

ボルト継手計算書

H 9 0 0 × 3 0 0 × 1 6 × 2 8

首都高速道路公団仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H900×300) 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) SS400-D

(ボルトコト) 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

コト: H900

H形鋼: H900×300×16×28

(3) 添接板

		<pt>	<pb>	<pL>
フランジ:	2・PL -	22	× 300	× 680
	4・PL -	22	× 120	× 680
ウェブ:	2・PL -	16	× 605	× 310

(4) ボルト

ボルト直径 (M22) $d = 2.20$ cm

ボルト孔径 ($d+3\text{mm}$) $dh = 2.50$ cm

フランジのボルト本数 $n1 = 5$ 本 (軸方向) $n2 = 2$ 本 (軸横断)

ウェブのボルト本数 $m1 = 2$ 本 (軸方向) $m2 = 8$ 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

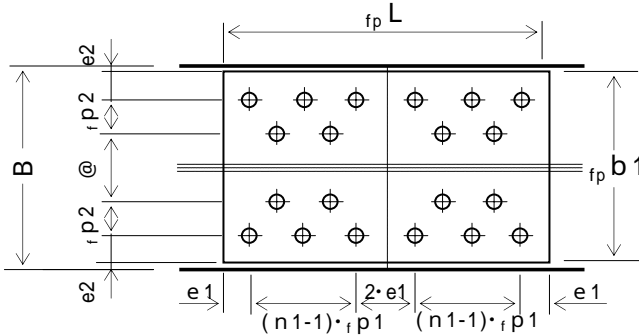
ウェブボルトの軸方向間隔

$w p1 = 7.5$ cm

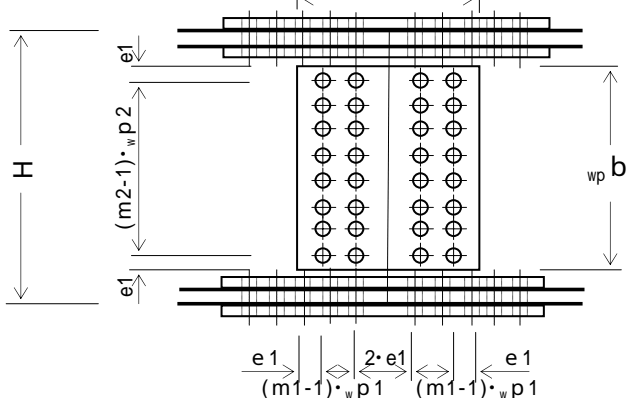
ウェブボルトの横断方向間隔

$w p2 = 7.5$ cm

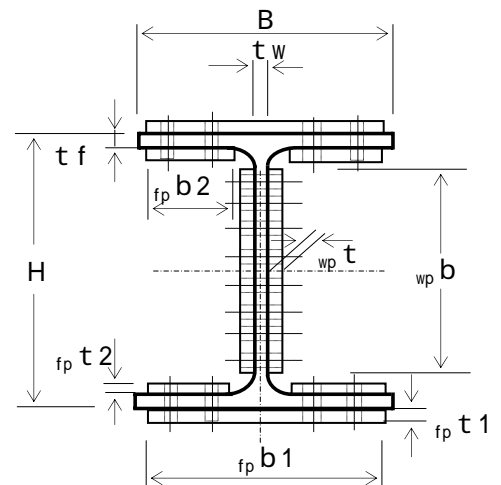
平面図



側面図



断面図

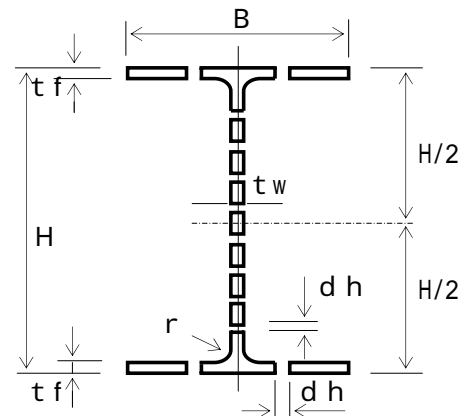


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H900×300×16×28

H形鋼の高さ	H =	90	cm
H形鋼の幅	B =	30	cm
ウェブ厚	t _w =	1.6	cm
フランジ厚	t _f =	2.8	cm
フレット	r =	1.8	cm
断面積	A =	305.80	cm ²
断面係数	Z =	8990	cm ³
断面二次モーメント	I =	404000	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 =	8	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 8 = 32.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.60 \times (90 - 2 \times 2.80) - 32.00 \\ &= 103.04 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.80 \times 2 = 14.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 305.80 - 1.60 \times (90 - 2 \times 2.80) \\ &\quad - 2 \times 14.00 \\ &= 142.76 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 142.76 + 103.04 = 245.80 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.80^3 \times 2}{12} \\ &= 9.147 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 14.000 \times 43.600^2 + 9.147 = 26623 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 26623 = 53246 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 404000 - 53246 = 350754 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{350754}{45.00} = 7795 \text{ cm}^3$$

(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	$f_p t_1 =$	2.20	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	12.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	2.20	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)

$$\begin{aligned} {}_B A_{f1} &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.20 \times 2 = 11.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A_{f1} &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A_{f1} \\ &= 30.00 \times 2.20 - 11.00 = 55.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A_{f2} &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.20 \times 2 = 11.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A_{f2} &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A_{f2} \\ &= 2 \times 12.00 \times 2.20 - 11.00 = 41.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A_f &= 2 \cdot ({}_P A_{f1} + {}_P A_{f2}) \\ &= 2 \times (55.00 + 41.80) = 193.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	60.5	cm
板厚	$w_p t =$	1.60	cm
ボルト本数	$m_2 =$	8	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A_W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 8 = 32.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A_{W1} &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A_W \\ &= 60.50 \times 1.60 - 32.00 = 64.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A_W &= 2 \cdot {}_P A_{W1} \\ &= 2 \times 64.80 = 129.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A_f + {}_P A_W \quad A' \\ &= 193.60 + 129.60 = 323.20 \text{ cm}^2 > 245.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $m2 = 8$ 本 (軸横断)

外側板幅 $_{fp}b1 = 30.00$ cm
 板厚 $_{fp}t1 = 2.20$ cm
 面積 $_{p}Af1 = 55.00$ cm²
 内側板幅 $_{fp}b2 = 12.00$ cm
 板厚 $_{fp}t2 = 2.20$ cm
 面積 $_{p}Af2 = 41.80$ cm²

(外側添接板)

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

$$_{p}If1 = \frac{{}_{fp}b1' \cdot {}_{fp}t1^3}{12} = \frac{25.00 \times 2.20^3}{12} = 22.183 \text{ cm}^4$$

$$_{p}If1 = {}_{p}Af1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot {}_{fp}t1)^2 + {}_{p}If1 = 55.000 \times 46.100^2 + 22.183 = 116909 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

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

$$_{p}If2 = \frac{{}_{fp}b2' \cdot {}_{fp}t2^3}{12} = \frac{19.00 \times 2.20^3}{12} = 16.859 \text{ cm}^4$$

$$_{p}If2 = {}_{p}Af2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot {}_{fp}t2)^2 + {}_{p}If2 = 41.800 \times 41.100^2 + 16.859 = 70626 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$_{p}If = 2 \cdot ({}_{p}If1 + {}_{p}If2) = 2 \times (116909 + 70626) = 375070 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $_{wp}b = 60.50$ cm
 板厚 $_{wp}t = 1.60$ cm
 ボルト間隔 $_{wp}p2 = 7.5$ cm

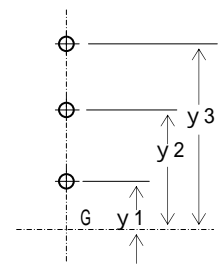
$$_{p}IW1 = \frac{{}_{wp}t \cdot {}_{wp}b^3}{12} = \frac{1.600 \times 60.50^3}{12} = 29526 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 1181.25 \text{ cm}^2$$

$$_{p}IW1 = dh \cdot {}_{wp}t \cdot 2y + m2 \cdot \frac{{}_{wp}t \cdot (dh)^3}{12}$$

$$= 2.50 \times 1.60 \times 2 \times 1181.25 + 8 \times \frac{1.60 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 9467 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$_{p}IW = 2 \cdot ({}_{p}IW1 - {}_{p}IW1) = 2 \times (29526 - 9467) = 40118 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$_{p}I = {}_{p}If + {}_{p}IW = 375070 + 40118 = 415188 \text{ cm}^4 > 350754 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

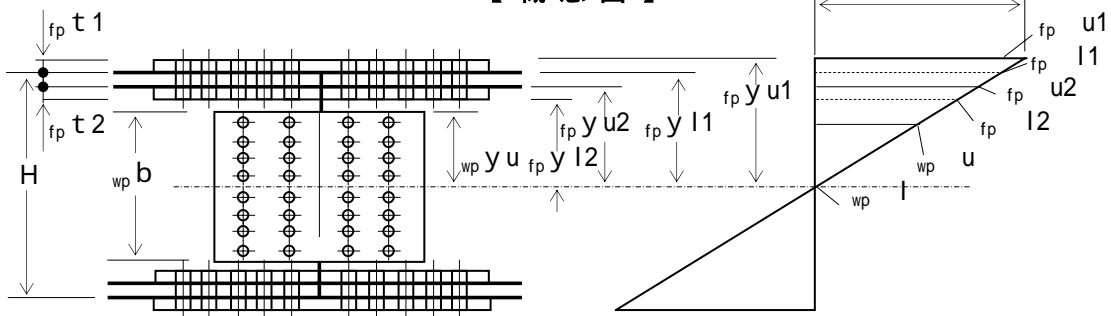
$$\text{許容曲げ応力度 } H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{断面係数 } Z' = 7795 \text{ cm}^3$$

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

$$= 210 \times 7795 \times 10^3 = 1636950000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$$p I = 415188 \text{ cm}^4$$

$$p I f = 375070 \text{ cm}^4$$

$$p M f = M_r \cdot \frac{p I f}{p I}$$

$$= 1636950000 \times \frac{375070}{415188} = 1478777895 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

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

$$p I f 1 = 116909 \text{ cm}^4$$

$$= 1478777895 \times \frac{233818}{375070} = 921867624 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u 1 = 1/2 \cdot H + f_p t 1 = 1/2 \times 90.0 + 2.20 = 47.20 \text{ cm}$$

$$f_p u 1 = \frac{p M f 1}{2 \cdot p I f 1} \cdot f_p y u 1 \quad p \text{ ba}$$

$$= \frac{921867624}{2 \times 116909} \times \frac{47.20}{1000} = 186 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y l 1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 90.0 = 45.00 \text{ cm}$$

$$f_p l 1 = \frac{p M f 1}{2 \cdot p I f 1} \cdot f_p y l 1 \quad p \text{ ba}$$

$$= \frac{921867624}{233818} \times \frac{45.00}{1000} = 177 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f} \qquad {}_p I f_2 = 70626 \text{ cm}^4$$

$$= 1478777895 \times \frac{141252}{375070} = 556910271 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 90.0 - 2.80 = 42.20 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{556910271}{141252} \times \frac{42.20}{1000} = 166 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 90.0 - 2.80 - 2.20 = 40.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{556910271}{141252} \times \frac{40.00}{1000} = 158 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{186 + 177}{2} \times 55.00 \times 10^2 = 998250 \text{ N}$$

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

$$= \frac{166 + 158}{2} \times 41.80 \times 10^2 = 677160 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 998250 + 677160 = 1675410 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 28 \times 355 = 218680$$

$$\left. \begin{array}{l} S 1 \\ S 2 \end{array} \right\} = \underline{216657} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1675410}{5 \times 2}$$

$$= 167541 \text{ N} < 216657 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p I &= 415188 \text{ cm}^4 \\
 {}_p I_w &= 40118 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

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

$$= 1636950000 \times \frac{40118}{415188} = 158172105 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{wp} y_u = 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 60.50 = 30.25 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{158172105}{40118} \times \frac{30.25}{1000} = 119 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト1本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

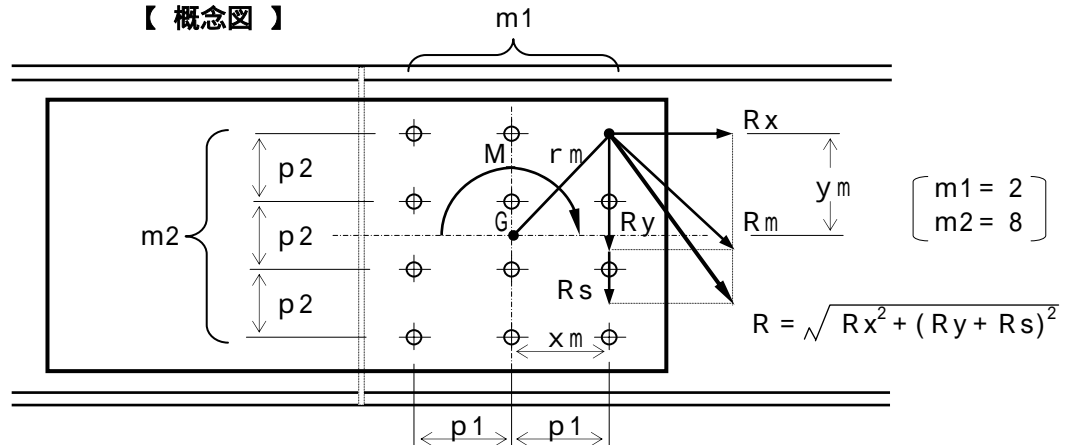
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 16 \times 355 = 124960$$

$$= \frac{124960}{2} \text{ N} = 124960 \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

【 概念図 】



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

$$= 1/12 \times 2 \times 8 \times \left\{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (8^2 - 1) \right\}$$

$$= 4950 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$y_m = 26.25 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 26.25^2} = 26.52 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{158172105}{4950} \times \frac{26.25}{10} = 83879 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{158172105}{4950} \times \frac{3.75}{10} = 11983 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{158172105}{4950} \times \frac{26.52}{10} = 84742 \text{ N}$$

$$= 84742 \text{ N} < 124960 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 103.04 \text{ cm}^2 \\ &= 10304 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 10304 = 1236480 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 129.60 \text{ cm}^2 \\ &= 12960 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{1236480}{12960} = 95 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.6 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 16 \times 355 = 124960 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{124960 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{1236480}{2 \times 8} \\ &= 77280 \text{ N} < 124960 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 83879 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 11983 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 77280 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{83879^2 + (11983 + 77280)^2} \\ &= 122489 \text{ N} < 124960 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

