

ボルト継手計算書

H 3 9 0 × 3 0 0 × 1 0 × 1 6

(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 (H390×300) 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) SM490-D (ボルトコト) F10T-DM

「道路土工 仮設構造物指針 (日本道路協会)」に準拠する。

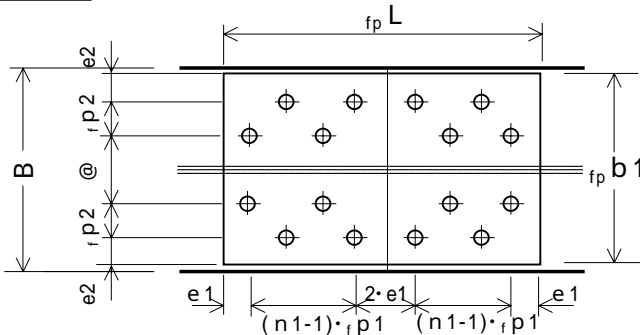
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H	$ba =_H ta =$	280	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P ta =$	280	N/mm ² (SM490)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
添接板の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =$	285	N/mm ² (F10T)

- (2) 設計母材 コト: H390
H形鋼: H390×300×10×16

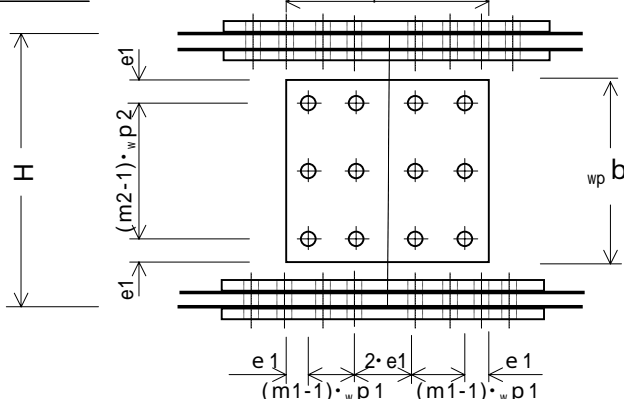
- (3) 添接板
- | | | | | | | |
|-------|--------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: | 2・PL - | 12 | × | 300 | × | 550 |
| | 4・PL - | 12 | × | 120 | × | 550 |
| ウェブ: | 2・PL - | 9 | × | 240 | × | 310 |

- (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) |
| ウェブのボルト本数 | $m1 =$ | 2 | 本 (軸方向) |
| フランジのボルト本数 | $n2 =$ | 2 | 本 (軸横断) |
| ウェブのボルト本数 | $m2 =$ | 3 | 本 (軸横断) |
| 縁端距離 (応力方向) | $e1 =$ | 4.0 | cm |
| 縁端距離 (その他) | $e2 =$ | 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 | $w p2 =$ | 8.0 | cm |

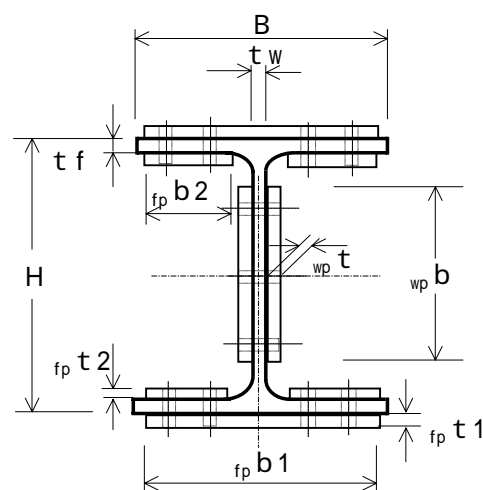
平面図



側面図



断面図

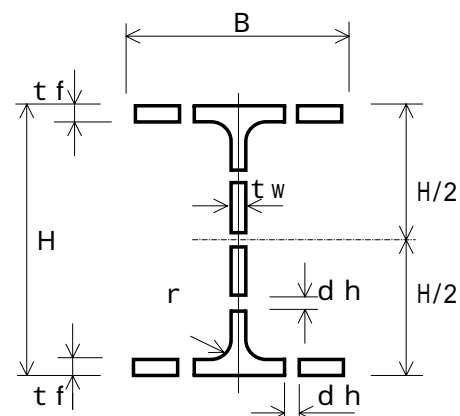


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 3 9 0 × 3 0 0 × 1 0 × 1 6

H 形 鋼 の 高 さ	H =	39	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	30	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.0	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	1.6	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.3	cm
断 面 積	A =	133.20	cm ²
断 面 係 数	Z =	1940	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	37900	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.00 \times 3 = 7.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.00 \times (39 - 2 \times 1.60) - 7.50 \\ &= 28.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 133.20 - 1.00 \times (39 - 2 \times 1.60) \\ &\quad - 2 \times 8.00 \\ &= 81.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 81.40 + 28.30 = 109.70 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント: ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.60^3 \times 2}{12} \\ &= 1.707 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 8.000 \times 18.700^2 + 1.707 = 2799 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 2799 = 5598 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 37900 - 5598 = 32302 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{32302}{19.50} = 1657 \text{ cm}^3$$

(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 $f_p t_1 = 1.20$ cm
 内側板幅 $f_p b_2 = 12.00$ 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)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 30.00 \times 1.20 - 6.00 = 30.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 12.00 \times 1.20 - 6.00 = 22.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (30.00 + 22.80) = 105.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 105.60 + 29.70 = 135.30 \text{ cm}^2 > 109.70 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $fp b1 = 30.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 1.20$ cm
 面積 $pA f1 = 30.00$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 12.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 1.20$ cm
 面積 $pA f2 = 22.80$ cm²

(外側添接板)

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

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{25.00 \times 1.20^3}{12} = 3.600 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 30.000 \times 20.100^2 + 3.600 = 12124 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

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

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{19.00 \times 1.20^3}{12} = 2.736 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 22.800 \times 17.300^2 + 2.736 = 6827 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (12124 + 6827) = 37902 \text{ cm}^4$$

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 $wp p2 = 8.0$ cm

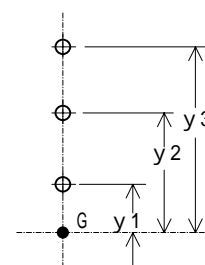
$$pI w1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.900 \times 24.00^3}{12} = 1037 \text{ cm}^4$$

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

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

$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 64.00 + 3 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 292 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (1037 - 292) = 1490 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$pI = pI f + pI w \quad I'$$

$$= 37902 + 1490 = 39392 \text{ cm}^4 > 32302 \text{ cm}^4 \quad -OK-$$

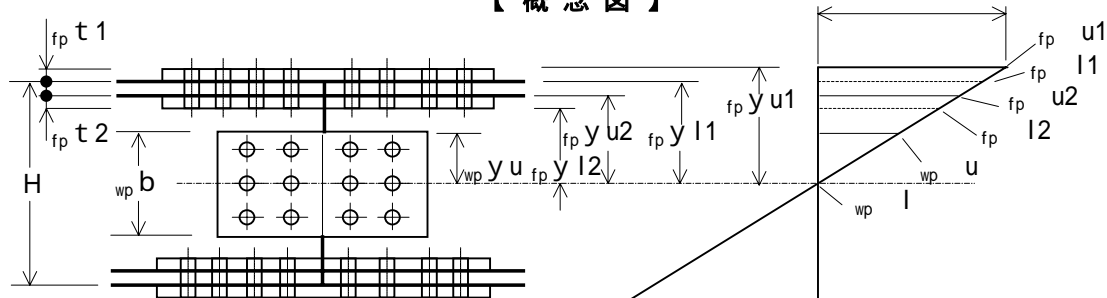
(4) 曲げモーメントの計算

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 $\sigma_{ba} = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 1657 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned} M_r &= \sigma_{ba} \cdot Z' \\ &= 280 \times 1657 \times 10^3 = 463960000 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 39392 \text{ cm}^4$
 $\rho I f = 37902 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned} \rho M_f &= M_r \cdot \frac{\rho I f}{\rho I} \\ &= 463960000 \times \frac{37902}{39392} = 446410741 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

(外側フランジ)

$$\rho M_{f1} = \rho M_f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f} \quad \rho I f_1 = 12124 \text{ cm}^4$$

$$= 446410741 \times \frac{24248}{37902} = 285593574 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 39.0 + 1.20 = 20.70 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f_p \sigma_{u1} &= \frac{\rho M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{u1} \leq \sigma_{ba} \\ &= \frac{285593574}{2 \times 12124} \times \frac{20.70}{1000} = 244 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 39.0 = 19.50 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f_p \sigma_{l1} &= \frac{\rho M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_p y_{l1} \leq \sigma_{ba} \\ &= \frac{285593574}{24248} \times \frac{19.50}{1000} = 230 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 6827 \text{ cm}^4$$

$$= 446410741 \times \frac{13654}{37902} = 160817167 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 39.0 - 1.60 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{160817167}{13654} \times \frac{17.90}{1000} = 211 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 39.0 - 1.60 - 1.20 = 16.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{160817167}{13654} \times \frac{16.70}{1000} = 197 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{244 + 230}{2} \times 30.00 \times 10^2 = 711000 \text{ N}$$

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

$$= \frac{211 + 197}{2} \times 22.80 \times 10^2 = 465120 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 711000 + 465120 = 1176120 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 16 \times 473 = 166496$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \\ = 166496 \end{array} \right\} = \underline{166496} \text{ N}$$

(最小) ${}_{fb} S a$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1176120}{4 \times 2}$$

$$= 147015 \text{ N} < 166496 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

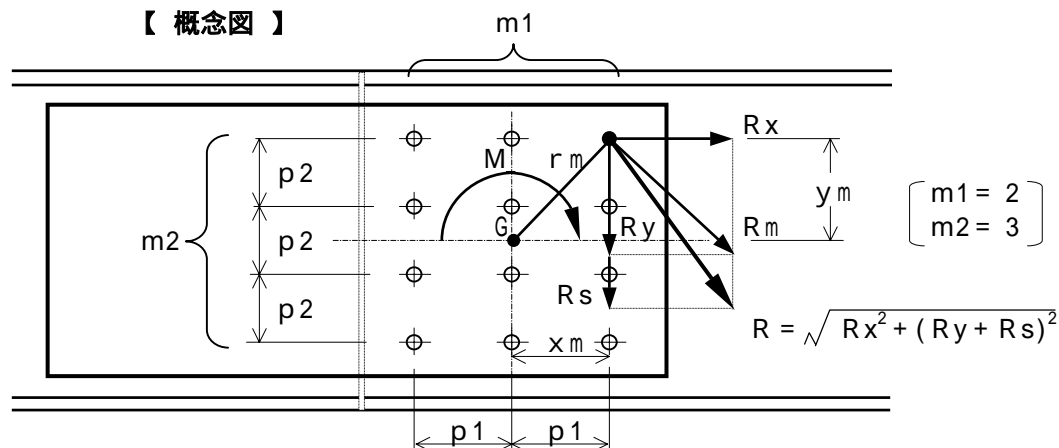
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} & {}_p I &= 39392 \text{ cm}^4 \\
 &= 463960000 \times \frac{1490}{39392} = 17549259 \text{ N}\cdot\text{mm} & {}_p I_W &= 1490 \text{ cm}^4 \\
 {}_w y_u &= 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 24.00 = 12.00 \text{ cm} \\
 {}_w u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_w y_u & & \\
 &= \frac{17549259}{1490} \times \frac{12.00}{1000} = 141 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 10 \times 473 = 104060
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \frac{104060 \text{ N}}{(\text{最小})_{wb} S a}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 3 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 8.00^2 \times (3^2 - 1) \} \\
 &= 340 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 8.00 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 8.00^2} = 8.84 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{17549259}{340} \times \frac{8.00}{10} = 41292 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{17549259}{340} \times \frac{3.75}{10} = 19356 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{17549259}{340} \times \frac{8.84}{10} \\
 &= 45628 \text{ N} < 104060 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 28.30 \text{ cm}^2 \\ &= 2830 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 2830 = 452800 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

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

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{452800}{2970} = 152 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 10 \times 473 = 104060 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{104060 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{452800}{2 \times 3} \\ &= 75467 \text{ N} < 104060 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

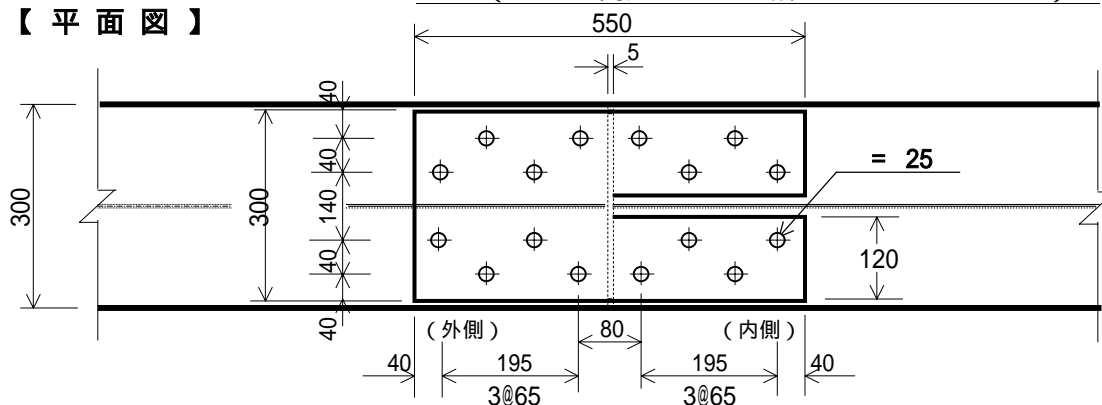
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 41292 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 19356 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 75467 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{41292^2 + (19356 + 75467)^2} \\ &= 103424 \text{ N} < 104060 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

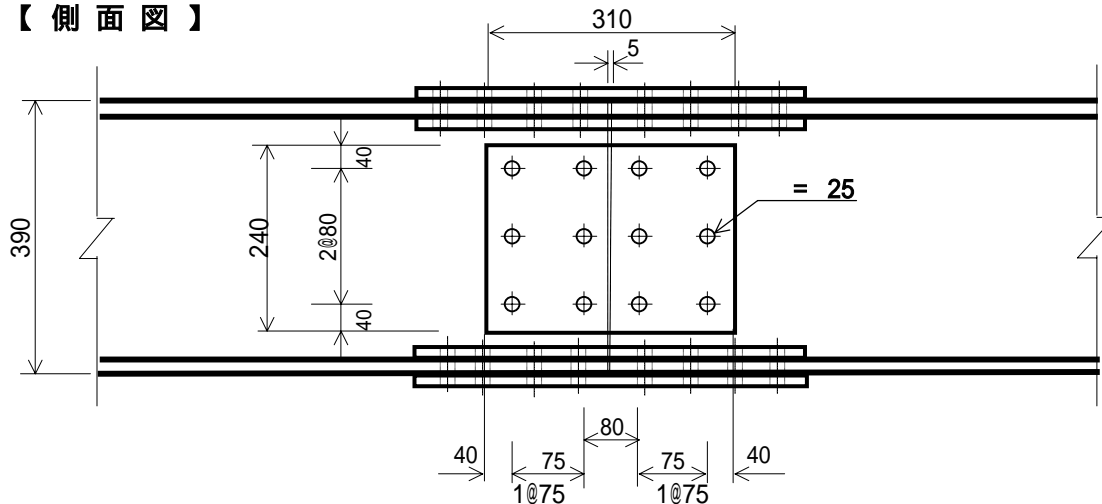
3. 計算結果

母材	H 3 9 0 × 3 0 0 × 1 0 × 1 6 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 12 × 300 × 550	(SM490)
		4枚: PL 12 × 120 × 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 - 12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 - 32本 L = 80 mm (トリソ型高力ボルトの場合 L = 75 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

