

ボルト継手計算書

H400×400×13×21

(SM490)

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。

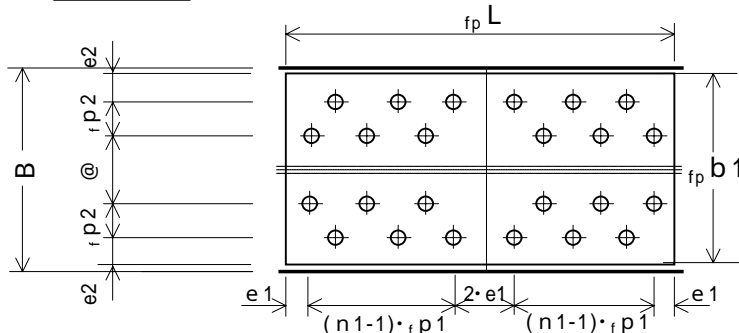
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H	$ba =_H$	$ta =$	280 N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数) _H	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P$	$ta =$	280 N/mm ² (SM490)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
添接板の許容支圧応力度(315×係数) _P	$a =$	473	N/mm ² (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
H形鋼: H400×400×13×21

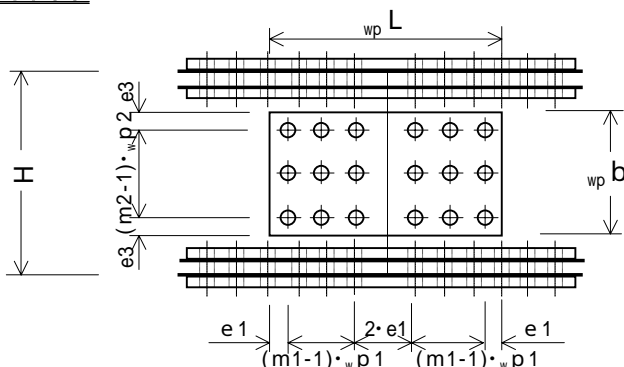
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|-------|-----------|---|-----|---|-----|
| フランジ: | 2・PL - 12 | × | 400 | × | 810 |
| | 4・PL - 16 | × | 160 | × | 810 |
| ウェブ: | 2・PL - 9 | × | 280 | × | 460 |

- (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 |

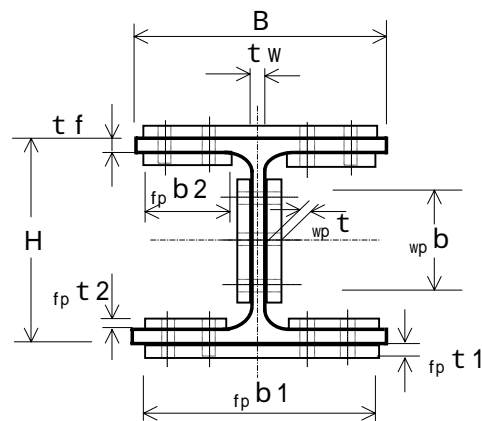
平面図



側面図



断面図

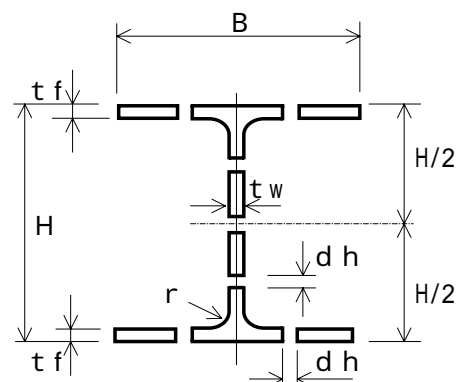


2. 継手部の設計

(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)

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

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

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

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

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

(断面二次モーメント: ウェブ孔は控除しない場合)

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

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 10.50 \times 18.95^2 + 3.859 = 3774 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

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

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

(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	$d_h =$	2.50	cm
ボルト本数	$n_2 =$	2	本 (軸横断)

(外側添接板)

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

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

(内側添接板)

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

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

(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)

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

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

(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	dh = 2.50 cm	外側板幅	$f_p b_1 = 40.00$ cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	$f_p t_1 = 1.20$ cm
ウェブ	m2 = 3 本 (軸横断)	面積	$p A f_1 = 42.00$ cm ²
		内側板幅	$f_p b_2 = 16.00$ cm
		板厚	$f_p t_2 = 1.60$ cm
		面積	$p A f_2 = 43.20$ cm ²

(外側添接板)

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

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

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

(内側添接板)

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

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

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

(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

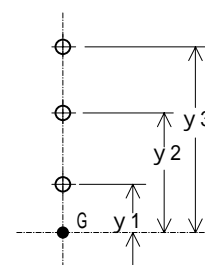
$$p I w_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.900 \times 28.00^3}{12} = 1646 \text{ cm}^4$$

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

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

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

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



(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

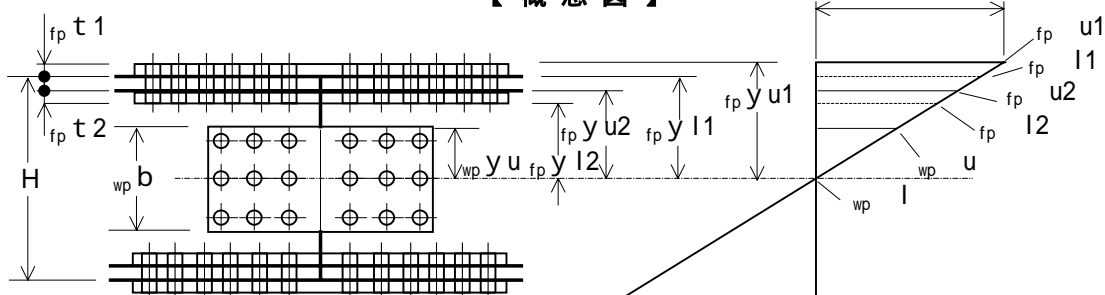
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモーメント

許容曲げ応力度 $Hba = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 2953 \text{ cm}^3$

$$M_r = Hba \cdot Z'$$

$$= 280 \times 2953 \times 10^3 = 826840000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

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

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

$$= 826840000 \times \frac{60938}{63646} = 791659742 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

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

$$= 791659742 \times \frac{35656}{60938} = 463215395 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

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

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

$$= \frac{463215395}{2 \times 17828} \times \frac{21.20}{1000} = 275 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

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

$$= \frac{463215395}{35656} \times \frac{20.00}{1000} = 260 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

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

$$= 791659742 \times \frac{25282}{60938} = 328444347 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

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

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

$$= \frac{328444347}{25282} \times \frac{17.90}{1000} = 233 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

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

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

$$= \frac{328444347}{25282} \times \frac{16.30}{1000} = 212 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{275 + 260}{2} \times 42.00 \times 10^2 = 1123500 \text{ N}$$

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

$$= \frac{233 + 212}{2} \times 43.20 \times 10^2 = 961200 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 1123500 + 961200 = 2084700 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 21 \times 473 = 218526$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 218526 \end{array} \right\} = \underline{216657} \text{ N} \\ (\text{最小}) {}_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{2084700}{6 \times 2}$$

$$= 173725 \text{ N} < 216657 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

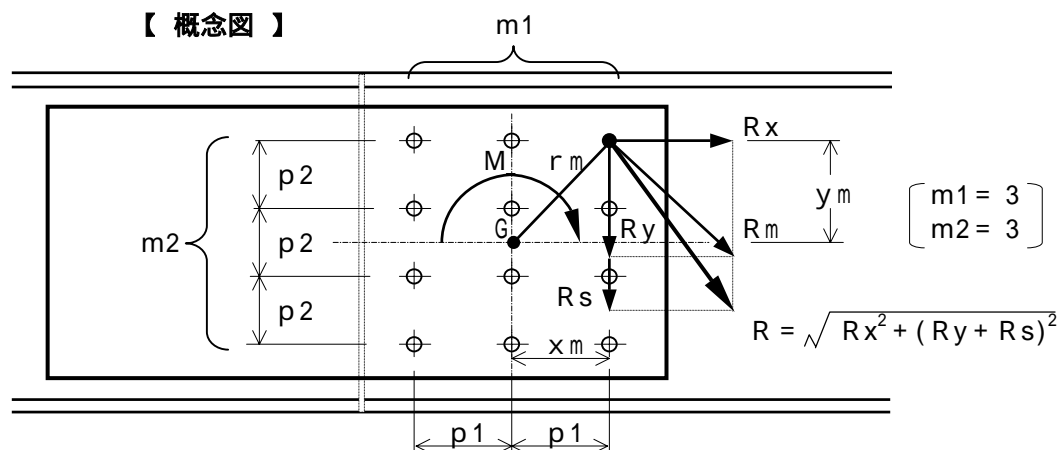
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 63646 \text{ cm}^4 \\
 &= 826840000 \times \frac{2708}{63646} & {}_p I_W &= 2708 \text{ cm}^4 \\
 &= 35180258 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 28.00 = 14.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u & a & \\
 &= \frac{35180258}{2708} \times \frac{14.00}{1000} = 182 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 22 & \quad B A = 1/4 \cdot \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 \quad 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S 1 &= 2 \cdot B A \cdot a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S 2 &= d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 13 \times 473 = 135278 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} S 1 \\ S 2 \end{array}} \right\} = \underline{135278 \text{ N}} \\
 & & & \quad (\text{最小})_{wb} S a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



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

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{35180258}{722} \times \frac{8.00}{10} = 38981 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{35180258}{722} \times \frac{7.50}{10} = 36545 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{35180258}{722} \times \frac{10.97}{10} \\
 &= 53453 \text{ N} < 135278 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 36.79 \text{ cm}^2 \\ &= 3679 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 3679 = 588640 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

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

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{588640}{3690} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 13 \times 473 = 135278 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{135278 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{588640}{3 \times 3} \\ &= 65404 \text{ N} < 135278 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

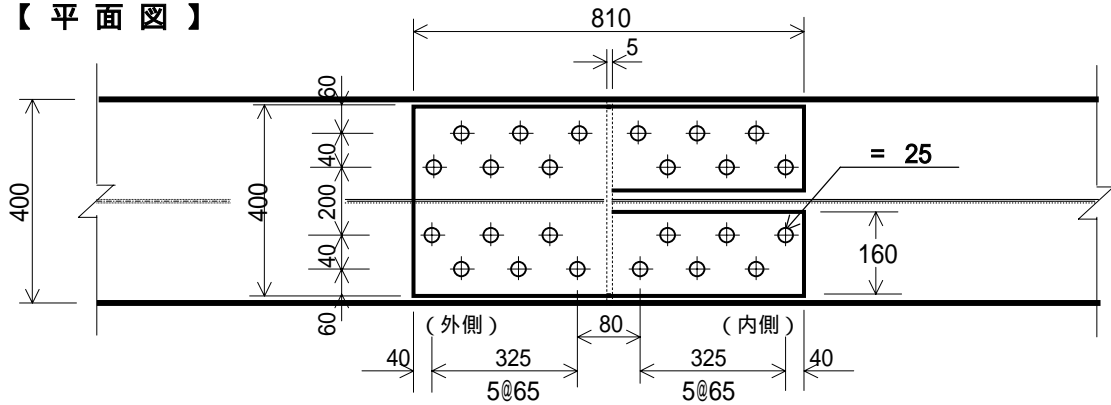
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 38981 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 36545 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 65404 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{38981^2 + (36545 + 65404)^2} \\ &= 109147 \text{ N} < 135278 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

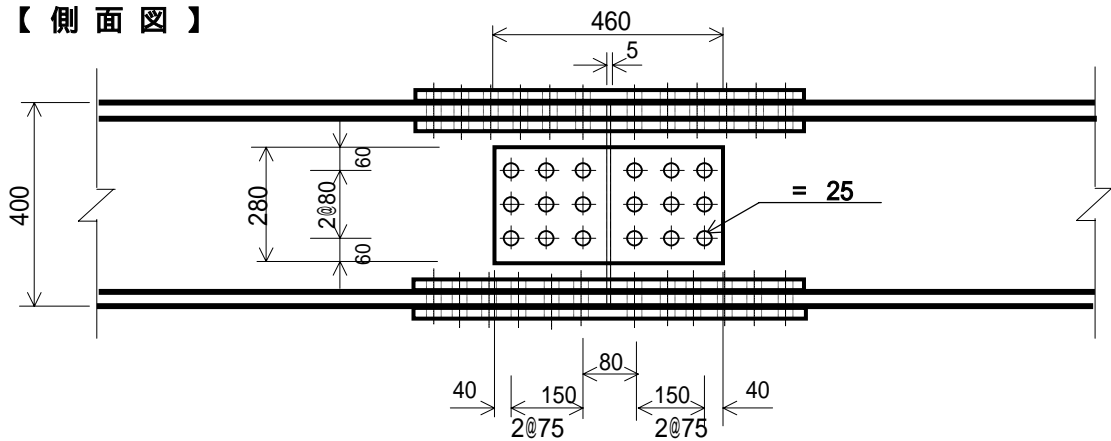
3. 計算結果

母材	H 4 0 0 × 4 0 0 × 1 3 × 2 1 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2枚： PL 12 × 400 × 810 (SM490)	
		4枚： PL 16 × 160 × 810 (SM490)	
ウェブ部	添接板仕様	2枚： PL 9 × 280 × 460 (SM490)	
	ボルト仕様	F10T： M22 - 48本 L = 90 mm (トリジ型高力ボルトの場合 L = 85 mm)	
	ボルト仕様	F10T： M22 - 18本 L = 75 mm (トリジ型高力ボルトの場合 L = 70 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

