

# ボルト継手計算書

H 5 9 4 × 3 0 2 × 1 4 × 2 3

土木仕様

( S I 単位 )

ヒロセ株式会社

# ボルト継手 ( H 5 9 4 × 3 0 2 ) 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。

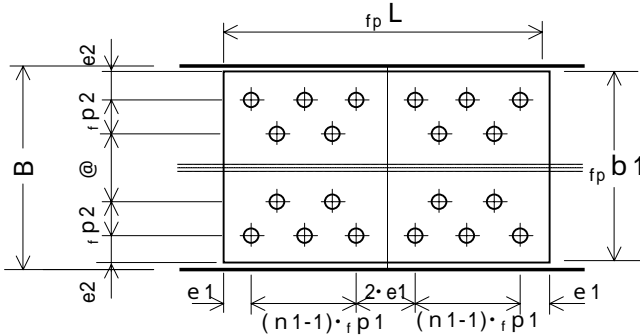
|                |                               |      |                           |
|----------------|-------------------------------|------|---------------------------|
| 仮設鋼材の許容応力度の割増  | 係数 =                          | 1.50 |                           |
| H形鋼の許容曲げ・引張応力度 | $H \quad b a = H \quad t a =$ | 210  | N/mm <sup>2</sup> (SS400) |
| H形鋼の許容せん断応力度   | $H \quad a =$                 | 120  | N/mm <sup>2</sup>         |
| H形鋼の許容支圧応力度    | $H \quad a =$                 | 355  | N/mm <sup>2</sup> (SS400) |
| 添接板の許容曲げ・引張応力度 | $P \quad b a = P \quad t a =$ | 210  | N/mm <sup>2</sup> (SS400) |
| 添接板の許容せん断応力度   | $P \quad a =$                 | 120  | N/mm <sup>2</sup>         |
| 添接板の許容支圧応力度    | $P \quad a =$                 | 355  | N/mm <sup>2</sup> (SS400) |
| ボルトの許容せん断応力度   | $B \quad a =$                 | 285  | N/mm <sup>2</sup> (F10T)  |

- (2) 設計母材 JIS: H594  
**H形鋼: H 5 9 4 × 3 0 2 × 1 4 × 2 3**

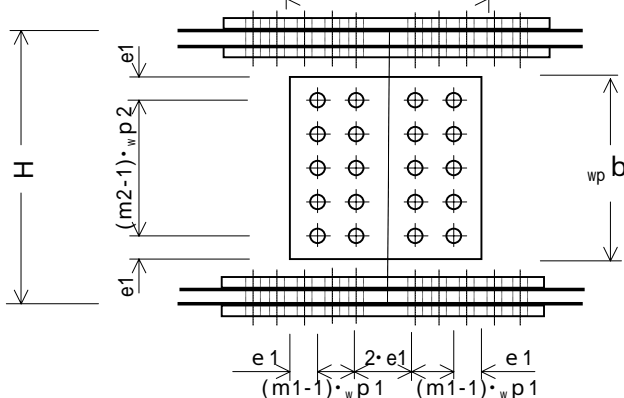
- (3) 添接板
- |       |              |   |     |   |     |
|-------|--------------|---|-----|---|-----|
| フランジ: | 2 · P L - 16 | × | 300 | × | 680 |
|       | 4 · P L - 16 | × | 120 | × | 680 |
| ウェブ:  | 2 · P L - 9  | × | 460 | × | 310 |

- (4) ボルト
- |                     |           |      |         |
|---------------------|-----------|------|---------|
| ボルト直径 ( M22 )       | $d =$     | 2.20 | cm      |
| ボルト孔径 ( $d + 3mm$ ) | $d h =$   | 2.50 | cm      |
| フランジのボルト本数          | $n 1 =$   | 5    | 本 (軸方向) |
| ウェブのボルト本数           | $m 1 =$   | 2    | 本 (軸方向) |
| フランジのボルト本数          | $n 2 =$   | 2    | 本 (軸横断) |
| ウェブのボルト本数           | $m 2 =$   | 5    | 本 (軸横断) |
| 縁端距離 (応力方向)         | $e 1 =$   | 4.0  | cm      |
| 縁端距離 (その他)          | $e 2 =$   | 4.0  | cm      |
| フランジボルトの軸方向間隔       | $f p 1 =$ | 6.5  | 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        | $w p 1 =$ | 7.5  | cm      |
| ウェブボルトの横断方向間隔       | $w p 2 =$ | 9.5  | cm      |

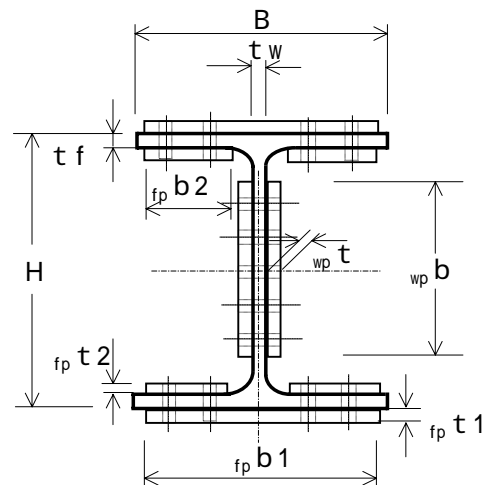
**平面図**



**側面図**



**断面図**

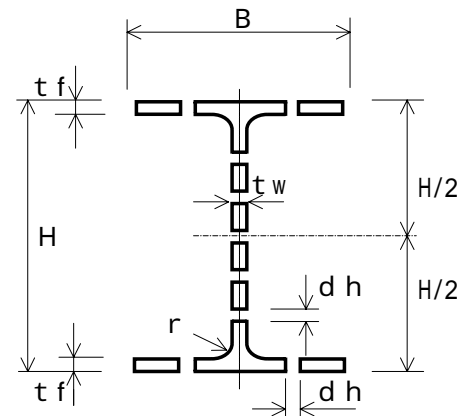


## 2. 継手部の設計

### (1) 母材の断面性能計算

#### 1) 母材 H 594 × 302 × 14 × 23

|                   |                  |        |                 |
|-------------------|------------------|--------|-----------------|
| H 形 鋼 の 高 さ       | H =              | 59.4   | cm              |
| H 形 鋼 の 幅         | B =              | 30.2   | cm              |
| ウ エ ブ 厚           | t <sub>w</sub> = | 1.4    | cm              |
| フ ラ ン ジ 厚         | t <sub>f</sub> = | 2.3    | cm              |
| フ イ レ ッ ト         | r =              | 1.3    | cm              |
| 断 面 積             | A =              | 217.10 | cm <sup>2</sup> |
| 断 面 係 数           | Z =              | 4500   | cm <sup>3</sup> |
| 断 面 二 次 モ - メ ン ト | I =              | 134000 | cm <sup>4</sup> |



#### 2) ボルト穴を控除した断面性能

|            |                  |      |         |
|------------|------------------|------|---------|
| ボルト孔径      | d <sub>h</sub> = | 2.50 | cm      |
| フランジボルトの本数 | n <sub>2</sub> = | 2    | 本 (軸横断) |
| ウェブボルトの本数  | m <sub>2</sub> = | 5    | 本 (軸横断) |

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.40 \times 5 = 17.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.40 \times (59.4 - 2 \times 2.30) - 17.50 \\ &= 59.22 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.30 \times 2 = 11.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 217.10 - 1.40 \times (59.4 - 2 \times 2.30) \\ &\quad - 2 \times 11.50 \\ &= 117.38 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 117.38 + 59.22 = 176.60 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.30^3 \times 2}{12} \\ &= 5.070 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 11.50 \times 28.550^2 + 5.070 = 9379 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 9379 = 18758 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 134000 - 18758 = 115242 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{115242}{29.70} = 3880 \text{ cm}^3$$

## (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  $w_p b = 46.0$  cm  
板厚  $w_p t = 0.90$  cm  
ボルト本数  $m_2 = 5$  本 (軸横断)

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

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 46.00 \times 0.90 - 11.25 = 30.15 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 30.15 = 60.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

### 3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 140.80 + 60.30 = 201.10 \text{ cm}^2 > 176.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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  $fp b1 = 30.00$  cm  
 板厚  $fp t1 = 1.60$  cm  
 面積  $pA f1 = 40.00$  cm<sup>2</sup>  
 内側板幅  $fp b2 = 12.00$  cm  
 板厚  $fp t2 = 1.60$  cm  
 面積  $pA f2 = 30.40$  cm<sup>2</sup>

(外側添接板)

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

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

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 40.000 \times 30.500^2 + 8.533 = 37219 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

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

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

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 30.400 \times 26.600^2 + 6.485 = 21516 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (37219 + 21516) = 117470 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅  $wp b = 46.00$  cm  
 板厚  $wp t = 0.90$  cm  
 ボルト間隔  $wp p2 = 9.5$  cm

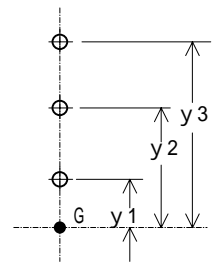
$$pI W1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.900 \times 46.00^3}{12} = 7300 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 451.25 \text{ cm}^2$$

$$pI W1 = dh \cdot wp t \cdot 2 \cdot y + m2 \cdot \frac{wp t \cdot (dh)^3}{12}$$

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 451.25 + 5 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 2036 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI W = 2 \cdot (pI W1 - pI W1) = 2 \times (7300 - 2036) = 10528 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$pI = pI f + pI W = I'$$

$$= 117470 + 10528 = 127998 \text{ cm}^4 > 115242 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

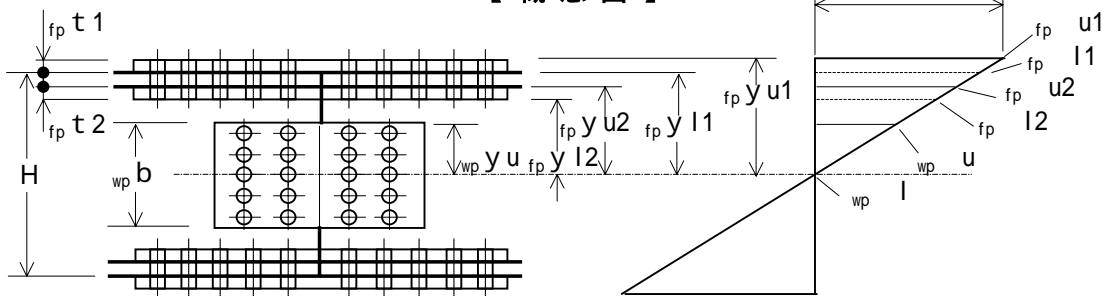
許容曲げ応力度  $H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数  $Z' = 3880 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 3880 \times 10^3 = 814800000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 127998 \text{ cm}^4$

$pIf = 117470 \text{ cm}^4$

$$pMf = M_r \cdot \frac{pIf}{pI}$$

$$= 814800000 \times \frac{117470}{127998} = 747781653 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 37219 \text{ cm}^4$$

$$= 747781653 \times \frac{74438}{117470} = 473851798 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{pyu1} = 1/2 \cdot H + f_{pt1} = 1/2 \times 59.4 + 1.60 = 31.30 \text{ cm}$$

$$f_{pu1} = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot f_{pyu1} \quad pba$$

$$= \frac{473851798}{2 \times 37219} \times \frac{31.30}{1000} = 199 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_{pyl1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 59.4 = 29.70 \text{ cm}$$

$$f_{pl1} = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot f_{pyl1} \quad pba$$

$$= \frac{473851798}{74438} \times \frac{29.70}{1000} = 189 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f} \qquad {}_p I f_2 = 21516 \text{ cm}^4$$

$$= 747781653 \times \frac{43032}{117470} = 273929855 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 59.4 - 2.30 = 27.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{273929855}{43032} \times \frac{27.40}{1000} = 174 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 59.4 - 2.30 - 1.60 = 25.80 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{273929855}{43032} \times \frac{25.80}{1000} = 164 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{199 + 189}{2} \times 40.00 \times 10^2 = 776000 \text{ N}$$

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

$$= \frac{174 + 164}{2} \times 30.40 \times 10^2 = 513760 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 776000 + 513760 = 1289760 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

$$= \frac{2 \cdot 3.801 \cdot 285}{2} = 216657$$

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

$$= 22 \times 23 \times 355 = 179630$$

$$\left. \begin{array}{l} S_1 = 216657 \\ S_2 = 179630 \end{array} \right\} = \underline{179630} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1289760}{5 \times 2}$$

$$= 128976 \text{ N} < 179630 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

### 3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$${}_p I = 127998 \text{ cm}^4$$

$${}_p I_w = 10528 \text{ cm}^4$$

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

$$= 814800000 \times \frac{10528}{127998} = 67018347 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{wp} y_u = 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 46.00 = 23.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{67018347}{10528} \times \frac{23.00}{1000} = 146 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

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

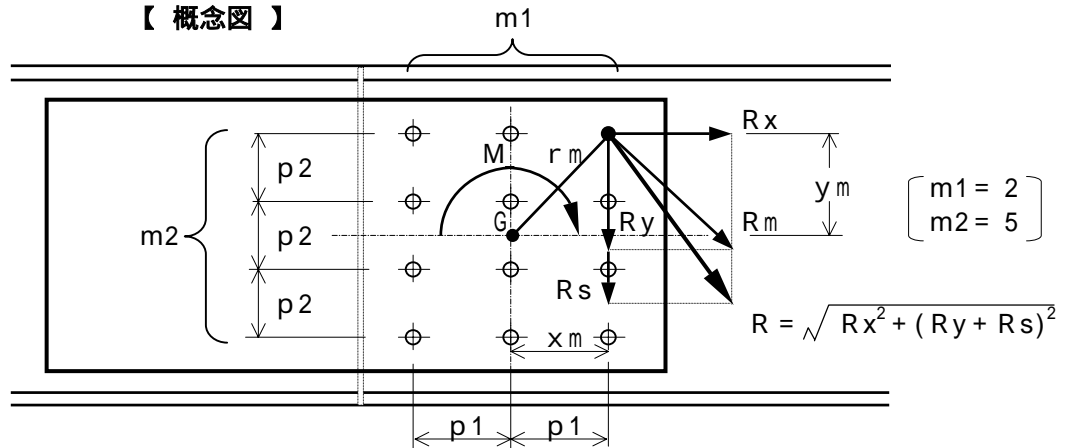
$$S_2 = d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 14 \times 355 = 109340$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 109340 \end{array} \right\} = \frac{109340}{\text{最小}} \text{ N}$$

(最小)<sub>wb</sub> S a

【 概念図 】



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

$$= 1/12 \times 2 \times 5 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 9.50^2 \times (5^2 - 1) \}$$

$$= 1946 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$y_m = 19.00 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 19.00^2} = 19.37 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{67018347}{1946} \times \frac{19.00}{10} = 65434 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{67018347}{1946} \times \frac{3.75}{10} = 12915 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{67018347}{1946} \times \frac{19.37}{10}$$

$$= 66708 \text{ N} < 109340 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$



(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 59.22 \text{ cm}^2 \\ &= 5922 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 5922 = 710640 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 60.30 \text{ cm}^2 \\ &= 6030 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{710640}{6030} = 118 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 14 \times 355 = 109340 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{109340 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{710640}{2 \times 5} \\ &= 71064 \text{ N} < 109340 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 65434 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 12915 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 71064 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{65434^2 + (12915 + 71064)^2} \\ &= 106462 \text{ N} < 109340 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

