

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電 16 R0
提出年月日	令和3年6月1日

設工認に係る補足説明資料  
耐震設計の基本方針に関する  
配管系の評価手法（定ピッチスパン法）について

## 目次

- 1. 概要 ..... 1
- 2. 実施内容 ..... 1

添付－1 応力基準による標準支持間隔法の評価内容

添付－2 標準支持間隔法に対する評価の保守性

添付－3 既設工認時に設定した標準支持間隔に対する評価手順

添付－4 建屋間相対変位の考慮方法

添付－5 ダクトの耐震計算方法

: 後次回申請において提示

                    : 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、廃棄物管理施設、MOX 燃料加工施設の設計基準対象施設及び再処理施設、MOX 燃料加工施設の重大事故等対処施設に対する基本方針を補足説明するものである。

配管系の耐震評価については、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987に基づき、設工認添付書類の配管類の耐震支持方針に評価方針を記載している。

ここでは、設工認添付書類の基本方針「配管類の耐震支持方針」に記載の標準支持間隔法（以下、「定ピッチスパン法」という。）の評価内容、定ピッチスパン法に対する評価の保守性、既設工認時に設定した標準支持間隔に対する評価手順、配管に対する建屋間相対変位の考慮及びダクト定ピッチスパン法に対する各種評価内容を示す。

なお、そのうち第1回申請においては定ピッチスパン法の評価内容を示す。

## 2. 実施内容

定ピッチスパン法の評価に対する補足説明について、第1回申請においては定ピッチスパン法に対する評価の実施内容を示した上で、後次回申請時に定ピッチスパン法の保守性として詳細解析との比較結果を示す。また、既設工認時に設定した標準支持間隔に対する評価手順、ダクトの定ピッチスパン法に対する評価内容を示す。


添付－1：応力基準による標準支持間隔法の評価内容

添付－2：標準支持間隔法に対する評価の保守性

添付－3：既設工認時に設定した標準支持間隔に対する評価手順

添付－4：建屋間相対変位の考慮方法

添付－5：ダクトの耐震計算方法

：後次回申請において提示

## 応力基準による標準支持間隔法の評価内容

### 1. 配管の標準支持間隔法の評価内容

再処理事業所の配管設計手法の採用に対する考え方を次項で示した上で、採用している評価内容を説明する。

#### 1.1 配管の設計手法

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（以下、「JEAG4601」という。）に記載の配管の標準的設計手法は多質点系はりモデルを用いた動的解析法と簡易設計法が定義されている。

簡易設計法は標準支持間隔法及び修正振動法の2種類があり、そのうち標準支持間隔法は「振動数基準定ピッチスパン法」と「応力基準定ピッチスパン法」が定義されている。

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 抜粋			
表 6.6.3-2 配管の標準的設計手法			
使用温度	配管分類	標準的設計手法	
		動的解析法	簡易設計法
高い	大口径	△	○
	小口径	△	○
低い			○

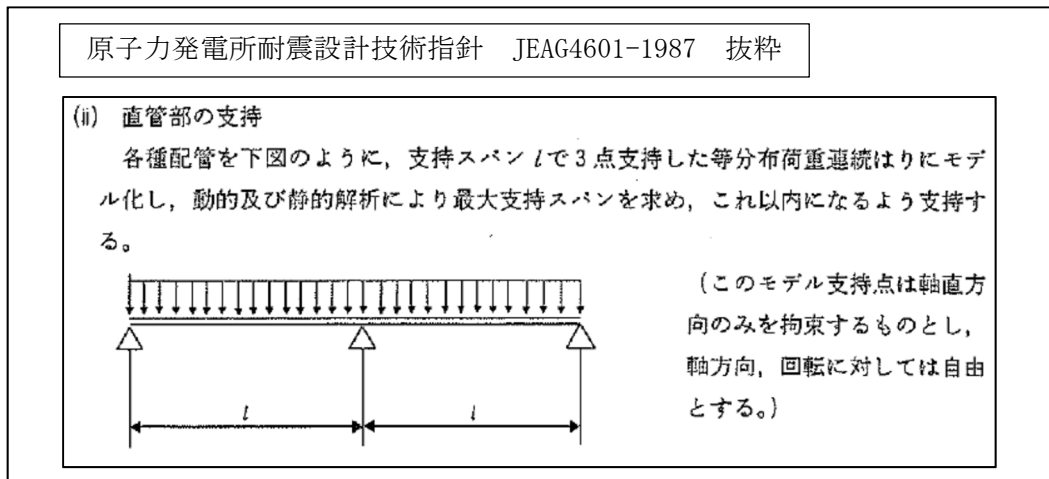
#### 1.2 振動数基準定ピッチスパン法

簡易設計法のうち振動数基準定ピッチスパン法については、配管系を地震による過度の振動がないようあらかじめ基準振動数をベースに基準支持スパンを定めるものであるため、地震時配管に生じる応力については、許容値に対して十分安全側となるように定めるものである。

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 抜粋	
(a) 振動数基準定ピッチスパン法	
(i) 原則	
①	配管系を地震による過度の振動がないようにするために、配管系の各支持区間について、あらかじめ基準振動数をベースに定められる基準支持スパン以下となるように支持する。
②	基準振動数は、地震時配管に生じる応力が許容値に対し、十分安全側となるように定めるものとする。

### 1.3 応力基準定ピッチスパン法

応力基準定ピッチスパン法とは、固有振動数によらず配管を支持スパンで3点支持した等分布荷重連続はりにモデル化し、固有振動数を算出し、動的及び静的解析により地震応力値等が許容値内にあるように最大支持スパン（＝直管部標準支持間隔）を求めるものである。



支持点については、配管を最大支持スパン以内になるように設定し、直管部以外の曲がり部、分岐部及び集中質量部等の要素についても直管部標準支持間隔を適用することで耐震性を確保できる設計である。

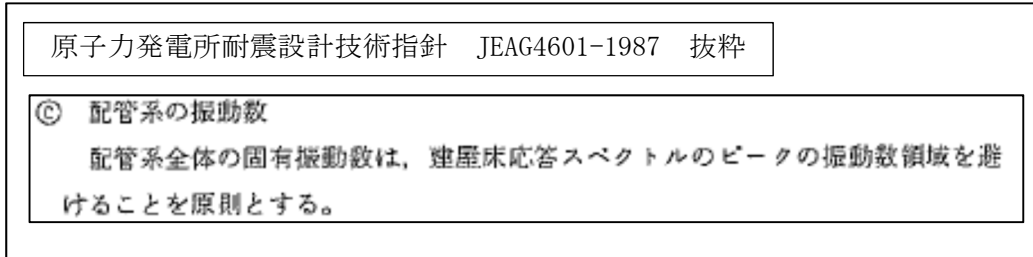
### 1.4 当社にて採用している定ピッチスパン法

当社は、実配管の施工方法に自由度を持たせることを目的に既設工認時から「応力基準定ピッチスパン法」を採用し、配管に対し耐震性を有する設計を行っている。

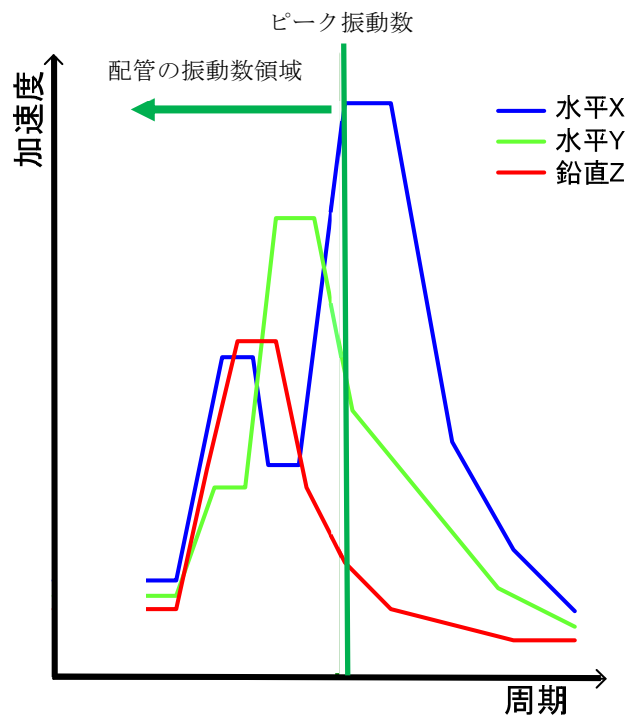
次項より応力基準定ピッチスパン法における配管系の固有振動数の考慮事項及び応力算定方法を示す。

## 2. 配管系の固有振動数に対する考慮事項

応力基準定ピッチスパン法（以下、「定ピッチスパン法」という。）の固有振動数については、JEAG4601に基づき設計上の配慮として「配管系全体の固有振動数は、建屋床応答スペクトルのピーク振動数領域を避けることを原則とする」と記載されている。



そのため、定ピッチスパン法における配管系の固有振動数は、原則建屋ごとに配管設計に用いる床応答スペクトルの水平方向及び鉛直方向の最も大きい加速度ピークとなる振動数（以下、「ピーク振動数」という。）より短周期側となるように設計している。



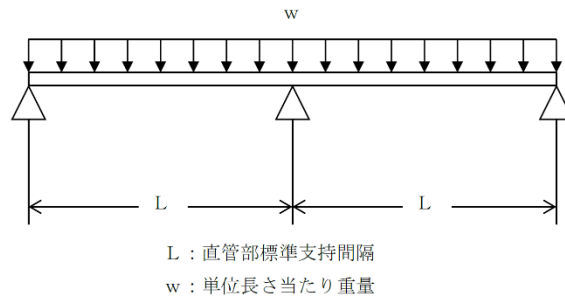
### 3. 定ピッチスパン法の固有振動数及び応力算定方法

定ピッチスパン法では梁の運動方程式に境界条件を与えて解析的に解くことにより得られた理論式に基づき，配管系の固有振動数が20Hz未満の支持間隔（以下，支持間隔を「スパン」という。）については，各振動モードの固有振動数，固有ベクトル，刺激係数を算出した上で床応答曲線から選択した応答加速度を適用することによって応答スペクトル解析を行っている。

以下に運動方程式から求められる式の導出手順を示す。

#### (1) 配管系のモデル化

配管系のモデル化については，配管を第3.-1図のようにスパンLで3点支持した等分布荷重にてモデル化を行っている。



第3.-1図 等分布荷重2スパン3点支持モデル

第3.-1図に示す梁モデルの振動を表す運動方程式は，以下の様になる。

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = - \frac{EI}{w} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \quad \dots (1)$$

ここで

- w : 分布荷重
- E : 縦弾性係数
- I : 断面二次モーメント
- x : 軸方向位置
- y : 変位
- t : 時間

(2) 固有値解析

(1)式の運動方程式を解くことによって固有振動数，固有関数，刺激係数を算出する。

運動方程式の解を

$$y=Y(x)(A\cos(\omega t)+B\sin(\omega t)) \quad \dots (2)$$

とにおいて，運動方程式に代入すると，次式が得られる。

$$\frac{d^4Y}{dx^4}-k^4Y=0$$

ここで， $k^4=\frac{w}{EI}\omega^2$ とおく。

また，運動方程式の一般解については次式となる。

$$y=A_r\cos(kx)+B_r\sin(kx)+C_r\sinh(kx)+D_r\cosh(kx) \quad \dots (3)$$

ここで， $A_r$ ， $B_r$ ， $C_r$ ， $D_r$ の係数は支持点の境界条件によって求められる。

以上の関係式及び解析モデルの境界条件を踏まえて以下の関係式が算出される。

1 スパン目の梁の固有関数

$$y_1=A_2(\operatorname{cosec}(kL)\cdot\sin(kx)-\operatorname{cosech}(kL)\cdot\sinh(kx)) \quad \dots (4)$$

同様に 2 スパン目の梁の固有関数

$$y_2=A_2(\cos(kx)-\cosh(kx)-\cot(kL)\cdot\sin(kx)+\coth(kL)\cdot\sinh(kx)) \quad \dots (5)$$

また，固有振動数 $f_p$ が求められる。

$$f_p=\frac{\lambda_n^2}{2\pi L^2}\sqrt{\frac{EI}{w}} \quad \dots (6)$$

ここで， $\lambda_n$ は振動数係数である。また，固有関数より刺激係数 $\beta_n$ が求まる。

$$\beta_n=\frac{\int_0^L n y_1 dx}{\int_0^L n y_1^2 dx} \quad \dots (7)$$

ここで， $\beta_n$ ：刺激係数

$n y_1$ ： $n$ 次固有関数

一方，配管-サポート連成系の振動数 $f_{ps}$ の算出は，

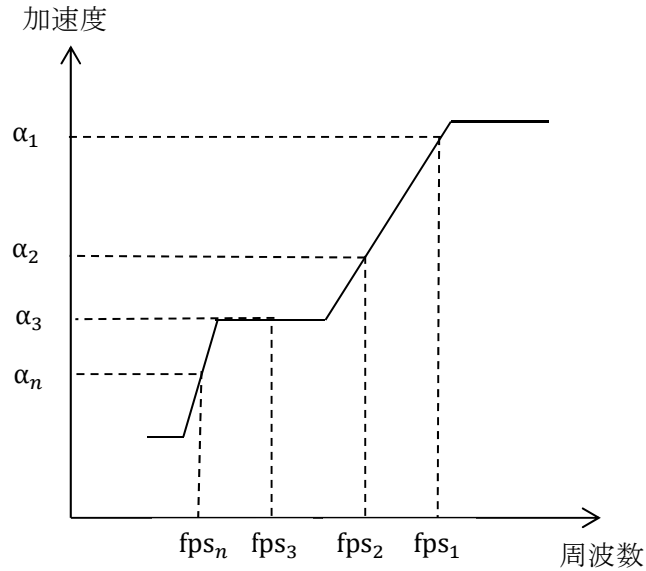
$$f_{ps}=\frac{f_p}{\sqrt{1+(\frac{f_p}{f_s})^2}} \quad \dots (8)$$

となる。サポートの固有振動数 $f_s$ は配管とサポートの質量を付加した状態で算出されており，式(8)で配管とサポートの固有振動数を合成することによって，サポートの質量の効果が配管系の固有振動数に反映される。



(3) 応答加速度の読み取り

応答加速度  $\alpha_n$  は作成した床応答曲線から各モードの配管系の振動数  $f_{ps}$  で決定する。床応答曲線から各モードの応答加速度を求める方法を第3.-2図に示す。



第 3.-2 図 床応答曲線

(4) 応答算出 (応答合成)

モーメントは以下の材料力学の梁理論式に基づき、先に求めた変位関数を微分して求める。

$$M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2}$$

なお、最大モーメントは 2 スパン梁の中央支持点に生じることから  $x=L$  とおいて、

$${}_n M_{\max} = -2wL^2 \cdot \beta_n \cdot \alpha_n \cdot \frac{1}{\lambda_n^2} \quad \dots (9)$$

また、曲げモーメント式を配管の断面係数で割ると配管応力が得られる。

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = -2wL^2 \cdot \beta_n \cdot \alpha_n \cdot \frac{1}{\lambda_n^2} \cdot \frac{1}{Z} \quad \dots (10)$$

定ピッチスパン法ではモード合成を実施していることから、配管応力は以下となる。

$$\sigma_{\max} = 2wL^2 \cdot \frac{1}{Z} \cdot \left[ \sum_{n=1}^n \left\{ \alpha_n \cdot \frac{\beta_n}{\lambda_n^2} \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (11)$$

なお、配管系の固有振動数が 20Hz 以上の場合は、モード合成の必要がないため以下に示す等分布荷重 2 スパン 3 点支持モデルに対して静的な解法により曲げモーメントを求める。

