

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電 27 R <u>1</u>
提出年月日	令和 4 年 <u>11</u> 月 <u>18</u> 日

設工認に係る補足説明資料

耐震計算に関する基本方針及び耐震計算書の記載 に関する補足事項について

1. 文章中の下線部は，R0 から R1 への変更箇所を示す
2. R1 の主な変更内容としては，11 月 8 日に提示した「耐震機電 00-01」に示す類型化分類を反映したものである。
3. 第 1 回申請設備として火災感知器の追加に伴い，電氣的機能維持の機能確認済加速度に対する補足内容を追加した。

目次

1. 概要	1
2. 計算式及び設備固有事項の設定について.....	2
2.1 計算式の設定に関する補足説明について.....	2
2.2 設備固有の設定事項について.....	2
添付-1 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算に対する説明方法	
添付-2 定式化された計算式による評価を行う機器の耐震計算に対する説明方法	
添付-3 有限要素モデル等を用いて評価を行う配管の耐震計算に対する説明方法	

[- - - -]:後次回で示す範囲

■:商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設及びMOX燃料加工施設(以下「当社施設」という。)に対する第1回設工認申請のうち、以下に示す添付書類における耐震評価上の補足事項について示すものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-1-2-2 機器の耐震計算に関する基本方針」
- ・再処理施設 添付書類「IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法」
- ・再処理施設 添付書類「IV-2 再処理施設の耐震性に関する計算書」
- ・再処理施設 添付書類「IV-4-2 火災防護設備の耐震性に関する計算書」

第1回申請設備は、有限要素モデル等を用いて評価を行う機器及び標準支持間隔法を用いている配管である。有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算は、添付書類「IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法」に基づき実施しており、当該添付書類において評価条件、計算式、許容限界等を示している。

そのうち計算式は、JEAGの式の他、JEAGや材料力学の式を組み合わせ設備形状に応じた式を設定している。

また、評価条件、許容限界等は、原則として設備の種類や構造に応じて基本方針に示す値を適用している。設備固有の事項により基本方針に比べて保守的な設定とする場合等は、設備固有の設定である旨を耐震計算書に記載した上で適用することとしている。

配管系のうち標準支持間隔法を用いている配管の耐震計算は、添付書類「IV-1-1-11-1 配管の耐震支持方針」に基づき実施している。標準支持間隔法を用いている配管系は設計方針であることから、当該設備に対する耐震計算上の補足事項については補足説明資料「耐震機電16 配管系の評価手法(定ピッチスパン法)について」に示す。

本資料では、計算式の設定に関する補足説明や設備固有の設定事項等、計算式や耐震計算書に対する補足事項について示す。

本資料で示す内容については、再処理施設及びMOX燃料加工施設に対して適用するものとし、廃棄物管理施設については別途整理するものとする。

また、本資料は第1回申請範囲を対象とした説明内容を示しており、後次回申請範囲の機器配管系については当該申請時において記載を拡充していく。

2. 計算式及び設備固有事項の設定について

耐震の計算方針及び耐震計算書の記載に関する補足事項として、基本方針に示している計算式の設定に関する補足説明、設備固有の設定事項の考え方を以下に示す。

2.1 計算式の設定に関する補足説明について

耐震評価に適用する計算式は、添付書類「IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法」で設定している。

これらの計算式は、JEAGの式その他、JEAG及び材料力学の計算式を参考に設定しており、各計算式の出典について補足する。

また、回転機器の回転数等により生じるモーメントの算出方法などの計算式に用いる技術的根拠についても補足する。

計算式の出典及び技術的根拠を添付-1に示す。

2.2 設備固有の設定事項について

各設備の耐震評価においては、基本方針に考慮すべき荷重、減衰定数、許容限界等を設定している。

これら設備の耐震評価においては基本方針に基づき評価を行っている設備の他、基本方針よりも保守的に評価条件を設定している設備がある。また、基本方針の方針に基づき、試験等で許容限界を求め、その許容限界を耐震計算書に示している設備がある。

設備固有の設定事項について以下に示す。

(1) 安全冷却水B冷却塔

減衰定数について、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本方針」に記載の減衰定数よりも保守的な減衰定数を適用しているため、その適用性について補足する。

詳細な設定内容及び妥当性を別紙-1に示す。

(2) 火災感知器(第1回申請範囲)

電氣的機能維持評価について、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本方針」に基づき、実証試験等により得られた電氣的機能確認済加速度を用いて評価する。

ここで、電氣的機能維持は機能を確認する部品のサイズ、構造が多様であり設備ごとの確認結果を用いていることから、電氣的機能確認済加速度を取得した試験内容について補足する。

詳細な試験内容を別紙-2に示す。

以上

添付－1

有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の 耐震計算に対する説明方法

- 本資料は、計算式の設定根拠となる出典元の違いに応じた説明方法として、有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算に対する説明方法について示すものである。

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行 う機器の耐震計算方法</p> <div data-bbox="293 1098 994 1278" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"><p>本計算式を適用する第1回申請設備を以下に示す。</p><ul style="list-style-type: none">・安全冷却水B冷却塔・火災感知器</div>	

<p>IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法</p>	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p>																																		
<ul style="list-style-type: none"> • 本設備に適用する各計算式については, JEAG, 機械工学便覧及び鋼構造設計規準等に示されている計算式を基に設定しており, 各計算式に対する根拠について説明を行う。 • FEM の計算方法を示すIV-1-2-1-4は, 下記に示す目次の内容で構成されている。このうち, 計算式は 3.2.3 計算方法の(3.2.3.2-1)式から(3.2.3.5-5)式, 5.1.1 機能確認済み加速度の適用範囲外設備の計算方法の(5.1.1.2-1)式から(5.1.1.3-2)式及び5.2.1 原動機の計算方法の(5.2.1.2-1)式から(5.2.1.3-1)式に応力計算式が示されることから, 本項目の記載を抜粋した上で計算式の出典を示す。 																																			
<p>目 次</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: right;">ページ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. 概要</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td>2. 計算条件</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td> 2.1 解析モデルの詳細設定</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td> 2.2 解析モデルの入力条件</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td> 2.2.1 寸法</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td> 2.2.2 拘束条件</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td> 2.2.3 温度条件</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td> 2.2.4 圧力</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td> 2.2.5 内包流体の比重</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td> 2.2.6 断面特性</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td> 2.2.7 材料特性</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td> 2.2.8 重量</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td> 2.3 固有周期の算出</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td> 2.4 設計用地震力</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td> 2.4.1 設計用地震力</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td> 2.4.2 減衰定数</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> </tbody> </table>			ページ	1. 概要	1	2. 計算条件	2	2.1 解析モデルの詳細設定	2	2.2 解析モデルの入力条件	2	2.2.1 寸法	2	2.2.2 拘束条件	2	2.2.3 温度条件	2	2.2.4 圧力	2	2.2.5 内包流体の比重	3	2.2.6 断面特性	3	2.2.7 材料特性	3	2.2.8 重量	3	2.3 固有周期の算出	3	2.4 設計用地震力	3	2.4.1 設計用地震力	3	2.4.2 減衰定数	3
	ページ																																		
1. 概要	1																																		
2. 計算条件	2																																		
2.1 解析モデルの詳細設定	2																																		
2.2 解析モデルの入力条件	2																																		
2.2.1 寸法	2																																		
2.2.2 拘束条件	2																																		
2.2.3 温度条件	2																																		
2.2.4 圧力	2																																		
2.2.5 内包流体の比重	3																																		
2.2.6 断面特性	3																																		
2.2.7 材料特性	3																																		
2.2.8 重量	3																																		
2.3 固有周期の算出	3																																		
2.4 設計用地震力	3																																		
2.4.1 設計用地震力	3																																		
2.4.2 減衰定数	3																																		

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
2.5 荷重の組合せ..... 4	
2.5.1 自重, 機械的荷重..... 4	
2.5.2 その他付加荷重である積雪荷重, 風荷重..... 4	
2.6 許容限界..... 4	
2.6.1 許容応力・許容荷重..... 4	
2.6.2 機能確認済加速度..... 4	
3. 計算式..... 6	
3.1 構造強度評価..... 6	
3.1.1 記号の説明..... 6	
3.1.2 各部位の計算式..... 8	
3.1.3 評価..... 11	
3.2 動的機能維持評価..... 12	
3.2.1 機能確認済加速度による評価..... 12	
3.2.2 機能確認済加速度の適用範囲外設備に対する詳細検討..... 12	
3.2.3 機能確認済加速度を超える設備に対する詳細検討..... 14	
3.3 電氣的機能維持評価..... 16	
3.3.1 評価方針..... 16	
3.3.2 評価..... 16	

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.1.2 各部位の計算式</p> <p>3.1.2.1 支持架構の応力</p> <p>支持架構の引張応力σ_t, 圧縮応力σ_c, せん断応力τ及び曲げ応力σ_bは, 次式により算出する。</p> <p>(1) 引張応力</p> <p>引張応力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;"> $\sigma_t = \frac{F_b}{A}$ </div> <p>(ただし, $F_b \geq 0$) (3.1.2.1-1)</p> <p>(2) 圧縮応力</p> <p>圧縮応力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;"> $\sigma_c = -\frac{F_b}{A}$ </div> <p>(ただし, $F_b < 0$) (3.1.2.1-2)</p>	<p>左記の計算式は, 機械工学便覧に示されている材料力学の引張り・圧縮荷重が部材に作用する場合の計算式を適用している。</p> <p>σ_t : 水平及び鉛直方向地震による引張応力</p> $\sigma_t = \frac{F_b}{A}$ <p>ここで, F_b : 部材に作用する引張力 A : 部材の断面積</p> <p>σ_c : 水平及び鉛直方向地震による圧縮応力</p> $\sigma_c = -\frac{F_b}{A}$ <p>なお, σ_t, σ_cがσ, F_bがFであり使用している記号及び圧縮応力での符号は異なるが, 算出式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">機械工学便覧 抜粋</p> <p style="text-align: center;">第2章 引張り・圧縮とねじり</p> <p style="text-align: center;">2・1 棒の引張り・圧縮</p> <p style="text-align: center;">2・1・1 断面に生じる応力</p> <p>十分に長い棒の端面に引張り・圧縮荷重が作用するとき, 端面から離れた位置ではサンブナンの原理により一様な応力が発生する。棒の断面積をA, 端面に作用する引張荷重をFとすれば応力σは次のようになる。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;"> $\sigma = \frac{F}{A}$ </div> <p style="text-align: right;">(2・1)</p> </div>

<p>IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法</p>	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p>												
<p>(3) せん断応力 せん断応力は、次式で表される。</p> $\tau = \frac{Q_b}{A_s} \dots\dots\dots(3.1.2.1-3)$	<p>左記の計算式は、機械工学便覧に示されている材料力学のせん断荷重による応力の計算式を適用している。</p> <p>τ : 水平及び鉛直方向地震によるせん断応力</p> $\tau = \frac{Q_b}{A_s}$ <p>ここで、 Q_b : 部材に作用するせん断荷重 A_s : 部材のせん断断面積</p> <p>計算方法の引用元となる機械工学便覧の式は下記式である。</p> $\tau = \frac{3 F}{2 A}$ <p>なお、Q_b が F であり、A_s は $\frac{2}{3} A$ に当たることから、使用している記号は異なるが算出式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">機械工学便覧 抜粋</p> <p style="text-align: center; font-size: small;">表 3-4 はり断面におけるせん断応力分布 (はりがねじれないように荷重がせん断中心に加わったとき)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">断面型せん断応力分布図</th> <th style="width: 40%;">$\tau_{xy} = \frac{F}{2I} \int_{y_1}^{e_1} zy \, dy$</th> <th style="width: 30%;">$\tau_{xy \max}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> $\frac{3}{2} \frac{F}{bh} \left\{ 1 - \left(\frac{2y_1}{h} \right)^2 \right\}$ </td> <td style="text-align: center;"> $y_1=0: \frac{3}{2} \frac{F}{bh} = \frac{3}{2} \frac{F}{A}$ </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> $0 \leq y_1 \leq \frac{a}{\sqrt{2}}$ $\frac{F}{a^2} \left\{ 1 + \sqrt{2} \frac{y_1}{a} - 4 \left(\frac{y_1}{a} \right)^2 \right\}$ </td> <td style="text-align: center;"> $y_1 = \frac{1}{4} e: - \frac{9}{8} \frac{F}{A}$ </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> $\frac{4}{3} \frac{F}{\pi r^2} \left\{ 1 - \left(\frac{y_1}{r} \right)^2 \right\}$ </td> <td style="text-align: center;"> $y_1=0: - \frac{4}{3} \frac{F}{\pi r^2} = \frac{4}{3} \frac{F}{A}$ </td> </tr> </tbody> </table> </div>	断面型せん断応力分布図	$\tau_{xy} = \frac{F}{2I} \int_{y_1}^{e_1} zy \, dy$	$\tau_{xy \max}$		$\frac{3}{2} \frac{F}{bh} \left\{ 1 - \left(\frac{2y_1}{h} \right)^2 \right\}$	$y_1=0: \frac{3}{2} \frac{F}{bh} = \frac{3}{2} \frac{F}{A}$		$0 \leq y_1 \leq \frac{a}{\sqrt{2}}$ $\frac{F}{a^2} \left\{ 1 + \sqrt{2} \frac{y_1}{a} - 4 \left(\frac{y_1}{a} \right)^2 \right\}$	$y_1 = \frac{1}{4} e: - \frac{9}{8} \frac{F}{A}$		$\frac{4}{3} \frac{F}{\pi r^2} \left\{ 1 - \left(\frac{y_1}{r} \right)^2 \right\}$	$y_1=0: - \frac{4}{3} \frac{F}{\pi r^2} = \frac{4}{3} \frac{F}{A}$
断面型せん断応力分布図	$\tau_{xy} = \frac{F}{2I} \int_{y_1}^{e_1} zy \, dy$	$\tau_{xy \max}$											
	$\frac{3}{2} \frac{F}{bh} \left\{ 1 - \left(\frac{2y_1}{h} \right)^2 \right\}$	$y_1=0: \frac{3}{2} \frac{F}{bh} = \frac{3}{2} \frac{F}{A}$											
	$0 \leq y_1 \leq \frac{a}{\sqrt{2}}$ $\frac{F}{a^2} \left\{ 1 + \sqrt{2} \frac{y_1}{a} - 4 \left(\frac{y_1}{a} \right)^2 \right\}$	$y_1 = \frac{1}{4} e: - \frac{9}{8} \frac{F}{A}$											
	$\frac{4}{3} \frac{F}{\pi r^2} \left\{ 1 - \left(\frac{y_1}{r} \right)^2 \right\}$	$y_1=0: - \frac{4}{3} \frac{F}{\pi r^2} = \frac{4}{3} \frac{F}{A}$											

<p>IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法</p>	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p>
<p>(4) 曲げ応力 曲げ応力は、次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ </div> <p style="text-align: right;">…………… (3.1.2.1-4)</p>	<p>左記の計算式は、機械工学便覧に示されている材料力学の曲げモーメントによる応力の計算式を適用している。</p> <p>σ_b : 水平及び鉛直方向地震による曲げ応力</p> $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ <p>ここで、 M : 部材に作用するモーメント Z : 部材の断面係数</p> <p>なお、ZがZ_1であり使用している記号は異なるが、算出式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;">機械工学便覧 抜粋</p> <p>3・3 はりの曲げモーメントによる応力</p> <p>はりが曲げモーメントだけを受ける場合、このはりを単純はり (simple beam) という。単純はりの横断面は、曲げを受けた後にも平面を保つが、この面には垂直に図3・13に示す直線的な分布の曲げ応力が生じる。曲がったはりの凸表面には引張ひずみが生じ、凹表面には圧縮ひずみが生じるから、その中間に伸縮のない面があり、これを中立面という。中立面が横断面と交わる直線を断面の中立軸という。はりが塑性変形を起こさない限り、断面の中立軸は断面の図心を通り、また、荷重の作用線と断面の主軸の一つが一致する場合は荷重の作用線と直交する (3・6節参照)。</p> <p>単純はりでは、横断面内の任意の点の垂直応力は、Mをその断面に働く曲げモーメント、yを断面の中立軸 NN から考える点までの距離、Iを断面の中立軸に関する断面二次モーメントとすれば、</p> $\sigma = My/I \tag{3・14}$ <p>で与えられる。この応力は、yが最大になる点で最大となる。引張りおよび圧縮の最大応力をσ_1、σ_2とし、e_1、e_2をyの引張側および圧縮側の最大値とすれば、</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;"> $\sigma_1 = Me_1/I = M/Z_1$ </div> $\sigma_2 = -Me_2/I = -M/Z_2 \tag{3・15}$ </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(5) 組合せ応力 組合せ応力は、次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$ </div> <p>..... (3.1.2.1-5)</p>	<p>JEAG の式において使用している各応力は、運転時重量による圧縮応力 σ_{s1}、長手方向地震による曲げ、圧縮応力 σ_{s2} 及びせん断応力 τ_{s2} である。</p> <p>圧縮応力及び曲げ応力を合計した $(\sigma_{s1} + \sigma_{s2})$ は軸方向応力の合計である $(\sigma_t + \sigma_b)$ と同じであり、τ_{s2} は τ と同じであることから、圧縮応力と引張応力と荷重の作用方向に違いはあるが計算方法は同じである。</p> <div style="text-align: center;"> $\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>④ 組合せ応力</p> <p style="text-align: center;">長手方向地震が作用する場合</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $\sigma_{sl} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2})^2 + 3\tau_{s2}^2}$ </div> <p>..... (6.6.3-358)</p> </div> </div>

<p>IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法</p>	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p>
<p>(6) 座屈を考慮する場合の組合せ</p> <p>1) 圧縮力と曲げモーメント</p> <p>圧縮力と曲げモーメントを同時に受ける部材の応力は, 次式を満足すること。 なお, 基準地震動 S_s による評価では f_c を f_c^*, f_b を f_b^* に読み替える。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px 0;"> $\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (3.1.2.1-6)$ </div>	<p>左記の計算式は, 鋼構造設計規準に示されている圧縮と曲げの組合せ応力の計算式を適用している。</p> <p>圧縮と曲げの組合せ</p> $\frac{\sigma_c}{1.5 f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5 f_b} \leq 1$ <p>ここで, σ_c : 水平及び鉛直方向地震による圧縮応力 σ_b : 水平及び鉛直方向地震による曲げ応力</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 20px 0;"> <p style="text-align: center;">鋼構造設計規準—許容応力度設計法— 抜粋</p> <p style="text-align: center;">6章 組合せ応力</p> <p>6.1 圧縮力と曲げモーメント</p> <p>圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の断面は, (6.1) 式, (6.2) 式を満足するように定める。 ただし, $\sigma_c, \sigma_b, \sigma_t$ の値は絶対値をとる。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (6.1)$ </div> <p>かつ,</p> $\frac{\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1 \dots\dots\dots (6.2)$ <p>記号</p> <p>f_c : 5.1(3)に規定する許容圧縮応力度で, 該当するものをとる f_b : 5.1(4)に規定する許容曲げ応力度で, 該当するものをとる f_t : 5.1(1)に規定する許容引張応力度</p> <p>σ_c : 平均圧縮応力度 ($\sigma_c = N/A$) σ_b : 圧縮側曲げ応力度 ($\sigma_b = M/Z_c$) σ_t : 引張側曲げ応力度 ($\sigma_t = M/Z_t$)</p> <p>N : 圧縮力 M : 曲げモーメント A : 全断面積 Z_c : 圧縮側断面係数 Z_t : 引張側断面係数</p> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>2) 引張力と曲げモーメント</p> <p>引張力と曲げモーメントを同時に受ける部材の応力は、次式を満足すること。 なお、基準地震動 S_s による評価では f_t を f_t^* に読み替える。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block; margin: 10px;"> $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1 \quad (3.1.2.1-7)$ </div>	<p>左記の計算式は、鋼構造設計規準に示されている引張と曲げの組合せ応力の計算式を適用している。</p> <p>引張と曲げの組合せ</p> $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1$ <p>ここで、 σ_t : 水平及び鉛直方向地震による引張応力 σ_b : 水平及び鉛直方向地震による曲げ応力</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;">鋼構造設計規準－許容応力度設計法－ 抜粋</p> <p>6.2 引張力と曲げモーメント</p> <p>引張力と曲げモーメントを受ける部材の断面は、(6.3) 式、(6.4) 式を満足するように定める。ただし、σ_t、σ_b、σ_t の値は絶対値をとる。記号は 6.1 節参照。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block; margin: 10px;"> $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1 \quad (6.3)$ </div> <p>かつ、</p> $\frac{\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1 \quad (6.4)$ <p>記号</p> <p>σ_t : 平均引張応力度 ($\sigma_t = T/A_N$) T : 引張力 A_N : 13.1 節の規定による有効断面積</p> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.1.2.2 支持架構の基礎ボルトの応力</p> <p>支持架構の基礎ボルトの引張応力 σ_{so} 及びせん断応力 τ_{so} は, 次式により算出する。</p> <p>(1) 引張応力</p> <p>引張応力は, 次式で表される。</p> <p>なお, 基礎ボルトに作用する引抜き力は, 当該柱脚部の基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;"> $\sigma_{so} = \frac{F_{bt}}{A_{ab}n_a}$ </div> <p>..... (3.1.2.2-1)</p>	<p>式の出典は, 3.2.3.2 支持架構の応力(1)引張応力と同じ。</p> <p>なお, F_{bt} が F, $A_{ab}n_a$ が A に当たることから, 使用している記号は異なるが, 算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(2)せん断応力 せん断応力は、次式で表される。 なお、基礎ボルトに作用するせん断力は、当該柱脚部の基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;"> $\tau_{so} = \frac{F_{bs}}{A_{ab}n_a} \dots\dots\dots (3.1.2.2-2)$ </div>	<p>式の出典は、3.2.3.2 支持架構の応力(3)せん断応力と同じ。</p> <p>なお、F_{bs}がF、$A_{ab}n_a$がA_sに当たることから、使用している記号は異なるが、算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.1.2.3 支持架構に搭載される配管系の応力</p> <p>支持架構に搭載される配管系の一次応力σ_f及び一次+二次応力S_nは、次式により算出する。</p> <p>(1)一次応力</p> <p>一次応力は、次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> $\sigma_f = \frac{PD_o}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a+M_b)}{Z_f} \dots\dots\dots (3.1.2.3-1)$ </div> <p>(2)一次+二次応力</p> <p>一次+二次応力は、次式で表される。</p> $S_n = \frac{0.75i_1M_b + i_2M_c}{Z_f} \dots\dots\dots (3.1.2.3-2)$	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> $\sigma_f = \frac{PD_o}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a+M_b)}{Z_f}$ </div> <p>$\frac{PD_o}{400t}$ の分母における 400 と 4 の違いは、圧力 P に対する S I 単位化の換算による違いであり、また、Z が Z_f であり使用している記号は異なるが、計算式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <ul style="list-style-type: none"> 1次応力 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> $S = \frac{PD_o}{400t} + \frac{0.75i_1(M_a+M_b)}{Z} \dots\dots\dots (6.6.2-50)$ </div> <p>S : 1次応力 (kgf/mm²)</p> <p>P : 地震と組合せるべき運転状態における圧力 (kgf/cm²)</p> <p>D_o : 管の外径 (mm)</p> <p>t : 管の厚さ (mm)</p> <p>i₁ : 応力係数で「告示501号」第57条に規定する値又は1.33のいずれか大きい方の値</p> <p>M_a : 管の機械的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る。)により生じるモーメント (kgf・mm)</p> <p>Z : 管の断面係数 (mm³)</p> <p>M_b : 管の機械的荷重 (地震を含めた短期的荷重)により生じるモーメント (kgf・mm)</p> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.1.2.3 支持架構に搭載される配管系の応力</p> <p>支持架構に搭載される配管系の一次応力σ_f及び一次+二次応力S_nは, 次式により算出する。</p> <p>(1)一次応力 一次応力は, 次式で表される。</p> $\sigma_f = \frac{PD_o}{4t} + \frac{0.75i_1(M_b+M_c)}{Z_f} \dots\dots\dots (3.1.2.3-1)$ <p>(2)一次+二次応力 一次+二次応力は, 次式で表される。</p> $S_n = \frac{0.75i_1M_b^* + i_2M_c}{Z_f} \dots\dots\dots (3.1.2.3-2)$	<p>$S_n = \frac{0.75 i_1 M_b^* + i_2 M_c}{Z}$ ←</p> <p>ZがZ_fであり使用している記号は異なるが, 計算式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <ul style="list-style-type: none"> 1次応力+2次応力の変動値 $S_n = \frac{0.75 i_1 M_b^* + i_2 M_c}{Z} \dots\dots\dots (6.6.2-51)$ <p>S_n : 1次応力と2次応力を加えて求めた応力 (kgf/mm²) i_2 : 応力係数で「告示501号」第57条に規定する値又は1.0のいずれか大きい方の値 M_b^* : 地震動S_1又はS_2の慣性力により生じるモーメントの全振幅 (kgf・mm) M_c : 地震動S_1又はS_2の相対変位により生じるモーメントの全振幅 (kgf・mm) P, D_o, t, i_1, Z : それぞれ前記1次応力の説明に定めるところによる。</p> <p>多質点系はよりモデルと応力評価の例を図6.6.2-26と表6.6.2-7に示す。</p> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.1.2.4 取付ボルトの応力</p> <p>支持架構により支持する剛な設備の取付ボルトに生じる引張応力σ_o及びせん断応力τ_bは、次式により算出する。</p> <p>また、回転機器の取付ボルトの応力計算に際しては、地震力に併せて振動による震度及び回転によるモーメントを考慮する。なお、風荷重については、設備形状により必要に応じて考慮する。</p> <p>(1)直立形</p> <p>a. 引張応力</p> <p>引張応力は、次式で表される。</p> <p>(a)角形配置の場合</p> <p>取付ボルトに対する引張力は、取付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する。</p> <p>なお、自重より鉛直方向設計震度が大きい場合は、浮上り力である上方向に作用する力が引張力として作用する。</p> <p>イ. 取付ボルトが4本の場合</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px 0;"> $\sigma_o = \frac{g(m(C_H+C_P)h - \frac{mL}{2}(1-C_V-C_P)) + M_P + W_w h}{n_t A_b L} \dots\dots\dots (3.1.2.4-1)$ </div> <p>ここで、</p> $M_P = \left(\frac{60}{2\pi N} \right) \times 10^6 P_m \dots\dots\dots (3.1.2.4-2)$ <p>ロ. 取付ボルトが2本の場合</p> <p>取付ボルトに対する引張応力のうち、2本の取付ボルトと平行な方向の引張応力は、取付ボルトが4本の場合の算出式を用いる。</p> <p>2本の取付ボルトと直交する方向の引張応力は、次式により算出する。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px 0;"> $\sigma_o = \frac{-\frac{mL}{2}(1-C_V-C_P) + M_P}{n_t A_b L} \dots\dots\dots (3.1.2.4-3)$ </div>	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p> $\sigma_o = \frac{g(m(C_H+C_P)h - \frac{mL}{2}(1-C_V-C_P)) + M_P + W_w h}{n_t A_b L}$ $\sigma_o = \frac{-\frac{mL}{2}(1-C_V-C_P) + M_P}{n_t A_b L}$ <p>JEAG4601では、荷重算出式と応力算出式が分かれており、さらに、鉛直方向地震力による震度及び風荷重の考慮、取付方法の違いにより考慮する荷重に違いがあるが、計算式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center;">原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <p>⑥ 引張応力</p> <p>角形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、基礎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。</p> <p>引張力 (F_b)</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px 0;"> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_P) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_P) l}{n_f l} \dots\dots\dots (6.6.3-513)$ </div> <p>円形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は、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支点から最も離れたボルトについて計算する。</p> <p>引張力 (F_b)</p> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_P) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_P) \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} n_f D} \dots\dots\dots (6.6.3-514)$ <p>引張応力 (σ_b)</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px 0;"> $\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (6.6.3-515)$ </div> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.1.2.4 取付ボルトの応力</p> <p>支持架構により支持する剛な設備の取付ボルトに生じる引張応力σ_o及びせん断応力τ_oは、次式により算出する。</p> <p>また、回転機器の取付ボルトの応力計算に際しては、地震力に併せて振動による震度及び回転によるモーメントを考慮する。なお、風荷重については、設備形状により必要に応じて考慮する。</p> <p>(1)直立形</p> <p>a. 引張応力</p> <p>引張応力は、次式で表される。</p> <p>(a)角形配置の場合</p> <p>取付ボルトに対する引張力は、取付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する。</p> <p>なお、自重より鉛直方向設計震度が大きい場合は、浮上り力である上方向に作用する力が引張力として作用する。</p> <p>イ. 取付ボルトが4本の場合</p> $\sigma_o = \frac{g(m(C_u+C_v)h - \frac{m}{2}(1-C_v-C_u)) + M_p + W_u h}{n_b A_b L} \dots\dots\dots (3.1.2.4-1)$ <p>ここで、</p> <div style="border: 2px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;"> $M_p = \left(\frac{60}{2\pi N} \right) \times 10^6 P_m \dots\dots\dots (3.1.2.4-2)$ </div> <p>ロ. 取付ボルトが2本の場合</p> <p>取付ボルトに対する引張応力のうち、2本の取付ボルトと平行な方向の引張応力は、取付ボルトが4本の場合の算出式を用いる。</p> <p>2本の取付ボルトと直交する方向の引張応力は、次式により算出する。</p> $\sigma_o = \frac{-\frac{m}{2}(1-C_v-C_u) + M_p}{n_b A_b L} \dots\dots\dots (3.1.2.4-3)$	<p>左記の計算式は、材料力学の式を基に回転機器の回転数及び出力より生じるモーメントを算出しているものである。</p> <p>計算式に用いる技術的根拠として、回転により生じるモーメントを算出するには、回転機器の回転数に2πを乗じ時間単位換算(60)で除して回転速度を算出し、回転機器の出力を除することによりモーメントを算出している。</p> <p>M_p : ファン駆動部の回転により作用するモーメント</p> $M_p = \left(\frac{60}{2\pi N} \right) \times 10^6 P_m$ <p>ここで、N : 回転機器の回転数 P_m : 回転機器の出力</p>

<p>IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法</p>	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p>
<p>(b)円形配置の場合</p> <p>取付ボルトに対する引張力は, 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支点から最も離れたボルトについて計算する。</p> <p>なお, 自重より鉛直方向設計震度が大きい場合は, 浮上り力である上方方向に作用する力が引張力として作用する。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content;"> $\sigma_o = \frac{m(C_H + C_P)gh}{3/8A_b n_f L} - \frac{mL(1 - C_v - C_e)g}{2A_b n_f} \dots\dots\dots (3.1.2.4-4)$ </div>	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;"> $\sigma_o = \frac{m(C_H + C_P)gh}{3/8A_b n_f L} - \frac{mL(1 - C_v - C_e)g}{2A_b n_f}$ <p>JEAG4601 では, 荷重算出式と応力算出式が分かれており, さらに, 鉛直方向地震力による震度を考慮していることによる違いがあるが, 計算式は同じである。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <p>⑥ 引張応力</p> <p>角形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は, 最も厳しい条件として, 基礎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。</p> <p>引張力 (F_b)</p> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_P) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_P) l}{n_f l} \dots\dots\dots (6.6.3-513)$ <p>円形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は, 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支点から最も離れたボルトについて計算する。</p> <p>引張力 (F_b)</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content;"> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_P) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_P) \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} n_f D} \dots\dots\dots (6.6.3-514)$ </div> <p>引張応力 (σ_b)</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content;"> $\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (6.6.3-515)$ </div> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>b. せん断応力</p> <p>せん断応力は、次式で表される。</p> <p>なお、取付ボルトに作用するせん断荷重は、取付ボルトの全本数で受けるものとして計算する。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;"> $\tau_b = \frac{mg(C_H + C_P) + W_w}{A_b n}$ </div> <p>..... (3.1.2.4-5)</p>	<p>式の出典は、3.2.3.2 支持架構の応力(3)せん断応力と同じ。</p> <p>なお、$mg(C_H + C_P) + W_w$がF、$A_b n$がA_sに当たることから、使用している記号は異なるが、算出式は同じである。</p>

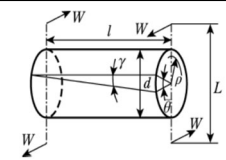
IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(2)壁掛け</p> <p>a. 引張応力</p> <p>水平方向転倒により作用する引張力は、次式で表される。</p> <p>【絶対値和】</p> $F_b = mg \left\{ \frac{(1+C_v)h}{n_{fv}L_1} + \frac{C_H h}{n_{fh}L_2} \right\} \dots\dots\dots (3.1.2.4-6)$ <p>【SRSS法】</p> $F_b = mg \sqrt{\left(\frac{C_v h}{n_{fv}L_1} \right)^2 + \left(\frac{C_H h}{n_{fh}L_2} \right)^2} + mg \frac{h}{n_{fv}L_1} \dots\dots\dots (3.1.2.4-7)$	<p>JEAG4601 では、荷重算出式と応力算出式が分かれており、さらに、鉛直方向地震力による震度の考慮、取付方法の違いにより考慮する荷重に違いがあるが、計算式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <p>⑥ 引張応力</p> <p>角形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、基礎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。</p> <p>引張力 (F_b)</p> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_p) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_p) l}{n_f l} \dots\dots\dots (6.6.3-513)$ <p>円形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は、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支点から最も離れたボルトについて計算する。</p> <p>引張力 (F_b)</p> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_p) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_p) \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} n_f D} \dots\dots\dots (6.6.3-514)$ <p>引張応力 (σ_b)</p> $\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (6.6.3-515)$ </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>鉛直方向転倒により作用する引張力は、次式で表される。</p> <p>【絶対値和】</p> $F_b = mg \left\{ \frac{(1+C_v)h}{n_{fv}L_1} + \frac{C_H L_1}{2n_{fv}L_2} \right\} \dots\dots\dots (3.1.2.4-8)$ <p>【SRSS法】</p> $F_b = mg \sqrt{\left(\frac{C_v h}{n_{fv}L_1} \right)^2 + \left(\frac{C_H L_1}{2n_{fv}L_2} \right)^2} + mg \frac{h}{n_{fv}L_1} \dots\dots\dots (3.1.2.4-9)$	<p>JEAG4601 では、荷重算出式と応力算出式が分かれており、さらに、鉛直方向地震力による震度の考慮、取付方法の違いにより考慮する荷重に違いがあるが、計算式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center;">原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <p>⑥ 引張応力</p> <p>角形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、基礎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。</p> <p>引張力 (F_b)</p> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_p) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_p) l}{n_f l} \dots\dots\dots (6.6.3-513)$ <p>円形計算モデルの場合の基礎ボルトに対する引張力は、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支点から最も離れたボルトについて計算する。</p> <p>引張力 (F_b)</p> $F_b = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i (C_H + C_p) h_i - \sum_{i=1}^3 W_i (1 - C_p) \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} n_f D} \dots\dots\dots (6.6.3-514)$ <p>引張応力 (σ_b)</p> $\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (6.6.3-515)$ </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>引張応力は、次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$ </div> <p>..... (3.1.2.4-10)</p>	<p>式の出典は、3.2.3.2 支持架構の応力(1)引張応力と同じ。 なお、F_bがF、A_bがAに当たることから、使用している記号は異なるが、算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>b. せん断応力</p> <p>せん断力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;"> $Q_b = mg\sqrt{(1+C_v)^2 + C_H^2}$ </div> <p>..... (3.1.2.4-11)</p> <p>せん断応力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;"> $\tau_b = \frac{Q_b}{A_b n}$ </div> <p>..... (3.1.2.4-12)</p>	$Q_b = mg\sqrt{(1+C_v)^2 + C_H^2}$ $\tau_b = \frac{Q_b}{A_b n}$ <p>式の出典は, 3.2.3.2 支持架構の応力(3)せん断応力と同じ。</p> <p>なお, $mg\sqrt{(1+C_v)^2 + C_H^2}$ が F, $A_b n$ が A_s に当たることから, 使用している記号は異なるが, 算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.2.2.1.2 ファン軸応力の計算方法 軸受部に作用する反力及び軸に作用する最大曲げモーメントより生じる応力は、次式により算出する。</p> <p>(1) 地震力による軸外縁曲げ応力 軸外縁曲げ応力は、次式で表される。</p> $\sigma_{bf} = \frac{32M_f}{\pi d^3} \dots\dots\dots (3.2.2.1.2-1)$ <p>(2) 軸力による圧縮応力 圧縮応力は、次式で表される。</p> $\sigma_{mf} = \frac{4(P_1+P_2+P_3)}{\pi d^2} \dots\dots\dots (3.2.2.1.2-2)$	<p>式の出典は、3.2.3.2 支持架構の応力(4)曲げ応力と同じ。 なお、M_{bf}がM、$\pi d^3/32$がZ_1に当たることから、使用している記号及び断面係数の表し方は異なるが、算出式は同じである。</p> <p>式の出典は、3.2.3.2 支持架構の応力(2)圧縮応力と同じ。 なお、$(P_1 + P_2 + P_3)$がF、$\pi d^2/4$がAに当たることから、使用している記号及び断面積の表し方は異なるが、算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(3) ファン軸の回転による軸外縁のせん断応力</p> <p>軸外縁のせん断応力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block; margin: 10px;"> $\tau_{tf} = \frac{16M_{tf}}{\pi d^3}$ </div> <p style="text-align: right; margin-right: 100px;">..... (3. 2. 2. 1. 2-3)</p>	<p>左記の計算式は, 機械工学便覧に示されている材料力学の丸軸のねじりによる応力の計算式を適用している。</p> <p>τ_{tf} : 地震力によるせん断応力</p> $\tau_{tf} = \frac{16M_{tf}}{\pi d^3}$ <p>ここで, M_{tf} : ファン回転によるねじりモーメント</p> <p>$\frac{\pi d^3}{16}$: ねじり断面係数</p> <p>なお, M_{tf} が T, $\pi d^3/16$ が Z_p であり使用している記号は異なるが, 算出式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px;"> <p style="text-align: center;">機械工学便覧 抜粋</p>  <p style="text-align: center;">図 2・3 丸棒のねじり</p> <p>(polar modulus of section) とすれば, 次の関係がある (図 2・3).</p> $T = WL$ $\gamma_{max} = \tau_{max}/G$ $\tau = 2\rho\tau_{max}/d = \frac{T}{I_p}\rho$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;"> $\tau_{max} = \frac{T}{I_p} \frac{d}{2} = \frac{T}{Z_p} = \frac{16T}{\pi d^3} = G\theta \frac{d}{2}$ </div> $\bar{\theta} = \frac{Tl}{GI_p} = \frac{32Tl}{\pi d^4 G}$ $\theta = \frac{\bar{\theta}}{l} = \frac{T}{GI_p}$ </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(4) 地震力によるせん断応力 せん断応力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;"> $\tau_{st} = \frac{4Q_t}{\pi d^2}$ </div> <p style="text-align: center;">…………… (3.2.2.1.2-4)</p>	<p>式の出典は, 3.2.3.2 支持架構の応力(3)せん断応力と同じ。 なお, Q_t が F, $\pi d^2/4$ が A_s に当たることから, 使用している記号は異なるが, 算出式は同じである。</p>

<p>IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法</p>	<p>JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典</p>
<p>(5) 組合せ応力 組合せ応力は、次式で表される。 $\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{bf} + \sigma_{mf})^2 + 4(\tau_{tf} + \tau_{st})^2} \dots\dots\dots (3.2.2.1.2-5)$</p>	<p>$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{bf} + \sigma_{mf})^2 + 4(\tau_{tf} + \tau_{st})^2}$</p> <p>JEAG の計算式は周方向、軸方向及びせん断応力の組合せであるが、本計算式は圧縮、曲げ応力とせん断応力の組合せであり、圧縮と曲げ応力が一軸であることによる式の変形及び σ_x が $\sigma_{bf} + \sigma_{mf}$、$\tau_{x\theta}$ が $\tau_{tf} + \tau_{st}$ に当たることから、使用している記号は異なるが、算出式は同じである。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <p>1次一般膜応力</p> <p>㊤ 組合せ引張応力</p> <p>$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} \dots\dots\dots (6.6.3-75)$</p> <p>$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sigma_{x3} \dots\dots\dots (6.6.3-76)$</p> <p>$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4\tau^2} \right\} \dots\dots\dots (6.6.3-77)$</p> <p>㊦ 組合せ圧縮応力</p> <p>$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} \dots\dots\dots (6.6.3-78)$</p> <p>$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} \dots\dots\dots (6.6.3-79)$</p> <p>$\sigma_{xc}$ が正の値(圧縮側)のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。</p> <p>$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4\tau^2} \right\} \dots\dots\dots (6.6.3-80)$</p> <p>1次応力は1次一般膜応力と同じになるので省略することができる。</p> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.2.2.1.3 軸受荷重の計算方法</p> <p>ファン軸の地震応力解析によって得られる軸受部の各種荷重から静等価荷重を次式により算出する。</p> <p>なお、静等価荷重は下記に示す2式のいずれか大きい値を用いる。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $P_o = f_{si} (0.5F_{Br} + Y_o F_{Ba})$ </div> <p style="margin-left: 100px;">..... (3.2.2.1.3-1)</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $P_o = f_{si} F_{Br}$ </div> <p style="margin-left: 100px;">..... (3.2.2.1.3-2)</p>	<p>左記の計算式は、機械工学便覧の式に基づき、ファン軸に作用する軸受け部の静等価荷重に荷重係数を乗じて軸受け部に作用する荷重を算出する式である。</p> <p>P_o : 軸受の静等価荷重</p> $\begin{cases} P_o = f_{si} (0.5F_{Br} + Y_o F_{Ba}) \\ P_o = f_{si} F_{Br} \end{cases}$ <p>ここで、 F_{Br} : 軸受部ラジアル方向の最大荷重 F_{Ba} : 軸方向の最大荷重 f_{si} : 荷重係数(衝撃荷重として1.5とする) Y_o : 静スラスト係数</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;">機械工学便覧 抜粋</p> <p>(3) 静等価荷重</p> <p>静等価荷重 (static equivalent load) とは、実際の荷重条件のもとで軸受内に生じる最大接触応力と同じ接触応力を、最大荷重を受ける転動体と軌道輪との接触部に生じさせるような静止荷重をいう。ラジアル軸受では方向と大きさが一定のラジアル荷重をとり、スラスト軸受では中心軸に一致した方向で、大きさ一定のアキシャル荷重をとる。</p> <p>ラジアル荷重では、次の2式から求めた値のうち大きいほうの値をとる。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $P_o = X_o F_r + Y_o F_a$ $P_o = F_r$ </div> <p>ここで、P_o: 静等価荷重, X_o: 静ラジアル係数, Y_o: 静アキシャル係数, F_r: ラジアル荷重, F_a: アキシャル荷重。</p> </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.2.3.1.2 原動機軸の計算方法</p> <p>(1) 引張応力</p> <p>引張応力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block; margin-right: 10px;"> $\sigma_t = \frac{\omega l}{A}$ </div> <p>..... (3.2.3.1.2-1)</p>	<p>式の出典は, 3.2.3.2 支持架構の応力(1)引張応力と同じ。</p> <p>なお, ωl が F に当たることから, 使用している記号は異なるが, 算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(2) 曲げ応力 曲げ応力は、次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;"> $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ </div> <p>..... (3.2.3.1.2-2)</p>	<p>式の出典は、3.2.3.2 支持架構の応力(4)曲げ応力と同じ。 なお、ZがZ₁に当たることから、使用している記号は異なるが、算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(3) せん断応力 せん断応力は, 次式で表される。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $\tau = \frac{\omega l}{A}$ </div> <p>..... (3.2.3.1.2-3)</p>	<p>式の出典は, 3.2.3.2 支持架構の応力(3)せん断応力と同じ。 なお, ωl が F, A が A_s に当たることから, 使用している記号は異なるが, 算出式は同じである。</p>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>(4) 膜+曲げ応力</p> <p>膜+曲げ応力は, 次式で表される。</p> $\sigma_1 = \sigma_{11} - \sigma_{21} \quad \dots\dots\dots (3.2.3.1.2-4)$ $\sigma_{11} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_t + \sigma_b) + \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 4\tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (3.2.3.1.2-5)$ $\sigma_{21} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_t + \sigma_b) - \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 4\tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (3.2.3.1.2-6)$	<p>本計算式は最大主応力と最小主応力の差であり, 応力が一軸であることによる式の変形及び σ_x が $\sigma_t + \sigma_b$, $\tau_{x\theta}$ が τ に当たることから, 使用している記号は異なるが, 算出式は同じである。</p> $\sigma_1 = \sigma_{11} - \sigma_{21}$ $\sigma_{11} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_t + \sigma_b) + \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 4\tau^2} \right\}$ $\sigma_{21} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_t + \sigma_b) - \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 4\tau^2} \right\}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 抜粋</p> <p>もち, 主応力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ は次式を満足する3根として計算される。</p> $\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_\theta + \sigma_r) \sigma^2 + (\sigma_\theta \sigma_r + \sigma_r \sigma_x + \sigma_x \sigma_\theta - \tau_{x\theta}^2 - \tau_{xr}^2 - \tau_{r\theta}^2) \sigma - \sigma_x \sigma_\theta \sigma_r + \sigma_x \tau_{\theta r}^2 + \sigma_\theta \tau_{xr}^2 + \sigma_r \tau_{x\theta}^2 - 2 \tau_{x\theta} \tau_{xr} \tau_{r\theta} = 0 \quad \dots\dots\dots (6.6.2-15)$ <p>成分が $\sigma_x, \sigma_\theta, \sigma_r, \tau_{x\theta}$ だけのときは,</p> $\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_\theta}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_\theta)^2}{4} + \tau_{x\theta}^2} \quad \dots\dots\dots (6.6.2-16)$ $\sigma_3 = \sigma_r \quad \dots\dots\dots (6.6.2-17)$ <p>より主応力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ が求まる。</p> <p>応力強さ</p> <p>下記の3つの主応力差のうち, 絶対値で最大のものを応力強さという。</p> $S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2, S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3, S_{13} = \sigma_1 - \sigma_3 \quad \dots\dots\dots (6.6.2-18)$ </div>

IV-1-3-4 有限要素モデル等を用いて評価を行う機器の耐震計算方法	JEAG, 機械工学便覧, 鋼構造設計規準等式の出典
<p>3.2.3.1.3 原動機軸受荷重の計算方法</p> <p>冷却塔の地震応答解析によって得られる設置場所の地震力より, 軸受部に作用する荷重は, 次式で表される。</p> <p>$P = \omega l$ (3.2.3.1.3-1)</p>	<p>左記の計算式は, 材料力学の式を基に, 軸部に作用する等分布荷重による集中荷重を算出しているものである。</p> <p>計算式の技術的根拠として, 原動機軸にかかる等分布荷重に原動機軸の支持間隔長さを乗じることで集中荷重を算出している。</p>

別紙

耐震機電27【耐震計算に関する基本方針及び耐震計算書の記載に関する補足事項について】

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙-1	安全冷却水B冷却塔の減衰定数について	11/18	1	旧 別紙-6 (6)支持構造設備(FEM)の評価条件等の設定の考え方について
別紙-2	火災感知器の許容限界について	11/18	0	
別紙-3	容器等におけるボルトの評価温度について			後次回で示す範囲
別紙-4	水中に設置する設備の付加荷重について			後次回で示す範囲
別紙-5	疲労評価を行う設備の等価繰返し回数について			後次回で示す範囲
別紙-6	クレーン類の解析モデルについて			後次回で示す範囲

別紙 - 1

安全冷却水 B 冷却塔の減衰定数について

- ・本資料は、第1回設工認申請対象である安全冷却水B冷却塔における減衰定数の設定の考え方を示す。
- ・本分類における内容を含めた表紙や目次の構成については、本分類以外の分類に対する説明方法やヒアリング結果等を踏まえて反映したものを最終版として次回提出する。

目次

1. 概要	1
2. 冷却塔の耐震評価に用いる減衰定数について	1
3. 減衰定数 1%の保守性の確認について	1

1. 概要

屋外に設置されている機器及び構築物は補強等の工事が容易ではないことから、従来から可能な範囲で設計余裕を見込んだ評価を行い、機器及び構築物を設計することとしているため、添付書類「IV-1-1-5 地震応答解析の基本方針」（以下、「基本方針」という。）に示す減衰定数よりも保守的な値を設定し、評価を実施しているものがある。

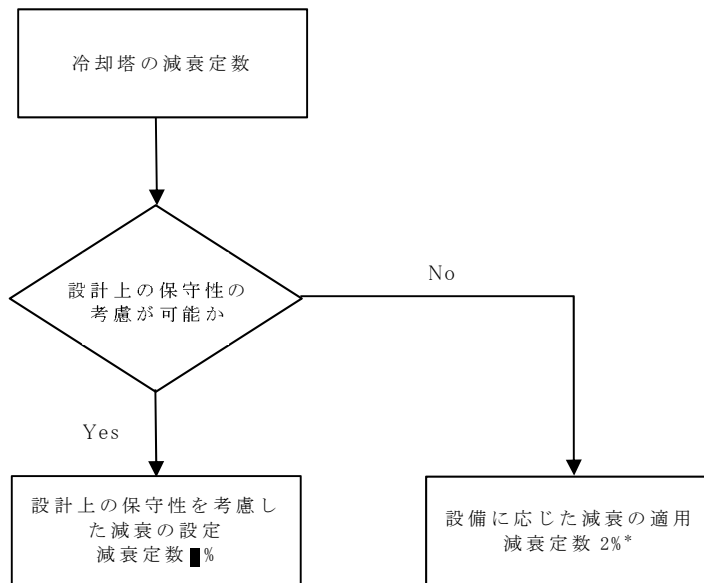
本資料では、屋外に設置されている機器及び構築物のうち、安全冷却水B冷却塔（以下、「冷却塔」という。）に用いる減衰定数の保守性について示すものである。

2. 冷却塔の耐震評価に用いる減衰定数について

冷却塔に用いる減衰定数については、第2-1図に示すフローのとおり、設計に保守性を持たせるため、減衰定数■%を設定している。設備の応答低減が必要となった場合には、減衰定数を設備に応じた値に見直しを行い、再評価を実施することとしている。その際、基本方針では「対象設備に応じた値の適用を基本とする」としており、その方針に基づくと冷却塔は第2-2図に示す『ボルト及びリベット構造物』に該当するため、減衰定数2%まで値の見直しを行い設計することとする。

3. 減衰定数■%の保守性の確認について

第3-1図に示すとおり、冷却塔の評価に用いる減衰定数■%と設備に応じた減衰定数2%における応答加速度を比較したところ、応答加速度の周期帯における変動や応答加速度の逆転などの応答性状に差はなく、■%の応答加速度が2%を包絡していることを確認した上で、保守的な■%を設定している。



ボルト及びリベット構造物：2%

第2-1図 冷却塔の減衰定数設定フロー

2. 機器・配管系

対象設備	減衰定数(%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0 ^{*1}
ボルト及びリベット構造物	2.0	2.0^{*1}
ポンプ・ファン等の 機械装置	1.0	1.0 ^{*1}
空調用ダクト	2.5	2.5 ^{*1}
電気盤	4.0	1.0 ^{*1}
クレーン	1.0~2.0 ^{*3}	1.0~2.0 ^{*1}
燃料取扱装置	1.0~2.0 ^{*3}	1.0~1.5(2.0) ^{*1*2}
配管系	0.5~3.0 ^{*3*4}	0.5~3.0 ^{*1*3*4}
液体の揺動	0.5	—

注記 *1：既往の研究等において、設備の地震入力方向の依存性や減衰特性について検討され妥当性が確認された値

*2：（ ）外は、燃料取扱装置のトリ位置が端部にある場合、
（ ）内は、燃料取扱装置のトリ位置が中央部にある場合

*3：既往の研究等において、試験及び解析等により妥当性が確認されている値

*4：具体的な適用条件を「第3-2表 配管系の設計用減衰定数」に示す。

(参考文献)

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価の研究(H12~H13)」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究(H7~H10)」

第2-2図 基本方針（抜粋）



第3-1図 減衰定数 γ %と2%の応答性状の比較

別紙－2

火災感知器の許容限界について

目 次

1. 概要	1
2. 加振試験の概要	2
3. 機能維持評価用加速度の設定について	3

1. 概要

火災感知器の許容限界のうち機能確認済加速度について、メーカー等において確認している加振試験に基づく値を用いている。

本資料は、電氣的機能維持評価に用いる機能確認済加速度を取得した、メーカー等において確認している加振試験の概要を補足説明するものである。

「2. 加振試験の概要」に、機能維持評価に用いた機能確認済加速度を取得した加振試験の概要（加振方法、入力波、加振振動数等）について示す。

「3. 機能維持評価用加速度の設定について」に、機能維持評価に用いた機能維持評価用加速度の、機能確認済加速度を取得した加振試験の体系を踏まえた設定方法について示す。

2. 加振試験の概要

設備	記載箇所	評価部位 【加振試験No*1】	要求機能	加振方向	試験内容*2	機能確認済 加速度*2, *3 (×9.8m/s ²)	判定基準
火災感知器	IV-4-2 -1-1	赤外線式炎感知器 【A】【B】	地震後の電 氣的維持	水平単独2方 向及び鉛直 単独	1. 振動特性試験 5～33Hzの振動数領域を含む正 弦波を入力し、応答波形から共 振周波数が33Hz以上であるこ とを確認。 2. 正弦波加振試験 33Hzにおける加振試験を行い、 機能が維持されることを確認。	【A】 水平：3.00 鉛直：3.00 【B】 水平：8.00 鉛直：6.00	加振後に正 常に動作す ること。
	IV-4-2 -1-1	サーモカメラ 【A】【B】	地震後の電 氣的維持	水平単独2方 向及び鉛直 単独	1. 振動特性試験 5～33Hzの振動数領域を含む正 弦波を入力し、応答波形から共 振周波数が33Hz以上であるこ とを確認。 2. 正弦波加振試験 33Hzにおける加振試験を行い、 機能が維持されることを確認。	【A】 水平：3.00 鉛直：3.00 【B】 水平：8.00 鉛直：5.00	加振後に正 常に動作す ること。

注記 *1：加振試験Noは、表3-1のNoとの紐付けを示す。

*2：記載の数値については、加振試験報告書等の記録に基づいている。

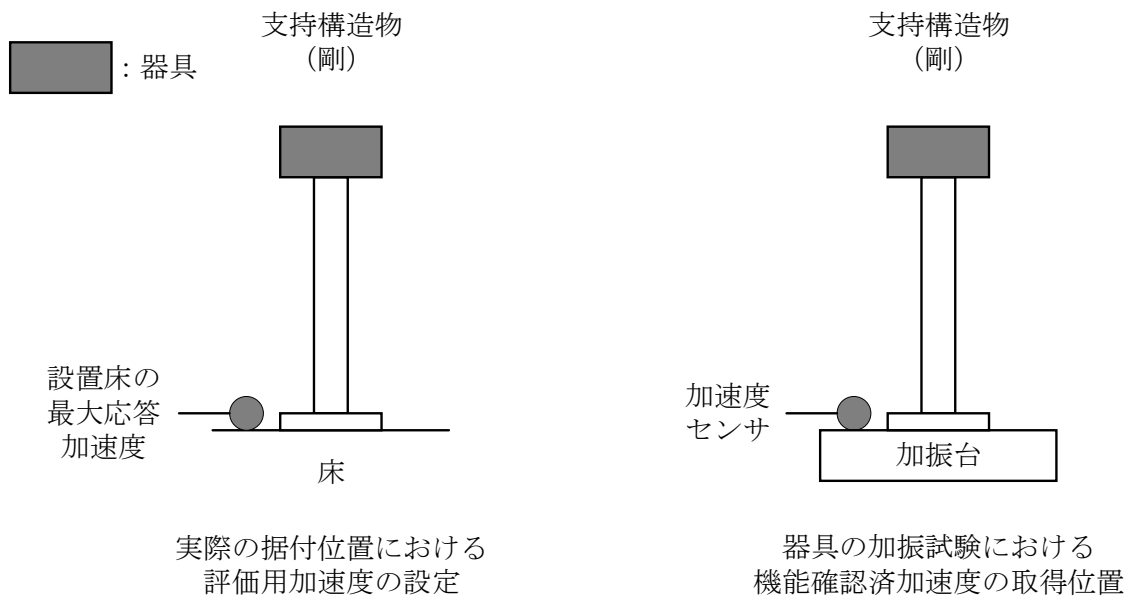
*3：機能確認済加速度が異なる器具が取り付けられている盤については、各器具の水平と鉛直の最小値を盤の機能確認済加速度として用
いることから、盤の機能確認済加速度として耐震計算書に記載する数値を下線にて示す。

3. 機能維持評価用加速度の設定について

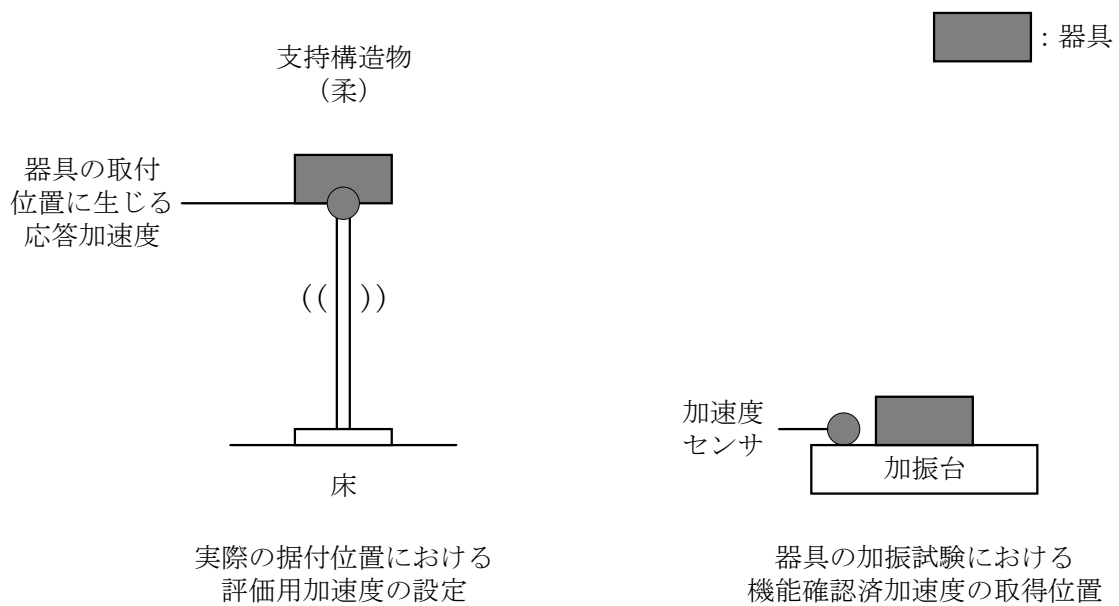
機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、機能維持評価を要する器具を取り付ける支持構造物（ポール、スタンション等）の構造と、加振試験の体系を踏まえ、以下の表3-1の考え方にに基づき設定する。

第3-1表 機能維持評価用加速度の設定について

No		支持構造物の加振試験有無	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度	図解番号	具体例
A	支持構造物が剛な設備	有	1.0ZPA（設置床の最大応答加速度）	支持構造物含めた加振試験により確認した加速度	図3-1	火災感知器
B	支持構造物が柔な設備	無	器具の取付位置に生じる応答加速度	器具単体の加振試験により確認した加速度	図3-2	火災感知器



第3-1図 支持構造物が剛な設備かつ支持構造物含めた加振試験を実施した場合



第3-2図 支持構造物が柔な設備かつ器具単体の加振試験を実施した場合