

ボルト継手計算書

H 3 9 6 × 1 9 9 × 7 × 1 1

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H396×199) 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	$ba =_H ta =$	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

JIS: H396-2

H形鋼: H396×199×7×11

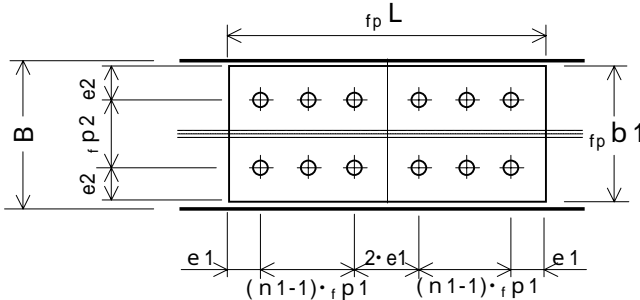
(3) 添接板

		$\langle_p t \rangle$	$\langle_p b \rangle$	$\langle_p L \rangle$	
フランジ:	2・PL - 9	x	200	x	460
	4・PL - 12	x	80	x	460
ウェブ:	2・PL - 6	x	305	x	310

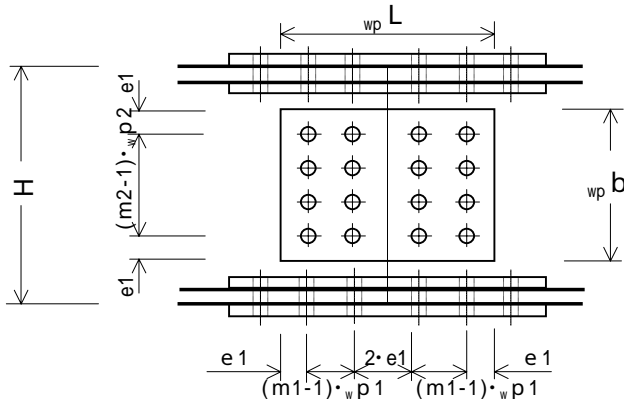
(4) ボルト

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

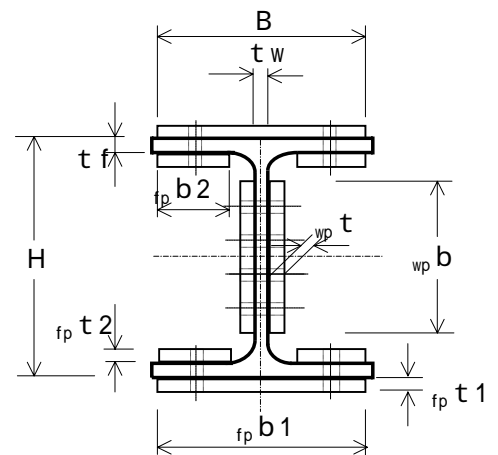
平面図



側面図



断面図

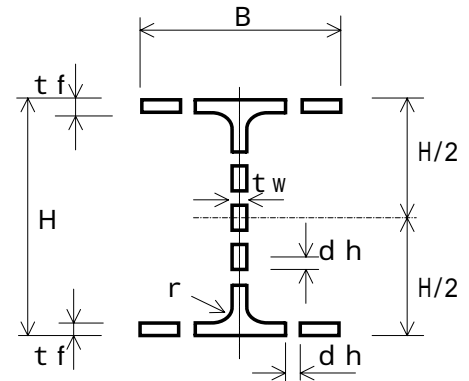


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 3 9 6 × 1 9 9 × 7 × 1 1

H 形 鋼 の 高 さ	H =	39.6	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	19.9	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	0.7	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	1.1	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	71.41	cm ²
断 面 係 数	Z =	999	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	19800	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.70 \times 4 = 7.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.70 \times (39.6 - 2 \times 1.10) - 7.00 \\ &= 19.18 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.10 \times 2 = 5.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 71.41 - 0.70 \times (39.6 - 2 \times 1.10) \\ &\quad - 2 \times 5.50 \\ &= 34.23 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 34.23 + 19.18 = 53.41 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.10^3 \times 2}{12} \\ &= 0.555 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 5.50 \times 19.250^2 + 0.555 = 2039 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 2039 = 4078 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 19800 - 4078 = 15722 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{15722}{19.80} = 794 \text{ cm}^3$$

(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 $f_p t_2 = 1.20$ cm
ボルト孔径 $d_h = 2.50$ cm
ボルト本数 $n_2 = 2$ 本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 2 = 4.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 20.00 \times 0.90 - 4.50 = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 8.00 \times 1.20 - 6.00 = 13.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (13.50 + 13.20) = 53.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 30.5$ cm
板厚 $w_p t = 0.60$ cm
ボルト本数 $m_2 = 4$ 本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.60 \times 4 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 30.50 \times 0.60 - 6.00 = 12.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 12.30 = 24.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 53.40 + 24.60 = 78.00 \text{ cm}^2 > 53.41 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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
 フランジ $n2 = 2$ 本 (軸横断)
 ウェブ $m2 = 4$ 本 (軸横断)

外側板幅 $f_p b1 = 20.00$ cm
 板厚 $f_p t1 = 0.90$ cm
 面積 $pA f1 = 13.50$ cm²
 内側板幅 $f_p b2 = 8.00$ cm
 板厚 $f_p t2 = 1.20$ cm
 面積 $pA f2 = 13.20$ cm²

(外側添接板)

$$f_p b1' = f_p b1 - dh \cdot n2 = 20.00 - (2.50 \times 2) = 15.00 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{f_p b1' \cdot f_p t1^3}{12} = \frac{15.00 \times 0.90^3}{12} = 0.911 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t1)^2 + pI f1 = 13.500 \times 20.250^2 + 0.911 = 5537 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b2' = 2 \cdot f_p b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 8.00 - (2.50 \times 2) = 11.00 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{f_p b2' \cdot f_p t2^3}{12} = \frac{11.00 \times 1.20^3}{12} = 1.584 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot f_p t2)^2 + pI f2 = 13.200 \times 18.100^2 + 1.584 = 4326 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (5537 + 4326) = 19726 \text{ cm}^4$$

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 $w p2 = 7.5$ cm

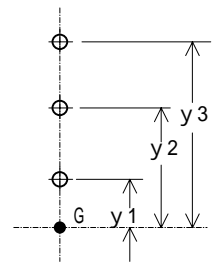
$$pI W1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.600 \times 30.50^3}{12} = 1419 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 140.63 \text{ cm}^2$$

$$pI W1 = dh \cdot w_p t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{w_p t \cdot (dh)^3}{12}$$

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

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



(ウェブ合計)

$$pI W = 2 \cdot (pI W1 - pI W1) = 2 \times (1419 - 425) = 1988 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 19726 + 1988 = 21714 \text{ cm}^4 > 15722 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

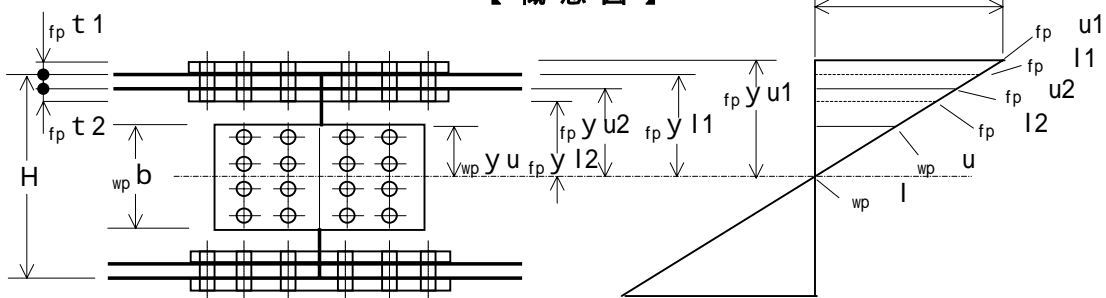
許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 794 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 794 \times 10^3 = 166740000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 21714 \text{ cm}^4$

$\rho I f = 19726 \text{ cm}^4$

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

$$= 166740000 \times \frac{19726}{21714} = 151474313 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_p M_{f1} = {}_p M_f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f}$$

$${}_p I f_1 = 5537 \text{ cm}^4$$

$$= 151474313 \times \frac{11074}{19726} = 85036325 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 39.6 + 0.90 = 20.70 \text{ cm}$$

$$f_p \sigma_{u1} = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{u1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{85036325}{2 \times 5537} \times \frac{20.70}{1000} = 159 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 39.6 = 19.80 \text{ cm}$$

$$f_p \sigma_{l1} = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{l1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{85036325}{11074} \times \frac{19.80}{1000} = 152 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

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

$$= 151474313 \times \frac{8652}{19726} = 66437988 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 39.6 - 1.10 = 18.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{66437988}{8652} \times \frac{18.70}{1000} = 144 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 39.6 - 1.10 - 1.20 = 17.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{66437988}{8652} \times \frac{17.50}{1000} = 134 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(ボルト)

ボルトの許容せん断応力度 $B a = 285 \text{ N/mm}^2$

H形鋼の許容支圧応力度 $H a = 355 \text{ N/mm}^2$

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

$$= \frac{159 + 152}{2} \times 13.50 \times 10^2 = 209925 \text{ N}$$

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

$$= \frac{144 + 134}{2} \times 13.20 \times 10^2 = 183480 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 209925 + 183480 = 393405 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

$$S_2 = d \cdot t f \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 11 \times 355 = 85910$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 85910 \end{array} \right\} = \underline{85910} \text{ N} \quad (\text{最小})_{f_b} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{393405}{3 \times 2}$$

$$= 65568 \text{ N} < 85910 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned} {}_p I &= 21714 \text{ cm}^4 \\ {}_p I_w &= 1988 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

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

$$= 166740000 \times \frac{1988}{21714} = 15265687 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{wp} y_u = 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 30.50 = 15.25 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{15265687}{1988} \times \frac{15.25}{1000} = 117 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

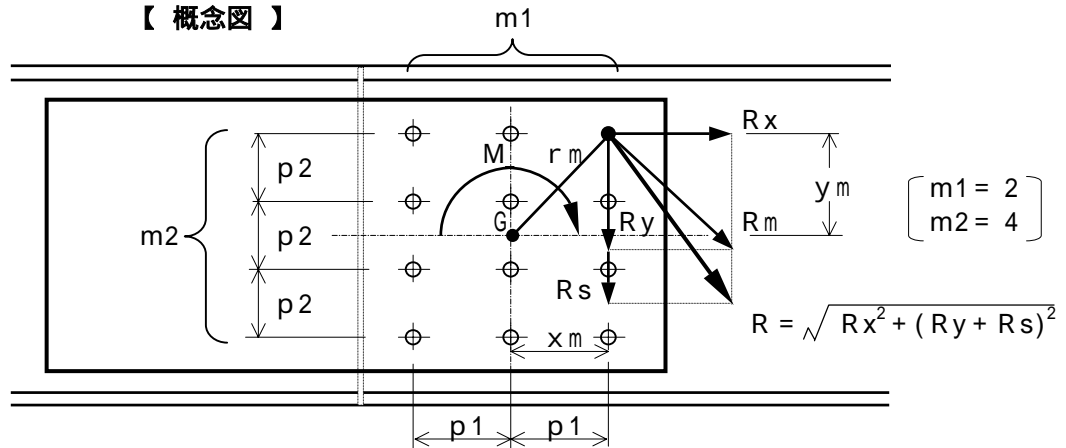
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 7 \times 355 = 54670$$

$$\left. \begin{aligned} &= 216657 \\ &= 54670 \end{aligned} \right\} = \frac{54670}{\text{最小}} \text{ N} = \text{最小 } S_a$$

【 概念図 】



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

$$= 1/12 \times 2 \times 4 \times \left\{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (4^2 - 1) \right\}$$

$$= 675 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$x_m = 3.75 \text{ cm}$$

$$y_m = 11.25 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 11.25^2} = 11.86 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{15265687}{675} \times \frac{11.25}{10} = 25443 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{15265687}{675} \times \frac{3.75}{10} = 8481 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{15265687}{675} \times \frac{11.86}{10}$$

$$= 26822 \text{ N} < 54670 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 19.18 \text{ cm}^2 \\ &= 1918 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 1918 = 230160 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

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

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{230160}{2460} = 94 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 7 \times 355 = 54670 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{54670} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{230160}{2 \times 4} \\ &= 28770 \text{ N} < 54670 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

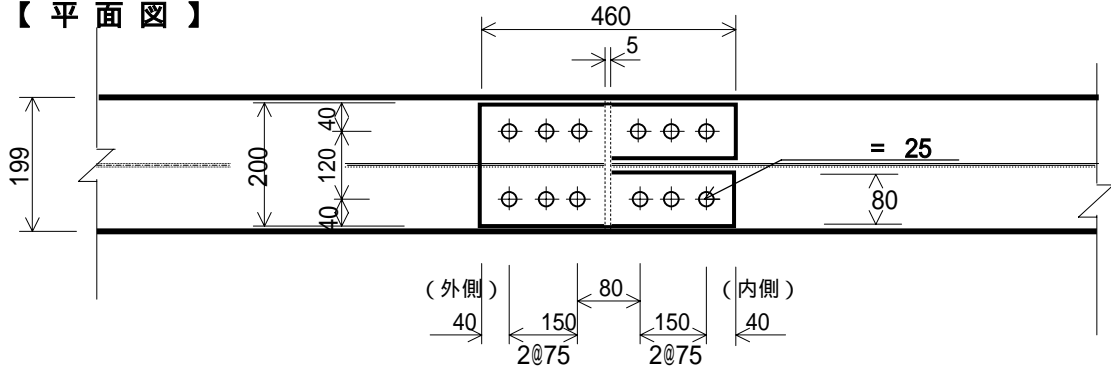
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 25443 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 8481 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 28770 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{25443^2 + (8481 + 28770)^2} \\ &= 45111 \text{ N} < 54670 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

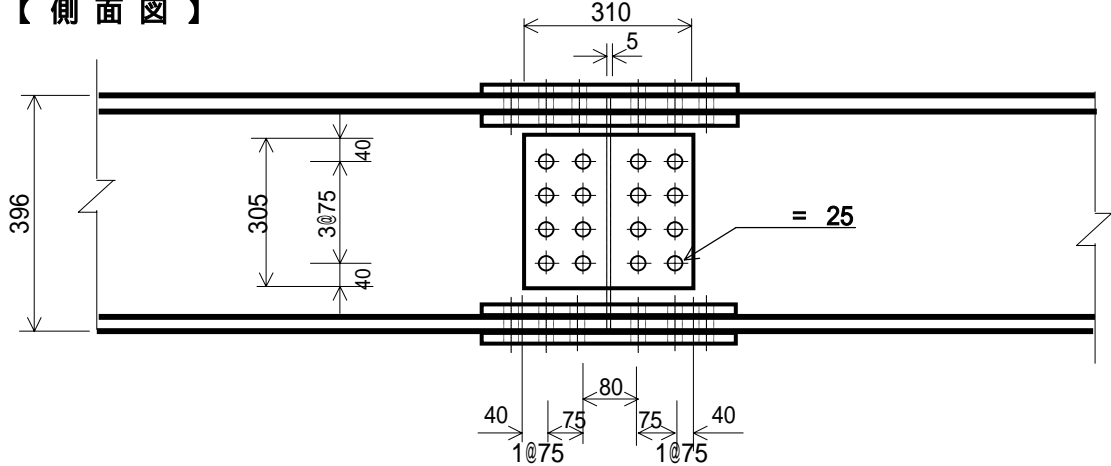
3. 計算結果

母材	H 3 9 6 × 1 9 9 × 7 × 1 1		
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 (トリブ型高力ボルトの場合 L = 70 mm)
	ボルト仕様	F10T : M22 - 16本 L = 60 mm (トリブ型高力ボルトの場合 L = 55 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

