

ボルト継手計算書

H 4 0 0 × 2 0 0 × 8 × 1 3

(S M 4 9 0)

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。)
 (鋼材コト) SM490-D (ボルトコト) F10T-DM

「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	$b a =_H$	$t a =$	280 N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	160 N/mm ²	
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	473 N/mm ²	(SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$b a =_P$	$t a =$	280 N/mm ² (SM490)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	160 N/mm ²	
添接板の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	473 N/mm ²	(SM490)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =$	285 N/mm ²	(F10T)

(2) 設計母材

コト: H400-2

H形鋼: H400×200×8×13

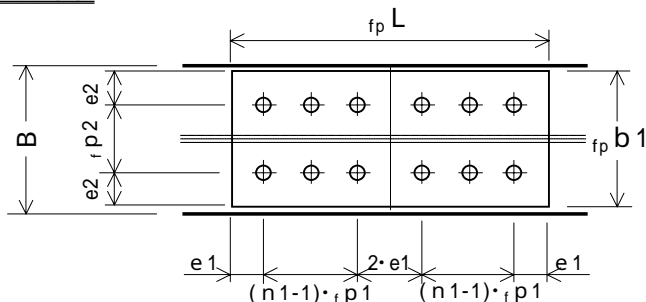
(3) 添接板

	フランジ: 2・PL -	9	×	200	×	460	
		4・PL -	12	×	80	×	460
	ウェブ: 2・PL -	6	×	305	×	310	

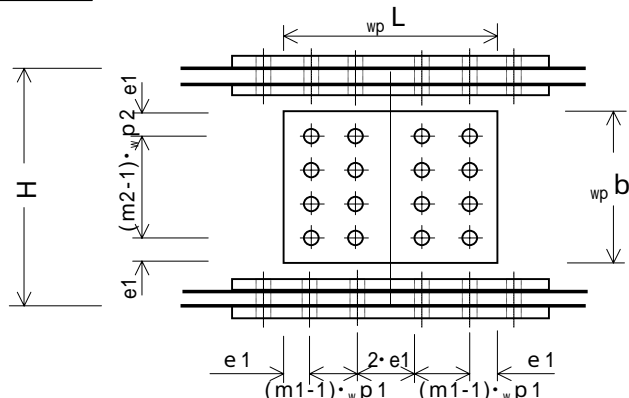
(4) ボルト

ボルト直径 (M22)	$d =$	2.20	cm	
ボルト孔径 (d+3mm)	$d h =$	2.50	cm	
フランジのボルト本数	$n 1 =$	3	本 (軸方向)	
ウェブのボルト本数	$m 1 =$	2	本 (軸方向)	
縁端距離 (応力方向)	$e 1 =$	4.0	cm	
縁端距離 (その他)	$e 2 =$	4.0	cm	
	$n 2 =$	2	本 (軸横断)	
	$m 2 =$	4	本 (軸横断)	
	フランジボルトの軸方向間隔	$f p 1 =$	7.5	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	$w p 1 =$	7.5	cm
	ウェブボルトの横断方向間隔	$w p 2 =$	7.5	cm

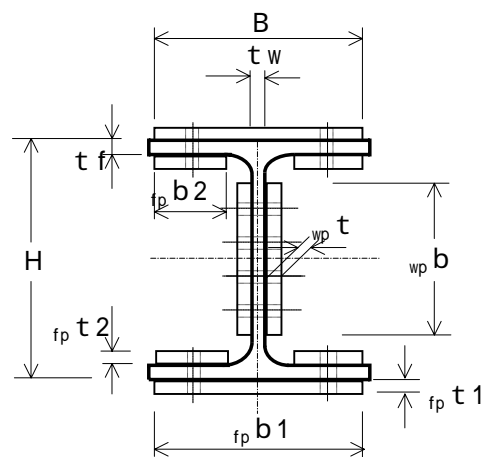
平面図



側面図



断面図

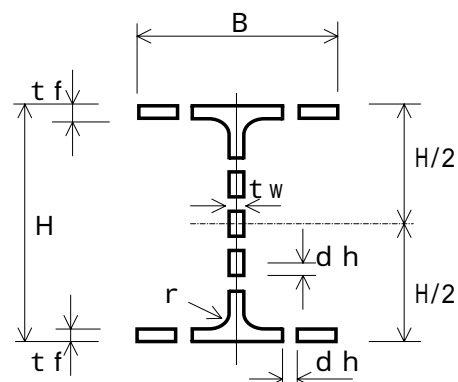


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 400 × 200 × 8 × 13

H 形 鋼 の 高 さ	H =	40	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	20	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	0.8	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	1.3	cm
フ イ 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 - 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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.80 \times 4 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.80 \times (40 - 2 \times 1.30) - 8.00 \\ &= 21.92 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.30 \times 2 = 6.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 83.37 - 0.80 \times (40 - 2 \times 1.30) - 2 \times 6.50 \\ &= 40.45 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

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

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.30^3 \times 2}{12} \\ &= 0.915 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 6.50 \times 19.350^2 + 0.915 = 2435 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

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

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

(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	$f_p b_1 =$	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

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

-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	dh = 2.50 cm	外側板幅	$f_p b_1 = 20.00$ cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	$f_p t_1 = 0.90$ cm
ウェブ	m2 = 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)

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

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

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

(内側添接板)

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

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

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

(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

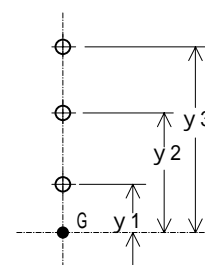
$$p I w_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.600 \times 30.50^3}{12} = 1419 \text{ cm}^4$$

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

$$p I w_1 = dh \cdot w_p t \cdot 2 y + m_2 \cdot \frac{w_p t \cdot (dh)^3}{12}$$

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

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



(ウェブ合計)

$$p I w = 2 \cdot (p I w_1 - p I w_1) = 2 \times (1419 - 425) = 1988 \text{ cm}^4$$

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) 曲げモーメントの計算

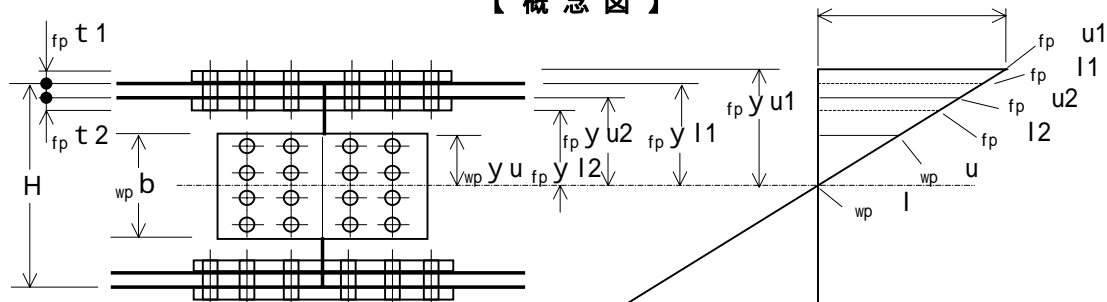
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモーメント

許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 932 \text{ cm}^3$

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

$$= 280 \times 932 \times 10^3 = 260960000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 21934 \text{ cm}^4$
 $\rho I f = 19946 \text{ cm}^4$

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

$$= 260960000 \times \frac{19946}{21934} = 237307749 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_p M_{f1} = {}_p M_f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f} \quad \rho I f_1 = 5647 \text{ cm}^4$$

$$= 237307749 \times \frac{11294}{19946} = 134370486 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 40.0 + 0.90 = 20.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{134370486}{2 \times 5647} \times \frac{20.90}{1000} = 249 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

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

$$= \frac{134370486}{11294} \times \frac{20.00}{1000} = 238 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

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

$$= 237307749 \times \frac{8652}{19946} = 102937263 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 40.0 - 1.30 = 18.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{102937263}{8652} \times \frac{18.70}{1000} = 222 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

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

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

$$= \frac{102937263}{8652} \times \frac{17.50}{1000} = 208 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-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 ${}_H a = 473 \text{ N/mm}^2$

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

$$= \frac{249 + 238}{2} \times 13.50 \times 10^2 = 328725 \text{ N}$$

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

$$= \frac{222 + 208}{2} \times 13.20 \times 10^2 = 283800 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 328725 + 283800 = 612525 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 13 \times 473 = 135278$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 135278 \end{array} \right\} = \underline{135278} \text{ N}$$

(最小) ${}_{f b} S a$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{612525}{3 \times 2}$$

$$= 102088 \text{ N} < 135278 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

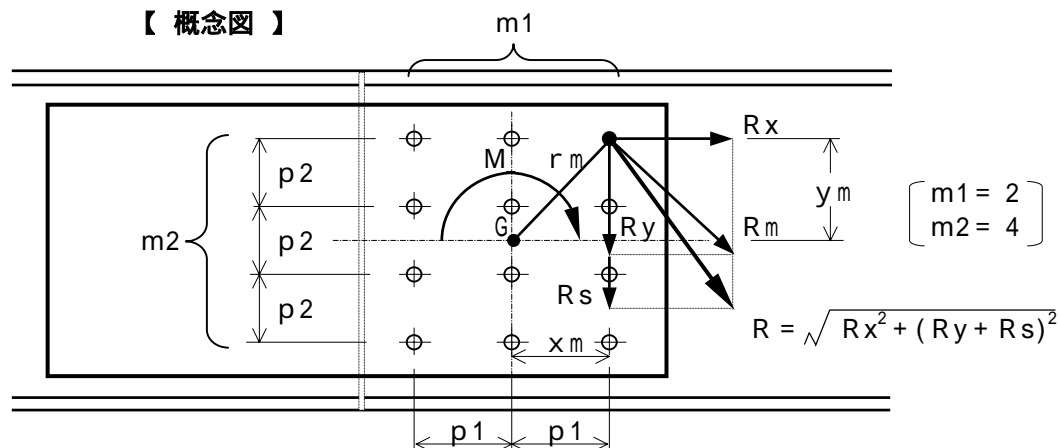
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 21934 \text{ cm}^4 \\
 &= 260960000 \times \frac{1988}{21934} & {}_p I_W &= 1988 \text{ cm}^4 \\
 &= 23652251 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 30.50 = 15.25 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u & a & \\
 &= \frac{23652251}{1988} \times \frac{15.25}{1000} = 181 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 22 & \quad {}_B A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S 1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S 2 &= d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 8 \times 473 = 83248 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} S 1 \\ S 2 \end{array}} \right\} = \frac{83248}{\text{最小}} \text{ N} \\
 & & & \quad (\text{最小})_{wb} S a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 4 \times \left\{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (4^2 - 1) \right\} \\
 &= 675 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{23652251}{675} \times \frac{11.25}{10} = 39420 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{23652251}{675} \times \frac{3.75}{10} = 13140 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{23652251}{675} \times \frac{11.86}{10} \\
 &= 41558 \text{ N} < 83248 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 21.92 \text{ cm}^2 \\ &= 2192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 2192 = 350720 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

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

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{350720}{2460} = 143 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 8 \times 473 = 83248 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{83248} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{350720}{2 \times 4} \\ &= 43840 \text{ N} < 83248 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

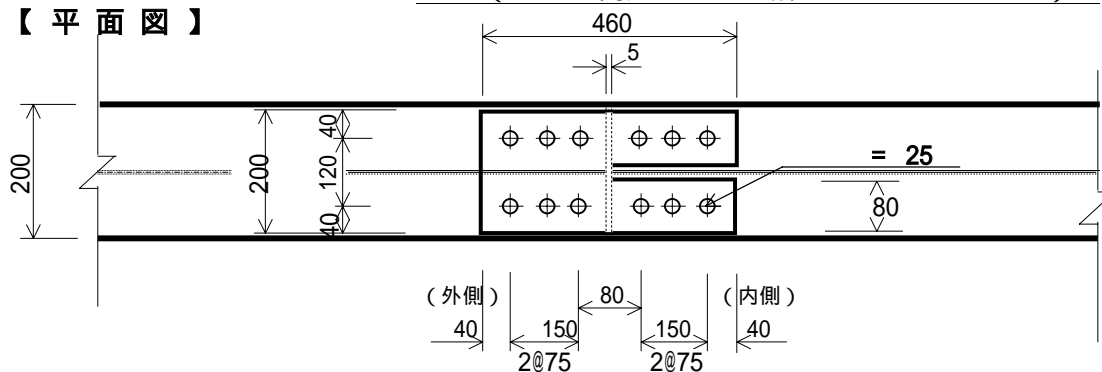
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 39420 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 13140 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 43840 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{39420^2 + (13140 + 43840)^2} \\ &= 69287 \text{ N} < 83248 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

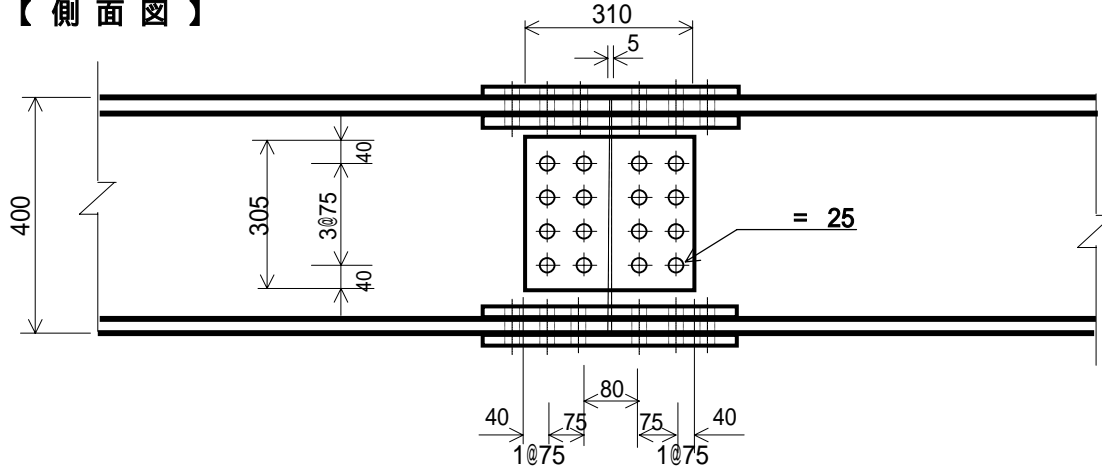
3. 計算結果

母材	H400 × 200 × 8 × 13 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 9 × 200 × 460 (SM490)	
		4枚: PL 12 × 80 × 460 (SM490)	
ウェブ部	添接板仕様	2枚: PL 6 × 305 × 310 (SM490)	
		ボルト仕様	F10T: M22 - 16本 L = 60 mm (トルシヤ型高力ボルトの場合 L = 55 mm)
	ボルト仕様	F10T: M22 - 24本 L = 75 mm (トルシヤ型高力ボルトの場合 L = 70 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

