

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-40-36_改2
提出年月日	2021年9月24日

補足-600-40-36 ダクトの耐震計算方法について

1. はじめに

本紙は、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。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-1-12-2 ダクト及び支持構造物の耐震計算について」
- ・「VI-2-8-3-1-1 中央制御室換気空調系ダクトの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-8-3-2-1 緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震性についての計算書」

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に、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であることから、ダクト1スパンに着目した場合は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。

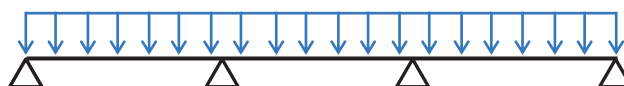


図 3-1 連続はり

3.1 振動数基準スパンにおける裕度

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 L_1 (設計値) と両端固定はりの支持間隔 L_2 (実機近似値) の比較結果を下記に示す。

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

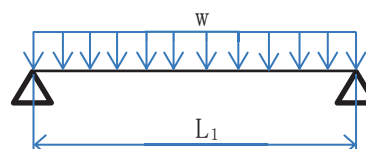


図 3-2 両端支持はり

出典：機械工学便覧 α2編 機械力学

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

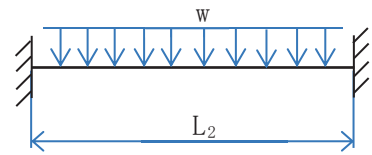


図 3-3 両端固定はり

出典：機械工学便覧 α2 編 機械力学
(記号の説明)

- π : 円周率
- f : 固有振動数
- E : 縦弾性係数
- L₁ : 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
- L₂ : 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 : ダクト単位質量

(3.1), (3.2)式より, 同一断面, 質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 座屈曲げモーメント算出における裕度

振動数基準スパンによって支持スパンを設計する場合でも, ダクトに発生する座屈曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下であることを確認することから, 座屈曲げモーメント算出における裕度について以下に示す。

スパンを一定とした場合の, 両端支持はりの座屈曲げモーメント \$M_1\$ と両端固定はりの座屈曲げモーメント \$M_2\$ の比較結果を以下に示す。

$$M_1 = \frac{w \cdot L^2}{8} \dots \dots \dots (3.3)$$

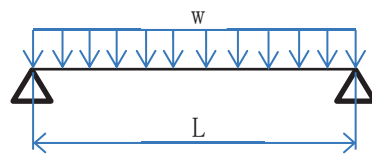


図 3-4 両端支持はり

出典：機械工学便覧 α3 編 材料力学

$$M_2 = \frac{w \cdot L^2}{12} \dots \dots \dots (3.4)$$

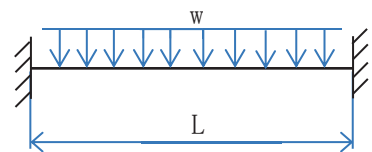


図 3-5 両端固定はり

出典：機械工学便覧 α3 編 材料力学

(記号の説明)

- \$M_1\$: 等分布質量を受ける両端支持はりの座屈曲げモーメント
- \$M_2\$: 等分布質量を受ける両端固定はりの座屈曲げモーメント

w : ダクト単位重量

L : 支持間隔

(3.3), (3.4)式より, 同一断面, 同一質量及び同スパン長のダクトに発生する座屈曲げモーメントを比較した場合, 両端支持はりの座屈曲げモーメントは両端固定はりの座屈曲げモーメントに比べ 1.5 倍となることから, 両端支持はりにモデル化することで裕度を有した設計となる。

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, 図 4-1 の曲がり角と振動数係数の関係 (曲管部の縮小率) から求められる縮小率を乗じて設定している。

なお, (3.2) 式において, 振動数係数 $\lambda_{直管} = 4.730$ とすると, 振動数基準における直管部及び曲管部の支持間隔はそれぞれ (4.1) (4.2) 式のとおり表されるため, これらの比を取ることで縮小率を算定することができる。

$$L_{直管} = \lambda_{直管} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}} \quad \dots (4.1)$$

$$L_{曲管} = \lambda_{曲管} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}} \quad \dots (4.2)$$

$$\text{縮小率} = \frac{L_{曲管}}{L_{直管}} = \frac{\lambda_{曲管}}{\lambda_{直管}} \quad \dots (4.3)$$

(例) $l_2 / l_1 = 1$, $\theta = \pi / 2$ ($=90^\circ$) の場合

$$\text{縮小率} = \frac{\lambda_{曲管}}{\lambda_{直管}} = \frac{\lambda_{\pi/2}}{\lambda_{\pi}} = \frac{3.95}{4.73} = 0.83$$

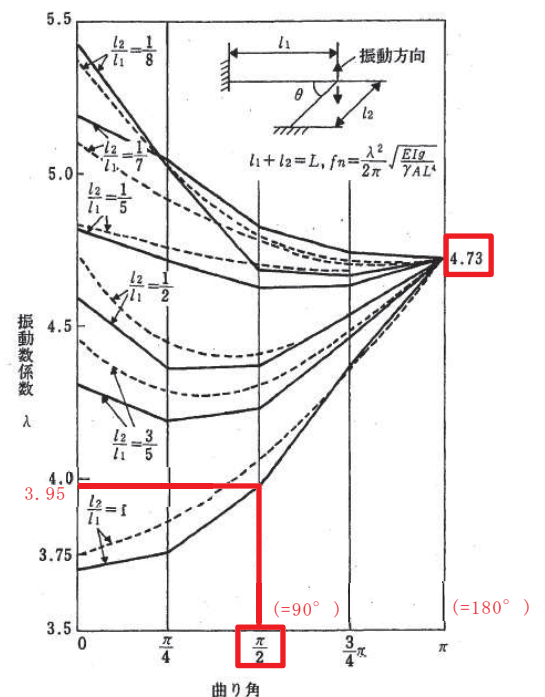


図 4-1 曲がり角と振動数係数の関係 (JEAG4601-1987 より引用)

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の振動数が、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 ($C = \ell_R / 2$) の場合、縮小率 0.8

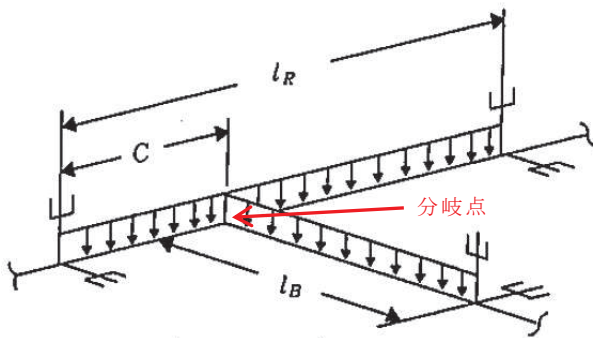


図 5-1 単純支持モデル (分岐部)
(JEAG4601-1987 より引用)

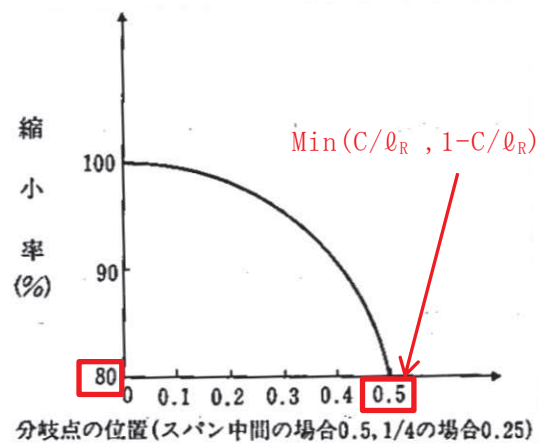


図 5-2 分岐部縮小率
(JEAG4601-1987 より引用)

6. 集中質量部支持間隔

ダクトの自動ダンパ等の集中質量がある場合は、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、直管部に比べ振動数が低下するため、重量物自体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対して、図 6-1 に示す集中質量がある場合のスパン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、縮小率 0.5

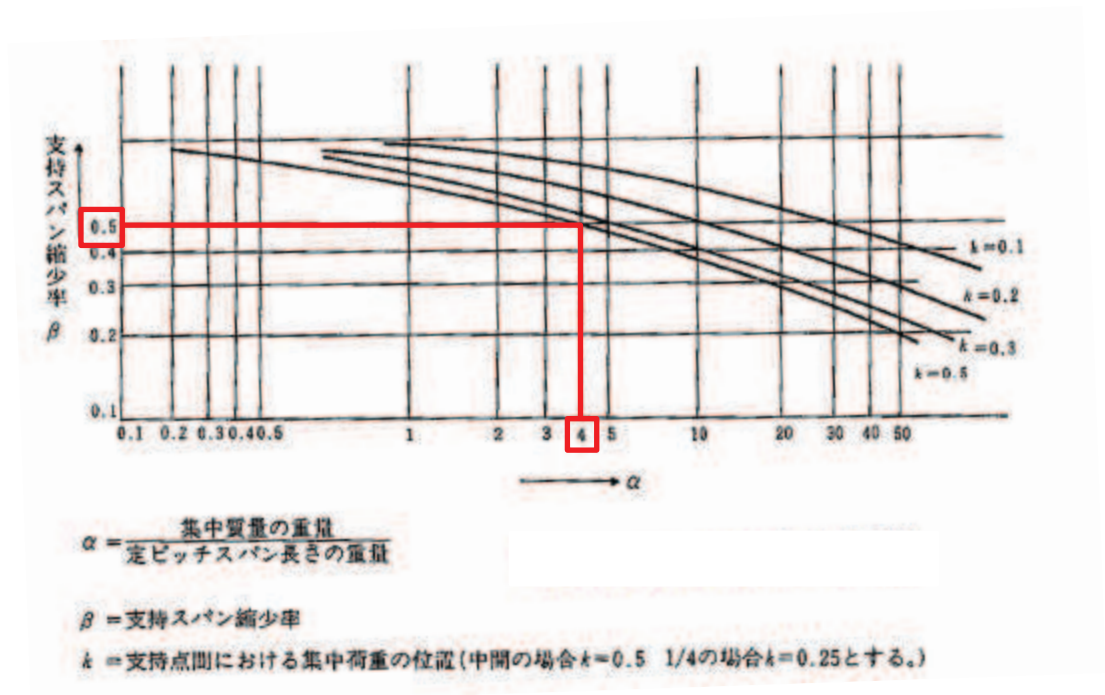


図 6-1 集中質量部縮小率
(JEAG4601-1987 より引用)