

ボルト継手計算書

H300×150×6.5×9

(SM490)

土木仕様

(SI単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H300×150) 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。

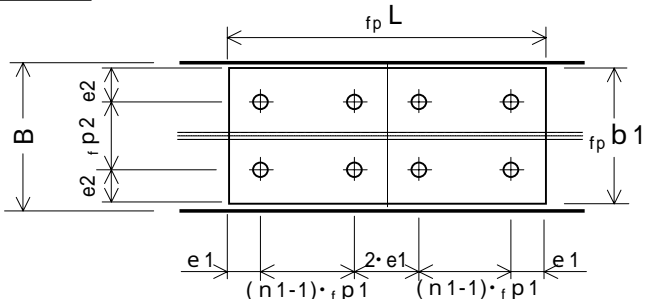
| | | | |
|----------------------------------|---------------|------|---------------------------|
| 仮設鋼材の許容応力度の割増 | 係数 = | 1.50 | |
| H形鋼の許容曲げ・引張応力度 _H | $ba =_H ta =$ | 280 | N/mm ² (SM490) |
| H形鋼の許容せん断応力度 _H | $a =$ | 160 | N/mm ² (SM490) |
| H形鋼の許容支圧応力度(315×係数) _H | $a =$ | 473 | N/mm ² (SM490) |
| 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: H300-2
H形鋼: H300×150×6.5×9

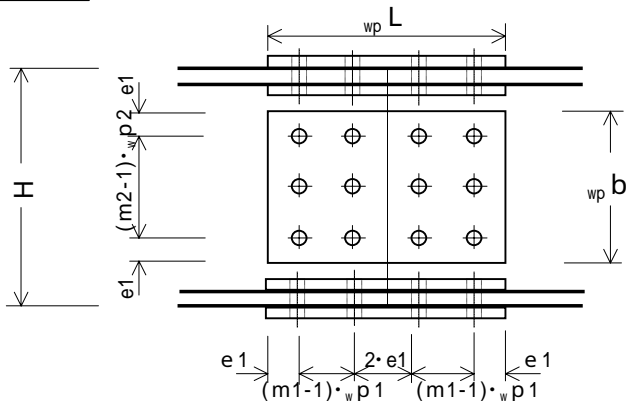
- (3) 添接板
- | | | | | |
|----------------|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - 9 | × | 150 | × | 270 |
| 4・PL - 9 | × | 55 | × | 270 |
| ウェブ: 2・PL - 6 | × | 200 | × | 270 |

- (4) ボルト
- | | | | | |
|---------------|----------------|----------|---------|----|
| ボルト直径 (M20) | $d =$ | 2.00 | cm | |
| ボルト孔径 (d+3mm) | $dh =$ | 2.30 | cm | |
| フランジのボルト本数 | $n1 =$ | 2 | 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) | $e1 =$ | 3.50 | cm | |
| 縁端距離(その他) | $e2 =$ | 2.75 | 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 | $f p1 =$ | 6.5 | cm |
| | フランジボルトの横断方向間隔 | $f p2 =$ | 9.5 | cm |
| | ウェブボルトの軸方向間隔 | $w p1 =$ | 6.5 | cm |
| | ウェブボルトの横断方向間隔 | $w p2 =$ | 6.5 | cm |

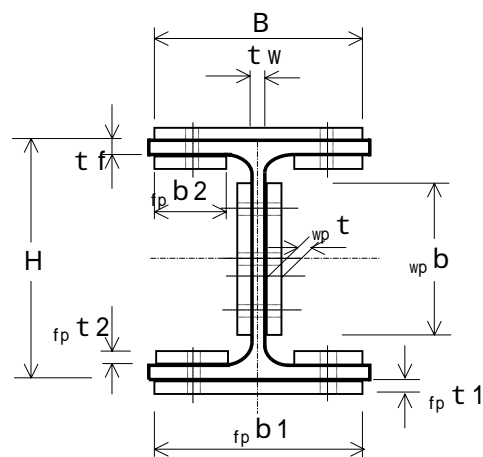
平面図



側面図



断面図

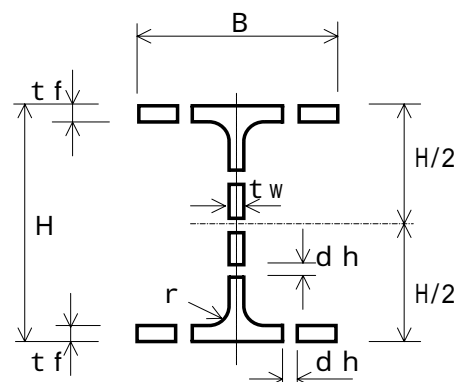


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 300 × 150 × 6.5 × 9

| | | | |
|-------------------|------------------|-------|-----------------|
| H 形 鋼 の 高 さ | H = | 30 | cm |
| H 形 鋼 の 幅 | B = | 15 | cm |
| ウ エ ブ 厚 | t _w = | 0.7 | cm |
| フ ラ ン ジ 厚 | t _f = | 0.9 | cm |
| フ イ レ ッ ト | r = | 1.3 | cm |
| 断 面 積 | A = | 46.78 | cm ² |
| 断 面 係 数 | Z = | 481 | cm ³ |
| 断 面 二 次 モ - メ ン ト | I = | 7210 | cm ⁴ |



2) ボルト穴を控除した断面性能

| | | | |
|------------|------------------|------|---------|
| ボルト孔径 | d _h = | 2.30 | 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)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.30 \times 0.65 \times 3 = 4.49 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 0.65 \times (30 - 2 \times 0.90) - 4.49 \\ &= 13.85 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.30 \times 0.90 \times 2 = 4.14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 46.78 - 0.65 \times (30 - 2 \times 0.90) - 2 \times 4.14 \\ &= 20.17 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 20.17 + 13.85 = 34.02 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.30 \times 0.90^3 \times 2}{12} \\ &= 0.279 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 4.140 \times 14.550^2 + 0.279 = 877 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 877 = 1754 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 7210 - 1754 = 5456 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{5456}{15.00} = 364 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

| | | | |
|-------|-------------|------|---------|
| 外側板幅 | $f_p b_1 =$ | 15.0 | cm |
| 板厚 | $f_p t_1 =$ | 0.90 | cm |
| 内側板幅 | $f_p b_2 =$ | 5.50 | cm |
| 板厚 | $f_p t_2 =$ | 0.90 | cm |
| ボルト孔径 | $d_h =$ | 2.30 | cm |
| ボルト本数 | $n_2 =$ | 2 | 本 (軸横断) |

(外側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.30 \times 0.90 \times 2 = 4.14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 15.00 \times 0.90 - 4.14 = 9.36 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.30 \times 0.90 \times 2 = 4.14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 5.50 \times 0.90 - 4.14 = 5.76 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (9.36 + 5.76) = 30.24 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

| | | | |
|-------|-----------|------|---------|
| 板幅 | $w_p b =$ | 20.0 | cm |
| 板厚 | $w_p t =$ | 0.60 | cm |
| ボルト本数 | $m_2 =$ | 3 | 本 (軸横断) |

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.30 \times 0.60 \times 3 = 4.14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 20.00 \times 0.60 - 4.14 = 7.86 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 7.86 = 15.72 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 30.24 + 15.72 = 45.96 \text{ cm}^2 > 34.02 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 $dh = 2.30$ cm
 フランジ $n2 = 2$ 本 (軸横断)
 ウェブ $m2 = 3$ 本 (軸横断)

外側板幅 $fp b1 = 15.00$ cm
 板厚 $fp t1 = 0.90$ cm
 面積 $pA f1 = 9.36$ cm²
 内側板幅 $fp b2 = 5.50$ cm
 板厚 $fp t2 = 0.90$ cm
 面積 $pA f2 = 5.76$ cm²

(外側添接板)

$$\begin{aligned}
 fp b1' &= fp b1 - dh \cdot n2 \\
 &= 15.00 - (2.30 \times 2) = 10.40 \text{ cm} \\
 pI f1 &= \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{10.40 \times 0.90^3}{12} = 0.632 \text{ cm}^4 \\
 pI f1 &= pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 \\
 &= 9.360 \times 15.450^2 + 0.632 = 2235 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned}
 fp b2' &= 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 \\
 &= 2 \times 5.50 - (2.30 \times 2) = 6.40 \text{ cm} \\
 pI f2 &= \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{6.40 \times 0.90^3}{12} = 0.389 \text{ cm}^4 \\
 pI f2 &= pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 \\
 &= 5.760 \times 13.650^2 + 0.389 = 1074 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (2235 + 1074) = 6618 \text{ cm}^4$$

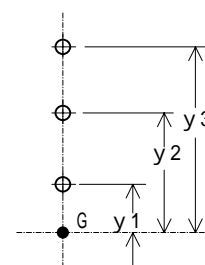
2) ウェブ添接板

板幅 $wp b = 20.00$ cm
 板厚 $wp t = 0.60$ cm
 ボルト間隔 $wp p2 = 6.5$ cm

$$pI W1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{0.600 \times 20.00^3}{12} = 400 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 42.25 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 pI W1 &= dh \cdot wp t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{wp t \cdot (dh)^3}{12} \\
 &= 2.30 \times 0.60 \times 2 \times 42 + 3 \times \frac{0.60 \times 2.30^3}{12} \\
 &= 118 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



(ウェブ合計)

$$pI W = 2 \cdot (pI W1 - pI W1) = 2 \times (400 - 118) = 564 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned}
 pI &= pI f + pI W \quad I' \\
 &= 6618 + 564 = 7182 \text{ cm}^4 > 5456 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(4) 曲げモーメントの計算

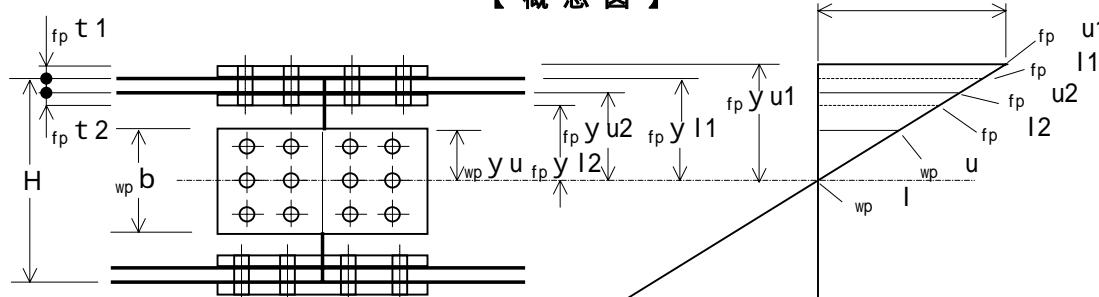
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモーメント

許容曲げ応力度 $\sigma_{ba} = 280 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 364 \text{ cm}^3$

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

$$= 280 \times 364 \times 10^3 = 101920000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 7182 \text{ cm}^4$
 $\rho I f = 6618 \text{ cm}^4$

$${}_p M_f = M_r \cdot \frac{\rho I f}{\rho I}$$

$$= 101920000 \times \frac{6618}{7182} = 93916257 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_p M_{f1} = {}_p M_f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f_1}{\rho I f}$$

$$= 93916257 \times \frac{4470}{6618} = 63433918 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$\rho I f_1 = 2235 \text{ cm}^4$

$$f_{p y u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 30.0 + 0.90 = 15.90 \text{ cm}$$

$$f_p u1 = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_{p y u1} \cdot \rho_{ba}$$

$$= \frac{63433918}{2 \times 2235} \times \frac{15.90}{1000} = 226 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_{p y l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 30.0 = 15.00 \text{ cm}$$

$$f_p l1 = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot \rho I f_1} \cdot f_{p y l1} \cdot \rho_{ba}$$

$$= \frac{63433918}{4470} \times \frac{15.00}{1000} = 213 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 1074 \text{ cm}^4$$

$$= 93916257 \times \frac{2148}{6618} = 30482339 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 30.0 - 0.90 = 14.10 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{30482339}{2148} \times \frac{14.10}{1000} = 200 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 30.0 - 0.90 - 0.90 = 13.20 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{30482339}{2148} \times \frac{13.20}{1000} = 187 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{226 + 213}{2} \times 9.36 \times 10^2 = 205452 \text{ N}$$

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

$$= \frac{200 + 187}{2} \times 5.76 \times 10^2 = 111456 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 205452 + 111456 = 316908 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$M 20 \quad {}_B A = 1/4 \cdot \cdot d^2 = 3.142 \text{ cm}^2 \quad 314.2 \text{ mm}^2$$

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

$$= 2 \times 314.2 \times 285 = 179094$$

$$S_2 = d \cdot t f \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧})$$

$$= 20 \times 9 \times 473 = 85140$$

$$\left. \begin{array}{l} 179094 \\ 85140 \end{array} \right\} = \underline{85140} \text{ N}$$

(最小) ${}_{f_b} S a$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{316908}{2 \times 2}$$

$$= 79227 \text{ N} < 85140 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

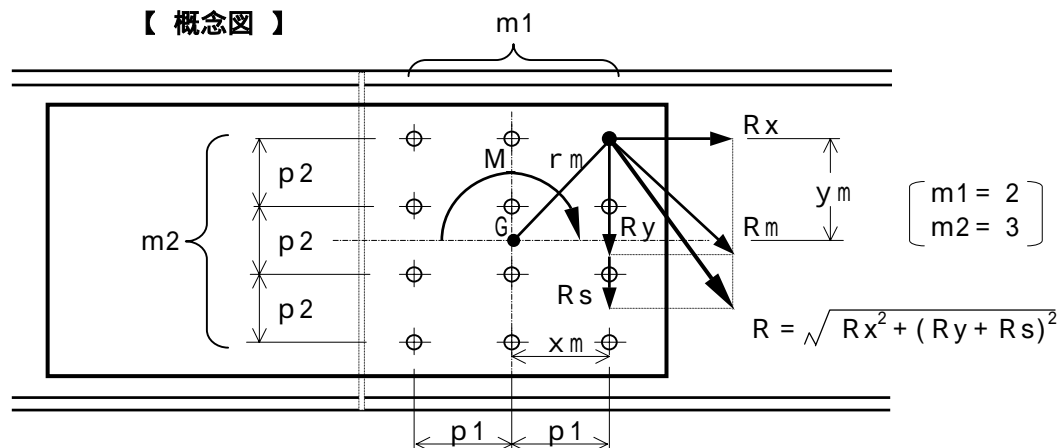
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} \\
 &= 101920000 \times \frac{564}{7182} = 8003743 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 20.00 = 10.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u \\
 &= \frac{8003743}{564} \times \frac{10.00}{1000} = 142 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 &\quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 20 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.142 \text{ cm}^2 = 314.2 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 314.2 \times 285 = 179094 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 20 \times 7 \times 473 = 61490
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \frac{61490}{\text{最小}} \text{ N} \quad \text{(最小)}_{wb} S a$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 3 \times \{ 6.50^2 \times (2^2 - 1) + 6.50^2 \times (3^2 - 1) \} \\
 &= 232 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.25 \text{ cm} \\
 y_m &= 6.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.25^2 + 6.50^2} = 7.27 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{8003743}{232} \times \frac{6.50}{10} = 22424 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{8003743}{232} \times \frac{3.25}{10} = 11212 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{8003743}{232} \times \frac{7.27}{10} \\
 &= 25081 \text{ N} < 61490 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_H &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 13.85 \text{ cm}^2 \\ &= 1385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_H \cdot A_w' \\ &= 160 \times 1385 = 221520 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 15.72 \text{ cm}^2 \\ &= 1572 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{221520}{1572} = 141 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_B &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_H &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 0.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$M20 \quad A_B = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.142 \text{ cm}^2 = 314.2 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_B \cdot \sigma_B \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 314.2 \times 285 = 179094 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_H \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 20 \times 7 \times 473 = 61490 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{61490} \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{221520}{2 \times 3} \\ &= 36920 \text{ N} < 61490 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

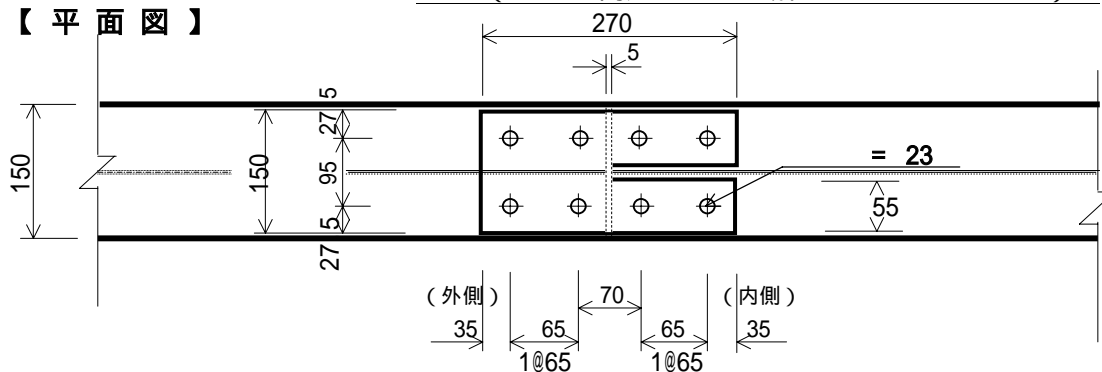
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 22424 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 11212 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 36920 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{22424^2 + (11212 + 36920)^2} \\ &= 53099 \text{ N} < 61490 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

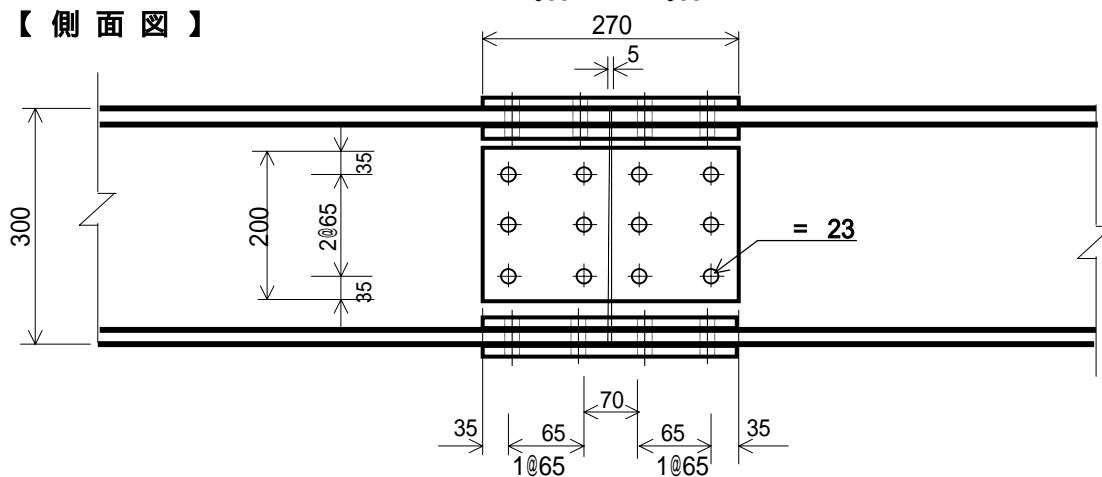
3. 計算結果

| | | | |
|-------|-------------------------------------|--|--|
| 母材 | H 3 0 0 × 1 5 0 × 6 . 5 × 9 (SM490) | | |
| フランジ部 | 添接板仕様 | 2枚: PL 9 × 150 × 270 | (SM490) |
| | | 4枚: PL 9 × 55 × 270 | (SM490) |
| ウェブ部 | 添接板仕様 | 2枚: PL 6 × 200 × 270 | (SM490) |
| | | ボルト仕様 | F10T : M20 - 12本 L = 55 mm (トリソ型高力ボルトの場合 L = 60 mm) |
| | ボルト仕様 | F10T : M20 - 12本 L = 55 mm (トリソ型高力ボルトの場合 L = 50 mm) | |

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

