

ボルト継手計算書

H 5 9 6 × 1 9 9 × 1 0 × 1 5

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 596 × 199) 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。

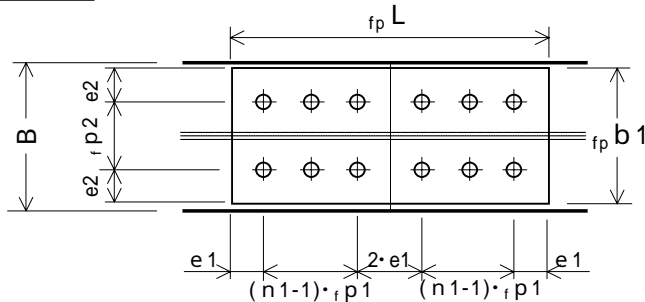
| | | | |
|-----------------------------|---------------|------|---------------------------|
| 仮設鋼材の許容応力度の割増 | 係数 = | 1.50 | |
| H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H | $ba =_H ta =$ | 210 | N/mm ² (SS400) |
| H形鋼の許容せん断応力度 _H | $a =$ | 120 | N/mm ² |
| H形鋼の許容支圧応力度 _H | $a =$ | 355 | N/mm ² (SS400) |
| 添接板の許容曲げ・引張応力度 _P | $ba =_P ta =$ | 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: H596-2
H形鋼: H 596 × 199 × 10 × 15

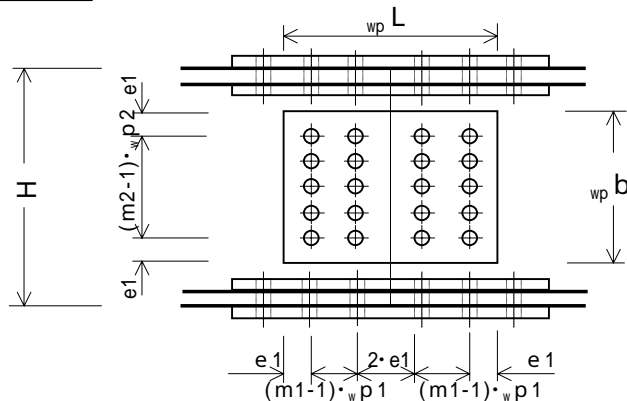
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 12 | × | 200 | × | 460 |
| 4・PL - | 16 | × | 80 | × | 460 |
| ウェブ: 2・PL - | 9 | × | 400 | × | 310 |

- (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 | $m2 =$ | 5 | 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 | $f p1 =$ | 7.5 | cm |
| フランジボルトの横断方向間隔 | $f p2 =$ | 12.0 | 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 | $w p2 =$ | 8.0 | cm |

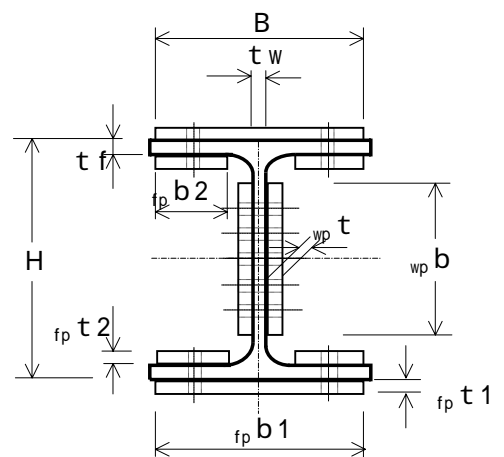
平面図



側面図



断面図

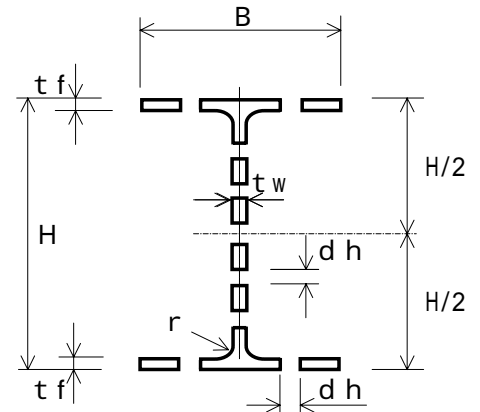


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 596 × 199 × 10 × 15

| | | | |
|-------------------|------------------|--------|-----------------|
| H 形 鋼 の 高 さ | H = | 59.6 | cm |
| H 形 鋼 の 幅 | B = | 19.9 | cm |
| ウ エ ブ 厚 | t _w = | 1.0 | cm |
| フ ラ ン ジ 厚 | t _f = | 1.5 | cm |
| フ イ レ ッ ト | r = | 1.3 | cm |
| 断 面 積 | A = | 117.80 | cm ² |
| 断 面 係 数 | Z = | 2240 | cm ³ |
| 断 面 二 次 モ - メ ン ト | I = | 66600 | 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 = | 5 | 本 (軸横断) |

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.00 \times 5 = 12.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.00 \times (59.6 - 2 \times 1.50) - 12.50 \\ &= 44.10 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 117.80 - 1.00 \times (59.6 - 2 \times 1.50) \\ &\quad - 2 \times 7.50 \\ &= 46.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 46.20 + 44.10 = 90.30 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

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

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 7.50 \times 29.050^2 + 1.406 = 6331 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 6331 = 12662 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 66600 - 12662 = 53938 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{53938}{29.80} = 1810 \text{ cm}^3$$

(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 | $f_p t_1 =$ | 1.20 | cm |
| 内側板幅 | $f_p b_2 =$ | 8.00 | 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)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 20.00 \times 1.20 - 6.00 = 18.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 8.00 \times 1.60 - 8.00 = 17.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (18.00 + 17.60) = 71.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

| | | | |
|-------|-----------|------|---------|
| 板幅 | $w_p b =$ | 40.0 | cm |
| 板厚 | $w_p t =$ | 0.90 | cm |
| ボルト本数 | $m_2 =$ | 5 | 本 (軸横断) |

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 5 = 11.25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 40.00 \times 0.90 - 11.25 = 24.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 24.75 = 49.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 71.20 + 49.50 = 120.70 \text{ cm}^2 > 90.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $m2 = 5$ 本 (軸横断)

外側板幅 $fp b1 = 20.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 1.20$ cm
 面積 $pA f1 = 18.00$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 8.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 1.60$ cm
 面積 $pA f2 = 17.60$ cm²

(外側添接板)

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

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{15.00 \times 1.20^3}{12} = 2.160 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 18.000 \times 30.400^2 + 2.160 = 16637 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

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

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{11.00 \times 1.60^3}{12} = 3.755 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 17.600 \times 27.500^2 + 3.755 = 13314 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (16637 + 13314) = 59902 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 40.00$ cm
 板厚 $wp t = 0.90$ cm
 ボルト間隔 $w p2 = 8.0$ cm

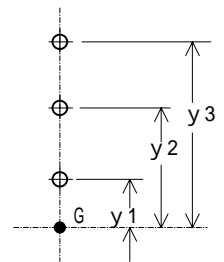
$$pI w1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.900 \times 40.00^3}{12} = 4800 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 320.00 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 320 + 5 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 1446 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (4800 - 1446) = 6708 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 59902 + 6708 = 66610 \text{ cm}^4 > 53938 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

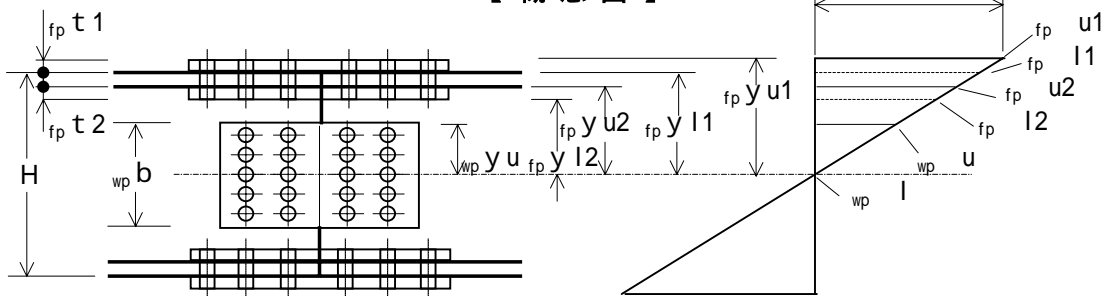
許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 1810 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 1810 \times 10^3 = 380100000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 66610 \text{ cm}^4$

$\rho I f = 59902 \text{ cm}^4$

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

$$= 380100000 \times \frac{59902}{66610} = 341821802 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_p M f 1 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f 1}{\rho I f}$$

$$\rho I f 1 = 16637 \text{ cm}^4$$

$$= 341821802 \times \frac{33274}{59902} = 189873103 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u 1 = 1/2 \cdot H + f_p t 1 = 1/2 \times 59.6 + 1.20 = 31.00 \text{ cm}$$

$$f_p u 1 = \frac{{}_p M f 1}{2 \cdot \rho I f 1} \cdot f_p y u 1 \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{189873103}{2 \times 16637} \times \frac{31.00}{1000} = 177 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y l 1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 59.6 = 29.80 \text{ cm}$$

$$f_p l 1 = \frac{{}_p M f 1}{2 \cdot \rho I f 1} \cdot f_p y l 1 \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{189873103}{33274} \times \frac{29.80}{1000} = 170 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 13314 \text{ cm}^4$$

$$= 341821802 \times \frac{26628}{59902} = 151948699 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 59.6 - 1.50 = 28.30 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{151948699}{26628} \times \frac{28.30}{1000} = 161 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 59.6 - 1.50 - 1.60 = 26.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{151948699}{26628} \times \frac{26.70}{1000} = 152 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{177 + 170}{2} \times 18.00 \times 10^2 = 312300 \text{ N}$$

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

$$= \frac{161 + 152}{2} \times 17.60 \times 10^2 = 275440 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 312300 + 275440 = 587740 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

$$S 2 = d \cdot t_f \cdot H a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 15 \times 355 = 117150$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 117150 \end{array} \right\} = \underline{117150} \text{ N} \quad (\text{最小})_{f_b} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{587740}{3 \times 2}$$

$$= 97957 \text{ N} < 117150 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned} {}_p I &= 66610 \text{ cm}^4 \\ {}_p I_w &= 6708 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

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

$$= 380100000 \times \frac{6708}{66610} = 38278198 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 40.00 = 20.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{38278198}{6708} \times \frac{20.00}{1000} = 114 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

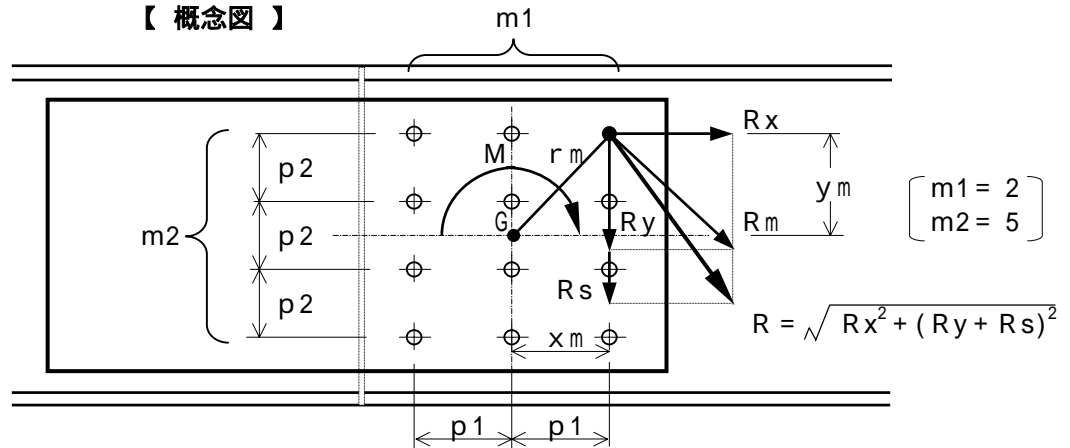
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 10 \times 355 = 78100$$

$$\left. \begin{aligned} &= 216657 \\ &= 78100 \end{aligned} \right\} = \frac{78100}{1} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

【 概念図 】



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

$$= 1/12 \times 2 \times 5 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 8.00^2 \times (5^2 - 1) \}$$

$$= 1421 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$y_m = 16.00 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 16.00^2} = 16.43 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{38278198}{1421} \times \frac{16.00}{10} = 43100 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{38278198}{1421} \times \frac{3.75}{10} = 10102 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{38278198}{1421} \times \frac{16.43}{10} = 44258 \text{ N}$$

$$= 44258 \text{ N} < 78100 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 44.10 \text{ cm}^2 \\ &= 4410 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 4410 = 529200 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 49.50 \text{ cm}^2 \\ &= 4950 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{529200}{4950} = 107 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 10 \times 355 = 78100 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{78100} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{529200}{2 \times 5} \\ &= 52920 \text{ N} < 78100 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 43100 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 10102 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 52920 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{43100^2 + (10102 + 52920)^2} \\ &= 76350 \text{ N} < 78100 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

