

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-029 改 02
提出年月日	2022年10月7日

工事計画に係る補足説明資料

(竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書)

2022年10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。

補足説明資料目次

I. はじめに

1. 強度計算の方針に関する補足説明資料
 - 1.1 風力係数
 - 1.2 強度計算時の施設の代表性
 - 1.3 構造強度評価における評価対象部位の選定

2. 竜巻防護対策設備の強度計算に関する補足説明資料
 - 2.1 シャックルの許容限界について
 - 2.2 飛来物のオフセット衝突の影響について
 - 2.3 金網の設計裕度の考え方
 - 2.4 ワイヤロープの変形を考慮したネットシステムのたわみについて
 - 2.5 ワイヤロープの初期張力について
 - 2.6 補助金網の影響について

3. 竜巻防護対策設備の衝突解析に関する補足説明資料
 - 3.1 衝突解析の解析手法の保守性

4. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料
 - 4.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について
 - 4.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について
 - 4.3 タービン建物屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について
 - 4.4 鉄筋コンクリート部材の貫通及び裏面剥離評価について

5. 排気筒の強度計算に関する補足説明資料
 - 5.1 設計飛来物の衝突想定箇所について
 - 5.2 腐食代の考慮について

6. 排気管及びベント管の強度計算に関する補足説明資料
 - 6.1 非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気管の許容応力

: 本日の説明範囲

I. はじめに

1. 概要

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するためのものである。
本補足説明資料と添付書類との関係を表 1 に示す。

- ・ VI-3-別添 1 「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書」

表 1 補足説明資料と添付書類との関連 (1/3)

竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の補足説明資料	該当添付書類
<p>1. 強度計算の方針に関する補足説明資料</p> <p>1.1 風力係数</p> <p>1.2 強度計算時の施設の代表性</p> <p>1.3 構造強度評価における評価対象部位の選定</p>	<p>VI-3-別添 1-7 「原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-8 「海水ストレーナの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-9 「配管及び弁の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-13-2 「消音器の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-13-3 「排気管及びベント管の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-7 「原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-8 「海水ストレーナの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-9 「配管及び弁の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-11 「空調換気設備の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-12 「非常用発電装置の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-13-2 「消音器の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-13-3 「排気管及びベント管の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-7 「原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-8 「海水ストレーナの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-9 「配管及び弁の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-11 「空調換気設備の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-12 「非常用発電装置の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-13-2 「消音器の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-13-3 「排気管及びベント管の強度計算書」</p>

表 1 補足説明資料と添付書類との関連 (2/3)

<p>竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の補足説明資料</p>	<p>該当添付書類</p>					
<p>4. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料</p> <table border="1" data-bbox="408 1391 798 2033"> <tr> <td data-bbox="408 1391 504 2033"> <p>4.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について</p> </td> <td data-bbox="408 206 798 1391" rowspan="4"> <p>VI-3-別添 1-6 「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="504 1391 600 2033"> <p>4.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="600 1391 695 2033"> <p>4.3 タービン建物屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="695 1391 798 2033"> <p>4.4 鉄筋コンクリート部材の貫通及び裏面剥離評価について</p> </td> </tr> </table>	<p>4.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について</p>	<p>VI-3-別添 1-6 「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」</p>	<p>4.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について</p>	<p>4.3 タービン建物屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について</p>	<p>4.4 鉄筋コンクリート部材の貫通及び裏面剥離評価について</p>	
<p>4.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について</p>	<p>VI-3-別添 1-6 「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」</p>					
<p>4.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について</p>						
<p>4.3 タービン建物屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について</p>						
<p>4.4 鉄筋コンクリート部材の貫通及び裏面剥離評価について</p>						

表 1 補足説明資料と添付書類との関連 (3/3)

<p>竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の補足説明資料</p>	<p>該当添付書類</p>
<p>6. 排気管及びびべント管の強度計算に関する補足説明資料</p> <p>6.1 非常用ディーゼル発電設備及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気管の許容応力</p>	<p>VI-3-別添1-13-3「排気管及びびべント管の強度計算書」</p>

1. 強度計算の方針に関する補足説明資料

1.1 風力係数について

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書」のVI-3-別添 1-7「原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書」、VI-3-別添 1-8「海水ストレナーナの強度計算書」、VI-3-別添 1-9「配管及び弁の強度計算書」、VI-3-別添 1-13-2「消音器の強度計算書」及びVI-3-別添 1-13-3「排気管及びベント管の強度計算書」に用いられる風力係数Cについて、設定根拠を示すものである。

2. 風力係数の設定根拠

風力係数は、評価対象部位の形状に応じて、「建築物荷重指針・同解説(2004)」(日本建築学会)の値を準用する。

表 2-1 部材の風力係数*

C_X	$\theta(^{\circ})$ C_X C_Y	$\theta(^{\circ})$ C_X C_Y	$\theta(^{\circ})$ C_X C_Y
1.2	0 2.1 0	0 2.4 0	0 2.1 0
	45 1.6 1.6	45 1.6 0.7	30 2.1 -0.2
		90 0 0.8	60 0.7 1.1
$\theta(^{\circ})$ C_X C_Y	$\theta(^{\circ})$ C_X C_Y	$\theta(^{\circ})$ C_X C_Y	$\theta(^{\circ})$ C_X C_Y
0 1.2 0	0 1.1 0	0 2.0 0	0 1.9 2.2
45 0.8 0.8	45 0.8 0.7	45 1.8 0.1	45 2.3 2.3
90 0.6 0.5	90 0.9 0.5	90 0 0.1	90 2.2 1.9
135 -1.7 0.6	135 -2.3 0.6		135 -1.9 -0.6
180 -2.3 0	180 -2.5 0		180 -2.0 0.3
			225 -1.4 -1.4

注記* : 「建築物荷重指針・同解説(2004)」(日本建築学会)より抜粋

(1) 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

a. 原子炉補機海水ポンプ

(a) ポンプ部

- ・原動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・基礎ボルト

原動機台は円形断面を有する部材であるため、 $C=1.2$ を適用する。

なお、受圧面積は原動機フレーム、原動機台、端子箱、通風ダクト及び空気冷却器に対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。原子炉補機海水ポンプのポンプ部の評価における受圧面を図2-1に示す。

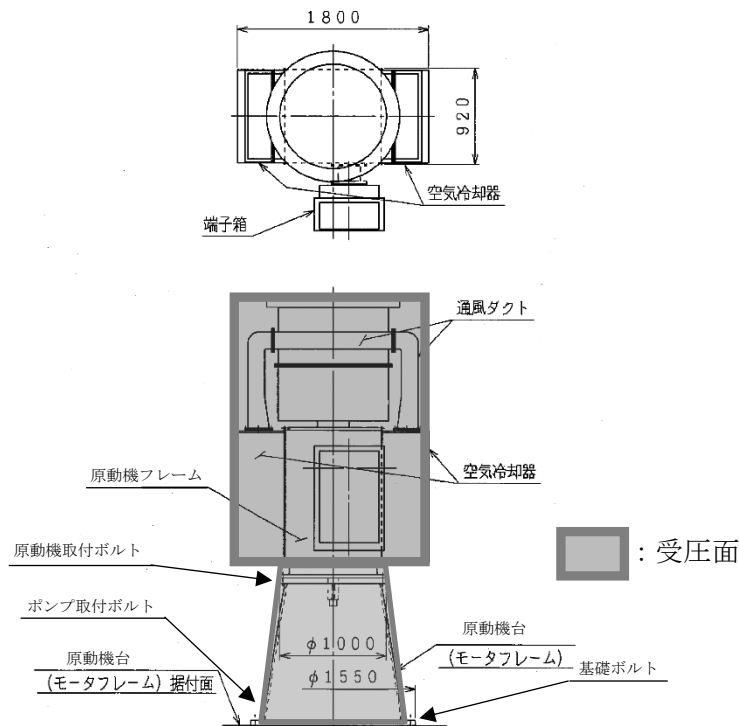


図2-1 原子炉補機海水ポンプの受圧面

(b) 原動機部

- ・原動機フレーム (図2-2 参照)
- ・通風ダクト取付ボルト (図2-3 参照)

原動機部は、円形断面及び四角形 (長方形) 断面を有する部材であるため、 $C=1.2$ (円形断面)、 2.4 (長方形断面) を適用する。原動機フレームを図2-2、通風ダクト取付ボルトの評価における受圧面を図2-3に示す。

なお、図2-2について、原動機部の投影面積を受圧面積とする。

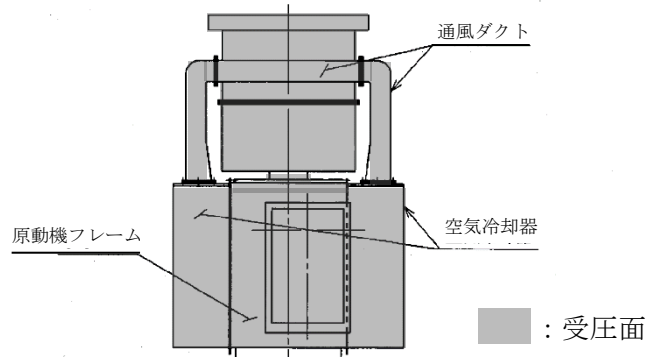


図 2-2 原動機フレームの評価における受圧面

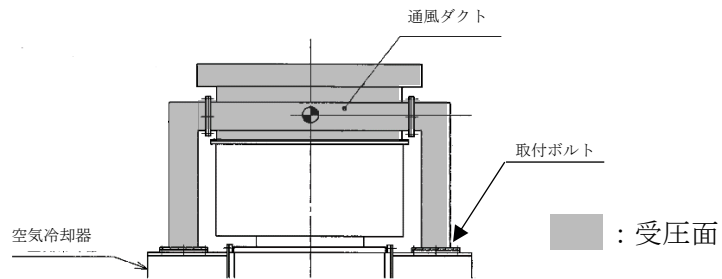


図 2-3 通風ダクト取付ボルトの評価における受圧面

- ・ 空気冷却器取付ボルト (図 2-4 参照)
 - ・ 端子箱取付ボルト (図 2-5 参照)
- 四角形 (正方形) 断面を有する部材であるため、 $C=2.1$ を適用する。

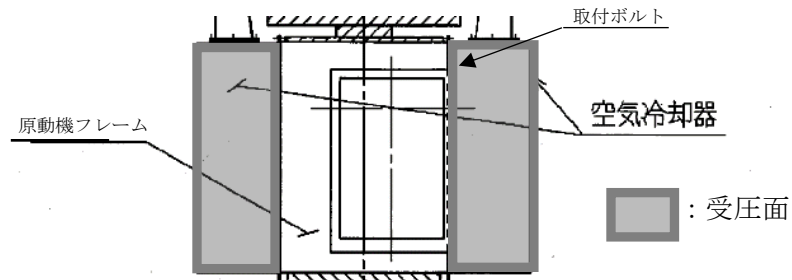


図 2-4 空気冷却器取付ボルトの評価における受圧面

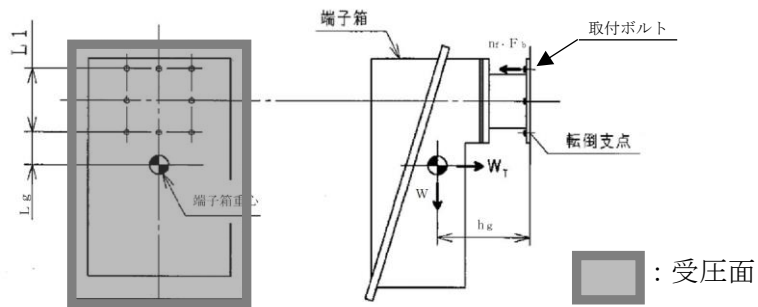


図 2-5 端子箱取付ボルトの評価における受圧面

b. 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

(a) ポンプ部

- ・原動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・基礎ボルト

原動機台は円形断面を有する部材であるため、 $C=1.2$ を適用する。

なお、受圧面積は原動機フレーム、原動機台、端子箱及びエンドカバーに対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。高圧炉心スプレイ補機海水ポンプのポンプ部評価における受圧面を図2-6に示す。

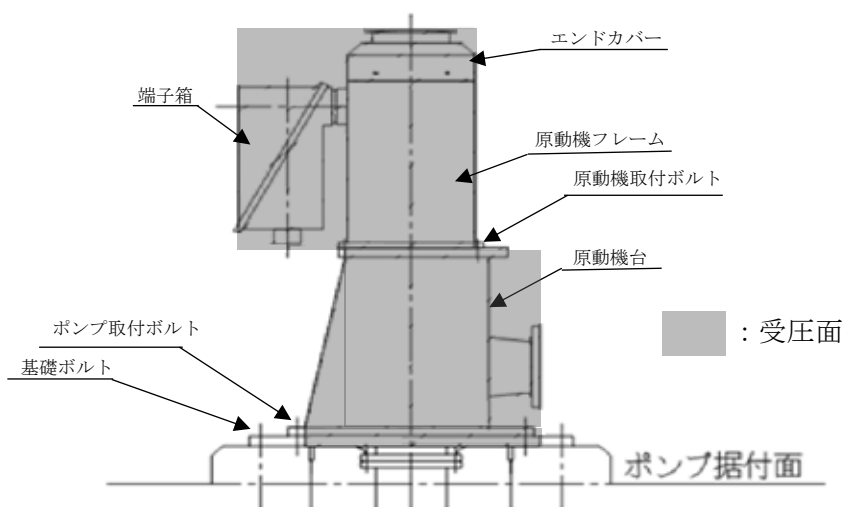


図2-6 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの受圧面

b. 原動機部

- ・原動機フレーム (図2-7参照)
- ・端子箱取付ボルト (図2-8参照)
- ・エンドカバー取付ボルト (図2-9参照)

原動機部は、円形断面又は四角形(長方形)断面を有する部材であるため、 $C=1.2$ (円形断面)、 $C=2.4$ (長方形断面)を適用する。

なお、原動機フレームの受圧面積は原動機フレーム、端子箱及びエンドカバーの円形断面及び四角形断面に対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。原動機部、端子箱取付ボルト及びエンドカバー取付ボルトの評価における受圧面を図2-7～図2-9に示す。

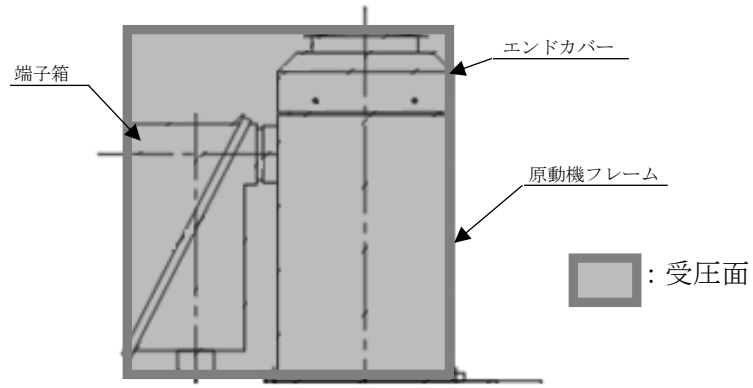


図 2-7 原動機フレームの評価における受圧面

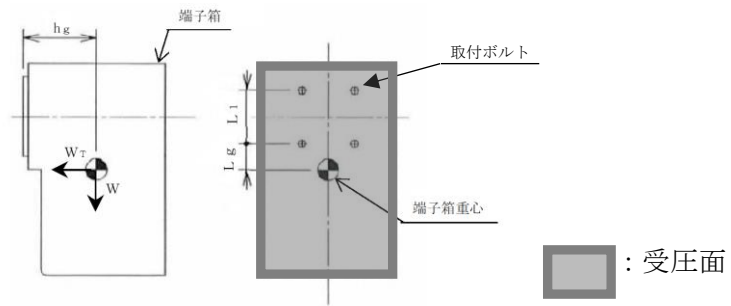


図 2-8 端子箱取付ボルトの評価における受圧面

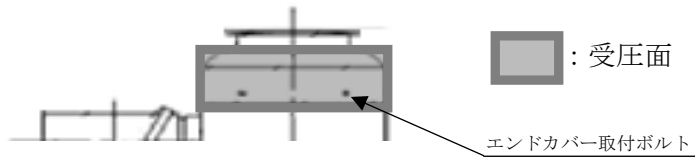


図 2-9 エンドカバー取付ボルトの評価における受圧面

(2) 海水ストレーナ

- ・基礎ボルト (図 2-10 参照)

海水ストレーナは、表 2-1 の最大の $C=2.4$ を適用する。

なお、受圧面積は海水ストレーナに対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。海水ストレーナの受圧面を図 2-10 に示す。

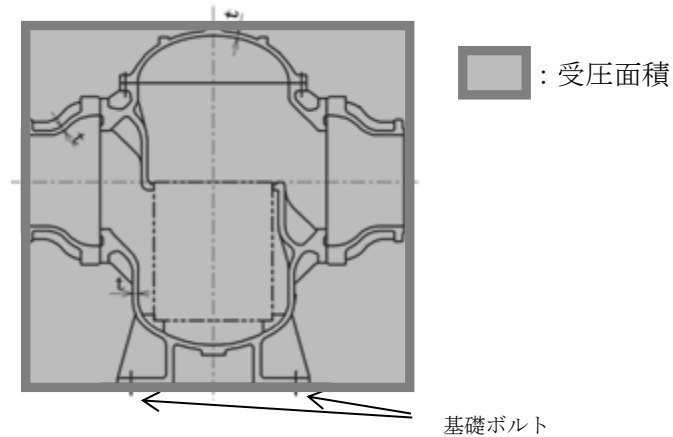


図 2-10 海水ストレーナの受圧面積

(3) 配管及び弁

- ・原子炉補機海水系配管及び弁
- ・高圧炉心スプレー補機海水系配管及び弁

配管及び弁は、円形断面を有する部材であるため、 $C=1.2$ を適用する。

(4) 消音器

- ・基礎ボルト (図2-11参照)
- ・結合ボルト (図2-12参照)

消音器は、円形断面を有する部材であるため、 $C=1.2$ を適用する。

なお、受圧面積は消音器に対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。消音器の評価における受圧面を図2-11及び図2-12に示す。

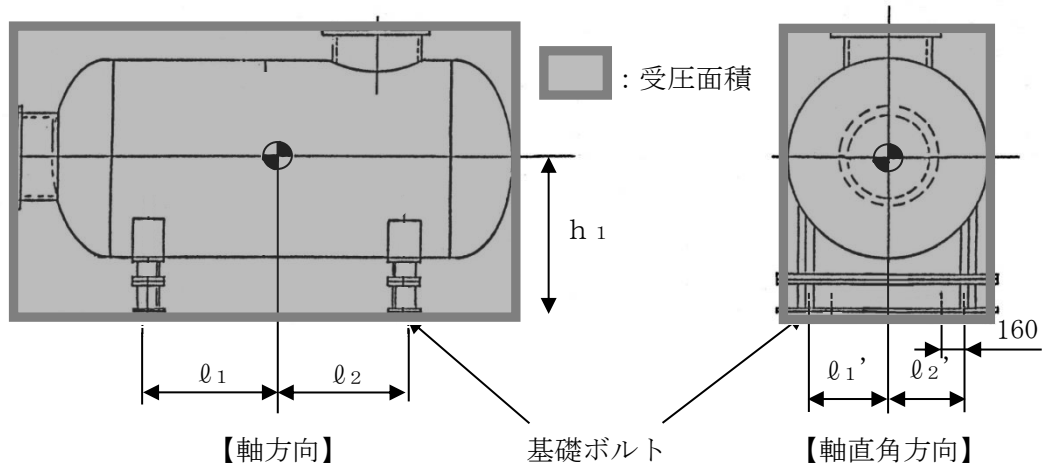


図2-11 消音器の基礎ボルト評価における受圧面

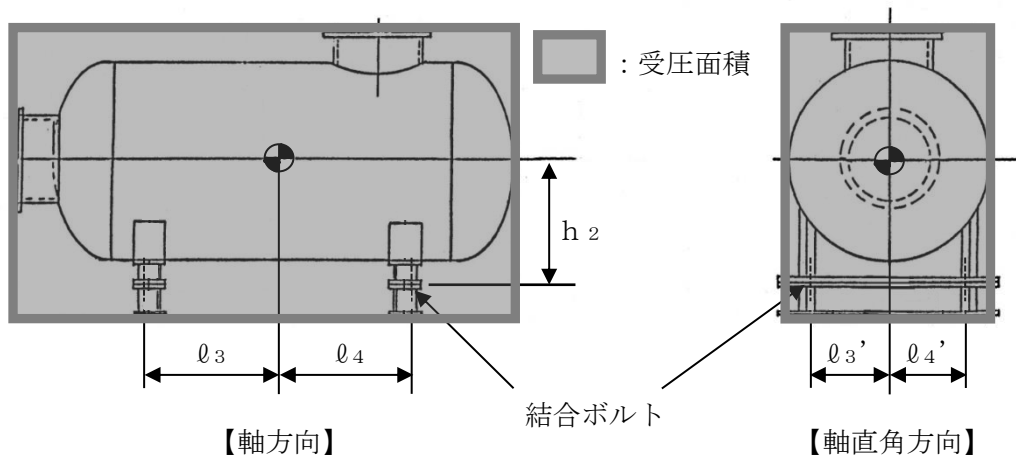


図2-12 消音器の結合ボルト評価における受圧面

(5) 排気管及びベント管

- ・排気管
- ・ベント管

排気管及びベント管は、円形断面を有する部材であるため、 $C=1.2$ を適用する。

1.2 強度計算時の施設の代表性

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書」のうち、VI-3-別添 1-7「原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書」、VI-3-別添 1-8「海水ストレーナの強度計算書」、VI-3-別添 1-9「配管及び弁の強度計算書」、VI-3-別添 1-11「空調換気設備の強度計算書」、VI-3-別添 1-12「非常用発電装置の強度計算書」、VI-3-別添 1-13-2「消音器の強度計算書」及びVI-3-別添 1-13-3「排気管及びベント管の強度計算書」において、同種類の計算対象施設が複数存在する施設に対して、代表となる施設を選定して計算を行う場合の代表性について説明するものである。

2. 代表性の説明

2.1 原子炉補機海水ポンプ

原子炉補機海水ポンプは4台設置されており、すべてが同一設計になっているため、A系を代表として選定する。

2.2 原子炉補機海水ストレーナ

原子炉補機海水ストレーナは2台設置されており、すべてが同一設計になっているため、A系を代表として選定する。

2.3 配管 (VI-3-別添 1-9「配管及び弁の強度計算書」及びVI-3-別添 1-13-3「排気管及びベント管の強度計算書」)

2.3.1 風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する配管

VI-3-別添 1-9「配管及び弁の強度計算書」のうち原子炉補機海水系配管及び弁並びにVI-3-別添 1-13-3「排気管及びベント管の強度計算書」における各応力の算出式を示す。

風圧力による荷重及び自重により生じる応力又はモーメントは支持間隔(L)の2乗に比例するため、応力が大きくなる箇所として、管外径、材料ごとにサポート支持間隔が最長となる箇所を選定する。

・ VI-3-別添 1-9「配管及び弁の強度計算書」

$$S_{pr m} = \frac{P_b \cdot D}{4t} + \frac{0.75 \cdot i \cdot (M_a + M_b)}{Z}$$

$S_{pr m}$: 一次応力
 P_b : 配管に作用する圧力
 D : 管外径
 t : 配管の厚さ
 i : 応力係数で J SME PPC-3810(5)c. に規定する値
または 1.33 のいずれか大きい方の値
 M_a : 風圧力により作用する曲げモーメント
 M_b : 自重により作用する曲げモーメント
 Z : 断面係数

・ VI-3-別添1-13-3「排気管及びベント管の強度計算書」

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$
$$\sigma_{自重} = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

σ_{ww} : 風圧力により生じる応力
 $\sigma_{自重}$: 自重により生じる応力
 W_w : 設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
 w : 単位長さ当たりの自重による荷重
 L : 支持間隔
 Z : 断面係数

配管の代表箇所を選定結果を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 配管 (VI-3-別添 1-9「配管及び弁の強度計算書」のうち原子炉補機海水系配管) の代表選定結果

系統		支持形状	管外径 (mm)	材料	最長支持間隔 (m)	代表箇所
原子炉補機海水系配管	A系	両端支持	711.2	SM400C	11.66	○
	B系				10.97	
	A系	両端支持	508.0	SM400C	8.49	○
	B系				7.1	

表 2-2 配管 (VI-3-別添 1-13-3「排気管及びベント管の強度計算書」) の代表選定結果

系統		支持形状	管外径 (mm)	材料	最長支持間隔 (m)	代表 箇所*
排気管 (非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設)	A系	片持ち支持	914.4	SM400B	4.11	○
	B系	片持ち支持	914.4	SM400B	4.11	
	HPCS系	片持ち支持	914.4	SM400B	4.11	
ベント管 (非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク及びディーゼル燃料ダイタンの付属施設)	A系	片持ち支持	76.3	STPT410	1.81	
	B系	片持ち支持	76.3	STPT410	2.072	○
	HPCS系	片持ち支持	76.3	STPT410	2.033	
ベント管 (非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンクの付属施設)	A系	片持ち支持	139.8	STPT410	1.81	
	B系	片持ち支持	139.8	STPT410	2.072	○
	HPCS系	片持ち支持	139.8	STPT410	2.033	

注記* : 最長支持間隔が同一の場合はA系を代表として選定する。

2.3.1 気圧差による荷重を考慮する配管

VI-3-別添 1-9「配管及び弁の強度計算書」のうち、非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁の評価は、外圧により生じる周方向応力を求めるため、管外径及び板厚を用いることから、管外径及び板厚で評価条件を整理すると、評価対象配管が2種類の

みとなる。以上より、VI-3-別添-9「配管及び弁の強度計算書」には、2種類の評価結果を記載している。非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁の配管仕様を表2-3に示す。

表2-3 配管（VI-3-別添1-9「配管及び弁の強度計算書」のうち、非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁）の代表選定結果

系統	材料	管外径×板厚 (mm)
非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁	STPT42	76.3×5.2
	STPT42	60.5×5.5

2.4 空調換気設備

(1) ダンパ

ダンパにおいて、外殻を構成する外板の気圧差による荷重により生じる発生応力と許容応力の比（以下「裕度」という。）が最も厳しくなるダンパを代表ダンパとする。

VI-3-別添1-11「空調換気設備の強度計算書」における応力の算出式を示す。

a. 外板

外板に作用する最大曲げモーメント

$$M_x = \frac{\text{MAX}(W, H) \times (F_1 + F_2)}{8}$$

ここで、

$$F_1 = P \times L$$

$$F_2 = \frac{(M_1 + M_2 + M_3) \times 9.80665}{\text{MAX}(W, H)}$$

外板に生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{bmax} = \frac{M_x}{Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{I}{e}$$

M_x : 外板に作用する曲げモーメント

W : 外板幅

H : 外板高さ

F_1 : 気圧低下による分布荷重

F_2 : 自重による分布荷重

P : ダンパに作用する圧力

L : 面間寸法

M_1 : 外板質量

M_2 : 上流側フランジ質量

M_3 : 下流側フランジ質量

σ_{bmax} : 外板に生じる最大曲げ応力

Z : 断面係数

I : 断面二次モーメント

e : 外板における断面の重心高さ

ダンパの代表箇所の選定結果を表2-4に示す。

表 2-4 ダンパの代表選定結果

設備	外板			代表	
	材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)		裕度
A-非常用ディーゼル電気室送風機吐出逆流防止ダンパ	SEHC	13	218	16.7	○
B-非常用ディーゼル電気室送風機吐出逆流防止ダンパ	SEHC	8	218	27.2	

(2) 角ダクト

角ダクトにおいて、気圧差による荷重により生じる発生応力が最も大きくなるものは軸直角方向の荷重である。軸直角方向の荷重により発生する応力は、主に式中の評価対象板の短辺 a、評価対象板の長辺 b 及び板厚 t の兼ね合いにより変化することから、裕度が最も厳しくなる各系統の角ダクトを抽出し、その中で最も厳しくなる系統の角ダクトを代表角ダクトとする。VI-3-別添 1-11「空調換気設備の強度計算書」における応力の算出式を示す。

a. 軸直角方向の荷重による発生応力

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 E \omega_{max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\omega_{max} + 4t}{b^2} + \frac{\nu(\omega_{max} + 4t)}{a^2} \right\} \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{256(1-\nu^2)(P+w_2)}{\pi^6 E t^4} = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \frac{\omega_{max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 b^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) \right\} \left(\frac{\omega_{max}}{t} \right)^3 \dots \textcircled{2}$$

σ_{max} : 軸直角方向の荷重により生じる最大応力
 E : 縦弾性係数
 ω_{max} : 軸直角方向の荷重によるダクトの最大変位量
 ν : ポアソン比
 t : ダクト厚さ
 a : 評価対象板の短辺
 b : 評価対象板の長辺
 P : ダクトに作用する圧力
 w_2 : ダクト単位面積当たりの荷重

式②より得られる ω_{max} の値を式①へ代入し、 σ_{max} を算出する。
 角ダクトの代表箇所の選定結果を表 2-5 に示す。

表 2-5 角ダクトの代表選定結果

系統	ダクト寸法 (mm)			材料	軸直角方向の荷重 (MPa)			代表
	評価対象 の短辺	評価対象 の長辺	ダクト 板厚		発生 応力	許容 応力	裕度	
中央制御室空調換気系	800	3000	1.2	SGCC	146	189	1.3	○
原子炉建物付属棟空調換気系(A)	1400	2400	2.3	SS400	131	239	1.82	
原子炉建物付属棟空調換気系(B)	1600	2000	2.3	SS400	130	239	1.83	

(3) 丸ダクト

丸ダクトにおいて、気圧差による荷重により生じる発生応力が最も大きくなるものは軸直角方向の荷重である。軸直角方向の荷重により発生する応力は、主に式中の平均半径 r_m 及び板厚 t の兼ね合いにより変化することから、裕度が最も厳しくなる各系統の丸ダクトを抽出し、その中で最も厳しくなる系統の丸ダクトを代表丸ダクトとする。VI-3-別添 1-11「空調換気設備の強度計算書」における応力の算出式を示す。

a. ダクトが軸直角方向に受ける圧力による応力

$$\sigma_{\theta} = -\frac{r_m P}{t}$$

σ_{θ} : ダクトに作用する圧力により軸直角方向に生じる応力
 r_m : 平均半径
 P : ダクトに作用する圧力
 t : ダクト厚さ

丸ダクトの代表箇所を選定結果を表 2-6 に示す。

表 2-6 丸ダクトの代表選定結果

系統	ダクト寸法 (mm)		材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
	平均半径	板厚					
原子炉建物空調換気系	450.5	1.0	SS400	4	28	7	
中央制御室空調換気系	1002.25	4.5	SGCC	4	6	1.5	○

(4) 隔離弁

隔離弁において、外殻を構成する弁箱の裕度が最も厳しくなる各系統の隔離弁を抽出し、その中で最も厳しくなる系統の隔離弁を代表隔離弁とする。VI-3-別添 1-11「空調換気設備の強度計算書」における応力の算出式を示す。

a. 弁箱

弁箱に生じる周方向応力

$$\sigma_{max} = \frac{r_m \times P}{t}$$

σ_{max} : 弁箱に生じる周方向応力
 r_m : 平均半径
 P : 隔離弁に作用する圧力
 t : 弁箱厚さ

隔離弁の代表箇所を選定結果を表 2-7 に示す。

表 2-7 隔離弁の代表選定結果

系統	評価対象	発生する応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
原子炉建物空調換気系	弁箱	1	381	381	○
中央制御室空調換気系	弁箱	1	7030	7030	

(5) 送風機

送風機において、裕度が最も厳しくなる各系統の送風機を抽出し、その中で最も厳しくなる系統の送風機を代表送風機とする。VI-3-別添 1-11「空調換気設備の強度計算書」における応力の算出式を示す。

a. 送風機に作用する圧力により生じる周方向応力

$$\sigma = \frac{2b^2}{b^2 - a^2} P$$

σ : 送風機に作用する圧力により生じる周方向応力
 a : ケーシング内半径
 b : ケーシング外半径
 P : 送風機に作用する圧力

送風機の代表箇所を選定結果を表 2-8 に示す。

表 2-8 送風機の代表選定結果

系統	ケーシングに発生する周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
原子炉建物付属棟空調換気系 (A)	2	17	8.5	
原子炉建物付属棟空調換気系 (B)	2	17	8.5	
原子炉建物付属棟空調換気系 (HPSW)	3	10	3.3	○
中央制御室空調換気系	3	10	3.3	

(6) 処理装置

処理装置において、裕度が最も厳しくなる各系統の処理装置を抽出し、その中で最も厳しくなる系統の処理装置を代表処理装置とする。VI-3-別添 1-11「空調換気設備の強度計算書」における応力の算出式を示す。

a. ケーシングの変形

$$\sigma_{\max} = \frac{\pi^2 E \omega_{\max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\omega_{\max} + 4t}{b^2} + \frac{\nu(\omega_{\max} + 4t)}{a^2} \right\} \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{256(1-\nu^2)P}{\pi^6 E t^4} = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \frac{\omega_{\max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 b^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) \right\} \left(\frac{\omega_{\max}}{t} \right)^3 \dots \textcircled{2}$$

σ_{\max} : 軸直角方向の荷重により生じる最大応力
 E : 縦弾性係数
 ω_{\max} : 軸直角方向の荷重によるダクトの最大変位量
 ν : ポアソン比
 t : ケーシング厚さ
 a : 評価対象板の短辺
 b : 評価対象板の長辺
 P : 処理装置に作用する圧力

式②より得られる ω_{\max} の値を式①へ代入し、 σ_{\max} を算出する。
 処理装置の代表箇所を選定結果を表 2-9 に示す。

表 2-9 処理装置の代表選定結果

系統	ケーシングに発生 する周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
原子炉建物付属棟空調換気系(A)	96	215	2.2	
原子炉建物付属棟空調換気系(B)	96	215	2.2	
原子炉建物付属棟空調換気系(HPSW)	126	215	1.7	○
中央制御室空調換気系	107	215	2.0	

2.5 非常用発電装置

非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは、同一設計のものが各々1台ずつ設置されているため、A系を代表として選定する。

2.6 消音器

排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属設備）は2台設置されており、すべてが同一設計になっているため、A系を代表として選定する。

1.3 構造強度評価における評価対象部位の選定

1. 概要

本資料は機器の構造強度評価における評価対象部位の選定について説明するものである。

2. 評価対象部位の選定

構造強度評価における評価対象部位の選定については、屋外の機器は①、屋内の機器は②の選定を基本とし、その他は機器形状等に応じて選定している。

①設計竜巻による荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位（基礎ボルト等）

②気圧差による荷重を受ける主要部位

③規格式により、対象が定められている部位

④その他

表 2-1 に構造強度評価対象選定一覧を示す。

表 2-1 構造強度評価対象選定一覧(1/6)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-7 原子炉補機海水 ポンプ及び高圧 炉心スプレイ補 機海水ポンプの 強度計算書	原子炉補機海水 ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・原動機取付ボルト ・ポンプ取付ボルト ・基礎ボルト ・端子箱取付ボルト ・通風ダクト取付ボルト ・空気冷却器取付ボルト 	引張 せん断 組合せ	<p>ポンプ部について、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用する。このため、ポンプ部及び原動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、さらに支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、以下の部位を評価対象部位として選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原動機取付ボルト ・ポンプ取付ボルト ・基礎ボルト 	○	-	-	-	
		<ul style="list-style-type: none"> ・原動機フレーム 	引張	<p>原動機部について、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び付属品に作用する。このため、付属品を固定する以下の部位を評価対象部位として選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原動機フレーム ・端子箱取付ボルト ・通風ダクト取付ボルト ・空気冷却器取付ボルト 	-	-	-	○	設計竜巻による風荷重に対する、ポンプの主要部材である原動機について、曲げ応力に対する健全性を確認

注記*：①設計竜巻による荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位（基礎ボルト等）
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 2-1 構造強度評価対象選定一覧 (2/6)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-7 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・原動機取付ボルト ・ポンプ取付ボルト ・基礎ボルト ・端子箱取付ボルト ・エンドカバー取付ボルト 	引張 せん断 組合せ	<p>ポンプ部について、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び原動機部に作用する。このため、ポンプ部及び原動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、さらに支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、以下の部位を評価対象部位として選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原動機取付ボルト ・ポンプ取付ボルト ・基礎ボルト 	○	-	-	-	
		<ul style="list-style-type: none"> ・原動機フレーム 	引張	<p>原動機部について、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び付属品に作用する。このため、付属品を固定する以下の部位を評価対象部位として選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原動機フレーム ・端子箱取付ボルト ・エンドカバー取付ボルト 	-	-	-	○	設計竜巻による風荷重に対し、ポンプの主要部材である原動機について、曲げ応力に対する健全性を確認
VI-3-別添 1-8 海水ストレーナの強度計算書	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機海水ストレーナ ・高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ 	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎ボルト 	引張 せん断 組合せ	<p>設計竜巻による荷重は、胴及び支持脚を介して、基礎ボルトに作用する。海水ストレーナの転倒により、海水ストレーナの海中の固形物を除去する機能に与える影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、さらに胴及び支持脚と比較し断面積が小さく、発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。</p>	-	-	○	-	

注記*：①設計竜巻による荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位（基礎ボルト等）
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 2-1 構造強度評価対象選定一覧 (3/6)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-9 配管及びび弁の強度計算書	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機海水系配管及びび弁 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及びび弁 	<ul style="list-style-type: none"> 配管 	一次 (膜 + 曲げ)	設計竜巻による荷重は配管本体に作用する。なお、弁の厚さは配管の厚さに比べ厚く、弁の評価は、配管の評価に包絡されるため、配管の評価のみ実施する。サポート (配管支持構造物) については、建物内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であり、竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡されることから、配管本体を評価対象部位として選定する。	-	-	-	○	
	<ul style="list-style-type: none"> 非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及びび弁 (屋外), 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及びび弁 非常用ガス処理系配管及びび弁 	<ul style="list-style-type: none"> 配管 	周方向応力	設計竜巻の気圧差による荷重は配管本体に作用する。このことから、配管本体を評価対象部位として選定する。	-	○	-	-	

注記* : ①設計竜巻による荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位 (基礎ボルト等)
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 2-1 構造強度評価対象選定一覧 (4/6)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-11 空調換気設備の 強度計算書	・ダンパ	・外板 ・羽根 ・シャフト	曲げ せん断	設計竜巻の気圧差による荷重は、外板及び羽根に作用し、羽根を介してシャフトに作用する。このことから、外板、羽根及びシャフトを評価対象部位として選定する。	-	○	-	-	
	・角ダクト及び丸ダクト	・ダクト鋼板	曲げ 座屈	設計竜巻の気圧差による荷重は、ダクト本体のダクト鋼板に作用する。このことから、ダクト鋼板を評価対象部位として選定する。	-	○	-	-	
	・隔離弁	・弁箱 ・弁体 ・弁棒	周方向応力 曲げ せん断	設計竜巻の気圧差による荷重は、隔離弁の耐圧部に作用する。このことから、耐圧部である弁箱、弁体、弁棒を評価対象部位として選定する。	-	○	-	-	
	・送風機	・ケーシング	周方向応力	設計竜巻の気圧差による荷重は、送風機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。	-	○	-	-	
	・処理装置	・ケーシング	曲げ	設計竜巻の気圧差による荷重は、処理装置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。	-	○	-	-	
VI-3-別添 1-12 非常用発電装置 の強度計算書	・非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	・ケーシング	外圧	設計竜巻の気圧差による荷重は、燃料移送ポンプの耐圧部に作用することから、耐圧部であるケーシングを評価対象部位として選定する。	-	○	-	-	

注記*：①設計竜巻による荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位（基礎ボルト等）
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 2-1 構造強度評価対象選定一覧 (5/6)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-13-2 消音器の強度計算書	<ul style="list-style-type: none"> 排気消音器 (非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイスディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設) 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎ボルト 結合ボルト 	引張 せん断 組合せ	設計竜巻による荷重は、排気消音器に作用し、結合ボルトを介して基礎ボルトに作用する。 排気消音器の転倒による閉塞により、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイスディーゼル発電設備ディーゼル機関の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、さらに支持断面積が小さいことから、発生する応力が厳しくなる結合ボルト及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。	○	-	-	-	

注記*：①設計竜巻による荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位 (基礎ボルト等)
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 2-1 構造強度評価対象選定一覧 (6/6)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-13-3 排気管及びベン ト管の強度計算 書	<ul style="list-style-type: none"> 排気管 (非常用 ディーゼル発 電設備、ディー ゼル機関及び 高圧炉心スプ レイ系ディー ゼル発電設備 ディーゼル機 関の付属施設) ベント管 (非常 用ディーゼル 発電設備及び 高圧炉心スプ レイ系ディー ゼル発電設備 ディーゼル燃 料貯蔵タンク、 ディーゼル燃 料ディーゼル 及び潤滑油サ ンプタンクの 付属施設) 	<ul style="list-style-type: none"> 配管 	一次 (膜 + 曲げ)	設計竜巻による荷重は、配管本体及びサポート (配管 支持構造物) に作用する。サポート (配管支持構造物) については、建物内外に関わらず地震に対して耐荷重 設計がなされており、配管本体に竜巻の風荷重が作用 した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、竜 巻による荷重に対するサポート (配管支持構造物) の 設計は耐震設計に包絡される。このことから、配管本 体を評価対象部位として選定する。	-	-	-	○	

注記* : ①設計竜巻による荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位 (基礎ボルト等)
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

6. 排気管及びベント管の強度計算に関する補足説明資料

6.1 非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系デ
ィーゼル発電設備排気管の許容応力

1. 概要

VI-3-別添 1-13-3「排気管及びベント管の強度計算書」において、強度評価を行っている非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気管（以下「排気管」という。）の材質は SM400B（溶接構造用圧延鋼材）を使用しているが、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」（以下「JSME」という。）付録材料図表 part5 における SM400B の設計降伏点（ S_y ）は 350℃までの値が記載されているのに対し、排気管の最高使用温度は 450℃であることから、450℃における設計降伏点の設定根拠について説明する。

2. 設計降伏点の設定根拠

SM400B（旧呼称：SM41B）の高温領域での設計降伏点については図 1 に示すとおり、（社）日本鉄鋼協会データシート シリーズ 3「高温引張試験」における、SM41B の 450℃の降伏点の下限値（ 15.8kg/mm^2 ）と JSME の付録材料図表 part5 の値を 450℃まで外挿した値（ 13.7kg/mm^2 ）を比較し、JSME の付録材料図表 part5 の値を 450℃まで外挿した値の方が保守的である。

このことから、JSME の付録材料図表 part5 の値を 450℃まで外挿した値（ $13.7\text{kg/mm}^2 \approx 135\text{MPa}$ ）を採用している。

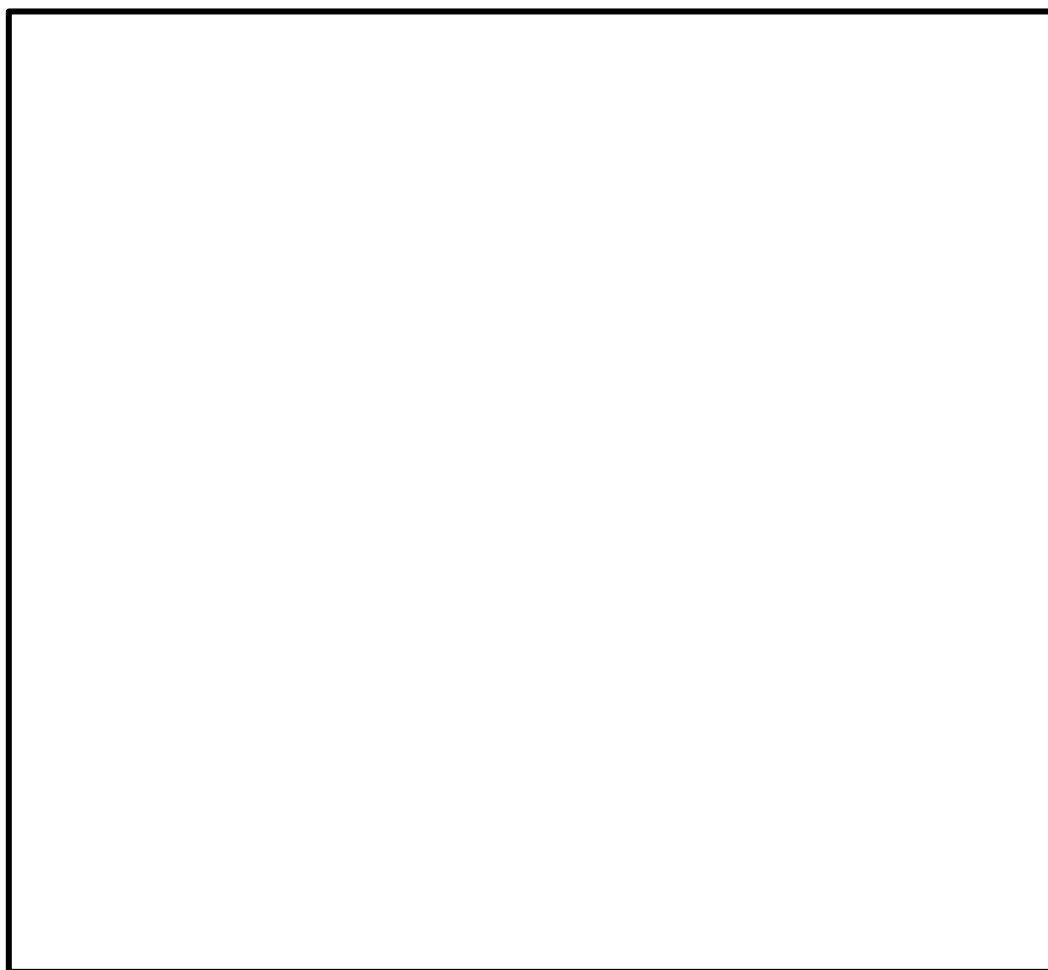


図 1 日本鉄鋼協会データシートにおける SM41 の降伏点（一部加筆）