

# ボルト継手計算書

H 2 9 4 × 2 0 0 × 8 × 1 2

土木仕様

( S I 単位 )

ヒロセ株式会社

# ボルト継手 (H 294 × 200) 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JIS) SS400-D

(ボルトJIS) F10T-D

「道路土工 仮設構造物指針 (日本道路協会)」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	$H \quad ba = H \quad ta =$	210	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度	$H \quad a =$	120	N/mm <sup>2</sup>
H形鋼の許容支圧応力度	$H \quad a =$	355	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度	$P \quad ba = P \quad ta =$	210	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
添接板の許容せん断応力度	$P \quad a =$	120	N/mm <sup>2</sup>
添接板の許容支圧応力度	$P \quad a =$	355	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
ボルトの許容せん断応力度	$B \quad a =$	285	N/mm <sup>2</sup> (F10T)

### (2) 設計母材

JIS: H294

H形鋼: H 294 × 200 × 8 × 12

### (3) 添接板

	< p t >	< p b >	< p L >
フランジ: 2・PL -	9	× 200	× 420
4・PL -	9	× 80	× 420
ウェブ: 2・PL -	6	× 210	× 290

### (4) ボルト

ボルト直径 ( M20 )      d = 2.00 cm

ボルト孔径 ( d + 3mm )      dh = 2.30 cm

フランジのボルト本数 n1 = 3 本 (軸方向)      n2 = 2 本 (軸横断)

ウェブのボルト本数 m1 = 2 本 (軸方向)      m2 = 3 本 (軸横断)

縁端距離 (応力方向) e1 = 4.00 cm      フランジボルトの軸方向間隔

縁端距離 (その他) e2 = 4.00 cm

$f p 1 = 6.5$  cm

フランジボルトの横断方向間隔

$f p 2 = 12.0$  cm

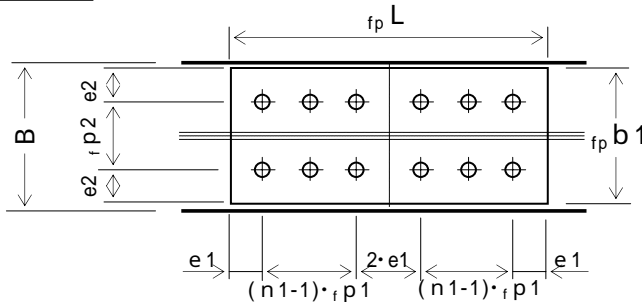
ウェブボルトの軸方向間隔

$w p 1 = 6.5$  cm

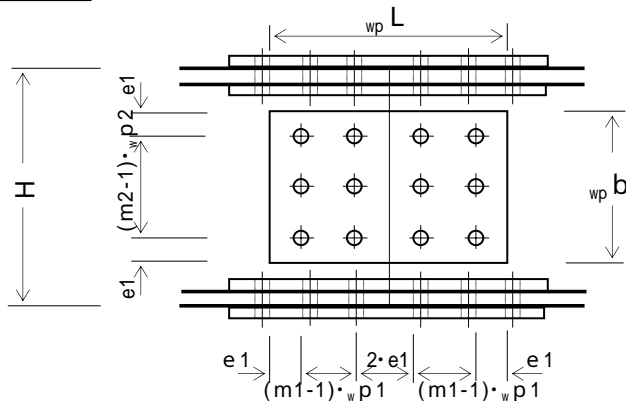
ウェブボルトの横断方向間隔

$w p 2 = 6.5$  cm

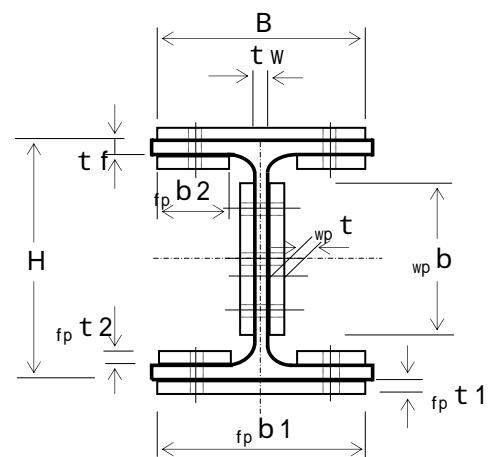
**平面図**



**側面図**



**断面図**

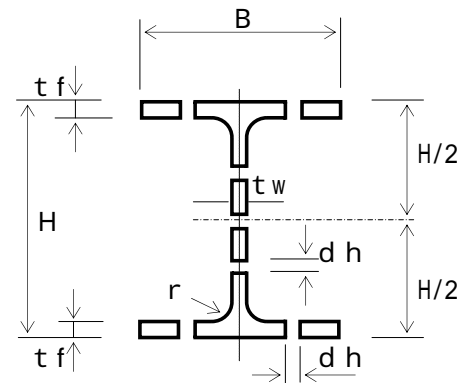


## 2. 継手部の設計

### (1) 母材の断面性能計算

#### 1) 母材 H 294 × 200 × 8 × 12

H 形 鋼 の 高 さ	H =	29.4	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	20	cm
ウ エ ブ 厚	t <sub>w</sub> =	0.8	cm
フ ラ ン ジ 厚	t <sub>f</sub> =	1.2	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	71.05	cm <sup>2</sup>
断 面 係 数	Z =	756	cm <sup>3</sup>
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	11100	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> =	2.30	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.30 \times 0.80 \times 3 = 5.52 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.80 \times (29.4 - 2 \times 1.20) - 5.52 \\ &= 16.08 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.30 \times 1.20 \times 2 = 5.52 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 71.05 - 0.80 \times (29.4 - 2 \times 1.20) - 2 \times 5.52 \\ &= 38.41 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 38.41 + 16.08 = 54.49 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント: ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.30 \times 1.20^3 \times 2}{12} \\ &= 0.662 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 5.52 \times 14.100^2 + 0.662 = 1098 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 1098 = 2196 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 11100 - 2196 = 8904 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{8904}{14.70} = 606 \text{ cm}^3$$

## (2) 添接板の断面積の計算

### 1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	20.0	cm
板厚	$f_p t_1 =$	0.90	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	8.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	0.90	cm
ボルト孔径	$d_h =$	2.30	cm
ボルト本数	$n_2 =$	2	本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.30 \times 0.90 \times 2 = 4.14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 20.00 \times 0.90 - 4.14 = 13.86 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.30 \times 0.90 \times 2 = 4.14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 8.00 \times 0.90 - 4.14 = 10.26 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (13.86 + 10.26) = 48.24 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

### 2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	21.0	cm
板厚	$w_p t =$	0.60	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.30 \times 0.60 \times 3 = 4.14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 21.00 \times 0.60 - 4.14 = 8.46 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 8.46 = 16.92 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

### 3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 48.24 + 16.92 = 65.16 \text{ cm}^2 > 54.49 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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  $dh = 2.30$  cm  
 フランジ  $n2 = 2$  本 (軸横断)  
 ウェブ  $m2 = 3$  本 (軸横断)

外側板幅  $f_p b1 = 20.00$  cm  
 板厚  $f_p t1 = 0.90$  cm  
 面積  $pA f1 = 13.86$  cm<sup>2</sup>  
 内側板幅  $f_p b2 = 8.00$  cm  
 板厚  $f_p t2 = 0.90$  cm  
 面積  $pA f2 = 10.26$  cm<sup>2</sup>

(外側添接板)

$$f_p b1' = f_p b1 - dh \cdot n2 = 20.00 - (2.30 \times 2) = 15.40 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{f_p b1' \cdot f_p t1^3}{12} = \frac{15.40 \times 0.90^3}{12} = 0.936 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t1)^2 + pI f1 = 13.860 \times 15.150^2 + 0.936 = 3182 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b2' = 2 \cdot f_p b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 8.00 - (2.30 \times 2) = 11.40 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{f_p b2' \cdot f_p t2^3}{12} = \frac{11.40 \times 0.90^3}{12} = 0.693 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t2)^2 + pI f2 = 10.260 \times 13.050^2 + 0.693 = 1748 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (3182 + 1748) = 9860 \text{ cm}^4$$

#### 2) ウェブ添接板

板幅  $w_p b = 21.00$  cm  
 板厚  $w_p t = 0.60$  cm  
 ボルト間隔  $w p2 = 6.5$  cm

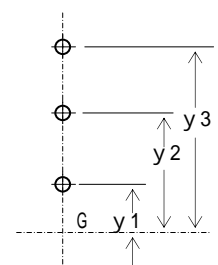
$$pI w1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.600 \times 21.00^3}{12} = 463 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 42.25 \text{ cm}^2$$

$$pI w1 = dh \cdot w_p t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{w_p t \cdot (dh)^3}{12}$$

$$= 2.30 \times 0.60 \times 2 \times 42 + 3 \times \frac{0.60 \times 2.30^3}{12}$$

$$= 118 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (463 - 118) = 690 \text{ cm}^4$$

#### 3) 断面二次モーメント

$$pI = pI f + pI w = I'$$

$$= 9860 + 690 = 10550 \text{ cm}^4 > 8904 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

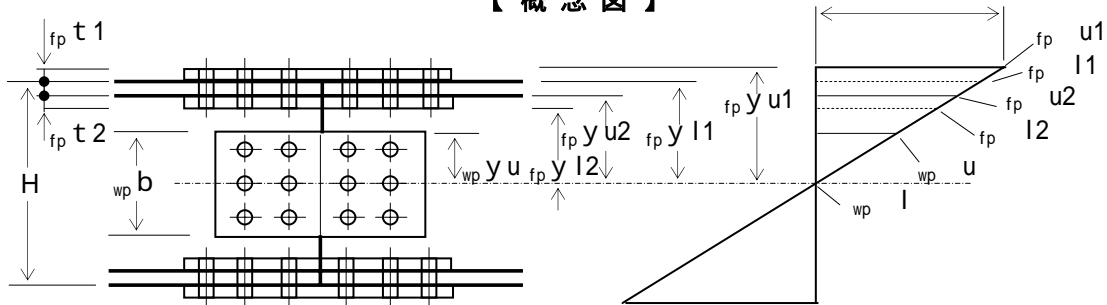
許容曲げ応力度  $\sigma_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数  $Z' = 606 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 606 \times 10^3 = 127260000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$I_p = 10550 \text{ cm}^4$

$I_f = 9860 \text{ cm}^4$

$$M_f = M_r \cdot \frac{I_f}{I_p}$$

$$= 127260000 \times \frac{9860}{10550} = 118936834 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$M_{f1} = M_f \cdot \frac{2 \cdot I_{f1}}{I_f} \quad I_{f1} = 3182 \text{ cm}^4$$

$$= 118936834 \times \frac{6364}{9860} = 76766127 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$y_{u1} = \frac{1}{2} \cdot H + t_1 = \frac{1}{2} \times 29.4 + 0.90 = 15.60 \text{ cm}$$

$$\sigma_{u1} = \frac{M_{f1}}{2 \cdot I_{f1}} \cdot y_{u1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{76766127}{2 \times 3182} \times \frac{15.60}{1000} = 188 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$y_{l1} = \frac{1}{2} \cdot H = \frac{1}{2} \times 29.4 = 14.70 \text{ cm}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{M_{f1}}{2 \cdot I_{f1}} \cdot y_{l1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{76766127}{6364} \times \frac{14.70}{1000} = 177 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f} \qquad {}_p I f_2 = 1748 \text{ cm}^4$$

$$= 118936834 \times \frac{3496}{9860} = 42170707 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 29.4 - 1.20 = 13.50 \text{ cm}$$

$$f_{p u_2} = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot f_{p y u_2} \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{42170707}{3496} \times \frac{13.50}{1000} = 163 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_{p y l_2} = 1/2 \cdot H - t_f - f_{p t_2}$$

$$= 1/2 \times 29.4 - 1.20 - 0.90 = 12.60 \text{ cm}$$

$$f_{p l_2} = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot f_{p y l_2} \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{42170707}{3496} \times \frac{12.60}{1000} = 152 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(ボルト)

ボルトの許容せん断応力度  $\sigma_B = 285 \text{ N/mm}^2$   
H形鋼の許容支圧応力度  $\sigma_H = 355 \text{ N/mm}^2$

$${}_p T f_1 = \frac{f_{p u_1} + f_{p l_1}}{2} \cdot {}_p A f_1$$

$$= \frac{188 + 177}{2} \times 13.86 \times 10^2 = 252945 \text{ N}$$

$${}_p T f_2 = \frac{f_{p u_2} + f_{p l_2}}{2} \cdot {}_p A f_2$$

$$= \frac{163 + 152}{2} \times 10.26 \times 10^2 = 161595 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 252945 + 161595 = 414540 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$M 20 \quad {}_B A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.142 \text{ cm}^2 = 314.2 \text{ mm}^2$$

$$S1 = \frac{2 \cdot {}_B A \cdot \sigma_B}{2} \quad (\text{二面せん断})$$

$$= \frac{2 \cdot 314.2 \cdot 285}{2} = 179094$$

$$S2 = d \cdot t_f \cdot \sigma_H \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 20 \cdot 12 \cdot 355 = 85200$$

$$\left. \begin{array}{l} S1 \\ S2 \end{array} \right\} = 85200 \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S_a$$

$$Q_f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{414540}{3 \times 2}$$

$$= 69090 \text{ N} < 85200 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

### 3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned} {}_p I &= 10550 \text{ cm}^4 \\ {}_p I_w &= 690 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$${}_p M_w = M_r \cdot \frac{{}_p I_w}{{}_p I}$$

$$= 127260000 \times \frac{690}{10550} = 8323166 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{wp} y_u = 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 21.00 = 10.50 \text{ cm}$$

$${}_{wp} \sigma = \frac{{}_p M_w}{{}_p I_w} \cdot {}_{wp} y_u$$

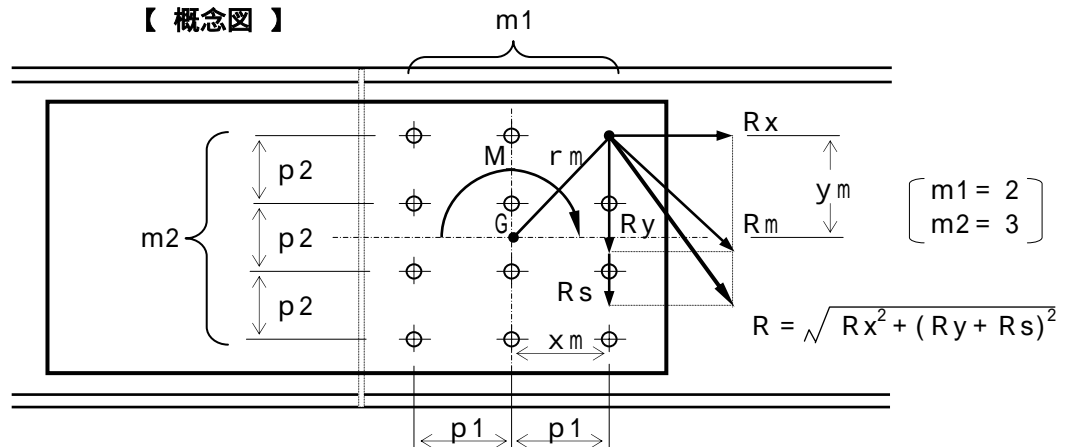
$$= \frac{8323166}{690} \times \frac{10.50}{1000} = 127 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned} M20 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.142 \text{ cm}^2 = 314.2 \text{ mm}^2 \\ S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 314.2 \times 285 = 179094 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 20 \times 8 \times 355 = 56800 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \frac{56800}{\text{最小}} \text{ N} \quad S_a$$

【 概念図 】



$$I_p = 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \}$$

$$= 1/12 \times 2 \times 3 \times \{ 6.50^2 \times (2^2 - 1) + 6.50^2 \times (3^2 - 1) \}$$

$$= 232 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$x_m = 3.25 \text{ cm}$$

$$y_m = 6.50 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.25^2 + 6.50^2} = 7.27 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{8323166}{232} \times \frac{6.50}{10} = 23319 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{8323166}{232} \times \frac{3.25}{10} = 11660 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_m &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{8323166}{232} \times \frac{7.27}{10} \\ &= 26082 \text{ N} < 56800 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$



(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 16.08 \text{ cm}^2 \\ &= 1608 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 1608 = 192960 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 16.92 \text{ cm}^2 \\ &= 1692 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{192960}{1692} = 114 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_a &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_a &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$M20 \quad A_B = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.142 \text{ cm}^2 = 314.2 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_B \cdot \sigma_a \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 314.2 \times 285 = 179094 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 20 \times 8 \times 355 = 56800 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{56800} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{192960}{2 \times 3} \\ &= 32160 \text{ N} < 56800 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

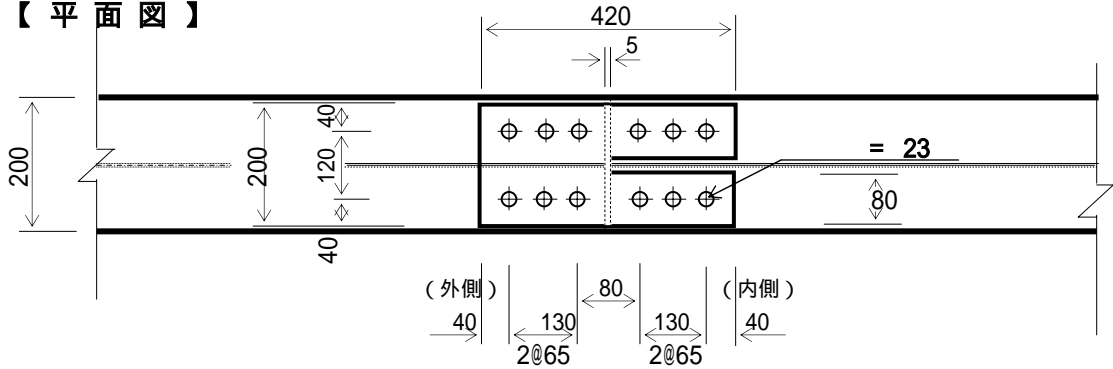
$$\begin{aligned} (\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 23319 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 11660 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 32160 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{23319^2 + (11660 + 32160)^2} \\ &= 49638 \text{ N} < 56800 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

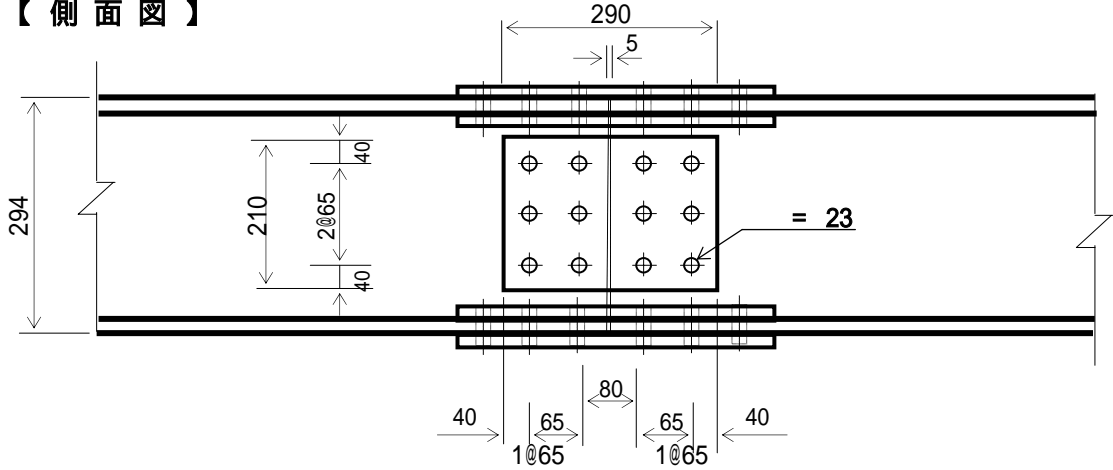
### 3. 計算結果

母材	H 2 9 4 × 2 0 0 × 8 × 1 2		
フランジ部	添接板仕様	2 枚 : PL 9 × 200 × 420	
		4 枚 : PL 9 × 80 × 420	
ウェブ部	添接板仕様	2 枚 : PL 6 × 210 × 290	
		ボルト仕様	F10T : M20 - 24本 L = 65 mm ( トリツ型高力ボルトの場合 L = 60 mm )
	ボルト仕様	F10T : M20 - 12本 L = 55 mm ( トリツ型高力ボルトの場合 L = 50 mm )	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

