

ボルト継手計算書

H 4 3 8 × 4 0 7 × 2 0 × 4 0

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H 438 × 407) 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JIS) SS400-D (ボルトJIS) F10T-D

「道路土工 仮設構造物指針 (日本道路協会)」に準拠する。

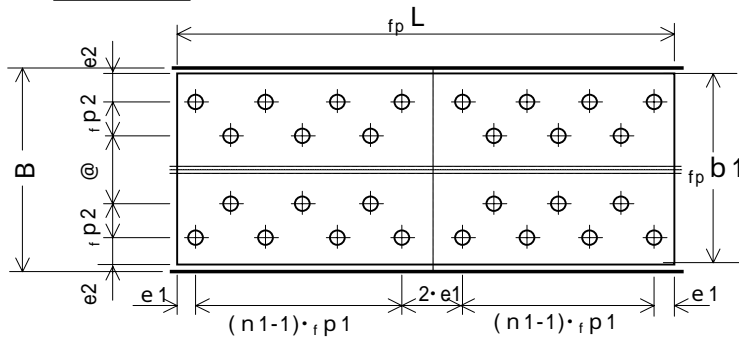
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度	$H \quad ba = H \quad ta =$	210	N/mm ² (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度	$H \quad a =$	120	N/mm ² (SS400)
H形鋼の許容支圧応力度	$H \quad a =$	355	N/mm ² (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度	$P \quad ba = P \quad ta =$	210	N/mm ² (SS400)
添接板の許容せん断応力度	$P \quad a =$	120	N/mm ² (SS400)
添接板の許容支圧応力度	$P \quad a =$	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 JIS: H438
H形鋼: H 438 × 407 × 20 × 40

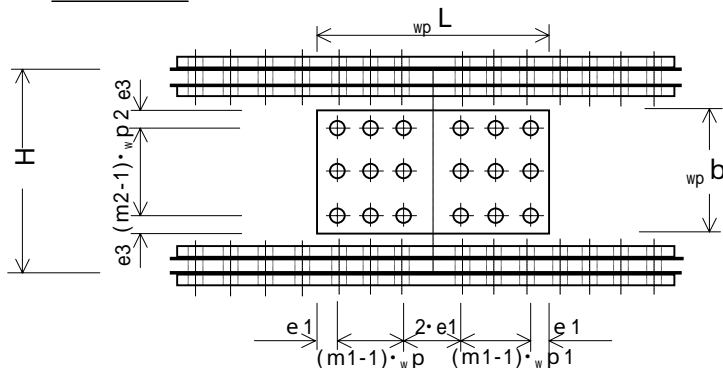
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 25 | × | 405 | × | 940 |
| 4・PL - | 25 | × | 160 | × | 940 |
| ウェブ: 2・PL - | 19 | × | 250 | × | 460 |

- (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 | $n1 =$ | 7 | 本 (軸方向) |
| ウェブのボルト本数 | $m1 =$ | 3 | 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) | $e1 =$ | 4.00 | cm |
| 縁端距離 (その他) | $e2 =$ | 6.00 | cm |
| 縁端距離 (応力方向) | $e3 =$ | 5.00 | 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 | $w p2 =$ | 7.5 | cm |

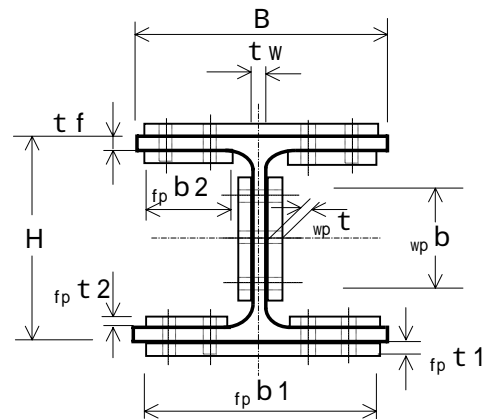
平面図



側面図



断面図

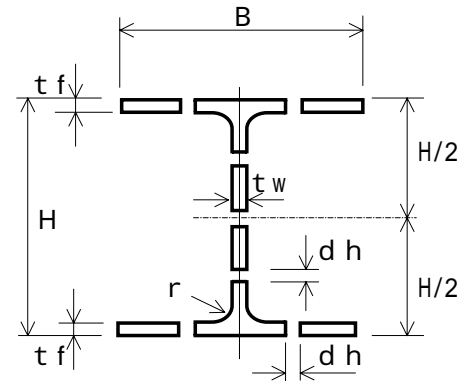


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 438 × 407 × 20 × 40

H 形 鋼 の 高 さ	H =	43.8	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	40.7	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	2.0	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	4.0	cm
フ イ レ ッ ト	r =	2.2	cm
断 面 積	A =	401.40	cm ²
断 面 係 数	Z =	6310	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	138000	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 2.00 \times 3 = 15.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 2.00 \times (43.8 - 2 \times 4.00) - 15.00 \\ &= 56.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 4.00 \times 2 = 20.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 401.40 - 2.00 \times (43.8 - 2 \times 4.00) \\ &\quad - 2 \times 20.00 \\ &= 289.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 289.80 + 56.60 = 346.40 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 4.00^3 \times 2}{12} \\ &= 26.667 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 20.000 \times 19.900^2 + 26.667 = 7947 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 7947 = 15894 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 138000 - 15894 = 122106 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{122106}{21.90} = 5576 \text{ cm}^3$$

(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	$f_p t_1 =$	2.50	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	16.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	2.50	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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.50 \times 2 = 12.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 40.50 \times 2.50 - 12.50 = 88.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.50 \times 2 = 12.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 2.50 - 12.50 = 67.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (88.75 + 67.50) = 312.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	25.0	cm
板厚	$w_p t =$	1.90	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.90 \times 3 = 14.25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 25.00 \times 1.90 - 14.25 = 33.25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 33.25 = 66.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 312.50 + 66.50 = 379.00 \text{ cm}^2 > 346.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $fp b1 = 40.50$ cm
 板厚 $fp t1 = 2.50$ cm
 面積 $pA f1 = 88.75$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 16.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 2.50$ cm
 面積 $pA f2 = 67.50$ cm²

(外側添接板)

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

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{35.50 \times 2.50^3}{12} = 46.224 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 88.750 \times 23.150^2 + 46.224 = 47609 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

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

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{27.00 \times 2.50^3}{12} = 35.156 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 67.500 \times 16.650^2 + 35.156 = 18748 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (47609 + 18748) = 132714 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

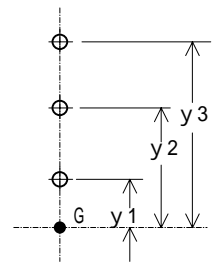
板幅 $wp b = 25.00$ cm
 板厚 $wp t = 1.90$ cm
 ボルト間隔 $w p2 = 7.5$ cm

$$pI w1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{1.900 \times 25.00^3}{12} = 2474 \text{ cm}^4$$

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

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

$$= 2.50 \times 1.90 \times 2 \times 56.25 + 3 \times \frac{1.90 \times 2.50^3}{12} = 542 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (2474 - 542) = 3864 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 132714 + 3864 = 136578 \text{ cm}^4 > 122106 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

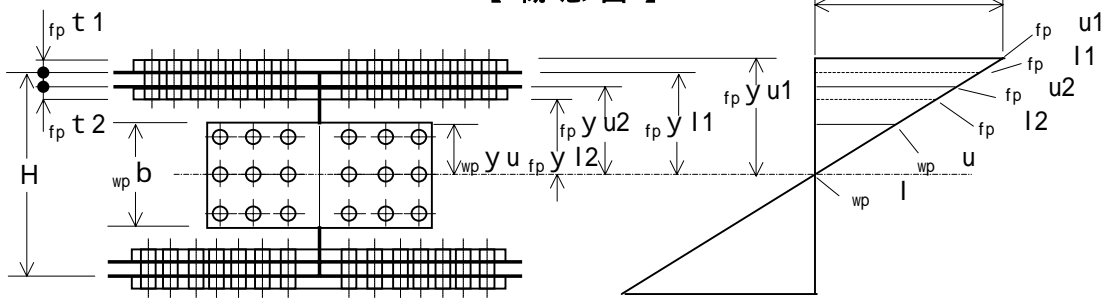
許容曲げ応力度 $Hba = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z' = 5576 \text{ cm}^3$

$$M_r = Hba \cdot Z'$$

$$= 210 \times 5576 \times 10^3 = 1170960000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 136578 \text{ cm}^4$

$pIf = 132714 \text{ cm}^4$

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

$$= 1170960000 \times \frac{132714}{136578} = 1137831755 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 47609 \text{ cm}^4$$

$$= 1137831755 \times \frac{95218}{132714} = 816357461 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$fpyu1 = 1/2 \cdot H + fpt1 = 1/2 \times 43.8 + 2.50 = 24.40 \text{ cm}$$

$$fp u1 = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fpyu1 \quad pba$$

$$= \frac{816357461}{2 \times 47609} \times \frac{24.40}{1000} = 209 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$fpy l1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 43.8 = 21.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{816357461}{95218} \times \frac{21.90}{1000} = 188 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 18748 \text{ cm}^4$$

$$= 1137831755 \times \frac{37496}{132714} = 321474294 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 43.8 - 4.00 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{321474294}{37496} \times \frac{17.90}{1000} = 153 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 43.8 - 4.00 - 2.50 = 15.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{321474294}{37496} \times \frac{15.40}{1000} = 132 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{209 + 188}{2} \times 88.75 \times 10^2 = 1761688 \text{ N}$$

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

$$= \frac{153 + 132}{2} \times 67.50 \times 10^2 = 961875 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 1761688 + 961875 = 2723563 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 40 \times 355 = 312400$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \text{ N} \\ = 312400 \end{array} \right\} = \underline{216657} \text{ N} \quad (\text{最小})_{fb} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{2723563}{7 \times 2}$$

$$= 194540 \text{ N} < 216657 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p I &= 136578 \text{ cm}^4 \\
 {}_p I_w &= 3864 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

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

$$= 1170960000 \times \frac{3864}{136578} = 33128245 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{wp} y_u = 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 25.00 = 12.50 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{33128245}{3864} \times \frac{12.50}{1000} = 107 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

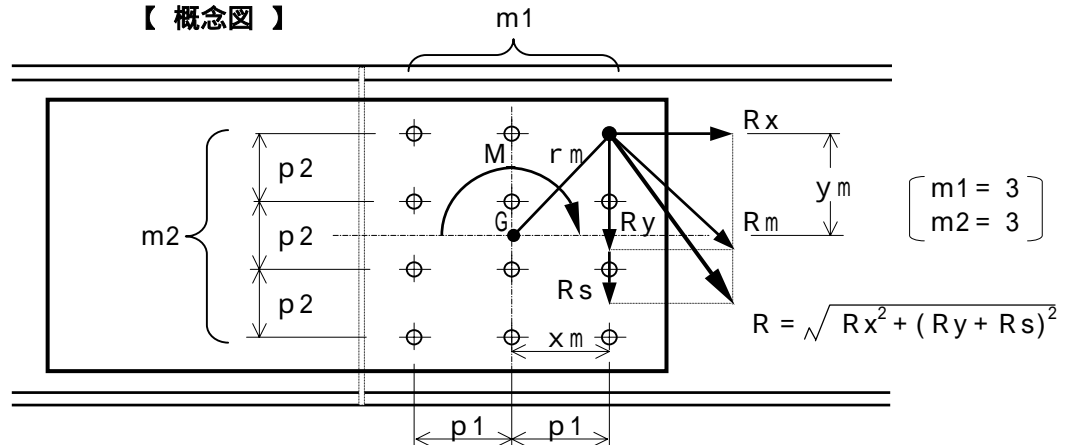
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 20 \times 355 = 156200$$

$$= \frac{156200}{\text{最小}} \text{ N} = \underline{156200} \text{ N}$$

【 概念図 】



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

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

$$= 675 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

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

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

$$r_m = \sqrt{7.50^2 + 7.50^2} = 10.61 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{33128245}{675} \times \frac{7.50}{10} = 36809 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{33128245}{675} \times \frac{7.50}{10} = 36809 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{33128245}{675} \times \frac{10.61}{10} = 52073 \text{ N}$$

$$= 52073 \text{ N} < 156200 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 56.60 \text{ cm}^2 \\ &= 5660 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 5660 = 679200 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 66.50 \text{ cm}^2 \\ &= 6650 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{679200}{6650} = 102 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 2.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 20 \times 355 = 156200 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{156200} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{679200}{3 \times 3} \\ &= 75467 \text{ N} < 156200 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 36809 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 36809 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 75467 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{36809^2 + (36809 + 75467)^2} \\ &= 118156 \text{ N} < 156200 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3. 計算結果

母材 H 4 3 8 × 4 0 7 × 2 0 × 4 0

フランジ部

添接板仕様 2枚: PL 25 × 405 × 940

4枚: PL 25 × 160 × 940

ボルト仕様

F10T: M22 - 56本 L = 130 mm

(H 1 7 型高力ボルトの場合 L = 125 mm)

ウェブ部

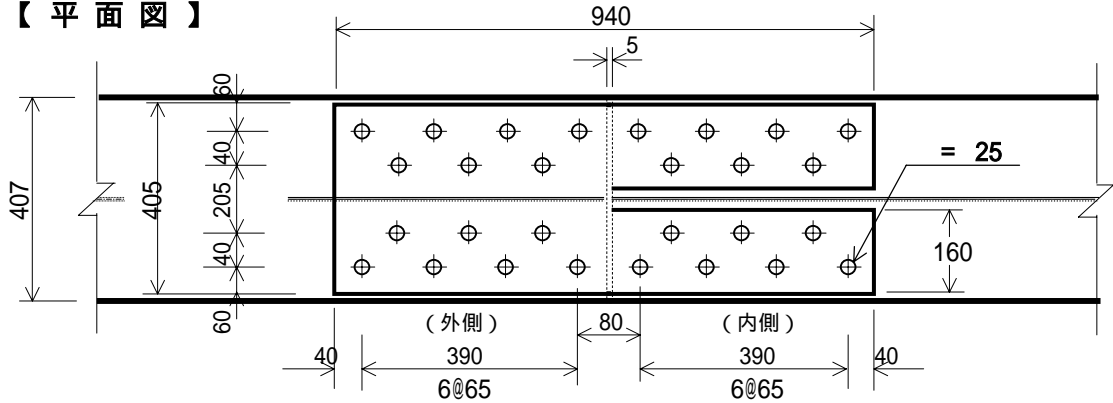
添接板仕様 2枚: PL 19 × 250 × 460

ボルト仕様

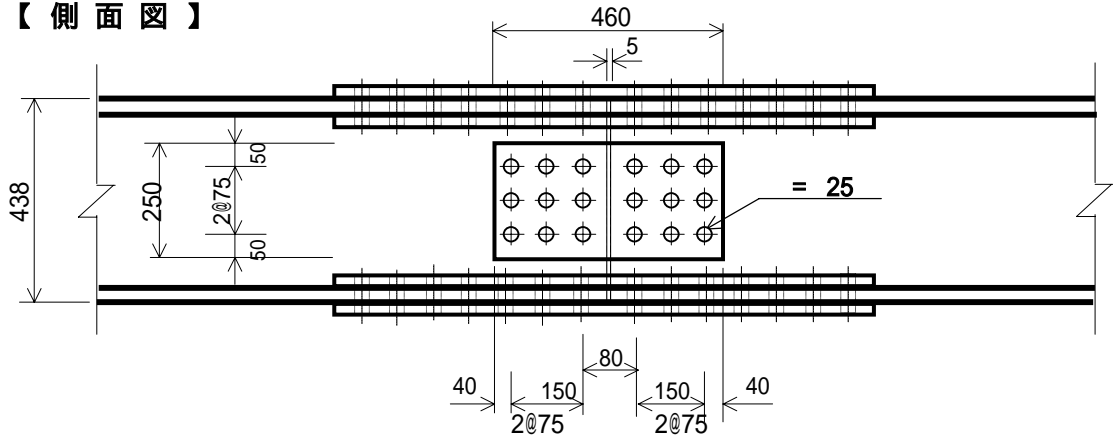
F10T: M22 - 18本 L = 100 mm

(H 1 7 型高力ボルトの場合 L = 95 mm)

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

