

ボルト継手計算書

H 3 5 0 × 3 5 0 × 1 2 × 1 9

(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 350 × 350) 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: H350

H形鋼: H 350 × 350 × 12 × 19

(3) 添接板

		< p t >	< p b >	< p L >
フランジ:	2 · P L -	12	× 350	× 550
	4 · P L -	12	× 150	× 550
ウェブ:	2 · P L -	9	× 240	× 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) $n2 = 2$ 本 (軸横断)

ウェブのボルト本数 $m1 = 2$ 本 (軸方向) $m2 = 3$ 本 (軸横断)

縁端距離 (応力方向) $e1 = 4.0$ cm

縁端距離 (その他) $e2 = 5.5$ cm

縁端距離 (応力方向) $e3 = 4.5$ 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

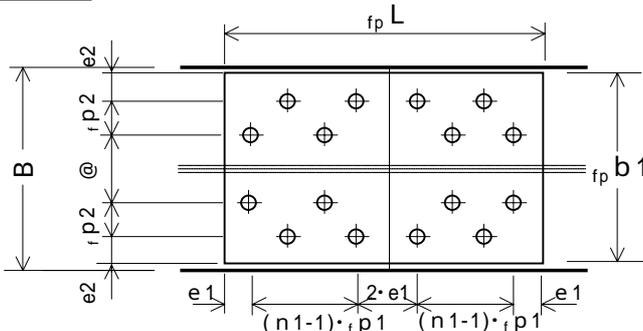
ウェブボルトの軸方向間隔

$w p1 = 7.5$ cm

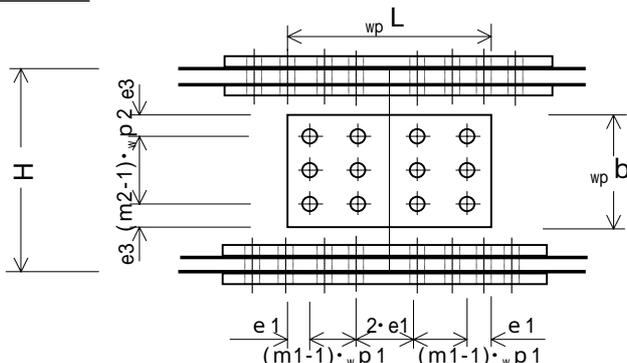
ウェブボルトの横断方向間隔

$w p2 = 7.5$ cm

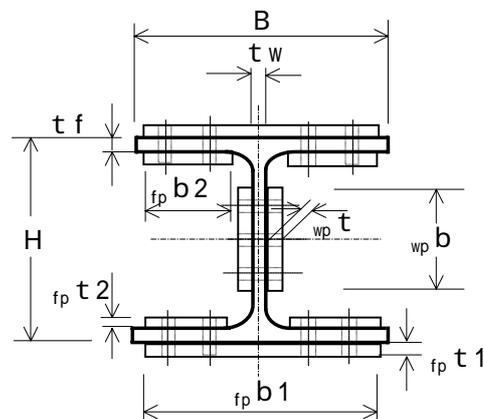
平面図



側面図



断面図

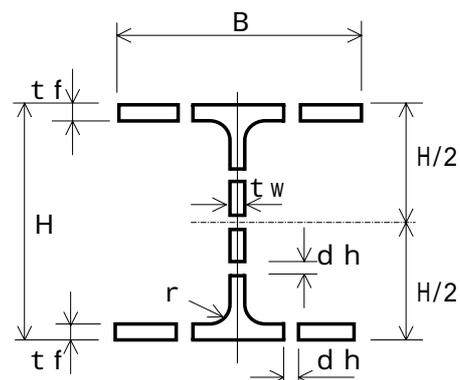


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 3 5 0 × 3 5 0 × 1 2 × 1 9

H 形 鋼 の 高 さ	H =	35	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	35	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.2	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	1.9	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	171.90	cm ²
断 面 係 数	Z =	2280	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	39800	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 3 = 9.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.20 \times (35 - 2 \times 1.90) - 9.00 \\ &= 28.44 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.90 \times 2 = 9.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 171.90 - 1.20 \times (35 - 2 \times 1.90) - 2 \times 9.50 \\ &= 115.46 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 115.46 + 28.44 = 143.90 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント: ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.90^3 \times 2}{12} \\ &= 2.858 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 9.50 \times 16.550^2 + 2.858 = 2605 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 2605 = 5210 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 39800 - 5210 = 34590 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{34590}{17.50} = 1977 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	35.0	cm
板厚	$f_p t_1 =$	1.20	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	15.00	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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 35.00 \times 1.20 - 6.00 = 36.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 15.00 \times 1.20 - 6.00 = 30.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (36.00 + 30.00) = 132.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	24.0	cm
板厚	$w_p t =$	0.90	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 3 = 6.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 24.00 \times 0.90 - 6.75 = 14.85 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 14.85 = 29.70 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 132.00 + 29.70 = 161.70 \text{ cm}^2 > 143.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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
 フランジ $n2 = 2$ 本 (軸横断)
 ウェブ $m2 = 3$ 本 (軸横断)

外側板幅 $fp b1 = 35.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 1.20$ cm
 面積 $pA f1 = 36.00$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 15.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 1.20$ cm
 面積 $pA f2 = 30.00$ cm²

(外側添接板)

$$\begin{aligned}
 fp b1' &= fp b1 - dh \cdot n2 \\
 &= 35.00 - (2.50 \times 2) = 30.00 \text{ cm} \\
 pI f1 &= \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{30.00 \times 1.20^3}{12} = 4.320 \text{ cm}^4 \\
 pI f1 &= pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 \\
 &= 36.000 \times 18.100^2 + 4.320 = 11798 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned}
 fp b2' &= 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 \\
 &= 2 \times 15.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm} \\
 pI f2 &= \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{25.00 \times 1.20^3}{12} = 3.600 \text{ cm}^4 \\
 pI f2 &= pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 \\
 &= 30.000 \times 15.000^2 + 3.600 = 6754 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (11798 + 6754) = 37104 \text{ cm}^4$$

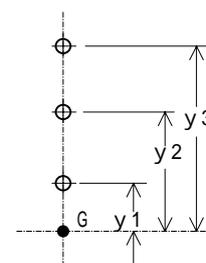
2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 24.00$ cm
 板厚 $wp t = 0.90$ cm
 ボルト間隔 $wp p2 = 7.5$ cm

$$pI W1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.900 \times 24.00^3}{12} = 1037 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 56.25 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 pI W1 &= dh \cdot wp t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{wp t \cdot (dh)^3}{12} \\
 &= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 56.25 + 3 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12} \\
 &= 257 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



(ウェブ合計)

$$pI W = 2 \cdot (pI W1 - pI W1) = 2 \times (1037 - 257) = 1560 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned}
 pI &= pI f + pI W \quad I' \\
 &= 37104 + 1560 = 38664 \text{ cm}^4 > 34590 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

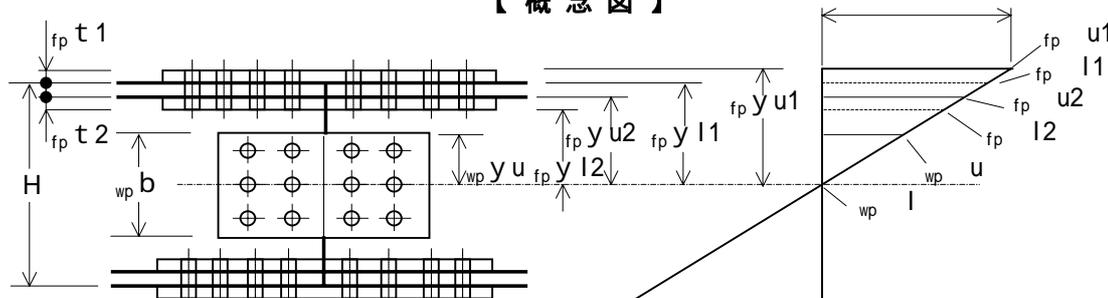
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $Hba = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 1977 \text{ cm}^3$

$$M_r = Hba \cdot Z'$$

$$= 280 \times 1977 \times 10^3 = 553560000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 38664 \text{ cm}^4$
 $pIf = 37104 \text{ cm}^4$

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

$$= 553560000 \times \frac{37104}{38664} = 531225177 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 11798 \text{ cm}^4$$

$$= 531225177 \times \frac{23596}{37104} = 337828517 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$fp y u1 = 1/2 \cdot H + fp t1 = 1/2 \times 35.0 + 1.20 = 18.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{337828517}{2 \times 11798} \times \frac{18.70}{1000} = 268 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$fp y l1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 35.0 = 17.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{337828517}{23596} \times \frac{17.50}{1000} = 251 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 6754 \text{ cm}^4$$

$$= 531225177 \times \frac{13508}{37104} = 193396660 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 35.0 - 1.90 = 15.60 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{193396660}{13508} \times \frac{15.60}{1000} = 223 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y l_2 = 1/2 \cdot H - t f - f_p t_2$$

$$= 1/2 \times 35.0 - 1.90 - 1.20 = 14.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{193396660}{13508} \times \frac{14.40}{1000} = 206 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{268}{2} + \frac{251}{2} \times 36.00 \times 10^2 = 934200 \text{ N}$$

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

$$= \frac{223}{2} + \frac{206}{2} \times 30.00 \times 10^2 = 643500 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 934200 + 643500 = 1577700 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 19 \times 473 = 197714$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \\ = 197714 \end{array} \right\} = \underline{197714} \text{ N}$$

(最小) ${}_{fb} S a$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1577700}{4 \times 2}$$

$$= 197213 \text{ N} < 197714 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

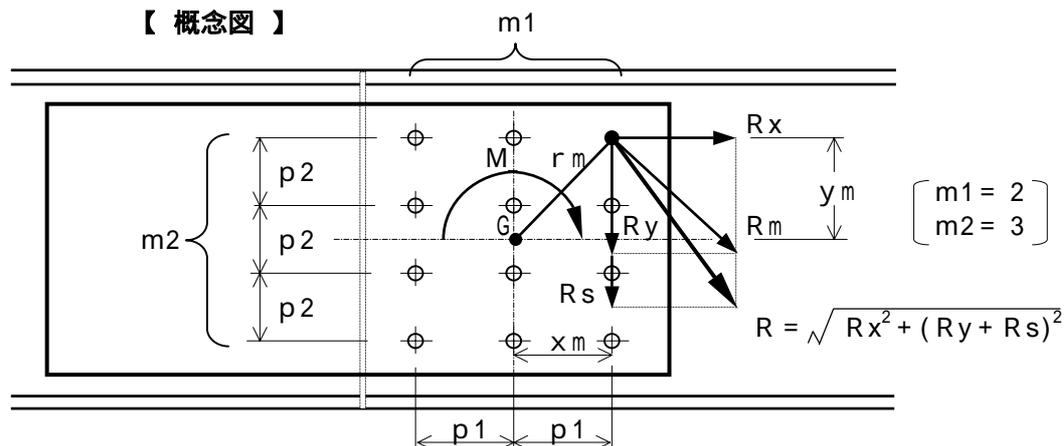
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} \\
 &= 553560000 \times \frac{1560}{38664} = 22334823 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_w p y_u &= 1/2 \cdot {}_w p b = 1/2 \times 24.00 = 12.00 \text{ cm} \\
 {}_w p u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_w p y_u \\
 &= \frac{22334823}{1560} \times \frac{12.00}{1000} = 172 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 &\quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 \quad 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S 1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S 2 &= d \cdot t_w \cdot a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 12 \times 473 = 124872 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} S 1 \\ S 2 \end{array}} \right\} = \underline{124872 \text{ N}} \\
 &\quad \text{(最小)}_{wb} S a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 3 \times \left\{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (3^2 - 1) \right\} \\
 &= 309 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 7.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 7.50^2} = 8.39 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{22334823}{309} \times \frac{7.50}{10} = 54211 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{22334823}{309} \times \frac{3.75}{10} = 27105 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{22334823}{309} \times \frac{8.39}{10} \\
 &= 60644 \text{ N} < 124872 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 28.44 \text{ cm}^2 \\ &= 2844 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 2844 = 455040 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 29.70 \text{ cm}^2 \\ &= 2970 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{455040}{2970} = 153 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.2 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 12 \times 473 = 124872 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{124872 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{455040}{2 \times 3} \\ &= 75840 \text{ N} < 124872 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

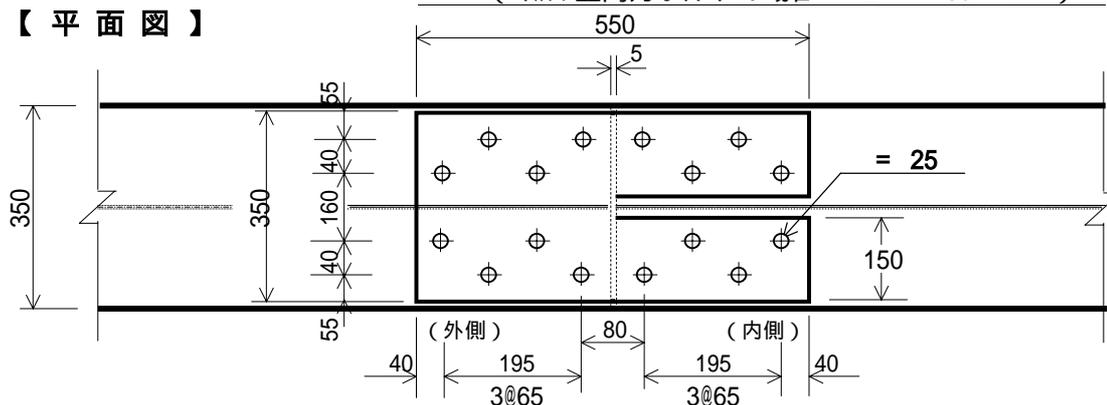
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 54211 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 27105 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 75840 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{54211^2 + (27105 + 75840)^2} \\ &= 116346 \text{ N} < 124872 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

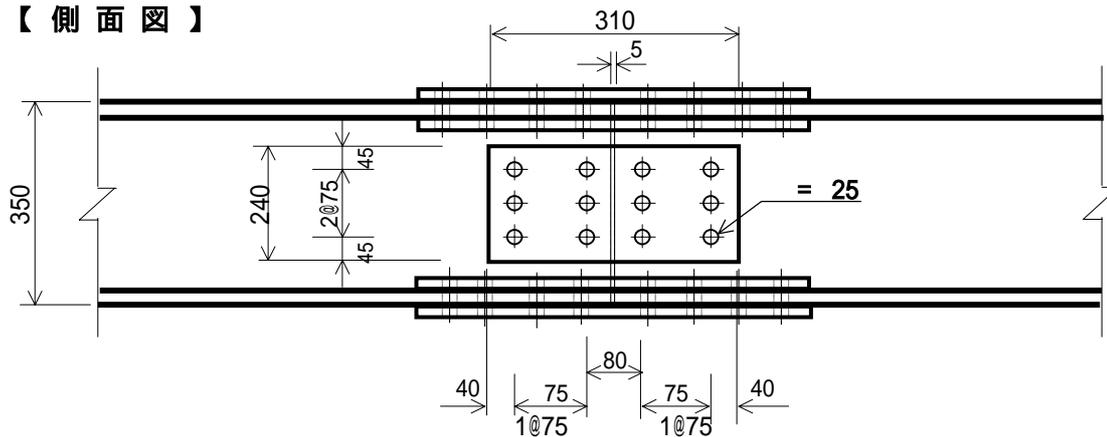
3. 計算結果

母材	H 3 5 0 × 3 5 0 × 1 2 × 1 9 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 12 × 350 × 550 (SM490)	
		4枚: PL 12 × 150 × 550 (SM490)	
ウェブ部	添接板仕様	2枚: PL 9 × 240 × 310 (SM490)	
		ボルト仕様	F10T: M22 - 32本 L = 85 mm (トルク型高力ボルトの場合 L = 80 mm)
	ボルト仕様	F10T: M22 - 12本 L = 70 mm (トルク型高力ボルトの場合 L = 65 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

