

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添3-013-15
提出年月日	2022年5月30日

VI-3-別添 1-13-3 排気管及びベント管の強度計算書

2022年5月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	11
4. 評価条件	13
5. 強度評価結果	14

1. 概要

本資料は、VI-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、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある排気管（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）及びベント管（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、ディーゼル燃料デイトタンク及び潤滑油サンプタンクの付属施設）（以下「排気管及びベント管」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、排気管及びベント管の機能を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

VI-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」，「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ，排気管及びベント管の「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

VI-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，排気管及びベント管は，図2-1に示す位置に設置する。

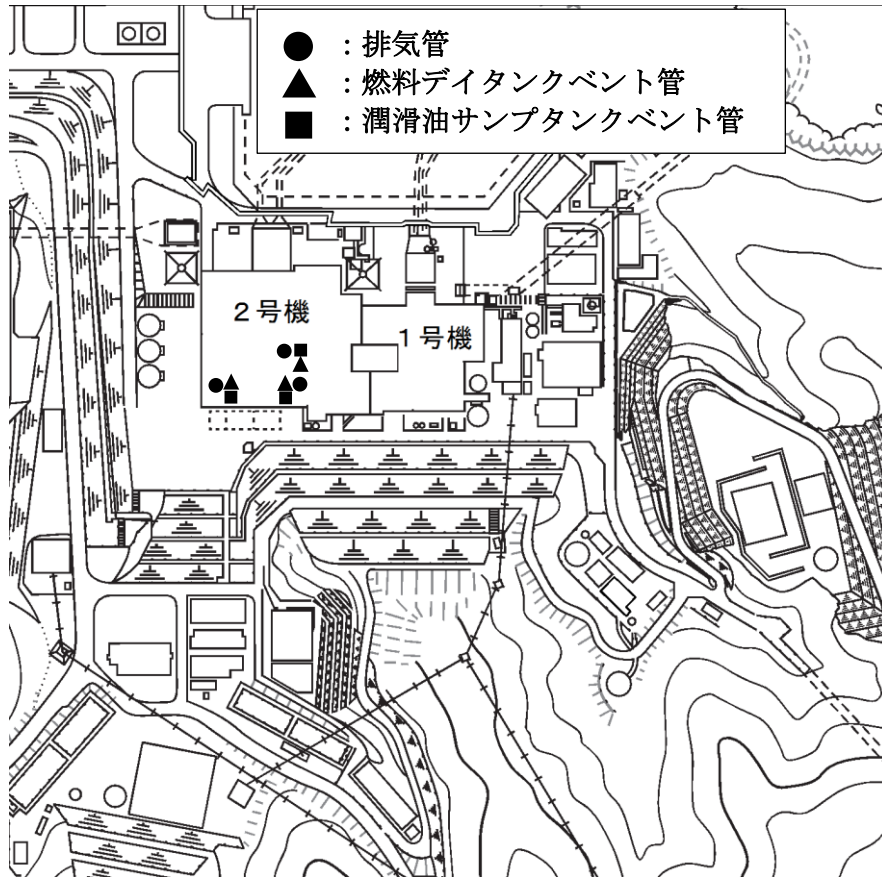


図2-1 排気管及びベント管の位置図

2.2 構造概要

VI-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て、排気管及びベント管の構造を設定する。

排気管及びベント管は鋼製の配管で構成される。排気管及びベント管は、原子炉建物に設置する設計とし、支持構造物で床等に固定する構造とする。排気管の概略構造図を図2-2、ベント管の概略構造図を図2-3に示す。

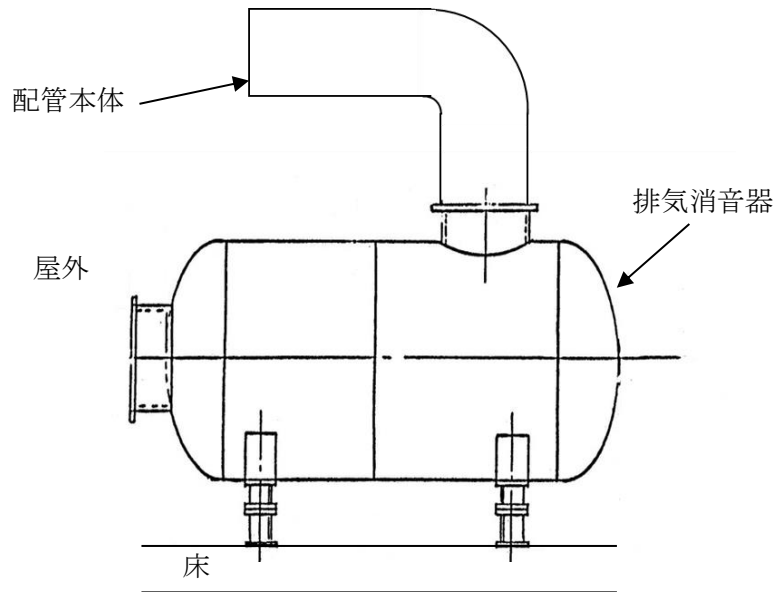


図2-2 排気管の概略構造図

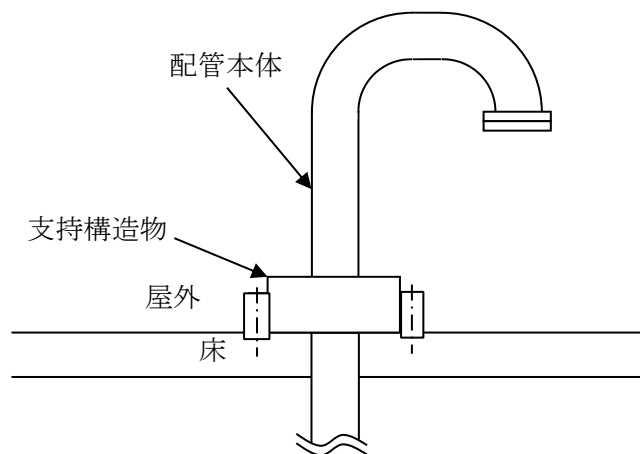


図2-3 ベント管の概略構造図

2.3 評価方針

排気管及びベント管の強度評価は、VI-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」を踏まえ、排気管及びベント管の評価対象部位に生じる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」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

(1) 構造強度評価の方針

排気管及びベント管の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-4に示す。

- ・排気管及びベント管に対して、常時作用する荷重、設計竜巻による荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。
- ・排気管及びベント管に生じる応力は、VI-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」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-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、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）、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

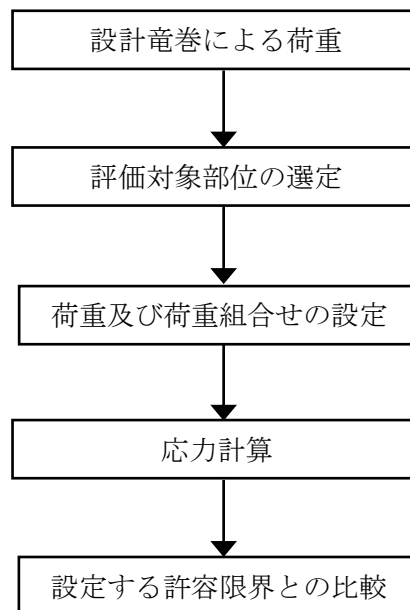


図2-4 排気管及びベント管の構造強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会 2004改定）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007年（（社）日本機械学会）（以下「JSME」という。）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補一1984）（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1987）（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1991追補版）（（社）日本電気協会）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 構造強度評価の記号の定義

排気管及びベント管の構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ² /m	単位長さ当たりの受圧面積（風向に垂直な面を投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	配管外径
g	m/s ²	重力加速度
G	—	ガスト影響係数
ℓ	m	受圧部長さ（片持ち部）
L	m	支持間隔
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
M	N・m	風圧力による曲げモーメント
P	MPa	内圧
ΔP_{max}	N/m ²	設計竜巻の最大気圧低下量
q	MPa	設計用速度圧
S _y	MPa	J S M E 付録材料図表 Part5表8にて規定される設計降伏点
V _D	m/s	設計竜巻の最大風速
t	mm	板厚
W _P	N	気圧差による荷重
W _w	N/m	単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	m ³	断面係数
σ_1, σ_2	MPa	配管に生じる応力
σ_{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1}, \sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
σ_{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力
ρ	kg/m ³	空気密度

3.2 評価対象部位

排気管及びベント管の評価対象部位は、VI-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」にて示している評価対象部位に従い、「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。

(1) 構造強度評価の評価対象部位

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）又は配管本体及び排気消音器に作用する。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。排気消音器については、VI-3-別添1-13-2「消音器の強度計算書」に示すとおり、竜巻に対して耐荷重設計がなされているため、竜巻による風荷重が作用した場合でも、構造健全性を保持する。このことから、配管本体を評価対象部位として選定する。排気管の構造強度評価における評価対象部位及びベント管の構造強度評価における評価対象部位を図3-1、図3-2に示す。

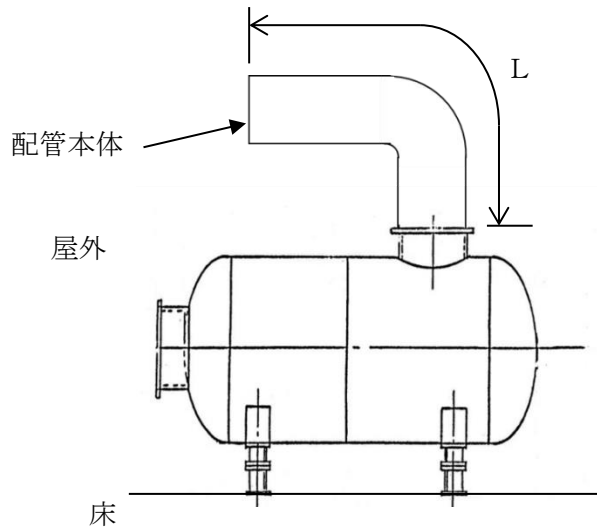


図3-1 排気管の評価対象部位

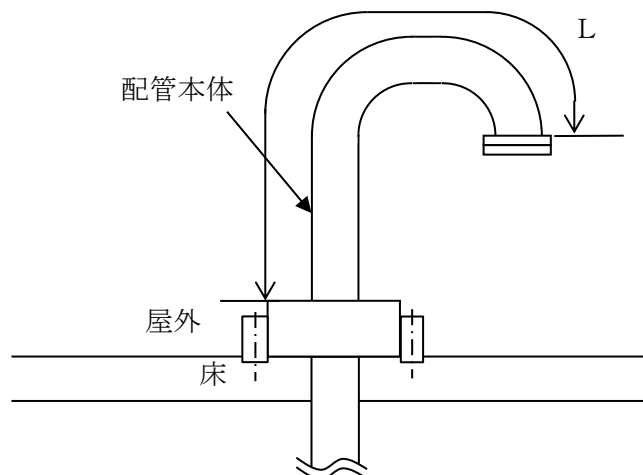


図3-2 ベント管の評価対象部位

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、VI-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」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造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。

単位長さ当たりの自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。排気管及びベント管には、運転時に内圧が作用するため、運転時に作用する荷重も考慮する。また、排気管及びベント管が、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気又は通気され、かつ速やかに補修する方針とするため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に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、VI-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 (W_w)」に示す式に従い、算出する。

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

$$\text{ここで、 } q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ロ. 気圧差による荷重 (W_P)

気圧差による荷重 W_P は、VI-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」に示す方法に従い、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法を「3.5(1) 構造強度評価の計算方法」に示す。

$$W_P = \Delta P_{\text{max}} \cdot A$$

(c) 運転時に作用する荷重

運転時に作用する荷重として、配管に作用する内圧を考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、排気管及びベント管の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。構造強度評価の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷 重
波及的影響を及ぼす可能性のある施設	排気管（ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）	配管本体	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重 ④内圧による荷重
	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、ディーゼル燃料デイタンク及び潤滑油サンプタンクの付属施設）		①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重 ④内圧による荷重

3.4 許容限界

排気管及びベント管の許容限界は、VI-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」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力を用いる。

(1) 構造強度評価の許容限界

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とする。材料の設計降伏点はJ S M E付録材料図表Part5表8により算出した値を用いる。周囲環境温度がJ S M E付録材料図表Part5表8記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。排気管及びベント管の配管本体の許容限界を表3-3、許容応力を表3-4に示す。

表3-3 排気管及びベント管本体の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力 (膜+曲げ)
Ⅲ _A S	S _y

表3-4 排気管及びベント管本体の許容応力

評価対象配管	管外径 (mm)	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)
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)	914.4	SM400B	450*	135
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デイトンクの付属施設)	76.3	STPT410	45*	242
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)	139.8	STPT410	85*	224

注記* : 最高使用温度

3.5 評価方法

(1) 構造強度評価の評価方法

排気管及びベント管の構造強度評価は、VI-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」にて設定している評価式を用いる。

a. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持はりとして評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。なお、排気管及びベント管は、配管端部が片持ち形状となっていることから、配管端部についても片持ちはりとして評価を行う。

片持ち形状の配管モデルを図 3-3 に示す。

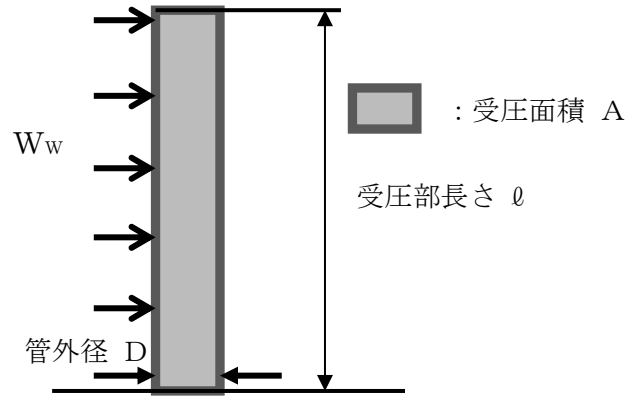


図 3-3 配管モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持間隔に等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{WW} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P_{\max} \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，イ.，ロ.項の複合荷重により生じる応力 σ_{WT1} 及び σ_{WT2} は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は，以下の式により算定する。

イ. 自重により生じる応力

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

ロ. 内圧により生じる応力

$$\sigma_{\text{内圧}} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ，配管に生じる応力として以下の式により σ_1 及び σ_2 を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1～表4-4に示す。

表4-1 評価条件

V_D (m/s)	ρ (kg/m ³)	q (N/m ²)	G (-)	C (-)	g (m/s ²)
92	1.226	5189	1.0	1.2	9.80665

表4-2 評価条件（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））

D (mm)	形状	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	A (m ² /m)	P (MPa)
914.4	片持ち	SM400B	4.11	9.5	212.1	0.9144	0.00981

表4-3 評価条件（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デイトンクの付属施設））

D (mm)	形状	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	A (m ² /m)	P (MPa)
76.3	片持ち	STPT410	2.072	5.2	9.2	0.0763	0

表4-4 評価条件（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ルタンクの付属施設））

D (mm)	形状	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	A (m ² /m)	P (MPa)
139.8	片持ち	STPT410	2.072	6.6	21.7	0.1398	0

5. 強度評価結果

(1) 構造強度評価の評価結果

- a. 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）

竜巻発生時の構造強度評価結果を表5-1に示す。

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）に発生する応力は、許容応力以下である。

表5-1 構造強度評価結果

D (mm)	形状	材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
914.4	片持ち	SM400B	34	135

- b. 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デイトンクの付属施設）

竜巻発生時の構造強度評価結果を表5-2に示す。

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デイトンクの付属施設）に発生する応力は、許容応力以下である。

表5-2 構造強度評価結果

D (mm)	形状	材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	片持ち	STPT410	120	242

- c. 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）

竜巻発生時の構造強度評価結果を表5-3に示す。

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）に発生する応力は、許容応力以下である。

表5-3 構造強度評価結果

D (mm)	形状	材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
139.8	片持ち	STPT410	50	224