

丸形直線形テーパポール構造計算

1. 設計条件

1) 規格・寸法

器具	重量	W1= 20.00 N
	受風面積(側面)	A = 0.200 m <sup>2</sup>
	受風面積(正面)	A' = 0.150 m <sup>2</sup>
	器具重心距離	L1= 0.400 m

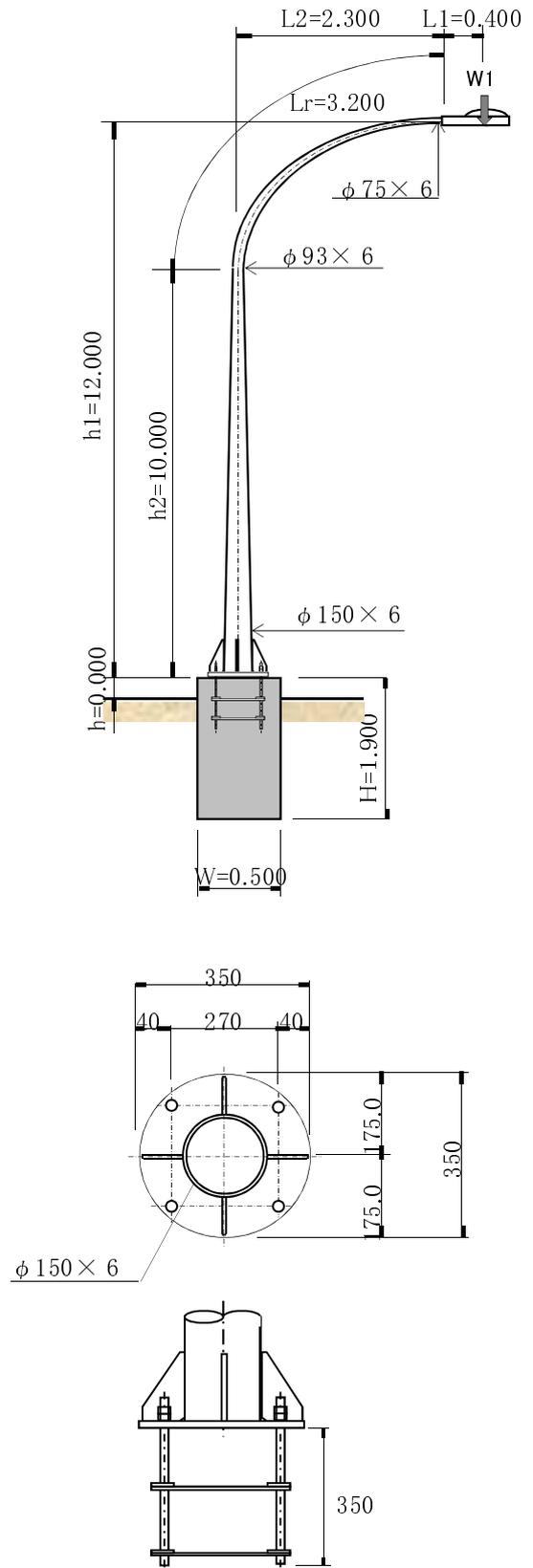
支柱	形状	○	○	単位	
	幅	D	150	75	mm
	厚さ	t	6	6	mm
	単位重量	gw	209.1	100.2	N/m
	断面積	A	27.14	13.01	cm <sup>2</sup>
	断面係数	Z	94	20.8	cm <sup>3</sup>
	断面2次モーメント	I	705	78	cm <sup>4</sup>
	断面2次半径	i	5.1	2.45	cm
	支柱高		h1= 12.000 m		
			h2= 10.000 m		
アーム長		L2= 2.300 m			
		Lr= 3.200 m			

ベースプレート	D1=	270 mm	
	D2=	350 mm	
	t=	28 mm	
ボルト	径	M-	24 mm
	本数	n=	4 本
	埋込長	L=	350 mm
リブプレート	厚さ	t=	12 mm
	長さ	L=	180 mm
すみ肉溶接	S=	6 mm	
	R=	25 mm	

2) 許容応力度

部材	応力度		長期	短期
			N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
支柱・梁	曲げ	fb	160	240
	せん断	fs	90	135
支柱	合成	fc	15	23
コンクリート	圧縮	fc	4	6
	付着	fa	0.8	1.2
アンカーボルト	引張	ft	120	180
ベース	曲げ	fb	140	210
	せん断	fs	80	120

(側面)



2. 風圧

風荷重	$P_o = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot C_d}{2}$	空気密度	$\rho = 1.225 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$
風速	$V = 60 \text{ m/s}$		
風圧係数	器具 $C_d = 0.7$	$P_{o1} = 1544$	$\text{N/m}^2$
	柱 $C_d = 0.7$	$P_{o2} = 1544$	$\text{N/m}^2$

3. 荷重の算定

1) 固定荷重

(a) 重量

器具	$W_1 = 20.0 \text{ N}$		
支柱	$W_2 = h_2 \cdot g_w = 10.000 \times 1/2 \times (209.1 + 127.0) = 1680.5 \text{ N}$		
アーム	$W_3 = L_r \cdot g_w = 3.200 \times 1/2 \times (127.0 + 100.2) = 363.5 \text{ N}$		
	$N_x = W_1 + W_2 + W_3 = 2064 \text{ N}$	$N_y = 2064 \text{ N}$	

(b) 鉛直モーメント

		(側面)	(正面)
器具	$M_{w1} = W_1 \cdot (L_1 + L_2) = 20 \times (0.4 + 2.3) = 54.00 \text{ N} \cdot \text{m}$		$0 \text{ N} \cdot \text{m}$
アーム	$M_{w2} = W_3 \cdot L_2/2 = 363.5 \times 3.2/2 = 581.6 \text{ N} \cdot \text{m}$		$0 \text{ N} \cdot \text{m}$
支柱断面算定荷重	$M_w = M_{w1} + M_{w2} = 635.60 \text{ N} \cdot \text{m}$		$0 \text{ N} \cdot \text{m}$

2) 風荷重

(a) 水平力

器具	$P_1 = A \cdot P_{o1} = 0.200 \times 1544 \text{ N/m}^2 = 309 \text{ N}$	$232 \text{ N}$
柱	$P_2 = D \cdot h_2 \cdot P_{o2} = 1/2 \times (0.15 + 0.093) \times 1544 \text{ N/m}^2 = 1876 \text{ N}$	$1876 \text{ N}$
アーム	$P_3 = D \cdot L_r \cdot P_{o2} = 1/2 \times (0.093 + 0.075) \times 3.200 \times 1544 \text{ N/m}^2 = 415 \text{ N}$	$259 \text{ N}$
計	$H_x = P_1 + P_2 + P_3 = 2600 \text{ N}$	$2367 \text{ N}$

(b) ねじりモーメント

器具	$M_1 = P_1 \cdot (L_1 + L_2) = 309 \times 2.700 = 834 \text{ N} \cdot \text{m}$	$0 \text{ N} \cdot \text{m}$
アーム	$M_2 = P_3 \cdot L_2/2 = 415 \times 1.150 = 477 \text{ N} \cdot \text{m}$	$0 \text{ N} \cdot \text{m}$
支柱算定用荷重	$M_h = M_1 + M_2 = 1311 \text{ N}$	$0 \text{ N} \cdot \text{m}$

(c)風時曲げモーメント		(側面)	(正面)
器具	$Ma1 = P1 \cdot (h2 + (h1 - h2)/2) = 309 \times 11.000$	$= 3399 \text{ N}\cdot\text{m}$	$2552 \text{ N}\cdot\text{m}$
柱	$Ma2 = P2 \cdot (2 \cdot D' + D)/(D' + D) \cdot h2/3$		
	$= 1876 \times 4.609$	$= 8647 \text{ N}\cdot\text{m}$	$8647 \text{ N}\cdot\text{m}$
	$Ma2 = P3 \cdot (h2 + (2 \cdot D' + D)/(D' + D) \cdot (h1 - h2)/3)$		
	$= 415 \times 10.964$	$= 4550 \text{ N}\cdot\text{m}$	$2840 \text{ N}\cdot\text{m}$
計	$Ma = Ma1 + Ma2 + Ma2$	$= 16596 \text{ N}\cdot\text{m}$	$14039 \text{ N}\cdot\text{m}$

#### 4. 支柱の断面算定

##### (1)応力

曲げモーメント	$Ma = 16596 \text{ N}\cdot\text{m}$
鉛直モーメント	$Mw = 636 \text{ N}\cdot\text{m}$
ねじりモーメント	$Mh = 1311 \text{ N}\cdot\text{m}$
最大曲げモーメント	$M_{max} = \sqrt{Ma^2 + Mw^2} = 16608 \text{ N}\cdot\text{m}$

##### (2)使用部材

形状	$\phi 150 \times 6 \text{ mm}$
断面積	$A_2 = 27.14 \text{ cm}^2$
断面係数	$Z_2 = 94 \text{ cm}^3$
断面2次モーメント	$I_2 = 705 \text{ cm}^4$
断面極2次モーメント	$I_p = 1410 \text{ cm}^4$
断面2次半径	$i = 5.1 \text{ cm}$

##### (3)圧縮材の細長比

座屈長	$L_k = h1 \times \frac{1}{\sqrt{k}} = \frac{1}{\sqrt{0.25}} = 24.000 \text{ m}$
圧縮材の細長比	$\lambda = L_k / i = 471$
許容圧縮応力度	$fc = 15 \text{ N/mm}^2$
許容曲げ応力度	$fb = 160 \text{ N/mm}^2$

##### (4)断面算定

圧縮応力度  $\sigma_c = \frac{N_x}{A_2} = \frac{2064}{2714} = 0.76 \text{ N/mm}^2$

曲げ応力度  $\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z_2} = \frac{16608}{94000} = 176.68 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力度  $\sigma = \sigma_c + \sigma_b = 177.44 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{\sigma_c}{fc \times 1.5} + \frac{\sigma_b}{fb \times 1.5} = \frac{0.76}{23} + \frac{176.68}{240}$$

$$= 0.77 < 1.0 \dots\dots\dots \text{OK}$$

(5)せん断力

ねじりせん断応力度

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{Mh \cdot D/2}{I_p} \\ &= \frac{1311000}{14100000} \times \frac{150.0}{2} = 6.97 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

最大せん断応力度

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= 1/2 \times \sqrt{\sigma^2 + 4 \times \tau^2} \\ &= 1/2 \times \sqrt{177.44^2 + 4 \times 6.97^2} = 88.99 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\frac{\tau_{\max}}{f_s \times 1.5} = \frac{88.99}{90 \times 1.5} = 0.66 < 1.0 \dots\dots \text{OK}$$

(6)合成力

最大合成応力度

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \sigma/2 + \tau_{\max} = 177.44/2 + 88.99 = 177.71 \text{ N/mm}^2 \\ \frac{\sigma_{\max}}{f_b \times 1.5} &= \frac{177.71}{160 \times 1.5} = 0.74 < 1.0 \dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

## 5. 柱脚部の算定

### 1) 応力

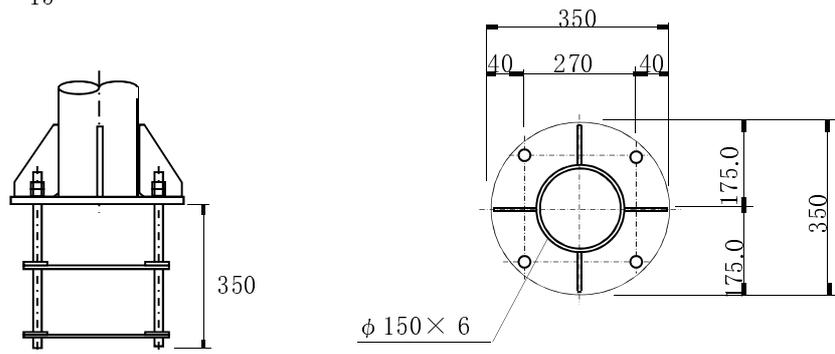
鉛直力	$N_x =$	2064	N
水平力	$H_x =$	2600	N
曲げモーメント	$M_a =$	16596	N・m
ねじりモーメント	$M_h =$	1311	N・m

### 2) 中立軸の算定

偏心距離  $e_0 = \frac{M_a}{N_x} = \frac{16596}{2064} \times \frac{1000}{1} = 8041 \text{ mm}$

#### ベース断面寸法

縦方向幅	$D =$	350	mm
横方向幅	$b =$	350	mm
端寄距離	$d' =$	40	mm
有効長さ	$d =$	310	mm
ヤング係数比	$n_0 =$	15	



#### 引張側ボルト断面積

$$M = 24 \quad n = 4 \quad \text{本を使用する}$$

引張側のボルトは 2 本でモーメントを負担する

$$\text{断面積} \quad A_s = \pi / 4 \times 24^2 = 452 \text{ mm}^2$$

$$a_t = 452.0 \times 2 = 904 \text{ mm}^2$$

$$X_n^3 + 3 \cdot (e - D/2) X_n^2 - 6 \cdot n_0 \cdot a_t / b \cdot (e + D/2 - d') \cdot (d - X_n) = 0$$

$$X_n^3 + 3 \cdot (8041 - 350 / 2) X_n^2 - 6 \times 15 \times 904 / 350 \times (8041 + 350 / 2 - 40) \times (310 - X_n) = 0$$

$$X_n^3 + 23598 X_n^2 + 1900570 X_n - 589176576 = 0$$

$$X_n = 123 \text{ mm}$$

3) コンクリートの最大圧縮応度の算定

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot N_x \cdot (e + D/2 - d')}{b \cdot X_n \cdot (d - X_n/3)}$$

$$= \frac{2}{350} \times \frac{2064}{123} \times \left( \frac{8041}{310} + \frac{350}{123} \left/ \frac{2 - 40}{3} \right. \right)$$

$$= 2.91 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_c}{f_c \times 1.5} = \frac{2.91}{4 \times 1.5} = 0.49 < 1.0 \dots\dots \text{OK}$$

4) アンカーボルトの算定

引張力

$$T = \frac{N_x \cdot (e - D/2 + X_n/3)}{d - X_n/3}$$

$$= \frac{2064}{310} \times \left( \frac{8041}{310} - \frac{350}{123} \left/ \frac{2 + 123}{3} \right. \right)$$

$$= 60669 \text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{T}{a_t} = \frac{60669}{904} = 67.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_t}{f_t \times 1.5} = \frac{67.11}{120 \times 1.5} = 0.37 < 1.0 \dots\dots \text{OK}$$

埋込長の算定

$$L = \frac{\sigma_t \times d}{6 \times f_a} = \frac{67.11 \times 24}{6 \times 0.8 \times 1.5}$$

$$= 224 < 350 \text{ mm} \dots\dots \text{OK}$$

5) ベースプレート

(a) 応力算定

$$\sigma_c = 2.91 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_c' &= \frac{\sigma_c \times (X_n - L_x)}{X_n} = \frac{2.91 \times (123 - 175)}{123} \\ &= -1.23 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{\sigma_c + \sigma_c'}{2} = \frac{2.91 + (-1.23)}{2} = 0.84 \text{ N/mm}^2$$

リブプレートに囲まれた部分を固定版として算定する

二辺固定版

$$L_y = D_2 / 2 = 350 / 2 = 175 \text{ mm}$$

$$L_x = D_2 / 2 = 350 / 2 = 175 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{175}{175} = 1.00$$

$$\alpha = 0.293$$

自由辺曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_0 &= \omega \times L_x^2 \times \alpha \\ &= 0.84 \times 175^2 \times 0.293 = 7537 \text{ N}\cdot\text{mm/mm} \end{aligned}$$

(b) 断面算定

単位幅あたりの断面性能

$$\begin{aligned} Z_5 &= b \cdot t^2 / 6 \\ &= 1.0 \times 28^2 / 6 = 131 \text{ mm}^3/\text{mm} \end{aligned}$$

曲げ応力度

$$\sigma_t = \frac{M_0}{Z_5} = \frac{7537}{131} = 57.53 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_t}{f_b \times 1.5} = \frac{57.53}{140 \times 1.5} = 0.27 < 1.0 \dots\dots \text{OK}$$

$f_b$ : 面外荷重に対する許容曲げ応力度

6) リブプレート

(a)形状

厚さ  $t = 12 \text{ mm}$

長さ  $L = 180 \text{ mm}$

(b)応力算定

せん断力

$$Q_2 = \omega \times L_x^2 \times 2$$

$$= 0.84 \times 175^2 \times 2 = 51450 \text{ N}$$

せん断応力度

$$\tau = \frac{Q_2}{t \times L} = \frac{51450}{12 \times 180} = 23.82 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau}{f_t \times 1.5} = \frac{23.82}{120 \times 1.5} = 0.13 < 1.0 \dots\dots \text{OK}$$

(c)溶接部

すみ肉  $S = 6.0 \text{ mm}$  両側溶接とする

のど厚  $a = 0.7 \times 6.0 = 4.2 \text{ mm}$

スカラップ長  $R = 25 \text{ mm}$

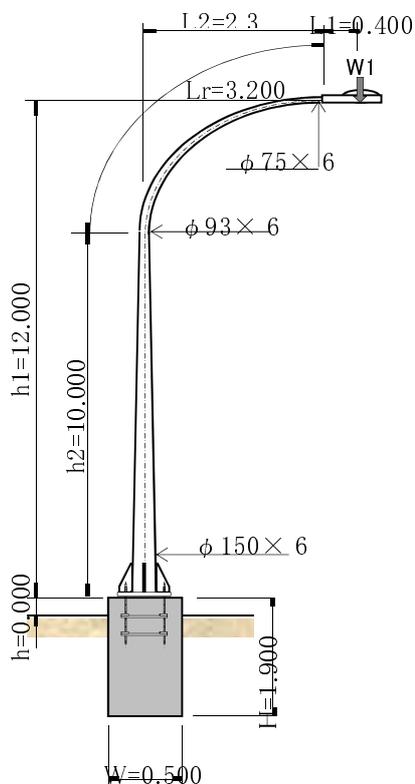
溶接長  $L_s = L - R - 2 \cdot S$   
 $= 180 - 25 - 2 \times 6 = 143 \text{ mm}$

せん断応力度

$$\tau_s = \frac{Q_2}{a \cdot L_s \cdot 2} = \frac{51450}{4.2 \times 143 \times 2} = 42.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_s}{f_s \times 1.5} = \frac{42.83}{80 \times 1.5} = 0.36 < 1.0 \dots\dots \text{OK}$$

丸形直線形テーパポール構造計算 計算結果



荷重

状態		側面	正面
鉛直力	(kN)	Nx= 2.064	Ny = 2.064
水平力	(kN)	Hx= 2.600	Hy = 2.367
曲げモーメント	(kN・m)	Mx= 16.596	My = 14.039

部材		応力 N/mm <sup>2</sup>	許容応力度 N/mm <sup>2</sup>	応力 許容応力	判定	
支柱	φ 150	曲げ圧縮	177.44	fc=23 fb=240	0.77	OK
		せん断	88.99	135	0.66	OK
		合成応力	177.71	240	0.74	OK
アンカーボルト	コンクリート	圧縮	2.91	6	0.49	OK
	ボルト	引張	67.11	180	0.37	OK
	埋込長	mm	224.00	350	0.64	OK
ベース	プレート	曲げ	14.26	210	0.07	OK
	リブプレート	せん断	16.02	180	0.09	OK
	リブプレート溶接部	せん断	28.80	120	0.24	OK