

# ボルト継手計算書

H 4 5 0 × 2 0 0 × 9 × 1 4

( 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 (H450×200) 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。)  
 (鋼材コード) SM490-D (ボルトコード) 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 <sub>H</sub>	$ba =_H ta =$	280	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 <sub>H</sub>	$a =$	160	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数) <sub>H</sub>	$a =$	473	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 <sub>P</sub>	$ba =_P ta =$	280	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
添接板の許容せん断応力度 <sub>P</sub>	$a =$	160	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
添接板の許容支圧応力度(315×係数) <sub>P</sub>	$a =$	473	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
ボルトの許容せん断応力度 <sub>B</sub>	$a =$	285	N/mm <sup>2</sup> (F10T)

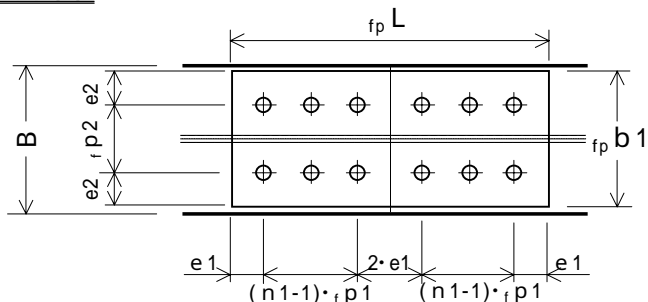
- (2) 設計母材 コード: H450-2

H形鋼: H450×200×9×14

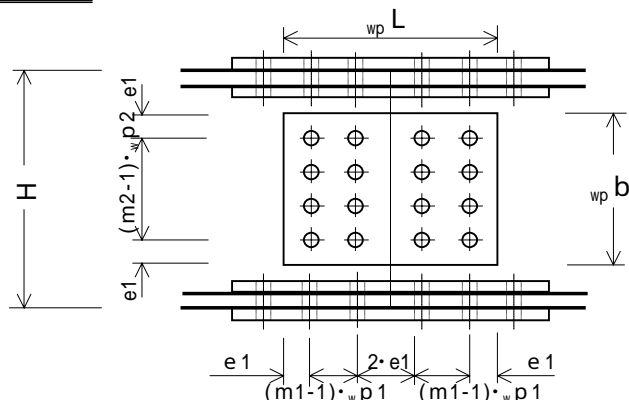
- (3) 添接板
- |              |    |   |     |   |     |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 9  | × | 200 | × | 460 |
| 4・PL -       | 12 | × | 80  | × | 460 |
| ウェブ: 2・PL -  | 6  | × | 350 | × | 310 |

- (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) |
| 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      | $m2 =$   | 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  | $f p1 =$ | 7.5  | cm      |
| フランジボルトの横断方向間隔 | $f p2 =$ | 12.0 | 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  | $w p2 =$ | 9.0  | cm      |

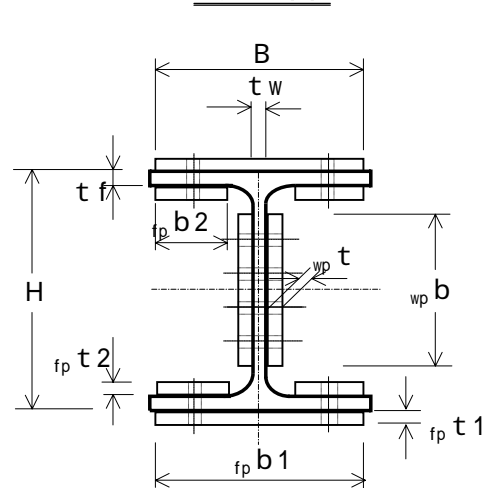
平面図



側面図



断面図

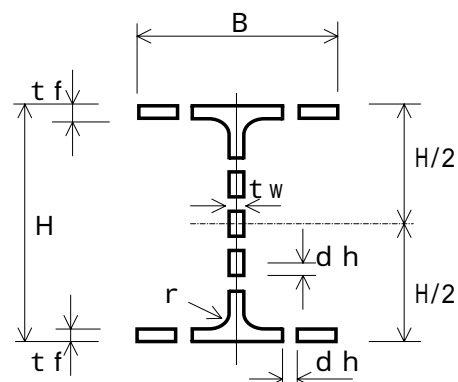


## 2. 継手部の設計

## (1) 母材の断面性能計算

## 1) 母材 H 450 × 200 × 9 × 14

H 形 鋼 の 高 さ	H =	45	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	20	cm
ウ エ ブ 厚	t <sub>w</sub> =	0.9	cm
フ ラ ン ジ 厚	t <sub>f</sub> =	1.4	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	95.43	cm <sup>2</sup>
断 面 係 数	Z =	1460	cm <sup>3</sup>
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	32900	cm <sup>4</sup>



## 2) ボルト穴を控除した断面性能

ボルト孔径	d <sub>h</sub> =	2.50	cm
フランジボルトの本数	n <sub>2</sub> =	2	本 (軸横断)
ウェブボルトの本数	m <sub>2</sub> =	4	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 4 = 9.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.90 \times (45 - 2 \times 1.40) - 9.00 \\ &= 28.98 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.40 \times 2 = 7.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 95.43 - 0.90 \times (45 - 2 \times 1.40) \\ &\quad - 2 \times 7.00 \\ &= 43.45 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 43.45 + 28.98 = 72.43 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.40^3 \times 2}{12} \\ &= 1.143 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 7.000 \times 21.800^2 + 1.143 = 3328 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 3328 = 6656 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 32900 - 6656 = 26244 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{26244}{22.50} = 1166 \text{ cm}^3$$

## (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	$w_p b =$	35.0	cm
板厚	$w_p t =$	0.60	cm
ボルト本数	$m_2 =$	4	本 (軸横断)

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

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 35.00 \times 0.60 - 6.00 = 15.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 15.00 = 30.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

## 3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 53.40 + 30.00 = 83.40 \text{ cm}^2 > 72.43 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 <sup>2</sup>
		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 <sup>2</sup>

(外側添接板)

$$f_p b_1' = f_p b_1 - dh \cdot n_2$$

$$= 20.00 - (2.50 \times 2) = 15.00 \text{ cm}$$

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

$$p I f_1 = p A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I f_1$$

$$= 13.500 \times 22.950^2 + 0.911 = 7111 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b_2' = 2 \cdot f_p b_2 - dh \cdot n_2$$

$$= 2 \times 8.00 - (2.50 \times 2) = 11.00 \text{ cm}$$

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

$$p I f_2 = p A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I f_2$$

$$= 13.200 \times 20.500^2 + 1.584 = 5549 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f_1 + p I f_2) = 2 \times (7111 + 5549) = 25320 \text{ cm}^4$$

## 2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b = 35.00$ cm
板厚	$w_p t = 0.60$ cm
ボルト間隔	$w p_2 = 9.0$ cm

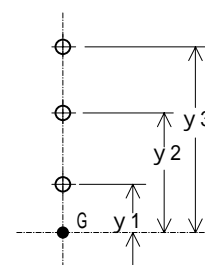
$$p I w_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.600 \times 35.00^3}{12} = 2144 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 202.50 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 0.60 \times 2 \times 203 + 4 \times \frac{0.60 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 611 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$p I w = 2 \cdot (p I w_1 - p I w_1) = 2 \times (2144 - 611) = 3066 \text{ cm}^4$$

## 3) 断面二次モーメント

$$p I = p I f + p I w \quad I'$$

$$= 25320 + 3066 = 28386 \text{ cm}^4 > 26244 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

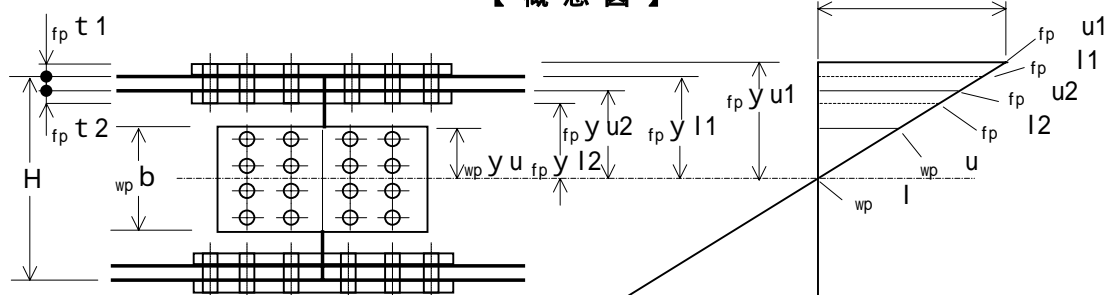
## (4) 曲げモーメントの計算

## 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  $Z' = 1166 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} M_r &= \sigma_{ba} \cdot Z' \\ &= 280 \times 1166 \times 10^3 = 326480000 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

【概念図】



## 2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 28386 \text{ cm}^4$   
 $\rho I f = 25320 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned} \rho M f &= M_r \cdot \frac{\rho I f}{\rho I} \\ &= 326480000 \times \frac{25320}{28386} = 291216572 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

(外側フランジ)

$$\rho M f_1 = \rho M f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f} \quad \rho I f_1 = 7111 \text{ cm}^4$$

$$= 291216572 \times \frac{14222}{25320} = 163573542 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 45.0 + 0.90 = 23.40 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f_p u_1 &= \frac{\rho M f_1}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{u1} \quad \rho \sigma_{ba} \\ &= \frac{163573542}{2 \times 7111} \times \frac{23.40}{1000} = 269 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 45.0 = 22.50 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f_p l_1 &= \frac{\rho M f_1}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{l1} \quad \rho \sigma_{ba} \\ &= \frac{163573542}{14222} \times \frac{22.50}{1000} = 259 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 5549 \text{ cm}^4$$

$$= 291216572 \times \frac{11098}{25320} = 127643030 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 45.0 - 1.40 = 21.10 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{127643030}{11098} \times \frac{21.10}{1000} = 243 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y l_2 = 1/2 \cdot H - t f - f_p t_2$$

$$= 1/2 \times 45.0 - 1.40 - 1.20 = 19.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{127643030}{11098} \times \frac{19.90}{1000} = 229 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{269 + 259}{2} \times 13.50 \times 10^2 = 356400 \text{ N}$$

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

$$= \frac{243 + 229}{2} \times 13.20 \times 10^2 = 311520 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 356400 + 311520 = 667920 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 14 \times 473 = 145684$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \\ = 145684 \end{array} \right\} = \underline{145684} \text{ N}$$

(最小)  $f_b S a$ 

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{667920}{3 \times 2}$$

$$= 111320 \text{ N} < 145684 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

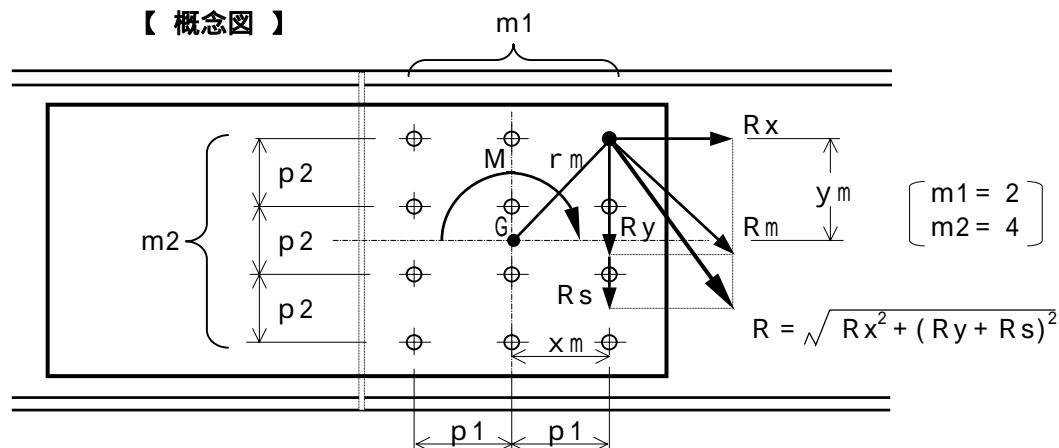
## 3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 28386 \text{ cm}^4 \\
 &= 326480000 \times \frac{3066}{28386} & {}_p I_W &= 3066 \text{ cm}^4 \\
 &= 35263428 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 35.00 = 17.50 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u & a & \\
 &= \frac{35263428}{3066} \times \frac{17.50}{1000} = 201 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 22 & \quad {}_B A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 9 \times 473 = 93654 \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} S1 \\ S2 \end{matrix}} \right\} = \frac{93654}{\text{最小}} \text{ N} \\
 & & & \quad \text{(最小)}_{wb} S_a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 4 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 9.00^2 \times (4^2 - 1) \} \\
 &= 923 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 13.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 13.50^2} = 14.01 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{35263428}{923} \times \frac{13.50}{10} = 51577 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{35263428}{923} \times \frac{3.75}{10} = 14327 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{35263428}{923} \times \frac{14.01}{10} \\
 &= 53526 \text{ N} < 93654 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$



## (5) せん断力の計算

## 1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 28.98 \text{ cm}^2 \\ &= 2898 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 2898 = 463680 \text{ N} \end{aligned}$$

## 2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 30.00 \text{ cm}^2 \\ &= 3000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{463680}{3000} = 155 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

## 3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.9 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 9 \times 473 = 93654 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{93654} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{463680}{2 \times 4} \\ &= 57960 \text{ N} < 93654 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

## (6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

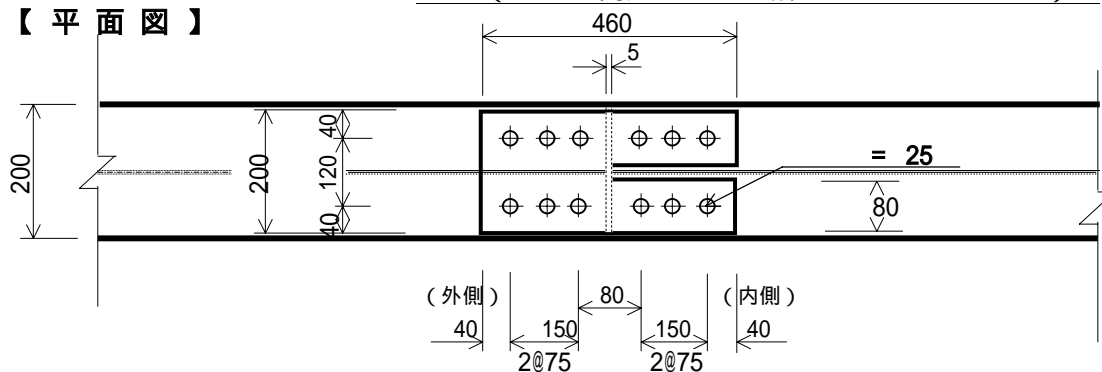
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 51577 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 14327 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 57960 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{51577^2 + (14327 + 57960)^2} \\ &= 88801 \text{ N} < 93654 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

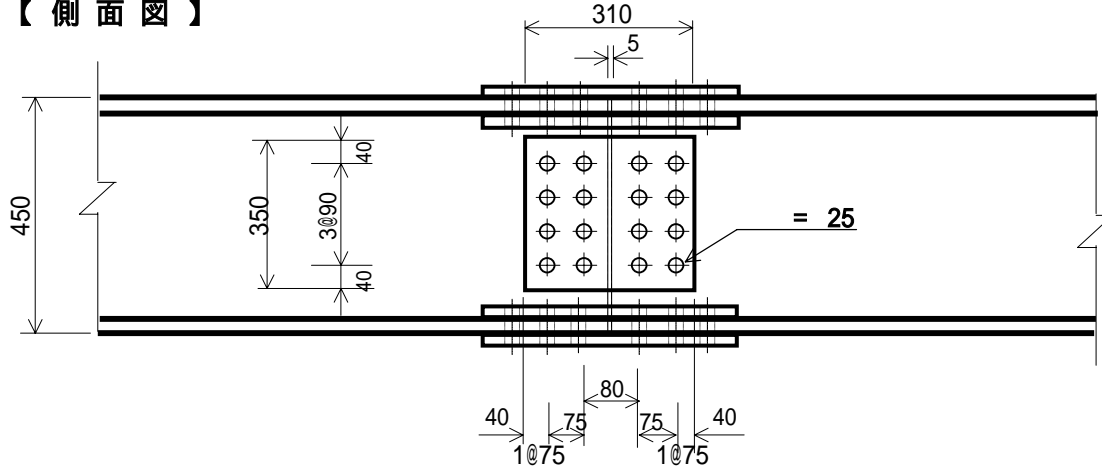
## 3. 計算結果

母材	H 4 5 0 × 2 0 0 × 9 × 1 4 (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 × 350 × 310 (SM490)	
		ボルト仕様	F10T: M22 - 16本 L = 65 mm ( トリブ型高力ボルトの場合 L = 60 mm )
	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 )	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

