

ボルト継手計算書

H700×300×13×24

土木仕様

(SI単位)

ヒロセ株式会社

ボルト継手 (H700×300) 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	$a =_H$	$a =$	120 N/mm ²
H形鋼の許容支圧応力度 _H	$a =_H$	$a =$	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	$a =_P$	$a =$	120 N/mm ²
添接板の許容支圧応力度 _P	$a =_P$	$a =$	355 N/mm ² (SS400)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =_B$	$a =$	285 N/mm ² (F10T)

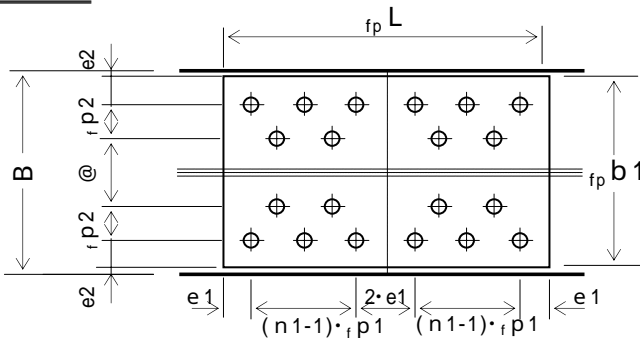
- (2) 設計母材 コード: H700

H形鋼: H700×300×13×24

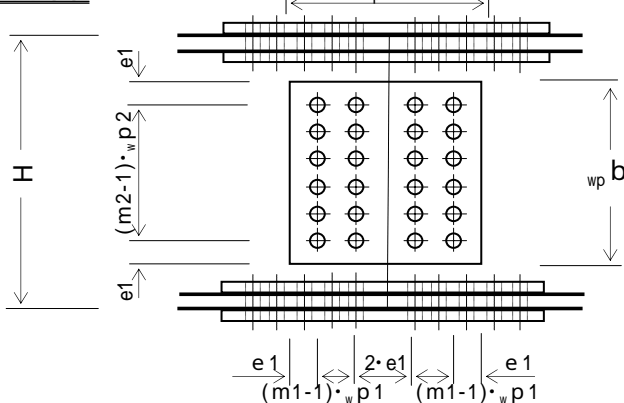
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|-----|
| フランジ: 2・PL - | 16 | × | 300 | × | 680 |
| 4・PL - | 19 | × | 120 | × | 680 |
| ウェブ: 2・PL - | 9 | × | 530 | × | 310 |

- (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 $n1 =$ | 5 | 本 (軸方向) | $n2 =$ 2 本 (軸横断) |
| ウェブのボルト本数 $m1 =$ | 2 | 本 (軸方向) | $m2 =$ 6 本 (軸横断) |
| 縁端距離 (応力方向) | $e1 =$ | 4.0 | cm |
| 縁端距離 (その他) | $e2 =$ | 4.0 | cm |

平面図

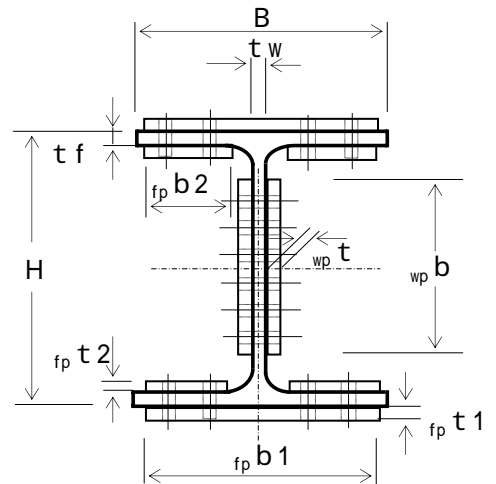


側面図



- フランジボルトの軸方向間隔
 $f_p p1 =$ 6.5 cm
 フランジボルトの横断方向間隔
 $f_p p2 =$ 4.0 cm
 ウェブボルトの軸方向間隔
 $w_p p1 =$ 7.5 cm
 ウェブボルトの横断方向間隔
 $w_p p2 =$ 9.0 cm

断面図

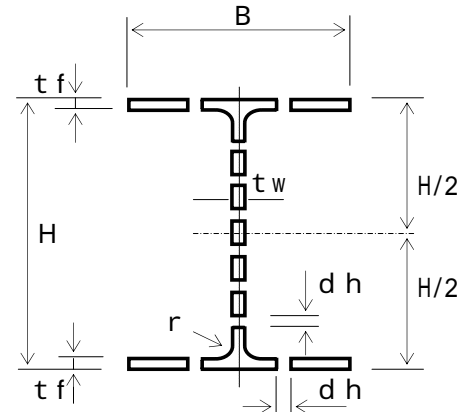


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H700×300×13×24

H形鋼の高さ	H =	70	cm
H形鋼の幅	B =	30	cm
ウェブ厚	t _w =	1.3	cm
フランジ厚	t _f =	2.4	cm
フィレット	r =	1.8	cm
断面積	A =	231.50	cm ²
断面係数	Z =	5640	cm ³
断面二次モーメント	I =	197000	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 =	6	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.30 \times 6 = 19.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.30 \times (70 - 2 \times 2.40) - 19.50 \\ &= 65.26 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.40 \times 2 = 12.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 231.50 - 1.30 \times (70 - 2 \times 2.40) - 2 \times 12.00 \\ &= 122.74 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 122.74 + 65.26 = 188.00 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 2.40^3 \times 2}{12} \\ &= 5.760 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 12.000 \times 33.800^2 + 5.760 = 13715 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 13715 = 27430 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 197000 - 27430 = 169570 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{169570}{35.00} = 4845 \text{ cm}^3$$

(2) 添接板の断面積の計算

1) フランジ添接板

外側板幅 $f_p b_1 = 30.0$ cm
板厚 $f_p t_1 = 1.60$ cm
内側板幅 $f_p b_2 = 12.00$ cm
板厚 $f_p t_2 = 1.90$ cm
ボルト孔径 $dh = 2.50$ cm
ボルト本数 $n_2 = 2$ 本 (軸横断)

(外側添接板)

$$\begin{aligned} B A f_1 &= dh \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - B A f_1 \\ &= 30.00 \times 1.60 - 8.00 = 40.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

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

$$\begin{aligned} P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - B A f_2 \\ &= 2 \times 12.00 \times 1.90 - 9.50 = 36.10 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} P A f &= 2 \cdot (P A f_1 + P A f_2) \\ &= 2 \times (40.00 + 36.10) = 152.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板

板幅 $w_p b = 53.0$ cm
板厚 $w_p t = 0.90$ cm
ボルト本数 $m_2 = 6$ 本 (軸横断)

$$\begin{aligned} B A W &= dh \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 0.90 \times 6 = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - B A W \\ &= 53.00 \times 0.90 - 13.50 = 34.20 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} P A W &= 2 \cdot P A W_1 \\ &= 2 \times 34.20 = 68.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

3) 断面積

$$\begin{aligned} P A &= P A f + P A W \quad A' \\ &= 152.20 + 68.40 = 220.60 \text{ cm}^2 > 188.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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 = 2.50 cm	外側板幅	fp b1 = 30.00 cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	fp t1 = 1.60 cm
ウェブ	m2 = 6 本 (軸横断)	面積	pAf1 = 40.00 cm ²
		内側板幅	fp b2 = 12.00 cm
		板厚	fp t2 = 1.90 cm
		面積	pAf2 = 36.10 cm ²

(外側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b_{1'} &= f_p b_1 - dh \cdot n_2 \\
 &= 30.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm} \\
 p I_{f1} &= \frac{f_p b_{1'} \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{25.00 \times 1.60^3}{12} = 8.533 \text{ cm}^4 \\
 p I_{f1} &= p A_{f1} \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I_{f1} \\
 &= 40.000 \times 35.800^2 + 8.533 = 51274 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(内側添接板)

$$\begin{aligned}
 f_p b_{2'} &= 2 \cdot f_p b_2 - dh \cdot n_2 \\
 &= 2 \times 12.00 - (2.50 \times 2) = 19.00 \text{ cm} \\
 p I_{f2} &= \frac{f_p b_{2'} \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{19.00 \times 1.90^3}{12} = 10.860 \text{ cm}^4 \\
 p I_{f2} &= p A_{f2} \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I_{f2} \\
 &= 36.100 \times 31.650^2 + 10.860 = 36173 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$p I_f = 2 \cdot (p I_{f1} + p I_{f2}) = 2 \times (51274 + 36173) = 174894 \text{ cm}^4$$

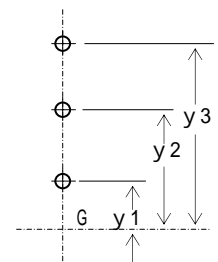
2) ウェブ添接板

板幅	wp b = 53.00 cm
板厚	wp t = 0.90 cm
ボルト間隔	w p2 = 9.0 cm

$$p I_{W1} = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{0.900 \times 53.00^3}{12} = 11166 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 708.75 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 p I_{W1} &= dh \cdot w_p t \cdot 2 \cdot y + m_2 \cdot \frac{w_p t \cdot (dh)^3}{12} \\
 &= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 708.75 + 6 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12} \\
 &= 3196 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



(ウェブ合計)

$$p I_W = 2 \cdot (p I_{W1} - p I_{W1}) = 2 \times (11166 - 3196) = 15940 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned}
 p I &= p I_f + p I_W \quad I' \\
 &= 174894 + 15940 = 190834 \text{ cm}^4 > 169570 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

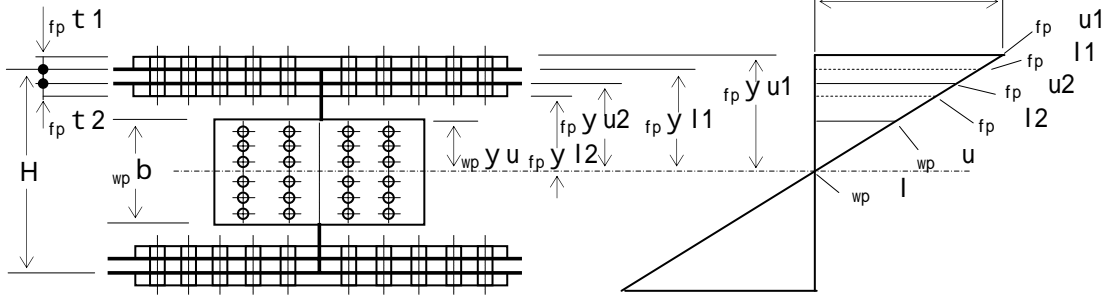
1) H形鋼 1 本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $H_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$
 断面係数 $Z' = 4845 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 4845 \times 10^3 = 1017450000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$pI = 190834 \text{ cm}^4$
 $pIf = 174894 \text{ cm}^4$

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

$$= 1017450000 \times \frac{174894}{190834} = 932464342 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_pMf1 = {}_pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf} \quad pIf1 = 51274 \text{ cm}^4$$

$$= 932464342 \times \frac{102548}{174894} = 546744619 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u1} = 1/2 \cdot H + f_p t1 = 1/2 \times 70.0 + 1.60 = 36.60 \text{ cm}$$

$$f_p u1 = \frac{{}_pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot f_{p y u1} \quad pba$$

$$= \frac{546744619}{2 \times 51274} \times \frac{36.60}{1000} = 195 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_{p y l1} = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 70.0 = 35.00 \text{ cm}$$

$$f_p l1 = \frac{{}_pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot f_{p y l1} \quad pba$$

$$= \frac{546744619}{102548} \times \frac{35.00}{1000} = 187 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 36173 \text{ cm}^4$$

$$= 932464342 \times \frac{72346}{174894} = 385719723 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y_{u2} = 1/2 \cdot H - t_f = 1/2 \times 70.0 - 2.40 = 32.60 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{385719723}{72346} \times \frac{32.60}{1000} = 174 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 70.0 - 2.40 - 1.90 = 30.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{385719723}{72346} \times \frac{30.70}{1000} = 164 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{195 + 187}{2} \times 40.00 \times 10^2 = 764000 \text{ N}$$

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

$$= \frac{174 + 164}{2} \times 36.10 \times 10^2 = 610090 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 764000 + 610090 = 1374090 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 24 \times 355 = 187440$$

$$= 187440 \text{ N}$$

(最小) $f_b S_a$

$$Q_f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1374090}{5 \times 2}$$

$$= 137409 \text{ N} < 187440 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

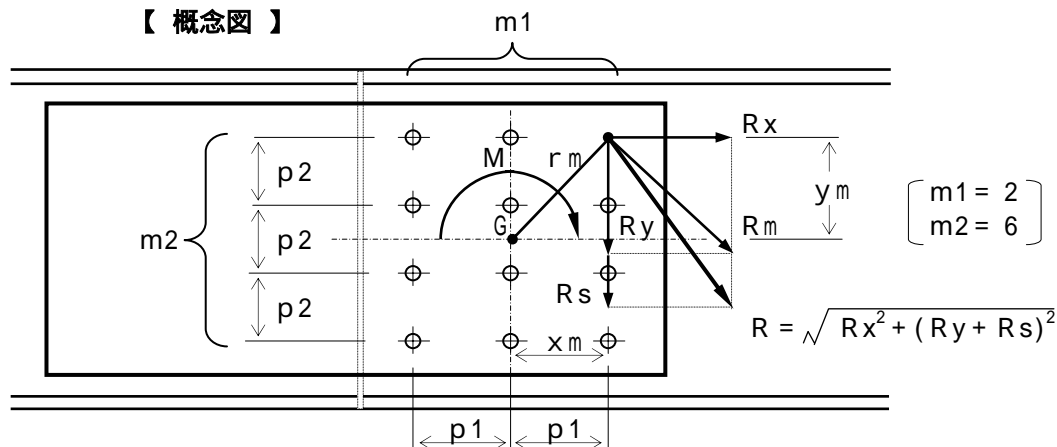
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_w &= M_r \cdot \frac{{}_p I_w}{{}_p I} & {}_p I &= 190834 \text{ cm}^4 \\
 &= 1017450000 \times \frac{15940}{190834} = 84985658 \text{ N}\cdot\text{mm} & {}_p I_w &= 15940 \text{ cm}^4 \\
 {}_w y_u &= 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 53.00 = 26.50 \text{ cm} \\
 {}_w u &= \frac{{}_p M_w}{{}_p I_w} \cdot {}_w y_u & & \\
 &= \frac{84985658}{15940} \times \frac{26.50}{1000} = 141 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2 \\
 & & & \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 13 \times 355 = 101530 \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} S1 \\ S2 \end{matrix}} \right\} = \underline{101530 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a
 \end{aligned}$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 6 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 9.00^2 \times (6^2 - 1) \} \\
 &= 3004 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 22.50 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 22.50^2} = 22.81 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{84985658}{3004} \times \frac{22.50}{10} = 63654 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{84985658}{3004} \times \frac{3.75}{10} = 10609 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{84985658}{3004} \times \frac{22.81}{10} \\
 &= 64531 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼1本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 65.26 \text{ cm}^2 \\ &= 6526 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 6526 = 783120 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 68.40 \text{ cm}^2 \\ &= 6840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{783120}{6840} = 114 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 13 \times 355 = 101530 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = 101530 \text{ N} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m1 \cdot m2} = \frac{783120}{2 \times 6} \\ &= 65260 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

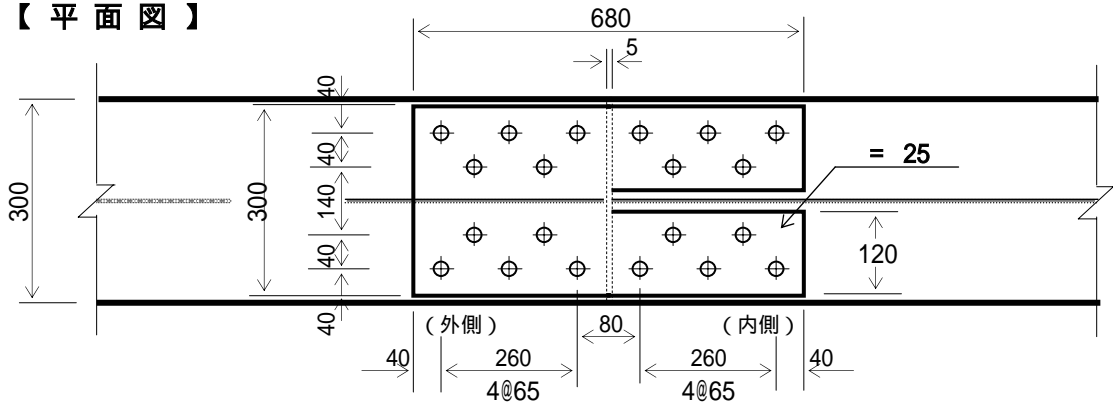
$$\begin{aligned} &(\text{最外端ボルトの応力}) \\ \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 63654 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 10609 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 65260 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{63654^2 + (10609 + 65260)^2} \\ &= 99035 \text{ N} < 101530 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

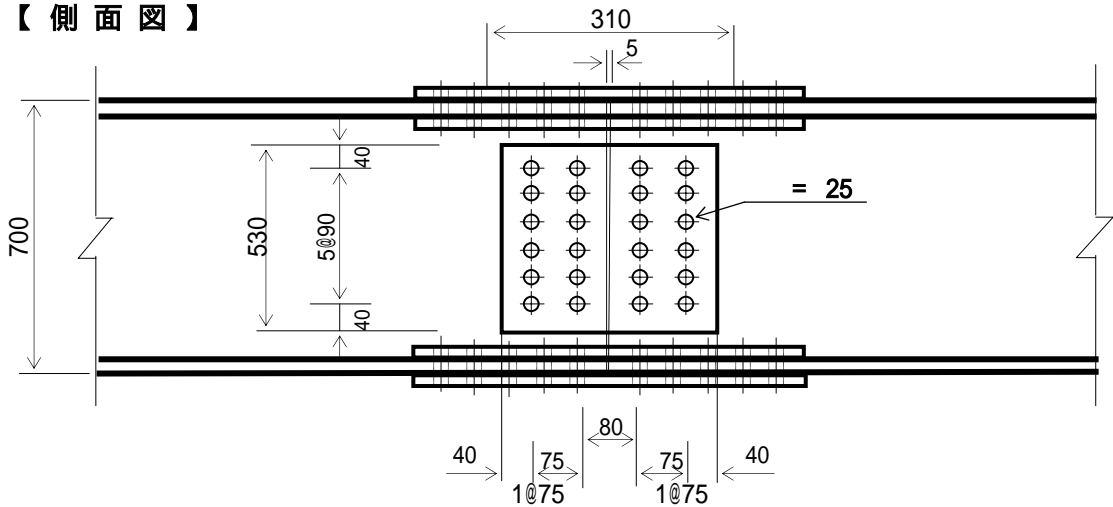
3. 計算結果

母材	H700 × 300 × 13 × 24		
フランジ部	添接板仕様	2枚: PL 16 × 300 × 680	
		4枚: PL 19 × 120 × 680	
ウェブ部	添接板仕様	2枚: PL 9 × 530 × 310	
	ボルト仕様	F10T: M22 - 40本	L = 100 mm
		(トルシヤ型高力ボルトの場合)	L = 95 mm
	ボルト仕様	F10T: M22 - 24本	L = 75 mm
		(トルシヤ型高力ボルトの場合)	L = 70 mm

【平面図】



【側面図】



【断面図】

