

ボルト継手計算書

H 4 3 8 × 4 0 7 × 2 0 × 4 0

(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 438 x 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。

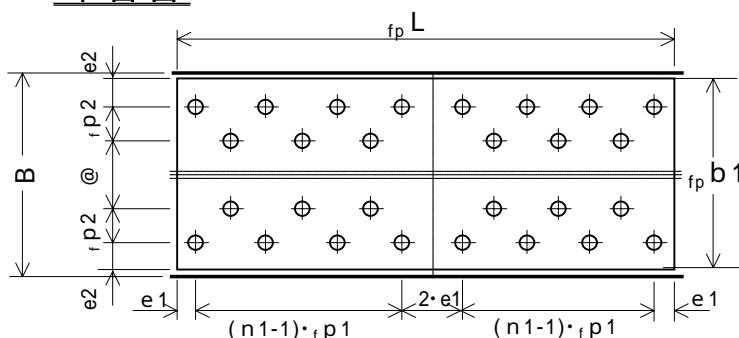
仮設鋼材の許容応力度の割増	係数 =	1.50	
H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H	$ba =_H ta =$	280	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容せん断応力度 _H	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数) _H	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度 _P	$ba =_P ta =$	280	N/mm ² (SM490)
添接板の許容せん断応力度 _P	$a =$	160	N/mm ² (SM490)
添接板の許容支圧応力度(315×係数) _P	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
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: H438
H形鋼: H 438 x 407 x 20 x 40

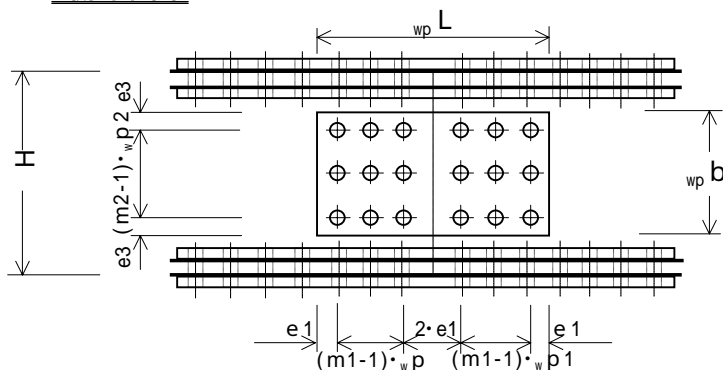
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|------|
| フランジ: 2・PL - | 25 | × | 405 | × | 1080 |
| 4・PL - | 25 | × | 160 | × | 1080 |
| ウェブ: 2・PL - | 19 | × | 280 | × | 520 |

- (4) ボルト
- | | | | |
|----------------|----------|------|---------|
| ボルト直径 (M24) | $d =$ | 2.40 | cm |
| ボルト孔径 (d+3mm) | $dh =$ | 2.70 | 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) | $e1 =$ | 4.50 | cm |
| 縁端距離(その他) | $e2 =$ | 6.00 | cm |
| 縁端距離(応力方向) | $e3 =$ | 5.50 | cm |
| 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 | $f p2 =$ | 4.0 | cm |
| ウェブボルトの軸方向間隔 | $w p1 =$ | 8.5 | cm |
| ウェブボルトの横断方向間隔 | $w p2 =$ | 8.5 | cm |

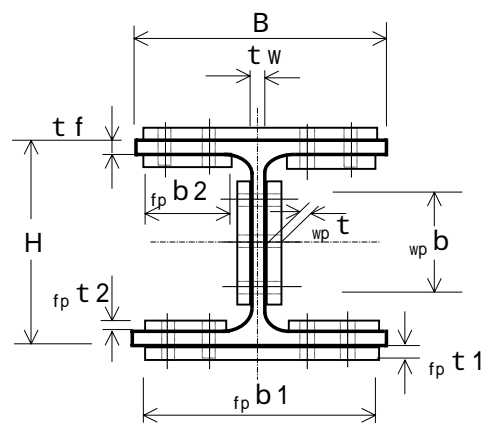
平面図



側面図



断面図

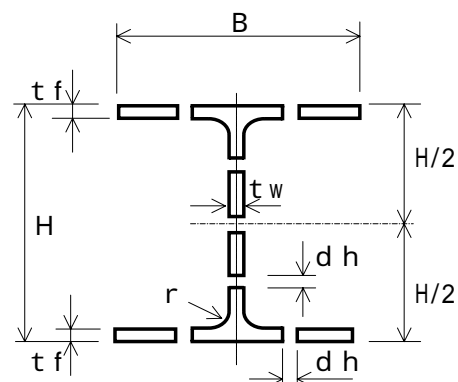


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 4 3 8 × 4 0 7 × 2 0 × 4 0

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	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 =	2.70	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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 2.00 \times 3 = 16.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 2.00 \times (43.8 - 2 \times 4.00) - 16.20 \\ &= 55.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 4.00 \times 2 = 21.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 401.40 - 2.00 \times (43.8 - 2 \times 4.00) - 2 \times 21.60 \\ &= 286.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 286.60 + 55.40 = 342.00 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.70 \times 4.00^3 \times 2}{12} \\ &= 28.800 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 21.600 \times 19.900^2 + 28.800 = 8583 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 8583 = 17166 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 138000 - 17166 = 120834 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{120834}{21.90} = 5518 \text{ cm}^3$$

(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	$d_h =$	2.70	cm
ボルト本数	$n_2 =$	2	本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 2.50 \times 2 = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 40.50 \times 2.50 - 13.50 = 87.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.70 \times 2.50 \times 2 = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 16.00 \times 2.50 - 13.50 = 66.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (87.75 + 66.50) = 308.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	28.0	cm
板厚	$w_p t =$	1.90	cm
ボルト本数	$m_2 =$	3	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.70 \times 1.90 \times 3 = 15.39 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 28.00 \times 1.90 - 15.39 = 37.81 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 37.81 = 75.62 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 308.50 + 75.62 = 384.12 \text{ cm}^2 > 342.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $dh = 2.70$ 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 $pA f1 = 87.75$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 16.00$ cm
 板厚 $fp t2 = 2.50$ cm
 面積 $pA f2 = 66.50$ cm²

(外側添接板)

$$fp b1' = fp b1 - dh \cdot n2$$

$$= 40.50 - (2.70 \times 2) = 35.10 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{35.10 \times 2.50^3}{12} = 45.703 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1$$

$$= 87.750 \times 23.150^2 + 45.703 = 47073 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$fp b2' = 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2$$

$$= 2 \times 16.00 - (2.70 \times 2) = 26.60 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{26.60 \times 2.50^3}{12} = 34.635 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2$$

$$= 66.500 \times 16.650^2 + 34.635 = 18470 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (47073 + 18470) = 131086 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 28.00$ cm
 板厚 $wp t = 1.90$ cm
 ボルト間隔 $w p2 = 8.5$ cm

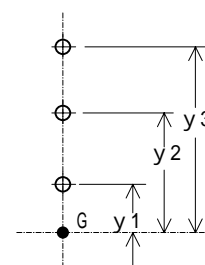
$$pI W1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{1.900 \times 28.00^3}{12} = 3476 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 72.25 \text{ cm}^2$$

$$pI W1 = dh \cdot wp t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{wp t \cdot (dh)^3}{12}$$

$$= 2.70 \times 1.90 \times 2 \times 72.25 + 3 \times \frac{1.90 \times 2.70^3}{12}$$

$$= 751 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI W = 2 \cdot (pI W1 - pI W1) = 2 \times (3476 - 751) = 5450 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

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

$$= 131086 + 5450 = 136536 \text{ cm}^4 > 120834 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(4) 曲げモーメントの計算

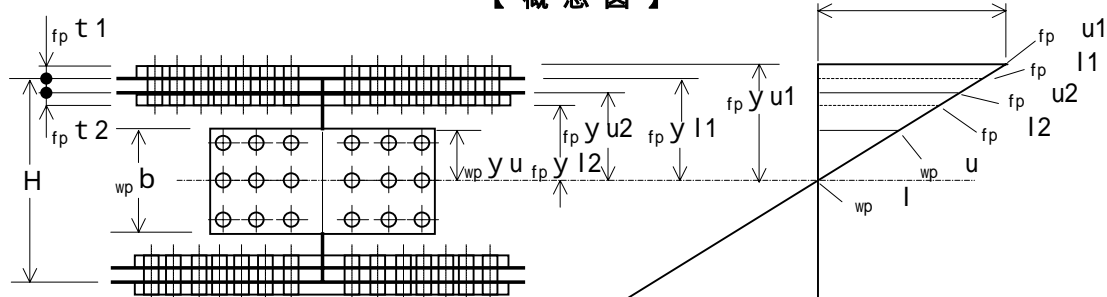
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモーメント

許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 5518 \text{ cm}^3$

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

$$= 280 \times 5518 \times 10^3 = 1545040000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$p I = 136536 \text{ cm}^4$
 $p I f = 131086 \text{ cm}^4$

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

$$= 1545040000 \times \frac{131086}{136536} = 1483367855 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$p M f 1 = p M f \cdot \frac{2 \cdot p I f 1}{p I f} \quad p I f 1 = 47073 \text{ cm}^4$$

$$= 1483367855 \times \frac{94146}{131086} = 1065355187 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u 1 = 1/2 \cdot H + f_p t 1 = 1/2 \times 43.8 + 2.50 = 24.40 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{1065355187}{2 \times 47073} \times \frac{24.40}{1000} = 276 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y l 1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 43.8 = 21.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{1065355187}{94146} \times \frac{21.90}{1000} = 248 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 18470 \text{ cm}^4$$

$$= 1483367855 \times \frac{36940}{131086} = 418012668 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 43.8 - 4.00 = 17.90 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{418012668}{36940} \times \frac{17.90}{1000} = 203 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

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

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

$$= \frac{418012668}{36940} \times \frac{15.40}{1000} = 174 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{276 + 248}{2} \times 87.75 \times 10^2 = 2299050 \text{ N}$$

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

$$= \frac{203 + 174}{2} \times 66.50 \times 10^2 = 1253525 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 2299050 + 1253525 = 3552575 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$M 24 \quad {}_B A = 1/4 \cdot \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 \quad 452.4 \text{ mm}^2$$

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

$$= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868$$

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

$$= 24 \times 40 \times 473 = 454080$$

$$\left. \begin{array}{l} = 257868 \text{ N} \\ = 454080 \end{array} \right\} = \underline{257868} \text{ N} \quad (\text{最小})_{f_b} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{3552575}{7 \times 2}$$

$$= 253755 \text{ N} < 257868 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

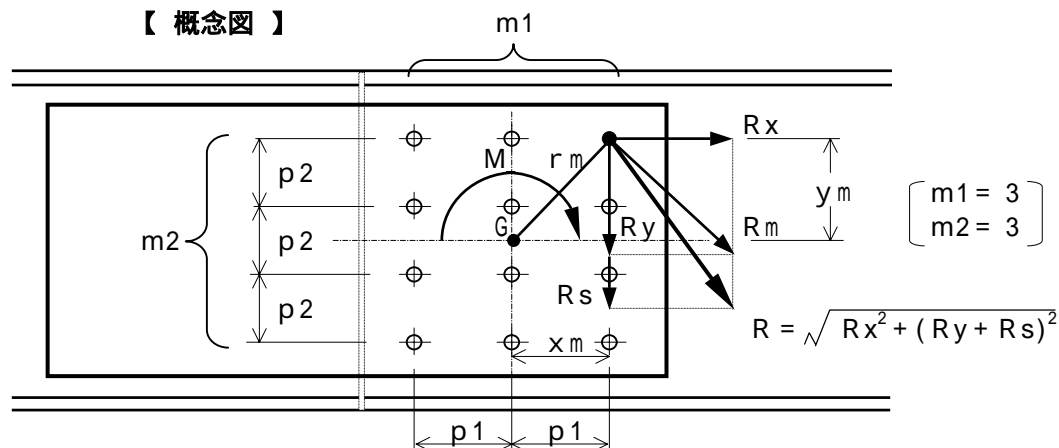
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} \\
 &= 1545040000 \times \frac{5450}{136536} = 61672145 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 28.00 = 14.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u \\
 &= \frac{61672145}{5450} \times \frac{14.00}{1000} = 158 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 &\quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 24 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 = 452.4 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 24 \times 20 \times 473 = 227040
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{227040 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 3 \times 3 \times \{ 8.50^2 \times (3^2 - 1) + 8.50^2 \times (3^2 - 1) \} \\
 &= 867 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 8.50 \text{ cm} \\
 y_m &= 8.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{8.50^2 + 8.50^2} = 12.02 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{61672145}{867} \times \frac{8.50}{10} = 60463 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{61672145}{867} \times \frac{8.50}{10} = 60463 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{61672145}{867} \times \frac{12.02}{10} \\
 &= 85502 \text{ N} < 227040 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 55.40 \text{ cm}^2 \\ &= 5540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 5540 = 886400 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 75.62 \text{ cm}^2 \\ &= 7562 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{886400}{7562} = 117 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 2.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$M24 \quad A_b = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 4.524 \text{ cm}^2 = 452.4 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 452.4 \times 285 = 257868 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 24 \times 20 \times 473 = 227040 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{227040} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{886400}{3 \times 3} \\ &= 98489 \text{ N} < 227040 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

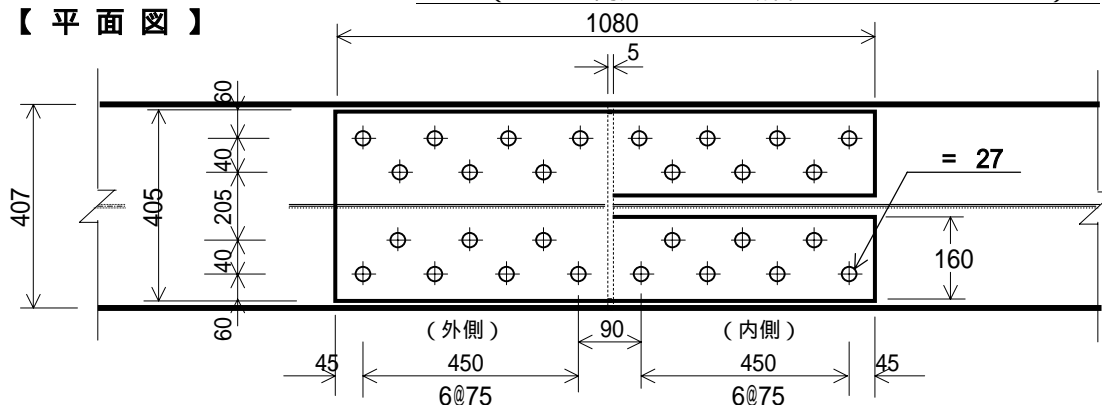
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 60463 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 60463 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 98489 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{60463^2 + (60463 + 98489)^2} \\ &= 170063 \text{ N} < 227040 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

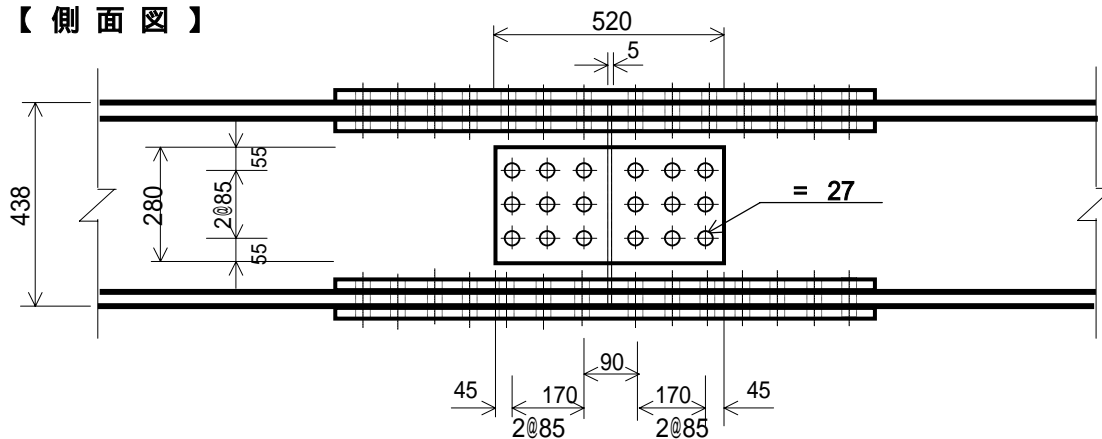
3. 計算結果

母材	H 4 3 8 × 4 0 7 × 2 0 × 4 0 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2 枚 : PL 25 × 405 × 1080 (SM490)	
		4 枚 : PL 25 × 160 × 1080 (SM490)	
ウェブ部	添接板仕様	2 枚 : PL 19 × 280 × 520 (SM490)	
		ボルト仕様	F10T : M24 - 56本 L = 135 mm (HJ型高力ボルトの場合 L = 130 mm)
	ボルト仕様	F10T : M24 - 18本 L = 105 mm (HJ型高力ボルトの場合 L = 100 mm)	

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

