

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-091 改 21
提出年月日	平成 30 年 6 月 7 日

V-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

目次

- V-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-2 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-4 排気筒の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-5 換気空調設備の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-7 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-8 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-9 配管及び弁の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書
- V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書
- V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

: 今回ご説明分

V-3-別添 1-1-5 換気空調設備の強度計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	1
2.3 評価方針.....	4
2.4 適用規格.....	9
3. 強度評価方法.....	10
3.1 記号の定義.....	10
3.2 評価対象部位.....	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	19
3.4 許容限界.....	21
3.5 評価方法.....	25
4. 評価条件.....	36
5. 強度評価結果.....	41

1. 概要

本資料は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、角ダクト、丸ダクト、換気空調設備の隔離弁（以下「隔離弁」という。）、ファン及び冷凍機が竜巻時及び竜巻通過後においても、その施設の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機の構造について、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、十分な強度を有する原子炉建屋内、原子炉建屋付属棟屋上面又はディーゼル発電機室屋上面に設置する。

2.2 構造概要

換気空調設備の構造について、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、換気空調設備の構造を示す。

(1) 角ダクト及び丸ダクトの構造概要

角ダクトは、鋼板により構成される四角形断面のダクトであり、支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持する。

丸ダクトは、鋼板により構成される円筒形のダクトであり、支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持する。

角ダクトの概要図を図 2-1 に、丸ダクトの概要図を図 2-2 に示す。

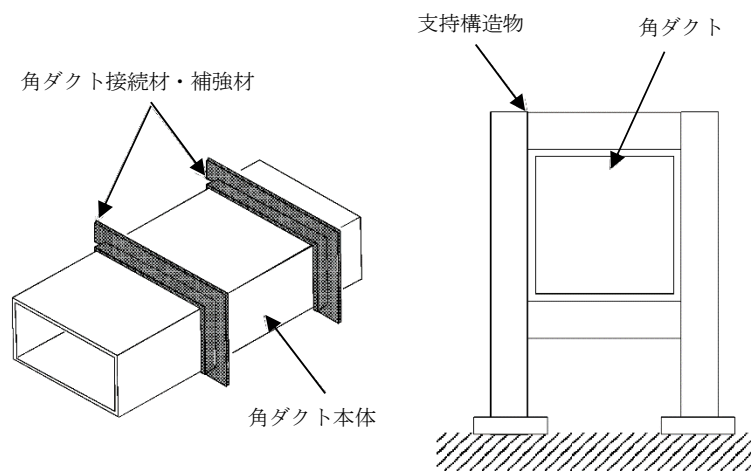


図 2-1 角ダクトの概要図

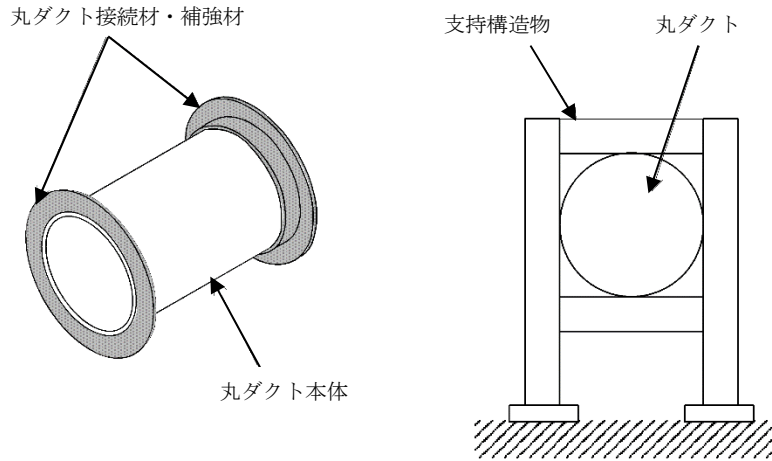


図 2-2 丸ダクトの概要図

(2) 隔離弁の構造概要

隔離弁は弁箱内部の弁体が弁棒を軸として回転することにより、開閉動作を行う弁である。隔離弁の概要図を図 2-3 に示す。

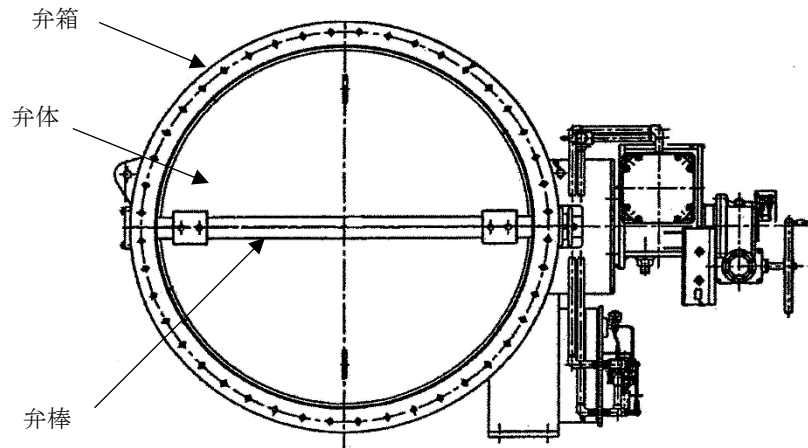


図 2-3 隔離弁の概要図

(3) ファンの構造概要

ファンは流路を形成するケーシング、冷却するための空気を送り込む羽根車及び原動機からの回転力を伝達する主軸で形成する。

中央制御室換気系フィルタ系ファンは屋内に設置しており、非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ルーフベントファン（以下「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。）は屋外に設置している。

ファンの概要図を図 2-4, 図 2-5 に示す。

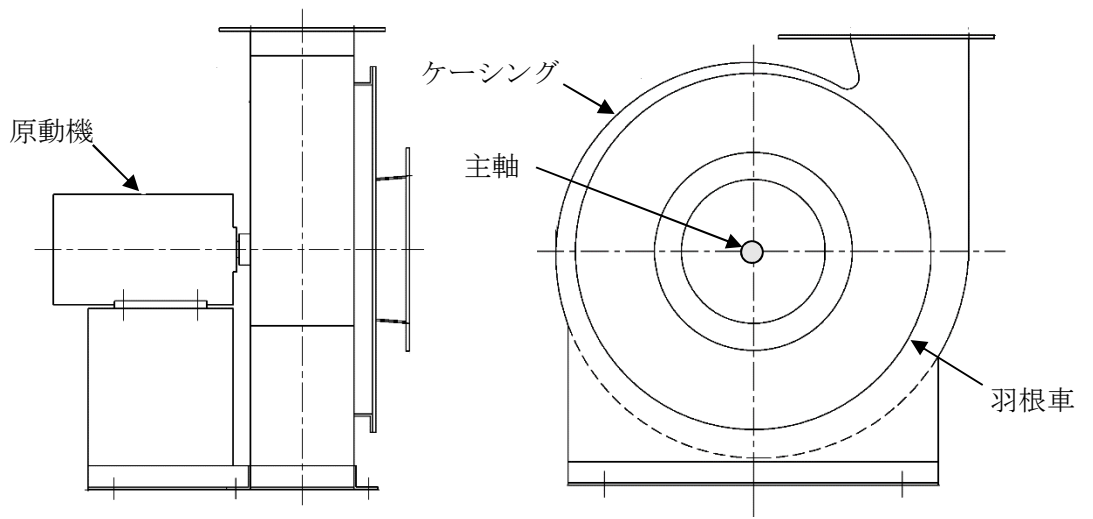


図 2-4 ファンの概要図 (中央制御室換気系フィルタ系ファン)

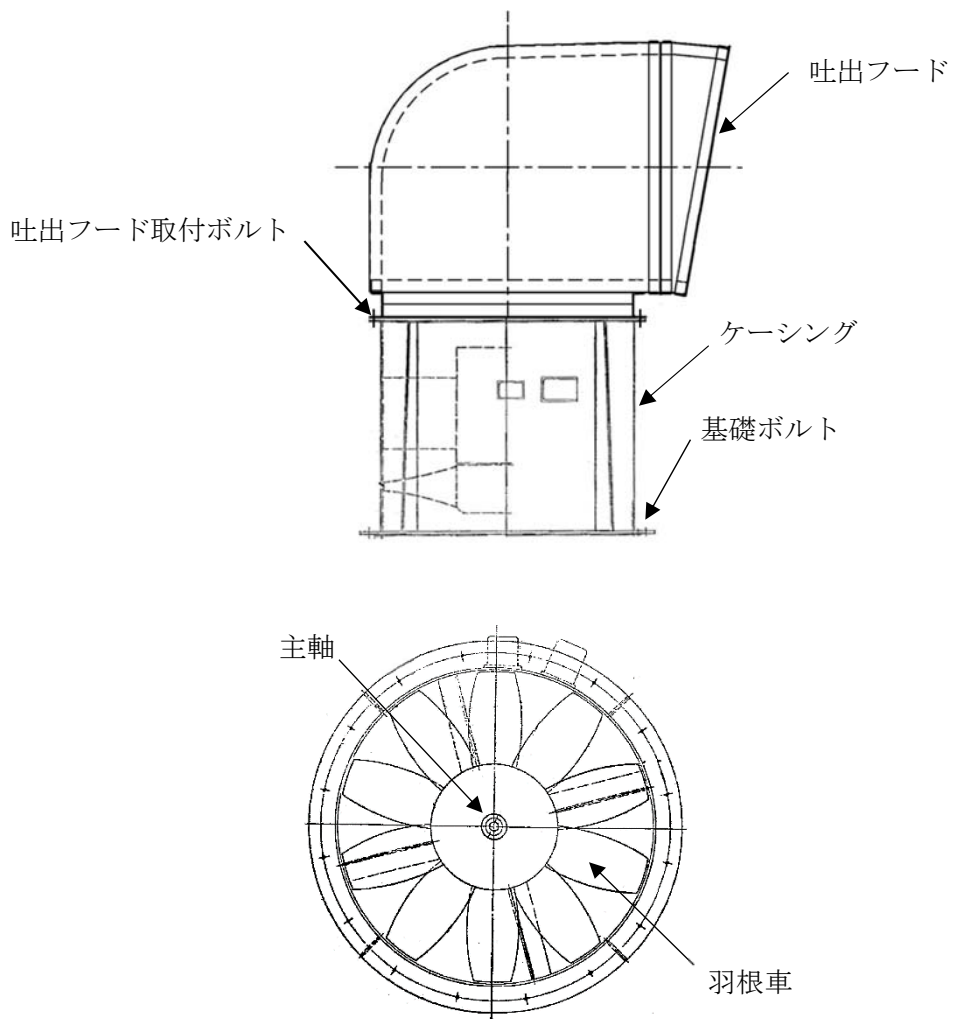


図 2-5 ファンの概要図 (ディーゼル発電機室ルーフベントファン)

(4) 冷凍機の構造概要

中央制御室換気系冷凍機は、空気を冷却する熱交換器、圧縮機及び送風機をケーシングで覆ったユニット形式であり、屋外に設置している。

中央制御室換気系冷凍機の概要図を図 2-6 に示す。

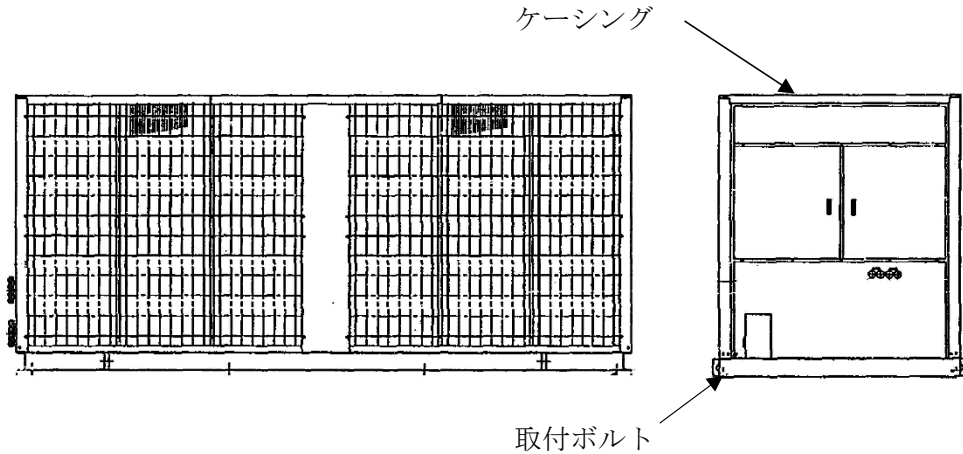


図 2-6 冷凍機の概要図（中央制御室換気系冷凍機）

2.3 評価方針

換気空調設備の強度評価は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機の各評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

(1) 衝突評価の評価方針

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価フローを図2-7に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外壳を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」に示す許容限界である、外壳を構成する部材の厚さとする。

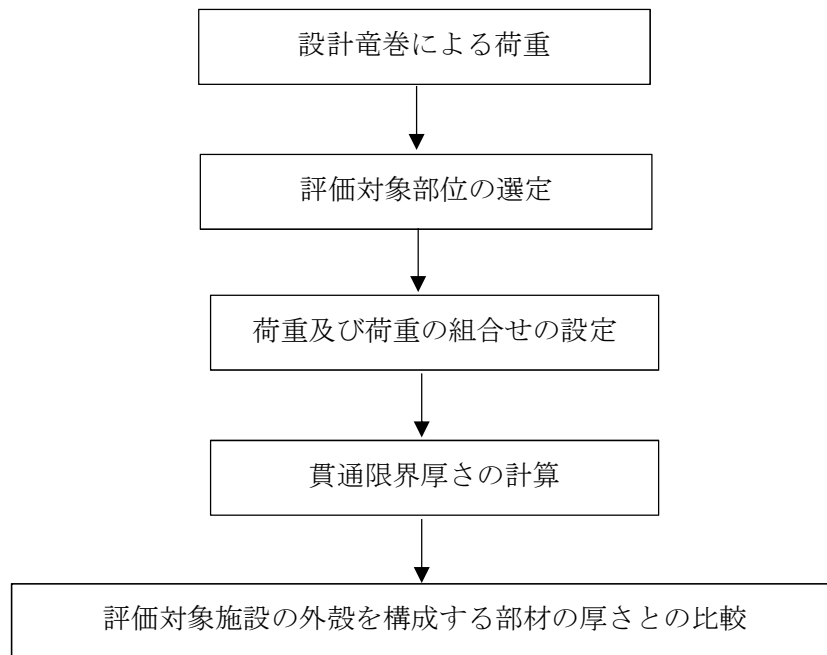


図2-7 屋外に設置する換気空調設備の衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

a. 角ダクト及び丸ダクトの評価方針

角ダクト及び丸ダクトの強度評価フローを図 2-8 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する、外気と繋がっている換気空調設備のうち、角ダクト及び丸ダクトの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

角ダクトの強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし、自重との組合せを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す角ダクトの評価式を用いる。

角ダクトの許容限界は、妥当な安全裕度を考慮して、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_AS とする。ただし、座屈に対しては評価式を満足することを確認する。

丸ダクトの強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし、自重との組合せを考慮して、外圧により生じる周方向応力が許容応力以下であること及び長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）により生じる応力が評価式を満足していることを確認する。強度評価では、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す丸ダクトの評価式を用いる。

丸ダクトの許容限界は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、クリッピング座屈の算出式に応じた値とする。

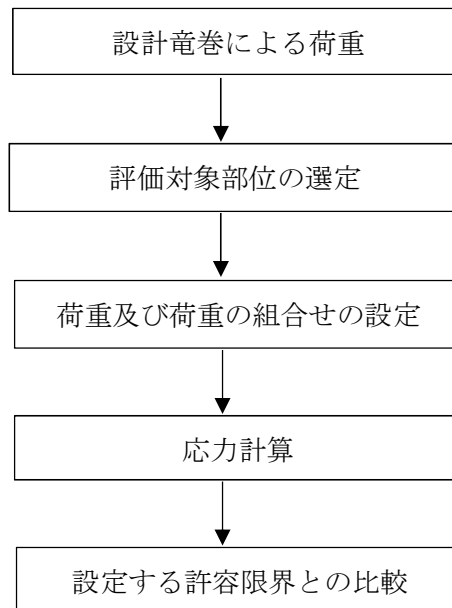


図 2-8 角ダクト及び丸ダクトの強度評価フロー

b. 隔離弁の評価方針

隔離弁の強度評価フローを図 2-9 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する、外気と繋がっている換気空調設備のうち、隔離弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

強度評価においては、隔離弁に対して、設計竜巻の気圧差による荷重により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す隔離弁の評価方法を用いる。

隔離弁の許容限界は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

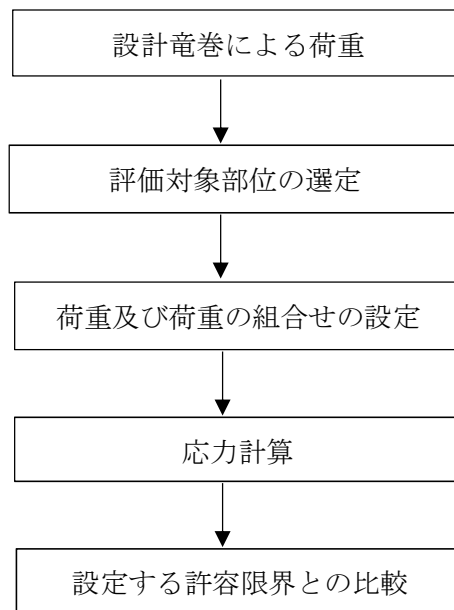


図 2-9 隔離弁の強度評価フロー

c. ファンの評価方針

ファンの強度評価フローを図 2-10 に示す。

強度評価において、屋外に設置する換気空調設備については、設計竜巻の風圧力による荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「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）及び「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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における 1 質点系モデルによる評価方法を準用する。また、竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する外気と繋がっている換気空調設備については、設計竜巻の気圧差による荷重により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すファンの評価式を用いる。

ファンの許容限界は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

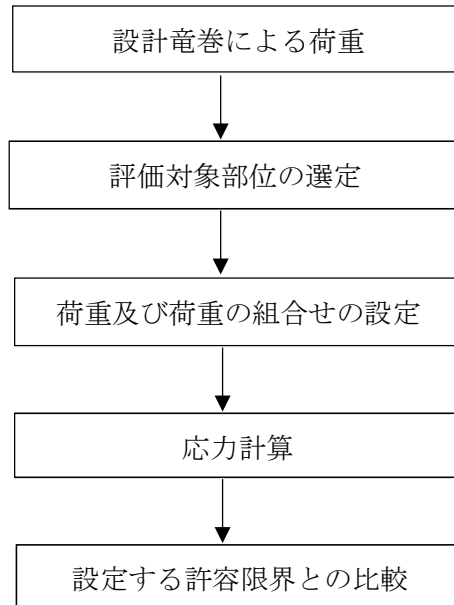


図 2-10 ファンの強度評価フロー

d. 冷凍機の評価方針

冷凍機の強度評価フローを図 2-11 に示す。

強度評価においては、中央制御室換気系冷凍機に対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「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）及び「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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す冷凍機の評価式を用いる。

冷凍機の許容限界は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

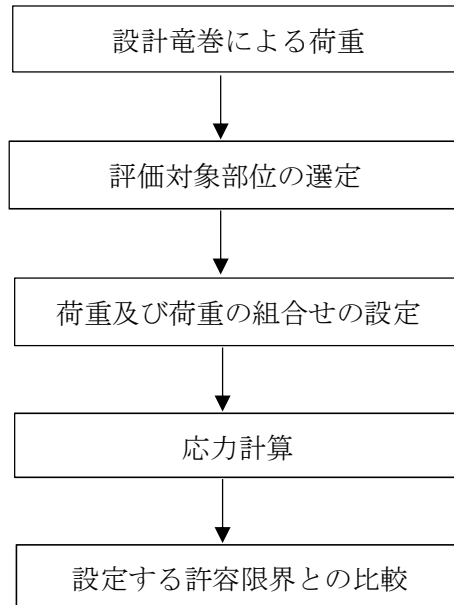


図 2-11 冷凍機の強度評価フロー

2.4 適用規格

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 J S M E S N C 1-2005/2007」 (社) 日本機械学会 (以下「J S M E」という。)
- ・日本工業規格(J I S)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価の記号の定義

a. 角ダクト

角ダクトの強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 角ダクトの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
D_p	kg/m ²	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
g	m/s ²	重力加速度
I	mm ⁴	断面二次モーメント
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M	N・mm	ダクトに作用する曲げモーメント
M_p	N・mm	自重により作用する曲げモーメント
P	MPa	ダクトにかかる外圧
S_y	MPa	J S ME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	ダクト板厚
δ_{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率

表3-2 角ダクトの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たり重量
ν	—	ポアソン比
σ_{max}	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
σ_{p1}	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
σ_{p2}	MPa	面内荷重（自重）による発生応力
σ_w	MPa	短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力と長期荷重（自重）による発生応力の和
σ_y	MPa	許容応力

b. 丸ダクト

丸ダクトの強度評価に用いる記号を表3-3に示す。

表3-3 丸ダクトの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
c	mm	補強ピッチ
E	MPa	ヤング率
g	m/s ²	重力加速度
k_p	—	座屈係数
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M_{crip}	N・mm	クリッピング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント
M_p	N・mm	自重により作用する曲げモーメント
n	—	座屈モードの次数
r	mm	丸ダクトのダクト半径
t	mm	ダクト板厚
Z_c	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
β	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たりの質量
ν	—	ポアソン比
π	—	円周率
σ_{crip}	MPa	クリッピング座屈が発生する際に生じる周方向応力
σ_{crip1}	MPa	外圧により生じる周方向応力

c. 隔離弁

隔離弁の強度評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表3-4 隔離弁の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_s	m^2	弁棒の断面積
A_v	m^2	弁体の受圧面積
a	mm	弁体の半径
d	mm	弁棒の直径
F_1	N	設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重
F_2	N	弁体自重により弁棒に受ける荷重
g	m/s^2	重力加速度 ($g=9.80665$)
h	mm	弁体の板厚
m_v	kg	弁体自重
m_s	kg	弁棒自重
P_1	Pa	設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力
P_2	Pa	自重により弁体に受ける応力
p_v	Pa	弁体に受ける応力
p_s	N	弁棒に受ける荷重
r	mm	内半径
S_y	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
π	—	円周率
τ	MPa	弁棒に対するせん断応力
σ_{max}	MPa	弁体に対する曲げ応力
σ_θ	MPa	周方向応力
ΔP	hPa	設計竜巻の気圧低下量

d. ファン

ファンの強度評価に用いる記号を表3-5に示す。

表3-5 ファンの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A _b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1(1)により規定される値
F _b	N	基礎ボルトに対する引張力
F _i	N	各ボルトに作用する引張力
f _s	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
f _t	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度（g=9.80665）
h	mm	全高
L ₁ ～L ₇	mm	支点と評価ボルト間の距離
L _i	mm	各ボルト間の距離
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
m	kg	ファンの質量
N	—	基礎ボルトの本数
Q _b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m ²	設計用速度圧
r	mm	ケーシング内半径
S _u	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S _y	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	ケーシング板厚
W _M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W _W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
σ _b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ _θ	MPa	周方向応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

e. 冷凍機

冷凍機の強度評価に用いる記号を表3-6に示す。

表3-6 冷凍機の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A _b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1(1)により規定される値
F _b	N	基礎ボルトに対する引張力
f _s	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
f _t	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度（g=9.80665）
h	mm	全高の1/2
L ₁	mm	基礎ボルト間の水平距離
L _H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	冷凍機の運転質量
N	—	基礎ボルトの本数
n _f	—	引張力を受ける基礎ボルトの本数
Q _b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m ²	設計用速度圧
S _u	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S _y	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
W _M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W _W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
σ _b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

3.2 評価対象部位

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

屋外に設置する換気空調設備の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる箇所を選定する。

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における評価対象部位を図3-1、図3-2に示す。

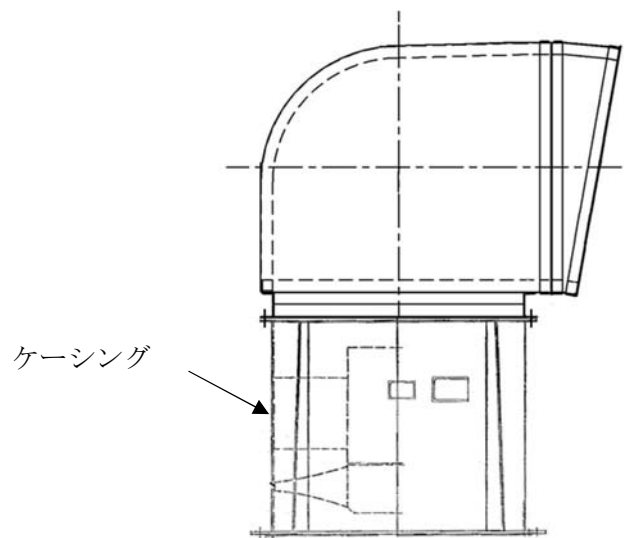


図 3-1 屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における評価対象部位
(ディーゼル発電機室ルーフベントファン)

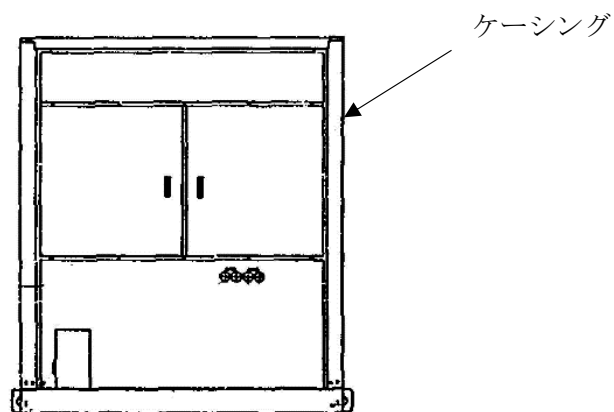


図 3-2 屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における評価対象部位
(中央制御室換気系冷凍機)

(2) 構造強度評価の評価対象部位

a. ダクトの評価対象部位

角ダクト及び丸ダクトの評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

(a) 角ダクト

下記の外気と繋がる換気空調系を評価対象とする。

- ・中央制御室換気系
- ・非常用ディーゼル発電機室換気系
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系

気圧差による荷重は、角ダクト本体の薄肉鋼板部に作用する。このことから、ダクト鋼板（本体）を評価対象部位として選定する。

角ダクトは薄肉角筒であり、発生応力はダクト鋼板中央部で最大となることから、ダクト鋼板を評価対象とする。フランジについては曲げモーメントが作用しないため、評価しない。ダクトは支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持されており、設計竜巻の気圧差によりダクトに作用する荷重は、ダクト支持構造物に作用しないことから、ダクト鋼板を評価する。

角ダクトの強度評価における評価対象部位を図3-3に示す。

ダクト鋼板（本体）

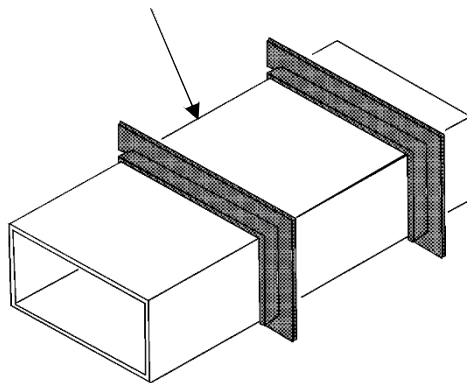


図3-3 角ダクトの評価対象部位

(b) 丸ダクト

下記の外気と繋がる換気空調系を評価対象とする。

- ・原子炉建屋換気系
- ・中央制御室換気系

気圧差による荷重は、丸ダクト本体の薄肉鋼板部に作用する。このことから、ダクト鋼板（本体）を評価対象部位として選定する。

丸ダクトは薄肉円筒であり、座屈を考慮してダクト鋼板を評価対象とする。
丸ダクトの強度評価における評価対象部位を図3-4に示す。

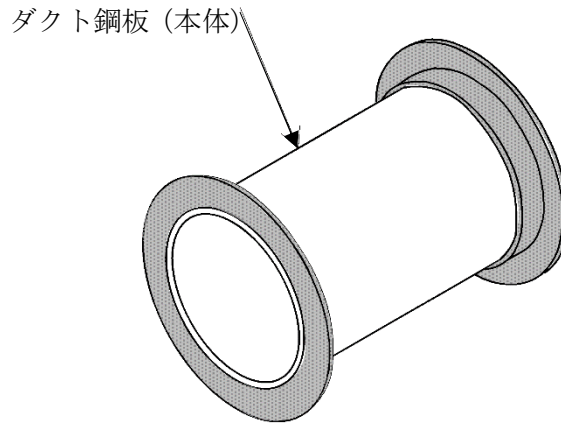


図3-4 丸ダクトの評価対象部位

b. 隔離弁の評価対象部位

隔離弁の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

気圧差による荷重は、隔離弁本体の耐圧部に作用する。

このことから、耐圧部を評価対象部位として選定する。

隔離弁の強度評価における評価対象部位を、図3-5に示す。

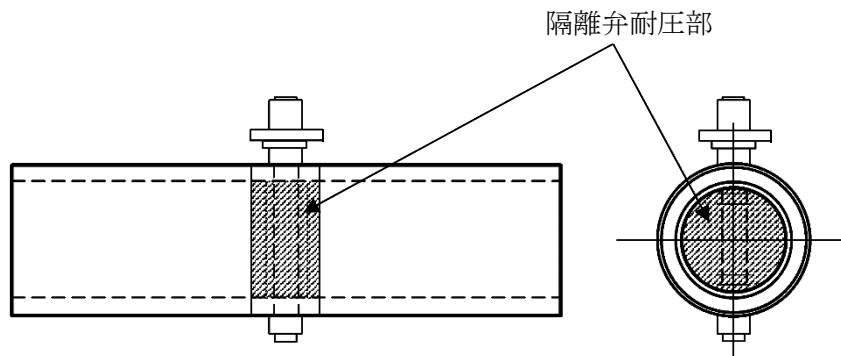


図3-5 隔離弁の評価対象部位

c. ファンの評価対象部位

ファンの評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する、外気と繋がっている換気空調設備における気圧差による荷重は、ファンのケーシングに作用する。

このことから、ケーシングを評価対象部位として設定する。

また、屋外に設置する換気空調設備におけるファンに作用する風圧力による荷重は、吐出フード及びケーシングに作用するが、荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトを強度評価の評価対象部位として選定する。

ファンの強度評価における評価対象部位を、図3-6～図3-7に示す。

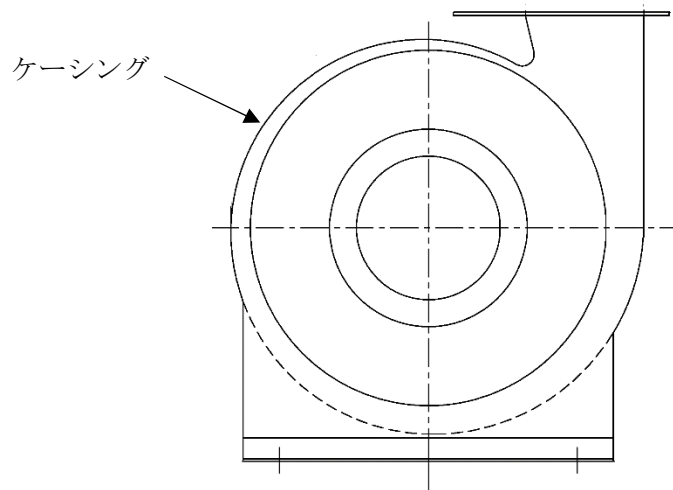


図3-6 ファンの評価対象部位（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

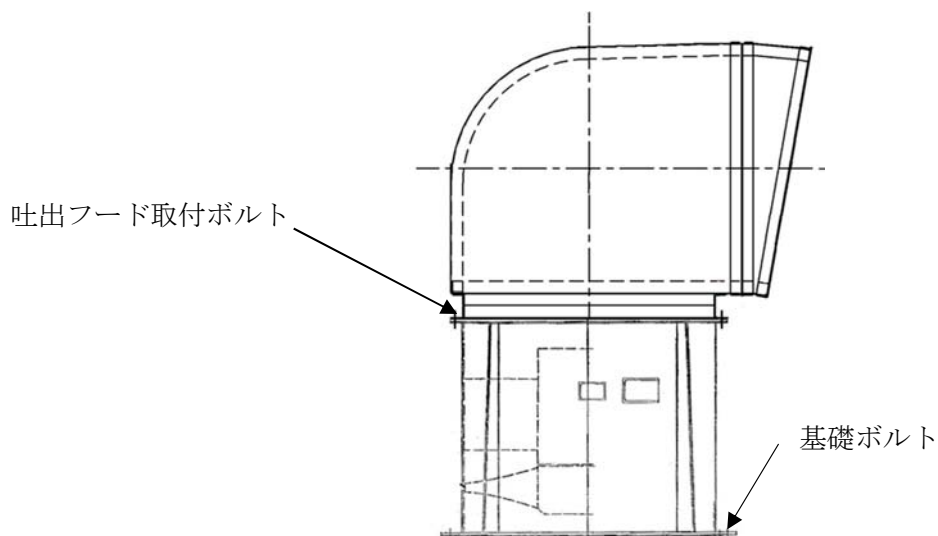


図 3-7 ファンの評価対象部位（ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

d. 冷凍機の評価対象部位

冷凍機の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

屋外に設置する換気空調設備における冷凍機に作用する風圧力による荷重は、ケーシングを介し、冷凍機を固定している取付ボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、取付ボルトを強度評価の評価対象部位として選定する。

冷凍機の強度評価における評価対象部位を、図3-8に示す。

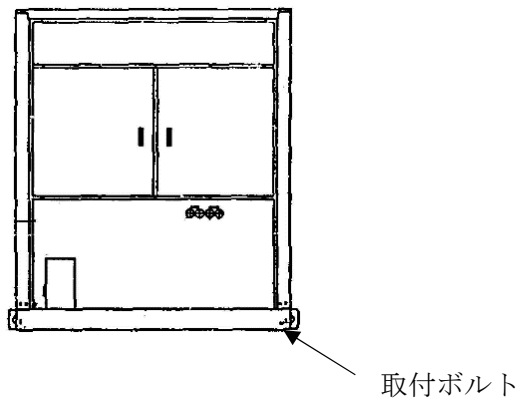


図3-8 冷凍機の評価対象部位（中央制御室換気系冷凍機）

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえ、換気空調設備の評価対象施設ごとに設定する。

(1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-7、屋外に設置する換気空調設備の衝突評価に用いる荷重を表3-8に示す。

表3-7 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-8 屋外に設置する換気空調設備の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の防護対象施設	ディーゼル発電機室ルーフベントファン	ケーシング	飛来物による衝撃荷重
	中央制御室換気系冷凍機	ケーシング	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

(b) 設計竜巻による荷重

イ. 建屋内にある換気空調設備については、気圧差による荷重を考慮する。

ロ. 屋外にある換気空調設備については、風圧力による荷重を考慮する。開放された施設であるため、ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び中央制御室換気系冷凍機内外に気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。また、防護対策として、竜巻防護ネットを設置する施設については、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護ネットを通過する小さな飛来物による衝撃荷重は、衝突する機器へ伝わる加速度が小さく、機器へ作用する荷重は強度に影響を与えないので衝撃荷重を考慮しない。

(イ) 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

b. 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、評価対象施設ごとに設定する。

角ダクト及び丸ダクトのダクト鋼板（本体）には、自重及び気圧差による荷重が作用する。

隔離弁の耐圧部には、気圧差による荷重が作用する。

建屋内のファンのケーシングには、気圧差による荷重が作用する。

屋外のファン及び冷凍機には、自重及び風圧力による荷重が作用する。

強度評価の荷重の組合せを表3-9に示す。

表3-9 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外気と繋がっている 屋内の外部事象防護 対象施設	角ダクト	ダクト鋼板 (本体)	①自重 ②気圧差による荷重
	丸ダクト	ダクト鋼板 (本体)	①自重 ②気圧差による荷重
	隔離弁	耐圧部	①気圧差による荷重
	ファン	ケーシング	①気圧差による荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	ファン	基礎ボルト	①自重 ②風圧力による荷重
	冷凍機	取付ボルト	①自重 ②風圧力による荷重

3.4 許容限界

(1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さを表3-10に示す。

表3-10 屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さ

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
ディーゼル発電機室ルーフベント ファン	9.0mm (ケーシング)
中央制御室換気系冷凍機	1.0mm (ケーシング)

(2) 構造強度評価における許容限界

a. 角ダクトの許容限界

角ダクトの許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

角ダクトの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2, 3配管」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。ただし、妥当な安全裕度を考慮し、座屈を生じないように設定する許容限界は、座屈の算出式に応じた値を許容限界として設定する。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表Part5, 6の表

にて許容応力を計算する際は、角ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が J SME 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J SME 付録材料図表 Part 5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(a) 面外荷重及び外圧による面内荷重に対する許容限界

角ダクトの面外荷重及び外圧による面内荷重に対する許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 角ダクトの許容限界

状態	許容限界
	一次応力
	曲げ
許容応力状態 III _A S	S _y

(b) 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により発生する曲げモーメント M と発生応力 σ_{p2} の関係は以下の式で表される。



ここで

$$I = \frac{(a + 2t)(b + 2t)^3 - a \cdot b^3}{12}$$

短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力 σ_{p1} と長期荷重（自重）による発生応力 σ_{p2} の和 σ_w が許容応力 σ_y に達した時に座屈が生じることから、長期荷重により発生する曲げモーメント M_p が、許容応力 σ_y と短期荷重による発生応力 σ_{p1} の差 ($\sigma_y - \sigma_{p1}$) から求まる長期荷重に対する許容曲げモーメント以下であることを確認する。



ここで、

$$\sigma_y = S_y$$

b. 丸ダクトの許容限界

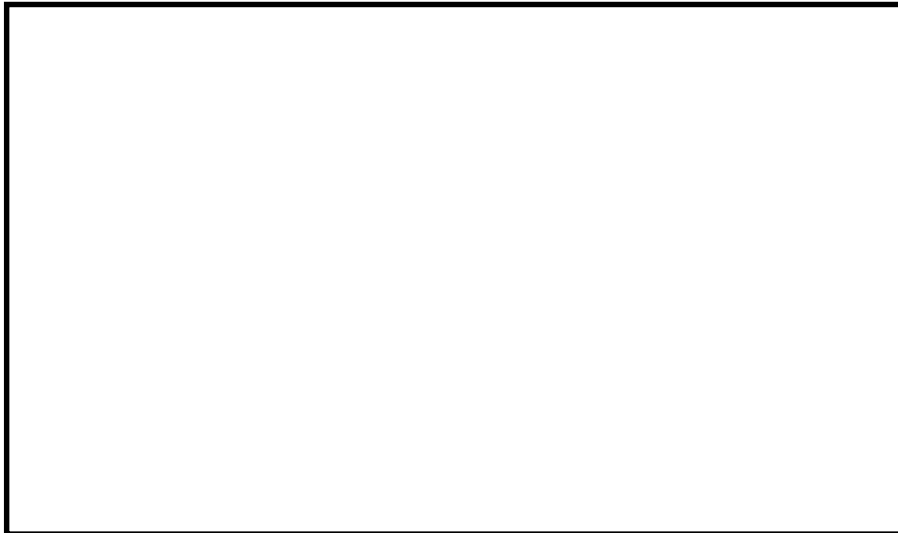
丸ダクトの許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、クリップリング座屈の算出式に応じた値とする。

丸ダクトの許容限界は、設計荷重に対して、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、座屈を生じないこととするため、クリップリング座屈の算出式に応じた値を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、丸ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(a) 外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は、クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） $\sigma_{c r i p}$ を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{c r i p}$ は、円筒かくの座屈応力の式より算出する。



(b) 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により作用する曲げモーメント M_p と外圧 ΔP （設計竜巻による気圧低下量）の組合せが、下式を満足させるものとする。



ここで、自重による曲げによってクリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント $M_{c r i p}$ は、下式より算出する。



c. 隔離弁の許容限界

隔離弁の許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し設定する。

隔離弁の許容限界は、隔離弁の耐圧部に発生する圧力に対して、部材の降伏応力 S_y を許容限界とする。

d. ファンの許容限界

ファンの許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

ファンの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2ポンプ」及び「クラス2,3支持構造物」の許容限界を準用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、ファンの温度条件に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。ファンの許容限界を表3-12、表3-13に示す。

表3-12 ファンの許容限界（ケーシング）

状態	許容限界
	一次一般膜応力
許容応力状態 Ⅲ _A S	Min[S_y , 0.6 S_u]

表3-13 ファンの許容限界（基礎ボルト，吐出フード取付ボルト）

状態	応力の種類		許容限界
許容応力状態 Ⅲ _A S	一次応力	引張	$1.5 f_t$
		せん断	$1.5 f_s$
		組合せ	Min { $1.5 f_t$, ($2.1 f_t - 1.6 \tau$) }

(5) 冷凍機の許容限界

冷凍機の許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

冷凍機の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を準用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を計算する際は、冷凍機の温度条件に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。冷凍機の許容限界を表 3-14 に示す。

表3-14 冷凍機の許容限界（基礎ボルト）

状態	応力の種類		許容限界
許容応力状態 Ⅲ _A S	一次応力	引張	1.5 f _t
		せん断	1.5 f _s
		組合せ	Min {1.5 f _t , (2.1 f _t - 1.6 τ) }

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価の評価方法

a. 角ダクトの評価方法

角ダクトの強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している角ダクトの評価式を用いる。

(a) 計算モデル

任意のダクト面に着目すると、ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で、軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持矩形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し、ウェブでの応力分布が線形で、中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。

角ダクトモデル図を図3-9に示す。

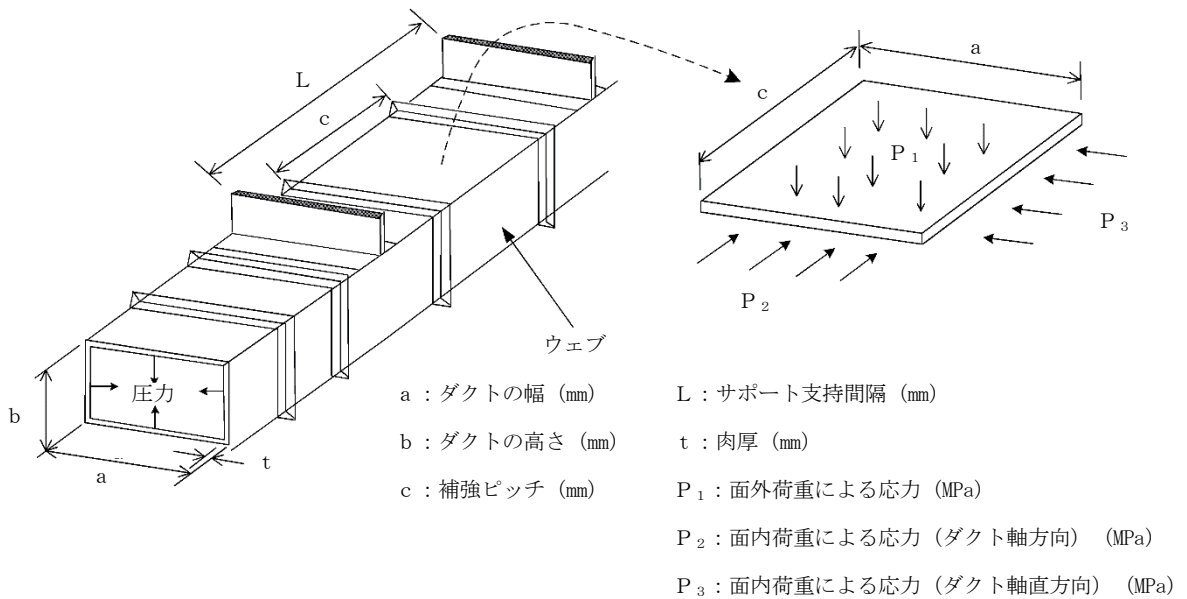


図3-9 角ダクトモデル図

(b) 計算方法

ダクトにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差が影響するので、

$$P = \Delta P$$

イ. 面外荷重による発生応力

4辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力 σ_{max} とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量 δ_{max} との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。



式 (3.2) より得られる δ_{max} の値を式 (3.1) へ代入し、 σ_{max} を算出する。

ロ. 面内荷重による発生応力

機械工学便覧の「クリップリングの考え方」と日本機械学会ジャーナルの「薄肉長方形及び箱形はりの座屈と強度」に記載されている鷗戸口の式を準用する。

(イ) 外圧による発生応力

薄肉構造物のうち、長方形板の弾性座屈の式より算出する。



(ロ) 自重による曲げモーメント

自重によりダクト鋼板に作用する曲げモーメントは、以下の式により算出する。

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

b. 丸ダクトの評価方法

丸ダクトの強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している丸ダクトの評価式を用いる。

(a) 計算モデル

丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。丸ダクトモデル図を図3-10に示す。

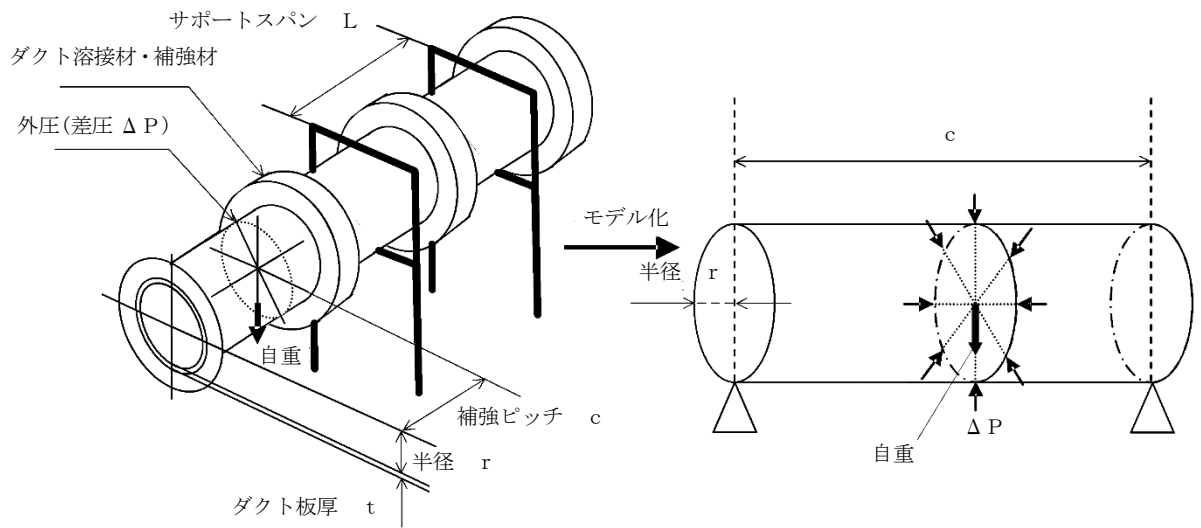


図3-10 丸ダクトモデル図

(b) 計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟（1966）」に記載されている式を準用する。

イ. 外圧により生じる周方向応力 $\sigma_{c r i p l}$

$$\sigma_{c r i p l} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

ロ. 自重により作用する曲げモーメント M_p

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

c. 隔離弁の評価方法

隔離弁の強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している隔離弁の評価方法を用いる。

(a) 弁箱

イ. 計算モデル

弁箱は両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。弁箱のモデル図を図3-11に示す。

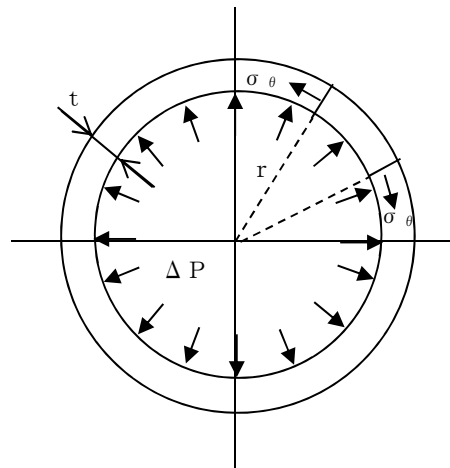


図3-11 弁箱モデル図

ロ. 計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_{\theta} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(b) 弁体

イ. 計算モデル

弁体は円板であるため、等分布荷重が作用する周辺支持円板とみなし、計算を行う。評価モデルを図 3-12 に示す。

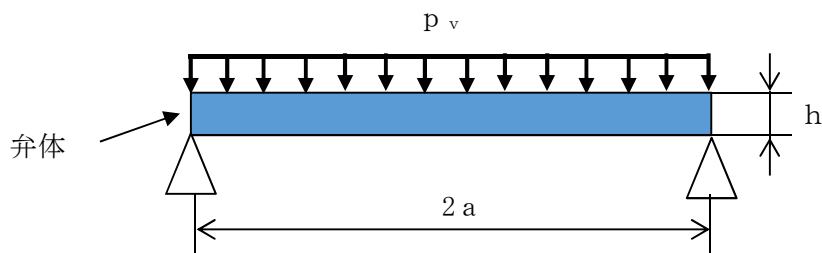


図 3-12 弁体の評価モデル

ロ. 計算方法

弁体に作用する曲げ応力の計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁体を受ける応力 P_1 及び自重により弁体を受ける応力 P_2 は次による。

$$P_1 = \Delta P$$

$$P_2 = \frac{m_v \cdot g}{A_v}$$

ここで

$$A_v = \frac{\pi}{4} (2a)^2$$

弁体に受ける応力 p_v は次による。

$$p_v = P_1 + P_2$$

弁体に対する曲げ応力は次による。

$$\sigma_{max} = 1.24 \cdot \frac{p_v \cdot a^2}{h^2}$$

(c) 弁棒

イ. 計算モデル

弁体を受ける等分布荷重を支持する弁棒断面について、計算を行う。評価モデルを図 3-13 に示す。

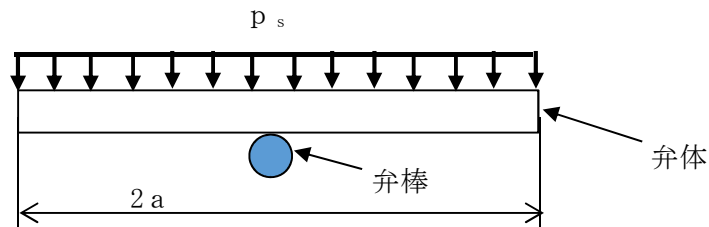


図 3-13 弁棒の評価モデル

ロ. 計算方法

弁棒に作用するせん断応力の計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重 F_1 及び弁体及び弁棒自重により弁棒に受ける荷重 F_2 は次による。

$$F_1 = \Delta P \cdot \frac{\pi}{4} (2a)^2$$

$$F_2 = (m_v + m_s) \cdot g$$

弁棒に受ける荷重 p_s は次による。

$$p_s = F_1 + F_2$$

弁棒に対するせん断応力は次による。

$$\tau = \frac{p_s}{A_s}$$

ここで

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2$$

d. ファンの評価方法

ファンの強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているファンの評価式を用いる。

(a) 中央制御室換気系フィルタ系ファン

イ. 計算モデル

ファンは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。ファンケーシングモデル図を図3-14に示す。

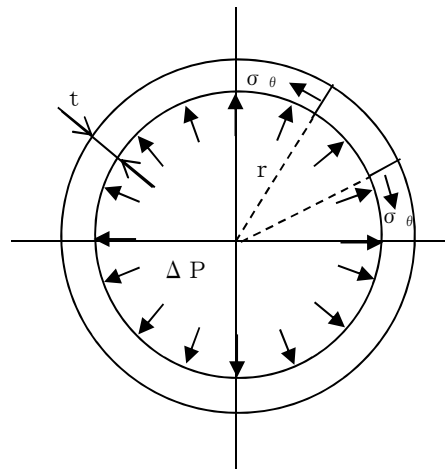


図3-14 ファンケーシングモデル図

ロ. 計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_{\theta} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(b) ディーゼル発電機室ルーフベントファン
 イ. 計算モデル

ファンの計算モデルは円筒形の1質点モデルとし、ファンの上端に複合荷重が作用することとする。ファンモデル図を図3-15に、基礎ボルト配置図及び吐出フード取付ボルト配置図を図3-16、図3-17に示す。

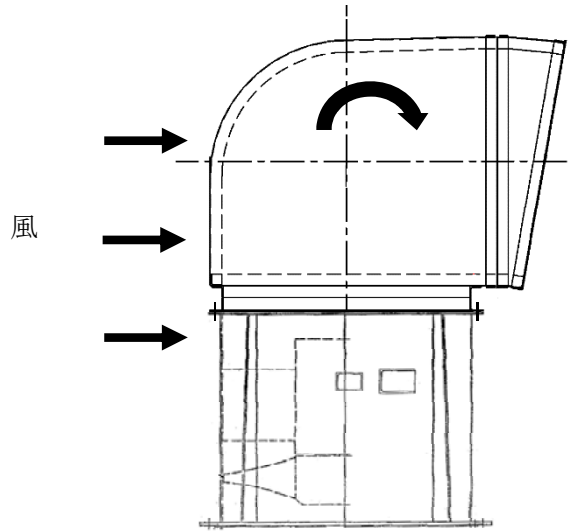


図 3-15 ファンモデル図

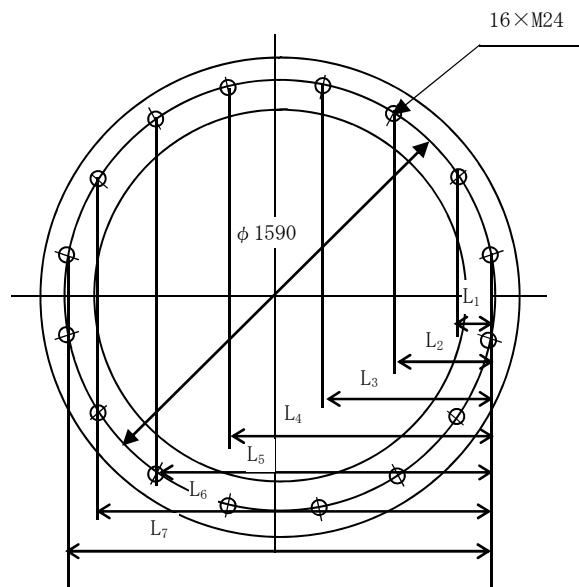


図 3-16 基礎ボルト配置図

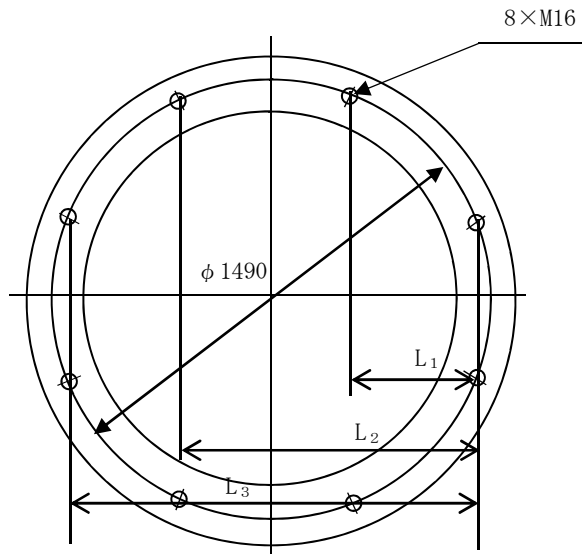


図 3-17 吐出フード取付ボルト配置図

ロ. 計算方法

(イ) 引張応力

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \quad \dots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \dots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i} L_n$$

ここで

$$M = W_w \cdot h - m \cdot g \cdot \frac{L_n}{2}$$

基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_n}{A_b}$$

(ロ) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算す

る。

- ・ せん断力
 $Q_b = W_w$
- ・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

e. 冷凍機の評価方法

冷凍機の強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している冷凍機の評価式を用いる。

(a) 計算モデル

冷凍機の計算モデルは立方体の1質点モデルとし、全高の1/2の位置に複合荷重が作用することとする。冷凍機モデル図を図3-18に示す。

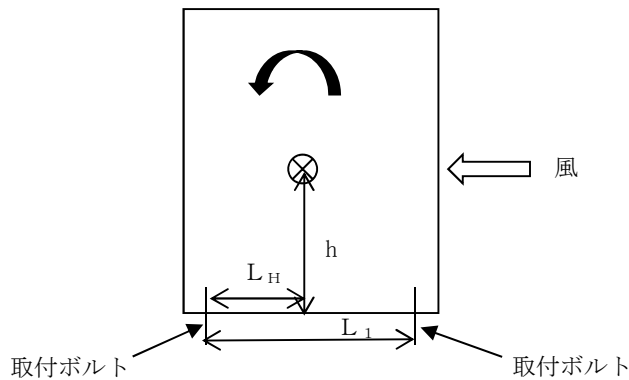


図 3-18 冷凍機モデル図

(b) 計算方法

イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-18 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(イ) 引張力

$$F_b = \frac{W_w \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

(ロ) 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・ せん断力

$$Q_b = W_w$$

・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

(1) 角ダクト

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1及び表4-2に示す。

角ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も大きくなるものは面外荷重であり、その発生応力比が最も厳しくなる系統の角ダクトについて記載する。

表 4-1 許容応力計算に用いる条件

材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)
SUS304	40	205

表 4-2 評価条件

系統	ダクト種別
中央制御室換気系	SUS

Δ P (N/m ²)	g (m/s ²)	ν (-)
8.9×10 ³	9.80665	0.3

a (mm)	b (mm)	t (mm)	c (mm)	L (mm)
3200	2000	2.0	1830	1830

μ (kg/m)	g D _p (N/m ²)	材質	最高使用温度 (°C)	E (MPa)
165.1	155.5	SUS304	40	193800

(2) 丸ダクト

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-3に示す。丸ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も厳しくなるのは周方向応力であるため、その発生応力比が最も厳しくなる系統の丸ダクトについて記載する。

表 4-3 評価条件

系統	ダクト種別
中央制御室換気系	SUS

ΔP (N/m ²)	g (m/s ²)	ν (-)
8.9×10^3	9.80665	0.3

ダクトサイズ (mm)	c (mm)	L (mm)
$\phi 450 \times 0.8$	960	3000

μ (kg/m)	材質	最高使用温度 (°C)	E (MPa)
31.3	SUS304	40	193800

(3) 隔離弁の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-4～表4-7に示す。

表 4-4 許容応力計算に用いる条件

評価対象施設		評価対象 部位	材質	温度条件 (°C)	S_y (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	弁箱	SS400	40	245
		弁体	SS400	40	235
		弁棒	SUS420J2	40	225
	SB2-11A, 11B	弁箱	SCPH2	40	245
		弁体	SCPH2	40	245
		弁棒	SUS403	40	390
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	弁箱	SCPH2	40	245
		弁体	SCS13	40	185
		弁棒	SUS420J2	40	225

表 4-5 評価条件（原子炉建屋換気系隔離弁（SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D））

ΔP (N/m ²)	r (mm)	t (mm)	a (mm)	m _v (kg)
8.9×10 ³	1150	12	1133	1370

m _s (kg)	g (m/s ²)	h (mm)	d (mm)
315	9.80665	32	150

表 4-6 評価条件（原子炉建屋換気系隔離弁（SB2-11A, 11B））

ΔP (N/m ²)	r (mm)	t (mm)	a (mm)	m _v (kg)
8.9×10 ³	241	28	217	35

m _s (kg)	g (m/s ²)	h (mm)	d (mm)
10	9.80665	30	42

表 4-7 評価条件（中央制御室換気系隔離弁（SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B））

ΔP (N/m ²)	r (mm)	t (mm)	a (mm)	m _v (kg)
8.9×10 ³	222.5	25	215	53

m _s (kg)	g (m/s ²)	h (mm)	d (mm)
10	9.80665	10	58

(4) ファンの評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-8～表4-11に示す。

表 4-8 許容応力計算に用いる条件（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ケーシング	SS400	40	245	400

表 4-9 許容応力計算に用いる条件（ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
基礎ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133
吐出フード取付 ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133

注記 *：周囲環境温度

表 4-10 評価条件（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

ΔP (N/m ²)	r (mm)	t (mm)
8.9×10^3	590.5	4.5

表 4-11 評価条件（ディーゼル発電機室ルーフベントファン基礎ボルト）

q (N/m ²)	G (-)	W_M (N)	ケーシングの 風力係数C (-)	吐出フードの 風力係数C (-)
6.1×10^3	1.0	0	1.2	2.4

ケーシングの 受圧面積A (m ²)	吐出フードの 受圧面積A (m ²)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)
1.980	3.514	118.7	338.0	624.6

L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	g (m/s ²)
934.8	1221.4	1440.7	1559.4	9.80665

m (kg)	ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm ²)	h (mm)
2440	M24	16	452.4	2812

表 4-12 評価条件 (ディーゼル発電機室ルーフトファン吐出フード取付ボルト)

q (N/m ²)	G (-)	W _M (N)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)
6.1×10 ³	1.0	0	403.2	973.4

L ₃ (mm)	C (-)	g (m/s ²)	A (m ²)	m (kg)
1376.6	2.4	9.80665	3.514	1500

A _b (mm ²)	h (mm)	ボルト サイズ	N (-)
201.1	1612	M16	8

(5) 冷凍機の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-13, 表4-14に示す。

表 4-13 許容応力計算に用いる条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	1.5 f _t (MPa)	1.5 f _s (MPa)
取付ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133

注記 * : 周囲環境温度

表 4-14 評価条件

q (N/m ²)	G (-)	W _M (N)	L _H (mm)	L ₁ (mm)
6.1×10 ³	1	0	910.0	1890

C (-)	g (m/s ²)	A (m ²)	m (kg)	ボルト サイズ
2.4	9.80665	11.48	4680	M20

n _f (-)	N (-)	A _b (mm ²)	h (mm)
4	8	314.2	1125

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	0.58	0.97

砂利の貫通限界厚さ(0.97 mm)と屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-2 防護対象施設の衝突評価結果 (砂利)

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
ディーゼル発電機室 ルーフベントファン	8.03	0.97	貫通しない
中央制御室換気系冷 凍機	0.03	0.97	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 角ダクト

角ダクト鋼板 (本体) の強度評価結果を表5-3に示す。

ダクト鋼板に発生する応力は許容応力以下であり、また、自重 (長期) + 設計竜巻による内外差圧 (短期) による面内荷重による発生モーメントは許容応力以下である。

表 5-3 強度評価結果

系統	ダクト種別	ダクトサイズ(mm)
中央制御室換気系	鋼板	3200×2000×2.0

面外荷重		外圧による面内荷重		長期荷重（自重）＋短期荷重 （設計竜巻による内外差圧に よる面内荷重）	
発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生値 (kN・mm)	許容値 (kN・mm)
125	205	61	205	678	81597

b. 丸ダクト

丸ダクト鋼板（本体）の強度評価結果を表5-4に示す。

ダクト鋼板に発生する周方向応力は許容応力以下であり、また、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）により発生する応力は許容応力以下である。

表 5-4 強度評価結果

系統	ダクト種別	ダクトサイズ(mm)
中央制御室換気系	SUS	φ 450×0.8

気圧差により生じる周方向応力(MPa)		長期荷重（自重）＋短期荷重 （設計竜巻による内外差圧）による制限値	
発生応力	許容応力	発生値	許容値
3	9	0.3	0.9

c. 隔離弁

隔離弁の強度評価結果を表5-5～表5-7に示す。

弁箱、弁体、弁棒に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-5 強度評価結果（弁箱）

評価対象施設		弁箱に発生する 周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	1	245
	SB2-11A, 11B	1	245
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	1	245

表 5-6 強度評価結果（弁体）

評価対象施設		弁体に発生する 曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	20	235
	SB2-11A, 11B	1	245
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	8	185

表 5-7 強度評価結果（弁棒）

評価対象施設		弁棒に発生する せん断応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	3	225
	SB2-11A, 11B	2	390
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	1	225

d. ファン

ファンの強度評価結果を表5-8～5-9に示す。

ケーシングに発生する周方向応力は、許容応力以下である。

基礎ボルト及び吐出フード取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-8 強度評価結果（ケーシング）

評価対象施設	ケーシングに発生する 周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
中央制御室換気系フィルタ系ファン	2	240

表 5-9 強度評価結果（基礎ボルト）

評価対象施設		応力分類	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
ディーゼル発電機室 ルーベントファン	基礎ボルト	引張	39	173
		せん断	10	133
		組合せ	39	173
	吐出フード取付 ボルト	引張	83	173
		せん断	32	133
		組合せ	83	173

e. 冷凍機

冷凍機の竜巻発生時の強度評価結果を表5-10に示す。

取付ボルトに発生する周応力は、許容応力以下である。

表 5-10 強度評価結果（取付ボルト）

評価対象施設	応力分類	基礎ボルトに発生する応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
中央制御室換気系冷凍機	引張	63	173
	せん断	67	133
	組合せ	63	135