

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-008-12
提出年月日	2022年12月15日

VI-2-8-3-1-1 管の耐震性についての計算書
(中央制御室空調換気系)

S2 補 VI-2-8-3-1-1 R0

2022年12月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 ダクト設計の基本方針	1
2.2.1 耐震設計の原則	1
2.2.2 ダクト及び支持構造物の設計手順	1
2.2.3 耐震重要度別による設計方針	3
2.2.4 設計用地震力	3
2.2.5 ダクト支持点の設計方法	3
2.2.6 支持方法	5
2.3 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.4.1 矩形ダクトの記号の説明	6
2.4.2 円形ダクトの記号の説明	7
2.4.3 支持構造物の記号の説明	8
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	9
4. 固有振動数の計算方法	9
4.1 計算モデル	9
4.2 固有振動数計算方法	10
4.2.1 矩形ダクトの固有振動数計算方法	10
4.2.2 円形ダクトの固有振動数計算方法	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.1.1 矩形ダクトの構造強度評価方法	11
5.1.2 円形ダクトの構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
5.3 設計用地震力	18
6. 耐震支持間隔算定結果	19
7. 支持構造物設計の基本方針	23
7.1 支持構造物の構造及び種類	23
7.2 支持構造物の考慮事項	24
7.3 支持構造物の耐震性確認	25
8. 引用文献	25

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」及びVI-2-1-13「ダクト及び支持構造物の耐震計算について」にて設定している設計方針に基づき、中央制御室空調換気系ダクトが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

中央制御室空調換気系ダクトは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室空調換気系ダクトの構造計画を表2-1に示す。

2.2 ダクト設計の基本方針

2.2.1 耐震設計の原則

ダクト及びその支持構造物は、耐震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。

2.2.2 ダクト及び支持構造物の設計手順

ダクトの経路は、建物の形状、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。

表 2-1 構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
ダクトは、支持構造物を介して躯体へ支持されている。	矩形ダクト 円形ダクト	<p>接合フランジ</p> <p>補強材</p> <p>外側</p> <p>内側</p> <p>(断続溶接)</p> <p>(断続溶接)</p> <p>溶接ダクト ダクト継ぎ部</p> <p>溶接ダクト (矩形) コーナー部</p> <p>ハゼ折ダクト (矩形)</p> <p>ハゼ折ダクト (円形)</p> <p>外側</p> <p>内側</p> <p>ダクト継目部 (図中A)</p>

2.2.3 耐震重要度別による設計方針

ダクトは、表 2-2 に示す設計方針とする。

表 2-2 耐震重要度分類と設計方針

分類	耐震重要度分類	機器等の区分	設計方針
設計基準 対象施設	Sクラス	—	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、「4. 固有振動数の計算方法」及び「5. 構造強度評価」に基づき算出する。）。
重大事故等 対処設備	—	重大事故等 クラス2管	

2.2.4 設計用地震力

ダクトについては、VI-2-1-1「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。なお、「2.2.5 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（20Hz以上）となる領域で設計することから、静的震度及び $1.2 \cdot ZPA$ を使用する。

2.2.5 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。

ダクトの支持点は、手法1の支持間隔で計画する。その支持間隔算定はダクトの固有振動数が20Hz以上となる支持間隔と静的震度及び $1.2 \cdot ZPA$ 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。支持点設計手順を図2-1に示す。

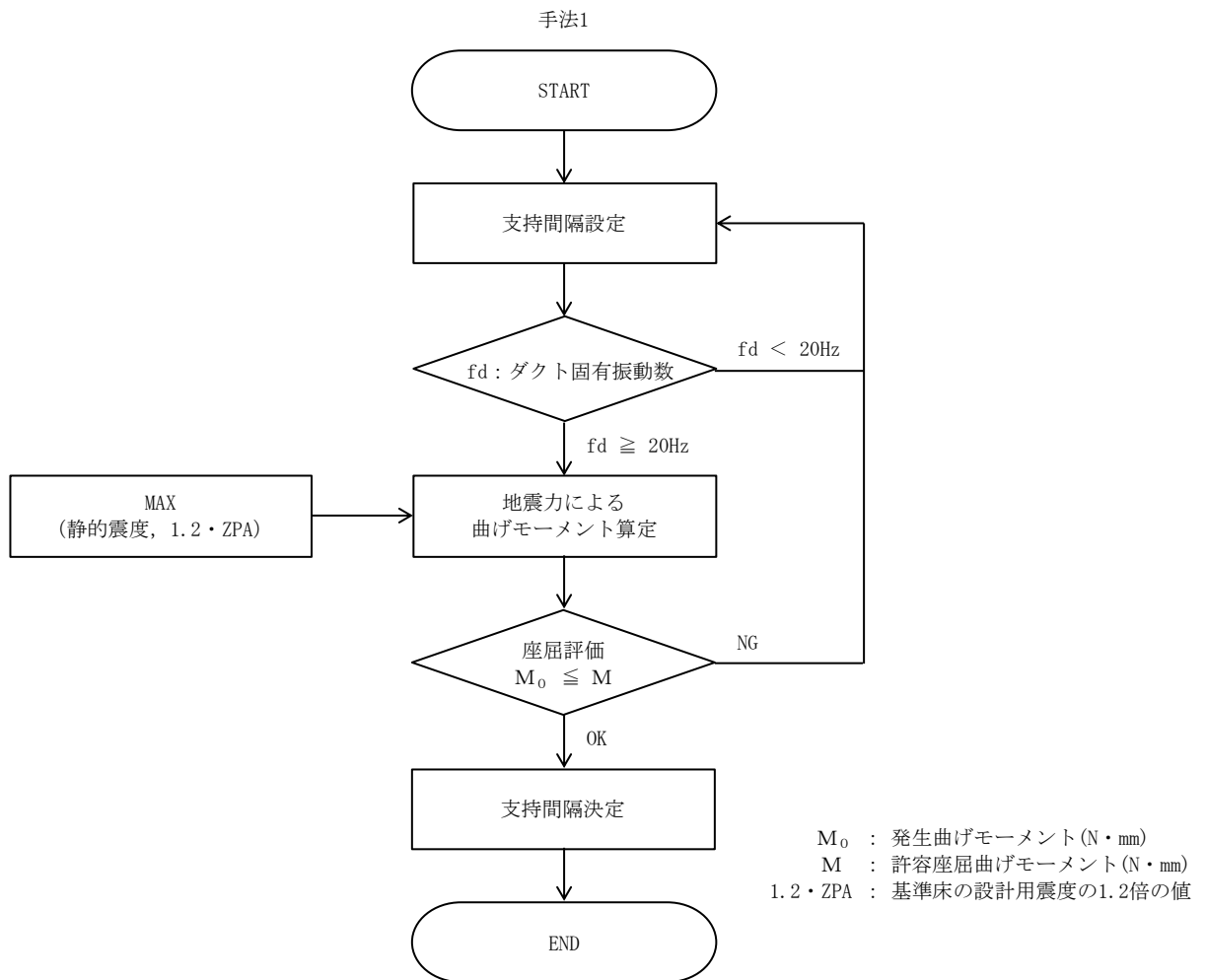


図 2-1 ダクト支持点設計手順

2.2.6 支持方法

(1) 直管部

ダクトの直管部は、「5. 構造強度評価」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設計とする。

(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、「5. 構造強度評価」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) 分岐部

分岐部は、「5. 構造強度評価」で求まる支持間隔に縮小率を乗じた支持間隔を用いて支持点を設計する。

(4) 重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ等の重量物を取り付く場合は、その近傍又は重量物自体を支持するものとする。なお、近傍を支持する場合には、「5. 構造強度評価」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。

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・J I S G 3 3 0 2 (1994) 「溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」

2.4 記号の説明

2.4.1 矩形ダクトの記号の説明

記号	記号の説明	単位
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	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
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 $b/t \leq 600 \cdots \beta = 0.75$, $b/t > 600 \cdots \beta = 0.6$)	—
a	ダクト長辺寸法	mm
b	ダクト短辺寸法	mm
a e	ダクトフランジの有効幅	mm
b e	ダクトウェブの有効幅	mm
t	ダクト板厚	mm
M_0	発生曲げモーメント	N・mm
α	設計震度 (水平震度又は鉛直震度の大きい方)	—
M	許容座屈曲げモーメント	N・mm
S	許容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*	—
ν	ポアソン比 (=0.3)	—
σ_y	降伏点 (= S_y)	MPa
γ	座屈限界曲げモーメントの安全係数* (=0.6)	—

注記* : 引用文献(1)より定義される係数

2.4.2 円形ダクトの記号の説明

記号	記号の説明	単位
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	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
Z	断面係数	mm ³
W	ダクト単位長さ重量	N/mm
C	弾性座屈曲げモーメントの補正係数 (=0.72)	—
d_1	ダクト内径寸法	mm
d_2	ダクト外径寸法	mm
R	ダクト内半径寸法	mm
t	ダクト板厚	mm
M_0	発生曲げモーメント	N・mm
α	設計震度 (軸直角2方向の震度のベクトル和)	—
M	許容座屈曲げモーメント	N・mm
S	許容座屈曲げモーメントの安全係数 (=0.7)	—
M_{cr}	弾性座屈曲げモーメント	N・mm
M_T	座屈限界曲げモーメント	N・mm
ν	ポアソン比 (=0.3)	—
σ_{cr}	弾性座屈応力	MPa
σ_y	降伏点 (=S _y)	MPa

2.4.3 支持構造物の記号の説明

記号	記号の説明	単位
f_t	許容引張応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
σ_t	引張（圧縮）応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
σ	組合せ応力	MPa
A	引張（圧縮）応力計算に用いる断面積	mm ²
A_s	せん断応力計算に用いる断面積	mm ²
Z	曲げ応力計算に用いる断面係数	mm ³
N	引張（圧縮）方向荷重	N
Q	せん断方向荷重	N
M_0	曲げモーメント	N・mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
外径	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
厚さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
支持間隔	mm	十の位	切捨て	整数位
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
計算応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ダクトの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、実施する。

4. 固有振動数の計算方法

4.1 計算モデル

ダクト系は、図 4-1 に示す両端を支持構造物で支持された両端単純支持はりにモデル化する。

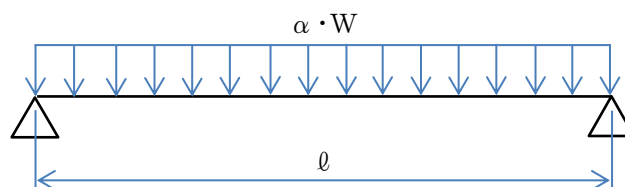


図 4-1 両端単純支持はり

4.2 固有振動数計算方法

4.2.1 矩形ダクトの固有振動数計算方法

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は、引用文献(1)より次式で与えられる。算出に用いる矩形ダクトの断面図を図4-2に示す。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ここで、

$$I = \left(\frac{t \cdot be^3}{6} + a \cdot e \cdot t \cdot \frac{be^2}{2} \right) \cdot \beta \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

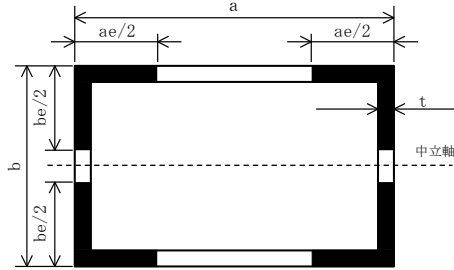


図4-2 矩形ダクトの断面図

4.2.2 円形ダクトの固有振動数計算方法

両端単純支持された円形ダクトの固有振動数は、次式で与えられる。算出に用いる円形ダクトの断面図を図4-3に示す。

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

ここで、

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_2^4 - d_1^4) \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

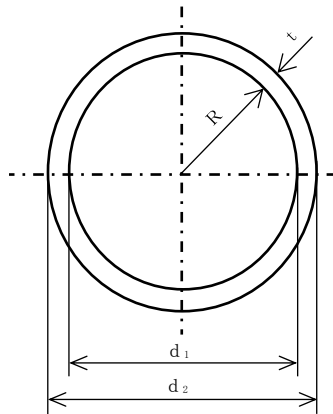


図4-3 円形ダクトの断面図

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

5.1.1 矩形ダクトの構造強度評価方法

矩形ダクトの座屈評価を以下に示す。地震時，両端単純支持されたダクトに生じる曲げモーメントは，引用文献(1)より次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで，設計震度 α は水平震度又は鉛直震度の大きい方をダクト短辺寸法に考慮する。なお，鉛直震度の評価では自重も考慮する。また，ダクトの座屈による大変形を防ぐために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。

$$M_0 \leq M \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

(5.1)，(5.2)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。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで，

$$M = S \cdot M_T \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

$$M_T = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y \cdot \gamma} \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + a \cdot e \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

5.1.2 円形ダクトの構造強度評価方法

円形ダクトの座屈評価を以下に示す。地震時，両端単純支持されたダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで，設計震度 α は軸直角2方向の震度をベクトル和で組合せ，鉛直震度に対しては自重も考慮する。また，ダクトの座屈による大変形を防ぐために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。

$$M_0 \leq M \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

(5.7), (5.8)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。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \dots\dots\dots (5.9)$$

ここで,

$$M = S \cdot M_T \dots\dots\dots (5.10)$$

$$M_T = \min(\sigma_{cr}, \sigma_y) \cdot Z \dots\dots\dots (5.11)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{Z} \dots\dots\dots (5.12)$$

$$M_{cr} = \frac{C \cdot E \cdot R \cdot t^2}{(1 - \nu^2)} \dots\dots\dots (5.13)$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \dots\dots\dots (5.14)$$

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

ダクトの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

(2) 許容限界

ダクトの許容限界は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき, 表5-3及び表5-4に, 支持構造物の許容応力を表5-5に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

ダクト及び支持構造物の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-6に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-7に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室空調換気系 主配管	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^* \text{ *2}$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

注記*1：クラス4管の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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当たり、評価手法上、ダクト材の降伏点又は弾性座屈応力を使用するため、基準地震動 S_s 評価と弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力（ 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、 S_d^* は S_s に包絡されるため、 S_d^* に対する評価は省略する。

13

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室空調換気系 主配管 及び排気ダクト*2	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s \text{ *3}$	VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：中央制御室バウンダリを構成するダクトを示す。

*3：「 $D + P_D + M_D + S_s$ 」の評価に包絡される場合は、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容限界 (クラス 4 管)

許容応力状態	許容限界
Ⅲ _A S	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「5. 構造強度評価」に基づき許容座屈曲げモーメントより算出する。)
Ⅳ _A S	

表 5-4 許容限界 (重大事故等クラス 2 管 (クラス 4 管))

許容応力状態	許容限界
Ⅳ _A S	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「5. 構造強度評価」に基づき許容座屈曲げモーメントより算出する。)
Ⅴ _A S	

表 5-5 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）*1

許容応力状態	許容限界*2 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	曲げ	組合せ*3
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)				

注記*1: f_t^* , f_s^* , f_b^* は, f_t , f_s , f_b の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)本文中「付録材料図表 Part5

表 8 に定める値」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に定める値の 1.2 倍の値」と読み替えて計算した値とする。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3: 組合せ応力の許容応力は, 設計・建設規格に基づく値とする。

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S ^{*1} (MPa)	S _y (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (R T) ^{*1} (MPa)
			中央制御室 空調換気系 主配管	ダクト	SPGC	最高使用温度	40	—
SGCC	最高使用温度	40			—	<input type="text"/>	—	—
SS41	最高使用温度	40			—	245	—	—
SS400	最高使用温度	40			—	245	—	—
支持架構	SS41	周囲環境温度		50	—	241	394	—

注記*1：評価に使用していない許容応力については「—」と記載する。

*2：

表 5-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S ^{*1} (MPa)	S _y (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (R T) ^{*1} (MPa)
			最高使用温度					
中央制御室 空調換気系 主配管	ダクト	SPGC	最高使用温度	40	—		—	—
		SGCC	最高使用温度	40	—		—	—
		SS41	最高使用温度	40	—	245	—	—
		SS400	最高使用温度	40	—	245	—	—
	支持架構	SS41	周囲環境温度	50	—	241	394	—
		SS400	周囲環境温度	50	—	241	394	—
		STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
中央制御室 空調換気系 排気ダクト	ダクト	SPGC	周囲環境温度	50	—		—	—
		SS400	周囲環境温度	50	—	241	—	—

注記*1：評価に使用していない許容応力については「—」と記載する。

*2：

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-8 及び表 5-9 に示す。

本計算書において評価に用いる弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づく。

なお、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当たり、評価手法上、ダクト材の降伏点又は弾性座屈応力を使用するため、 S_s 評価と 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、 S_d は S_s に包絡されるため、 S_d に対する評価は省略する。

表 5-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	建物・構築物	標高(EL) (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
中央制御室 空調換気系 主配管			1.31 ^{*1}	0.59 ^{*1}	1.55 ^{*2}	1.16 ^{*2}
			1.45 ^{*1}	0.61 ^{*1}	2.43 ^{*2}	1.19 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又は静的震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）

表 5-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	建物・構築物	標高(EL) (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
中央制御室 空調換気系 主配管			1.31 ^{*1}	0.59 ^{*1}	1.55 ^{*2}	1.16 ^{*2}
			1.45 ^{*1}	0.61 ^{*1}	2.43 ^{*2}	1.19 ^{*2}
中央制御室 空調換気系 排気ダクト			1.77 ^{*1}	0.62 ^{*1}	2.24 ^{*2}	1.29 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又は静的震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）

6. 耐震支持間隔算定結果

中央制御室空調換気系ダクトの耐震支持間隔は、「2.2 ダクト設計の基本方針」に示す手法1から定めており、設計基準対象施設としての支持間隔を表6-1に、重大事故等対処設備としての支持間隔を表6-2に示す。この支持間隔以内で支持することにより、耐震性を確保する。

表6-1 中央制御室空調換気系ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）

機器名称	ダクト種別*	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 ($f_d \geq 20\text{Hz}$) (mm)	発生曲げモーメント M_0 ($\text{N}\cdot\text{mm}$)	許容座屈曲げモーメント M ($\text{N}\cdot\text{mm}$)	
		長辺 (mm)	短辺 (mm)					
中央制御室 空調換気系 主配管	亜鉛鉄板 ハゼ折ダクト (SPGC)	900	900	1.0				
		1000	900	0.8				
		1100	700	0.8				
		1200	700	0.8				
		1200	700	1.0				
		1200	1200	0.8				
		1200	1200	1.0				
		1300	1300	1.0				
		1500	900	1.0				
		1500	1100	1.0				
		1500	1500	1.0				
		1500	1500	1.2				
		1600	1100	1.2				
		1600	1600	1.0				
		1800	1000	1.0				
		1800	1300	1.0				
		3000	800	1.2				
		$\phi 900$						1.0
	$\phi 1040$							1.0
	亜鉛めっき鋼板 ハゼ折ダクト (SGCC)	918	827	0.8				
		1000	900	0.8				
		1000	900	1.0				
		1100	1000	0.8				
		1200	700	0.8				
		1300	900	1.0				
		1300	1300	1.0				
		1500	1500	1.0				

注記*：全て保温有りとして算出

表 6-1 中央制御室空調換気系ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）
（つづき）

機器名称	ダクト種別*	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 ($f_d \geq 20\text{Hz}$) (mm)	発生曲げ モーメント M_0 (N・mm)	許容座屈 曲げモー メント M (N・mm)
		長辺 (mm)	短辺 (mm)				
中央制御室 空調換気系 主配管	亜鉛めっき鋼板 ハゼ折ダクト (SGCC)	1800	1300	1.0			
		1800	1300	1.2			
		2000	1000	1.2			
		2100	1000	1.2			
		2600	1000	1.2			
		3000	1000	1.2			
		3250	1000	1.2			
		3800	1000	1.2			
		$\phi 900$		0.8			
	鋼板 溶接ダクト (SS41)	1100	700	2.3			
		1300	900	2.3			
	鋼板 溶接ダクト (SS400)	1100	700	3.2			
		1206	1206	2.3			
		1300	900	3.2			
		1306	1306	2.3			

注記*：全て保温有りとして算出

表 6-2 中央制御室空調換気系ダクトの耐震支持間隔（重大事故等対処設備としての評価結果）

機器名称	ダクト種別*1	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 (fd≥20Hz) (mm)	発生曲げ モーメント M ₀ (N・mm)	許容座屈 曲げモー メント M (N・mm)	
		長辺 (mm)	短辺 (mm)					
中央制御室 空調換気系 主配管	亜鉛鉄板 ハゼ折ダクト (SPGC)	900	900	1.0				
		1000	900	0.8				
		1100	700	0.8				
		1200	700	0.8				
		1200	700	1.0				
		1200	1200	0.8				
		1200	1200	1.0				
		1300	1300	1.0				
		1500	900	1.0				
		1500	1100	1.0				
		1500	1500	1.0				
		1500	1500	1.2				
		1600	1100	1.2				
		1600	1600	1.0				
		1800	1000	1.0				
		1800	1300	1.0				
		3000	800	1.2				
		φ 900						1.0
	φ 1040							1.0
	亜鉛めっき鋼板 ハゼ折ダクト (SGCC)	918	827	0.8				
		1000	900	0.8				
		1000	900	1.0				
		1100	1000	0.8				
		1200	700	0.8				
		1300	900	1.0				
		1300	1300	1.0				
		1500	1500	1.0				

注記*1：全て保温有りとして算出

*2：重大事故等対処設備としての支持間隔は，設計基準対象施設としての支持間隔と同様であるため，記載を省略する。

表 6-2 中央制御室空調換気系ダクトの耐震支持間隔（重大事故等対処設備としての評価結果）
（つづき）

機器名称	ダクト種別*1	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 ($f_d \geq 20\text{Hz}$) (mm)	発生曲げ モーメント M_0 (N・mm)	許容座屈 曲げモー メント M (N・mm)
		長辺 (mm)	短辺 (mm)				
中央制御室 空調換気系 主配管	亜鉛めっき鋼板 ハゼ折ダクト (SGCC)	1800	1300	1.0			
		1800	1300	1.2			
		2000	1000	1.2			
		2100	1000	1.2			
		2600	1000	1.2			
		3000	1000	1.2			
		3250	1000	1.2			
		3800	1000	1.2			
		$\phi 900$		0.8			
		$\phi 900$		1.0			
	鋼板 溶接ダクト (SS41)	1100	700	2.3			
		1300	900	2.3			
	鋼板 溶接ダクト (SS400)	800	800	3.2			
		1100	700	3.2			
		1206	1206	2.3			
		1300	900	3.2			
		1306	1306	2.3			
		1400	800	3.2			
		5100	1400	3.2			
		$\phi 900$		3.2			
中央制御室 空調換気系 排気ダクト	亜鉛鉄板 ハゼ折ダクト (SPGC)	800	800	0.8			
		800	800	1.2			
		2800	1550	1.2			
		$\phi 900$		0.8			
	鋼板 溶接ダクト (SS400)	800	800	2.3			
		805	805	3.2			

注記*1：全て保温有りとして算出

*2：重大事故等対処設備としての支持間隔は、設計基準対象施設としての支持間隔と同様であるため、記載を省略する。

7. 支持構造物設計の基本方針

7.1 支持構造物の構造及び種類

支持構造物は、形鋼及び角形鋼管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。

- (1) ダクト軸直角の2方向を拘束するもの
- (2) ダクト軸方向及び軸直角の3方向を拘束するもの
- (3) ダクト軸方向及び軸直角の3方向並びにモーメントを拘束するもの（アンカ）

図7-1 から図7-4 に支持構造物の代表例を示す。

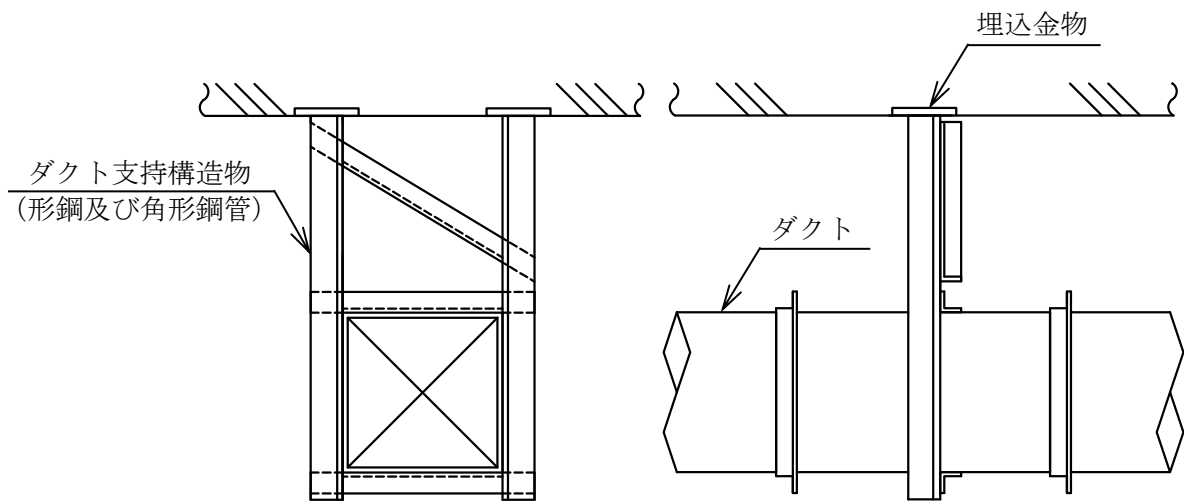


図7-1 2方向（軸直角方向）拘束の代表例

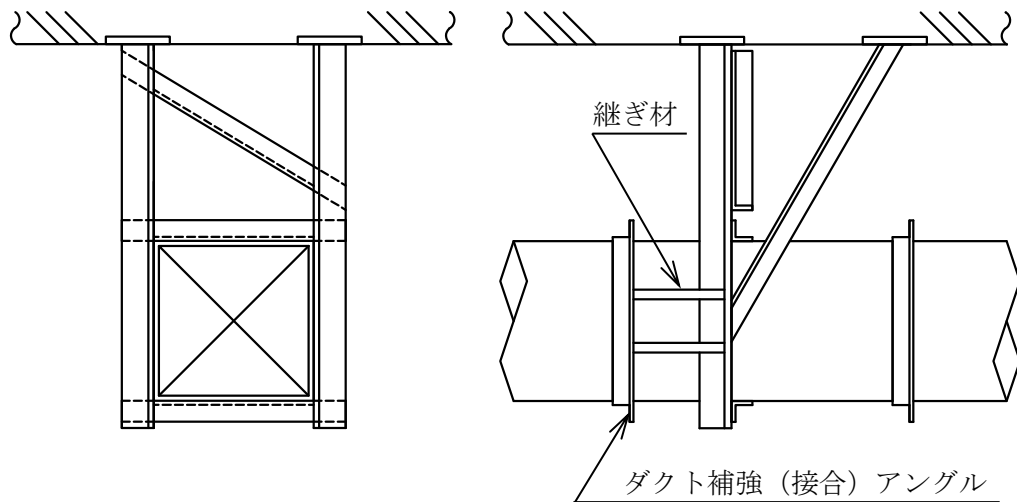


図7-2 3方向（軸方向及び軸直角方向）拘束の代表例

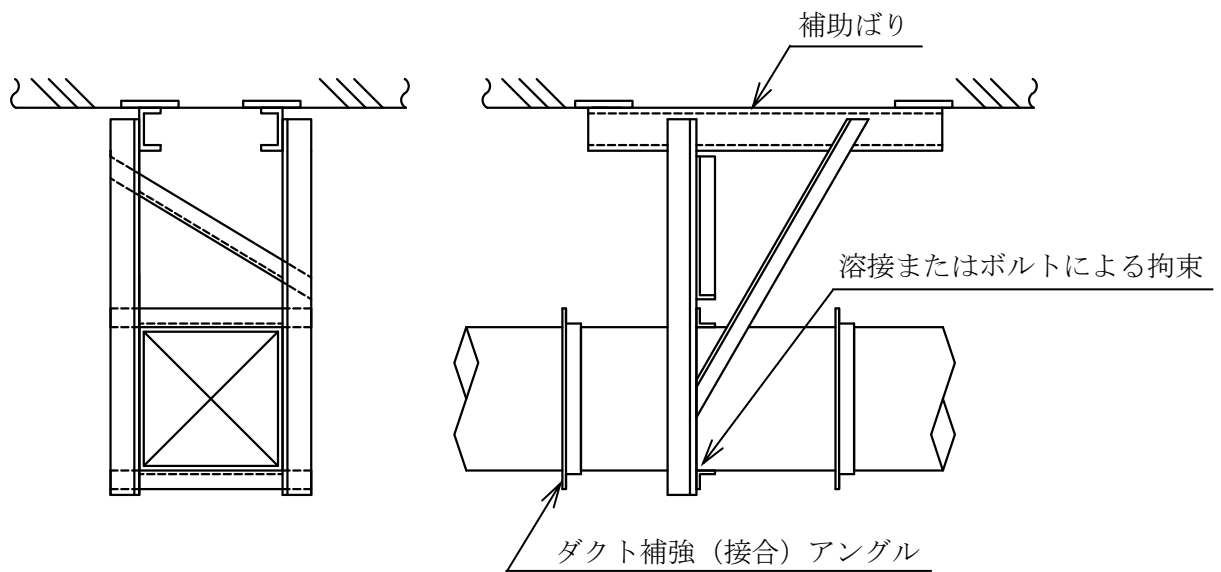


図7-3 3方向（軸方向及び軸直角方向）並びにモーメント拘束の代表例

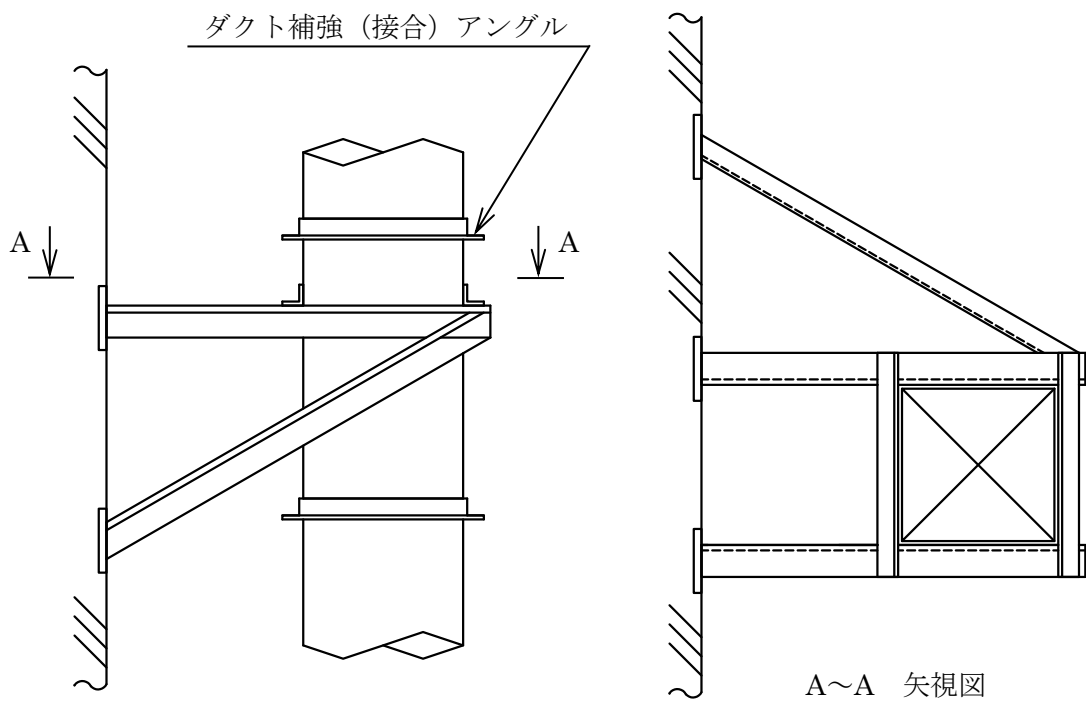


図7-4 垂直ダクトの支持の代表例（2方向（軸直角方向）拘束の代表例）

7.2 支持構造物の考慮事項

支持構造物の構造は、ダクトに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。なお、ダクトの荷重は、隣接する支持構造物の距離より定まる負担割合（ダクト長さ）から求めたダクト重量（ダクトに取付くダンパ等の重量物も考慮する）に地震力（震度）を乗じて算出する。

7.3 支持構造物の耐震性確認

各支持構造物を、種類及び型式ごとに分類し、それぞれ最大の荷重を負担する支持構造物を代表としてその耐震性の確認結果を表7-1に示す。

耐震性の確認には、解析コード「NSAFE」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

また、支持構造物の強度計算式を以下に示す。

なお、以下に示す計算式は代表的な形状に対するものであり、記載のない形状についても同様の計算式で計算できる。

$$\sigma_t = N / A$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma_b = M_0 / Z$$

したがって、

$$1.5 \cdot f_t^* \geq \sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

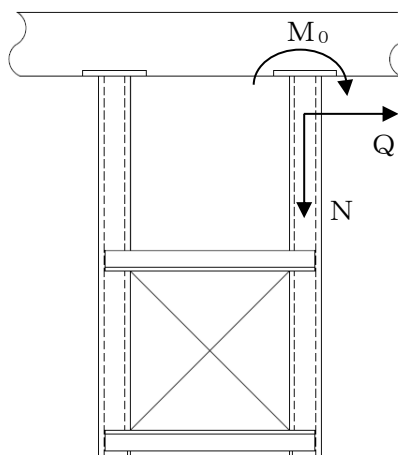


表7-1 ダクト支持構造物の耐震性確認結果

支持 構造物 番号	種類	型式*	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (N)			モーメント (N・mm)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
W2F10-AS-2018	レストレイント	2RE	SS41	50	6.420E+03	8.960E+03	1.548E+04	—	—	—	組合せ	120	276
757-S-001	レストレイント	3RE	STKR400	50	9.260E+03	1.417E+04	2.016E+04	—	—	—	組合せ	85	276
446-S-001	アンカ	AN	SS400	50	2.507E+04	3.494E+04	2.368E+04	1.534E+06	1.101E+06	0.000	組合せ	125	276

注記*：「2RE」はダクト軸直角の2方向を拘束するもの、「3RE」はダクト軸方向及び軸直角の3方向を拘束するもの、「AN」はダクト軸方向及び軸直角の3方向並びにモーメントを拘束するものを示す。

8. 引用文献

- (1) 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」, 昭和61年3月