

柏崎刈羽原子力発電所第6号機	設計及び工事計画審査資料
資料番号	KK6 補足-028-10-8 改0
提出年月日	2024年1月22日

ダクトの耐震計算方法について

2024年1月
東京電力ホールディングス株式会社

ダクトの耐震計算方法について

目 次

1. 概要	1
2. ダクトの支持点設計	1
3. 直管部の支持間隔について	1
3.1 振動数基準スパンにおける裕度	1
3.2 モーメント基準スパンにおける裕度	2
4. 曲管部の支持間隔について	3
4.1 曲管部支持間隔の縮小率	3
5. 分岐部の支持間隔について	4
5.1 分岐部支持間隔の縮小率	4
6. 集中質量部支持間隔	5
6.1 集中質量部支持間隔の縮小率	5

1. 概要

K-6 主配管範囲のダクト支持点設計における，直管部，曲管部，分岐部，集中質量部の考慮について考え方を示すものである。

2. ダクトの支持点設計

ダクト系が適切な剛性を有すると共に，地震時に発生するモーメントが許容座屈曲げモーメントを満足するよう，定ピッチスパン法により耐震性を確保している。ダクト系の直管部，曲管部，分岐部，集中質量部の標準的な構成要素の支持間隔について，固有振動数および地震時の応力(モーメント)に対する裕度を検証した。

3. 直管部の支持間隔について

実機のダクトは連続はり（連続はりモデルを図 3-1 に示す。）であることから，ダクト 1 スパンに着目した場合は隣接するスパンにより一定の拘束を受けるため両端固定はりに近似されるが，その支持間隔の算出を 1 スパン両端支持はりとして定ピッチスパンを算出することにより，裕度を有するものとしている。

両端固定はりを両端支持はりとしてモデル化することによる裕度について，各計算式の比較を行い，その検証を以下に示す。

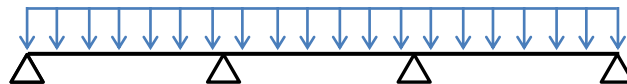


図 3-1 連続はり

3.1 振動数基準スパンにおける裕度

両端支持はりモデルを図 3-2 に両端固定はりモデルを図 3-3 に示す。固有振動数を一定としたときの，両端支持はりの支持間隔(設計値)と両端固定はりの支持間隔(実機近似値)の比較結果を下記に示す。

$$L_1 = \sqrt{\frac{\pi^2}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}} \dots \dots \dots (3.1)$$

出典：機械工学便覧 α 2 編 機械力学

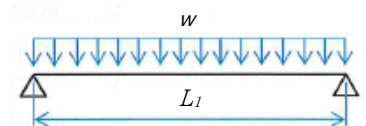


図 3-2 両端支持はり

$$L_2 = \sqrt{\frac{4.730^2}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}} \dots \dots \dots (3.2)$$

出典：機械工学便覧 α 2 編 機械力学

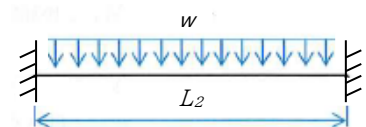


図 3-3 両端固定はり

(記号の説明)

π : 円周率
 f : 固有振動数
 E : 縦弾性係数
 L_1 : 等分布質量を受ける両端支持はりの振動数基準支持間隔
 L_2 : 等分布質量を受ける両端固定はりの振動数基準支持間隔

I : 断面二次モーメント
 g : 重力加速度
 w : ダクト単位重量

(3.1), (3.2)式より, 同一断面, 重量のダクトにおける支持間隔 L_1 は L_2 の約 0.67 倍(約 33%の設計裕度)である。したがって, 振動数基準スパンにおける直管部の設計は, 実機に対し保守的となる支持間隔が算出されることから振動数基準スパンは設計裕度を有している。

3.2 モーメント基準スパンにおける裕度

両端支持はりモデルを図 3-4 に両端固定はりモデルを図 3-5 に示す。モーメントを一定とした時に, 両端支持はりの支持間隔 L_3 (設計値)と両端固定はりの支持間隔 L_4 (実機近似値)の比較結果を以下に示す。

$$L_3 = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{w}} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

出典：機械工学便覧 α 3 編 材料力学

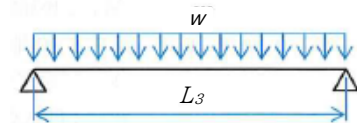


図 3-4 両端支持はり

$$L_4 = \sqrt{\frac{12 \cdot M}{w}} \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

出典：機械工学便覧 α 3 編 材料力学

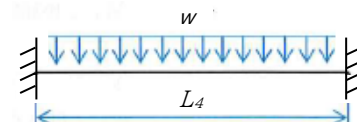


図 3-5 両端固定はり

(記号の説明)

M : 許容座屈曲げモーメント
 w : ダクト単位重量
 E : 縦弾性係数
 L_3 : 等分布質量を受ける両端支持はりの振動数基準支持間隔
 L_4 : 等分布質量を受ける両端固定はりの振動数基準支持間隔

(3.3), (3.4)式より, 同一断面, 重量のダクトにける支持間隔 L_3 は L_4 の約 0.82 倍(約 18%の設計裕度)である。したがって, モーメント基準スパンにおける直管部は, 実機に対し保守的となる支持間隔が算出されることからモーメント基準スパンは設計裕度を有している。

4. 曲管部の支持間隔について

ダクトの曲管部については、これらの近傍を支持することを原則とし、その支持間隔は直管部の支持間隔に縮小率を乗じた設計としている。曲管部の縮小率の考え方を以下に示す。

4.1 曲管部支持間隔の縮小率

曲管部は、直管部に比べ曲がり面と直角な方向（面外方向）の振動数が低下する。このため、曲管部の近くで面外振動を抑えるよう支持を行い、その支持間隔の長さは、直管部の支持間隔に対して縮小率を乗じて設定している。曲がり角と振動数係数の関係を図 4-1 に示す。

図 4-1 より曲がり角が π （=直管）の場合 $\lambda_{\pi} = 4.73$ に対しては、 $l_1 = l_2$ の場合に最も振動数係数が低下し、曲がり角が $\pi/2$ （=曲管）の場合は $\lambda_{\pi/2} = 3.95$ まで低下することがわかる。

したがって、ダクトの振動数を低下させないようにするための支持間隔の縮小率は次式のとおりとなる。

(例) $\frac{l_2}{l_1} = 1, \quad \theta = \pi/2$ (90°) の場合

$$\frac{l_{\text{曲管}}}{l_{\text{直管}}} = \frac{\lambda_{\pi/2}}{\lambda_{\pi}} = \frac{3.95}{4.73} = 0.83 \dots (4.1)$$

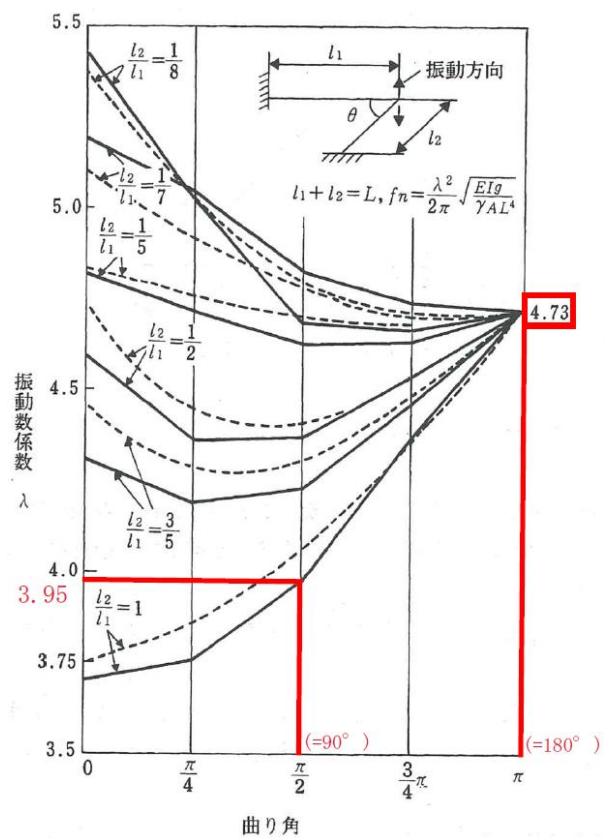


図 4-1 曲がり角と振動数係数の関係
(JEAG4601-1987 より引用)

5. 分岐部の支持間隔について

ダクトの分岐部は、これらの近傍を支持することを原則とし、その支持間隔は直管部の支持間隔に縮小率を乗じた設計としている。

分岐部の縮小率の考え方を以下に示す。

5.1 分岐部支持間隔の縮小率

分岐部がある場合の支持間隔は、図 5-1 に示す同部支持区間振動数が、直管部の振動数以上となるように、直管部の支持間隔に縮小率を乗じて設定している。

(例)分岐点がスパン中間($C = l_R/2$)の場合

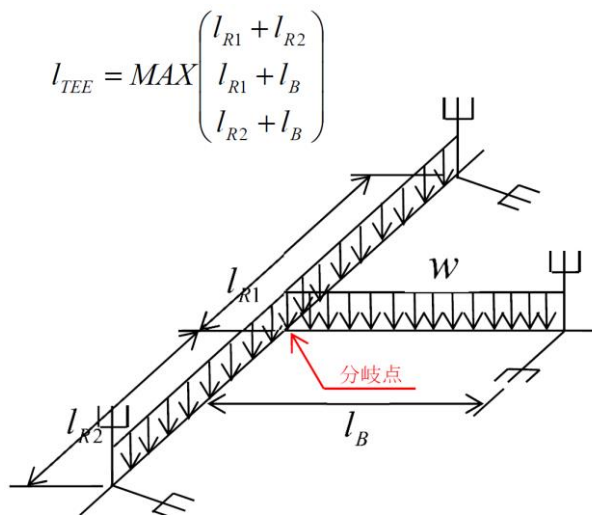


図 5-1 単純支持モデル (分岐部)
(JEAG4601-1987 より引用)

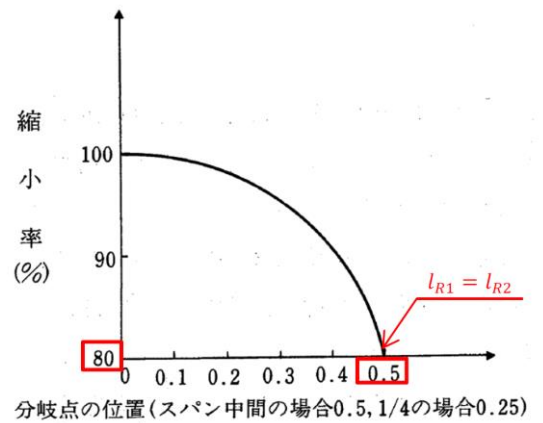


図 5-2 分岐部縮小率
(JEAG4601-1987 より引用)

6. 集中質量部支持間隔

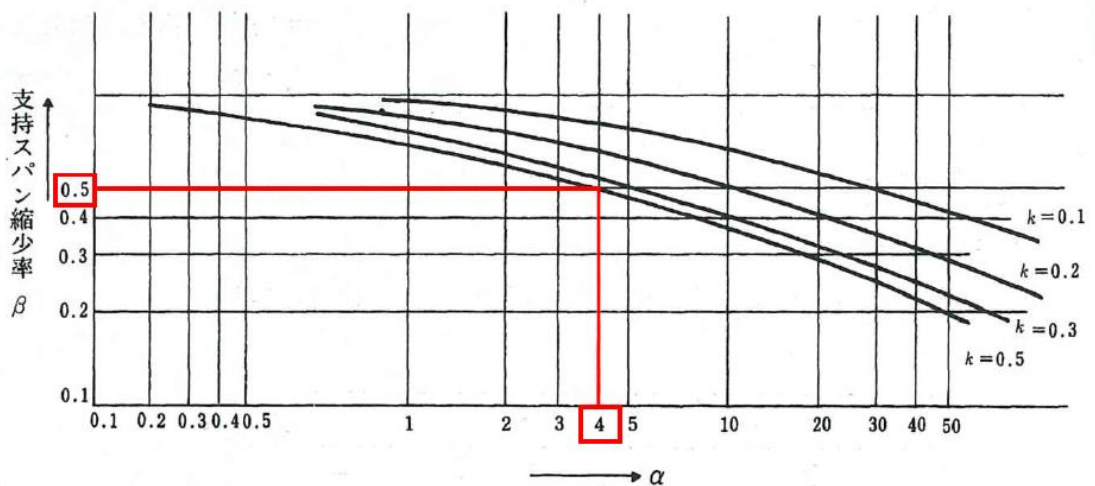
ダクトの自動ダンパ等の重量物を取り付く場合は、重量物自体又は近傍を支持することを原則とし、その支持間隔は直管部の支持間隔に縮小率を乗じた設計としている。

集中質量部の縮小率の考え方を以下に示す。

6.1 集中質量部支持間隔の縮小率

集中質量部は、直管部に比べて振動数が低下するため、重量物又は近傍にて支持を行い、その支持間隔の長さは、直管部の支持間隔に、図 6-1 に示す集中質量がある場合の縮小率を乗じて設定している。

(例) 集中質量が定ピッチスパン長さの質量の 4 倍 ($\alpha=4$) で、その位置がスパン中間 ($k=0.5$) の場合



$$\alpha = \frac{\text{集中質量の重量}}{\text{定ピッチスパン長さの重量}}$$

β = 支持スパン縮少率

k = 支持点間における集中荷重の位置 (中間の場合 $k=0.5$ 1/4の場合 $k=0.25$ とする。)

図 6-1 集中質量部縮小率
(JEAG4601-1987 より引用)