

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1010 改2
提出年月日	平成30年8月27日

V-2-1-12-2 ダクト及び支持構造物の耐震計算について

目次

1. 概要.....	1
2. 耐震設計の原則.....	1
3. ダクト及び支持構造物の設計手順.....	1
4. ダクト設計の基本方針.....	3
4.1 重要度別による設計方針.....	3
4.2 荷重の組合せ.....	3
4.3 設計用地震力.....	4
4.4 ダクト支持点の設計方法.....	5
4.5 耐震支持間隔.....	7
4.6 支持方法.....	11
4.7 ダクトの構造.....	11
5. 支持構造物の構造及び種類.....	12

1. 概要

本方針は、ダクト及び支持構造物について耐震設計上十分安全であるように考慮すべき事項を定めたものである。

2. 耐震設計の原則

ダクト及びその支持構造物は、耐震設計上の重要度分類に応じた地震力に対して十分な強度を有するように設計する。

3. ダクト及び支持構造物の設計手順

ダクトの経路は、建屋の形状、機器の配置、配管、ケーブルトレイ等の経路を考慮し、耐震性を加味して決定する。

以上を考慮して決定されたダクト経路について支持方法を定めて、ダクトが十分な耐震強度を有するように支持点を決定する。

ダクト支持構造物の設計、製作、据付までの作業の流れを概念的に図 3-1 に示す。

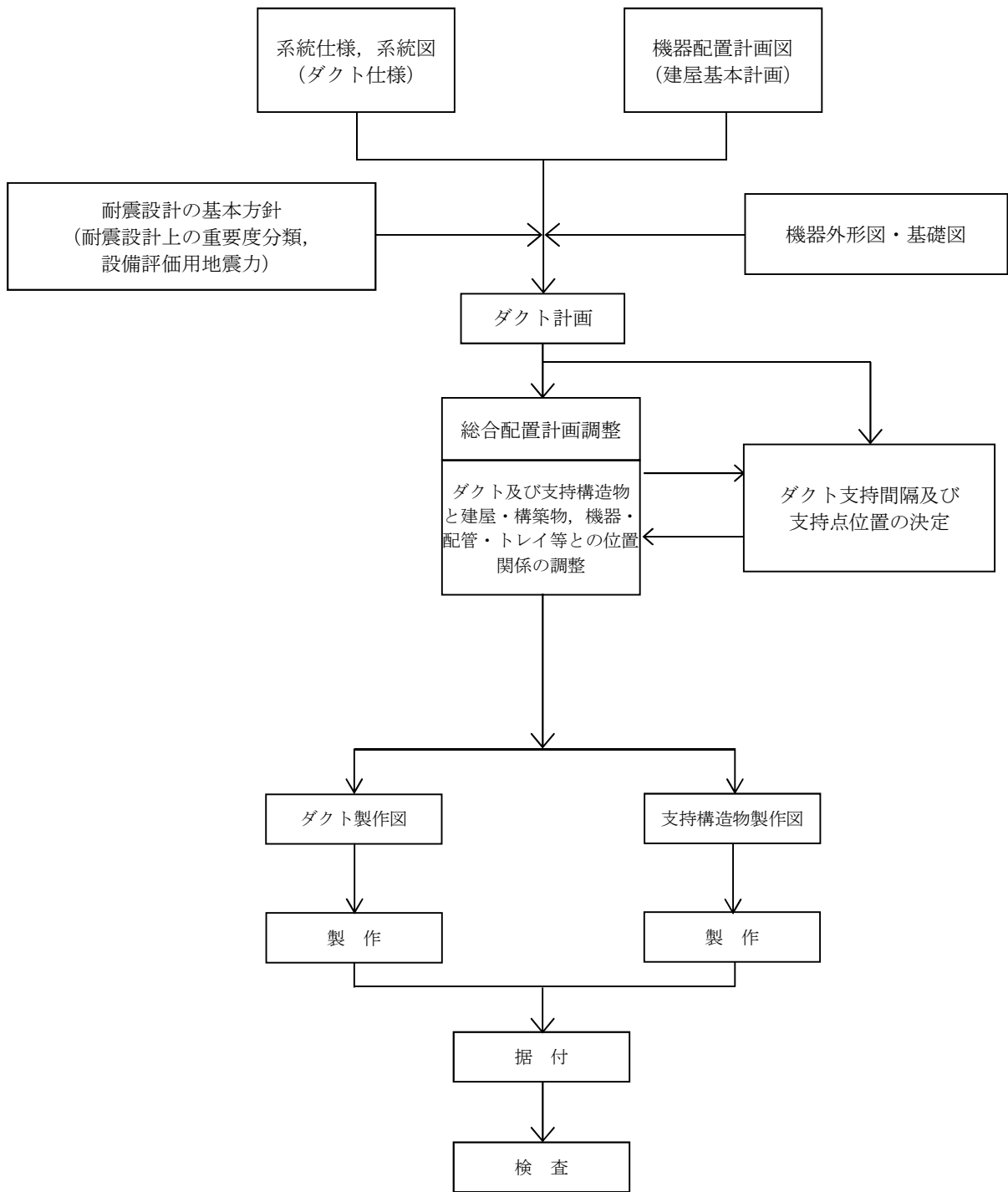


図 3-1 ダクト及び支持構造物の設計作業手順

4. ダクト設計の基本方針

4.1 重要度別による設計方針

ダクトは、耐震設計上の重要度分類に応じてクラス分類し、表 4-1 に示す設計方針とする。

表 4-1 重要度分類と設計方針

分類	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	設計方針
設計基準 対象施設	S クラス	Non	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートの スパン長 を最大許容 ピッチ 以下に確保すること。（最大許容 ピッチ は式(4.7)から(4.10)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。）
重大事故等 対処設備	-	重大事故等 クラス2管	

4.2 荷重の組合せ

$$D + P_D + M_D + S_s \dots\dots\dots (4.1)$$

$$D + P_D + M_D + S_d \dots\dots\dots (4.2)$$

ここで、

- D : 死荷重^{*1}
- P_D : 最高使用圧力による機械的荷重
- M_D : 設計上定められた機械的荷重
- S_s : 基準地震動 S_s^{*1}
- S_d : 弾性設計用地震動 S_d^{*2}

注記 *1:ダクトは座屈評価のため、死荷重(D)、地震荷重(S_s)を考慮して評価を行う。
 *2:ダクトの耐震支持間隔の算出においては、許容値となる許容座屈曲げモーメントの算出にあたり、評価手法上、ダクト材の降伏点を使用するため、基準地震動 S_s評価と弾性設計用地震動 S_d評価に用いる**係数**、許容値に差異はない。また、発生曲げモーメントの算出に当たっては、表 4-2 に示すとおり、弾性設計用地震動 S_dは基準地震動 S_sに包絡されるため、弾性設計用地震動 S_dに対する評価は省略する。尚、緊急時対策所ダクトについては、設計基準対象設備「-」であり、重大事故等クラス2管であることから基準地震動 S_sの評価を行う。

表 4-2 基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d の比較例

建物・構築物	設計用地震力	EL. (m)	震度				
			静的震度及び 1.2ZPA* ³		設備評価用床応答曲線* ⁴		
			水平	鉛直	固有周期 (s)	水平	鉛直
原子炉建屋	基準地震動 S_s	20.3	1.64	1.34	□	1.91	4.20
	弾性設計用地震動 S_d	~34.7	0.86	0.71		1.20	2.21

注記 *3: 静的震度, 1.2ZPA のうち, 大きな値を示す。 (1.2ZPA: 基準床の最大応答加速度の 1.2 倍の値)

*4: ダクトの固有振動数が, 設備評価用床応答曲線のピーク振動数の $\sqrt{2}$ 倍以上となる固有周期を示し, 水平, 鉛直震度はそれぞれ当該固有周期よりも短周期側における最大応答を示す。

4.3 設計用地震力

ダクトについては, 添付書類「V-2-1 耐震設計の基本方針」に示す設計用地震力を用いて評価を行う。尚, 「4.4 ダクト支持点の設計方法」のうち, 手法 1 はダクトの固有振動数が十分剛 (20 Hz 以上) となる領域で設計することから, 表 4-2 に示す静的震度及び 1.2ZPA を使用する。

また, 手法 2 は, ダクトの固有周期が 0.05 秒よりも長周期側で, 且つ設備評価用床応答曲線のピーク周期の $1/\sqrt{2}$ 倍よりも短周期側となる領域で設計することから, 表 4-2 に示す設備評価用床応答曲線の震度を使用する。減衰は, 添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

尚, この際に使用する設備評価用床応答曲線の震度は, 図 4-1 に示すように谷埋めピーク保持を行い右肩上がりの領域で設計することで保守性を担保する。

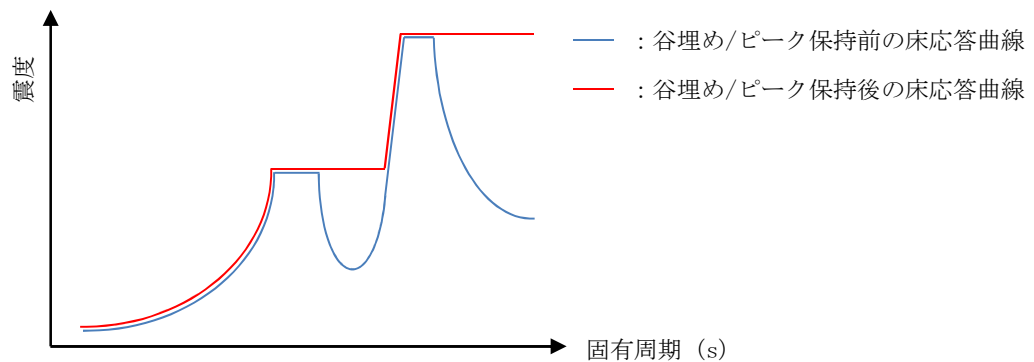


図 4-1 床応答曲線の谷埋め/ピーク保持の例

4.4 ダクト支持点の設計方法

ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに、許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

支持間隔の算定は、ダクトの固有振動数 (f_d) が十分剛 (20 Hz 以上) となるよう算定する手法とダクトの固有振動数に応じた地震力で算定する手法が有り、このうち前者を手法 1、後者を手法 2 と呼び、この 2 つの手法を用いて支持間隔を決定する。

ダクトの支持点はまず手法 1 の支持間隔で計画し、施工性及びダクトの周囲条件等を考慮して手法 1 の支持間隔以内に収まらない場合は手法 2 の支持間隔で計画する。

手法 1、手法 2 による支持間隔算出手順を図 4-2 に示す。

4.4.1 手法 1 の支持間隔算定法

ダクトの固有振動数が 20 Hz 以上となる支持間隔と静的震度及び 1.2ZPA によりダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となる支持間隔を算定し、いずれか小さい方を支持間隔とする。

4.4.2 手法 2 の支持間隔算定法

静的震度、1.2ZPA 及び設備評価用床応答曲線から地震力を算定し、ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を算定する。

ただし、支持間隔はダクトの固有振動数が、設備評価用床応答曲線のピーク振動数の $\sqrt{2}$ 倍以上となるように定めるものとし、固有振動数から定まる支持間隔と許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔のうち、いずれか小さい方とする。設計領域の例を図 4-3 に示す。

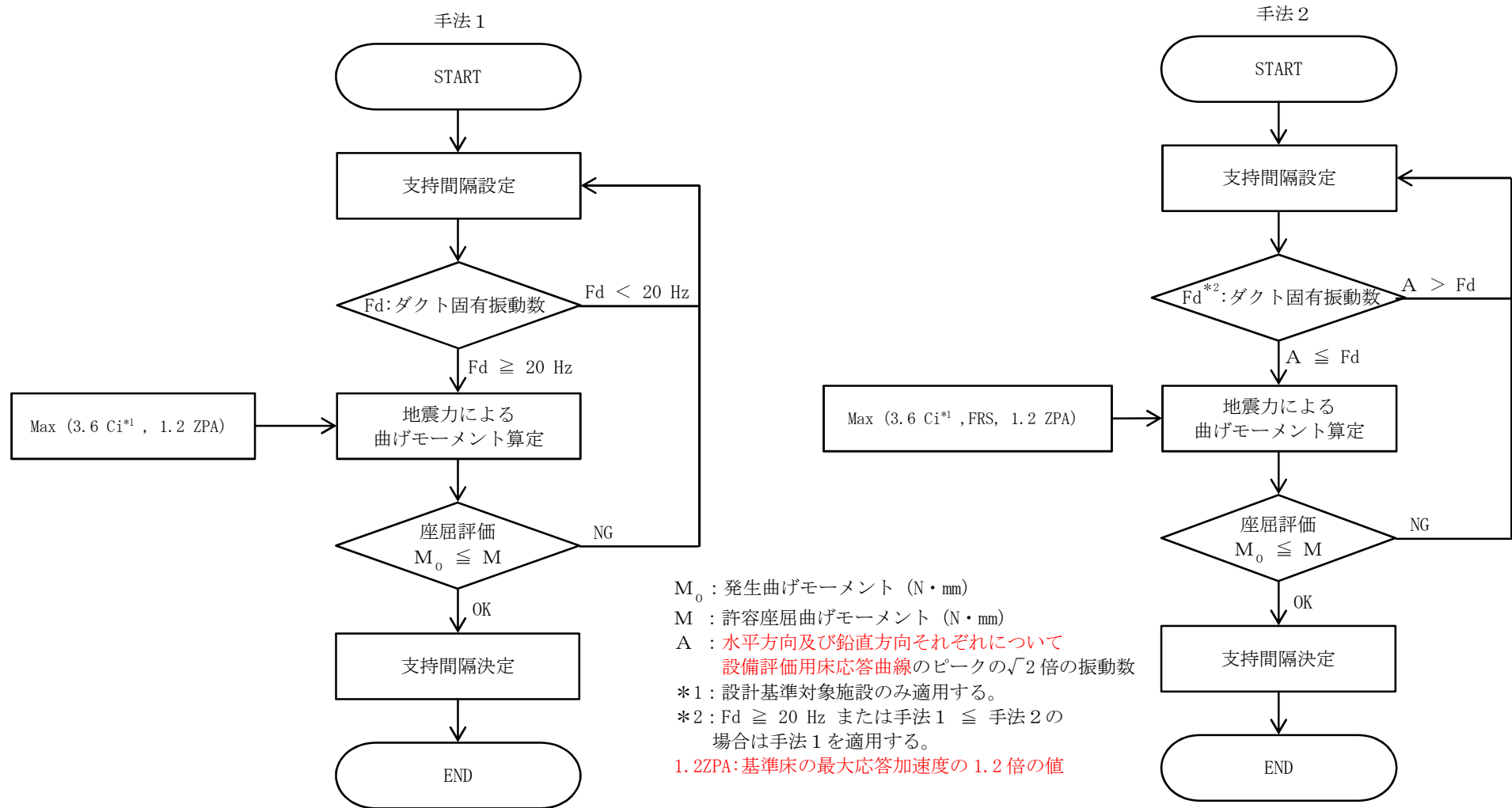


図 4-2 ダクト支持点間隔算出手順

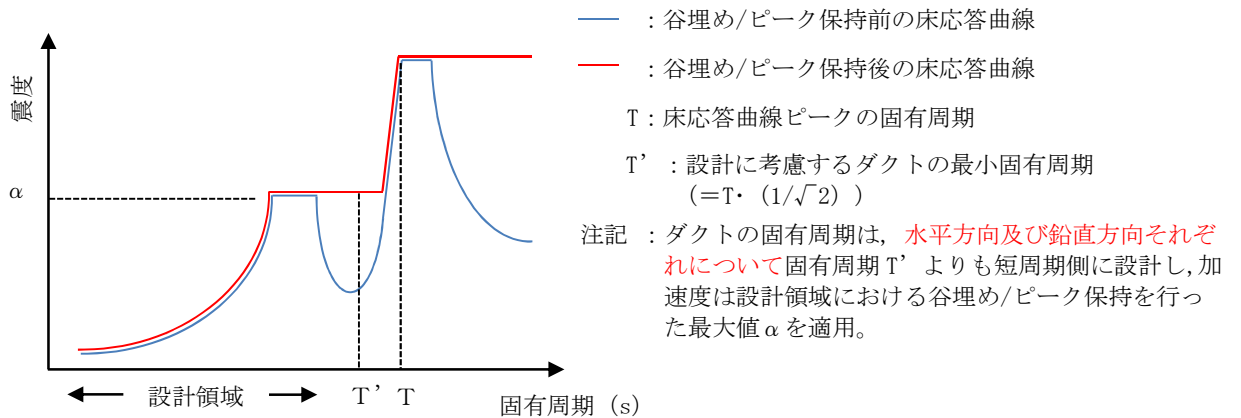


図 4-3 手法 2 設計領域の例

4.5 耐震支持間隔

ダクトの耐震支持間隔は、ダクトが薄板構造であることを考慮した剛性評価及び座屈強度に基づき定める。

4.5.1 矩形ダクトの固有振動数

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は、次式で与えられる。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで、

$$I = \left(\frac{t \cdot be^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{be^2}{2} \right) \cdot \beta \dots\dots\dots (4.4)$$

(4.3)～(4.4)式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

ここで、

- f : 固有振動数 (Hz)
- π : 円周率 (-)
- ℓ : 両端単純支持間隔 (mm)
- E : 縦弾性係数 (N/mm²)
- g : 重力加速度 (mm/s²)
- I : 断面二次モーメント (mm⁴)
- W : ダクト単位長さ重量 (N/mm)
- β : 断面二次モーメントの安全係数 (-)

(幅厚比 b/t ≤ 600… β = 0.75 , b/t > 600… β = 0.6)

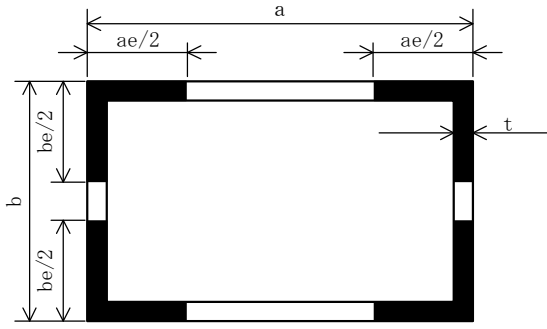


図 4-4 矩形ダクトの断面図

- a : ダクト長辺寸法 (mm)
- b : ダクト短辺寸法 (mm)
- ae : ダクトフランジの有効幅 (mm)
- be : ダクトウェブの有効幅 (mm)
- t : ダクト板厚 (mm)
- a/b : アスペクト比 (-)

4.5.2 矩形ダクトの座屈評価

地震時、両端単純支持された矩形ダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \dots\dots\dots (4.5)$$

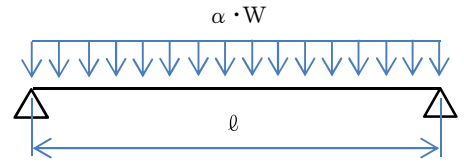


図 4-5 両端単純支持梁

ここで、

M_0 : 発生曲げモーメント (N・mm)
 α : 設計震度 (-)

ここで、矩形ダクトの座屈による大変形を防ぐために矩形ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leq M \dots\dots\dots (4.6)$$

ここで、

M : 許容座屈曲げモーメント (N・mm)

(4.5) , (4.6) 式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式で与えられる。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \dots\dots\dots (4.7)$$

ここで、

$$M = S \cdot M_T \dots\dots\dots (4.8)$$

$$M_T = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2 \cdot b^2}} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y} \cdot \gamma \dots\dots\dots (4.9)$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \dots\dots\dots (4.10)$$

(4.6)～(4.10)式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

S	: 座屈曲げモーメントの安全係数 (=0.7)	(-)
M_T	: 座屈限界曲げモーメント	(N・mm)
λ	: 座屈限界曲げモーメントの補正係数*5	(-)
ν	: ポアソン比 (=0.3)	(-)
σ_y	: 降伏点	(N/mm ²)
γ	: 座屈限界曲げモーメントの安全係数 (=0.6) *5	(-)
ℓ	: 両端単純支持間隔	(mm)
W	: ダクト単位長さ重量	(N/mm)

注記 *5: 出典 共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究より, 理論値と実験値の比率から定まる近似曲線を用いる。

4.6 支持方法

(1) 直管部

直管部は、「4.5 耐震支持間隔」で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また、直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設けるものとする。

(2) 曲管部

曲管部は、直管部に比べ剛性、及び強度が低下するが、「4.5 耐震支持間隔」で求まる支持間隔は、これら曲管部の縮小率を包絡する支持間隔としている。

(3) 重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ、弁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するものとする。なお、近傍を支持する場合においては「4.5 耐震支持間隔」で求まる支持間隔と、当該重量物を考慮した支持間隔を用いて、支持点を設計する。

4.7 ダクトの構造

ここでは、主要な矩形ダクトについて記述する。矩形ダクトは、溶接ダクトとハゼ折ダクトがある。

(1) 溶接ダクトは、二隅あるいは四隅を溶接継手とする。補強は、定ピッチで全周を形鋼で囲い、ダクトに断続溶接する。

(2) ハゼ折ダクトの補強は、定ピッチで全周を形鋼で囲いダクトにリベット止めする。

ダクト構造の代表例を図4-6に示す。

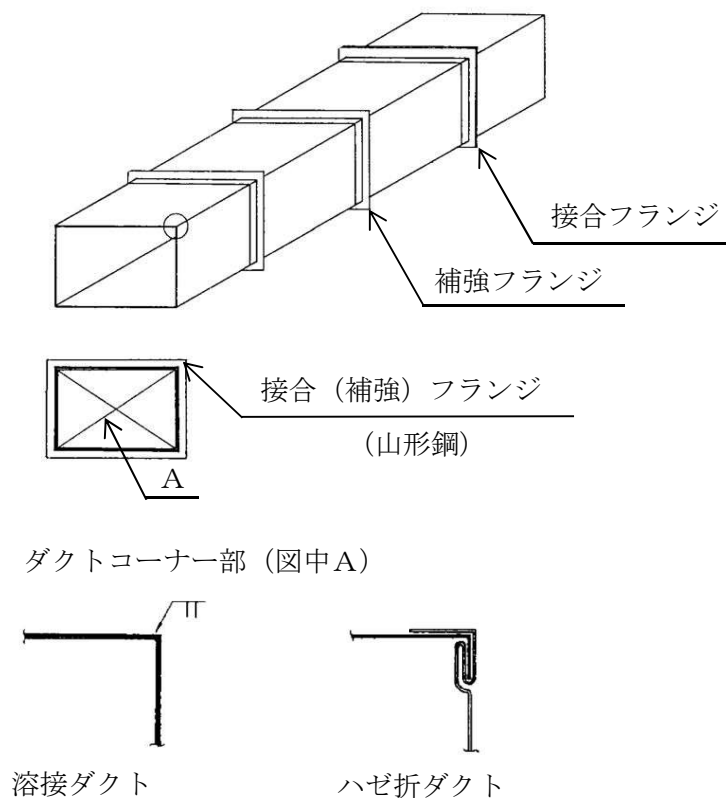


図4-6 ダクト構造の代表例

5. 支持構造物の構造及び種類

(1) 支持構造物は、形鋼を組み合わせた溶接構造を原則とし、その用途に応じて以下に大別する。

- (a) ダクト軸直角の2方向を拘束するもの
- (b) ダクト軸方向及び軸直角の3方向を拘束するもの

図5-1～図5-4に支持構造物の代表例を示す。

(2) 支持構造物の構造は、ダクトより作用する地震荷重に対し十分な強度を有する構造とする。尚、ダクトの荷重は隣接する支持構造物の距離より定まる荷重の負担割合（ダクト長さ）と地震力から算定する。

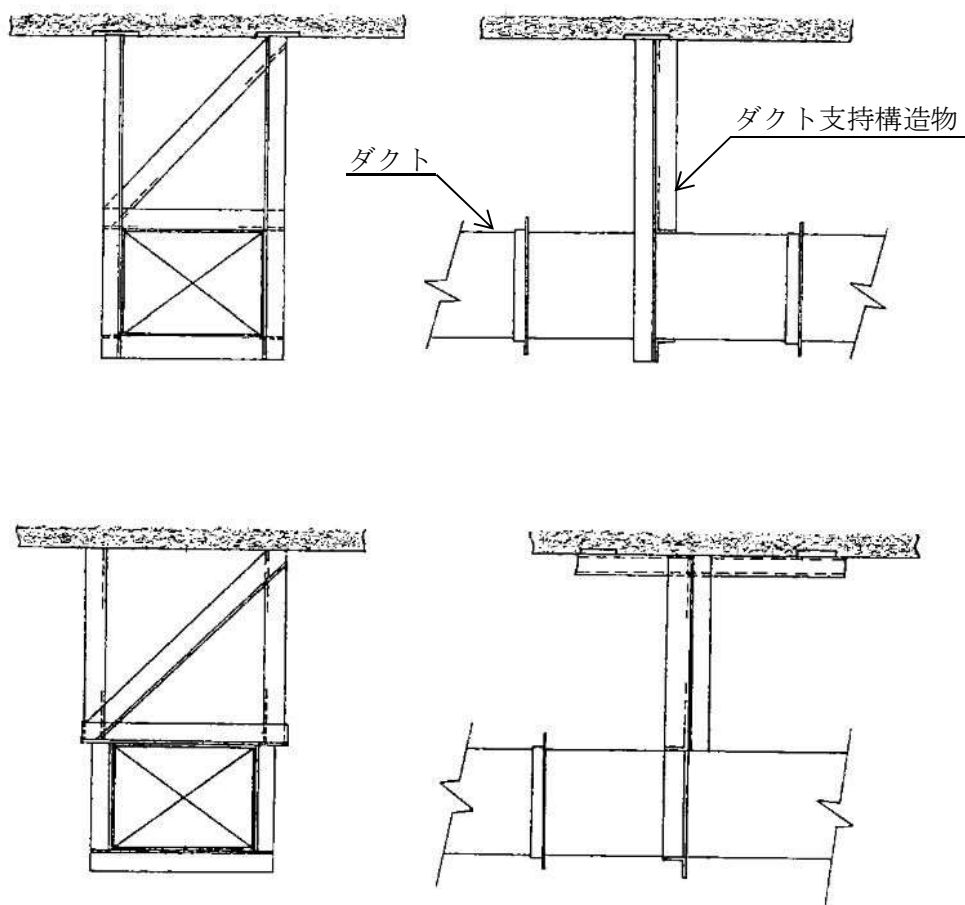


図5-1 2方向（軸直角方向）拘束の代表例

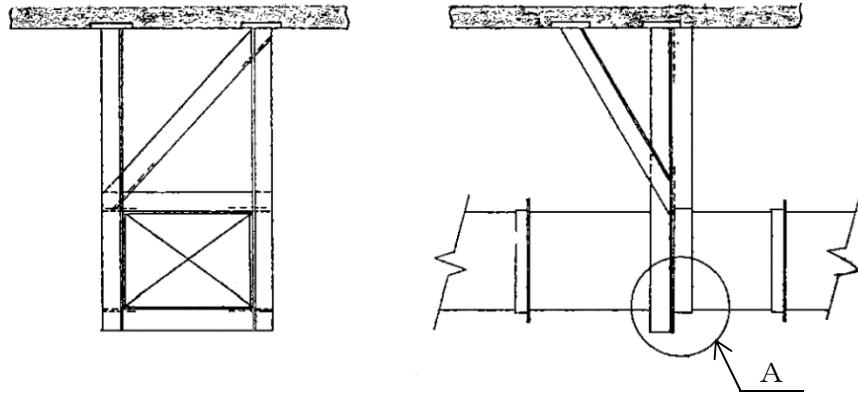


図5-2 3方向（軸方向及び軸直角方向）拘束の代表例

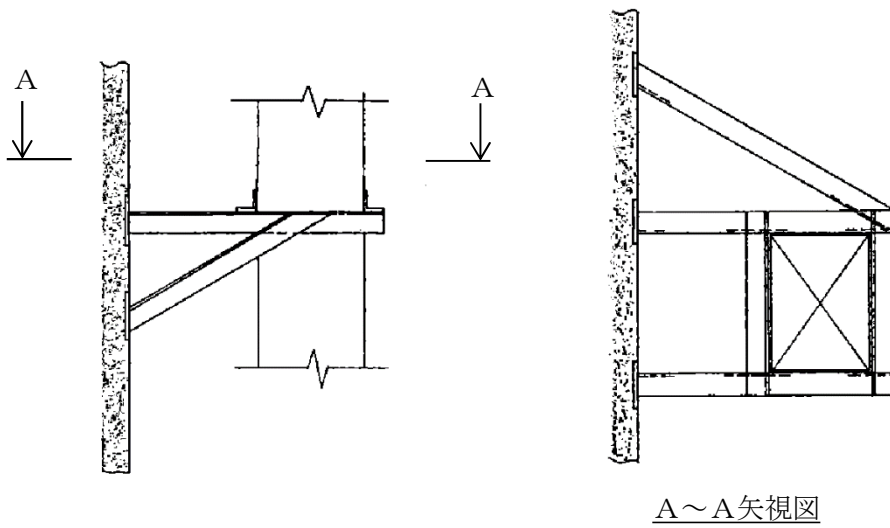
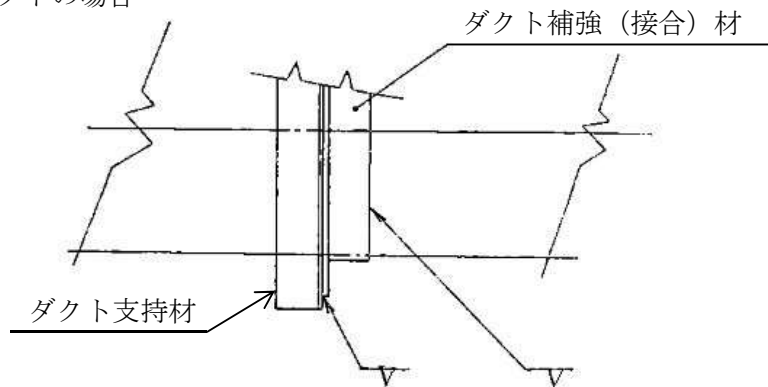


図5-3 垂直ダクトの支持の代表例

図 5-2 における A 部

溶接ダクトの場合



ハゼ折ダクトの場合

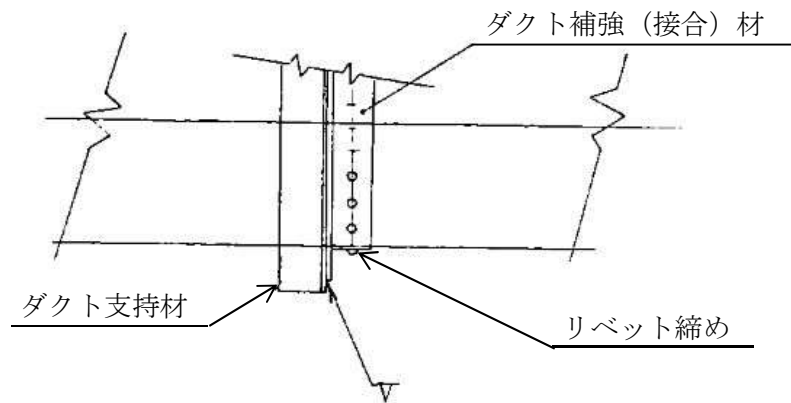


図 5-4 ダクトと支持構造物の接合