

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-002-14
提出年月日	2023年1月16日

VI-2-2-14 排気筒の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-2-14 R0

2023年1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	7
2.4	適用規格・基準等	9
3.	応力解析による評価方針	10
3.1	評価対象部位及び評価方針	10
3.2	使用材料及び材料の許容応力度	12
3.3	荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1	荷重	13
3.3.2	荷重の組合せ	18
3.4	許容限界	19
3.5	応力解析による評価方法	21
3.5.1	応力解析方法	21
3.5.2	断面の評価方法	23
4.	部材応力	25
5.	鉄塔及び筒身の応力評価結果	31
6.	鉄塔脚部及び筒身脚部の断面評価	37
6.1	評価方法	37
6.2	鉄塔脚部の評価	38
6.3	筒身脚部の評価	51
7.	制震装置（粘性ダンパ）支持点部の評価	66
8.	S G T S用排気筒の評価	68
8.1	筒身部の評価	68
8.2	支持部の評価	73

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、排気筒の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は応力解析により行う。

排気筒のうち鉄塔及び空調換気系用排気筒（以下「筒身」という。）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

排気筒のうち非常用ガス処理系用排気筒（以下「SGTS用排気筒」という。）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、鉄塔及び筒身の「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価並びにSGTS用排気筒の「Sクラスの施設」及び「常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。

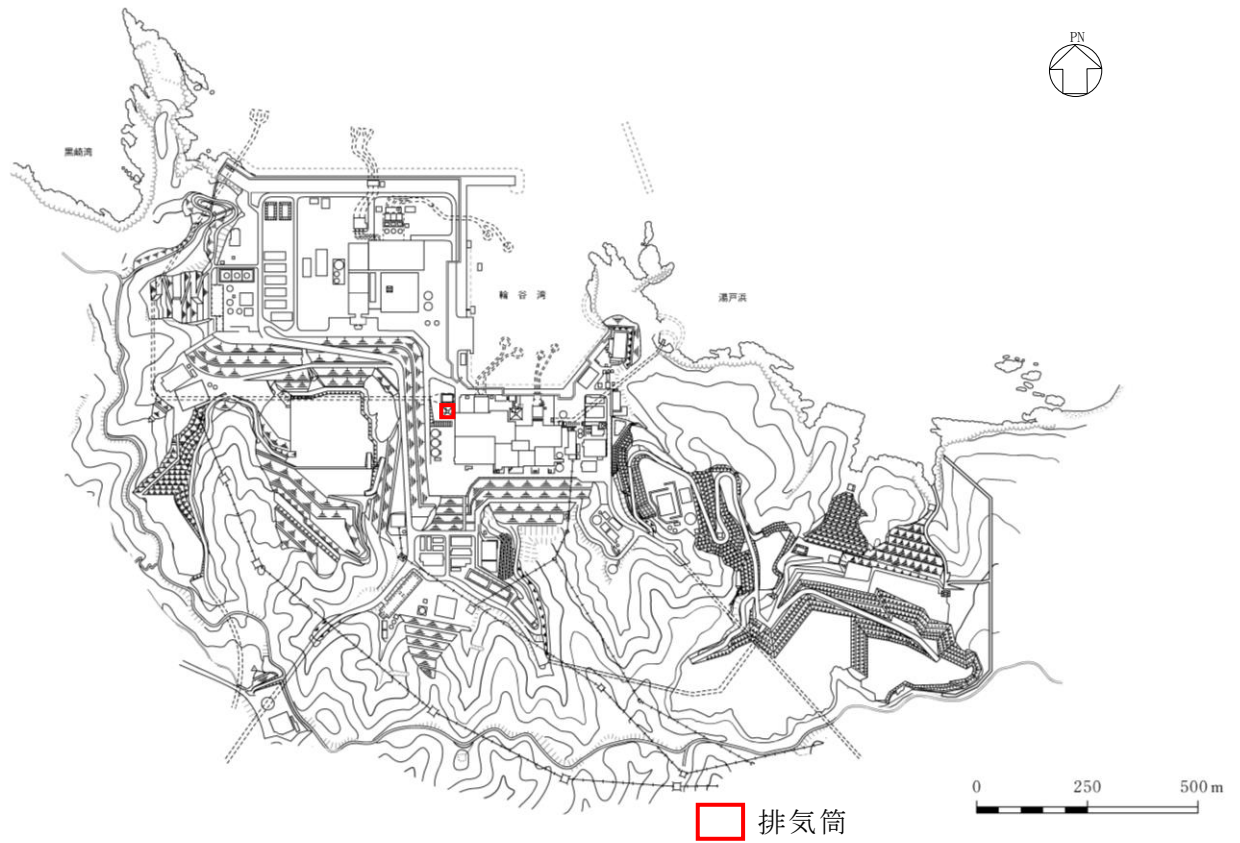


図 2-1 排気筒の設置位置

2.2 構造概要

排気筒は、地盤面からの高さ 120m である内径 3.3m の鋼板製筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。

排気筒の基礎は鉄筋コンクリート造であり、岩盤に直接設置している。

また、筒身外部には S G T S 用排気筒が筒身に支持されている。

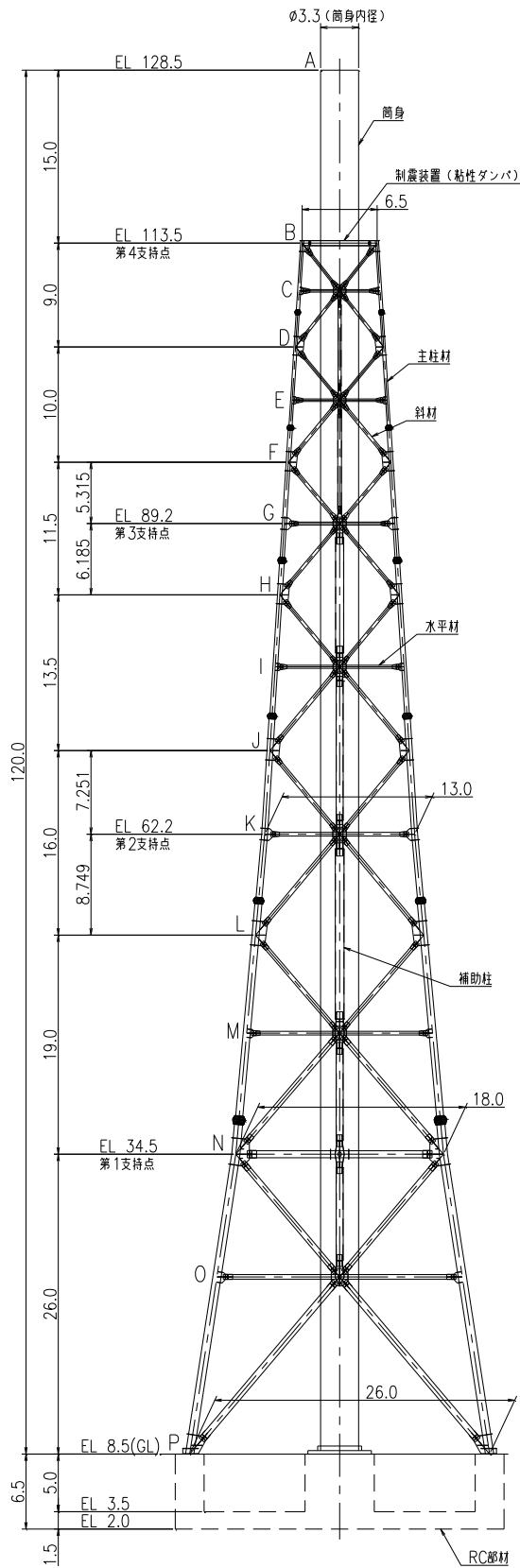
筒身は第 4 支持点位置 (EL 113.5m*) にて制震装置 (粘性ダンパ) を介して鉄塔と接合されている。

排気筒の概要図を図 2-2 に、主要レベルの概略平面図を図 2-3 に、基礎の概要図を図 2-4 に示す。

構造概要

構造形状	鋼製鉄塔支持型 (制震装置 (粘性ダンパ) 付)
排気筒高さ	筒身 120.0m (EL 128.5m)
鉄塔高さ	105.0m (EL 113.5m)
鉄塔幅	頂 部 6.5m 根開き 26.0m
筒身支持点位置	EL 34.5m, EL 62.2m, EL 89.2m, EL 113.5m
基礎	鉄筋コンクリート造

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。



部材リスト (単位:mm)				
主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
-	-	-	10	-
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	H-450×300×10×15*2	12	φ267.4×6.0
φ355.6×6.4	φ216.3×5.8	φ216.3×5.8	10	φ318.5×6.0
φ406.4×7.9	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	12	φ711.2×7.9
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	10	φ609.6×12.7
φ609.6×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	12	φ762.0×12.7*3
φ711.2×12.7 8PLs-22×100*1	φ457.2×9.5	φ609.6×9.5	10	φ609.6×12.7*3
φ558.8×9.5	φ406.4×9.5	t=10	12	-
STK41 (STK400相当)				STK400
				SMA41A (SMA400AP相当)

注記*1: SS400材を示す。
 *2: SS41材 (SS400相当) を示す。
 *3: STK490材を示す。

図 2-2 排気筒の概要図 (単位 : m)

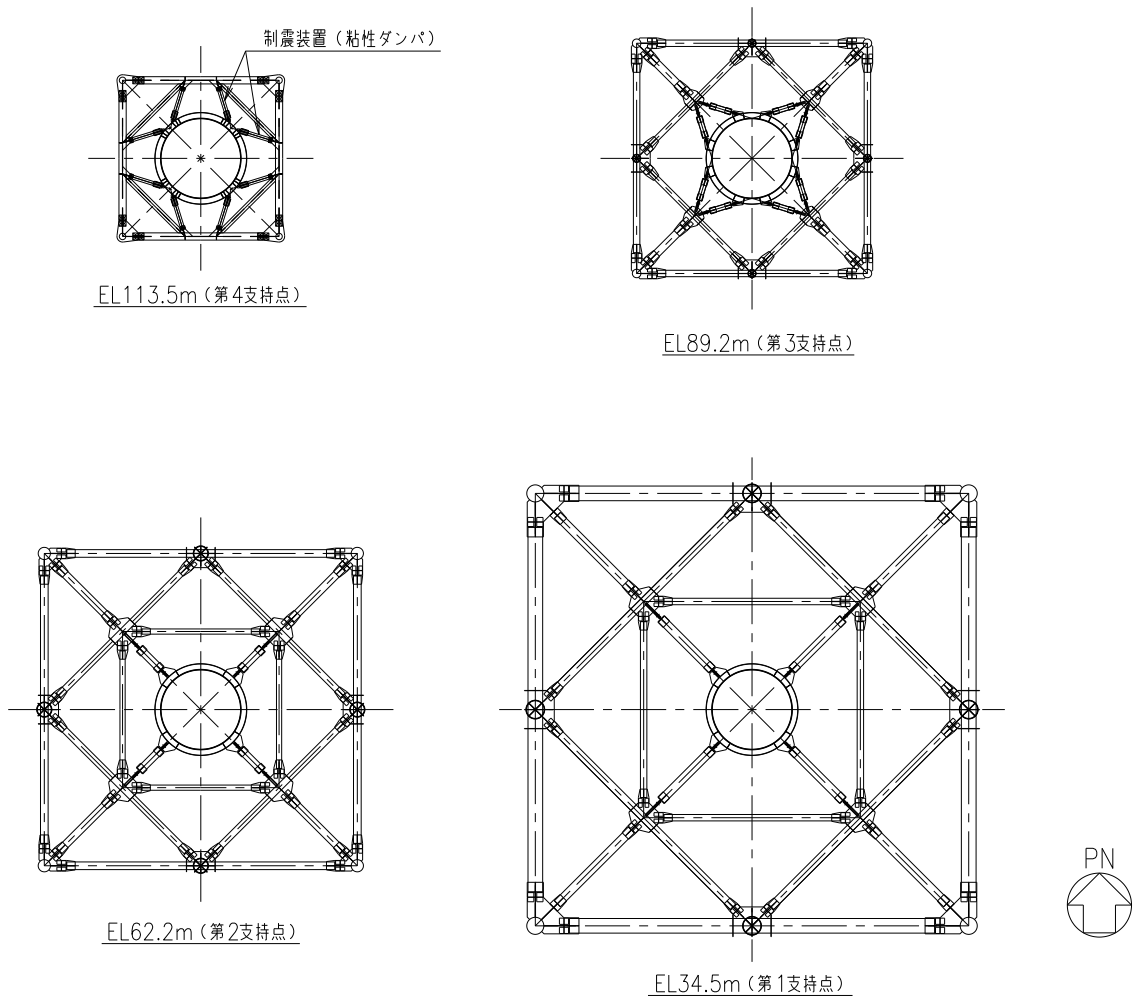
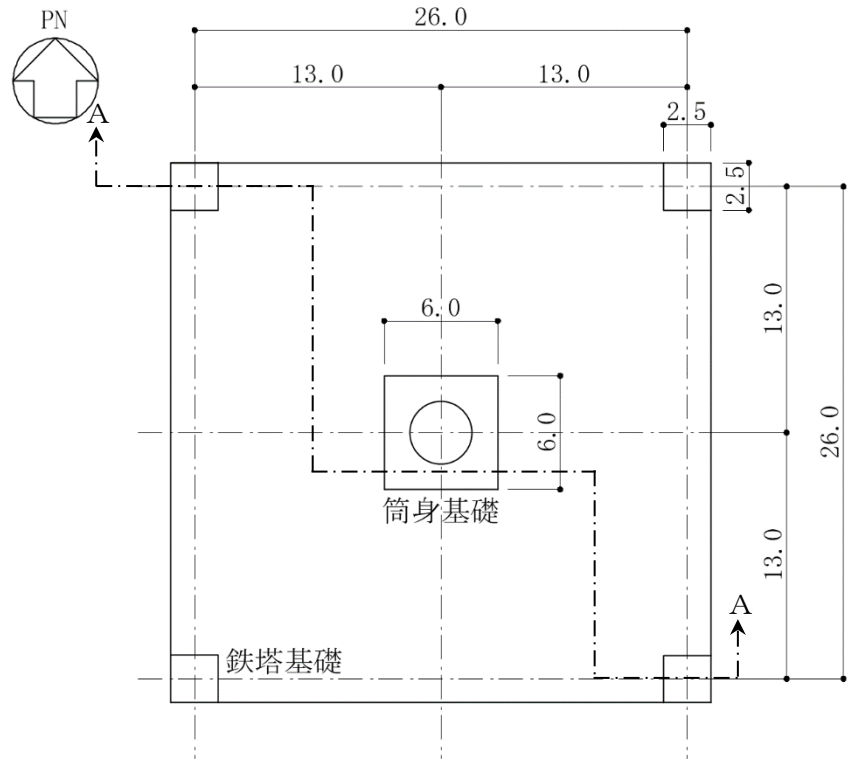
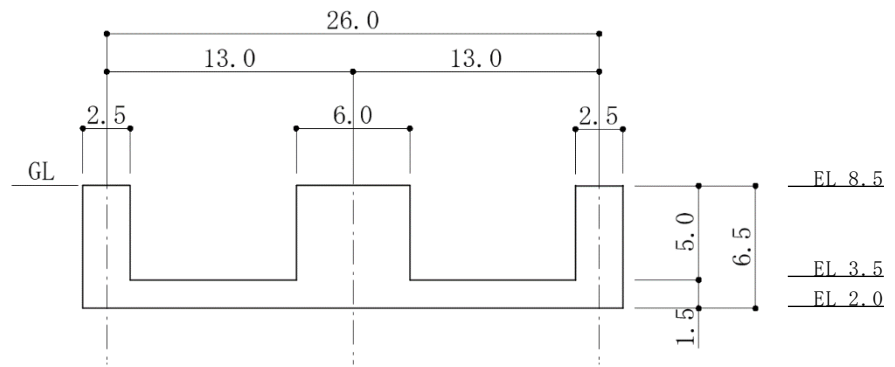


図 2-3 主要レベルの概略平面図



(a) 平面図



(b) 断面図 (A-A断面)

図 2-4 基礎の概要図 (単位 : m)

2.3 評価方針

鉄塔及び筒身は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

鉄塔及び筒身の設計基準対象施設としての評価においては、風荷重に対する評価及び基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととし、 S_s 地震時に対する評価はVI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。鉄塔及び筒身は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価において、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

S G T S用排気筒は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。

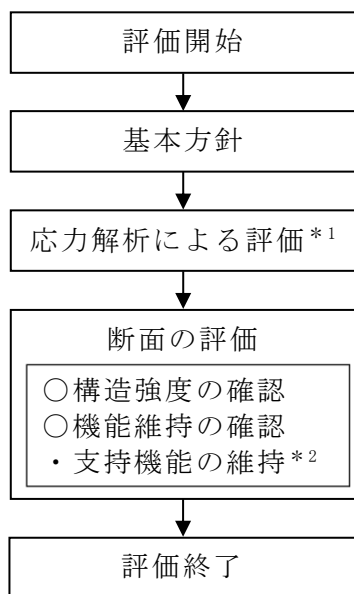
S G T S用排気筒の設計基準対象施設としての評価においては、風荷重に対する評価、 S_s 地震時に対する評価及び弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）を行うこととし、 S_s 地震時に対する評価及び S_d 地震時に対する評価はVI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。S G T S用排気筒は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価において、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、排気筒では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。また、図 2-5 に排気筒の評価フローを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	制震装置 (粘性ダンパ)		備考
			減衰係数	台数	
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	標準値	8	基本 ケース
ケース 2 (地盤物性 + σ)	設計基準強度	標準地盤 + σ (+10%, +20%)	標準値	8	
ケース 3 (地盤物性 - σ)	設計基準強度	標準地盤 - σ (-10%, -20%)	標準値	8	
ケース 4 (減衰係数上限)	設計基準強度	標準地盤	標準値 × 1.3	8	
ケース 5 (減衰係数下限)	設計基準強度	標準地盤	標準値 × 0.7	7	



注記*1：VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

*2：鉄塔及び筒身について実施する。

図 2-5 排気筒の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 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 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 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・煙突構造設計施工指針 ((財) 日本建築センター, 1982 年版)
- ・煙突構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2007 制定)
- ・塔状鋼構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 1980 制定)
- ・鋼構造座屈設計指針 ((社) 日本建築学会, 1996 改定)
- ・容器構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 応力解析による評価方針

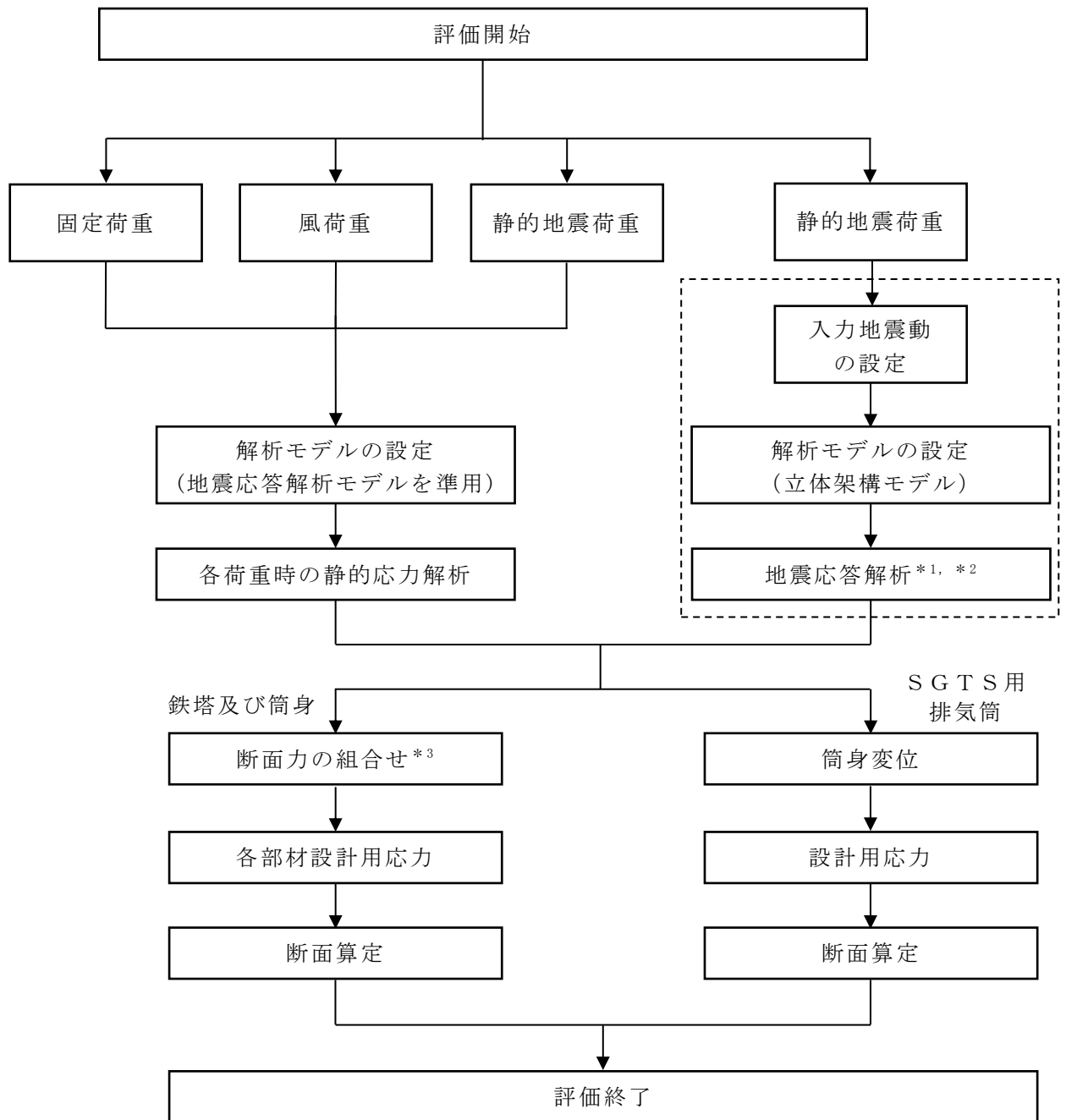
3.1 評価対象部位及び評価方針

排気筒の応力解析による評価対象部位は、鉄塔及び筒身並びにSGTS用排気筒とし、立体架構モデルを用いた応力解析により評価を行う。

鉄塔及び筒身の評価にあたっては、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」より得られた結果及び「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す風荷重による応力解析結果を用いて、各部材の断面評価を行う。

SGTS用排気筒は、筒身に支持されており、SGTS用排気筒の剛性は筒身の剛性と比べて小さいため、筒身の水平方向の変形に追従する。したがって、SGTS用排気筒の評価にあたっては、筒身の水平方向変位をSGTS用排気筒に強制的に与えることにより応力を算定し、断面の評価を行う。なお、鉛直方向の地震荷重は、鉛直震度として考慮する。

図3-1に応力解析による評価フローを示す。



注記*1：鉛直荷重を考慮した応答値
 *2：材料物性の不確かさを考慮する。
 *3：組合せは「3.3.2 荷重の組合せ」による。

：VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による。

図 3-1 応力解析による評価フロー

3.2 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 1 1 4で規定される溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMA400AP (SMA41A) *、J I S G 3 4 4 4で規定される一般構造用炭素鋼鋼管 STK400 (STK41) *及びSTK490を使用する。

また、基礎で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 20.6 N/mm^2 とする。

各使用材料の許容応力度を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

注記* : () 内は従来表記を示す。

表 3-1 鋼材及びボルトの許容応力度

板厚	材料	基準強度 F (N/mm^2)	許容応力度
$t \leq 40 \text{ mm}$	SS400 (SS41) SMA400AP (SMA41A) STK400 (STK41)	235	許容応力度は F 値より求める。
	STK490 SM490A	325	

表 3-2 コンクリートの許容応力度

(単位 : N/mm^2)

$F_c = 20.6$	圧縮	せん断	付着*	
			上端筋	下端筋
長期	6.8	0.68	0.72	0.90
短期	13.6	1.02	1.05	1.35

注記* : 付着は丸鋼の許容付着応力度とし、筒身脚部のアンカーボルトの検討に用いる。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.3.1 荷重

(1) 固定荷重

鉄塔及び筒身自重の他に，制震装置（粘性ダンパ），歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

(2) 積載荷重

排気筒に積載物はない。また，排気筒上部に作業員が常駐することもない。よって，積載荷重は考慮しない。

(3) 積雪荷重

歩廊の床材はグレーチングのため，雪が積もらない構造となっている。よって，積雪荷重は考慮しない。

(4) 風荷重

風荷重は，「建築基準法・同施行令」に基づき次式によって算定することとし， 0° 方向及び 45° 方向について考慮する。

排気筒に作用する風圧力（ P ）は，（3.1）式によって算定する。

$$P = q \cdot C_f \cdot A \quad (3.1)$$

ここで，

$$q \quad : \text{速度圧 (N/m}^2\text{)} = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$$

$$V_0 \quad : \text{当該地の基準風速 (= 30 m/s)}$$

$$E \quad : \text{国土交通大臣が定める方法により算出した数値}$$

$$= E_r^2 \cdot G_f$$

$$E_r \quad : \text{平均風速の高さ方向の分布を表す係数}$$

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \leq Z_b)$$

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H > Z_b)$$

$$H \quad : \text{建築物の高さ (m) (鉄塔 : 105 m, 筒身 : 120 m)}$$

$$Z_b, Z_G, \alpha \quad : \text{地表面粗度区分に応じて示される数値}$$

$$(\text{当該地の地表面粗度区分 II} : Z_b = 5 \text{ m, } Z_G = 350 \text{ m, } \alpha = 0.15)$$

$$G_f \quad : \text{ガスト影響係数 (= 2.0)}$$

$$C_f \quad : \text{風力係数 (表 3-3 ~ 表 3-5 による)}$$

$$A \quad : \text{見付面積 (m}^2\text{)} (\text{図 3-2 による})$$

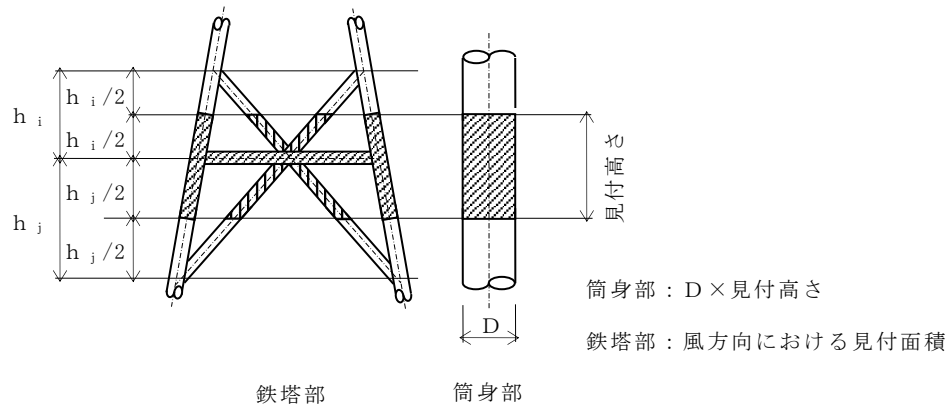


図 3-2 鉄塔及び筒身の見付面積

表 3-3 鉄塔の風力係数 C_f

種類		ϕ^*	(1)	(2)	(3)
			0.1 以下	0.1 を超え 0.6 未満	0.6
鋼管	0° (正面)		$2.2 k_z$	(1) と (3) とに掲げる数値を直線的に補間した数値	$1.5 k_z$
	45° (斜め)		$1.7 k_z$		$1.3 k_z$

注記* : 充実率 (風を受ける部分の最外縁により囲まれる面積に対する見付面積の割合)

表 3-4 筒身の風力係数 C_f

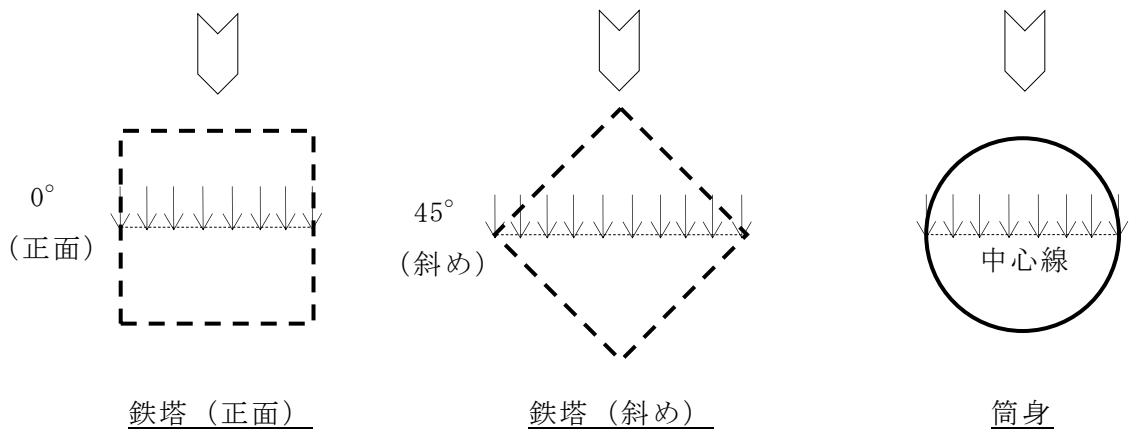
H/B^*	(1)	(2)	(3)
		1 以下	1 を超え 8 未満
C_f	$0.7 k_z$	(1) と (3) とに掲げる数値を直線的に補間した数値	$0.9 k_z$

注記* : 風向に対する見付幅 (m)

表 3-5 高さ方向係数 k_z の算出

H が Z_b 以下の場合		1.0
H が Z_b を超える場合	Z^* が Z_b 以下の場合	$\left(\frac{Z_b}{H}\right)^{2\alpha}$
	Z^* が Z_b を超える場合	$\left(\frac{Z}{H}\right)^{2\alpha}$

注記* : 当該部分の地盤面からの高さ (m)



注：風圧作用面積は、 Σ の作用する方向から見た鉄塔及び筒身の見付面積とする。

図 3-3 鉄塔及び筒身の風圧作用面積

以上より算定した風荷重を表3-6に示す。

表 3-6 風荷重計算表

鉄塔部

高さ EL (m)	速度圧 q (kN/m ²)	0° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		見付面積 A (m ²)	風力係数 C _f	風圧力 P (kN)	見付面積 A (m ²)	風力係数 C _f	風圧力 P (kN)
113.5	2.175	5.2	1.88	22	7.9	1.49	26
109.4	2.175	10.4	2.03	46	17.2	1.57	59
99.9	2.175	16.4	1.99	71	27.8	1.53	93
89.2	2.175	24.9	1.88	102	42.4	1.45	134
76.8	2.175	33.2	1.80	130	57.0	1.38	172
62.2	2.175	45.6	1.68	167	77.7	1.29	219
45.0	2.175	45.9	1.50	150	77.3	1.15	194
34.5	2.175	46.3	1.33	134	75.5	1.03	170
23.9	2.175	53.5	1.17	137	86.3	0.91	171
8.5	2.175	25.4	0.87	49	41.4	0.67	61

筒身部

高さ EL (m)	速度圧 q (kN/m ²)	0° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		見付面積 A (m ²)	風力係数 C _f	風圧力 P (kN)	見付面積 A (m ²)	風力係数 C _f	風圧力 P (kN)
128.5	2.264	24.9	0.90	51	24.9	0.90	51
113.5	2.264	31.8	0.86	62	31.8	0.86	62
109.4	2.264	23.0	0.85	45	23.0	0.85	45
99.9	2.264	33.2	0.83	63	33.2	0.83	63
89.2	2.264	38.1	0.80	70	38.1	0.80	70
76.8	2.264	44.8	0.76	78	44.8	0.76	78
62.2	2.264	53.1	0.71	86	53.1	0.71	86
45.0	2.264	45.7	0.63	66	45.7	0.63	66
34.5	2.264	35.1	0.57	46	35.1	0.57	46
23.9	2.264	42.7	0.49	48	42.7	0.49	48
8.8	2.264	25.0	0.49	28	25.0	0.49	28

(5) 地震荷重

地震荷重は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」による動的地震力及び静的地震力を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-7に示す荷重の組合せを用いる。

表 3-7 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ	水平荷重方向
S _s 地震時 S _d 地震時*	G + S _{s1}	0° 方向
		45° 方向
	G + S _{s2}	方位に準じる
暴風時	G + W	0° 方向
		45° 方向

注：記号の説明

G : 固定荷重

S_{s1} : 方向性のない地震動 (S_s-D, S_s-N1, S_d-D, S_d-N1, S_d-1) 又は静的地震力による地震荷重

S_{s2} : 方向性のある地震動 (S_s-F1, S_s-F2, S_s-N2, S_d-F1, S_d-F2, S_d-N2) による地震荷重

W : 風荷重

注記* : SGT S用排気筒の許容限界は短期許容応力度とし、基準地震動S_sにより生じる応力が短期許容応力度を超えないことを確認することで弾性設計用地震動S_dによる評価は省略する。

3.4 許容限界

排気筒の鉄塔及び筒身並びにSGTS用排気筒の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-8及び表3-9のとおり設定する。

表3-8 応力評価における許容限界（設計基準対象施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	鉄塔及び筒身	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界 ^{*1, *2}
			SGTS用排気筒		
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	SGTS用排気筒	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度 ^{*3}
支持機能	機器・配管系の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S_s	鉄塔及び筒身	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界 ^{*1}

注記*1：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。鋼材の基準強度を「平12建告第2464号」に準拠して $1.1F$ と読み替え、鉄塔の許容限界は「平13国交告第1024号」による材料強度、筒身の許容限界は「容器構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」（以下「容器構造設計指針」という。）によって求めた地震時許容応力度とする。

*2：SGTS用排気筒の許容限界は更なる裕度を考慮して短期許容応力度とする。

*3：基準地震動 S_s により生じる応力が短期許容応力度を超えないことを確認することで弾性設計用地震動 S_d による評価は省略する。

表 3-9 応力評価における許容限界（重大事故等対処施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	鉄塔及び筒身 SGTS用排気筒	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界*
支持機能	機器・配管系の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	鉄塔及び筒身	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界*

注記*：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。鋼材の基準強度を「平 12 建告第 2464 号」に準拠して 1.1F と読み替え、鉄塔の許容限界は「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度、筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた地震時許容応力度とする。

3.5 応力解析による評価方法

3.5.1 応力解析方法

排気筒の断面の評価に用いる応力は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」で用いた立体架構モデルによる弾性応力解析により算定する。排気筒の応力解析モデルを図 3-4 に示す。解析には、解析コード「SNAP-LE」を用いる。評価に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

なお，動的地震荷重については，VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

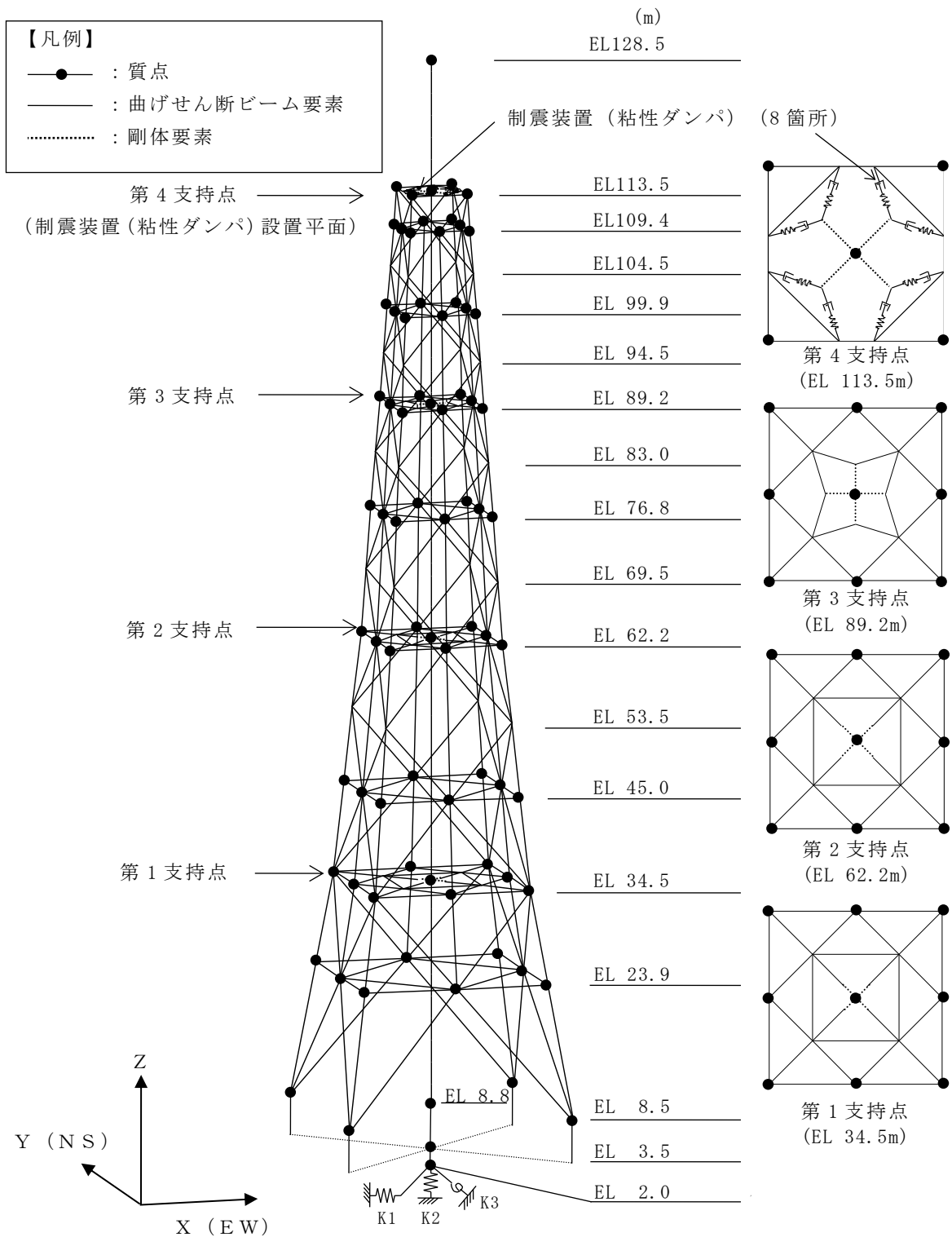


図 3-4 応力解析モデル

3.5.2 断面の評価方法

「3.3 荷重及び荷重の組合せ」により組み合わせた荷重に対して鉄塔及び筒身の各部材の断面評価を次のとおり行う。

(1) 鉄塔に対する断面の評価方法

鉄塔を構成する支柱材，斜材，水平材及び補助柱材の断面算定は，以下の式により行う。

なお，断面性能の算定において腐食代は考慮しない。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1 \quad (\text{支柱材，水平材})$$

$$\frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1 \quad (\text{斜材，補助柱材})$$

ここで，

σ_c : 圧縮応力度 ($\sigma_c = N/A$) (N/mm^2)

N : 圧縮力 (N)

A : 断面積 (mm^2)

σ_b : 曲げ応力度 ($\sigma_b = M/Z_t$) (N/mm^2)

M : 曲げモーメント ($N \cdot m$)

Z_t : 断面係数 (mm^3)

f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm^2)

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm^2)

f_c 及び f_b は「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。

(2) 筒身に対する断面の評価方法

筒身部材の断面算定は、「容器構造設計指針」に準拠して以下の式により行う。
なお、断面性能の算定において腐食代 2mm（内側 1mm，外側 1mm）を考慮する。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}} \leq 1$$

ここで、

σ_c : 圧縮応力度 ($\sigma_c = N / A$) (N/mm²)

N : 圧縮力 (N)

A : 円筒の断面積 (mm²)

σ_b : 曲げ応力度 ($\sigma_b = M / Z_c$) (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・m)

Z_c : 断面係数 (mm³)

$c f_{c r}$: 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 (N/mm²)

$b f_{c r}$: 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 (N/mm²)

$c f_{c r}$ 及び $b f_{c r}$ は「容器構造設計指針」による許容応力度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。

4. 部材応力

「3. 応力解析による評価方針」で示した解析により求まる各部材の評価用応力を表 4-1～表 4-5 に示す。

主 柱 材	表 4-1
斜 材	表 4-2
水 平 材	表 4-3
補助柱材	表 4-4
筒 身	表 4-5

なお、評価用応力は、表 3-7 に示した荷重の組合せのうち応力度比が最大となる解析ケースの応力を用いることとし、表 4-1～表 4-5 に併せて示す。

また、地震荷重については、応力度比が最大となる地震動及び地震応答解析ケースを示す。

表 4-1 主柱材応力

高さ EL (m)	部材間	風荷重* ¹				地震荷重* ¹			評価用応力* ¹	
		0° 方向		45° 方向		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (方向)* ²	N (kN)	M (kN・m)
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)					
113.5- 104.5	B-D	36.7	1.1	32.9	1.4	<u>168.8</u>	<u>3.5</u>	S s - N 1 (ケース 4) (45° 方向)	168.8	3.5
104.5- 94.5	D-F	77.3	2.5	99.4	1.2	<u>468.4</u>	<u>8.1</u>	S s - N 1 (ケース 4) (45° 方向)	468.4	8.1
94.5- 83.0	F-H	105.7	5.6	143.7	3.3	<u>672.3</u>	<u>13.0</u>	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	672.3	13.0
83.0- 69.5	H-J	348.9	9.7	502.7	11.3	<u>919.7</u>	<u>19.6</u>	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	919.7	19.6
69.5- 53.5	J-L	680.8	18.0	992.8	25.2	<u>1408.8</u>	<u>43.3</u>	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	1408.8	43.3
53.5- 34.5	L-N	1097.1	21.4	1623.1	31.0	<u>2043.5</u>	<u>46.3</u>	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	2043.5	46.3
34.5- 8.5	N-P	1943.0	23.4	2801.0	30.9	<u>3218.8</u>	<u>46.1</u>	S s - N 2 (ケース 4)	3218.8	46.1

注記*1：固定荷重による影響を含む。

*2：方向性のない地震動によるケースについては、水平方向地震動の入力方向を示す。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N：軸力（圧縮を正とする）

M：曲げモーメント

表 4-2 斜材応力

高さ EL (m)	部材間	風荷重* ¹		地震荷重* ¹		評価用応力* ¹ N (kN)
		0° 方向	45° 方向	N (kN)	地震動 (ケース) (方向)* ²	
		N (kN)	N (kN)			
113.5- 99.9	B-E	25.5	30.2	<u>207.5</u>	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	207.5
99.9- 89.2	E-G	51.4	79.7	<u>258.7</u>	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	258.7
89.2- 76.8	G-I	268.8	297.5	<u>426.0</u>	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	426.0
76.8- 62.2	I-K	286.2	308.8	<u>420.4</u>	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	420.4
62.2- 45.0	K-M	266.1	245.6	<u>527.2</u>	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	527.2
45.0- 23.9	M-O	337.2	490.7	<u>697.1</u>	S s - N 2 (ケース 4)	697.1
23.9- 8.5	O-P	547.5	664.5	<u>1018.0</u>	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	1018.0

注記*¹：固定荷重による影響を含む。

*²：方向性のない地震動によるケースについては、水平方向地震動の入力方向を示す。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N：軸力（圧縮を正とする）

表4-3 水平材応力

高さ EL (m)	部材 位置	風荷重* ¹				地震荷重* ¹			評価用応力* ¹	
		0° 方向		45° 方向		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (方向)* ²	N (kN)	M (kN・m)
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)					
113.5	B	-5.5	22.1* ³	-3.5	22.1* ³	<u>47.8</u>	46.5* ³	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	47.8	46.5* ³
			0.0* ⁴		0.0* ⁴		57.9* ⁴			57.9* ⁴
109.4	C	12.6	0.1	11.7	0.1	<u>48.2</u>	<u>0.1</u>	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	48.2	0.1
99.9	E	18.5	0.1	17.8	0.1	<u>35.5</u>	<u>0.1</u>	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	35.5	0.1
89.2	G	93.8	0.3	120.4	0.9	<u>169.1</u>	<u>1.5</u>	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	169.1	1.5
76.8	I	34.8	0.1	35.1	0.8	<u>38.5</u>	<u>1.1</u>	S s - N 2 (ケース 5)	38.5	1.1
62.2	K	23.6	1.0	40.1	0.9	<u>167.1</u>	<u>0.9</u>	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	167.1	0.9
45.0	M	47.8	0.0	47.1	0.2	<u>106.9</u>	<u>0.3</u>	S s - F 2 (ケース 3)	106.9	0.3
34.5	N	91.7	5.4	70.9	4.6	<u>126.9</u>	<u>9.0</u>	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	126.9	9.0
23.9	O	60.6	0.3	56.8	1.4	<u>189.5</u>	<u>1.5</u>	S s - F 2 (ケース 3)	189.5	1.5

注記*1：固定荷重による影響を含む。

*2：方向性のない地震動によるケースについては、水平方向地震動の入力方向を示す。

*3：強軸まわりの曲げモーメントを示す。

*4：弱軸まわりの曲げモーメントを示す。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N：軸力（圧縮を正とする）

M：曲げモーメント

表 4-4 補助柱材応力

高さ EL (m)	部材間	風荷重* ¹		地震荷重* ¹		評価用応力* ¹ N (kN)
		0° 方向	45° 方向	N (kN)	地震動 (ケース) (方向)* ²	
		N (kN)	N (kN)			
109.4- 99.9	C-E	47.4	44.8	<u>227.4</u>	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	227.4
99.9- 89.2	E-G	155.5	140.3	<u>529.2</u>	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	529.2
89.2- 76.8	G-I	444.8	379.4	<u>987.0</u>	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	987.0
76.8- 62.2	I-K	825.3	691.8	<u>1387.4</u>	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	1387.4
62.2- 45.0	K-M	1064.6	897.6	<u>1586.9</u>	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	1586.9
45.0- 34.5	M-N	677.7	576.7	<u>936.5</u>	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	936.5
34.5- 23.9	N-O	710.0	608.4	<u>982.0</u>	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	982.0

注記*1：固定荷重による影響を含む。

*2：方向性のない地震動によるケースについては、水平方向地震動の入力方向を示す。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N：軸力（圧縮を正とする）

表 4-5 筒身応力

高さ EL (m)	部材間	風荷重* ¹				地震荷重* ¹			評価用応力* ¹	
		0° 方向		45° 方向		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (方向)* ²	N (kN)	M (kN・m)
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)					
128.5- 113.5	A-B	93.7	701.3	93.7	702.0	<u>184.6</u>	<u>3323.5</u>	S s - F 2 (ケース 3)	184.6	3323.5
113.5- 89.2	B-G	321.4	4818.3	321.4	4825.2	<u>685.6</u>	<u>11509.1</u>	S s - N 2 (ケース 5)	685.6	11509.1
89.2- 62.2	G-K	611.8	4824.2	611.8	4835.6	<u>1257.2</u>	<u>11374.0</u>	S s - N 2 (ケース 5)	1257.2	11374.0
62.2- 34.5	K-N	935.3	715.6	935.3	788.4	<u>1888.6</u>	<u>2122.1</u>	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	1888.6	2122.1
34.5- 8.8	N-P	1240.9	843.7	1240.9	981.6	<u>2736.3</u>	<u>1867.9</u>	S s - D (ケース 3) (0° 方向)	2736.3	1867.9

注記*1：固定荷重による影響を含む。

*2：方向性のない地震動によるケースについては、水平方向地震動の入力方向を示す。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N：軸力（圧縮を正とする）

M：曲げモーメント

5. 鉄塔及び筒身の応力評価結果

表 4-1～表 4-5 の評価用応力に対して、「3.5.2 断面の評価方法」に基づき各部材の断面算定を行う。

各部材の断面算定結果を表 5-1～表 5-5 に示す。

主 柱 材	表 5-1
斜 材	表 5-2
水 平 材	表 5-3
補助柱材	表 5-4
筒 身	表 5-5

各部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-1 主柱材の断面算定結果 (STK400, SS400)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力		使用部材				ℓ_k (mm)	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 (mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
113.5- 104.5	B-D	168.8	3.5	$\phi 267.4 \times 6.6$	5408	344	92.2	4883	53	235	258	31	10	0.18
104.5- 94.5	D-F	468.4	8.1	$\phi 267.4 \times 6.6$	5408	344	92.2	5405	59	230	258	87	24	0.48
94.5- 83.0	F-H	672.3	13.0	$\phi 355.6 \times 6.4$	7021	602	123.5	6210	50	238	258	96	22	0.49
83.0- 69.5	H-J	919.7	19.6	$\phi 406.4 \times 7.9$	9890	967	140.9	7294	52	236	258	93	20	0.48
69.5- 53.5	J-L	1408.8	43.3	$\phi 508.0 \times 9.5$	14880	1820	176.3	8820	50	238	258	95	24	0.50
53.5- 34.5	L-N	2043.5	46.3	$\phi 609.6 \times 12.7$	23820	3480	211.1	10583	50	238	258	86	13	0.42
34.5- 8.5	N-P	3218.8	46.1	$\phi 711.2 \times 12.7^*$	45470	6570	256.5	15723	61	228	258	71	7	0.34

注記* : 補強リブ 8PLs-22 \times 100 (SS400)付きの鋼管とする。

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 (圧縮を正とする)

f_c : 許容圧縮応力度

M : 曲げモーメント

f_b : 許容曲げ応力度

A : 断面積

σ_c : 圧縮応力度 (N/A)

Z : 断面係数

σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表5-2 斜材の断面算定結果 (STK400)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力	使用部材			ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	寸法 (mm)	A (mm ²)	i (mm)					
113.5- 99.9	B-E	207.5	ϕ 216.3×5.8	3836	74.5	6192	83	203	54	0.27
99.9- 89.2	E-G	258.7	ϕ 267.4×6.6	5408	92.2	6996	76	212	48	0.23
89.2- 76.8	G-I	426.0	ϕ 267.4×6.6	5408	92.2	8080	88	196	79	0.41
76.8- 62.2	I-K	420.4	ϕ 318.5×6.9	6755	110.2	9459	86	199	62	0.32
62.2- 45.0	K-M	527.2	ϕ 355.6×7.9	8629	123.0	11414	93	189	61	0.33
45.0- 23.9	M-O	697.1	ϕ 457.2×9.5	13360	158.3	13860	88	196	52	0.27
23.9- 8.5	O-P	1018.0	ϕ 558.8×9.5	16390	194.2	20264	104	172	62	0.37

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 (圧縮を正とする)

f_c : 許容圧縮応力度

A : 断面積

σ_c : 圧縮応力度 (N/A)

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 5-3 水平材の断面算定結果 (STK400, SS400)

高さ EL (m)	部材 位置	評価用応力		使用部材				ℓ_k (mm)	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 (mm ²)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)							
113.5	B	47.8	46.5 ^{*1} 57.9 ^{*2}	H-450×300×10×15 ^{*3}	13200	2170 ^{*4} 450 ^{*5}	71.5 ^{*6}	6500	91	192	258	4	150 ^{*7}	0.61
109.4	C	48.2	0.1	φ216.3×5.8	3836	197	74.5	3512	47	240	258	13	1	0.06
99.9	E	35.5	0.1	φ216.3×5.8	3836	197	74.5	4114	55	234	258	9	1	0.05
89.2	G	169.1	1.5	φ267.4×6.6	5408	344	92.2	4792	52	236	258	31	4	0.15
76.8	I	38.5	1.1	φ267.4×6.6	5408	344	92.2	5580	61	228	258	7	3	0.05
62.2	K	167.1	0.9	φ318.5×6.9	6755	515	110.2	6500	59	230	258	25	2	0.12
45.0	M	106.9	0.3	φ318.5×6.9	6755	515	110.2	8054	73	215	258	16	1	0.08
34.5	N	126.9	9.0	φ609.6×9.5	17910	2650	212.2	9000	42	244	258	7	3	0.05
23.9	O	189.5	1.5	φ406.4×9.5	11850	1150	140.4	10636	76	212	258	16	1	0.08

注記*1：強軸まわりの曲げモーメントを示す。

*2：弱軸まわりの曲げモーメントを示す。

*3：材質はSS400とする（注記のない部材の材質はSTK400）。

*4：強軸まわりの断面係数を示す。

*5：弱軸まわりの断面係数を示す。

*6：最小断面二次半径とする。

*7：H形鋼における σ_b は2軸の足し合わせとする。

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（圧縮を正とする） λ ：細長比 (ℓ_k / i)

M：曲げモーメント f_c ：許容圧縮応力度

A：断面積 f_b ：許容曲げ応力度

Z：断面係数 σ_c ：圧縮応力度 (N/A)

i：断面二次半径 σ_b ：曲げ応力度 (M/Z)

ℓ_k ：座屈長さ

表 5-4 補助柱材の断面算定結果 (STK400, STK490)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力	使用部材			ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	寸法 (mm)	A (mm ²)	i (mm)					
109.4- 99.9	C-E	227.4	ϕ 267.4×6.0	4927	92.4	9499	103	174	46	0.27
99.9- 89.2	E-G	529.2	ϕ 318.5×6.0	5891	110.5	10720	97	183	90	0.50
89.2- 76.8	G-I	987.0	ϕ 711.2×7.9	17450	248.7	12445	50	238	57	0.24
76.8- 62.2	I-K	1387.4	ϕ 609.6×12.7	23820	211.1	14545	69	220	58	0.27
62.2- 45.0	K-M	1586.9	ϕ 762.0×12.7*	29900	265.0	17321	65	293	53	0.19
45.0- 34.5	M-N	936.5	ϕ 609.6×12.7*	23820	211.1	10541	50	319	39	0.13
34.5- 23.9	N-O	982.0	ϕ 609.6×12.7*	23820	211.1	10762	51	317	41	0.13

注記* : 材質は STK490 とする (注記のない部材の材質は STK400)。

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 (圧縮を正とする)

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

A : 断面積

f_c : 許容圧縮応力度

i : 断面二次半径

σ_c : 圧縮応力度 (N/A)

ℓ_k : 座屈長さ

表 5-5 筒身の断面算定結果 (SMA400A)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力		使用部材*			$c f_{c r}$ (N/mm ²)	$b f_{c r}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}}$
		N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A (mm ²)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)					
128.5- 113.5	A-B	184.6	3323.5	$\phi 3320 \times 10$	83189	68700	196	209	2	48	0.24
113.5- 89.2	B-G	685.6	11509.1						8	168	0.85
89.2- 62.2	G-K	1257.2	11374.0						15	166	0.88
62.2- 34.5	K-N	1888.6	2122.1						23	31	0.27
34.5- 8.8	N-P	2736.3	1867.9						33	27	0.30

注記* : 腐食代 2mm (内側 : 1mm, 外側 : 1mm) を考慮した断面により算定した断面性能により断面算定

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 (圧縮を正とする)

M : 曲げモーメント

A : 断面積

Z : 断面係数

$c f_{c r}$: 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値

$b f_{c r}$: 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値

σ_c : 圧縮応力度 (N/A)

σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)

6. 鉄塔脚部及び筒身脚部の断面評価

6.1 評価方法

脚部の断面算定に用いる評価用応力は、立体架構モデルを用いた応力解析により得られた脚部反力を用いて算定する。

なお、動的地震荷重については、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

6.2 鉄塔脚部の評価

(1) 鉄塔脚部の概要

鉄塔脚部の概要図を図 6-1 に示す。

なお、鉄塔脚部は竜巻に対する補強を行っており、既設部の断面には期待せず、補強部のみの評価を行う。

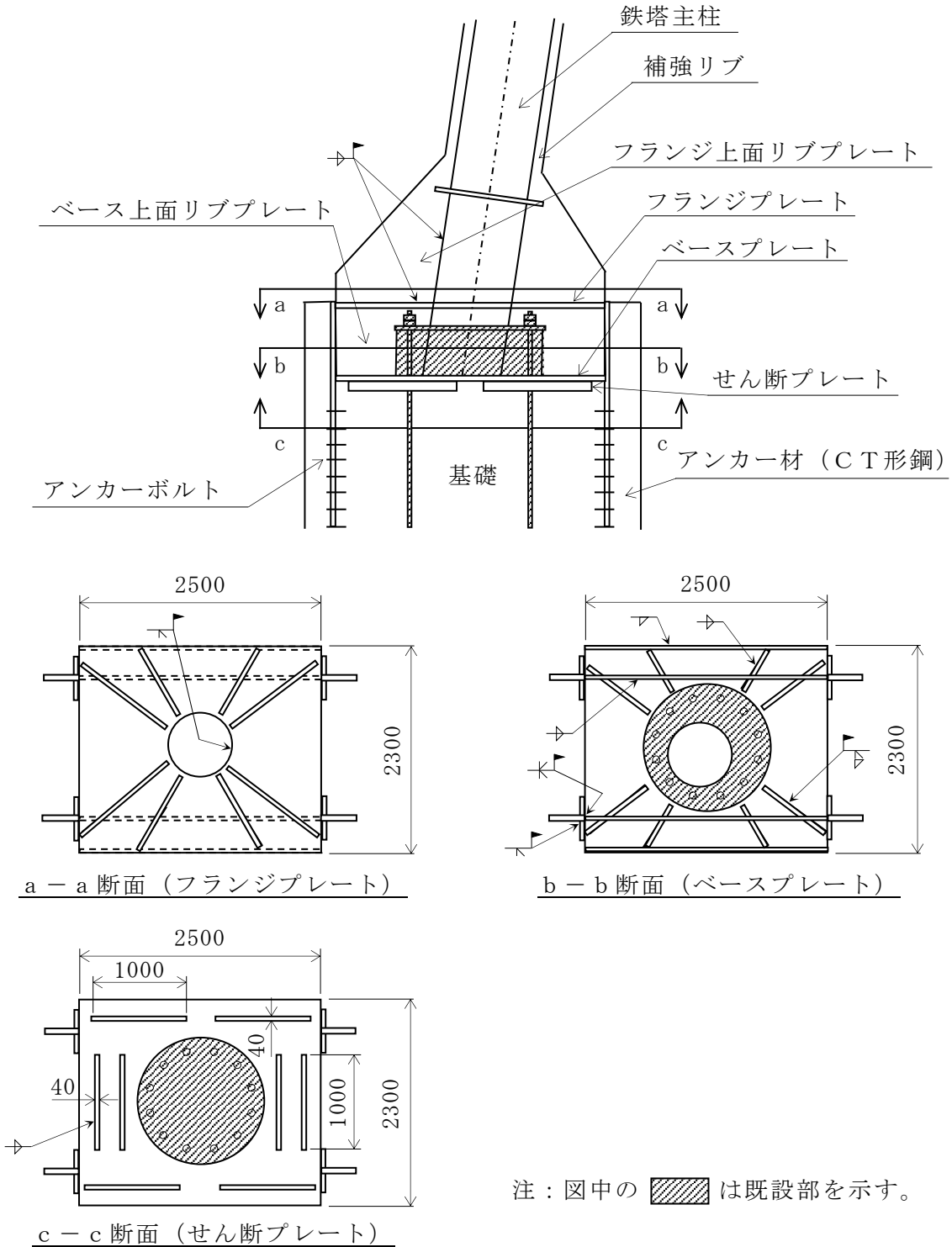


図 6-1 鉄塔脚部の概要図 (単位: mm)

(2) 評価用応力

評価用応力は地震荷重及び風荷重による発生応力の最大値とする。

鉄塔脚部の評価用応力を表 6-1 に示す。

表 6-1 鉄塔脚部の評価用応力

部材力	地震荷重 *1		風荷重 *1		評価用応力
		地震動 (ケース)	0° 方向	45° 方向	
圧縮側軸力 N_c (kN) *2	<u>4481.4</u>	S s - N 2 (ケース 4)	2746.4	3894.5	4481.4
引張側軸力 N_t (kN) *2	<u>-2551.2</u>	S s - N 2 (ケース 4)	-816.2	-1964.3	-2551.2
せん断力 Q (kN)	<u>1643.0</u>	S s - N 2 (ケース 3)	915.9	1321.4	1643.0
曲げモーメント M (kN・m)	0	-	0	0	0

注記*1：固定荷重による影響を含む。

*2：圧縮を正とする。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

(3) せん断プレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

せん断プレートの概要図を図 6-2 に示す。

鉄塔脚部に作用する水平力は、せん断プレートの抵抗力によって基礎に伝達される。ここでは、せん断プレート側面のコンクリートについて、せん断プレートを介して圧縮応力度が作用するものとして評価を行う。評価においては、鉄塔脚部に作用する水平力を各方向 4 枚のせん断プレートで均等に負担するものとする。

$$f_c = 13.6 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_s = \frac{Q}{n} = \frac{1643}{4} = 411 \text{ kN/枚}$$

$$\sigma_c = \frac{Q_s}{L \cdot b}$$

ここで、

f_c : コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm²)

Q_s : せん断プレート 1 枚あたりの水平力 (kN/枚)

Q : 鉄塔脚部のせん断力 (kN)

n : せん断プレートの枚数 (枚)

σ_c : 圧縮応力度 (N/mm²)

L : せん断プレートの長さ (mm)

b : せん断プレートの幅 (深さ) (mm)

以上より、

$$\sigma_c = \frac{411 \times 1000}{1000 \times 80} = 5.2 \text{ N/mm}^2 \leq 13.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

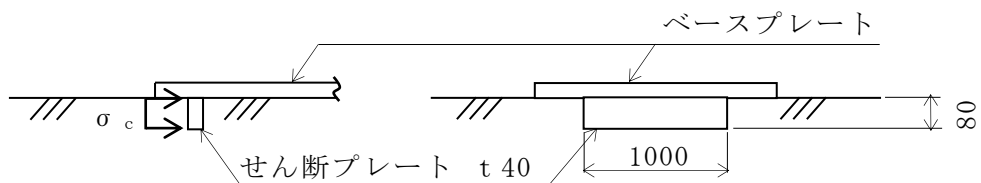


図 6-2 せん断プレートの概要図 (単位: mm)

b. せん断プレートの曲げ応力度に対する評価

ここでは、せん断プレートの曲げ応力度の評価を行う。評価においては、鉄塔脚部に作用する水平力を各方向4枚のせん断プレートで均等に負担するものとする。また、水平力の作用位置は、せん断プレートの幅（深さ）方向の中央に作用するものとする。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$M_s = Q_s \cdot \frac{b}{2} = 411 \times \frac{80}{2} = 16440 \text{ kN}\cdot\text{mm/枚}$$

$$Z = \frac{L \cdot t^2}{6} = \frac{1000 \times 40^2}{6} = 267000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = \frac{M_s}{Z}$$

ここで、

f_b : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm²)

F : 鋼材の基準強度 (N/mm²)

M_s : せん断プレート1枚あたりの曲げモーメント (kN・mm/枚)

Q_s : せん断プレート1枚あたりの水平力 (kN/枚)

b : せん断プレートの幅（深さ） (mm)

L : せん断プレートの長さ (mm)

t : せん断プレートの板厚 (mm)

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

Z : せん断プレートの断面係数 (mm³)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{16440 \times 1000}{267000} = 62 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

(4) フランジプレート及びベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

コンクリートに作用する圧縮力の概要図を図 6-3 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して、ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、圧縮力がウェブプレート間の図 6-3 に示すコンクリート圧縮領域に作用するものとする。

$$f_c = 13.6 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 2 \cdot L \cdot L_b = 2 \times 382 \times 2500 = 1910000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

ここで、

f_c : コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm²)

A : 圧縮領域の面積 (mm²)

L : ウェブプレート間の距離 (mm)

L_b : ベースプレートの長さ (mm)

σ_c : 圧縮応力度 (N/mm²)

N_c : 鉄塔脚部の圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_c = \frac{4481.4 \times 1000}{1910000} = 2.4 \text{ N/mm}^2 \leq 13.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

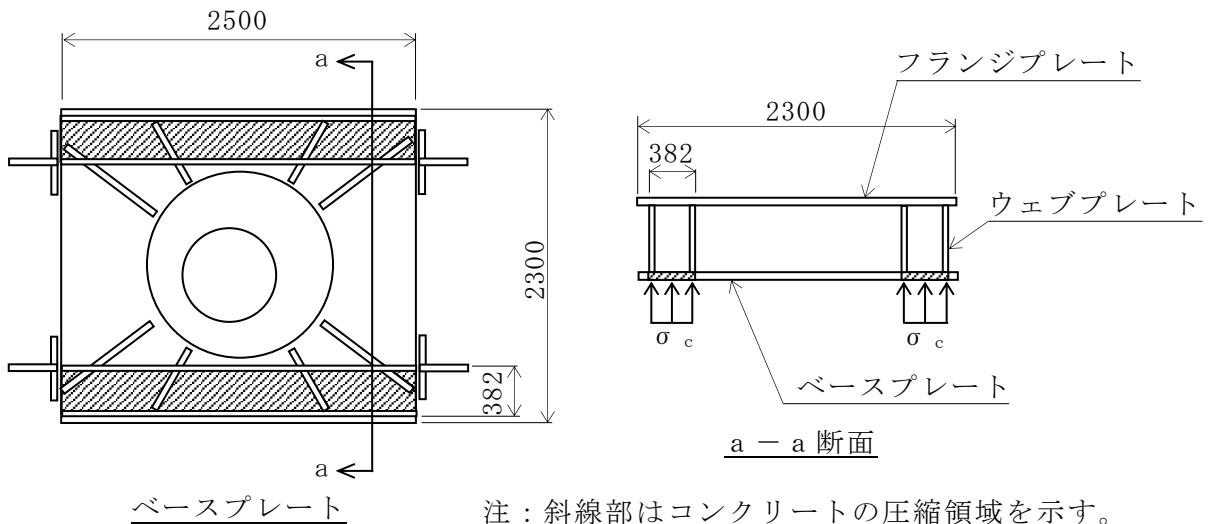


図 6-3 コンクリートに作用する圧縮力の概要図 (単位: mm)

- b. フランジプレート、ベースプレート及びウェブプレートの曲げ応力度及びせん断応力度に対する評価

フランジプレート、ベースプレート及びウェブプレートから成る合成断面の概要図を図6-4に、荷重及び支持条件を図6-5に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、図6-4に示す合成断面の曲げ応力度及びせん断応力度の評価を行う。評価においては、引張力が図6-5に示す単純支持梁の中央部に集中荷重として作用するものとする。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{357}{\sqrt{3}} = 206 \text{ N/mm}^2$$

$$M_f = \frac{(N_t / 2) \cdot L_{br}}{4} = \frac{(2551.2 / 2) \times 2500}{4} = 797300 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$Z_{min} = 12400000 \text{ mm}^3$$

$$A_s = t_{br} \cdot h_{br} = 22 \times 620 = 13640 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M_f}{Z_{min}}$$

$$\tau = \frac{N_t / 4}{A_s}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

f_b : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm²)

f_s : 鋼材の許容せん断応力度 (N/mm²)

F : 鋼材の基準強度 (N/mm²)

M_f : 評価断面における曲げモーメント (kN・mm)

N_t : 鉄塔脚部の引張力 (kN)

L_{br} : ウェブプレートの長さ (mm)

Z_{min} : 合成断面の最小断面係数 (mm³)

A_s : 合成断面のせん断断面積 (mm²)

t_{br} : ウェブプレートの板厚 (mm)

h_{br} : ウェブプレートの高さ (mm)

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

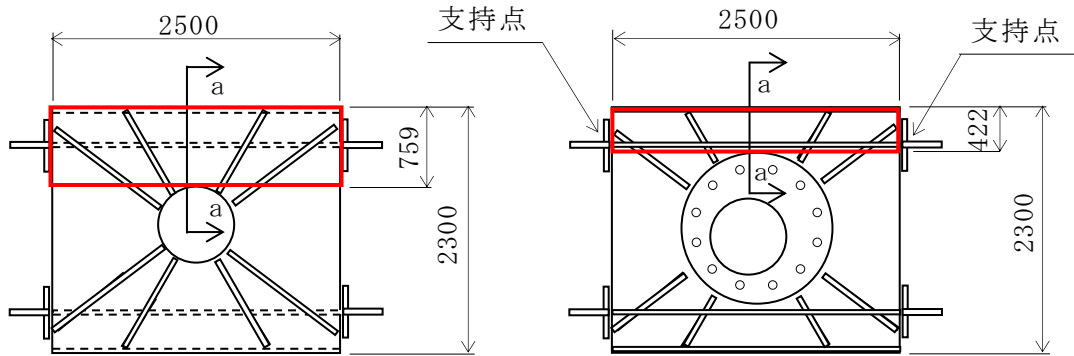
σ : 合成応力度 (N/mm²)

以上より,

$$\sigma_b = \frac{797300 \times 1000}{12400000} = 65 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

$$\tau = \frac{2551.2 / 4 \times 1000}{13640} = 47 \text{ N/mm}^2 \leq 206 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

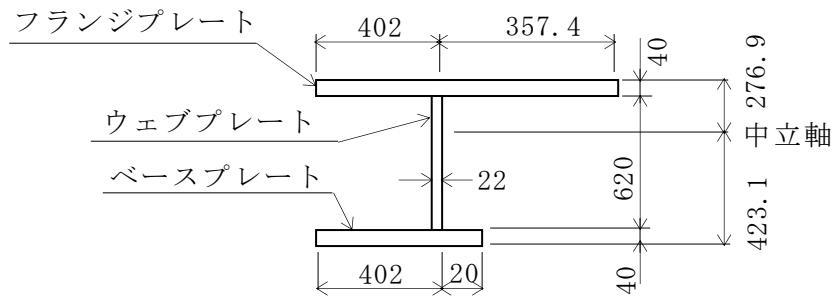
$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} = 105 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



フランジプレート

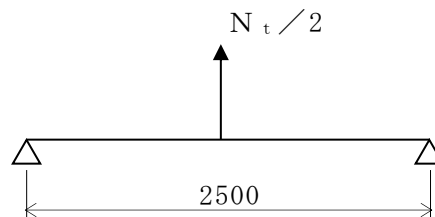
ベースプレート

□: 評価部位を示す。



a - a 断面

図 6-4 フランジプレート, ベースプレート及びウェブプレートから成る合成断面の概要図 (単位: mm)



注: アンカー材 (C T形鋼) の位置を支点とする。

図 6-5 荷重及び支持条件

c. ベースプレート圧縮領域の曲げ応力度に対する評価

ベースプレートに作用する圧縮力の概要図を図 6-6 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して、ベースプレートの圧縮領域の曲げ応力度の評価を行う。評価においては、圧縮領域はウェブプレート間とし、その間のベースプレートの評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$M_b = \sigma_c \cdot \frac{L^2}{8} = 2.4 \times \frac{382^2}{8} = 43780 \text{ (N}\cdot\text{mm)/mm}$$

$$Z = \frac{t^2}{6} = \frac{40^2}{6} = 267 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z}$$

ここで、

f_b : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm²)

F : 鋼材の基準強度 (N/mm²)

M_b : ベースプレート圧縮領域の曲げモーメント (N・mm/mm)

σ_c : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm²)

L : ウェブプレート間の距離 (mm)

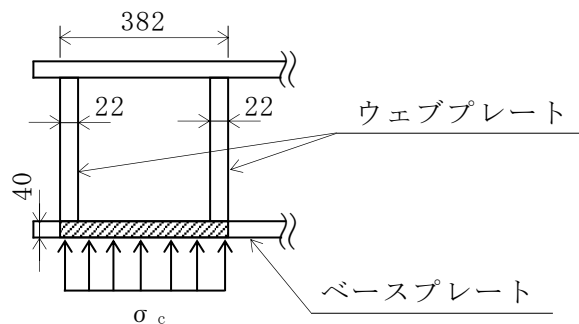
Z : ベースプレート圧縮領域の単位幅あたりの断面係数 (mm³/mm)

t : ベースプレートの板厚 (mm)

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{43780}{267} = 164 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



注：斜線部はベースプレートの圧縮領域を示す。

図 6-6 ベースプレートに作用する圧縮力の概要図 (単位: mm)

(5) ベース上面リブプレートの評価

a. ベース上面リブプレートの圧縮応力度に対する評価

ベース上面リブプレートの概要図を図 6-7 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して、リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、ベース上面リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。許容座屈応力度は図 6-7 に示す代表とするリブプレートにより算定する。

$$F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$K_r = 0.42 + \left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42 + \left(\frac{645}{620}\right)^2 = 1.502$$

$$\begin{aligned}\sigma_{rk} &= \frac{K_r}{\mu_r} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2 \\ &= \frac{1.502}{1.5} \times \pi^2 \times \frac{205000}{12 \times (1 - 0.3^2)} \times \left(\frac{22}{645}\right)^2 = 215 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

よって、

$$\sigma_{rk} = 215 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{N_c}{4 \cdot t_r \cdot (b_{r1} + b_{r2})}$$

ここで、

F : 鋼材の基準強度 (N/mm²) (F 値は 1.1 倍とする。)

K_r : 係数

b_r : ベース上面リブプレートの幅 (mm)

h_r : ベース上面リブプレートの高さ (mm)

σ_{rk} : 許容座屈応力度 (N/mm²) (F と σ_{rk} の小さい方の値をとる)

μ_r : 座屈安全率 (1.5 とする)

E : 鋼材のヤング係数 (N/mm²)

ν : 鋼材のポアソン比

σ_r : 座屈応力度 (N/mm²)

t_r : ベース上面リブプレートの板厚 (mm)

b_{r1} : ベース上面リブプレート 1 の幅 (mm)

b_{r2} : ベース上面リブプレート 2 の幅 (mm)

N_c : 鉄塔脚部の圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_r = \frac{4481.4 \times 1000}{4 \times 22 \times (487 + 725)} = 43 \text{ N/mm}^2 \leq 215 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

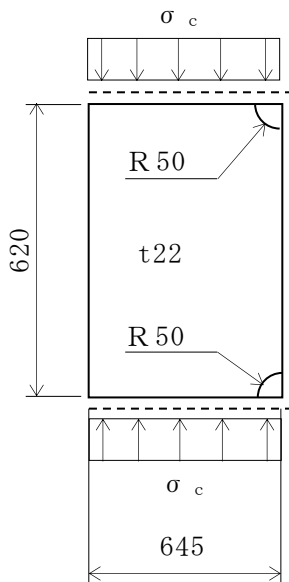
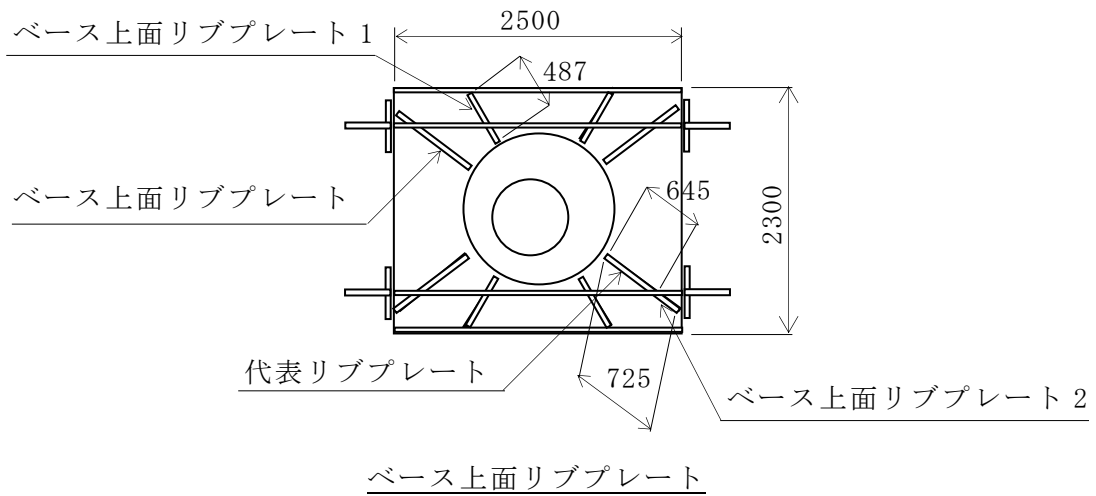


図 6-7 ベース上面リブプレートの概要図 (単位: mm)

(6) アンカー部の評価

a. アンカー材（C T形鋼）の引張応力度に対する評価

アンカー材（C T形鋼）の概要図を図 6-8 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、アンカー材（C T形鋼）の引張応力度の評価を行う。評価においては、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、4本のアンカー材（C T形鋼）で均等に負担するものとする。

$$f_t = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{N_t}{n \cdot A_H}$$

$$\begin{aligned} A_H &= B_f \cdot t_f + (h_T - t_f) \cdot t_w - 2 \cdot D_b \cdot t_f \\ &= 422 \times 36 + (260 - 36) \times 36 - 2 \times 22 \times 36 = 21672 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ここで、

f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

F : 鋼材の基準強度 (N/mm²)

n : アンカー材の本数 (本)

N_t : 鉄塔脚部の引張力 (kN)

σ_t : 引張応力度 (N/mm²)

A_H : アンカー材の断面積 (mm²)

B_f : アンカー材の幅 (mm)

t_f : アンカー材フランジの板厚 (mm)

h_T : アンカー材の高さ (mm)

t_w : アンカー材ウェブの板厚 (mm)

D_b : ボルト穴の直径 (mm)

以上より、

$$\sigma_t = \frac{2551.2 \times 1000}{4 \times 21672} = 30 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

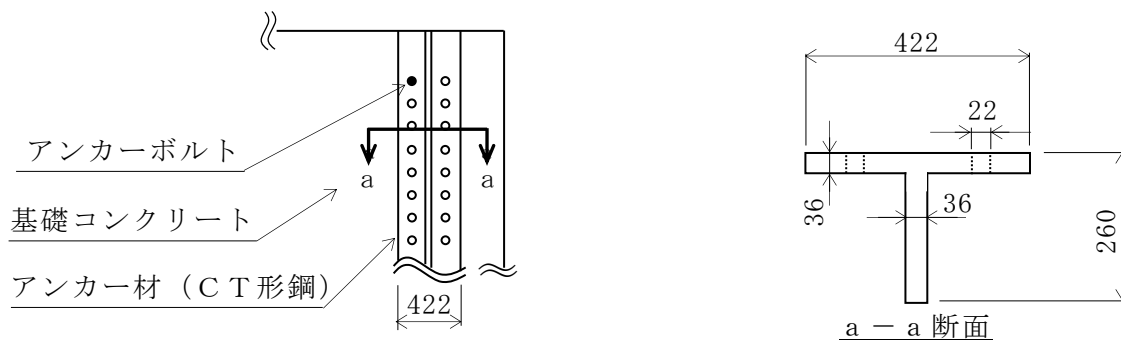


図 6-8 アンカー材（C T形鋼）の概要図（単位：mm）

b. アンカーボルトのせん断応力度評価

アンカーボルトのコーン状破壊の概要図を図 6-9 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。アンカー材（C T形鋼）に引張力が作用すると、アンカー材とコンクリートの接合面にせん断力が生じる。評価においては、接合面に生じるせん断力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

アンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力 q_a は、以下の式で算定される値のうち最小値とする。

アンカーボルトのせん断強度で決まる場合の許容せん断力 q_{a1}

$${}_s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot {}_s \sigma_y = 0.7 \times 240 = 168 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s \sigma_{qa} \cdot A_a = 1.0 \times 168 \times 245 = 41 \text{ kN}$$

定着した躯体の支圧強度で決まる場合の許容せん断力 q_{a2}

$${}_c \sigma_{qa} = 0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c} = 0.5 \times \sqrt{20.6 \times 21500} = 332 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot {}_c \sigma_{qa} \cdot A_a = 2/3 \times 332 \times 245 = 54 \text{ kN}$$

定着した躯体のコーン状破壊で決まる場合の許容せん断力 q_{a3}

$${}_c \sigma_t = 0.31 \cdot \sqrt{F_c} = 0.31 \times \sqrt{20.6} = 1.4 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot {}_c \sigma_t \cdot A_{qc} = 2/3 \times 1.4 \times 76566 = 71 \text{ kN}$$

よって、

$$q_a = 41 \text{ kN}$$

ここで、

${}_s \sigma_{qa}$: 接着系アンカーボルトのせん断強度 (N/mm²)

${}_s \sigma_y$: 接着系アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm²) (強度区分 4.8)

A_a : アンカーボルトの有効断面積 (M20) (mm²)

ϕ_1 : 低減係数 (=1.0)

${}_c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度 (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

ϕ_2 : 低減係数 (=2/3)

${}_c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm²)

A_{qc} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)

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

ここで、

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

N_t : 鉄塔脚部の引張力 (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

以上より、

$$Q_a = \frac{2551.2}{248} = 11 \text{ kN} \leq 41 \text{ kN} \quad \text{可}$$

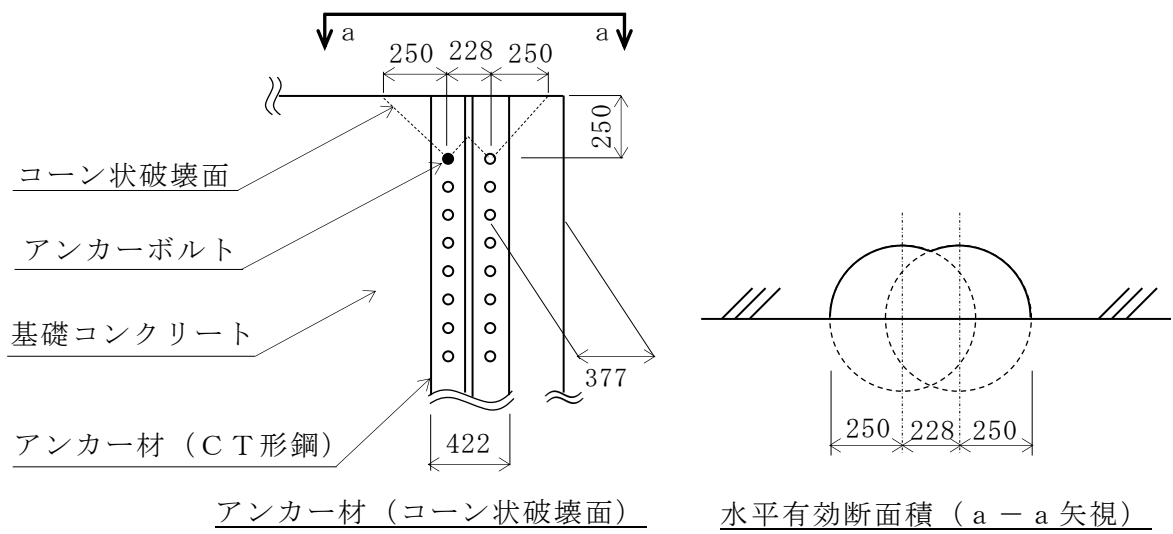


図 6-9 アンカーボルトのコーン状破壊の概要図 (単位: mm)

6.3 筒身脚部の評価

(1) 筒身脚部の概要

筒身脚部の概要図を図 6-10 に示す。

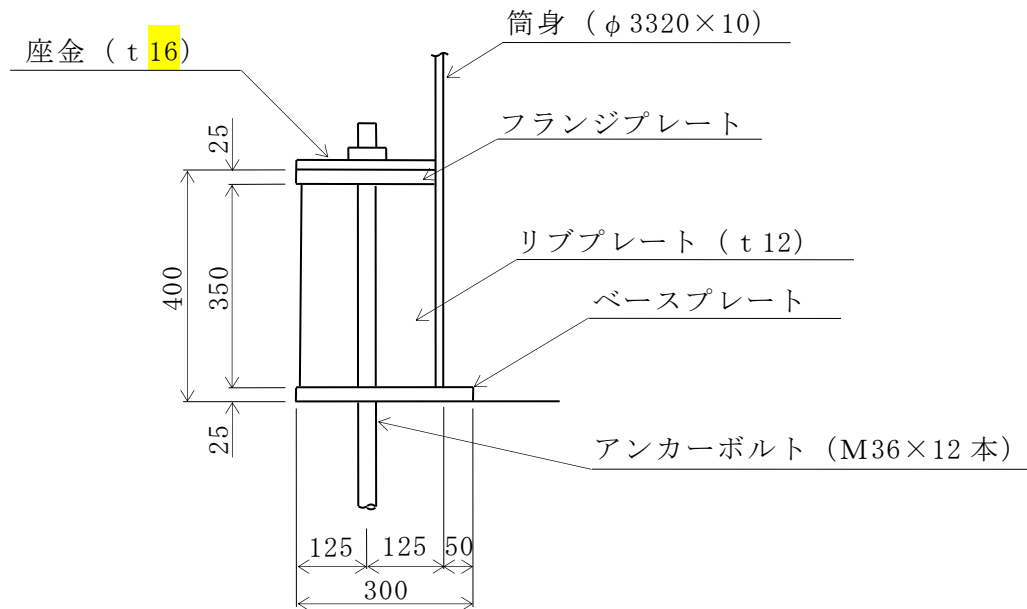


図 6-10 筒身脚部の概要図 (単位 : mm)

(2) 評価用応力

評価用応力は地震荷重及び風荷重による発生応力の最大値とする。

筒身脚部の評価用応力を表 6-2 に示す。

表 6-2 筒身脚部の評価用応力

部材力	地震荷重*1		風荷重*1		評価用応力
		地震動 (ケース)	0° 方向	45° 方向	
圧縮側軸力 N_c (kN) *2	<u>3097.5</u>	S s - D (ケース 3)	1523.8	1523.8	3097.5
引張側軸力 N_t (kN) *2	<u>-49.9</u>	S s - D (ケース 3)	1523.8	1523.8	-49.9
せん断力 Q (kN)	<u>424.2</u>	S s - F 2 (ケース 3)	50.2	52.8	424.2
曲げモーメント M (kN・m)	<u>2385.1</u>	S s - F 2 (ケース 3)	843.7	981.6	2385.1

注記*1：固定荷重による影響を含む。

*2：圧縮を正とする。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

(3) アンカーボルトの評価

a. アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトの概要図を図 6-11 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する水平力に対して、アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。評価においては、筒身脚部に作用する水平力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{258}{\sqrt{3}} = 148 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_A = \frac{Q}{n} = \frac{424.2}{12} = 35 \text{ kN/本}$$

$$\tau = \frac{Q_A}{A_a}$$

ここで、

f_s : 許容せん断応力度 (N/mm²)

F : アンカーボルトの基準強度 (N/mm²)

Q_A : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN/本)

Q : 筒身脚部のせん断力 (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

A_a : アンカーボルトの有効断面積 (mm²)

以上より、

$$\tau = \frac{35 \times 1000}{817} = 43 \text{ N/mm}^2 \leq 148 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

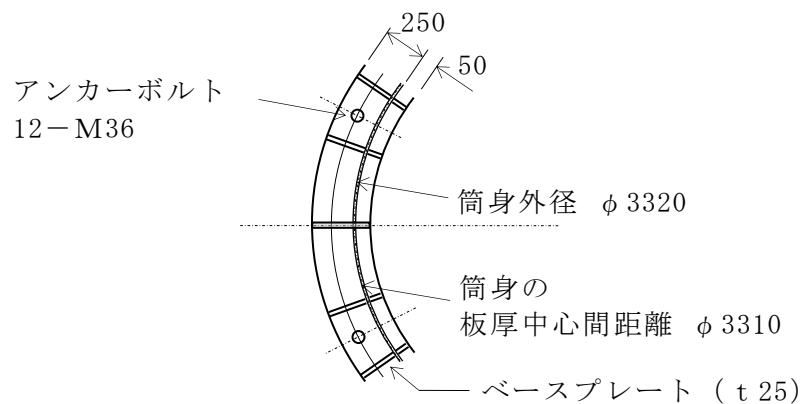


図 6-11 アンカーボルトの概要図 (単位: mm)

b. アンカーボルトの引張とせん断を同時に受ける場合に対する評価

ここでは、引張とせん断を同時に受ける場合のアンカーボルトの評価を行う。

$$f_{t0} = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau = 1.4 \times 258 - 1.6 \times 43 = 292 \text{ N/mm}^2$$

$f_{ts} > f_{t0}$ より、

$$f_{ts} = 258 \text{ N/mm}^2$$

ここで、

f_{t0} : せん断力が作用しないときの許容引張応力度 (N/mm²)

f_{ts} : せん断力が同時に作用するときの許容引張応力度 (N/mm²)

アンカーボルトの引張力 T_A の算定にあたって、鉄筋コンクリート構造計算規
準・同解説（（社）日本建築学会，1988年改定，1991年一部改定）を参考に、筒
身内壁から外側のベースプレート下面を円筒断面の鉄筋コンクリート柱とみなし、
中立軸が断面内にある状態（主筋に相当するアンカーボルトの一部が引張りとな
る状態）を考慮する。この時、引張側のアンカーボルトに作用する最大引張力を
 T_A とする。

$$T_A = 157 \text{ kN}$$

$$\sigma_t = \frac{T_A}{A_a}$$

ここで、

T_A : アンカーボルトの最大引張力 (kN)

σ_t : 引張応力度 (N/mm²)

以上より、

$$\sigma_t = \frac{157 \times 1000}{817} = 193 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. アンカーボルト埋込長さに対する評価

アンカーボルトの概要図を図 6-12 に示す。

ここでは、アンカーボルト埋込長さの評価を行う。

$$f_a = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{T_A}{\pi \cdot d \cdot L}$$

ここで、

f_a : 許容付着応力度 (丸鋼) (N/mm²)

σ_a : 付着応力度 (N/mm²)

d : アンカーボルト径 (mm)

L : アンカーボルト埋込長さ (mm)

以上より、

$$\sigma_a = \frac{157 \times 1000}{\pi \times 36 \times 1500} = 0.93 \text{ N/mm}^2 \leq 1.35 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

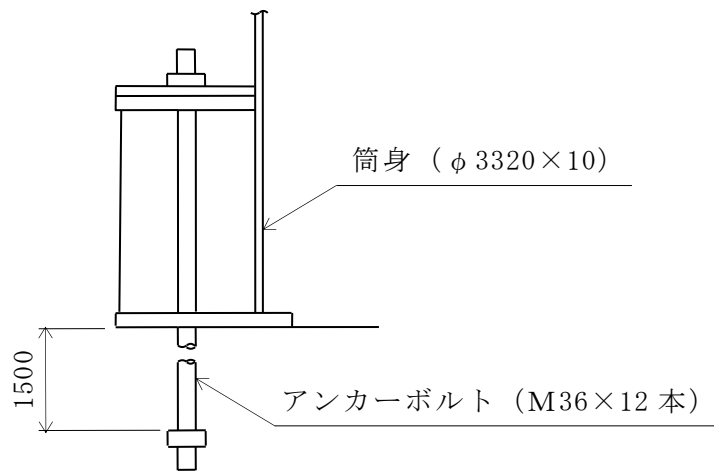


図 6-12 アンカーボルトの概要図 (単位 : mm)

(4) フランジプレートの評価

フランジプレートの概要図を図 6-13 に示す。

a. フランジプレートの曲げ応力度に対する評価

フランジプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、アンカーボルトの引張力 T_A が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$L_f = 300 \text{ mm}$$

$$M = T_A \cdot \frac{L_f}{8} = 157 \times 1000 \times \frac{300}{8} = 5888000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(B - d_f) \cdot (t_f + t_f')^2}{6} \\ &= \frac{(240 - 46) \times (25 + 16)^2}{6} = 54400 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

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

ここで、

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

F : フランジプレートの設計基準強度 (N/mm²)

L_f : リブ間距離 (mm)

M : 曲げモーメント (N·mm)

T_A : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN/本)

Z : 断面係数 (mm³)

B : フランジプレート幅 (mm)

d_f : ボルト孔径 (mm)

t_f : フランジプレートの板厚 (mm)

t_f' : 座金厚 (mm)

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{5888000}{54400} = 109 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

b. フランジプレートの円周方向応力の検定

ここでは、フランジプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_1 = T_A \cdot \frac{e_1}{h \cdot L_f} = 157 \times 1000 \times \frac{120}{375 \times 300} = 167 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rf} = D_f \cdot \frac{w_1}{2 \cdot (B - d_f) \cdot (t_f + t_f')}$$

ここで、

w_1 : 偏心距離 e_1 によって発生する水平力 (N/mm)

e_1 : 偏心距離 (mm)

h : フランジプレートからベースプレート間の板厚中心間距離 (mm)

σ_{rf} : 水平力 w_1 による円周方向応力度 (N/mm²)

D_f : フランジプレート中心径 (mm)

以上より、

$$\begin{aligned} \sigma_{rf} &= 3560 \times \frac{167}{2 \times (240 - 46) \times (25 + 16)} \\ &= 38 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可} \end{aligned}$$

c. フランジプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

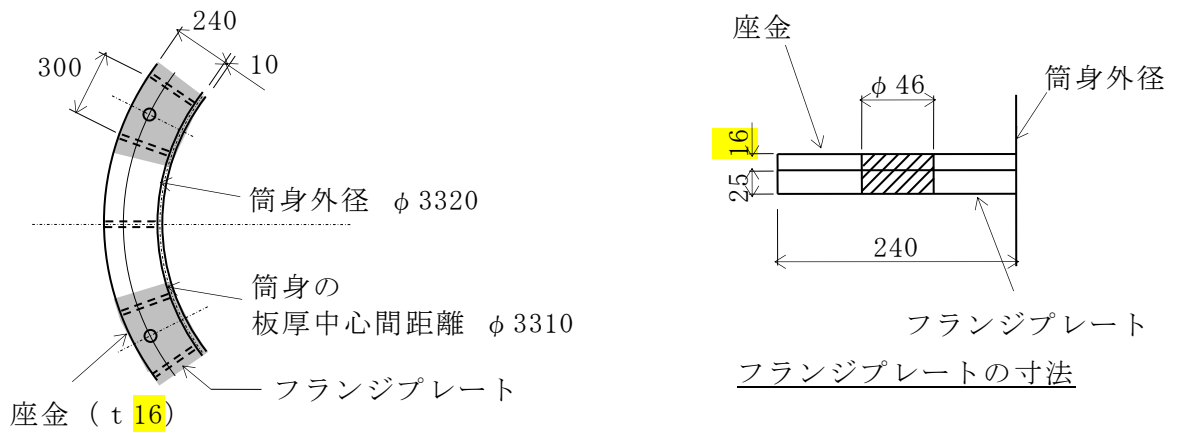
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rf}$$

ここで、

σ : 合成応力度 (N/mm²)

以上より

$$\sigma = 109 + 38 = 147 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



フランジプレートの評価部位

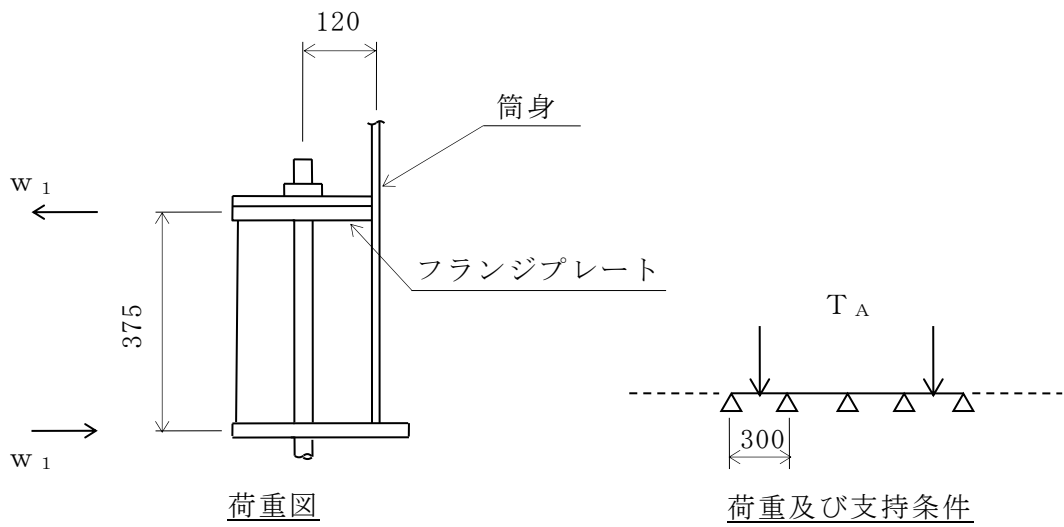


図 6-13 フランジプレートの概要図 (単位 : mm)

(5) ベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図を図 6-14 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する圧縮力及び曲げモーメントによる圧縮応力度に対して、ベースプレート下面のコンクリートの評価を行う。

$$f_c = 13.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_c &= \left(\frac{N_c}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_2 \\ &= \left(\frac{3097.5}{83189} + \frac{2385.1 \times 1000}{68700000} \right) \times 2383 = 171 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_b}$$

ここで、

f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)

P_c : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

N_c : 筒身脚部の圧縮力 (kN)

A : 筒身の断面積 (mm²) (腐食代 2mm を考慮)

M : 筒身脚部の曲げモーメント (kN・m)

Z : 筒身の断面係数 (mm³) (腐食代 2mm を考慮)

A_2 : 筒身のリブプレート間の断面積 (mm²)

σ_c : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm²)

A_b : リブプレート間のベースプレートの接地面積 (mm²)

以上より

$$\sigma_c = \frac{171 \times 1000}{94500} = 1.9 \text{ N/mm}^2 \leq 13.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

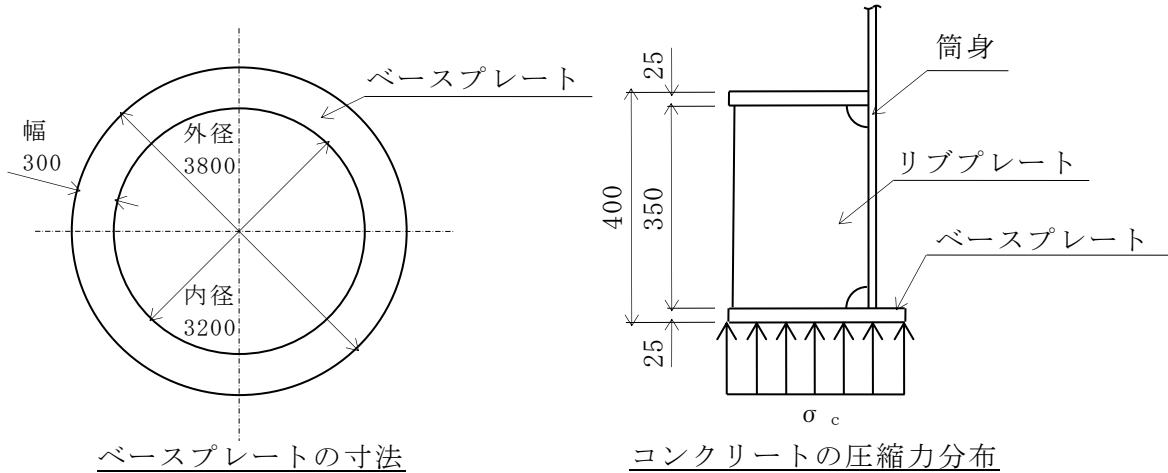


図 6-14 ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図 (単位: mm)

b. ベースプレートの曲げ応力度に対する評価

ベースプレートの概要図を図 6-15 に示す。

ベースプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、リブプレート間に作用する圧縮応力度 σ_{rc} が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$L_b = 315 \text{ mm}$$

$$M = \sigma_{rc} \cdot \frac{L_b^2}{12} = 1.9 \times \frac{315^2}{12} = 15710 \text{ N}\cdot\text{mm/mm}$$

$$Z = \frac{t_b^2}{6} = \frac{25^2}{6} = 104 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

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

ここで、

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

F : ベースプレートの基準強度 (N/mm²)

L_b : リブ間距離 (mm)

M : 曲げモーメント (N・mm/mm)

σ_{rc} : リブプレート間に作用する圧縮応力度 (N/mm²)

Z : 断面係数 (mm³/mm)

t_b : ベースプレートの板厚 (mm)

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

以上より

$$\sigma_b = \frac{15710}{104} = 152 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. ベースプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは、ベースプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_2 = P_c \cdot \frac{e_2}{h \cdot L_b} = 171 \times 1000 \times \frac{95}{375 \times 315} = 138 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rb} = D_b \cdot \frac{w_2}{2 \cdot B \cdot t_b}$$

ここで、

w_2 : 偏心距離 e_2 によって発生する水平力 (N/mm)

e_2 : 偏心距離 (mm)

h : ベースプレート板厚中心間距離 (mm)

σ_{rb} : 水平力 w_2 による円周方向応力度 (N/mm²)

D_b : ベースプレート中心径 (mm)

B : ベースプレート幅 (mm)

以上より、

$$\sigma_{rb} = 3500 \times \frac{138}{2 \times 300 \times 25} = 33 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

d. ベースプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rb}$$

ここで、

σ : 合成応力度 (N/mm²)

以上より、

$$\sigma = 152 + 33 = 185 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

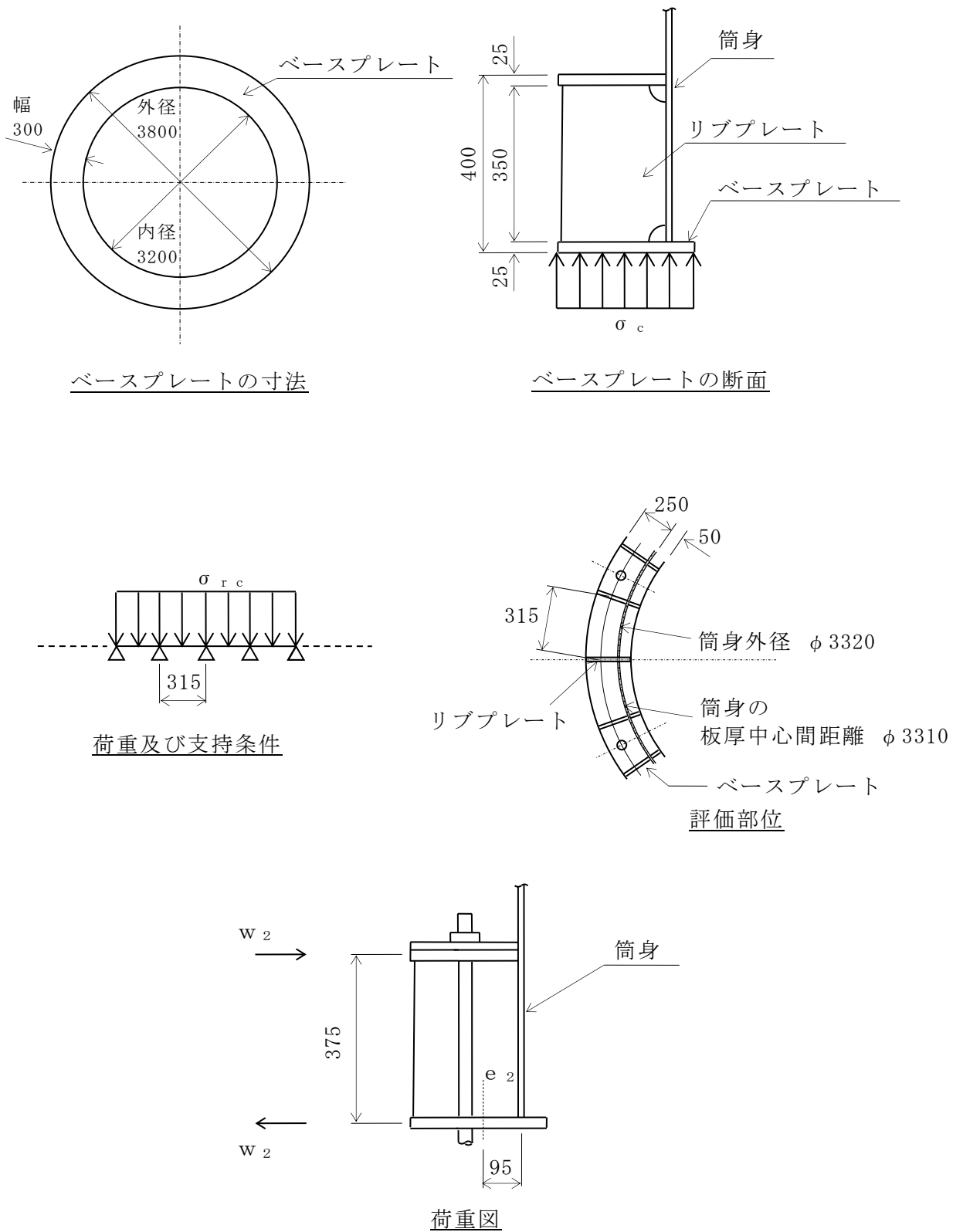


図 6-15 ベースプレートの概要図 (単位 : mm)

(6) リブプレートの評価

a. リブプレートの圧縮応力度に対する評価

リブプレートの概要図を図 6-16 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する圧縮力に対して、リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。

$$F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$K_r = 0.42 + \left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42 + \left(\frac{230}{350}\right)^2 = 0.8518$$

$$\begin{aligned}\sigma_{rk} &= \frac{K_r}{\mu_r} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2 \\ &= \frac{0.8518}{1.5} \times \pi^2 \times \frac{205000}{12 \times (1 - 0.3^2)} \times \left(\frac{12}{230}\right)^2 = 286 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

よって、

$$\sigma_{rk} = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{P_c}{b_r \cdot t_r}$$

ここで、

F : リブプレートの基準強度 (F 値は 1.1 倍とする。) (N/mm^2)

K_r : 係数

b_r : リブプレートの幅 (mm)

h_r : リブプレートの高さ (mm)

σ_{rk} : 許容座屈応力度 (N/mm^2) (F と σ_{rk} の小さい方の値をとる)

μ_r : 座屈安全率 (=1.5)

E : ヤング係数 (N/mm^2)

ν : ポアソン比

t_r : リブプレートの板厚 (mm)

σ_r : 座屈応力度 (N/mm^2)

P_c : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_r = \frac{171 \times 1000}{230 \times 12} = 62 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

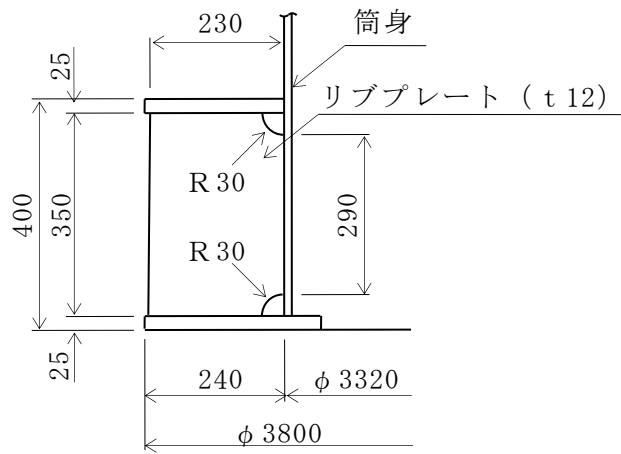


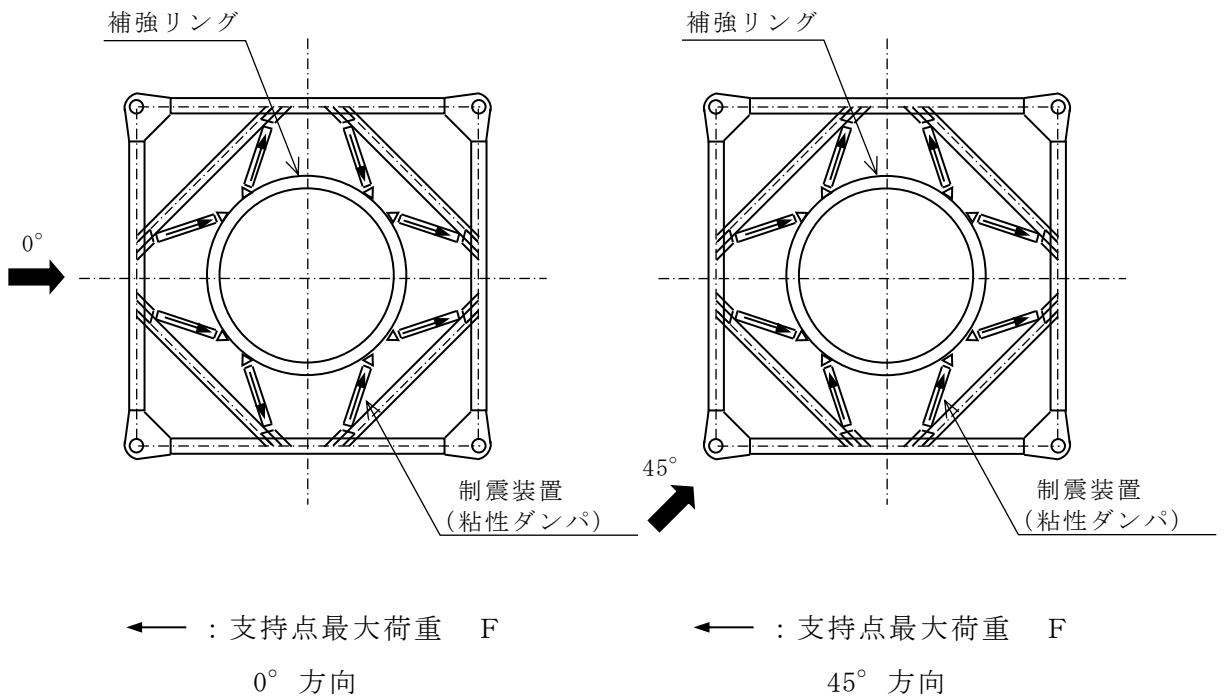
図 6-16 リブプレートの概要図 (単位: mm)

7. 制震装置（粘性ダンパ）支持点部の評価

制震装置（粘性ダンパ）における鉄塔と筒身の支持点部の設計は、基準地震動 S_s による地震荷重に対して行う。地震荷重として補強リングに加わる荷重は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」における基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケースより求まる制震装置（粘性ダンパ）の反力から設定した値とし、「 0° 方向」と「 45° 方向」に入力する。支持点部平面図及び補強リングに加わる荷重を図 7-1 に示す。

補強リングの評価用応力は、支持点最大荷重 F を全ての制震装置（粘性ダンパ）に作用させて算定する。

補強リングの評価用応力及び断面算定結果を表 7-1 に示す。



支持点レベル EL (m)	支持点最大荷重 F (kN/箇所)
113.5	86.1

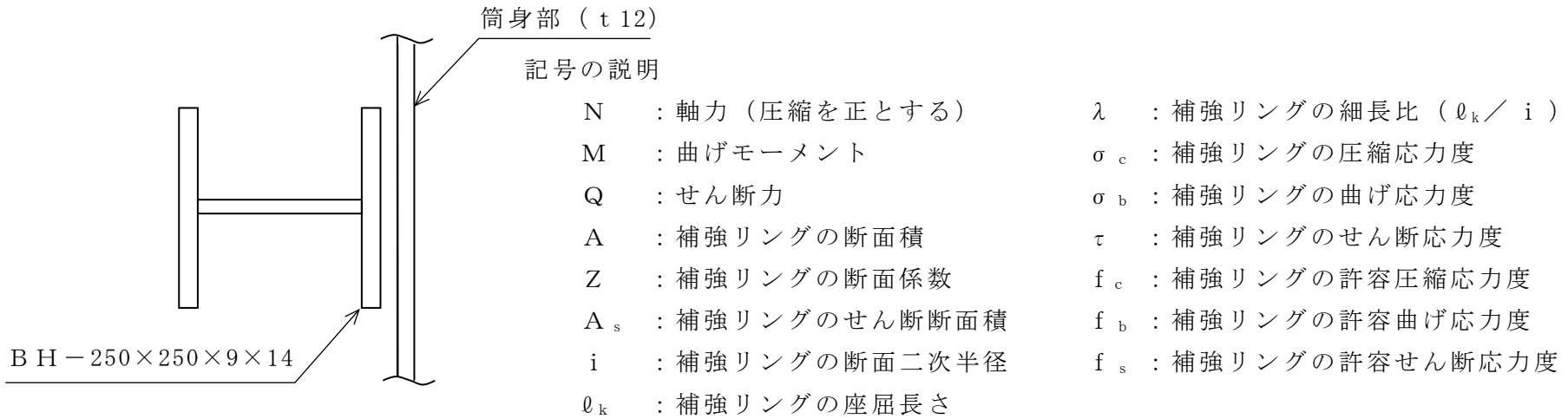
図 7-1 制震装置（粘性ダンパ）支持点部平面図及び支持点荷重

表 7-1 補強リングの断面算定結果 (SS400)

検討 ケース	使用部材	評価用応力			A (mm ²)	Z (×10 ³ mm ³)	A _s (mm ²)	i (mm)	ℓ _k (mm)	λ
		N (kN)	M (kN・m)	Q (kN)						
0°	BH - 250×250×9×14	100.4	11.8	24.2	8998	846	1998	63.7	2807	44
45°		76.2	16.7	40.2						

検討 ケース	σ _c (N/mm ²)	σ _b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _s (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$
0°	11	14	12	242	258	148	0.10	0.09
45°	8	20	20				0.12	0.14

67



8. S G T S用排気筒の評価

8.1 筒身部の評価

S G T S用排気筒については、「3.1 評価対象部位及び評価方針」に示す評価方針に基づいて断面の算定を行う。また、S G T S用排気筒の各支持点間での1次固有振動数は高いため、筒身と共振することはない。

S G T S用排気筒の評価の概要を図8-1に示す。

設計用応力のうち軸力については、動的地震荷重及び静的地震荷重による鉛直震度を算定し、大きい方の震度を用いて各部材間の応力を算定する。このとき、動的地震荷重による鉛直震度は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析における基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケースによる筒身脚部の最大応答加速度により算定する。また、静的地震荷重による鉛直震度は、鉛直震度0.3を基準として、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して設定する。図8-1に示すとおり、静的地震荷重より動的地震荷重による鉛直震度が大きいことから、軸力は動的地震荷重による鉛直震度に基づき設定する。

設計用応力のうち曲げモーメントについては、風荷重、動的地震荷重及び静的地震荷重による筒身の変位のうち最大変位を強制載荷することにより設定する。各荷重による筒身の変位を表8-1に示す。このとき、風荷重による変位は、表3-6に示す風荷重を用いた静的解析における応答変位である。また、動的地震荷重による変位は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析における基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケースによる最大応答変位であり、静的地震荷重による変位は、地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_1$ による静的地震力を用いた静的解析における応答変位である。表8-1に示すとおり、静的地震荷重による変位が大きいことから、曲げモーメントは静的地震荷重による変位を用いた静的解析に基づき設定する。

S G T S用排気筒の概要図を図8-2に、断面算定結果を表8-2に示す。

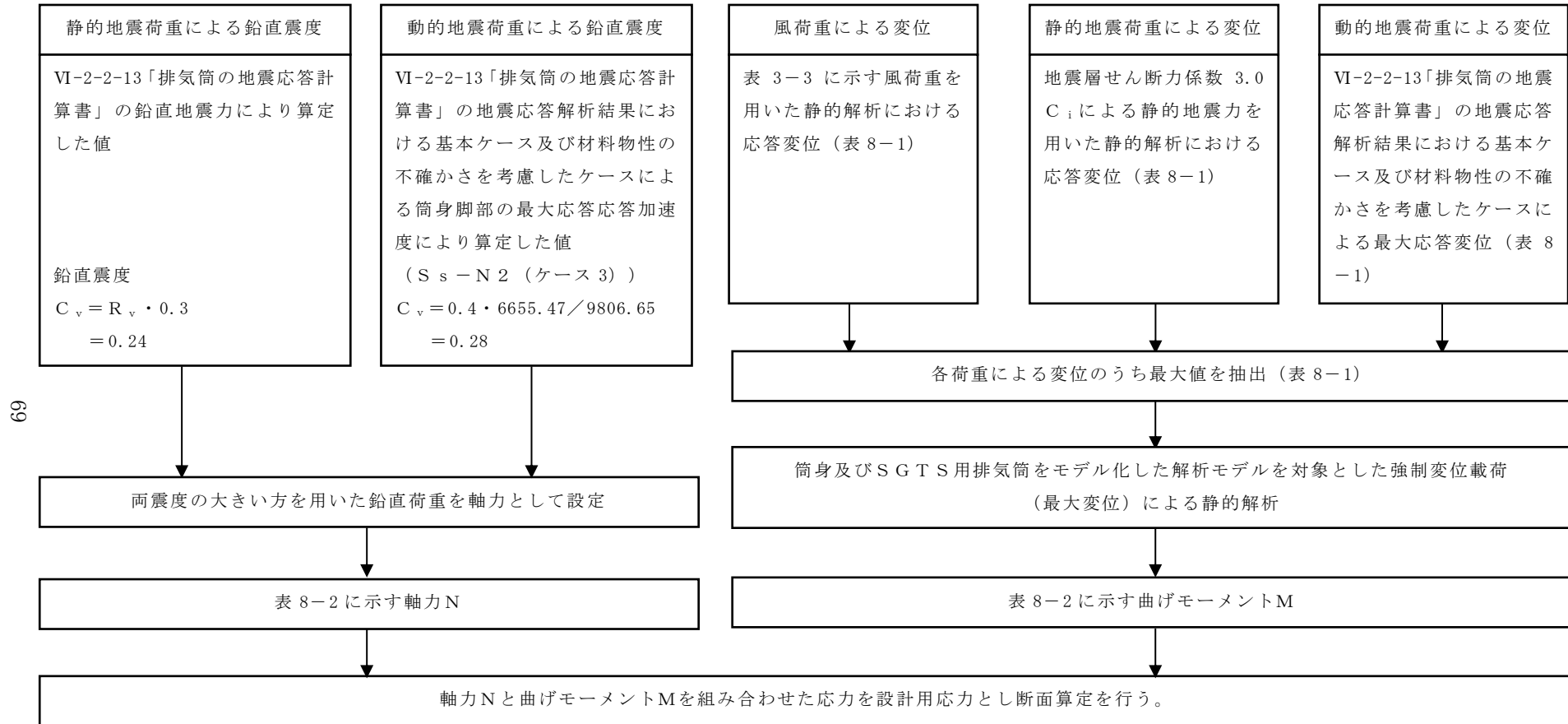


図 8-1 SGT S 用排気筒の評価の概要

表 8-1 筒身の変位

(単位：mm)

支持点	高さ EL (m)	風荷重		動的*	地震荷重		最大変位
		0° 方向	45° 方向		静的		
				0° 方向	45° 方向	0° 方向	
A	128.5	269.5	288.7	467.2	<u>1498.0</u>	<u>1498.0</u>	1498.0
B	113.5	187.0	202.8	300.8	<u>1068.9</u>	<u>1068.9</u>	1068.9
C	89.2	74.8	85.3	111.7	<u>481.8</u>	<u>481.8</u>	481.8
D	62.2	29.7	34.6	45.9	<u>201.8</u>	<u>201.8</u>	201.8
E	34.5	7.9	9.3	13.8	<u>59.4</u>	<u>59.4</u>	59.4

注記*：材料物性の不確かさを考慮した値であり，S_s-N2（ケース5）による。

注：下線部は各荷重による変位のうち最大値を示す。

筒身 (φ 3300mm)

S G T S 用排気筒 (φ 406.4mm)

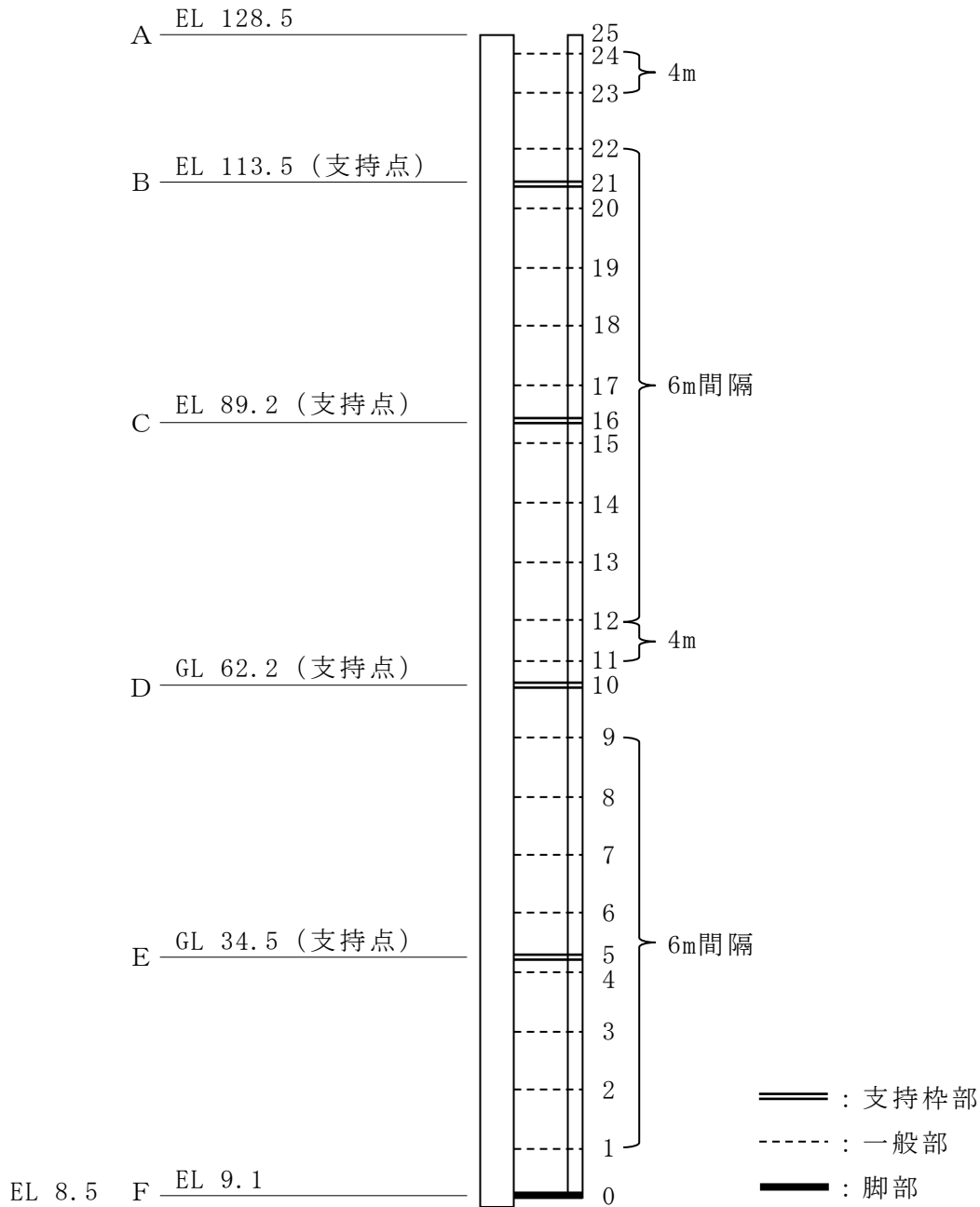


図 8-2 S G T S 用排気筒概要図 (単位 : m)

表 8-2 SGT S用排気筒の断面算定結果 (STK400)

部材間		評価用応力		使用部材*				ℓ_k (mm)	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 (mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
A-B	25 - 24	2.4	0	$\phi 406.4 \times 9.5$	9352	911	140.4	4200	30	222	235	0	0	0.00
	24 - 23	7.2	2.1					4000	28	224		1	2	0.02
	23 - 22	13.8	6.1					5594	40	213		1	7	0.04
	22 - 21	17.9	6.1					3406	24	227		2	7	0.04
B-C	21 - 20	21.0	10.1					2594	18	230		2	11	0.06
	20 - 19	28.0	16.2					6000	43	210		3	18	0.10
	19 - 18	35.1	24.3					6000	43	210		4	27	0.14
	18 - 17	42.1	30.7					6000	43	210		5	34	0.17
C-D	17 - 16	46.5	37.4					3721	27	225		5	41	0.20
	16 - 15	49.2	37.4					2279	16	231		5	41	0.20
	15 - 14	56.2	33.1					6000	43	210		6	36	0.19
	14 - 13	63.2	26.4					6000	43	210		7	29	0.16
	13 - 12	70.3	19.2					6000	43	210		8	21	0.13
D-E	12 - 11	75.0	12.6					4000	28	224		8	14	0.10
	11 - 10	78.2	7.4					2657	19	230		8	8	0.07
	10 - 9	84.5	5.1	5343	38	215	9	6	0.07					
	9 - 8	91.5	5.1	6000	43	210	10	6	0.08					
	8 - 7	98.6	4.6	6000	43	210	11	5	0.08					
E-F	7 - 6	105.6	4.4	6000	43	210	11	5	0.08					
	6 - 5	110.8	4.2	4406	31	222	12	5	0.08					
	5 - 4	112.8	4.2	1594	11	233	12	5	0.08					
	4 - 3	119.8	6.5	6000	43	210	13	7	0.10					
	3 - 2	126.8	7.6	6000	43	210	14	8	0.11					
	2 - 1	133.9	8.6	6000	43	210	14	9	0.11					
	1 - 0	139.5	11.5	4781	34	219	15	13	0.13					

注記* : 断面性能は 2mm (内側 1mm, 外側 1mm) の腐食代を考慮した。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする)	Z : 断面係数	λ : 細長比 (ℓ_k / i)	σ_c : 圧縮応力度 (N/A)
M : 曲げモーメント	i : 断面二次半径	f_c : 許容圧縮応力度	σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)
A : 断面積	ℓ_k : 座屈長さ	f_b : 許容曲げ応力度	

8.2 支持部の評価

SGTS用排気筒は、図8-2に示す位置において、支持枠部、一般部及び脚部のいずれかの方法により筒身に支持されている。支持部材の設計は、SGTS用排気筒の解析結果より、各部材の設計用応力を算定して検討を行う。

(1) 支持部材

a. 支持枠部の検討

支持枠部の部材（ $[-150 \times 75 \times 6.5 \times 10 : SS400]$ ）について検討を行う。

支持枠部の形状及び設計モデルを図8-3に、評価用荷重を表8-3に、評価用応力を表8-4に、断面算定結果を表8-5にそれぞれ示す。

評価用荷重は、各支持枠部における評価用荷重のうち最大値を用いる。

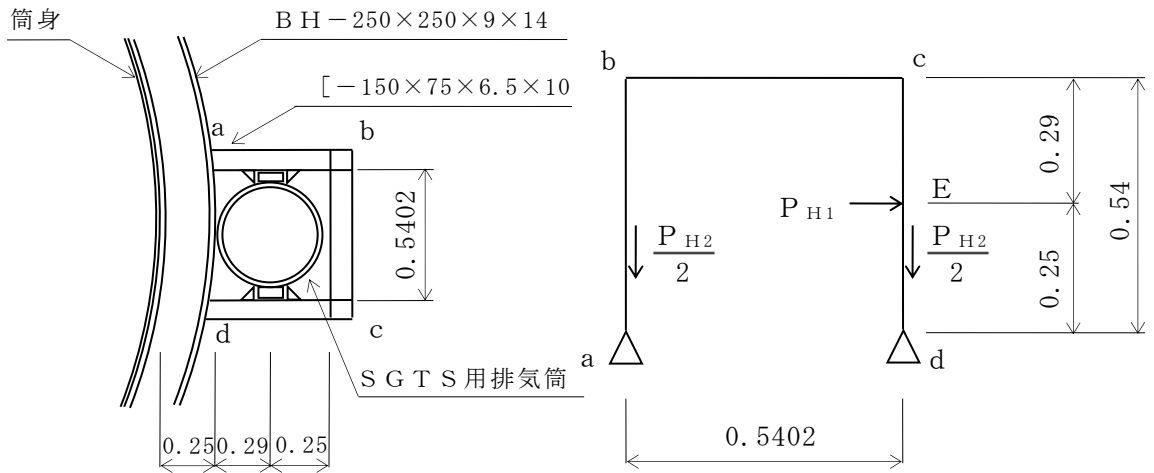


図8-3 支持枠部の形状及び設計モデル（単位：m）

表8-3 支持枠部の評価用荷重

（単位：kN）

支持点	EL (m)	各支持枠部における 評価用荷重		評価用荷重	
		P_{H1}	P_{H2}	P_{H1}	P_{H2}
B	113.5	<u>3.8</u>	<u>5.0</u>	3.8	5.0
C	89.2	2.4	3.9		
D	62.2	1.8	2.9		
E	34.5	0.4	0.5		

注：下線部は最大値を示す。

表 8-4 支持枠部の評価用応力

部位	軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)
部材 a b	1.8	0.5	1.0
部材 b c	1.0	0.5	1.8
部材 c d	<u>4.3</u>	<u>0.7</u>	<u>2.8</u>
評価用応力	4.3	0.7	2.8

注 1：軸力，曲げモーメント及びせん断力は絶対値とする。

注 2：下線部は断面算定に用いた値を示す。

表 8-5 支持枠部の断面算定結果 (SS400)

使用部材					ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	f_s (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$
寸法 (mm)	A (mm ²)	A _s (mm ²)	Z (×10 ³ mm ³)	i (mm)										
[-150×75×6.5×10	2371	1500	22.4	22.2	540	24	227	235	135	2	31	2	0.15	0.02

記号の説明

- | | | | |
|----------------|------------------------|------------|-----------------|
| A | : 支持部材の断面積 | σ_c | : 支持部材の圧縮応力度 |
| A _s | : 支持部材のせん断断面積 | σ_b | : 支持部材の曲げ応力度 |
| Z | : 支持部材の断面係数 | τ | : 支持部材のせん断応力度 |
| i | : 断面二次半径 | f_c | : 支持部材の許容圧縮応力度 |
| ℓ_k | : 座屈長さ | f_b | : 支持部材の許容曲げ応力度 |
| λ | : 細長比 (ℓ_k / i) | f_s | : 支持部材の許容せん断応力度 |

b. 一般部の検討

一般部の部材（H-200×200×8×12：SS400）について検討を行う。

一般部の形状及び設計モデルを図8-4に、評価用荷重を表8-6に、評価用応力を表8-7に、断面算定結果を表8-8にそれぞれ示す。

評価用荷重は、各一般部における評価用荷重のうち最大値を用いる。

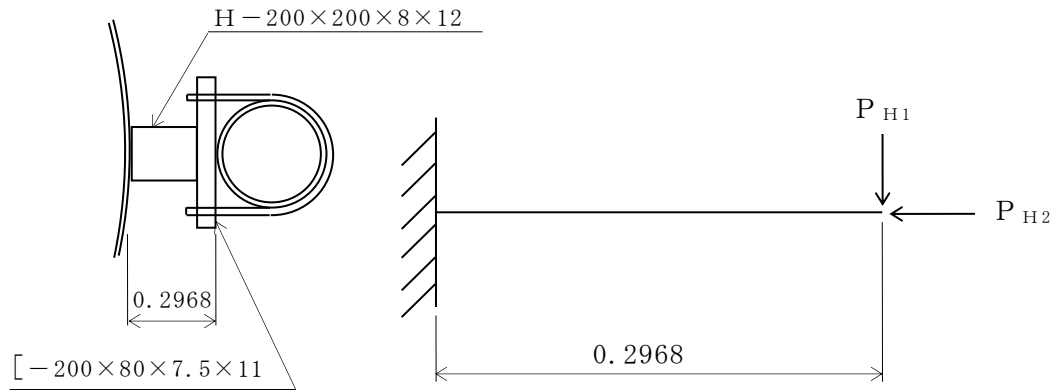


図8-4 一般部の形状及び設計モデル（単位：m）

表 8-6 一般部の評価用荷重

(単位：kN)

EL (m)	各一般部における 評価用荷重		評価用荷重	
	P _{H1}	P _{H2}	P _{H1}	P _{H2}
126.5	0.4	0.5	1.8	2.6
122.5	0.1	0.2		
116.9	1.7	2.2		
110.9	<u>1.8</u>	<u>2.6</u>		
104.9	0.2	0.5		
98.9	0.1	0.4		
92.9	0.4	0.8		
86.9	0.3	1.1		
80.9	0.0	0.2		
74.9	0.0	0.0		
68.9	0.2	0.2		
64.9	0.3	1.1		
56.9	0.4	0.9		
50.9	0.1	0.2		
44.9	0.1	0.1		
38.9	0.0	0.1		
32.9	0.8	0.9		
26.9	0.3	0.3		
20.9	0.1	0.1		
14.9	0.3	0.4		

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

表 8-7 一般部の評価用応力

軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断 Q (kN)
2.6	0.5	1.8

表 8-8 一般部の断面算定結果 (SS400)

使用部材				ℓ_k	λ	f_c	f_b	f_s	σ_c	σ_b	τ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$	
寸法 (mm)	A (mm ²)	A _s (mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)											i (mm)
H-200×200×8×12	6353	4800	160	50.2	623	12	233	235	135	0	3	0	0.02	0.00

記号の説明

A : 支持部材の断面積

A_s : 支持部材のせん断断面積

Z : 支持部材の断面係数

i : 断面二次半径

 ℓ_k : 座屈長さ λ : 細長比 (ℓ_k / i) σ_c : 支持部材の圧縮応力度 σ_b : 支持部材の曲げ応力度 τ : 支持部材のせん断応力度 f_c : 支持部材の許容圧縮応力度 f_b : 支持部材の許容曲げ応力度 f_s : 支持部材の許容せん断応力度

c. 脚部の検討

脚部の部材 (BC-180×90×9×16 : SM490A) について検討を行う。

脚部の形状及び検討モデルを図 8-5 に、部材寸法を図 8-6 に、評価用荷重を表 8-9 に、評価用応力を表 8-10 に、断面算定結果を表 8-11 にそれぞれ示す。

なお、断面算定の結果、部材 c k が最大応力度比となったことから、断面算定結果は部材 c k に対するものを示す。

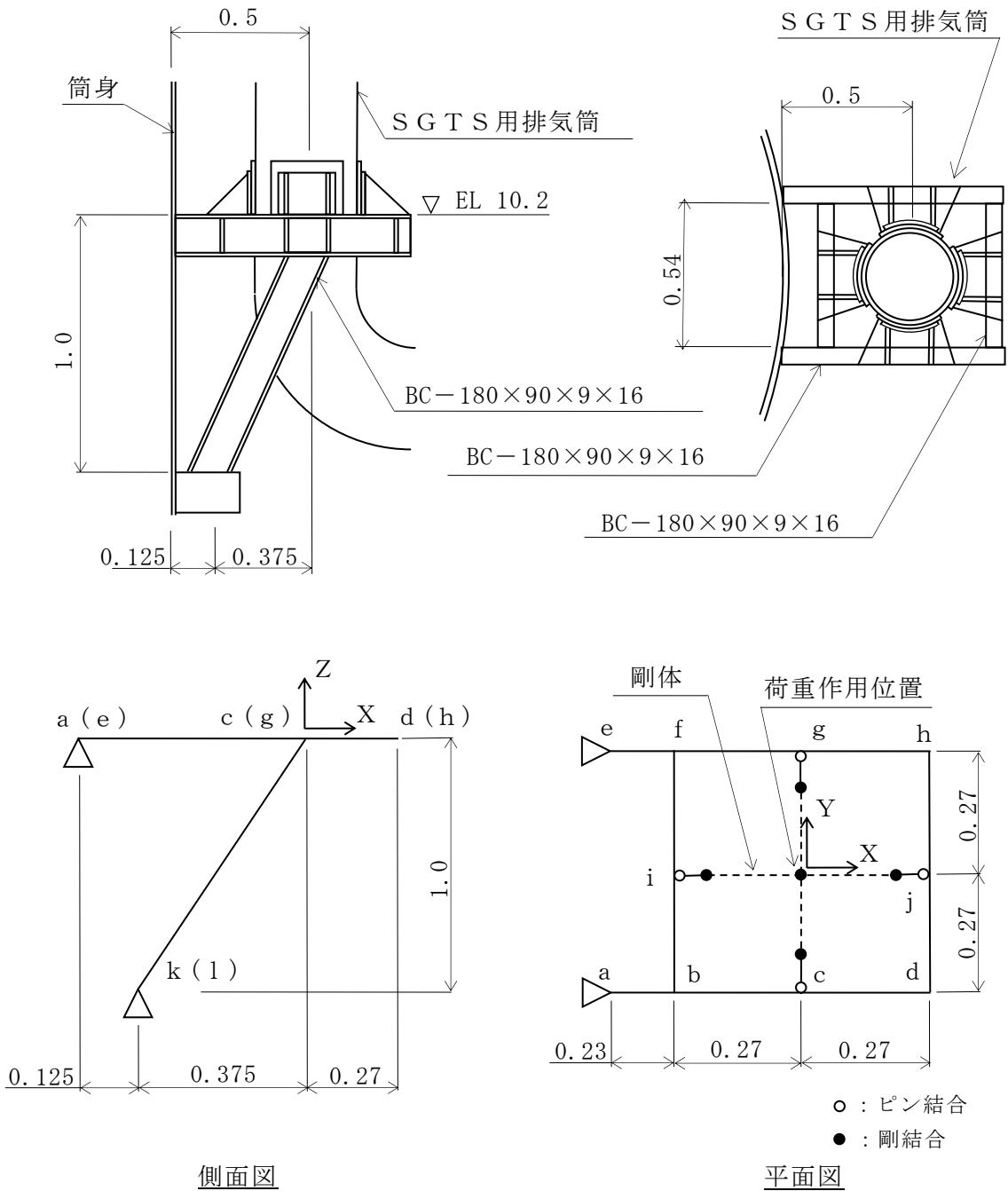


図 8-5 脚部の形状及び検討モデル (単位 : m)

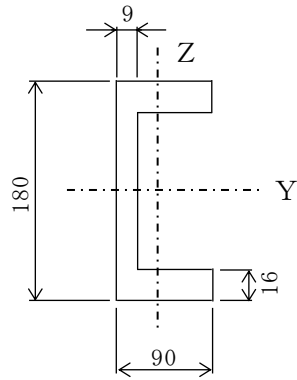


図 8-6 部材寸法 (BC-180×90×9×16)

表 8-9 脚部の評価用荷重

(単位 : kN, kN・m)

支持点	EL (m)	荷重	評価用荷重
F	9.1	P_x	0.5
		P_y	0.4
		P_z	139.5
		M_x	8.2
		M_y	11.1
		M_z	0.9

記号の説明

P_x : X 軸方向の荷重

P_y : Y 軸方向の荷重

P_z : Z 軸方向の荷重

M_x : X 軸回りのモーメント荷重

M_y : Y 軸回りのモーメント荷重

M_z : Z 軸回りのモーメント荷重

(X, Y, Z 軸は図 8-5 を参照)

表 8-10 脚部の評価用応力

部位	軸力 N (kN)	曲げモーメント		せん断力	
		M_y (kN・m)	M_z (kN・m)	Q_z (kN)	Q_y (kN)
部材 a b (部材 e f)	38.9	2.6	0.2	11.5	0.7
部材 c k (部材 g l)	97.9	2.6	0.0	2.4	0.0
部材 b c (部材 f g)	36.7	2.6	0.2	6.7	0.7
部材 c d (部材 g h)	0.0	2.2	0.0	8.0	0.1
部材 b i (部材 f i)	0.5	3.9	0.3	14.3	2.2
部材 d j (部材 h j)	0.1	2.1	0.0	8.0	0.0

記号の説明

N : 支持部材の軸力

M_y : Y 軸回りの曲げモーメント

M_z : Z 軸回りの曲げモーメント

Q_z : Z 軸方向のせん断力

Q_y : Y 軸方向のせん断力

表 8-5 支持枠部（部材 c k）の断面算定結果（SM490A）

使用部材							ℓ_k	λ	f_c	f_b	f_s	σ_c	σ_b	τ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$
寸法 (mm)	A (mm ²)	A _{s z} (mm ²)	A _{s y} (mm ²)	Z _y (×10 ³ mm ³)	Z _z (×10 ³ mm ³)	i (mm)										
BC - 180×90×9×16	4212	1332	2880	243	59.6	28.6	2136	75	205	325	187	23	11	2	0.15	0.02

記号の説明

A : 支持部材の断面積

A_{s z} : 支持部材のせん断断面積（Z 軸方向）A_{s y} : 支持部材のせん断断面積（Y 軸方向）Z_y : 支持部材の断面係数（Y 軸回り）Z_z : 支持部材の断面係数（Z 軸回り）

i : 断面二次半径

 ℓ_k : 座屈長さ λ : 細長比 (ℓ_k / i) σ_c : 支持部材の圧縮応力度 σ_b : 支持部材の曲げ応力度 τ : 支持部材のせん断応力度 f_c : 支持部材の許容圧縮応力度 f_b : 支持部材の許容曲げ応力度 f_s : 支持部材の許容せん断応力度