

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-17-0027_改1
提出年月日	2021年4月13日

VI-3-別添 1-1-10-4 ミスト配管及びベント配管の強度計算書

02 ③ VI-3-別添 1-1-10-4 R 2

2021年4月

東北電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	7
3.4 許容限界	9
3.5 強度評価の計算方法	10
4. 評価条件	13
5. 強度評価結果	15

1. 概要

本資料は、添付書類「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、屋外に設置している非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管、非常用ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管、非常用ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び非常用ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンクミスト配管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油補給タンクミスト配管（以下「非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管」という。）及び軽油タンクベント配管が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管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

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管について、添付書類「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、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の「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

屋外に設置している非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、添付書類「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、図 2-1 に示す位置に設置する。

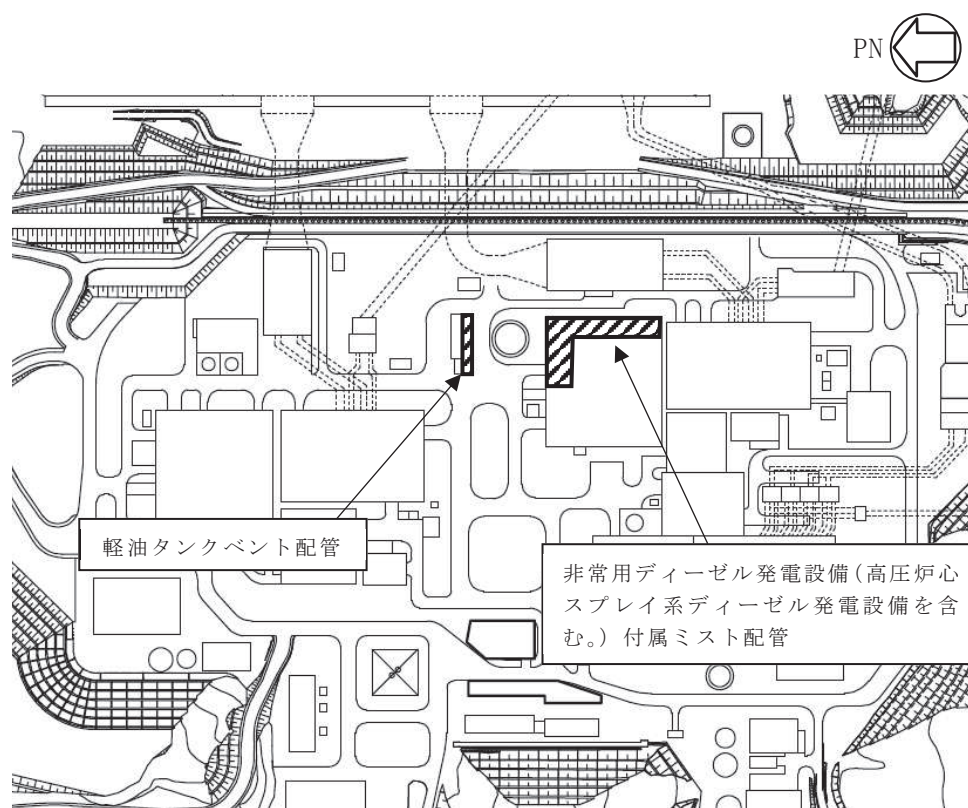


図 2-1 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備を含む。）
付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の位置図

2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管について、添付書類「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、構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、鋼製の配管で構成される。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、支持構造物により建屋壁面や軽油タンク室等に固定する構造とする。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の概要図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

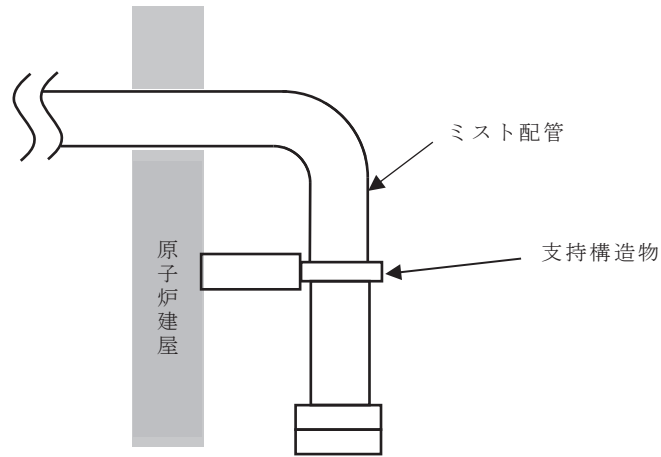


図 2-2 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）
付属ミスト配管の概要図

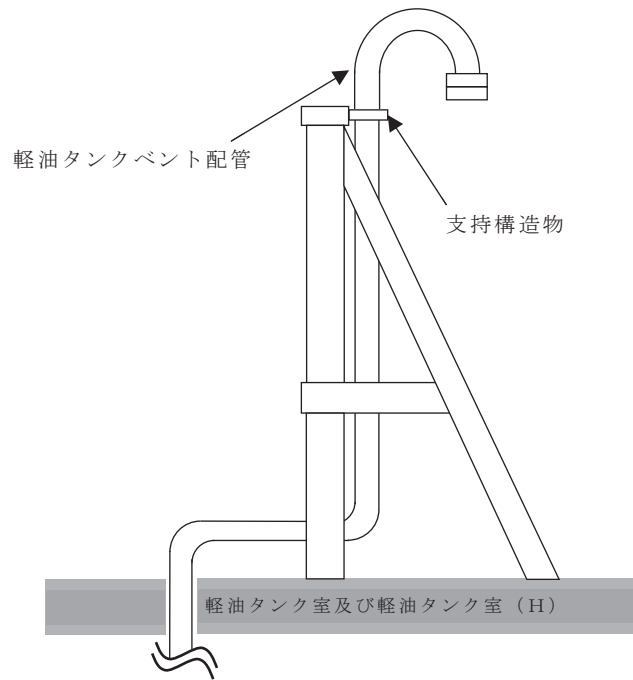


図 2-3 軽油タンクベント配管の概要図

2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価は、添付書類「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」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、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の評価対象部位に作用す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」に示す評価条件を

用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価フローを図2-4に示す。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価においては、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、評価対象部位を選定する。

強度評価において、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管に対しては、設計竜巻による荷重に内圧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。

強度評価では、添付書類「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る。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の許容限界は、添付書類「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」に示す許容限界である、「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_{A S}とする。

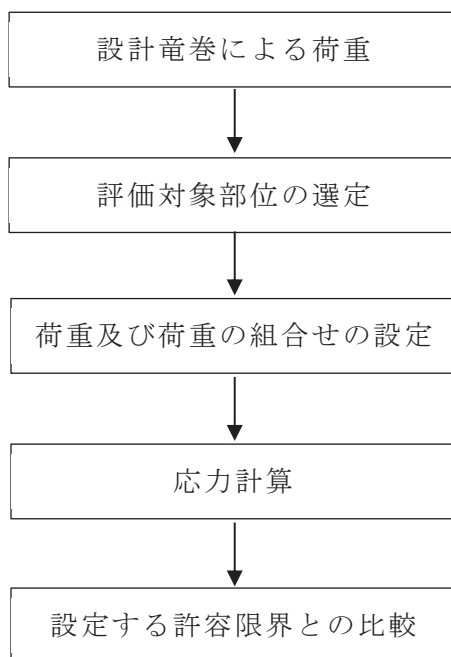


図2-4 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・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）
- ・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）
- ・J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会 1987年 新版機械工学便覧

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表3-1 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m ² /m	単位長さ当たりの施設の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
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	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
S _y	MPa	設計・建設規格 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
W _w	N/m	設計竜巻の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

表3-1 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
Z	mm ³	断面係数
π	—	円周率
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
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

3.2 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の評価対象部位は、添付書類「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。

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、建屋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。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価における評価対象部位を図 3-1、図 3-2 に示す。

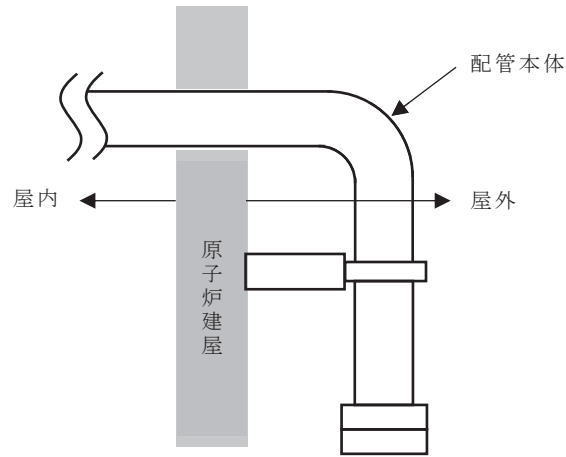


図3-1 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）
付属ミスト配管の評価対象部位

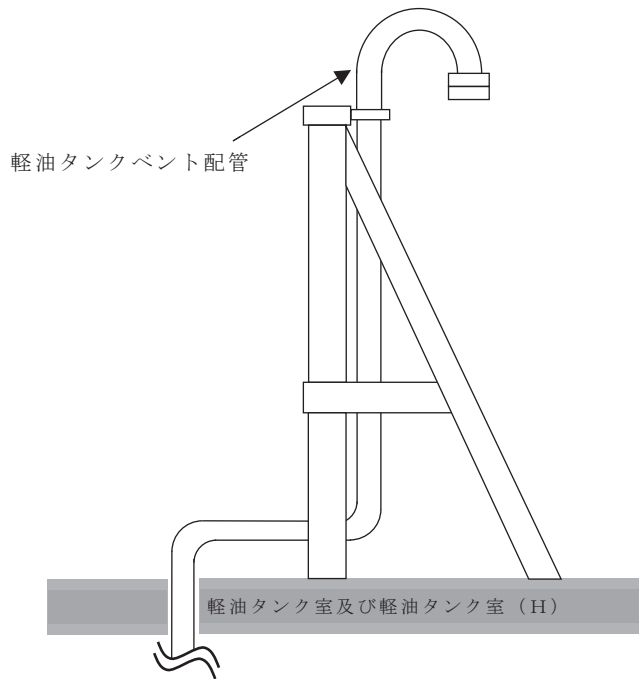


図3-2 軽油タンクベント配管の評価対象部位

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、添付書類「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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

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。なお、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は通気機能が健全であれば良く、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通気箇所から通気され、閉塞することはないため、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。

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w は、添付書類「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」に示す式に従い、算出する。

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

(b) 気圧差による荷重 (W_p)

気圧差による荷重 W_p は、添付書類「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」に示す評価方法に従って、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(2) 強度評価の計算方法」に示す。

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「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、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。強度評価に用いる荷重の組合せを表 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
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施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管 ・ 軽油タンクベント配管 	配管本体	<ul style="list-style-type: none"> ①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧

3.4 許容限界

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「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」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

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から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格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、設計・建設規格 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。

配管の強度評価における許容限界を表3-3、許容応力を表3-4に示す。

表 3-3 配管の許容限界

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 配管の許容応力

評価対象配管	管外径 (mm)	材料	温度条件* (°C)	S _y (MPa)
機関ミスト配管	114.3	STPT410	45	242
潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油 補給タンクミスト配管	76.3	STPT410	45	242
燃料油ドレンタンクミスト配管	42.7	STPT410	45	242
燃料デイトンクミスト配管	60.5	STPT410	45	242
軽油タンクベント配管	114.3	STPT370	66	199

注記 *：最高使用温度

3.5 強度評価の計算方法

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価は、添付書類「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。

(1) 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梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材料ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。

なお、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の配管端部は、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梁として評価を行う。

両端支持形状の配管モデル図を図 3-3 に、片持ち形状の配管モデル図を図 3-4 に示す。

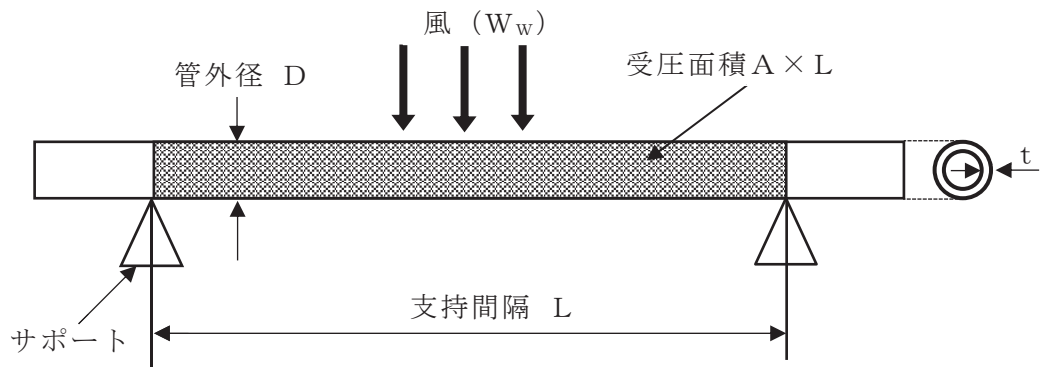


図 3-3 配管モデル図 (両端支持形状)

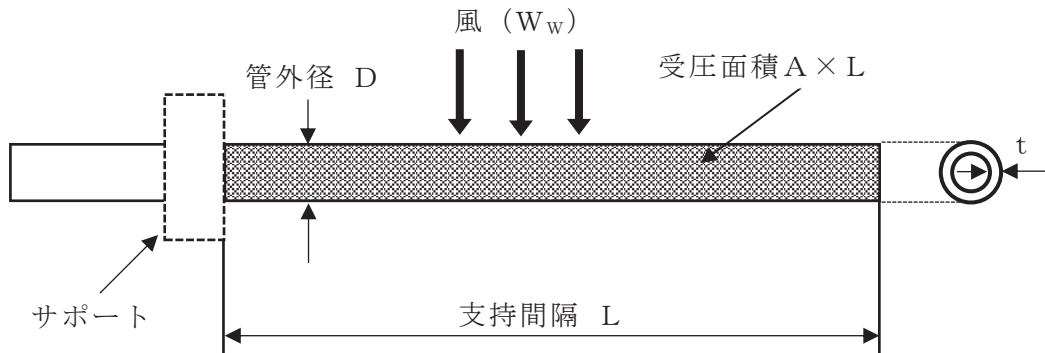


図3-4 配管モデル図 (片持ち形状)

(2) 計算方法

a. 竜巻による応力計算

(a) 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スパン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。

(両端支持形状)

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

(片持ち形状)

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

ここで

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

(b) 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。

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

したがって、(a)、(b)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。

(両端支持形状)

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

(片持ち支持形状)

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

$$w = m \cdot g$$

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

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。

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

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

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-6 に示す。

表 4-1 共通評価条件

ガスト係数 G (-)	風力係数 C (-)	設計用速度圧 q (MPa)	気圧低下量 ΔP (MPa)	重力加速度 g (m/s ²)
1	1.2	6.13×10^{-3}	7.6×10^{-3}	9.80665

表 4-2 評価条件 (機関ミスト配管)

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
114.3	両端支持	STPT410	3.296	6.0	16.03	0.1143	0.1013
	片持ち	STPT410	0.422	6.0	77.63	0.2163	0.1013

表 4-3 評価条件 (潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油補給タンクミスト配管)

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
76.3	両端支持	STPT410	3.258	5.2	9.118	0.0763	0.1013
	片持ち	STPT410	0.418	5.2	30.86	0.1143	0.1013

表 4-4 評価条件 (燃料油ドレンタンクミスト配管)

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
42.7	両端支持	STPT410	2.310	4.9	4.568	0.0427	0.1013
	片持ち	STPT410	0.418	4.9	21.56	0.0763	0.1013

表 4-5 評価条件（燃料デイトンクミスト配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
60.5	両端支持	STPT410	2.683	5.5	7.460	0.0605	0.1013
	片持ち	STPT410	1.222	5.5	15.60	0.0891	0.1013

表 4-6 評価条件（軽油タンクベント配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
114.3	両端支持	STPT370	3.160	6.0	16.03	0.1143	0.1013
	片持ち	STPT370	1.127	6.0	20.64	0.1143	0.1013

5. 強度評価結果

(1) 機関ミスト配管

強度評価結果を表5-1に示す。

機関ミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
114.3	両端支持	STPT410	5	27	242
	片持ち	STPT410	3	5	242

(2) 潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油補給タンクミスト配管

強度評価結果を表5-2に示す。

潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油補給タンクミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-2 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	両端支持	STPT410	7	45	242
	片持ち	STPT410	2	6	242

(3) 燃料油ドレンタンクミスト配管

強度評価結果を表5-3に示す。

燃料油ドレンタンクミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-3 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
42.7	両端支持	STPT410	7	49	242
	片持ち	STPT410	5	14	242

(4) 燃料デイトンクミスト配管

強度評価結果を表5-4に示す。

燃料デイトンクミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-4 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
60.5	両端支持	STPT410	6	40	242
	片持ち	STPT410	10	51	242

(5) 軽油タンクベント配管

強度評価結果を表5-5に示す。

軽油タンクベント配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-5 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
114.3	両端支持	STPT370	5	25	199
	片持ち	STPT370	3	14	199