

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-8 改2
提出年月日	2020年8月14日

ダクトの耐震計算方法について

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

K-7 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梁であることから，ダクト1スパンに着目した場合は両端固定梁に近似されるが，その支持間隔の算出を1スパン両端支持梁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。

両端固定梁を両端支持梁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。

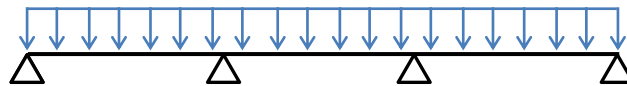


図 3-1 連続梁

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，両端支持梁の支持間隔(設計値)と両端固定梁の支持間隔(実機近似値)の比較結果を下記に示す。

$$L_1 = \sqrt{\frac{\pi^2}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}} \dots \dots \dots (2.1)$$

出典：機械工学便覧 α2 編 機械力学

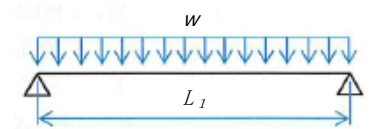


図 3-2 両端支持梁

$$L_2 = \sqrt{\frac{4.730^2}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}} \dots \dots \dots (2.2)$$

出典：機械工学便覧 α2 編 機械力学

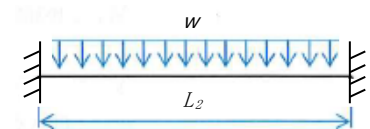


図 3-3 両端固定梁

(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梁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梁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

(2.1), (2.2)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

モーメントを一定とした時に, 両端支持梁の支持間隔 L_3 (設計値)と両端固定梁の支持間隔 L_4 (実機近似値)の比較結果を以下に示す。

$$L_3 = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{w}} \dots \dots \dots (2.3)$$

出典：機械工学便覧 α3 編 材料力学

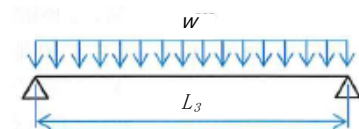


図 3-4 両端支持梁

$$L_4 = \sqrt{\frac{12 \cdot M}{w}} \dots \dots \dots (2.4)$$

出典：機械工学便覧 α3 編 材料力学

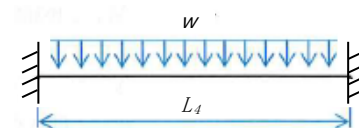


図 3-5 両端固定梁

(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
- L_3 : 等分布質量を受ける両端支持梁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梁の振動数基準支持間隔

(2.3), (2.4)式より, 同一断面, 重量のダクトにおける支持間隔 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以内に収まるような設計を行っている。これは3.項で述べた直管部の支持間隔の設計法における裕度に曲管部の縮小率が包絡されることに拠る。

曲管部の縮小率、および直管部支持間隔への包絡性について検証結果を以下に示す。

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、図4-1の曲がり角と振動数係数の関係（曲管部の縮小率）を考慮した基準支持間隔以内となるようにする必要がある。

4.2 直管部支持間隔への曲管部縮小率の包絡性

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するための支持間隔の縮小率は次式の通りとなる。

$$\frac{l_{\text{曲管}}}{l_{\text{直管}}} = \frac{\lambda_{\pi/2}}{\lambda_{\pi}} = \frac{3.95}{4.73} = 0.83 \dots (3.1)$$

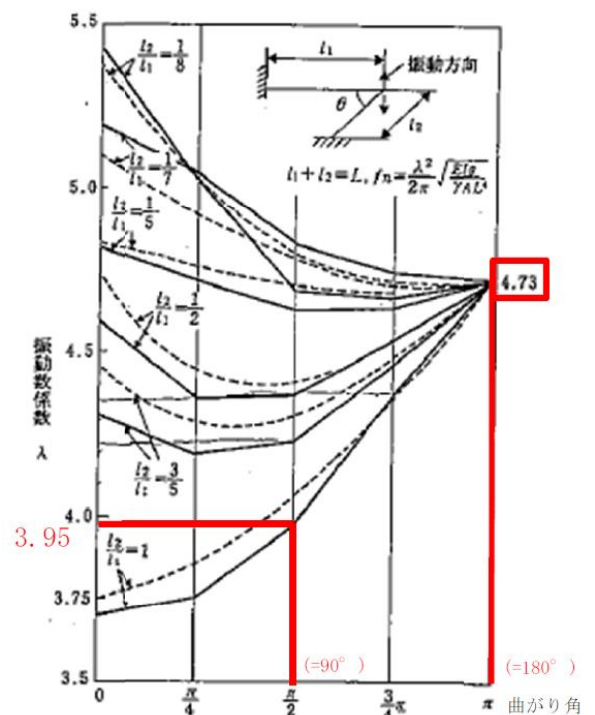


図4-1 曲がり角と振動数係数の関係
(JEAG4601-1987より引用)

(3.1)式より、直管部（実機近似値）に対する曲がり部支持間隔の縮小率は約0.83倍（約17%）であり、直管部（設計値）の支持間隔における裕度約0.82倍（約18%）に包絡される。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。

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支持間隔以内に収まる支持点設計を行っている。

分岐部の縮小率、および直管部支持間隔への包絡性についての検証結果を以下に示す。

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る必要がある。

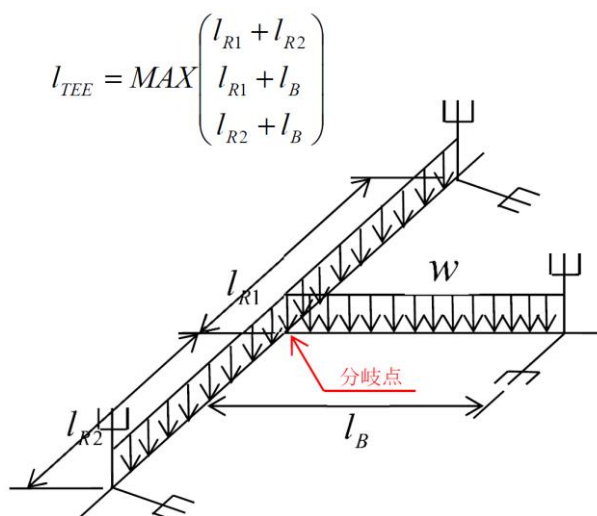


図 5-1 単純支持モデル（分岐部）
（JEAG4601-1987 より引用）

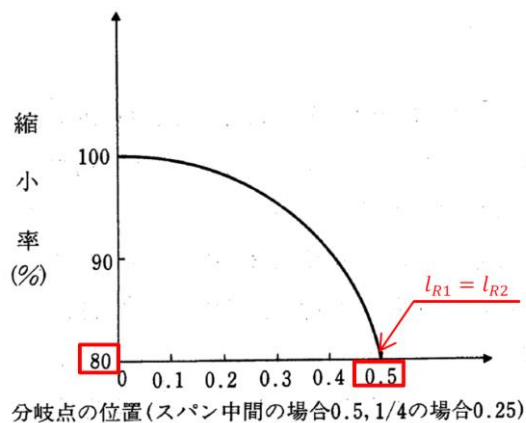


図 5-2 分岐部縮小率
（JEAG4601-1987 より引用）

5.2 直管部支持（設計値）への分岐部縮小率の包絡性

分岐点の位置と縮小率の関係を図 5-2 に示す。図 5-2 より分岐点の位置がスパン中間（=0.5）の場合に直管部（実機近似値）に対する縮小率は 0.80 倍（20%）であり、直管部（設計値）の支持間隔における裕度約 0.82 倍（約 18%）を 2%超過する。

したがって、分岐部は、直管部（設計値）の支持間隔を 2%以上縮小した支持間隔によって支持点設計を行なっている。

6. 集中質量部支持間隔

ダクトの自動ダンパ等の重量物が取り付く場合は、重量物自体又は近傍を支持しており、近傍を支持する場合においては、当該集中重量を考慮した支持間隔を算定し、支持点設計を行う必要がある。

実機条件（実機のスパン／集中質量部配置）における発生曲げモーメントおよびダクトの許容座屈曲げモーメントを算出し、許容値内に収まっている支持点設計とすることで、主配管範囲の集中重量を負担に対して設計裕度を確認している。