

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-3-013-16 改2
提出年月日	2020年7月28日

V-3-別添 1-9-2 主排気筒の強度計算書

K7 ① V-3-別添 1-9-2 R0

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

V-3-別添 1-9-2 主排気筒の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格	11
3. 強度評価方法	11
3.1 評価対象部位	11
3.2 荷重及び荷重の組合せ	12
3.3 使用材料及び材料の許容応力度	15
3.4 評価方法	17
4. 評価条件	22
5. 強度評価結果	25

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、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である 6 号機及び 7 号機主排気筒（以下「主排気筒」という。）が、設計竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及びコントロール建屋に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

2. 基本方針

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」を踏まえ、「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

主排気筒は、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、6 号機及び 7 号機原子炉建屋屋上面に設置されている施設である。主排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。

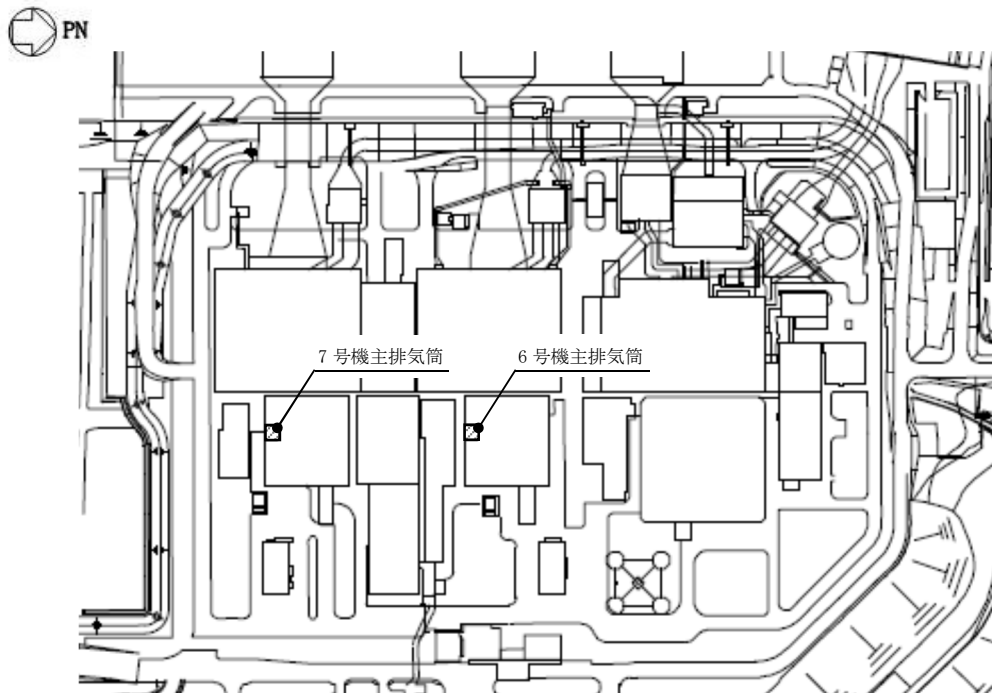


図 2-1 主排気筒の設置位置

2.2 構造概要

主排気筒は、原子炉建屋_{R1}～_{R2}, _{RC}～_{RD}間の屋上 (T. M. S. L. 38.2m) に位置し、内径 2.4m または 2.8m の鋼板製筒身 (換気空調系用排気筒) を鋼管四角形鉄塔 (制震装置付) で支えた鉄塔支持形排気筒である。

また、筒身内部には、非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。

主排気筒の配置図を図 2-2、図 2-3 に、主排気筒の概要図を図 2-4、図 2-5 に示す。

構造概要

構造形状	四角鉄塔支持形鋼管構造 (制震装置付)
主排気筒の高さ	46.8m (T. M. S. L. 85.0m)
鉄塔高さ	41.8m (T. M. S. L. 80.0m)
鉄塔幅	頂部 5.0m
	根開き NS 方向 7.1m, EW 方向 8.0m
筒身支持点位置	T. M. S. L. 48.0m, 76.25m
基礎	T. M. S. L. 38.2m 以上の鉄骨鉄筋コンクリート造*立上り部を基礎とする。

注記* : 基礎は鉄筋コンクリート造として評価する。

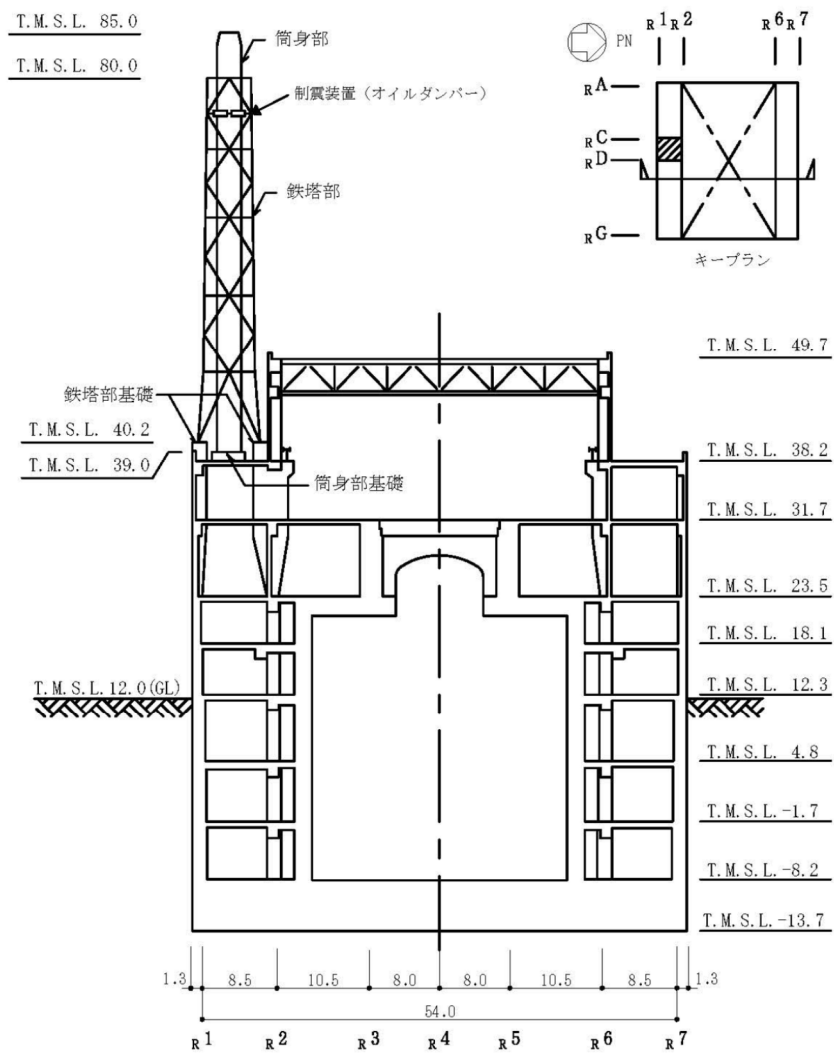


図 2-2 6号機主排気筒配置図 (単位 : m)

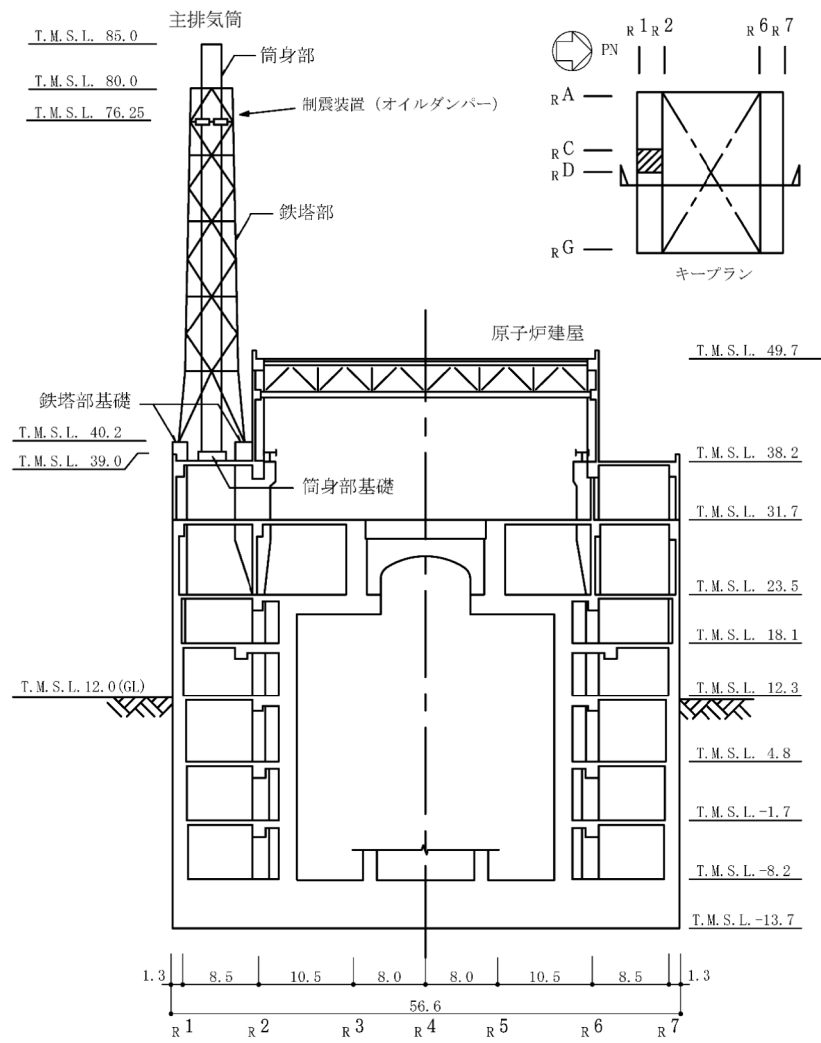
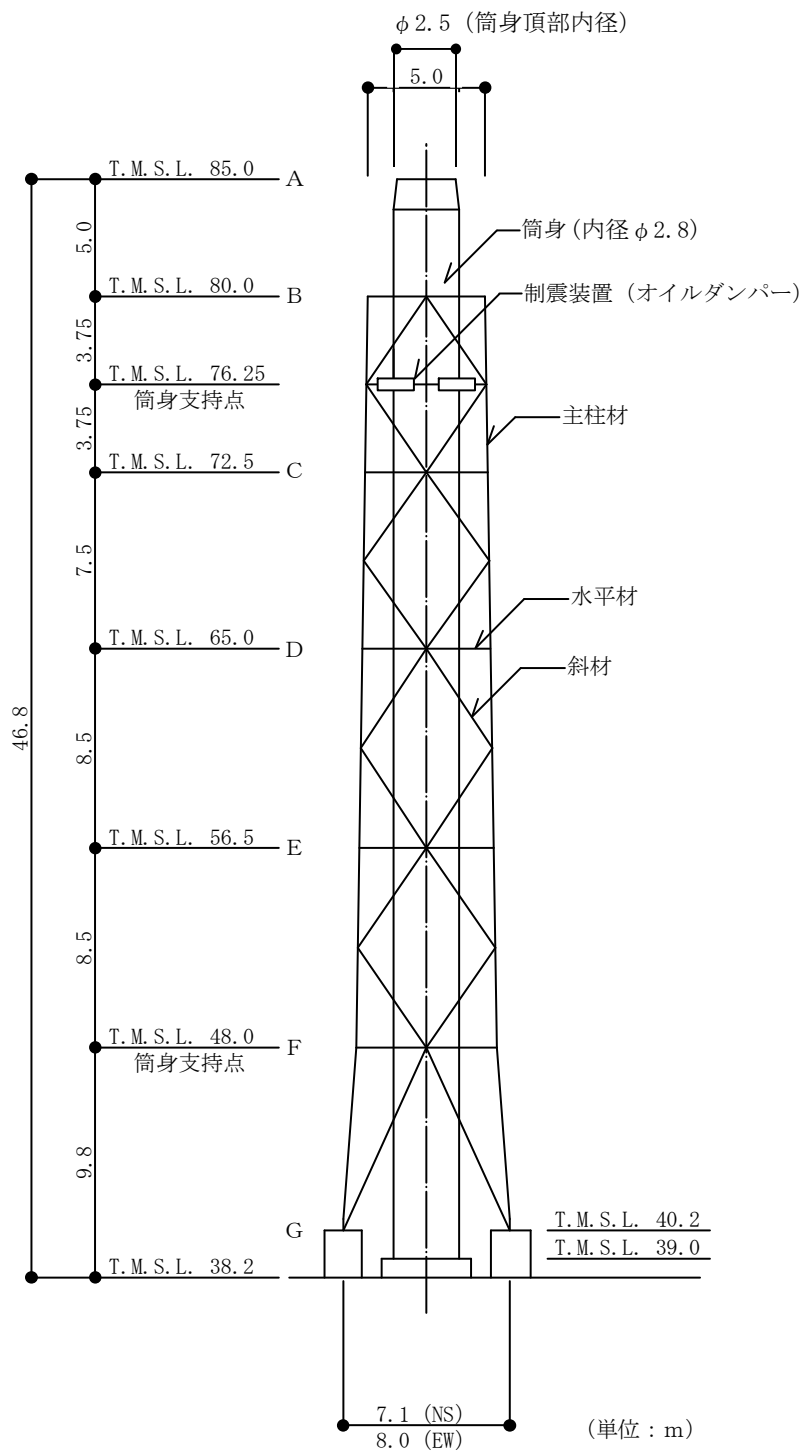


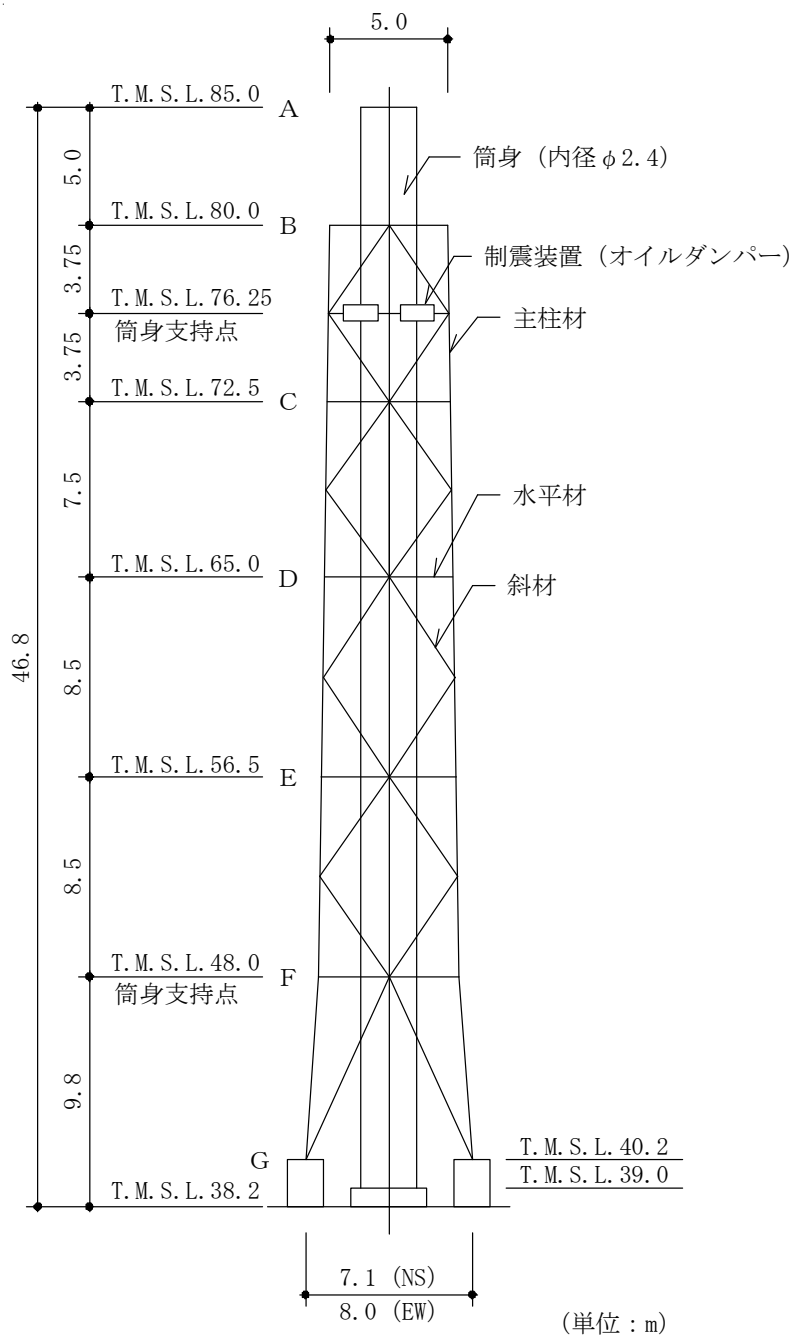
図 2-3 7号機主排気筒配置図 (単位 : m)



主柱材	φ 711.2 × 19	φ 609.6 × 16	φ 508.0 × 7.9	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6
水平材	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6	φ 216.3 × 4.5		
斜材	φ 558.8 × 16	φ 406.4 × 12.7	φ 355.6 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5
筒身板厚	t = 12	t = 8	t = 8	t = 6	t = 6
部材リスト (単位 : mm)					
	STK490 [STK50] *				
	STK400 [STK41]				
	STK490 [STK50]				
	SMA400A [SMA41A]				

注記* : [] 内は従来標記を示す。

図 2-4 6号機主排気筒概要図



主柱材	φ 711.2×19	φ 609.6×16	φ 508.0×7.9	φ 406.4×6.4	φ 318.5×6	φ 216.3×4.5	φ 216.3×4.5	t=6
水平材	φ 406.4×6.4	φ 318.5×6	φ 318.5×6	φ 267.4×6	φ 267.4×6	φ 267.4×6	φ 267.4×6	t=6
斜材	φ 558.8×16	φ 406.4×12.7	φ 355.6×7.9	φ 267.4×6	φ 267.4×6	φ 267.4×6	φ 267.4×6	t=8
筒身板厚	φ 558.8×16	φ 406.4×12.7	φ 355.6×7.9	φ 267.4×6	φ 267.4×6	φ 267.4×6	φ 267.4×6	t=12
部材リスト (単位: mm)								

注記* : [] 内は従来標記を示す。

図 2-5 7号機主排気筒概要図

また、主排気筒の基礎の概要図を図2-6に示す。主排気筒の基礎は、原子炉建屋と一体となった鉄骨鉄筋コンクリート造の立上り部である。鉄塔部基礎の詳細図を図2-7に示す。

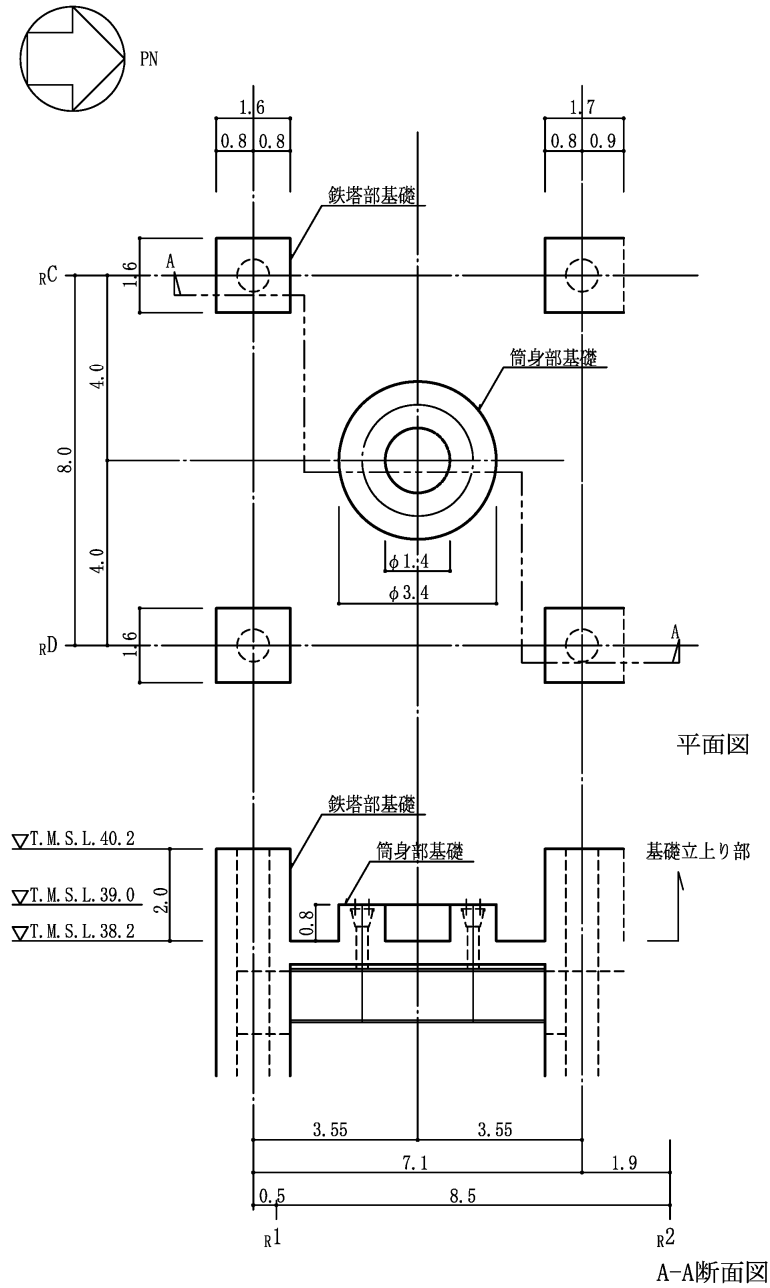


図2-6 主排気筒の基礎の概要図 (単位 : m)

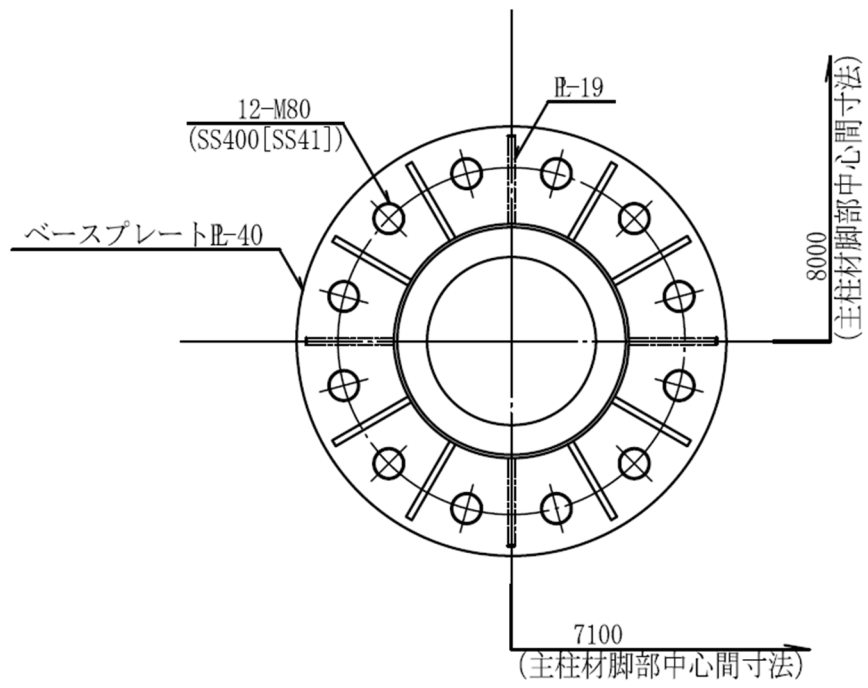


図 2-7 鉄塔部基礎の詳細図 (単位 : mm)

2.3 評価方針

主排気筒の強度評価は、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、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを「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。

主排気筒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。

具体的には、主排気筒が、竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及びコントロール建屋に、倒壊による影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

主排気筒の構造強度評価については、主排気筒の構造を踏まえ、設計荷重が主排気筒に作用した場合に、主排気筒の各評価対象部位に作用する応力度が、「3.3 使用材料及び材料の許容応力度」に示す許容応力度を下回ることを確認する。ここで、設計竜巻による設計飛来物の衝突は、主排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材を損傷させるものとして考慮し、強度評価においては、設計飛来物の衝突による衝撃荷重は考慮しないこととする。また、主排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから、主排気筒の倒壊による波及的影響の評価においては鉄塔部（支柱材、斜材、水平材）及び基礎（鉄塔部基礎ボルト、基礎立上り部）を評価対象とし、筒身は評価対象外とする。筒身への設計飛来物の衝突による筒身の損傷についても、鉄塔部材の損傷想定に包含される。

なお、上記のような損傷を想定しても、主排気筒の有する安全機能を発揮すべき事象（運転時の異常な過渡変化または設計基準事故に伴う放射性物質の放出）が竜巻に起因して発生することはなく、また筒身に損傷が生じた場合は安全上支障のない期間に補修する方針としていることから、主排気筒の安全機能に対する影響はない。

主排気筒の強度評価フローを図 2-8 に示す。

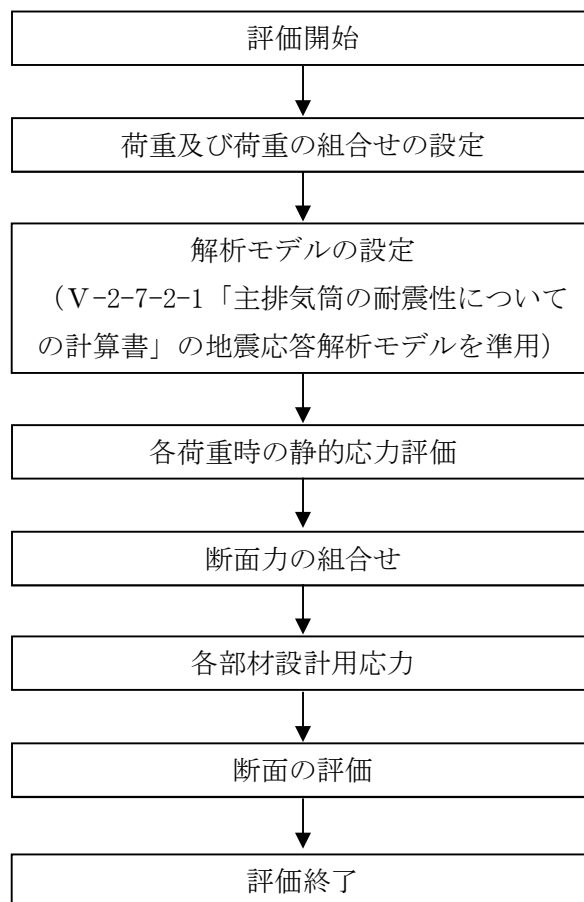


図 2-8 主排気筒の強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」(日本建築学会, 2005 改定)
- ・ 「各種合成構造設計指針・同解説」(日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 日本工業規格 (J I S)

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

主排気筒の評価対象部位は，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」に示す評価基準を踏まえ鉄塔部（支柱材，斜材，水平材）及び基礎（鉄塔部基礎ボルト，基礎立上り部）とする。なお，強度評価は「2.3 評価方針」に示す評価フローに基づき，設計荷重に対して，3次元FEMを用いた応力解析を行う。

3.2 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」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 固定荷重(F_d)

固定荷重として、持続的に生じる荷重である筒身及び鉄塔部の自重の他に、オイルダンパー等の付属設備の重量を考慮する。

b. 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。

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

ここで、 $q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$ とし

W_w : 風圧力による荷重 (kN)

q : 設計用速度圧 (kN/m²)

G : ガスト影響係数

C : 風力係数

A : 鉄塔及び筒身の見付面積 (m²)

ρ : 空気密度 (kg/m³)

V_D : 最大風速 (m/s)

なお、風圧力による荷重 W_w が作用する方向は、45° 方向及び90° 方向とする。鉄塔部材への荷重は、各レベルの水平力を、各部材の支配幅あたりに分配して設定する。

風圧力による荷重 W_w の入力方法を図 3-1 に示す。

荷重方向：

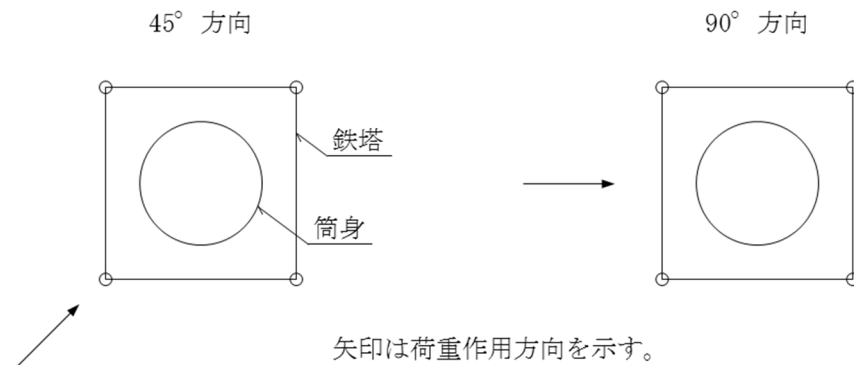


図 3-1 風圧力による荷重 W_w の入力方法

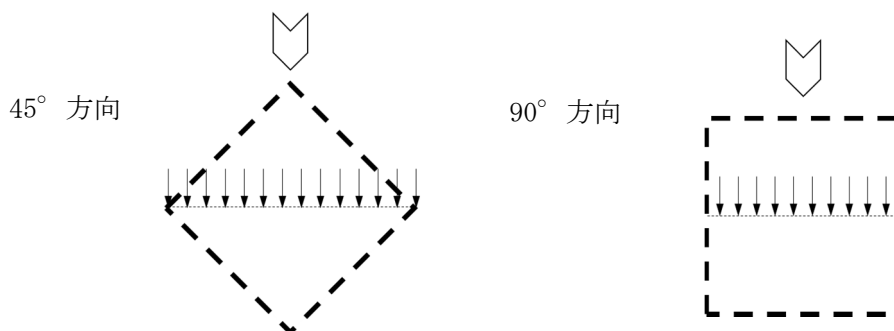
ここで、風力係数Cは「平 12 建告第 1454 号」に基づき、鉄塔はラチス構造物として設定し、筒身は煙突その他の円筒形の構造物として $C=0.9k_z$ ($k_z=1.0$) とする。

鉄塔の風力係数の算出に必要なラチス構造物の風力係数の考え方を表 3-1 に、ラチス構造物の断面を図 3-2 に示す。

表 3-1 ラチス構造物の風力係数の考え方

風圧力による荷重の作用方向	ϕ		
	(1)	(2)	(3)
	0.1以下	0.1を超え0.6未満	0.6
45° 方向	$1.7k_z$	(1)と(3)に掲げる数値を直線的に補間した数値	$1.3k_z$
90° 方向	$2.2k_z$		$1.5k_z$

注： ϕ （充足率）は風を受ける部分の最外縁に囲まれる面積に対する見付面積の割合とし、 k_z は1.0とする。



注：風圧力による荷重が作用する面積は、 ∇ の方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3-2 ラチス構造物の断面

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$W_w + F_d$$

ここで、 W_w : 風圧力による荷重 (kN)

F_d : 固定荷重 (kN)

主排気筒は大気中に開かれており、主排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため、気圧差による荷重は考慮しない ($W_p=0$)。また、「2.3 評価方針」に示したとおり、設計飛来物による衝撃荷重 W_M は、設計飛来物が鉄塔部材を損傷させるものとして考慮していることから考慮しない ($W_M=0$)。損傷を想定する部材は、健全時に風圧力による荷重を受ける際に最も厳しい評価結果となる鉄塔脚部の支柱材とする。図 3-3 に主排気筒の評価用モデル及び損傷を想定する箇所を示す。

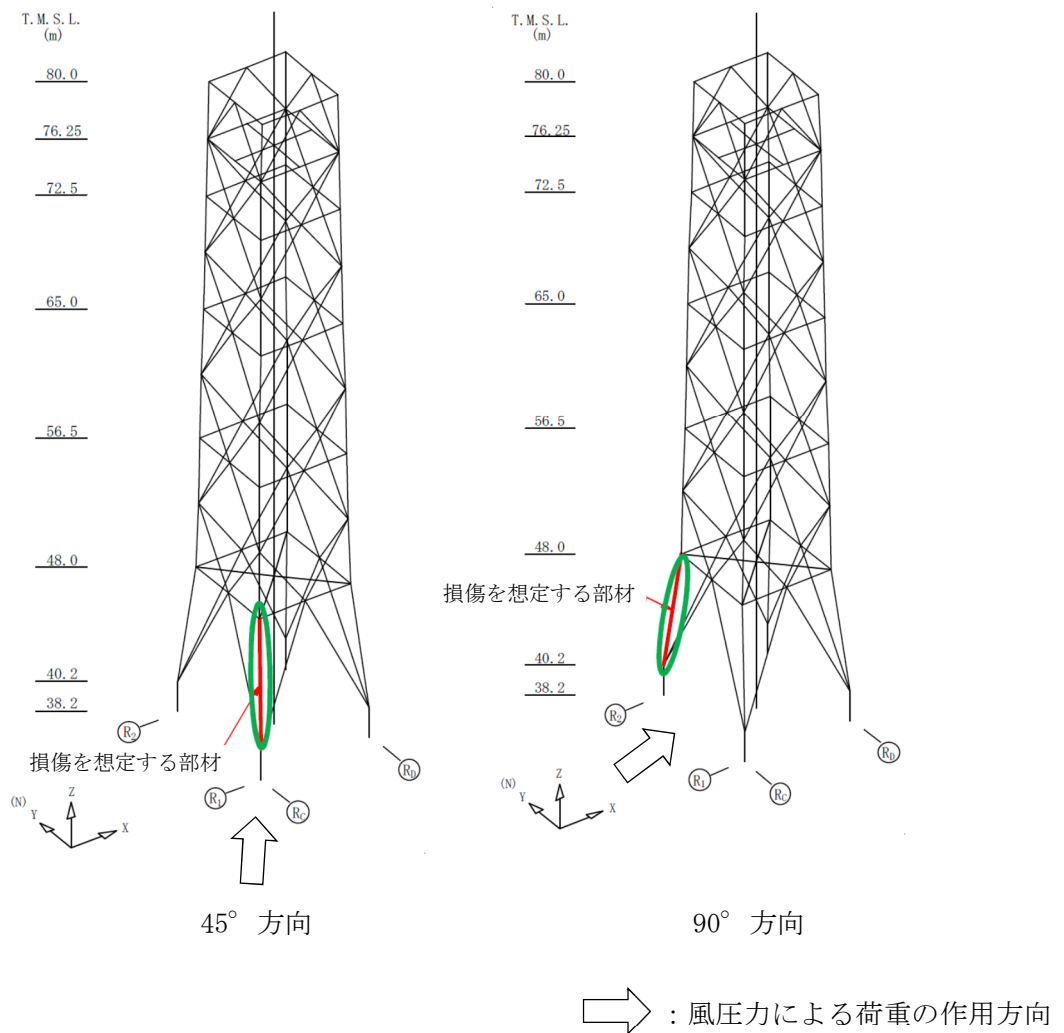


図 3-3 主排気筒の評価用モデル及び設計飛来物による損傷想定箇所

3.3 使用材料及び材料の許容応力度

鋼材は J I S G 3 1 0 1 で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400[SS41]*, J I S G 3 4 4 4 で規定される一般構造用炭素鋼管 STK400[STK41], STK490[STK50]を使用する。

なお, 基礎に使用するコンクリートは普通コンクリートとし, 設計基準強度 F_c は 32.3 N/mm², 鉄筋は SD345[SD35]とする。各使用材料の許容応力度を表 3-2~表 3-5 に示す。

注記* : [] 内は従来標記を示す。

表 3-2 鋼材の許容応力度

板厚	材料	基準強度 F (N/mm ²)	許容応力度
t ≤ 40 mm	STK490[STK50]	325	「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。
	STK400[STK41]	235	

表 3-3 鉄塔部基礎ボルトの許容応力度

部位	材料	基準強度 F (N/mm ²)	許容応力度
鉄塔部基礎ボルト (M80)	SS400[SS41]	215	「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。

表 3-4 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

	長 期			短 期		
	圧 縮	引張	せん断	圧 縮	引張	せん断
F _c = 32.3	10.7	—	0.81	21.5	—	1.21

表 3-5 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

	鉄筋径	長 期		短 期	
		引張 及び圧縮	せん断 補強	引張 及び圧縮	せん断 補強
SD345 [SD35]*	D25 以下	215	195	345	345
	D29 以上	195			

注記*： [] 内は従来標記を示す。

3.4 評価方法

(1) 応力評価方法

主排気筒について、3次元FEMを用いた応力解析を実施する。評価用モデルは図3-2に示すとおり。

(2) 断面算定方法

主排気筒の断面の評価に用いる応力は、3次元FEMモデルを用いた応力解析により得られた設計荷重による断面力（軸力、曲げモーメント、せん断力）（以下「評価用応力」という。）を組み合わせることにより算定する。解析には、解析コード「f a p p a s e」、 「D Y N A 2 E」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 主柱材，斜材，水平材

断面算定は「建築基準法施行令第90条，第96条」及び「平13国交告第1024号」に準拠して行うものとし，主柱材，斜材，水平材に生じる軸力及び曲げモーメントに対して，下式を用いて行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

ここで，

σ_c : 鋼材の平均圧縮応力度 ($\sigma_c = N \cdot 10^3 / A$) (N/mm²)

σ_b : 鋼材の曲げ応力度 ($\sigma_b = M \cdot 10^6 / Z$) (N/mm²)

f_c : 鋼材の圧縮材料強度 (N/mm²)

f_b : 鋼材の曲げ材料強度 (N/mm²)

N : 評価用応力（軸力）(kN)

A : 断面積 (mm²)

M : 評価用応力（曲げモーメント）(kN・m)

Z_p : 塑性断面係数 (mm³)

b. 鉄塔部基礎ボルト

断面算定は基礎ボルトに生じる軸力と曲げモーメント及びせん断力に対して、下式を用いて行う。なお、せん断力は各基礎ボルトに均等に作用するものとする。鉄塔部基礎ボルトの諸元を表 3-6 に、鉄塔の断面性能を表 3-7 に示す。

表 3-6 鉄塔部基礎ボルトの諸元

材料	本数 n	ねじ部 公称径 d ₀ (mm)	ねじ部 有効断面積 A ₀ (×10 ² mm ²)
ボルト (SS400[SS41])	12	80	43.40*

注記*：細目ねじとする。(M80×6)

表 3-7 鉄塔の断面性能 (支柱材：φ711.2×19)

断面積 A (×10 ² mm ²)	断面係数 Z _p (×10 ³ mm ³)
413.2	9100

(a) 引張

$$\sigma_{t1} = \frac{M}{Z_p} - \frac{N}{A}$$

$$T_a = \frac{\sigma_{t1} \cdot A}{n}$$

$$\sigma_t = \frac{T_a}{A_0}$$

$$\frac{\sigma_t}{f_{ts}} \leq 1.0$$

ここで、

σ_{t1} ：鉄塔の引張応力度 (N/mm²)

T_a ：鉄塔部基礎ボルト1本当たりの引張力 (kN)

σ_t ：ボルト1本当たりの引張応力度 (N/mm²)

f_{ts} ：鋼材の引張材料強度 (N/mm²)

n：鉄塔部基礎ボルトの本数 (本)

A₀：鉄塔部基礎ボルトのねじ部有効断面積 (mm²)

N：評価用応力 (軸力) (kN)

A：支柱材の断面積 (mm²)

M：評価用応力 (曲げモーメント) (kN・m)

Z_p：支柱材の塑性断面係数 (mm³)

(b) せん断

$$Q_a = \frac{Q}{n}$$

$$\tau = \frac{Q_a}{A_0}$$

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1.0$$

ここで、

Q_a : 鉄塔部基礎ボルト 1 本当たりのせん断力 (kN)

τ : 鉄塔部基礎ボルト 1 本当たりのせん断応力度 (N/mm²)

f_s : 鋼材のせん断材料強度 (N/mm²)

Q : 評価用応力 (せん断力) (kN)

n : 鉄塔部基礎ボルトの本数 (本)

A_0 : 鉄塔部基礎ボルトのねじ部有効断面積 (mm²)

c. 基礎立上り部

基礎立上り部は引張側より応力が支配的な圧縮側にて検討する。断面算定は、曲げモーメント及びせん断力については鉄筋コンクリート部が負担し、軸力については鉄骨柱が負担するものと考え下式を用いて行う。

鉄骨柱の諸元を表 3-8 に、基礎立上り部の断面性能を表 3-9 に示す。基礎寸法は 2 種類 (1.6m×1.6m 及び 1.6m×1.7m) あるが、ここでは断面性能の低い基礎 (1.6m×1.6m) について評価を実施する。

表 3-8 鉄骨柱の諸元 (φ711.2×22)

断面積 sA ($\times 10^2$ mm ²)	断面係数 sZ ($\times 10^3$ mm ³)
476.3	7960

表 3-9 基礎立上り部の断面性能

断面積 A ($\times 10^2$ mm ²)	断面係数 Z ($\times 10^3$ mm ³)
20860	10234.3

注：基礎寸法 1.6m×1.6m

(a) 曲げ

$$\sigma_t = \frac{M}{Z}$$

$$\frac{\sigma_t}{f_{ts}} \leq 1.0$$

ここで、

σ_t : 基礎立上り部主筋の引張応力度 (N/mm²)

f_{ts} : 主筋の引張材料強度 (N/mm²)

M : 評価用応力 (曲げモーメント) (kN・m)

Z : 基礎立上り部の断面係数 (mm³)

(b) せん断

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1.0$$

ここで、

Q : 評価用応力 (せん断力) (kN)

A : 基礎立上り部の断面積 (mm²)

τ : 基礎立上り部コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

f_s : 鋼材のせん断材料強度 (N/mm²)

(c) 圧縮

$$\sigma_c = \frac{N}{sA}$$

$$\frac{\sigma_c}{f_{cs}} \leq 1.0$$

ここで、

σ_c : 鉄骨柱の圧縮応力度 (N/mm²)

f_{cs} : 鉄骨柱の圧縮材料強度 (N/mm²)

N : 評価用応力 (軸力) (kN)

sA : 鉄骨柱の断面積 (mm²)

d. 材料強度

「平 12 建告第 2464 号」に準拠し、基準強度 F 値を 1.1 倍した材料強度を用いて算出した許容応力度に対して、部材に発生する応力が当該許容応力度を超えないことを確認する。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として、評価対象部位の材料諸元を表4-1に、主排気筒鉄塔部の部材諸元を表4-2に、風圧力による荷重 W_w の算出に必要な条件を表4-3に、算定した風圧力による荷重 W_w を表4-4、表4-5に示す。

表4-1 評価対象部位の材料諸元

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)
鉄塔部	鋼材	2.05×10^5	0.3	2
基礎	コンクリート* ¹ : $\sigma_c = 43.1$ (N/mm ²) 鉄筋 : SD345 [SD35] * ²	2.88×10^4	0.2	5

注記*1 : 実強度に基づくコンクリート強度

*2 : [] 内は従来標記を示す。

表 4-2 主排気筒鉄塔部の部材諸元

評価対象部位	部材間	寸法 (mm)	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	有効せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)
主柱材	B-C	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	C-D	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	16100	40.21
	D-E	$\phi 508.0 \times 7.9$	124.1	38800	62.05
	E-F	$\phi 609.6 \times 16$	298.4	132000	149.2
	F-G	$\phi 711.2 \times 19$	413.2	248000	206.6
斜材	B-C	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	C-D	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	4210	24.64
	D-E	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	13000	43.15
	E-F	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	30500	78.55
	F-G	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	101000	136.4
水平材	B	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	C	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	D	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	E	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	F	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	16100	40.21

表 4-3 風圧力による荷重 W_w の算出に必要な条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m ³)	ガスト影響係数 G (—)	建築物の高さ* H (m)	設計用速度圧 q (kN/m ²)
92	1.226	1.0	68	5.19

注記*：鉄塔部の高さを示す。

表 4-4 風圧力による荷重 W_w (鉄塔部)

T. M. S. L. (m)	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)
80.00	1.92	3.4	34	1.50	5.4	43
76.25	1.85	7.6	73	1.46	11.9	91
72.50	1.92	9.6	96	1.50	15.5	121
65.00	1.85	16.8	162	1.46	27.1	206
56.50	1.85	21.0	202	1.42	34.1	252
48.00	1.78	24.3	225	1.38	39.7	285
40.20	1.85	11.0	106	1.42	18.5	137

注：鉄塔に生じる風圧力による荷重 W_w は、6号機と7号機で同一となる。

表 4-5 風圧力による荷重 W_w (筒身)

T. M. S. L. (m)	6号機			7号機		
	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)
85.00	0.90	6.8	32	0.90	6.0	29
80.00	0.90	12.3	58	0.90	10.6	50
76.25	0.90	10.6	50	0.90	9.0	43
72.50	0.90	15.8	74	0.90	13.6	64
65.00	0.90	22.5	106	0.90	19.3	91
56.50	0.90	24.0	113	0.90	20.5	96
48.00	0.90	24.7	116	0.90	21.2	100
39.00	0.90	12.7	60	0.90	10.9	51

5. 強度評価結果

「3.4(2) 断面算定方法」に基づいた支柱材，斜材，水平材，鉄塔部基礎ボルト，基礎立上り部の評価結果を表 5-1～表 5-20 に示す。いずれの評価対象部位においても検定比が 1.0 を超えず，主排気筒が原子炉建屋及びコントロール建屋に対して，機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表5-1 45° 方向 主柱材の評価結果 (6号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力		寸法 (mm)	使用部材				λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		A ($\times 10^3$ mm ²)	Z_p ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
80.0	B-C	11.0	6.0	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	586	111	3750	34	339	357	1.9	10.3	0.04
72.5	C-D	-411	85.0	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	1020	141	3750	27	345	357	51.2	83.4	0.39
65.0	D-E	-30.0	321	$\phi 508.0 \times 7.9$	124.1	1980	177	4250	24	348	357	2.5	163	0.47
56.5	E-F	-1671	1258	$\phi 609.6 \times 16$	298.4	5640	210	4250	20	350	357	56.0	224	0.79
48.0	F-G	-199	1258	$\phi 711.2 \times 19$	413.2	9100	245	7880	32	341	357	4.9	139	0.41

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- A : 断面積
- Z_p : 塑性断面係数
- i : 断面二次半径
- ϕk : 座屈長さ
- λ : 細長比 ($\phi k / i$)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)
- f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)
- σ_b : 曲げ応力度 (M/ Z_p)

表5-2 45° 方向 斜材の評価結果 (6号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材				λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^6$ mm ²)	i (mm)	ρ_k (mm)				
80.0	B-C	276	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	4540	300	92.2	0.31	
72.5	C-D	-359	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	92.4	4610	319	72.9	0.23	
65.0	D-E	589	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	123	5090	331	68.3	0.21	
56.5	E-F	-1468	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	139	5160	336	93.5	0.28	
48.0	F-G	-1906	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	192	8590	326	69.9	0.22	

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力

λ ：細長比 (ρ_k / i)

A：断面積

f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径

σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

ρ_k ：座屈長さ

表5-3 45° 方向 水平材の評価結果 (6号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
80.0	B-C	17.5	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	2500	249	5.9	0.03
72.5	C-D	79.7	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	5230	219	26.7	0.13
65.0	D-E	-115	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	2730	253	19.6	0.08
56.5	E-F	367	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	5730	236	62.3	0.27
48.0	F-G	393	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	141	3000	254	48.9	0.20

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力

λ ：細長比 (θ_k / i)

A：断面積

f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径

σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

θ_k ：座屈長さ

表5-4 45° 方向 鉄塔部基礎ボルトの評価結果 (6号機主排気筒)

評価項目		単位	値
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m
		Q	kN
		N	kN
引張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²
	基礎ボルト1本当たりの引張力	T_a	kN/本
	引張応力度	σ_t	N/mm ²
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²
	検定比	σ_t / f_{ts}	—
せん断	基礎ボルト1本当たりのせん断力	Q_a	kN
	せん断応力度	τ	N/mm ²
	許容限界	f_s	N/mm ²
	検定比	τ / f_s	—

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

表5-5 45° 方向 基礎立上り部の評価結果 (6号機主排気筒)

評価項目		単位	値
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m
		Q	kN
		N	kN
曲げ	引張応力度	σ_t	N/mm ²
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²
	検定比	σ_t / f_{ts}	—
せん断	せん断応力度	τ	N/mm ²
	許容限界	f_s	N/mm ²
	検定比	τ / f_s	—
圧縮	圧縮応力度	σ_c	N/mm ²
	許容限界	f_{cs}	N/mm ²
	検定比	σ_c / f_{cs}	—

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

表5-6 45° 方向 主柱材の評価結果 (7号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力		使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z _p ($\times 10^3$ mm ³)						
80.0	B-C	17.4	46.8	φ 318.5× 6	58.91	586	111	339	357	3.0	79.9	0.24
72.5	C-D	-160	131	φ 406.4× 6.4	80.42	1020	141	345	357	19.9	129	0.42
65.0	D-E	-196	367	φ 508.0× 7.9	124.1	1980	177	348	357	15.8	186	0.57
56.5	E-F	-1520	1340	φ 609.6× 16	298.4	5640	210	350	357	51.0	238	0.82
48.0	F-G	-203	1340	φ 711.2× 19	413.2	9100	245	341	357	5.0	148	0.43

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- A : 断面積
- Z_p : 塑性断面係数
- i : 断面二次半径
- φk : 座屈長さ
- λ : 細長比 (φk / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)
- f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)
- σ_b : 曲げ応力度 (M/Z_p)

表5-7 45° 方向 斜材の評価結果 (7号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
80.0	B-C	105	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	61	300	35.1	0.12
72.5	C-D	-227	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	92.4	50	319	46.1	0.15
65.0	D-E	488	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	123	41	331	56.6	0.18
56.5	E-F	-1450	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	139	37	336	92.3	0.28
48.0	F-G	-1820	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	192	45	326	66.8	0.21

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力

λ ：細長比 (ℓ_k / i)

A：断面積

f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径

σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

ℓ_k ：座屈長さ

表5-8 45° 方向 水平材の評価結果 (7号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
80.0	B-C	-17.3	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	2500	249	5.8	0.03
72.5	C-D	70.0	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	5230	219	23.4	0.11
65.0	D-E	-106	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	2730	253	18.0	0.08
56.5	E-F	378	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	5730	236	64.2	0.28
48.0	F-G	386	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	141	3000	254	48.0	0.19

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力

λ ：細長比 (ℓ_k / i)

A：断面積

f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径

σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

ℓ_k ：座屈長さ

表5-9 45° 方向 鉄塔部基礎ボルトの評価結果 (7号機主排気筒)

評価項目		単位	値	
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m	155
		Q	kN	1420
		N	kN	-3150
引張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²	93.3
	基礎ボルト1本当たりの引張力	T_a	kN/本	322
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	74.1
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²	236
	検定比	σ_t / f_{ts}	—	0.32
せん断	基礎ボルト1本当たりのせん断力	Q_a	kN	119
	せん断応力度	τ	N/mm ²	27.3
	許容限界	f_s	N/mm ²	136
	検定比	τ / f_s	—	0.21

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

表5-10 45° 方向 基礎立上り部の評価結果 (7号機主排気筒)

評価項目		単位	値	
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m	2840
		Q	kN	1420
		N	kN	2490
曲げ	引張応力度	σ_t	N/mm ²	278
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²	379
	検定比	σ_t / f_{ts}	—	0.74
せん断	せん断応力度	τ	N/mm ²	0.69
	許容限界	f_s	N/mm ²	1.21
	検定比	τ / f_s	—	0.57
圧縮	圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	53.0
	許容限界	f_{cs}	N/mm ²	357
	検定比	σ_c / f_{cs}	—	0.15

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

表5-11 90° 方向 主柱材の評価結果 (6号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力		寸法 (mm)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		A ($\times 10^2$ mm ²)	Z_p ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)						
80.0	B-C	11.0	5.0	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	586	111	34	339	357	1.9	8.6	0.03
72.5	C-D	263	53.0	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	1020	141	27	345	357	32.8	52.0	0.25
65.0	D-E	62.0	162	$\phi 508.0 \times 7.9$	124.1	1980	177	24	348	357	5.0	81.9	0.25
56.5	E-F	904	690	$\phi 609.6 \times 16$	298.4	5640	210	20	350	357	30.3	123	0.43
48.0	F-G	-47.0	690	$\phi 711.2 \times 19$	413.2	9100	245	32	341	357	1.2	75.9	0.22

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N : 軸力 λ : 細長比 ($\phi k / i$)

M : 曲げモーメント f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

A : 断面積 f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

Z_p : 塑性断面係数 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

i : 断面二次半径 σ_b : 曲げ応力度 (M/ Z_p)

ϕk : 座屈長さ

表5-12 90° 方向 斜材の評価結果 (6号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
80.0	B-C	-125	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	300	41.8	0.14	
72.5	C-D	188	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	92.4	319	38.2	0.12	
65.0	D-E	-290	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	123	331	33.7	0.11	
56.5	E-F	754	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	139	336	48.0	0.15	
48.0	F-G	1591	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	192	326	58.4	0.18	

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力 λ ：細長比 (θ_k / i)

A：断面積 f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径 σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

θ_k ：座屈長さ

表5-13 90° 方向 水平材の評価結果 (6号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
80.0	B-C	17.4	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	33	249	5.9	0.03
72.5	C-D	47.5	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	70	219	15.9	0.08
65.0	D-E	112	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	25	253	19.1	0.08
56.5	E-F	-171	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	52	236	29.1	0.13
48.0	F-G	-359	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	141	21	254	44.7	0.18

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力

λ ：細長比 (θ_k / i)

A：断面積

f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径

σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

θ_k ：座屈長さ

表5-14 90° 方向 鉄塔部基礎ボルトの評価結果 (6号機主排気筒)

評価項目		単位	値
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m
		Q	kN
		N	kN
引張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²
	基礎ボルト1本当たりの引張力	T_a	kN/本
	引張応力度	σ_t	N/mm ²
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²
	検定比	σ_t / f_{ts}	—
せん断	基礎ボルト1本当たりのせん断力	Q_a	kN
	せん断応力度	τ	N/mm ²
	許容限界	f_s	N/mm ²
	検定比	τ / f_s	—

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

表5-15 90° 方向 基礎立上り部の評価結果 (6号機主排気筒)

評価項目		単位	値
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m
		Q	kN
		N	kN
曲げ	引張応力度	σ_t	N/mm ²
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²
	検定比	σ_t / f_{ts}	—
せん断	せん断応力度	τ	N/mm ²
	許容限界	f_s	N/mm ²
	検定比	τ / f_s	—
圧縮	圧縮応力度	σ_c	N/mm ²
	許容限界	f_{cs}	N/mm ²
	検定比	σ_c / f_{cs}	—

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

表5-16 90° 方向 主柱材の評価結果 (7号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力		使用部材				λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ^p ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)						
80.0	B-C	6.0	30.2	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	586	111	3750	339	357	1.1	51.6	0.15
72.5	C-D	107	83.7	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	1020	141	3750	345	357	13.4	82.1	0.27
65.0	D-E	171	192	$\phi 508.0 \times 7.9$	124.1	1980	177	4250	348	357	13.8	97.0	0.32
56.5	E-F	826	763	$\phi 609.6 \times 16$	298.4	5640	210	4250	350	357	27.7	136	0.46
48.0	F-G	-41.1	763	$\phi 711.2 \times 19$	413.2	9100	245	7880	341	357	1.0	83.9	0.24

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N : 軸力 λ : 細長比 ($\lambda k / i$)

M : 曲げモーメント f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

A : 断面積 f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

Z_p : 塑性断面係数 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

i : 断面二次半径 σ_b : 曲げ応力度 (M/Z_p)

λk : 座屈長さ

表5-17 90° 方向 斜材の評価結果 (7号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
80.0	B-C	108	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	61	300	36.1	0.13
72.5	C-D	150	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	92.4	50	319	30.5	0.10
65.0	D-E	-258	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	123	41	331	29.9	0.10
56.5	E-F	752	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	139	37	336	47.9	0.15
48.0	F-G	1440	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	192	45	326	52.8	0.17

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力

λ ：細長比 (θ_k / i)

A：断面積

f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径

σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

θ_k ：座屈長さ

表5-18 90° 方向 水平材の評価結果 (7号機主排気筒)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
80.0	B-C	23.1	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	33	249	7.8	0.04
72.5	C-D	48.6	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	70	219	16.3	0.08
65.0	D-E	108	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	25	253	18.4	0.08
56.5	E-F	-181	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	52	236	30.8	0.14
48.0	F-G	-307	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	141	21	254	38.2	0.16
40.2									

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

記号の説明

N：軸力

λ ：細長比 (θ_k / i)

A：断面積

f_c ：圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍) による)

i：断面二次半径

σ_c ：圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

θ_k ：座屈長さ

表5-19 90° 方向 鉄塔部基礎ボルトの評価結果 (7号機主排気筒)

評価項目		単位	値
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m
		Q	kN
		N	kN
引張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²
	基礎ボルト1本当たりの引張力	T_a	kN/本
	引張応力度	σ_t	N/mm ²
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²
	検定比	σ_t / f_{ts}	—
せん断	基礎ボルト1本当たりのせん断力	Q_a	kN
	せん断応力度	τ	N/mm ²
	許容限界	f_s	N/mm ²
	検定比	τ / f_s	—

注：許容応力度は材料強度評価に基づく

表5-20 90° 方向 基礎立上り部の評価結果 (7号機主排気筒)

評価項目		単位	値
評価用応力 (軸力は圧縮を正とする)		M	kN・m
		Q	kN
		N	kN
曲げ	引張応力度	σ_t	N/mm ²
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²
	検定比	σ_t / f_{ts}	—
せん断	せん断応力度	τ	N/mm ²
	許容限界	f_s	N/mm ²
	検定比	τ / f_s	—
圧縮	圧縮応力度	σ_c	N/mm ²
	許容限界	f_{cs}	N/mm ²
	検定比	σ_c / f_{cs}	—

注：許容応力度は材料強度評価に基づく