

●強軸まわりに曲げを受ける H 形断面柱の設計 (SUS304N2A)

図示の荷重を受ける材長 6m の H 形断面柱を設計する。

(1) 設計用応力

短期荷重時

$$N=2.50 \times 10^6 \text{ N}$$

$$M_1=5.50 \times 10^8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_2=4.00 \times 10^8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Q=1.58 \times 10^5 \text{ N}$$

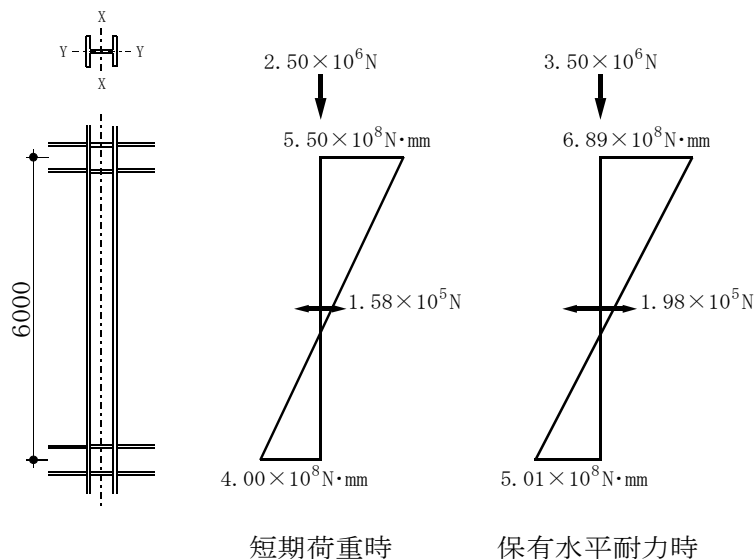
保有水平耐力時

$$N=3.50 \times 10^6 \text{ N}$$

$$M_1=6.05 \times 10^8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_2=4.40 \times 10^8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Q=1.74 \times 10^5 \text{ N}$$



(2) 使用 SUS 材

H-400×400×13×21 (SUS304N2A)

・断面性能

$$A=2.187 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_x=6.66 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_y=2.24 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$Z_x=3.33 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$Z_y=1.12 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_x=175 \text{ mm}$$

$$i_y=101 \text{ mm}$$

$$Z_{xp}=3.67 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$Z_{yp}=1.70 \times 10^6 \text{ cm}^3$$

・設計用諸値

$$h=400 \text{ mm}, d=358 \text{ mm}, b=200 \text{ mm}$$

$$N_y = A \cdot F_y = 2.187 \times 10^4 \times 325 = 7.11 \times 10^6 \text{ N}$$

$$M_y = Z_x \cdot F_y = 3.33 \times 10^6 \times 325 = 1.08 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_p = Z_{xp} \cdot F_y = 3.67 \times 10^6 \times 325 = 1.19 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

サンブナンのねじり定数

$$J = \frac{2}{3} W \cdot t_f^3 + \frac{1}{3} d \cdot t_w^3 = \frac{2}{3} \times 400 \times 21^3 + \frac{1}{3} \times 358 \times 13^3 = 2.73 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

・断面の幅厚比 (2.4.1 断面の幅厚比)

$$\left(\frac{b/t_f}{18}\right)^2 + \left(\frac{d/t_w}{51}\right)^2 = \left(\frac{200/21}{18}\right)^2 + \left(\frac{358/13}{51}\right)^2 = 0.57 \leq 1$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{358}{13} = 28 \leq 41$$

・・・OK

(3) 短期に生ずる力に対する許容耐力の検討

1) 骨組の安定 (2.4.2 骨組の安定)

$$k_c^2 \cdot c \lambda^2 \cdot n_y \leq 1 \quad (2.4.1)$$

を満足することを確認する。

弱軸方向も剛接合とし、表 2.2 より $k_c = 1.2$ とする。

$$N_{ke} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_Y}{\ell^2} = \frac{\pi^2 \times 1.93 \times 10^5 \times 2.24 \times 10^8}{6000^2} = 1.19 \times 10^7 \text{ N}$$

$$c \lambda = \sqrt{\frac{N_y}{N_{ke}}} = \sqrt{\frac{7.11 \times 10^6}{1.19 \times 10^7}} = 0.773$$

$$n_y = \frac{N}{N_y} = \frac{2.50 \times 10^6}{7.11 \times 10^6} = 0.352$$

$$k_c^2 \cdot c \lambda^2 \cdot n_y = 1.2^2 \times 0.773^2 \times 0.352 = 0.30 \leq 1 \quad \dots \text{OK}$$

2) 曲げおよび軸力 (2.4.3(1) 強軸まわりに曲げを受ける H 形断面)

$$\frac{N}{X N_c} + \frac{M_1}{X M_a} \leq 1 \quad (2.4.2)$$

$$\frac{N}{Y N_c} + 0.85 \frac{M_1}{M_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad M_1 \leq M_b \quad (2.4.3)$$

を満足することを確認する。

強軸方向の許容圧縮耐力 (2.2.2 許容圧縮耐力)

$$X N_{ke} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_X}{\ell^2} = \frac{\pi^2 \times 1.93 \times 10^5 \times 6.66 \times 10^8}{6000^2} = 3.52 \times 10^7 \text{ N}$$

$$c \lambda = \sqrt{\frac{N_y}{X N_{ke}}} = \sqrt{\frac{7.11 \times 10^6}{3.52 \times 10^7}} = 0.449$$

よって $0.2 < c \lambda \leq 1.5$ であるから、2.2.2(2)を適用する。

$$X N_c = \left(\frac{2}{3}\right) (1.12 - 0.6 \cdot c \lambda) N_y \cdot 1.5 = \left(\frac{2}{3}\right) (1.12 - 0.6 \times 0.449) \times 7.11 \times 10^6 \times 1.5 = 6.05 \times 10^6 \text{ N}$$

弱軸方向の許容圧縮耐力 (2.2.2 許容圧縮耐力)

$$Y N_{ke} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_Y}{\ell^2} = \frac{\pi^2 \times 1.93 \times 10^5 \times 2.24 \times 10^8}{6000^2} = 1.19 \times 10^7 \text{ N}$$

$${}_c\lambda = \sqrt{\frac{N_y}{Y N_{ke}}} = \sqrt{\frac{7.11 \times 10^6}{1.19 \times 10^7}} = 0.773$$

よって $0.2 < {}_c\lambda \leq 1.5$ であるから、2.2.2(2)を適用する。

$$Y N_c = \left(\frac{2}{3}\right)(1.12 - 0.6 \cdot {}_c\lambda) N_y \cdot 1.5 = \left(\frac{2}{3}\right)(1.12 - 0.6 \times 0.773) \times 7.11 \times 10^6 \times 1.5 = 4.67 \times 10^6 \text{ N}$$

横座屈許容曲げ耐力 (2.3.2 強軸まわりに曲げを受ける H 形鋼断面材)

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{4.00 \times 10^8}{5.50 \times 10^8} = 0.727$$

よって $-0.5 \leq M_2/M_1 \leq +1$ の場合となる。

$$P_{Ey} = Y N_{ke} = 1.19 \times 10^7 \text{ N}$$

表 2.4 より、 $k_b = 0.55$

$$\therefore M_{e0} = P_{Ey} \sqrt{\frac{h^2}{4 \cdot k_b^4} + \frac{G \cdot J}{P_{Ey}}} = 1.19 \times 10^7 \times \sqrt{\frac{400^2}{4 \times 0.55^4} + \frac{0.74 \times 10^5 \times 2.73 \times 10^6}{1.19 \times 10^7}} = 8.02 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 = 1.75 + 1.05 \left(\frac{4.00 \times 10^8}{5.50 \times 10^8}\right) + 0.3 \left(\frac{4.00 \times 10^8}{5.50 \times 10^8}\right)^2 = 2.67$$

$\therefore C_b = 2.3$ とする。

$$M_e = C_b \cdot M_{e0} = 2.30 \times 8.02 \times 10^9 = 1.84 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore {}_b\lambda = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{1.08 \times 10^9}{1.84 \times 10^{10}}} = 0.242$$

$${}_b\lambda_y = 0.7 + 0.17 \left(\frac{M_2}{M_1}\right) - 0.07 \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 = 0.7 + 0.17 \left(\frac{4.00 \times 10^8}{5.50 \times 10^8}\right) - 0.07 \left(\frac{4.00 \times 10^8}{5.50 \times 10^8}\right)^2 = 0.787$$

よって ${}_b\lambda \leq {}_b\lambda_y$ であるから、(1) (a)を適用する。

$$M_b = \frac{M_y}{1.5} \cdot 1.5 = 1.08 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

強軸まわりの許容曲げ耐力

$${}_x M_a = \frac{M_y}{1.5} \cdot 1.5 = 1.08 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

断面検討 (2.4.3 曲げと圧縮を受ける材)

$$\frac{N}{{}_x N_c} + \frac{M_1}{{}_x M_a} = \frac{2.50 \times 10^6}{6.05 \times 10^6} + \frac{5.50 \times 10^8}{1.08 \times 10^9} = 0.92 \leq 1$$

$$\frac{N}{Y N_c} + 0.85 \frac{M_1}{M_b} = \frac{2.50 \times 10^6}{4.67 \times 10^6} + 0.85 \times \frac{5.50 \times 10^8}{1.08 \times 10^9} = 0.97 \leq 1$$

$$M_1 = 5.50 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm} \leq M_b = 1.08 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \cdot \cdot \cdot \text{OK}$$

3) せん断 (2.5 せん断力に対する検討)

許容せん断耐力

$$Q_a = A_w \frac{F_y}{1.5\sqrt{3}} 1.5 = 358 \times 13 \times \frac{325}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5 = 8.73 \times 10^5 \text{ N}$$

判定

$$Q = 1.58 \times 10^5 \text{ N} < Q_a = 8.73 \times 10^5 \text{ N} \quad \cdot \cdot \cdot \text{OK}$$

(4) 終局耐力の検定

1) 幅厚比の検討 (3.1 断面の幅厚比)

表 3.1 によって検討する。

$$\frac{b}{t_f} = \frac{200}{21} = 9.52, \quad \frac{d}{t_w} = \frac{358}{13} = 27.5$$

FA クラスの検討

$$\left(\frac{b/t_f}{11}\right)^2 + \left(\frac{d/t_w}{31}\right)^2 = \left(\frac{9.52}{11}\right)^2 + \left(\frac{27.5}{31}\right)^2 = 1.54 > 1 \quad \text{よって、FA クラスには適合しない。}$$

FB クラスの検討

$$\left(\frac{b/t_f}{13}\right)^2 + \left(\frac{d/t_w}{38}\right)^2 = \left(\frac{9.52}{13}\right)^2 + \left(\frac{27.5}{38}\right)^2 = 1.06 > 1 \quad \text{よって、FB クラスには適合しない。}$$

FC クラスの検討

$$\left(\frac{b/t_f}{18}\right)^2 + \left(\frac{d/t_w}{51}\right)^2 = \left(\frac{9.52}{18}\right)^2 + \left(\frac{27.5}{51}\right)^2 = 0.57 < 1$$

$$\frac{d}{t_w} = 27.5 < 41 \quad \text{よって、FC クラスに適合する。}$$

2) 骨組の安定 (2.4.2 骨組の安定)

$$k_c^2 \cdot \lambda^2 \cdot n_y \leq 1 \quad (2.4.1)$$

を満足することを確認する。

弱軸方向も剛接合とし、表 2.2 より $k_c = 1.2$ とする。

$$N_{ke} = 1.19 \times 10^7 \text{ N} \quad (\text{短期許容応力度設計にて求めている})$$

$${}_c \lambda = 0.773 \quad (\text{短期許容応力度設計にて求めている})$$

$$n_y = \frac{N}{N_y} = \frac{3.50 \times 10^6}{7.11 \times 10^6} = 0.492$$

$$k_c^2 \cdot c \lambda^2 \cdot n_y = 1.2^2 \times 0.773^2 \times 0.492 = 0.42 \leq 1 \quad \dots \text{OK}$$

3) 柱の軸力比と細長比制限 (3.5.1 柱の軸力比と細長比制限)

$$c \lambda^2 \left(\frac{16 \sqrt{n_y}}{1.4 + \kappa} - 0.6 \right) \leq 1$$

を満足することを確認する。

$$c \lambda = \sqrt{\frac{N_y}{x N_{ke}}} = 0.449 \quad (\text{強軸方向の許容圧縮耐力にて求めている})$$

$$n_y = \frac{N}{N_y} = \frac{3.50 \times 10^6}{7.11 \times 10^6} = 0.492$$

$$\kappa = \frac{M_2}{M_1} = \frac{4.40 \times 10^8}{6.05 \times 10^8} = 0.727$$

$$\therefore c \lambda^2 \cdot \left(\frac{16 \cdot \sqrt{n_y}}{1.4 + \kappa} - 0.6 \right) = 0.449^2 \times \left(\frac{16 \times \sqrt{0.492}}{1.4 + 0.727} - 0.6 \right) = 0.94 < 1.0 \quad \dots \text{OK}$$

4) 曲げおよび軸力 (3.5.2 曲げと圧縮軸力を受ける材)

$n_y = 0.492 > 0.15$ であるから、(3.5.3)式を適用し、

$$\frac{N}{N_y} + 0.85 \left(\frac{M}{M_p} \right) \leq 1.0$$

を満足することを確認する。

$$\frac{N}{N_y} + 0.85 \left(\frac{M}{M_p} \right) = \frac{3.50 \times 10^6}{7.11 \times 10^6} + 0.85 \frac{6.89 \times 10^8}{1.19 \times 10^9} = 0.98 \leq 1.0 \quad \dots \text{OK}$$

5) 曲げねじり座屈補剛 (3.5.2 曲げと圧縮軸力を受ける材)

$$\frac{2 \cdot M_2 - N \cdot d}{2 \cdot M_1 + N \cdot d} = \frac{2 \times 5.01 \times 10^8 - 3.50 \times 10^6 \times 358}{2 \times 6.89 \times 10^8 + 3.50 \times 10^6 \times 358} = -0.095$$

よって $-0.5 \leq (2M_2 - N \cdot d) / (2M_1 + N \cdot d) \leq 1$ であるから、(a)を適用する。

$$c \lambda_y = 0.7 + 0.17 \left(\frac{2 \cdot M_2 - N \cdot d}{2 \cdot M_1 + N \cdot d} \right) - 0.07 \left(\frac{2 \cdot M_2 - N \cdot d}{2 \cdot M_1 + N \cdot d} \right)^2$$

$$= 0.7 + 0.17(-0.095) - 0.07(-0.095)^2 = 0.683$$

$$M_{e0} = 8.02 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 = 1.75 + 1.05 \left(\frac{5.01 \times 10^8}{6.89 \times 10^8} \right) + 0.3 \left(\frac{5.01 \times 10^8}{6.89 \times 10^8} \right)^2 = 2.67$$

∴ $C_b = 2.3$ とする。

$$M_e = C_b \cdot M_{e0} = 2.30 \times 8.02 \times 10^9 = 1.84 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$${}_c\lambda = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{1.08 \times 10^9}{1.84 \times 10^{10}}} = 0.24 \leq 0.6 \cdot {}_c\lambda_y = 0.6 \times 0.683 = 0.41 \quad \dots \text{OK}$$

よって(3.5.4)式を満足するから、曲げねじり座屈補剛は不要である。

柱（特に中柱）に曲げねじり座屈防止用の補剛材を設けることは設計的に難しいので、座屈補剛が不要となるような断面を選択することが望ましい。