

ボルト継手計算書

H 6 9 2 × 3 0 0 × 1 3 × 2 0

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 692 × 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。

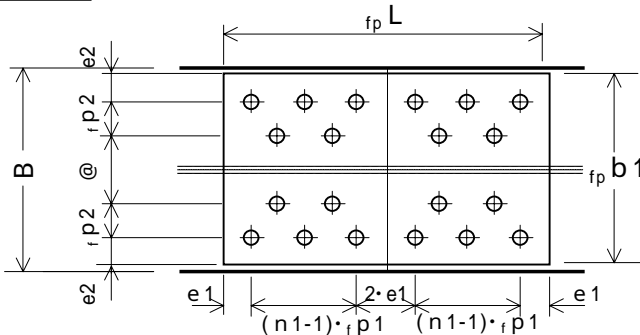
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H	$ba =_H ta =$	210	N/mm ² (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	120	N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度 _H	$a =$	355	N/mm ² (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P ta =$	210	N/mm ² (SS400)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	120	N/mm ²
添接板の許容支圧応力度 _P	$a =$	355	N/mm ² (SS400)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =$	285	N/mm ² (F10T)

- (2) 設計母材 JIS: H692
H形鋼: H 692 × 300 × 13 × 20

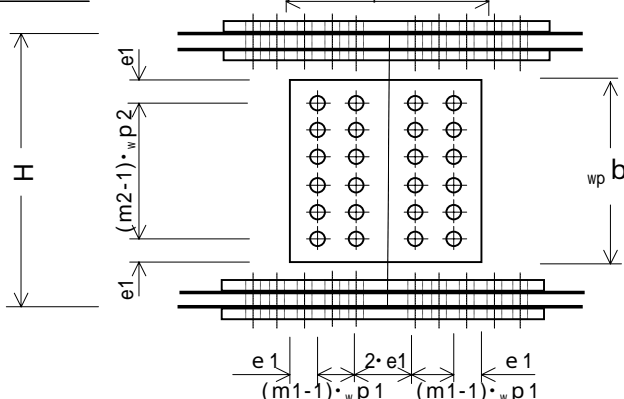
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 16 | × | 300 | × | 680 |
| 4・PL - | 16 | × | 120 | × | 680 |
| ウェブ: 2・PL - | 9 | × | 530 | × | 310 |

- (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 | $n1 =$ | 5 | 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 | $m2 =$ | 6 | 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 | $f p1 =$ | 6.5 | 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 | $w p1 =$ | 7.5 | cm |
| ウェブボルトの横断方向間隔 | $w p2 =$ | 9.0 | cm |

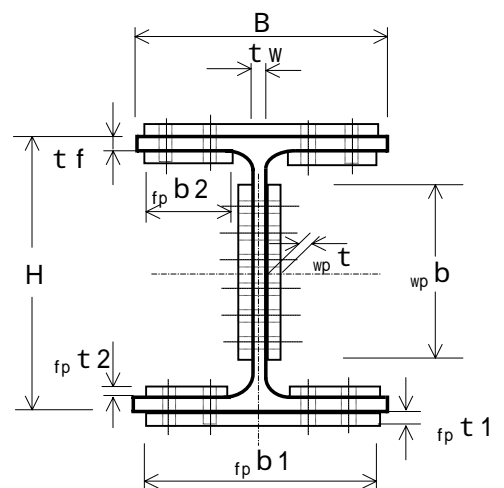
平面図



側面図



断面図

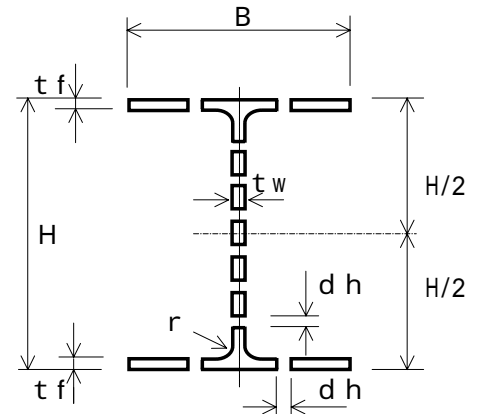


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 6 9 2 × 3 0 0 × 1 3 × 2 0

H 形 鋼 の 高 さ	H =	69.2	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	30.0	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.3	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	2.0	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.8	cm
断 面 積	A =	207.50	cm ²
断 面 係 数	Z =	4870	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	168000	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 =	6	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.30 \times 6 = 19.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.30 \times (69.2 - 2 \times 2.00) - 19.50 \\ &= 65.26 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.00 \times 2 = 10.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 207.50 - 1.30 \times (69.2 - 2 \times 2.00) \\ &\quad - 2 \times 10.00 \\ &= 102.74 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 102.74 + 65.26 = 168.00 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.00^3 \times 2}{12} \\ &= 3.333 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 10.00 \times 33.600^2 + 3.333 = 11293 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 11293 = 22586 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 168000 - 22586 = 145414 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{145414}{34.60} = 4203 \text{ cm}^3$$

(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 $f_p t_1 = 1.60$ cm
内側板幅 $f_p b_2 = 12.00$ cm
板厚 $f_p t_2 = 1.60$ 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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 30.00 \times 1.60 - 8.00 = 40.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 12.00 \times 1.60 - 8.00 = 30.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (40.00 + 30.40) = 140.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 53.0$ cm
板厚 $w_p t = 0.90$ cm
ボルト本数 $m_2 = 6$ 本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 6 = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 53.00 \times 0.90 - 13.50 = 34.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 34.20 = 68.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 140.80 + 68.40 = 209.20 \text{ cm}^2 > 168.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $m2 = 6$ 本 (軸横断)

外側板幅 $fp b1 = 30.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 1.60$ cm
 面積 $pA f1 = 40.00$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 12.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 1.60$ cm
 面積 $pA f2 = 30.40$ cm²

(外側添接板)

$$fp b1' = fp b1 - dh \cdot n2 = 30.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{25.00 \times 1.60^3}{12} = 8.533 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 40.000 \times 35.400^2 + 8.533 = 50135 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$fp b2' = 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 12.00 - (2.50 \times 2) = 19.00 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{19.00 \times 1.60^3}{12} = 6.485 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 30.400 \times 31.800^2 + 6.485 = 30748 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (50135 + 30748) = 161766 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 53.00$ cm
 板厚 $wp t = 0.90$ cm
 ボルト間隔 $w p2 = 9.0$ cm

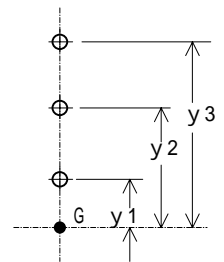
$$pI w1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.900 \times 53.00^3}{12} = 11166 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 708.75 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 708.75 + 6 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 3196 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (11166 - 3196) = 15940 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 161766 + 15940 = 177706 \text{ cm}^4 > 145414 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

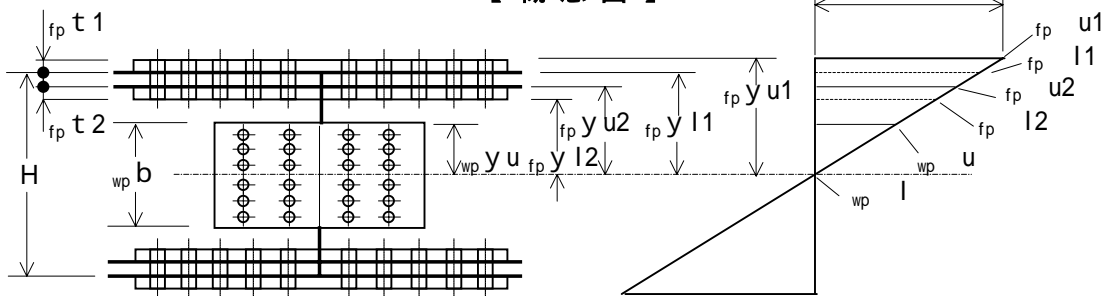
許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 4203 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 4203 \times 10^3 = 882630000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$I_p = 177706 \text{ cm}^4$

$I_{pf} = 161766 \text{ cm}^4$

$$M_{pf} = M_r \cdot \frac{I_{pf}}{I_p}$$

$$= 882630000 \times \frac{161766}{177706} = 803459222 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$M_{pf1} = M_{pf} \cdot \frac{2 \cdot I_{pf1}}{I_{pf}} \quad I_{pf1} = 50135 \text{ cm}^4$$

$$= 803459222 \times \frac{100270}{161766} = 498020945 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$y_{u1} = 1/2 \cdot H + t_1 = 1/2 \times 69.2 + 1.60 = 36.20 \text{ cm}$$

$$\sigma_{u1} = \frac{M_{pf1}}{2 \cdot I_{pf1}} \cdot y_{u1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{498020945}{2 \times 50135} \times \frac{36.20}{1000} = 180 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 69.2 = 34.60 \text{ cm}$$

$$\sigma_{l1} = \frac{M_{pf1}}{2 \cdot I_{pf1}} \cdot y_{l1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{498020945}{100270} \times \frac{34.60}{1000} = 172 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f} \qquad {}_p I f_2 = 30748 \text{ cm}^4$$

$$= 803459222 \times \frac{61496}{161766} = 305438277 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 69.2 - 2.00 = 32.60 \text{ cm}$$

$${}_{fp} \sigma_2 = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y u_2 \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{305438277}{61496} \times \frac{32.60}{1000} = 162 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 69.2 - 2.00 - 1.60 = 31.00 \text{ cm}$$

$${}_{fp} \sigma_l_2 = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y l_2 \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{305438277}{61496} \times \frac{31.00}{1000} = 154 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(ボルト)

ボルトの許容せん断応力度 $\sigma_B = 285 \text{ N/mm}^2$
H形鋼の許容支圧応力度 $\sigma_H = 355 \text{ N/mm}^2$

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

$$= \frac{180 + 172}{2} \times 40.00 \times 10^2 = 704000 \text{ N}$$

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

$$= \frac{162 + 154}{2} \times 30.40 \times 10^2 = 480320 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 704000 + 480320 = 1184320 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

$$= \frac{2 \cdot 380.1 \cdot 285}{2} = 216657$$

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

$$= 22 \cdot 20 \cdot 355 = 156200$$

$$\left. \begin{array}{l} S_1 \\ S_2 \end{array} \right\} = \underline{156200} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S_a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1184320}{5 \times 2}$$

$$= 118432 \text{ N} < 156200 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$${}_p I = 177706 \text{ cm}^4$$

$${}_p I_w = 15940 \text{ cm}^4$$

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

$$= 882630000 \times \frac{15940}{177706} = 79170778 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 53.00 = 26.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{79170778}{15940} \times \frac{26.50}{1000} = 132 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

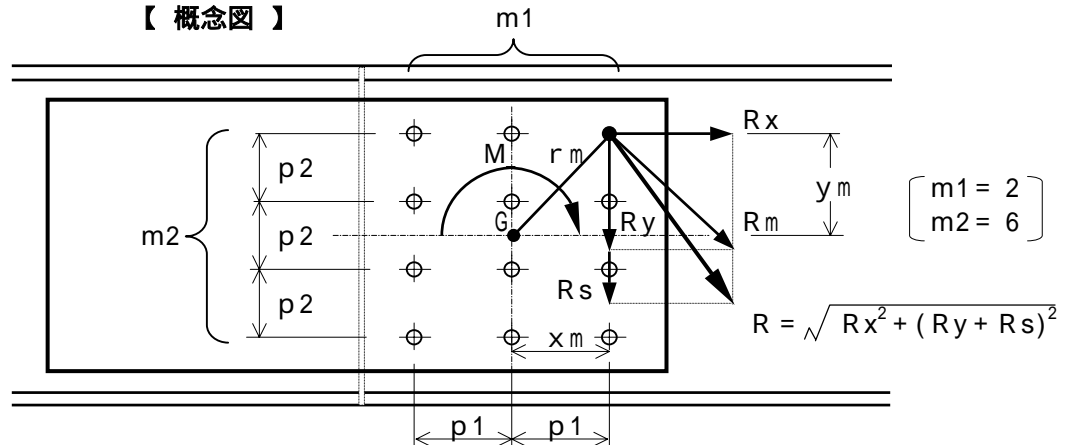
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 13 \times 355 = 101530$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 101530 \end{array} \right\} = \frac{101530 \text{ N}}{(\text{最小})_w b S a}$$

【 概念図 】



$$I_p = 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \}$$

$$= 1/12 \times 2 \times 6 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 9.00^2 \times (6^2 - 1) \}$$

$$= 3004 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$y_m = 22.50 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 22.50^2} = 22.81 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{79170778}{3004} \times \frac{22.50}{10} = 59299 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{79170778}{3004} \times \frac{3.75}{10} = 9883 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{79170778}{3004} \times \frac{22.81}{10}$$

$$= 60116 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 65.26 \text{ cm}^2 \\ &= 6526 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 6526 = 783120 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 68.40 \text{ cm}^2 \\ &= 6840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{783120}{6840} = 114 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 13 \times 355 = 101530 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{101530} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{783120}{2 \times 6} \\ &= 65260 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 59299 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 9883 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 65260 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{59299^2 + (9883 + 65260)^2} \\ &= 95723 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

