

ボルト継手計算書

H 3 5 0 × 1 7 5 × 7 × 1 1

(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 × 175) 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)

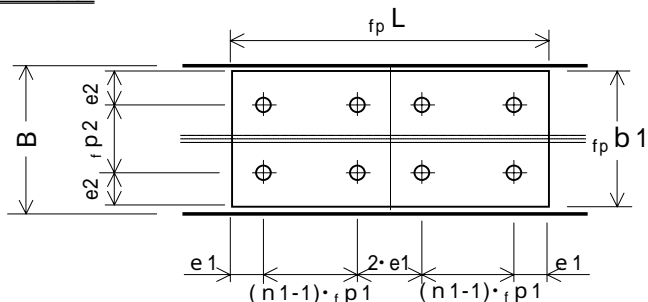
- (2) 設計母材 コード: H350-2

H形鋼: H 350 × 175 × 7 × 11

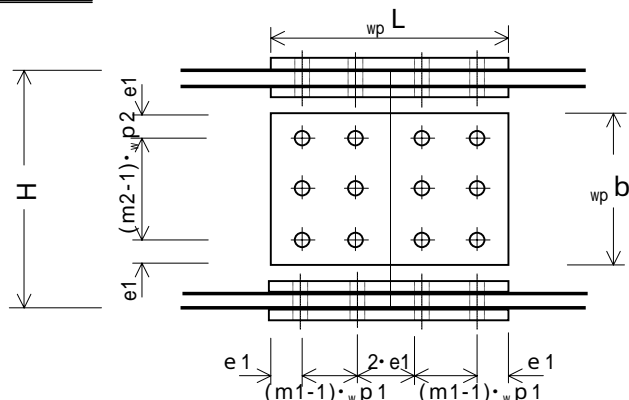
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|---|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 9 | × | 175 | × | 310 |
| 4・PL - | 9 | × | 70 | × | 310 |
| ウェブ: 2・PL - | 6 | × | 230 | × | 310 |

- (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 | $n1 =$ | 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) | $e1 =$ | 4.0 | cm | |
| 縁端距離 (その他) | $e2 =$ | 3.5 | 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 | $f p2 =$ | 10.5 | 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 |

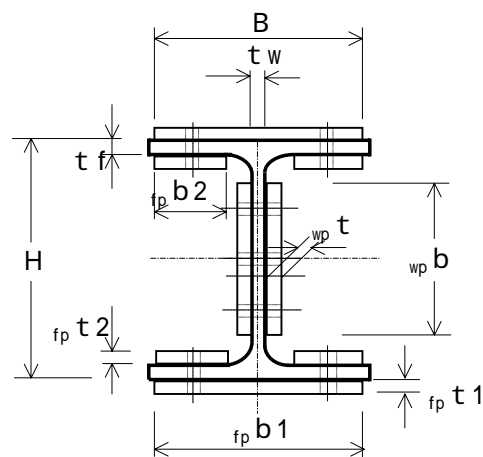
平面図



側面図



断面図

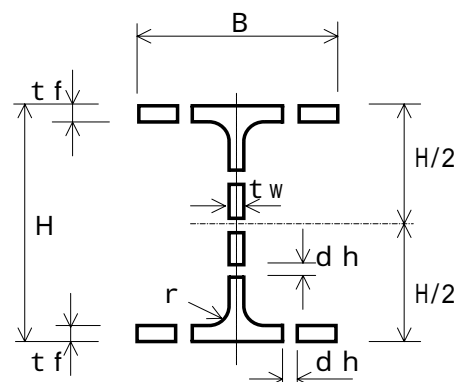


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 3 5 0 × 1 7 5 × 7 × 1 1

H 形 鋼 の 高 さ	H =	35	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	17.5	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	0.7	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	1.1	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	62.91	cm ²
断 面 係 数	Z =	771	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	13500	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.70 \times 3 = 5.25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.70 \times (35 - 2 \times 1.10) - 5.25 \\ &= 17.71 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.10 \times 2 = 5.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 62.91 - 0.70 \times (35 - 2 \times 1.10) \\ &\quad - 2 \times 5.50 \\ &= 28.95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 28.95 + 17.71 = 46.66 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント: ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.10^3 \times 2}{12} \\ &= 0.555 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 5.50 \times 16.95^2 + 0.555 = 1581 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 1581 = 3162 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 13500 - 3162 = 10338 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{10338}{17.50} = 591 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	17.5	cm
板厚	$f_p t_1 =$	0.90	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	7.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	0.90	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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 2 = 4.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 17.50 \times 0.90 - 4.50 = 11.25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 2 = 4.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 7.00 \times 0.90 - 4.50 = 8.10 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (11.25 + 8.10) = 38.70 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	23.0	cm
板厚	$w_p t =$	0.60	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.60 \times 3 = 4.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 23.00 \times 0.60 - 4.50 = 9.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 9.30 = 18.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 38.70 + 18.60 = 57.30 \text{ cm}^2 > 46.66 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $fp b1 = 17.50$ cm
 板厚 $fp t1 = 0.90$ cm
 面積 $pA f1 = 11.25$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 7.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 0.90$ cm
 面積 $pA f2 = 8.10$ cm²

(外側添接板)

$$\begin{aligned}
 fp b1' &= fp b1 - dh \cdot n2 \\
 &= 17.50 - (2.50 \times 2) = 12.50 \text{ cm} \\
 pI f1 &= \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{12.50 \times 0.90^3}{12} = 0.759 \text{ cm}^4 \\
 pI f1 &= pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 \\
 &= 11.250 \times 17.950^2 + 0.759 = 3626 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned}
 fp b2' &= 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 \\
 &= 2 \times 7.00 - (2.50 \times 2) = 9.00 \text{ cm} \\
 pI f2 &= \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{9.00 \times 0.90^3}{12} = 0.547 \text{ cm}^4 \\
 pI f2 &= pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 \\
 &= 8.100 \times 15.950^2 + 0.547 = 2061 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (3626 + 2061) = 11374 \text{ cm}^4$$

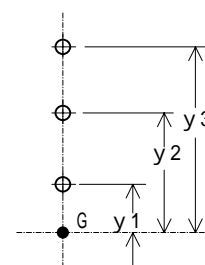
2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 23.00$ cm
 板厚 $wp t = 0.60$ cm
 ボルト間隔 $wp p2 = 7.5$ cm

$$pI W1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.600 \times 23.00^3}{12} = 608 \text{ cm}^4$$

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

$$\begin{aligned}
 pI W1 &= dh \cdot wp t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{wp t \cdot (dh)^3}{12} \\
 &= 2.50 \times 0.60 \times 2 \times 56 + 3 \times \frac{0.60 \times 2.50^3}{12} \\
 &= 171 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



(ウェブ合計)

$$pI W = 2 \cdot (pI W1 - pI W1) = 2 \times (608 - 171) = 874 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned}
 pI &= pI f + pI W \quad I' \\
 &= 11374 + 874 = 12248 \text{ cm}^4 > 10338 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(4) 曲げモーメントの計算

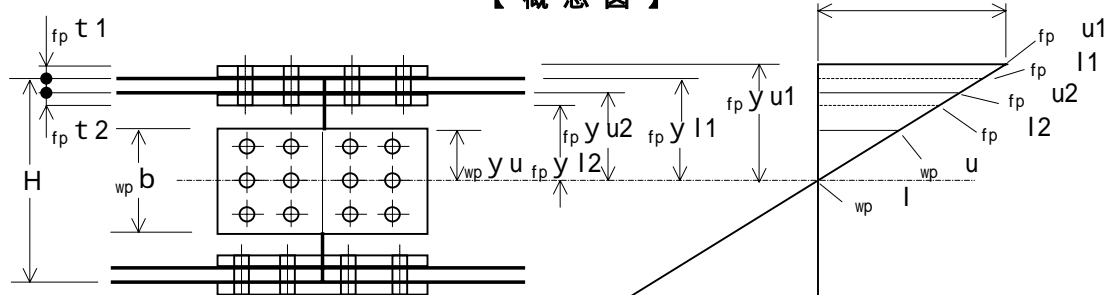
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモーメント

許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 591 \text{ cm}^3$

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

$$= 280 \times 591 \times 10^3 = 165480000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$I_p = 12248 \text{ cm}^4$
 $I_f = 11374 \text{ cm}^4$

$$M_f = M_r \cdot \frac{I_f}{I_p}$$

$$= 165480000 \times \frac{11374}{12248} = 153671581 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$M_{f1} = M_f \cdot \frac{2 \cdot I_{f1}}{I_f} \quad I_{f1} = 3626 \text{ cm}^4$$

$$= 153671581 \times \frac{7252}{11374} = 97980157 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$y_{u1} = 1/2 \cdot H + t_1 = 1/2 \times 35.0 + 0.90 = 18.40 \text{ cm}$$

$$\sigma_{u1} = \frac{M_{f1}}{2 \cdot I_{f1}} \cdot y_{u1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{97980157}{2 \times 3626} \times \frac{18.40}{1000} = 249 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$\sigma_{l1} = \frac{M_{f1}}{2 \cdot I_{f1}} \cdot y_{l1} \leq \sigma_{ba}$$

$$= \frac{97980157}{7252} \times \frac{17.50}{1000} = 236 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 2061 \text{ cm}^4$$

$$= 153671581 \times \frac{4122}{11374} = 55691424 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 35.0 - 1.10 = 16.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{55691424}{4122} \times \frac{16.40}{1000} = 222 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_{p y l_2} = 1/2 \cdot H - t_f - f_{p t_2}$$

$$= 1/2 \times 35.0 - 1.10 - 0.90 = 15.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{55691424}{4122} \times \frac{15.50}{1000} = 209 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{249 + 236}{2} \times 11.25 \times 10^2 = 272813 \text{ N}$$

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

$$= \frac{222 + 209}{2} \times 8.10 \times 10^2 = 174555 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 272813 + 174555 = 447368 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 11 \times 473 = 114466$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \\ = 114466 \end{array} \right\} = \underline{114466} \text{ N}$$

(最小) ${}_{f_b} S a$

$$Q_f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{447368}{2 \times 2}$$

$$= 111842 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

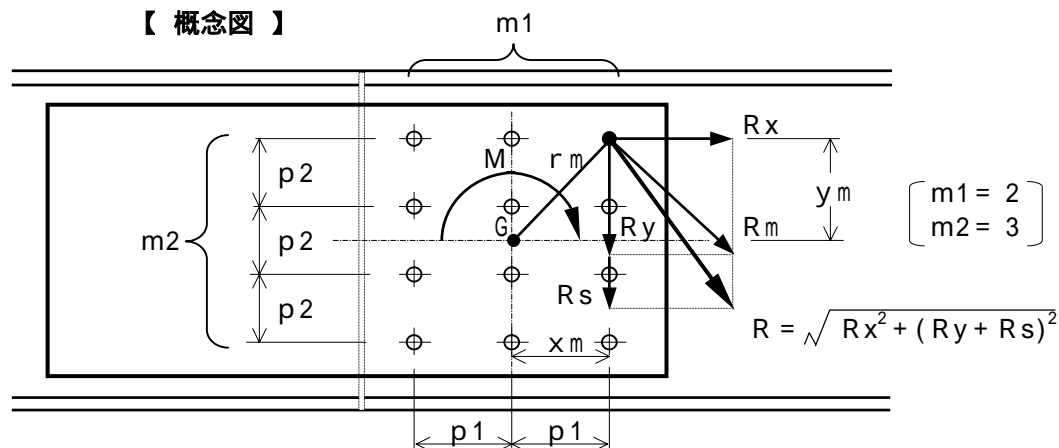
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} \\
 &= 165480000 \times \frac{874}{12248} = 11808419 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_w p y_u &= 1/2 \cdot {}_w p b = 1/2 \times 23.00 = 11.50 \text{ cm} \\
 {}_w p u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_w p y_u \\
 &= \frac{11808419}{874} \times \frac{11.50}{1000} = 155 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 &\quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 \quad 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 7 \times 473 = 72842 \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} S1 \\ S2 \end{matrix}} \right\} = \frac{72842}{\text{最小}} \text{ N} \\
 &\quad \text{(最小)}_{wb} S a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



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

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{11808419}{309} \times \frac{7.50}{10} = 28661 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{11808419}{309} \times \frac{3.75}{10} = 14331 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{11808419}{309} \times \frac{8.39}{10} \\
 &= 32062 \text{ N} < 72842 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_H &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_{w'} &= 17.71 \text{ cm}^2 \\ &= 1771 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_H \cdot A_{w'} \\ &= 160 \times 1771 = 283360 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 18.60 \text{ cm}^2 \\ &= 1860 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{283360}{1860} = 152 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_B &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_H &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_B \cdot \sigma_B \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_H \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 7 \times 473 = 72842 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{72842} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{283360}{2 \times 3} \\ &= 47227 \text{ N} < 72842 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

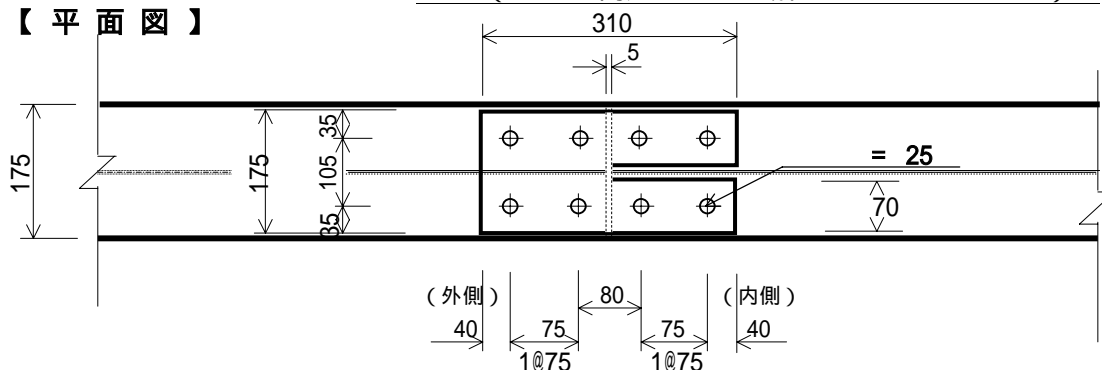
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 28661 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 14331 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 47227 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{28661^2 + (14331 + 47227)^2} \\ &= 67903 \text{ N} < 72842 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

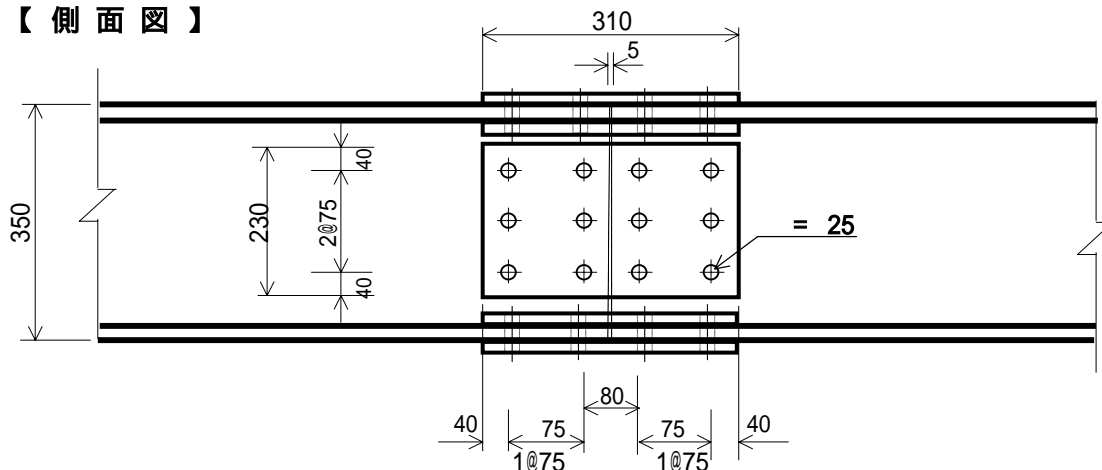
3. 計算結果

母材	H 3 5 0 × 1 7 5 × 7 × 1 1 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 9 × 175 × 310	(SM490)
		4枚: PL 9 × 70 × 310	(SM490)
ウェブ部	添接板仕様	2枚: PL 6 × 230 × 310	(SM490)
		ボルト仕様	F10T : M22 - 16本 L = 70 mm (トリソ型高力ボルトの場合 L = 65 mm)
	ボルト仕様	F10T : M22 - 12本 L = 60 mm (トリソ型高力ボルトの場合 L = 55 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

