

# ボルト継手計算書

H 4 4 0 × 3 0 0 × 1 1 × 1 8

( 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 (H 440 × 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。

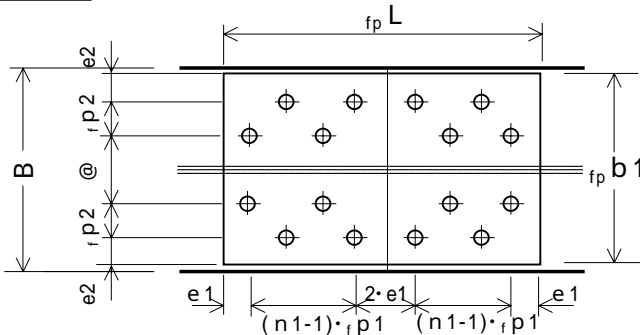
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 <sub>H</sub>	$ba =_H ta =$	280	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 <sub>H</sub>	$a =$	160	N/mm <sup>2</sup>
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数) <sub>H</sub>	$a =$	473	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 <sub>P</sub>	$ba =_P ta =$	280	N/mm <sup>2</sup> (SM490)
添接板の許容せん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

- (2) 設計母材 コト: H440  
**H形鋼: H 440 × 300 × 11 × 18**

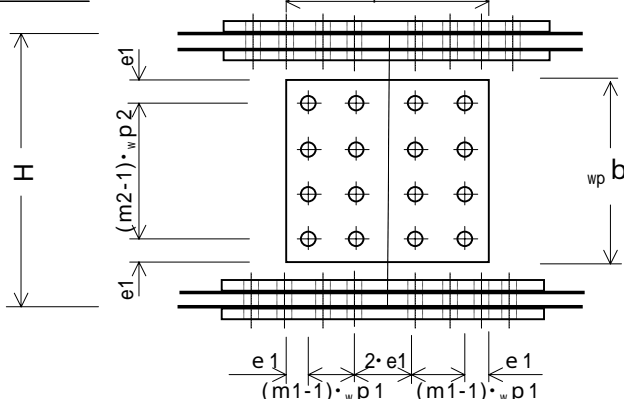
- (3) 添接板
- |              |    |   |     |   |     |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 12 | × | 300 | × | 550 |
| 4・PL -       | 12 | × | 120 | × | 550 |
| ウェブ: 2・PL -  | 9  | × | 305 | × | 310 |

- (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  | $f p1 =$ | 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  | $w p2 =$ | 7.5  | cm      |

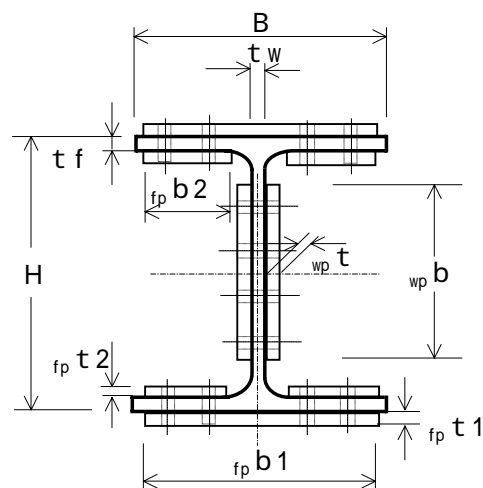
**平面図**



**側面図**



**断面図**

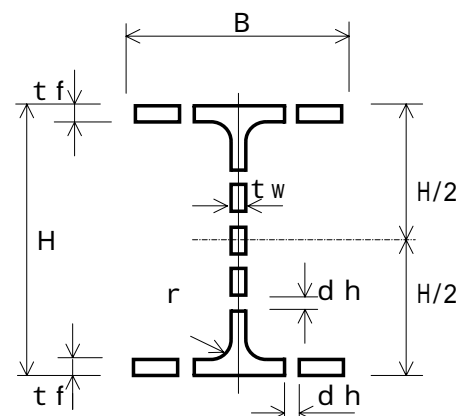


## 2. 継手部の設計

## (1) 母材の断面性能計算

## 1) 母材 H 4 4 0 × 3 0 0 × 1 1 × 1 8

H 形 鋼 の 高 さ	H =	44	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	30	cm
ウ エ ブ 厚	t <sub>w</sub> =	1.1	cm
フ ラ ン ジ 厚	t <sub>f</sub> =	1.8	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	153.90	cm <sup>2</sup>
断 面 係 数	Z =	2490	cm <sup>3</sup>
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	54700	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> =	4	本 (軸横断)

(断面積)

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

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.10 \times (44 - 2 \times 1.80) - 11.00 \\ &= 33.44 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.80 \times 2 = 9.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 153.90 - 1.10 \times (44 - 2 \times 1.80) \\ &\quad - 2 \times 9.00 \\ &= 91.46 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 91.46 + 33.44 = 124.90 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.80^3 \times 2}{12} \\ &= 2.430 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 9.000 \times 21.100^2 + 2.430 = 4009 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 4009 = 8018 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 54700 - 8018 = 46682 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{46682}{22.00} = 2122 \text{ cm}^3$$

## (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	$w_p b =$	30.5	cm
板厚	$w_p t =$	0.90	cm
ボルト本数	$m_2 =$	4	本 (軸横断)

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

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 30.50 \times 0.90 - 9.00 = 18.45 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 18.45 = 36.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

## 3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 105.60 + 36.90 = 142.50 \text{ cm}^2 > 124.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 <sup>2</sup>
		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 <sup>2</sup>

(外側添接板)

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

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

$$p I f_1 = p A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I f_1 = 30.000 \times 22.600^2 + 3.600 = 15326 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

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

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

$$p I f_2 = p A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I f_2 = 22.800 \times 19.600^2 + 2.736 = 8762 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f_1 + p I f_2) = 2 \times (15326 + 8762) = 48176 \text{ cm}^4$$

## 2) ウェブ添接板

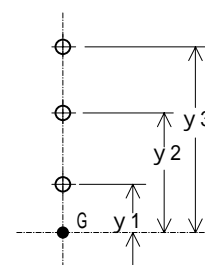
板幅	$w_p b = 30.50$ cm
板厚	$w_p t = 0.90$ cm
ボルト間隔	$w p_2 = 7.5$ cm

$$p I w_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.900 \times 30.50^3}{12} = 2128 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 140.63 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 140.63 + 4 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12} = 638 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$p I w = 2 \cdot (p I w_1 - p I w_1) = 2 \times (2128 - 638) = 2980 \text{ cm}^4$$

## 3) 断面二次モーメント

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

$$= 48176 + 2980 = 51156 \text{ cm}^4 > 46682 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

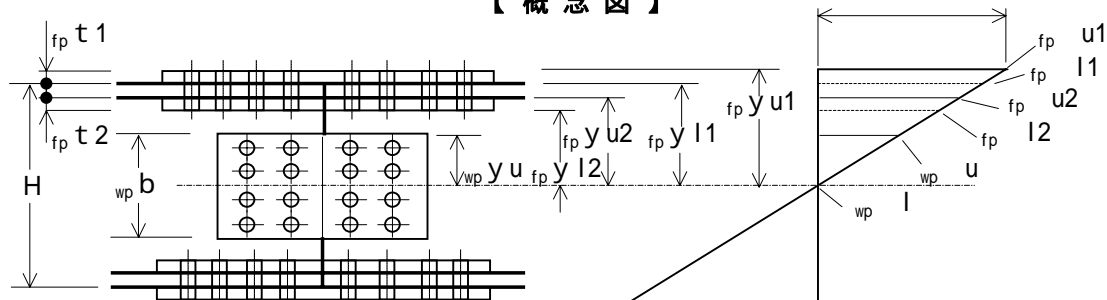
## (4) 曲げモ - メントの計算

## 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  $Hba = 280 \text{ N/mm}^2$   
 断面係数  $Z' = 2122 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} M_r &= Hba \cdot Z' \\ &= 280 \times 2122 \times 10^3 = 594160000 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

【概念図】



## 2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 51156 \text{ cm}^4$   
 $pIf = 48176 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned} pMf &= M_r \cdot \frac{pIf}{pI} \\ &= 594160000 \times \frac{48176}{51156} = 559548287 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 15326 \text{ cm}^4$$

$$= 559548287 \times \frac{30652}{48176} = 356012830 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$fp y u1 = 1/2 \cdot H + fp t1 = 1/2 \times 44.0 + 1.20 = 23.20 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} fp u1 &= \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y u1 \quad pba \\ &= \frac{356012830}{2 \times 15326} \times \frac{23.20}{1000} = 269 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

$$fp y l1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 44.0 = 22.00 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} fp l1 &= \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y l1 \quad pba \\ &= \frac{356012830}{30652} \times \frac{22.00}{1000} = 256 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 8762 \text{ cm}^4$$

$$= 559548287 \times \frac{17524}{48176} = 203535457 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 44.0 - 1.80 = 20.20 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{203535457}{17524} \times \frac{20.20}{1000} = 235 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 44.0 - 1.80 - 1.20 = 19.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{203535457}{17524} \times \frac{19.00}{1000} = 221 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{269 + 256}{2} \times 30.00 \times 10^2 = 787500 \text{ N}$$

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

$$= \frac{235 + 221}{2} \times 22.80 \times 10^2 = 519840 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 787500 + 519840 = 1307340 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 18 \times 473 = 187308$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 187308 \end{array} \right\} = 187308 \text{ N} \quad (\text{最小})_{f_b} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1307340}{4 \times 2}$$

$$= 163418 \text{ N} < 187308 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

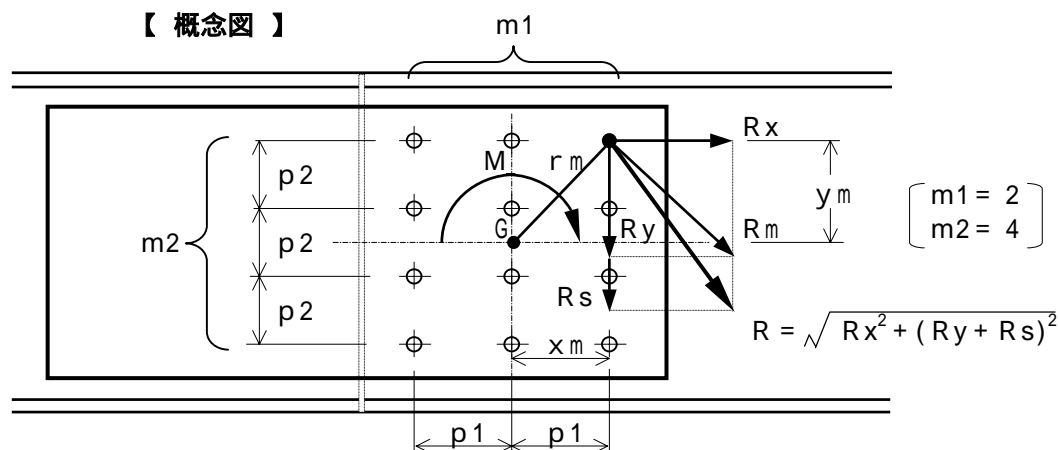
## 3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 51156 \text{ cm}^4 \\
 &= 594160000 \times \frac{2980}{51156} & {}_p I_W &= 2980 \text{ cm}^4 \\
 &= 34611713 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 30.50 = 15.25 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u & a & \\
 &= \frac{34611713}{2980} \times \frac{15.25}{1000} = 177 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 4 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (4^2 - 1) \} \\
 &= 675 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 11.25 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 11.25^2} = 11.86 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{34611713}{675} \times \frac{11.25}{10} = 57686 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{34611713}{675} \times \frac{3.75}{10} = 19229 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{34611713}{675} \times \frac{11.86}{10} \\
 &= 60814 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$



## (5) せん断力の計算

## 1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 33.44 \text{ cm}^2 \\ &= 3344 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 3344 = 535040 \text{ N} \end{aligned}$$

## 2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 36.90 \text{ cm}^2 \\ &= 3690 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{535040}{3690} = 145 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

## 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)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 11 \times 473 = 114466 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{114466} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{535040}{2 \times 4} \\ &= 66880 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

## (6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 57686 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 19229 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 66880 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{57686^2 + (19229 + 66880)^2} \\ &= 103646 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

