

ボルト継手計算書

H 4 5 8 × 4 1 7 × 3 0 × 5 0

(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 458 × 417) 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。)

(鋼材コード) SM490-D

(ボルトコード) 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 _H	$ba =_H$	$ta =$	280 N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	160 N/mm ²	
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数) _H	$a =$	473 N/mm ²	(SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P$	$ta =$	280 N/mm ² (SM490)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	160 N/mm ²	
添接板の許容支圧応力度(315×係数) _P	$a =$	473 N/mm ²	(SM490)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =$	285 N/mm ²	(F10T)

(2) 設計母材

コード: H458

H形鋼: H 458 × 417 × 30 × 50

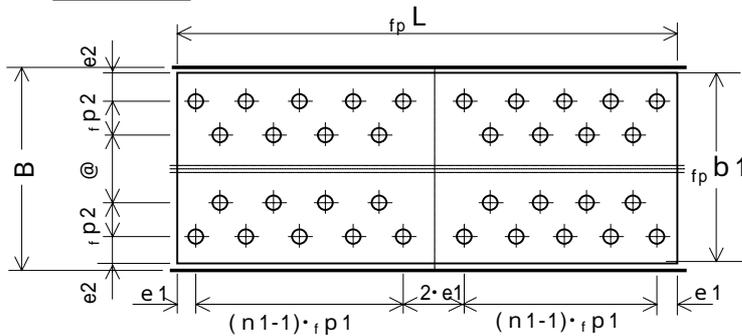
(3) 添接板

	フランジ:	2・PL -	32	×	415	×	1380
		4・PL -	36	×	160	×	1380
	ウェブ:	2・PL -	22	×	280	×	520

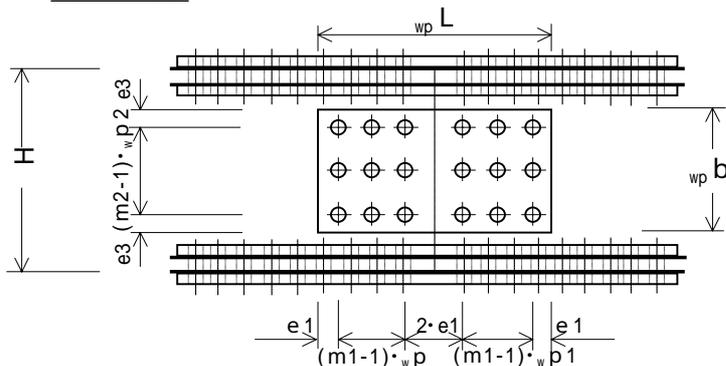
(4) ボルト

ボルト直径 (M24)	$d =$	2.40	cm
ボルト孔径 (d+3mm)	$dh =$	2.70	cm
フランジのボルト本数	$n1 =$	9	本 (軸方向)
ウェブのボルト本数	$m1 =$	3	本 (軸方向)
縁端距離(応力方向)	$e1 =$	4.50	cm
縁端距離(その他)	$e2 =$	6.00	cm
縁端距離(応力方向)	$e3 =$	5.50	cm
	$n2 =$	2	本 (軸横断)
	$m2 =$	3	本 (軸横断)
	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	$f p2 =$	4.0 cm
	ウェブボルトの軸方向間隔	$w p1 =$	8.5 cm
	ウェブボルトの横断方向間隔	$w p2 =$	8.5 cm

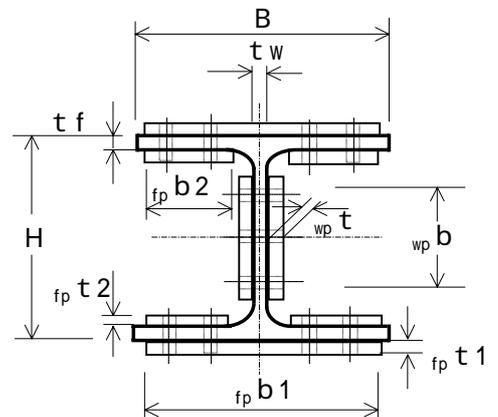
平面図



側面図



断面図

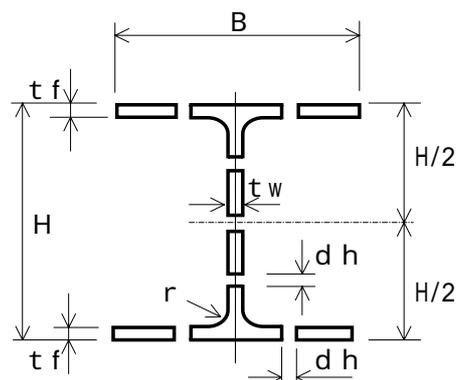


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 4 5 8 × 4 1 7 × 3 0 × 5 0

H 形 鋼 の 高 さ	H =	45.8	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	41.7	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	3.0	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	5	cm
フ イ レ ッ ト	r =	2.2	cm
断 面 積	A =	528.60	cm ²
断 面 係 数	Z =	8170	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	187000	cm ⁴



2) ボルト孔を控除した断面性能

ボルト孔径	d _h =	2.70	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 =	3	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 3.00 \times 3 = 24.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 3.00 \times (45.8 - 2 \times 5.00) - 24.30 \\ &= 83.10 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 5.00 \times 2 = 27.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 528.60 - 3.00 \times (45.8 - 2 \times 5.00) \\ &\quad - 2 \times 27.00 \\ &= 367.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 367.20 + 83.10 = 450.30 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.70 \times 5.00^3 \times 2}{12} \\ &= 56.250 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 27.000 \times 20.400^2 + 56.250 = 11293 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

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

$$I' = I - {}_B I_f' = 187000 - 22586 = 164414 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{164414}{22.90} = 7180 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	41.5	cm
板厚	$f_p t_1 =$	3.20	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	16.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	3.60	cm
ボルト孔径	$d_h =$	2.70	cm
ボルト本数	$n_2 =$	2	本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 3.20 \times 2 = 17.28 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 41.50 \times 3.20 - 17.28 = 115.52 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 3.60 \times 2 = 19.44 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 3.60 - 19.44 = 95.76 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (115.52 + 95.76) = 422.56 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	28.0	cm
板厚	$w_p t =$	2.20	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 2.20 \times 3 = 17.82 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 28.00 \times 2.20 - 17.82 = 43.78 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 43.78 = 87.56 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 422.56 + 87.56 = 510.1 \text{ cm}^2 > 450.3 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-OK-

(3) 添接板の断面二次モ - メントの計算

1) フランジ添接板

ボルト孔径 dh = 2.70 cm
フランジ n2 = 2 本 (軸横断)
ウェブ m2 = 3 本 (軸横断)

外側板幅 fp b1 = 41.50 cm
板厚 fp t1 = 3.20 cm
面積 pAf1 = 115.5 cm²
内側板幅 fp b2 = 16.00 cm
板厚 fp t2 = 3.60 cm
面積 pAf2 = 95.76 cm²

(外側添接板)

$$fp b1' = fp b1 - dh \cdot n2 = 41.70 - (2.70 \times 2) = 36.30 \text{ cm}$$
$$pIf1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{36.30 \times 3.20^3}{12} = 99.123 \text{ cm}^4$$
$$pIf1 = pAf1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pIf1 = 115.520 \times 24.500^2 + 99.123 = 69440 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$fp b2' = 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 16.00 - (2.70 \times 2) = 26.60 \text{ cm}$$
$$pIf2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{26.60 \times 3.60^3}{12} = 103.421 \text{ cm}^4$$
$$pIf2 = pAf2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pIf2 = 95.760 \times 16.100^2 + 103.421 = 24925 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pIf = 2 \cdot (pIf1 + pIf2) = 2 \times (69440 + 24925) = 188730 \text{ cm}^4$$

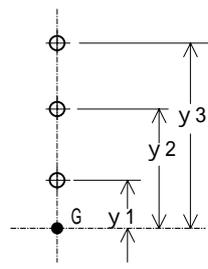
2) ウェブ添接板

板幅 wp b = 28.00 cm
板厚 wp t = 2.20 cm
ボルト間隔 wp2 = 8.5 cm

$$pIW1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{2.200 \times 28.00^3}{12} = 4025 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 72.25 \text{ cm}^2$$

$$pIW1 = dh \cdot wp t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{wp t \cdot (dh)^3}{12}$$
$$= 2.70 \times 2.20 \times 2 \times 72.25 + 3 \times \frac{2.20 \times 2.70^3}{12}$$
$$= 869 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pIW = 2 \cdot (pIW1 - pIW1) = 2 \times (4025 - 869) = 6312 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モ - メント

$$pI = pIf + pIW = 188730 + 6312 = 195042 \text{ cm}^4 > 164414 \text{ cm}^4 \text{ -OK-}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

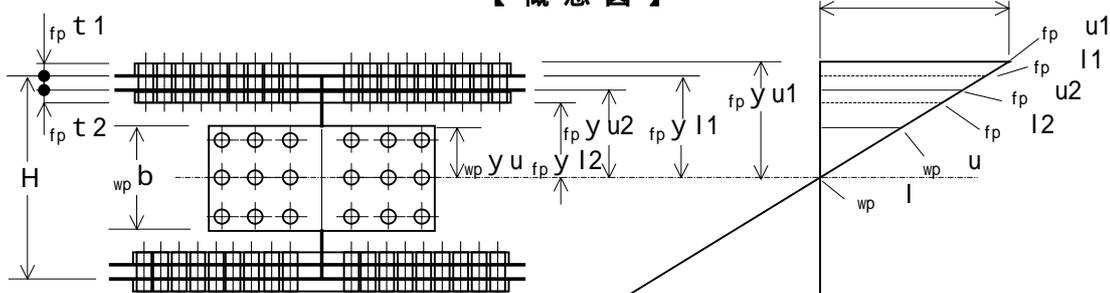
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $Hba = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 7180 \text{ cm}^3$

$$M_r = Hba \cdot Z'$$

$$= 280 \times 7180 \times 10^3 = 2010400000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 195042 \text{ cm}^4$
 $pIf = 188730 \text{ cm}^4$

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

$$= 2010400000 \times \frac{188730}{195042} = 1945338912 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 69440 \text{ cm}^4$$

$$= 1945338912 \times \frac{138880}{188730} = 1431508865 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$fp y u1 = 1/2 \cdot H + fp t1 = 1/2 \times 45.8 + 3.20 = 26.10 \text{ cm}$$

$$fp u1 = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y u1 \quad pba$$

$$= \frac{1431508865}{2 \times 69440} \times \frac{26.10}{1000} = 269 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$fp y l1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 45.8 = 22.90 \text{ cm}$$

$$fp l1 = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y l1 \quad pba$$

$$= \frac{1431508865}{138880} \times \frac{22.90}{1000} = 236 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 24925 \text{ cm}^4$$

$$= 1945338912 \times \frac{49850}{188730} = 513830047 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 45.8 - 5.00 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{513830047}{49850} \times \frac{17.90}{1000} = 185 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 45.8 - 5.00 - 3.60 = 14.30 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{513830047}{49850} \times \frac{14.30}{1000} = 147 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{269 + 236}{2} \times 115.52 \times 10^2 = 2916880 \text{ N}$$

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

$$= \frac{185 + 147}{2} \times 95.76 \times 10^2 = 1589616 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 2916880 + 1589616 = 4506496 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$M 24 \quad {}_B A = 1/4 \cdot \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 \quad 452.4 \text{ mm}^2$$

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

$$= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868$$

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

$$= 24 \times 50 \times 473 = 567600$$

$$\left. \begin{array}{l} = 257868 \text{ N} \\ = 567600 \end{array} \right\} = \underline{257868} \text{ N} \quad (\text{最小}) {}_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{4506496}{9 \times 2}$$

$$= 250361 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

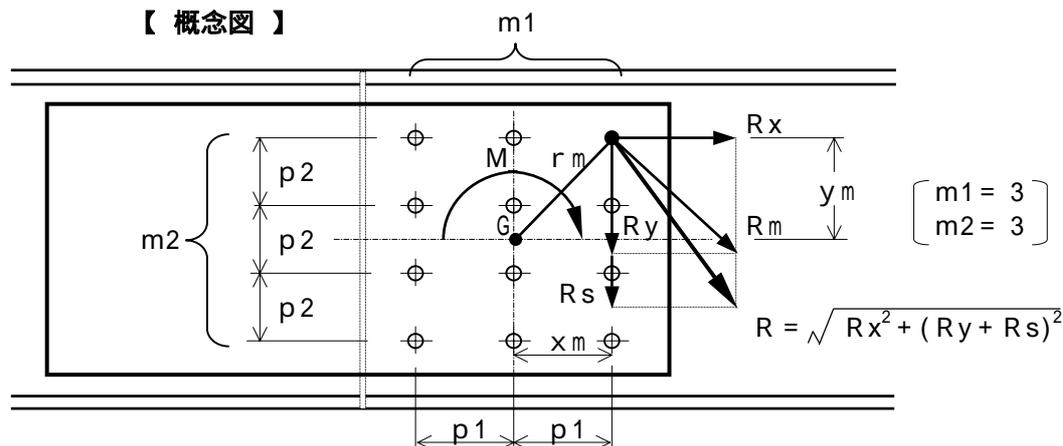
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} \\
 &= 2010400000 \times \frac{6312}{195042} = 65061088 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 28.00 = 14.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u \\
 &= \frac{65061088}{6312} \times \frac{14.00}{1000} = 144 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 &\quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 24 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 = 452.4 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 24 \times 30 \times 473 = 340560
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \frac{257868}{\text{最小}} \text{ N} = S_a$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 3 \times 3 \times \{ 8.50^2 \times (3^2 - 1) + 8.50^2 \times (3^2 - 1) \} \\
 &= 867 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 8.50 \text{ cm} \\
 y_m &= 8.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{8.50^2 + 8.50^2} = 12.02 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{65061088}{867} \times \frac{8.50}{10} = 63785 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{65061088}{867} \times \frac{8.50}{10} = 63785 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{65061088}{867} \times \frac{12.02}{10} \\
 &= 90200 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 83.10 \text{ cm}^2 \\ &= 8310 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 8310 = 1329600 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 87.56 \text{ cm}^2 \\ &= 8756 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{1329600}{8756} = 152 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 3.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$M24 \quad A_b = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 = 452.4 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 24 \times 30 \times 473 = 340560 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{257868} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{1329600}{3 \times 3} \\ &= 147733 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 63785 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 63785 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 147733 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{63785^2 + (63785 + 147733)^2} \\ &= 220926 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

