

ボルト継手計算書

H390×300×10×16

土木仕様

(SI単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 3 9 0 × 3 0 0) 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) SS400-D (ボルトコード) 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 | ba = _H ta = | 210 | N/mm ² (SS400) |
| H形鋼の許容せん断応力度 _H | a = | 120 | N/mm ² |
| H形鋼の許容支圧応力度 _H | a = | 355 | N/mm ² (SS400) |
| 添接板の許容曲げ・引張応力度 _P | ba = _P ta = | 210 | N/mm ² (SS400) |
| 添接板の許容せん断応力度 _P | a = | 120 | N/mm ² |
| 添接板の許容支圧応力度 _P | a = | 355 | N/mm ² (SS400) |
| ボルトの許容せん断応力度 _B | a = | 285 | N/mm ² (F10T) |

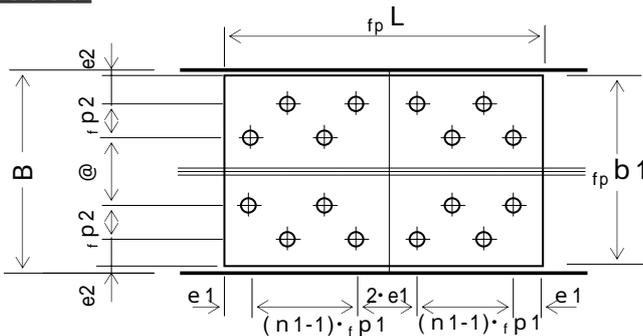
- (2) 設計母材 コード: H390

H 形 鋼 : H 3 9 0 × 3 0 0 × 1 0 × 1 6

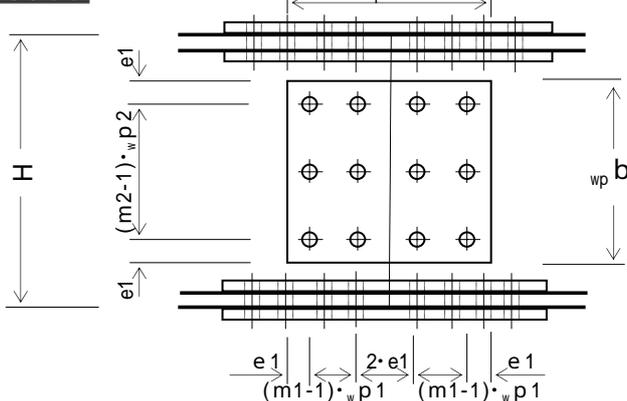
- (3) 添 接 板
- | | | | | | |
|---------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・P L - | 12 | × | 300 | × | 550 |
| 4・P L - | 12 | × | 120 | × | 550 |
| ウェブ: 2・P L - | 9 | × | 240 | × | 310 |

- (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) | |
| 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 = | 4.0 | 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 _p p1 = | 6.5 | cm |
| | フランジボルトの横断方向間隔 | f _p p2 = | 4.0 | cm |
| | ウェブボルトの軸方向間隔 | w _p p1 = | 7.5 | cm |
| | ウェブボルトの横断方向間隔 | w _p p2 = | 8.0 | cm |

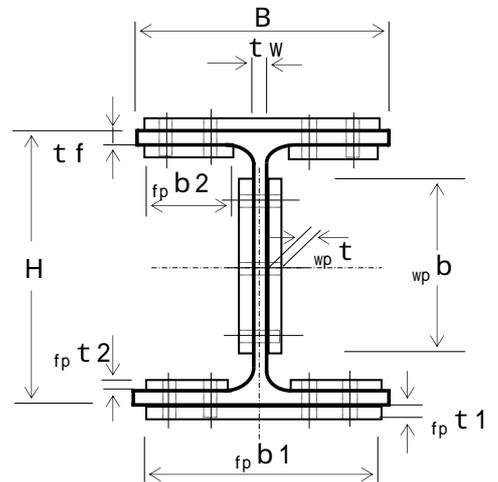
平面図



側面図



断面図

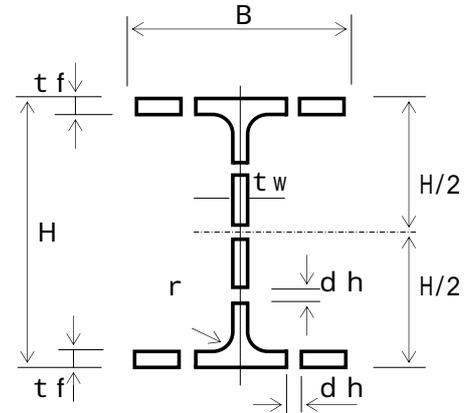


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H390×300×10×16

| | | | |
|-----------|------------------|--------|-----------------|
| H形鋼の高さ | H = | 39 | cm |
| H形鋼の幅 | B = | 30 | cm |
| ウェブ厚 | t _w = | 1.0 | cm |
| フランジ厚 | t _f = | 1.6 | cm |
| フレット | r = | 1.3 | cm |
| 断面積 | A = | 133.20 | cm ² |
| 断面係数 | Z = | 1940 | cm ³ |
| 断面二次モーメント | 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)

$$\text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_W = d_h \cdot t_w \cdot m_2$$

$$= 2.50 \times 1.00 \times 3 = 7.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{(ウェブ)} \quad {}_H A_W' = t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_W$$

$$= 1.00 \times (39 - 2 \times 1.60) - 7.50$$

$$= 28.30 \text{ cm}^2$$

$$\text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f = d_h \cdot t_f \cdot n_2$$

$$= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' = A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f$$

$$= 133.20 - 1.00 \times (39 - 2 \times 1.60) - 2 \times 8.00$$

$$= 81.40 \text{ cm}^2$$

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

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$${}_B I_f = \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.60^3 \times 2}{12}$$

$$= 1.707 \text{ cm}^4$$

$$\text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f = {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f$$

$$= 8.00 \times 18.70^2 + 1.707 = 2799 \text{ cm}^4$$

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

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

(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 $dh = 2.50$ cm
ボルト本数 $n_2 = 2$ 本 (軸横断)

(外側添接板)

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

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

(内側添接板)

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

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

(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)

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

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

(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 | 外側板幅 | fp b1 = 30.00 cm |
| フランジ | n2 = 2 本 (軸横断) | 板厚 | fp t1 = 1.20 cm |
| ウェブ | m2 = 3 本 (軸横断) | 面積 | pAf1 = 30.00 cm ² |
| | | 内側板幅 | fp b2 = 12.00 cm |
| | | 板厚 | fp t2 = 1.20 cm |
| | | 面積 | pAf2 = 22.80 cm ² |

(外側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b_{1'} &= f_p b_1 - d_h \cdot n_2 \\
 &= 30.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm} \\
 p I_{f1} &= \frac{f_p b_{1'} \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{25.00 \times 1.20^3}{12} = 3.600 \text{ cm}^4 \\
 p I_{f1} &= p A_{f1} \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I_{f1} \\
 &= 30.000 \times 20.100^2 + 3.600 = 12124 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b_{2'} &= 2 \cdot f_p b_2 - d_h \cdot n_2 \\
 &= 2 \times 12.00 - (2.50 \times 2) = 19.00 \text{ cm} \\
 p I_{f2} &= \frac{f_p b_{2'} \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{19.00 \times 1.20^3}{12} = 2.736 \text{ cm}^4 \\
 p I_{f2} &= p A_{f2} \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I_{f2} \\
 &= 22.800 \times 17.300^2 + 2.736 = 6827 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

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

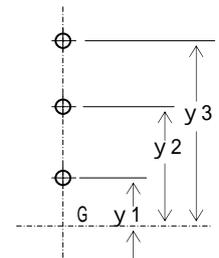
2) ウェブ添接板

| | |
|-------|-----------------|
| 板幅 | wp b = 24.00 cm |
| 板厚 | wp t = 0.90 cm |
| ボルト間隔 | w p2 = 8.0 cm |

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

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 64.00 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 p I_{W1} &= d_h \cdot w_p t \cdot 2 y + m_2 \cdot \frac{w_p t \cdot (d_h)^3}{12} \\
 &= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 64.00 + 3 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12} \\
 &= 292 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



(ウェブ合計)

$$p I_W = 2 \cdot (p I_{W1} - p I_{W1}) = 2 \times (1037 - 292) = 1490 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned}
 p I &= p I_f + p I_W \quad I' \\
 &= 37902 + 1490 = 39392 \text{ cm}^4 > 32302 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

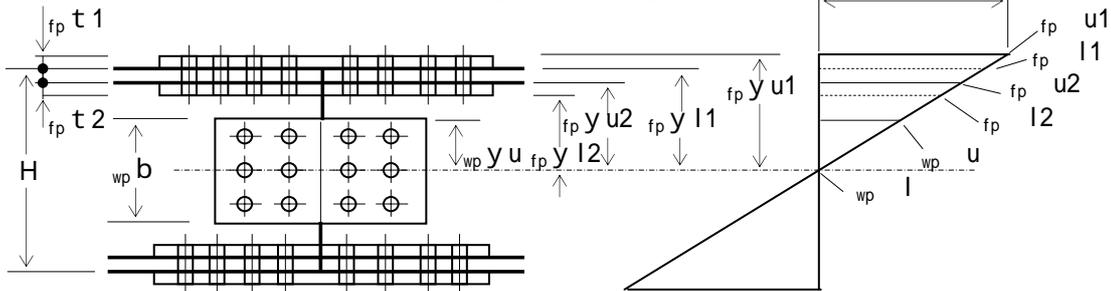
1) H形鋼 1 本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 1657 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 1657 \times 10^3 = 347970000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

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

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

$$= 347970000 \times \frac{37902}{39392} = 334808056 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$p M f 1 = p M f \cdot \frac{2 \cdot p I f 1}{p I f} \quad p I f 1 = 12124 \text{ cm}^4$$

$$= 334808056 \times \frac{24248}{37902} = 214195181 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u 1 = 1/2 \cdot H + f_p t 1 = 1/2 \times 39.0 + 1.20 = 20.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{214195181}{2 \times 12124} \times \frac{20.70}{1000} = 183 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

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

$$= \frac{214195181}{24248} \times \frac{19.50}{1000} = 172 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

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

$$= 334808056 \times \frac{13654}{37902} = 120612875 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y_{u2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 39.0 - 1.60 = 17.90 \text{ cm}$$

$${}_{fp} \sigma_{u2} = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y_{u2} \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{120612875}{13654} \times \frac{17.90}{1000} = 158 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$${}_{fp} y_{l2} = 1/2 \cdot H - t_f - {}_{fp} t_2$$

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

$${}_{fp} \sigma_{l2} = \frac{{}_p M f_2}{2 \cdot {}_p I f_2} \cdot {}_{fp} y_{l2} \quad {}_p \sigma_{ba}$$

$$= \frac{120612875}{13654} \times \frac{16.70}{1000} = 148 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(ボルト)

ボルトの許容せん断応力度 $\sigma_B = 285 \text{ N/mm}^2$
 H形鋼の許容支圧応力度 $\sigma_H = 355 \text{ N/mm}^2$

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

$$= \frac{183 + 172}{2} \times 30.00 \times 10^2 = 532500 \text{ N}$$

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

$$= \frac{158 + 148}{2} \times 22.80 \times 10^2 = 348840 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 532500 + 348840 = 881340 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

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

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 124960 \end{array} \right\} = \underline{124960} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S_a$$

$$Q_f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{881340}{4 \times 2}$$

$$= 110168 \text{ N} < 124960 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 p I &= 39392 \text{ cm}^4 \\
 p I_w &= 1490 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

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

$$= 347970000 \times \frac{1490}{39392} = 13161944 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 24.00 = 12.00 \text{ cm}$$

$${}_w u = \frac{{}_p M_w}{{}_p I_w} \cdot {}_w y_u$$

$$= \frac{13161944}{1490} \times \frac{12.00}{1000} = 106 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

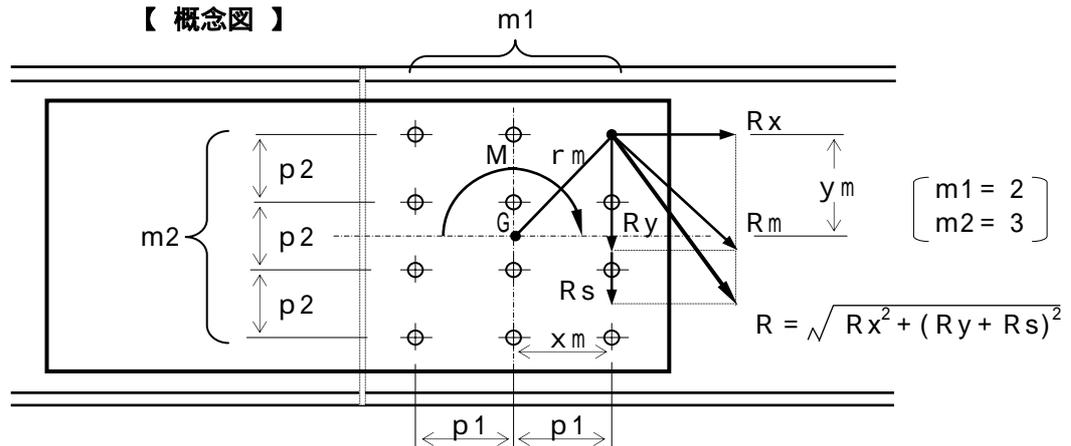
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 10 \times 355 = 78100$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 78100 \end{array} \right\} = \underline{78100 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S a$$

【 概念図 】



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

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

$$= 340 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

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

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 8.00^2} = 8.84 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{13161944}{340} \times \frac{8.00}{10} = 30969 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{13161944}{340} \times \frac{3.75}{10} = 14517 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{13161944}{340} \times \frac{8.84}{10}$$

$$= 34221 \text{ N} < 78100 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 28.30 \text{ cm}^2 \\ &= 2830 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 2830 = 339600 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

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

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{339600}{2970} = 114 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 10 \times 355 = 78100 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{78100 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{339600}{2 \times 3} \\ &= 56600 \text{ N} < 78100 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

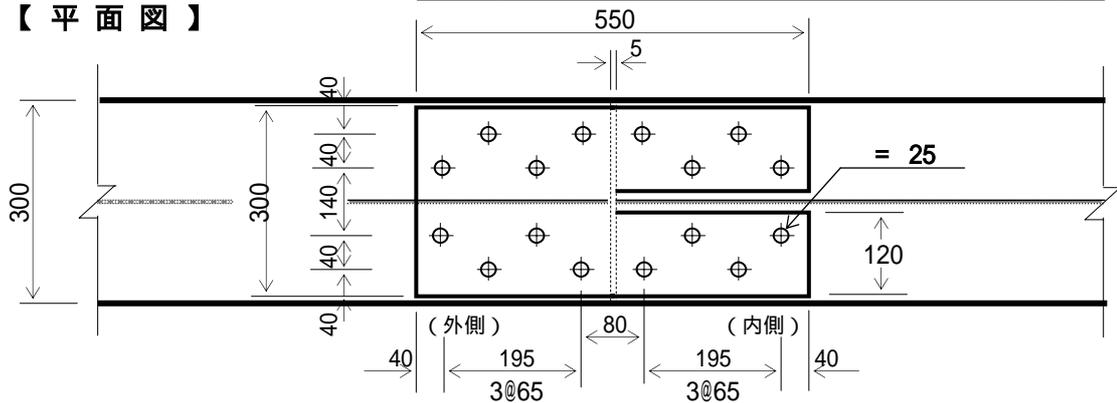
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 30969 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 14517 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 56600 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{30969^2 + (14517 + 56600)^2} \\ &= 77567 \text{ N} < 78100 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

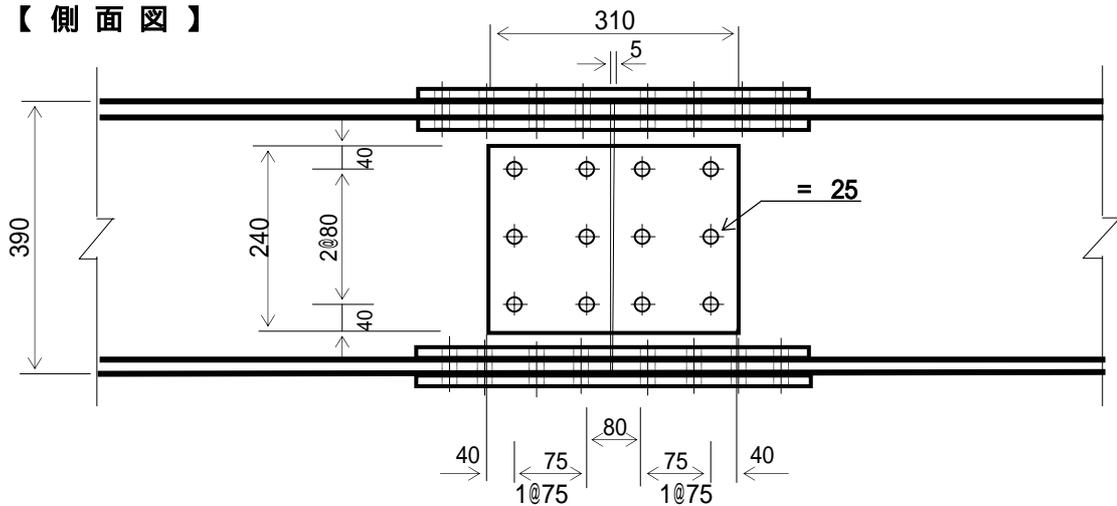
3. 計算結果

| | | | |
|-------|----------------------|-----------------------|-----------|
| 母材 | H390 × 300 × 10 × 16 | | |
| フランジ部 | 添接板仕様 | 2枚: PL 12 × 300 × 550 | |
| | | 4枚: PL 12 × 120 × 550 | |
| ウェブ部 | 添接板仕様 | 2枚: PL 9 × 240 × 310 | |
| | ボルト仕様 | F10T: M22 - 32本 | L = 80 mm |
| | | (トルシヤ型高力ボルトの場合) | L = 75 mm |
| | ボルト仕様 | F10T: M22 - 12本 | L = 70 mm |
| | | (トルシヤ型高力ボルトの場合) | L = 65 mm |

【平面図】



【側面図】



【断面図】

