機取付ボルト (i=5)			(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。

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。
(パレルケーシング、コラムパイプについても同様とする。)

ボルト径を記載する。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =	N =

(2) パレルケーシング、コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
パレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

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 _{b,i} (N)		Q _{b,i} (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(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 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		

1.4 結 論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =
鉛直 1次	T _{V1} =

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	$\sigma_{b1} = f_{ts1}$	f_{ts1}	$\sigma_{b1} = f_{ts1}$	f_{ts1}
		せん断	$\tau_{b1} = f_{sb1}$	f_{sb1}	$\tau_{b1} = f_{sb1}$	f_{sb1}
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	$\sigma_{b2} = f_{ts2}$	f_{ts2}	$\sigma_{b2} = f_{ts2}$	f_{ts2}
		せん断	$\tau_{b2} = f_{sb2}$	f_{sb2}	$\tau_{b2} = f_{sb2}$	f_{sb2}
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	$\sigma_{b3} = f_{ts3}$	f_{ts3}	$\sigma_{b3} = f_{ts3}$	f_{ts3}
		せん断	$\tau_{b3} = f_{sb3}$	f_{sb3}	$\tau_{b3} = f_{sb3}$	f_{sb3}
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} = f_{ts4}$	f_{ts4}	$\sigma_{b4} = f_{ts4}$	f_{ts4}
		せん断	$\tau_{b4} = f_{sb4}$	f_{sb4}	$\tau_{b4} = f_{sb4}$	f_{sb4}
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b5} = f_{ts5}$	f_{ts5}	$\sigma_{b5} = f_{ts5}$	f_{ts5}
		せん断	$\tau_{b5} = f_{sb5}$	f_{sb5}	$\tau_{b5} = f_{sb5}$	f_{sb5}

すべて許容応力以下である。

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		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = S_a$
		基準地震動 S _s	$\sigma = S_a$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = S_a$
		基準地震動 S _s	$\sigma = S_a$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

1.4.4.1 機能確認済加速度との比較

		評価用加速度	機能確認済加速度 (単位: $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「評価用加速度 \leq 機能確認済加速度」の場合の記載

※: 「評価用加速度 > 機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。

1.4.4.2 軸受の評価 (単位: N)

軸受位置	軸受荷重	許容荷重
1-15		
3-17		
6-20		
9-23		

すべて許容荷重以下である。

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	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (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					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の付加質量

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

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン 比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

【重大事故等対処設備単独の場合】
本ソフトウェアを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】
【○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設
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 又は静的地震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)		
		建屋 EL.*	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	
設計震度をとっている床レベルを記載する。													注記 *：基準床レベルを示す。	
ボルトの評価温度を記載する。 なお、使用しない場合は“—”表示とする。													注記 *1：最高使用温度で算出 *2：周囲環境温度で算出	
ボルトの評価温度を記載する。 なお、使用しない場合は“—”表示とする。													注記 *1：最高使用温度で算出 *2：周囲環境温度で算出	
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。													注記 *1：最高使用温度で算出 *2：周囲環境温度で算出	
C _p =										C _v =		C _H =		

2.2 機器要目
(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	$A_{b,i}$ (mm ²)	n_i	$n_{t,i}$	M_p (N·mm)	$S_{y,i}$ (MPa)	$S_{u,i}$ (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(下) (i=2)			(M)				*1	*1	—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1	—	
原動機取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1	—	
原動機取付ボルト (i=5)			(M)				*2	*2	—	

(2) パレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
パレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

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。

予想最大面振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =	N=

ボルト径を記載する。

M_pが生じない場合は“—”とする。

厚さ, 径等による強度区分がある場合は, 該当する強度区分を記載する。
(パレルケーシング, コラムパイプについても同様とする。)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 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(下) (i=2)	-		-		-	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	-		-		-	
原動機台取付ボルト (i=4)	-		-		-	
原動機取付ボルト (i=5)	-		-		-	

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 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 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =
鉛直 1次	T _{V1} =

2.4.2 ボルトの応力

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(下)		引張り	-	-	σ _{b2} =	f _{ts2} =
		せん断	-	-	τ _{b2} =	f _{sb2} =
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	-	-	σ _{b3} =	f _{ts3} =
		せん断	-	-	τ _{b3} =	f _{sb3} =
原動機台取付ボルト		引張り	-	-	σ _{b4} =	f _{ts4} =
		せん断	-	-	τ _{b4} =	f _{sb4} =
原動機取付ボルト		引張り	-	-	σ _{b5} =	f _{ts5} =
		せん断	-	-	τ _{b5} =	f _{sb5} =

すべて許容応力以下である。

(単位: MPa)

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

部 材	材 料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	許容応力
バレルケーシング		-	-
コラムパイプ		基準地震動 S _s σ ₀ =	S _a =
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	-

すべて許容応力以下である。

(単位: MPa)

2.4.4 動的機能の評価結果

2.4.4.1 機能確認済加速度との比較		評価用加速度	機能確認済加速度 (単位：×9.8 m/s ²)
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合の記載

※：「評価用加速度 > 機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。

2.4.4.2 軸受の評価 (単位：N)

軸受位置	軸受荷重	許容荷重
1-15		
3-17		
6-20		
9-23		

すべて許容荷重以下である。

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			

(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					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

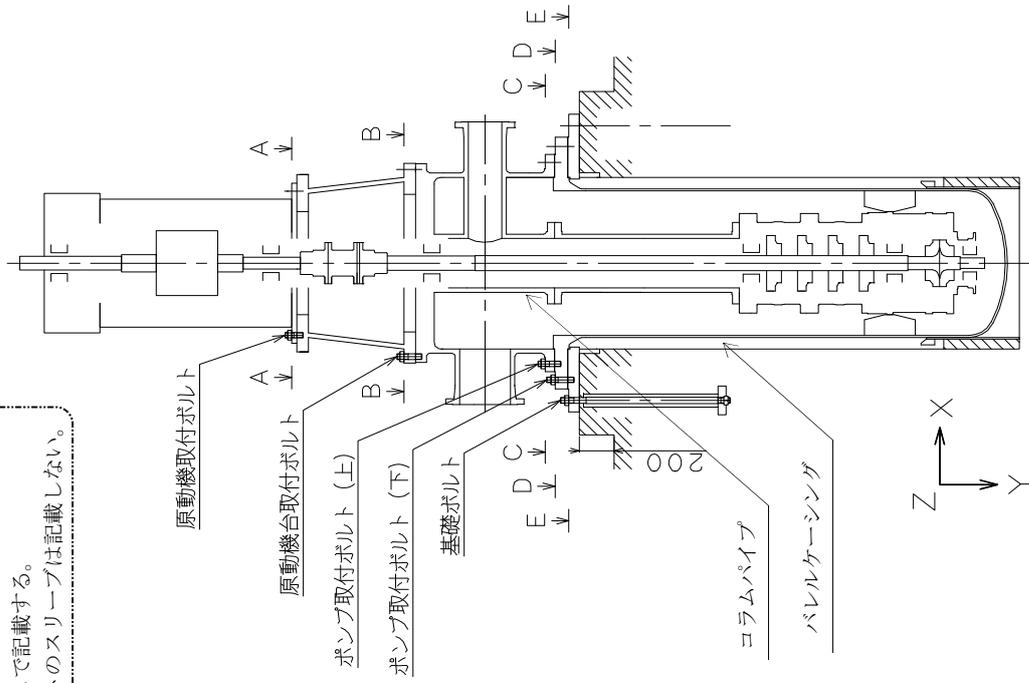
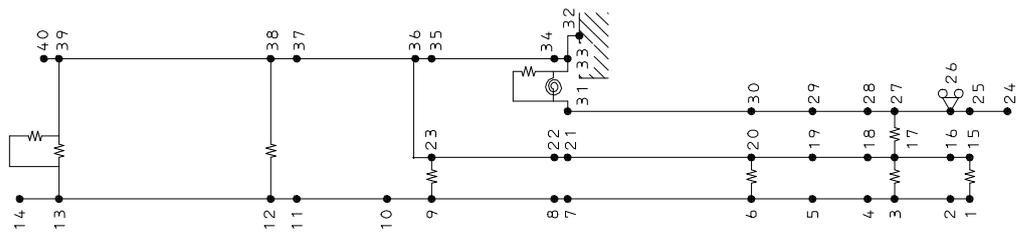
(4) 節点の付加質量

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

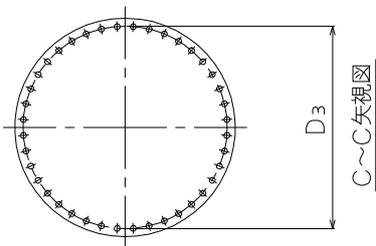
(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン 比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

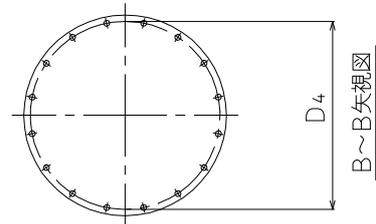
容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。
 なお、ボルトのスリーブは記載しない。



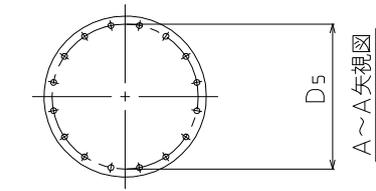
原動機取付ボルト (上)



原動機台取付ボルト

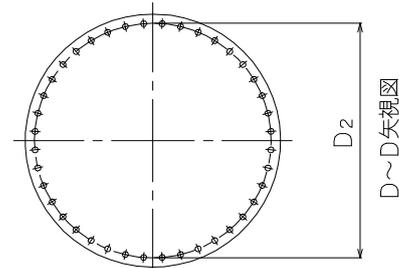
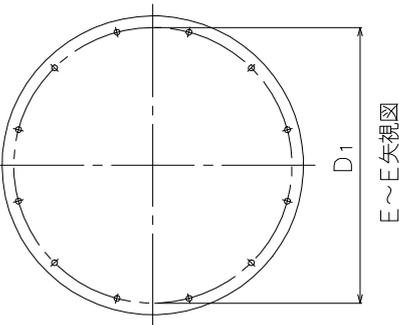


原動機取付ボルト



基礎ボルト

ポンプ取付ボルト (下)



説明用

V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 基本方針	6
4.2 固有振動数の算出方法	6
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 設計用地震力	8
5.3 計算方法	8
5.4 応力の評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 耐震計算書のフォーマット	21
7.1 直立形盤の耐震計算書のフォーマット	21
7.2 壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット	21

1. 概要

基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている盤（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない盤にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

盤の応力評価は、「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、「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、盤の機能維持評価は、

「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

盤の耐震評価フローを図2-1に示す。

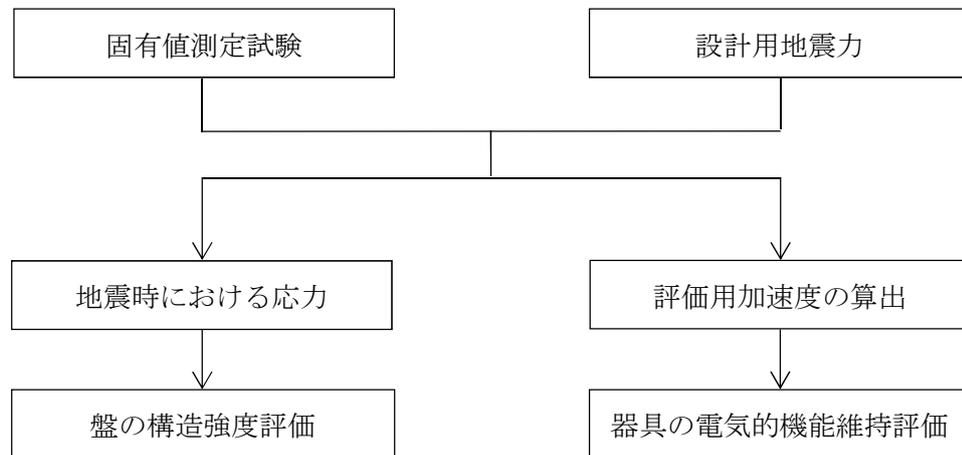


図2-1 盤の耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987 及び J E A G 4 6 0 1 —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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 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-3131に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* ¹	N
F_{bli}	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）* ¹	N
F_{b2i}	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）* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離* ³	mm
l_{1i}	重心を下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* ¹	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離* ³	mm
l_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* ¹	mm
l_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）* ¹	mm
m_i	運転時質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
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_{Vi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹ （鉛直方向）（壁掛形）	—
n_{Hi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹ （水平方向）（壁掛形）	—

記号	記号の説明	単位
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
Q_{bli}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*1	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*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°C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: $A_{bi}, d_i, F_i, F_i, F_{bi}, F_{bli}, F_{b2i}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, l_{1i}, l_{2i}, l_{3i}, n_i, n_{Vi}, n_{Hi}, Q_{bi}, Q_{bli}, Q_{b2i}, S_{ui}, S_{yi}, \sigma_{bi}$ 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

$i = 2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3: $l_1 \leq l_2$

2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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
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。

3. 評価部位

盤の耐震評価は「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評価を実施する。

固有周期を「スワイプ試験（加振試験）」にて求める場合の記載を示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

盤の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない盤については、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤に対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて、盤の応答を測定する。

4.1 基本方針

盤の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない盤については、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤に対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

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。

5. 構造強度評価

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。

5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 直立形の盤は取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。また、壁掛形の盤は取付ボルト及び基礎ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) 床面据付の盤の転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の**厳しい方**を記載する。壁掛形の盤については、図 5-2 概要図（壁掛形）における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の**厳しい方**を記載する。
- (5) 盤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) 設計用地震力は「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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「厳しい方」とは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

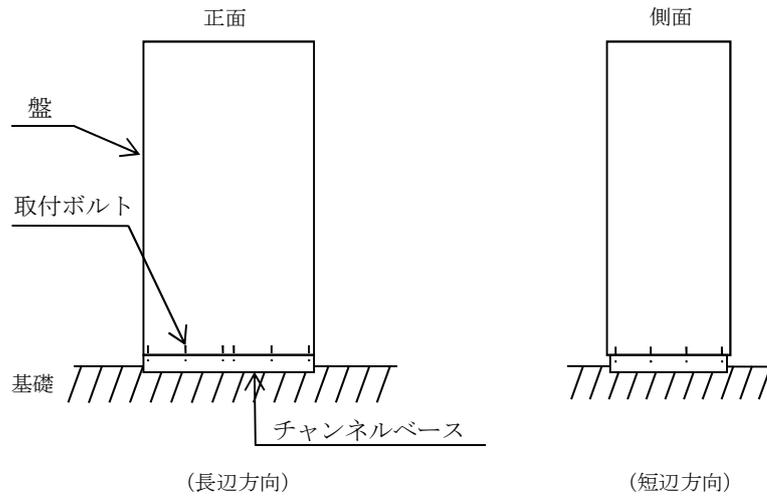


図 5-1 概要図 (直立形)

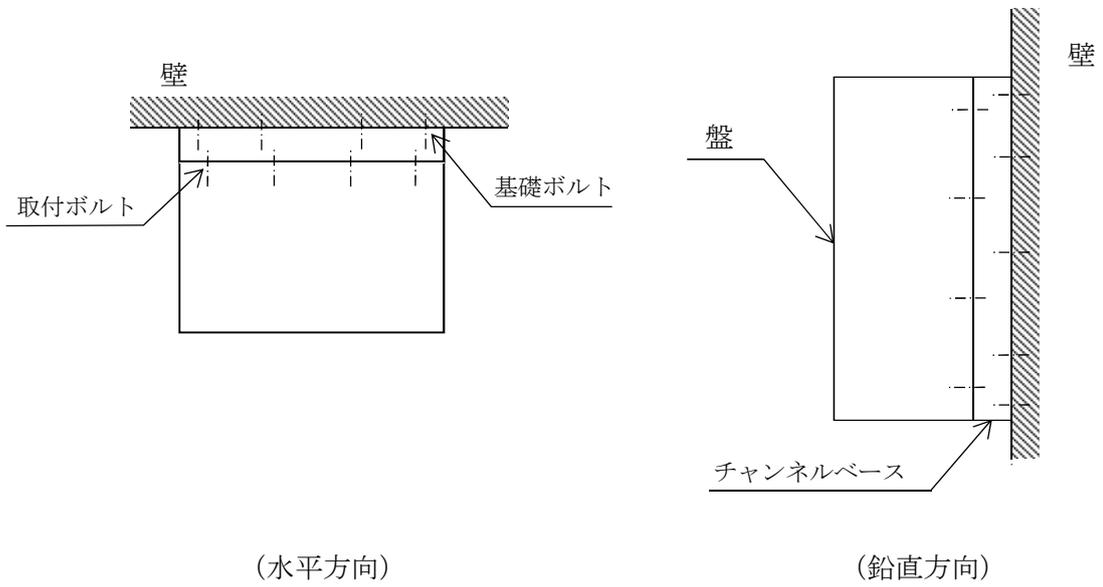


図 5-2 概要図 (壁掛形)

5.2 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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。なお、壁掛形の盤の設計用地震力については、設置床上階の設計用地震力を使用する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

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。

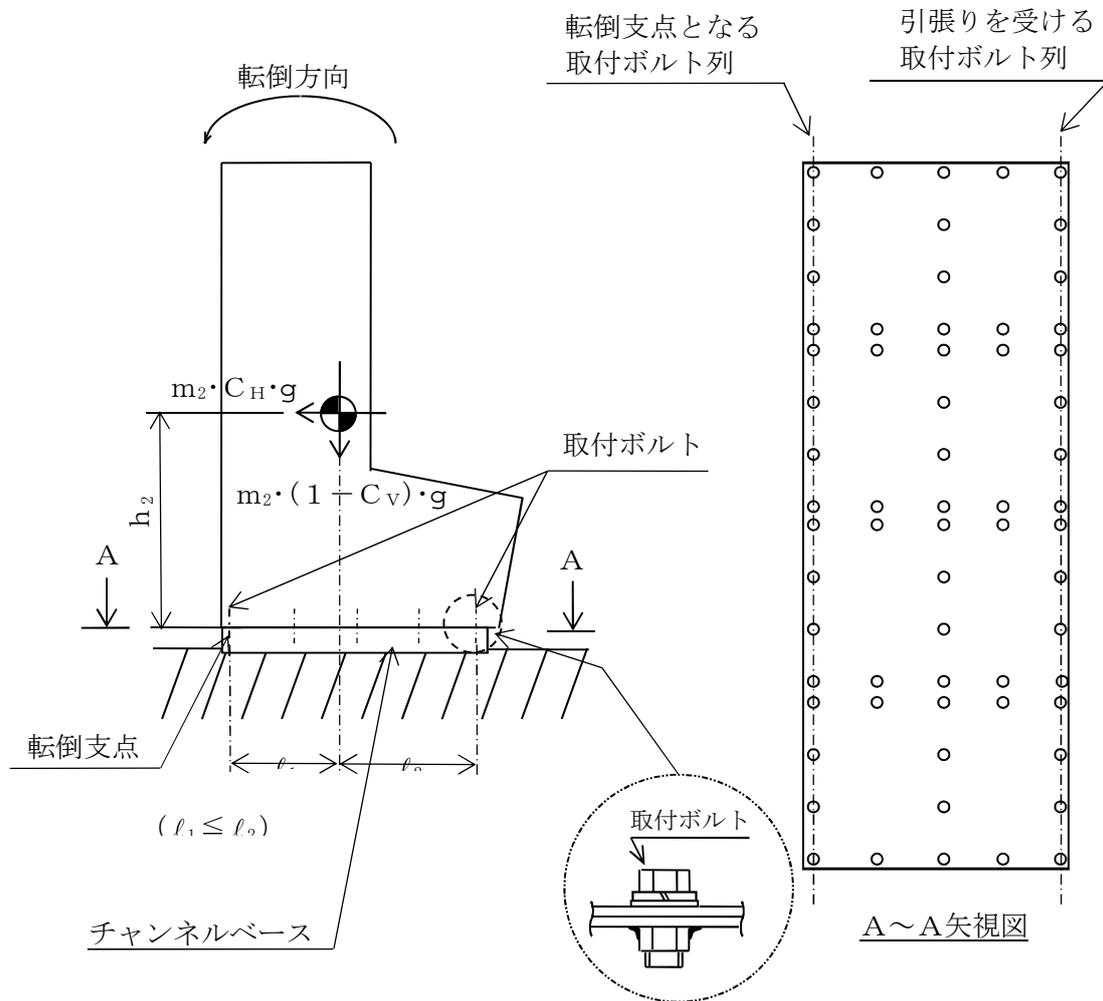


図5-3(1) 計算モデル
(ベンチ形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

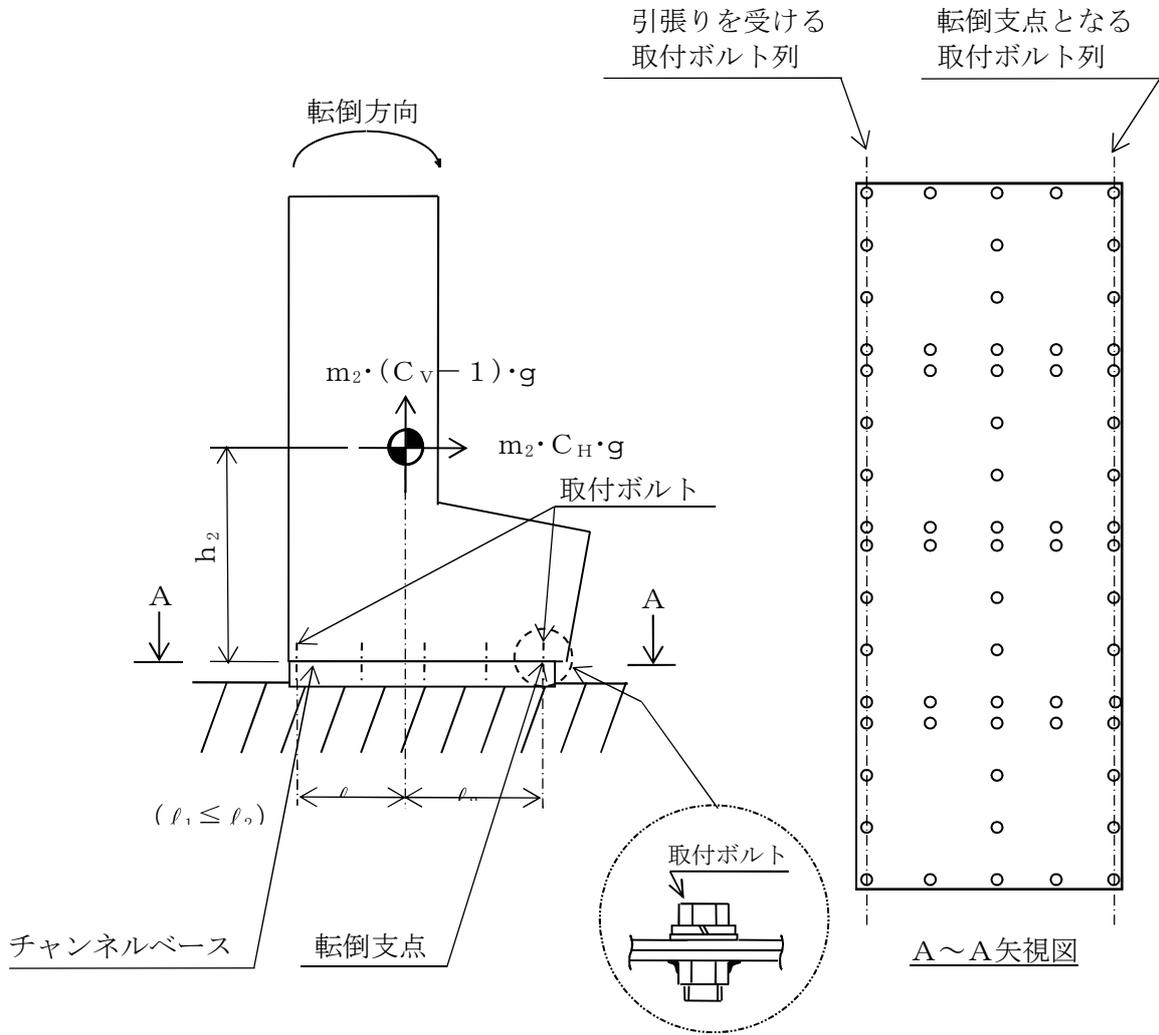


図5-3(2) 計算モデル
 (ベンチ形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

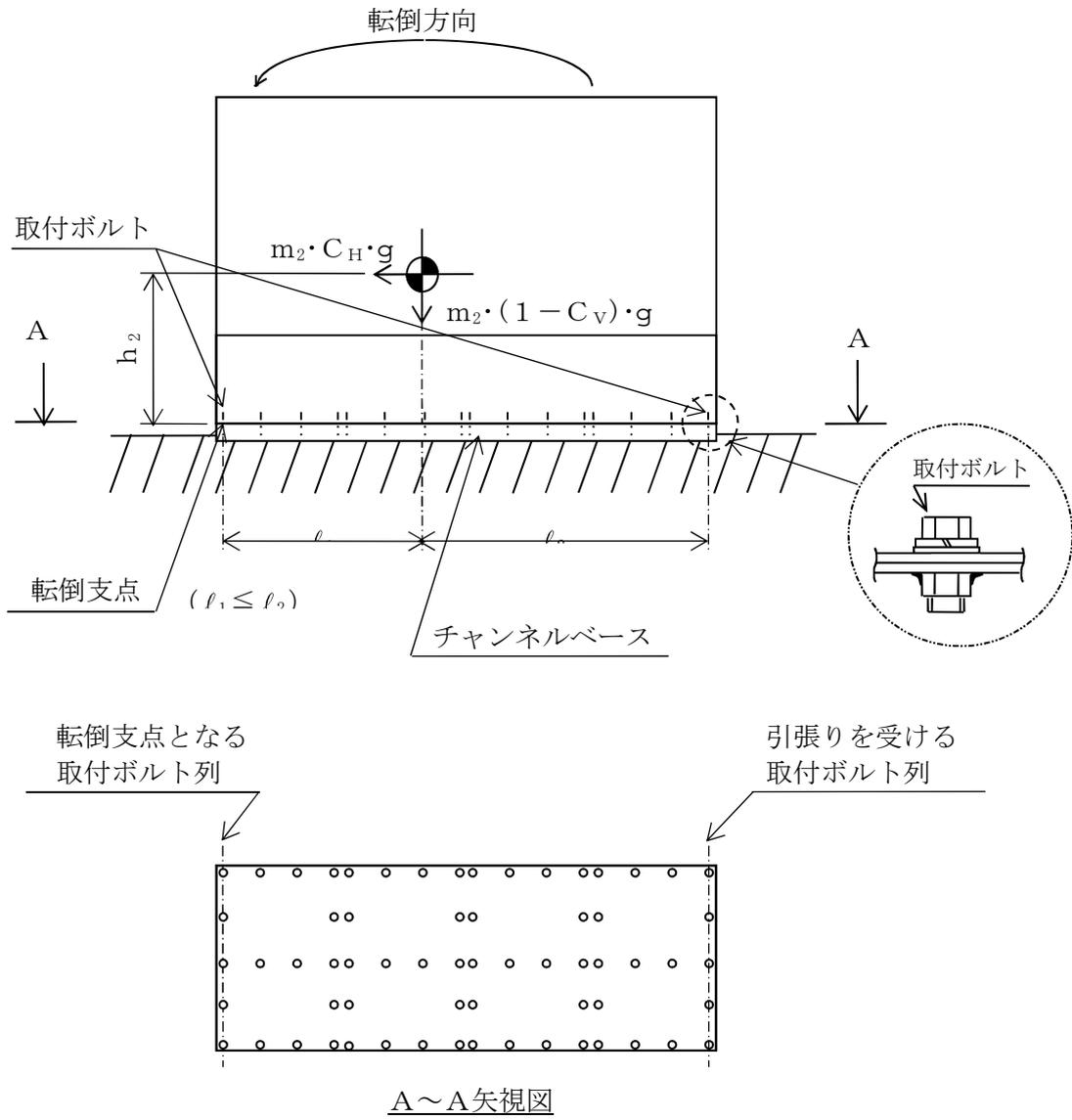


図5-3(3) 計算モデル
 (ベンチ形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

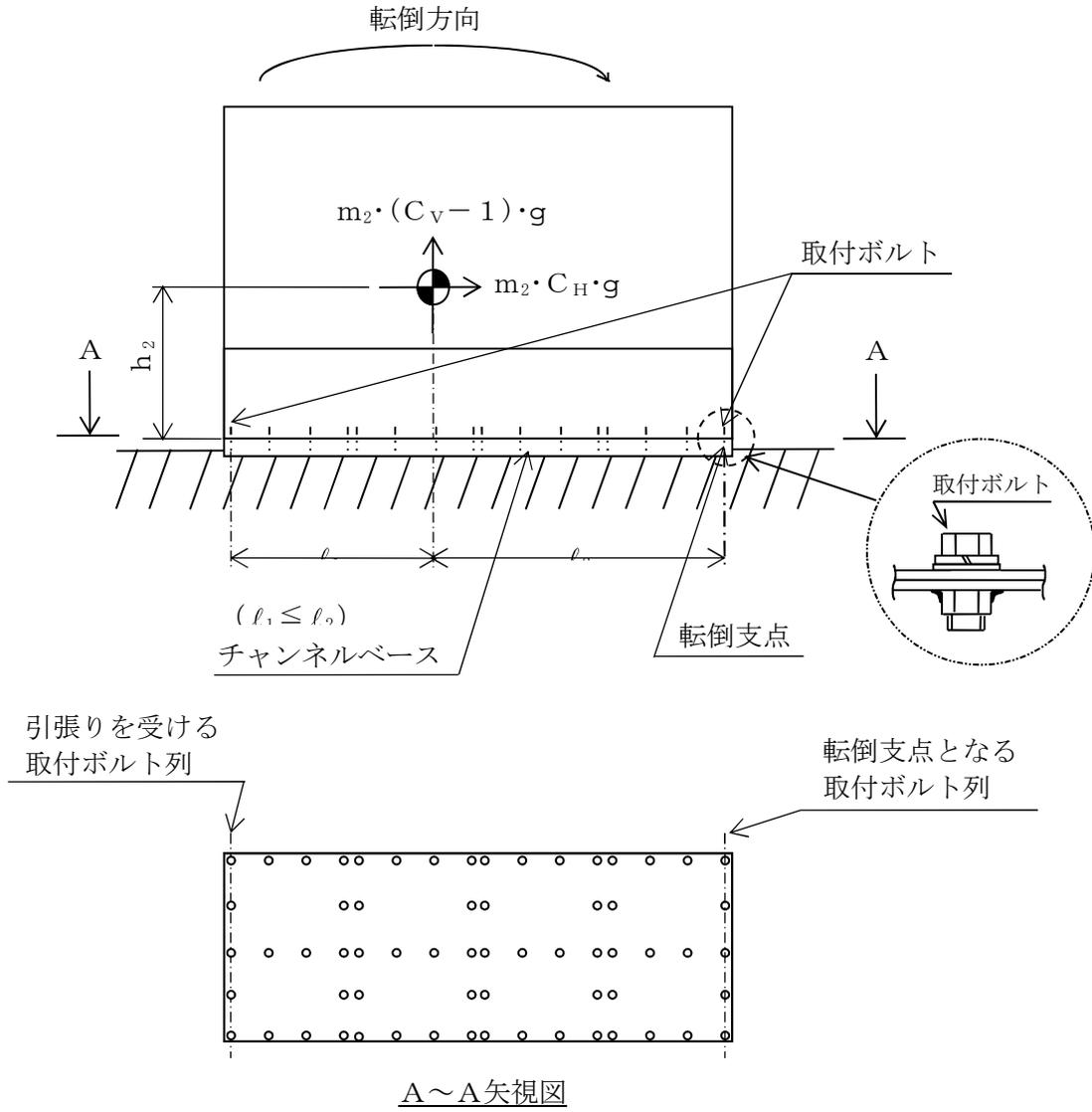


図5-3(4) 計算モデル
(ベンチ形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

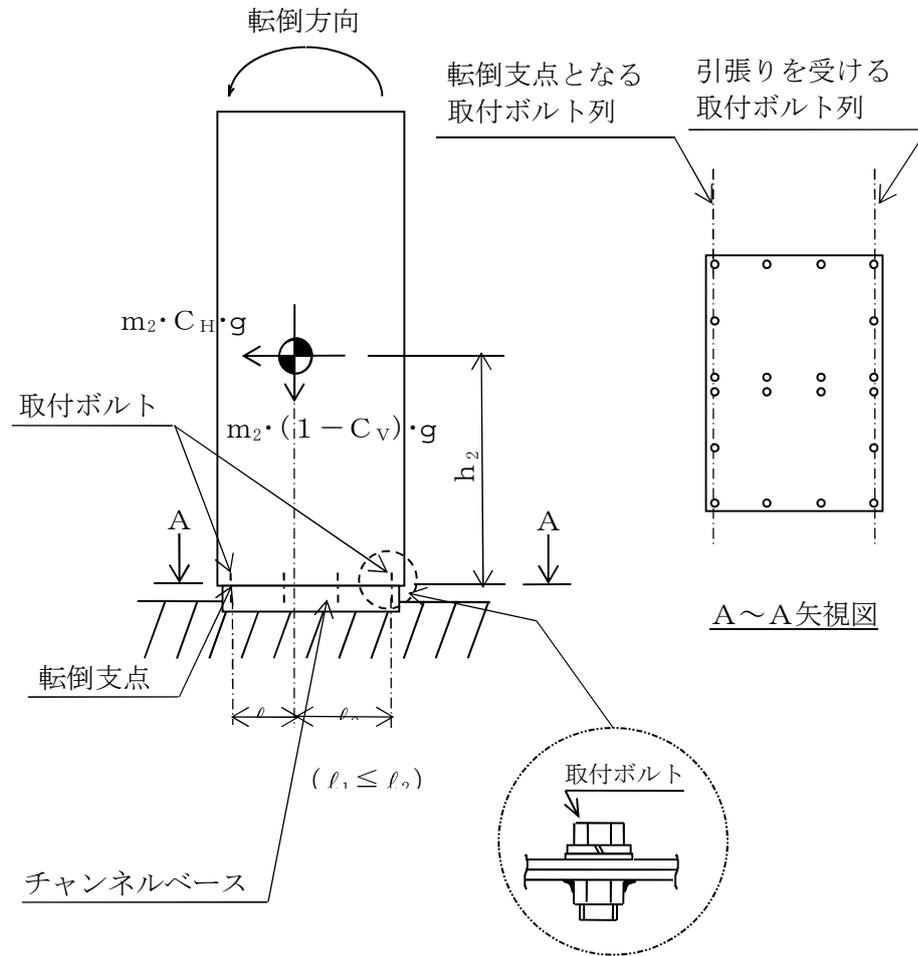


図5-4(1) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

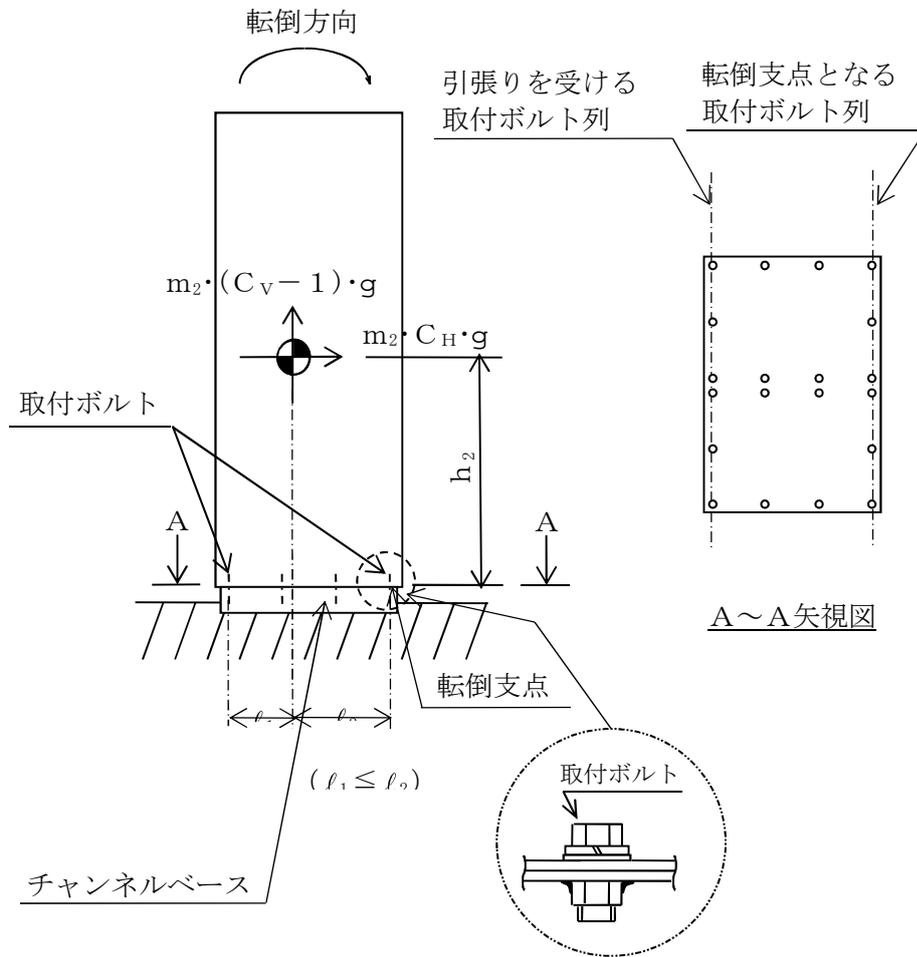


図5-4(2) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

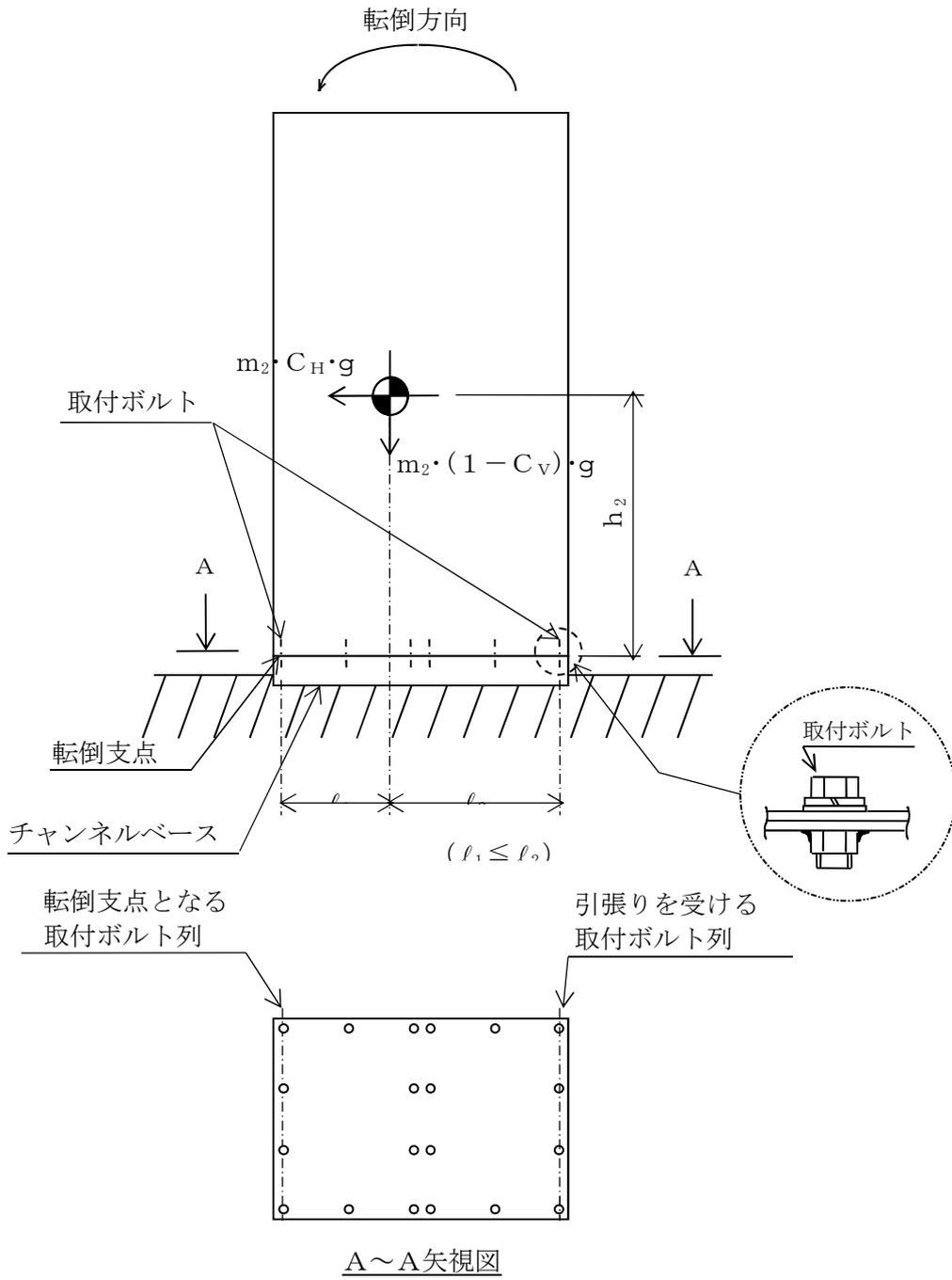


図5-4(3) 計算モデル
(直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

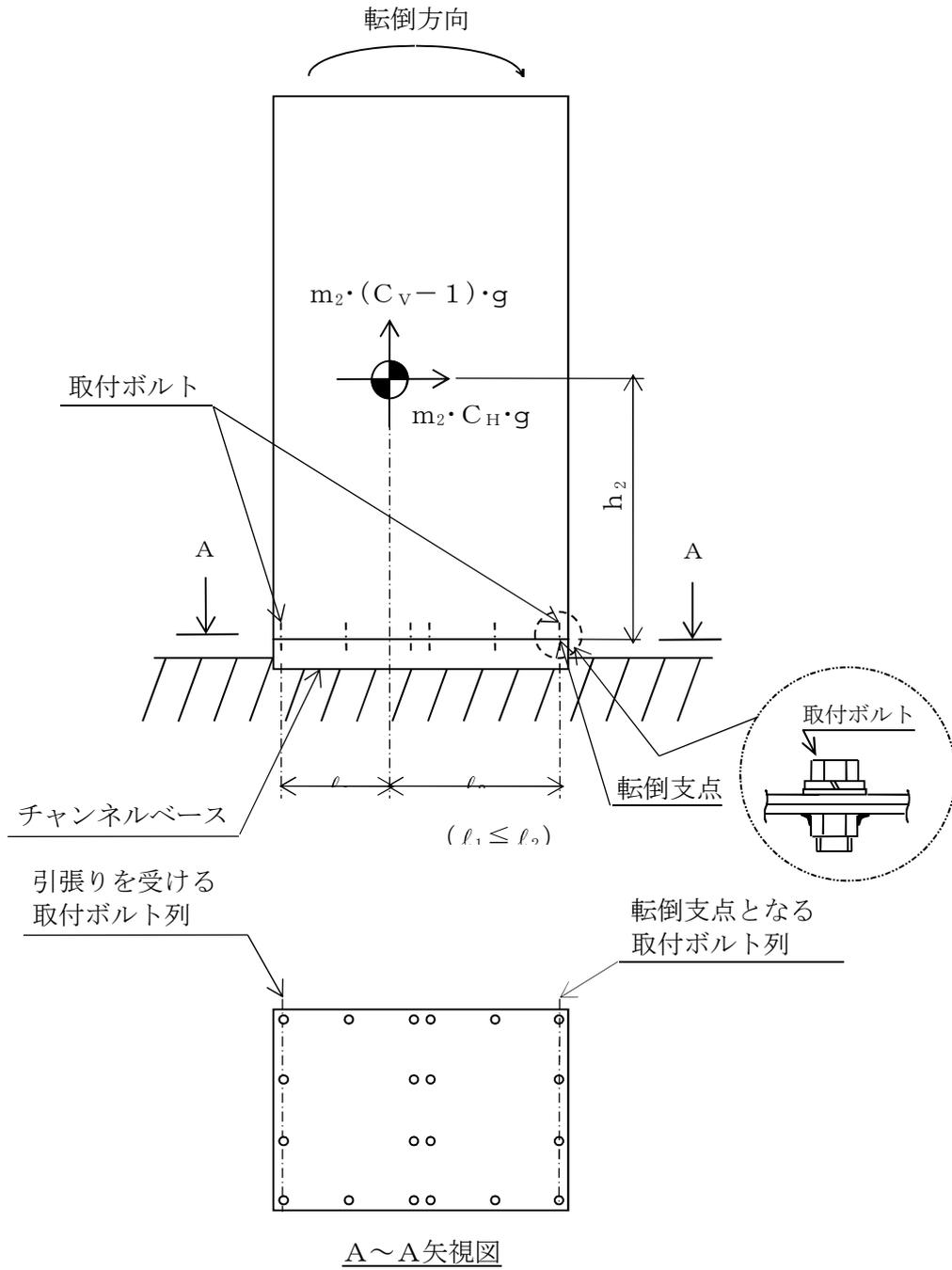


図5-4(4) 計算モデル
 (直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

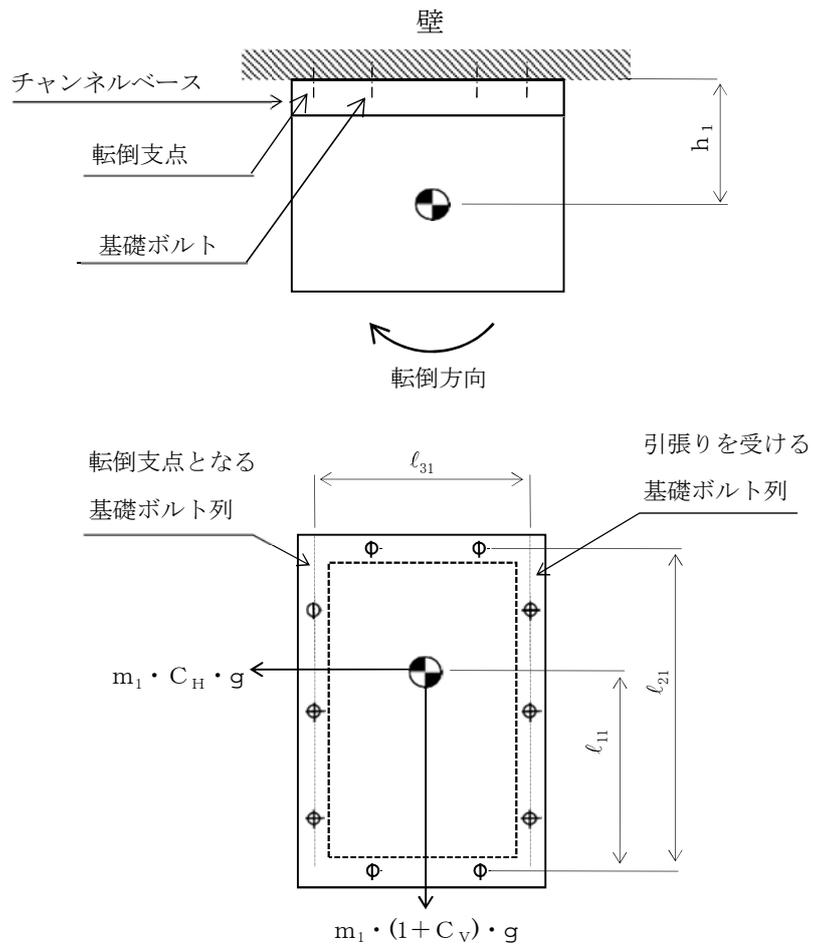


図5-5(1) 計算モデル (壁掛形 水平方向転倒の場合)

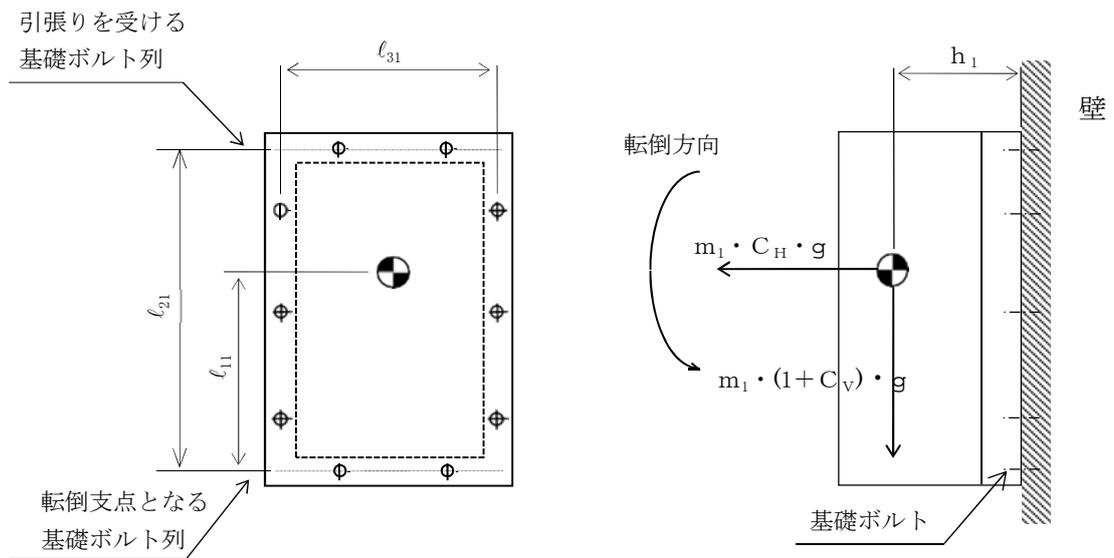


図5-5(2) 計算モデル (壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

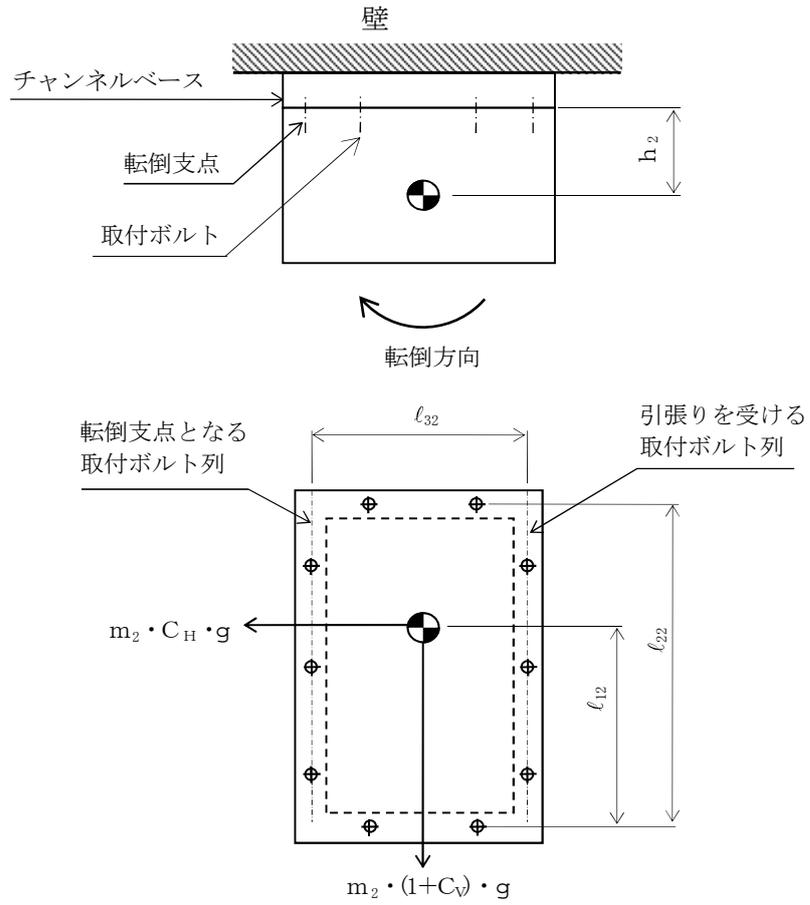


図5-5(3)計算モデル（壁掛形 水平方向転倒の場合）

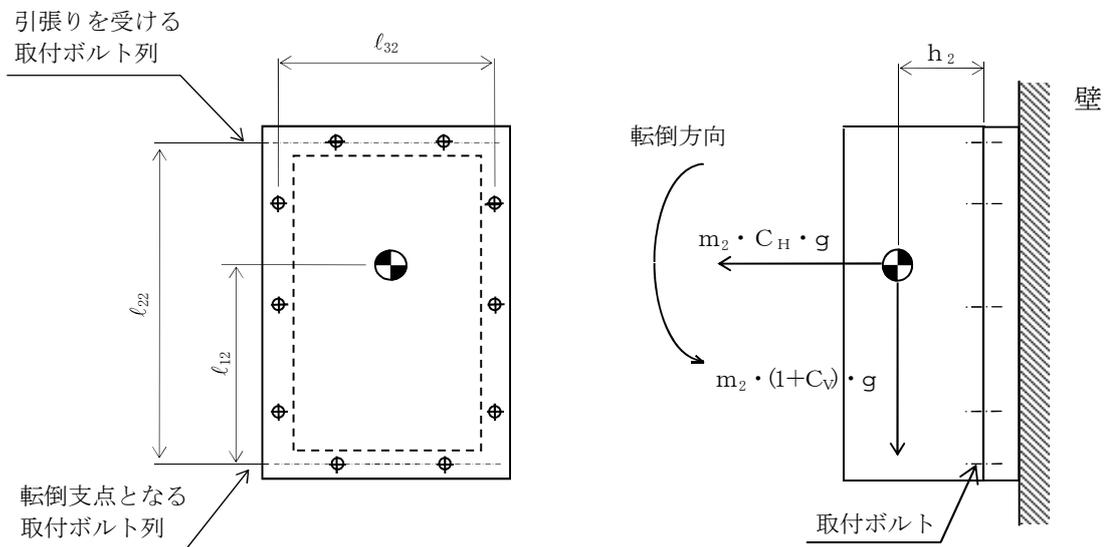


図5-5(4)計算モデル（壁掛形 鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

基礎ボルト及び取付ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-3、図5-4及び図5-5で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_{bi})

計算モデル図5-3(1), 5-3(3), 5-4(1), 5-4(3)の場合の引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot l_1 \cdot g}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-3(2), 5-3(4), 5-4(2), 5-4(4)の場合の引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot l_2 \cdot g}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-5(1), 5-5(2), 5-5(3)及び5-5(4)の場合の引張力

$$F_{bli} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g}{n_{fVi} \cdot l_{2i}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fHi} \cdot l_{3i}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$F_{b2i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot l_{1i} \cdot g}{n_{fVi} \cdot l_{2i}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$F_{bi} = \text{M a x} (F_{bli}, F_{b2i}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

引張応力 (σ_{bi})

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

ここで、基礎ボルト及び取付ボルトの軸断面積A_{bi}は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

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

(2) せん断応力

基礎ボルト及び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

a. ベンチ形，直立形の場合

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

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

	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}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

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。

機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形盤の耐震計算書のフォーマット

直立形盤の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット

壁掛形盤の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【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

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 (°C)
		水平方向	鉛直方向	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	水平方向設計震度	
		建屋*						C _H =	C _V =	C _H =	C _V =
		EL.									

注記 *：基準床レベルを示す。

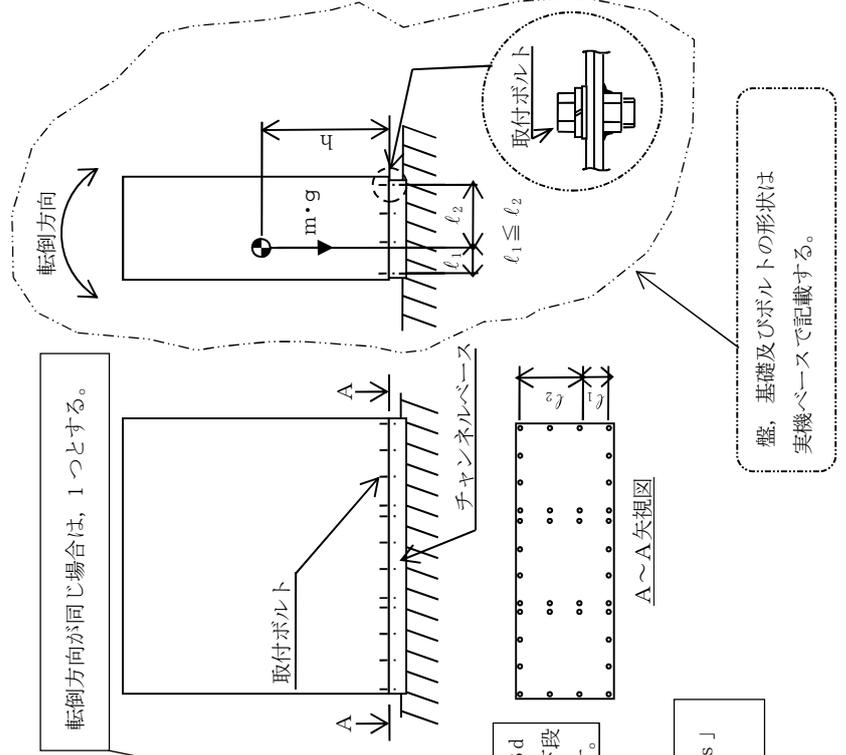
1.2 機器要目

部材	m ₂ (kg)	h ₂ (mm)	φ ₁ * (mm)	φ ₂ * (mm)	A _{1/2} (mm ²)	n ₂	n _f *	ボルト径を記載する。	
取付ボルト					(M)				
部材	S _{y2} (MPa)	S _{u2} (MPa)	F ₂ (MPa)	F ₂ * (MPa)	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		
取付ボルト									

注記 *：取付ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動 S_s に対する評価時の要目を示す。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」と「基準地震動 S_s」で転倒方向が異なる場合は本注記*を追加する。



転倒方向が同じ場合は、1つとする。

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。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b2}		Q _{b2}	
	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
取付ボルト				

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
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。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

電氣的機能の評価結果		評価用加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	C _H =	
EL.		建屋*			-					

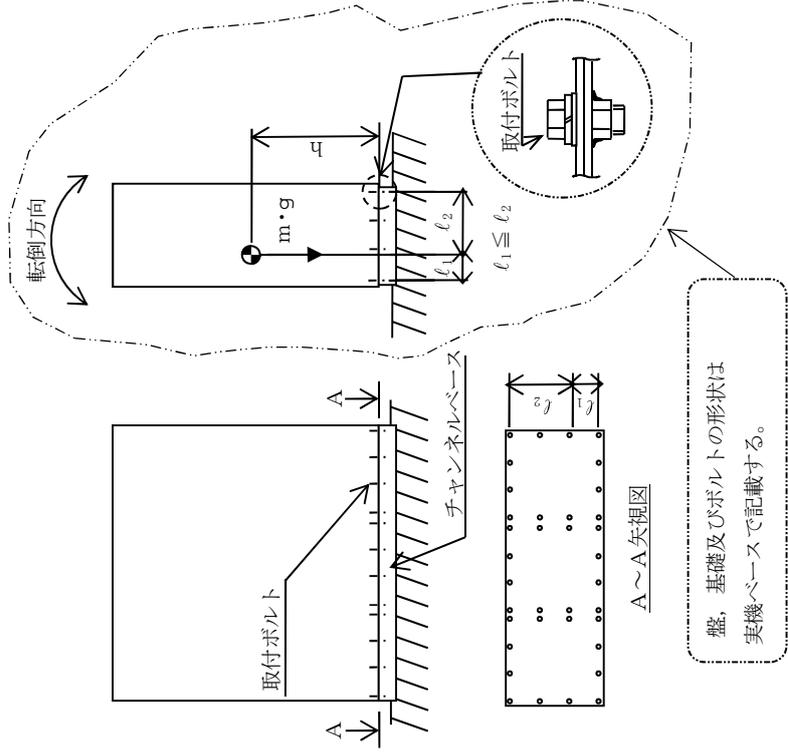
注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m ₂ (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _{1/2} (mm ²)	n ₂	n _f
取付ボルト					(M)		ボルト径を記載する。

部材	S _{y2} (MPa)	S _{1/2} (MPa)	F ₂ (MPa)	F ₂ [*] (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
取付ボルト			-			

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。



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。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{b2}		Q _{b2}	
	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
取付ボルト	—		—	

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
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。

2.4.2 電氣的機能の評価結果 (単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	
		機能確認済加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度すべて機能確認済加速度以下である。

【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

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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. (FL. *1 *2)			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の盤なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

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	n _{Ni}	n _{phi}
基礎ボルト (i=1)						(M)			
取付ボルト (i=2)						(M)			

ボルト径を記載する。

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
					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)						

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。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

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)				

(単位：N)

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

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	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

【重大事故等対処設備単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。
ただし、章番を1とする。

【ソフトウェア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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
建物 EL (EL *1 *2)					—	—	C _H =	C _V =	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の盤なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

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	n _{Ni}	n _{Hi}
基礎ボルト (i=1)						(M)			
取付ボルト (i=2)						(M)			ボルト径を記載する。

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
					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)			—		—	

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。

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}

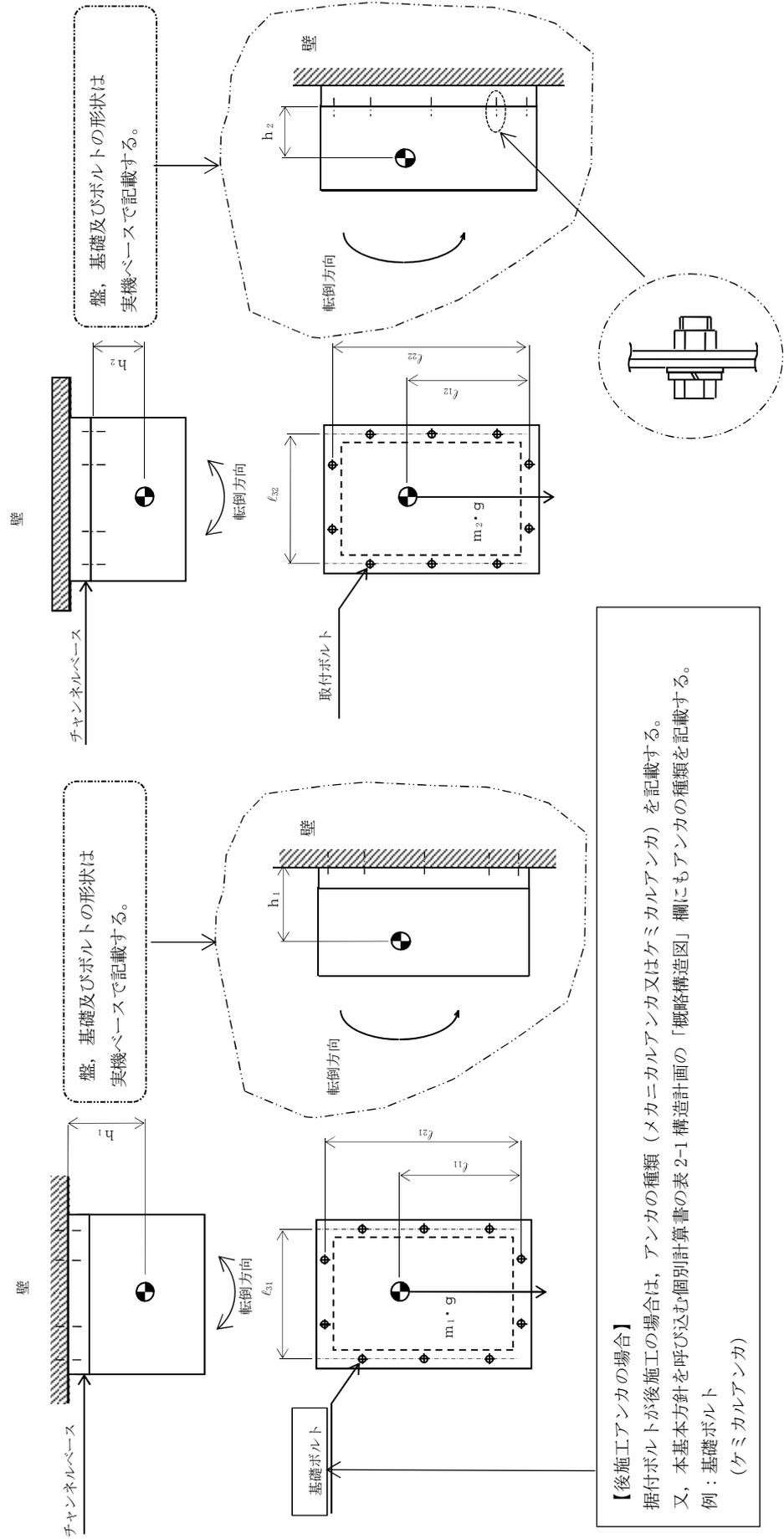
すべて許容応力以下である。

2.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



説明用

V-2-1-14-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 基本方針	6
4.2 固有振動数の算出方法	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 設計用地震力	8
5.3 計算方法	9
5.4 応力の評価	14
6. 機能維持評価	15
6.1 電氣的機能維持評価方法	15
7. 耐震計算書のフォーマット	15
7.1 直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	15
7.2 壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	15

1. 概要

基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計装ラック（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない計装ラックにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計装ラックの応力評価は、「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、「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、計装ラックの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計装ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

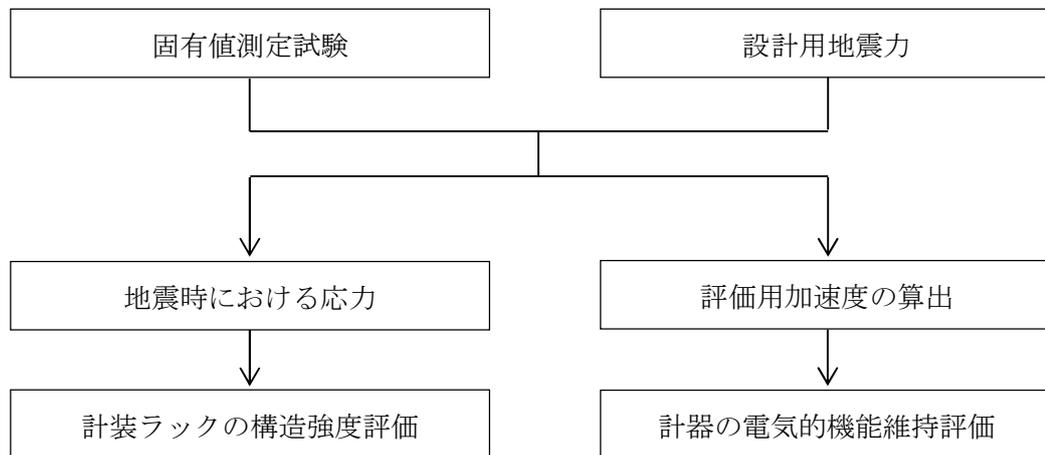


図 2-1 直立形計装ラックの耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987 及び J E A G 4 6 0 1 —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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 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本あたり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛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本あたり) (壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛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本あたり) (壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_{12}	重心を下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形)	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_{22}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形)	mm
l_{32}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 (壁掛形)	mm
m	計装ラックの質量	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 (鉛直方向) (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 (水平方向) (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
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

記号	記号の説明	単位
S_y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°C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 * : $l_1 \leq l_2$

2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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
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。

3. 評価部位

計装ラックの耐震評価は「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取付ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

固有周期を「スワイプ試験（加振試験）」にて求める場合の記載を示す。

4.1 基本方針

計装ラックの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない計装ラックについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて、計装ラックの応答を測定する。

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

計装ラックの固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない計装ラックについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

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。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計装ラックの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計装ラックに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 直立形の計装ラックは取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
また、壁掛形の計装ラックは取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) 床面据付の計装ラックの転倒方向は、図5-1 概要図（直立形）における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。壁掛形の計装ラックについては、図5-2 概要図（壁掛形）における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 計装ラック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) 設計用地震力は「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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「厳しい」とは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

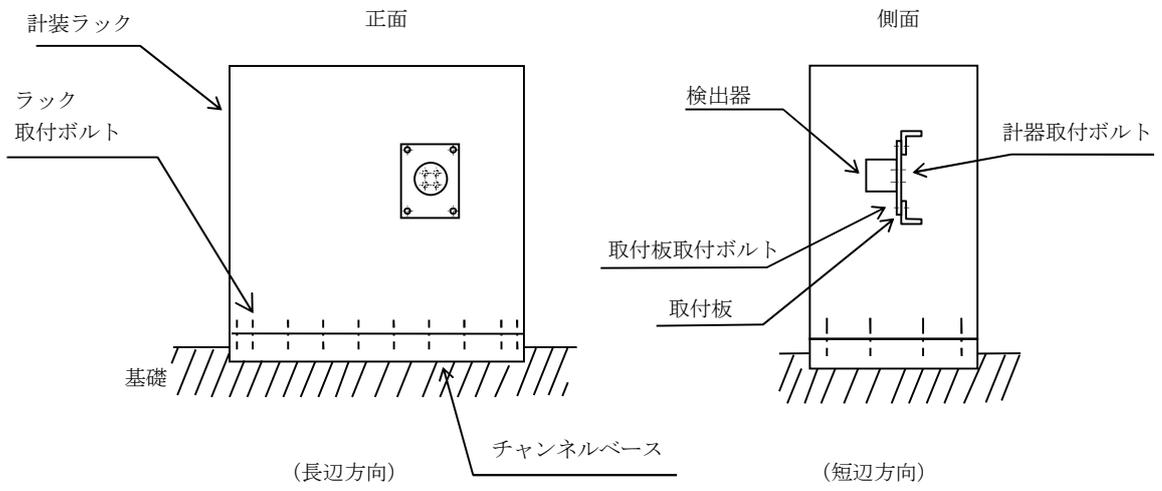


図 5-1 概要図 (直立形)

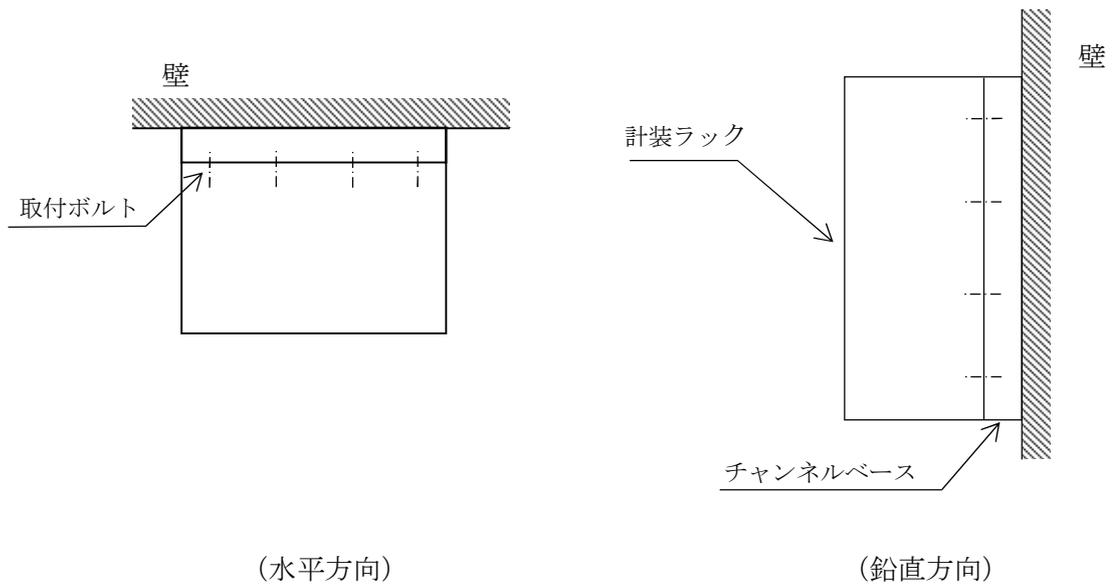


図 5-2 概要図 (壁掛形)

5.2 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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

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。

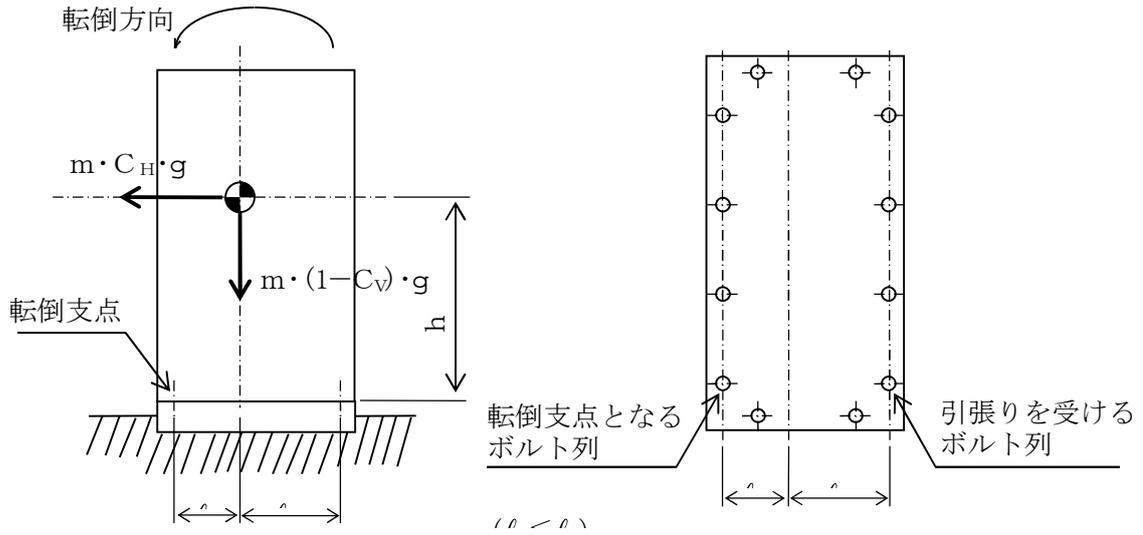


図5-2(1) 計算モデル

(短辺方向転倒-1 ($1 - C_V \geq 0$ の場合))

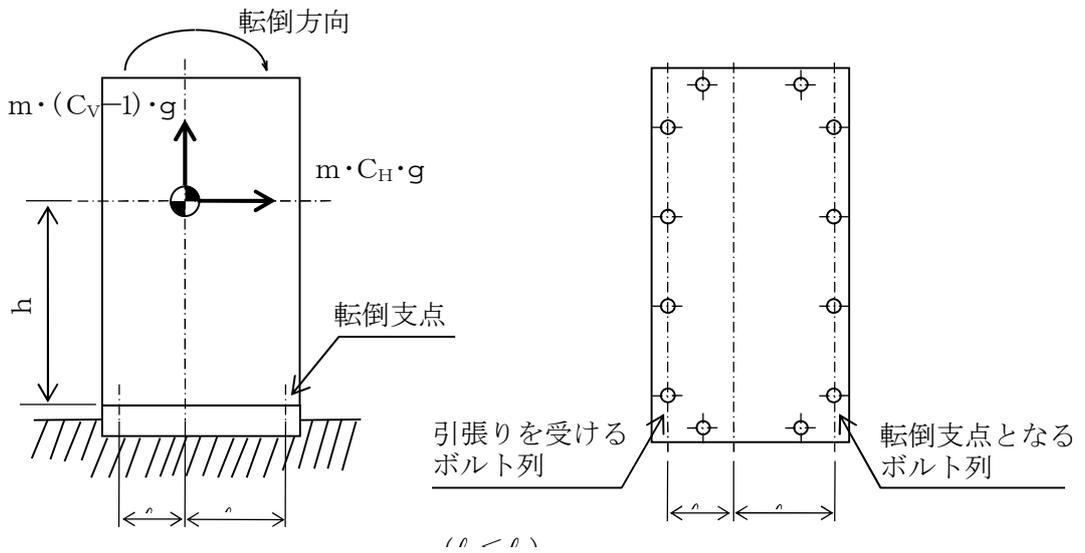


図5-2(2) 計算モデル

(短辺方向転倒-2 ($1 - C_V < 0$ の場合))

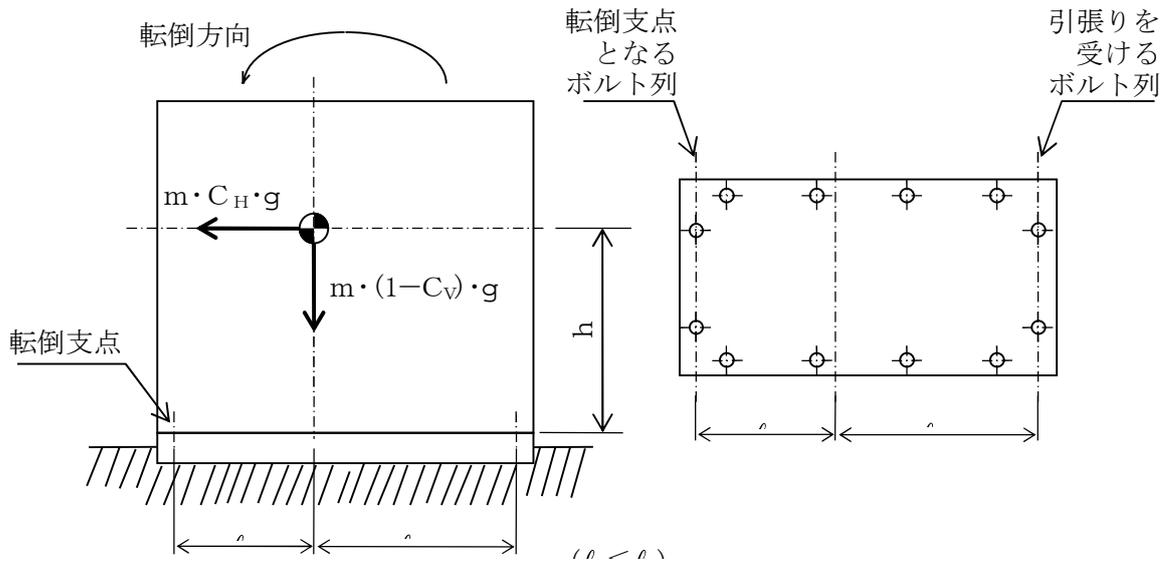


図5-3(1) 計算モデル
(長辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

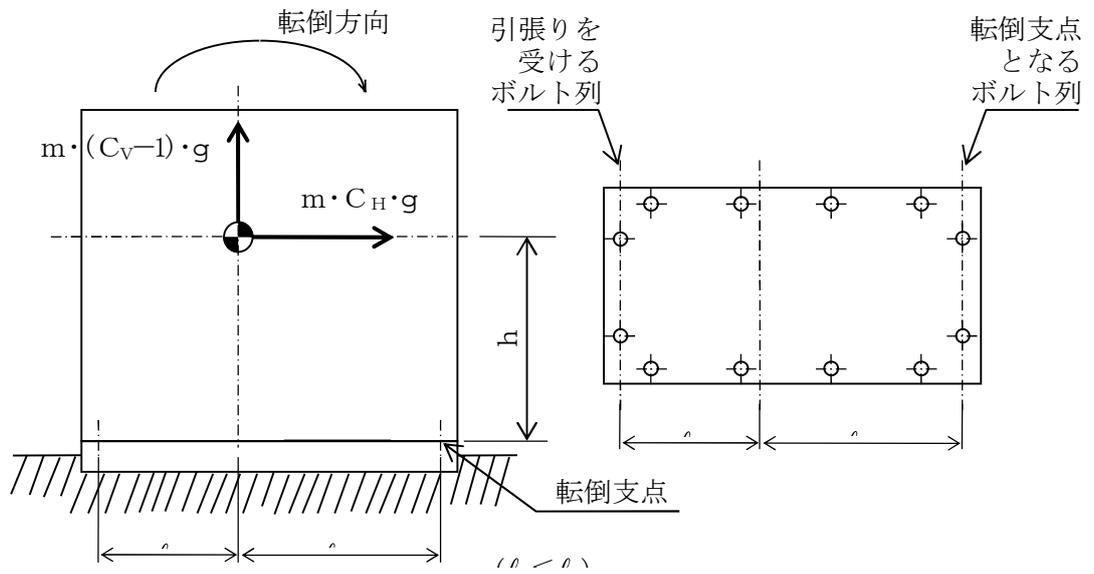


図5-3(2) 計算モデル
(長辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

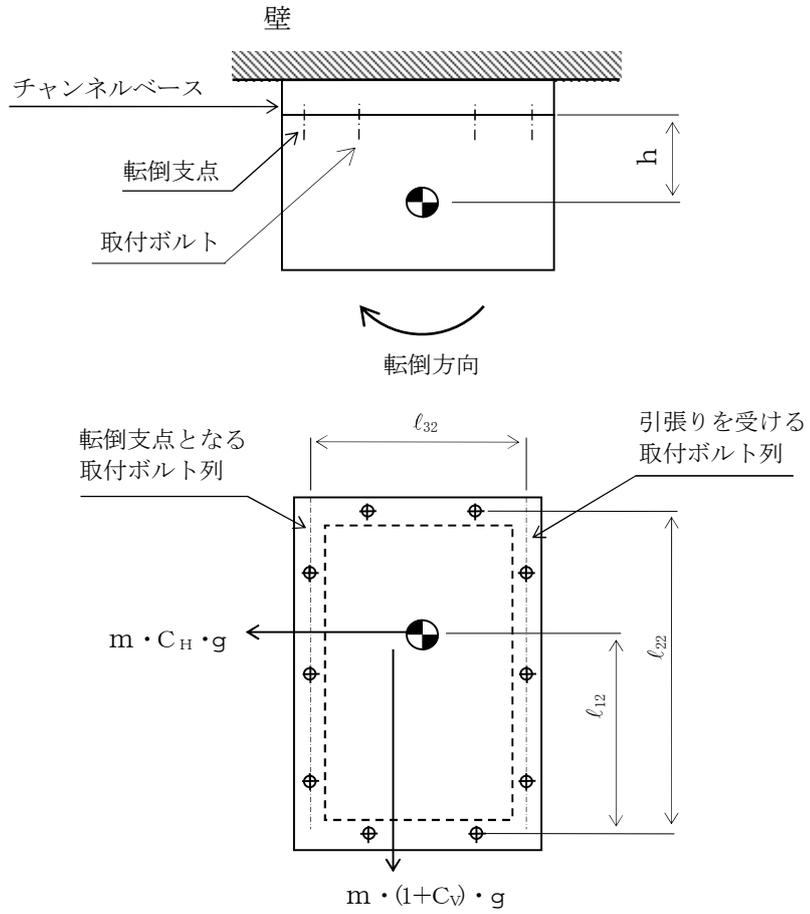


図 5-4(1) 計算モデル (壁掛形 水平方向転倒の場合)

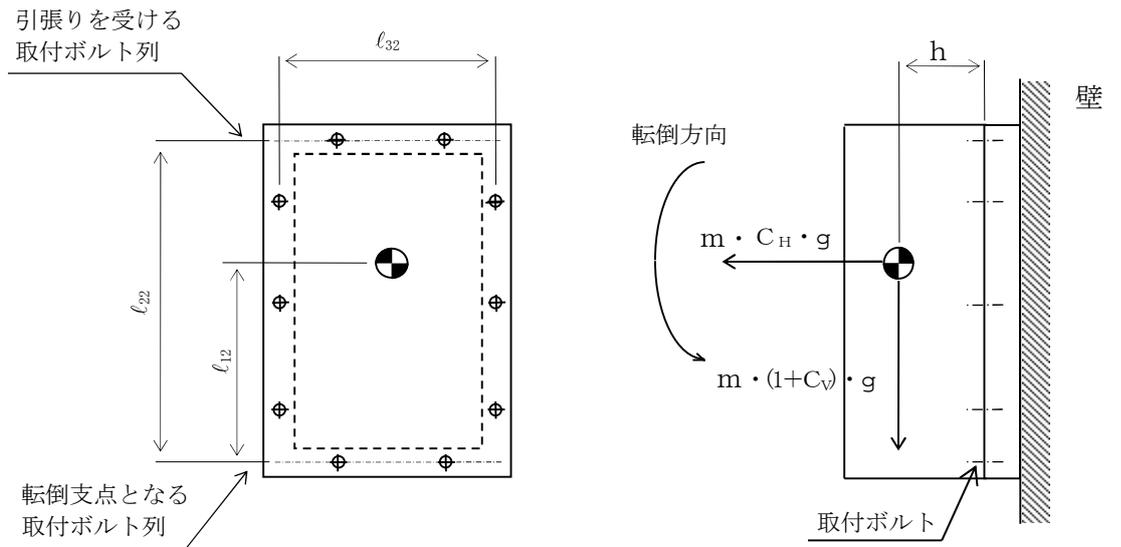


図 5-4(2) 計算モデル (壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-2、図5-3及び図5-4で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図5-2(1)及び図5-3(1)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-2(2)及び図5-3(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-4(1)及び図5-4(2)の場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot l_{22}} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot l_{32}} \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot l_{12} \cdot g}{n_{fV} \cdot l_{22}} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

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

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1.1項で求めたボルトの引張応力 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

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

	弾性設計用地震動 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 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

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。

機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【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】

【○○計器ラック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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
		建屋 * EL.			C _{ii} =	C _v =	C _{ii} =	C _v =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

計器ラック番号

1.2 機器要目

1.2.1 ○○計器ラック(○○○○)

部	材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト			*1	(M)			

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

部	材	φ _r *2 (mm)	φ _s *2 (mm)	n _r *2	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
ラック取付ボルト		*1	*1					

転倒方向が同じときは、1つにする。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

注記 *1 : 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2 : 取付ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動 S_s に対する評価時の要目を示す。

計器ラック番号

1.3 計算数値

1.3.1 ○○計器ラック(○○○○)に作用する力

部	材	F _b	Q _b
ラック取付ボルト		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度
		基準地震動 S _s	基準地震動 S _s

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」と「基準地震動 S_s」で転倒方向が異なる場合は本注記*2を追加する。

1.4 結論

1.4.1 ○○計器ラック(○○○○)の応力

計器ラック番号

(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
ラック取付ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能の評価結果

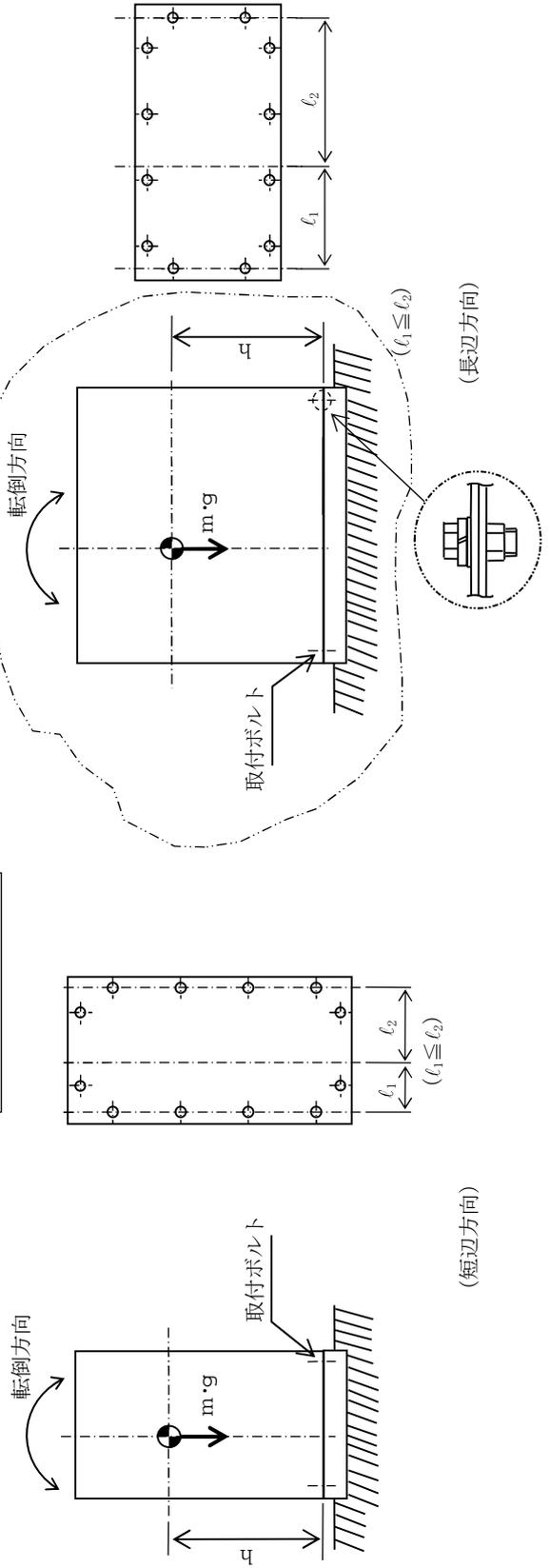
(単位: $\times 9.8m/s^2$)

計器名称 (計器番号)	評価用加速度	機能確認済加速度
○○(○○○)	水平方向	
	鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

ラック、基礎及びボルトの形状は実機ベースで記載する。



(短辺方向)

(長辺方向)

【重大事故等対処設備単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。
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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		EL. * 建屋				—		C _H =	C _V =

注記 *：基準床レベルを示す。

計器ラック番号

2.2 機器要目

2.2.1 ○○計器ラック(○○○○○)

部材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト		*	(M)			

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

部材	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n _r	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
ラック取付ボルト	*	*		—			

注記 *：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

計器ラック番号

2.3 計算数値

2.3.1 ○○計器ラック(○○○○○)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
ラック取付ボルト	—		—	

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

2.4 結論

計器ラック番号

2.4.1 ○○計器ラック(○○○○)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
ラック取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能の評価結果

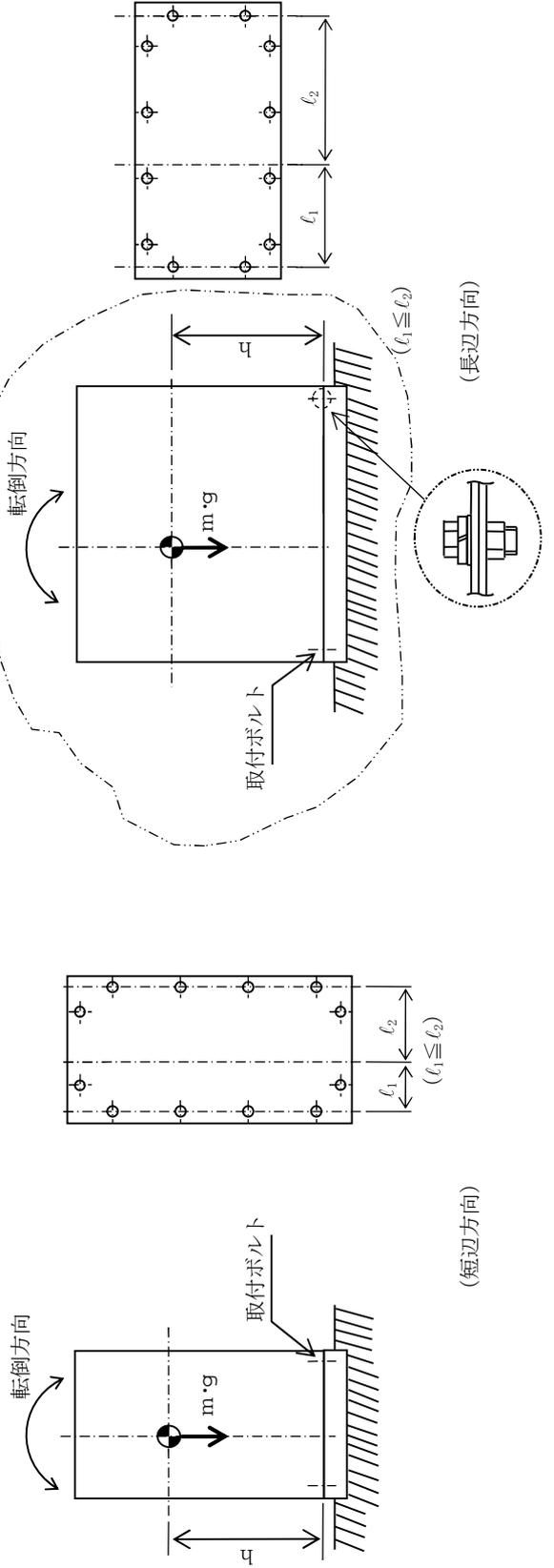
(単位: ×9.8m/s²)

計器名称 (計器番号)	評価用加速度	機能確認済加速度
○○(○○○)	水平方向	
	鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

ラック、基礎及びボルトの形状は実機ベースで記載する。



説明用

V-2-1-14-9 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

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 固有周期	5
4.1 基本方針	5
4.2 固有振動数の算出方法	5
5. 構造強度評価	5
5.1 構造強度評価方法	5
5.2 設計用地震力	7
5.3 計算方法	7
5.4 応力の評価	13
6. 機能維持評価	14
6.1 電氣的機能維持評価方法	14
7. 耐震計算書のフォーマット	14
7.1 直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	14
7.2 壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	14

1. 概要

基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計器スタンション（耐震重要度分類Sクラス又はS s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない計器スタンションにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計器スタンションの応力評価は、「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、「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、計器スタンションの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計器スタンションの耐震評価フローを図2-1に示す。

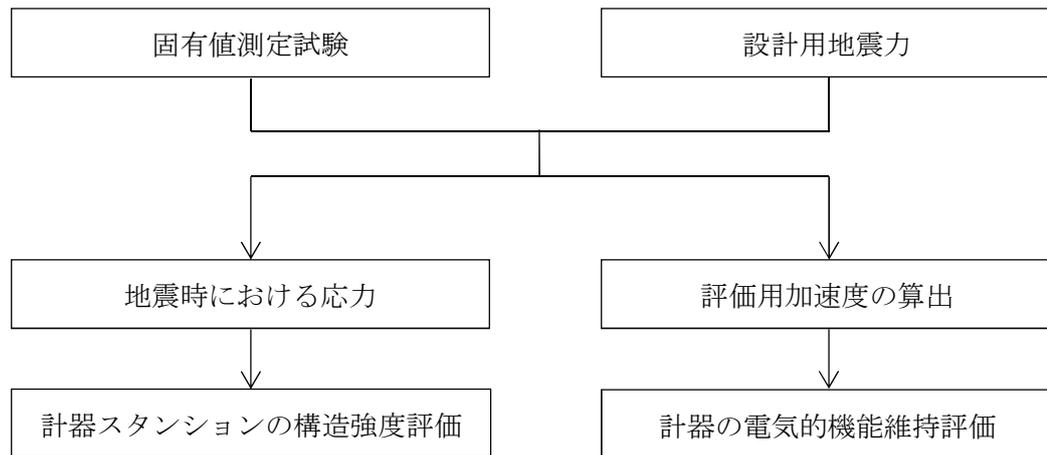


図2-1 計器スタンションの耐震評価フロー

2.2 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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1—1987 及び J E A G 4 6 0 1—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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 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本あたり)	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本あたり) (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本あたり) (壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離(壁掛形)	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(側面方向転倒)(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(平面方向転倒)(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 Part 5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表8に定める材料の 40°C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 * : $l_1 \leq l_2$

2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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	°C	—	—	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第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*² : 絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

計器スタンションの耐震評価は「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評価を実施する。

固有周期を「スワイプ試験（加振試験）」にて求める場合の記載を示す。

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。なお、振動試験が行われていない計器スタンションについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて、計器スタンションの応答を測定する。

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。なお、振動試験が行われていない計器スタンションについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

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。

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。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは基礎ボルトで床面及び壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）における正面方向及び側面方向並びに図 5-2 概要図（壁掛形）における平面方向及び側面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。
- (5) 計器スタンション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) 設計用地震力は「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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「厳しい方」とは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

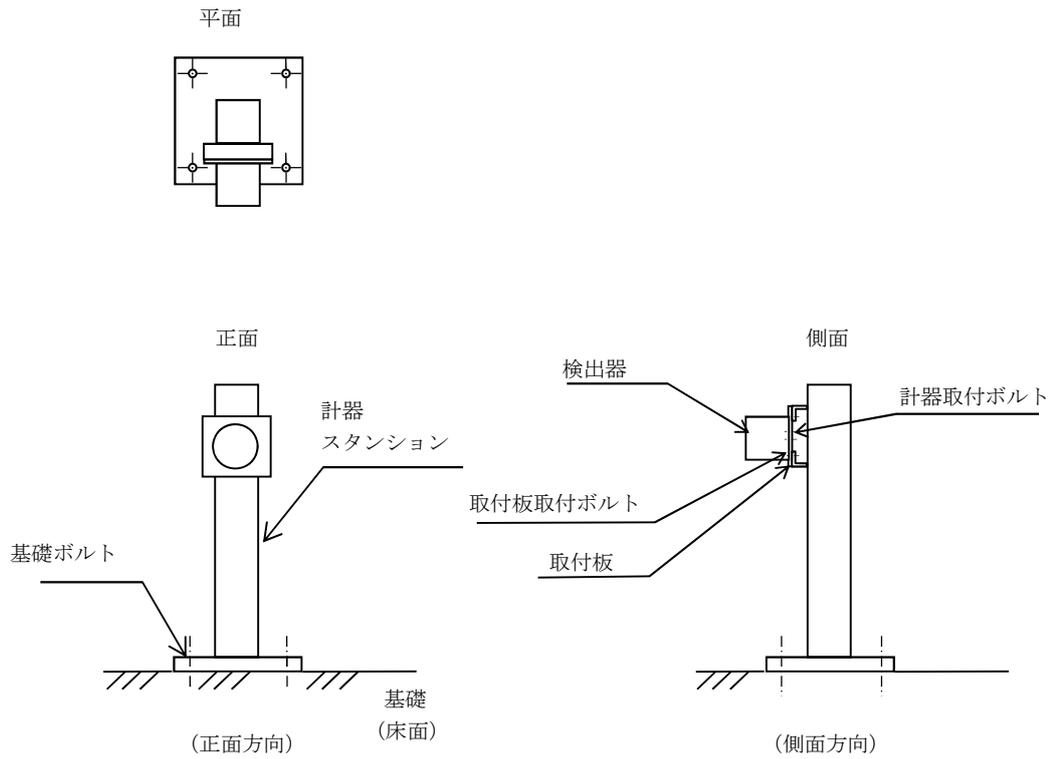


図 5-1 概要図(直立形)

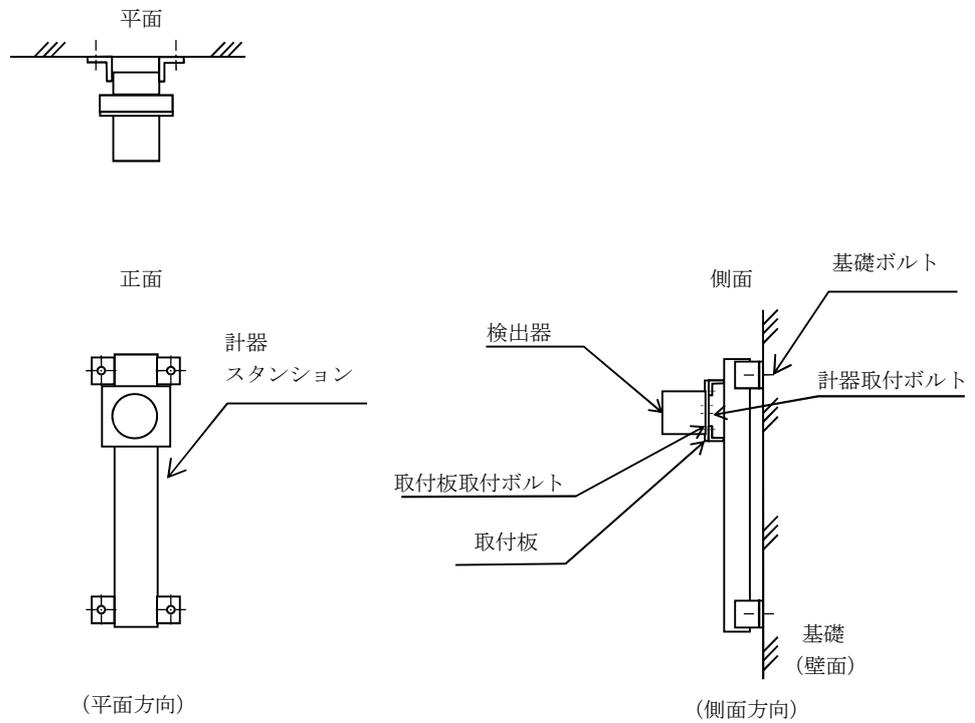


図 5-2 概要図(壁掛形)

5.2 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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。なお、壁掛形の計器スタンションの設計用地震力については、設置床上階の設計用地震力を使用する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

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。

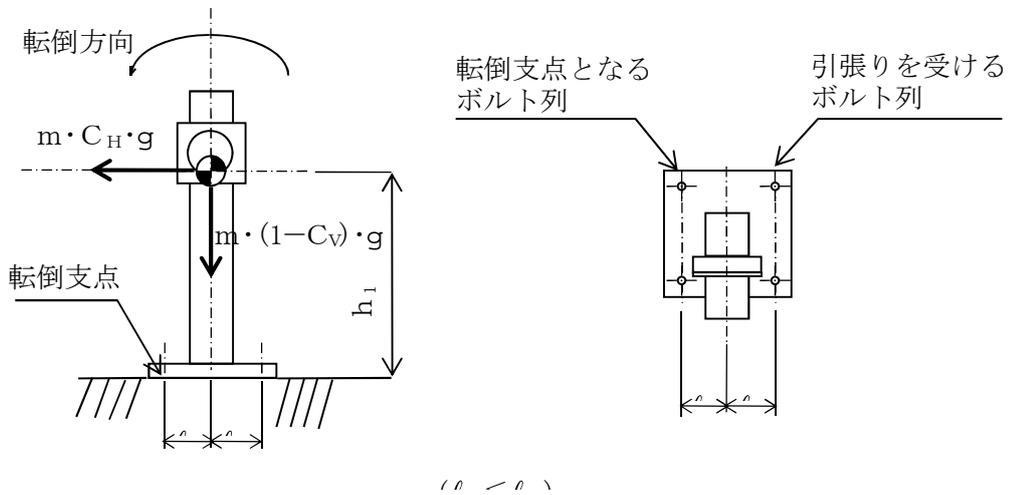


図5-3(1) 計算モデル

(直立形 正面方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

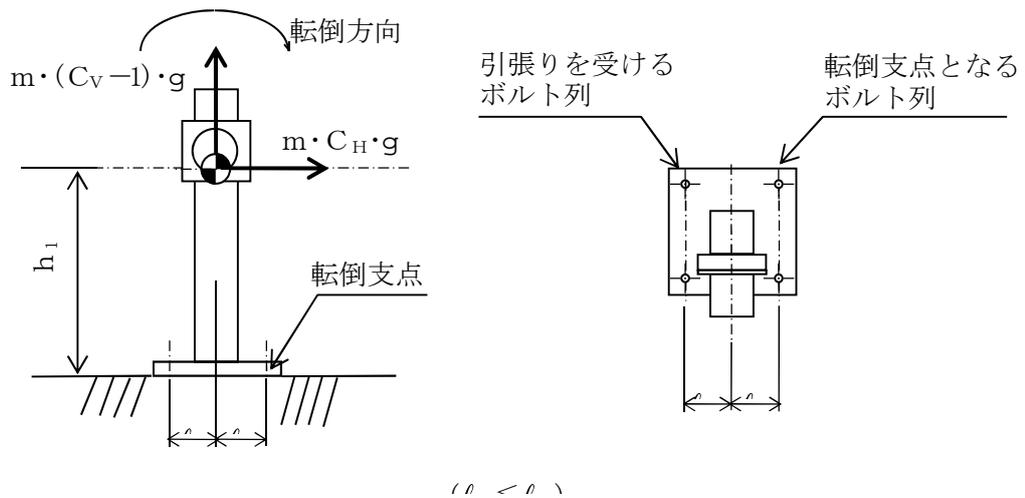


図5-3(2) 計算モデル

(直立形 正面方向転倒-2 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

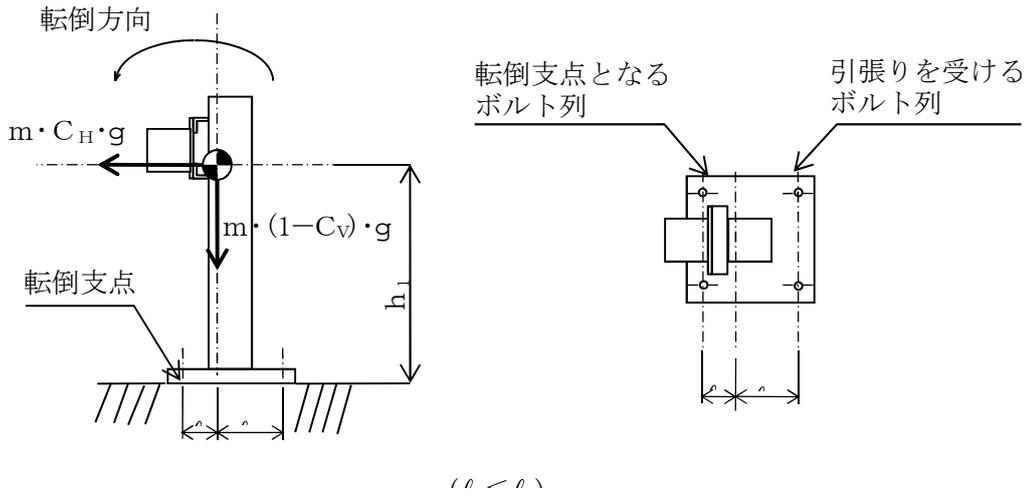


図5-4(1) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

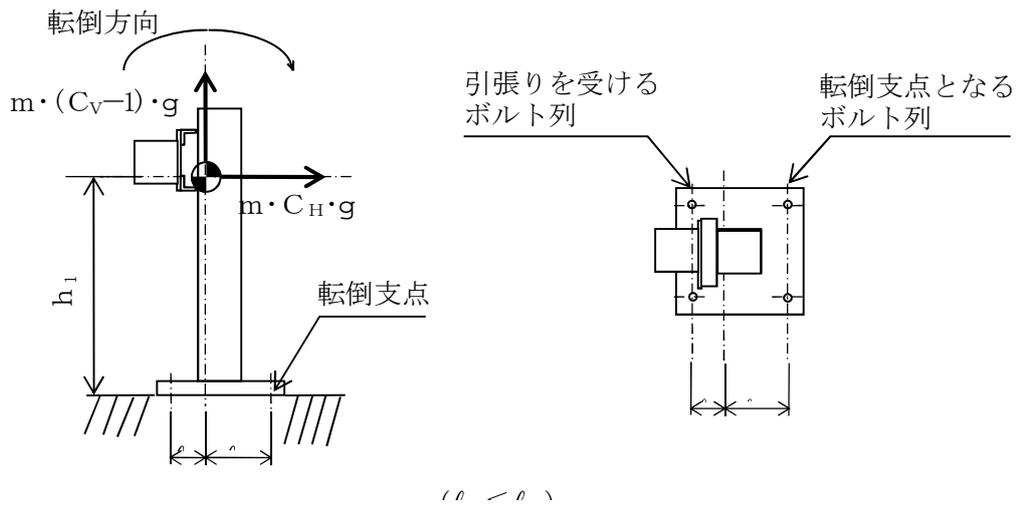


図5-4(2) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-1 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

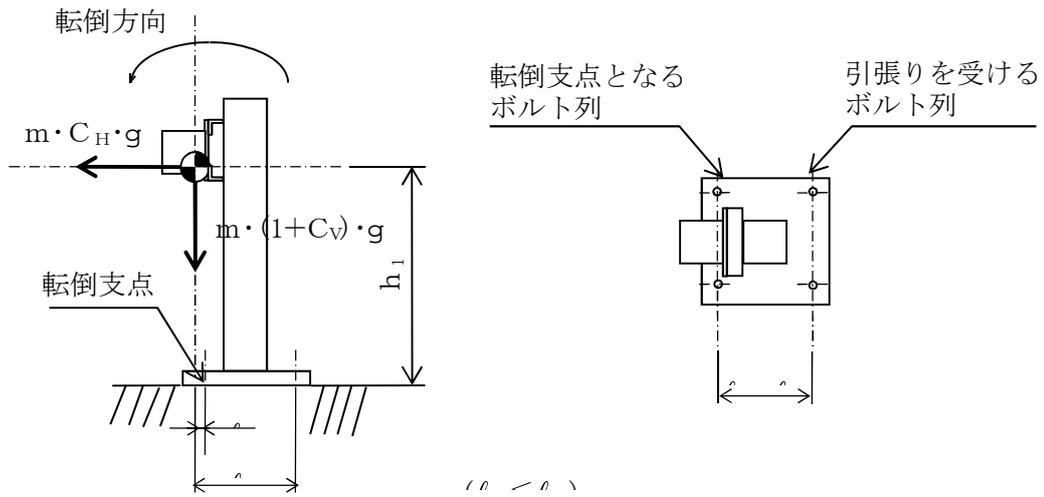


図5-4(3) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-3 重心位置が両端のボルトの間でない場合で $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) \geq C_V$ の場合)

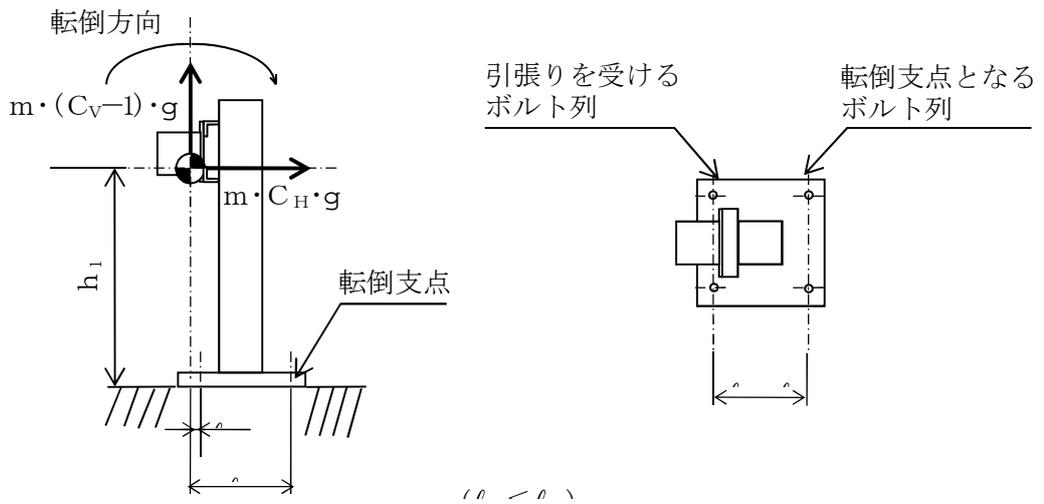


図5-4(4) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-4 重心位置が両端のボルトの間でない場合で $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) < C_V$ の場合)

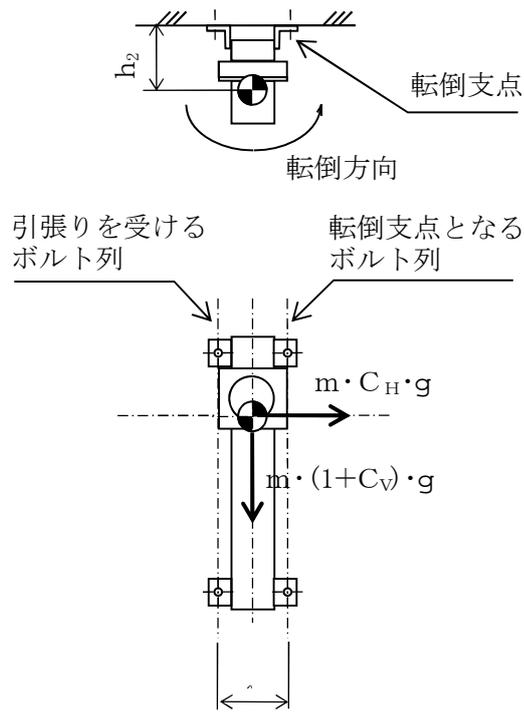


図5-5(1) 計算モデル
(壁掛形 平面方向転倒の場合)

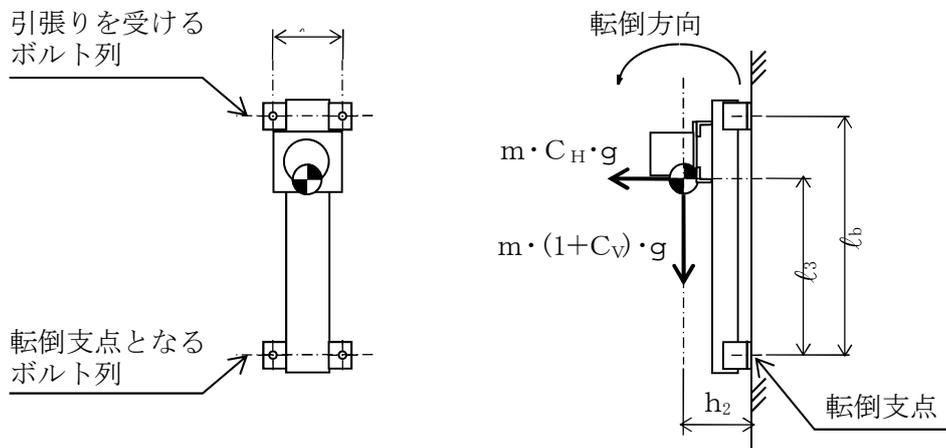


図5-5(2) 計算モデル
(壁掛形 側面方向転倒の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-3、図5-4及び図5-5で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

計算モデル図5-3(1)及び5-4(1)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-3 (2)及び5-4 (2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-4 (3)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot l_1}{n_f \cdot (l_2 - l_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

計算モデル図5-4 (4)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_2 - l_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

計算モデル図5-5 (1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot l_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

計算モデル図5-5 (2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot l_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

ここで、ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

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

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

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

	弾性設計用地震動 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 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

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。

機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形計器スタンプシヨンの設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
		建屋 * EL.			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ○○○○水位 (○○○-○)

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						

転倒方向が同じときは、1つにする。

注記 *：基礎ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動 S_s に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ○○○○(○○○-○)に作用する力

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				

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。

(単位：N)

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」と「基準地震動 S_s」で転倒方向が異なる場合は本注記*を追加する。

計器番号

1.4 結論

1.4.1 ○○○○(○○○-○)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	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

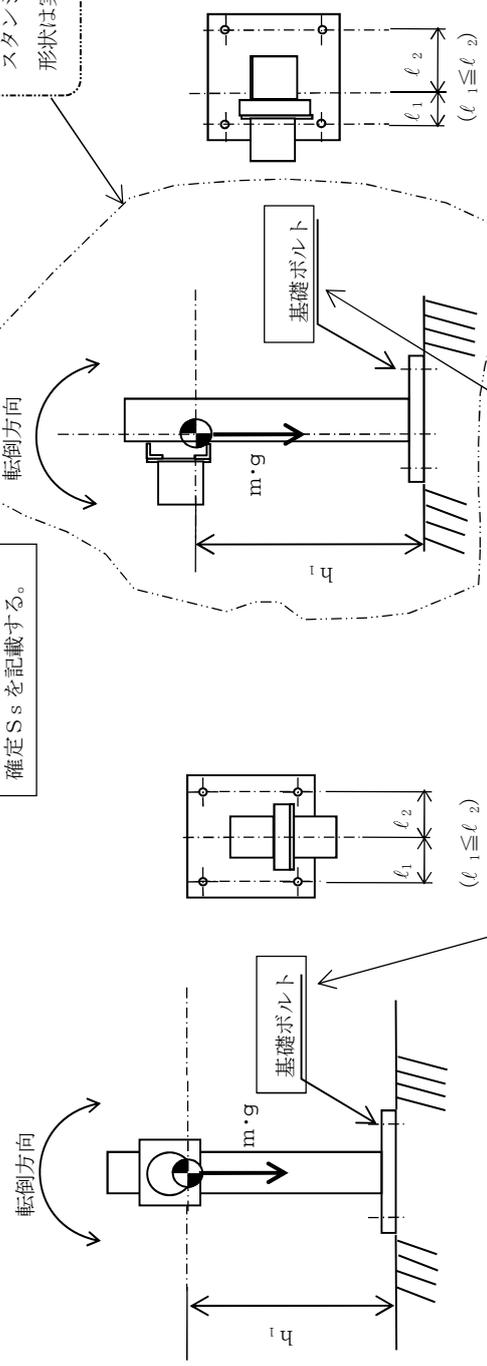
(単位：×9.8m/s²)

計器番号	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
○○○○ (○○○-○)			

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

スタンション、基礎及びボルトの形状は実機ベースで記載する。



(正面方向)

(側面方向)

【後施工アンカの場合】
据付ボルトが後施工の場合は、アンカの種類の (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」欄にアンカの種類の記載する。
例：基礎ボルト (ケミカルアンカ)

【重大事故等対処設備単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。
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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	掘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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	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

2.2.1 ○○○○(○○○-○)

計器番号

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	n _r
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			—		—	

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。

計器番号

2.3 計算数値

2.3.1 ○○○○(○○○-○)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	
基礎ボルト	—	—	

2.4 結論

2.4.1 ○○○○(○○○-○)

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	-	-	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	-	-	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

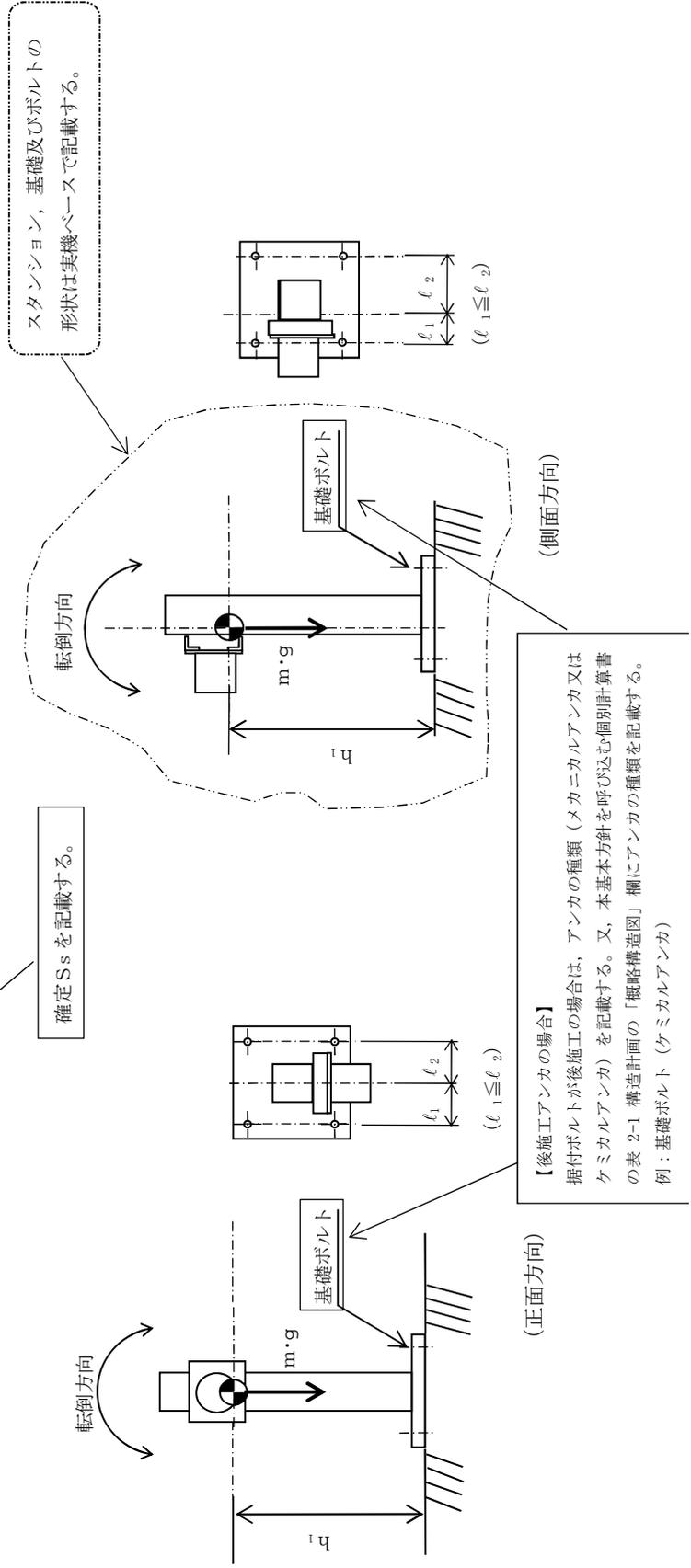
2.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

計器番号	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
○○○○水位 (○○○-○)			

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する。



【フォーマットⅢ 壁掛形計器スタンプシヨンの設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. (EL. *1 *2)			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

1.2 機器要目

1.2.1 ○○○○(○○○-○)

計器番号

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 壁掛形の計器スタンプシヨンなので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

部材	m (kg)	h _c (mm)	φ ₃ (mm)	φ ₆ (mm)	φ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _N	n _H
基礎ボルト									

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	
基礎ボルト					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s

1.3 計算数値

1.3.1 ○○○○(○○○-○)に作用する力

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。

部材	F _b		Q _b
基礎ボルト	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

(単位: N)

1.4 結論

1.4.1 ○○○○(○○○)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	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

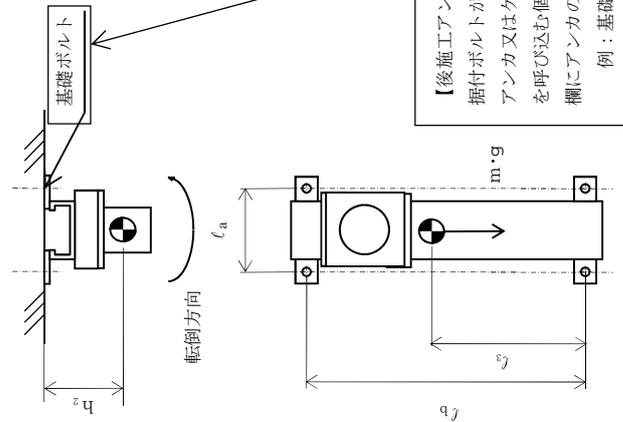
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

計器番号	評価用加速度	機能確認済加速度	
		水平方向	鉛直方向
○○○○水位 (○○○)			

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



確定 S_s を記載する。

スタンション、基礎及びボルトの形状は実機ベースで記載する。

【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」欄にアンカの種類の記載する。
例：基礎ボルト（ケミカルアンカ）

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合の記載例
※：評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、適宜詳細評価を実施する。

【重大事故等対処設備単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットIV 壁掛形計器スタンプシヨ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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	
		建屋 EL. (EL. *1 *2)			—	—	—	C _H =	C _V =	

注記

*1: 基準床レベルを示す。

*2: 壁掛形の計器スタンプシヨンなので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

2.2 機器要目

2.2.1 ○○○○(○○○-○)

計器番号

部材	m (kg)	h _c (mm)	l ₃ (mm)	l ₀ (mm)	l _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _N	n _H
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			—		—	—

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。

2.3 計算数値

2.3.1 ○○○○(○○○-○)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	
基礎ボルト	—	—	—

2.4 結論

2.4.1 ○○○○(○○○)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	-	-	$\sigma_b =$	$f_{t,s} =$
		せん断	-	-	$\tau_b =$	$f_{s,b} =$

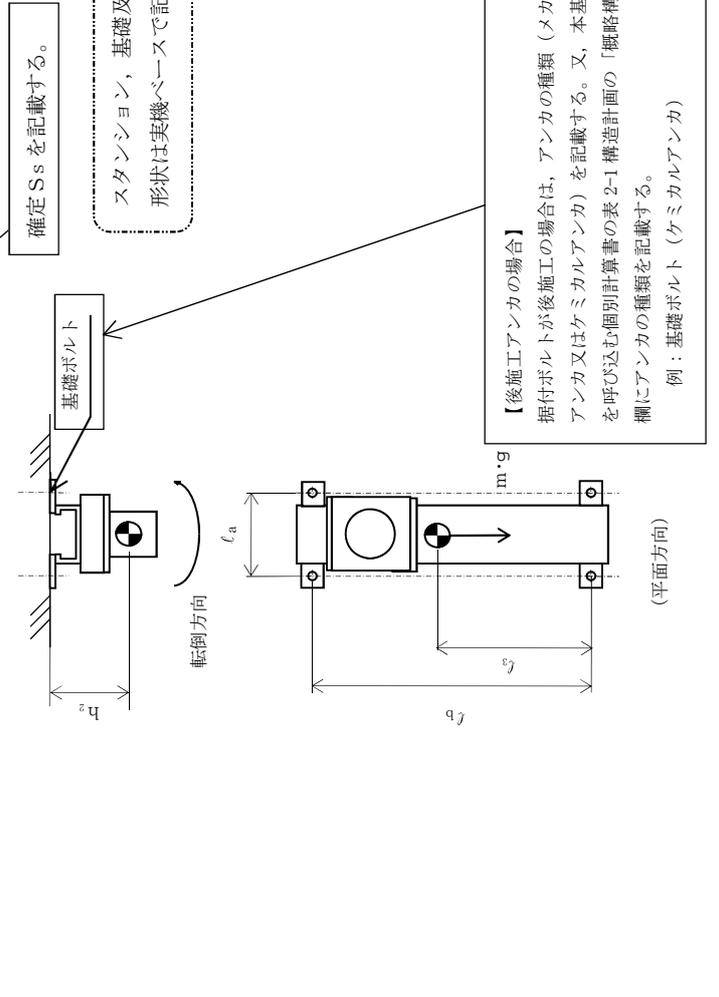
すべて許容応力以下である。

2.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位: $\times 9.8m/s^2$)

計器番号	○○○○水位 (○○○)	評価用加速度		機能確認済加速度
		水平方向	鉛直方向	

評価用加速度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」欄にアンカの種類を記載する。
例：基礎ボルト（ケミカルアンカ）

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

V-〇-〇-〇 〇〇〇〇空気だめの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 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. 評価結果	8
4.1 設計基準対象施設としての評価結果	8



DB + SAの場合

4.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
4.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

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の設計方針に基づき、〇〇〇〇空気だめが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇空気だめの構造計画を表 2-1 に示す。

DB+SAの場合

〇〇〇〇空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設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に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

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。

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	
<p>基礎・支持構造</p> <p>胴をスカートで支持し、スカートを基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>	<p>胴板</p> <p>スカート</p> <p>基礎ボルト</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇空気だめの構造はスカート支持たて置円筒形容器であるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

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

〇〇〇〇空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

DB + SA の場合

〇〇〇〇空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 〇-〇 に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 〇-〇 に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇空気だめの許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇空気だめ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 3-4 に示す。

DB + SA の場合

〇〇〇〇空気だめ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 〇-〇 に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 〇-〇 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	○○○○空気だめ 装置	S	クラス3 容器*	$D + P_D + M_D + S d^*$	$III_A S$
				$D + P_D + M_D + S s$	$IV_A S$

注記 * : クラス3 容器の支持構造物を含む。

(DB + SAの場合, 以下を追加)

表 3-0 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	○○○○空気だめ 装置	常設/防止	^{*2} 重大事故等 クラス2 容器	$D + P_D + M_D + S s^{*3}$	$IV_A S$
				$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ 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 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。

・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3-2 許容応力（クラス2，3容器及び重大事故等クラス2容器）

		許容限界*1, *2	
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次+ ピーク応力
III _A S	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。
IV _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	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。
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)			

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスMC容器的座屈に対する評価式による。

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

DB+SAの場合は，V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

・DB+SAの場合を示す。
 [DB単独の場合は, 許容応力 (クラス2, 3支持構造物)
 ・SA単独の場合は, 許容応力 (重大事故等クラス2支持構造物) とする。]

表 3-3 許容応力 (クラス2, 3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
III _A S	1.5・f _t	1.5・f _s
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S		

(V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。)

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

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

DB+SAの場合は, V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
胴板	SB46	100			220	433	—
スカート	SM41A	50		—	241	394	—
基礎ボルト	SS41	50		—	231	394	—

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+S Aの場合、以下を追加)

表 3-〇 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
胴板	SB46	100			220	433	—
スカート	SM41A	50		—	241	394	—
基礎ボルト	SS41	50		—	231	394	—

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(DB + SAの場合、以下を追加)

4.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
○○○○空気だめ	S	原子炉建屋 EL. 8.8*	0.017	0.005	C _H =0.66	C _V =0.48	C _H =1.87	C _V =0.96	3.24	100	50

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
4200	3400	1500	25.0	1519	6.0	198000 ^{*1}	201000 ^{*2}	76200 ^{*1}	77300 ^{*2}
φ (mm)	φ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	s (mm)	n	D _c (mm)	D _{bo} (mm)
971	699	400	155.2	—	—	15	12	1630	1710

D _{bi} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	M _s (N・mm)
1350	314.2 (M20)	560	4.540×10 ⁷	—	1.286×10 ⁸	—

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)
220 ^{*1}	433 ^{*1}	—	241 ^{*2} (厚さ≦16mm)	394 ^{*2}	241	276

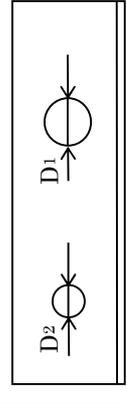
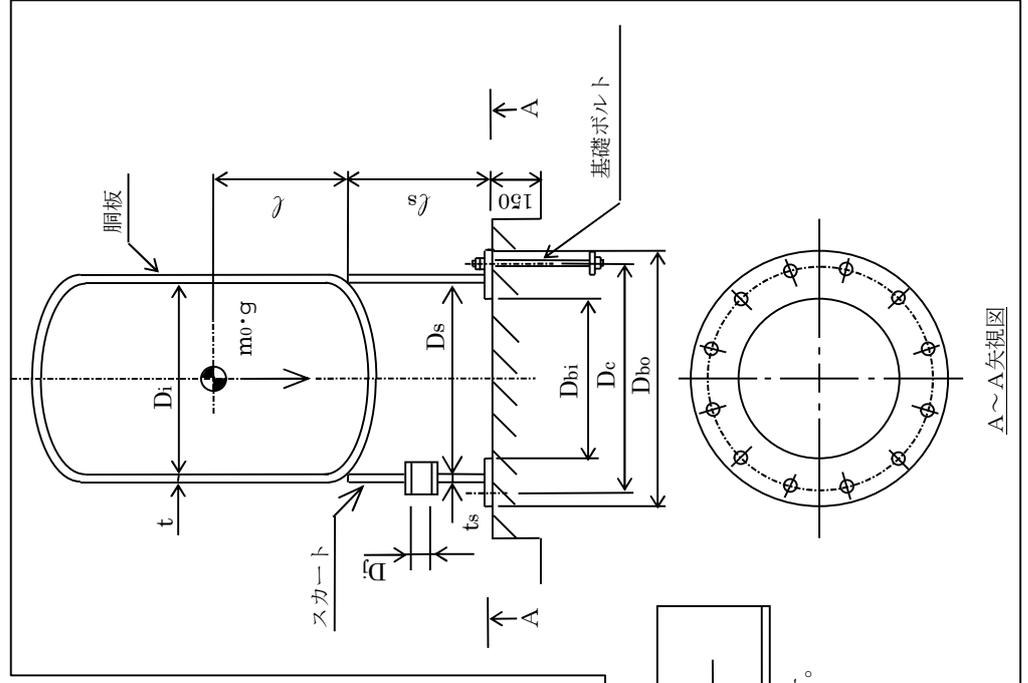
S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
231 ^{*2} (16mm<径≦40mm)	394 ^{*2}	231	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。



スカート開口部の形状を示す。

A~A矢張図

ここに入らない場合は、最終ページに記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x2}=0$	—	—	$\sigma_{x2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x3}=0$	—	—	$\sigma_{x3}=0$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x3}=1$	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x3}=1$	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4}=1$	$\tau=1$	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
応力の和	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=51$	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=52$	—
	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-49$	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-48$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	$\sigma_{0t}=100$	—	—	$\sigma_{0t}=100$	—
	圧縮	—	—	—	—	—

(単位：MPa)

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x3}=0$	—	—	$\sigma_{x3}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x3}=1$	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4}=1$	$\tau=1$	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
応力の和	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=2$	—
	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=2$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	$\sigma_{2t}=2$	—	—	$\sigma_{2t}=5$	—
	圧縮	$\sigma_{2c}=2$	—	—	$\sigma_{2c}=6$	—

(単位：MPa)

1.3.2 スカートに生じる応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	せん断応力	せん断応力
運転時質量による応力	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_s=9$	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_{s3}=2$	$\sigma_b=15$	$\tau_b=8$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s3}=1$					
水平方向地震による応力	$\sigma_{s2}=6$					
せん断	$\tau_s=3$	$\tau_s=6$	—	—	$\tau_b=21$	—

(単位：MPa)

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
		$\sigma_b=15$	$\tau_b=8$	$\sigma_b=61$	$\tau_b=21$

(単位：MPa)

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)	
方向	固有周期
水平方向	$T_H=0.017$
鉛直方向	$T_V=0.005$

1.4.2 応力

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
胴板	SB46	一次一般膜	$\sigma_0=100$	Sa=220	$\sigma_0=100$	Sa=259
		一次+二次	$\sigma_2=2$	Sa=440	$\sigma_2=6$	Sa=440
スカート	SM41A	組合せ	$\sigma_s=9$	$f_t=241$	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=173$	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207$
		せん断	$\tau_b=8$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$
			0.04 (無次元)		0.10 (無次元)	

すべて許容応力以下である。

【DB + SA の場合】
前項のDB評価に本SAの評価を追加する。

【SA 単独の場合】
本フオーマットを使用する。
ただし、草番を1とする。

2. 重大事故等対処設備
2.1 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	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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲环境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
○○○○空気だめ	常設/防止	原子炉建屋 EL. 8.8*	0.017	0.005	—	—	C _H =1.87	C _v =0.96	3.24	100	50

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D ₁ (mm)	t	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
4200	3400	1500	25.0	1519	6.0	198000 ^{*1}	201000 ^{*2}	76200 ^{*1}	77300 ^{*2}
φ	φ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{bo} (mm)
971	699	400	155.2	—	—	15	12	1630	1710

D _{bi} (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	Y (mm)	M _s (N・mm)	M _s (N・mm)	
1350	560	—	1.286 × 10 ⁸	

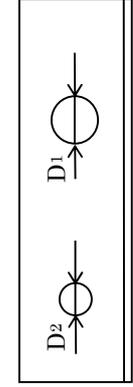
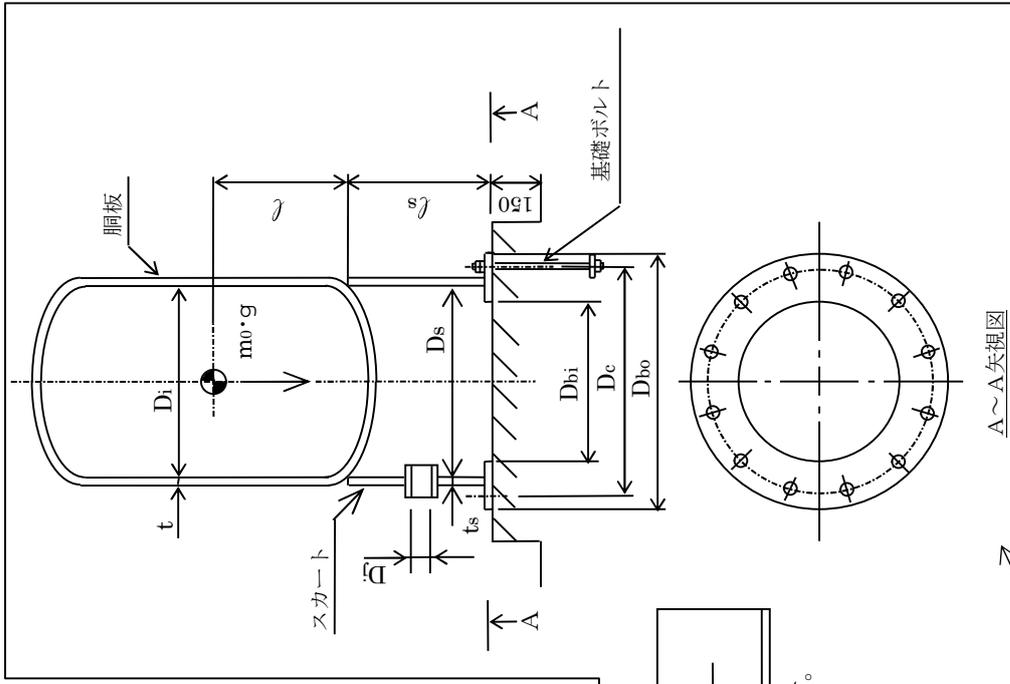
S _y (同板) (MPa)	S _u (同板) (MPa)	S (同板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
220 ^{*1}	433 ^{*1}	—	241 ^{*2} (厚さ ≤ 16mm)	394 ^{*2}	—	276

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。

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	394 ^{*2}	—	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲环境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。



スカート開口部の形状を示す。

A ~ A 矢張図

ここに入らない場合は、最終ページに記載する。
(但し、DB + SA の場合は、SA の最終ページにのみ記載する)

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=0$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
引張側	—	—	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=52$	—
圧縮側	—	—	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-48$	—
引張	—	—	—	—	$\sigma_{0t}=100$	—
圧縮	—	—	—	—	—	—

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
引張側	—	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=2$	—
圧縮側	—	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=2$	—
引張	—	—	—	—	$\sigma_{2t}=5$	—
圧縮	—	—	—	—	$\sigma_{2c}=6$	—

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1}=2$	—
鉛直方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s3}=2$	$\sigma_s=22$
水平方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s2}=16$	—
せん断	—	—	$\tau_s=6$	—

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
引張	—	—	$\sigma_b=61$	—
せん断	—	—	—	$\tau_b=21$

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H=0.017$
鉛直方向	$T_V=0.005$

2.4.2 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 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB46	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=100$	$S_a=259$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=6$	$S_a=440$
		組合せ	—	—	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
スカート	SM41A	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—	—	0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207$
		せん断	—	—	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

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

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 動的機能維持評価方法	8
5. 評価結果	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9

動的機能維持評価が必要な機器の場合

DB+SAの場合

5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の検討方針」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、〇〇〇〇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。

〇〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

下線 (〇〇) は動的機能維持評価が必要な機器の場合

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

DB+SAの場合

〇〇〇〇ポンプは、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以外の常設重大事故防止設備に分類される。

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基本方針（付録）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	<p>ターボ形 ポンプは基礎ボルト で中央付近の基礎に 据え付ける。</p>	
主体構造		<p>The diagram illustrates the assembly of the pump. At the top is the '原動機' (Motor). Below it is the '原動機台' (Motor base), which is secured to the main shaft by '原動機取付ボルト' (Motor mounting bolts). The '吐出しエルボ' (Discharge elbow) is attached to the side of the shaft. The 'ポンプベース' (Pump base) is mounted on the shaft, supported by 'ポンプ取付ボルト (上)' (Upper pump mounting bolts) and 'ポンプ取付ボルト (下)' (Lower pump mounting bolts). The entire assembly is anchored to the foundation by '基礎ボルト' (Foundation bolts).</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇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、「V-2-1-14-5 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

〇〇〇〇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に示す。

DB+SAの場合

〇〇〇〇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〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇ポンプの許容応力を表3-2～表3-3に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇ポンプ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3-4に示す。

DB+SAの場合

〇〇〇〇ポンプ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〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱 除去設備 ○○○○ポンプ	S	クラス2ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$III_A S$
				$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記 * : クラス2ポンプの支持構造物を含む。

(DB + SAの場合、以下を追加)

表 3-0 荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故対処設備)

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	残留熱 除去設備 ○○○○ポンプ	常設/防止	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ 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。

・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)]

表3-2 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 ピーク応力
III _A S	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。
IV _A S			
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	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他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB+SAの場合は、V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

・DB + SAの場合を示す。
 [・DB単独の場合は、許容応力 (クラス2, 3 支持構造物)
 ・SA単独の場合は、許容応力 (重大事故等クラス2 支持構造物) とする。]

表 3-3 許容応力 (クラス2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス2 支持構造物)

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

(V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。)

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

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

DB + SAの場合は、V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
バレルケーシング	SM400B	185	—	—	188	373	—
		185					
コラムパイプ	SM400B	185	—	—	188	373	—
		66					
基礎ボルト	SCM435	66	—	—	730	868	—
ポンプ取付ボルト (下)	SCM435	185	—	—	635	847	—
ポンプ取付ボルト (上)	SCM435	185	—	—	635	847	—
原動機取付ボルト	SCM435	185	—	—	635	847	—
原動機取付ボルト	SCM435	66	—	—	730	868	—

(DB + S A の場合, 以下を追加)

表 3-0 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
バレルケーシング	SM400B	185	—	—	188	373	—
		185					
コラムパイプ	SM400B	185	—	—	188	373	—
		66					
基礎ボルト	SCM435	66	—	—	730	868	—
ポンプ取付ボルト (下)	SCM435	185	—	—	635	847	—
ポンプ取付ボルト (上)	SCM435	185	—	—	635	847	—
原動機取付ボルト	SCM435	185	—	—	635	847	—
動機取付ボルト	SCM435	66	—	—	730	868	—

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

本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

〇〇〇〇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。

〇〇〇〇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、「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

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

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	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇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。

(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

〇〇〇〇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。

動的機能維持評価が必要な機器の場合

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
○○○○ポンプ	S	原子炉建屋 EL. 1.3*	0.031	0.015	$C_{H1}=0.90$	$C_{V1}=0.47$	$C_{H1}=1.79$	$C_{V1}=0.94$	$C_p=0.06$	185	66	1.37	3.92

注記 *：基準床レベルを示す。

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は“—”表示とする。

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。

1.2 機器要目
(1) ボルト

(2) パレルケーシング, コラムパイプ

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	$A_{b,i}$ (mm ²)	n_i	$n_{f,i}$	M_p (N·mm)	$S_{v,i}$ (MPa)	$S_{u,i}$ (MPa)	F_i (MPa)	F_i (MPa)*	S	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
基礎ボルト (i=1)	39343	2400	1.810×10^3 (M48)	12	12	—	730^{*2} (径 ≤ 60 mm)	868^{*2} (径 ≤ 60 mm)	607	607	—	188*1	373*1	1262	19.0
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	35240	2040	1.810×10^3 (M48)	40	40	4.456×10^6	635^{*1} (径 ≤ 60 mm)	847^{*1} (径 ≤ 60 mm)	592	592	—	188*1	373*1	432	38.0
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	25183	1760	1.810×10^3 (M48)	40	40	4.456×10^6	635^{*1} (径 ≤ 60 mm)	847^{*1} (径 ≤ 60 mm)	592	592	—	188*1	373*1	432	38.0
原動機台取付ボルト (i=4)	10826	1636	1.810×10^3 (M48)	16	16	4.456×10^6	635^{*1} (径 ≤ 60 mm)	847^{*1} (径 ≤ 60 mm)	592	592	—	188*1	373*1	432	38.0
原動機取付ボルト (i=5)	7854	1260	1.810×10^3 (M48)	16	16	4.456×10^6	730^{*2} (径 ≤ 60 mm)	868^{*2} (径 ≤ 60 mm)	607	607	—	188*1	373*1	432	38.0

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

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。

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。

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。
(パレルケーシング, コラムパイプについても同様とする。)

予想最大振幅 (μm)	
$H_p = 75$	
回転速度 (min ⁻¹)	N = 1200

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b,i} (N)		Q _{b,i} (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)	3.697×10 ⁸	7.354×10 ⁸	1.409×10 ⁴	6.809×10 ⁴	2.807×10 ⁵	5.409×10 ⁵
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	3.608×10 ⁸	7.176×10 ⁸	6.377×10 ³	2.345×10 ⁴	2.807×10 ⁵	5.409×10 ⁵
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	3.374×10 ⁸	6.711×10 ⁸	8.913×10 ³	2.542×10 ⁴	2.168×10 ⁵	4.177×10 ⁵
原動機台取付ボルト (i=4)	1.654×10 ⁸	3.289×10 ⁸	1.269×10 ⁴	3.350×10 ⁴	1.510×10 ⁵	2.911×10 ⁵
原動機取付ボルト (i=5)	7.992×10 ⁷	1.590×10 ⁸	7.555×10 ³	2.103×10 ⁴	8.891×10 ⁴	1.713×10 ⁵

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	2.428×10 ⁷	4.679×10 ⁷
コラムパイプ	1.870×10 ⁷	3.603×10 ⁷

1.4 結 論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.031
鉛直 1次	T _{V1} =0.015

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」の場合の記載を示す。)
 加速度比較でNGとなり、詳細評価が必要な場合は適宜、
 評価結果を追加する。

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	SCM435	引張り	σ _{b1} =8	f _{t,s1} =455	σ _{b1} =38	f _{t,s1} =455
			せん断	τ _{b1} =13	f _{s,b1} =350	τ _{b1} =25
ポンプ取付ボルト(下)	SCM435	引張り	σ _{b2} =4	f _{t,s2} =444	σ _{b2} =13	f _{t,s2} =444
			せん断	τ _{b2} =4	f _{s,b2} =342	τ _{b2} =8
ポンプ取付ボルト(上)	SCM435	引張り	σ _{b3} =5	f _{t,s3} =444	σ _{b3} =14	f _{t,s3} =444
			せん断	τ _{b3} =3	f _{s,b3} =342	τ _{b3} =6
原動機台取付ボルト	SCM435	引張り	σ _{b4} =7	f _{t,s4} =444	σ _{b4} =19	f _{t,s4} =444
			せん断	τ _{b4} =6	f _{s,b4} =342	τ _{b4} =11
原動機取付ボルト	SCM435	引張り	σ _{b5} =5	f _{t,s5} =455	σ _{b5} =12	f _{t,s5} =455
			せん断	τ _{b5} =4	f _{s,b5} =350	τ _{b5} =7

すべて許容応力以下である。

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	SM400B	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	σ=46 S _a =188
コラムパイプ	SM400B	基準地震動 S _s	σ=46 S _a =223
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	σ=23 S _a =188
		基準地震動 S _s	σ=23 S _a =223

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果 (単位: ×9.8 m/s²)

部 材	材 料	評価用加速度		機能確認済加速度
		水平方向	鉛直方向	
ポンプ		0.75	10.0	
		0.63	1.0	
原動機		0.75	2.5	
		0.63	1.0	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (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					

(3) ばね結合部の指定

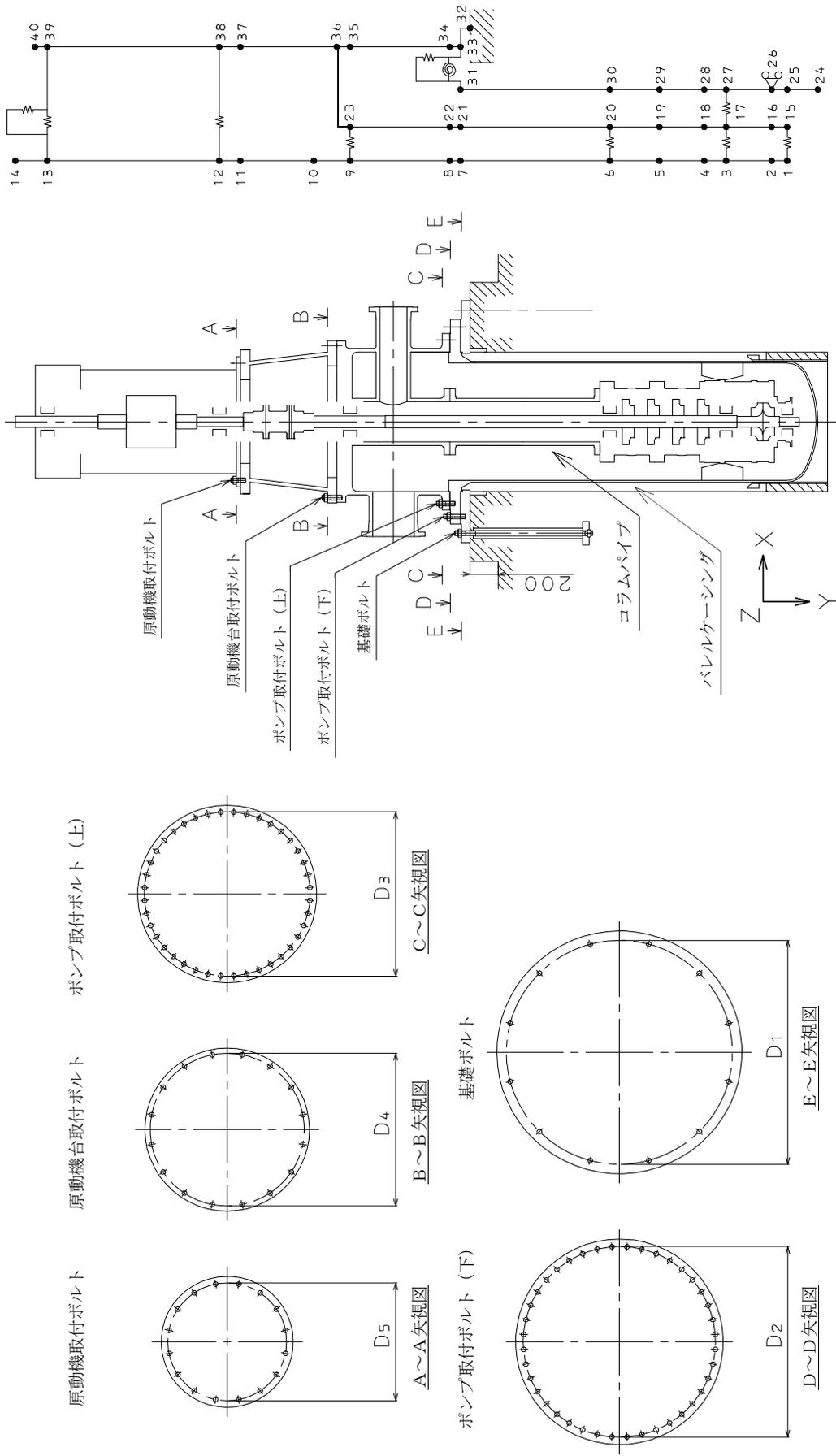
ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の付加質量

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

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
 尚、DB+SAの場合は、SAの結果表の最終ページに記載するものとする。

【S A 単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。
ただし、章番を 1 とする。

【DB + S A の場合】

前項の DB 評価に本 S A の評価追加する。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は “-” 表示とする。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば
区別せず、最高使用圧力を記載する。

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 _a 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				吸込側	吐出側
○○○○ポンプ	常設/防止	原子炉建屋 EL. 1.3*	0.031	0.015	-	-	C _H =1.79	C _V =0.94	C _P =0.06	185	66	1.37	3.92

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要素

(1) ボルト

(2) パレルケーシング, コラムパイプ

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{r i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i (MPa)*
基礎ボルト (i = 1)	39343	2400	1.810 × 10 ³ (M48)	12	12	-	730*2 (径 ≤ 60mm)	868*2 (径 ≤ 60mm)	-	607
ポンプ取付ボルト(下) (i = 2)	35240	2040	1.810 × 10 ³ (M48)	40	40	4.456 × 10 ⁶	635*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	-	592
ポンプ取付ボルト(上) (i = 3)	25183	1760	1.810 × 10 ³ (M48)	40	40	4.456 × 10 ⁶	635*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	-	592
原動機取付ボルト (i = 4)	10826	1636	1.810 × 10 ³ (M48)	16	16	4.456 × 10 ⁶	635*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	-	592
原動機取付ボルト (i = 5)	7854	1260	1.810 × 10 ³ (M48)	16	16	4.456 × 10 ⁶	730*2 (径 ≤ 60mm)	868*2 (径 ≤ 60mm)	-	607

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 = 75	N = 1200

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。
(パレルケーシング, コラムパイプについても同様とする。)

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
パレルケーシング	-	188*1	373*1	1262	19.0
コラムパイプ	-	188*1	373*1	432	38.0

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

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。

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b,i} (N)		Q _{b,i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _a 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _a 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _a 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	-	7.354×10 ⁸	-	6.809×10 ⁴	-	5.409×10 ⁵
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	-	7.176×10 ⁸	-	2.345×10 ⁴	-	5.409×10 ⁵
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	-	6.711×10 ⁸	-	2.542×10 ⁴	-	4.177×10 ⁵
原動機台取付ボルト (i=4)	-	3.289×10 ⁸	-	3.350×10 ⁴	-	2.911×10 ⁵
原動機取付ボルト (i=5)	-	1.590×10 ⁸	-	2.103×10 ⁴	-	1.713×10 ⁵

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _a 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	-	4.679×10 ⁷
コラムパイプ	-	3.603×10 ⁷

2.4 結 論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.031
鉛直 1次	T _{V1} =0.015

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」の場合の記載を示す。)
 加速度比較でNGとなり、詳細評価が必要な場合は適宜、
評価結果を追加する。

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 _a 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	SCM435	引張り	-	-	σ _{b1} =38	f _{t,s1} =455
			-	-	τ _{b1} =25	f _{s,b1} =350
ポンプ取付ボルト(下)	SCM435	引張り	-	-	σ _{b2} =13	f _{t,s2} =444
			-	-	τ _{b2} =8	f _{s,b2} =342
ポンプ取付ボルト(上)	SCM435	引張り	-	-	σ _{b3} =14	f _{t,s3} =444
			-	-	τ _{b3} =6	f _{s,b3} =342
原動機台取付ボルト	SCM435	引張り	-	-	σ _{b4} =19	f _{t,s4} =444
			-	-	τ _{b4} =11	f _{s,b4} =342
原動機取付ボルト	SCM435	引張り	-	-	σ _{b5} =12	f _{t,s5} =455
			-	-	τ _{b5} =7	f _{s,b5} =350

すべて許容応力以下である。

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	弾性設計用地震動 S _a 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
バレルケーシング	SM400B	-	-	-	-
		-	-	σ=46	S _a =223
コラムパイプ	SM400B	-	-	-	-
		-	-	σ=23	S _a =223

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果 (単位: ×9.8 m/s²)

部 材	材 料	弾性設計用地震動 S _a 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
ポンプ	水平方向	-	-	0.75	10.0
		-	-	0.63	1.0
原動機	鉛直方向	-	-	0.75	2.5
		-	-	0.63	1.0

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			

(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					

(3) ばね結合部の指定

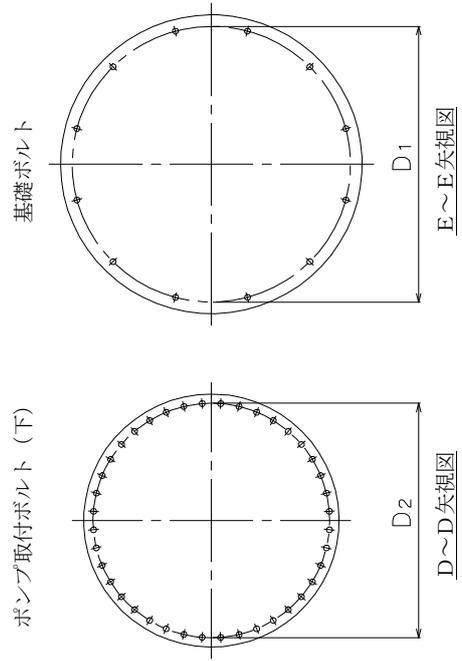
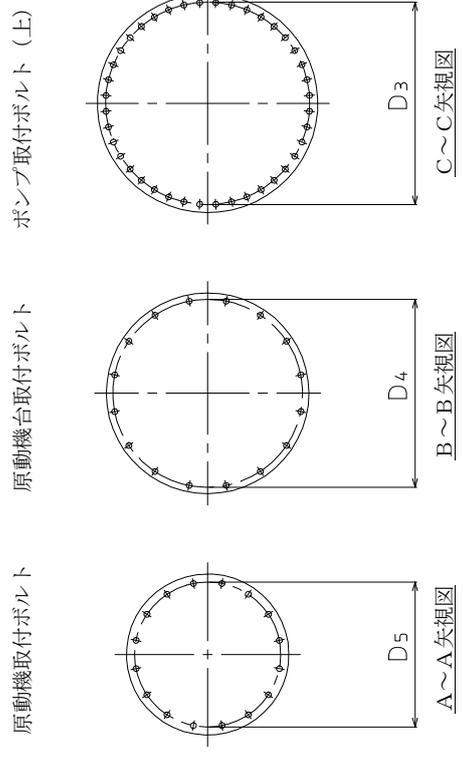
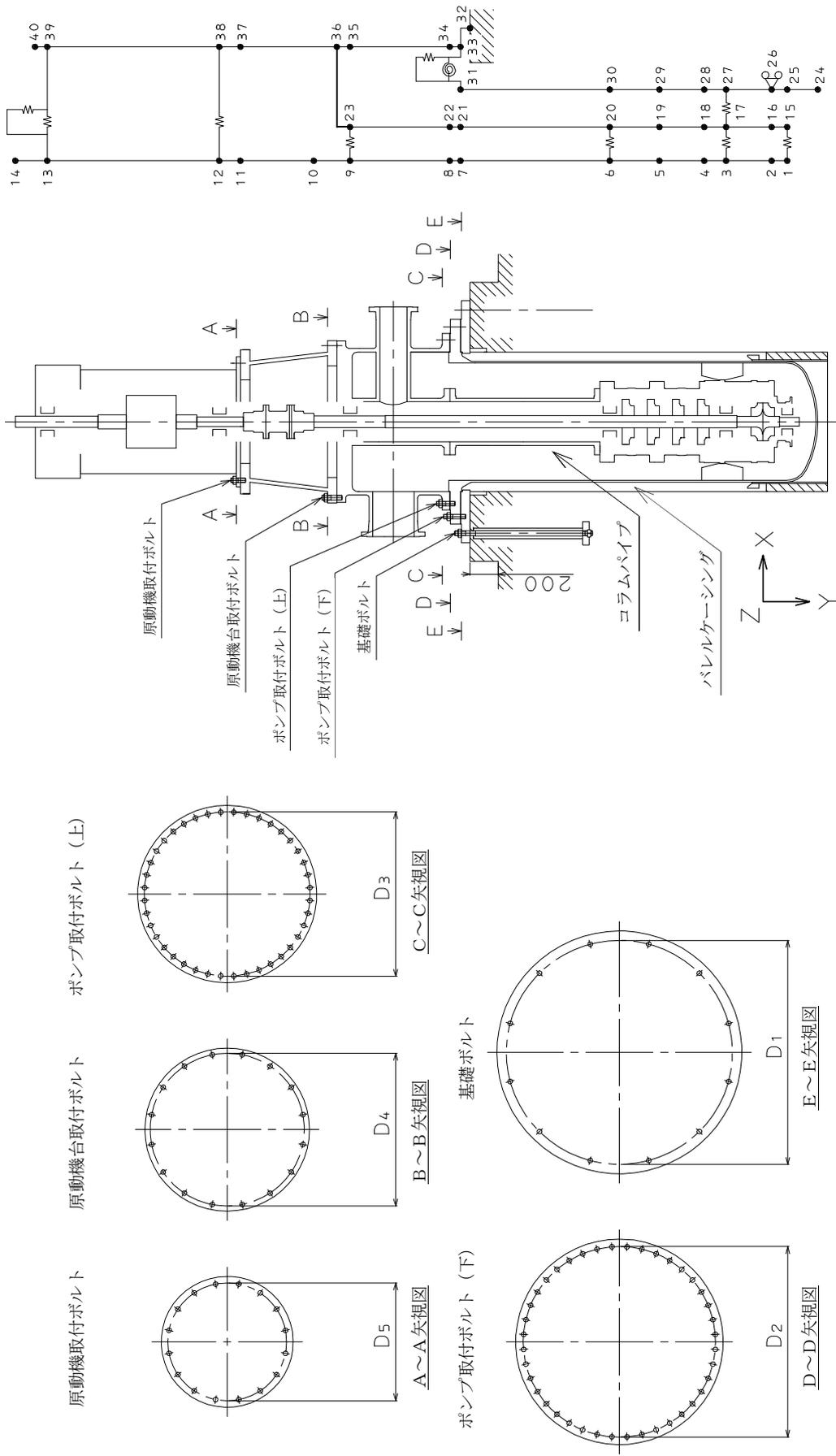
ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の付加質量

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

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。

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

V-○-○-○ ○○○○計器ラック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	7
4.1 電氣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、「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、〇〇〇〇計器ラック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。

〇〇〇〇計器ラックは、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、分類に応じた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

・DB+SAの場合の記載例を示す。
 [DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

2.1 構造計画

〇〇〇〇計器ラックの構造計画を表2-1に示す。

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。

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	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器ラックに固定される。</p> <p>計器ラックは、チャンネルベースにラック取付ボルトで設置する。</p>	<p>計器ラック</p> <p>ラック取付ボルト</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>取付板</p> <p>取付板取付ボルト</p> <p>床</p> <p>チャンネルベース</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>(長辺方向)</p> <p>(短辺方向)</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇計器ラックの構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-8 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。

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

〇〇〇〇計器ラック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

〇〇〇〇計器ラックの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇計器ラック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 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 ○○○○計器ラック	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$III_A S$
				$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 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	計測装置 ○○○○計器ラック	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^*3$	$IV_A S$
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ 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 : 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。

- DB + S A 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）
- S A 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)	
	引張り	せん断
III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A S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 + S A の場合は，V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
ラック取付ボルト	SS400	周囲環境温度	50	241	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度	120			
ラック取付ボルト	SS400	周囲環境温度	120	215	373	—

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇計器ラックの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「V-2-1-14-8 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。

〇〇〇〇計器ラックに設置される検出器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、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇ポンプ 出口流量 (〇〇〇〇)	差圧伝送器(流量) (〇〇〇〇)	水平	10.0
		鉛直	3.0
〇〇〇〇ポンプ 出口圧力 (〇〇〇〇)	差圧伝送器(圧力) (〇〇〇〇)	水平	10.0
		鉛直	3.0
〇〇〇〇熱交換器 冷却水流量 (〇〇〇〇)	差圧伝送器(流量) (〇〇〇〇)	水平	10.0
		鉛直	3.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇計器ラック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氣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

電氣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

〇〇〇〇計器ラック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氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○計器ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
○○○○計器ラック	S	原子炉建屋 EL. 13.0*	0.05 以下	0.05 以下	C _H =0.77	C _V =0.38	C _H =1.56	C _V =0.72	50

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ○○○○計器ラック (○○○○)

部材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト	800	1900*	201.1 (M16)	20	245	400

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。

ボルト径を記載する。

部材	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n _f	F (MPa)		転倒方向	
				F (MPa)	(MPa)*	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト	0*	2140*	2	241	276	長辺方向	長辺方向

注記 * : 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 ○○○○計器ラック (○○○○) 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 又は静的震度	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト	2.682×10 ³	5.433×10 ³	302.0	611.9

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」と「基準地震動 S_s」で転倒方向が異なる場合は, 2 段表示で記載する。また, その際には「計算書作成の基本方針」の注記の記載要領に基づき注記を付加する。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

転倒方向が同じときは, 1 つにする。

1.4 結論

1.4.1 ○○○○計器ラック(○○○○)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
ラック取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 14$	$f_{ts} = 183$	$\sigma_b = 26$	$f_{ts} = 210$
		せん断	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 141$	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 161$

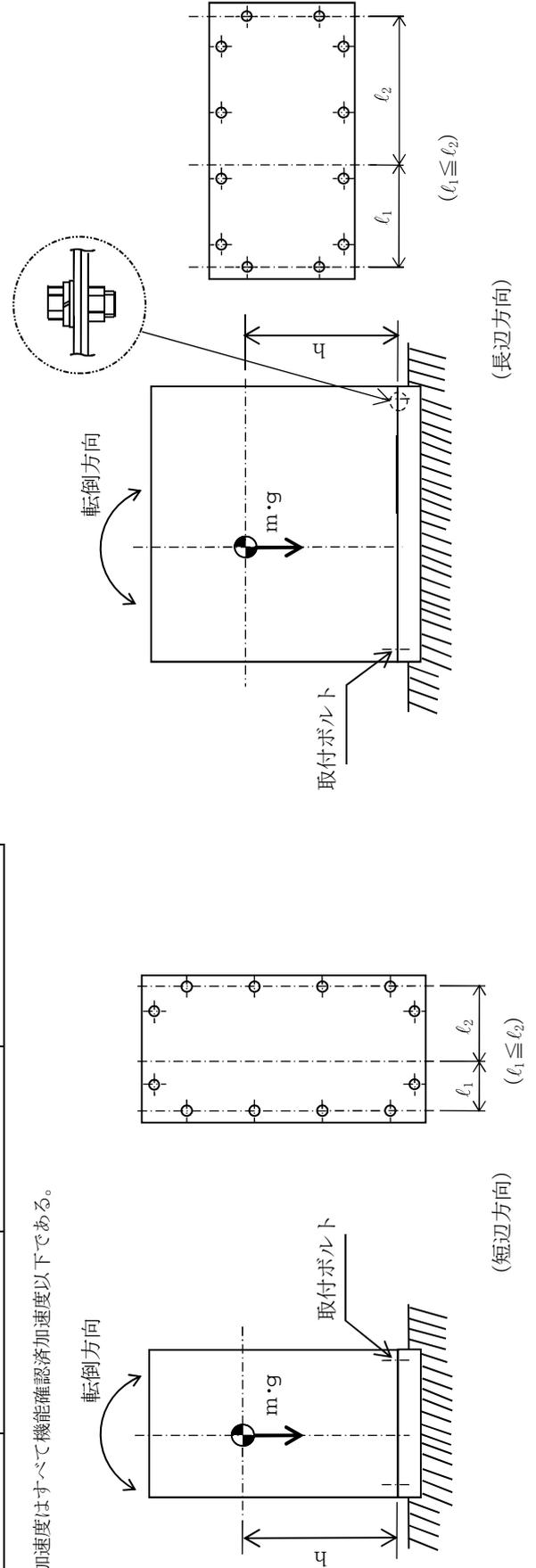
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能の評価結果

(単位: $\times 9.8m/s^2$)

	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	10.0
	鉛直方向	3.0
○○○○ポンプ 出口圧力 (○○○○)	水平方向	10.0
	鉛直方向	3.0
○○○○熱交換器 冷却水流量 (○○○○)	水平方向	10.0
	鉛直方向	3.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【DB+SAの場合】
前項のDB評価に本SAの評価を追加する。

NT2 補① V-0-0-R0

【SA単独の場合】
本フオ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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	掘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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
〇〇〇〇計器ラック	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. 13.0*	0.05以下	0.05以下	—	—	C _H =1.79	C _V =0.94	120

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 〇〇〇〇計器ラック(〇〇〇〇)

部材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト	800	1900*	201.1 (M16)	20	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。

ボルト径を記載する。

部材	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n _f	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
ラック取付ボルト	0*	2140*	2	—	258	長辺方向

注記 *：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

2.3 計算数値

2.3.1 〇〇〇〇計器ラック(〇〇〇〇)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 又は 静的震度	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動S _s
ラック取付ボルト	—	6.234×10 ³	—	702.2

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

2.4 結論

2.4.1 ○○○○計器ラック(○○○○)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
ラック取付ボルト	SS400	引張り	-	-	$\sigma_b = 32$	$f_{ts} = 193$
		せん断	-	-	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 149$

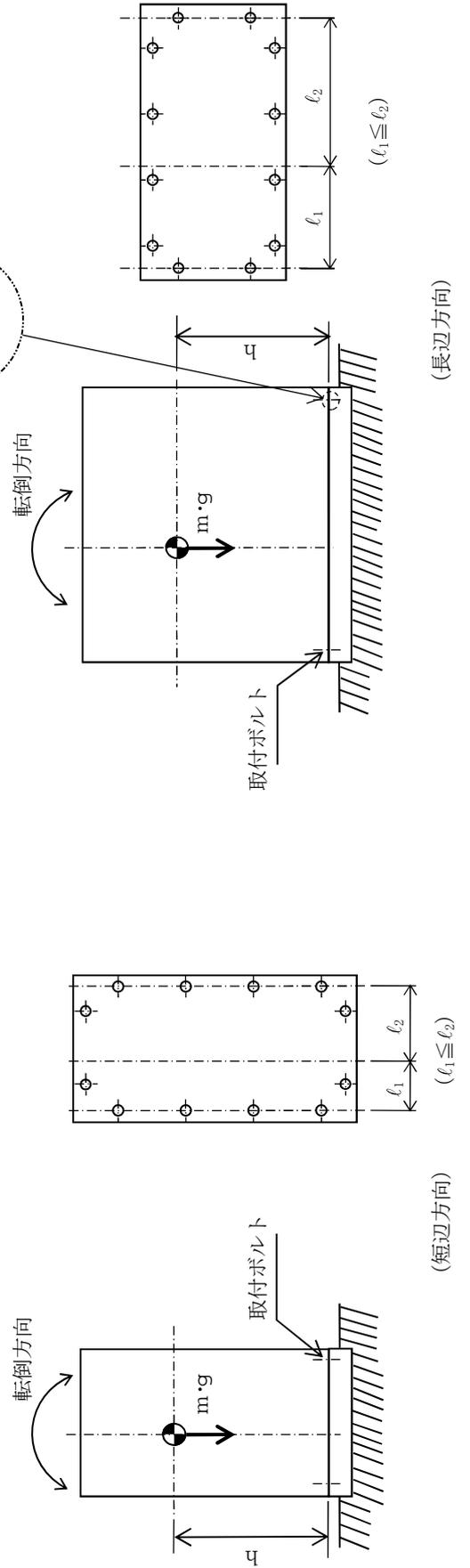
すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能の評価結果

(単位: $\times 9.8m/s^2$)

	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	10.0
	鉛直方向	3.0
○○○ポンプ 出口圧力 (○○○)	水平方向	10.0
	鉛直方向	3.0
○○○熱交換器 冷却水流量 (○○○)	水平方向	10.0
	鉛直方向	3.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



添付資料-4-1：機能維持評価で詳細検討を実施する場合
(評価用加速度>機能確認済加速度)

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	7
4.1 基本方針	7
4.2 設計用地震力	7
4.3 ポンプの動的機能維持評価	8
4.4 原動機の動的機能維持評価	12
5. 評価結果	15
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15

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、「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、〇〇〇〇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。

〇〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、〇〇〇〇ポンプは、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の往復動式のポンプであり、機能維持評価において応答加速度が機能確認済加速度を上回ることから、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）（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。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇ポンプの構造計画を表2-1に示す。

- ・DB+SAの場合の記載例を示す。
〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

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	
<p>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。</p>	<p>横形 3 連往復動式ポンプ</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-4 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

〇〇〇〇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

〇〇〇〇ポンプの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇ポンプ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 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	ほう酸水 注入設備	S	クラス2ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$III_A S$
				$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記 * : クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故等対処設備)

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	ほう酸水 注入設備	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ 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。

・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)	
	引張り	せん断
III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

DB+SAの場合は，V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41	50		211	394	—
ポンプ取付ボルト	SS41	50		211	394	—
原動機取付ボルト	SS41	50		211	394	—
減速機取付ボルト	SS41	50		211	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力 (重大事故等対応設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41	〇〇		〇〇〇	〇〇〇	—
ポンプ取付ボルト	SS41	〇〇		〇〇〇	〇〇〇	—
原動機取付ボルト	SS41	〇〇		〇〇〇	〇〇〇	—
減速機取付ボルト	SS41	〇〇		〇〇〇	〇〇〇	—

該当しない場合は「—」とする。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

〇〇〇〇ポンプは、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の往復動式のポンプであり、機能維持評価において応答加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

- (1) 原動機は横形ころがり軸受機であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されている往復動式ポンプ及び原動機の機能確認済加速度を適用する。
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下、「設計・建設規格」という。）の付録材料図表にて計算する際に、中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

4.2 設計用地震力

機能維持の確認に用いる設計用地震力については、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力」に基づく設計用地震力を用いる。

本項目は原動機の機能維持評価において応答加速度が機能確認済加速度を上回ることがない場合に記載する。原動機も上回る場合は(1)を削除し、4.1 基本方針に記載する「〇〇〇〇ポンプは、」を「〇〇〇〇ポンプ及び原動機は、」に修正する。

J E A G 4 6 0 1で規定している評価対象部位を全て記載し、評価対象外の部位がある場合は、その理由を記載する。
(例)「○. 軸継手」は、軸受がボールベアリングでありサイドスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

4.3 ポンプの動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1に記載の往復動式ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト，ポンプ本体取付ボルト，減速機取付ボルト
- b. コネクティングロッド軸受
- c. クランク軸
- d. クランク軸受
- e. 動弁機構及び弁シート面
- f. 減速機軸受
- g. 減速機軸
- h. 減速機歯車
- i. 軸継手（原動機～減速機～ポンプ）

このうち「a. 基礎ボルト，ポンプ本体取付ボルト，減速機取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。また、「g. 減速機軸」及び「h. 減速機歯車」は一体構造となっているため、弱部となる歯車の強度評価に軸の強度評価も含め評価している。

以上より、本計算書においては、コネクティングロッド軸受，クランク軸，クランク軸受，動弁機構及び弁シート面，減速機軸受，減速機軸（歯車）及び軸継手（原動機～減速機～ポンプ）を評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

クランク軸の許容応力は、クラス2ポンプの許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また、コネクティングロッド軸受，クランク軸受，減速機軸受，動弁機構及び弁シート面についてはメーカー規定の許容値を，減速機軸（歯車）については，許容面圧を，軸継手については，変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位毎の評価基準値を記載する。

4.3.3 記号の説明

○○○○ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表4-1に示す。

表4-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F_R	クランク軸に生じるラジアル荷重	
Q_{CS}	クランク軸に生じるスラスト荷重	
F_B	大端部, 小端部及びクロスヘッドガイド部の軸受に生じる荷重	
A_{LB}	コネクティングロッド大端部軸受の投影面積	
A_{SB}	コネクティングロッド小端部軸受の投影面積	
A_{CB}	クロスヘッドガイド部軸受の投影面積	
P_{LB}	大端部軸受面圧	
P_{SB}	小端部軸受面圧	
P_{CB}	クロスヘッドガイド部軸受面圧	

ポンプの詳細評価に使用する記号の説明を記載する。

4.3.4 評価方法

(1) コネクティングロッド軸受

各軸受に地震力が作用することにより発生する面圧を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

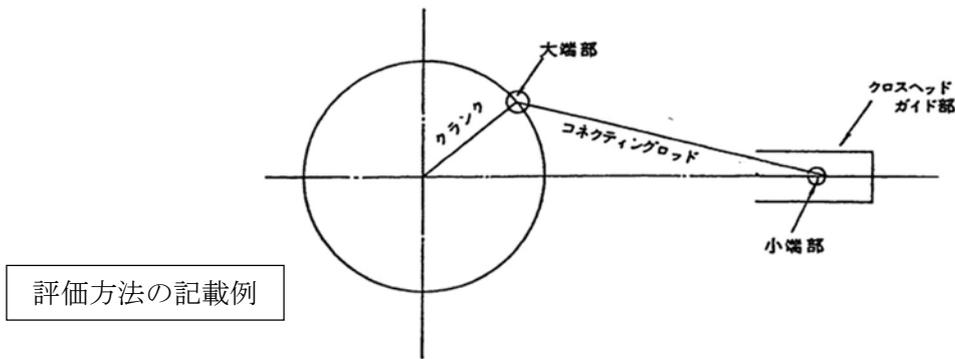


図4-1 コネクティングロッド軸受の計算モデル

各軸受に生じる面圧は次式で求める。

$$\text{大端部軸受面圧 } P_{LB} = \frac{F_B}{A_{LB}} \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

$$\text{小端部軸受面圧 } P_{SB} = \frac{F_B}{A_{SB}} \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

$$\text{クロスヘッドガイド部軸受面圧 } P_{CB} = \frac{F_B}{A_{CB}} \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

ここで、各軸受に生じる荷重 F_B は

$$F_B = \sqrt{F_R^2 + Q_{CS}^2} \dots \dots \dots (4.3.4.4)$$

(2) クランク軸

評価モデル及び評価式等を記載する。

(3) クランク軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(4) 動弁機構及び弁シート面

評価モデル及び評価式等を記載する。

(5) 減速機軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(6) 減速機軸（歯車）

評価モデル及び評価式等を記載する。

(7) 軸継手（原動機～減速機～ポンプ）

評価モデル及び評価式等を記載する。

原動機の機能維持評価で詳細評価が必要な場合の記載例

4.4 原動機の動的機能維持評価

J E A G 4 6 0 1 で規定している評価対象部位を全て記載し、評価対象外の部位がある場合は、その理由を記載する。

4.4.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- h. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス、モータフレーム及び軸継手を評価対象部位とする。なお、軸継手においては、ポンプの動的機能維持評価に含まれている。

4.4.2 評価基準値

固定子、軸（回転子）、端子箱及びモータフレームの許容応力は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランス及び軸継手については、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位毎の評価基準値を記載する。

4.4.3 記号の説明

○○○○ポンプ用原動機の動的機能維持評価に用いる記号を表4-2に示す。

表4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
	<div data-bbox="572 595 1104 696" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> 原動機の詳細評価に使用する記号の説明を記載する。 </div>	

4.4.4 評価方法

(1) 固定子

評価モデル及び評価式等を記載する。

(2) 軸（回転子）

評価モデル及び評価式等を記載する。

(3) 端子箱

評価モデル及び評価式等を記載する。

(4) 軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

評価モデル及び評価式等を記載する。

(6) モータフレーム

評価モデル及び評価式等を記載する。

(7) 軸継手

軸継手（原動機～減速機）の評価は、4.3.4 (7) のポンプの動的機能維持評価に含まれている。

原動機の機能維持評価で詳細評価が不要な場合の記載例

4.4 原動機の動的機能維持評価

〇〇〇〇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、「V-2-1-9 機能維持の基本討方針」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 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (単位：×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	〇〇〇〇	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

〇〇〇〇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。

(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

〇〇〇〇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。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
○○○○ポンプ	S	原子炉建屋 EL. 34.8*1	-*2	-*2	C _H =1.37	C _V =1.16	C _H =3.73	C _V =2.32	C _P =0.17	-	50

注記 *1: 基準レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	A _{bi} (mm ²)	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)	3400	670	690	1260	314.2 (M20)	10	2	2
ポンプ取付ボルト (i=2)	1750	350	280	280	452.4 (M24)	4	2	2
原動機取付ボルト (i=3)	480	250	155.5	155.5	314.2 (M20)	4	2	2
減速機取付ボルト (i=4)	430	236	265	265	314.2 (M20)	6	2	2

「弾性設計用地震動 S_d又は静的震度」と「基準地震動 S_s」で転倒方向が異なる場合は、2段表示で記載する。また、その際には「計算書作成の基本方針」の注記の記載要領に基づき注記を追加する。

部材	S _{vi} (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	
基礎ボルト (i=1)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸	軸	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 基準地震動 S _s
ポンプ取付ボルト (i=2)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸	軸	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 基準地震動 S _s
原動機取付ボルト (i=3)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸	軸	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 基準地震動 S _s
減速機取付ボルト (i=4)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸直角	軸直角	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 基準地震動 S _s

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

予想最大振幅 (μm)	H _P =90	原動機回転速度 (min ⁻¹)	N=220
		原動機回転速度 (min ⁻¹)	N=1800

転倒方向が同じときは、1つにする。

1.1.1.3 計算数値

1.1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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)	1.077×10 ⁴	3.828×10 ⁴	5.135×10 ⁴	1.298×10 ⁵
ポンプ取付ボルト (i=2)	9.675×10 ³	2.724×10 ⁴	2.643×10 ⁴	6.681×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=3)	3.302×10 ³	9.111×10 ³	7.249×10 ³	1.833×10 ⁴
減速機取付ボルト (i=4)	3.636×10 ³	7.061×10 ³	6.494×10 ³	1.642×10 ⁴

1.1.1.4 結 論

1.1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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	SS41	引張り	$\sigma_{b1}=35$	$f_{tst}=158$	$\sigma_{b1}=122$	$f_{tst}=190$
		せん断	$\tau_{b1}=17$	$f_{sh1}=121$	$\tau_{b1}=42$	$f_{sh1}=146$
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	$\sigma_{b2}=22$	$f_{tst}=158$	$\sigma_{b2}=61$	$f_{tst}=190$
		せん断	$\tau_{b2}=15$	$f_{sh2}=121$	$\tau_{b2}=37$	$f_{sh2}=146$
原動機取付ボルト	SS41	引張り	$\sigma_{b3}=11$	$f_{tst}=158$	$\sigma_{b3}=29$	$f_{tst}=190$
		せん断	$\tau_{b3}=6$	$f_{sh3}=121$	$\tau_{b3}=15$	$f_{sh3}=146$
減速機取付ボルト	SS41	引張り	$\sigma_{b4}=12$	$f_{tst}=158$	$\sigma_{b4}=23$	$f_{tst}=190$
		せん断	$\tau_{b4}=4$	$f_{sh4}=121$	$\tau_{b4}=9$	$f_{sh4}=146$

すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	往復動式ポンプ	9.72	原子炉建屋 EL. 34.8*1	-*2	-*2	C _H =4.6	C _V =3.0	C _D =0.17	-	50

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。

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 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用 原動機	構形ころがり 軸受電動機	45	原子炉建屋 EL. 34.8*1	-*2	-*2	C _H =8.0	C _V =3.0	C _D =0.17	-	50

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。

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2.2 機器要目

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認認済加速度との比較 (単位: × 9.8 m/s²)

ポンプ	水平方向	評価用加速度	機能確認認済加速度
	鉛直方向	1.69	1.6
原動機	水平方向	1.46	1.0
	鉛直方向	1.69	4.7
		1.46	1.0

ポンプは、水平、鉛直方向ともに応答加速度が機能確認認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。
原動機は、鉛直方向の応答加速度が機能確認認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルト、減速機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 コネクティングロッド軸受の評価 (単位: MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
コネクティングロッド大端部	3.604	5.80
コネクティングロッド小端部	7.207	11.60
クロスヘッドガイド部		

すべて許容応力以下である。

原動機について、機能確認認済加速度を超えていない時は、「原動機は、評価用加速度はすべて機能確認認済加速度以下である。」と記載する。

確定 S s を記載する。

1.2.3.2.2.2 クランク軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
クランク軸		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.3 クランク軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	15640	450000
反軸継手側	9492	299000

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.4 動弁機構及び弁シート面の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
弁シート面	0.07271	125

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.5 減速機軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
入力軸軸受	5619	45000
中間軸軸受	29273	163000
出力軸軸受	29069	390000

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.6 減速機軸（歯車）の評価 (単位：N)

評価部位	歯車の曲げ強さ		歯車の面圧強さ	
	発生荷重	許容荷重	発生荷重	許容荷重
1 段目（入力側）	小歯車	66570	4529	4529
	大歯車	61707		
2 段目（出力側）	小歯車	165517	10822	10822
	大歯車	163343		

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.7 軸継手の評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
減速機～ポンプ間	0.09968	0.63
減速機～原動機間	0.4345	0.19

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	10	118

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	12	159
	せん断	4	121

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	5812	57667
反軸継手側	6009	40000

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.08	0.9

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位: MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
モータフレーム	引張り	15	234
	せん断	10	135

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.7 軸継手の評価
 原動機軸継手の評価は、「1.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。

[DB + S A の場合]
前項のDB評価に本S Aの評価を追加する。

NT2 補① V-0-0-0 R0

【S A単独の場合】

本フオーマットを使用する。ただし、章番を1.とする。

2. 重大事故等対処設備
2.1 構造強度評価
2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
○○○○ポンプ	常設耐震/防止	原子炉建屋 EL. 34.8*1	-*2	-*2	-	-	C _H =3.73	C _V =2.32	C _P =0.17	-	○○

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。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	A _{b1} (mm ²)	n _i	n _{f i}	
							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)	3400	670	690	1260	314.2 (M20)	10	-	2
ポンプ取付ボルト (i=2)	1750	350	280	280	452.4 (M24)	4	-	2
原動機取付ボルト (i=3)	480	250	155.5	155.5	314.2 (M20)	4	-	2
減速機取付ボルト (i=4)	430	236	265	265	314.2 (M20)	6	-	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (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	
基礎ボルト (i=1)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸	-
ポンプ取付ボルト (i=2)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸	-
原動機取付ボルト (i=3)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸	-
減速機取付ボルト (i=4)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸直角	1.953×10 ⁶

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

予想最大振幅 (μm)	ポンプ回転速度 (min ⁻¹)	原動機回転速度 (min ⁻¹)
H _P =90	N=220	N=1800

2.1.1.3 計算数値

2.1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 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)	-	3.828×10 ⁴	-	1.298×10 ⁵
ポンプ取付ボルト (i=2)	-	2.724×10 ⁴	-	6.681×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=3)	-	9.111×10 ³	-	1.833×10 ⁴
減速機取付ボルト (i=4)	-	7.061×10 ³	-	1.642×10 ⁴

2.1.1.4 結 論

2.1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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	SS41	引張り	-	-	$\sigma_{b1}=122$	$f_{t11}=000$
		せん断	-	-	$\tau_{b1}=42$	$f_{sb1}=000$
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	-	-	$\sigma_{b2}=61$	$f_{t12}=000$
		せん断	-	-	$\tau_{b2}=37$	$f_{sb2}=000$
原動機取付ボルト	SS41	引張り	-	-	$\sigma_{b3}=29$	$f_{t13}=000$
		せん断	-	-	$\tau_{b3}=15$	$f_{sb3}=000$
減速機取付ボルト	SS41	引張り	-	-	$\sigma_{b4}=23$	$f_{t14}=000$
		せん断	-	-	$\tau_{b4}=9$	$f_{sb4}=000$

すべて許容応力以下である。

動的機能維持評価
 ↓
 動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	往復動式ポンプ	9.72	原子炉建物 EL. 34.8*1	—*2	—*2	C _H =4.6	C _V =3.0	C _D =0.17	—	50

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。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

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 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用 原動機	機形ころがり 軸受電動機	45	原子炉建物 EL. 34.8*1	—*2	—*2	C _H =8.0	C _V =3.0	C _D =0.17	—	50

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。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2.2 機器要目

2.2.3 結論

動的機能維持評価に必要な機器要目を記載する。

2.2.3.1 機能確認認済加速度との比較

(単位: × 9.8 m/s²)

	評価用加速度	機能確認認済加速度
ポンプ	水平方向	1.69
	鉛直方向	1.46
原動機	水平方向	1.69
	鉛直方向	1.46

ポンプは、水平、鉛直方向ともに応答加速度が機能確認認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。
 原動機は、鉛直方向の応答加速度が機能確認認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

原動機について、機能確認認済加速度を超えていない時は、「原動機は、評価用
 加速度はすべて機能確認認済加速度以下である。」と記載する。

2.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルト、減速機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 コネクティングロッド軸受の評価 (単位: MPa)	
評価部位	許容応力
コネクティングロッド大端部	3.604
コネクティングロッド小端部	7.207
クロスヘッドガイド部	11.60

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 クラック軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
クラック軸		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.3 クラック軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	15640	450000
反軸継手側	9492	290000

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.4 動弁機構及び弁シート面の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
弁シート面	0.07271	125

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.5 減速機軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
入力軸軸受	5619	45000
中間軸軸受	29273	163000
出力軸軸受	29069	390000

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.6 減速機軸（歯車）の評価 (単位：N)

評価部位	歯車の曲げ強さ		歯車の面圧強さ		
	発生荷重	許容荷重	発生荷重	許容荷重	
1 段目（入力側）	小歯車	4529	66570	4529	19293
	大歯車		61707		
2 段目（出力側）	小歯車	10822	165517	10822	40162
	大歯車		163343		

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.2.7 軸継手の評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
減速機～ポンプ間	0.09968	0.63
減速機～原動機間	0.4345	0.19

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

2.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	10	118

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	12	159
	せん断	4	121

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	5812	57667
反軸継手側	6009	40000

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.08	0.9

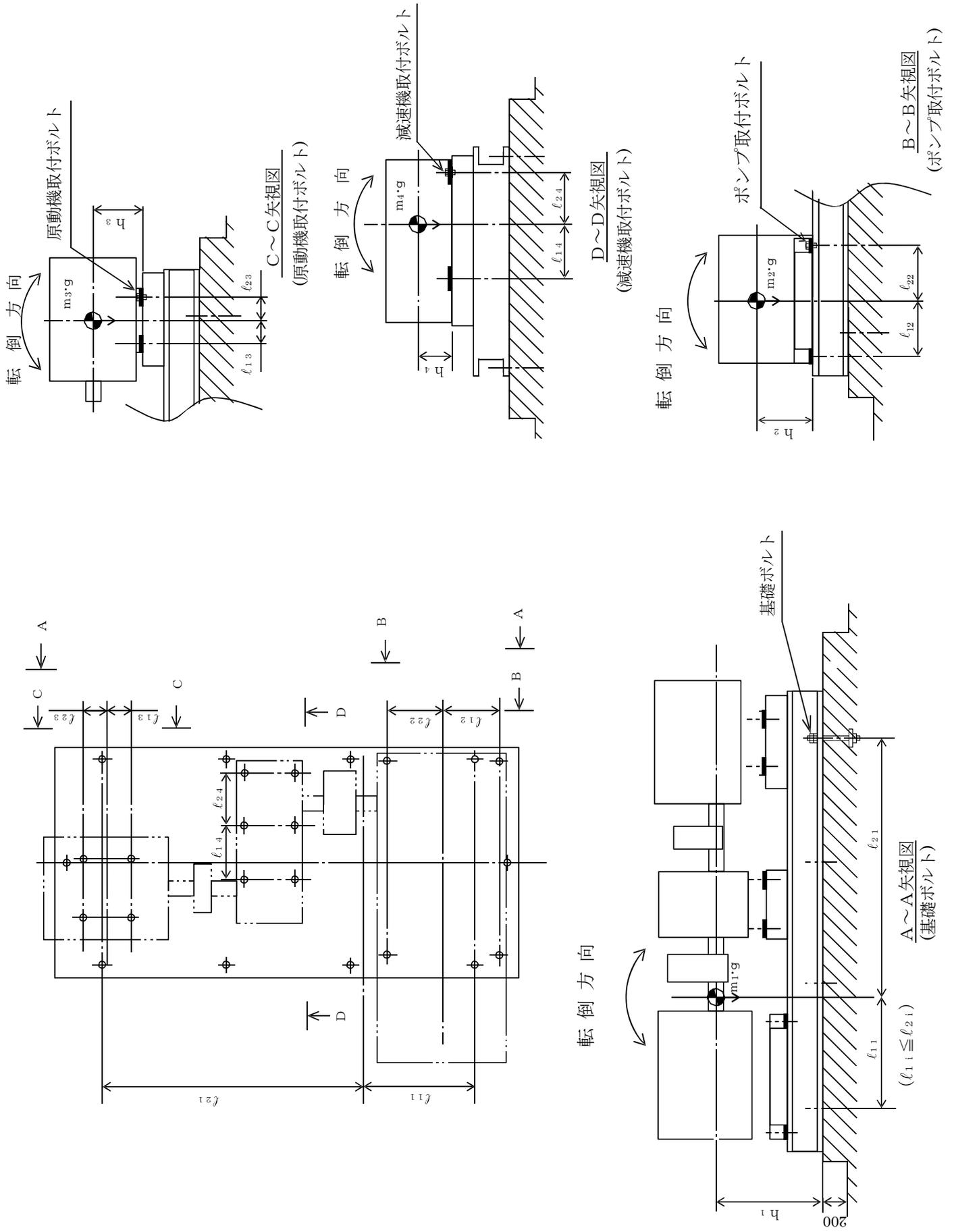
すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3.2.6 モーターフレームの評価 (単位: MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
モーターフレーム	引張り	15	234
	せん断	10	135

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.7 軸継手の評価
 原動機軸継手の評価は、「2.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。



添付資料-4-2：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	7
4.1 基本方針	7
4.2 設計用地震力	7
4.3 ポンプの動的機能維持評価	8
4.4 原動機の動的機能維持評価	12
5. 評価結果	13
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	13

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、「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、〇〇〇〇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。

〇〇〇〇ポンプは、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以外の常設重大事故防止設備に分類される。

以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

なお、〇〇〇〇ポンプは、「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スクリー式ポンプであるため、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（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「J E A G 4 6 0 1」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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇ポンプの構造計画を表2-1に示す。

・DB + SAの場合の記載例を示す。

〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

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	
<p>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。</p>	<p>スクリー式</p>	<p>The diagram illustrates the pump assembly on a foundation. On the left, a side view shows the motor (原動機) and pump (ポンプ) connected to a pump base (ポンプベース). The base is secured to the foundation (基礎) with pump mounting bolts (ポンプ取付ボルト). The motor is also secured with motor mounting bolts (原動機取付ボルト). On the right, a top-down view shows the pump base (ポンプベース) and foundation bolts (基礎ボルト) securing the entire unit to the foundation (基礎).</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-4 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

〇〇〇〇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

〇〇〇〇ポンプの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇ポンプ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 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	〇〇〇〇ポンプ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _A S
				$D + P_D + M_D + S_S$	IV _A S

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。

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
非常用電源 設備	〇〇〇〇ポンプ	常設／防止	—*2	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	IV _A S
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V _A S (V _A Sとして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：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。

- ・ DB + S A の場合を示す。
- ・ D B 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
- ・ S A 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)	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S		

(V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。)

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

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

DB + S A の場合は，V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト	SS41	50		241	394	—
ポンプ取付ボルト	SS41		40	245	400	—
原動機取付ボルト	SS41	50		241	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト	SS41	50		241	394	—
ポンプ取付ボルト	SS41		40	245	400	—
原動機取付ボルト	SS41	50		241	394	—

該当しない場合は「—」とする。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

〇〇〇〇ポンプは、「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
のスクリー式ポンプであるため、**J E A G 4 6 0 1**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) 〇〇〇〇ポンプは地震後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「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されてい
ない横置きスクリー式ポンプであるため、機能維持評価は、**J E A G 4 6 0 1**
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機であるため、「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、**J E A G 4 6 0 1**に従い構造的に一つ
の剛体として取り扱う。

(3) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））

J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・
建設規格」という。）の付録材料図表 Part5 の表にて計算する際に、中間の値の場
合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数
点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

4.2 設計用地震力

機能維持の確認に用いる設計用地震力については、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」
のうち「2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力」に基づく設計用地震力を用いる。

4.3 ポンプの動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

〇〇〇〇ポンプは、容量等が **J E A G 4 6 0 1** 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 **J E A G 4 6 0 1** に記載されている横形ポンプと同等であることから、**J E A G 4 6 0 1** 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。

- a. 基礎ボルト
- b. 取付ボルト
- c. 軸
- d. 軸受
- e. 摺動部（主ねじ部）
- f. メカニカルシール
- g. 軸継手

このうち「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。また、「g. 軸継手」は、軸受がボールベアリングでありサイドスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受、摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

軸の許容応力はその他のポンプの許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また、摺動部（主ねじ部）については主ねじとスリーブ間隙間、軸受については軸受の許容荷重値（許容面圧）、メカニカルシールについてはシール回転環の変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位毎の評価基準値を記載する。

4.3.3 記号の説明

○○○○ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表4-1に示す。

表4-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Aまでの距離 (= ℓ_2)	mm
A_R	ラジアル荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_S	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
b	軸端から支点Bまでの距離	mm
C_H	水平方向震度	—
C_V	鉛直方向震度	—
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (= 9.80665)	m/s^2
I_1	軸最小径での断面二次モーメント	mm^4
I_2	シール面軸径で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	軸端から支点Aまでの距離 (= a)	mm
M	最大曲げモーメント (M_A , M_B の大なる方)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	軸受総質量	kg
M_A	支点Aの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_B	支点Bの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
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面圧	MPa
P_S	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	$\text{N}\cdot\text{mm}$
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N
W_1	地震力を考慮した軸端部荷重	N
W_2	軸受にかかる通常運転時荷重	N
W_R	軸受にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
δ_1	摺動部 (主ねじ部) における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面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

4.3.4 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。

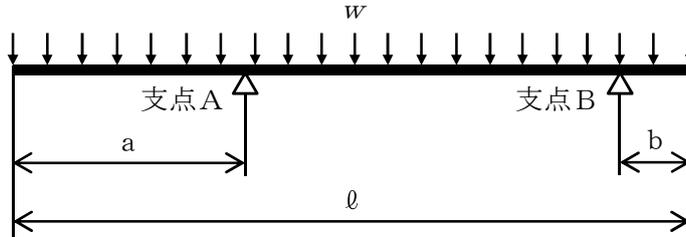


図 4-1 軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力 τ_{max} は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

ここで、ねじりモーメント T は

$$T = M_P \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

(1 kW = 10^6 N·mm/s)

支点 A の曲げモーメント M_A は

$$M_A = - \frac{w \cdot a^2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.4)$$

支点 B の曲げモーメント M_B は

$$M_B = - \frac{w \cdot b^2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.5)$$

ここで、地震力を考慮した等分布荷重 w は

$$w = \frac{m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}}{l} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.6)$$

(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。

$$P_R = \frac{W_R}{A_R} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.7)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_R は

$$W_R = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.8)$$

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。

$$P_S = \frac{W_S}{A_S} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.9)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 W_S は

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot C_H + W_2 \quad \dots \dots \dots (4.3.4.10)$$

(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。

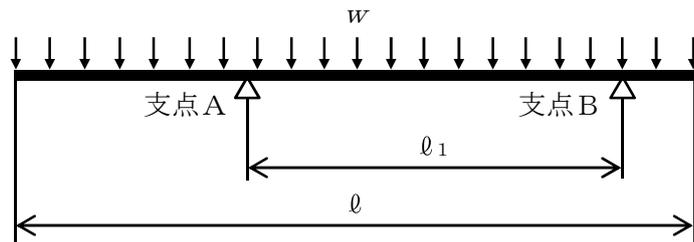


図 4-2 摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量 δ_1 は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot l_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot l_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1} \quad \dots \dots (4.3.4.11)$$

(4) メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し、発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

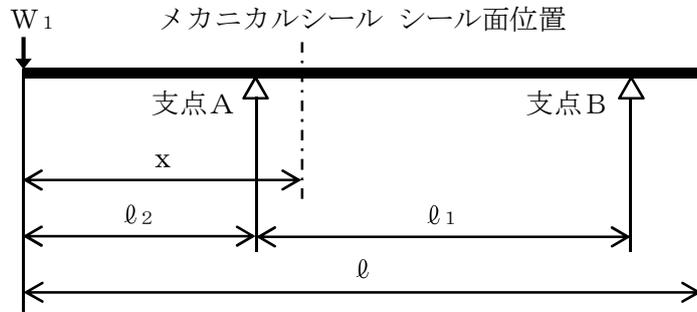


図 4-3 メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量 δ_2 は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot l_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left\{ \frac{x^3}{l_2^3} - \frac{3 \cdot (l_1 + l_2)}{l_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot l_1}{l_2} + 2 \right\} - \frac{W_1 \cdot (x - l_2)^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \dots \dots \dots (4.3.4.12)$$

ここで、地震力を考慮した軸端部荷重 W_1 は

$$W_1 = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots \dots \dots (4.3.4.13)$$

4.4 原動機の動的機能維持評価

原動機について詳細評価が必要な場合は、ポンプ本体と同様に「評価対象部位」、「評価基準値」、「記号の説明」、「評価方法」について記載する。

〇〇〇〇ポンプ用原動機は、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、「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 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (単位: $\times 9.8m/s^2$)

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	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇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。

(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

〇〇〇〇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。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価 ← 動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
○○○○ポンプ	S	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	CH=1.49	CV=0.67	CH=2.96	CV=1.33	CP=0.11	40	50

注記 *1: 基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	θ _{2i} (mm)		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		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)	124	230	130	130	4	2	2
ポンプ取付ボルト (i=2)	62	125	21	119	4	2	2
原動機取付ボルト (i=3)	37	100	80	70	4	2	2

部材	A _{bi} (mm ²)	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		MP (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	
基礎ボルト (i=1)	113.1 (M12)	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	241	276	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	201.1 (M16)	245*1 (径≦16mm)	400*1 (径≦16mm)	245	280	軸	—	—
原動機取付ボルト (i=3)	78.54 (M10)	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	241	276	軸直角	1.167×10 ⁴	—

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

転倒方向が同じときは、1つにする。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)	原動機出力 (kW)
HP=60	N=1800	P=2.2

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 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)	793.7	1.785×10 ³	1.946×10 ³	3.733×10 ³
ポンプ取付ボルト (i=2)	424.3	947.0	972.8	1.867×10 ³
原動機取付ボルト (i=3)	197.9	437.7	580.6	1.114×10 ³

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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	SS41	引張り	σ _{b1} = 7	f _{ts1} = 180	σ _{b1} = 16	f _{ts1} = 207
		せん断	τ _{b1} = 5	f _{sb1} = 139	τ _{b1} = 9	f _{sb1} = 159
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	σ _{b2} = 3	f _{ts2} = 183	σ _{b2} = 5	f _{ts2} = 210
		せん断	τ _{b2} = 2	f _{sb2} = 141	τ _{b2} = 3	f _{sb2} = 161
原動機取付ボルト	SS41	引張り	σ _{b3} = 3	f _{ts3} = 180	σ _{b3} = 6	f _{ts3} = 207
		せん断	τ _{b3} = 2	f _{sb3} = 139	τ _{b3} = 4	f _{sb3} = 159

すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価 ← 動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目とする。

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	スクリー式	4	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	CH=4.5	Cv=3.0	CP=0.11	40	20

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。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

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 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用 原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	取水エリア EL 8.5*1	—*2	—*2	CH=4.5	Cv=3.0	CP=0.11	40	20

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。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2.2 機器要目

m0 (kg)	φ (mm)	φ1 (mm)	φ2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)
6.4	449	324.5	109.5	109.5	15	35	170

AR (mm ²)	AS (mm ²)	E (MPa)	I1 (mm ⁴)	I2 (mm ⁴)	N (min ⁻¹)	W2 (N)
0.15	0.15	201000	3.472×10 ⁴	1.257×10 ⁵	1800	14.71

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認加速度との比較 (単位: ×9.8m/s²)

ポンプ	評価用加速度		機能確認加速度
	水平方向	鉛直方向	
原動機	1.60	0.69	—
	1.60	0.69	4.7
			1.0

ポンプは、本文 4.3.1 項に基づき、以下の項目について評価する。
原動機は、評価用加速度はすべて機能確認加速度以下である。

原動機について、機能確認加速度を超えている時は、「原動機は、〇〇方向の応答加速度が機能確認加速度を超えるため、以下の項目について評価する。」と記載し、以降詳細評価結果を記載する。

1.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の応力評価

評価部位	発生応力	許容応力
軸	9	513

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価

評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル	2.520×10^3	4.197×10^3
	スラスト	1.981×10^3	4.197×10^3

(単位：MPa)

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3 摺動部 (主ねじ) の評価

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部 (主ねじ)	0.023	0.025

(単位：mm)

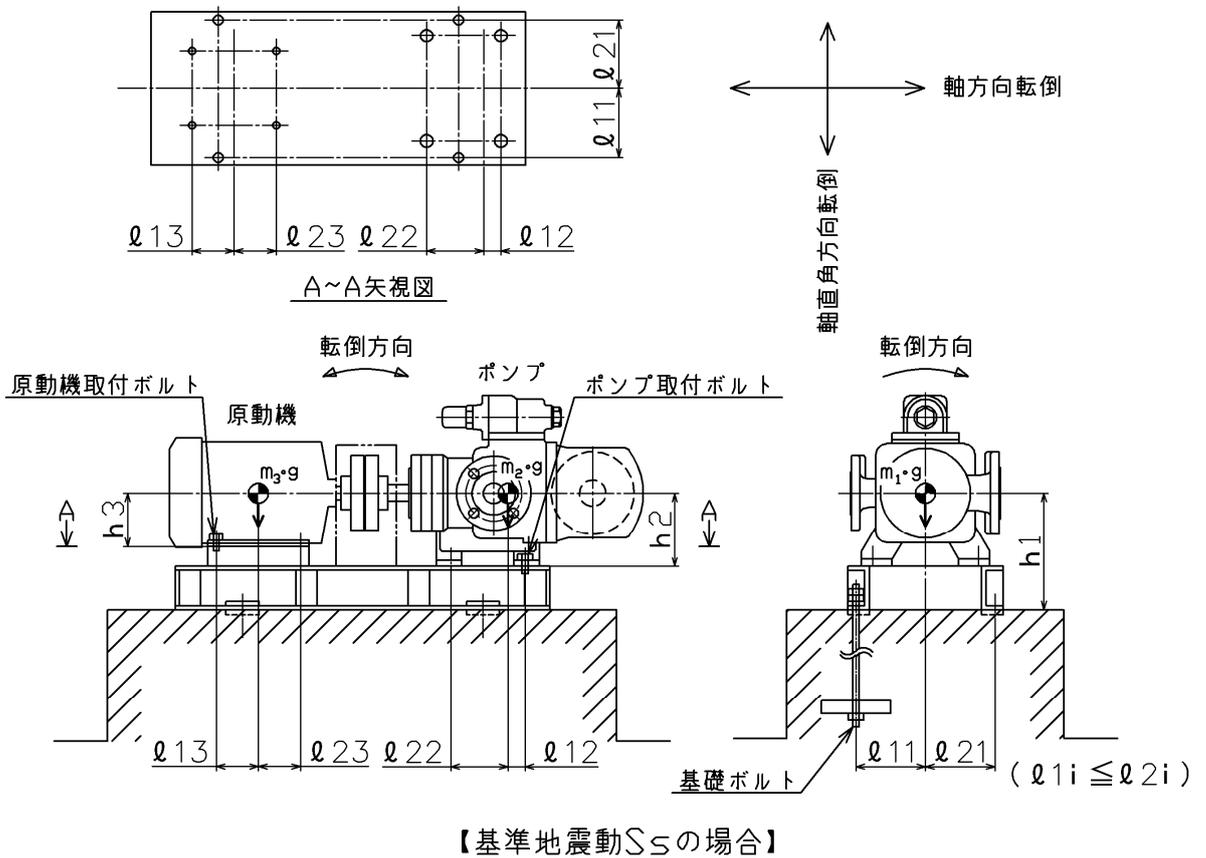
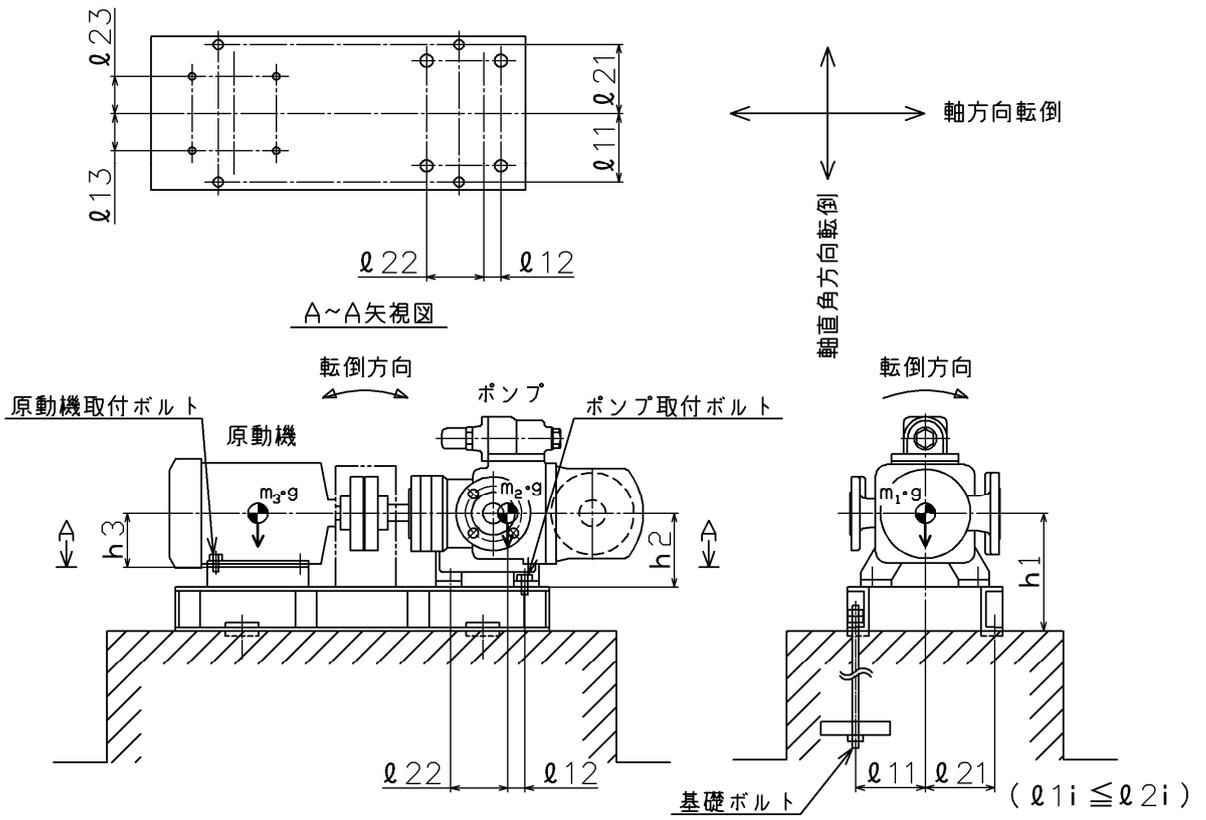
すべてスリーブ間隙間以下である。

1.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	0.014	3

(単位：mm)

すべて変位可能量以下である。



【○○○○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 構造強度評価

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)		固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
		水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
○○○○ポンプ	常設/防止	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	—	—	—	CH=2.96	CV=1.33	CP=0.11	40	50

注記 *1: 基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	θ _{1i} (mm)		θ _{2i} (mm)		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	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)	124	230	—	130	—	130	4	2
ポンプ取付ボルト (i=2)	62	125	—	21	—	119	4	2
原動機取付ボルト (i=3)	37	100	—	70	—	70	4	2

部材	A _{bi} (mm ²)	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	
基礎ボルト (i=1)	113.1 (M12)	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	—	276	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	201.1 (M16)	245*1 (径≦16mm)	400*1 (径≦16mm)	—	280	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	78.54 (M10)	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	—	276	—	軸	—

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)	原動機出力 (kW)
HP=60	N=1800	P=2.2

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 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)	—	1.785×10 ³	—	3.733×10 ³
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	947.0	—	1.867×10 ³
原動機取付ボルト (i=3)	—	437.7	—	1.114×10 ³

2.1.4 結論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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	SS41	引張り	—	—	σ _{b1} =16	f _{ts1} =207
		せん断	—	—	τ _{b1} =9	f _{sb1} =159
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	—	—	σ _{b2} =5	f _{ts2} =210
		せん断	—	—	τ _{b2} =3	f _{sb2} =161
原動機取付ボルト	SS41	引張り	—	—	σ _{b3} =6	f _{ts3} =207
		せん断	—	—	τ _{b3} =4	f _{sb3} =159

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称 〇〇〇〇ポンプ	形式 スクリー型式	定格容量 (m ³ /h) 4	据付場所及び床面高さ (m) 取水エリア EL 8.5*1	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C) 40	周囲環境温度 (°C) 20
				水平方向 —*2	鉛直方向 —*2	水平方向 設計震度 C _H =4.5	鉛直方向 設計震度 C _V =3.0			

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。
設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称 〇〇〇〇ポンプ用 原動機	形式 横形ころがり 軸受電動機	出力 (kW) 2.2	据付場所及び床面高さ (m) 取水エリア EL 8.5*1	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C) 40	周囲環境温度 (°C) 20
				水平方向 —*2	鉛直方向 —*2	水平方向 設計震度 C _H =4.5	鉛直方向 設計震度 C _V =3.0			

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。
設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2.2 機器要目

m 0 (kg)	φ	φ 1 (mm)	φ 2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)
6.4	449	324.5	109.5	109.5	15	35	170

AR (mm ²)	AS (mm ²)	E (MPa)	I 1 (mm ⁴)	I 2 (mm ⁴)	N (min ⁻¹)	W 2 (N)
0.15	0.15	201000	3.472×10 ⁴	1.257×10 ⁵	1800	14.71

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認経済加速度との比較 (単位: ×9.8m/s²)

ポンプ	水平方向	評価用加速度	機能確認経済加速度
	鉛直方向	1.60	—
原動機	水平方向	0.69	—
	鉛直方向	1.60	4.7
		0.69	1.0

ポンプは、本文 4.3.1 項に基づき、以下の項目について評価する。
原動機は、評価用加速度はすべて機能確認経済加速度以下である。

原動機について、機能確認経済加速度を超えている時は、「原動機は、〇〇方向の応答加速度が機能確認経済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。」と記載し、以降詳細評価結果を記載する。

2.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸の応力評価

評価部位	発生応力	許容応力
軸	9	513

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸受の評価

評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル	2.520×10^3	4.197×10^3
	スラスト	1.981×10^3	4.197×10^3

(単位：MPa)

すべて許容面圧以下である。

2.2.3.2.2.3 摺動部（主ねじ）の評価

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ）	0.023	0.025

(単位：mm)

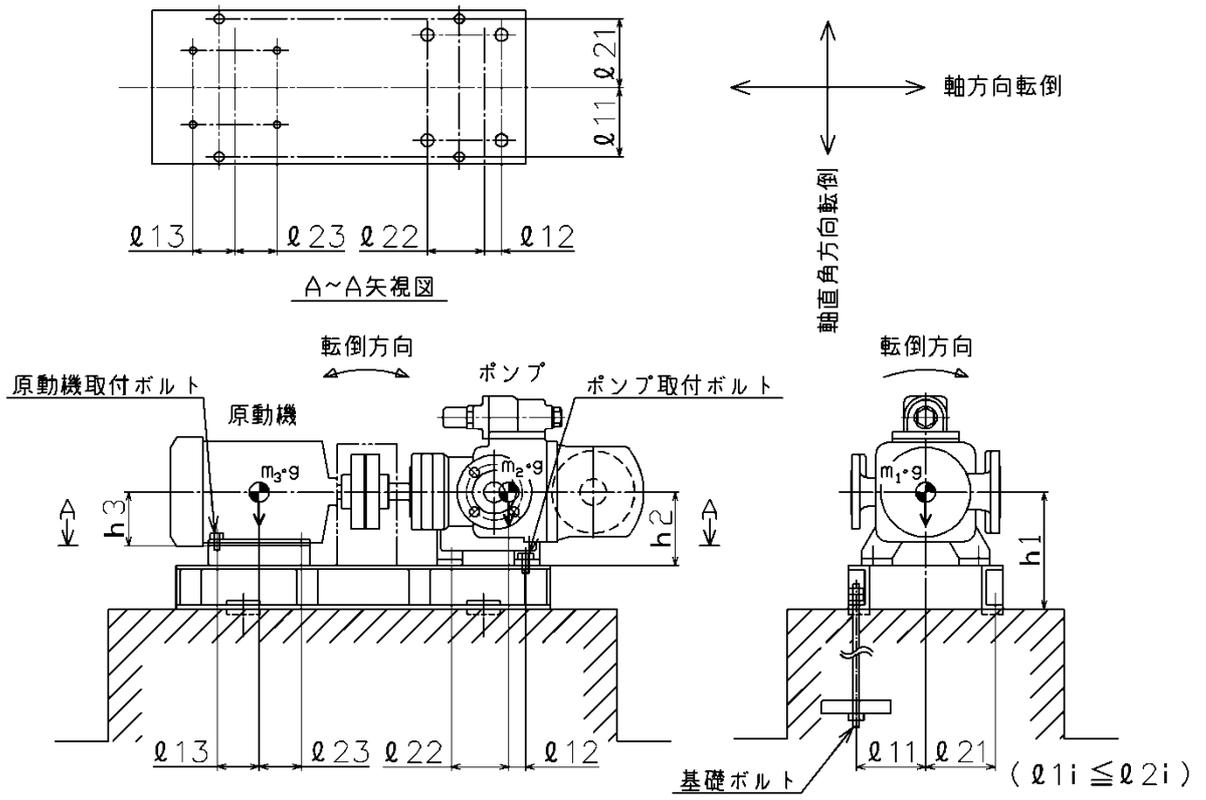
すべてスリーブ間隙間以下である。

2.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	0.014	3

(単位：mm)

すべて変位可能量以下である。



【基準地震動 S_s の場合】

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)

V-○-○-○ ○○○○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	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
4.3 設計用地震力	18
4.4 解析モデル及び諸元	19
4.5 固有周期	21
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	43
4.8 応力の評価	43
5. 評価結果	45
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	45
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	45
6. 引用文献	45

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、「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、〇〇〇〇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。

〇〇〇〇熱交換器は、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以外の常設重大事故防止設備に分類される。

以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇熱交換器の構造計画を表2-1に示す。

・DB + SAの場合の記載例を示す。

[DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	<p>胴を4個のラグで支持し、ラグをそれぞれ架台に取り付ボルトで取り付ける。</p>	
主体構造	<p>水室、管板、胴を有する中間支持たて置円筒形容器</p>	

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

〇〇〇〇熱交換器の応力評価は、「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」にて示す〇〇〇〇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、「4.4 解析モデル及び諸元」及び「4.5 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく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。

〇〇〇〇熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

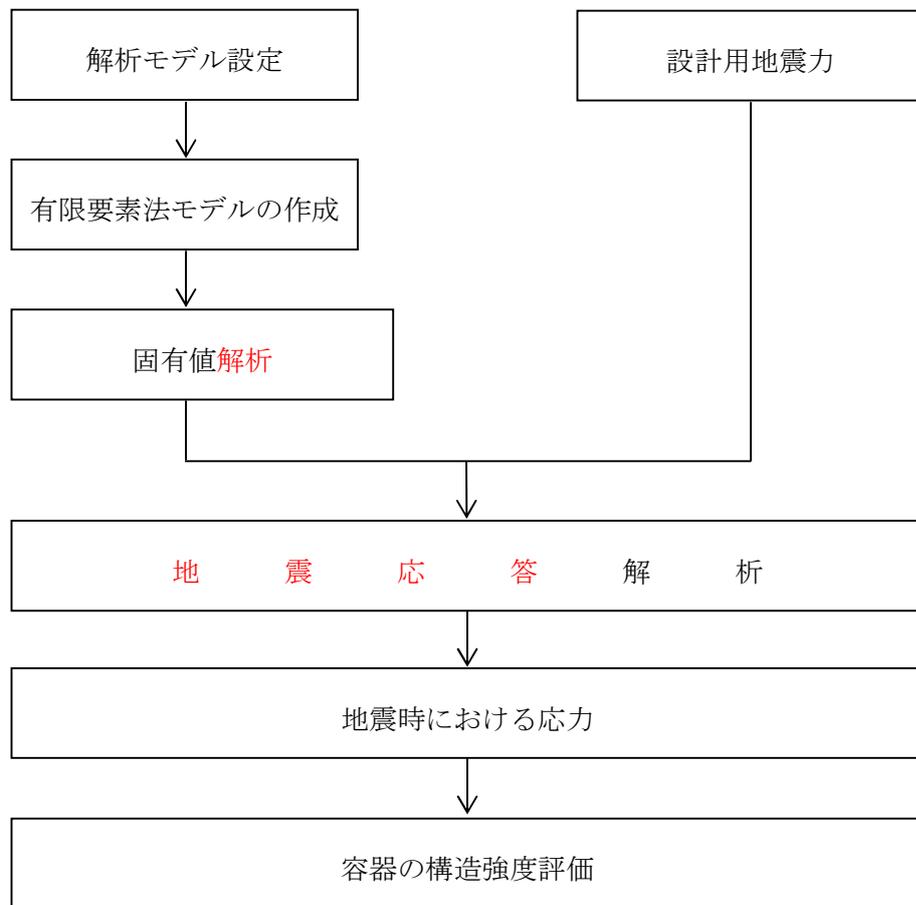


図 2-1 〇〇〇〇熱交換器の耐震評価フロー

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

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987及びJ E A G 4 6 0 1－1991 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）

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

基礎ボルトの応力計算を基礎ボルトの有効断面積で行う場合は, 以下の注記とする。

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）及び（設計・建設規格（2012年版） J S M E S N C 1－2012）（日本機械学会 2007年9月及び2012年12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	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _{b e}	基礎ボルトの有効断面積	mm ²
A _{s 1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
A _{s 2}	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
a	ラグの半径方向端面から胴板の厚さの中心までの距離	mm
b	ラグの半径方向端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
C ₁	ラグの胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の周方向)	mm
C ₂	ラグの胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の軸方向)	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
C _{c j}	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 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	基礎端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
D _i	胴の内径	mm
d	基礎ボルト中心間の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _b	基礎ボルトの縦弾性係数	MPa
e	ラグ底板幅の2分の1	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 ₀	振動モデル系における水平力	N
F ₁	振動モデル系の上部重心における水平力	N
F ₂	振動モデル系の下部重心における水平力	N
F _{0 1}	運転時質量により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1D}	鉛直下向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1U}	鉛直上向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1V}	鉛直方向地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 2}	運転時質量により基礎端面に作用する鉛直方向反力	N
F _{1 1}	水平力F ₁ 及びF ₂ により第1ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{1 2}	水平力F ₁ 及びF ₂ により第1ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
F _{2 1}	水平力F ₁ 及びF ₂ による第3ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{2 2}	水平力F ₁ 及びF ₂ による第3ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N

記号	記号の説明	単位
F_{31}, F_{32}	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力 (図4-6に示す鉛直方向反力)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	ラグの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H_1	ラグのアタッチメント中心より上部重心までの距離	mm
H_2	ラグのアタッチメント中心より下部重心までの距離	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K_c	胴のラグ付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
K_ℓ	胴のラグ付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
k_c, k_ℓ	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	—
L_b	ボルトの有効長さ	mm
M_1, M_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_3	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部のねじりモーメント	N・mm
M_b	水平力 F_1 及び F_2 による転倒モーメント (解析より得られる値)	N・mm
M_c	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の周方向モーメント	N・mm
M_ℓ	運転時質量による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M^{\ell D}$	鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M^{\ell U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M^{\ell V}$	鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_1	ラグのアタッチメント中心より上部の運転時質量	kg
m_2	ラグのアタッチメント中心より下部の運転時質量	kg
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	ラグ1個当たりの基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa

基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、 S_u 、 S_y 、 $S_y(RT)$ の記号の説明に注記符号「*1、*2」を付し、下記注記を本表の末尾表外に記載する。

注記*1：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格（2012）材料規格 Part3 第1章 表7に定める値

*2：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格（2012）材料規格 Part3 第1章 表6に定める値

記号	記号の説明	単位
Q	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の周方向荷重 (解析より得られる値)	N
R	運転時質量によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_1	水平力 F_1 及び F_2 によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_D	鉛直下向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_U	鉛直上向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_v	鉛直方向地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
r_m	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*1	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*2	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°Cにおける値*2	MPa
T_1	固有周期 (1次)	s
T_2	固有周期 (2次)	s
T_3	固有周期 (3次)	s
t	胴の厚さ	mm
Z_{sp}	ラグのねじり断面係数	mm ³
Z_{sl}	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm ³
$\beta, \beta_1, \beta_2,$ β_c, β_1	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
ε	拘束係数 (ラグの回転を拘束する場合：1, ラグの回転を拘束しない場合：0)	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	水平力 F_1 及び F_2 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_0	運転時質量による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_{0U}	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_1	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第1ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第3ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの周方向ねじれ角	rad
θ_{s0}	運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s0U}	鉛直上向き地震力によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s1}	水平力 F_1 及び F_2 による第1ラグの基礎に対する傾き角	rad

記号	記号の説明	単位
θ_{s2}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの基礎に対する傾き角	rad
π	円周率	—
σ_0	胴の一次一般膜応力最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{11} \sim \sigma_{16}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{17} \sim \sigma_{110}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{26}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{27} \sim \sigma_{210}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力の変動値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1} \sim \sigma_{b3}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}, σ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{1s} \sim \sigma_{3s}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_{4s}, σ_{5s}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_s	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s2} \sim \sigma_{s4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s5}, σ_{s6}	水平方向地震力（X方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s7}	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{xx1} \sim \sigma_{xx6}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1} \sim \sigma_{\phi x6}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi z 1} \sim \sigma_{\phi z 4}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2xx1} \sim \sigma_{2xx4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2xz1} \sim \sigma_{2xz6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi x1} \sim \sigma_{2\phi x4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi z1} \sim \sigma_{2\phi z6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x3}$	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周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 6}, \sigma_{x6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 6}, \sigma_{2x6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 7}, \sigma_{x7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 7}, \sigma_{2x7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 8}, \sigma_{2x8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 9}, \sigma_{2x9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 10}, \sigma_{2x10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{\phi 12D}, \sigma_{x12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12U}, \sigma_{x12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12}, \sigma_{x12}$	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周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12D}, \sigma_{2x12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12U}, \sigma_{2x12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12}, \sigma_{2x12}$	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周方向及び軸方向の二次応力	MPa
τ_3	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4}, τ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
τ_{l_1}	運転時質量により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l_2}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l_5}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l_6D}	鉛直下向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l_6U}	鉛直上向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l_6}	鉛直方向地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{s_1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s_2} \sim \tau_{s_4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s_5}, τ_{s_6}	水平方向地震力（X方向）によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s_7}	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第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記注記を追記する。なお、その際に上記注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。

*2：ボルトの有効断面積は、JIS B 1082 表1に記載の値とする。

「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

〇〇〇〇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、耐震評価上厳しくなる胴板、ラグ、基礎ボルトについて実施する。 〇〇〇〇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、上部側、下部側に分け、それぞれの全質量が、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、強度評価において組合せるものとする。なお、基礎ボルトにおいては、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、ラグはそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。
- (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、基礎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) 容器は耐震補強サポートによって、管板部を支持されるものとする。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇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4-1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

〇〇〇〇熱交換器の許容応力を表4-3～表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇熱交換器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4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

・ DB + S A の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は S A 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
残留熱除去 系統施設	残留熱除去 設備	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^{*}$	ⅢAS
				$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣAS

注記 * : クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故等対応設備)

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
残留熱除去 系統施設	残留熱除去 設備	常設/防止	管側 重大事故等 クラス2容器 胴側*2 重大事故等 クラス3容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	ⅣAS
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VAS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 : 重大事故等クラス3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。

・DB+SAの場合を示す。
 ・DB単独の場合は、許容応力（クラス2，3 容器）
 ・SA単独の場合は、許容応力（重大事故等クラス2 容器）とする。

表4-3 許容応力（クラス2，3 容器及び重大事故等クラス2 容器）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2}		
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次+ ピーク応力
III _A S	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	^{*3} 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。
IV _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	^{*3} 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。
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)			

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器的座屈に対する評価式による。

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

*3：2・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。

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V_ASを追加する。

・DB+SAの場合を示す。
 ・DB単独の場合は、許容応力（クラス2，3支持構造物）
 ・SA単独の場合は、許容応力（重大事故等クラス2支持構造物）とする。

表4-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)
		一次応力
	組合せ	引張り
Ⅲ _A S	1.5・f _t	1.5・f _t
Ⅳ _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる)		せん断 1.5・f _s

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

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

DB+SAの場合はV_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に
該当する場合は記載する。

表 4-5 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SGV480	85		242	441	—
ラグ	SM400A	66	—	199	377	—
基礎ボルト	SCM435	66	—	730	868	—

該当しない場合は、
“—”とする。

表 4-6 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SGV480	85		242	441	—
ラグ	SM400A	66	—	199	377	—
基礎ボルト	SCM435	66	—	730	868	—

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。

添付資料-9「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき見直す。
 (本件の場合は、(5)DB/SA 兼用：剛な場合)

4.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-7及び表4-8に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「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」に基づく。

表 4-7 設計用地震力 (設計基準対象施設)

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 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
S	原子炉建屋 EL. 23.8 ^{*1}	0.029	0.024	$C_H=1.12$ ^{*2}	$C_V=0.83$ ^{*2}	$C_H=2.05$ ^{*3}	$C_V=1.56$ ^{*3}

注記 *1:基準床レベルを示す。

*2:弾性設計用地震動 S d 又は静的震度と同等以上の設計震度

*3:基準地震動 S s の震度と同等以上の設計震度

表 4-8 設計用地震力 (重大事故等対処設備)

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 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
-(S s)	原子炉建屋 EL. 23.8 ^{*1}	0.029	0.024	-	-	$C_H=2.05$ ^{*2}	$C_V=1.56$ ^{*2}

注記 *1:基準床レベルを示す。

*2:基準地震動 S s の震度と同等以上の設計震度

↑

SA 単独の計算書の場合は記載不要

4.4 解析モデル及び諸元

〇〇〇〇熱交換器の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-9に示す。

- (1) 熱交換器本体をはり要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 熱交換器本体を2質点系振動モデルとして考える。
- (3) 計算機コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「付録17 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV」に示す。

- (4) 拘束条件は、〇〇部を完全拘束とする。

【(4) 拘束条件として、基礎部の〇〇方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。】

(記載例)

拘束条件（基礎（据付）ボルト含む。）を記載する。
 なお、基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は、「なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。

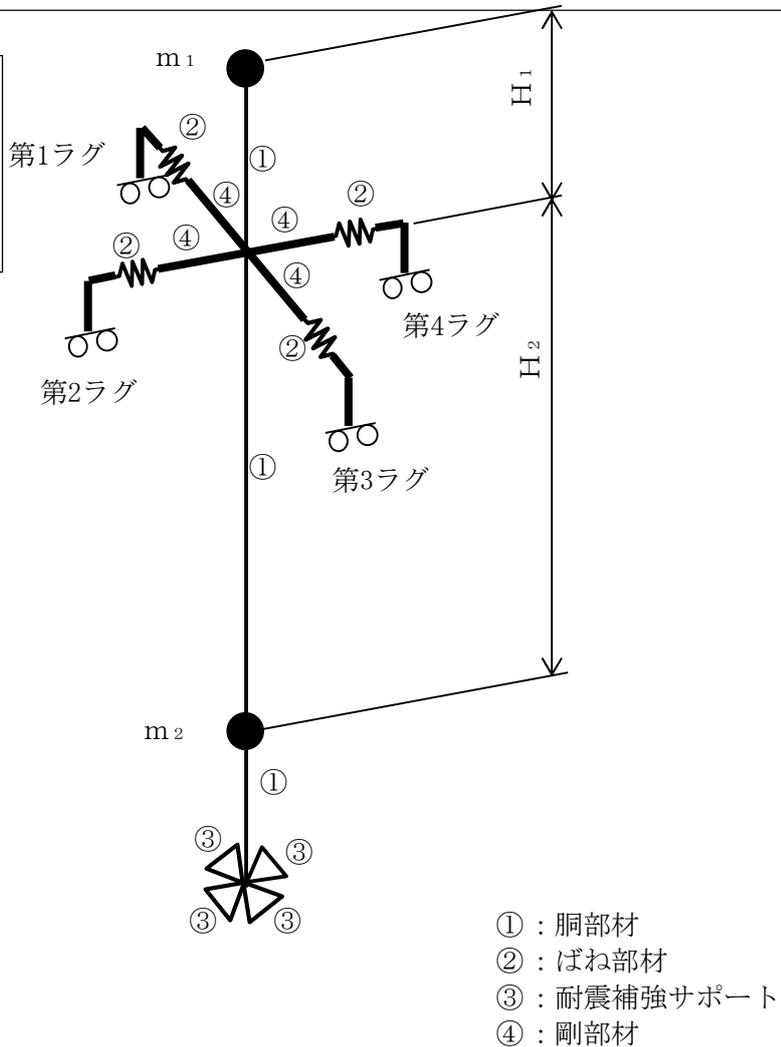


図4-1 解析モデル

表4-9 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	○○○
質量	m	kg	○○○
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	○○
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。）

4.5 固有周期

計算機コード「SAP-IV」により求めた固有値解析の結果を表4-10に示す。

表4-10 固有周期 (s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	$T_1=0.029$
2次	水平	$T_2=0.029$
3次	鉛直	$T_3=0.024$

↑
柔構造の場合は、振動モード図を記載する。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 胴の計算方法

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(2) 運転時質量による応力

運転時質量による「 $m_o \cdot g$ 」及び「 $m_o \cdot g \cdot C_v$ 」は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 11} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

(3) 運転時質量による胴のラグ付け根部の応力

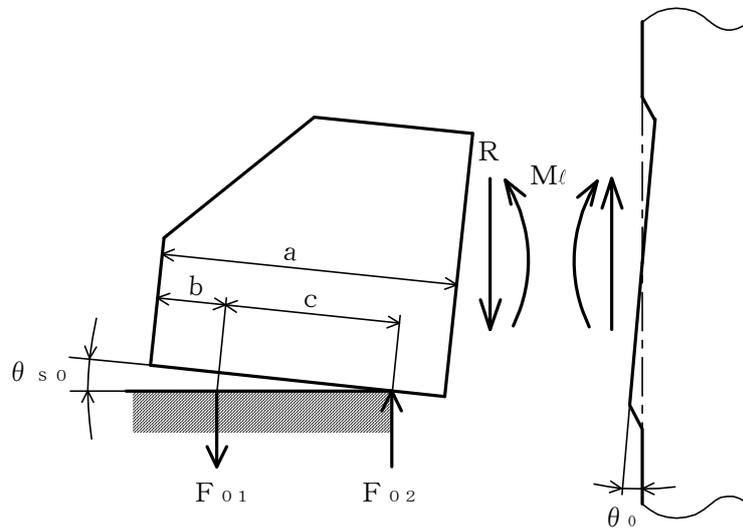


図4-2 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量 m_0 による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R - m_0 \cdot g = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

上式を変形して

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

また、ラグについて図4-2のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02} \cdot (a - b - c) - F_{01} \cdot (a - b) - M_\ell = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

$$F_{02} - F_{01} - R = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

(4.6.1.1.8) 式へ (4.6.1.1.9) を代入して

$$F_{01} = \frac{R \cdot (a - b - c) - M_\ell}{c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.10)$$

運転時質量によるラグの局部傾き角は

$$\theta_0 = \frac{M_\ell \cdot K_\ell}{r m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.11)$$

運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角は

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.12)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_0 とラグの傾き角 θ_{s0} は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.13)$$

(4.6.1.1.13) 式へ (4.6.1.1.11) 式及び (4.6.1.1.12) 式を代入して得られる F_{01} の式と (4.6.1.1.10) 式より、胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメントを次式で求める。

運転時質量による「 $m_0 \cdot g$ 」は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$M_\ell = \frac{R \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_\ell \cdot c^2}{r m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.14)$$

ここで、 K_ℓ は、引用文献(1)に基づく胴のラグ付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数であり、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.15)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.16)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.17)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.18)$$

$$\beta = k_\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.19)$$

鉛直方向曲げモーメント $M\ell$ 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 及びアタッチメントパラメータ β は、以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.20)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.21)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.22)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.23)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β 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。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.25)$$

反力Rによるせん断応力は

$$\tau_{\ell 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.26)$$

(4) 鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力は、下記(a)項及び(b)項より得られる $\sigma_{\phi 12D}$, $\sigma_{\phi 12U}$, $\sigma_{x 12D}$, $\sigma_{x 12U}$, $\sigma_{2\phi 12D}$, $\sigma_{2\phi 12U}$, $\sigma_{2x 12D}$, $\sigma_{2x 12U}$, $\tau_{\ell 6D}$, $\tau_{\ell 6U}$ を用いて下記のように求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 12} = \max \left[\left| \sigma_{\phi 12D} \right|, \left| \sigma_{\phi 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.27)$$

$$\sigma_{x 12} = \max \left[\left| \sigma_{x 12D} \right|, \left| \sigma_{x 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.28)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 12} = \max \left[\left| \sigma_{2\phi 12D} \right|, \left| \sigma_{2\phi 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.29)$$

$$\sigma_{2x 12} = \max \left[\left| \sigma_{2x 12D} \right|, \left| \sigma_{2x 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.30)$$

反力によるせん断応力

$$\tau_{\ell 6} = \max \left[\tau_{\ell 6D}, \tau_{\ell 6U} \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.31)$$

(a) 鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直下向き地震荷重により生じる応力は4.6.1.1(3)で与えられた連立方程式において、 $m_0 \cdot g$ を $m_0 \cdot g \cdot C_v$ に置き換えて解くことにより求められる。運転時質量による「 $m_0 \cdot g \cdot C_v$ 」は、図4-1図に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$R_D = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{4} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.32)$$

$$M_{\ell D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.33)$$

$$F_{01D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c) - M_{\ell D}}{c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.34)$$

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell D}$ 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 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} 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

$$\sigma_{\phi 1 2 D} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 1 2 D} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell D} / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 2 1 2 D} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell D} / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 2 1 2 D} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell D} / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.38)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} 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} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.39)$$

反力 R_D によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 16D} = \frac{R_D}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.40)$$

(b) 鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直上向き地震力 $(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g$ による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R_U - (C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.1.41)$$

また、ラグについて図4-3のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02U} \cdot a - F_{01U} \cdot (a - b) + M_{\ell U} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.1.42)$$

$$F_{02U} - F_{01U} + R_U = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.1.43)$$

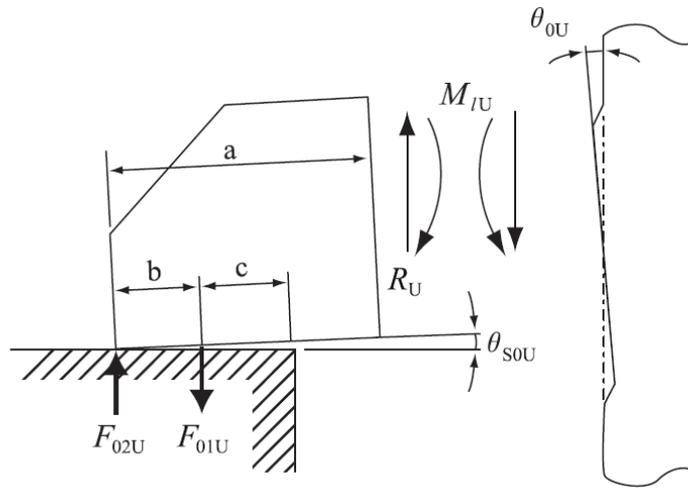


図4-3 鉛直上向き荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} は、

$$\theta_{0U} = \frac{M_{\ell U} \cdot K_{\ell}}{r m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.6.1.1.44)$$

ラグの基礎に対する傾き角 θ_{sOU} は

$$\theta_{sOU} = \frac{F_{01U} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \dots\dots\dots (4.6.1.1.45)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} とラグの基礎に対する傾き角 θ_{sOU} は等しいから

$$\theta_{0U} = \theta_{sOU} \dots\dots\dots (4.6.1.1.46)$$

以上の式を連立させて解くことにより R_U , $M_{\ell U}$, F_{01U} は次式で求める。
鉛直方向上向きによる「 $(C_V - 1) m_o \cdot g$ 」は、図4-1図に示す解析モデル
について計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$R_U = \frac{(C_V - 1) m_o \cdot g}{4} \dots\dots\dots (4.6.1.1.47)$$

$$M_{\ell U} = \frac{R_U \cdot a}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot b^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.48)$$

$$F_{01U} = \frac{-R_U \cdot a + M_{\ell U}}{b} \dots\dots\dots (4.6.1.1.49)$$

鉛直上向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell U}$ 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 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} によって引用文
献(2)の表より値を求める（以下、*を付記する）ことによって、次式で求められる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 12U} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (4.6.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 12U} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.51)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 12U} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.52)$$

$$\sigma_{2x 12U} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.53)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} 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} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.54)$$

反力 R_U によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 16U} = \frac{R_U}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.55)$$

(5) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x4} = \frac{C_H \cdot m_1 \cdot g \cdot H_1 \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.56)$$

水平方向地震量による「 $C_H \cdot m_1 \cdot g \cdot H_1$ 」は、図4-1図に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して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 は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.57)$$

(6) 水平方向地震力（Z方向）による胴のラグ付け根部に作用する荷重及びモーメント

(a) 胴の中心軸の傾きにより作用する荷重及びモーメント

ラグ、基礎ボルト及び胴について荷重、モーメント及び変位量の釣合い条件の方程式を作る。

胴への荷重、モーメント及び胴の変位量について
水平力の釣合いより

$$F_0 = F_1 + F_2 = 2 \cdot Q \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.58)$$

転倒モーメントの釣合より

$$M_b - M_1 - M_2 - 2 \cdot M_3 - 2 \cdot R_1 \cdot r_m = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.59)$$

ここで、 r_m は次式による。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.60)$$

転倒モーメントによる第1ラグ及び第3ラグの胴の付け根部の局部傾き角は

$$\theta_1 = \frac{-M_1 \cdot K \ell}{r_m^3 \cdot \beta \ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.61)$$

$$\theta_2 = \frac{-M_2 \cdot K \ell}{r_m^3 \cdot \beta \ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.62)$$

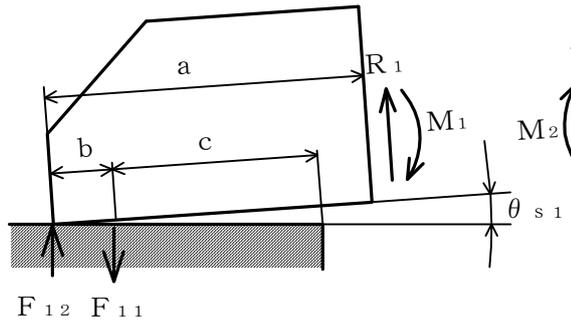


図4-4 第1ラグに作用する
モーメントと力

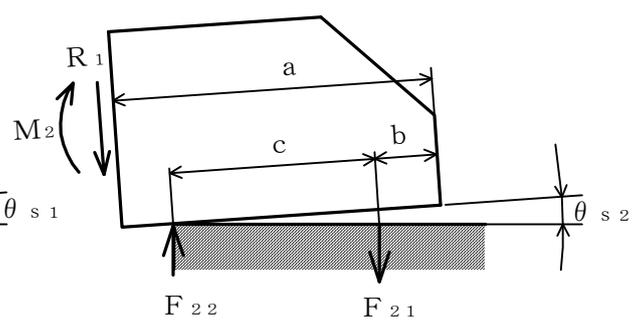


図4-5 第3ラグに作用する
モーメントと力

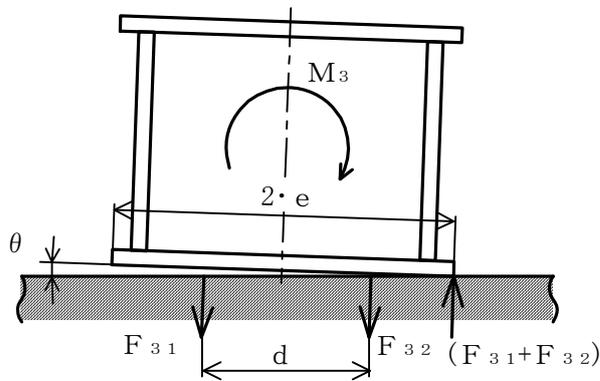


図4-6 第2ラグ及び第4ラグに作用するモーメントと力

第1ラグについて図4-4のように傾いたとき

モーメントの釣合より

$$F_{12} \cdot (a - b - c) - F_{11} \cdot (a - b) + M_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.63)$$

鉛直力の釣合より

$$F_{12} - F_{11} + R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.64)$$

第3ラグについて図4-5のように傾いたとき

モーメントの釣合より

$$F_{21} \cdot (a - b) - F_{22} \cdot a + M_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.65)$$

鉛直力の釣合より

$$F_{22} - F_{21} - R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.66)$$

第2ラグ及び第4ラグについて図4-6のように傾いたとき

モーメントの釣合より

$$-F_{31} \cdot \frac{d}{2} + F_{32} \cdot \frac{d}{2} + (F_{31} + F_{32}) \cdot e + M_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.67)$$

基礎ボルトの伸びと力の関係より

$$\frac{F_{31}}{e - \frac{d}{2}} = \frac{F_{32}}{e + \frac{d}{2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.68)$$

ラグの基礎に対する傾き角は、基礎ボルトの伸びと力の平衡条件により求められる。

第1ラグについて

$$\theta_{s1} = \frac{F_{11} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.69)$$

第3ラグについて

$$\theta_{s2} = \frac{F_{21} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.70)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\theta = \frac{F_{32} \cdot L_b}{A_{be} \cdot E_b \cdot \left(e + \frac{d}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.71)$$

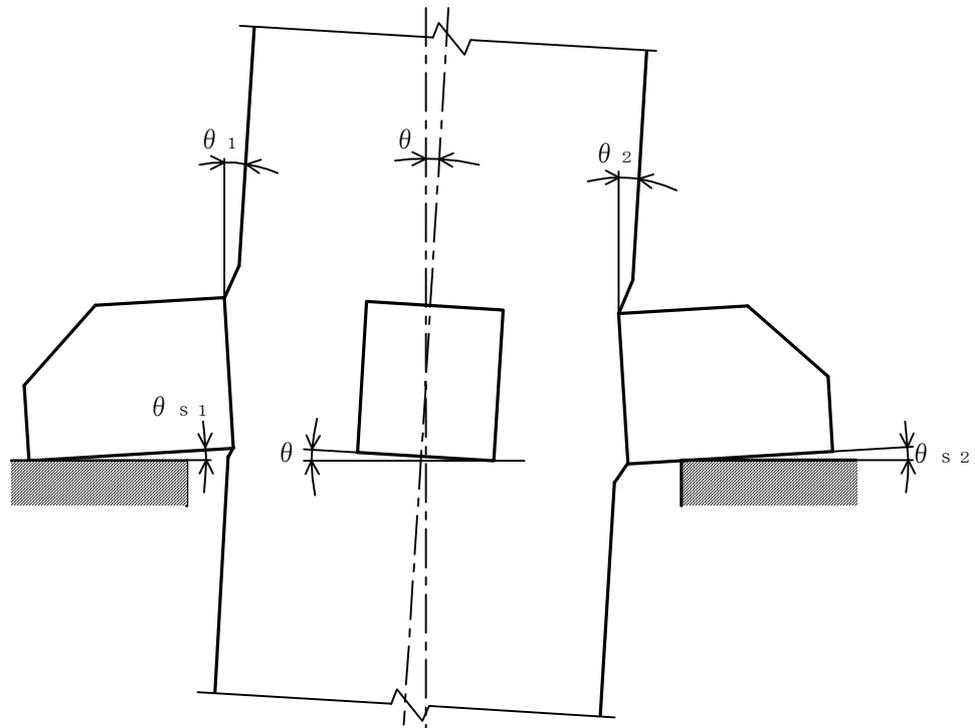


図4-7 転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角

胴中心軸の傾き角 θ ，ラグ付け根部の局部傾き角 θ_1 及び θ_2 並びにラグの基礎に対する傾き角 θ_{s1} 及び θ_{s2} の間には次の関係が成立する。

$$\theta_{s1} - \theta_1 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.72)$$

$$\theta_{s2} - \theta_2 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.73)$$

$$(a - b - c) \cdot \theta_{s1} - 2 \cdot r_m \cdot \theta + a \cdot \theta_{s2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.74)$$

したがって、水平方向地震が作用した場合の転倒モーメント M_b は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用して、15変数 $M_1, M_2, M_3, R_1, \theta_1, \theta_2, F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22}, F_{31}, F_{32}, \theta_{s1}, \theta_{s2}$ 、及び θ を (4.6.1.1.59) 式及び (4.6.1.1.61) 式～ (4.6.1.1.74) 式を連立させて求める。

なお、上記連立方程式で算出した F_{12} が負の場合は、(4.6.1.1.63) 式の左辺第1項の $(a - b - c)$ を $(a - b)$ に、 F_{22} が負の場合は、(4.6.1.1.65) 式の左辺第2項の a を $(a - b)$ に置き換えて再計算する。

(b) 胴の水平方向移動により作用する荷重及びモーメント

(4.6.1.1.58) 式における Q は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用して、 M_c を次式にて求める。

第2ラグ及び第4ラグの曲げモーメントの釣合いにより

$$M_c = Q \cdot (a - b) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.75)$$

(7) 水平方向地震力 (Z方向) による胴のラグ付け根部の応力

(6) で求められた鉛直方向モーメント M_1 及び M_2 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は (4.6.1.1.24) 式の $\sigma_{\phi 3}$ 及び (4.6.1.1.25) 式の σ_{x3} と同様にして

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.76)$$

$$\sigma_{x5} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.77)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.78)$$

$$\sigma_{2x5} = \left\{ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.79)$$

一次応力

$$\sigma_{\phi 6} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots \quad (4.6.1.1.80)$$

$$\sigma_{x 6} = \left\{ \frac{N_x}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots \quad (4.6.1.1.81)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 6} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (4.6.1.1.82)$$

$$\sigma_{2x 6} = \left\{ \frac{M_x}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (4.6.1.1.83)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} 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} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots \quad (4.6.1.1.84)$$

(5) で求められた周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

一次応力

$$\sigma_{\phi 7} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t} \right) \cdot C_{c 1} \quad \dots \quad (4.6.1.1.85)$$

$$\sigma_{x 7} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t_c} \right) \cdot C_{c 2} \quad \dots \quad (4.6.1.1.86)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 7} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (4.6.1.1.87)$$

$$\sigma_{2x 7} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (4.6.1.1.88)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_c 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_c を乗じた値とする。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots \quad (4.6.1.1.89)$$

(5) で求められた周方向せん断力Qによるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{|Q|}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.90)$$

(5) で求められた鉛直方向せん断力R₁によるせん断応力は

$$\tau_{\ell2} = \frac{|R_1|}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.91)$$

(5) で求められたねじりモーメントM₃により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{|M_3|}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.92)$$

(8) 水平方向地震力 (X方向) による胴のラグ付け根部の応力

鉛直方向曲げモーメントM₁により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi 8} &= \sigma_{\phi 5} / \sqrt{2}, & \sigma_{x 8} &= \sigma_{x 5} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi 8} &= \sigma_{2\phi 5} / \sqrt{2}, & \sigma_{2x 8} &= \sigma_{2x 5} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

鉛直方向曲げモーメントM₂により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi 9} &= \sigma_{\phi 6} / \sqrt{2}, & \sigma_{x 9} &= \sigma_{x 6} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi 9} &= \sigma_{2\phi 6} / \sqrt{2}, & \sigma_{2x 9} &= \sigma_{2x 6} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi 10} &= \sigma_{\phi 7} / \sqrt{2}, & \sigma_{x 10} &= \sigma_{x 7} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi 10} &= \sigma_{2\phi 7} / \sqrt{2}, & \sigma_{2x 10} &= \sigma_{2x 7} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R₁によるせん断応力は

$$\tau_{\ell5} = \tau_{\ell2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメントM₃による胴のせん断応力は

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2}$$

(9) 組合せ応力

(1)～(8)によって算出される胴のラグ付け根部に生じる応力は以下により組合せられる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}] \dots\dots\dots (4.6.1.1.93)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.94)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 1 1}^2 + \sigma_{x 4}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.95)$$

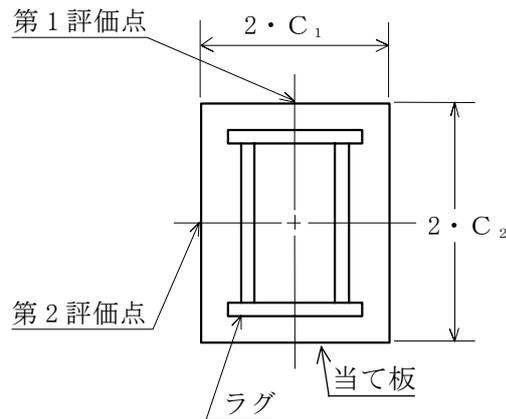


図4-8 胴の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}) \dots\dots\dots (4.6.1.1.96)$$

a) 水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力

(a) 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 5}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.97)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 5})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.98)$$

$$\sigma_{1 1} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.99)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.100)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.101)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4 \cdot [\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 2}^2}]^2} \right\}$$

..... (4.6.1.1.102)

(b) 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.103)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.104)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \right\}$$

..... (4.6.1.1.105)

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 7}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.106)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 7}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.107)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_3^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \right\}$$

..... (4.6.1.1.108)

(c) 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 6}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.109)$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 6})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.110)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.111)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.112)$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.113)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \right\}$$

..... (4.6.1.1.114)

b) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の組合せ一次応力

(a) 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 8}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.115)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.116)$$

$$\sigma_{17} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x1} + \sigma_{xx1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x1} - \sigma_{xx1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c4} + \tau_6)^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.117)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x2} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 10}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.118)$$

$$\sigma_{xx2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x10})^2 + \sigma_{x11}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.119)$$

$$\sigma_{18} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x2} + \sigma_{xx2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x2} - \sigma_{xx2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.120)$$

(b) 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 9}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.121)$$

$$\sigma_{xx3} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x9})^2 + (\sigma_{x11} + \sigma_{x12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.122)$$

$$\sigma_{19} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x3} + \sigma_{xx3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x3} - \sigma_{xx3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c4} + \tau_6)^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.123)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x4} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 10}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.124)$$

$$\sigma_{xx4} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x10})^2 + \sigma_{x11}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.125)$$

$$\sigma_{110} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x4} + \sigma_{xx4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x4} - \sigma_{xx4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.126)$$

c. 胴の一次+二次応力の変動値

$$\sigma_2 = \text{Max}(\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}, \sigma_{27}, \sigma_{28}, \sigma_{29}, \sigma_{210}) \dots\dots\dots (4.6.1.1.127)$$

a) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次+二次応力の変動値

(a) 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.128)$$

$$\sigma_{2xz1} = \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{2x5})^2 + (\sigma_{x11} + \sigma_{x12} + \sigma_{2x12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.129)$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{2\phi z 1} + \sigma_{2xz 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 1} - \sigma_{2xz 1})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.130)$$

第2評価点について

$$\sigma_{2\phi z 2} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.131)$$

$$\sigma_{2xz 2} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.132)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi z 2} + \sigma_{2xz 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 2} - \sigma_{2xz 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6} + \tau_{\ell 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.133)$$

(b) 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 3} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.134)$$

$$\sigma_{2xz 3} = \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.135)$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi z 3} + \sigma_{2xz 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 3} - \sigma_{2xz 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.136)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 7} + \sigma_{2\phi 7})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.137)$$

$$\sigma_{2xz 4} = \sqrt{(\sigma_{x 7} + \sigma_{2x 7})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.138)$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi z 4} + \sigma_{2xz 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 4} - \sigma_{2xz 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6} + \tau_3)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.139)$$

(c) 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 5} = \sqrt{(\sigma_{\phi 6} + \sigma_{2\phi 6})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.140)$$

$$\sigma_{2xz 5} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_6 + \sigma_{2x 6})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.141)$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{2\phi z 5} + \sigma_{2xz 5} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 5} - \sigma_{2xz 5})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.142)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.143)$$

$$\sigma_{2xz 6} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.144)$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{2\phi z 6} + \sigma_{2xz 6} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 6} - \sigma_{2xz 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6} + \tau_{\ell 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.145)$$

b) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震力のみによる一次＋二次応力の変動値

(a) 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 8} + \sigma_{2\phi 8})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.146)$$

$$\sigma_{2xx 1} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{2xx 8})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2xx 1 2})^2} \quad \dots\dots (4.6.1.1.147)$$

$$\sigma_{27} = \sigma_{2\phi x 1} + \sigma_{2xx 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 1} - \sigma_{2xx 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.148)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 2} = \sqrt{(\sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.149)$$

$$\sigma_{2xx 2} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2xx 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.150)$$

$$\sigma_{28} = \sigma_{2\phi x 2} + \sigma_{2xx 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 2} - \sigma_{2xx 2})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.151)$$

(b) 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 3} = \sqrt{(\sigma_{\phi 9} + \sigma_{2\phi 9})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.152)$$

$$\sigma_{2xx 3} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{2xx 9})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2xx 1 2})^2} \quad \dots\dots (4.6.1.1.153)$$

$$\sigma_{29} = \sigma_{2\phi x 3} + \sigma_{2xx 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 3} - \sigma_{2xx 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.154)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.155)$$

$$\sigma_{2xx 4} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2xx 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.156)$$

$$\sigma_{210} = \sigma_{2\phi x 4} + \sigma_{2xx 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 4} - \sigma_{2xx 4})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.157)$$

4.6.1.2 ラグの計算方法

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{\ell}}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$\tau_{s1} = \frac{R}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s7} = \frac{M_{\ell V}}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

$$\tau_{s7} = \frac{R_V}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

ここで、 $M_{\ell V}$ 、 R_V は4.6.1.1(4) で得られた $M_{\ell D}$ 、 $M_{\ell U}$ 、 R_D 、 R_U を用い

て下式より求める。

$$M_{\ell V} = \max(|M_{\ell D}|, |M_{\ell U}|) \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

$$R_V = \max(|R_D|, |R_U|) \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

(3) 水平方向地震力（Z方向）による応力

第1ラグについて

$$\sigma_{s2} = \frac{|M_1|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

$$\tau_{s2} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.8)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s3} = \frac{|M_c|}{Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.9)$$

$$\tau_{s3} = \frac{|M_3|}{Z_{sp}} + \frac{|Q|}{A_{s2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.10)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{s4} = \frac{|M_2|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.11)$$

$$\tau_{s4} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.12)$$

(4) 水平方向地震力（X方向）による応力

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s5} = \frac{|M_1|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.13)$$

$$\tau_{s5} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.14)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{s6} = \frac{|M_2|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.15)$$

$$\tau_{s6} = \tau_{s5} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.16)$$

(5) 組合せ応力

ラグの最大応力は次式で求める。

$$\sigma_s = \max(\sigma_{1s}, \sigma_{2s}, \sigma_{3s}, \sigma_{4s}, \sigma_{5s}) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.17)$$

a. 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

第1ラグについて

$$\sigma_{1s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s2}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.18)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{2s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s3}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.19)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{3s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s4}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s4}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.20)$$

b. 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{4s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s5}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s5}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.21)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{5s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s6}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s6}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.22)$$

4.6.1.3 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトにかかる応力の大きい方について計算する。

ただし、 F_{12} が負の場合は、(4.6.1.3.1) 式及び(4.6.1.3.5) 式の $|F_{12}|$ を $|F_{11}| + |F_{12}|$ に置き換える。

F_{22} が負の場合は、(4.6.1.3.4) 式及び(4.6.1.3.7) 式の $|F_{21}|$ を $|F_{21}| + |F_{22}|$ に置き換える。

- (1) 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
第1ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{11}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b2} = \sqrt{\left(\frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

$$\tau_{b2} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{21}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.4)$$

- (2) 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b4} = \sqrt{\left(\frac{|F_{11}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.5)$$

$$\tau_{b4} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.6)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{b5} = \sqrt{\left(\frac{|F_{21}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.7)$$

$$\tau_{b5} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.8)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)により求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \max(\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}) \cdots \cdots \cdots (4.6.1.3.9)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \max(\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}) \cdots \cdots \cdots (4.6.1.3.10)$$

荷重等の算出を解析プログラムを用いている場合は、このままの表記とする。
また、計算条件は計算結果の機器要目に記載があるため本表現とする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（胴，ラグ及び基礎ボルト）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 は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	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
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。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あつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

4.8.2 ラグの応力評価

4.6.1.2項で求めたラグ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 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



基礎ボルトの有効断面積による評価の場合の許容応力は、以下とする。

	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}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

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.

【DB+SAの場合】
前項のDB評価に本SAの評価を追加する。

【重大事故等対応設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし、章番を1とする。

2. 重大事故等対応設備
2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
		水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
〇〇〇〇系熱交換器	常設/防止	0.029	0.024	—	—	C _H =2.05	C _V =1.56	1.37	85	66

注記「※」標準レベルを指定する。設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _b (MPa)	G (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)	K _c	K ₀
43200	11002	32198	1800	38.0	199000 ^{*1}	202000 ^{*2}	76500 ^{*1}	1048	1929	600	300	600	510	149

ε	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{sp} (mm ²)	Z _q (mm ²)	Z _{st} (mm ²)	K _{l1}	K _{l2}	K _{c1}	C _{l1} ¹	C _{l2}	C _{c1}	C _{c2}
0	4.688×10 ⁴	8.361×10 ⁴	5.470×10 ⁷	4.455×10 ⁷	3.110×10 ⁷	0.93	1.11	1.19	0.86	1.28	1.67	1.28

有効断面積の場合は、JIS B 1082 表1に記載の値を記載する。

n	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	A _b (mm ²)	A _{b e} (mm ²)	H (mm)
2	906	325	312.5	850	715.0	1810 (M48)	1424.4	—

S _y (同板) (MPa)	S _u (同板) (MPa)	S (同板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
242 ^{*1}	441 ^{*1}	—	199 ^{*1} (40mm<厚さ≦75mm) (75mm<厚さ≦100mm)	377 ^{*1}	—	239	730 ^{*2}	868 ^{*2}	—	607

注記*1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(同、基礎ボルト及びS_uも同様)

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 胴に生じる一次一般応力 (弾性設計用地震動 Sd又は静的震度)

応力方向	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	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 転倒モーメントによる応力	鉛直方向地震による応力 鉛直方向荷重による応力	(単位: MPa)	
						組合せ一次	一般応力
周方向	—	—	—	—	—	—	—
軸方向	—	—	—	—	—	—	—
せん断	—	—	—	—	—	—	—

(2) 胴に生じる一次一般応力 (基準地震動 Ss)

応力方向	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	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 転倒モーメントによる応力	鉛直方向地震による応力 鉛直方向荷重による応力	(単位: MPa)	
						組合せ一次	一般応力
周方向	$\sigma_{s1} = 34$	—	—	—	—	—	—
軸方向	$\sigma_{s1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_0 = 34$
せん断	—	—	—	—	—	—	—

(3) 胴に生じる一次応力 (弾性設計用地震動 Sd または静的震度)

(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)	自重による応力		曲げモーメントによる応力		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
						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	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力			
弾性設計用地震動 Sd または静的震度	Z 方向	第一評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		第二評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	及びびら	第一評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		第二評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
鉛直方向	第一評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	第二評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(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 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		曲げモーメントによる応力		転倒モーメントによる応力		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
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	軸方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力									
弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度	X 方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		せん断		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		せん断		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	Y 方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		せん断		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		せん断		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	Z 方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		せん断		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		せん断		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

(4) 嗣に生じる一次応力 (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 (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 組
					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	Z 方 向	第一 評価 点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 6$	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{11} = 41$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 3} = 1$	—	$\sigma_{x 5} = 5$	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$	$\sigma_{x 12} = 2$	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	方 向	第二 評価 点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 41$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—	
			せん断	—	—	$\tau_{11} = 3$	$\tau_{22} = 3$	$\tau_{33} = 14$	$\tau_{c 1} = 2$	$\tau_{16} = 4$	—	—	—	—	
	及 び	第一 及 第二 評価 点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{13} = 48$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$	$\sigma_{x 12} = 2$	
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{33} = 14$	$\tau_{c 1} = 2$	—	—	—	—	—	
	鉛 直	第二 評価 点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 9$	—	—	—	$\sigma_{14} = 58$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 23$	—	—	—	
			せん断	—	—	$\tau_{11} = 3$	$\tau_{33} = 14$	$\tau_{16} = 4$	—	—	—	—	—	—	
	方 向	第一 及 第二 評価 点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{15} = 48$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 3} = 1$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 6} = 11$	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$	$\sigma_{x 12} = 2$	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
方 向	第一 評価 点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 41$	
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	—	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—		
		せん断	—	—	$\tau_{11} = 3$	$\tau_{12} = 3$	—	—	—	—	—	—	—		

(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	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力			
基準地震動 Ss	X 方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 4$	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 3$	$\sigma_{1.0} = 48$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 8} = 4$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 10} = 2$	—	$\sigma_{x 10} = 2$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—	—	—	—		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	—	—	—	—		$\sigma_{1.0} = 59$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	$\sigma_{x 10} = 16$	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—	—		
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	$\tau_{l 5} = 4$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—	$\tau_{l 6} = 4$	—	—		
	Y 方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 10$	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 3$	$\sigma_{1.0} = 53$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 9} = 8$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 10} = 2$	—	$\sigma_{x 10} = 2$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—	—	—	—		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	—	—	—	—		$\sigma_{1.0} = 59$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	$\sigma_{x 10} = 16$	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—	—		
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	$\tau_{l 5} = 4$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—	$\tau_{l 6} = 4$	—	—		

(5) 欄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 Sd又は静的震度)

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)
				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	
弾性設計用地震動 Sd又は静的震度	Z 方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
		第一評価点	軸方向	—	—	—	—	—	—
		第一評価点	せん断	—	—	—	—	—	—
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
		第二評価点	軸方向	—	—	—	—	—	—
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	—	—
	X 方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
		第一評価点	軸方向	—	—	—	—	—	—
		第一評価点	せん断	—	—	—	—	—	—
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
		第二評価点	軸方向	—	—	—	—	—	—
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	—	—

(単位: MPa)

(6) 剛に生じる地震動のみによる一次+二次応力 (基礎地震動 S s)

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)		
			自重による応力		曲げモーメントによる応力		回転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	軸方向	せん断	周方向	軸方向	せん断	周方向		軸方向	せん断
基礎標準地震動 Ss	Z 方向	第一評価点	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{2\phi 12} = 5$	—	—	$\sigma_{\phi 5} = 6$	$\sigma_{2\phi 5} = 11$	—	$\sigma_{21} = 59$	
		第二評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{2x 11} = 6$	—	—	$\sigma_{x 5} = 5$	$\sigma_{2x 5} = 13$	—	—	
		第一評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		第二評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	—	$\sigma_{22} = 28$
	X 方向	第一評価点	—	—	$\tau_{1 6} = 4$	—	—	$\tau_{1 2} = 6$	—	—	—	—
		第二評価点	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{2\phi 12} = 5$	—	—	—	—	—	—	—
		第一評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{2x 11} = 6$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 48$
		第二評価点	—	—	—	$\tau_{3 8} = 14$	$\tau_{\phi 1} = 2$	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 9$	$\sigma_{2\phi 7} = 64$
	Y 方向	第一評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 23$	$\sigma_{2x 7} = 28$
		第二評価点	—	—	—	$\tau_{1 6} = 4$	—	—	—	—	—	—
		第一評価点	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{2\phi 12} = 5$	—	—	$\sigma_{\phi 6} = 14$	$\sigma_{2\phi 6} = 24$	—	—
		第二評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{2x 11} = 6$	—	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{2x 4} = 30$	—	—	$\sigma_{25} = 102$
Z 方向	第一評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第二評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{26} = 28$	
	第一評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第二評価点	—	—	—	$\tau_{1 6} = 4$	—	—	$\tau_{1 2} = 6$	—	—	—	
X 方向	第一評価点	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{2\phi 12} = 5$	—	—	$\sigma_{\phi 8} = 4$	$\sigma_{2\phi 8} = 8$	—	—	—	
	第二評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{2x 11} = 6$	—	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{2x 4} = 10$	—	—	$\sigma_{27} = 63$	
	第一評価点	—	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{\phi 6} = 10$	—	—	—	
	第二評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Y 方向	第一評価点	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	$\sigma_{2\phi 10} = 46$	—	—	—	
	第二評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{2x 4} = 20$	—	—	$\sigma_{28} = 126$	
	第一評価点	—	—	—	—	—	$\tau_{1 6} = 4$	$\tau_{\phi 6} = 10$	—	—	—	
	第二評価点	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{2\phi 12} = 5$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 10$	$\sigma_{2\phi 9} = 17$	—	—	—	
X 方向	第一評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{2x 11} = 6$	—	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{2x 4} = 21$	—	—	$\sigma_{29} = 92$	
	第二評価点	—	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{\phi 6} = 10$	—	—	—	
	第一評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第二評価点	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	—	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{2x 4} = 20$	—	—	$\sigma_{210} = 126$	
Y 方向	第一評価点	—	—	—	—	—	$\tau_{1 6} = 4$	$\tau_{\phi 6} = 10$	—	—	—	
	第二評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第一評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第二評価点	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

(単位: MPa)

2.3.2 ラグに生じる応力

地震力の種類	地震力の方向	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
		せん断	曲	せん断	曲	せん断	曲	
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	第1ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
	Z方向及び第4ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
	鉛直方向	—	—	—	—	—	—	—
	X方向及び第4ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
	第2及び第3ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
	第1及び第2ラグ側	—	—	—	—	—	—	—

(単位: MPa)

2.3.3 基礎ポルトに生じる応力

地震力の種類	地震力の方向	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
		せん断	曲	せん断	曲	せん断	曲	
基礎地震動 S _s	第1ラグ側	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s2} = 2$	$\tau_{s2} = 6$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 4$	$\sigma_{18} = 16$	
	Z方向及び第4ラグ側	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s3} = 3$	$\tau_{s3} = 8$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 4$	$\sigma_{28} = 19$	
	鉛直方向	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s4} = 4$	$\tau_{s4} = 6$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 4$	$\sigma_{38} = 16$	
	X方向及び第4ラグ側	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s5} = 3$	$\tau_{s5} = 10$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 4$	$\sigma_{48} = 22$	
	第2及び第3ラグ側	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s6} = 5$	$\tau_{s6} = 10$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 4$	$\sigma_{58} = 22$	

(単位: MPa)

2.3.3 基礎ポルトに生じる応力

地震力の種類	地震力の方向	引張応力		せん断応力
		引張	せん断	
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	第1ラグ側	—	—	—
	Z方向及び第4ラグ側	—	—	—
	鉛直方向	—	—	—
	X方向及び第4ラグ側	—	—	—
	第2及び第3ラグ側	—	—	—

(単位: MPa)

地震力の種類	地震力の方向	引張応力		せん断応力
		引張	せん断	
基礎地震動 S _s	第1ラグ側	$\sigma_{b1} = 39$	—	—
	Z方向及び第4ラグ側	$\sigma_{b2} = 164$	$\tau_{b2} = 53$	—
	鉛直方向	$\sigma_{b3} = 108$	—	—
	X方向及び第4ラグ側	$\sigma_{b4} = 130$	$\tau_{b4} = 38$	—
	第2及び第3ラグ側	$\sigma_{b5} = 185$	$\tau_{b5} = 38$	—

(単位: MPa)

2.4 結論
2.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	$T_1 = 0.029$
2次	水平	$T_2 = 0.029$
3次	鉛直	$T_3 = 0.024$

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾設計用地震動 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
胴板	SGV480	一次-縦渡	—	—	$\sigma_0 = 34$	$S_s = 265$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 59$	$S_s = 397$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 159$	$S_s = 485$
ラゲ	SM400A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 22$	$f_t = 239$
		引張り	—	—	$\sigma_b = 185$	$f_{ts} = 455$
基礎ボルト	SCM435	せん断	—	—	$\tau_b = 53$	$f_{sb} = 350$

すべて許容応力以下である。

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-○-○-○ ○○○○水素濃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	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
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	19
6. 機能維持評価	20
6.1 電気的機能維持評価方法	20
7. 評価結果	21
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21

・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、〇〇〇〇水素濃度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。

〇〇〇〇水素濃度は、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、分類に応じた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

〇〇〇〇水素濃度の構造計画を表 2-1 に示す。

・ DB + SA の場合

〇〇〇は、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。

・ 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 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	
<p>検出器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>水素濃度計</p>	<p>(壁面)</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアଙ୍କア)</p> <p>防滴カバー</p> <p>サポート鋼材 (L字鋼)</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>検出器</p> <p>サポート鋼材 (角形鋼)</p> <p>[後施工アଙ୍କアの場合] 後施工アଙ୍କアの種類の種類 (メカニカルアଙ୍କア, ケミカルアଙ୍କア) を記載する</p>

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

〇〇〇〇水素濃度の応力評価は、「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」にて示す〇〇〇〇水素濃度の部位を踏まえ「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、〇〇〇〇水素濃度の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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。

〇〇〇〇水素濃度の耐震評価フローを図2-1に示す。

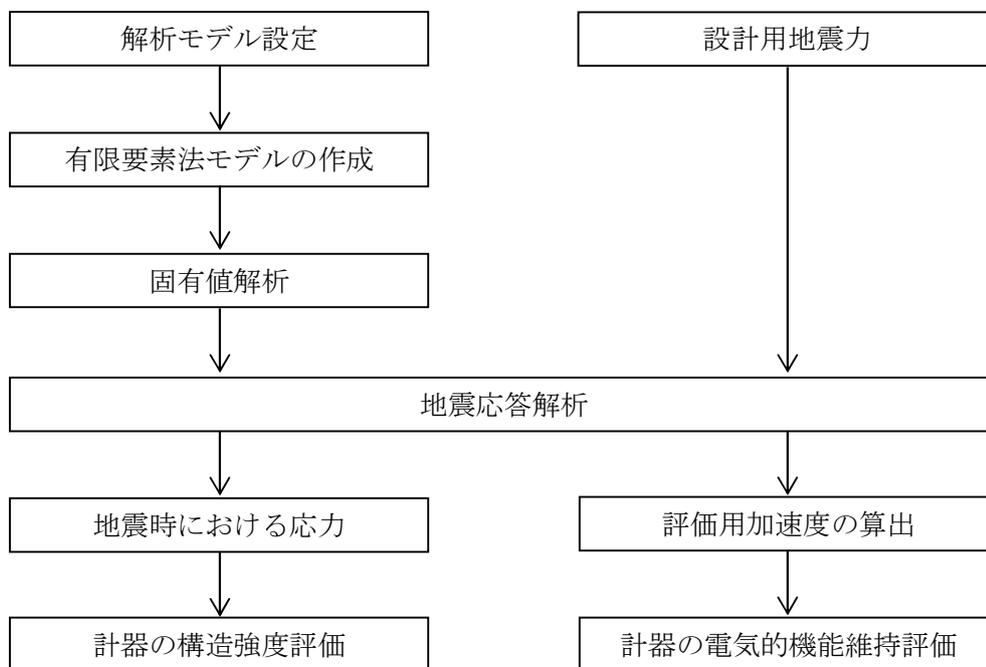


図2-1 〇〇〇〇水素濃度の耐震評価フロー

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

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987及びJ E A G 4 6 0 1 -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）

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

基礎ボルトの応力計算を基礎ボルトの有効断面積で行う場合は,以下の注記とする。

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）及び（設計・建設規格（2012年版） J S M E S N C 1 -2012）（日本機械学会 2007年9月及び2012年12月）（以下「設計・建設規格」という。）

基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、「基礎ボルトの有効断面積*1」とし、以下の注記を追記する。
 *1：日本工業規格 J I S B 1 0 8 2 (2009)「ねじの有効断面積及び座面の負荷面積」の表1 一般用メートルねじの有効断面積による。(以下「J I S B 1 0 8 2」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_x	サポート基礎部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	サポート基礎部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	サポート基礎部に作用する力 (z 方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
l_1	ボルト間距離 (水平方向)	mm
l_2	ボルト間距離 (鉛直方向)	mm
M_x	サポート基礎部に作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_y	サポート基礎部に作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_z	サポート基礎部に作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
n	基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*2	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*3	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*3	MPa
W	計器及び防滴カバーの荷重	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、 S_u 、 S_y 、 $S_y (RT)$ の記号の説明に注記符号「*2、*3」を付し、下記注記を本表の末尾表外に記載する。

*2：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第1章 表7に定める値

*3：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第1章 表6に定める値

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*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。

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記注記を追記する。なお、その際に上記注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。

*2：ボルトの有効断面積は、JIS B 1082 表1に記載の値とする。

3. 評価部位

〇〇〇〇水素濃度の耐震評価は、「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部について実施する。〇〇〇〇水素濃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。

↑

「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

〇〇〇〇水素濃度の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 〇〇〇〇水素濃度は、4.2 解析モデル及び諸元に示す3次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

〇〇〇〇水素濃度の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-1に示す。

- (1) 〇〇〇〇水素濃度の計器及び防滴カバーの質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 〇〇〇〇水素濃度の計器及び防滴カバーの重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 計算機コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「付録17 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV」に示す。

- (4) 拘束条件は、〇〇部を完全拘束とする。

(記載例)

【(4) 拘束条件として、基礎部の〇〇方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。】

拘束条件（基礎（据付）ボルト含む。）を記載する。

なお、基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は、「なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。

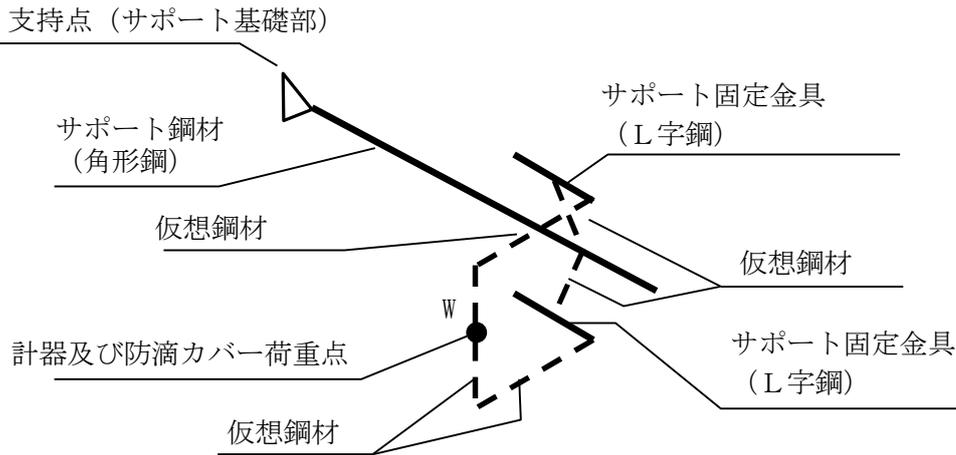


図4-1 解析モデル

表4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	〇〇〇
質量	m	kg	〇〇〇
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	〇〇
縦弾性係数	E	MPa	〇〇〇〇〇〇
ポアソン比	ν	—	〇.〇
要素数	—	個	〇〇〇〇
節点数	—	個	〇〇〇〇

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。）

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有値解析結果(s)

モード	卓越方向	固有周期
1 次	—	0.023
2 次	—	—
3 次	—	—

↑
柔構造の場合は、振動モード図を記載する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材は，基礎ボルトで壁面に固定されており，固定端とする。
- (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

〇〇〇〇水素濃度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施設の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

〇〇〇〇水素濃度の許容応力を表5-2に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇水素濃度の使用材料の許容応力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

〇〇〇〇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〇-〇に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・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

〇〇〇〇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〇-〇に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・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 ○○○○水素濃度	常設／緩和	—*2	D + P _D + M _D + S ^{*3}	IV _A S
				D + P _{SAD} + M _{SAD} + S	V _A S (V _A Sとして 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：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」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

DB + SAの場合，以下を上記SAの前に追加する。

表 5-0 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 ○○○○○	S	—*	D + P _D + M _D + S ^{d*}	III _A S
				D + P _D + M _D + S	IV _A S

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。

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	
IV _A S	引張り	せん断
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

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 _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
--------------------	-----------------	-----------------

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 5-0 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 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		温度条件	周囲環境温度			
基礎ボルト	SS400		100	221	373	—

添付資料-9「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき見直す。
 本件の場合、(3) S A設備：剛な場合

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表5-4に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

S A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）

耐震重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 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
— (S s)	原子炉建屋 EL. 48.3*1 (EL. 51.7*2)	0.023	0.023	—	—	C _H =4.93	C _V =3.36

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の計器なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

S A単独の場合を示す。
 ・DB+S Aの場合は、本表の前にDBの条件である
 「表5-〇 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 基礎ボルトの応力

3次元はりモデルによる個別解析からサポート基礎部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて基礎ボルトを評価する。

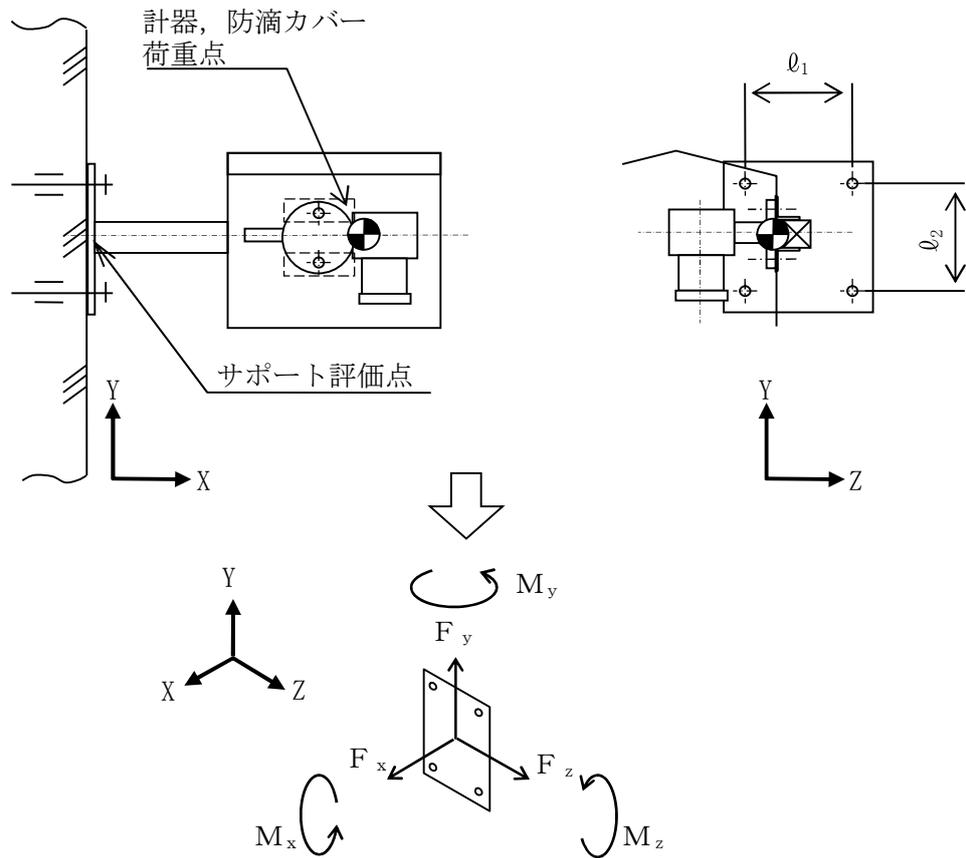


図5-1 計算モデル（サポート基礎部，基礎ボルト）

個別解析によって得られたサポート基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表5-5に示す。

表5-5 サポート発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
HE278-10C	725.8	494.7	725.8	70.36	280.6	191.2

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は、下式により計算する。

引張力 (F_b)

$$F_b = \frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{\ell_1} + \frac{M_z}{\ell_2} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

引張応力 (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力 (Q_b)

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_x}{\ell_1} \dots\dots\dots (5.4.4)$$

せん断応力 (τ)

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.5)$$

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記文言に変更する。なお、その際に上記式番号を (5.4.4) を (5.4.3) に、(5.4.5) を (5.4.4) にする。

「ここで、基礎ボルトの有効断面積 A_b は、J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値とする。」

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【〇〇〇〇水素濃度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。

計算条件の項目に関しては、本内容のように基本は文章で簡略化し、結果の「設計条件」、「機器要目」等に記載のないものは、本項に応力計算条件表を記載するものとする。（応力計算条件の表は添付資料-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）による。）

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

	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}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

基礎ボルトの有効断面積による評価の場合の許容応力は、以下とする。

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇水素濃度の電氣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。

〇〇〇〇水素濃度は地震時電氣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、「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 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (単位：×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇水素濃度 (〇〇〇〇)	〇〇〇	水平	10
		鉛直	10

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇水素濃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。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氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

DB+S Aの場合

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇〇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氣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

電氣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

〇〇〇〇〇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氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○水素濃度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処施設

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			軸直方向	軸方向	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	
○○○○水素濃度 (○○○○)	常設/緩和	原子炉建屋 EL. 48.3*1 (EL. 51.7**2)	0.023	0.023	—	—	C _H =4.93	C _V =2.36	100

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: 壁掛形の計器なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

1.2 機器要目
有効断面積の場合は J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値を記載する。

1.2.1 ○○○○水素濃度

部 材	W (N)	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F** (MPa)
基礎ボルト (○○○○)	117	180	180	113.1 (M12)	4	221	373	261

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

DB + SA 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 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	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
サポート部 (〇〇〇〇)	—	725.8	—	494.7	—	725.8

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・m)

部材	M _x		M _y		M _z	
	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
サポート部 (〇〇〇〇)	—	70.36	—	280.6	—	191.2

1.3.3 基礎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 (〇〇〇〇)	—	2.008×10 ³	—	610.5

1.4 結 論

1.4.1 基礎ボルトの応力

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 (〇〇〇〇)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 18$	$f_{ts} = 156$
		せん断	—	—	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 120$

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

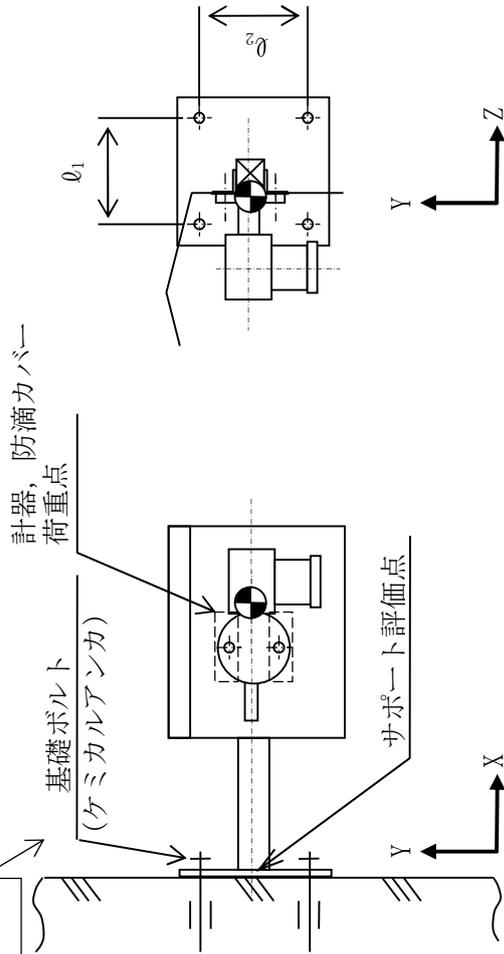
〇〇〇〇水素濃度 (〇〇〇〇)	評価用加速度		機能確認済加速度	
	水平方向	鉛直方向	後報	後報
	4.11	1.97	後報	後報

(単位：×9.8m/s²)

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

(後施工アଙ୍କカの場合)
後施工アଙ୍କカの種類
(メカニカルアଙ୍କカ、ケミカルアଙ୍କカ)
を記載する

確定 S_s を記載する。



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)

V-○-○-○ ○○○○機関及び発電機の耐震性についての計算書

ボルトの応力評価をボルトの有効断面積で行う場合は、「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）」に基づき実施する。

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	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.5 計算条件	24
5.6 応力の評価	28
6. 機能維持評価	29
6.1 動的機能維持評価方法	29
7. 評価結果	30
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	30
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30

・ 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、「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、〇〇〇〇機関及び発電機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。

〇〇〇〇機関及び発電機は、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以外の常設重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

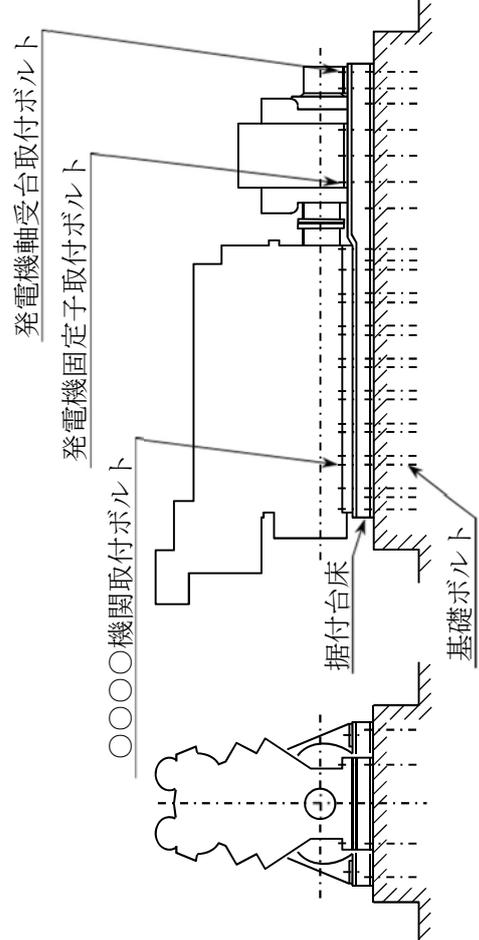
2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇機関及び発電機の構造計画を表2-1に示す。

・DB+S Aの場合の記載例を示す。
〔DB単独又はS A単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>〇〇〇〇機関及び発電機は機関取付ボルト、発電機固定子取付ボルト及び発電機軸受台取付ボルトで直接据付台床に取り付ける。据付台床は基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>〇〇〇〇機関及び三相同期発電機</p>	 <p>The diagram illustrates the structural components of a generator. It shows a cross-section of the main body (generator) and its connection to a base (据付台床). The main body is supported by four corner bolts (〇〇〇〇機関取付ボルト). The base is supported by four corner bolts (基礎ボルト). The diagram also shows the mounting bolts for the generator's stator (発電機固定子取付ボルト) and the generator's shaft (発電機軸受台取付ボルト).</p>

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

〇〇〇〇機関及び発電機の応力評価は、「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」にて示す〇〇〇〇機関及び発電機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく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、〇〇〇〇機関及び発電機の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 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。

〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

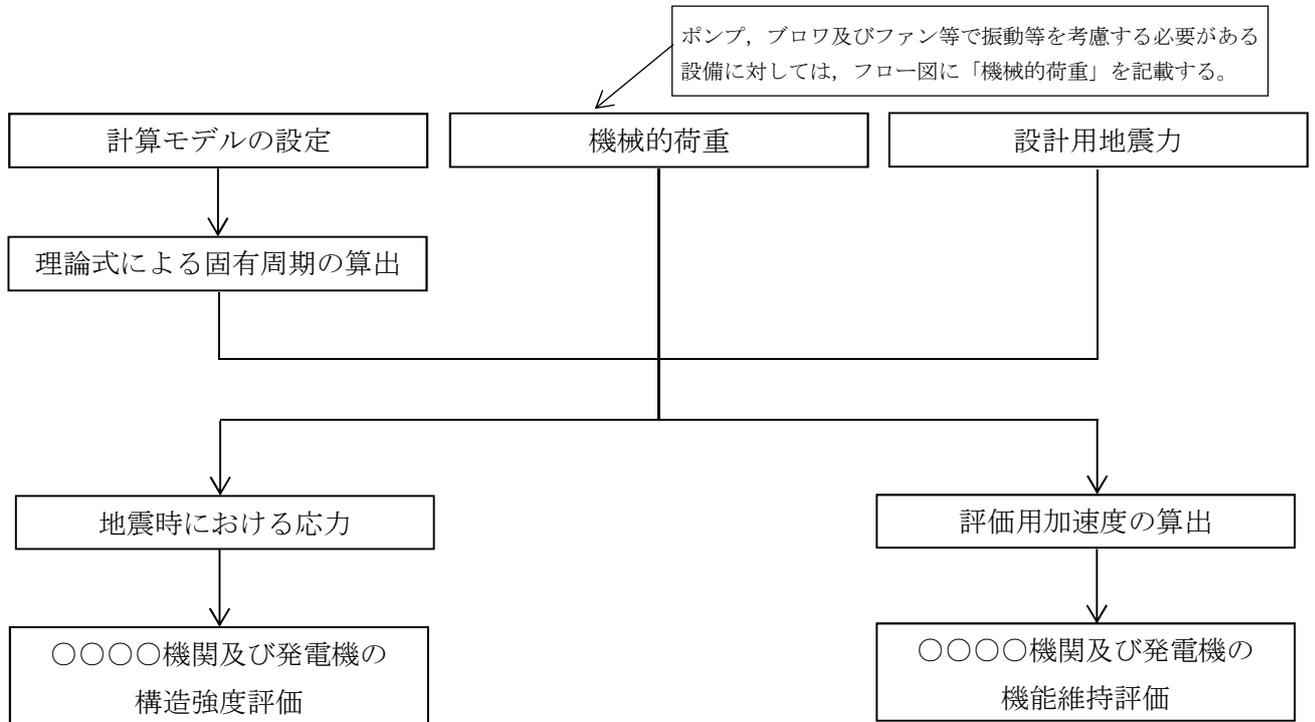


図 2-1 〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価フロー

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（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987 及び J E A G 4 6 0 1 —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）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格(2005 年版（2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1—2005/2007）（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_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A_s	最小有効せん断断面積	mm ²
C_{EH}	〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	—
C_{EV}	〇〇〇〇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* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
G	せん断弾性係数	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* ²	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	〇〇〇〇機関回転により作用するモーメント	N・mm
	発電機回転により作用するモーメント	N・mm
M_{E1}	運転時質量* ²	kg
M_{E2}	回転速度 (〇〇〇〇機関の定格回転速度)	min ⁻¹
m_i	ボルトの本数* ¹	—
N	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
n_i	〇〇〇〇機関出力	kW
n_{fi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
P	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
Q_{bi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の	MPa
S_{yi}	40℃における値* ¹	
$S_{yi}(RT)$	固有周期	s
	円周率	—
T	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
π	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

σ_{bi}		
τ_{bi}		

*

注記 *1: $A_{bi}, d_i, F_i, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, l_{1i}, l_{2i}, n_i, n_{fi}, Q_{bi},$

$S_{ui}, S_{yi}, \sigma_{bi}$ 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

$i = 3$: 発電機固定子取付ボルト

$i = 4$: 発電機軸受台取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ○○○○機関取付面

$i = 3$: 発電機固定子取付面

$i = 4$: 発電機軸受台取付面

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

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は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	°C	—	—	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。

3. 評価部位

〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価は、「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。 〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

〇〇〇〇機関及び発電機の固有周期の計算方法を以下に示す。

4.1.1 水平方向

- (1) 〇〇〇〇機関及び発電機の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 〇〇〇〇機関及び発電機は、図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (4.1.1)$$

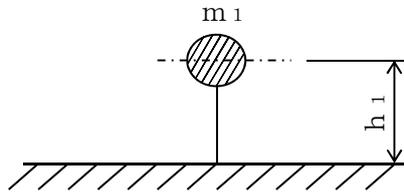


図 4-1 固有周期の計算モデル

4.1.2 鉛直方向

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する。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
〇〇〇〇機関及び発電機の運転時質量	m_1	kg	166000
据付面から重心までの距離	h_1	mm	1700
縦弾性係数	E	MPa	201000
断面二次モーメント	I	mm ⁴	1.504×10^{12}
最小有効せん断断面積	A_s	mm ²	1.288×10^5
せん断弾性係数	G	MPa	77300

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-2 示す。

表 4-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向
0.034	—*

注記 * : 固有周期は十分に小さく計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ○○○○機関及び発電機，各機器の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は○○○○機関及び発電機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) ○○○○機関及び発電機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ており，固定端とする。また，○○○○機関，発電機固定子及び発電機軸受台は，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 5-1～図 5-8 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。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

厳しいとは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

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

○○○○機関及び発電機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

○○○○機関及び発電機の許容応力を表 5-3 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

○○○○機関及び発電機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 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

・ DB + SA の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。]

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	〇〇〇〇機関及び発電機	S	—*	D + P _D + M _D + S _d *	III _A S
				D + P _D + M _D + S _s	IV _A S

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故等対処設備)

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	〇〇〇〇機関及び発電機	常設/防止	—*2	D + P _D + M _D + S _s *3	IV _A S
				D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	V _A S (V _A Sとして 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 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。

DB+SAの場合を示す。
 ・DB単独の場合は、許容応力（その他の支持構造物）
 ・SA単独の場合は、許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

DB+SAの場合は、V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 5-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト	S35C	50		299	498	—
〇〇〇機関 取付ボルト	SCM435		75	712	847	—
発電機固定子 取付ボルト	SS41		75	203	381	—
発電機軸受台 取付ボルト	SS41		75	203	381	—

表 5-5 使用材料の許容応力 (重大事故等対応設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト	S35C					
〇〇〇機関 取付ボルト	SCM435					
発電機固定子 取付ボルト	SS41					
発電機軸受台 取付ボルト	SS41					

添付資料-9

「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき、見直す。
 (本件の場合は、(5)DB/SA 兼用：剛な場合)

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「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」に基づく。

表 5-6 設計用地震力 (設計基準対象施設)

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 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
S	原子炉建屋 EL. 8.8 ^{*1}	0.034	— ^{*2}	C _H =0.65	C _V =0.48	C _H =1.84	C _V =0.95

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。

表 5-7 設計用地震力 (重大事故等対処設備)

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 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
— (S _s)	原子炉建屋 EL. 8.8 ^{*1}	0.034	— ^{*2}	—	—	C _H =1.84	C _V =0.95

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。

SA 単独の計算書の場合は記載不要

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、〇〇〇〇機関の往復運動による震度及び〇〇〇〇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。

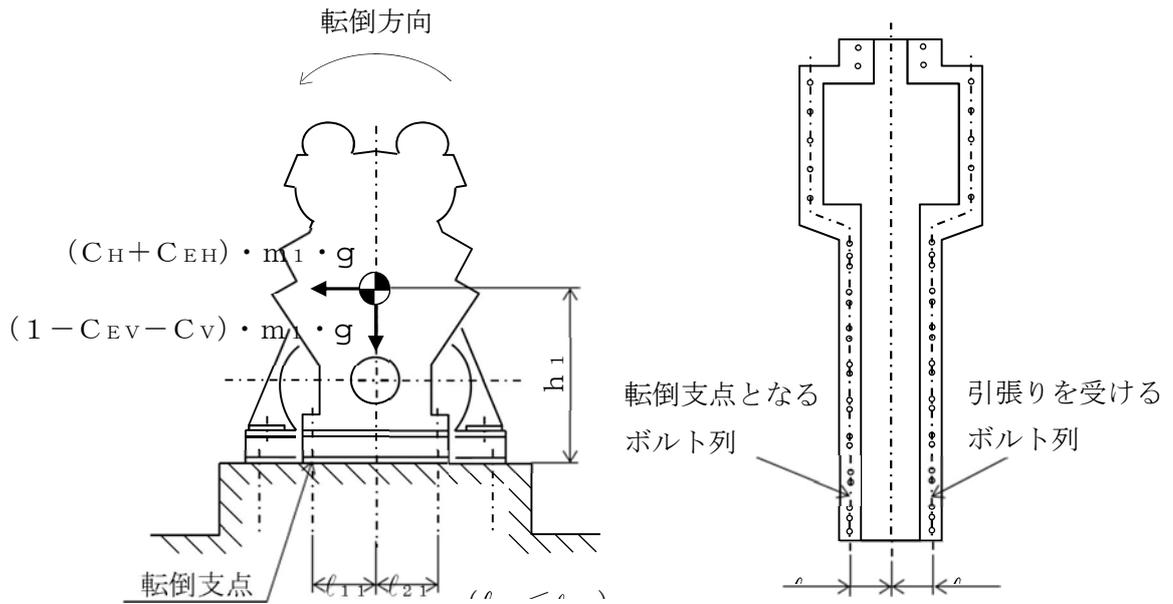


図 5-1 計算モデル (軸直角方向転倒)

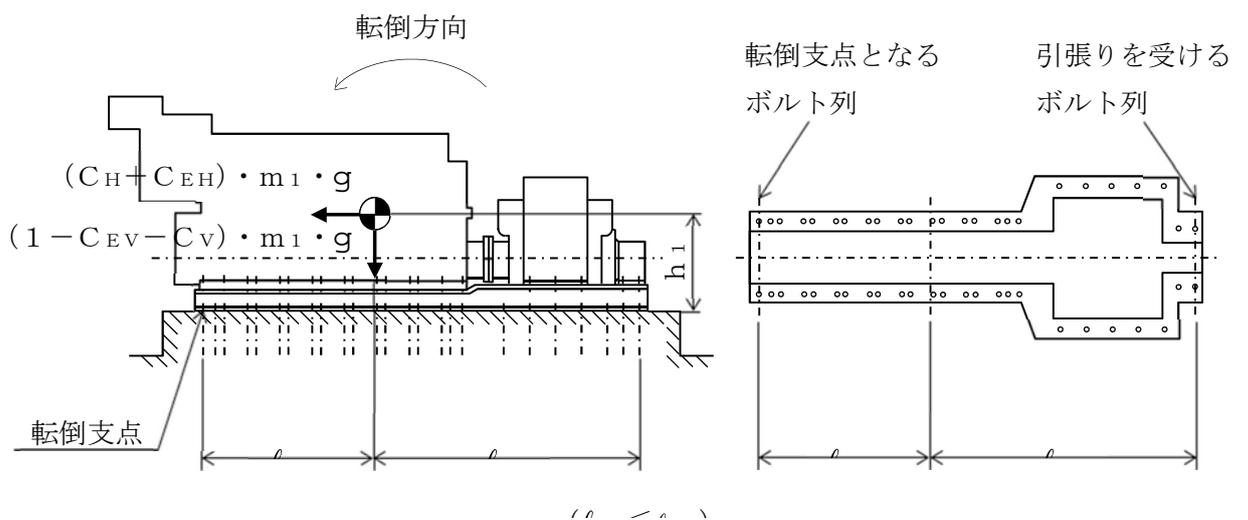


図 5-2 計算モデル (軸方向転倒)

(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5-1及び図5-2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、〇〇〇〇機関回転によるモーメントは、〇〇〇〇機関と発電機が共通の据付台床上にあり互いに打ち消しあうため、評価に考慮しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{11}}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は〇〇〇〇機関の往復運動による起振力及び〇〇〇〇機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

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

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ○○○○機関取付ボルトの計算方法

○○○○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。

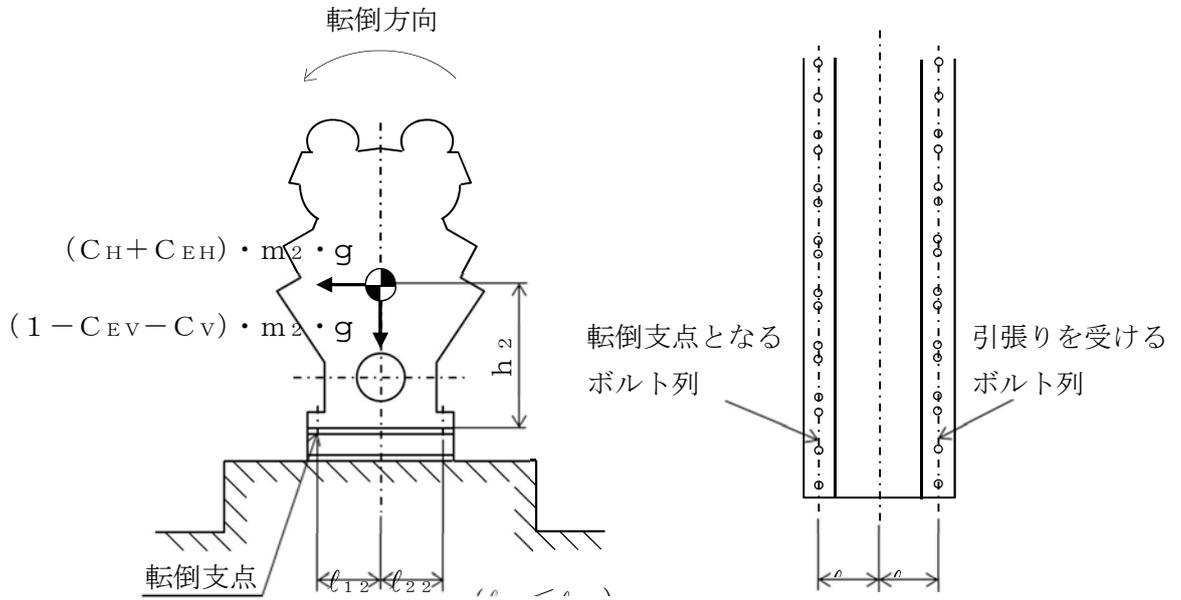


図5-3 計算モデル（軸直角方向転倒）

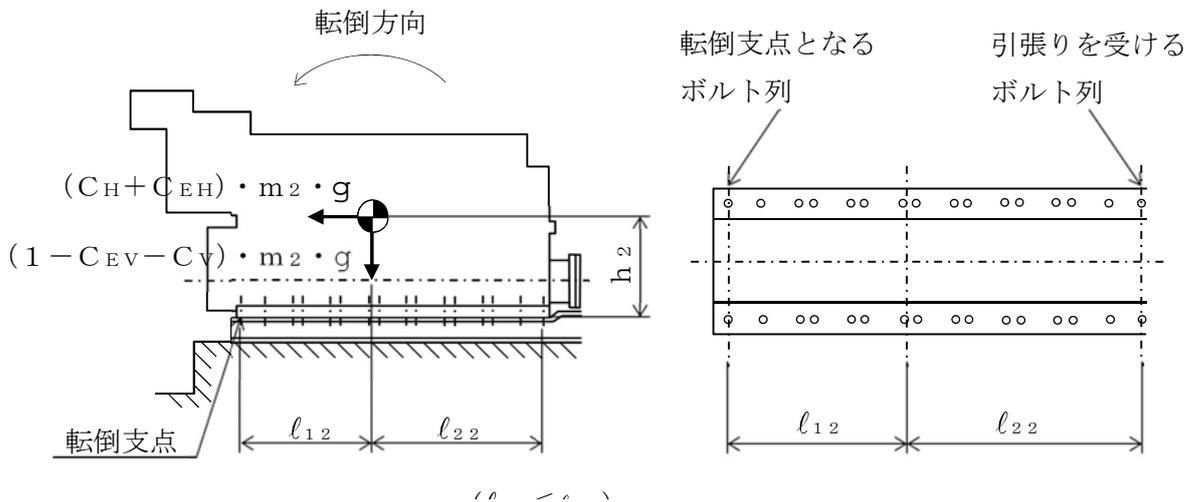


図5-4 計算モデル（軸方向転倒）

(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 5-3 及び図 5-4 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 5-4 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

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_{E1} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_2 \cdot g \cdot l_{12}}{n_{f2} \cdot (l_{12} + l_{22})}$$

..... (5.4.1.2.1)

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。また、○○○○機関回転によるモーメント M_{E1} は次式により求める。

$$\text{注記* : } M_{E1} = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$$

(1 kW = 10⁶ N·mm/s)

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、○○○○機関取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

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

$$Q_{b2} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 発電機固定子取付ボルトの計算方法

発電機固定子取付ボルトの応力は地震による震度、〇〇〇〇機関の往復運動による震度及び発電機回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

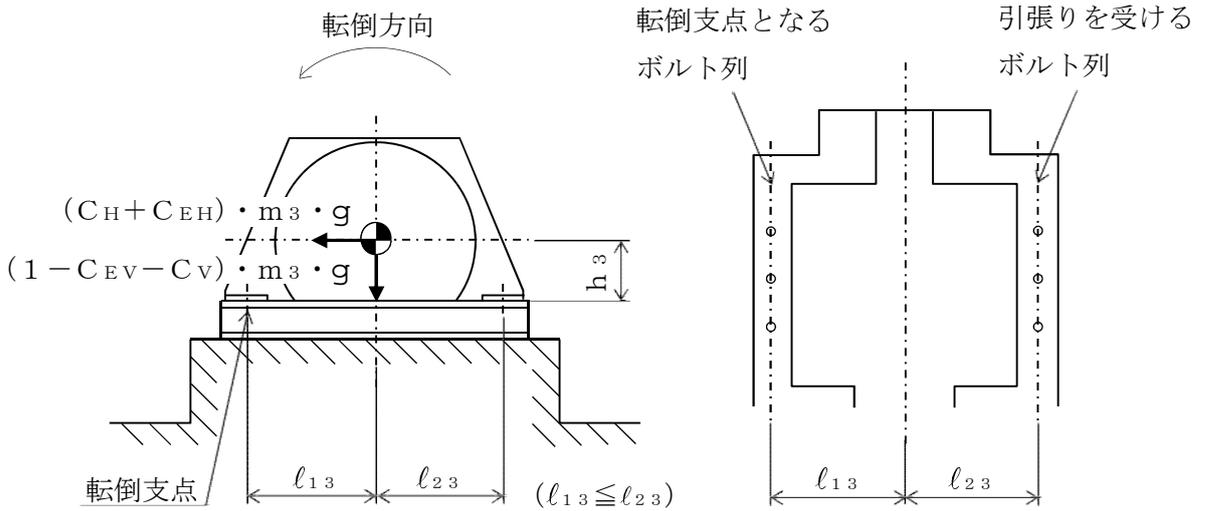


図 5-5 計算モデル（軸直角方向転倒）

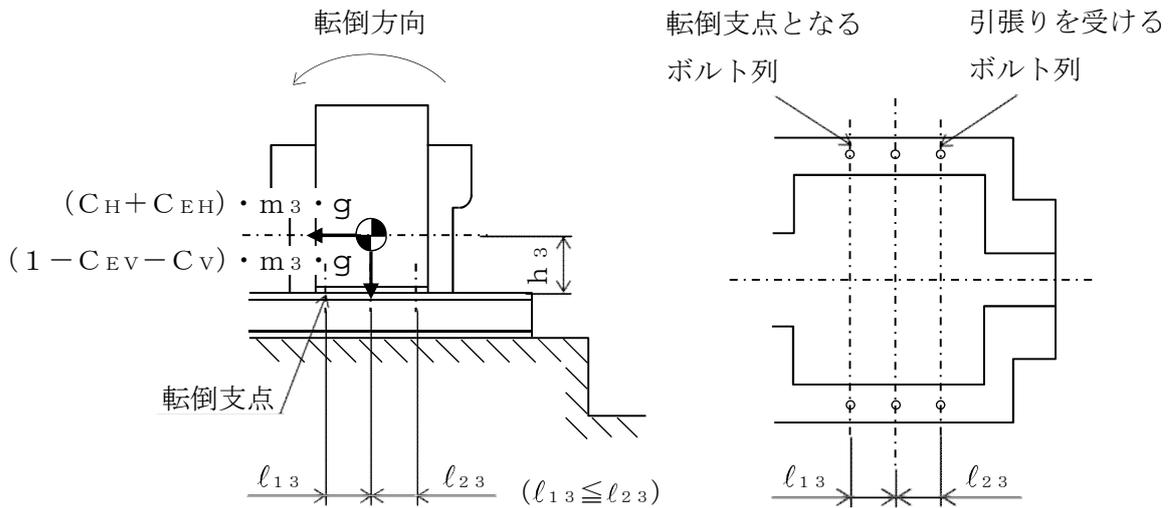


図 5-6 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機固定子取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-5 及び図 5-6 で発電機固定子取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機固定子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 5-6 の場合は、発電機回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b3} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \cdot h_3 + M_{E2} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_3 \cdot g \cdot l_{13}}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は〇〇〇〇機関の往復運動による起振力及び〇〇〇〇機関の回転速度を考慮して定める値である。また、〇〇〇〇機関回転によるモーメント M_{E2} は次式により求める。

$$\text{注記* : } M_{E2} = M_{E1} = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$$

(1 kW = 10⁶ N・mm/s)

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、発電機固定子取付ボルトの軸断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

ただし、 F_{b3} が負のとき発電機固定子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

発電機固定子取付ボルトに対するせん断力は発電機固定子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

$$Q_{b3} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

5.4.1.4 発電機軸受台取付ボルトの計算方法

発電機軸受台取付ボルトの応力は地震による震度，〇〇〇〇機関の往復運動による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

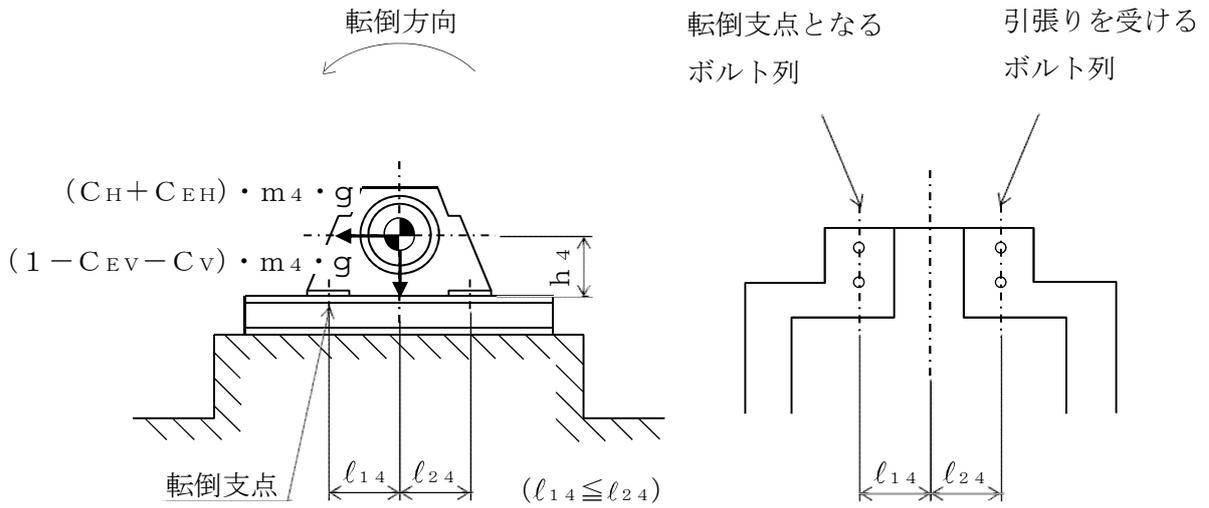


図5-7 計算モデル（軸直角方向転倒）

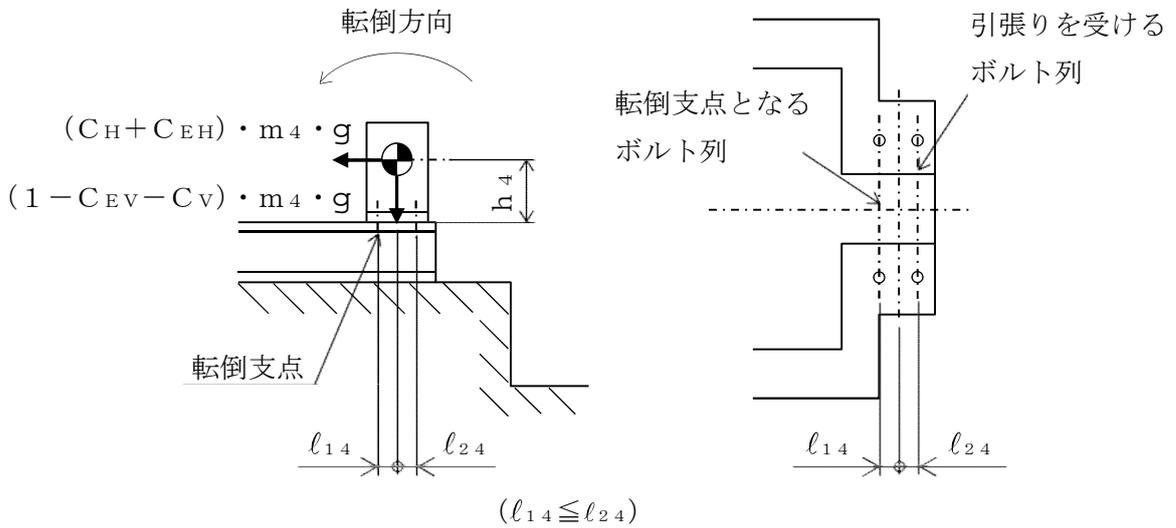


図5-8 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機軸受台取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-7 及び図 5-8 で発電機軸受台取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機軸受台取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b4} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \cdot h_4 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_4 \cdot g \cdot l_{14}}{n_{f4} \cdot (l_{14} + l_{24})} \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は〇〇〇〇機関の往復運動による起振力及び〇〇〇〇機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

ここで、発電機軸受台取付ボルトの軸断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

ただし、 F_{b4} が負のとき発電機軸受台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

発電機軸受台取付ボルトに対するせん断力は発電機軸受台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

$$Q_{b4} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

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 5-8 に示す。

表 5-8 基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	S35C
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	50
ボルトの呼び径	d_1	mm	48
〇〇〇〇機関及び発電機の運転時質量	m_1	kg	166000
〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
据付面から重心までの距離	h_1	mm	1700
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{11}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{21}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{11}	mm	4632
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{21}	mm	5861
ボルトの本数	n_1	—	50
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸直角方向）	n_{f1}	—	23
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸方向）	n_{f1}	—	2

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。

本件の場合には、長辺方向及び短辺方向の全ての距離の記載が結果の「機器要目」にないため、設計条件の表としては長辺方向及び短辺方向の距離の項目のみ必要となるが、説明性を高め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【〇〇〇〇機関及び発電機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 ○○○○機関取付ボルトの応力計算条件

○○○○機関取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-9 に示す。

表 5-9 ○○○○機関取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SCM435
温度条件（最高使用温度）	—	℃	75
ボルトの呼び径	d_2	mm	56
○○○○機関の運転時質量	m_2	kg	108390
○○○○機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
○○○○機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_2	mm	1700
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{12}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{22}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{12}	mm	2735
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{22}	mm	3515
回転速度（○○○○機関の定格回転速度）	N	min^{-1}	514
○○○○機関出力	P	kW	6150
ボルトの本数	n_2	—	32
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸直角方向）	n_{f2}	—	16
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸方向）	n_{f2}	—	2

5.5.3 発電機固定子取付ボルトの応力計算条件

発電機固定子取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-10 に示す。

表 5-10 発電機固定子取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS41
温度条件 (最高使用温度)	—	°C	75
ボルトの呼び径	d_3	mm	48
発電機固定子の運転時質量	m_3	kg	24200
〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_3	mm	637.2
重心とボルト間の水平方向距離 (軸直角方向)	ℓ_{13}	mm	1600
重心とボルト間の水平方向距離 (軸直角方向)	ℓ_{23}	mm	1600
重心とボルト間の水平方向距離 (軸方向)	ℓ_{13}	mm	625
重心とボルト間の水平方向距離 (軸方向)	ℓ_{23}	mm	625
回転速度 (〇〇〇〇機関の定格回転速度)	N	min^{-1}	514
〇〇〇〇機関出力	P	kW	6150
ボルトの本数	n_3	—	6
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (軸直角方向)	n_{f3}	—	3
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (軸方向)	n_{f3}	—	2

5.5.4 発電機軸受台取付ボルトの応力計算条件

発電機軸受台取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-11 に示す。

表 5-11 発電機軸受台取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS41
温度条件（最高使用温度）	—	°C	75
ボルトの呼び径	d_4	mm	42
発電機軸受台の運転時質量	m_4	kg	14910
〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_4	mm	637.2
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{14}	mm	600
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{24}	mm	600
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{14}	mm	200
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{24}	mm	200
ボルトの本数	n_4	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸直角方向）	n_{f4}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸方向）	n_{f4}	—	2

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

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

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

〇〇〇〇機関及び発電機の地震後の動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。

〇〇〇〇機関及び発電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、「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 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (単位: $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
機 関	〇〇〇〇機関	水平	1.1
		鉛直	1.0
ガバナ		水平	1.8
		鉛直	1.0
発電機	横形すべり軸受	水平	2.6
		鉛直	1.0

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇機関及び発電機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。

(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。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇機関及び発電機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○機関及び発電機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		○○○○機関 往復運動による鉛直方向震度	○○○○機関 往復運動による水平方向震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向				
○○○○機関及び発電機	S	原子炉建屋 EL. 8.8*1	0.034	—*2	C _H =0.65	C _V =0.48	C _H =1.84	C _V =0.95	C _{EH} =0.02	C _{EV} =0.02	75	50

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。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} (mm)		φ _{2i} (mm)		n _i		n _{f i}	
			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	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)	166000	1700	915	4632	915	5861	50	23	2	
○○○○機関 取付ボルト (i=2)	108390	1700	915	2735	915	3515	32	16	2	
発電機固定子 取付ボルト (i=3)	24200	637.2	625	625	625	625	6	2	2	
発電機軸受台 取付ボルト (i=4)	14910	637.2	200	200	200	200	4	2	2	

部材	A _{b i} (mm ²)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (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	
基礎ボルト (i=1)	1810 (M48)	299*2 (40mm<径≤100mm)	498*2 (40mm<径≤100mm)	299	348	軸直角	—	—
○○○○機関 取付ボルト (i=2)	2463 (M56)	712*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	592	592	軸直角	1.143×10 ⁸	—
発電機固定子 取付ボルト (i=3)	1810 (M48)	203*1 (40mm<径≤100mm)	381*1 (40mm<径≤100mm)	203	243	軸	—	—
発電機軸受台 取付ボルト (i=4)	1385 (M42)	203*1 (40mm<径≤100mm)	381*1 (40mm<径≤100mm)	203	243	軸	—	—

転倒方向が同じ時は、1つとする。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

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)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A _s (mm ²)
6150	514	201000*2	77300*2	1.504×10 ¹²	1.288×10 ⁵

注記 *1: 最高使用温度で算出 *2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値
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)	2.636 × 10 ⁴	2.345 × 10 ⁵	1.091 × 10 ⁶	3.028 × 10 ⁶
○○○機関取付ボルト (i = 2)	2.864 × 10 ⁴	2.619 × 10 ⁵	7.122 × 10 ⁵	1.977 × 10 ⁶
発電機固定子取付ボルト (i = 3)	1.086 × 10 ⁴	1.107 × 10 ⁵	1.590 × 10 ⁵	4.414 × 10 ⁵
発電機軸受台取付ボルト (i = 4)	5.975 × 10 ⁴	2.155 × 10 ⁵	9.797 × 10 ⁴	2.720 × 10 ⁵

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	S35C	引張り	σ _{bl} = 15	f _{ts1} = 224	σ _{bl} = 130	f _{ts1} = 261
		せん断	τ _{bl} = 12	f _{sh1} = 173	τ _{bl} = 34	f _{sh1} = 201
○○○機関取付ボルト	SOM435	引張り	σ _{bl2} = 12	f _{ts2} = 444	σ _{bl2} = 107	f _{ts2} = 444
		せん断	τ _{bl2} = 9	f _{sh2} = 342	τ _{bl2} = 25	f _{sh2} = 342
発電機固定子取付ボルト	SS41	引張り	σ _{bl3} = 6	f _{ts3} = 152	σ _{bl3} = 62	f _{ts3} = 182
		せん断	τ _{bl3} = 15	f _{sh3} = 117	τ _{bl3} = 41	f _{sh3} = 140
発電機軸受台取付ボルト	SS41	引張り	σ _{bl4} = 44	f _{ts4} = 152	σ _{bl4} = 156	f _{ts4} = 177
		せん断	τ _{bl4} = 18	f _{sh4} = 117	τ _{bl4} = 49	f _{sh4} = 140

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機 関	水平方向	1.09	1.1
	鉛直方向	0.67	1.0
ガ バ ナ	水平方向	1.09	1.8
	鉛直方向	0.67	1.0
発 電 機	水平方向	1.09	2.6
	鉛直方向	0.67	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合の記載
 ※：「評価用加速度 > 機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。
 詳細評価の様式は、「計算書作成の基本方針」参照

「評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合の記載例」
 ○○は○○方向、○○は○○方向の評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

【DB + SA の場合】
前項のDBの評価に本SAの評価を追加する。

NT2 補① V-0-0-0 R0

【SA 単独の場合】
本フオーマ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		〇〇〇〇機関 往復運動による往復運動による 水平方向震度 鉛直方向震度	〇〇〇〇機関 往復運動による往復運動による 水平方向震度 鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
〇〇〇〇機関 及び発電機	常設/防止	原子炉建屋 EL. 8.8*1	0.034	—*2	—	—	CH=1.84	CV=0.95	CEH=0.02	CEV=0.02	75	50

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。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} (mm)		φ _{2i} (mm)		n _i		n _{f i}		
			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)	166000	1700	—	4632	—	5861	50	—	2	—	2
〇〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	108390	1700	—	2735	—	3515	32	—	2	—	2
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	24200	637.2	—	625	—	625	6	—	2	—	2
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	14910	637.2	—	200	—	200	4	—	—	—	2

部材	A _{b i} (mm ²)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (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	
基礎ボルト (i = 1)	1810 (M48)	299*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	498*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	348	—	軸	—
〇〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	2463 (M56)	712*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	—	592	—	軸	—
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	1810 (M48)	203*1 (40mm < 径 ≤ 100mm)	381*1 (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	243	—	軸	—
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	1385 (M42)	203*1 (40mm < 径 ≤ 100mm)	381*1 (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	243	—	軸	—

機器出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	純弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断面積 A _s (mm ²)
6150	514	201000*2	77300*2	1.504 × 10 ¹²	1.288 × 10 ⁵

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

2.3 計算数値
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)	—	2.345 × 10 ⁵	—	3.028 × 10 ⁶
〇〇〇〇機関取付ボルト(i = 2)	—	2.619 × 10 ⁵	—	1.977 × 10 ⁶
発電機固定子取付ボルト(i = 3)	—	1.107 × 10 ⁵	—	4.414 × 10 ⁵
発電機軸受台取付ボルト(i = 4)	—	2.155 × 10 ⁵	—	2.720 × 10 ⁵

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	S35C	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 130$	$f_{ts1} = 261$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 34$	$f_{sb1} = 201$
〇〇〇〇機関取付ボルト	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 107$	$f_{ts2} = 444$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 25$	$f_{sb2} = 342$
発電機固定子取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 62$	$f_{ts3} = 182$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 41$	$f_{sb3} = 140$
発電機軸受台取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b4} = 156$	$f_{ts4} = 177$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} = 49$	$f_{sb4} = 140$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

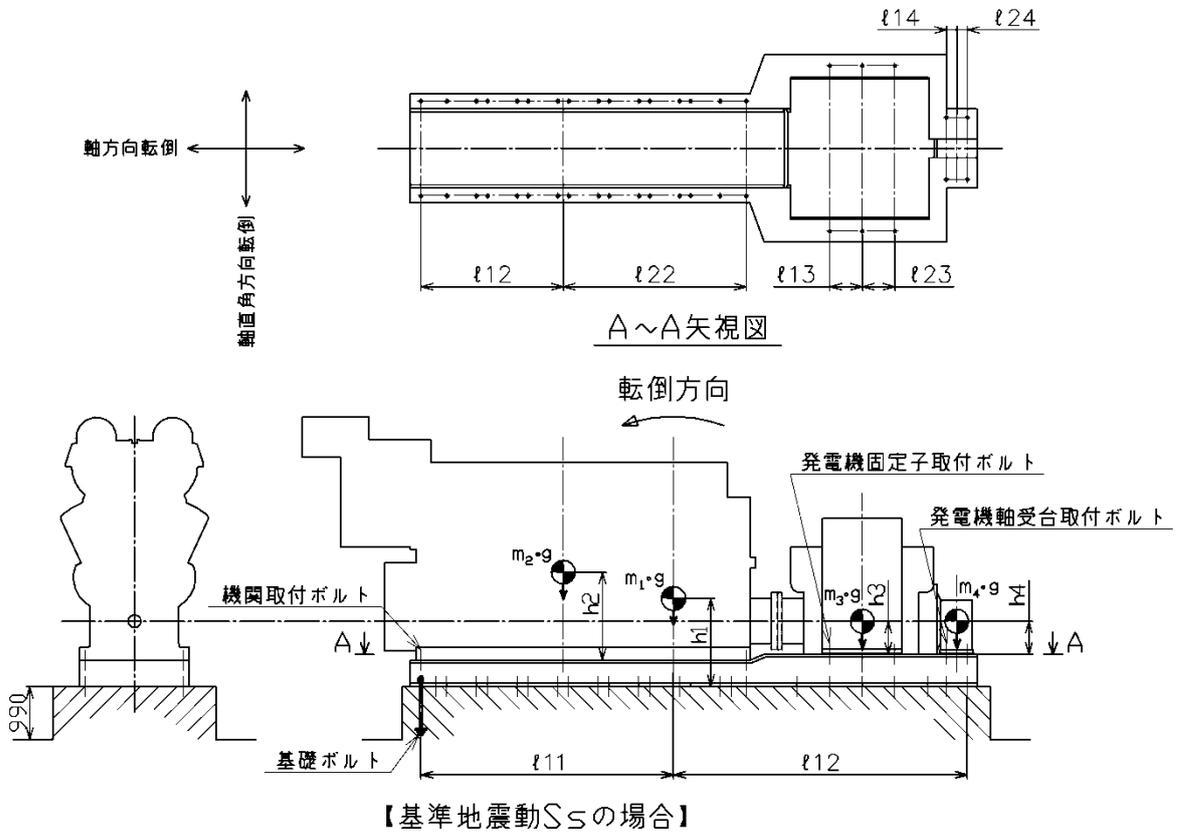
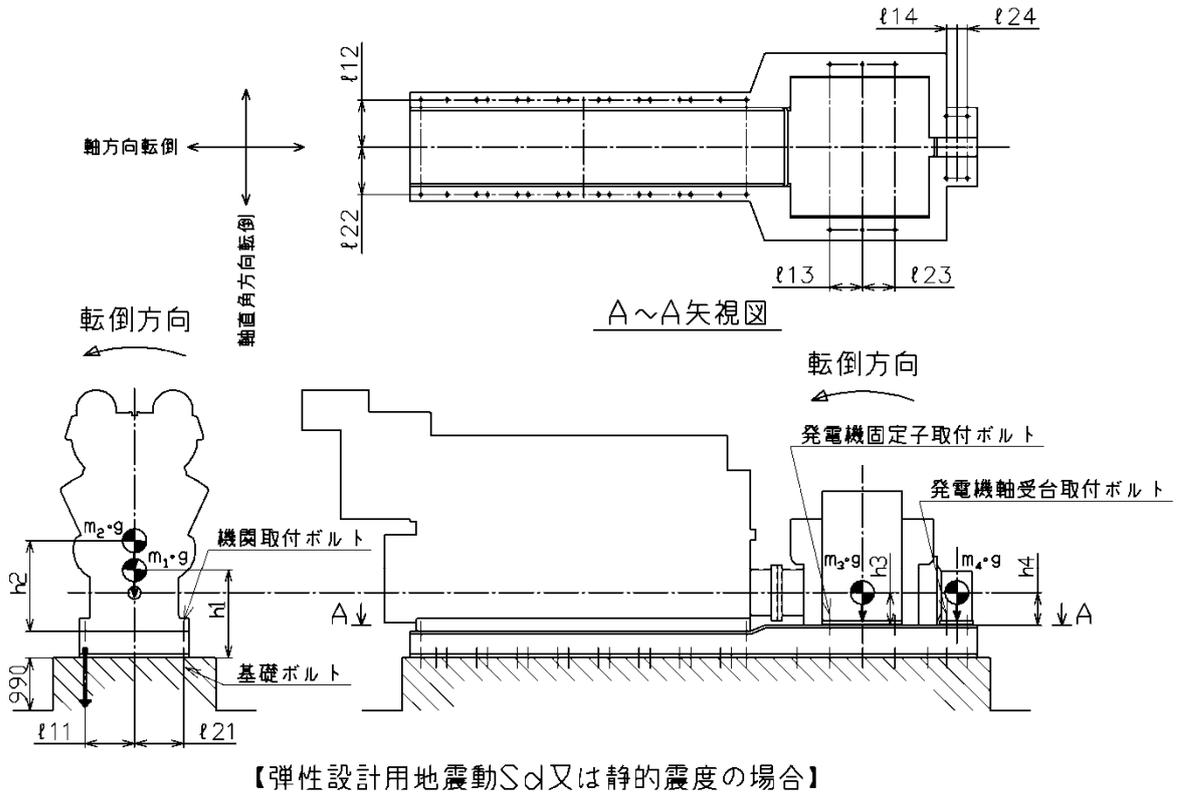
機 関	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
ガ バ ナ	1.09	0.67	1.1
	1.09	0.67	1.8
発 電 機	1.09	0.67	1.0
	1.09	0.67	2.6
			1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合の記載
 ※：「評価用加速度 > 機能確認済加速度」の場合は、適宜、
 詳細結果を追加する。
 詳細評価の様式は、「計算書作成の基本方針」参照

「評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合の記載例」
 ○○は○○方向、○○は○○方向の評価用加速度が機能確認済加速度を超え
 ため、詳細評価を行う。



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 固有振動数の算出方法	7
4.3 固有値解析結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算方法	13
5.5 計算条件	17
5.6 応力の評価	19
6. 機能維持評価	20
6.1 電氣的機能維持評価方法	20
7. 評価結果	21
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21

・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、〇〇〇〇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。

〇〇〇〇水位は、**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、分類に応じた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

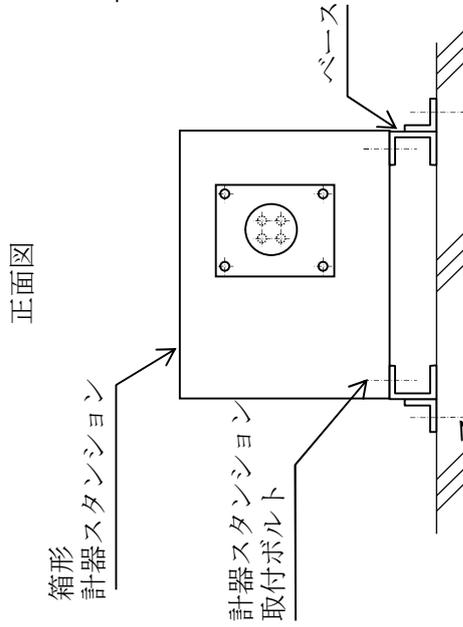
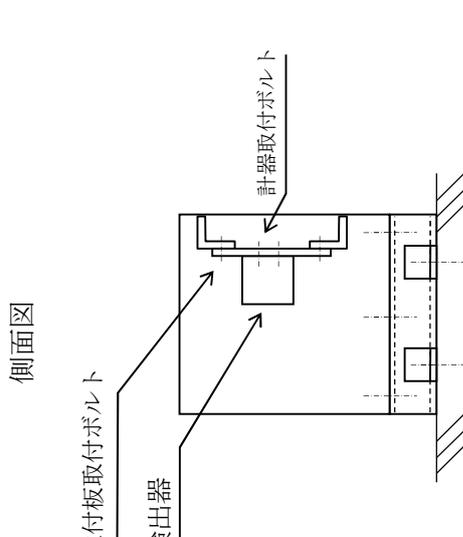
〇〇〇〇水位の構造計画を表 2-1 に示す。

・ DB + SA の場合

〇〇〇は、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。

・ 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 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	正面図	側面図
<p>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により固定する。</p> <p>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより箱形計器スタンションに固定される。</p>	<p>箱形計器スタンション</p>	 <p>箱形計器スタンション</p> <p>計器スタンション取付ボルト</p> <p>ベース</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>(長辺方向)</p>	 <p>取付板取付ボルト</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>(短辺方向)</p>

[後施工アンカの場合]
後施工アンカの種類の種類 (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

〇〇〇〇水位の応力評価は、「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」にて示す〇〇〇〇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」で測定した固有振動数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、〇〇〇〇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 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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。

〇〇〇〇水位の耐震評価フローを図2-1に示す。

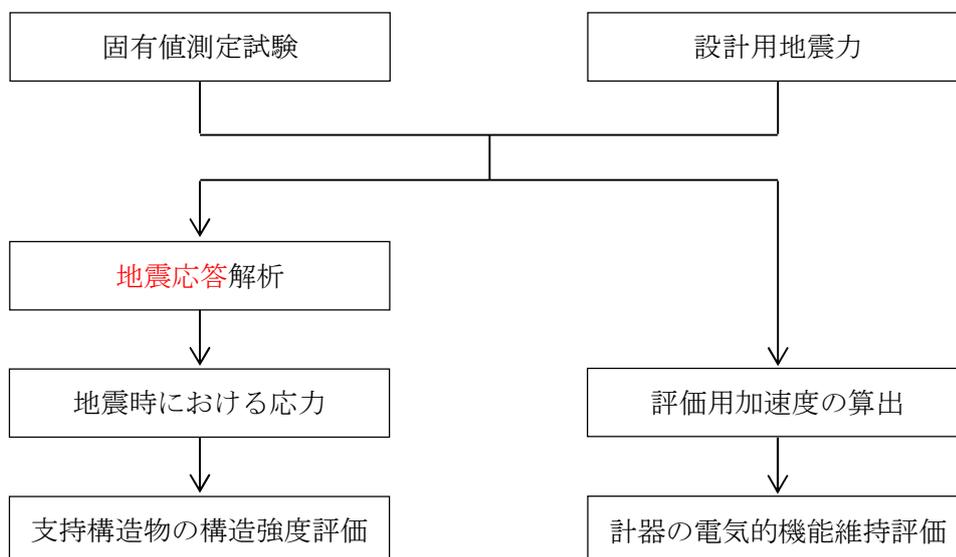


図2-1 〇〇〇〇水位の耐震評価フロー

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（重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補一1984, JEAG 4601-1987及びJEAG 4601-1991 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）

- (2) 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 NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

ボルトの応力計算をボルトの有効断面積で行う場合は, 以下とする。

- (2) 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 NC 1-2005/2007）及び（設計・建設規格（2012年版）JSME S NC 1-2012）（日本機械学会 2007年9月及び2012年12月）（以下「設計・建設規格」という。）

ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、「ボルトの有効断面積^{*1, *2}」とし、以下の注記を追記する。
 なお、その際下表の注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。
 *2：日本工業規格 J I S B 1 0 8 2 (2009)「ねじの有効断面積及び座面の負荷面積」の表 1 一般用メートルねじの有効断面積による。(以下「J I S B 1 0 8 2」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積 ^{*1}	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_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本あたり) ^{*1}	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 ^{*1}	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_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, *5}	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値 ^{*1, *6}	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°Cにおける値 ^{*1, *6}	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: $A_{bi}, d_i, F_i^*, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, h_i, l_{1i}, l_{2i}, n_i, n_{fi}, Q_{bi}, S_{ui},$

$S_{yi}, \sigma_{bi}, \tau_{bi}$ 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: $l_{1i} \leq l_{2i}$

ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、 $S_u, S_y, S_y (RT)$ の記号の説明に注記符号「*5, *6」を付し、下記注記を本表外に記載する。

*5: 基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第1章表7に定める値

*6: 基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第1章表6に定める値

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
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*2	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。

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記注記を追記する。なお、その際に上記注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。

*2：ボルトの有効断面積は、JIS B 1082 表1に記載の値とする。

固有周期をスイープ試験（加振試験）にて求める場合の記載を示す。
 また、類似品の結果を流用する場合の記載例は以下とする。
 ・計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持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。

3. 評価部位

〇〇〇〇水位の耐震評価は、「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。

〇〇〇〇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 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて計器スタンションの応答を測定する。〇〇〇〇水位の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

〇〇〇〇水位の固有振動数	
水平	20Hz 以上
鉛直	20Hz 以上

【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 固有振動数の算出方法

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。

固有周期を類似品の結果を流用する場合の記載例は以下とする。
 ・計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは取付ボルト及び基礎ボルトで壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、計算モデルにおける水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には結果の **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。
- (5) 計器スタンション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

〇〇〇〇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

〇〇〇〇水位の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇水位の使用材料の許容応力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

〇〇〇〇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〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・ 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

〇〇〇〇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〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・ 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	IV _A S
				D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	V _A S (V _A Sとして 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：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。

DB + SAの場合，以下を上記SAの前に追加する。

表 5-0 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 ○○○○○	S	—*	D + P _D + M _D + S _d *	III _A S
				D + P _D + M _D + S _s	IV _A S

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。

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	
	IV _A S V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)	引張り	せん断
			$1.5 \cdot f_s^*$
			$1.5 \cdot f_t^*$

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 _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
--------------------	-----------------	-----------------

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 5-0 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 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	50	245	400	—
取付ボルト	SS400	周囲環境温度	50	245	400	—

添付資料-9

「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき、見直す。
 (本件の場合は, (3)SA 設備 : 剛な場合)

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

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)

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 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
- (S _s)	○○○○ EL. 0.7* ¹	—* ²	—* 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
—* ²	—* 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 5-〇 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りとせん断力について計算する。

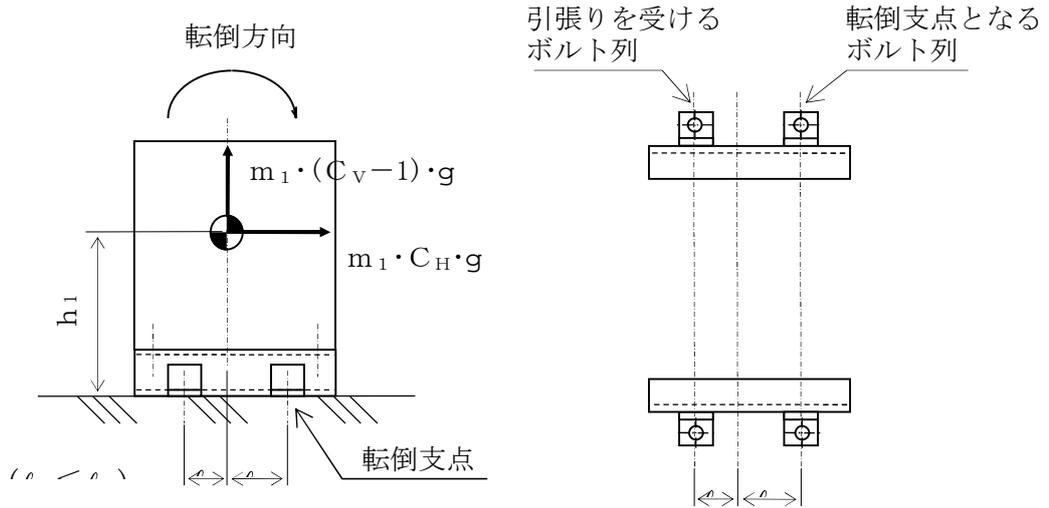


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

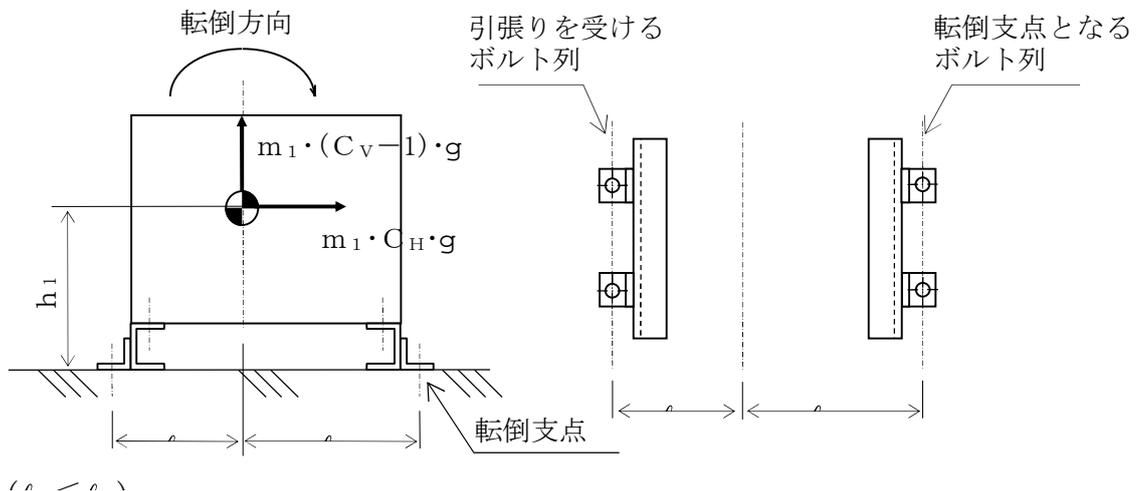


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(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

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{11} \cdot g}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(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

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記文言に変更する。なお、その際に上記式番号は(5.4.1.1.4)を(5.4.1.1.3)に、(5.4.1.1.5)を(5.4.1.1.4)にする。

「ここで、基礎ボルトの有効断面積 A_{b1} は、J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値とする。」

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りとせん断力について計算する。

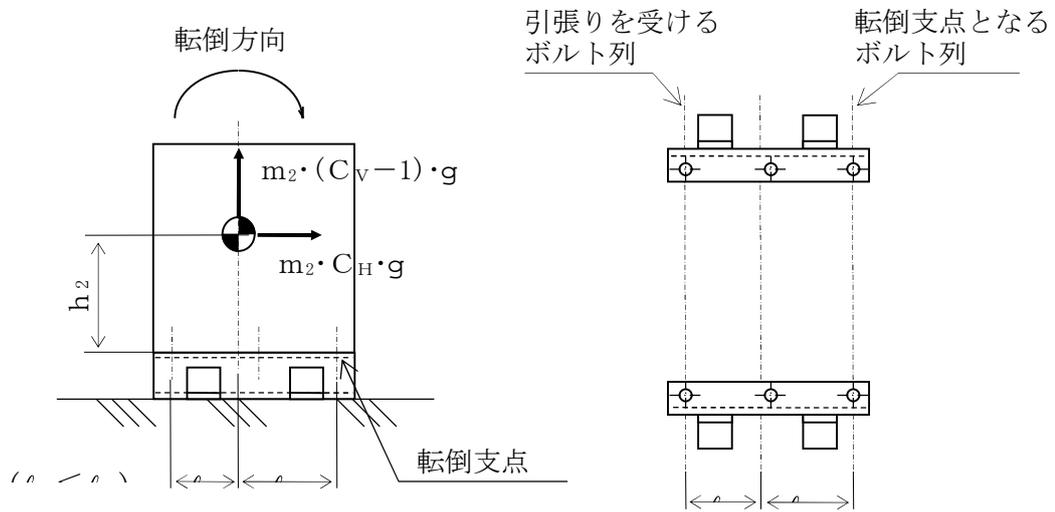


図5-3 計算モデル（短辺方向転倒）

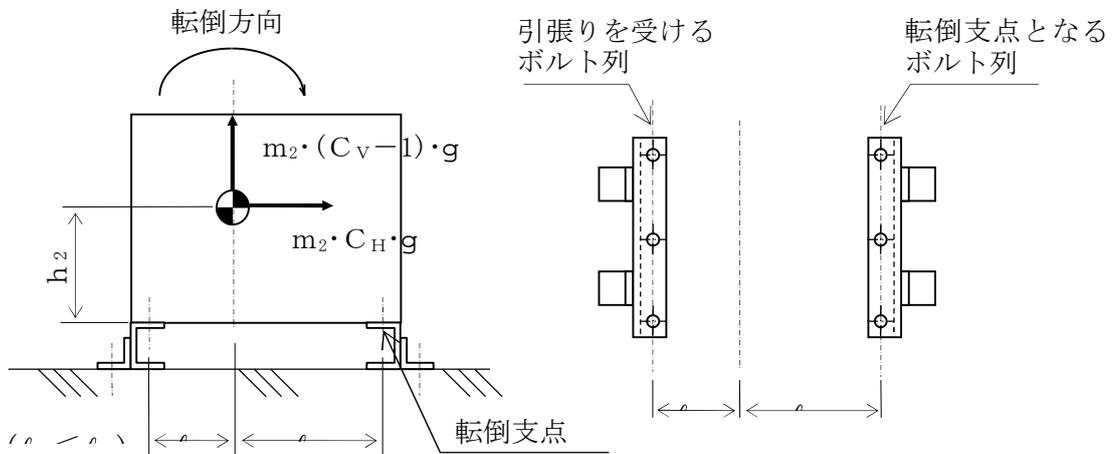


図5-4 計算モデル（長辺方向転倒）

(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

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(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

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記文言に変更する。なお、その際に上記式番号は(5.4.1.2.4)を(5.4.1.2.3)に、(5.4.1.2.5)を(5.4.1.2.4)にする。

「ここで、基礎ボルトの有効断面積 A_{b2} は、J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値とする。」

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。

周囲環境温度が 50℃以下の場合、耐震計算書上は 50℃と記載する。

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	—	—	SS400
温度条件 (周囲環境温度)	—	℃	50
ボルトの呼び径	d_1	mm	12
計器スタンションの質量	m_1	kg	55
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
据付面から重心までの距離	h_1	mm	400
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	90
重心とボルト間の水平方向距離 (短辺方向)	l_{21}	mm	140
ボルトの本数	n_1	—	4
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}	—	2
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}	—	2

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、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。

周囲環境温度が 50℃以下の場合、耐震計算書上は 50℃と記載する。

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	—	—	SS400
温度条件 (周囲環境温度)	—	℃	50
ボルトの呼び径	d_2	mm	10
計器スタンション質量	m_2	kg	49
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_2	mm	325
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	100
重心とボルト間の水平方向距離 (短辺方向)	l_{22}	mm	150
ボルトの本数	n_2	—	6
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}	—	3
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}	—	2

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。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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。

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

ボルトの有効断面積による評価の場合の許容応力は、以下とする。

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇水位計の電氣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。

〇〇〇〇水位計は地震時電氣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、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により確認した加速度を適用する。

〇〇〇〇水位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氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (単位: $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇水位 (〇〇〇〇)	伝送器 (EDR-N6L)	水平	〇〇
		鉛直	〇〇

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇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氣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

電氣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

〇〇〇〇〇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氣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

電氣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

〇〇〇〇〇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氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○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

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	挿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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
○○○○水位 (○○○○)	常設耐震/防止 常設/緩和	○○○○ EL. 0.7*	0.05以下	0.05以下	—	—	C _{ii} =2.00	C _v =2.67	50

注記 *：基準床レベルを示す。

周囲環境温度が50°C以下の場合、耐震計算書上は50°Cと記載する。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト，取付ボルト

有効断面積の場合は JIS B 1082 表1に記載の値を記載する。

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} (mm)	φ _{2i} (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _i /l _i	S _{vi} (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	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	55	400	90	140	113.1 (M12)	4	2	245 (径≦16mm)	400	245	—	短辺方向
											—	長辺方向
取付ボルト (i=2)	49	325	100	150	78.54 (M10)	6	2	245 (径≦16mm)	400	245	—	短辺方向
											—	長辺方向

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルト，取付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	
基礎ボルト (i=1)	—	335.6	1.079×10 ³
取付ボルト (i=2)	—	95.62	961.1

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。

ボルト径を記載する。

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。

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 電氣的機能維持評価方法	4
4.2 加振試験	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、「V-2-9 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、〇〇〇〇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。

〇〇〇〇温度は、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、分類に応じた電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇温度の構造計画を表 2-1 に示す。

・DB + SA の場合の記載例を示す。
[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

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	
<p>検出器は、袋ナットにて、〇〇〇〇系管に溶接された保護管に固定する。</p>	<p>測温抵抗体</p>	

2.2 評価方針

〇〇〇〇温度の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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。

〇〇〇〇温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

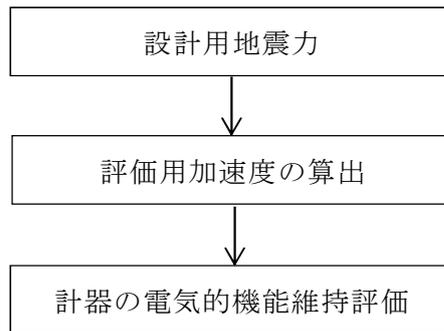


図 2-1 〇〇〇〇温度の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -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）に準拠して評価する。

3. 評価部位

〇〇〇〇温度は、〇〇〇〇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、〇〇〇〇系管が支持している。〇〇〇〇系管の構造強度評価は「V-〇-〇-〇 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、〇〇〇〇系管の地震応答解析結果を用いた〇〇〇〇温度の電氣的機能維持評価について示す。

〇〇〇〇温度の機能維持評価は、検出器取付位置の加速度により実施する。〇〇〇〇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 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇温度の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

〇〇〇〇温度は〇〇〇〇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、「V-〇-〇-〇 管の耐震性についての計算書」に示す〇〇〇〇設備の地震応答解析で評価した〇〇〇〇温度取付部の質点に生じる加速度とし、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

形式	評価部位	方向	機能確認済加速度
	本体	水平	〇.〇〇
	本体	鉛直	〇.〇〇

対象は配管に設置されている計器類になるため、「本体」と記載する。違う場合はその都度調整する。

4.2 加振試験

4.2.1 基本事項

〇〇〇〇温度について実際の設置状態を模擬して加振試験を行い，基準地震動 S_s による地震力に対して要求される機能が維持されることを確認する。

4.2.2 設計用地震力

加振波の条件を記載するものとする。

以下の加振波の最大加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波：正弦波 or 対象機器設置箇所における基準地震動 S_s に対する設計用床応答スペクトルを上回るように設定
- ・加振方向：水平（前後）＋鉛直，水平（左右）＋鉛直

(単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

対象機器設置箇所	加振方向		最大加速度	
			S_s -〇	S_s -〇
〇〇〇建屋 EL. 〇〇.〇 (m)	水平	X		
		Y		
	鉛直	Z		

本項は，加振試験の条件を記載するものとする。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇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氣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

電氣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

〇〇〇〇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氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【〇〇〇〇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 電気的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	

確定 S_s を記載する。

各検出器の値を記載する。

評価用加速度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

2.1 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向	
	鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定S_sを記載する。

←

各検出器の値を記載する。