

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-06 改 02
提出年月日	2023年6月14日

排気筒の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2023年6月

中国電力株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 排気筒の耐震評価におけるモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 2 排気筒の共振風速及び渦励振について

別紙 3 排気筒評価モデルにおける減衰について

別紙 4 排気筒の接合部の耐震性について

別紙 5 排気筒の支持点部の耐震性について

別紙 1 排気筒の耐震評価におけるモデル化, 境界条件及び
拘束条件の考え方

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. モデル化, 境界条件及び拘束条件	別紙 1-2

1. 概要

本資料は、排気筒の耐震評価におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

2. モデル化，境界条件及び拘束条件

排気筒の耐震評価におけるモデル化，境界条件及び拘束条件を表 2-1 に示す。また，非常用ガス処理系用排気筒（以下「SGTS用排気筒」という。）の応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件を表 2-2 に示す。

表 2-1(1) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

モデル概要 (1/2)

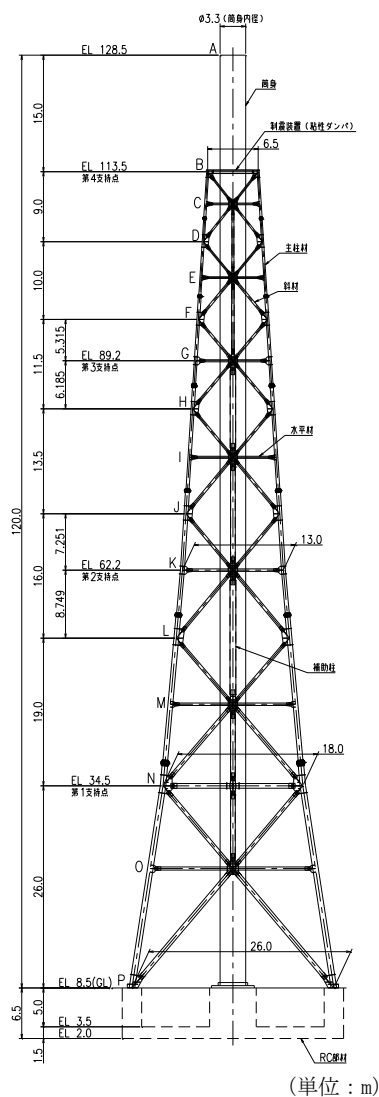
○モデル化範囲, 対象部材

- ・排気筒の基礎下端レベル (EL 2.0m) から上部の範囲
- ・筒身部, 鉄塔部 (主柱材, 水平材, 斜材, 補助柱材), 基礎部 (筒身基礎, 鉄塔基礎, 基礎版), 制震装置 (粘性ダンパ)

○使用要素

- ・はり要素: 筒身部, 鉄塔部 (主柱材, 水平材, 斜材, 補助柱材), 基礎部 (筒身基礎, 鉄塔基礎)
- ・ばね要素: 地盤ばね, 制震装置 (粘性ダンパ) *

注記*: 制震装置 (粘性ダンパ) は, ばね要素とダッシュポットを直列し, モデル化している。



(単位: m)

モデル化範囲

部材リスト (単位:mm)					
主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱材	
-	-	-	10	-	
#267.4*6.6	#216.3*5.8	#216.3*5.8	12	#267.4*6.0	
#355.6*6.4	#267.4*6.6	#267.4*6.6	10	#318.5*6.0	
#406.4*7.9	#267.4*6.6	#267.4*6.6	12	#711.2*7.9	
#508.0*9.5	#318.5*6.9	#318.5*6.9	10	#609.6*12.7	
#609.6*12.7	#355.6*7.9	#318.5*6.9	10	#762.0*12.7*3	
#711.2*12.7*1	#457.2*9.5	#609.6*9.5	12	#609.6*12.7*3	
#558.8*9.5	#406.4*9.5	#406.4*9.5	10	-	
-	-	-	10	-	
STK41 (SS400)	-	-	-	SMA4TA (SMA400)	
-	-	-	-	STK400	

注記*1: SS400Hを示す。
 *2: SS41H (SS400相当)を示す。
 *3: STK490Hを示す。

表 2-1(2) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

モデル概要 (2/2)

○要素分割

- ・鉄塔部はトラス構造であり, 部材交点ごとに要素を分割する。

○解析モデルの使い分け

- ・動的地震荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた地震応答解析により, 各部材の応力が出力される。この応力を用いて, 各部材について断面算定を実施する。
- ・風荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた静的応力解析により, 各部材の応力が出力される。この応力を用いて, 各部材について断面算定を実施する。このとき, 制震装置 (粘性ダンパ) は考慮しないものとして設定した。

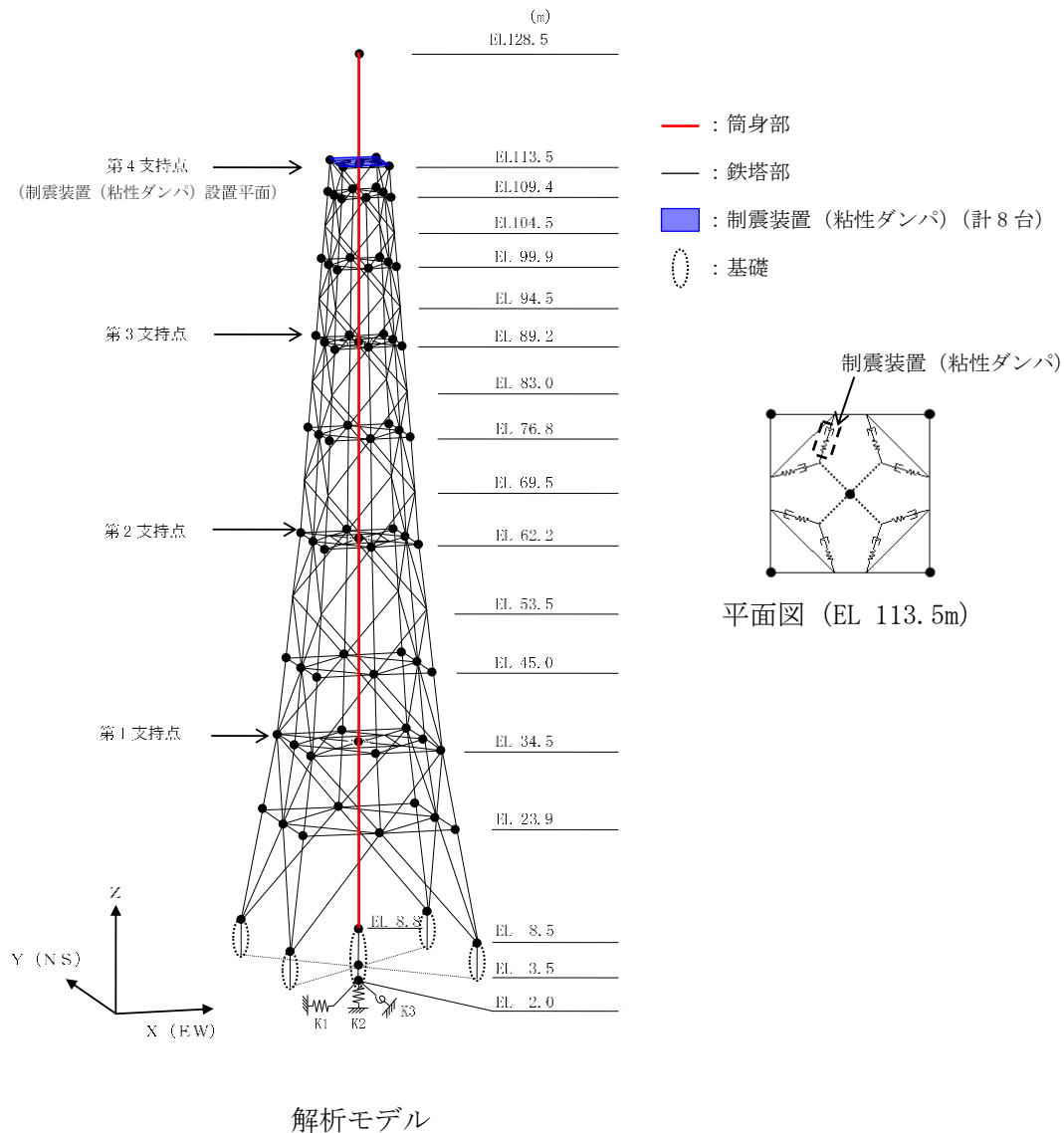


表 2-1(3) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

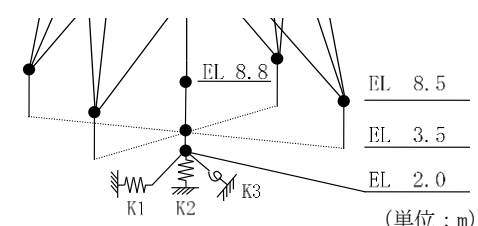
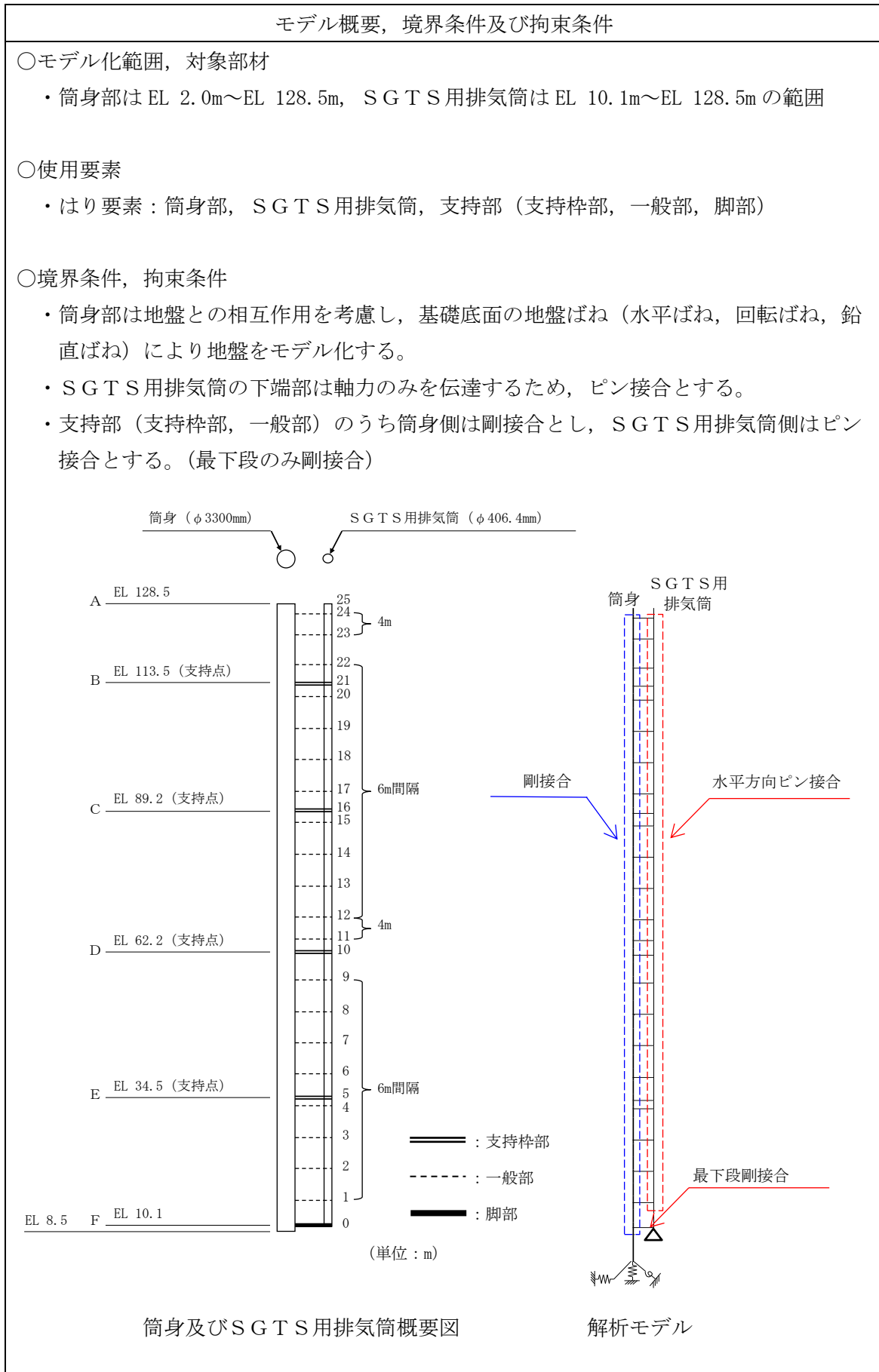
境界条件, 拘束条件	
<p>○排気筒の基礎下端と地盤の境界 (EL 2.0m)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基礎底面と底面地盤との間に底面地盤を表現する地盤ばね (水平ばね, 回転ばね, 鉛直ばね) を設け, 地盤をモデル化する。 	 <p style="text-align: center;">(注: K1: 水平ばね, K2: 鉛直ばね, K3: 回転ばね)</p> <p style="text-align: center;">モデル概要</p>
<p>○部材の接合条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・支柱材－支柱材: 剛接合 ・支柱材－斜材: ピン接合 ・支柱材－水平材: ピン接合 ・補助柱材－水平材: ピン接合 ・補助柱材－斜材: ピン接合 ・水平材－斜材: ピン接合 ・筒身－鉄塔の支持点: ピン接合 	
荷重の入力方法	
<ul style="list-style-type: none"> ・鉛直荷重: 鉛直荷重は排気筒の自重を入力する。 ・静的地震荷重: 静的地震力は, 地震層せん断力係数を用いて算出する。 ・動的地震荷重: 解放基盤面以深の地盤を 1 次元地盤としてモデル化し, 一次元波動論に基づく評価により, EL-215m の入射波を算定する。算定した EL-215m の入射波を排気筒位置での地盤をモデル化した 1 次元地盤に入力して一次元波動論に基づく評価を行い, 排気筒の基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。 ・風荷重: 解析モデルにおける鉄塔部及び筒身部の質点位置に対し, 風荷重を分配し載荷する。 	

表 2-2 SGT S用排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件



別紙2 排気筒の共振風速及び渦励振について

目 次

1. 概要	別紙 2-1
2. 検討方針	別紙 2-1
3. 渦励振による風直交方向荷重に対する検討	別紙 2-2
3.1 鉄塔部（個材振動）	別紙 2-2
3.1.1 判定方法（個材の渦励振の発生の有無）	別紙 2-2
3.1.2 個材の渦励振による風直交方向荷重	別紙 2-3
3.1.3 個材の曲げモーメント	別紙 2-4
3.1.4 渦励振共振風速の検討	別紙 2-5
3.1.5 検討結果	別紙 2-5
3.2 筒身部（排気筒の全体振動）	別紙 2-10
3.2.1 判定方法（渦励振の発生の有無）	別紙 2-10
3.2.2 渦励振による風直交方向荷重	別紙 2-11
3.2.3 検討結果	別紙 2-14

1. 概要

本資料は、排気筒の渦励振による風直交方向荷重に対する検討について示すものである。

2. 検討方針

排気筒のような固有振動数が低く、アスペクト比が大きい(幅や奥行に対して高さが高い)煙突構造物では渦励振(風直交方向の振動)が生じるおそれがある。渦励振に対する検討は「煙突構造設計指針(社)日本建築学会, 2007年」(以下「煙突構造設計指針」という。)に準拠して行う。

検討フローを図2-1に示す。鉄塔部の個材に渦励振が発生する場合には、個材の渦励振による風直交方向荷重に対して個材断面の応力度評価を行う。筒身部に渦励振が発生する場合には、渦励振による風直交方向荷重を算定し、VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」(以下「工認計算」という。)の風荷重との組合せを考慮して排気筒全体の影響評価を行う。

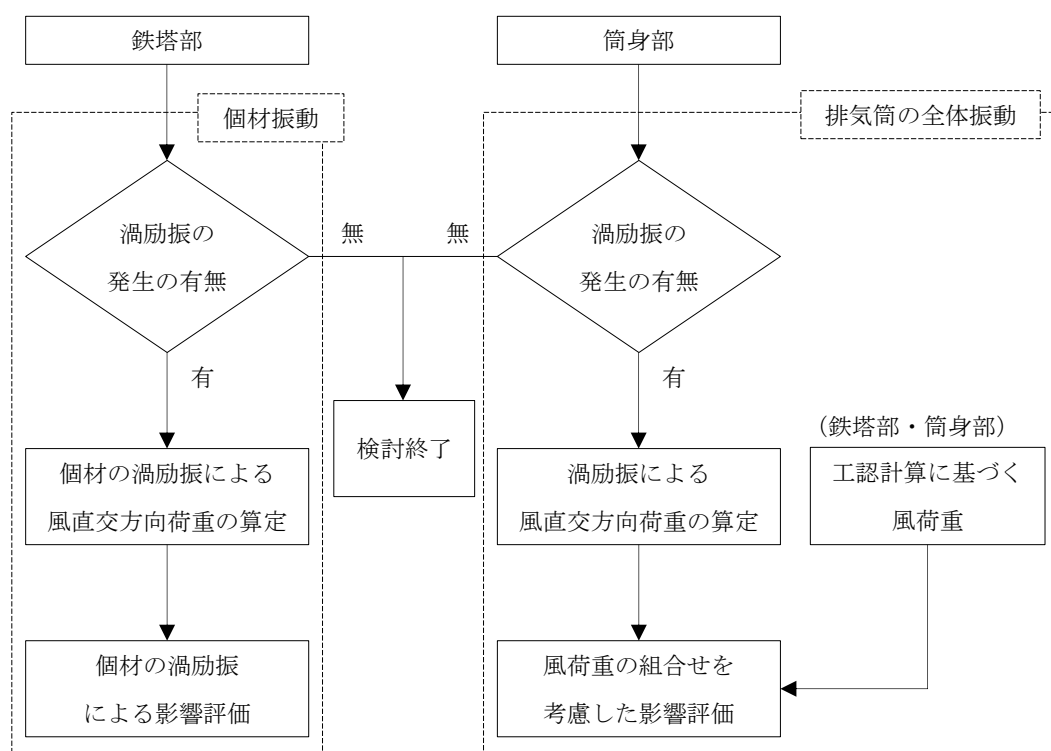


図 2-1 検討フロー

3. 渦励振による風直交方向荷重に対する検討

3.1 鉄塔部（個材振動）

3.1.1 判定方法（個材の渦励振の発生の有無）

個材の渦励振の発生の有無は以下の式にて判定する。以下の式にあてはまる場合については、「3.1.2 個材の渦励振による風直交方向荷重」で定められる渦励振による風直交方向荷重に対して個材の断面検定を行う。

・円形断面

$$U_z / (f_L \cdot D_1) \geq 0.83 / S_t \quad \text{かつ} \quad L / D_1 \geq 15$$

・その他断面

$$U_z / (f_L \cdot B) \geq 0.83 / S_t \quad \text{かつ} \quad L / B \geq 15$$

ここで、

U_z : 個材の平均高さ Z における設計風速 (m/s)

設計風速 U_z は「煙突構造設計指針」に基づき以下の式により算定する。

$$U_z = U_0 \cdot k_{rw} \cdot K_D \cdot E_z$$

ここで、

U_0 : 基本風速 ($U_0 = 34\text{m/s}$)

k_{rw} : 再現期間換算係数で 1.00 とする。(再現期間 100 年)

K_D : 風向係数で 1.00 とする。

E_z : 建設地の地表面の状況に応じて定める風速の鉛直分布係数 E の高さ Z における値

$$E_z = 1.7 \cdot (Z / Z_G)^\alpha \quad (Z > Z_b)$$

Z_b, Z_G, α : 風速の鉛直分布を定めるパラメータ
(当該地の地表面粗度区分 II : $Z_b = 5\text{m}$,
 $Z_G = 350\text{m}$, $\alpha = 0.15$)

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

S_t : ストローハル数

円形断面 : $S_t = 0.18$

H型断面 : $S_t = 0.137 (D_2 / B = 1)$

$= 0.144 (D_2 / B = 0.5)$

L : 個材の長さ (m)

D_1 : 円形断面個材の外径 (m)

D_2 : 個材の奥行き (m)

B : 個材の見付幅 (m)

3.1.2 個材の渦励振による風直交方向荷重

円形断面を持つ個材の渦励振による風直交方向荷重は以下の式により算定する。

$$\cdot W_r = (2 \cdot \pi \cdot f_L)^2 \cdot \sin(\pi \cdot x / L) \cdot (M / L) \cdot \alpha \cdot D_1$$

$$\cdot U_r^* = 5 + 3 / S_c$$

$$\cdot S_c = 4 \cdot \pi \cdot \zeta_L \cdot M / (\rho \cdot D_1^2 \cdot L)$$

その他の断面の個材の渦励振による風直交方向荷重は以下の式により算定する。

$$\cdot W_r = (2 \cdot \pi \cdot f_L)^2 \cdot \sin(\pi \cdot x / L) \cdot (M / L) \cdot \beta \cdot B$$

$$\cdot S_c = 4 \cdot \pi \cdot \zeta_L \cdot M / (\rho \cdot B^2 \cdot L)$$

ここで、

W_r : 個材端部から距離 x における単位長さ風直交方向荷重 (N/m)

U_r^* : 無次元風速

S_c : スクルートン数

α, β : 係数

円形断面 : $\alpha = 0.26 \cdot U_r^* / (0.75 \cdot S_c^{1.1} + 0.36 \cdot U_r^*)$

その他の断面 : $\beta = C_r / (9.7 \cdot S_c \cdot S_t^2)$

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

x : 個材端部からの距離 (m)

M : 個材の全質量 (kg)

L : 個材の長さ (m)

D_1 : 円形断面個材の外径 (m)

B : 個材の見付幅 (m)

D_2 : 個材の奥行き (m)

ζ_L : 個材の曲げ振動の一次減衰定数 ($\zeta_L = 0.005$ とする)

ρ : 空気密度で 1.22kg/m^3 とする。

S_t : ストローハル数

H型断面 : $S_t = 0.137 (D_2 / B = 1)$

$= 0.144 (D_2 / B = 0.5)$

C_r : 個材の共振時風力係数

H型断面 : $C_r = 0.94 (D_2 / B = 1)$

$= 1.18 (D_2 / B = 0.5)$

3.1.3 個材の曲げモーメント

風直交方向荷重による個材の曲げモーメントは、両端の支持条件に応じて以下の式で算定する。ただし、 $W_{r,max}$ は $x=L/2$ のときの W_r の値である。

(1) 両端固定の場合

$$\text{中央部} : M_{max} = W_{r,max} \cdot L^2 / \pi^2 \cdot (1 - 2/\pi)$$

$$\text{材 端} : M = -2 \cdot W_{r,max} \cdot L^2 / \pi^3$$

(2) 両端ピンの場合

$$\text{中央部} : M_{max} = W_{r,max} \cdot L^2 / \pi^2$$

$$\text{材 端} : M = 0$$

評価は、個材の曲げモーメントにより生じる応力度が、「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 を適用して算定した許容応力度に基づく許容値以下であることを確認する。

3.1.4 渦励振共振風速の検討

渦励振の共振風速 U_r は、「煙突構造設計施工指針（(財)日本建築センター，1982年版）」に準拠し、個材の地盤面からの高さに応じて、図3-1に示す共振風速の下限値を満たすことを確認する。

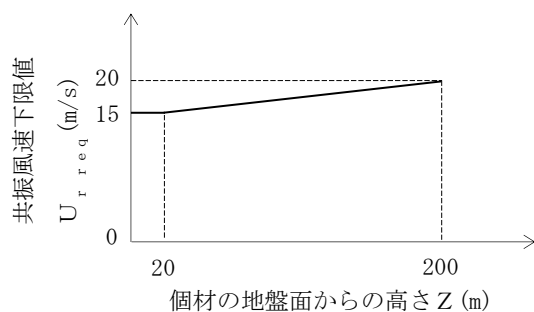


図3-1 個材の共振風速の下限値

3.1.5 検討結果

個材の渦励振の発生有無の判定結果並びに風直交方向荷重による曲げモーメント及び共振風速に対する検討結果を表3-1に示す。いずれの部材も、渦励振が発生しないか、もしくは渦励振による風直交方向荷重に対して評価基準値以下であることを確認した。また、共振風速の下限値も満足している。

表 3-1(1) 主柱材の個材渦励振に対する検討結果

	区間	高さ Z (m)	設計風速 U _z (m/s)	諸元						風直交方向荷重による曲げの検討						共振風速の検討		
				鋼管外径 D ₁ (mm)	個材 見付幅 B (mm)	部材長さ L (mm)	固有 振動数 f _L (Hz)	U _z /(f _L ・D ₁)	L/D ₁	曲げ モーメント M (kN・m)	断面係数 Z (10 ³ mm ³)	曲げ 応力度 σ _b (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f _b (N/mm ²)	応力度比 σ _b /f _b	判定 σ _b /f _b ≦1.00	共振風速 U _r (m/s)	U _r 下限値 U _{r req} (m/s)	判定 U _r ≧ U _{r req}
主柱	B-D	98.4	47.8	267.4	-	4883	70.38	2.54	18.3	-	-	-	-	-	検討不要	104.6	17.2	OK
	D-F	88.7	47.1	267.4	-	5405	57.45	3.07	20.3	-	-	-	-	-	検討不要	85.3	16.9	OK
	F-H	77.6	46.1	355.6	-	6210	58.25	2.23	17.5	-	-	-	-	-	検討不要	115.1	16.6	OK
	H-J	64.6	44.9	406.4	-	7294	48.15	2.30	18.0	-	-	-	-	-	検討不要	108.7	16.2	OK
	J-L	49.4	43.1	508.0	-	8820	41.22	2.06	17.4	-	-	-	-	-	検討不要	116.3	15.8	OK
	L-N	31.2	40.2	609.6	-	10583	34.27	1.93	17.4	-	-	-	-	-	検討不要	116.1	15.3	OK
	N-P	7.7	32.6	711.2	-	15723	18.88	2.43	22.2	-	-	-	-	-	検討不要	74.6	15.0	OK

注：U_z / (f_L・D₁) ≧ 0.83 / S_t かつ、L / D₁ ≧ 15 の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算定する。σ_b = M / Z

表 3-1(2) 斜材の個材渦励振に対する検討結果

	区間	高さ Z (m)	設計風速 U _z (m/s)	諸元						風直交方向荷重による曲げの検討						共振風速の検討		
				鋼管外径 D ₁ (mm)	個材 見付幅 B (mm)	部材長さ L (mm)	固有 振動数 f _L (Hz)	U _z /(f _L ・D ₁)	L/D ₁	曲げ モーメント M (kN・m)	断面係数 Z (10 ³ mm ³)	曲げ 応力度 σ _b (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f _b (N/mm ²)	応力度比 σ _b /f _b	判定 σ _b /f _b ≦1.00	共振風速 U _r (m/s)	U _r 下限値 U _{r req} (m/s)	判定 U _r ≧ U _{r req}
斜材	B-E	102.9	48.1	216.3	-	5267	33.74	6.60	24.4	29.3	197	149	258	0.58	OK	40.5	17.3	OK
	E-G	83.3	46.6	267.4	-	6943	24.03	7.26	26.0	49.1	344	143	258	0.56	OK	35.7	16.8	OK
	G-I	77.6	46.1	267.4	-	8080	17.75	9.72	30.3	36.3	344	106	258	0.42	OK	26.4	16.6	OK
	I-K	64.6	44.9	318.5	-	9459	15.47	9.12	29.7	64.3	515	125	258	0.49	OK	27.4	16.2	OK
	K-M	40.7	41.9	355.6	-	11224	12.24	9.63	31.6	78.8	734	107	258	0.42	OK	24.2	15.6	OK
	M-O	31.2	40.2	457.2	-	13860	10.35	8.50	30.4	183.1	1470	125	258	0.49	OK	26.3	15.3	OK
	O-P	7.7	32.6	558.8	-	20264	5.95	9.81	36.3	238.3	2210	108	258	0.42	OK	18.5	15.0	OK

注：U_z / (f_L・D₁) ≧ 0.83 / S_t かつ、L / D₁ ≧ 15 の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算定する。σ_b = M / Z

表 3-1(3) 水平材の個材渦励振に対する検討結果

	位置	高さ Z (m)	設計風速 U _z (m/s)	諸元						風直交方向荷重による曲げの検討						共振風速の検討		
				鋼管外径 D ₁ 個材奥行 D ₂ (mm)	個材 見付幅 B (mm)	部材長さ L (mm)	固有 振動数 f _L (Hz)	U _z /(f _L ・D ₁) U _z /(f _L ・B)	L/D ₁ L/B	曲げ モーメント M (kN・m)	断面係数 Z (10 ³ mm ³)	曲げ 応力度 σ _b (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f _b (N/mm ²)	応力度比 σ _b /f _b	判定 σ _b /f _b ≤1.00	共振風速 U _r (m/s)	U _r 下限値 U _{r req} (m/s)	判定 U _r ≥ U _{r req}
水平材	B	105.0	48.3	300.0	450	2600	357.18	0.46	8.7	-	-	-	-	-	検討不要	744.1	17.4	OK
	C	100.9	48.0	216.3	-	3512	75.89	2.93	16.3	-	-	-	-	-	検討不要	91.2	17.2	OK
	E	91.4	47.3	216.3	-	4114	55.31	3.96	19.1	-	-	-	-	-	検討不要	66.5	17.0	OK
	G	80.7	46.4	267.4	-	4792	50.45	3.44	18.0	-	-	-	-	-	検討不要	74.9	16.7	OK
	I	68.3	45.2	267.4	-	5580	37.21	4.55	20.9	-	-	-	-	-	検討不要	55.3	16.3	OK
	K	53.7	43.6	318.5	-	6500	32.76	4.18	20.5	-	-	-	-	-	検討不要	58.0	15.9	OK
	M	36.5	41.2	318.5	-	8054	21.34	6.07	25.3	88.7	515	172	258	0.67	OK	37.8	15.5	OK
	N	26.0	39.1	609.6	-	9000	32.90	1.95	14.8	-	-	-	-	-	検討不要	111.4	15.2	OK
O	15.4	36.2	406.4	-	10636	15.57	5.73	26.2	170.3	1150	148	258	0.58	OK	35.2	15.0	OK	

注：円形断面（位置C~O）の場合は $U_z / (f_L \cdot D_1) \geq 0.83 / S_t$ かつ、 $L / D_1 \geq 15$ 、その他の断面（位置B）の場合は $U_z / (f_L \cdot B) \geq 0.83 / S_t$

かつ、 $L / B \geq 15$ の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算定する。 $\sigma_b = M / Z$

表 3-1(4) 補助柱材の個材渦励振に対する検討結果

	区間	高さ Z (m)	設計風速 U _z (m/s)	諸元						風直交方向荷重による曲げの検討						共振風速の検討		
				鋼管外径 D ₁ (mm)	個材 見付幅 B (mm)	部材長さ L (mm)	固有 振動数 f _L (Hz)	U _z /(f _L ・D ₁)	L/D ₁	曲げ モーメント M (kN・m)	断面係数 Z (10 ³ mm ³)	曲げ 応力度 σ _b (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f _b (N/mm ²)	応力度比 σ _b /f _b	判定 σ _b /f _b ≤1.00	共振風速 U _r (m/s)	U _r 下限値 U _{r req} (m/s)	判定 U _r ≥ U _{r req}
補助柱	C-E	96.1	47.6	267.4	-	9499	12.87	13.84	35.6	26.5	315	84	258	0.33	OK	19.1	17.1	OK
	E-G	86.0	46.8	318.5	-	10720	12.08	12.17	33.7	50.7	452	112	258	0.44	OK	21.4	16.8	OK
	G-I	74.5	45.8	711.2	-	12445	20.18	3.20	17.5	-	-	-	-	-	検討不要	79.7	16.5	OK
	I-K	61.0	44.5	609.6	-	14545	12.53	5.83	23.9	700.5	3480	201	258	0.78	OK	42.4	16.1	OK
	K-M	45.1	42.5	762.0	-	17320	11.10	5.03	22.8	1537.4	5510	279	357	0.79	OK	47.0	15.7	OK
	M-N	31.2	40.2	609.6	-	10541	15.22	4.34	17.3	-	-	-	-	-	検討不要	51.5	15.3	OK
	N-O	20.7	37.8	609.6	-	10762	14.61	4.25	17.7	-	-	-	-	-	検討不要	49.5	15.0	OK

注：U_z / (f_L・D₁) ≥ 0.83 / S_t かつ、L / D₁ ≥ 15 の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算定する。σ_b = M / Z

3.2 筒身部（排気筒の全体振動）

3.2.1 判定方法（渦励振の発生の有無）

筒身部の渦励振の発生の有無は以下の式にて判定する。以下の式にあてはまる場合については、「3.2.2 渦励振による風直交方向荷重」で定められる渦励振による風直交方向荷重を考慮する。

$$U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2$$

ここで、

- U_H : 「3.1.1 判定方法（個材の渦励振の発生の有無）」の設計風速 U_z において、 Z を H に読み替えて得られる値（m/s）
- H : 筒身の基準高さ（m）（ $H=105$ m）（鋼製鉄塔支持型）
- f_L : 風直交方向振動の1次固有振動数（Hz）
- D_m : 円形断面を有する筒身の高さ $2 \cdot H/3$ における外径（m）

3.2.2 渦励振による風直交方向荷重

渦励振による風直交方向荷重は以下の式により算定する。

$$W_r = 0.8 \cdot \rho \cdot U_r^2 \cdot C_r \cdot (Z/H) \cdot A_F$$

ここで、

W_r : 地表面からの高さ Z における渦励振による風直交方向荷重 (N)

ρ : 空気密度で 1.22kg/m^3 とする。

U_r : 共振風速 (m/s)

$$\text{円形断面の場合: } U_r = 5 \cdot f_L \cdot D_m$$

ここで

f_L : 風直交方向振動の一次固有振動数 (Hz)

D_m : 円形断面を有する筒身の高さ $2 \cdot H/3$ における外径 (m)

C_r : 共振時風力係数

$$\text{円形断面: } U_r \cdot D_m \leq 3 \text{ の場合: } C_r = 1.7 / \zeta_L^{0.5}$$

$3 < U_r \cdot D_m < 6$ の場合: 直線補間

$$6 \leq U_r \cdot D_m \text{ の場合: } C_r = 0.57 / \zeta_L^{0.5}$$

ここで

ζ_L : 風直交方向振動の 1 次減衰定数 ($\zeta_L = 0.01$)

Z : 地表面からの高さ (m)

H : 筒身の基準高さ (m)

A_F : 地表面からの高さ Z における風向に直角な面に投影した筒身の投影面積 (m^2)

渦励振による風直交方向荷重は、「建築基準法施行令」の基準風速 ($V_0=30\text{m/s}$) に基づき算定した工認計算の風荷重と組み合わせる。排気筒の設計風速に比べ渦励振の共振風速が大幅に低い場合には組み合わせられる風荷重は過大な値となるが、風方向荷重は、渦励振の発生領域で基準風速に基づく風荷重が発生すると仮定し、保守的に渦励振による風直交方向荷重と工認計算の風荷重を組み合わせで評価する。

部材応力は工認計算の静的応力解析と同一のモデルに風直交方向荷重を入力し算定する。部材応力の組合せを表 3-2 に示す。荷重の入力方向の説明図を図 3-2 に示す。部材応力の組合せでは、工認計算で求めた風荷重による部材応力と風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力の絶対値和を行っている。

評価は、筒身及び鉄塔の部材に生じる応力が、筒身については「容器構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」によって求めた短期許容応力度式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定した許容応力度に基づく許容値以下であることを、鉄塔については「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定した許容応力度に基づく許容値以下であることを確認する。

表 3-2 部材応力の組合せ

外力の状態	検討ケース	部材応力の組合せ
風直交方向荷重検討時 (工認計算に基づく風荷重と渦励振による風直交方向荷重の組合せ)	1	$G + P_k (0^\circ) + P_{kr} (0^\circ)$
	2	$G + P_k (45^\circ) + P_{kr} (45^\circ)$

注：記号の説明

- G : 固定荷重による部材応力
- $P_k (0^\circ)$: 0° 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力
- $P_k (45^\circ)$: 45° 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力
- $P_{kr} (0^\circ)$: 0° 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力
- $P_{kr} (45^\circ)$: 45° 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力

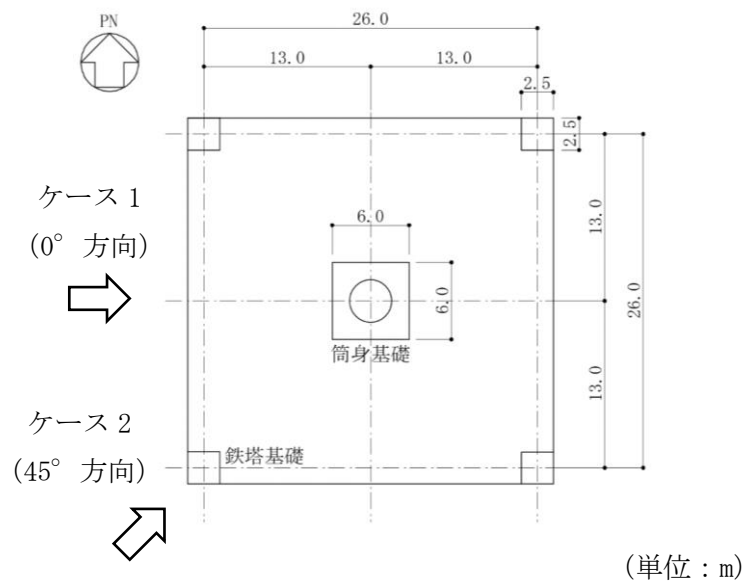


図 3-2 荷重の入力方向の説明図

3.2.3 検討結果

渦励振による風直交方向荷重の検討要否の検討結果を表 3-3 に示す。「3.2.1 判定方法（渦励振の発生の有無）」の条件式にあてはまることから、「3.2.2 渦励振による風直交方向荷重」に定める風直交方向荷重を算定し、荷重の組合せを考慮し筒身及び鉄塔部材の断面検定をする。

風直交方向荷重の算定結果を表 3-4 に、評価用部材応力を表 3-5 に、断面算定結果を表 3-6 に示す。なお、評価結果を記載する検討ケースは、軸力及び曲げモーメントによる断面検定において、応力度比が最大となるケースとした。

以上の検討結果より、いずれの部材も評価基準値以下であることを確認した。

表 3-3 渦励振による風直交方向荷重の検討要否

項目	記号	単位	数値
設計風速	U_H	m/s	48.3
1次固有振動数	f_L	Hz	0.90
煙突の高さ $2H/3$ における外径	D_m	m	3.320
条件式 ($U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2$: 検討要)	—	—	16.09
判定	—	—	検討必要

表 3-4 筒身部に作用する渦励振による風直交方向荷重

標高 EL (m)	位置	地上高さ Z (m)	風直交方向 荷重 W_r (kN)
128.5	A	120.0	36
113.5	B	105.0	40
109.4	C	100.9	28
99.9	E	91.4	36
89.2	G	80.7	37
76.8	I	68.3	36
62.2	K	53.7	34
45.0	M	36.5	20
34.5	N	26.0	11
23.9	O	15.4	8
8.8	P	0.3	0

表 3-5(1) 筒身の評価用部材応力

標高 EL(m)	区間	風直交方向荷重検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M(kN・m)
128.5 - 113.5	A - B	93.7	1197.8
113.5 - 89.2	B - G	321.4	7991.7
89.2 - 62.2	G - K	611.8	7996.4
62.2 - 34.5	K - N	935.3	1047.9
34.5 - 8.8	N - P	1240.9	1100.8

表 3-5(2) 主柱材の評価用部材応力

標高 EL(m)	区間	風直交方向荷重検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
113.5 - 104.5	B - D	33.0	1.4
104.5 - 94.5	D - F	99.4	1.7
94.5 - 83.0	F - H	143.7	5.7
83.0 - 69.5	H - J	502.7	13.0
69.5 - 53.5	J - L	992.8	26.1
53.5 - 34.5	L - N	1623.1	33.1
34.5 - 8.5	N - P	2801.0	36.5

表 3-5(3) 斜材の評価用部材応力

標高 EL (m)	区間	風直交方向荷重検討時
		軸力 N (kN)
113.5 - 99.9	B - E	30.3
99.9 - 89.2	E - G	85.2
89.2 - 76.8	G - I	351.0
76.8 - 62.2	I - K	359.5
62.2 - 45.0	K - M	281.7
45.0 - 23.9	M - O	519.1
23.9 - 8.5	O - P	735.2

表 3-5(4) 水平材の評価用部材応力

標高 EL (m)	位置	風直交方向荷重検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
113.5	B	-5.5	22.1* ¹
			0.0* ²
109.4	C	12.6	0.1
99.9	E	17.9	0.1
89.2	G	139.6	0.5
76.8	I	35.6	1.0
62.2	K	61.7	1.0
45.0	M	49.2	0.1
34.5	N	93.0	5.7
23.9	O	57.5	1.7

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。

表 3-5(5) 補助柱材の評価用部材応力

標高 EL (m)	区間	風直交方向荷重検討時
		軸力 N (kN)
109.4 - 99.9	C - E	47.4
99.9 - 89.2	E - G	155.5
89.2 - 76.8	G - I	453.3
76.8 - 62.2	I - K	852.8
62.2 - 45.0	K - M	1094.3
45.0 - 34.5	M - N	689.3
34.5 - 23.9	N - O	721.7

表 3-6(1) 風直交方向荷重検討時における筒身の断面算定表 (SMA400A)

高さ EL (m)	区間	評価用部材応力			使用部材			許容圧縮 応力度 $c f_{cr}$ (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 $b f_{cr}$ (N/mm ²)	圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	曲げ 応力度 σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討ケース	寸法 (mm)	断面積A* (mm ²)	断面係数Z* (×10 ³ mm ³)					
128.5 - 113.5	A- B	93.7	1197.8	2	φ 3320×10	83189	68700	165	185	1	17	0.10
113.5 - 89.2	B- G	321.4	7991.7	2	φ 3320×10	83189	68700	165	185	4	116	0.66
89.2 - 62.2	G- K	611.8	7996.4	2	φ 3320×10	83189	68700	165	185	7	116	0.67
62.2 - 34.5	K- N	935.3	1047.9	2	φ 3320×10	83189	68700	165	185	11	15	0.15
34.5 - 8.8	N- P	1240.9	1100.8	2	φ 3320×10	83189	68700	165	185	15	16	0.18

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

表 3-6(2) 風直交方向荷重検討時における支柱材の断面算定表 (STK400, SS400)

高さ EL (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮 応力度 f_c (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f_b (N/mm ²)	圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	曲げ 応力度 σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A (mm ²)	断面係数Z (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
113.5 - 104.5	B-D	33.0	1.4	2	φ 267.4 ×6.6	5408	344	92.2	4883	53	235	258	6	4	0.05
104.5 - 94.5	D-F	99.4	1.7	2	φ 267.4 ×6.6	5408	344	92.2	5405	59	230	258	18	5	0.10
94.5 - 83.0	F-H	143.7	5.7	2	φ 355.6 ×6.4	7021	602	123.5	6210	50	238	258	20	9	0.12
83.0 - 69.5	H-J	502.7	13.0	2	φ 406.4 ×7.9	9890	967	140.9	7294	52	236	258	51	13	0.27
69.5 - 53.5	J-L	992.8	26.1	2	φ 508.0 ×9.5	14880	1820	176.3	8820	50	238	258	67	14	0.34
53.5 - 34.5	L-N	1623.1	33.1	2	φ 609.6 ×12.7	23820	3480	211.1	10583	50	238	258	68	10	0.33
34.5 - 8.5	N-P	2801.0	36.5	2	φ 711.2 ×12.7*	45470	6570	256.5	15723	61	228	258	62	6	0.30

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

記号の説明

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-6(3) 風直交方向荷重検討時における斜材の断面算定表 (STK400)

高さ EL (m)	区間	評価用部材応力		使用部材			ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮応力度 f_c (N/mm ²)	圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A (mm ²)	i (mm)					
113.5 - 99.9	B-E	30.3	2	φ216.3×5.8	3836	74.5	6000	81	206	8	0.04
99.9 - 89.2	E-G	85.2	2	φ267.4×6.6	5408	92.2	6943	75	213	16	0.08
89.2 - 76.8	G-I	351.0	2	φ267.4×6.6	5408	92.2	8080	88	196	65	0.34
76.8 - 62.2	I-K	359.5	2	φ318.5×6.9	6755	110.2	9459	86	199	53	0.27
62.2 - 45.0	K-M	281.7	2	φ355.6×7.9	8629	123.0	11414	93	189	33	0.18
45.0 - 23.9	M-O	519.1	2	φ457.2×9.5	13360	158.3	13860	88	196	39	0.20
23.9 - 8.5	O-P	735.2	2	φ558.8×9.5	16390	194.2	20264	104	172	45	0.27

記号の説明

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-6(4) 風直交方向荷重検討時における水平材の断面算定表 (STK400, SS400)

高さ EL (m)	位置	評価用部材応力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮 応力度 f_c (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f_b (N/mm ²)	圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	曲げ 応力度 σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A (mm ²)	断面係数Z (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
113.5	B	-5.5	22.1*1	1	H-450× 300×10 ×15*3	13200	2170*4	71.5*6	6500	91	192	258	0	10*7	0.04
			0.0*2	1			450*5								
109.4	C	12.6	0.1	1	φ216.3 ×5.8	3836	197	74.5	3512	47	240	258	3	1	0.02
99.9	E	17.9	0.1	2	φ216.3 ×5.8	3836	197	74.5	4114	55	234	258	5	1	0.03
89.2	G	139.6	0.5	1	φ267.4 ×6.6	5408	344	92.2	4792	52	236	258	26	1	0.12
76.8	I	35.6	1.0	2	φ267.4 ×6.6	5408	344	92.2	5580	61	228	258	7	3	0.05
62.2	K	61.7	1.0	2	φ318.5 ×6.9	6755	515	110.2	6500	59	230	258	9	2	0.05
45.0	M	49.2	0.1	1	φ318.5 ×6.9	6755	515	110.2	8054	73	215	258	7	0	0.04
34.5	N	93.0	5.7	2	φ609.6 ×9.5	17910	2650	212.2	9000	42	244	258	5	2	0.03
23.9	O	57.5	1.7	2	φ406.4 ×9.5	11850	1150	140.4	10636	76	212	258	5	1	0.03

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。

記号の説明

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-6(5) 風直交方向荷重検討時における補助柱材の断面算定表 (STK400, STK490)

高さ EL (m)	区間	評価用部材応力		使用部材			ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮応力度 f_c (N/mm ²)	圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A (mm ²)	i (mm)					
109.4 - 99.9	C-E	47.4	1	$\phi 267.4 \times 6.0$	4927	92.4	9499	103	174	10	0.06
99.9 - 89.2	E-G	155.5	1	$\phi 318.5 \times 6.0$	5891	110.5	10720	97	183	26	0.15
89.2 - 76.8	G-I	453.3	2	$\phi 711.2 \times 7.9$	17450	248.7	12445	50	238	26	0.11
76.8 - 62.2	I-K	852.8	2	$\phi 609.6 \times 12.7$	23820	211.1	14545	69	220	36	0.17
62.2 - 45.0	K-M	1094.3	2	$\phi 762.0 \times 12.7^*$	29900	265.0	17321	65	293	37	0.13
45.0 - 34.5	M-N	689.3	2	$\phi 609.6 \times 12.7^*$	23820	211.1	10541	50	319	29	0.10
34.5 - 23.9	N-O	721.7	2	$\phi 609.6 \times 12.7^*$	23820	211.1	10762	51	317	30	0.10

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

記号の説明

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

別紙 3 排気筒評価モデルにおける減衰について

目 次

1. 概要	別紙 3-1
2. 地震応答解析結果	別紙 3-2

1. 概要

VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」及びVI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」では、減衰を剛性比例型減衰（排気筒の水平方向1次固有振動数に対し、筒身は1%、鉄塔は2%、基礎は5%と設定）とした地震応答解析について示している。

本資料では、減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析を行い、剛性比例型減衰としたVI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」及びVI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」における減衰設定の妥当性を確認する。

検討においては、VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」における断面算定結果（検定値）が最も厳しくなる検討ケース（基準地震動 $S_s - N2$ を用いたケース5（制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数下限）を対象に、減衰をレーリー減衰にした場合においても断面算定結果が許容値を超過しないことを確認する。

なお、入力地震動は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」に基づき、3方向（水平2方向及び鉛直方向）同時入力とする。

また、固有値解析結果は、「NS2-補-024-06 排気筒の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙2「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」に示すケース1（基本ケース）と同一となる。

2. 地震応答解析結果

固有値解析結果を表 2-1 に、減衰の設定方法を図 2-1 に、検討ケースを表 2-2 に示す。

レーリー減衰は、排気筒の応答に影響の大きい水平 1 次の固有振動数 (0.904Hz) と主要モード (水平 3 次) が存在する固有振動数 3.58Hz を基に高振動数側の 4Hz に対し、保守的に減衰定数を 1% に設定した。

減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析結果に基づく断面算定結果を表 2-3 に、制震装置 (粘性ダンパ) の最大応答値及び許容値を表 2-4 に示す。

各部材の断面算定結果について、基準地震動 $S_s - N2$ を用いたケース 5 (制震装置 (粘性ダンパ) の減衰係数下限) に対する検討において、全部材中で最も検定値が大きくなる部材は筒身部のうち G-K 間で検定値は 0.73 であり、いずれの部材も裕度は確保されている。また、制震装置 (粘性ダンパ) の最大応答値についても許容値以下となっている。

以上より、減衰をレーリー減衰にした場合についても耐震性に影響がないことを確認するとともに、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」及び VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」における減衰設定が妥当であることを確認した。

表2-1 固有値解析結果（水平方向）

固有モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X (NS方向)	Y (EW方向)	Z (鉛直方向)
水平1次	0.904	1.106	2.225	0.001	0.000
水平2次	1.785	0.560	1.485	0.013	0.000
水平3次	3.584	0.279	1.576	0.001	0.000

注：排気筒は対称構造物のため、NS方向の振動とEW方向の振動に差は生じない。

注記*：モードごとに固有ベクトルの最大値を1に規準化して得られる刺激係数を示す。

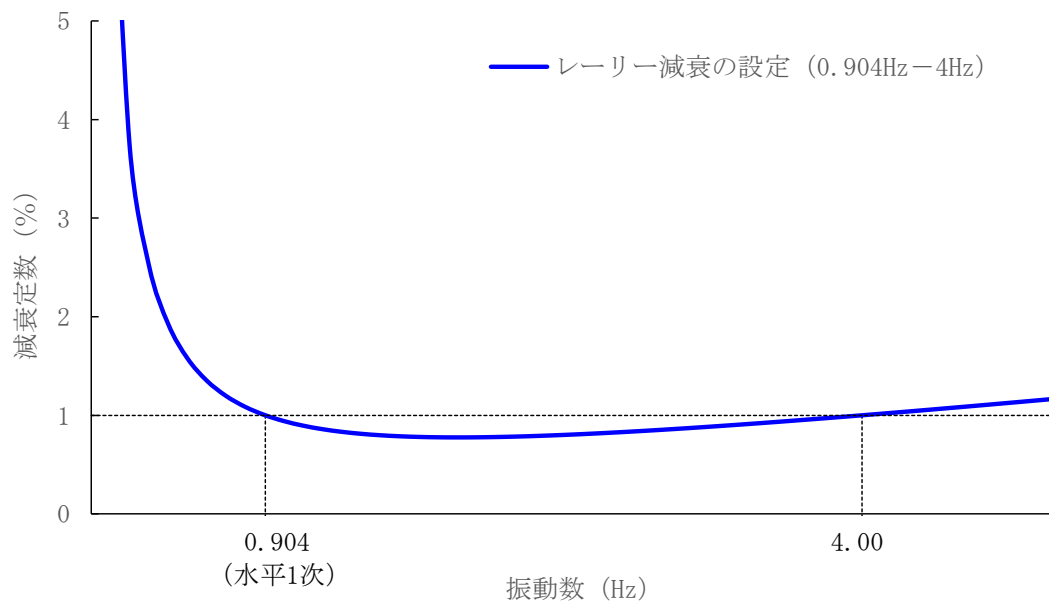


図2-1 減衰の設定方法

表2-2 検討ケース

検討ケース	地震動	地盤物性	制震装置		減衰
			減衰係数	台数	
ケース5 (減衰係数下限)	S s - N 2	標準地盤	標準値× 0.7	7	<u>レーリー</u>

注：下線部は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」及びVI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」の記載ケースとの差異を示す。

表2-3(1) 断面算定結果 (S s - N 2, ケース5)

(a) 主柱材 (STK400, SS400)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	
113.5- 104.5	B-D	199.7	4.0	0.21
104.5- 94.5	D-F	390.9	9.5	0.43
94.5- 83.0	F-H	578.0	17.7	0.46
83.0- 69.5	H-J	805.1	21.9	0.44
69.5- 53.5	J-L	1264.4	45.0	0.46
53.5- 34.5	L-N	1903.9	49.7	0.40
34.5- 8.5	N-P	3187.4	53.1	0.34

表2-3(2) 断面算定結果 (S s - N 2, ケース5)

(b) 斜材 (STK400)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	
113.5- 99.9	B-E	161.7	0.21
99.9- 89.2	E-G	175.5	0.16
89.2- 76.8	G-I	366.5	0.35
76.8- 62.2	I-K	352.0	0.27
62.2- 45.0	K-M	485.6	0.30
45.0- 23.9	M-O	761.6	0.30
23.9- 8.5	O-P	967.6	0.35

表 2-3(3) 断面算定結果 (S s - N 2, ケース 5)

(c) 水平材 (STK400, SS400*¹)

高さ EL (m)	部材 位置	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	
113.5	B	46.4	93.6* ²	0.56
			42.6* ³	
109.4	C	39.2	0.4	0.05
99.9	E	25.2	0.4	0.04
89.2	G	139.1	1.9	0.14
76.8	I	55.4	1.1	0.06
62.2	K	144.3	1.1	0.10
45.0	M	145.2	0.4	0.11
34.5	N	117.3	9.2	0.05
23.9	O	254.5	2.1	0.11

注記*1: EL 113.5m の水平材 (H形鋼) に SS400 材を使用

*2: 強軸まわりの曲げモーメントを示す。

*3: 弱軸まわりの曲げモーメントを示す。

表 2-3(4) 断面算定結果 (S s - N 2, ケース 5)

(d) 補助柱材 (STK400, STK490)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	
109.4- 99.9	C-E	211.8	0.25
99.9- 89.2	E-G	457.4	0.43
89.2- 76.8	G-I	857.2	0.21
76.8- 62.2	I-K	1219.5	0.24
62.2- 45.0	K-M	1281.3	0.15
45.0- 34.5	M-N	775.8	0.11
34.5- 23.9	N-O	825.8	0.12

表 2-3(5) 断面算定結果 (S s - N 2, ケース 5)

(e) 筒身 (SMA400A)

高さ EL (m)	部材間	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}}$
		N (kN)	M (kN・m)	
128.5- 113.5	A-B	277.7	3761.7	0.28
113.5- 89.2	B-G	935.0	9033.2	0.69
89.2- 62.2	G-K	1658.6	8923.0	0.73
62.2- 34.5	K-N	2268.0	2317.7	0.31
34.5- 8.8	N-P	2739.5	1928.0	0.31

表 2-4 制震装置 (粘性ダンパ) の最大応答値及び許容値

(S s - N 2, ケース 5)

	制震装置 (粘性ダンパ) の最大応答値	許容値
速度 (m/s)	1.11	2.00
変位 (mm)	123	300

別紙 4 排気筒の接合部の耐震性について

目 次

1. 概要	別紙 4-1
2. 検討方針	別紙 4-1
2.1 主柱材	別紙 4-8
2.2 斜材, 水平材及び補助柱材	別紙 4-9
3. 検討条件	別紙 4-12
4. 検討結果	別紙 4-17
4.1 検討用応力	別紙 4-17
4.2 検討結果	別紙 4-21

1. 概要

VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」においては、排気筒を構成する筒身及び鉄塔の断面算定結果を示している。

本資料では、排気筒を構成する部材のうち、鉄塔接合部の耐震性について確認した結果を示す。

2. 検討方針

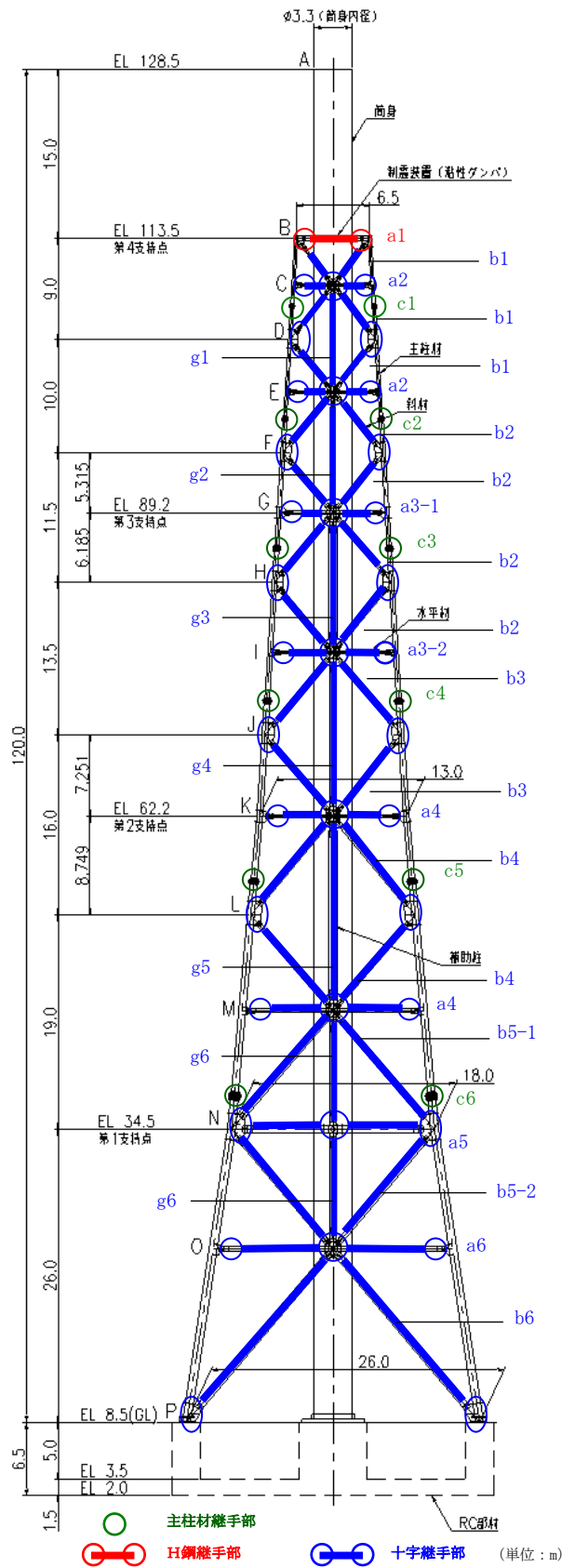
鉄塔の支柱材、斜材、水平材及び補助柱材について、地震時において接合部が破断しないことを確認する。

検討は、各部材の端部及び接合部の破断耐力が、VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」で算定した基準地震動 S_s (材料物性の不確かさを考慮したケースを含む) による応力を上回っていることを確認する。

鉄塔の接合形式は以下のとおりとなっている。

- ・ 支柱材 : フランジ継手
- ・ 斜材 : 十字継手
- ・ 水平材 : 十字継手及びH鋼継手
- ・ 補助柱材 : 十字継手

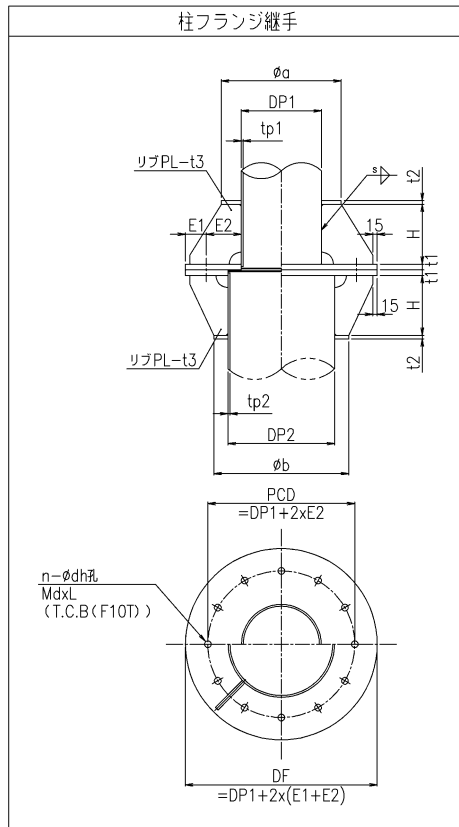
各部材の接合部の位置及び詳細図を図 2-1～図 2-5 に示す。



部材リスト (単位:mm)				
主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
-	-	-	10	-
-	-	450x300 x10x15*2	12	-
φ267.4x6.6	φ216.3x5.8	φ216.3x5.8	10	φ267.4x6.0
φ355.6x6.4	φ267.4x6.6	φ267.4x6.6	12	φ318.5x6.0
φ406.4x7.9	φ267.4x6.6	φ267.4x6.6	10	φ711.2x7.9
φ508.0x9.5	φ318.5x6.9	φ318.5x6.9	12	φ609.6x12.7
φ609.6x12.7	φ355.6x7.9	φ318.5x6.9	10	φ762.0x12.7*3
φ711.2x12.7 8PLs-22x100*1	φ457.2x9.5	φ609.6x9.5	12	φ609.6x12.7*3
φ558.8x9.5	φ406.4x9.5	1=10	-	-
STK41 (STK400相当)		SMA41A (SMA400相当)		STK400

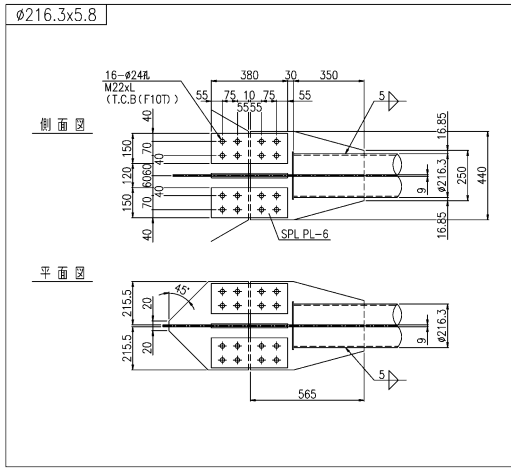
注記*1: SS400材を示す。
 *2: SS41材 (SS400相当) を示す。
 *3: STK490材を示す。

図 2-1 接合部の位置

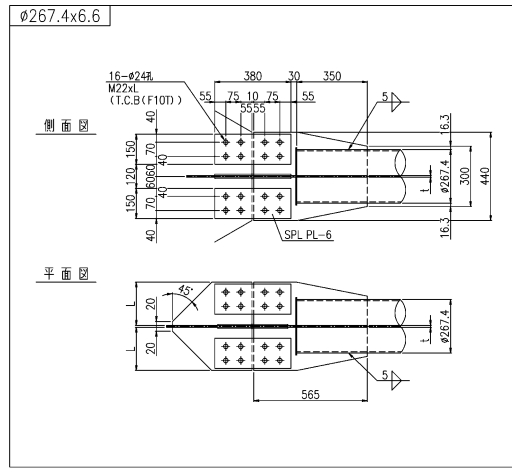


継手位置	主柱材	高力ボルト			フランジプレート			リブプレート			溶接
	DP1 × tp1 DP2 × tp2 (mm)	n (本)	d (mm)	dh (mm)	t1 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	H (mm)	s (mm)
c1	$\phi 267.4 \times 6.6$ $\phi 267.4 \times 6.6$	12	22	24	19	70	66.3	12	12	200	8
c2	$\phi 267.4 \times 6.6$ $\phi 355.6 \times 6.4$	12	22	24	19	70	116.3	12	12	200	8
c3	$\phi 355.6 \times 6.4$ $\phi 406.4 \times 7.9$	16	22	24	19	75	122.2	12	12	250	8
c4	$\phi 406.4 \times 7.9$ $\phi 508.0 \times 9.5$	16	22	24	22	75	146.8	12	12	250	8
c5	$\phi 508.0 \times 9.5$ $\phi 609.6 \times 12.7$	20	24	26	22	75	146	16	16	250	11
c6	$\phi 609.6 \times 12.7$ $\phi 711.2 \times 12.7$	28	24	26	22	75	170.2	22	16	300	11

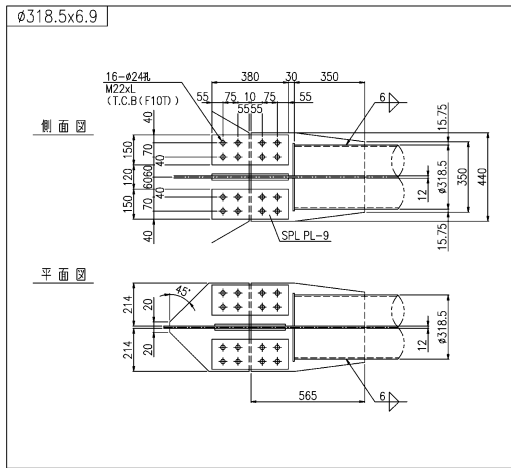
図 2-2 主柱材の接合部詳細 (フランジ継手)



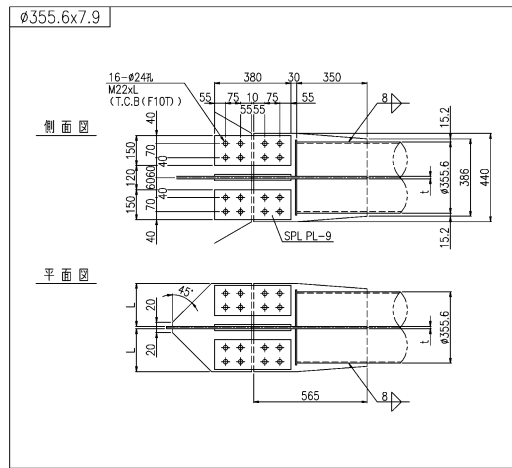
継手位置 : b1



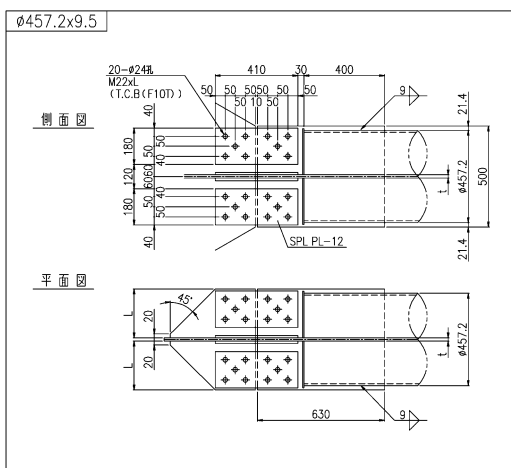
継手位置 : b2



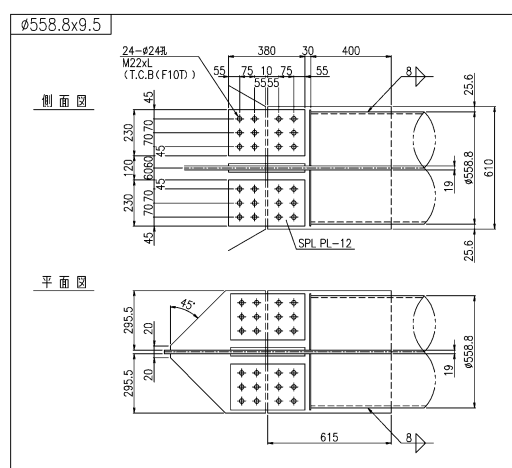
継手位置 : b3



継手位置 : b4

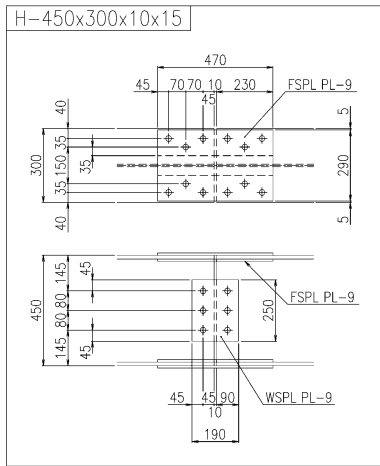


継手位置 : b5

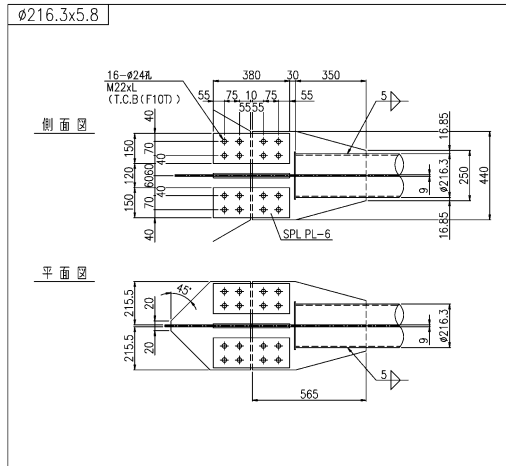


継手位置 : b6

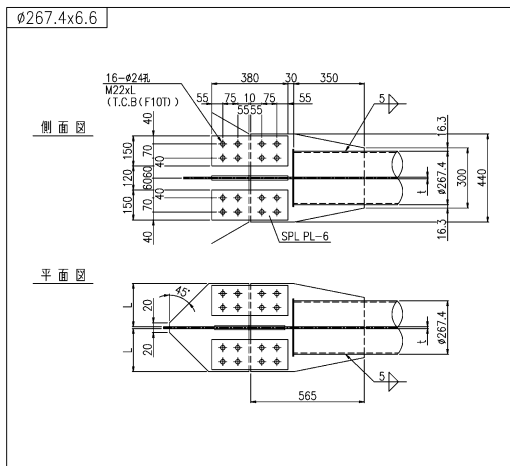
図 2-3 斜材の接合部詳細 (十字継手) (単位 : mm)



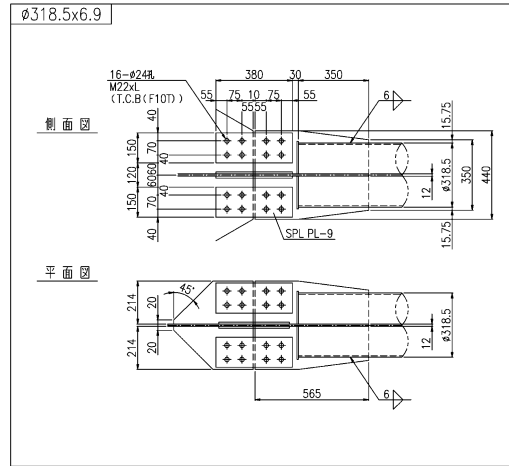
継手位置 : a1



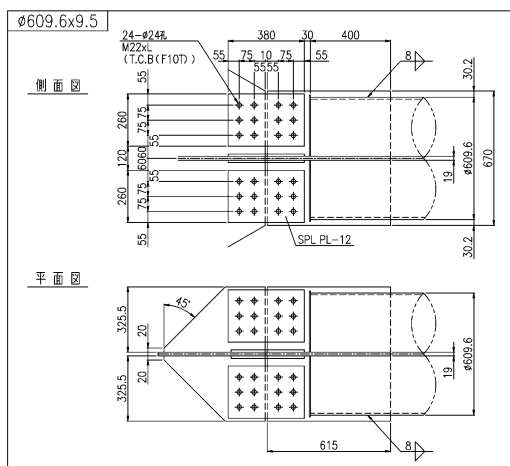
継手位置 : a2



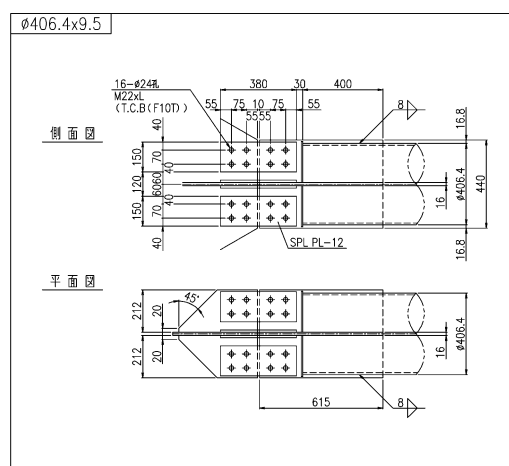
継手位置 : a3



継手位置 : a4

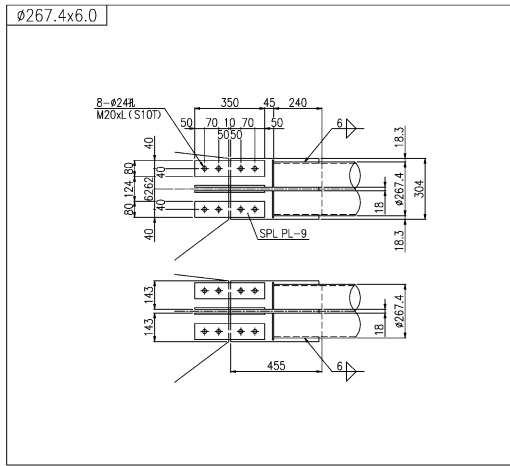


継手位置 : a5

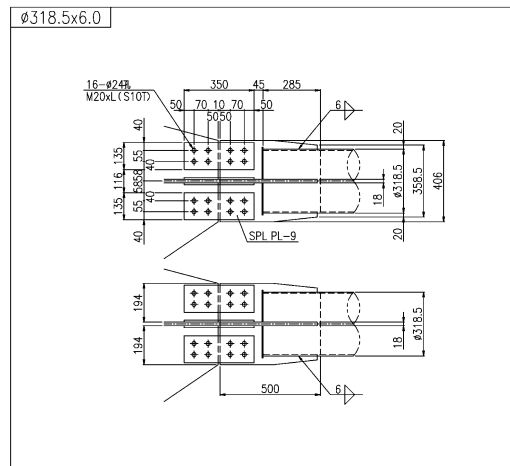


継手位置 : a6

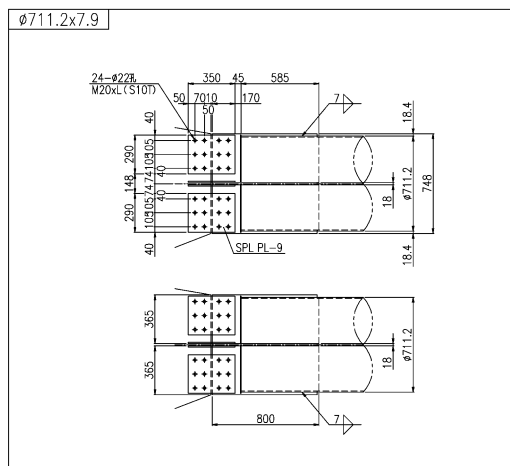
図 2-4 水平材の接合部詳細 (H鋼継手, 十字継手) (単位 : mm)



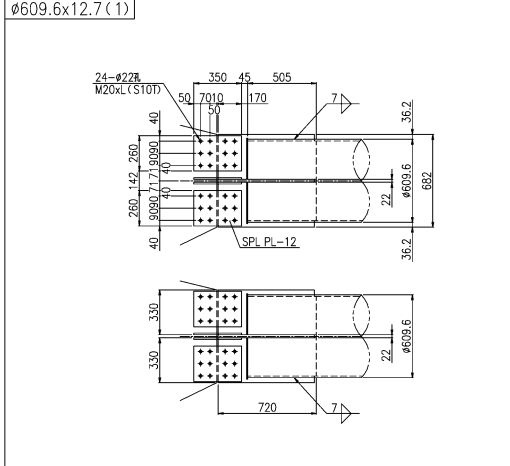
継手位置 : g1



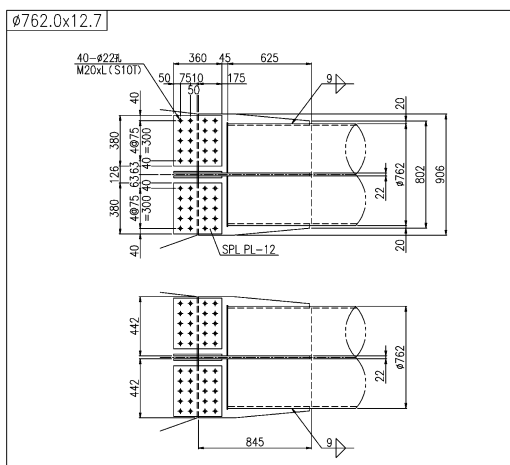
継手位置 : g2



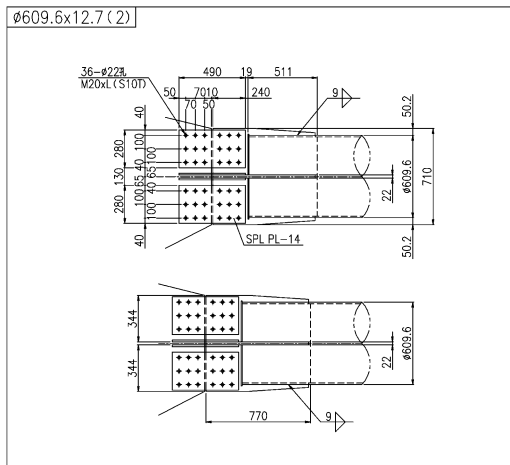
継手位置 : g3



継手位置 : g4



継手位置 : g5



継手位置 : g6

図 2-5 補助柱材の接合部詳細 (十字継手) (単位 : mm)

以下に各部位の検討方針を示す。

なお、検討に当たっては、「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）」及び「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）」に準拠して算定する。

2.1 主柱材

フランジ継手について、継手位置のボルトに生じる検討用応力が、破断耐力以下であることを確認する。

検討用応力 N' は以下により算定する。

$$N' = \left(\frac{N}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A$$

ここで、

- N : 評価用応力（主柱材に発生する軸力の最大値）（kN）
- A : 主柱材の断面積（ mm^2 ）
- M : 評価用応力（主柱材に発生する曲げモーメントの最大値）（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）
- Z : 主柱材の断面係数（ mm^3 ）

継手位置の破断耐力 P_u は、以下により算定する。

$$P_u = T \cdot n$$

ここで、

- T : 高力ボルト1本あたりの引張破断耐力（kN）
- n : 高力ボルト本数

2.2 斜材，水平材及び補助柱材

十字継手及びH鋼継手について，接合部の部材端部（H鋼，十字プレート，スプライスプレート），接合ファスナー，ファスナーのはしあき部分，ガセットプレート及び溶接部に対して，破断形式に応じた破断耐力を算定し，部材に生じる応力が破断耐力以下であることを確認する。

以下に示す部材端部及び接合部の破断形式(1)～(5)（H鋼継手は(1)～(3)のみを使用）の各々の場合について，破断耐力 $A_j \cdot \sigma_u$ を算定し，その最小の値を接合部の破断耐力とする。

(1) 部材端部で破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_u = A_1 \cdot b \sigma_u$$

$$A_1 = A_g - A_d$$

ここで，

$b \sigma_u$: 部材端部の破断応力度 (N/mm²)

A_g : 部材端部の断面積 (mm²)

A_d : 部材端部の欠損断面積 (mm²)

$A_j \cdot \sigma_u$: 部材端部の破断耐力 (N)

(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_u = 0.75 \cdot A_2 \cdot f \sigma_u$$

$$A_2 = n \cdot m \cdot f A$$

ここで，

$f \sigma_u$: 接合ファスナーの破断応力度 (N/mm²)

n : ファスナーの数

m : ファスナーがせん断を受ける面の数

$f A$: ファスナー1つの断面積 (mm²)

ただし，ねじ部がせん断にかかる時は，

$$f A = 0.75 \cdot \pi \cdot (d/2)^2$$

d : ファスナーの呼び径 (mm)

$A_j \cdot \sigma_u$: 接合ファスナーの破断耐力 (N)

(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合

a. 十字プレート及びH鋼の場合

$$A_j \cdot \sigma_u = {}_1A_3 \cdot {}_b \sigma_u$$

$${}_1A_3 = n \cdot {}_b e \cdot {}_b t$$

ここで,

${}_b \sigma_u$: 十字プレート及びH鋼の破断応力度 (N/mm²)

${}_b e$: 十字プレート及びH鋼のはしあき距離 (mm)

${}_b t$: 十字プレート及びH鋼のファスナー接合部での板厚 (mm)

n : ファスナーの数

$A_j \cdot \sigma_u$: 十字プレート及びH鋼のはしあき部分の破断耐力 (N)

b. スプライスプレート

$$A_j \cdot \sigma_u = {}_2A_3 \cdot {}_s \sigma_u$$

$${}_2A_3 = n \cdot {}_s e \cdot {}_s t$$

ここで,

${}_s \sigma_u$: スプライスプレートの破断応力度 (N/mm²)

${}_s e$: スプライスプレートのはしあき距離 (mm)

${}_s t$: スプライスプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)

n : ファスナーの数

$A_j \cdot \sigma_u$: スプライスプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

c. ガセットプレート端部の場合

$$A_j \cdot \sigma_u = {}_3A_3 \cdot {}_g \sigma_u$$

$${}_3A_3 = n \cdot {}_g e \cdot {}_g t$$

ここで,

${}_g \sigma_u$: ガセットプレートの破断応力度 (N/mm²)

${}_g e$: ガセットプレートのはしあき距離 (mm)

${}_g t$: ガセットプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)

n : ファスナーの数

$A_j \cdot \sigma_u$: ガセットプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

(4) ガセットプレートの破断による場合

$$A_j \cdot \sigma_u = 4A_3 \cdot g \sigma_u$$

$$A_4 = (2/\sqrt{3} \ell_1 + b) \cdot g t - A_d$$

ここで,

$g \sigma_u$: ガセットプレートの破断応力度 (N/mm²)

ℓ_1 : 応力方向の両端ボルト間の距離 (mm)

b : 応力直交方向の両端ボルト間の距離 (mm)

$g t$: ガセットプレートの板厚 (mm)

A_d : ガセットプレートのファスナー端部における欠損断面積 (mm²)

$A_j \cdot \sigma_u$: ガセットプレートの破断耐力 (N)

(5) 溶接部で破断する場合

接合部はすみ肉溶接であるため、次式より算出する。

$$A_j \cdot \sigma_u = 1/\sqrt{3} A_5 \cdot a \sigma_u$$

$$A_5 = 0.7 \cdot S \cdot \ell_e \cdot n_w$$

ここで,

$a \sigma_u$: 接合される母材の破断応力度 (N/mm²)

ℓ_e : すみ肉溶接の有効長さ (mm)

ただし, $\ell_e = \ell - 2 \cdot S$ とする。

ℓ : 1つの連続したすみ肉溶接の長さ (mm)

S : すみ肉溶接のサイズ (mm)

n_w : 溶接線数 (本)

$A_j \cdot \sigma_u$: 溶接部の破断耐力 (N)

3. 検討条件

各部材の接合部検討用の諸元を表 3-1～表 3-4 に示す。

表 3-1 主柱材の接合部検討用諸元

符号		C-D	E-F	G-H	I-J	K-L	M-N
		フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手
		c1	c2	c3	c4	c5	c6
使用部材	外径 (mm)	φ 267.4	φ 267.4	φ 355.6	φ 406.4	φ 508.0	φ 609.6
	板厚 (mm)	6.6	6.6	6.4	7.9	9.5	12.7
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M24	M24
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
A	mm ²	5408	5408	7021	9890	14880	23820
Z	× 10 ³ mm ³	344	344	602	967	1820	3480
n	本	12	12	16	16	20	28
σ_u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400
$f \sigma_u$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- A : 主柱材の断面積
- Z : 主柱材の断面係数
- σ_u : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- n : 高力ボルト本数
- $f \sigma_u$: 高力ボルトの引張強さ (F10T)

表 3-2 斜材の接合部検討用諸元

符号		B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b1	b2	b2	b2	b2
使用部材	外径(mm)	φ 216.3	φ 216.3	φ 216.3	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4
	板厚(mm)	5.8	5.8	5.8	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	440	440	440	440	440	440	440
t	mm	9	9	9	9	9	9	9
A _g	mm ²	7839	7839	7839	7839	7839	7839	7839
r	列	2	2	2	2	2	2	2
m	面	2	2	2	2	2	2	2
d _o	mm	24	24	24	24	24	24	24
b _s	mm	150	150	150	150	150	150	150
t _s	mm	6	6	6	6	6	6	6
σ _u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
f σ _u	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

符号		I-J	J-K	K-L	L-M	M-N	N-O	O-P
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b3	b3	b4	b4	b5-1	b5-2	b6
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 355.6	φ 355.6	φ 457.2	φ 457.2	φ 588.8
	板厚(mm)	6.9	6.9	7.9	7.9	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	440	440	440	440	500	500	610
t	mm	12	12	12	12	16	19	19
A _g	mm ²	10416	10416	10416	10416	15744	18639	22819
r	列	2	2	2	2	2	2	3
m	面	2	2	2	2	2	2	2
d _o	mm	24	24	24	24	24	24	24
b _s	mm	150	150	150	150	180	180	230
t _s	mm	9	9	9	9	12	12	12
σ _u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
f σ _u	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの板厚
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_u : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- f σ_u : 高力ボルトの引張強さ (F10T)

表 3-3(1) 水平材の接合部検討用諸元 (H鋼継手)

符号		B
		H鋼継手
		a1
使用部材	名称	H-450×300×10×15
	材質	SS400
使用ボルト		M22
		HTB
H	mm	450
B	mm	300
t_1	mm	10
t_2	mm	15
A_g	mm ²	13200
r_1	列	2
m_1	面	4
r_2	列	3
m_2	面	2
d_o	mm	24
b_{s1}	mm	290
b_{s2}	mm	105
b_{s3}	mm	250
t_s	mm	9
σ_u	N/mm ²	400
$f\sigma_u$	N/mm ²	1000

記号の説明

- H : H鋼の高さ
- B : H鋼の幅
- t_1 : ウェブの板厚
- t_2 : フランジの板厚
- A_g : H鋼の断面積
- r_1 : フランジのファスナー群 1箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m_1 : フランジのファスナーがせん断を受ける面数
- r_2 : ウェブのファスナー群 1箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m_2 : ウェブのファスナーがせん断を受ける面数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_{s1} : フランジのスプライスプレートの幅(大)
- b_{s2} : フランジのスプライスプレートの幅(小)
- b_{s3} : ウェブのスプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_u : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f\sigma_u$: 高力ボルトの引張強さ (F10T)

表 3-3(2) 水平材の接合部検討用諸元 (十字継手)

符号		C	E	G	I	K	M	N	O
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a2	a2	a3-1	a3-2	a4	a4	a5	a6
使用部材	外径(mm)	φ 216.3	φ 216.3	φ 267.4	φ 267.4	φ 318.5	φ 318.5	φ 609.6	φ 406.4
	板厚(mm)	5.8	5.8	6.6	6.6	6.9	6.9	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	440	440	440	440	440	440	670	440
t	mm	9	9	12	9	12	12	19	16
A _g	mm ²	7839	7839	10416	7839	10416	10416	25099	13824
r	列	2	2	2	2	2	2	3	2
m	面	2	2	2	2	2	2	2	2
d _o	mm	24	24	24	24	24	24	24	24
b _s	mm	150	150	150	150	150	150	260	150
t _s	mm	6	6	6	6	9	9	12	12
σ _u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
f σ _u	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの板厚
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_u : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- f σ_u : 高力ボルトの引張強さ (F10T)

表 3-4 補助柱材の接合部検討用諸元

符号		C-E	E-G	G-I	I-K	K-M	M-N	N-O
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		g1	g2	g3	g4	g5	g6	g6
使用部材	外径 (mm)	φ 267.4	φ 318.5	φ 711.2	φ 609.6	φ 762	φ 609.6	φ 609.6
	板厚 (mm)	6.0	6.0	7.9	12.7	12.7	12.7	12.7
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490	STK490	STK490
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	304	406	748	682	906	710	710
t	mm	18	18	18	18	22	22	22
A _g	mm ²	10620	14292	26604	24228	39380	30756	30756
r	列	1	2	3	3	5	3	3
m	面	2	2	2	2	2	2	2
d _o	mm	22	22	22	22	22	22	22
b _s	mm	80	135	290	260	380	280	280
t _s	mm	9	9	9	12	12	14	14
σ _u	N/mm ²	400	400	400	400	400	490	490
f σ _u	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの板厚
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_u : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- f σ_u : 高力ボルトの引張強さ (S10T)

4. 検討結果

4.1 検討用応力

各部材の接合部検討用の評価応力を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 主柱材の接合部検討用応力

標高 EL (m)	区間	検討用応力				使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	M (kN・m)	N' (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
109.4- 104.5	C - D	103.0	3.5	158.0	S s - N 1 (ケース 4) (45° 方向)	φ 267.4×6.6	フランジ継手	c1
99.9- 94.5	E - F	371.0	8.1	498.3	S s - N 1 (ケース 4) (45° 方向)	φ 267.4×6.6	フランジ継手	c2
89.2- 83.0	G - H	534.9	13.0	686.5	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	φ 355.6×6.4	フランジ継手	c3
76.8- 69.5	I - J	747.6	19.6	948.1	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	φ 406.4×7.9	フランジ継手	c4
62.2- 53.5	K - L	1107.3	43.3	1461.3	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	φ 508.0×9.5	フランジ継手	c5
45.0- 34.5	M - N	1551.2	46.3	1868.1	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	φ 609.6×12.7	フランジ継手	c6

表 4-2 斜材の接合部検討用応力

標高 EL (m)	区間	検討用応力		使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
113.5- 109.4	B - C	182.0	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 216.3×5.8	十字継手	b1
109.4- 104.5	C - D	213.8	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 216.3×5.8	十字継手	b1
104.5- 99.9	D - E	176.8	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 216.3×5.8	十字継手	b1
99.9- 94.5	E - F	273.8	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
94.5- 89.2	F - G	237.7	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
89.2- 83.0	G - H	445.6	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
83.0- 76.8	H - I	390.2	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
76.8- 69.5	I - J	434.2	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	φ 318.5×6.9	十字継手	b3
69.5- 62.2	J - K	369.1	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	φ 318.5×6.9	十字継手	b3
62.2- 53.5	K - L	527.2	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 355.6×7.9	十字継手	b4
53.5- 45.0	L - M	421.2	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 355.6×7.9	十字継手	b4
45.0- 34.5	M - N	697.1	S s - N 2 (ケース 4)	φ 457.2×9.5	十字継手	b5-1
34.5- 23.9	N - O	655.0	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 457.2×9.5	十字継手	b5-2
23.9- 8.5	O - P	1018.0	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 558.8×9.5	十字継手	b6

表 4-3 水平材の接合部検討用応力

標高 EL (m)	部材 位置	検討用応力		使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
113.5	B	92.7	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	H-450×300 ×10×15	H鋼継手	a1
109.4	C	48.2	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	φ 216.3×5.8	十字継手	a2
99.9	E	35.5	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	φ 216.3×5.8	十字継手	a2
89.2	G	169.1	S s - D (ケース 5) (45° 方向)	φ 267.4×6.6	十字継手	a3-1
76.8	I	49.3	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 267.4×6.6	十字継手	a3-2
62.2	K	167.7	S s - N 1 (ケース 5) (45° 方向)	φ 318.5×6.9	十字継手	a4
45.0	M	106.9	S s - F 2 (ケース 3)	φ 318.5×6.9	十字継手	a4
34.5	N	154.1	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	φ 609.6×9.5	十字継手	a5
23.9	O	190.6	S s - D (ケース 3) (0° 方向)	φ 406.4×9.5	十字継手	a6

表 4-4 補助柱材の接合部検討用応力

標高 EL (m)	区間	検討用応力		使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
109.4- 99.9	C - E	227.4	S s - N 1 (ケース 4) (0° 方向)	φ 267.4×6.0	十字継手	g1
99.9- 89.2	E - G	529.2	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	φ 318.5×6.0	十字継手	g2
89.2- 76.8	G - I	987.0	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	φ 711.2×7.9	十字継手	g3
76.8- 62.2	I - K	1387.4	S s - N 1 (ケース 5) (0° 方向)	φ 609.6×12.7	十字継手	g4
62.2- 45.0	K - M	1586.9	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	φ 762.0×12.7	十字継手	g5
45.0- 34.5	M - N	936.5	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	φ 609.6×12.7	十字継手	g6
34.5- 23.9	N - O	982.0	S s - D (ケース 5) (0° 方向)	φ 609.6×12.7	十字継手	g6

4.2 検討結果

各部材の接合部検討用の破断耐力の算定結果を表 4-5～表 4-8 に示す。

また、各部材の検討用応力と接合部の破断耐力の比較を表 4-9～表 4-12 に示す。検討用応力は、いずれも接合部の破断耐力以下であることを確認した。

表 4-5 主柱材の接合部検討用の破断耐力

符号		C-D	E-F	G-H	I-J	K-L	M-N
		フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手	フランジ継手
		c1	c2	c3	c4	c5	c6
有効断面積	mm ²	303	303	303	303	353	353
T	kN	303	303	303	303	353	353
n	本	12	12	16	16	20	28
破断耐力 P _u	kN	3636	3636	4848	4848	7060	9884

表 4-6(1) 斜材の接合部検討用の破断耐力

符号		B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b1	b2	b2	b2	b2
使用部材	外径(mm)	φ 216.3	φ 216.3	φ 216.3	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4
	板厚(mm)	5.8	5.8	5.8	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合								
a. 十字プレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	7839	7839	7839	7839	7839	7839	7839
A_d	mm ²	1728	1728	1728	1728	1728	1728	1728
A_1	mm ²	6111	6111	6111	6111	6111	6111	6111
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2444	2444	2444	2444	2444	2444	2444
b. スプライスプレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200
A_d	mm ²	2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304
A_1	mm ²	4896	4896	4896	4896	4896	4896	4896
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合								
$f \sigma_u$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16
m	面	2	2	2	2	2	2	2
$f A$	mm ²	285	285	285	285	285	285	285
A_2	mm ²	9120	9120	9120	9120	9120	9120	9120
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	6840	6840	6840	6840	6840	6840
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合								
a. 部材端部の場合(十字プレートのはしあき)								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
b e	mm	55	55	55	55	55	55	55
b t	mm	9	9	9	9	9	9	9
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16
$1 A_3$	mm ²	7920	7920	7920	7920	7920	7920	7920
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3168	3168	3168	3168	3168	3168	3168
b. 部材端部の場合(スプライスプレートのはしあき)								
$s \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
s e	mm	55	55	55	55	55	55	55
s t	mm	6	6	6	6	6	6	6
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16
$2 A_3$	mm ²	10560	10560	10560	10560	10560	10560	10560
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4224	4224	4224	4224	4224	4224	4224
c. 部材端部の場合(ガセットプレートのはしあき)								
$g \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
g e	mm	55	55	55	55	55	55	55
g t	mm	9	9	9	9	9	9	9
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16
$3 A_3$	mm ²	7920	7920	7920	7920	7920	7920	7920
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3168	3168	3168	3168	3168	3168	3168

表 4-6(2) 斜材の接合部検討用の破断耐力

符号		B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b1	b2	b2	b2	b2
使用部材	外径(mm)	φ 216.3	φ 216.3	φ 216.3	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4
	板厚(mm)	5.8	5.8	5.8	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合								
$g \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
ℓ_1	mm	75	75	75	75	75	75	75
b	mm	340	340	340	340	340	340	340
$g t$	mm	9	9	9	9	9	9	9
A_d	mm ²	864	864	864	864	864	864	864
A_4	mm ²	5950	5950	5950	5950	5950	5950	5950
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2380
(5) 溶接部で破断する場合								
$a \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
S	mm	5	5	5	5	5	5	5
ℓ	mm	350	350	350	350	350	350	350
ℓ_e	mm	340	340	340	340	340	340	340
n_w	本	8	8	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	9520	9520	9520	9520	9520	9520	9520
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958

表 4-6(3) 斜材の接合部検討用の破断耐力

符号		I-J	J-K	K-L	L-M	M-N	N-O	O-P
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b3	b3	b4	b4	b5-1	b5-2	b6
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 355.6	φ 355.6	φ 457.2	φ 457.2	φ 588.8
	板厚(mm)	6.9	6.9	7.9	7.9	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合								
a. 十字プレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	10416	10416	10416	10416	15744	18639	22819
A_d	mm ²	2304	2304	2304	2304	3072	3648	5472
A_1	mm ²	8112	8112	8112	8112	12672	14991	17347
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3244	3244	3244	3244	5068	5996	6938
b. スプライスプレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	10800	10800	10800	10800	17280	17280	22080
A_d	mm ²	3456	3456	3456	3456	4608	4608	6912
A_1	mm ²	7344	7344	7344	7344	12672	12672	15168
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2937	2937	2937	2937	5068	5068	6067
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合								
$f \sigma_u$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	16	16	16	16	20	20	24
m	面	2	2	2	2	2	2	2
$f A$	mm ²	285	285	285	285	285	285	285
A_2	mm ²	9120	9120	9120	9120	11400	11400	13680
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	6840	6840	6840	8550	8550	10260
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合								
a. 部材端部の場合(十字プレートのはしあき)								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
b e	mm	55	55	55	55	50	50	55
b t	mm	12	12	12	12	16	19	19
n	箇所	16	16	16	16	20	20	24
$1A_3$	mm ²	10560	10560	10560	10560	16000	19000	25080
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4224	4224	4224	4224	6400	7600	10032
b. 部材端部の場合(スプライスプレートのはしあき)								
$s \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
s e	mm	55	55	55	55	50	50	55
s t	mm	9	9	9	9	12	12	12
n	箇所	16	16	16	16	20	20	24
$2A_3$	mm ²	15840	15840	15840	15840	24000	24000	31680
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6336	6336	6336	6336	9600	9600	12672
c. 部材端部の場合(ガセットプレートのはしあき)								
$g \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
g e	mm	55	55	55	55	50	50	55
g t	mm	12	12	12	12	16	19	19
n	箇所	16	16	16	16	20	20	24
$3A_3$	mm ²	10560	10560	10560	10560	16000	19000	25080
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4224	4224	4224	4224	6400	7600	10032

表 4-6(4) 斜材の接合部検討用の破断耐力

符号		I-J	J-K	K-L	L-M	M-N	N-O	O-P
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b3	b3	b4	b4	b5-1	b5-2	b6
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 355.6	φ 355.6	φ 457.2	φ 457.2	φ 588.8
	板厚(mm)	6.9	6.9	7.9	7.9	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合								
$g \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
ℓ_1	mm	75	75	75	75	100	100	75
b	mm	340	340	340	340	400	400	490
$g t$	mm	12	12	12	12	16	19	19
A_d	mm ²	1152	1152	1152	1152	1536	1824	2736
A_4	mm ²	7934	7934	7934	7934	13424	15940	16438
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3173	3173	3173	3173	5369	6376	6575
(5) 溶接部で破断する場合								
$a \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	8	8	9	9	8
ℓ	mm	350	350	350	350	400	400	400
ℓ_e	mm	338	338	334	334	382	382	384
n_w	本	8	8	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	11357	11357	14963	14963	19253	19253	17203
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2622	2622	3455	3455	4446	4446	3972
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	2622	2622	2937	2937	4446	4446	3972

表 4-7(1) 水平材の接合部検討用の破断耐力 (H鋼継手)

符号		B
		H鋼継手
		a1
使用部材	名称	H-450×300×10×15
	材質	SS400
使用ボルト		M22
		HTB
(1) 部材端部で破断する場合		
a. H鋼端部		
$b \sigma_u$	N/mm ²	400
A_g	mm ²	13200
A_d	mm ²	2160
A_1	mm ²	11040
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4416
b. スプライスプレート端部		
$b \sigma_u$	N/mm ²	400
A_g	mm ²	13500
A_d	mm ²	3024
A_1	mm ²	10476
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4190
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合		
$f \sigma_u$	N/mm ²	1000
n	箇所	15
m	面	2
$f A$	mm ²	285
A_2	mm ²	8550
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6412
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合		
a. 部材端部の場合(H鋼のはしあき)		
$b \sigma_u$	N/mm ²	400
$b e$	mm	45
$b t_1$	mm	10
$b t_2$	mm	15
n_1	箇所	3
n_2	箇所	4
${}_1 A_3$	mm ²	9450
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3780
b. 部材端部の場合(スプライスプレートのはしあき)		
$s \sigma_u$	N/mm ²	400
$s e$	mm	45
$s t$	mm	9
n	箇所	15
${}_2 A_3$	mm ²	12150
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4860
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	3780

表 4-7(2) 水平材の接合部検討用の破断耐力 (十字継手)

符号		C	E	G	I	K	M	N	O
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a2	a2	a3-1	a3-2	a4	a4	a5	a6
使用部材	外径(mm)	φ 216.3	φ 216.3	φ 267.4	φ 267.4	φ 318.5	φ 318.5	φ 609.6	φ 406.4
	板厚(mm)	5.8	5.8	6.6	6.6	6.9	6.9	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合									
a. 十字プレート端部									
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	7839	7839	10416	7839	10416	10416	25099	13824
A_d	mm ²	1728	1728	2304	1728	2304	2304	5472	3072
A_l	mm ²	6111	6111	8112	6111	8112	8112	19627	10752
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2444	2444	3244	2444	3244	3244	7850	4300
b. スプライスプレート端部									
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	7200	7200	7200	7200	10800	10800	24960	14400
A_d	mm ²	2304	2304	2304	2304	3456	3456	6912	4608
A_l	mm ²	4896	4896	4896	4896	7344	7344	18048	9792
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1958	1958	1958	1958	2937	2937	7219	3916
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合									
$f \sigma_u$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	16	16	16	16	16	16	24	16
m	面	2	2	2	2	2	2	2	2
$f A$	mm ²	285	285	285	285	285	285	285	285
A_2	mm ²	9120	9120	9120	9120	9120	9120	13680	9120
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	6840	6840	6840	6840	6840	10260	6840
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合									
a. 部材端部の場合(十字プレートのはしあき)									
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
b e	mm	55	55	55	55	55	55	55	55
b t	mm	9	9	12	9	12	12	19	16
n	箇所	16	16	16	16	16	16	24	16
${}_1 A_3$	mm ²	7920	7920	10560	7920	10560	10560	25080	14080
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3168	3168	4224	3168	4224	4224	10032	5632
b. 部材端部の場合(スプライスプレートのはしあき)									
$s \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
s e	mm	55	55	55	55	55	55	55	55
s t	mm	6	6	6	6	9	9	12	12
n	箇所	16	16	16	16	16	16	24	16
${}_2 A_3$	mm ²	10560	10560	10560	10560	15840	15840	31680	21120
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4224	4224	4224	4224	6336	6336	12672	8448
c. 部材端部の場合(ガセットプレートのはしあき)									
$g \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
g e	mm	55	55	55	55	55	55	55	55
g t	mm	9	9	12	9	12	12	19	16
n	箇所	16	16	16	16	16	16	24	16
${}_3 A_3$	mm ²	7920	7920	10560	7920	10560	10560	25080	14080
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3168	3168	4224	3168	4224	4224	10032	5632

表 4-7(3) 水平材の接合部検討用の破断耐力 (十字継手)

符号		C	E	G	I	K	M	N	O
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
使用部材	外径(mm)	φ 216.3	φ 216.3	φ 267.4	φ 267.4	φ 318.5	φ 318.5	φ 609.6	φ 406.4
	板厚(mm)	5.8	5.8	6.6	6.6	6.9	6.9	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合									
σ_u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
ℓ_1	mm	75	75	75	75	75	75	75	75
b	mm	340	340	340	340	340	340	530	340
t	mm	9	9	12	9	12	12	19	16
A_d	mm ²	864	864	1152	864	1152	1152	2736	1536
A_4	mm ²	5950	5950	7934	5950	7934	7934	17958	10580
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2380	2380	3173	2380	3173	3173	7183	4232
(5) 溶接部で破断する場合									
σ_u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
S	mm	5	5	5	5	6	6	8	8
ℓ	mm	350	350	350	350	350	350	400	400
ℓ_e	mm	340	340	340	340	338	338	384	384
n_w	本	8	8	8	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	9520	9520	9520	9520	11357	11357	17203	17203
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2198	2198	2198	2198	2622	2622	3972	3972
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	1958	1958	1958	1958	2622	2622	3972	3916

表 4-8 補助柱材の接合部検討用の破断耐力

符号		C-E	E-G	G-I	I-K	K-M	M-N	N-O
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		g1	g2	g3	g4	g5	g6	g6
使用部材	外径(mm)	φ 267.4	φ 318.5	φ 711.2	φ 609.6	φ 762.0	φ 609.6	φ 609.6
	板厚(mm)	6.0	6.0	7.9	12.7	12.7	12.7	12.7
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490	STK490	STK490
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合								
a. 十字プレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	490	490
A_g	mm ²	10620	14292	26604	24228	39380	30756	30756
A_d	mm ²	1584	3168	4752	4752	9680	5808	5808
A_l	mm ²	9036	11124	21852	19476	29700	24948	24948
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3614	4449	8740	7790	11880	12224	12224
b. スプラインプレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	490	490
A_g	mm ²	5760	9720	20880	24960	36480	31360	31360
A_d	mm ²	1584	3168	4752	6336	10560	7392	7392
A_l	mm ²	4176	6552	16128	18624	25920	23968	23968
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1670	2620	6451	7449	12700	11744	11744
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合								
$f \sigma_u$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	8	16	24	24	40	36	36
m	面	2	2	2	2	2	2	2
$f A$	mm ²	236	236	236	236	236	236	236
A_2	mm ²	3776	7552	11328	11328	18880	16992	16992
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2832	5664	8496	8496	14160	12744	12744
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合								
a. 部材端部の場合(十字プレートのはしあき)								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	490	490
b_e	mm	50	50	50	50	50	50	50
b_t	mm	18	18	18	18	22	22	22
n	箇所	8	16	24	24	40	36	36
${}_1 A_3$	mm ²	7200	14400	21600	21600	44000	39600	39600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2880	5760	8640	8640	17600	19404	19404
b. 部材端部の場合(スプラインプレートのはしあき)								
$s \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	490	490	490
s_e	mm	50	50	50	50	50	50	50
s_t	mm	9	9	9	12	12	14	14
n	箇所	8	16	24	24	40	36	36
${}_2 A_3$	mm ²	7200	14400	21600	28800	48000	50400	50400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2880	5760	8640	11520	23520	24696	24696
c. 部材端部の場合(ガセットプレートのはしあき)								
$g \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	490	490	490
g_e	mm	50	50	50	50	50	50	50
g_t	mm	18	18	18	18	22	22	22
n	箇所	8	16	24	24	40	36	36
${}_3 A_3$	mm ²	7200	14400	21600	21600	44000	39600	39600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2880	5760	8640	8640	21560	19404	19404
(4) ガセットプレートの破断による場合								
$g \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	490	490	490
ℓ_1	mm	70	70	70	70	75	140	140
b	mm	204	306	648	582	806	610	610
g_t	mm	18	18	18	18	22	22	22
A_d	mm ²	792	1584	2376	2376	4840	2904	2904
A_4	mm ²	8670	10758	21486	19110	29594	28144	28144
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3468	4303	8594	7644	14501	13790	13790
(5) 溶接部で破断する場合								
$a \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	490	490
S	mm	6	6	7	7	9	9	9
ℓ	mm	225	270	570	490	610	490	490
ℓ_e	mm	213	258	556	476	592	472	472
n_w	本	8	8	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	7157	8669	21795	18659	29837	23789	23789
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1652	2002	5033	4309	6890	6729	6729
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	1652	2002	5033	4309	6890	6729	6729

表 4-9 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（主柱材）

標高 EL (m)	区間	検討用 応力 N' (kN)	破断 耐力 P _u (kN)	検定値 N' / P _u	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
109.4- 104.5	C - D	158.0	3636	0.05	φ 267.4×6.6	フランジ継手	c1
99.9- 94.5	E - F	498.3	3636	0.14	φ 267.4×6.6	フランジ継手	c2
89.2- 83.0	G - H	686.5	4848	0.15	φ 355.6×6.4	フランジ継手	c3
76.8- 69.5	I - J	948.1	4848	0.20	φ 406.4×7.9	フランジ継手	c4
62.2- 53.5	K - L	1461.3	7060	0.21	φ 508.0×9.5	フランジ継手	c5
45.0- 34.5	M - N	1868.1	9884	0.19	φ 609.6×12.7	フランジ継手	c6

表 4-10 検討用応力と接合部の破断耐力の比較 (斜材)

標高 EL (m)	区間	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 P _u (kN)	検定値 N/P _u	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
113.5- 109.4	B - C	182.0	1958	0.10	φ 216.3×5.8	十字継手	b1
109.4- 104.5	C - D	213.8	1958	0.11	φ 216.3×5.8	十字継手	b1
104.5- 99.9	D - E	176.8	1958	0.10	φ 216.3×5.8	十字継手	b1
99.9- 94.5	E - F	273.8	1958	0.14	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
94.5- 89.2	F - G	237.7	1958	0.13	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
89.2- 83.0	G - H	445.6	1958	0.23	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
83.0- 76.8	H - I	390.2	1958	0.20	φ 267.4×6.6	十字継手	b2
76.8- 69.5	I - J	434.2	2622	0.17	φ 318.5×6.9	十字継手	b3
69.5- 62.2	J - K	369.1	2622	0.15	φ 318.5×6.9	十字継手	b3
62.2- 53.5	K - L	527.2	2937	0.18	φ 355.6×7.9	十字継手	b4
53.5- 45.0	L - M	421.2	2937	0.15	φ 355.6×7.9	十字継手	b4
45.0- 34.5	M - N	697.1	4446	0.16	φ 457.2×9.5	十字継手	b5-1
34.5- 23.9	N - O	655.0	4446	0.15	φ 457.2×9.5	十字継手	b5-2
23.9- 8.5	O - P	1018.0	3972	0.26	φ 558.8×9.5	十字継手	b6

表 4-11 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（水平材）

標高 EL (m)	位置	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 P _u (kN)	検定値 N/P _u	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
113.5	B	92.7	3780	0.03	H-450×300 ×10×15	H鋼継手	a1
109.4	C	48.2	1958	0.03	φ 216.3×5.8	十字継手	a2
99.9	E	35.5	1958	0.02	φ 216.3×5.8	十字継手	a2
89.2	G	169.1	1958	0.09	φ 267.4×6.6	十字継手	a3-1
76.8	I	49.3	1958	0.03	φ 267.4×6.6	十字継手	a3-2
62.2	K	167.7	2622	0.07	φ 318.5×6.9	十字継手	a4
45.0	M	106.9	2622	0.05	φ 318.5×6.9	十字継手	a4
34.5	N	154.1	3972	0.04	φ 609.6×9.5	十字継手	a5
23.9	O	190.6	3916	0.05	φ 406.4×9.5	十字継手	a6

表 4-12 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（補助柱材）

標高 EL (m)	区間	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 P _u (kN)	検定値 N/P _u	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
109.4- 99.9	C - E	227.4	1652	0.14	φ 267.4×6.0	十字継手	g1
99.9- 89.2	E - G	529.2	2002	0.27	φ 318.5×6.0	十字継手	g2
89.2- 76.8	G - I	987.0	5033	0.20	φ 711.2×7.9	十字継手	g3
76.8- 62.2	I - K	1387.4	4309	0.33	φ 609.6×12.7	十字継手	g4
62.2- 45.0	K - M	1586.9	6890	0.24	φ 762.0×12.7	十字継手	g5
45.0- 34.5	M - N	936.5	6729	0.14	φ 609.6×12.7	十字継手	g6
34.5- 23.9	N - O	982.0	6729	0.15	φ 609.6×12.7	十字継手	g6

別紙 5 排気筒の支持点部の耐震性について

目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-2
3. 検討結果	別紙 5-12

1. 概要

VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」においては、排気筒を構成する筒身及び鉄塔の断面算定結果を示している。

本資料では、排気筒を構成する部材のうち、支持点部の耐震性について確認した結果を示す。

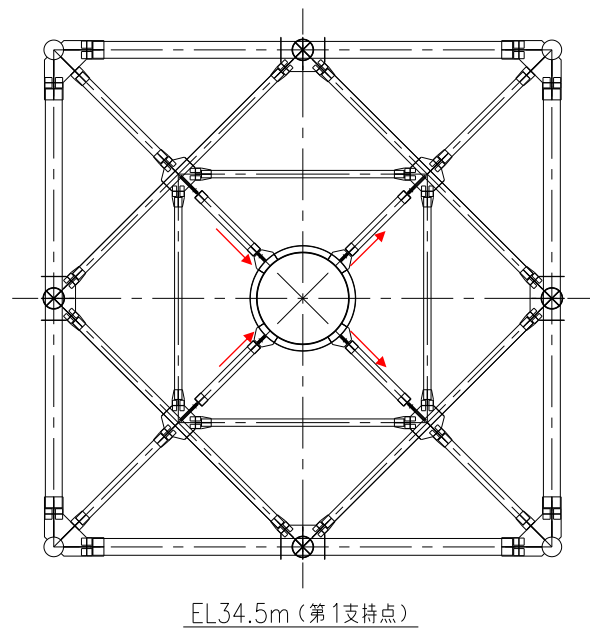
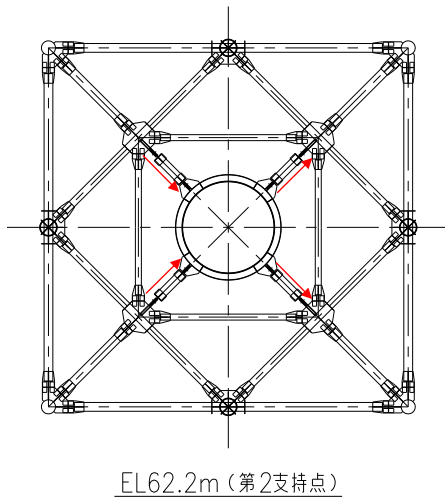
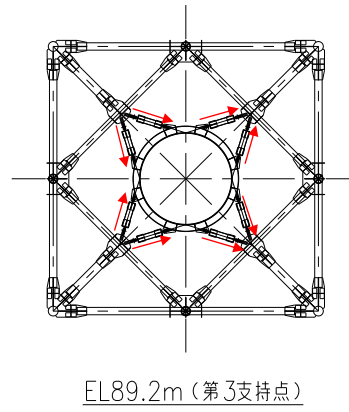
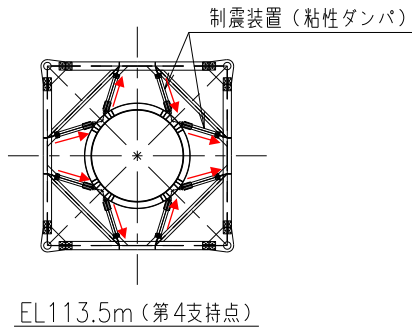
2. 検討方針

第1支持点部, 第2支持点部, 第3支持点部及び第4支持点部の平面図及び支持点荷重を図2-1に, 支持金物の概要図及び支持点荷重を図2-2に, 連結材及び補強リングの構成断面を図2-3に示す。

筒身と鉄塔の支持点部は支持点金物を介して水平荷重を伝達する構造としている。支持点金物の反力は筒身周囲の補強リングによって抵抗されることから, 第1支持点部, 第2支持点部及び第3支持点部については支持点金物のうち連結材と補強リングの評価を行う。第4支持点部については, VI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」において制震装置(粘性ダンパ)及び補強リングの評価を行っていることから, 本書では連結材の評価を行う。

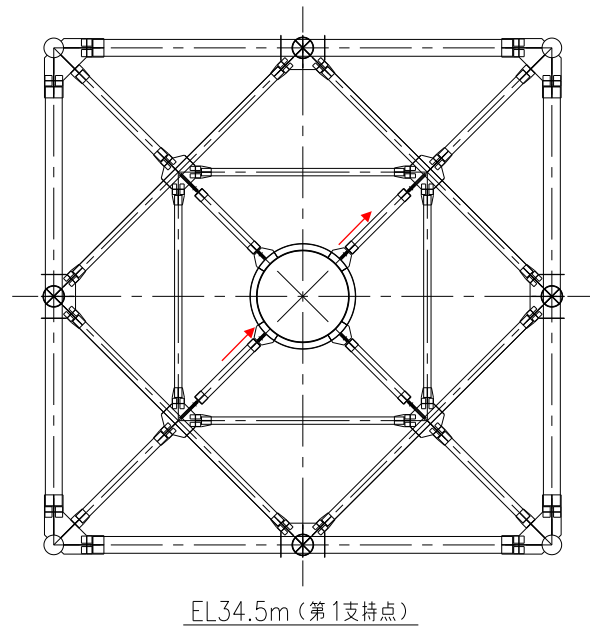
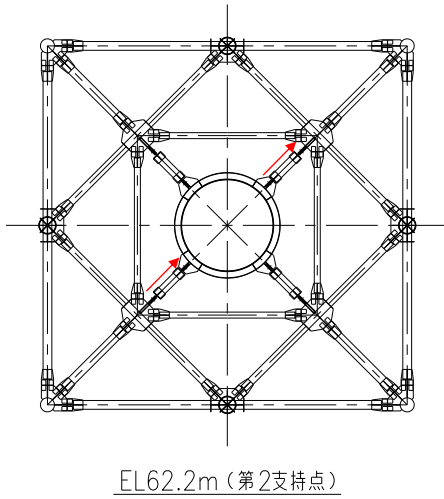
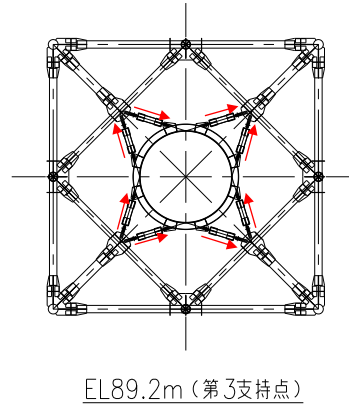
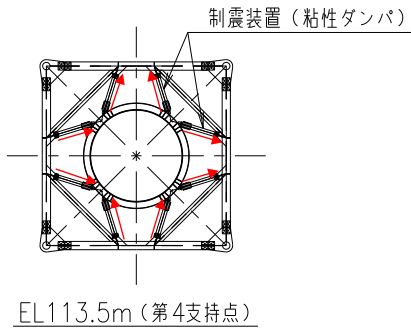
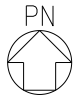
連結材及び補強リングの評価は, 基準地震動 S_s による地震荷重に対して行う。地震荷重として各支持点部に加わる荷重は, VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」における基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケースより求まる連結材の反力から設定した値とし, 「0°方向」と「45°方向」に入力する。各支持点部に加わる支持点最大荷重の値を表2-1に示す。

連結材及び補強リングの評価について, 評価用応力は, 支持点最大荷重をすべての支持点金物に作用させて算定する。評価用応力に対して評価断面において応力度計算を行い, 発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。鋼材の許容応力度は, 「鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 — ((社)日本建築学会, 2005改定)」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「平12建告第2464号」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定する。



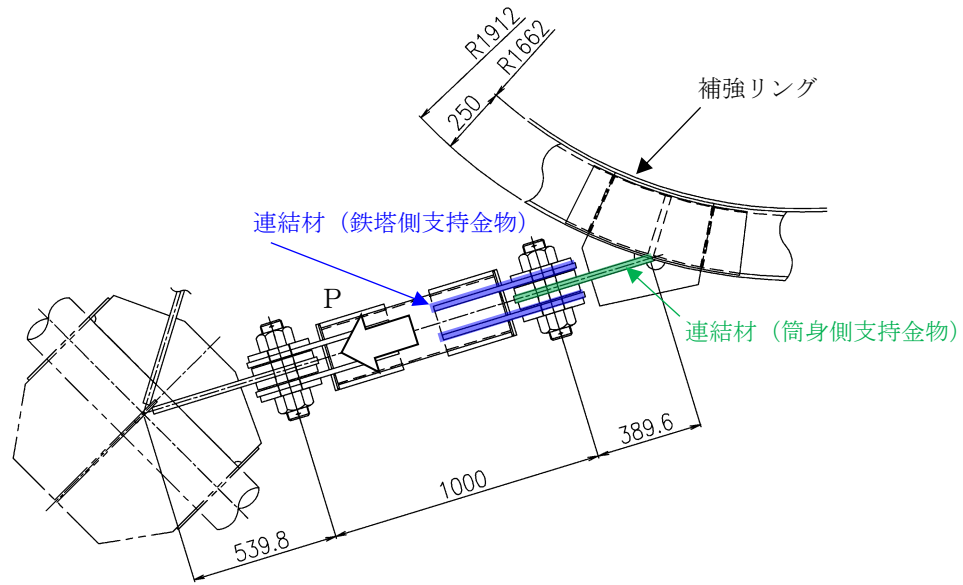
← : 支持点荷重

図 2-1(1) 各支持点部の平面図及び支持点荷重(0° 方向)



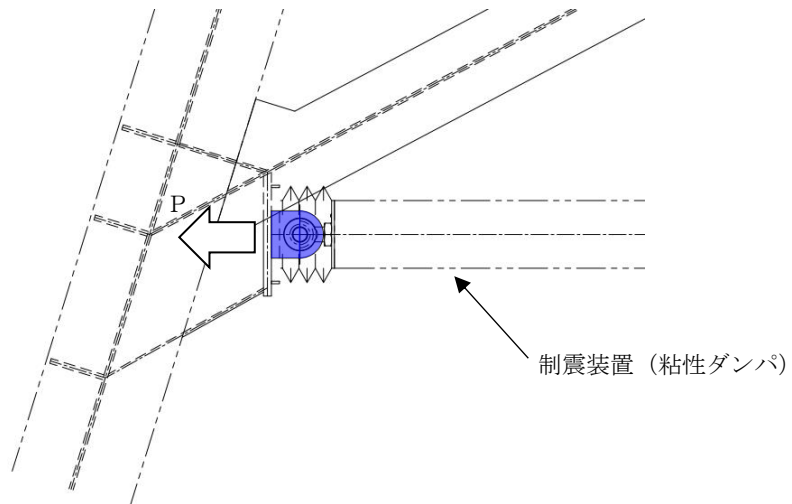
← : 支持点荷重

図 2-1(2) 各支持点部の平面図及び支持点荷重(45° 方向)

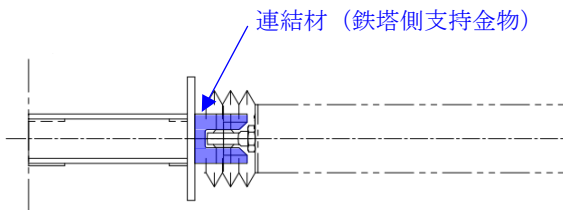


(a) 平面図

図 2-2(2) 第 3 支持点部の支持金物の概要図及び支持点荷重図 (単位 : mm)

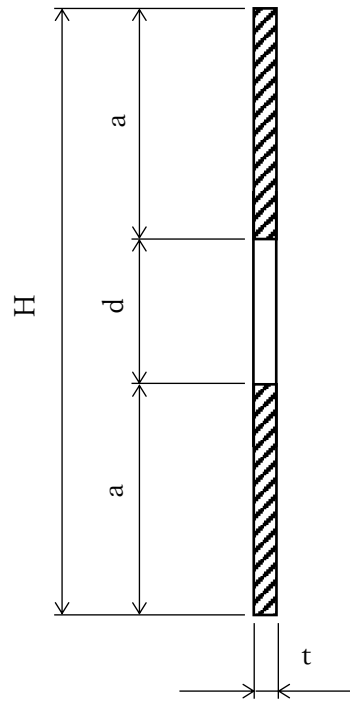


(a) 平面図

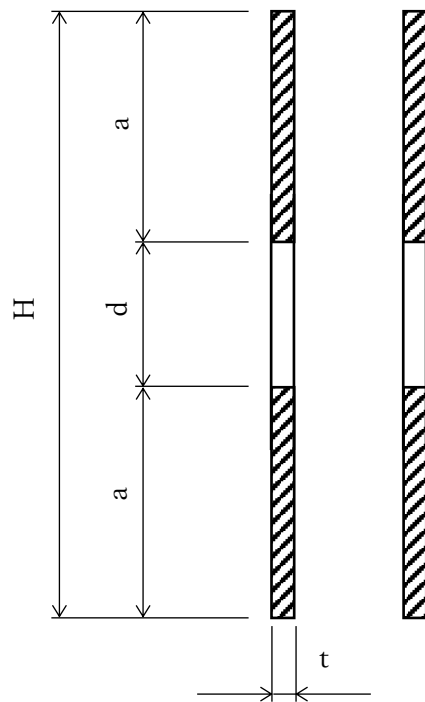


(b) 側面図

図 2-2(3) 第 4 支持点部の支持金物の概要図及び支持点荷重図 (単位: mm)

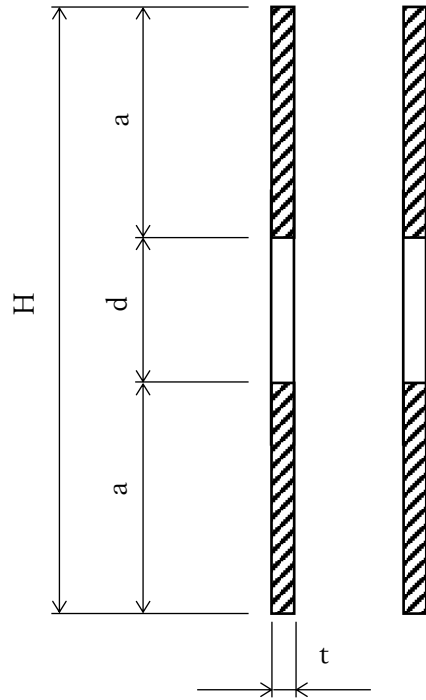


(a) 鉄塔側支持金物

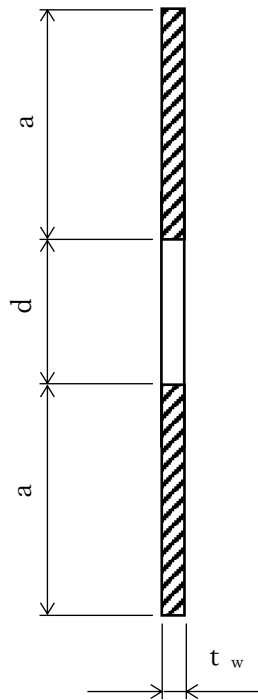


(b) 筒身側支持金物

図 2-3(1) 第 1, 2 支持点の連結材（鉄塔側及び筒身側支持金物）の構成断面



(a) 鉄塔側支持金物



(b) 筒身側支持金物

図 2-3(2) 第 3 支持点の連結材（鉄塔側及び筒身側支持金物）の構成断面

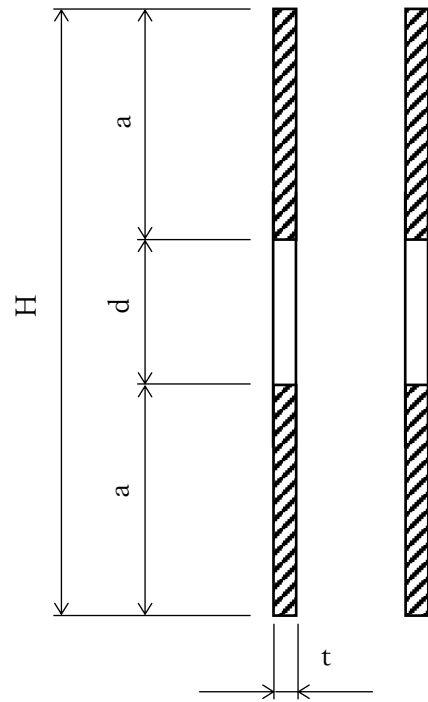


図 2-3(3) 第 4 支持点の連結材 (鉄塔側支持金物) の構成断面

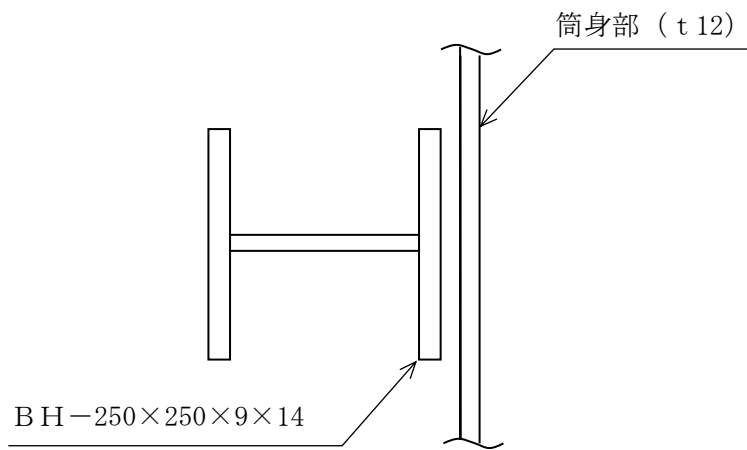


図 2-3(4) 補強リングの構成断面 (単位 : mm)

表 2-1 各支持点部に加わる支持点最大荷重

支持点レベル EL (m)	支持点最大荷重 P (kN/箇所)
34.5	125.7
62.2	303.0
89.2	218.3
113.5	86.1

3. 検討結果

基準地震動 S_s に対する連結材（筒身側支持金物及び鉄塔側支持金物）、補強リング及び接合ボルトの断面評価結果を表 3-1～表 3-4 に示す。評価値は、いずれも許容値以下であることを確認した。

表 3-1(1) 第 1 支持点部の連結材（筒身側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	125.7
材質		—	—	SS400
基準強度		F	N/mm ²	258
筒身取付部	高さ	H	mm	250
	ボルト呼び径	D	mm	60
	ボルト孔径	d	mm	70
	板厚	t	mm	2PL-19
	断面積	A	mm ²	6840
	支圧面積	A_p	mm ²	2280
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	18
	支圧応力度	σ_p	N/mm ²	55
	許容引張応力度	f_t	N/mm ²	258
	許容支圧応力度	f_p	N/mm ²	351
	引張応力度比	σ_t / f_t	—	0.07
	支圧応力度比	σ_p / f_p	—	0.16

表 3-1(2) 第 1 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	方向	
				0°	45°
支持点最大荷重		P	kN	125.7	
材質		—	—	SS400	
基準強度		F	N/mm ²	258	
ヤング係数		E	N/mm ²	205000	
断面寸法	リング幅	B	mm	250	
	リング高さ	H	mm	250	
	フランジ板厚	t _f	mm	14	
	ウェブ板厚	t _w	mm	9	
軸力		N	kN	129.3	73.6
曲げモーメント		M	kN・m	35.7	35.7
せん断力		Q	kN	82.9	62.9
断面積		A	mm ²	8998	
断面係数		Z	× 10 ³ mm ³	846	
せん断断面積		A _s	mm ²	1998	
圧縮応力度		σ _c	N/mm ²	14	8
曲げ応力度		σ _b	N/mm ²	42	42
せん断応力度		τ	N/mm ²	41	31
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	242	
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	258	
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	148	
圧縮と曲げの応力度比		σ_c / f_c + σ_b / f_b	—	0.23	0.20
せん断応力度比		τ / f_s	—	0.28	0.21

表 3-1(3) 第 1 支持点部の連結材（鉄塔側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	125.7
材質		—	—	SS400
基準強度		F	N/mm ²	258
鉄塔取付部	高さ	H	mm	380
	ボルト呼び径	D	mm	60
	ボルト孔径	d	mm	70
	板厚	t	mm	22
	断面積	A	mm ²	6820
	支圧面積	A _p	mm ²	1320
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	18
	支圧応力度	σ_p	N/mm ²	95
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258
	許容支圧応力度	f _p	N/mm ²	351
	引張応力度比	σ_t / f_t	—	0.07
	支圧応力度比	σ_p / f_p	—	0.28

表 3-1(4) 第 1 支持点部の接合ボルトの断面評価結果

項目	記号	単位	数値	
支持点最大荷重	P	kN	125.7	
材質	—	—	SS400	
基準強度	F	N/mm ²	236	
接合ボルト	ボルト呼び径	D	mm	60
	接触幅	b	mm	46
	支持点間距離	ℓ	mm	75
	曲げモーメント	M	kN・mm	1634
	せん断力	Q	kN	63
	断面係数	Z	mm ³	21200
	せん断断面積	A _s	mm ²	2827
	曲げ応力度	σ _b	N/mm ²	77
	せん断応力度	τ	N/mm ²	22
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	236
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	136
	曲げ応力度比	σ _b / f _b	—	0.33
	せん断応力度比	τ / f _s	—	0.17

表 3-2(1) 第 2 支持点部の連結材（筒身側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	303.0
材質		—	—	SS400
基準強度		F	N/mm ²	258
筒身取付部	高さ	H	mm	250
	ボルト呼び径	D	mm	60
	ボルト孔径	d	mm	70
	板厚	t	mm	2PL-19
	断面積	A	mm ²	6840
	支圧面積	A _p	mm ²	2280
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	44
	支圧応力度	σ_p	N/mm ²	133
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258
	許容支圧応力度	f _p	N/mm ²	351
	引張応力度比	σ_t / f_t	—	0.18
	支圧応力度比	σ_p / f_p	—	0.38

表 3-2(2) 第 2 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	方向	
				0°	45°
支持点最大荷重		P	kN	303.0	
材質		—	—	SS400	
基準強度		F	N/mm ²	258	
ヤング係数		E	N/mm ²	205000	
断面寸法	リング幅	B	mm	250	
	リング高さ	H	mm	250	
	フランジ板厚	t _f	mm	14	
	ウェブ板厚	t _w	mm	9	
軸力		N	kN	311.8	177.4
曲げモーメント		M	kN・m	86.2	86.1
せん断力		Q	kN	199.8	151.5
断面積		A	mm ²	8998	
断面係数		Z	× 10 ³ mm ³	846	
せん断断面積		A _s	mm ²	1998	
圧縮応力度		σ _c	N/mm ²	35	20
曲げ応力度		σ _b	N/mm ²	102	102
せん断応力度		τ	N/mm ²	100	76
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	242	
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	258	
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	148	
圧縮と曲げの応力度比		σ_c / f_c $+ \sigma_b / f_b$	—	0.54	0.48
せん断応力度比		τ / f_s	—	0.68	0.52

表 3-2(3) 第 2 支持点部の連結材（鉄塔側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	303.0
材質		—	—	SS400
基準強度		F	N/mm ²	258
鉄塔取付部	高さ	H	mm	380
	ボルト呼び径	D	mm	60
	ボルト孔径	d	mm	70
	板厚	t	mm	22
	断面積	A	mm ²	6820
	支圧面積	A _p	mm ²	1320
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	44
	支圧応力度	σ_p	N/mm ²	230
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258
	許容支圧応力度	f _p	N/mm ²	351
	引張応力度比	σ_t / f_t	—	0.18
	支圧応力度比	σ_p / f_p	—	0.66

表 3-2(4) 第 2 支持点部の接合ボルトの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	303.0
材質		—	—	SS400
基準強度		F	N/mm ²	236
接合ボルト	ボルト呼び径	D	mm	60
	接触幅	b	mm	46
	支持点間距離	ℓ	mm	75
	曲げモーメント	M	kN・mm	3939
	せん断力	Q	kN	152
	断面係数	Z	mm ³	21200
	せん断断面積	A _s	mm ²	2827
	曲げ応力度	σ _b	N/mm ²	186
	せん断応力度	τ	N/mm ²	54
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	236
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	136
	曲げ応力度比	σ _b / f _b	—	0.79
	せん断応力度比	τ / f _s	—	0.40

表 3-3(1) 第 3 支持点部の連結材（筒身側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	218.3
材質		—	—	SM490A
基準強度		F	N/mm ²	357
鉄塔取付部	高さ	H	mm	250
	ボルト呼び径	D	mm	80
	ボルト孔径	d	mm	83
	板厚	t	mm	25
	断面積	A	mm ²	4175
	支圧面積	A _p	mm ²	2000
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	52
	支圧応力度	σ_p	N/mm ²	109
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	357
	許容支圧応力度	f _p	N/mm ²	486
	引張応力度比	σ_t / f_t	—	0.15
	支圧応力度比	σ_p / f_p	—	0.23

表 3-3(2) 第 3 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	方向	
				0°	45°
支持点最大荷重		P	kN	218.3	
材質		—	—	SS400	
基準強度		F	N/mm ²	258	
ヤング係数		E	N/mm ²	205000	
断面寸法	リング幅	B	mm	250	
	リング高さ	H	mm	250	
	フランジ板厚	t _f	mm	14	
	ウェブ板厚	t _w	mm	9	
軸力		N	kN	208.8	275.2
曲げモーメント		M	kN・m	19.4	32.4
せん断力		Q	kN	63.8	66.4
断面積		A	mm ²	8998	
断面係数		Z	× 10 ³ mm ³	846	
せん断断面積		A _s	mm ²	1998	
圧縮応力度		σ _c	N/mm ²	23	31
曲げ応力度		σ _b	N/mm ²	23	38
せん断応力度		τ	N/mm ²	32	33
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	242	
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	258	
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	148	
圧縮と曲げの応力度比		σ_c / f_c + σ_b / f_b	—	0.19	0.28
せん断応力度比		τ / f_s	—	0.22	0.23

表 3-3(3) 第 3 支持点部の連結材（鉄塔側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	218.3
材質		—	—	SM490A
基準強度		F	N/mm ²	357
筒身取付部	高さ	H	mm	250
	ボルト呼び径	D	mm	80
	ボルト孔径	d	mm	83
	板厚	t	mm	2PL-19
	断面積	A	mm ²	6346
	支圧面積	A _p	mm ²	3040
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	34
	支圧応力度	σ_p	N/mm ²	72
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	357
	許容支圧応力度	f _p	N/mm ²	486
	引張応力度比	σ_t / f_t	—	0.10
	支圧応力度比	σ_p / f_p	—	0.15

表 3-3(4) 第 3 支持点部の接合ボルトの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	218.3
材質		—	—	SNR490B
基準強度		F	N/mm ²	324
接合ボルト	ボルト呼び径	D	mm	80
	接触幅	b	mm	81
	支持点間距離	ℓ	mm	110
	曲げモーメント	M	kN・mm	3793
	せん断力	Q	kN	109
	断面係数	Z	mm ³	50300
	せん断断面積	A _s	mm ²	5027
	曲げ応力度	σ _b	N/mm ²	75
	せん断応力度	τ	N/mm ²	22
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	324
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	187
	曲げ応力度比	σ _b / f _b	—	0.24
	せん断応力度比	τ / f _s	—	0.12

表 3-4(1) 第 4 支持点部の連結材（鉄塔側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	86.1
材質		—	—	SM490A
基準強度		F	N/mm ²	357
筒身取付部	高さ	H	mm	115
	ボルト呼び径	D	mm	35
	ボルト孔径	d	mm	35.2
	板厚	t	mm	2PL-20
	断面積	A	mm ²	3192
	支圧面積	A _p	mm ²	1400
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	27
	支圧応力度	σ_p	N/mm ²	62
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	357
	許容支圧応力度	f _p	N/mm ²	486
	引張応力度比	σ_t / f_t	—	0.08
	支圧応力度比	σ_p / f_p	—	0.13

注：筒身側の金物は鉄塔側より明らかに断面が大きいため、省略する。

表 3-4(2) 第 4 支持点部の接合ボルトの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
支持点最大荷重		P	kN	86.1
材質		—	—	SUS304N2A
基準強度		F	N/mm ²	325
接合ボルト	ボルト呼び径	D	mm	35
	接触幅	b	mm	44
	支持点間距離	ℓ	mm	82
	曲げモーメント	M	kN・m	1292
	せん断力	Q	kN	43
	断面係数	Z	mm ³	4210
	せん断断面積	A _s	mm ²	962
	曲げ応力度	σ _b	N/mm ²	307
	せん断応力度	τ	N/mm ²	45
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	325
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	187
	曲げ応力度比	σ _b / f _b	—	0.95
	せん断応力度比	τ / f _s	—	0.25