

ボルト継手計算書

H 4 1 4 × 4 0 5 × 1 8 × 2 8

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 414 × 405) 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: H414

H形鋼: H 414 × 405 × 18 × 28

(3) 添接板

| | | | | | | |
|--|-------|-------------|---|-----|---|-----|
| | フランジ: | 2 · PL - 19 | × | 405 | × | 810 |
| | | 4 · PL - 19 | × | 160 | × | 810 |
| | ウェブ: | 2 · PL - 16 | × | 280 | × | 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 $n1 = 6$ 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) $e3 = 6.00$ cm

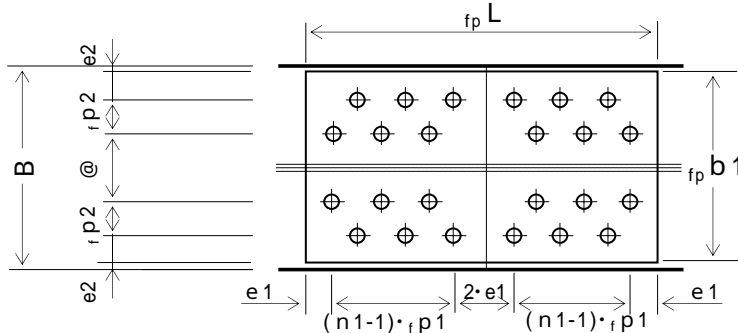
フランジボルトの軸方向間隔 $f_p1 = 6.5$ cm

フランジボルトの横断方向間隔 $f_p2 = 4.0$ cm

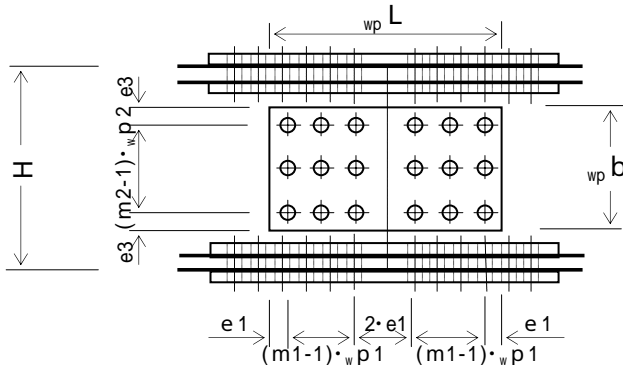
ウェブボルトの軸方向間隔 $w_p1 = 7.5$ cm

ウェブボルトの横断方向間隔 $w_p2 = 8.0$ cm

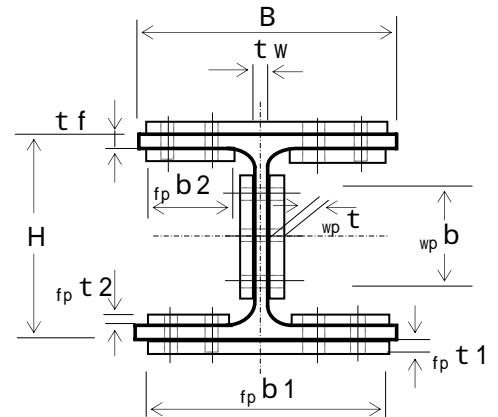
平面図



側面図



断面図

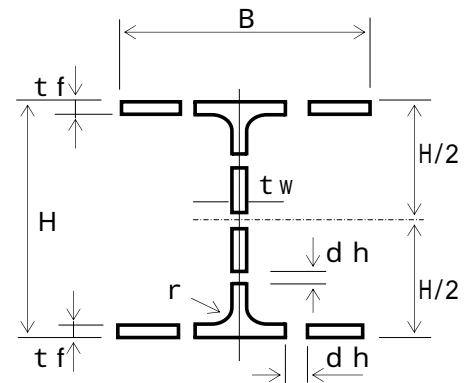


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 4 1 4 × 4 0 5 × 1 8 × 2 8

| | | | |
|-------------------|------------------|--------|-----------------|
| H 形 鋼 の 高 さ | H = | 41.4 | cm |
| H 形 鋼 の 幅 | B = | 40.5 | cm |
| ウ エ ブ 厚 | t _w = | 1.8 | cm |
| フ ラ ン ジ 厚 | t _f = | 2.8 | cm |
| フ イ レ ッ ト | r = | 2.2 | cm |
| 断 面 積 | A = | 295.40 | cm ² |
| 断 面 係 数 | Z = | 4480 | cm ³ |
| 断 面 二 次 モ - メ ン ト | I = | 92800 | 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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.80 \times 3 = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.80 \times (41.4 - 2 \times 2.80) - 13.50 \\ &= 50.94 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.80 \times 2 = 14.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 295.40 - 1.80 \times (41.4 - 2 \times 2.80) \\ &\quad - 2 \times 14.00 \\ &= 202.96 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 202.96 + 50.94 = 253.90 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント: ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.80^3 \times 2}{12} \\ &= 9.147 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 14.000 \times 19.300^2 + 9.147 = 5224 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 5224 = 10448 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 92800 - 10448 = 82352 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{82352}{20.70} = 3978 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

| | | | |
|-------|-------------|-------|---------|
| 外側板幅 | $f_p b_1 =$ | 40.5 | cm |
| 板厚 | $f_p t_1 =$ | 1.90 | cm |
| 内側板幅 | $f_p b_2 =$ | 16.00 | cm |
| 板厚 | $f_p t_2 =$ | 1.90 | 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)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 40.50 \times 1.90 - 9.50 = 67.45 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.90 \times 2 = 9.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 1.90 - 9.50 = 51.30 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (67.45 + 51.30) = 237.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

| | | | |
|-------|-----------|------|---------|
| 板幅 | $w_p b =$ | 28.0 | cm |
| 板厚 | $w_p t =$ | 1.60 | cm |
| ボルト本数 | $m_2 =$ | 3 | 本 (軸横断) |

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 3 = 12.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 28.00 \times 1.60 - 12.00 = 32.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 32.80 = 65.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 237.50 + 65.60 = 303.10 \text{ cm}^2 > 253.90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-OK-

(3) 添接板の断面二次モ - 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 $f_p b1 = 40.50$ cm
 板厚 $f_p t1 = 1.90$ cm
 面積 $p A f1 = 67.45$ cm²
 内側板幅 $f_p b2 = 16.00$ cm
 板厚 $f_p t2 = 1.90$ cm
 面積 $p A f2 = 51.30$ cm²

(外側添接板)

$$f_p b1' = f_p b1 - dh \cdot n2 = 40.50 - (2.50 \times 2) = 35.50 \text{ cm}$$

$$p I f1 = \frac{f_p b1' \cdot f_p t1^3}{12} = \frac{35.50 \times 1.90^3}{12} = 20.291 \text{ cm}^4$$

$$p I f1 = p A f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t1)^2 + p I f1 = 67.450 \times 21.650^2 + 20.291 = 31636 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

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

$$p I f2 = \frac{f_p b2' \cdot f_p t2^3}{12} = \frac{27.00 \times 1.90^3}{12} = 15.433 \text{ cm}^4$$

$$p I f2 = p A f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot f_p t2)^2 + p I f2 = 51.300 \times 16.950^2 + 15.433 = 14754 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f1 + p I f2) = 2 \times (31636 + 14754) = 92780 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 28.00$ cm
 板厚 $w_p t = 1.60$ cm
 ボルト間隔 $w p2 = 8.0$ cm

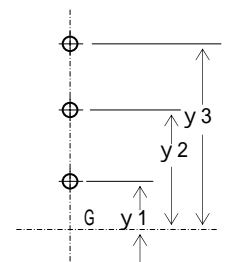
$$p I w1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{1.600 \times 28.00^3}{12} = 2927 \text{ cm}^4$$

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

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

$$= 2.50 \times 1.60 \times 2 \times 64.00 + 3 \times \frac{1.60 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 518 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$p I w = 2 \cdot (p I w1 - p I w1) = 2 \times (2927 - 518) = 4818 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モ - メント

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

$$= 92780 + 4818 = 97598 \text{ cm}^4 > 82352 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

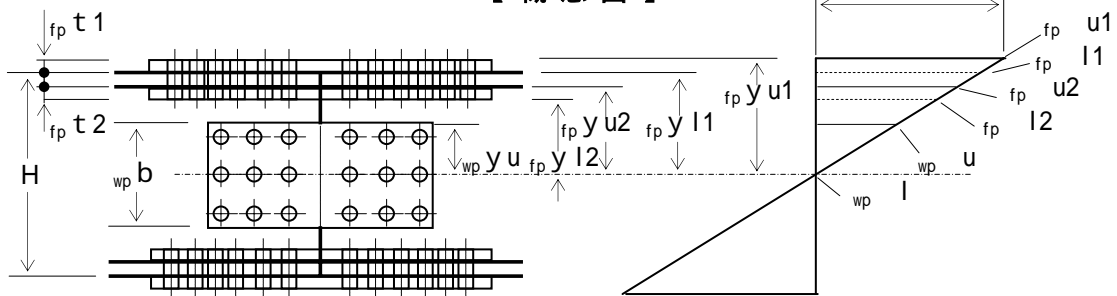
許容曲げ応力度 $H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 3978 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 3978 \times 10^3 = 835380000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 97598 \text{ cm}^4$

$pIf = 92780 \text{ cm}^4$

$${}_pMf = M_r \cdot \frac{{}_pIf}{{}_pI}$$

$$= 835380000 \times \frac{92780}{97598} = 794140827 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_pMf1 = {}_pMf \cdot \frac{2 \cdot {}_pIf1}{{}_pIf}$$

${}_pIf1 = 31636 \text{ cm}^4$

$$= 794140827 \times \frac{63272}{92780} = 541570149 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u1} = 1/2 \cdot H + f_{p t1} = 1/2 \times 41.4 + 1.90 = 22.60 \text{ cm}$$

$$f_{p u1} = \frac{{}_pMf1}{2 \cdot {}_pIf1} \cdot f_{p y u1} \quad {}_pba$$

$$= \frac{541570149}{2 \times 31636} \times \frac{22.60}{1000} = 193 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_{p y l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 41.4 = 20.70 \text{ cm}$$

$$f_{p l1} = \frac{{}_pMf1}{2 \cdot {}_pIf1} \cdot f_{p y l1} \quad {}_pba$$

$$= \frac{541570149}{63272} \times \frac{20.70}{1000} = 177 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

$${}_p M f_2 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot {}_p I f_2}{{}_p I f} \qquad {}_p I f_2 = 14754 \text{ cm}^4$$

$$= 794140827 \times \frac{29508}{92780} = 252570678 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 41.4 - 2.80 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{252570678}{29508} \times \frac{17.90}{1000} = 153 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 41.4 - 2.80 - 1.90 = 16.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{252570678}{29508} \times \frac{16.00}{1000} = 137 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{193 + 177}{2} \times 67.45 \times 10^2 = 1247825 \text{ N}$$

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

$$= \frac{153 + 137}{2} \times 51.30 \times 10^2 = 743850 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 1247825 + 743850 = 1991675 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 28 \times 355 = 218680$$

$$\left. \begin{array}{l} S1 \\ S2 \end{array} \right\} = \underline{216657} \text{ N} \quad (\text{最小})_{f_b} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n1 \cdot n2} = \frac{1991675}{6 \times 2}$$

$$= 165973 \text{ N} < 216657 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned} {}_p I &= 97598 \text{ cm}^4 \\ {}_p I_w &= 4818 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

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

$$= 835380000 \times \frac{4818}{97598} = 41239173 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 28.00 = 14.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{41239173}{4818} \times \frac{14.00}{1000} = 120 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト1本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

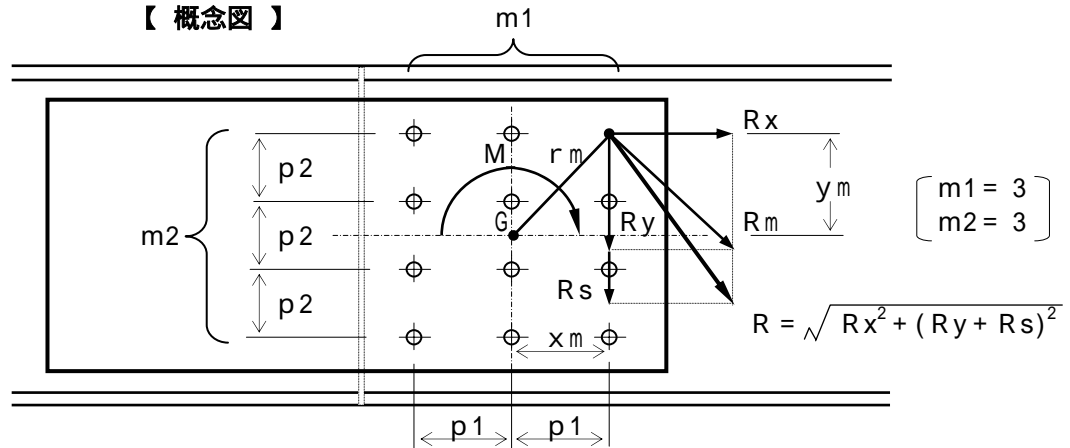
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 18 \times 355 = 140580$$

$$\left. \begin{aligned} &= 216657 \\ &= 140580 \end{aligned} \right\} = \underline{140580 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} Sa$$

【 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)

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

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

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

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{41239173}{722} \times \frac{8.00}{10} = 45694 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{41239173}{722} \times \frac{7.50}{10} = 42838 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_m &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{41239173}{722} \times \frac{10.97}{10} \\ &= 62658 \text{ N} < 140580 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼1本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 50.94 \text{ cm}^2 \\ &= 5094 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 5094 = 611280 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 65.60 \text{ cm}^2 \\ &= 6560 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{611280}{6560} = 93 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 18 \times 355 = 140580 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{140580 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{611280}{3 \times 3} \\ &= 67920 \text{ N} < 140580 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

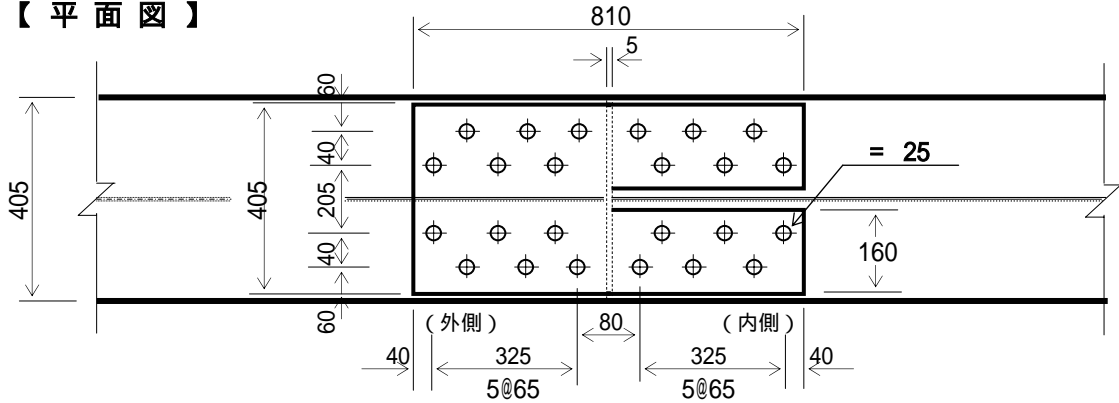
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 45694 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 42838 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 67920 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{45694^2 + (42838 + 67920)^2} \\ &= 119814 \text{ N} < 140580 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

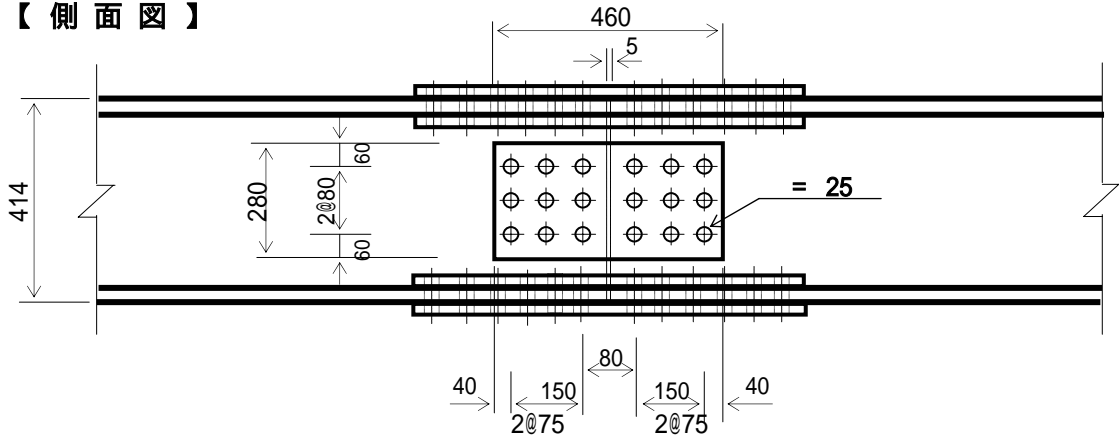
3. 計算結果

| | | | |
|-------|-----------------------------|--|--|
| 母材 | H 4 1 4 × 4 0 5 × 1 8 × 2 8 | | |
| フランジ部 | 添接板仕様 | 2枚: PL 19 × 405 × 810 | |
| | | 4枚: PL 19 × 160 × 810 | |
| ウェブ部 | 添接板仕様 | 2枚: PL 16 × 280 × 460 | |
| | | ボルト仕様 | F10T : M22 - 48本 L = 110 mm (トリヅ型高力ボルトの場合 L = 105 mm) |
| | ボルト仕様 | F10T : M22 - 18本 L = 90 mm (トリヅ型高力ボルトの場合 L = 85 mm) | |

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

