

ボルト継手計算書

H 4 1 4 × 4 0 5 × 1 8 × 2 8

(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 4 1 4 × 4 0 5) 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 _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)

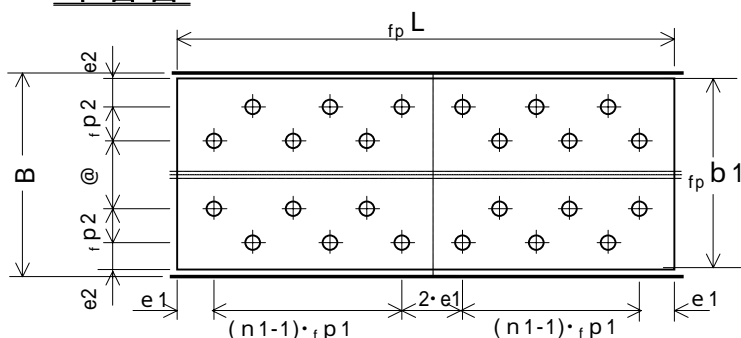
- (2) 設計母材 コード: H414
- H形鋼: H 4 1 4 × 4 0 5 × 1 8 × 2 8**

- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 19 | × | 405 | × | 930 |
| 4・PL - | 19 | × | 160 | × | 930 |
| ウェブ: 2・PL - | 16 | × | 280 | × | 520 |

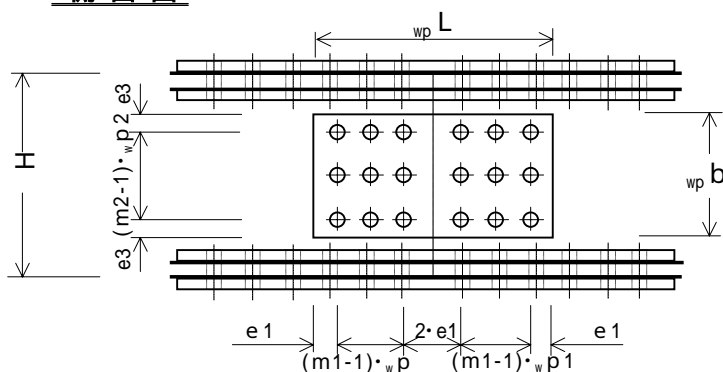
- (4) ボルト
- | | | | |
|-------------------|--------|------|---------|
| ボルト直径 (M24) | $d =$ | 2.40 | cm |
| ボルト孔径 (d + 3mm) | $dh =$ | 2.70 | cm |
| フランジのボルト本数 | $n1 =$ | 6 | 本 (軸方向) |
| ウェブのボルト本数 | $m1 =$ | 3 | 本 (軸方向) |
| フランジのボルト本数 | $n2 =$ | 2 | 本 (軸横断) |
| ウェブのボルト本数 | $m2 =$ | 3 | 本 (軸横断) |
| 縁端距離(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
- $f p 1 = 7.5$ cm
- フランジボルトの横断方向間隔
- $f p 2 = 4.0$ cm
- ウェブボルトの軸方向間隔
- $w p 1 = 8.5$ cm
- ウェブボルトの横断方向間隔
- $w p 2 = 8.5$ cm

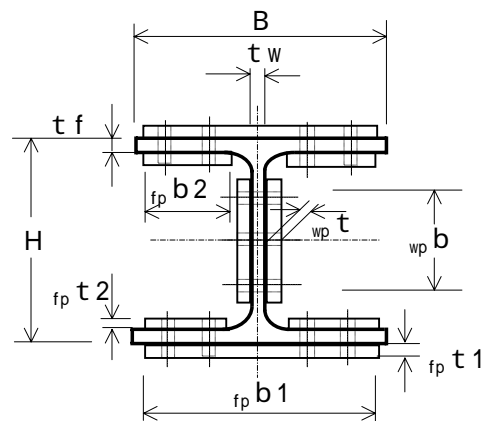
平面図



側面図



断面図

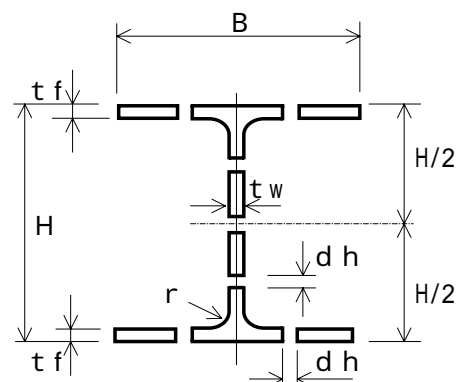


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 4 1 4 × 4 0 5 × 1 8 × 2 8

H 形 鋼 の 高 さ	H =	41.4	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	40.5	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.8	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	2.8	cm
フ イ レ ッ ト	r =	2.2	cm
断 面 積	A =	295.40	cm ²
断 面 係 数	Z =	4480	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	92800	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 =	3	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 1.80 \times 3 = 14.58 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.80 \times (41.4 - 2 \times 2.80) - 14.58 \\ &= 49.86 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 2.80 \times 2 = 15.12 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 295.40 - 1.80 \times (41.4 - 2 \times 2.80) \\ &\quad - 2 \times 15.12 \\ &= 200.72 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 200.72 + 49.86 = 250.58 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.70 \times 2.80^3 \times 2}{12} \\ &= 9.878 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 15.120 \times 19.300^2 + 9.878 = 5642 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 5642 = 11284 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 92800 - 11284 = 81516 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{81516}{20.70} = 3938 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	40.5	cm
板厚	$f_p t_1 =$	1.90	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	16.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	1.90	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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 1.90 \times 2 = 10.26 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 40.50 \times 1.90 - 10.26 = 66.69 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 1.90 \times 2 = 10.26 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 1.90 - 10.26 = 50.54 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (66.69 + 50.54) = 234.46 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	28.0	cm
板厚	$w_p t =$	1.60	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 1.60 \times 3 = 12.96 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 28.00 \times 1.60 - 12.96 = 31.84 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 31.84 = 63.68 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 234.46 + 63.68 = 298.14 \text{ cm}^2 > 250.58 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 = 2.70 cm	外側板幅	$f_p b_1 = 40.50$ cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	$f_p t_1 = 1.90$ cm
ウェブ	m2 = 3 本 (軸横断)	面積	$p A f_1 = 66.69$ cm ²
		内側板幅	$f_p b_2 = 16.00$ cm
		板厚	$f_p t_2 = 1.90$ cm
		面積	$p A f_2 = 50.54$ cm ²

(外側添接板)

$$f_p b_1' = f_p b_1 - dh \cdot n_2 = 40.50 - (2.70 \times 2) = 35.10 \text{ cm}$$

$$p I f_1 = \frac{f_p b_1' \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{35.10 \times 1.90^3}{12} = 20.063 \text{ cm}^4$$

$$p I f_1 = p A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I f_1 = 66.690 \times 21.650^2 + 20.063 = 31279 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b_2' = 2 \cdot f_p b_2 - dh \cdot n_2 = 2 \times 16.00 - (2.70 \times 2) = 26.60 \text{ cm}$$

$$p I f_2 = \frac{f_p b_2' \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{26.60 \times 1.90^3}{12} = 15.204 \text{ cm}^4$$

$$p I f_2 = p A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I f_2 = 50.540 \times 16.950^2 + 15.204 = 14535 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f_1 + p I f_2) = 2 \times (31279 + 14535) = 91628 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

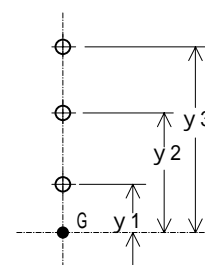
板幅	$w_p b = 28.00$ cm
板厚	$w_p t = 1.60$ cm
ボルト間隔	$w p_2 = 8.5$ cm

$$p I W_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{1.600 \times 28.00^3}{12} = 2927 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 72.25 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.70 \times 1.60 \times 2 \times 72.25 + 3 \times \frac{1.60 \times 2.70^3}{12} = 632 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$p I W = 2 \cdot (p I W_1 - p I W_1) = 2 \times (2927 - 632) = 4590 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 91628 + 4590 = 96218 \text{ cm}^4 > 81516 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

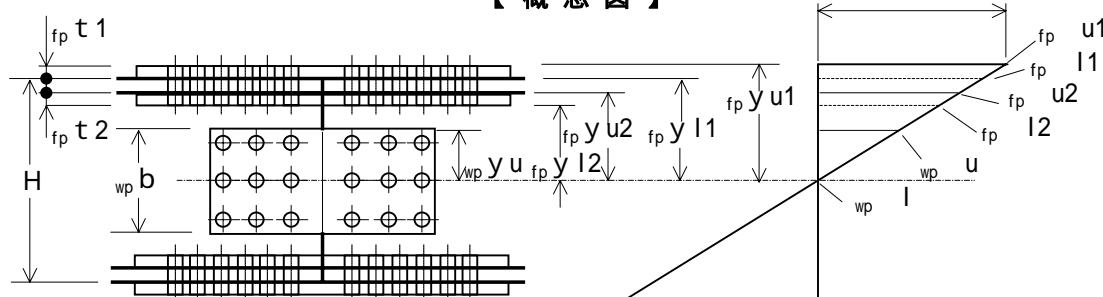
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 3938 \text{ cm}^3$

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

$$= 280 \times 3938 \times 10^3 = 1102640000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 96218 \text{ cm}^4$
 $\rho I f = 91628 \text{ cm}^4$

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

$$= 1102640000 \times \frac{91628}{96218} = 1050039472 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$\rho M f_1 = \rho M f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f} \quad \rho I f_1 = 31279 \text{ cm}^4$$

$$= 1050039472 \times \frac{62558}{91628} = 716902795 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 41.4 + 1.90 = 22.60 \text{ cm}$$

$$f_p u_1 = \frac{\rho M f_1}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{u1} \quad \rho \sigma_{ba}$$

$$= \frac{716902795}{2 \times 31279} \times \frac{22.60}{1000} = 259 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 41.4 = 20.70 \text{ cm}$$

$$f_p l_1 = \frac{\rho M f_1}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{l1} \quad \rho \sigma_{ba}$$

$$= \frac{716902795}{62558} \times \frac{20.70}{1000} = 237 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 14535 \text{ cm}^4$$

$$= 1050039472 \times \frac{29070}{91628} = 333136677 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 41.4 - 2.80 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{333136677}{29070} \times \frac{17.90}{1000} = 205 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 41.4 - 2.80 - 1.90 = 16.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{333136677}{29070} \times \frac{16.00}{1000} = 183 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{259 + 237}{2} \times 66.69 \times 10^2 = 1653912 \text{ N}$$

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

$$= \frac{205 + 183}{2} \times 50.54 \times 10^2 = 980476 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 1653912 + 980476 = 2634388 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 24 \times 28 \times 473 = 317856$$

$$\left. \begin{array}{l} = 257868 \text{ N} \\ = 317856 \end{array} \right\} = \underline{257868} \text{ N} \quad (\text{最小})_{f_b} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{2634388}{6 \times 2}$$

$$= 219532 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

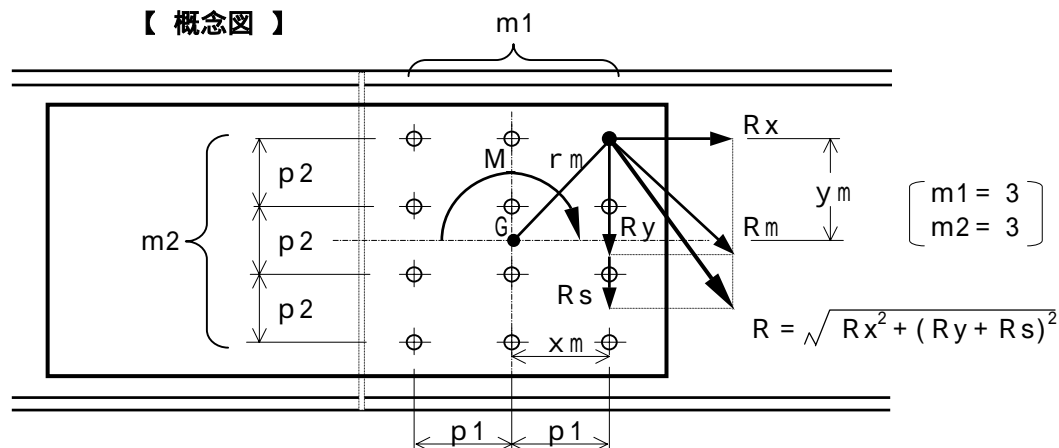
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} \\
 &= 1102640000 \times \frac{4590}{96218} = 52600528 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 28.00 = 14.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u \\
 &= \frac{52600528}{4590} \times \frac{14.00}{1000} = 160 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 &\quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 24 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 = 452.4 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 24 \times 18 \times 473 = 204336
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{204336 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 3 \times 3 \times \{ 8.50^2 \times (3^2 - 1) + 8.50^2 \times (3^2 - 1) \} \\
 &= 867 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 8.50 \text{ cm} \\
 y_m &= 8.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{8.50^2 + 8.50^2} = 12.02 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{52600528}{867} \times \frac{8.50}{10} = 51569 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{52600528}{867} \times \frac{8.50}{10} = 51569 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{52600528}{867} \times \frac{12.02}{10} \\
 &= 72925 \text{ N} < 204336 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_H &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_{w'} &= 49.86 \text{ cm}^2 \\ &= 4986 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_H \cdot A_{w'} \\ &= 160 \times 4986 = 797760 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 63.68 \text{ cm}^2 \\ &= 6368 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{797760}{6368} = 125 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_B &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_H &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_B \cdot \sigma_B \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_H \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 24 \times 18 \times 473 = 204336 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{204336} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{797760}{3 \times 3} \\ &= 88640 \text{ N} < 204336 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 51569 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 51569 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 88640 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{51569^2 + (51569 + 88640)^2} \\ &= 149392 \text{ N} < 204336 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

