

# ボルト継手計算書

H400 × 400 × 13 × 21

建築仕様

(SI単位)

ヒロセ株式会社

# ボルト継手 (H400 × 400) の設計

## 1. 設計条件

母材にボルト孔がある場合、引張力に対し、ボルト孔分が抵抗できないため、ボルト孔を控除した母材の抵抗力を設計強度とする。

添接板の設計は、設計強度に対し、添接板の断面性能に応じて、フランジとウェブに応力を分配する。

### (1) 許容応力度

(母材と添接板の材質は同一とする。)

(鋼材コード) SS400-K

(ボルトコード) F10T-K

「鋼構造設計規準 (日本建築学会)」に準拠する。

仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 <sub>H</sub>	$ba =_H$	$ta =$	235 N/mm <sup>2</sup> (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度 <sub>H</sub>	$a =$	135	N/mm <sup>2</sup>
H形鋼の許容支圧応力度 <sub>H</sub>	$a =$	441	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度 <sub>P</sub>	$ba =_P$	$ta =$	235 N/mm <sup>2</sup> (SS400)
添接板の許容せん断応力度 <sub>P</sub>	$a =$	135	N/mm <sup>2</sup>
添接板の許容支圧応力度 <sub>P</sub>	$a =$	441	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
ボルトの許容せん断応力度 <sub>B</sub>	$a =$	220	N/mm <sup>2</sup> (F10T)

### (2) 設計母材

コード: H400

**H形鋼: H400 × 400 × 13 × 21**

### (3) 添接板

	コード	< <sub>p</sub> t>	< <sub>p</sub> b>	< <sub>p</sub> L>
フランジ	2・PL	12	400	810
	4・PL	16	160	810
ウェブ	2・PL	9	280	460

### (4) ボルト

ボルト直径 (M22)  $d = 2.20$  cm

ボルト孔径 ( $d + 3mm$ )  $dh = 2.50$  cm

フランジのボルト本数  $n1 = 6$  本 (軸方向)  $n2 = 2$  本 (軸横断)

ウェブのボルト本数  $m1 = 3$  本 (軸方向)  $m2 = 3$  本 (軸横断)

縁端距離 (応力方向)  $e1 = 4.00$  cm

縁端距離 (その他)  $e2 = 6.00$  cm

縁端距離 (応力方向)  $e3 = 6.00$  cm

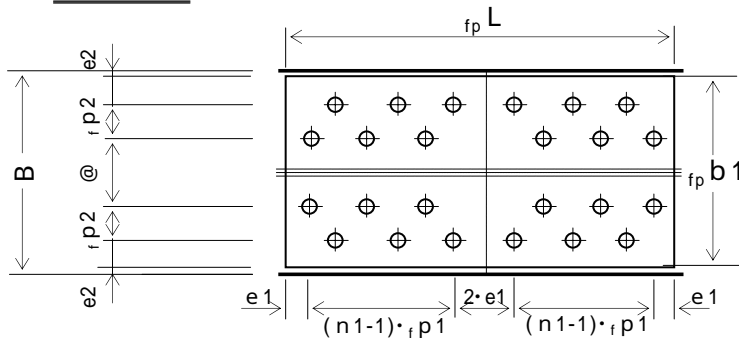
フランジボルトの軸方向間隔  $f_p1 = 6.5$  cm

フランジボルトの横断方向間隔  $f_p2 = 4.0$  cm

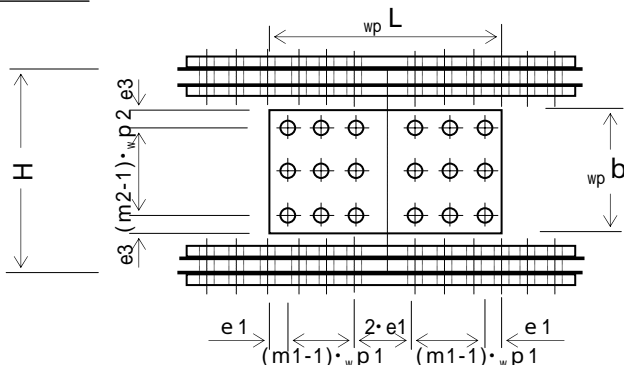
ウェブボルトの軸方向間隔  $w_p1 = 7.5$  cm

ウェブボルトの横断方向間隔  $w_p2 = 8.0$  cm

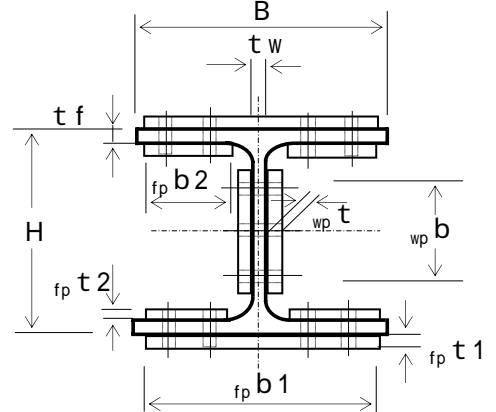
平面図



側面図



断面図

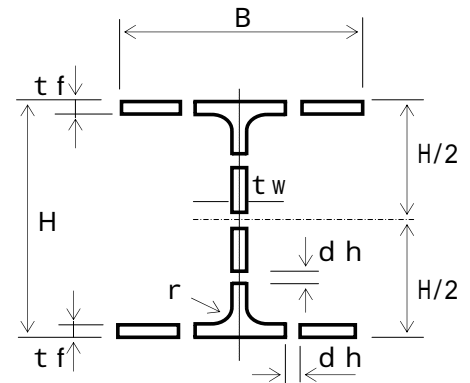


## 2. 継手部の設計

### (1) 母材の断面性能計算

#### 1) 母材 H 400 × 400 × 13 × 21

H 形 鋼 の 高 さ	H =	40	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	40	cm
ウ エ ブ 厚	t <sub>w</sub> =	1.3	cm
フ ラ ン ジ 厚	t <sub>f</sub> =	2.1	cm
フ イ レ ッ ト	r =	2.2	cm
断 面 積	A =	218.70	cm <sup>2</sup>
断 面 係 数	Z =	3330	cm <sup>3</sup>
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	66600	cm <sup>4</sup>



#### 2) ボルト穴を控除した断面性能

ボルト孔径	d <sub>h</sub> =	2.50	cm
フランジボルトの本数	n <sub>2</sub> =	2	本 (軸横断)
ウェブボルトの本数	m <sub>2</sub> =	3	本 (軸横断)

(断面積)

$$\text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w = d_h \cdot t_w \cdot m_2$$

$$= 2.50 \times 1.30 \times 3 = 9.75 \text{ cm}^2$$

$$\text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' = t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w$$

$$= 1.30 \times (40 - 2 \times 2.10) - 9.75 = 36.79 \text{ cm}^2$$

$$\text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f = d_h \cdot t_f \cdot n_2$$

$$= 2.50 \times 2.10 \times 2 = 10.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' = A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f$$

$$= 218.70 - 1.30 \times (40 - 2 \times 2.10) - 2 \times 10.50 = 151.16 \text{ cm}^2$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 151.16 + 36.79 = 187.95 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$${}_B I_f = \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.10^3 \times 2}{12}$$

$$= 3.859 \text{ cm}^4$$

$$\text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f = {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f$$

$$= 10.500 \times 18.950^2 + 3.859 = 3774 \text{ cm}^4$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 3774 = 7548 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 66600 - 7548 = 59052 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{59052}{20.00} = 2953 \text{ cm}^3$$

## (2) 添接板の断面積の計算

### 1) フランジ添接板

外側板幅  $f_p b_1 = 40.0$  cm  
板厚  $f_p t_1 = 1.20$  cm  
内側板幅  $f_p b_2 = 16.00$  cm  
板厚  $f_p t_2 = 1.60$  cm  
ボルト孔径  $dh = 2.50$  cm  
ボルト本数  $n_2 = 2$  本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= dh \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 40.00 \times 1.20 - 6.00 = 42.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= dh \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 1.60 - 8.00 = 43.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (42.00 + 43.20) = 170.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

### 2) ウェブ添接板

板幅  $w_p b = 28.0$  cm  
板厚  $w_p t = 0.90$  cm  
ボルト本数  $m_2 = 3$  本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= dh \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 3 = 6.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 28.00 \times 0.90 - 6.75 = 18.45 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 18.45 = 36.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

### 3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 170.40 + 36.90 = 207.30 \text{ cm}^2 > 187.95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-OK-

(3) 添接板の断面二次モーメントの計算

1) フランジ添接板

ボルト孔径	dh = 2.50 cm	外側板幅	fp b1 = 40.00 cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	fp t1 = 1.20 cm
ウェブ	m2 = 3 本 (軸横断)	面積	pAf1 = 42.00 cm <sup>2</sup>
		内側板幅	fp b2 = 16.00 cm
		板厚	fp t2 = 1.60 cm
		面積	pAf2 = 43.20 cm <sup>2</sup>

(外側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b_{1'} &= f_p b_1 - d_h \cdot n_2 \\
 &= 40.00 - (2.50 \times 2) = 35.00 \text{ cm} \\
 p I_{f1} &= \frac{f_p b_{1'} \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{35.00 \times 1.20^3}{12} = 5.040 \text{ cm}^4 \\
 p I_{f1} &= p A_{f1} \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I_{f1} \\
 &= 42.000 \times 20.600^2 + 5.040 = 17828 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b_{2'} &= 2 \cdot f_p b_2 - d_h \cdot n_2 \\
 &= 2 \times 16.00 - (2.50 \times 2) = 27.00 \text{ cm} \\
 p I_{f2} &= \frac{f_p b_{2'} \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{27.00 \times 1.60^3}{12} = 9.216 \text{ cm}^4 \\
 p I_{f2} &= p A_{f2} \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I_{f2} \\
 &= 43.200 \times 17.100^2 + 9.216 = 12641 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$p I_f = 2 \cdot (p I_{f1} + p I_{f2}) = 2 \times (17828 + 12641) = 60938 \text{ cm}^4$$

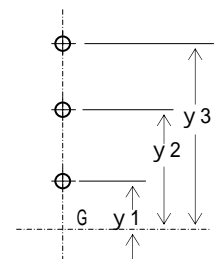
2) ウェブ添接板

板幅	wp b = 28.00 cm
板厚	wp t = 0.90 cm
ボルト間隔	w p2 = 8.0 cm

$$p I_{W1} = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.900 \times 28.00^3}{12} = 1646 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 64.00 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 p I_{W1} &= d_h \cdot w_p t \cdot 2 \cdot y + m_2 \cdot \frac{w_p t \cdot (d_h)^3}{12} \\
 &= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 64.00 + 3 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12} \\
 &= 292 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



(ウェブ合計)

$$p I_W = 2 \cdot (p I_{W1} - p I_{W1}) = 2 \times (1646 - 292) = 2708 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned}
 p I &= p I_f + p I_W \quad I' \\
 &= 60938 + 2708 = 63646 \text{ cm}^4 > 59052 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

#### (4) 曲げモ - メントの計算

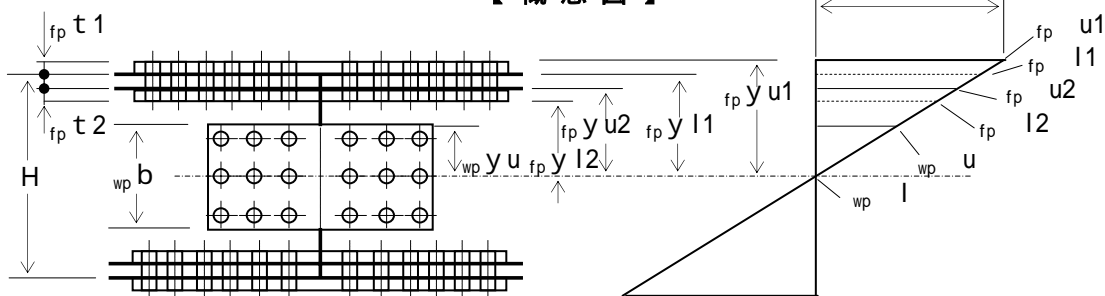
##### 1) H形鋼 1 本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度  $H_{ba} = 235 \text{ N/mm}^2$   
 断面係数  $Z' = 2953 \text{ cm}^3$

$$M_r = H_{ba} \cdot Z'$$

$$= 235 \times 2953 \times 10^3 = 693955000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



##### 2) フランジ添接板およびボルトの検討

$p I = 63646 \text{ cm}^4$   
 $p I f = 60938 \text{ cm}^4$

$${}_p M_f = M_r \cdot \frac{p I f}{p I}$$

$$= 693955000 \times \frac{60938}{63646} = 664428712 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_p M_{f1} = {}_p M_f \cdot \frac{2 \cdot p I f_1}{p I f} \quad p I f_1 = 17828 \text{ cm}^4$$

$$= 664428712 \times \frac{35656}{60938} = 388770064 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 40.0 + 1.20 = 21.20 \text{ cm}$$

$$f_p u_1 = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot p I f_1} \cdot f_p y_{u1} \quad p_{ba}$$

$$= \frac{388770064}{2 \times 17828} \times \frac{21.20}{1000} = 231 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 40.0 = 20.00 \text{ cm}$$

$$f_p l_1 = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot p I f_1} \cdot f_p y_{l1} \quad p_{ba}$$

$$= \frac{388770064}{35656} \times \frac{20.00}{1000} = 218 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f} \qquad {}_p I f_2 = 12641 \text{ cm}^4$$

$$= 664428712 \times \frac{25282}{60938} = 275658648 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 40.0 - 2.10 = 17.90 \text{ cm}$$

$${}_{fp} \sigma_2 = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y u_2 \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{275658648}{25282} \times \frac{17.90}{1000} = 195 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$${}_{fp} y l_2 = 1/2 \cdot H - t f - {}_{fp} t_2$$

$$= 1/2 \times 40.0 - 2.10 - 1.60 = 16.30 \text{ cm}$$

$${}_{fp} \sigma_l_2 = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y l_2 \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{275658648}{25282} \times \frac{16.30}{1000} = 178 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(ボルト)

ボルトの許容せん断応力度  $\sigma_B = 220 \text{ N/mm}^2$   
H形鋼の許容支圧応力度  $\sigma_H = 441 \text{ N/mm}^2$

$${}_p T f_1 = \frac{{}_{fp} u_1 + {}_{fp} l_1}{2} \cdot {}_p A f_1$$

$$= \frac{231 + 218}{2} \times 42.00 \times 10^2 = 942900 \text{ N}$$

$${}_p T f_2 = \frac{{}_{fp} u_2 + {}_{fp} l_2}{2} \cdot {}_p A f_2$$

$$= \frac{195 + 178}{2} \times 43.20 \times 10^2 = 805680 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 942900 + 805680 = 1748580 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$M 22 \quad {}_B A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2$$

$$S 1 = \frac{2 \cdot {}_B A \cdot \sigma_B}{2} \quad (\text{二面せん断})$$

$$= \frac{2 \cdot 380.1 \cdot 220}{2} = 167244$$

$$S 2 = d \cdot t f \cdot \sigma_H \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \cdot 21 \cdot 441 = 203742$$

$$\left. \begin{array}{l} 167244 \\ 203742 \end{array} \right\} = \underline{167244} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1748580}{6 \times 2}$$

$$= 145715 \text{ N} < 167244 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

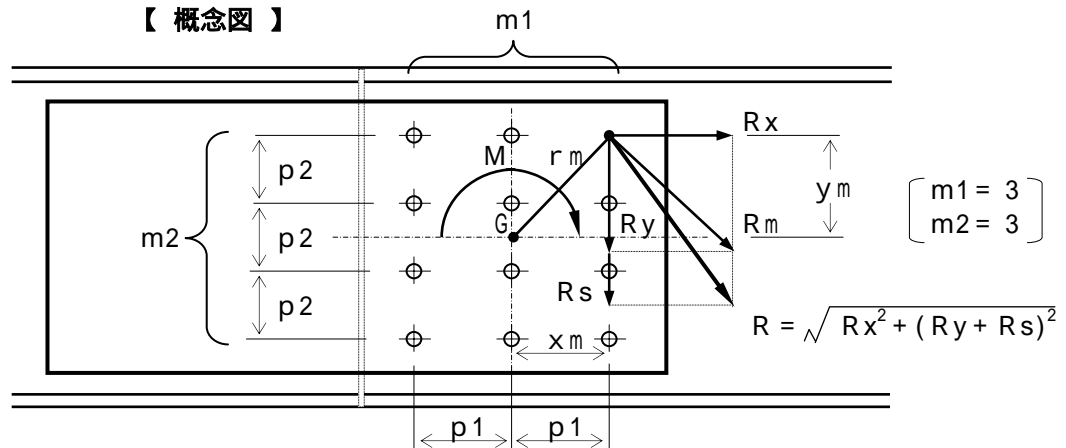
### 3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 63646 \text{ cm}^4 \\
 &= 693955000 \times \frac{2708}{63646} = 29526288 \text{ N}\cdot\text{mm} & {}_p I_W &= 2708 \text{ cm}^4 \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 28.00 = 14.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u & & \\
 &= \frac{29526288}{2708} \times \frac{14.00}{1000} = 153 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 220 = 167244 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 13 \times 441 = 126126 \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} S1 \\ S2 \end{matrix}} \right\} = \underline{126126 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 3 \times 3 \times \{ 7.50^2 \times (3^2 - 1) + 8.00^2 \times (3^2 - 1) \} \\
 &= 722 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 7.50 \text{ cm} \\
 y_m &= 8.00 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{7.50^2 + 8.00^2} = 10.97 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{29526288}{722} \times \frac{8.00}{10} = 32716 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{29526288}{722} \times \frac{7.50}{10} = 30671 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{29526288}{722} \times \frac{10.97}{10} \\
 &= 44862 \text{ N} < 126126 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$



(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 135 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 36.79 \text{ cm}^2 \\ &= 3679 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 135 \times 3679 = 496665 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 36.90 \text{ cm}^2 \\ &= 3690 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{496665}{3690} = 135 \text{ N/mm}^2 \quad 135 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 220 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 441 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$M22 \quad A_b = 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 220 = 167244 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 13 \times 441 = 126126 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = 126126 \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{496665}{3 \times 3} \\ &= 55185 \text{ N} < 126126 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 32716 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 30671 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 55185 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{32716^2 + (30671 + 55185)^2} \\ &= 91878 \text{ N} < 126126 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

