

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電 27 R0
提出年月日	令和 4 年 10 月 12 日

設工認に係る補足説明資料

耐震評価上の補足事項について


- 本資料は、類型化分類及び分類ごとの説明内容の見直しに伴い、10月5日のヒアリングで提示した、分類ごとの説明の考え方及び今後の進め方について示すものである。
- 本資料では、第1回申請設備が該当する(6)支持構造設備(FEM)に対する説明方法を示しており、詳細な内容については検討の段階であるため、ヒアリング結果等を反映した最終版として次回提出する。

目次

1. 概要	1
2. 評価手法に応じた分類ごとの特徴	2
3. 計算式及び評価条件等の設定について	3
3.1 計算式の設定根拠について	3
3.2 評価条件等の設定の考え方について	3

添付-1	(1) 容器類に対する説明方法
添付-2	(2) 支持構造設備に対する説明方法
添付-3	(3) ポンプ類に対する説明方法
添付-4	(4) 盤類に対する説明方法
添付-5	(5) 容器類(FEM)に対する説明方法
添付-6	(6) 支持構造設備(FEM)に対する説明方法
添付-7	(7) クレーン類に対する説明方法
添付-8	(8) 配管多質点系はりモデルに対する説明方法

: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回設工認申請における添付書類に示す分類について、各分類に対する評価条件の設定や計算式の設定根拠等、耐震評価上の補足事項について示すものである。なお、配管系の分類のうち標準支持間隔法を用いている配管系については、補足説明資料「耐震機電16 配管系の評価手法(定ピッチスパン表)について」で示すため、本資料の説明対象からは除外し、配管多質点系はりモデルについては後次回申請対象であるため、後次回申請時に示す。

- ・再処理施設 添付書類「IV-1-1-10 機器の耐震支持方針」
- ・再処理施設 添付書類「IV-1-2-1 機器の耐震性に関する計算書作成の基本方針」

本資料は第2回申請以降の再処理施設及びMOX燃料加工施設に対しても適用し、廃棄物管理施設については別途整理するものとする。

2. 評価手法に応じた分類ごとの特徴

耐震評価上の補足事項として、基本方針に示している評価手法に対し、分類ごとの特徴を踏まえた対応として評価目的や計算式の設定根拠を示すため、ここでは各分類の特徴について示す。

(1) 容器類

容器類については、液等の内包物を保有する容器本体と容器本体を支持する支持構造物により構成する設備であり、容器本体が形状を維持すること及び支持構造物の支持機能を維持することを目的に構造強度評価を行う。

容器類の設備形状としては、重心位置を定めることができるものであり、支持部と重心位置の関係から JEAG 及び機械工学便覧に示される定型化された計算式を基に設定している。

(2) 支持構造設備

支持構造設備については、支持構造物により設備の全体系を構成する設備であり、支持構造物の支持機能を維持することを目的に構造強度評価を行う。

支持構造設備は設備の形状に応じた計算式として、機械工学便覧の式を根拠とし、構造に応じた定型化された計算式を設定している。

(3) ポンプ類

ポンプ類については、(1)、(2)と同様に構造強度評価を行い、これに加えて、地震時又は地震後に動的機能を維持できることの確認として、機能維持を確認した加速度以下であること又は解析等により動的機能維持評価を行う。

(4) 盤類

盤類については、(1)、(2)と同様に構造強度評価を行う。加えて、地震時又は地震後に電氣的機能を維持できることの確認として、機能維持を確認した加速度以下であること又は解析等により電氣的機能維持評価を行う。

(5) 容器類 (FEM)

FEM 解析を行う容器類については、(1)の容器類と同様ではあるが、構造が複雑な設備に対する評価手法として、設備の振動特性を表現するために FEM 等を用いた解析を行う。

(6) 支持構造設備 (FEM)

FEM 解析を行う支持構造物の評価については、(2)の支持構造設備と同様ではあるが、構造が複雑な設備に対する評価手法として、設備の振動特性を表現するために FEM 等を用いた解析を行う。

(7) クレーン類

FEM 解析を行うクレーン類については、(6)と同様であるが、本体がレール上を移動する移動式設備であり、複雑な設備の振動特性を表現するた

め、に FEM 等を用いた解析を行う。また、(6) の評価に加えて転倒・落下を防止する部材の健全性に対する確認を目的とした評価として支持部の形状を考慮した計算式を設定している。

(8) 配管多質点系はりモデル

配管多質点系はりモデルについては、機器の分類である(1)～(7)とは別の基本方針を設定しており、配管に対する計算式として JEAG の計算式を基に設定している。

これらの特徴に応じた各分類の計算式及び評価条件等については、計算式の設定根拠や評価条件等の設定の考え方が分類ごとに異なるため、これらの違いについて説明を行う。説明内容について次項に示す。

3. 計算式及び評価条件等の設定について

各分類に属する設備の耐震評価において適用する計算式の設定根拠及び評価条件等設定の考え方を以下に示す。

3.1 計算式の設定根拠について

各分類の評価に適用する計算式は、添付書類「IV-1-2-1 機器の耐震性に関する計算書作成の基本方針」及び添付書類「IV-1-2-2 配管系の耐震性に関する計算書作成の基本方針」（後次回申請対象）で設定している。

各計算式については、2. 項に示す設備の支持方法や構造の違い、要求される機能維持評価に応じて JEAG 及び材料力学の計算式を参考に設定している。

これらの計算式設定根拠について、根拠となる出典元の違いに応じた説明方法として以下の内容を示す。

＜機械工学便覧による式を用いるもの＞

- ・計算式の根拠書

＜JEAGの計算式を参考としているもの＞

- ・JEAG式と各設備の構造上の特徴に応じて設定した計算式との差分に対する比較表

分類ごとの説明方法を添付-1～8に示す。

3.2 評価条件等の設定の考え方について

各設備の耐震評価においては、基本方針に基づき考慮すべき荷重、減衰定数等の評価条件を設定している。これら基本方針に基づき評価を行っているもののほか、各基本方針よりも保守的に評価条件を設定している設備等があるため、各評価条件に対する考え方について補足説明を行う。

なお、評価条件に対する考え方については、分類ごとに異なるため、該当する分類ごとに補足説明が必要となる内容を別紙に示す。

以上

添付－ 6

(6) 支持構造設備(FEM)の説明方法

- 本資料は、分類ごとに適用する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の一例として(6) 支持構造設備 (FEM) に対する説明方法について示すものである。
- 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。

別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針	機械工学便覧及び鋼構造設計基準等
<div data-bbox="201 268 1093 459" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 20px;"> <p>(6) 支持構造設備 (FEM) の計算式の出展について、本体が型鋼などの支持構造物で構成された「別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針」を代表として示す。</p> </div> <p data-bbox="212 662 1097 869">IV－1－2－1 別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針。</p>	

別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針	機械工学便覧及び鋼構造設計基準等
<ul style="list-style-type: none"> ・本設備に適用する各計算式については、機械工学便覧及び鋼構造設計基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 の計算方法を示す別紙 2 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 3.2.4 計算方法の(3.2.4.2-1)式から(3.2.4.2-6)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。 	
目 次	
ページ	
1. 概要	1
2. 準拠規格	1
3. 構造強度評価	2
3.1 構造の説明	2
3.2 評価方針	2
3.2.1 計算条件	2
3.2.2 解析モデルの設定方法	2
3.2.3 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.4 計算方法	4
3.3 評価	10
4. 動的機能維持評価	11
4.1 構造の説明	11
4.2 評価方針	11
4.2.1 計算条件	11
4.2.2 解析モデルの設定方法	11
4.2.3 荷重の組合せ及び許容値	11
4.2.4 計算方法	13
4.3 評価	15

別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針	機械工学便覧及び鋼構造設計基準等
<p>3.2.4.4 支持架構の応力 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 引張応力は、次式で表される。 $\sigma_t = \frac{F_b}{A} \quad (\text{ただし、} F_b \geq 0) \quad \dots\dots\dots (3.2.4.4-1)$</p> <p>(2) 圧縮応力 圧縮応力は、次式で表される。 $\sigma_c = -\frac{F_b}{A} \quad (\text{ただし、} F_b < 0) \quad \dots\dots\dots (3.2.4.4-2)$</p> <p>(3) せん断応力 せん断応力は、次式で表される。 $\tau = \frac{Q_b}{A_s} \quad \dots\dots\dots (3.2.4.4-3)$</p> <p>(4) 曲げ応力 曲げ応力は、次式で表される。 $\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (3.2.4.4-4)$</p> <p>(5) 組合せ応力 1) 圧縮力と曲げモーメント 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。 $\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.4.4-5)$</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・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> $\sigma_t = \frac{F_t}{A}$ <p>ここで、F_t：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> $\sigma_c = \frac{F_c}{A}$ <p>ここで、F_c：部材に作用する圧縮力 A：部材の断面積</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>機械工学便覧 抜粋</p> <p>第2章 引張り・圧縮とねじり</p> <p>2・1 棒の引張り・圧縮</p> <p>2・1・1 断面に生じる応力 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> $\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (2-1)$ </div>

別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針

機械工学便覧及び鋼構造設計基準等

(3) せん断応力
せん断応力は、次式で表される。

$$\tau = \frac{Q_b}{A_s} \dots\dots\dots (3.2.4.4-3)$$

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。

τ : 水平及び鉛直方向地震によるせん断応力

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、 Q : 部材に作用するせん断荷重

A_s : 部材のせん断断面積

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。

$$\tau = \frac{3 F}{2 A}$$

ここで、 Q は F と同じであり、 A_s は上式における $\frac{2}{3}A$ に当たることから、記号は異なるが算出式は同じである。

機械工学便覧 抜粋

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)

断面型せん断応力分布図	$\tau_{xy} = \frac{F}{2I} \int_{y_1}^{e_1} zy \, dy$	$\tau_{y \max}$
	$\frac{3 F}{2 bh} \left\{ 1 - \left(\frac{2y_1}{h} \right)^2 \right\}$	$y_1=0: \frac{3 F}{2 bh} = \frac{3 F}{2 A}$
	$0 \leq y_1 \leq \frac{a}{\sqrt{2}}$ $\frac{F}{a^2} \left\{ 1 + \sqrt{2} \frac{y_1}{a} - 4 \left(\frac{y_1}{a} \right)^2 \right\}$	$y_1 = \frac{1}{4} e: \frac{9 F}{8 A}$
	$\frac{4 F}{3 \pi r^2} \left\{ 1 - \left(\frac{y_1}{r} \right)^2 \right\}$	$y_1=0: \frac{4 F}{3 \pi r^2} = \frac{4 F}{3 A}$

別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針	機械工学便覧及び鋼構造設計基準等
<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;"> $\sigma_b = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (3.2.4.4-4)$ </div>	<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> <p>> $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ ←</p> <p>ここで、 M : 部材に作用するモーメント Z : 部材の断面積</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> $\sigma = My/I \quad (3-14)$ <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。引張り及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: 5px; display: inline-block;"> $\sigma_1 = Me_1/I = M/Z_1$ </div> $\sigma_2 = -Me_2/I = -M/Z_2 \quad (3-15)$ </div>

別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針	機械工学便覧及び鋼構造設計基準等
<p>(5) 組合せ応力</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。</p> <p>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; display: inline-block;"> $\frac{\sigma_c}{1.5 f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5 f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (3.2.4.4-5)$ </div>	<p>左記の計算式は、鋼構造設計基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> $\frac{\sigma_c}{1.5 f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5 f_b} \leq 1.0$ <p>ここで、</p> <p>σ_c : 水平及び鉛直方向地震による圧縮応力</p> <p>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: 10px;"> <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、σ_c、$e\sigma_b$、$i\sigma_b$ の値は絶対値をとる。</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> $\frac{\sigma_c + e\sigma_b}{f_c} \leq 1 \dots\dots\dots (6.1)$ </div> <p>かつ、</p> $\frac{i\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1 \dots\dots\dots (6.2)$ <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</p> <p>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</p> <p>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 ($\sigma_c = N/A$)</p> <p>$e\sigma_b$: 圧縮側曲げ応力度 ($e\sigma_b = M/Z_c$)</p> <p>$i\sigma_b$: 引張側曲げ応力度 ($i\sigma_b = M/Z_t$)</p> <p>N : 圧縮力</p> <p>M : 曲げモーメント</p> <p>A : 全断面積</p> <p>Z_c : 圧縮側断面係数</p> <p>Z_t : 引張側断面係数</p> </div>

別紙(6)-2-1 冷却塔の耐震性に関する計算書作成の基本方針	機械工学便覧及び鋼構造設計基準等
<p>2) 引張力と曲げモーメント 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。</p> <p>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;"> $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1 \dots (3.2.4.4-6)$ </div>	<p>左記の計算式は、鋼構造設計基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> $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1.0$ <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: 10px;"> <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 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、$e\sigma_b$、$e\sigma_b$ 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;"> $\frac{\sigma_t + e\sigma_b}{f_t} \leq 1 \dots (6.3)$ </div> <p>かつ、</p> $\frac{e\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1 \dots (6.4)$ <p>記号 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>

別紙

耐震機電27【耐震評価上の補足事項について】

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙-1	(1)容器類の評価条件等の設定の考え方について			後次回で示す範囲
別紙-2	(2)支持構造設備の評価条件等の設定の考え方について			後次回で示す範囲
別紙-3	(3)ポンプ類の評価条件等の設定の考え方について			後次回で示す範囲
別紙-4	(4)盤類の評価条件等の設定の考え方について			後次回で示す範囲
別紙-5	(5)容器類(FEM)の評価条件等の設定の考え方について			後次回で示す範囲
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	10/12	0	
別紙-7	(7)クレーン類の評価条件等の設定の考え方について			後次回で示す範囲
別紙-8	(8)配管多質点系はりモデルの評価条件等の設定の考え方について			後次回で示す範囲

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

- 本資料は、分類ごとの特徴を踏まえ、評価条件等の設定の考え方が異なることから、(6)支持構造設備 (FEM) の評価条件の設定の考え方の一例として第 1 回設工認申請対象である安全冷却水B冷却塔を代表に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。

別紙 6 - 1

冷却塔に対する補足事項

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。

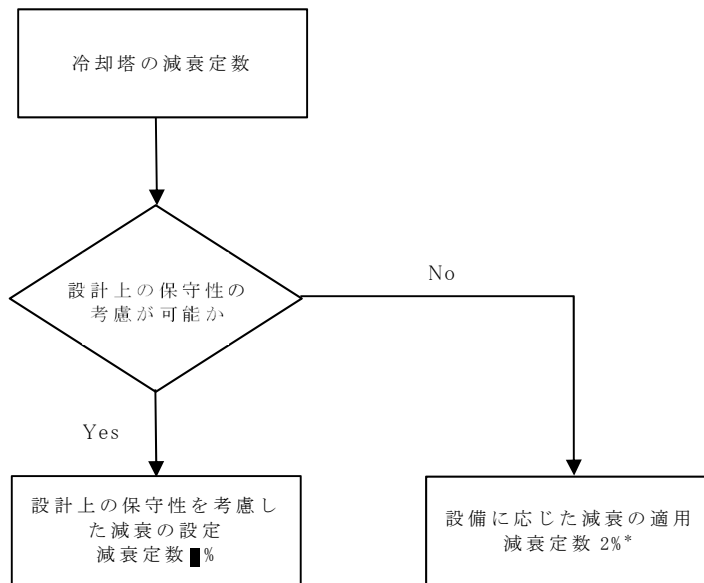
本資料では、屋外に設置されている機器及び構築物のうち、安全冷却水B冷却塔（以下、「冷却塔」という。）に用いる減衰定数の保守性について示すものである。

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

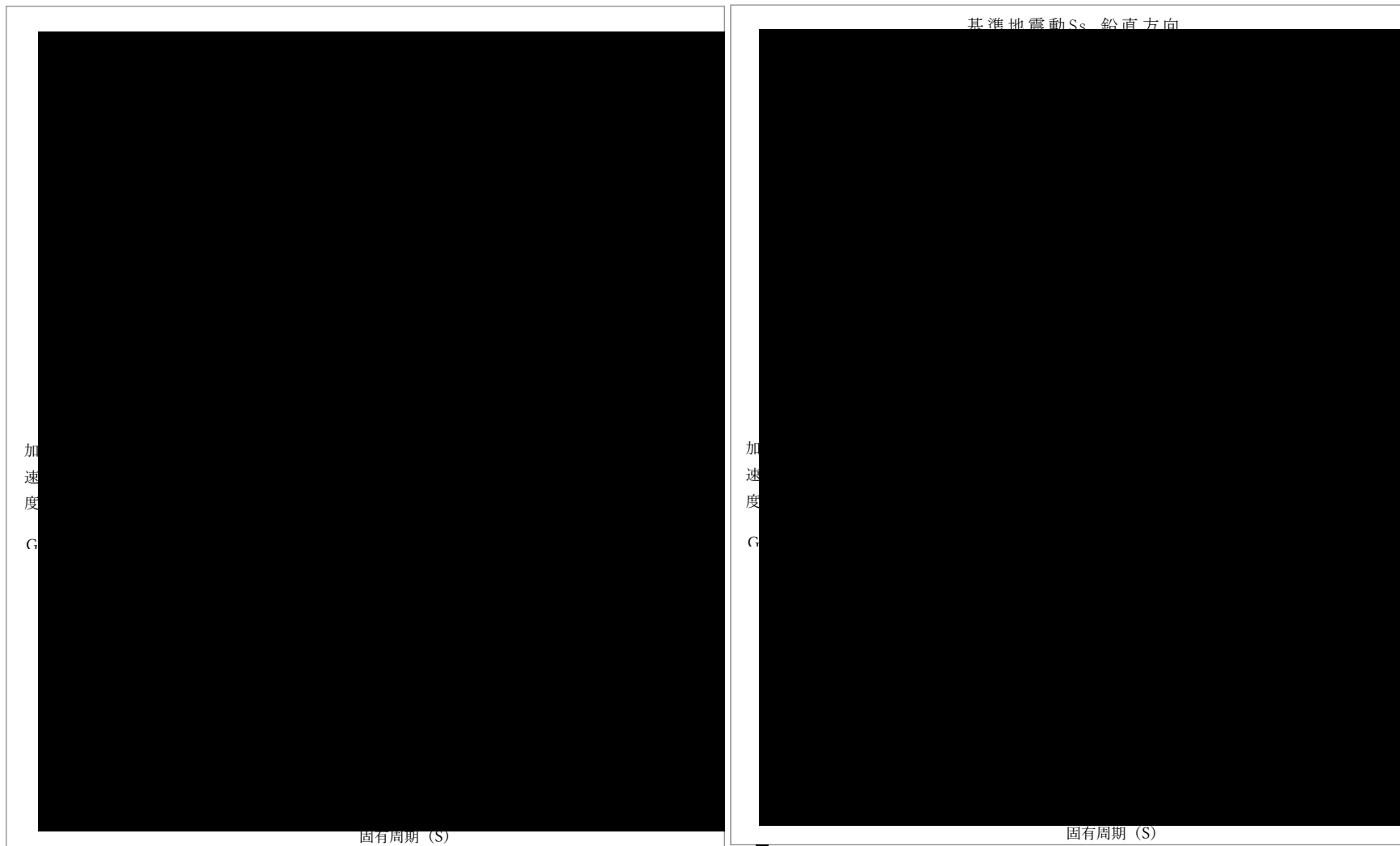
*4：具体的な適用条件を「第3-2表 配管系の設計用減衰定数」に示す。

(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