

ボルト継手計算書

H 9 1 8 × 3 0 3 × 1 9 × 3 7

(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 918 × 303) 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。)
 (鋼材コト) SM490-D (ボルトコト) 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
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	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
添接板の許容支圧応力度(315×係数)	$a =$	473	N/mm ² (SM490)
ボルトの許容せん断応力度 _B	$a =$	285	N/mm ² (F10T)

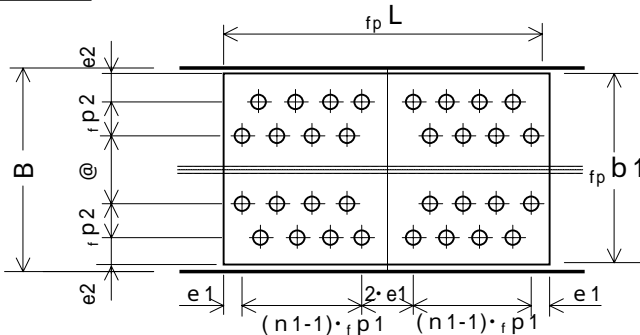
- (2) 設計母材 コト: H918

H形鋼: H 918 × 303 × 19 × 37

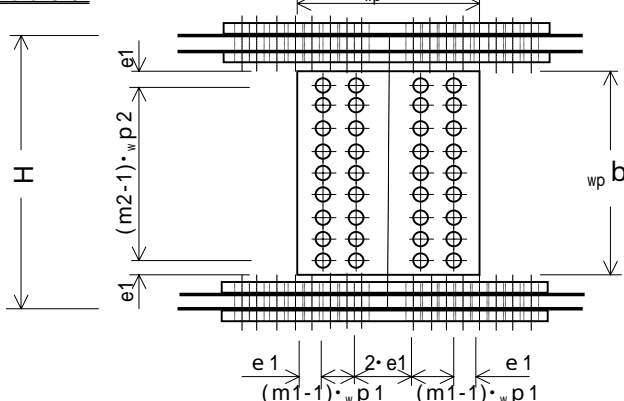
- (3) 添接板
- | | | | | | |
|--------------|----|---|-----|---|------|
| フランジ: 2・PL - | 25 | × | 300 | × | 1070 |
| 4・PL - | 25 | × | 120 | × | 1070 |
| ウェブ: 2・PL - | 16 | × | 680 | × | 310 |

- (4) ボルト
- | | | | |
|----------------|----------|------|---------|
| ボルト直径 (M22) | $d =$ | 2.20 | cm |
| ボルト孔径 (d+3mm) | $dh =$ | 2.50 | cm |
| フランジのボルト本数 | $n1 =$ | 8 | 本 (軸方向) |
| ウェブのボルト本数 | $m1 =$ | 2 | 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 | $m2 =$ | 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 |

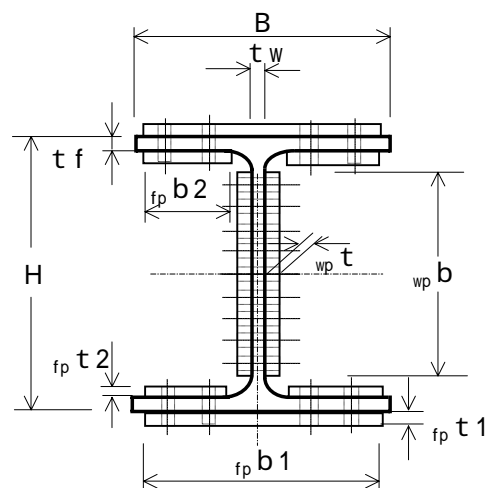
平面図



側面図



断面図

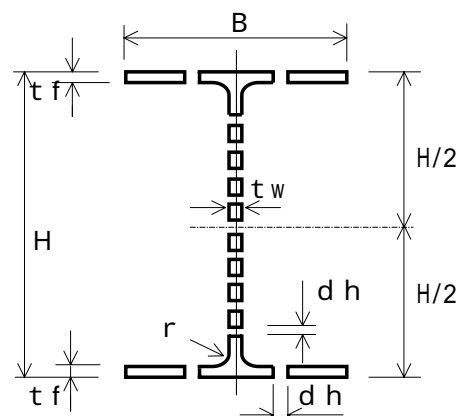


2. 継手部の設計

(1) 母材の断面性能計算

1) 母材 H 918 × 303 × 19 × 37

H 形 鋼 の 高 さ	H =	91.8	cm
H 形 鋼 の 幅	B =	30.3	cm
ウ エ ブ 厚	t _w =	1.9	cm
フ ラ ン ジ 厚	t _f =	3.7	cm
フ イ レ ッ ト	r =	1.8	cm
断 面 積	A =	387.40	cm ²
断 面 係 数	Z =	11700	cm ³
断 面 二 次 モ - メ ン ト	I =	535000	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 =	9	本 (軸横断)

(断面積)

$$\begin{aligned} \text{(ウェブボルト孔)} \quad {}_B A_w &= d_h \cdot t_w \cdot m_2 \\ &= 2.50 \times 1.90 \times 9 = 42.75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ウェブ)} \quad {}_H A_w' &= t_w (H - 2 \cdot t_f) - {}_B A_w \\ &= 1.90 \times (91.8 - 2 \times 3.70) - 42.75 \\ &= 117.61 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジボルト孔)} \quad {}_B A_f &= d_h \cdot t_f \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 3.70 \times 2 = 18.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(フランジ)} \quad {}_H A_f' &= A - t_w (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot {}_B A_f \\ &= 387.40 - 1.90 \times (91.8 - 2 \times 3.70) \\ &\quad - 2 \times 18.50 \\ &= 190.04 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A' = {}_H A_f' + {}_H A_w' = 190.04 + 117.61 = 307.65 \text{ cm}^2$$

(断面二次モーメント：ウェブ孔は控除しない場合)

$$\begin{aligned} {}_B I_f &= \frac{d_h \cdot t_f^3 \cdot n_2}{12} = \frac{2.50 \times 3.70^3 \times 2}{12} \\ &= 21.105 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(片フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f &= {}_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + {}_B I_f \\ &= 18.50 \times 44.050^2 + 21.105 = 35919 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{(両フランジボルト孔)} \quad {}_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 35919 = 71838 \text{ cm}^4$$

$$I' = I - {}_B I_f' = 535000 - 71838 = 463162 \text{ cm}^4$$

(断面係数)

$$Z' = \frac{I'}{1/2 \cdot H} = \frac{463162}{45.90} = 10091 \text{ cm}^3$$

(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	$f_p t_1 =$	2.50	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)

$$\begin{aligned} {}_B A f_1 &= d_h \cdot f_p t_1 \cdot n_2 \\ &= 2.50 \times 2.50 \times 2 = 12.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_P A f_1 &= f_p b_1 \cdot f_p t_1 - {}_B A f_1 \\ &= 30.00 \times 2.50 - 12.50 = 62.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(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)

$$\begin{aligned} {}_P A f &= 2 \cdot ({}_P A f_1 + {}_P A f_2) \\ &= 2 \times (62.50 + 47.50) = 220.00 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} {}_P A &= {}_P A f + {}_P A W \quad A' \\ &= 220.00 + 145.60 = 365.60 \text{ cm}^2 > 307.65 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

-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	$f_p b_1 = 30.00$ cm
フランジ	n2 = 2 本 (軸横断)	板厚	$f_p t_1 = 2.50$ cm
ウェブ	m2 = 9 本 (軸横断)	面積	$p A f_1 = 62.50$ cm ²
		内側板幅	$f_p b_2 = 12.00$ cm
		板厚	$f_p t_2 = 2.50$ cm
		面積	$p A f_2 = 47.50$ cm ²

(外側添接板)

$$f_p b_1' = f_p b_1 - dh \cdot n_2 = 30.00 - (2.50 \times 2) = 25.00 \text{ cm}$$

$$p I f_1 = \frac{f_p b_1' \cdot f_p t_1^3}{12} = \frac{25.00 \times 2.50^3}{12} = 32.552 \text{ cm}^4$$

$$p I f_1 = p A f_1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot f_p t_1)^2 + p I f_1 = 62.500 \times 47.150^2 + 32.552 = 138978 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$$f_p b_2' = 2 \cdot f_p b_2 - dh \cdot n_2 = 2 \times 12.00 - (2.50 \times 2) = 19.00 \text{ cm}$$

$$p I f_2 = \frac{f_p b_2' \cdot f_p t_2^3}{12} = \frac{19.00 \times 2.50^3}{12} = 24.740 \text{ cm}^4$$

$$p I f_2 = p A f_2 \cdot (1/2 \cdot H - t_f - 1/2 \cdot f_p t_2)^2 + p I f_2 = 47.500 \times 40.950^2 + 24.740 = 79678 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

$$p I f = 2 \cdot (p I f_1 + p I f_2) = 2 \times (138978 + 79678) = 437312 \text{ cm}^4$$

2) ウェブ添接板

板幅	$w_p b = 68.00$ cm
板厚	$w_p t = 1.60$ cm
ボルト間隔	$w p_2 = 7.5$ cm

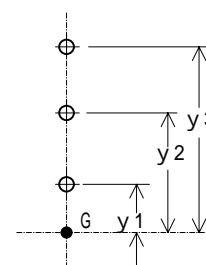
$$p I w_1 = \frac{w_p t \cdot w_p b^3}{12} = \frac{1.600 \times 68.00^3}{12} = 41924 \text{ cm}^4$$

$$y = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots = 1687.50 \text{ cm}^2$$

$$p I w_1 = dh \cdot w_p t \cdot 2 y + m_2 \cdot \frac{w_p t \cdot (dh)^3}{12}$$

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

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



(ウェブ合計)

$$p I w = 2 \cdot (p I w_1 - p I w_1) = 2 \times (41924 - 13519) = 56810 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$p I = p I f + p I w \quad I'$$

$$= 437312 + 56810 = 494122 \text{ cm}^4 > 463162 \text{ cm}^4 \quad \text{-OK-}$$

(4) 曲げモ - メントの計算

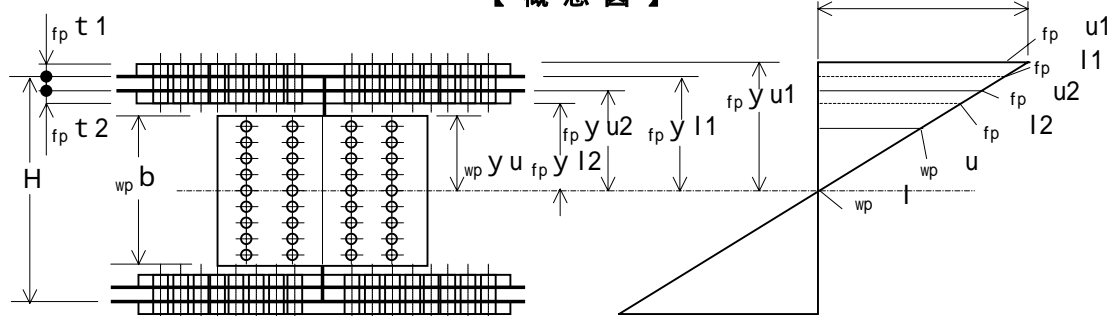
1) H形鋼1本当たりの抵抗曲げモ - メント

許容曲げ応力度 $Hba = 280 \text{ N/mm}^2$ 断面係数 $Z' = 10091 \text{ cm}^3$

$$M_r = Hba \cdot Z'$$

$$= 280 \times 10091 \times 10^3 = 2825480000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

 $pI = 494122 \text{ cm}^4$ $pIf = 437312 \text{ cm}^4$

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

$$= 2825480000 \times \frac{437312}{494122} = 2500630026 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(外側フランジ)

$$pMf1 = pMf \cdot \frac{2 \cdot pIf1}{pIf}$$

 $pIf1 = 138978 \text{ cm}^4$

$$= 2500630026 \times \frac{277956}{437312} = 1589403262 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$fp y u1 = 1/2 \cdot H + fp t1 = 1/2 \times 91.8 + 2.50 = 48.40 \text{ cm}$$

$$fp u1 = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y u1 \quad pba$$

$$= \frac{1589403262}{2 \times 138978} \times \frac{48.40}{1000} = 277 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$fp y l1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 91.8 = 45.90 \text{ cm}$$

$$fp l1 = \frac{pMf1}{2 \cdot pIf1} \cdot fp y l1 \quad pba$$

$$= \frac{1589403262}{277956} \times \frac{45.90}{1000} = 262 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

(内側フランジ)

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

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

$$= 2500630026 \times \frac{159356}{437312} = 911226764 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$f_{p y u_2} = 1/2 \cdot H - t f = 1/2 \times 91.8 - 3.70 = 42.20 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{911226764}{159356} \times \frac{42.20}{1000} = 241 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

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

$$= 1/2 \times 91.8 - 3.70 - 2.50 = 39.70 \text{ cm}$$

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

$$= \frac{911226764}{159356} \times \frac{39.70}{1000} = 227 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$= \frac{277 + 262}{2} \times 62.50 \times 10^2 = 1684375 \text{ N}$$

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

$$= \frac{241 + 227}{2} \times 47.50 \times 10^2 = 1111500 \text{ N}$$

$${}_p T f = {}_p T f_1 + {}_p T f_2 = 1684375 + 1111500 = 2795875 \text{ N}$$

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

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

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

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

$$= 22 \times 37 \times 473 = 385022$$

$$\left. \begin{array}{l} = 216657 \text{ N} \\ = 385022 \end{array} \right\} = \underline{216657 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{f_b} S a$$

$$Q f = \frac{{}_p T f}{n_1 \cdot n_2} = \frac{2795875}{8 \times 2}$$

$$= 174742 \text{ N} < 216657 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

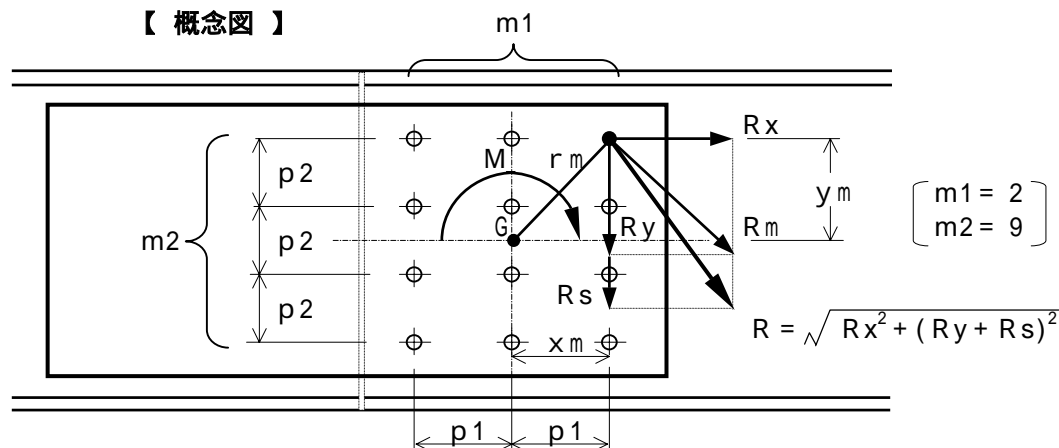
3) ウェブ添接板およびボルトの検討

$$\begin{aligned}
 {}_p M_W &= M_r \cdot \frac{{}_p I_W}{{}_p I} \\
 &= 2825480000 \times \frac{56810}{494122} = 324849974 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 {}_{wp} y_u &= 1/2 \cdot {}_{wp} b = 1/2 \times 68.00 = 34.00 \text{ cm} \\
 {}_{wp} u &= \frac{{}_p M_W}{{}_p I_W} \cdot {}_{wp} y_u \\
 &= \frac{324849974}{56810} \times \frac{34.00}{1000} = 194 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2 \\
 &\quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

$$\begin{aligned}
 M 22 \quad {}_B A &= 1/4 \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 = 380.1 \text{ mm}^2 \\
 S1 &= 2 \cdot {}_B A \cdot {}_B a \quad (\text{二面せん断}) \\
 &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\
 S2 &= d \cdot t_w \cdot {}_H a \quad (\text{鋼板の支圧}) \\
 &= 22 \times 19 \times 473 = 197714
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} S1 \\ S2 \end{aligned}} \right\} = \frac{197714}{\text{最小}} \text{ N} \quad ({}_{wb} S_a)$$

【 概念図 】



$$\begin{aligned}
 I_p &= 1/12 \cdot m_1 \cdot m_2 \{ {}_w p_1^2 (m_1^2 - 1) + {}_w p_2^2 (m_2^2 - 1) \} \\
 &= 1/12 \times 2 \times 9 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 7.50^2 \times (9^2 - 1) \} \\
 &= 7003 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

(ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離)

$$\begin{aligned}
 x_m &= 3.75 \text{ cm} \\
 y_m &= 30.00 \text{ cm} \\
 r_m &= \sqrt{3.75^2 + 30.00^2} = 30.23 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times y_m = \frac{324849974}{7003} \times \frac{30.00}{10} = 139162 \text{ N} \\
 R_y &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times x_m = \frac{324849974}{7003} \times \frac{3.75}{10} = 17395 \text{ N} \\
 R_m &= \frac{{}_p M_W}{I_p} \times r_m = \frac{324849974}{7003} \times \frac{30.23}{10} \\
 &= 140229 \text{ N} < 197714 \text{ N} \quad \text{-OK-}
 \end{aligned}$$

(5) せん断力の計算

1) H形鋼 1 本当たりの抵抗せん断力

$$\begin{aligned} \text{許容せん断応力度 } \sigma_a &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブせん断有効面積 } A_w' &= 117.61 \text{ cm}^2 \\ &= 11761 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_r &= \sigma_a \cdot A_w' \\ &= 160 \times 11761 = 1881760 \text{ N} \end{aligned}$$

2) ウェブ添接板の応力度

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

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{S_r}{A_p} \\ &= \frac{1881760}{14560} = 129 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

3) ボルトの応力

$$\begin{aligned} \text{ボルトの許容せん断応力度 } \sigma_b &= 285 \text{ N/mm}^2 \\ \text{H形鋼の許容支圧応力度 } \sigma_h &= 473 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ウェブ厚 } t_w &= 1.9 \text{ cm} \end{aligned}$$

ボルト 1 本の耐力 (F10T)

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \cdot A_b \cdot \sigma_b \quad (\text{二面せん断}) \\ &= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657 \\ S_2 &= d \cdot t_w \cdot \sigma_h \quad (\text{鋼板の支圧}) \\ &= 22 \times 19 \times 473 = 197714 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} S_1 \\ S_2 \end{aligned}} \right\} = \underline{197714 \text{ N}} \quad (\text{最小})_{wb} S_a$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{S_r}{m_1 \cdot m_2} = \frac{1881760}{2 \times 9} \\ &= 104542 \text{ N} < 197714 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

(6) ウェブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)

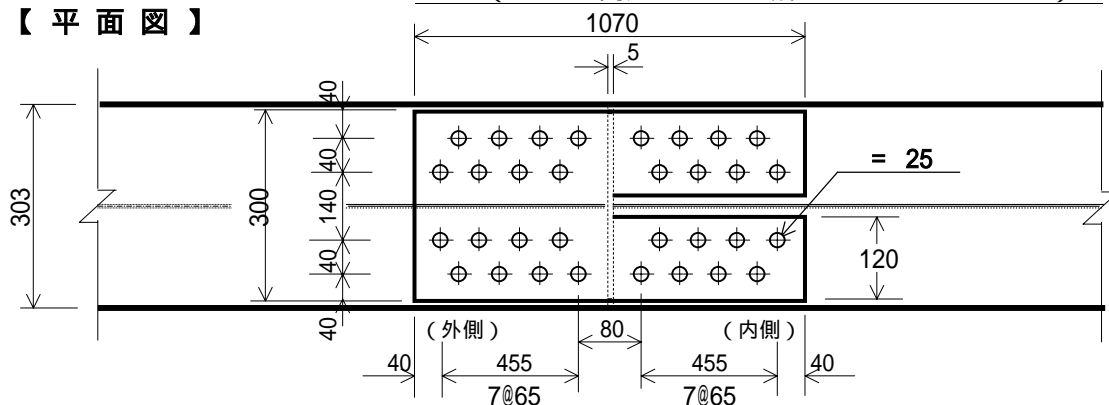
$$\begin{aligned} \text{X方向成分(曲げ)} \quad R_x &= 139162 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(曲げ)} \quad R_y &= 17395 \text{ N/本} \\ \text{Y方向成分(せん断)} \quad R_s &= 104542 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_s)^2} \\ &= \sqrt{139162^2 + (17395 + 104542)^2} \\ &= 185026 \text{ N} < 197714 \text{ N} \quad \text{-OK-} \end{aligned}$$

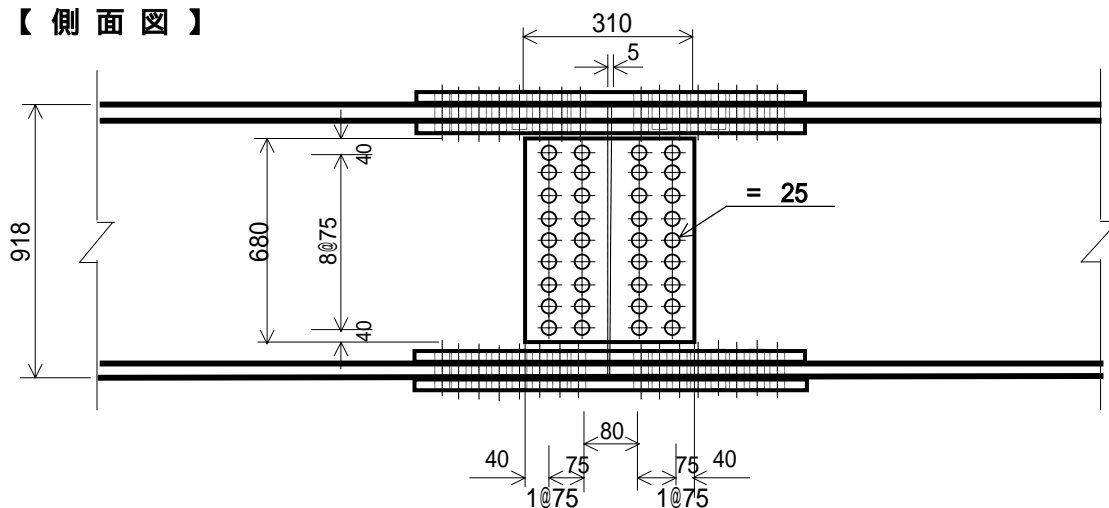
3. 計算結果

母材	H 9 1 8 × 3 0 3 × 1 9 × 3 7 (SM490)		
フランジ部	添接板仕様	2 枚 : PL 25 × 300 × 1070	(SM490)
		4 枚 : PL 25 × 120 × 1070	(SM490)
ウェブ部	添接板仕様	2 枚 : PL 16 × 680 × 310	(SM490)
	ボルト仕様	F10T : M22 - 64本	L = 130 mm
		(トリブ型高力ボルトの場合	L = 125 mm)
	ボルト仕様	F10T : M22 - 36本	L = 95 mm
		(トリブ型高力ボルトの場合	L = 90 mm)

【 平面図 】



【 側面図 】



【 断面図 】

