

ボルト継手計算書

H 4 9 8 × 4 3 2 × 4 5 × 7 0

(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 (H 498 × 432) 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。

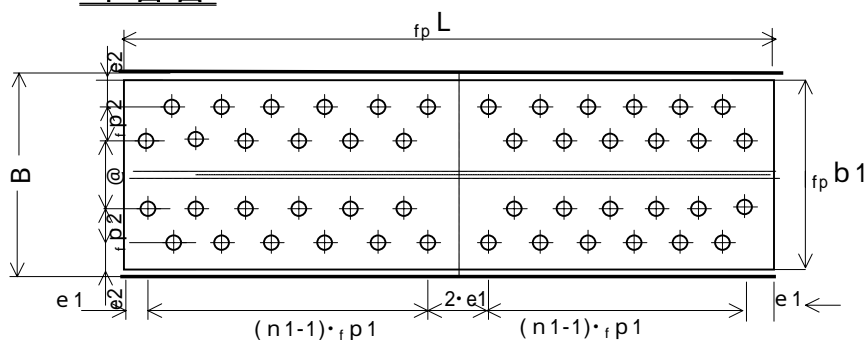
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H	$ba =_H ta =$	280	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数) _H	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P ta =$	280	N/mm ² (SM490)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
添接板の許容支圧応力度(315×係数) _P	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
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: H498
H形鋼: H 498 × 432 × 45 × 70

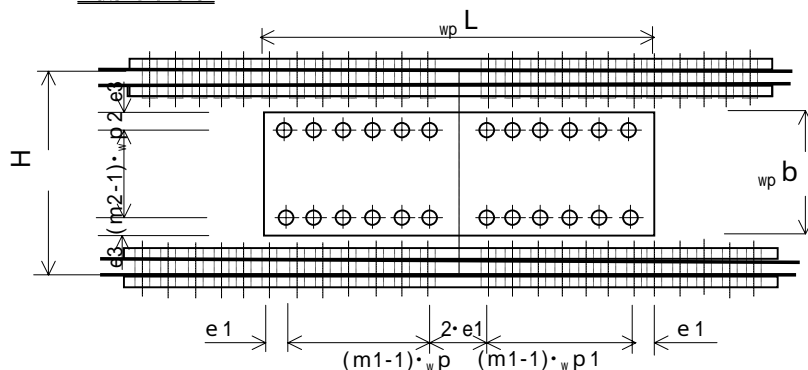
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|------|
| フランジ: 2・PL - | 45 | × | 430 | × | 1830 |
| 4・PL - | 50 | × | 160 | × | 1830 |
| ウェブ: 2・PL - | 50 | × | 200 | × | 1030 |

- (4) ボルト
- | | | | |
|----------------|----------|------|---------|
| ボルト直径 (M24) | $d =$ | 2.40 | cm |
| ボルト孔径 (d+3mm) | $dh =$ | 2.70 | cm |
| フランジのボルト本数 | $n1 =$ | 12 | 本 (軸方向) |
| ウェブのボルト本数 | $m1 =$ | 6 | 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 | $m2 =$ | 2 | 本 (軸横断) |
| 縁端距離(応力方向) | $e1 =$ | 4.50 | cm |
| 縁端距離(その他) | $e2 =$ | 6.00 | cm |
| 縁端距離(応力方向) | $e3 =$ | 5.50 | 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 | $f p2 =$ | 4.0 | cm |
| ウェブボルトの軸方向間隔 | $w p1 =$ | 8.5 | cm |
| ウェブボルトの横断方向間隔 | $w p2 =$ | 9.0 | cm |

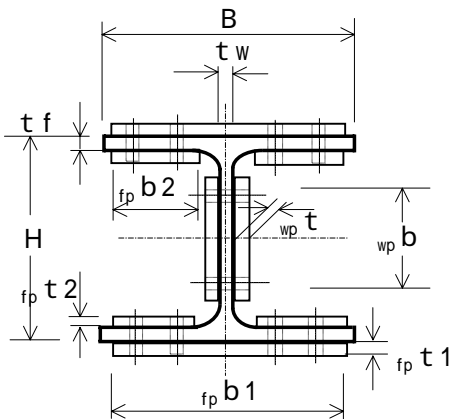
平面図



側面図



断面図

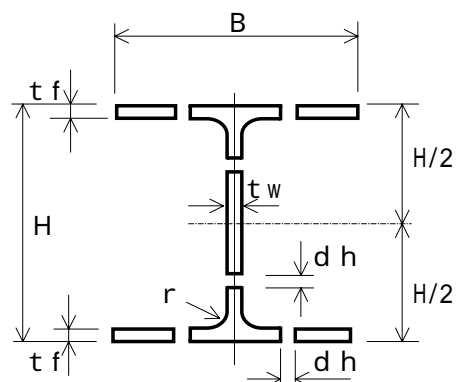


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 4 9 8 × 4 3 2 × 4 5 × 7 0

H 形 鋼 の 高 さ	H =	49.8	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	43.2	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	4.5	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	7	cm
フ イ レ ッ ト	r =	2.2	cm
断 面 積	A =	770.10	cm ²
断 面 係 数	Z =	12000	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	298000	cm ⁴



2) ボルト孔を控除した断面性能

ボルト孔径	d _h =	2.70	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 =	2	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 4.50 \times 2 = 24.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 4.50 \times (49.8 - 2 \times 7.00) - 24.30 \\ &= 136.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 7.00 \times 2 = 37.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 770.10 - 4.50 \times (49.8 - 2 \times 7.00) \\ &\quad - 2 \times 37.80 \\ &= 533.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 533.40 + 136.80 = 670.20 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.70 \times 7.00^3 \times 2}{12} \\ &= 154.35 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 37.800 \times 21.400^2 + 154.350 = 17465 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 17465 = 34930 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 298000 - 34930 = 263070 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{263070}{24.90} = 10565 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	43.0	cm
板厚	$f_p t_1 =$	4.50	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	16.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	5.00	cm
ボルト孔径	$d_h =$	2.70	cm
ボルト本数	$n_2 =$	2	本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 4.50 \times 2 = 24.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 43.00 \times 4.50 - 24.30 = 169.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 5.00 \times 2 = 27.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 5.00 - 27.00 = 133.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (169.20 + 133.00) = 604.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	20.0	cm
板厚	$w_p t =$	5.00	cm
ボルト本数	$m_2 =$	2	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 5.00 \times 2 = 27.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 20.00 \times 5.00 - 27.00 = 73.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 73.00 = 146.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 604.40 + 146.00 = 750.40 \text{ cm}^2 > 670.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-OK-

(3) 添接板の断面二次モ - メントの計算

1) フランジ添接板

ボルト孔径 $dh = 2.70$ cm
 フランジ $n2 = 2$ 本 (軸横断)
 ウェブ $m2 = 2$ 本 (軸横断)

外側板幅 $fp b1 = 43.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 4.50$ cm
 面積 $pA f1 = 169.20$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 16.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 5.00$ cm
 面積 $pA f2 = 133.00$ cm²

(外側添接板)

$$fp b1' = fp b1 - dh \cdot n2 = 43.20 - (2.70 \times 2) = 37.80 \text{ cm}$$

$$p I f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{37.80 \times 4.50^3}{12} = 287.044 \text{ cm}^4$$

$$p I f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + p I f1 = 169.200 \times 27.150^2 + 287.044 = 125008 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$fp b2' = 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 16.00 - (2.70 \times 2) = 26.60 \text{ cm}$$

$$p I f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{26.60 \times 5.00^3}{12} = 277.083 \text{ cm}^4$$

$$p I f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + p I f2 = 133.000 \times 15.400^2 + 277.083 = 31819 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f1 + p I f2) = 2 \times (125008 + 31819) = 313654 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 20.00$ cm
 板厚 $wp t = 5.00$ cm
 ボルト間隔 $wp p2 = 9.0$ cm

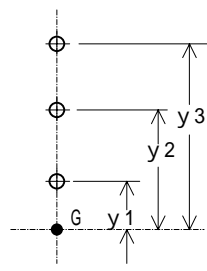
$$p I W1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{5.000 \times 20.00^3}{12} = 3333 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 20.25 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.70 \times 5.00 \times 2 \times 20.25 + 2 \times \frac{5.00 \times 2.70^3}{12}$$

$$= 563 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$p I W = 2 \cdot (p I W1 - p I W1) = 2 \times (3333 - 563) = 5540 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モ - メント

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

$$= 313654 + 5540 = 319194 \text{ cm}^4 > 263070 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(4) 曲げモーメントの計算

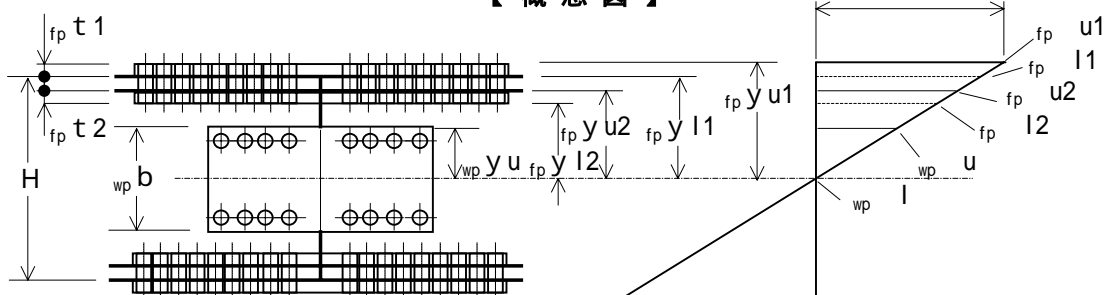
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモーメント

許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 10565 \text{ cm}^3$

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

$$= 280 \times 10565 \times 10^3 = 2958200000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 319194 \text{ cm}^4$
 $\rho I f = 313654 \text{ cm}^4$

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

$$= 2958200000 \times \frac{313654}{319194} = 2906856842 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$\rho M_{f1} = \rho M_f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f} \quad \rho I f_1 = 125008 \text{ cm}^4$$

$$= 2906856842 \times \frac{250016}{313654} = 2317077800 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 49.8 + 4.50 = 29.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{2317077800}{2 \times 125008} \times \frac{29.40}{1000} = 272 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 49.8 = 24.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{2317077800}{250016} \times \frac{24.90}{1000} = 231 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 31819 \text{ cm}^4$$

$$= 2906856842 \times \frac{63638}{313654} = 589779042 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 49.8 - 7.00 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{589779042}{63638} \times \frac{17.90}{1000} = 166 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 49.8 - 7.00 - 5.00 = 12.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{589779042}{63638} \times \frac{12.90}{1000} = 120 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{272 + 231}{2} \times 169.20 \times 10^2 = 4255380 \text{ N}$$

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

$$= \frac{166 + 120}{2} \times 133.00 \times 10^2 = 1901900 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 4255380 + 1901900 = 6157280 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$M 24 \quad {}_B A = 1/4 \cdot \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 \quad 452.4 \text{ mm}^2$$

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

$$= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868$$

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

$$= 24 \times 70 \times 473 = 794640$$

$$\left. \begin{array}{l} = 257868 \text{ N} \\ = 794640 \end{array} \right\} = \underline{257868} \text{ N} \quad (\text{最小}) {}_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{6157280}{12 \times 2}$$

$$= 256553 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

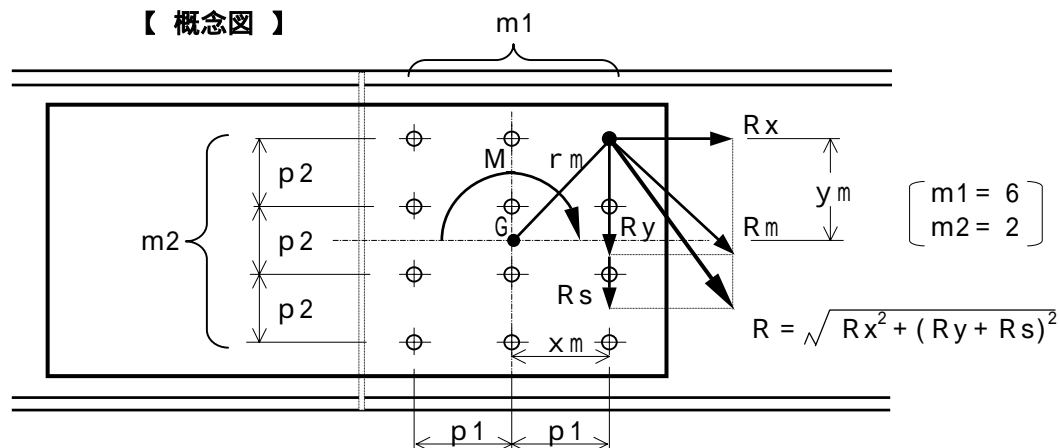
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 319194 \text{ cm}^4 \\
 &= 2958200000 \times \frac{5540}{319194} & {}_p I_W &= 5540 \text{ cm}^4 \\
 &= 51343158 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 20.00 = 10.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u & a & \\
 &= \frac{51343158}{5540} \times \frac{10.00}{1000} = 93 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 & \text{M 24} & {}_B A &= 1/4 \cdot \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 = 452.4 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a & & \text{(二面せん断)} \\
 &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a & & \text{(鋼板の支圧)} \\
 &= 24 \times 45 \times 473 = 510840 \left. \vphantom{\begin{matrix} S1 \\ S2 \end{matrix}} \right\} = \frac{257868}{\text{(最小)}} \text{ N} \\
 & & & \text{(最小)}_{wb} S a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 6 \times 2 \times \{ 8.50^2 \times (6^2 - 1) + 9.00^2 \times (2^2 - 1) \} \\
 &= 2772 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 21.25 \text{ cm} \\
 y_m &= 4.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{21.25^2 + 4.50^2} = 21.72 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{51343158}{2772} \times \frac{4.50}{10} = 8335 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{51343158}{2772} \times \frac{21.25}{10} = 39359 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{51343158}{2772} \times \frac{21.72}{10} \\
 &= 40230 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 136.80 \text{ cm}^2 \\ &= 13680 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 13680 = 2188800 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_w &= 146.00 \text{ cm}^2 \\ &= 14600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_w} = \sigma_a \\ &= \frac{2188800}{14600} = 150 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_a &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_a &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 4.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$M24 \quad A_B = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 = 452.4 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_B \cdot \sigma_a \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 24 \times 45 \times 473 = 510840 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{257868} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{2188800}{6 \times 2} \\ &= 182400 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 8335 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 39359 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 182400 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{8335^2 + (39359 + 182400)^2} \\ &= 221916 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3. 計算結果

母材	H 4 9 8 × 4 3 2 × 4 5 × 7 0 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 45 × 430 × 1830 (SM490)	
		4枚: PL 50 × 160 × 1830 (SM490)	
ウェブ部	添接板仕様	2枚: PL 50 × 200 × 1030 (SM490)	
		ボルト仕様	F10T: M24 - 96本 L = 210 mm (HJ型高力ボルトの場合 L = 205 mm)
	ボルト仕様	F10T: M24 - 24本 L = 190 mm (HJ型高力ボルトの場合 L = 185 mm)	

