

ボルト継手計算書

H 4 0 0 × 2 0 0 × 8 × 1 3

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H400×200) 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。)
 (鋼材コード) SS400-D (ボルトコード) 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	ba = _H ta =	210	N/mm ² (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	a =	120	N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度 _H	a =	355	N/mm ² (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	ba = _P ta =	210	N/mm ² (SS400)
添接板の許容せん断応力度 _P	a =	120	N/mm ²
添接板の許容支圧応力度 _P	a =	355	N/mm ² (SS400)
ボルトの許容せん断応力度 _B	a =	285	N/mm ² (F10T)

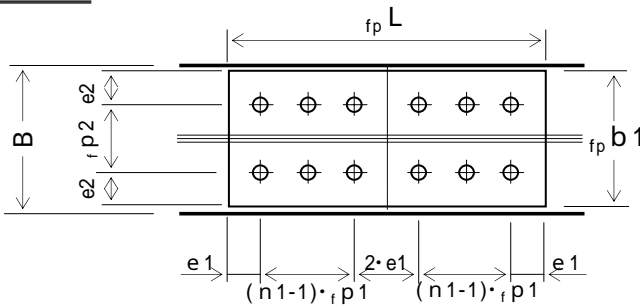
- (2) 設計母材 コード: H400-2

H形鋼: H400×200×8×13

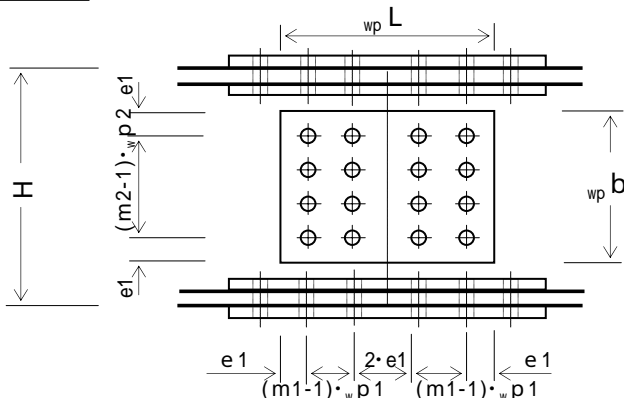
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 9 | × | 200 | × | 460 |
| 4・PL - | 12 | × | 80 | × | 460 |
| ウェブ: 2・PL - | 6 | × | 305 | × | 310 |

- (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 = | 3 | 本 (軸方向) | |
| ウェブのボルト本数 | m1 = | 2 | 本 (軸方向) | |
| 縁端距離 (応力方向) | e1 = | 4.0 | cm | |
| 縁端距離 (その他) | e2 = | 4.0 | cm | |
| | n2 = | 2 | 本 (軸横断) | |
| | m2 = | 4 | 本 (軸横断) | |
| | フランジボルトの軸方向間隔 | f p1 = | 7.5 | cm |
| | フランジボルトの横断方向間隔 | f p2 = | 12.0 | 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 = | 7.5 | cm |

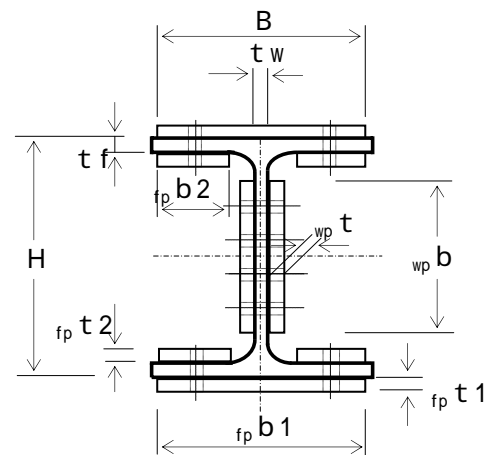
平面図



側面図



断面図

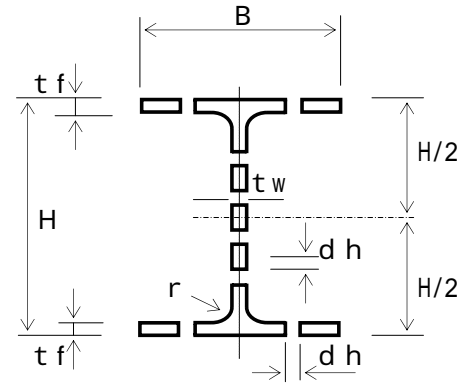


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H400 × 200 × 8 × 13

H形鋼の高さ	H =	40	cm
H形鋼の幅	B =	20	cm
ウェブ厚	t _w =	0.8	cm
フランジ厚	t _f =	1.3	cm
フレット	r =	1.3	cm
断面積	A =	83.37	cm ²
断面係数	Z =	1170	cm ³
断面二次モーメント	I =	23500	cm ⁴



2) ボルト穴を控除した断面性能

ボルト孔径	d _h =	2.50	cm
フランジボルトの本数	n ₂ =	2	本 (軸横断)
ウェブボルトの本数	m ₂ =	4	本 (軸横断)

(断面積)

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

$$= 2.50 \times 0.80 \times 4 = 8.00 \text{ cm}^2$$

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

$$= 0.80 \times (40 - 2 \times 1.30) - 8.00$$

$$= 21.92 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 1.30 \times 2 = 6.50 \text{ cm}^2$$

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

$$= 83.37 - 0.80 \times (40 - 2 \times 1.30) - 2 \times 6.50$$

$$= 40.45 \text{ cm}^2$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_W' = 40.45 + 21.92 = 62.37 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$${}_B I_f = \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.30^3 \times 2}{12}$$

$$= 0.915 \text{ cm}^4$$

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

$$= 6.50 \times 19.350^2 + 0.915 = 2435 \text{ cm}^4$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 2435 = 4870 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 23500 - 4870 = 18630 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{18630}{20.00} = 932 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b1 =$	20.0	cm
板厚	$f_p t1 =$	0.90	cm
内側板幅	$f_p b2 =$	8.00	cm
板厚	$f_p t2 =$	1.20	cm
ボルト孔径	$dh =$	2.50	cm
ボルト本数	$n2 =$	2	本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f1 &= dh \cdot f_p t1 \cdot n2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 2 = 4.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f1 &= f_p b1 \cdot f_p t1 - {}_B A f1 \\ &= 20.00 \times 0.90 - 4.50 = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f2 &= dh \cdot f_p t2 \cdot n2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f2 &= 2 \cdot f_p b2 \cdot f_p t2 - {}_B A f2 \\ &= 2 \times 8.00 \times 1.20 - 6.00 = 13.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f1 + {}_P A f2) \\ &= 2 \times (13.50 + 13.20) = 53.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	${}_{wp} b =$	30.5	cm
板厚	${}_{wp} t =$	0.60	cm
ボルト本数	$m2 =$	4	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= dh \cdot {}_{wp} t \cdot m2 \\ &= 2.50 \times 0.60 \times 4 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W1 &= {}_{wp} b \cdot {}_{wp} t - {}_B A W \\ &= 30.50 \times 0.60 - 6.00 = 12.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W1 \\ &= 2 \times 12.30 = 24.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 53.40 + 24.60 = 78.00 \text{ cm}^2 > 62.37 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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	$d_h = 2.50$ cm	外側板幅	$f_p b_1 = 20.00$ cm
フランジ	$n_2 = 2$ 本 (軸横断)	板厚	$f_p t_1 = 0.90$ cm
ウェブ	$m_2 = 4$ 本 (軸横断)	面積	$P A f_1 = 13.50$ cm ²
		内側板幅	$f_p b_2 = 8.00$ cm
		板厚	$f_p t_2 = 1.20$ cm
		面積	$P A f_2 = 13.20$ cm ²

(外側添接板)

$$f_p b_1' = f_p b_1 - d_h \cdot n_2 = 20.00 - (2.50 \times 2) = 15.00 \text{ cm}$$

$$P I f_1 = \frac{f_p b_1' \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{15.00 \times 0.90^3}{12} = 0.911 \text{ cm}^4$$

$$P I f_1 = P A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + P I f_1 = 13.500 \times 20.450^2 + 0.911 = 5647 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b_2' = 2 \cdot f_p b_2 - d_h \cdot n_2 = 2 \times 8.00 - (2.50 \times 2) = 11.00 \text{ cm}$$

$$P I f_2 = \frac{f_p b_2' \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{11.00 \times 1.20^3}{12} = 1.584 \text{ cm}^4$$

$$P I f_2 = P A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + P I f_2 = 13.200 \times 18.100^2 + 1.584 = 4326 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$P I f = 2 \cdot (P I f_1 + P I f_2) = 2 \times (5647 + 4326) = 19946 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b = 30.50$ cm
板厚	$w_p t = 0.60$ cm
ボルト間隔	$w p_2 = 7.5$ cm

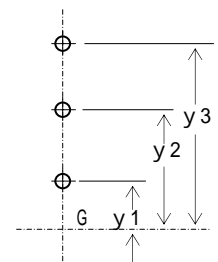
$$P I W_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.600 \times 30.50^3}{12} = 1419 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 140.63 \text{ cm}^2$$

$$P I W_1 = d_h \cdot w_p t \cdot 2 y + m_2 \cdot \frac{w_p t \cdot (d_h)^3}{12}$$

$$= 2.50 \times 0.60 \times 2 \times 141 + 4 \times \frac{0.60 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 425 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$P I W = 2 \cdot (P I W_1 - P I W_1) = 2 \times (1419 - 425) = 1988 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$P I = P I f + P I W \quad I'$$

$$= 19946 + 1988 = 21934 \text{ cm}^4 > 18630 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

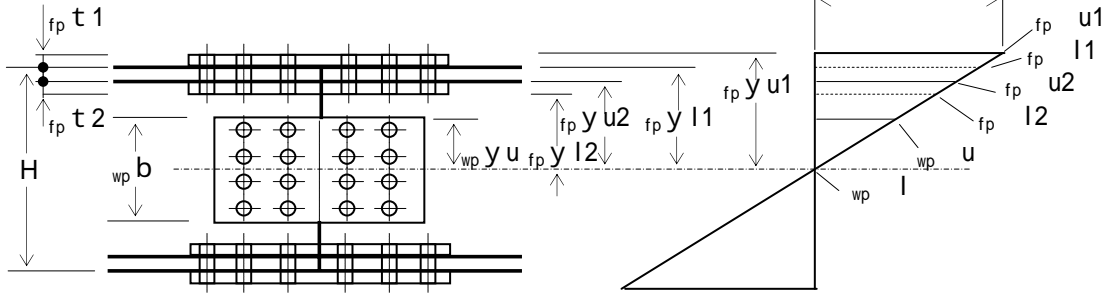
1) H形鋼 1 本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 932 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 932 \times 10^3 = 195720000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 21934 \text{ cm}^4$
 $pIf = 19946 \text{ cm}^4$

$$pMf = M_r \cdot \frac{pIf}{pI}$$

$$= 195720000 \times \frac{19946}{21934} = 177980812 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 5647 \text{ cm}^4$$

$$= 177980812 \times \frac{11294}{19946} = 100777865 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$fp y u1 = 1/2 \cdot H + fp t1 = 1/2 \times 40.0 + 0.90 = 20.90 \text{ cm}$$

$$fp u1 = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y u1 \quad pba$$

$$= \frac{100777865}{2 \times 5647} \times \frac{20.90}{1000} = 186 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$fp l1 = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y l1 \quad pba$$

$$= \frac{100777865}{11294} \times \frac{20.00}{1000} = 178 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f}$$

$${}_p I f_2 = 4326 \text{ cm}^4$$

$$= 177980812 \times \frac{8652}{19946} = 77202947 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y_{u2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 40.0 - 1.30 = 18.70 \text{ cm}$$

$${}_{fp} \sigma_{u2} = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y_{u2} \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{77202947}{8652} \times \frac{18.70}{1000} = 167 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$${}_{fp} y_{l2} = 1/2 \cdot H - t_f - {}_{fp} t_2$$

$$= 1/2 \times 40.0 - 1.30 - 1.20 = 17.50 \text{ cm}$$

$${}_{fp} \sigma_{l2} = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y_{l2} \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{77202947}{8652} \times \frac{17.50}{1000} = 156 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-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 $\sigma_H = 355 \text{ N/mm}^2$

$${}_p T f_1 = \frac{{}_{fp} \sigma_{u1} + {}_{fp} \sigma_{l1}}{2} \cdot {}_p A f_1$$

$$= \frac{186 + 178}{2} \times 13.50 \times 10^2 = 245700 \text{ N}$$

$${}_p T f_2 = \frac{{}_{fp} \sigma_{u2} + {}_{fp} \sigma_{l2}}{2} \cdot {}_p A f_2$$

$$= \frac{167 + 156}{2} \times 13.20 \times 10^2 = 213180 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 245700 + 213180 = 458880 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$S_1 = 2 \cdot {}_B A \cdot \sigma_B \quad (\text{二面せん断})$$

$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

$$S_2 = d \cdot t_f \cdot \sigma_H \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 13 \times 355 = 101530$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 101530 \end{array} \right\} = 101530 \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S_a$$

$$Q_f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{458880}{3 \times 2}$$

$$= 76480 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

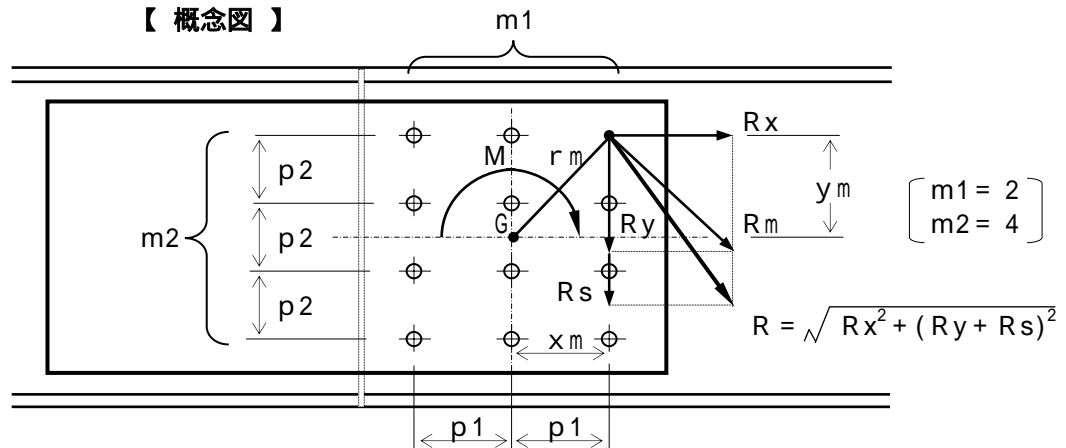
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_w &= M_r \cdot \frac{{}_p I_w}{{}_p I} & {}_p I &= 21934 \text{ cm}^4 \\
 &= 195720000 \times \frac{1988}{21934} = 17739188 \text{ N}\cdot\text{mm} & {}_p I_w &= 1988 \text{ cm}^4 \\
 {}_w y_u &= 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 30.50 = 15.25 \text{ cm} \\
 {}_w u &= \frac{{}_p M_w}{{}_p I_w} \cdot {}_w y_u & & \\
 &= \frac{17739188}{1988} \times \frac{15.25}{1000} = 136 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 8 \times 355 = 62480
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \frac{62480}{\text{最小}} \text{ N} \quad \text{(最小)}_{wb} S_a$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 4 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (4^2 - 1) \} \\
 &= 675 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 11.25 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 11.25^2} = 11.86 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{17739188}{675} \times \frac{11.25}{10} = 29565 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{17739188}{675} \times \frac{3.75}{10} = 9855 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{17739188}{675} \times \frac{11.86}{10} \\
 &= 31168 \text{ N} < 62480 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼1本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 21.92 \text{ cm}^2 \\ &= 2192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 2192 = 263040 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 24.60 \text{ cm}^2 \\ &= 2460 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{263040}{2460} = 107 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

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

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 8 \times 355 = 62480 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{62480} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{263040}{2 \times 4} \\ &= 32880 \text{ N} < 62480 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

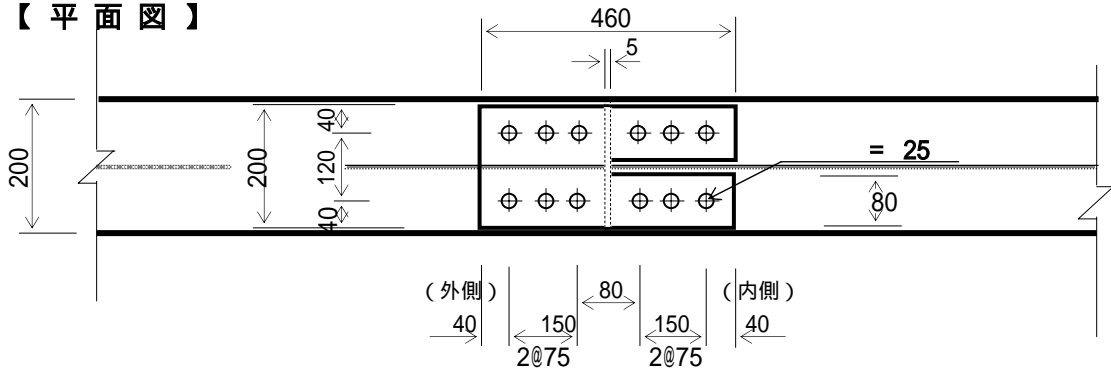
$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 29565 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 9855 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 32880 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{29565^2 + (9855 + 32880)^2} \\ &= 51965 \text{ N} < 62480 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

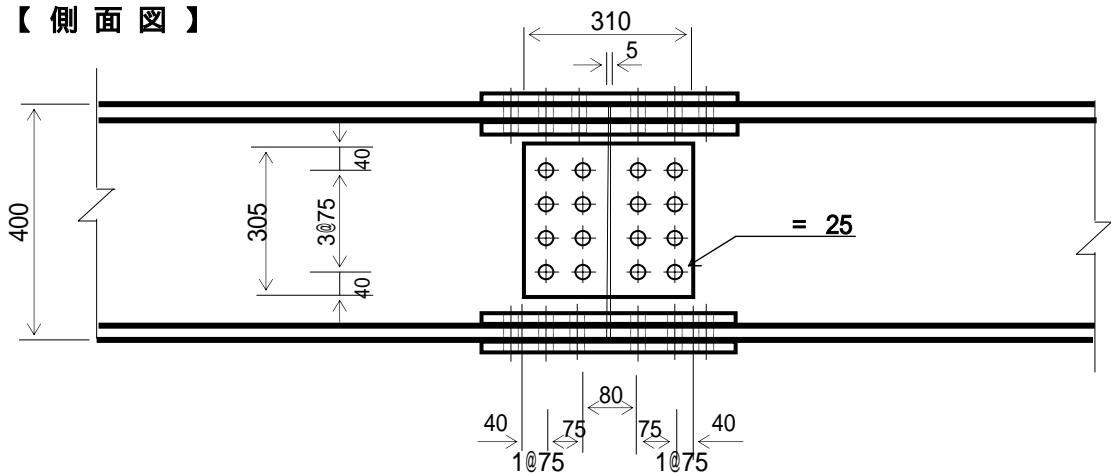
3. 計算結果

母材	H 4 0 0 × 2 0 0 × 8 × 1 3		
フランジ部	添接板仕様	2 枚 : PL 9 × 200 × 460	
		4 枚 : PL 12 × 80 × 460	
ウェブ部	添接板仕様	2 枚 : PL 6 × 305 × 310	
	ボルト仕様	F10T : M22 - 24本	L = 75 mm
		(トリプル型高力ボルトの場合	L = 70 mm)
	ボルト仕様	F10T : M22 - 16本	L = 60 mm
		(トリプル型高力ボルトの場合	L = 55 mm)

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

