

ボルト継手計算書

H 5 9 4 × 3 0 2 × 1 4 × 2 3

建築仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 594 × 302) 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-K (ボルトJIS) 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 _H	$ba =_H ta =$	235	N/mm ² (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =_H$	135	N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度 (1.25 × 235 × 係数 _H)	$a =_H$	441	N/mm ² (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P ta =$	235	N/mm ² (SS400)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =_P$	135	N/mm ²
添接板の許容支圧応力度 (1.25 × 235 × 係数 _P)	$a =_P$	441	N/mm ² (SS400)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =_B$	220	N/mm ² (F10T)

(2) 設計母材

JIS: H594

H形鋼: H 594 × 302 × 14 × 23

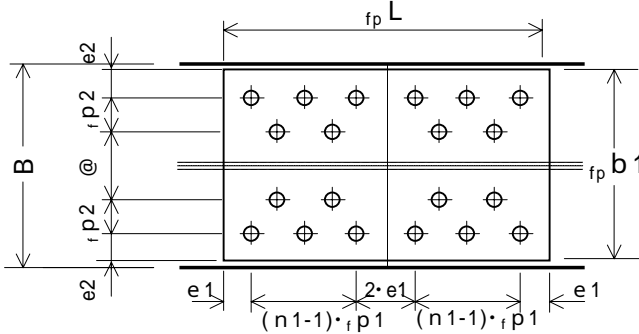
(3) 添接板

	フランジ: 2・PL - 16	×	300	×	680
	4・PL - 16	×	120	×	680
	ウェブ: 2・PL - 9	×	460	×	310

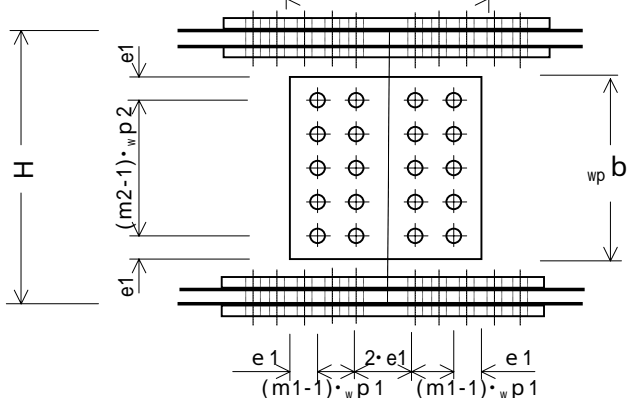
(4) ボルト

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 =	5	本 (軸方向)
ウェブのボルト本数	m1 =	2	本 (軸方向)
フランジのボルト本数	n2 =	2	本 (軸横断)
ウェブのボルト本数	m2 =	5	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	$f_p p1 =$	6.5	cm
フランジボルトの横断方向間隔	$f_p p2 =$	4.0	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	$w_p p2 =$	9.5	cm

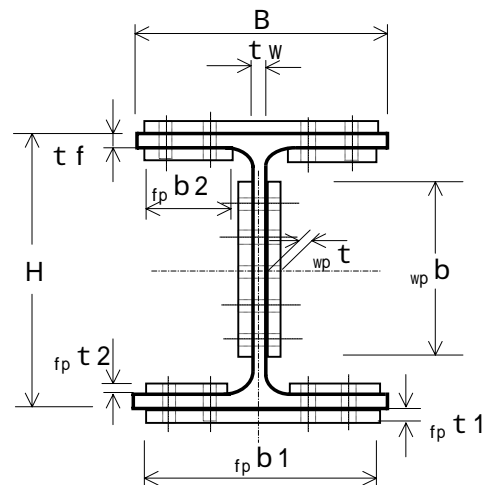
平面図



側面図



断面図

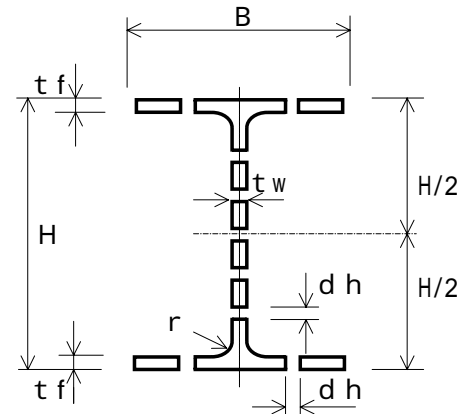


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 594 × 302 × 14 × 23

H 形 鋼 の 高 さ	H =	59.4	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	30.2	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.4	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	2.3	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	217.10	cm ²
断 面 係 数	Z =	4500	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	134000	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 =	5	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.40 \times 5 = 17.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.40 \times (59.4 - 2 \times 2.30) - 17.50 \\ &= 59.22 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.30 \times 2 = 11.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 217.10 - 1.40 \times (59.4 - 2 \times 2.30) \\ &\quad - 2 \times 11.50 \\ &= 117.38 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 117.38 + 59.22 = 176.60 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.30^3 \times 2}{12} \\ &= 5.070 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 11.50 \times 28.550^2 + 5.070 = 9379 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 9379 = 18758 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 134000 - 18758 = 115242 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{115242}{29.70} = 3880 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅 $f_p b_1 = 30.0$ cm
板厚 $f_p t_1 = 1.60$ cm
内側板幅 $f_p b_2 = 12.00$ cm
板厚 $f_p t_2 = 1.60$ 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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 30.00 \times 1.60 - 8.00 = 40.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 12.00 \times 1.60 - 8.00 = 30.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (40.00 + 30.40) = 140.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 46.0$ cm
板厚 $w_p t = 0.90$ cm
ボルト本数 $m_2 = 5$ 本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 5 = 11.25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 46.00 \times 0.90 - 11.25 = 30.15 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 30.15 = 60.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 140.80 + 60.30 = 201.10 \text{ cm}^2 > 176.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $m2 = 5$ 本 (軸横断)

外側板幅 $fp b1 = 30.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 1.60$ cm
 面積 $pA f1 = 40.00$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 12.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 1.60$ cm
 面積 $pA f2 = 30.40$ cm²

(外側添接板)

$$fp b1' = fp b1 - dh \cdot n2 = 30.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{25.00 \times 1.60^3}{12} = 8.533 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 40.000 \times 30.500^2 + 8.533 = 37219 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$fp b2' = 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 12.00 - (2.50 \times 2) = 19.00 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{19.00 \times 1.60^3}{12} = 6.485 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 30.400 \times 26.600^2 + 6.485 = 21516 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (37219 + 21516) = 117470 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 46.00$ cm
 板厚 $wp t = 0.90$ cm
 ボルト間隔 $wp p2 = 9.5$ cm

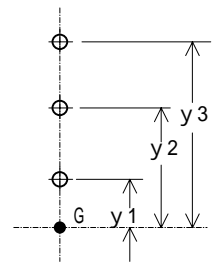
$$pI W1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.900 \times 46.00^3}{12} = 7300 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 451.25 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 451.25 + 5 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 2036 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI W = 2 \cdot (pI W1 - pI W1) = 2 \times (7300 - 2036) = 10528 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 117470 + 10528 = 127998 \text{ cm}^4 > 115242 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

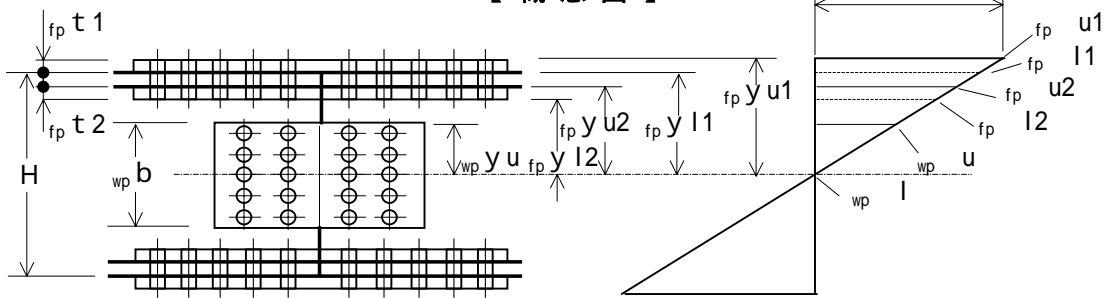
許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 235 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 3880 \text{ cm}^3$

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

$$= 235 \times 3880 \times 10^3 = 911800000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 127998 \text{ cm}^4$

$\rho I f = 117470 \text{ cm}^4$

$$\rho M f = M_r \cdot \frac{\rho I f}{\rho I}$$

$$= 911800000 \times \frac{117470}{127998} = 836803278 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$\rho M f_1 = \rho M f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f} \quad \rho I f_1 = 37219 \text{ cm}^4$$

$$= 836803278 \times \frac{74438}{117470} = 530262726 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 59.4 + 1.60 = 31.30 \text{ cm}$$

$$f_p u_1 = \frac{\rho M f_1}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{u1} \quad \rho \sigma_{ba}$$

$$= \frac{530262726}{2 \times 37219} \times \frac{31.30}{1000} = 223 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 59.4 = 29.70 \text{ cm}$$

$$f_p l_1 = \frac{\rho M f_1}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{l1} \quad \rho \sigma_{ba}$$

$$= \frac{530262726}{74438} \times \frac{29.70}{1000} = 212 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f} \qquad {}_p I f_2 = 21516 \text{ cm}^4$$

$$= 836803278 \times \frac{43032}{117470} = 306540552 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 59.4 - 2.30 = 27.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{306540552}{43032} \times \frac{27.40}{1000} = 195 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 59.4 - 2.30 - 1.60 = 25.80 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{306540552}{43032} \times \frac{25.80}{1000} = 184 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(ボルト)

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

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

$$= \frac{223 + 212}{2} \times 40.00 \times 10^2 = 870000 \text{ N}$$

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

$$= \frac{195 + 184}{2} \times 30.40 \times 10^2 = 576080 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 870000 + 576080 = 1446080 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

$$= 2 \times 380.1 \times 220 = 167244$$

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

$$= 22 \times 23 \times 441 = 223146$$

$$\left. \begin{array}{l} 167244 \\ 223146 \end{array} \right\} = \underline{167244} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1446080}{5 \times 2}$$

$$= 144608 \text{ N} < 167244 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$${}_p I = 127998 \text{ cm}^4$$

$${}_p I_w = 10528 \text{ cm}^4$$

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

$$= 911800000 \times \frac{10528}{127998} = 74996722 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 46.00 = 23.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{74996722}{10528} \times \frac{23.00}{1000} = 164 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

$$= 2 \times 380.1 \times 220 = 167244$$

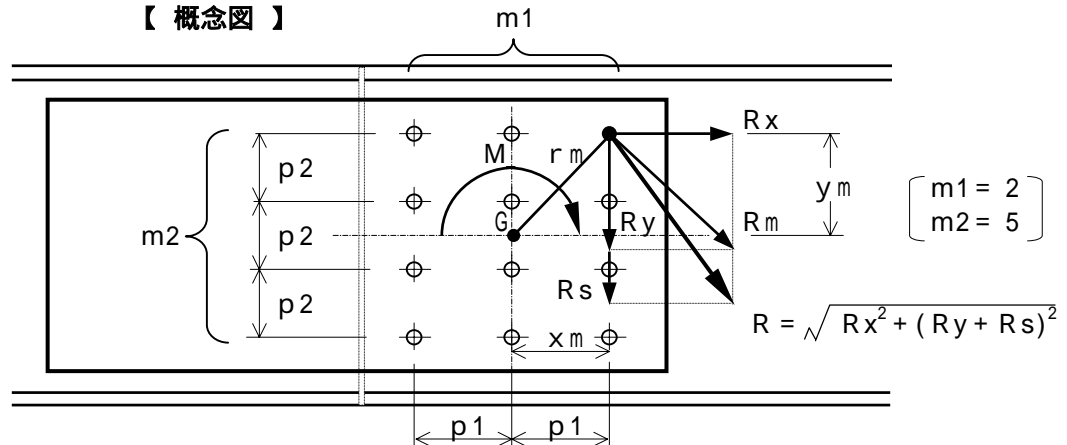
$$S2 = d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 14 \times 441 = 135828$$

$$\left. \begin{array}{l} 167244 \\ 135828 \end{array} \right\} = \frac{135828}{\text{最小}} \text{ N}$$

(最小)_{wb} Sa

【 概念図 】



$$I_p = 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \}$$

$$= 1/12 \times 2 \times 5 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 9.50^2 \times (5^2 - 1) \}$$

$$= 1946 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$y_m = 19.00 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 19.00^2} = 19.37 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{74996722}{1946} \times \frac{19.00}{10} = 73224 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{74996722}{1946} \times \frac{3.75}{10} = 14452 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{74996722}{1946} \times \frac{19.37}{10} = 74650 \text{ N}$$

$$= 74650 \text{ N} < 135828 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 135 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 59.22 \text{ cm}^2 \\ &= 5922 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 135 \times 5922 = 799470 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 60.30 \text{ cm}^2 \\ &= 6030 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{799470}{6030} = 133 \text{ N/mm}^2 < 135 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 220 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 441 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 220 = 167244 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 14 \times 441 = 135828 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{135828} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{799470}{2 \times 5} \\ &= 79947 \text{ N} < 135828 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

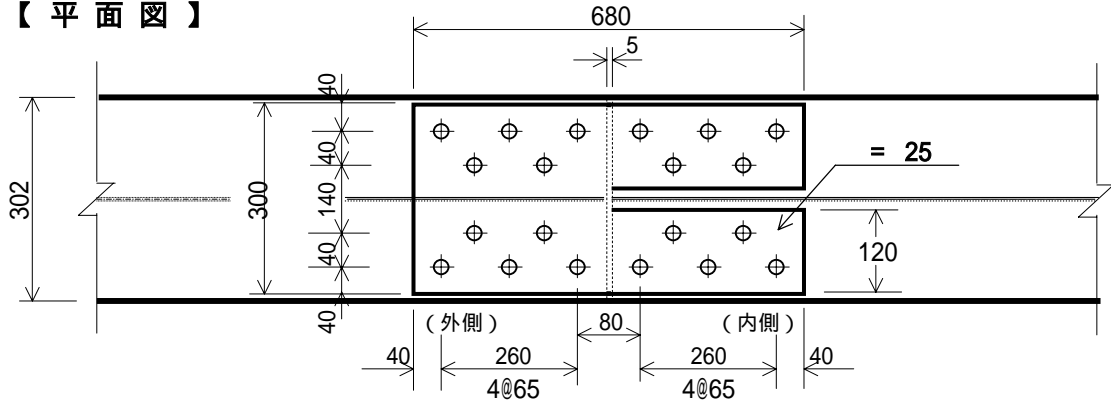
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 73224 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 14452 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 79947 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{73224^2 + (14452 + 79947)^2} \\ &= 119469 \text{ N} < 135828 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

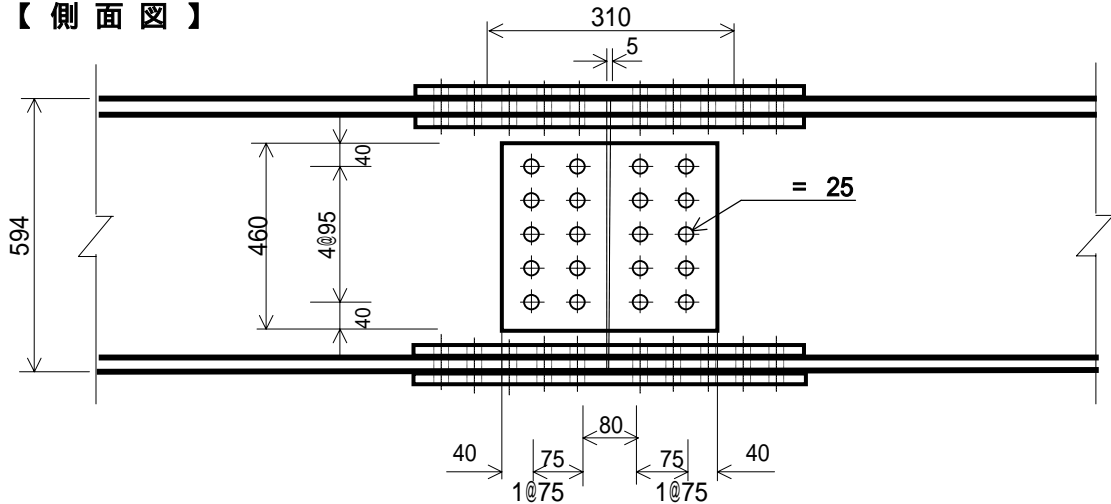
3. 計算結果

母材	H 5 9 4 × 3 0 2 × 1 4 × 2 3		
フランジ部	添接板仕様	2枚： PL 16 × 300 × 680	
		4枚： PL 16 × 120 × 680	
ウェブ部	添接板仕様	2枚： PL 9 × 460 × 310	
		ボルト仕様	F10T : M22 - 40本 L = 95 mm (トリソ型高力ボルトの場合 L = 90 mm)
	ボルト仕様	F10T : M22 - 20本 L = 75 mm (トリソ型高力ボルトの場合 L = 70 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

