

ボルト継手計算書

H400 × 400 × 13 × 21

土木仕様

(SI単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H400 × 400) 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	$a =_H$	$a =$	120 N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度 _H	$a =_H$	$a =$	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	$a =_P$	$a =$	120 N/mm ²
添接板の許容支圧応力度 _P	$a =_P$	$a =$	355 N/mm ² (SS400)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =_B$	$a =$	285 N/mm ² (F10T)

(2) 設計母材

コード: H400

H形鋼: H400 × 400 × 13 × 21

(3) 添接板

	コード	< _p t >	< _p b >	< _p L >
フランジ	2・PL	12	400	810
	4・PL	16	160	810
ウェブ	2・PL	9	280	460

(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 $n1 = 6$ 本 (軸方向) $n2 = 2$ 本 (軸横断)

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

縁端距離 (応力方向) $e1 = 4.00$ cm

縁端距離 (その他) $e2 = 6.00$ cm

縁端距離 (応力方向) $e3 = 6.00$ cm

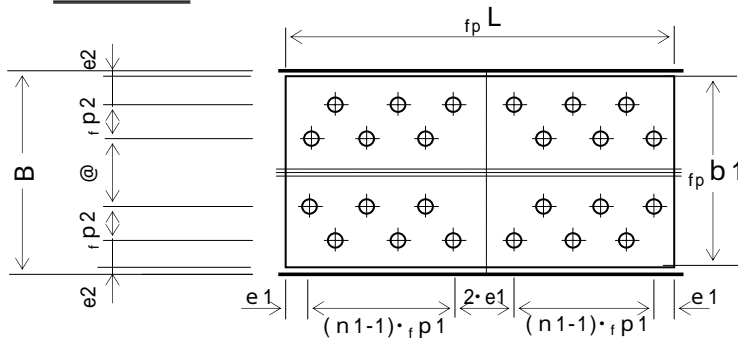
フランジボルトの軸方向間隔 $f p1 = 6.5$ cm

フランジボルトの横断方向間隔 $f p2 = 4.0$ cm

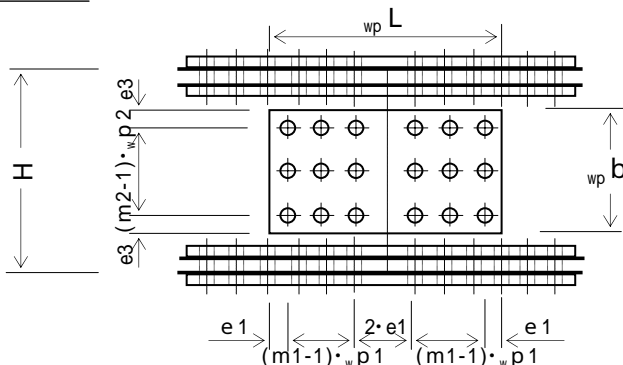
ウェブボルトの軸方向間隔 $w p1 = 7.5$ cm

ウェブボルトの横断方向間隔 $w p2 = 8.0$ cm

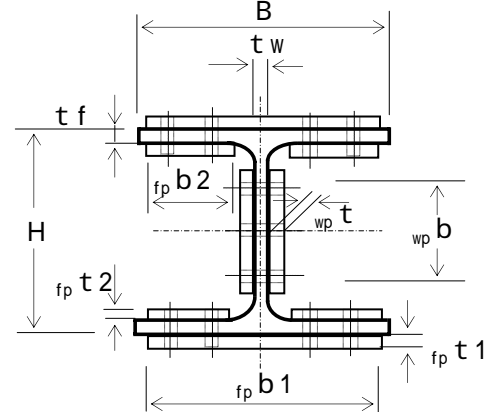
平面図



側面図



断面図

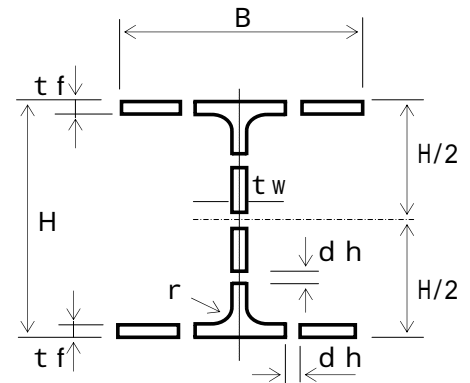


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 400 × 400 × 13 × 21

H 形 鋼 の 高 さ	H =	40	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	40	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.3	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	2.1	cm
フ イ レ ッ ト	r =	2.2	cm
断 面 積	A =	218.70	cm ²
断 面 係 数	Z =	3330	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	66600	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 =	3	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.30 \times 3 = 9.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.30 \times (40 - 2 \times 2.10) - 9.75 \\ &= 36.79 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.10 \times 2 = 10.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 218.70 - 1.30 \times (40 - 2 \times 2.10) - 2 \times 10.50 \\ &= 151.16 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 151.16 + 36.79 = 187.95 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.10^3 \times 2}{12} \\ &= 3.859 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 10.500 \times 18.950^2 + 3.859 = 3774 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 3774 = 7548 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 66600 - 7548 = 59052 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{59052}{20.00} = 2953 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅 $f_p b_1 = 40.0$ cm
板厚 $f_p t_1 = 1.20$ cm
内側板幅 $f_p b_2 = 16.00$ cm
板厚 $f_p t_2 = 1.60$ cm
ボルト孔径 $dh = 2.50$ cm
ボルト本数 $n_2 = 2$ 本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} B A f_1 &= dh \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - B A f_1 \\ &= 40.00 \times 1.20 - 6.00 = 42.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

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

$$\begin{aligned} P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 1.60 - 8.00 = 43.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} P A f &= 2 \cdot (P A f_1 + P A f_2) \\ &= 2 \times (42.00 + 43.20) = 170.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 28.0$ cm
板厚 $w_p t = 0.90$ cm
ボルト本数 $m_2 = 3$ 本 (軸横断)

$$\begin{aligned} B A W &= dh \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 3 = 6.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - B A W \\ &= 28.00 \times 0.90 - 6.75 = 18.45 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} P A W &= 2 \cdot P A W_1 \\ &= 2 \times 18.45 = 36.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} P A &= P A f + P A W \quad A' \\ &= 170.40 + 36.90 = 207.30 \text{ cm}^2 > 187.95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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
 フランジ $n_2 = 2$ 本 (軸横断)
 ウェブ $m_2 = 3$ 本 (軸横断)

外側板幅 $f_p b_1 = 40.00$ cm
 板厚 $f_p t_1 = 1.20$ cm
 面積 $P A f_1 = 42.00$ cm²
 内側板幅 $f_p b_2 = 16.00$ cm
 板厚 $f_p t_2 = 1.60$ cm
 面積 $P A f_2 = 43.20$ cm²

(外側添接板)

$$f_p b_1' = f_p b_1 - d_h \cdot n_2 = 40.00 - (2.50 \times 2) = 35.00 \text{ cm}$$

$$P I f_1 = \frac{f_p b_1' \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{35.00 \times 1.20^3}{12} = 5.040 \text{ cm}^4$$

$$P I f_1 = P A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + P I f_1 = 42.000 \times 20.600^2 + 5.040 = 17828 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b_2' = 2 \cdot f_p b_2 - d_h \cdot n_2 = 2 \times 16.00 - (2.50 \times 2) = 27.00 \text{ cm}$$

$$P I f_2 = \frac{f_p b_2' \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{27.00 \times 1.60^3}{12} = 9.216 \text{ cm}^4$$

$$P I f_2 = P A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + P I f_2 = 43.200 \times 17.100^2 + 9.216 = 12641 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$P I f = 2 \cdot (P I f_1 + P I f_2) = 2 \times (17828 + 12641) = 60938 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 28.00$ cm
 板厚 $w_p t = 0.90$ cm
 ボルト間隔 $w p_2 = 8.0$ cm

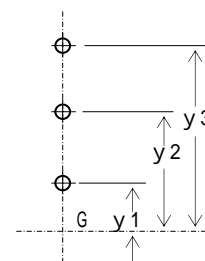
$$P I W_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.900 \times 28.00^3}{12} = 1646 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 64.00 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 64.00 + 3 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 292 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$P I W = 2 \cdot (P I W_1 - P I W_1) = 2 \times (1646 - 292) = 2708 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 60938 + 2708 = 63646 \text{ cm}^4 > 59052 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

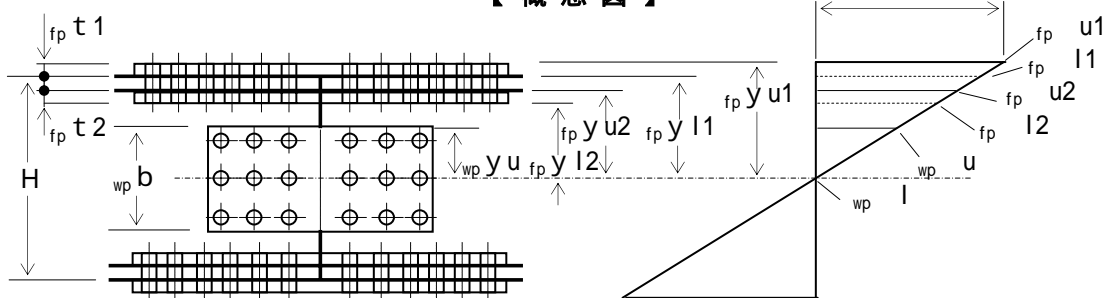
1) H形鋼 1 本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 2953 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 2953 \times 10^3 = 620130000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 63646 \text{ cm}^4$
 $pIf = 60938 \text{ cm}^4$

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

$$= 620130000 \times \frac{60938}{63646} = 593744806 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 17828 \text{ cm}^4$$

$$= 593744806 \times \frac{35656}{60938} = 347411546 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$fp y u1 = 1/2 \cdot H + fp t1 = 1/2 \times 40.0 + 1.20 = 21.20 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{347411546}{2 \times 17828} \times \frac{21.20}{1000} = 207 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

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

$$= \frac{347411546}{35656} \times \frac{20.00}{1000} = 195 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 12641 \text{ cm}^4$$

$$= 593744806 \times \frac{25282}{60938} = 246333260 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 40.0 - 2.10 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{246333260}{25282} \times \frac{17.90}{1000} = 174 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 40.0 - 2.10 - 1.60 = 16.30 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{246333260}{25282} \times \frac{16.30}{1000} = 159 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{207 + 195}{2} \times 42.00 \times 10^2 = 844200 \text{ N}$$

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

$$= \frac{174 + 159}{2} \times 43.20 \times 10^2 = 719280 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 844200 + 719280 = 1563480 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

$$= \frac{2}{2} \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= \frac{22}{22} \times 21 \times 355 = 164010$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \\ = 164010 \end{array} \right\} = \underline{164010} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1563480}{6 \times 2}$$

$$= 130290 \text{ N} < 164010 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

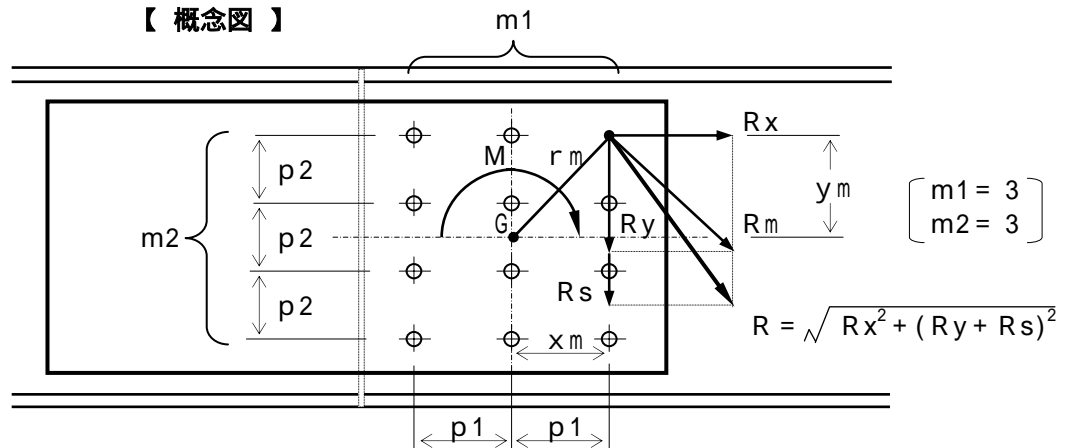
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_w &= M_r \cdot \frac{{}_p I_w}{{}_p I} & {}_p I &= 63646 \text{ cm}^4 \\
 &= 620130000 \times \frac{2708}{63646} = 26385194 \text{ N}\cdot\text{mm} & {}_p I_w &= 2708 \text{ cm}^4 \\
 {}_w y_u &= 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 28.00 = 14.00 \text{ cm} \\
 {}_w u &= \frac{{}_p M_w}{{}_p I_w} \cdot {}_w y_u & & \\
 &= \frac{26385194}{2708} \times \frac{14.00}{1000} = 136 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2 \\
 &&& \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 13 \times 355 = 101530
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{101530 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 3 \times 3 \times \{ 7.50^2 \times (3^2 - 1) + 8.00^2 \times (3^2 - 1) \} \\
 &= 722 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 7.50 \text{ cm} \\
 y_m &= 8.00 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{7.50^2 + 8.00^2} = 10.97 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{26385194}{722} \times \frac{8.00}{10} = 29236 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{26385194}{722} \times \frac{7.50}{10} = 27408 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{26385194}{722} \times \frac{10.97}{10} \\
 &= 40089 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼1本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 36.79 \text{ cm}^2 \\ &= 3679 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 3679 = 441480 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 36.90 \text{ cm}^2 \\ &= 3690 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{441480}{3690} = 120 \text{ N/mm}^2 \quad 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 13 \times 355 = 101530 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{101530 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{441480}{3 \times 3} \\ &= 49053 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

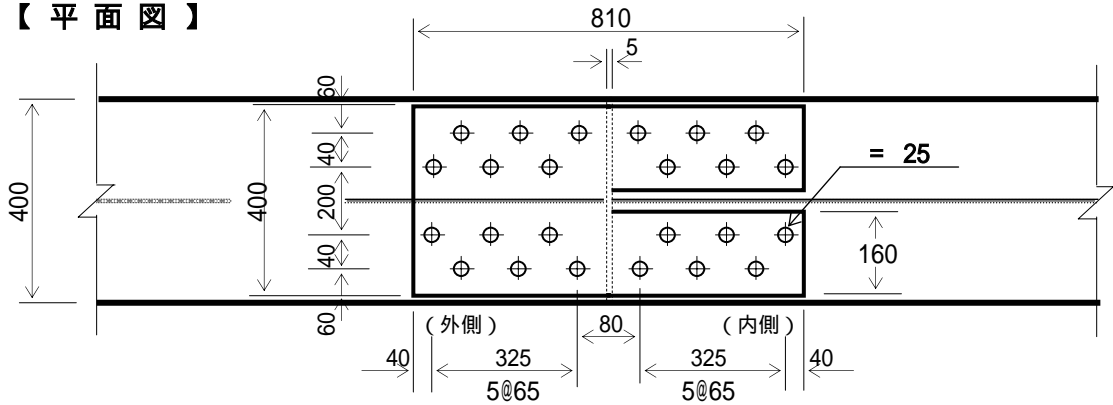
$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 29236 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 27408 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 49053 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{29236^2 + (27408 + 49053)^2} \\ &= 81860 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

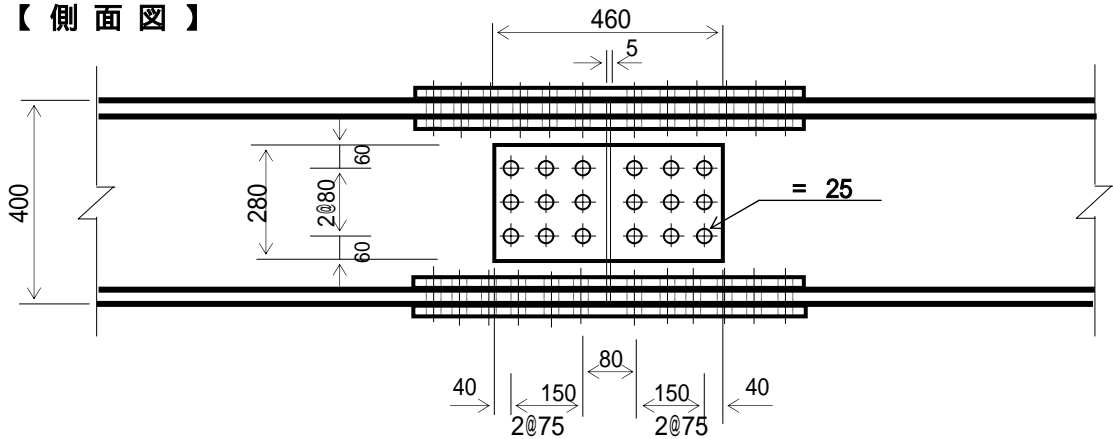
3. 計算結果

母材	H400 × 400 × 13 × 21		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 12 × 400 × 810	
		4枚: PL 16 × 160 × 810	
ウェブ部	添接板仕様	2枚: PL 9 × 280 × 460	
	ボルト仕様	F10T: M22 - 48本	L = 90 mm
		(トルシヤ型高力ボルトの場合)	L = 85 mm
	ボルト仕様	F10T: M22 - 18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】

