

# ボルト継手計算書

H 9 1 2 × 3 0 2 × 1 8 × 3 4

土木仕様

( S I 単位 )

ヒロセ株式会社

# ボルト継手 (H 912 × 302) 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 <sup>2</sup> (SS400)
H形鋼の許容せん断応力度	$H \quad a =$	120	N/mm <sup>2</sup>
H形鋼の許容支圧応力度	$H \quad a =$	355	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
添接板の許容曲げ・引張応力度	$P \quad ba = P \quad ta =$	210	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
添接板の許容せん断応力度	$P \quad a =$	120	N/mm <sup>2</sup>
添接板の許容支圧応力度	$P \quad a =$	355	N/mm <sup>2</sup> (SS400)
ボルトの許容せん断応力度	$B \quad a =$	285	N/mm <sup>2</sup> (F10T)

## (2) 設計母材

JIS: H912

**H形鋼: H 912 × 302 × 18 × 34**

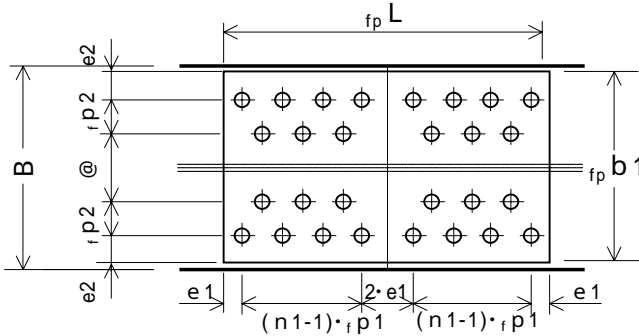
## (3) 添接板

	フランジ:	2 · PL - 22	×	300	×	940
		4 · PL - 25	×	120	×	940
	ウェブ:	2 · PL - 16	×	680	×	310

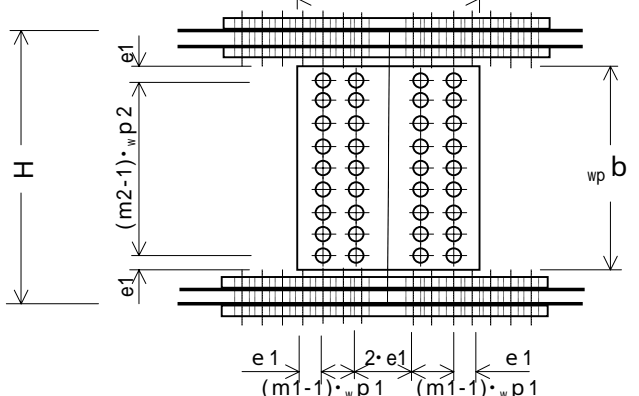
## (4) ボルト

ボルト直径 (M22)	$d =$	2.20	cm
ボルト孔径 ( $d + 3\text{mm}$ )	$dh =$	2.50	cm
フランジのボルト本数	$n1 =$	7	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) $m2 =$ 9 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
			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

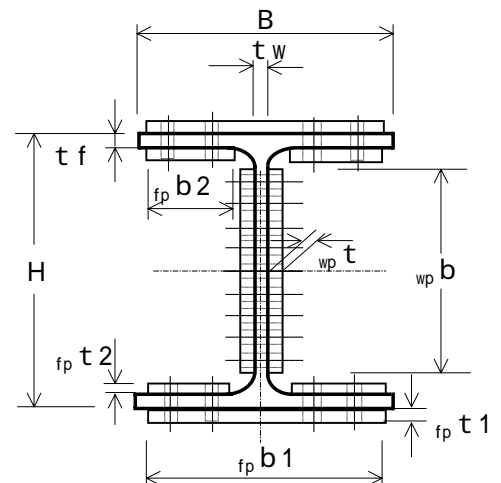
**平面図**



**側面図**



**断面図**

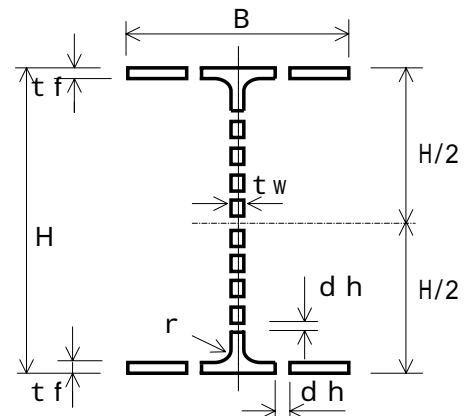


## 2. 継手部の設計

### (1) 母材の断面性能計算

#### 1) 母材 H 912 × 302 × 18 × 34

H 形 鋼 の 高 さ	H =	91.2	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	30.2	cm
ウ エ ブ 厚	t <sub>w</sub> =	1.8	cm
フ ラ ン ジ 厚	t <sub>f</sub> =	3.4	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.8	cm
断 面 積	A =	360.10	cm <sup>2</sup>
断 面 係 数	Z =	10800	cm <sup>3</sup>
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	491000	cm <sup>4</sup>



#### 2) ボルト穴を控除した断面性能

ボルト孔径	d <sub>h</sub> =	2.50	cm
フランジボルトの本数	n <sub>2</sub> =	2	本 (軸横断)
ウェブボルトの本数	m <sub>2</sub> =	9	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.80 \times 9 = 40.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.80 \times (91.2 - 2 \times 3.40) - 40.50 \\ &= 111.42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 3.40 \times 2 = 17.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 360.10 - 1.80 \times (91.2 - 2 \times 3.40) \\ &\quad - 2 \times 17.00 \\ &= 174.18 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 174.18 + 111.42 = 285.60 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 3.40^3 \times 2}{12} \\ &= 16.377 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 17.000 \times 43.900^2 + 16.377 = 32779 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 32779 = 65558 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 491000 - 65558 = 425442 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{425442}{45.60} = 9330 \text{ cm}^3$$

## (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	$f_p t_1 =$	2.20	cm
内側板幅	$f_p b_2 =$	12.00	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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.20 \times 2 = 11.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 30.00 \times 2.20 - 11.00 = 55.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(内側添接板)

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

$$\begin{aligned} {}_P A f_2 &= 2 \cdot f_p b_2 \cdot f_p t_2 - {}_B A f_2 \\ &= 2 \times 12.00 \times 2.50 - 12.50 = 47.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(フランジ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (55.00 + 47.50) = 205.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

### 2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b =$	68.0	cm
板厚	$w_p t =$	1.60	cm
ボルト本数	$m_2 =$	9	本 (軸横断)

$$\begin{aligned} {}_B A W &= d_h \cdot w_p t \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.60 \times 9 = 36.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A W_1 &= w_p b \cdot w_p t - {}_B A W \\ &= 68.00 \times 1.60 - 36.00 = 72.80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(ウェブ合計)

$$\begin{aligned} {}_P A W &= 2 \cdot {}_P A W_1 \\ &= 2 \times 72.80 = 145.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

### 3) 断面積

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 205.00 + 145.60 = 350.60 \text{ cm}^2 > 285.60 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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  $m2 = 9$  本 (軸横断)

外側板幅  $fp b1 = 30.00$  cm  
 板厚  $fp t1 = 2.20$  cm  
 面積  $pA f1 = 55.00$  cm<sup>2</sup>  
 内側板幅  $fp b2 = 12.00$  cm  
 板厚  $fp t2 = 2.50$  cm  
 面積  $pA f2 = 47.50$  cm<sup>2</sup>

(外側添接板)

$$fp b1' = fp b1 - dh \cdot n2 = 30.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm}$$

$$pI f1 = \frac{fp b1' \cdot fp t1^3}{12} = \frac{25.00 \times 2.20^3}{12} = 22.183 \text{ cm}^4$$

$$pI f1 = pA f1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot fp t1)^2 + pI f1 = 55.000 \times 46.700^2 + 22.183 = 119971 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$fp b2' = 2 \cdot fp b2 - dh \cdot n2 = 2 \times 12.00 - (2.50 \times 2) = 19.00 \text{ cm}$$

$$pI f2 = \frac{fp b2' \cdot fp t2^3}{12} = \frac{19.00 \times 2.50^3}{12} = 24.740 \text{ cm}^4$$

$$pI f2 = pA f2 \cdot (1/2 \cdot H - t f - 1/2 \cdot fp t2)^2 + pI f2 = 47.500 \times 40.950^2 + 24.740 = 79678 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$pI f = 2 \cdot (pI f1 + pI f2) = 2 \times (119971 + 79678) = 399298 \text{ cm}^4$$

#### 2) ウェブ添接板

板幅  $wp b = 68.00$  cm  
 板厚  $wp t = 1.60$  cm  
 ボルト間隔  $wp p2 = 7.5$  cm

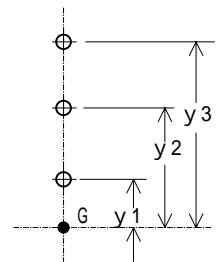
$$pI w1 = \frac{wp t \cdot wp b^3}{12} = \frac{1.600 \times 68.00^3}{12} = 41924 \text{ cm}^4$$

$$y = y1^2 + y2^2 + y3^2 + \dots = 1687.50 \text{ cm}^2$$

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

$$= 2.50 \times 1.60 \times 2 \times 1687.50 + 9 \times \frac{1.60 \times 2.50^3}{12}$$

$$= 13519 \text{ cm}^4$$



(ウェブ合計)

$$pI w = 2 \cdot (pI w1 - pI w1) = 2 \times (41924 - 13519) = 56810 \text{ cm}^4$$

#### 3) 断面二次モーメント

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

$$= 399298 + 56810 = 456108 \text{ cm}^4 > 425442 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(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

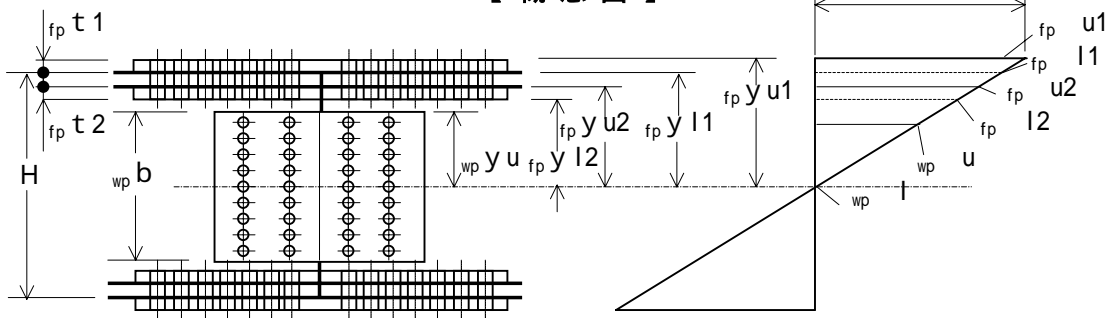
許容曲げ応力度  $\sigma_{ba} = 210 \text{ N/mm}^2$

断面係数  $Z' = 9330 \text{ cm}^3$

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

$$= 210 \times 9330 \times 10^3 = 1959300000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\rho I = 456108 \text{ cm}^4$

$\rho I f = 399298 \text{ cm}^4$

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

$$= 1959300000 \times \frac{399298}{456108} = 1715261674 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$${}_p M f 1 = {}_p M f \cdot \frac{2 \cdot \rho I f 1}{\rho I f} \quad \rho I f 1 = 119971 \text{ cm}^4$$

$$= 1715261674 \times \frac{239942}{399298} = 1030717200 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_p y u 1 = 1/2 \cdot H + f_p t 1 = 1/2 \times 91.2 + 2.20 = 47.80 \text{ cm}$$

$$f_p u 1 = \frac{{}_p M f 1}{2 \cdot \rho I f 1} \cdot f_p y u 1 \cdot \rho ba$$

$$= \frac{1030717200}{2 \times 119971} \times \frac{47.80}{1000} = 205 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$f_p y l 1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 91.2 = 45.60 \text{ cm}$$

$$f_p l 1 = \frac{{}_p M f 1}{2 \cdot \rho I f 1} \cdot f_p y l 1 \cdot \rho ba$$

$$= \frac{1030717200}{239942} \times \frac{45.60}{1000} = 196 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

$${}_p I f_2 = 79678 \text{ cm}^4$$

$$= 1715261674 \times \frac{159356}{399298} = 684544474 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_{fp} y u_2 = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 91.2 - 3.40 = 42.20 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{684544474}{159356} \times \frac{42.20}{1000} = 181 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 91.2 - 3.40 - 2.50 = 39.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{684544474}{159356} \times \frac{39.70}{1000} = 171 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{205 + 196}{2} \times 55.00 \times 10^2 = 1102750 \text{ N}$$

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

$$= \frac{181 + 171}{2} \times 47.50 \times 10^2 = 836000 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 1102750 + 836000 = 1938750 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 34 \times 355 = 265540$$

} = 216657 N  
(最小)  ${}_{fb} S a$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{1938750}{7 \times 2}$$

$$= 138482 \text{ N} < 216657 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

### 3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$${}_p I = 456108 \text{ cm}^4$$

$${}_p I_w = 56810 \text{ cm}^4$$

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

$$= 1959300000 \times \frac{56810}{456108} = 244038326 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$${}_w y_u = 1/2 \cdot {}_w b = 1/2 \times 68.00 = 34.00 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{244038326}{56810} \times \frac{34.00}{1000} = 146 \text{ N/mm}^2 < 210 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

M 22

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

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

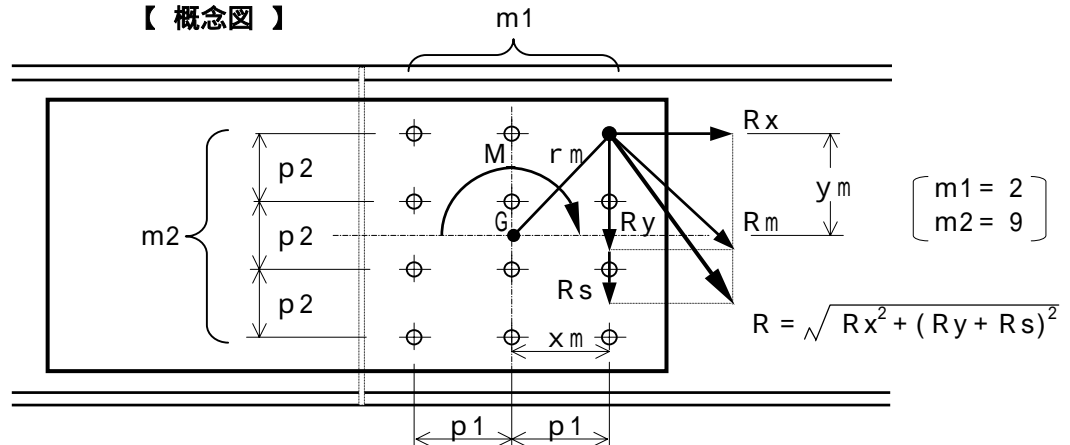
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

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

$$= 22 \times 18 \times 355 = 140580$$

$$\left. \begin{array}{l} 216657 \\ 140580 \end{array} \right\} = \underline{140580 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

【 概念図 】



$$I_p = 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {}_w p1^2 (m1^2 - 1) + {}_w p2^2 (m2^2 - 1) \}$$

$$= 1/12 \times 2 \times 9 \times \left\{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (9^2 - 1) \right\}$$

$$= 7003 \text{ cm}^2$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$x_m = 3.75 \text{ cm}$$

$$y_m = 30.00 \text{ cm}$$

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 30.00^2} = 30.23 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times y_m = \frac{244038326}{7003} \times \frac{30.00}{10} = 104543 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times x_m = \frac{244038326}{7003} \times \frac{3.75}{10} = 13068 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{{}_p M_w}{I_p} \times r_m = \frac{244038326}{7003} \times \frac{30.23}{10} = 105345 \text{ N} < 140580 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$



### (5) せん断力の計算

#### 1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 120 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 111.42 \text{ cm}^2 \\ &= 11142 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 120 \times 11142 = 1337040 \text{ N} \end{aligned}$$

#### 2) ウェブ添接板の応力度

$$\begin{aligned} \text{添接板断面積 } A_p &= 145.60 \text{ cm}^2 \\ &= 14560 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{1337040}{14560} = 92 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

#### 3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 355 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 18 \times 355 = 140580 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{140580 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{1337040}{2 \times 9} \\ &= 74280 \text{ N} < 140580 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

#### (6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

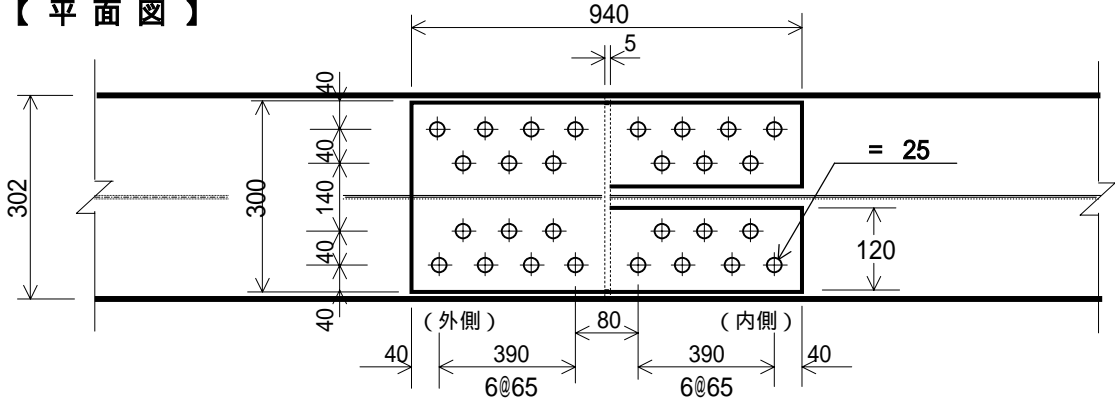
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 104543 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 13068 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 74280 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{104543^2 + (13068 + 74280)^2} \\ &= 136231 \text{ N} < 140580 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

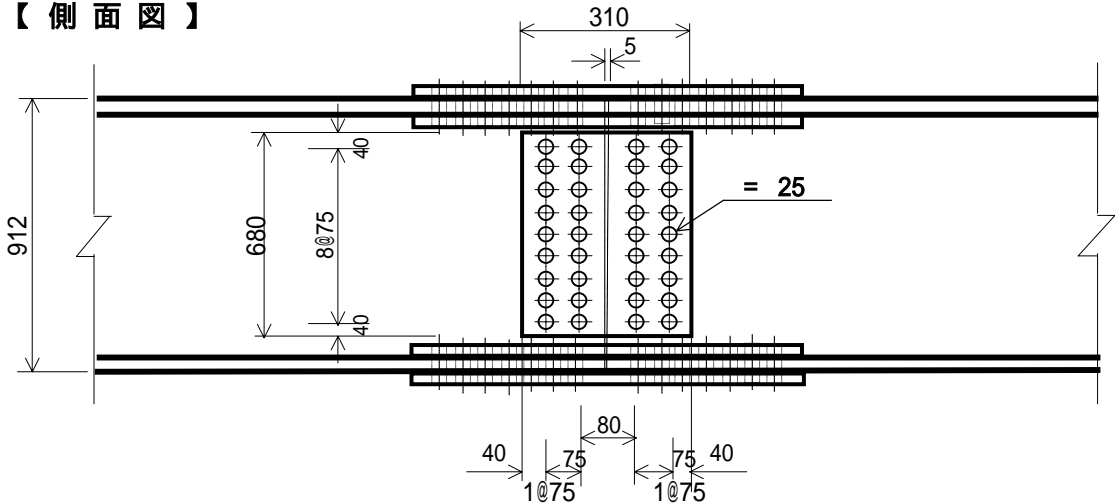
### 3. 計算結果

母 材	H 9 1 2 × 3 0 2 × 1 8 × 3 4		
フランジ部	添接板仕様	2 枚 : PL 22 × 300 × 940	
		4 枚 : PL 25 × 120 × 940	
ボルト仕様	F10T : M22 - 56本	L = 125 mm	
	( トリツ型高力ボルトの場合 )		L = 120 mm )
ウェブ部	添接板仕様	2 枚 : PL 16 × 680 × 310	
	ボルト仕様	F10T : M22 - 36本	L = 90 mm
	( トリツ型高力ボルトの場合 )		L = 85 mm )

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

