

ボルト継手計算書

H 5 0 0 × 5 0 0 × 2 5 × 2 5

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H500×500) 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: H500

H形鋼: H500×500×25×25

(3) 添接板

	フランジ:	2・PL - 19	×	500	×	1070
		4・PL - 22	×	160	×	1070
	ウェブ:	2・PL - 22	×	290	×	460

(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 $n1 = 8$ 本 (軸方向) $n2 = 2$ 本 (軸横断)

ウェブのボルト本数 $m1 = 3$ 本 (軸方向) $m2 = 3$ 本 (軸横断)

縁端距離 (応力方向) $e1 = 4.00$ cm

縁端距離 (その他) $e2 = 6.00$ cm

縁端距離 (応力方向) $e3 = 6.50$ 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

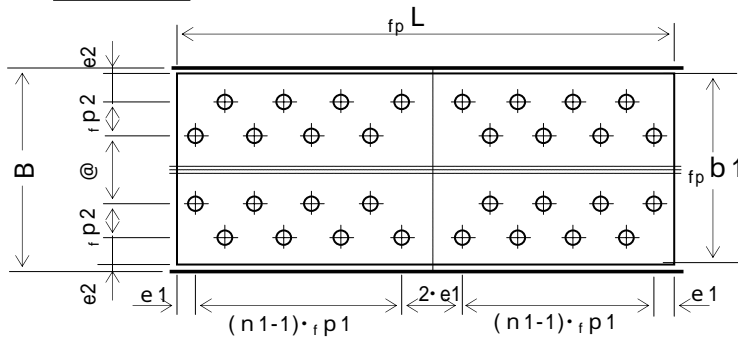
ウェブボルトの軸方向間隔

$w p1 = 7.5$ cm

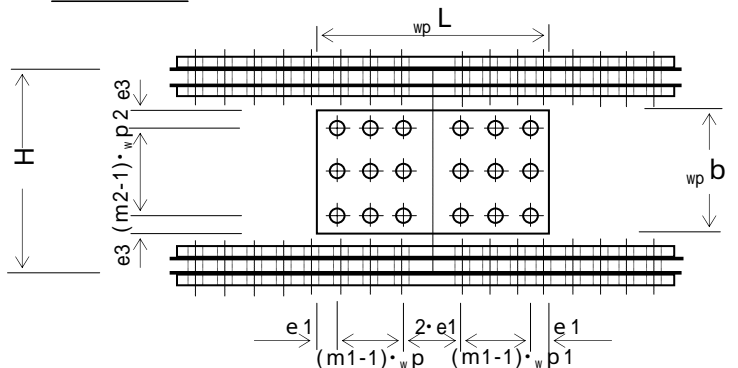
ウェブボルトの横断方向間隔

$w p2 = 8.0$ cm

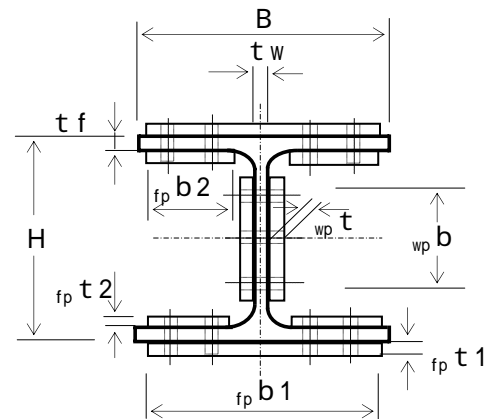
平面図



側面図



断面図

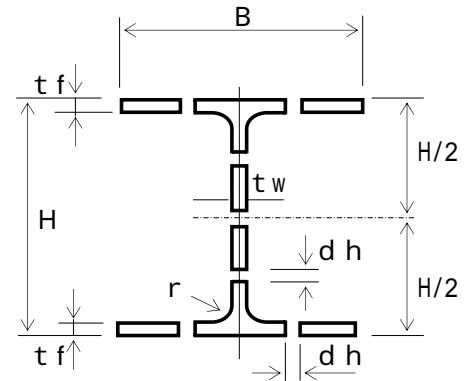


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H500×500×25×25

H形鋼の高さ	H =	50	cm
H形鋼の幅	B =	50	cm
ウェブ厚	t _w =	2.5	cm
フランジ厚	t _f =	2.5	cm
フレット	r =	2.6	cm
断面積	A =	368.30	cm ²
断面係数	Z =	6520	cm ³
断面二次モメント	I =	163000	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 =	3	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 2.50 \times 3 = 18.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 2.50 \times (50 - 2 \times 2.50) - 18.75 \\ &= 93.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.50 \times 2 = 12.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 368.30 - 2.50 \times (50 - 2 \times 2.50) \\ &\quad - 2 \times 12.50 \\ &= 230.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 230.80 + 93.75 = 324.55 \text{ cm}^2$$

(断面二次モメント: ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.50^3 \times 2}{12} \\ &= 6.510 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 12.500 \times 23.750^2 + 6.510 = 7057 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 7057 = 14114 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 163000 - 14114 = 148886 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{148886}{25.00} = 5955 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	50.0	cm
板厚	$f_p t_1 =$	1.90	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	16.00	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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \quad \times \quad 1.90 \quad \times \quad 2 \quad = \quad 9.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 50.00 \quad \times \quad 1.90 \quad - \quad 9.50 \quad = \quad 85.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \quad \times \quad 2.20 \quad \times \quad 2 \quad = \quad 11.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 2.20 - 11.00 = 59.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (85.50 + 59.40) = 289.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	29.0	cm
板厚	$w_p t =$	2.20	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \quad \times \quad 2.20 \quad \times \quad 3 \quad = \quad 16.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 29.00 \quad \times \quad 2.20 \quad - \quad 16.50 \quad = \quad 47.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 47.30 = 94.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 289.80 + 94.60 = 384.40 \text{ cm}^2 > 324.55 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $m2 = 3$ 本 (軸横断)

外側板幅 $f_p b1 = 50.00$ cm
 板厚 $f_p t1 = 1.90$ cm
 面積 $pA f1 = 85.50$ cm²
 内側板幅 $f_p b2 = 16.00$ cm
 板厚 $f_p t2 = 2.20$ cm
 面積 $pA f2 = 59.40$ cm²

(外側添接板)

$$f_p b1' = f_p b1 - dh \cdot n2 = 50.00 - (2.50 \times 2) = 45.00 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{f_p b1' \cdot f_p t1^3}{12} = \frac{45.00 \times 1.90^3}{12} = 25.721 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t1)^2 + pI f1 = 85.500 \times 25.950^2 + 25.721 = 57602 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b2' = 2 \cdot f_p b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 16.00 - (2.50 \times 2) = 27.00 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{f_p b2' \cdot f_p t2^3}{12} = \frac{27.00 \times 2.20^3}{12} = 23.958 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t2)^2 + pI f2 = 59.400 \times 21.400^2 + 23.958 = 27227 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (57602 + 27227) = 169658 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

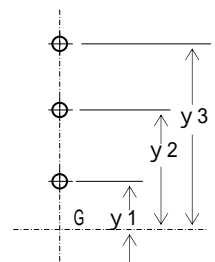
板幅 $w_p b = 29.00$ cm
 板厚 $w_p t = 2.20$ cm
 ボルト間隔 $w p2 = 8.0$ cm

$$pI w1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{2.200 \times 29.00^3}{12} = 4471 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 64.00 \text{ cm}^2$$

$$pI w1 = dh \cdot w_p t \cdot 2 \cdot y + m2 \cdot \frac{w_p t \cdot (dh)^3}{12}$$

$$= 2.50 \times 2.20 \times 2 \times 64.00 + 3 \times \frac{2.20 \times 2.50^3}{12} = 713 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (4471 - 713) = 7516 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$pI = pI f + pI w = 169658 + 7516 = 177174 \text{ cm}^4 > 148886 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

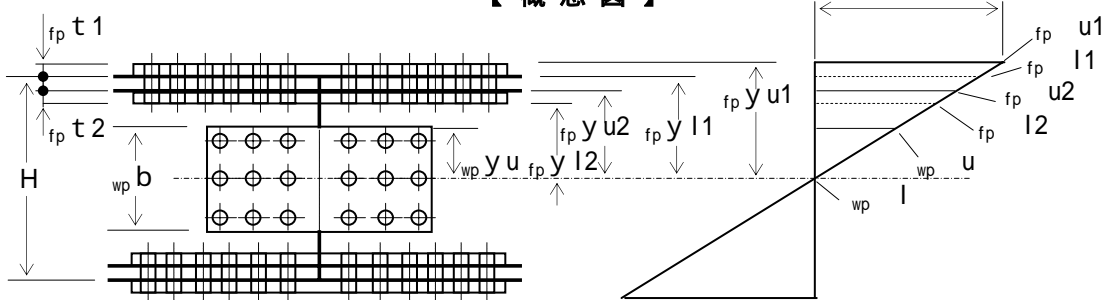
許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 5955 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 5955 \times 10^3 = 1250550000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$I_p = 177174 \text{ cm}^4$

$I_{pf} = 169658 \text{ cm}^4$

$$M_{pf} = M_r \cdot \frac{I_{pf}}{I_p}$$

$$= 1250550000 \times \frac{169658}{177174} = 1197499700 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$M_{pf1} = M_{pf} \cdot \frac{2 \cdot I_{pf1}}{I_{pf}}$$

$I_{pf1} = 57602 \text{ cm}^4$

$$= 1197499700 \times \frac{115204}{169658} = 813146185 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{pyu1} = 1/2 \cdot H + f_{pt1} = 1/2 \times 50.0 + 1.90 = 26.90 \text{ cm}$$

$$f_{pu1} = \frac{M_{pf1}}{2 \cdot I_{pf1}} \cdot f_{pyu1} \cdot \sigma_{ba}$$

$$= \frac{813146185}{2 \times 57602} \times \frac{26.90}{1000} = 190 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_{pyl1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 50.0 = 25.00 \text{ cm}$$

$$f_{pl1} = \frac{M_{pf1}}{2 \cdot I_{pf1}} \cdot f_{pyl1} \cdot \sigma_{ba}$$

$$= \frac{813146185}{115204} \times \frac{25.00}{1000} = 176 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 27227 \text{ cm}^4$$

$$= 1197499700 \times \frac{54454}{169658} = 384353515 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 50.0 - 2.50 = 22.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{384353515}{54454} \times \frac{22.50}{1000} = 159 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 50.0 - 2.50 - 2.20 = 20.30 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{384353515}{54454} \times \frac{20.30}{1000} = 143 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{190 + 176}{2} \times 85.50 \times 10^2 = 1564650 \text{ N}$$

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

$$= \frac{159 + 143}{2} \times 59.40 \times 10^2 = 896940 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 1564650 + 896940 = 2461590 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 25 \times 355 = 195250$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \\ = 195250 \end{array} \right\} = \underline{195250} \text{ N}$$

(最小) ${}_{fb} S a$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{2461590}{8 \times 2}$$

$$= 153849 \text{ N} < 195250 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p I &= 177174 \text{ cm}^4 \\
 {}_p I_w &= 7516 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

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

$$= 1250550000 \times \frac{7516}{177174} = 53050300 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{wp} y_u = 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 29.00 = 14.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{53050300}{7516} \times \frac{14.50}{1000} = 102 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト1本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

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

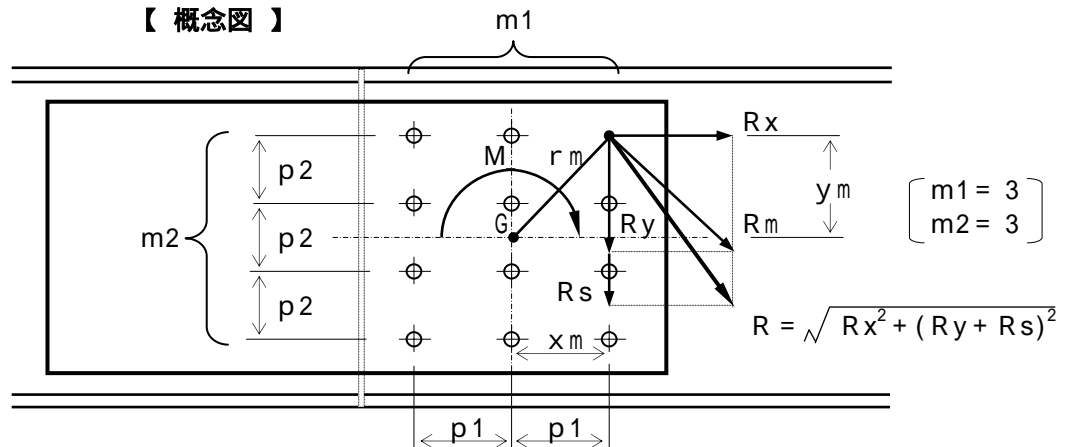
$$S2 = d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 22 \times 25 \times 355 = 195250$$

$$= \frac{195250}{S_a} \text{ N}$$

(最小)_{wb} S a

【 概念図 】



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

$$= 1/12 \times 3 \times 3 \times \{ 7.50^2 \times (3^2 - 1) + 8.00^2 \times (3^2 - 1) \}$$

$$= 722 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$x_m = 7.50 \text{ cm}$$

$$y_m = 8.00 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{7.50^2 + 8.00^2} = 10.97 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{53050300}{722} \times \frac{8.00}{10} = 58781 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{53050300}{722} \times \frac{7.50}{10} = 55108 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{53050300}{722} \times \frac{10.97}{10} = 80604 \text{ N} < 195250 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_H &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_{w'} &= 93.75 \text{ cm}^2 \\ &= 9375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_H \cdot A_{w'} \\ &= 120 \times 9375 = 1125000 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 94.60 \text{ cm}^2 \\ &= 9460 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{1125000}{9460} = 119 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_B &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_H &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 2.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_B \cdot \sigma_B \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_H \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 25 \times 355 = 195250 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{195250} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{1125000}{3 \times 3} \\ &= 125000 \text{ N} < 195250 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 58781 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 55108 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 125000 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{58781^2 + (55108 + 125000)^2} \\ &= 189457 \text{ N} < 195250 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3. 計算結果

母材 H 5 0 0 × 5 0 0 × 2 5 × 2 5

フランジ部

添接板仕様 2枚: PL 19 × 500 × 1070

4枚: PL 22 × 160 × 1070

ボルト仕様

F10T : M22 - 64本 L = 110 mm

(H 1 7 型高力ボルトの場合 L = 105 mm)

ウェブ部

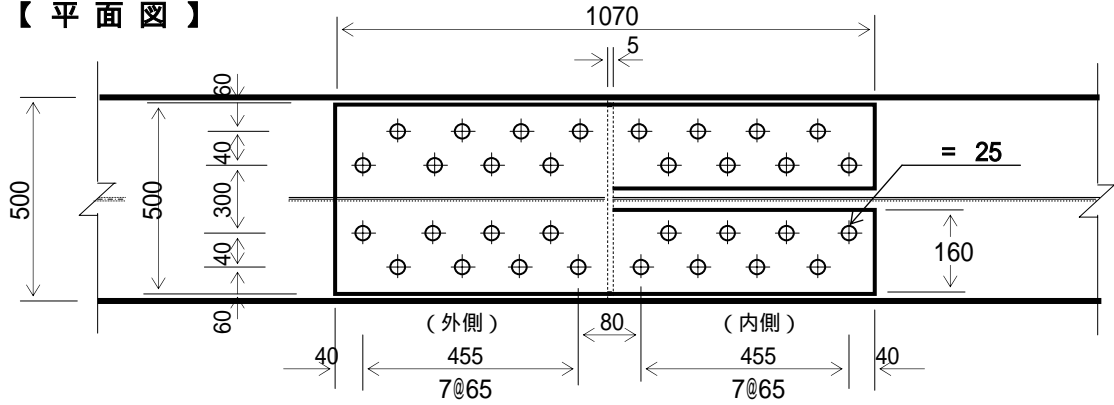
添接板仕様 2枚: PL 22 × 290 × 460

ボルト仕様

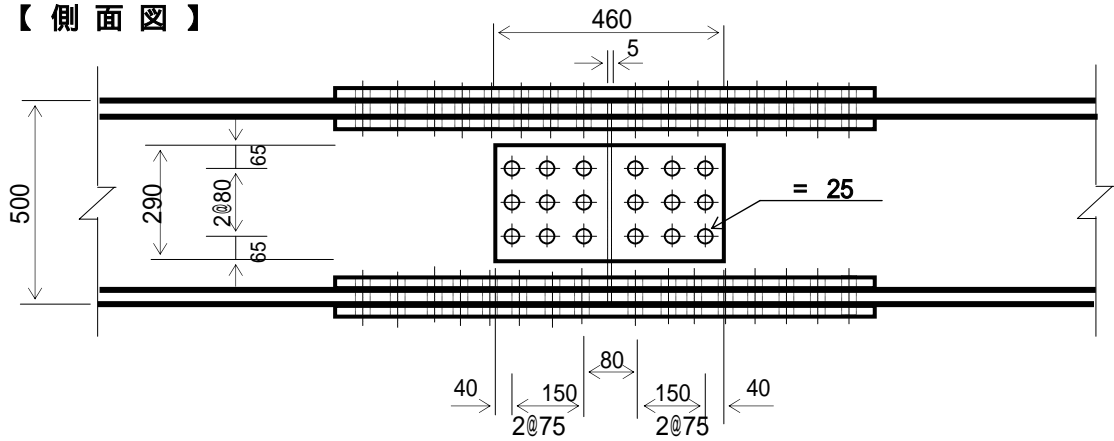
F10T : M22 - 18本 L = 110 mm

(H 1 7 型高力ボルトの場合 L = 105 mm)

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

