

ボルト継手計算書

H 4 4 6 × 1 9 9 × 8 × 1 2

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 4 4 6 × 1 9 9) 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JIS) SS400-D (ボルトJIS) F10T-D

「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	$ba =_H$	$ta =$	210 N/mm ² (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =_H$		120 N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度 _H	$a =_H$		355 N/mm ² (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P$	$ta =$	210 N/mm ² (SS400)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =_P$		120 N/mm ²
添接板の許容支圧応力度 _P	$a =_P$		355 N/mm ² (SS400)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =_B$		285 N/mm ² (F10T)

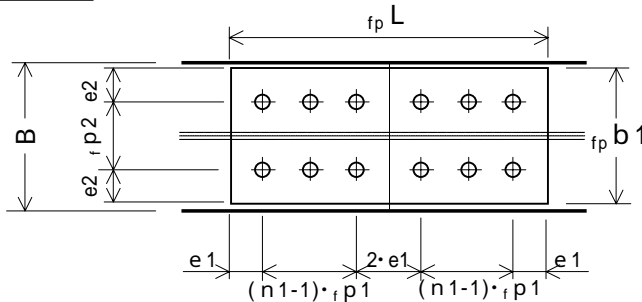
- (2) 設計母材 JIS: H446-2

H形鋼: H 4 4 6 × 1 9 9 × 8 × 1 2

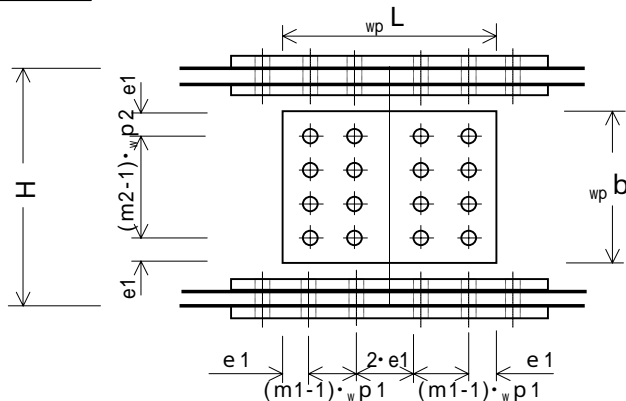
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 9 | × | 200 | × | 460 |
| 4・PL - | 12 | × | 80 | × | 460 |
| ウェブ: 2・PL - | 6 | × | 350 | × | 310 |

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

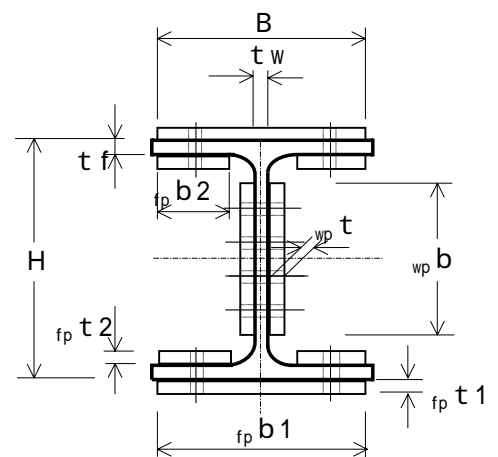
平面図



側面図



断面図

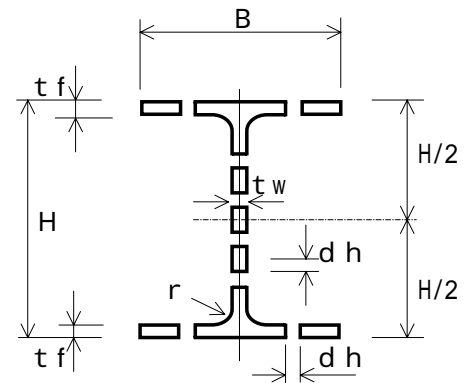


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 446 × 199 × 8 × 12

H 形 鋼 の 高 さ	H =	44.6	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	19.9	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	0.8	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	1.2	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	82.97	cm ²
断 面 係 数	Z =	1260	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	28100	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.80 \times 4 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.80 \times (44.6 - 2 \times 1.20) - 8.00 \\ &= 25.76 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 82.97 - 0.80 \times (44.6 - 2 \times 1.20) \\ &\quad - 2 \times 6.00 \\ &= 37.21 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 37.21 + 25.76 = 62.97 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.20^3 \times 2}{12} \\ &= 0.720 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 6.000 \times 21.700^2 + 0.720 = 2826 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 2826 = 5652 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 28100 - 5652 = 22448 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{22448}{22.30} = 1007 \text{ cm}^3$$

(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

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 53.40 + 30.00 = 83.40 \text{ cm}^2 > 62.97 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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
 フランジ $n2 = 2$ 本 (軸横断)
 ウェブ $m2 = 4$ 本 (軸横断)

外側板幅 $fp b1 = 20.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 0.90$ cm
 面積 $pA f1 = 13.50$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 8.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 1.20$ cm
 面積 $pA f2 = 13.20$ cm²

(外側添接板)

$$fp b1' = fp b1 - dh \cdot n2 = 20.00 - (2.50 \times 2) = 15.00 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{15.00 \times 0.90^3}{12} = 0.911 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 13.500 \times 22.750^2 + 0.911 = 6988 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$fp b2' = 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 8.00 - (2.50 \times 2) = 11.00 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{11.00 \times 1.20^3}{12} = 1.584 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 13.200 \times 20.500^2 + 1.584 = 5549 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (6988 + 5549) = 25074 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 35.00$ cm
 板厚 $wp t = 0.60$ cm
 ボルト間隔 $w p2 = 9.0$ cm

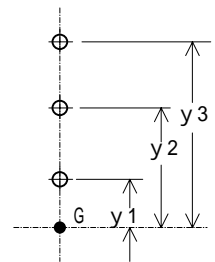
$$pI w1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.600 \times 35.00^3}{12} = 2144 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 202.50 \text{ cm}^2$$

$$pI w1 = dh \cdot wp t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{wp t \cdot (dh)^3}{12}$$

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

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



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (2144 - 611) = 3066 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 25074 + 3066 = 28140 \text{ cm}^4 > 22448 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

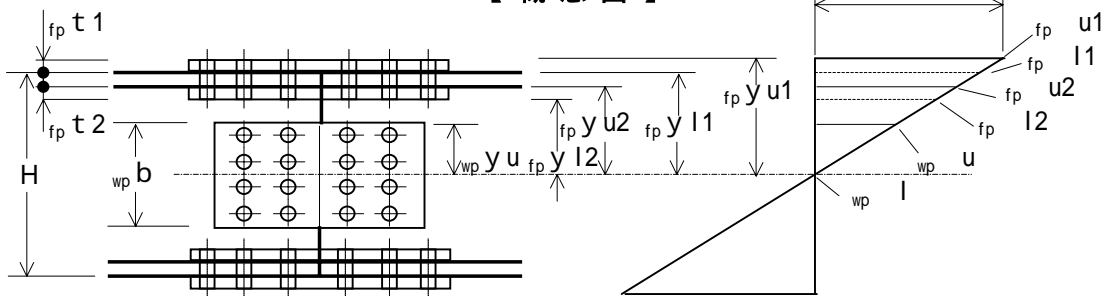
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $Hba = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 1007 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned}
 M_r &= Hba \cdot Z' \\
 &= 210 \times 1007 \times 10^3 = 211470000 \text{ N}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 28140 \text{ cm}^4$

$pIf = 25074 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned}
 pMf &= M_r \cdot \frac{pIf}{pI} \\
 &= 211470000 \times \frac{25074}{28140} = 188429239 \text{ N}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

(外側フランジ)

$$\begin{aligned}
 pMf1 &= pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} & pIf1 &= 6988 \text{ cm}^4 \\
 &= 188429239 \times \frac{13976}{25074} = 105028597 \text{ N}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 44.6 + 0.90 = 23.20 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 f_p u1 &= \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot f_p y_{u1} \cdot pba \\
 &= \frac{105028597}{2 \times 6988} \times \frac{23.20}{1000} = 174 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2 \\
 &\text{-OK-}
 \end{aligned}$$

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 44.6 = 22.30 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 f_p l1 &= \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot f_p y_{l1} \cdot pba \\
 &= \frac{105028597}{13976} \times \frac{22.30}{1000} = 168 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2 \\
 &\text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(内側フランジ)

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

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

$$= 188429239 \times \frac{11098}{25074} = 83400642 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 44.6 - 1.20 = 21.10 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{83400642}{11098} \times \frac{21.10}{1000} = 159 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 44.6 - 1.20 - 1.20 = 19.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{83400642}{11098} \times \frac{19.90}{1000} = 150 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-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 ${}_H a = 355 \text{ N/mm}^2$

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

$$= \frac{174 + 168}{2} \times 13.50 \times 10^2 = 230850 \text{ N}$$

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

$$= \frac{159 + 150}{2} \times 13.20 \times 10^2 = 203940 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 230850 + 203940 = 434790 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$S 1 = 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断})$$

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

$$S 2 = d \cdot t f \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 12 \times 355 = 93720$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 93720 \end{array} \right\} = \underline{93720} \text{ N}$$

(最小) ${}_{fb} S a$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{434790}{3 \times 2}$$

$$= 72465 \text{ N} < 93720 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$${}_p I = 28140 \text{ cm}^4$$

$${}_p I_w = 3066 \text{ cm}^4$$

$${}_p M_w = M_r \cdot \frac{{}_p I_w}{{}_p I}$$

$$= 211470000 \times \frac{3066}{28140} = 23040761 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 35.00 = 17.50 \text{ cm}$$

$${}_w u = \frac{{}_p M_w}{{}_p I_w} \cdot {}_w y_u$$

$$= \frac{23040761}{3066} \times \frac{17.50}{1000} = 132 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

$$S1 = 2 \cdot {}_B A \cdot a \quad (\text{二面せん断})$$

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

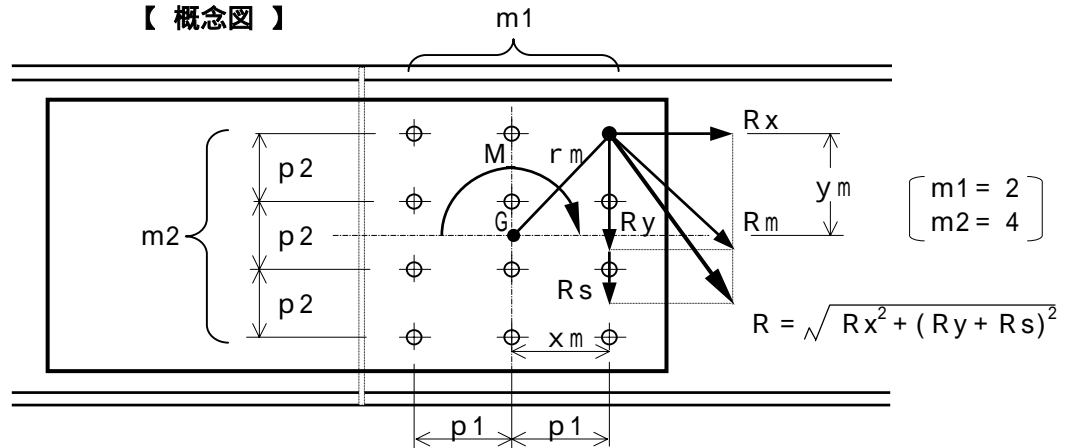
$$S2 = d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 8 \times 355 = 62480$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 62480 \end{array} \right\} = \frac{62480}{\text{最小}} \text{ N}$$

(最小)_{wb} S a

【 概念図 】



$$I_p = 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \}$$

$$= 1/12 \times 2 \times 4 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 9.00^2 \times (4^2 - 1) \}$$

$$= 923 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$x_m = 3.75 \text{ cm}$$

$$y_m = 13.50 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 13.50^2} = 14.01 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{23040761}{923} \times \frac{13.50}{10} = 33700 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{23040761}{923} \times \frac{3.75}{10} = 9361 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{23040761}{923} \times \frac{14.01}{10}$$

$$= 34973 \text{ N} < 62480 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 25.76 \text{ cm}^2 \\ &= 2576 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 2576 = 309120 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

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

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{309120}{3000} = 103 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 8 \times 355 = 62480 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{62480} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{309120}{2 \times 4} \\ &= 38640 \text{ N} < 62480 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 33700 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 9361 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 38640 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{33700^2 + (9361 + 38640)^2} \\ &= 58650 \text{ N} < 62480 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

