

ボルト継手計算書

H 4 8 2 × 3 0 0 × 1 1 × 1 5

(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 (H482 × 300) 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。

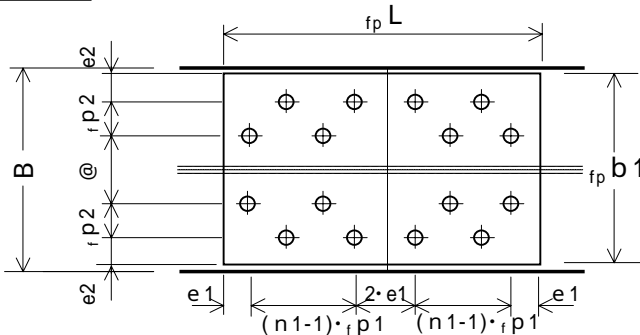
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H	$ba =_H ta =$	280	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	160	N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P ta =$	280	N/mm ² (SM490)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	160	N/mm ²
添接板の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =$	285	N/mm ² (F10T)

- (2) 設計母材 コト: H482
H形鋼: H482 × 300 × 11 × 15

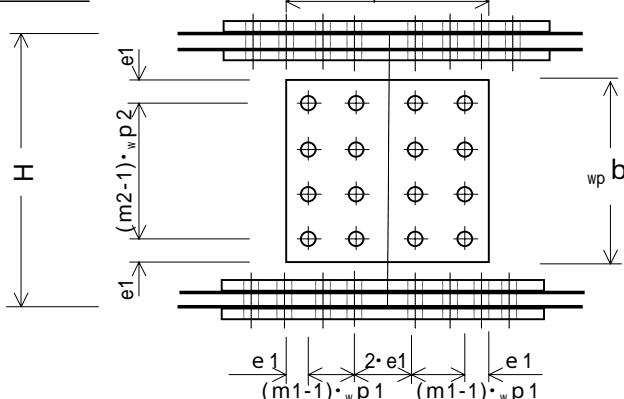
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 12 | × | 300 | × | 550 |
| 4・PL - | 12 | × | 120 | × | 550 |
| ウェブ: 2・PL - | 9 | × | 320 | × | 310 |

- (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 | $n1 =$ | 4 | 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 | $f_p p1 =$ | 6.5 | cm |
| フランジボルトの横断方向間隔 | $f_p p2 =$ | 4.0 | cm |
| ウェブボルトの軸方向間隔 | $w_p p1 =$ | 7.5 | cm |
| ウェブボルトの横断方向間隔 | $w_p p2 =$ | 8.0 | cm |

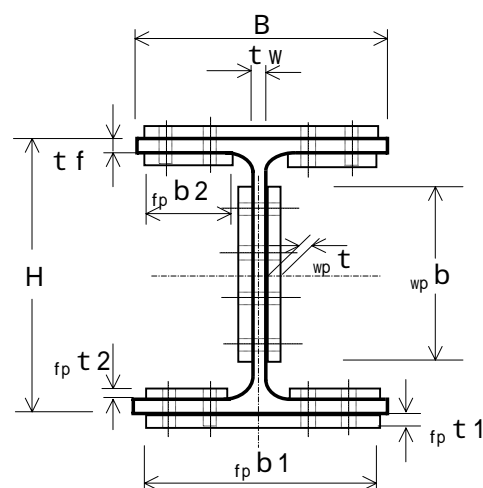
平面図



側面図



断面図

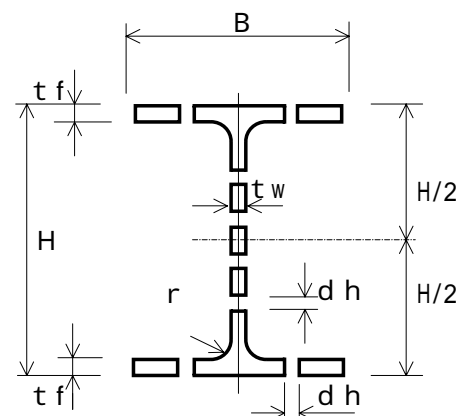


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 4 8 2 × 3 0 0 × 1 1 × 1 5

H 形 鋼 の 高 さ	H =	48.2	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	30	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.1	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	1.5	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	141.20	cm ²
断 面 係 数	Z =	2420	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	58300	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 =	4	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.10 \times 4 = 11.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.10 \times (48.2 - 2 \times 1.50) - 11.00 \\ &= 38.72 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.50 \times 2 = 7.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 141.20 - 1.10 \times (48.2 - 2 \times 1.50) \\ &\quad - 2 \times 7.50 \\ &= 76.48 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 76.48 + 38.72 = 115.20 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント: ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.50^3 \times 2}{12} \\ &= 1.406 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 7.50 \times 23.350^2 + 1.406 = 4091 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 4091 = 8182 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 58300 - 8182 = 50118 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{50118}{24.10} = 2080 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅 $f_p b_1 = 30.0$ cm
 板厚 $f_p t_1 = 1.20$ cm
 内側板幅 $f_p b_2 = 12.00$ 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)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 30.00 \times 1.20 - 6.00 = 30.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 12.00 \times 1.20 - 6.00 = 22.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (30.00 + 22.80) = 105.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 32.0$ cm
 板厚 $w_p t = 0.90$ cm
 ボルト本数 $m_2 = 4$ 本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 4 = 9.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 32.00 \times 0.90 - 9.00 = 19.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 19.80 = 39.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 105.60 + 39.60 = 145.20 \text{ cm}^2 > 115.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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	$f_p b_1 = 30.00$ cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	$f_p t_1 = 1.20$ cm
ウェブ	m2 = 4 本 (軸横断)	面積	$p A f_1 = 30.00$ cm ²
		内側板幅	$f_p b_2 = 12.00$ cm
		板厚	$f_p t_2 = 1.20$ cm
		面積	$p A f_2 = 22.80$ cm ²

(外側添接板)

$$f_p b_1' = f_p b_1 - dh \cdot n_2 = 30.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm}$$

$$p I f_1 = \frac{f_p b_1' \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{25.00 \times 1.20^3}{12} = 3.600 \text{ cm}^4$$

$$p I f_1 = p A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I f_1 = 30.000 \times 24.700^2 + 3.600 = 18306 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b_2' = 2 \cdot f_p b_2 - dh \cdot n_2 = 2 \times 12.00 - (2.50 \times 2) = 19.00 \text{ cm}$$

$$p I f_2 = \frac{f_p b_2' \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{19.00 \times 1.20^3}{12} = 2.736 \text{ cm}^4$$

$$p I f_2 = p A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I f_2 = 22.800 \times 22.000^2 + 2.736 = 11038 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f_1 + p I f_2) = 2 \times (18306 + 11038) = 58688 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b = 32.00$ cm
板厚	$w_p t = 0.90$ cm
ボルト間隔	$w p_2 = 8.0$ cm

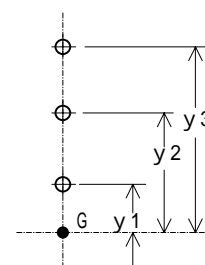
$$p I w_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.900 \times 32.00^3}{12} = 2458 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 160.00 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 160.00 + 4 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 725 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$p I w = 2 \cdot (p I w_1 - p I w_1) = 2 \times (2458 - 725) = 3466 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 58688 + 3466 = 62154 \text{ cm}^4 > 50118 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

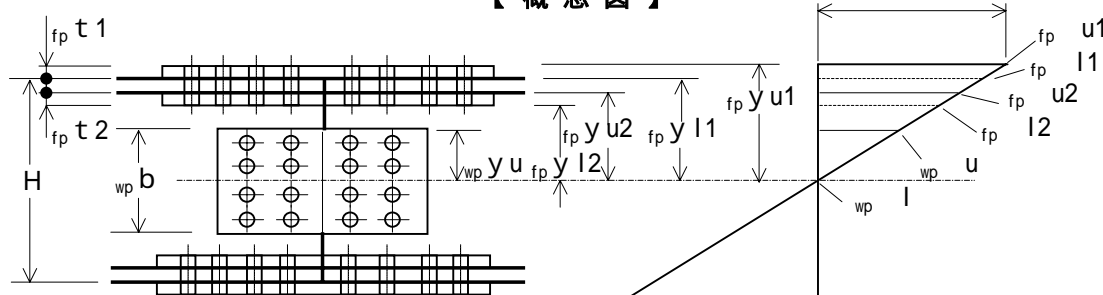
(4) 曲げモーメントの計算

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 $Z' = 2080 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} M_r &= \sigma_{ba} \cdot Z' \\ &= 280 \times 2080 \times 10^3 = 582400000 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 62154 \text{ cm}^4$
 $\rho I f = 58688 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned} \rho M_f &= M_r \cdot \frac{\rho I f}{\rho I} \\ &= 582400000 \times \frac{58688}{62154} = 549922631 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

(外側フランジ)

$$\rho M_{f1} = \rho M_f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f} \quad \rho I f_1 = 18306 \text{ cm}^4$$

$$= 549922631 \times \frac{36612}{58688} = 343064466 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u1} = 1/2 \cdot H + f_{p t 1} = 1/2 \times 48.2 + 1.20 = 25.30 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f_{p u1} &= \frac{\rho M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_{p y u1} \cdot \rho b a \\ &= \frac{343064466}{2 \times 18306} \times \frac{25.30}{1000} = 237 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

$$f_{p y l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 48.2 = 24.10 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f_{p l1} &= \frac{\rho M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_{p y l1} \cdot \rho b a \\ &= \frac{343064466}{36612} \times \frac{24.10}{1000} = 226 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 11038 \text{ cm}^4$$

$$= 549922631 \times \frac{22076}{58688} = 206858165 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 48.2 - 1.50 = 22.60 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{206858165}{22076} \times \frac{22.60}{1000} = 212 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 48.2 - 1.50 - 1.20 = 21.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{206858165}{22076} \times \frac{21.40}{1000} = 201 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{237 + 226}{2} \times 30.00 \times 10^2 = 694500 \text{ N}$$

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

$$= \frac{212 + 201}{2} \times 22.80 \times 10^2 = 470820 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 694500 + 470820 = 1165320 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 15 \times 473 = 156090$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 156090 \end{array} \right\} = \underline{156090} \text{ N}$$

(最小) ${}_{f_b} S a$

$$Q_f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1165320}{4 \times 2}$$

$$= 145665 \text{ N} < 156090 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

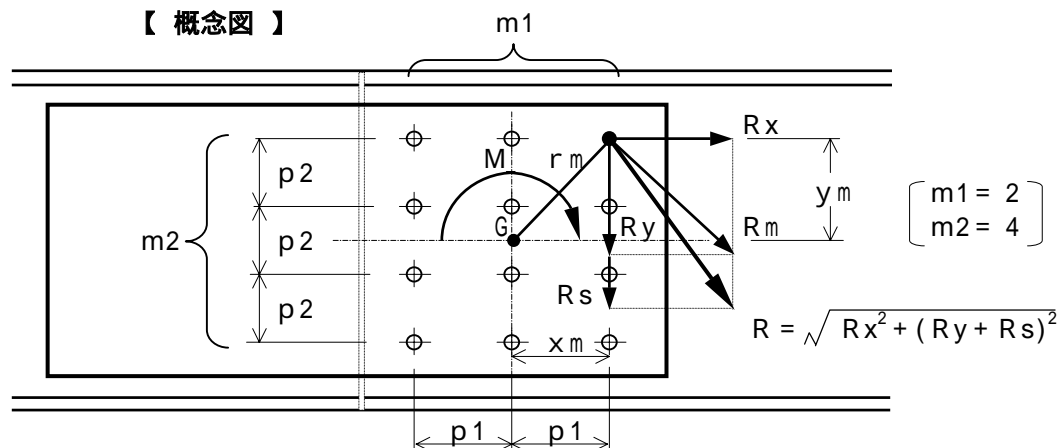
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 62154 \text{ cm}^4 \\
 &= 582400000 \times \frac{3466}{62154} & {}_p I_W &= 3466 \text{ cm}^4 \\
 &= 32477369 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 32.00 = 16.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u & a & \\
 &= \frac{32477369}{3466} \times \frac{16.00}{1000} = 150 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 22 & \quad {}_B A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 11 \times 473 = 114466
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \frac{114466 \text{ N}}{(\text{最小})_{wb} S a}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 4 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 8.00^2 \times (4^2 - 1) \} \\
 &= 753 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 12.00 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 12.00^2} = 12.57 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{32477369}{753} \times \frac{12.00}{10} = 51757 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{32477369}{753} \times \frac{3.75}{10} = 16174 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{32477369}{753} \times \frac{12.57}{10} \\
 &= 54215 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 38.72 \text{ cm}^2 \\ &= 3872 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 3872 = 619520 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 39.60 \text{ cm}^2 \\ &= 3960 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{619520}{3960} = 156 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.1 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 11 \times 473 = 114466 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{114466 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{619520}{2 \times 4} \\ &= 77440 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 51757 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 16174 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 77440 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{51757^2 + (16174 + 77440)^2} \\ &= 106969 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

