

ボルト継手計算書

H 1 5 0 × 1 5 0 × 7 × 1 0

土木仕様

千鳥配置案

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 150 × 150) 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	$H \quad ba =_H \quad ta =$	210	N/mm ² (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度	$H \quad a =$	120	N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度	$H \quad a =$	355	N/mm ² (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度	$P \quad ba =_P \quad ta =$	210	N/mm ² (SS400)
添接板の許容せん断応力度	$P \quad a =$	120	N/mm ²
添接板の許容支圧応力度	$P \quad a =$	355	N/mm ² (SS400)
ボルトの許容せん断応力度	$B \quad a =$	285	N/mm ² (F10T)

(2) 設計母材

JIS: H150

H形鋼: H 150 × 150 × 7 × 10

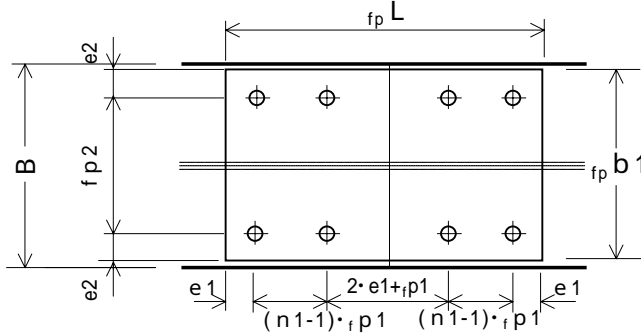
(3) 添接板

		< p t >	< p b >	< p L >
フランジ:	2 · PL -	9	× 150	× 330
	4 · PL -	9	× 55	× 330
ウェブ:	2 · PL -	6	× 110	× 260

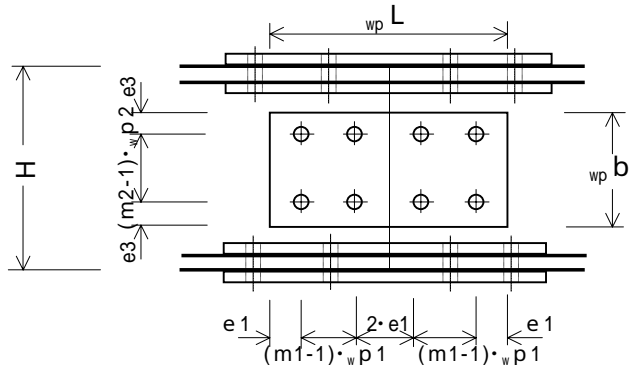
(4) ボルト

ボルト直径 (M16)	d =	1.60	cm
ボルト孔径 (d + 3mm)	dh =	1.90	cm
フランジのボルト本数	n1 =	2	本 (軸方向)
ウェブのボルト本数	m1 =	2	本 (軸方向)
縁端距離 (応力方向)	e1 =	3.00	cm
縁端距離 (その他)	e2 =	2.75	cm
縁端距離 (応力方向)	e3 =	2.75	cm
	n2 =	2	本 (軸横断)
	m2 =	2	本 (軸横断)
	フランジボルトの軸方向間隔	$f p 1 =$	7.0 cm
	フランジボルトの横断方向間隔	$f p 2 =$	9.5 cm
	ウェブボルトの軸方向間隔	$w p 1 =$	7.0 cm
	ウェブボルトの横断方向間隔	$w p 2 =$	5.5 cm

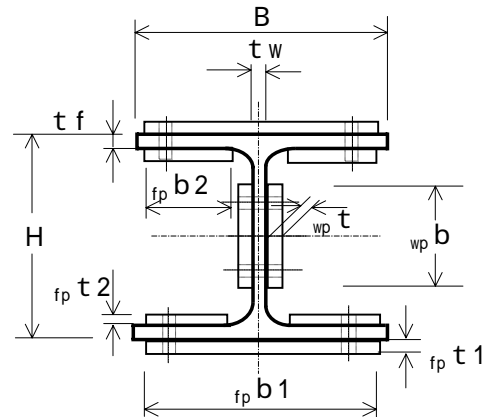
平面図



側面図



断面図

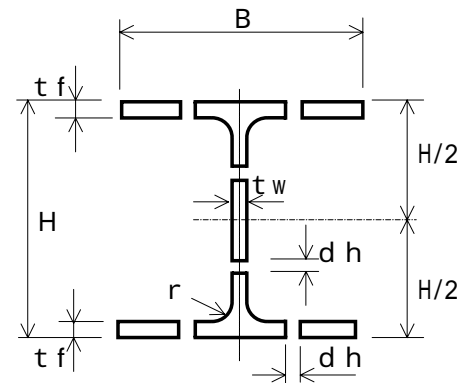


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H150 × 150 × 7 × 10

H形鋼の高さ	H =	15	cm
H形鋼の幅	B =	15	cm
ウェブ厚	t _w =	0.70	cm
フランジ厚	t _f =	1	cm
フイレット	r =	0.8	cm
断面積	A =	39.65	cm ²
断面係数	Z =	216	cm ³
断面二次モーメント	I =	1620	cm ⁴



2) ボルト孔を控除した断面性能

ボルト孔径	d _h =	1.90	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 =	2	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 1.90 \times 0.70 \times 2 = 2.66 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.70 \times (15 - 2 \times 1.00) - 2.66 \\ &= 6.44 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 1.90 \times 1.00 \times 2 = 3.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 39.65 - 0.70 \times (15 - 2 \times 1.00) - 2 \times 3.80 \\ &= 22.95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 22.95 + 6.44 = 29.39 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{1.90 \times 1.00^3 \times 2}{12} \\ &= 0.317 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 3.80 \times 7.000^2 + 0.317 = 187 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 187 = 374 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 1620 - 374 = 1246 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{1246}{7.50} = 166 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅 $f_p b_1 = 15.0$ cm
板厚 $f_p t_1 = 0.90$ cm
内側板幅 $f_p b_2 = 5.50$ cm
板厚 $f_p t_2 = 0.90$ cm
ボルト孔径 $d_h = 1.90$ cm
ボルト本数 $n_2 = 2$ 本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 1.90 \times 0.90 \times 2 = 3.42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 15.00 \times 0.90 - 3.42 = 10.08 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 1.90 \times 0.90 \times 2 = 3.42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 5.50 \times 0.90 - 3.42 = 6.48 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (10.08 + 6.48) = 33.12 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 11.0$ cm
板厚 $w_p t = 0.60$ cm
ボルト本数 $m_2 = 2$ 本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 1.90 \times 0.60 \times 2 = 2.28 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 11.00 \times 0.60 - 2.28 = 4.32 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 4.32 = 8.64 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 33.12 + 8.64 = 41.76 \text{ cm}^2 > 29.39 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $d_h = 1.90$ cm
 フランジ $n_2 = 2$ 本 (軸横断)
 ウェブ $m_2 = 2$ 本 (軸横断)

外側板幅 $f_p b_1 = 15.00$ cm
 板厚 $f_p t_1 = 0.90$ cm
 面積 $p A f_1 = 10.08$ cm²
 内側板幅 $f_p b_2 = 5.50$ cm
 板厚 $f_p t_2 = 0.90$ cm
 面積 $p A f_2 = 6.48$ cm²

(外側添接板)

$$f_p b_1' = f_p b_1 - d_h \cdot n_2 = 15.00 - (1.90 \times 2) = 11.20 \text{ cm}$$

$$p I f_1 = \frac{f_p b_1' \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{11.20 \times 0.90^3}{12} = 0.680 \text{ cm}^4$$

$$p I f_1 = p A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I f_1 = 10.080 \times 7.950^2 + 0.680 = 638 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b_2' = 2 \cdot f_p b_2 - d_h \cdot n_2 = 2 \times 5.50 - (1.90 \times 2) = 7.20 \text{ cm}$$

$$p I f_2 = \frac{f_p b_2' \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{7.20 \times 0.90^3}{12} = 0.437 \text{ cm}^4$$

$$p I f_2 = p A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I f_2 = 6.480 \times 6.050^2 + 0.437 = 238 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f_1 + p I f_2) = 2 \times (638 + 238) = 1752 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

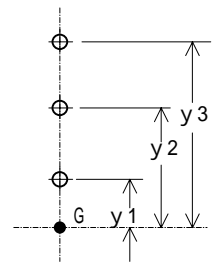
板幅 $w_p b = 11.00$ cm
 板厚 $w_p t = 0.60$ cm
 ボルト間隔 $w p_2 = 5.5$ cm

$$p I w_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.600 \times 11.00^3}{12} = 67 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 8 \text{ cm}^2$$

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

$$= 1.90 \times 0.60 \times 2 \times 8 + 2 \times \frac{0.60 \times 1.90^3}{12} = 18 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$p I w = 2 \cdot (p I w_1 - p I w_1) = 2 \times (67 - 18) = 98 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 1752 + 98 = 1850 \text{ cm}^4 > 1246 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

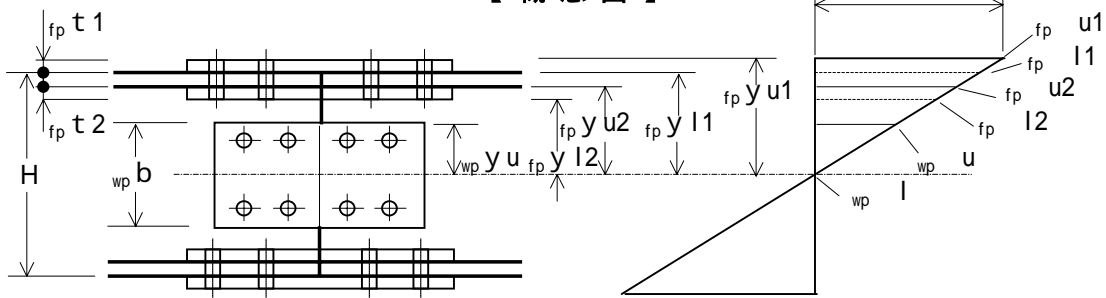
許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 166 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 166 \times 10^3 = 34860000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 1850 \text{ cm}^4$

$\rho I f = 1752 \text{ cm}^4$

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

$$= 34860000 \times \frac{1752}{1850} = 33013362 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

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

$$= 33013362 \times \frac{1276}{1752} = 24043978 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$\rho I f 1 = 638 \text{ cm}^4$

$$f_p y u 1 = 1/2 \cdot H + f_p t 1 = 1/2 \times 15.0 + 0.90 = 8.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{24043978}{2 \times 638} \times \frac{8.40}{1000} = 158 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y l 1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 15.0 = 7.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{24043978}{1276} \times \frac{7.50}{1000} = 141 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 238 \text{ cm}^4$$

$$= 33013362 \times \frac{476}{1752} = 8969384 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 15.0 - 1.00 = 6.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{8969384}{476} \times \frac{6.50}{1000} = 122 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 15.0 - 1.00 - 0.90 = 5.60 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{8969384}{476} \times \frac{5.60}{1000} = 106 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{158 + 141}{2} \times 10.08 \times 10^2 = 150696 \text{ N}$$

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

$$= \frac{122 + 106}{2} \times 6.48 \times 10^2 = 73872 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 150696 + 73872 = 224568 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$M 16 \quad {}_B A = 1/4 \cdot d^2 = 2.011 \text{ cm}^2 \quad 201.1 \text{ mm}^2$$

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

$$= 2 \times 201.1 \times 285 = 114627$$

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

$$= 16 \times 10 \times 355 = 56800$$

$$\left. \begin{array}{l} 114627 \\ 56800 \end{array} \right\} = 56800 \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{224568}{2 \times 2}$$

$$= 56142 \text{ N} < 56800 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned} {}_p I &= 1850 \text{ cm}^4 \\ {}_p I_w &= 98 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

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

$$= 34860000 \times \frac{98}{1850} = 1846638 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 11.00 = 5.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{1846638}{98} \times \frac{5.50}{1000} = 104 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 16

$${}_B A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 2.011 \text{ cm}^2 \quad 201.1 \text{ mm}^2$$

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

$$= 2 \times 201.1 \times 285 = 114627$$

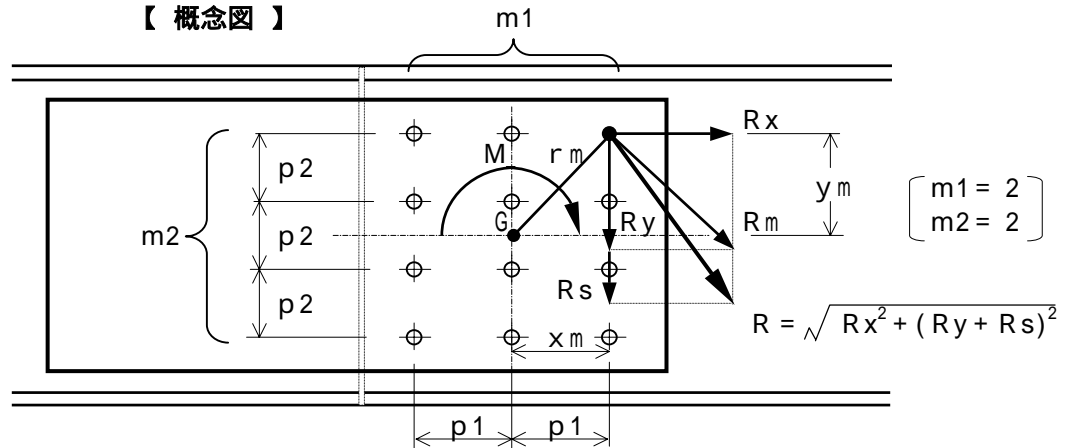
$$S2 = d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 16 \times 7 \times 355 = 39760$$

$$\left. \begin{aligned} &= 114627 \\ &= 39760 \end{aligned} \right\} = \frac{39760}{\text{最小}} \text{ N}$$

(最小)_{wb} S a

【 概念図 】



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

$$= 1/12 \times 2 \times 2 \times \left\{ 7.00^2 \times (2^2 - 1) + 5.50^2 \times (2^2 - 1) \right\}$$

$$= 79 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$x_m = 3.50 \text{ cm}$$

$$y_m = 2.75 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.50^2 + 2.75^2} = 4.45 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{1846638}{79} \times \frac{2.75}{10} = 6428 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{1846638}{79} \times \frac{3.50}{10} = 8181 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{1846638}{79} \times \frac{4.45}{10}$$

$$= 10402 \text{ N} < 39760 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 6.44 \text{ cm}^2 \\ &= 644 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 644 = 77280 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 8.64 \text{ cm}^2 \\ &= 864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{77280}{864} = 89 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$M16 \quad A_b = 1/4 \cdot d^2 = 2.011 \text{ cm}^2 = 201.1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 201.1 \times 285 = 114627 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 16 \times 7 \times 355 = 39760 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{39760} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{77280}{2 \times 2} \\ &= 19320 \text{ N} < 39760 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

$$\begin{aligned} (\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 6428 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 8181 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 19320 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{6428^2 + (8181 + 19320)^2} \\ &= 28242 \text{ N} < 39760 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

