

ボルト継手計算書

H 6 0 0 × 2 0 0 × 1 1 × 1 7

土木仕様

(S I 単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H600×200) 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)

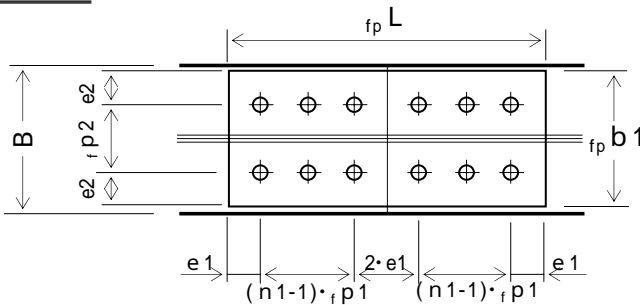
- (2) 設計母材 コード: H600-2

H形鋼: H600×200×11×17

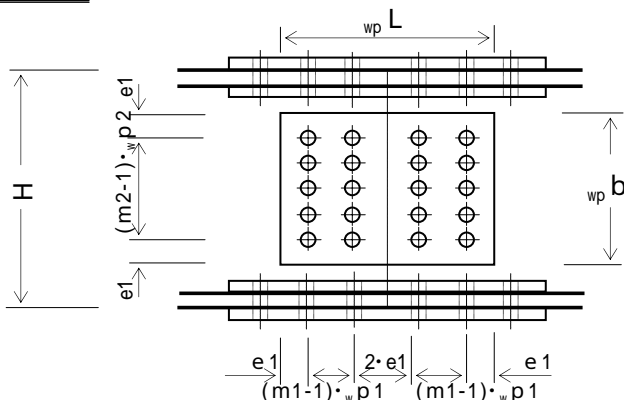
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 12 | × | 200 | × | 460 |
| 4・PL - | 16 | × | 80 | × | 460 |
| ウェブ: 2・PL - | 9 | × | 400 | × | 310 |

- (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 = | 3 | 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 = | 5 | 本 (軸横断) | |
| | 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 = | 12.0 | 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 |

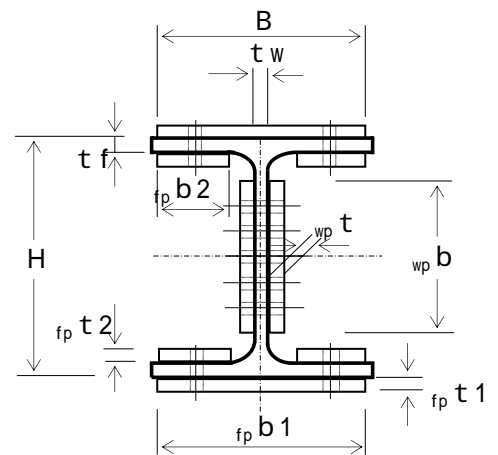
平面図



側面図



断面図

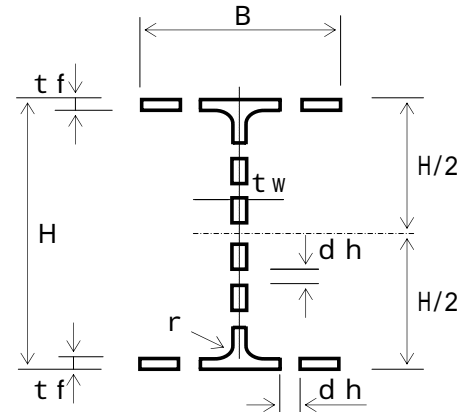


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H600×200×11×17

H形鋼の高さ	H =	60	cm
H形鋼の幅	B =	20	cm
ウェブ厚	t _w =	1.1	cm
フランジ厚	t _f =	1.7	cm
フレット	r =	1.3	cm
断面積	A =	131.70	cm ²
断面係数	Z =	2520	cm ³
断面二次モーメント	I =	75600	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 =	5	本 (軸横断)

(断面積)

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

$$= 2.50 \times 1.10 \times 5 = 13.75 \text{ cm}^2$$

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

$$= 1.10 \times (60 - 2 \times 1.70) - 13.75$$

$$= 48.51 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 1.70 \times 2 = 8.50 \text{ cm}^2$$

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

$$= 131.70 - 1.10 \times (60 - 2 \times 1.70) - 2 \times 8.50$$

$$= 52.44 \text{ cm}^2$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_W' = 52.44 + 48.51 = 100.95 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$${}_B I_f = \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 1.70^3 \times 2}{12}$$

$$= 2.047 \text{ cm}^4$$

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

$$= 8.50 \times 29.150^2 + 2.047 = 7225 \text{ cm}^4$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 7225 = 14450 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 75600 - 14450 = 61150 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{61150}{30.00} = 2038 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅	$f_p b_1 =$	20.0	cm
板厚	$f_p t_1 =$	1.20	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	8.00	cm
板厚	$f_p t_2 =$	1.60	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)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 20.00 \times 1.20 - 6.00 = 18.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned} {}_B A f_2 &= d_h \cdot f_p t_2 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 8.00 \times 1.60 - 8.00 = 17.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (18.00 + 17.60) = 71.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	40.0	cm
板厚	$w_p t =$	0.90	cm
ボルト本数	$m_2 =$	5	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 5 = 11.25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 40.00 \times 0.90 - 11.25 = 24.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 24.75 = 49.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 71.20 + 49.50 = 120.70 \text{ cm}^2 > 100.95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 = 20.00 cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	fp t1 = 1.20 cm
ウェブ	m2 = 5 本 (軸横断)	面積	pAf1 = 18.00 cm ²
		内側板幅	fp b2 = 8.00 cm
		板厚	fp t2 = 1.60 cm
		面積	pAf2 = 17.60 cm ²

(外側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b1' &= f_p b1 - dh \cdot n2 \\
 &= 20.00 - (2.50 \times 2) = 15.00 \text{ cm} \\
 p I f1 &= \frac{f_p b1' \cdot f_p t1^3}{12} = \frac{15.00 \times 1.20^3}{12} = 2.160 \text{ cm}^4 \\
 p I f1 &= p A f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t1)^2 + p I f1 \\
 &= 18.000 \times 30.600^2 + 2.160 = 16857 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b2' &= 2 \cdot f_p b2 - dh \cdot n2 \\
 &= 2 \times 8.00 - (2.50 \times 2) = 11.00 \text{ cm} \\
 p I f2 &= \frac{f_p b2' \cdot f_p t2^3}{12} = \frac{11.00 \times 1.60^3}{12} = 3.755 \text{ cm}^4 \\
 p I f2 &= p A f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot f_p t2)^2 + p I f2 \\
 &= 17.600 \times 27.500^2 + 3.755 = 13314 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f1 + p I f2) = 2 \times (16857 + 13314) = 60342 \text{ cm}^4$$

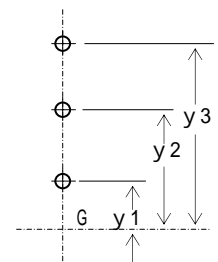
2) ウェブ添接板

板幅	wp b = 40.00 cm
板厚	wp t = 0.90 cm
ボルト間隔	w p2 = 8.0 cm

$$p I W1 = \frac{w p t \cdot w p b^3}{12} = \frac{0.900 \times 40.00^3}{12} = 4800 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 320.00 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 p I W1 &= dh \cdot w p t \cdot 2 y + m2 \cdot \frac{w p t \cdot (dh)^3}{12} \\
 &= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 320 + 5 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12} \\
 &= 1446 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



(ウェブ合計)

$$p I W = 2 \cdot (p I W1 - p I W1) = 2 \times (4800 - 1446) = 6708 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned}
 p I &= p I f + p I W \quad I' \\
 &= 60342 + 6708 = 67050 \text{ cm}^4 > 61150 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

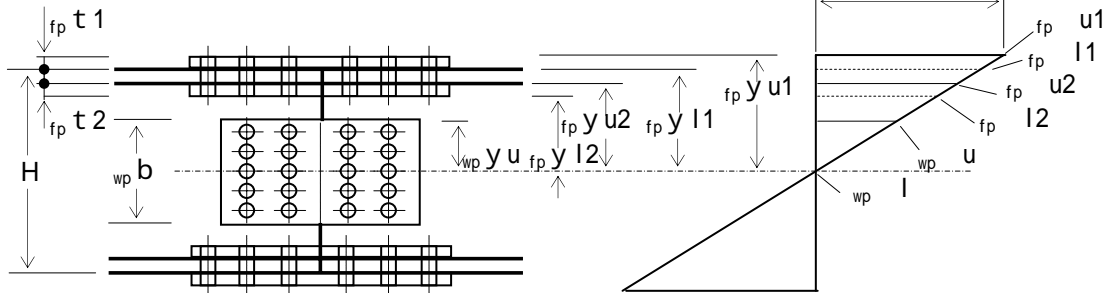
1) H形鋼 1 本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 2038 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 2038 \times 10^3 = 427980000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$p I = 67050 \text{ cm}^4$
 $p I f = 60342 \text{ cm}^4$

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

$$= 427980000 \times \frac{60342}{67050} = 385162851 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_p M_{f1} = {}_p M_f \cdot \frac{2 \cdot p I f_1}{p I f} \quad p I f_1 = 16857 \text{ cm}^4$$

$$= 385162851 \times \frac{33714}{60342} = 215196387 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y_{u1} = 1/2 \cdot H + f_p t_1 = 1/2 \times 60.0 + 1.20 = 31.20 \text{ cm}$$

$$f_p u_1 = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot p I f_1} \cdot f_p y_{u1} \quad p_{ba}$$

$$= \frac{215196387}{2 \times 16857} \times \frac{31.20}{1000} = 199 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y_{l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 60.0 = 30.00 \text{ cm}$$

$$f_p l_1 = \frac{{}_p M_{f1}}{2 \cdot p I f_1} \cdot f_p y_{l1} \quad p_{ba}$$

$$= \frac{215196387}{33714} \times \frac{30.00}{1000} = 191 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 13314 \text{ cm}^4$$

$$= 385162851 \times \frac{26628}{60342} = 169966464 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y_{u2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 60.0 - 1.70 = 28.30 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{169966464}{26628} \times \frac{28.30}{1000} = 181 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 60.0 - 1.70 - 1.60 = 26.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{169966464}{26628} \times \frac{26.70}{1000} = 170 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

$${}_p T f_1 = \frac{{}_{fp} \sigma_{u1} + {}_{fp} \sigma_{l1}}{2} \cdot {}_p A f_1$$

$$= \frac{199 + 191}{2} \times 18.00 \times 10^2 = 351000 \text{ N}$$

$${}_p T f_2 = \frac{{}_{fp} \sigma_{u2} + {}_{fp} \sigma_{l2}}{2} \cdot {}_p A f_2$$

$$= \frac{181 + 170}{2} \times 17.60 \times 10^2 = 308880 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 351000 + 308880 = 659880 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 17 \times 355 = 132770$$

$$= 132770 \text{ N}$$

(最小) $f_b S_a$

$$Q_f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{659880}{3 \times 2}$$

$$= 109980 \text{ N} < 132770 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

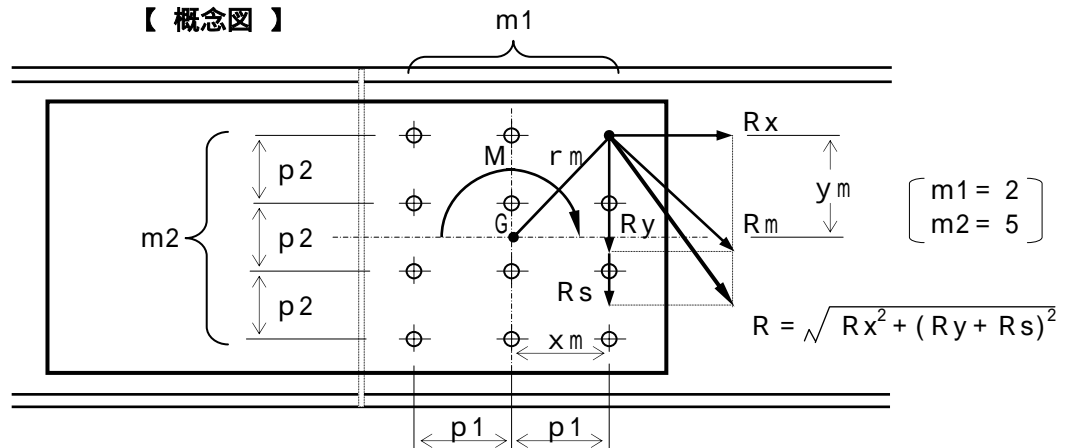
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_w &= M_r \cdot \frac{{}_p I_w}{{}_p I} & {}_p I &= 67050 \text{ cm}^4 \\
 &= 427980000 \times \frac{6708}{67050} = 42817149 \text{ N}\cdot\text{mm} & {}_p I_w &= 6708 \text{ cm}^4 \\
 {}_w y_u &= 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 40.00 = 20.00 \text{ cm} \\
 {}_w u &= \frac{{}_p M_w}{{}_p I_w} \cdot {}_w y_u & & \\
 &= \frac{42817149}{6708} \times \frac{20.00}{1000} = 128 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 11 \times 355 = 85910
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \underline{85910 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 5 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 8.00^2 \times (5^2 - 1) \} \\
 &= 1421 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 16.00 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 16.00^2} = 16.43 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{42817149}{1421} \times \frac{16.00}{10} = 48211 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{42817149}{1421} \times \frac{3.75}{10} = 11299 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{42817149}{1421} \times \frac{16.43}{10} \\
 &= 49506 \text{ N} < 85910 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼1本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 48.51 \text{ cm}^2 \\ &= 4851 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 4851 = 582120 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 49.50 \text{ cm}^2 \\ &= 4950 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{582120}{4950} = 118 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.1 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 11 \times 355 = 85910 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{85910 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{582120}{2 \times 5} \\ &= 58212 \text{ N} < 85910 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

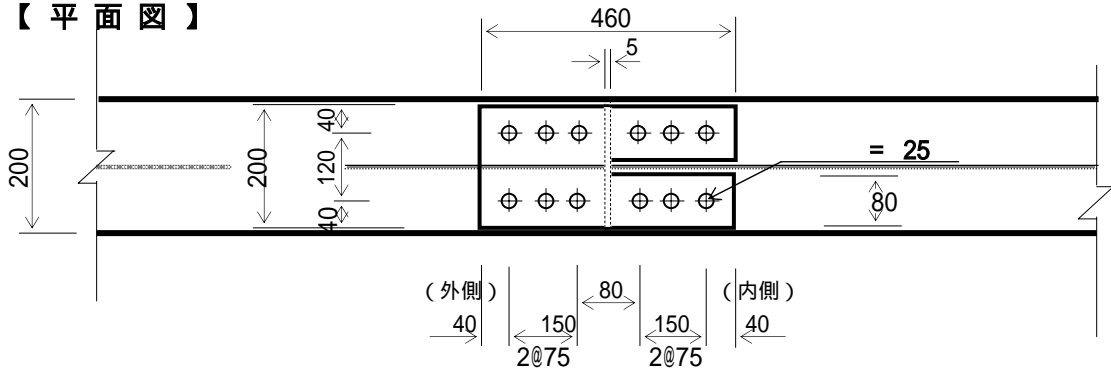
$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 48211 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 11299 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 58212 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{48211^2 + (11299 + 58212)^2} \\ &= 84594 \text{ N} < 85910 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

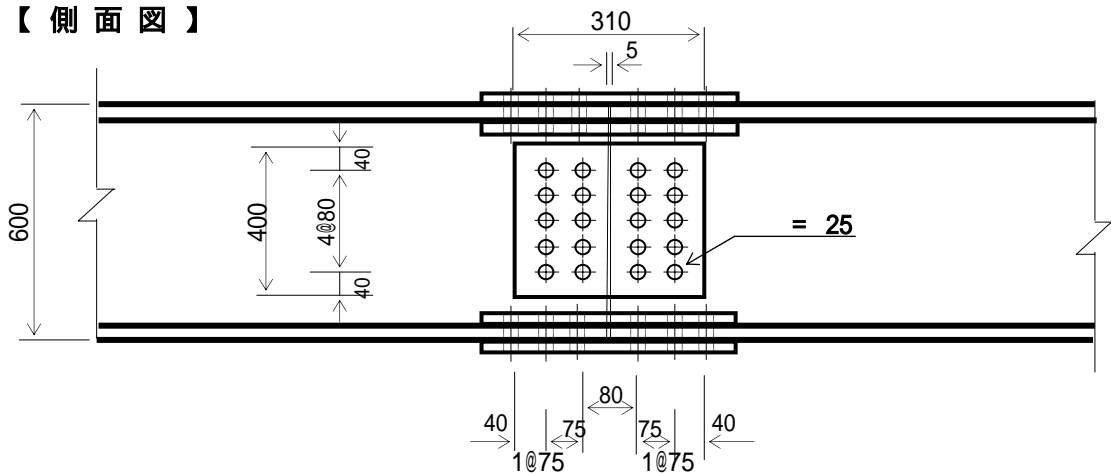
3. 計算結果

母材	H 600 × 200 × 11 × 17		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 12 × 200 × 460	
		4枚: PL 16 × 80 × 460	
ウェブ部	添接板仕様	2枚: PL 9 × 400 × 310	
	ボルト仕様	F10T: M22 - 24本	L = 85 mm
		(トルネ型高力ボルトの場合)	L = 80 mm
	ボルト仕様	F10T: M22 - 20本	L = 70 mm
		(トルネ型高力ボルトの場合)	L = 65 mm

【平面図】



【側面図】



【断面図】

