ボルト継手計算書

Ｈ６００×２００×１１×１７

（SM４９０）

土木仕様

（ＳＩ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、フランジとウエ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。）

(鋼材ｺｰﾄﾞ) SM490-D　　(ﾎﾞﾙﾄｺｰﾄﾞ) F10T-DM

「道路土工　仮設構造物工指針（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	$_H\sigma ba = {}_H\sigma ta$	=	280	N/mm^2	(SM490)
H形鋼の許容せん断応力度	$_H\tau a$	=	160	N/mm^2	
H形鋼の許容支圧応力度(315×係数)	$_H\sigma a$	=	473	N/mm^2	(SM490)
添接板の許容曲げ・引張応力度	$_P\sigma ba = {}_P\sigma ta$	=	280	N/mm^2	(SM490)
添接板の許容せん断応力度	$_P\tau a$	=	160	N/mm^2	
添接板の許容支圧応力度(315×係数)	$_P\sigma a$	=	473	N/mm^2	(SM490)
ボルトの許容せん断応力度	$_B\tau a$	=	285	N/mm^2	(F10T)

(2) 設計母材

ｺｰﾄﾞ: H600-2

Ｈ 形 鋼：Ｈ６００×２００×１１×１７

(3) 添接板

		＜ｐｔ＞		＜ｐｂ＞		＜ｐＬ＞
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)　$n2$ ＝ 2 本(軸横断)

ウェブのボルト本数　$m1$ ＝ 2 本(軸方向)　$m2$ ＝ 5 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

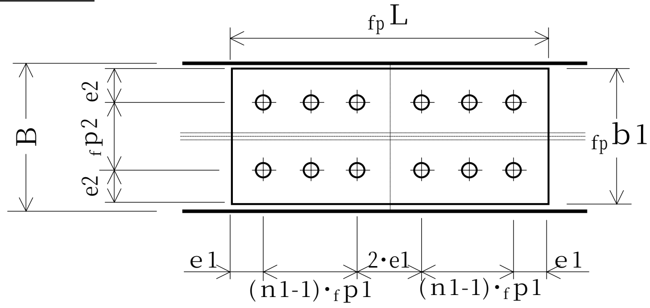
フランジボルトの軸方向間隔　$_fp1$ ＝ 7.5 cm

フランジボルトの横断方向間隔　$_fp2$ ＝ 12.0 cm

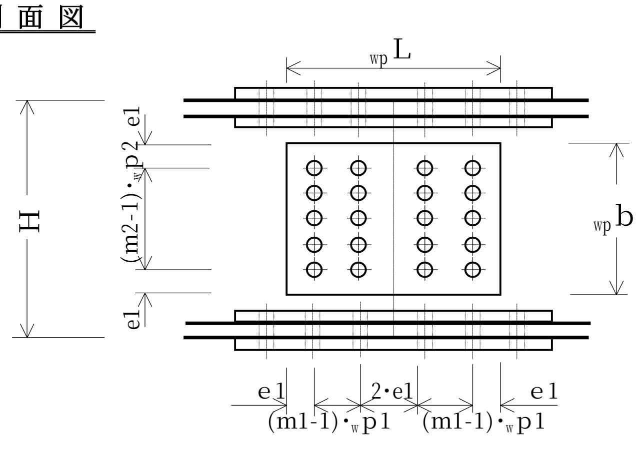
ウエブボルトの軸方向間隔　$_wp1$ ＝ 7.5 cm

ウエブボルトの横断方向間隔　$_wp2$ ＝ 8.0 cm

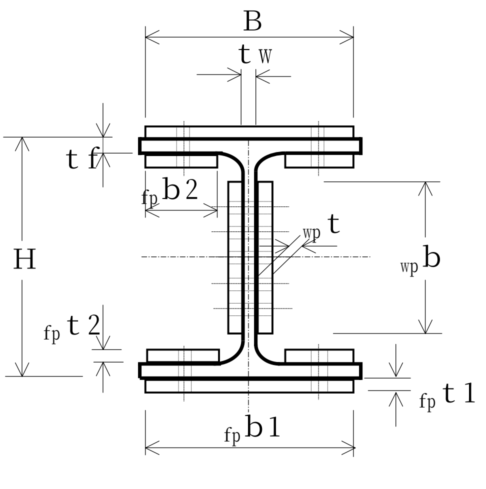
平面図



側面図



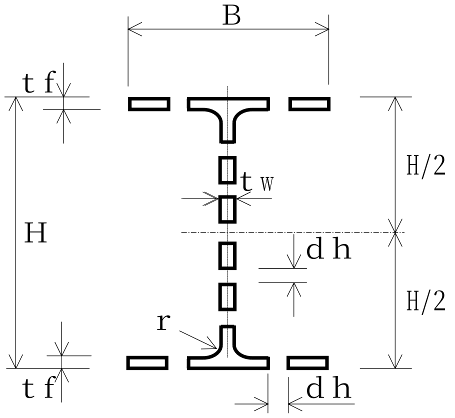
断面図



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
フィレット	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	dh ＝	2.50	cm
フランジボルトの本数	n2 ＝	2	本 (軸横断)
ウェブボルトの本数	m2 ＝	5	本 (軸横断)

（断　面　積）

(ｳｴﾌﾞﾎﾞﾙﾄ孔) $\Delta_B A_W = dh \cdot t_W \cdot m2$
$= 2.50 \times 1.10 \times 5 = 13.75\ cm^2$

(ｳｴﾌﾞ) $_H A_W' = t_W (H - 2 \cdot t_f) - \Delta_B A_W$
$= 1.10 \times (60 - 2 \times 1.70) - 13.75$
$= 48.51\ cm^2$

(ﾌﾗﾝｼﾞﾎﾞﾙﾄ孔) $\Delta_B A_f = dh \cdot t_f \cdot n2$
$= 2.50 \times 1.70 \times 2 = 8.50\ cm^2$

(ﾌﾗﾝｼﾞ) $_H A_f' = A - t_W (H - 2 \cdot t_f) - 2 \cdot \Delta_B A_f$
$= 131.70 - 1.10 \times (60 - 2 \times 1.70)$
$- 2 \times 8.50$
$= 52.44\ cm^2$

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

（断面二次モーメント：ウエブ孔は控除しない場合）

$$\Delta_B I_f = \frac{dh \cdot t_f^3 \cdot n2}{12} = \frac{2.50 \times 1.70^3 \times 2}{12}$$
$= 2.047\ cm^4$

(片ﾌﾗﾝｼﾞﾎﾞﾙﾄ孔) $_B I_f = \Delta_B A_f \cdot (1/2 \cdot H - 1/2 \cdot t_f)^2 + \Delta_B I_f$

$= 8.500 \times 29.150^2 + 2.047 = 7225\ cm^4$

(両ﾌﾗﾝｼﾞﾎﾞﾙﾄ孔) $_B I_f' = 2 \cdot {}_B I_f = 2 \times 7225 = 14450\ cm^4$

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

（断面係数）

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

(2) 添接板の断面積の計算

1）フランジ添接板

外側板幅 $_{fp}b1$ = 20.0 cm
板厚 $_{fp}t1$ = 1.20 cm
内側板幅 $_{fp}b2$ = 8.00 cm
板厚 $_{fp}t2$ = 1.60 cm
ボルト孔径 dh = 2.50 cm
ボルト本数 n2 = 2 本 (軸横断)

(外側添接板)

$_{B}Af1 = dh \cdot {}_{fp}t1 \cdot n2$

$= 2.50 \times 1.20 \times 2 = 6.00$ cm²

$_{P}Af1 = {}_{fp}b1 \cdot {}_{fp}t1 - {}_{B}Af1$

$= 20.00 \times 1.20 - 6.00 = 18.00$ cm²

(内側添接板)

$_{B}Af2 = dh \cdot {}_{fp}t2 \cdot n2$

$= 2.50 \times 1.60 \times 2 = 8.00$ cm²

$_{P}Af2 = 2 \cdot {}_{fp}b2 \cdot {}_{fp}t2 - {}_{B}Af2$

$= 2 \times 8.00 \times 1.60 - 8.00 = 17.60$ cm²

(フランジ合計)

$_{P}Af = 2 \cdot ({}_{P}Af1 + {}_{P}Af2)$

$= 2 \times (18.00 + 17.60) = 71.20$ cm²

2）ウェブ添接板

板幅 $_{wp}b$ = 40.0 cm
板厚 $_{wp}t$ = 0.90 cm
ボルト本数 m2 = 5 本 (軸横断)

$_{B}Aw = dh \cdot {}_{wp}t \cdot m2$

$= 2.50 \times 0.90 \times 5 = 11.25$ cm²

$_{P}Aw1 = {}_{wp}b \cdot {}_{wp}t - {}_{B}Aw$

$= 40.00 \times 0.90 - 11.25 = 24.75$ cm²

(ウェブ合計)

$_{P}Aw = 2 \cdot {}_{P}Aw1$

$= 2 \times 24.75 = 49.50$ cm²

3）断面積

$\Sigma_{P}A = {}_{P}Af + {}_{P}Aw \geqq A'$

$= 71.20 + 49.50 = 120.70$ cm² $>$ 100.95 cm²

-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
ウエブ	$m2$ = 5 本(軸横断)	面積	${}_{p}Af1$ = 18.00 cm²
		内側 板幅	${}_{fp}b2$ = 8.00 cm
		板厚	${}_{fp}t2$ = 1.60 cm
		面積	${}_{p}Af2$ = 17.60 cm²

(外側添接板)

$${}_{fp}b1' = {}_{fp}b1 - dh \cdot n2$$
$$= 20.00 - (2.50 \times 2) = 15.00 \text{ cm}$$
$$\Delta_{p}If1 = \frac{{}_{fp}b1' \cdot {}_{fp}t1^3}{12} = \frac{15.00 \times 1.20^3}{12} = 2.160 \text{ cm}^4$$
$${}_{p}If1 = {}_{p}Af1 \cdot (1/2 \cdot H + 1/2 \cdot {}_{fp}t1)^2 + \Delta_{p}If1$$
$$= 18.000 \times 30.600^2 + 2.160 = 16857 \text{ cm}^4$$

(内側添接板)

$${}_{fp}b2' = 2 \cdot {}_{fp}b2 - dh \cdot n2$$
$$= 2 \times 8.00 - (2.50 \times 2) = 11.00 \text{ cm}$$
$$\Delta_{p}If2 = \frac{{}_{fp}b2' \cdot {}_{fp}t2^3}{12} = \frac{11.00 \times 1.60^3}{12} = 3.755 \text{ cm}^4$$
$${}_{p}If2 = {}_{p}Af2 \cdot (1/2 \cdot H - tf - 1/2 \cdot {}_{fp}t2)^2 + \Delta_{p}If2$$
$$= 17.600 \times 27.500^2 + 3.755 = 13314 \text{ cm}^4$$

(フランジ合計)

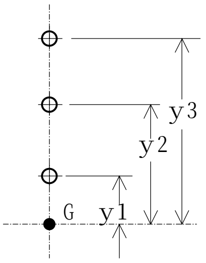
$${}_{p}If = 2 \cdot ({}_{p}If1 + {}_{p}If2) = 2 \times (16857 + 13314) = 60342 \text{ cm}^4$$

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

$${}_{p}Iw1 = \frac{{}_{wp}t \cdot {}_{wp}b^3}{12} = \frac{0.900 \times 40.00^3}{12} = 4800 \text{ cm}^4$$

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



$$\Delta_{p}Iw1 = dh \cdot {}_{wp}t \cdot 2\Sigma y + m2 \cdot \frac{{}_{wp}t \cdot (dh)^3}{12}$$
$$= 2.50 \times 0.90 \times 2 \times 320 + 5 \times \frac{0.90 \times 2.50^3}{12}$$
$$= 1446 \text{ cm}^4$$

(ウェブ合計)

$${}_{p}Iw = 2 \cdot ({}_{p}Iw1 - \Delta_{p}Iw1) = 2 \times (4800 - 1446) = 6708 \text{ cm}^4$$

3) 断面二次モーメント

$$\Sigma_{p}I = {}_{p}If + {}_{p}Iw \geqq I'$$
$$= 60342 + 6708 = 67050 \text{ cm}^4 > 61150 \text{ cm}^4$$
-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

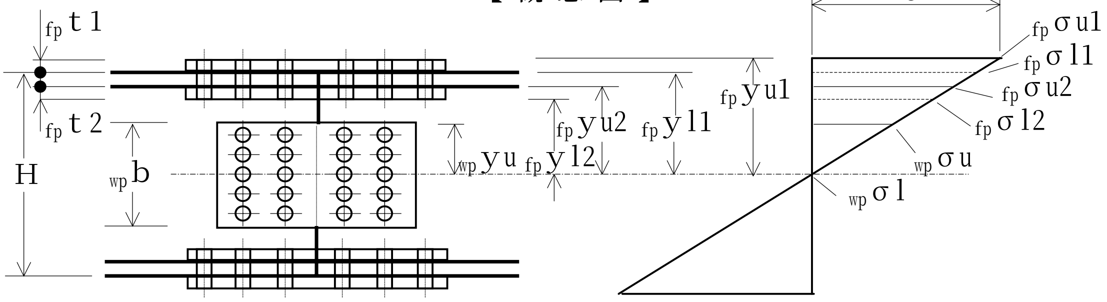
許容曲げ応力度 $_H\sigma ba$ = 280 N/mm²

断 面 係 数 Z' = 2038 cm³

$$Mr = {}_H\sigma ba \cdot Z'$$

$$= 280 \times 2038 \times 10^3 = 570640000 \text{ N·mm}$$

【概念図】



2) フランジ添接板およびボルトの検討

$\Sigma_p I$ = 67050 cm⁴

$_p I f$ = 60342 cm⁴

$$_pMf = Mr \cdot \frac{_pIf}{\Sigma_pI}$$

$$= 570640000 \times \frac{60342}{67050} = 513550468 \text{ N·mm}$$

(外側フランジ)

$_p I f1$ = 16857 cm⁴

$$_pMf1 = {}_pMf \cdot \frac{2 \cdot {}_pIf1}{_pIf}$$

$$= 513550468 \times \frac{33714}{60342} = 286928515 \text{ N·mm}$$

$$_{fp}yu1 = 1/2 \cdot H + {}_{fp}t1 = 1/2 \times 60.0 + 1.20 = 31.20 \text{ cm}$$

$$_{fp}\sigma u1 = \frac{_pMf1}{2 \cdot {}_pIf1} \cdot {}_{fp}yu1 \leqq {}_p\sigma ba$$

$$= \frac{286928515}{2 \times 16857} \times \frac{31.20}{1000} = 266 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$_{fp}yl1 = 1/2 \cdot H = 1/2 \times 60.0 = 30.00 \text{ cm}$$

$$_{fp}\sigma l1 = \frac{_pMf1}{2 \cdot {}_pIf1} \cdot {}_{fp}yl1 \leqq {}_p\sigma ba$$

$$= \frac{286928515}{33714} \times \frac{30.00}{1000} = 255 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

（内側フランジ）

$$_{p}Mf2 = {}_{p}Mf \cdot \frac{2 \cdot {}_{p}If2}{{}_{p}If} \qquad {}_{p}If2 = 13314 \text{ cm}^4$$

$$= 513550468 \times \frac{26628}{60342} = 226621953 \text{ N·mm}$$

$$_{fp}yu2 = 1/2 \cdot H - tf = 1/2 \times 60.0 - 1.70 = 28.30 \text{ cm}$$

$$_{fp}\sigma u2 = \frac{{}_{p}Mf2}{2 \cdot {}_{p}If2} \cdot {}_{fp}yu2 \leqq {}_{p}\sigma ba$$

$$= \frac{226621953}{26628} \times \frac{28.30}{1000} = 241 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

$$_{fp}yl2 = 1/2 \cdot H - tf - {}_{fp}t2$$
$$= 1/2 \times 60.0 - 1.70 - 1.60 = 26.70 \text{ cm}$$

$$_{fp}\sigma l2 = \frac{{}_{p}Mf2}{2 \cdot {}_{p}If2} \cdot {}_{fp}yl2 \leqq {}_{p}\sigma ba$$

$$= \frac{226621953}{26628} \times \frac{26.70}{1000} = 227 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

（ボルト）

ボルトの許容せん断応力度 $_{B}\tau a =$ 285 N/mm²
H形鋼の許容支圧応力度 $_{H}\sigma a =$ 473 N/mm²

$$_{p}Tf1 = \frac{{}_{fp}\sigma u1 + {}_{fp}\sigma l1}{2} \cdot {}_{p}Af1$$

$$= \frac{266 + 255}{2} \times 18.00 \times 10^2 = 468900 \text{ N}$$

$$_{p}Tf2 = \frac{{}_{fp}\sigma u2 + {}_{fp}\sigma l2}{2} \cdot {}_{p}Af2$$

$$= \frac{241 + 227}{2} \times 17.60 \times 10^2 = 411840 \text{ N}$$

$$\therefore {}_{p}Tf = {}_{p}Tf1 + {}_{p}Tf2 = 468900 + 411840 = 880740 \text{ N}$$

ボルト１本の耐力 (F10T)

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

$S1 = 2 \cdot {}_{B}A \cdot {}_{B}\tau a$ （二面せん断）
$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$

$S2 = d \cdot tf \cdot {}_{H}\sigma a$ （鋼板の支圧）
$= 22 \times 17 \times 473 = 176902$

$= 176902$ N（最小）$_{fb}Sa$

$$Qf = \frac{{}_{p}Tf}{n1 \cdot n2} = \frac{880740}{3 \times 2}$$

$$= 146790 \text{ N} < 176902 \text{ N}$$

-OK-

3）ウェブ添接板およびボルトの検討

$\Sigma_p I = 67050$ cm4
$_p I_W = 6708$ cm4

$$_pM_W = M_r \cdot \frac{_pI_W}{\Sigma_p I}$$

$$= 570640000 \times \frac{6708}{67050} = 57089532 \text{ N·mm}$$

$$_{wp}y_u = 1/2 \cdot {_{wp}b} = 1/2 \times 40.00 = 20.00 \text{ cm}$$

$$_{wp}\sigma_u = \frac{_pM_W}{_pI_W} \cdot {_{wp}y_u} \leqq {_p\sigma_a}$$

$$= \frac{57089532}{6708} \times \frac{20.00}{1000} = 170 \text{ N/mm}^2 < 280 \text{ N/mm}^2$$

-OK-

ボルト１本の耐力 (F10T)

M 22　　$_BA = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 3.801 \text{ cm}^2 \rightarrow 380.1 \text{ mm}^2$

$S1 = 2 \cdot {_BA} \cdot {_B\tau_a}$ （二面せん断）

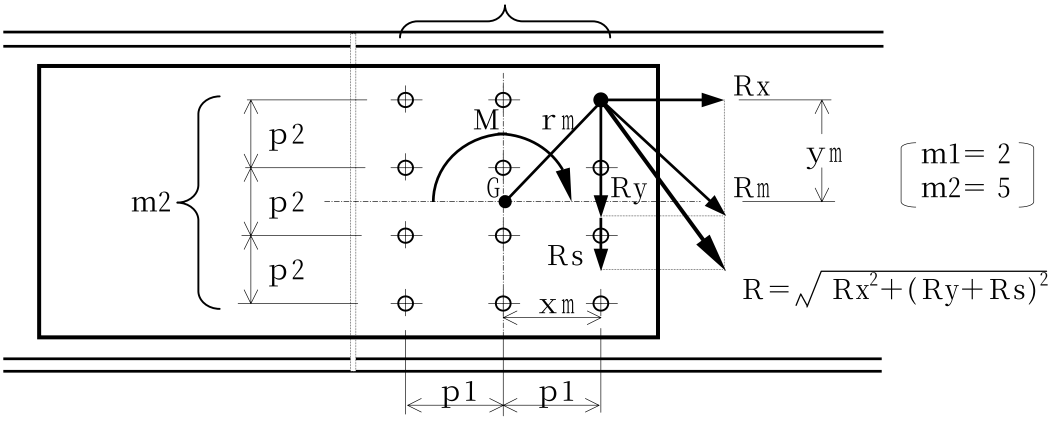
$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$

$S2 = d \cdot t_W \cdot {_H\sigma_a}$ （鋼板の支圧）

$= 22 \times 11 \times 473 = 114466$

$= 114466$ N (最小) $_{wb}Sa$

【 概念図 】



$$I_p = 1/12 \cdot m1 \cdot m2 \{ {_wp1^2} (m1^2-1) + {_wp2^2} (m2^2-1) \}$$

$$= 1/12 \times 2 \times 5 \times \{ 7.50^2 \times (2^2 - 1) + 8.00^2 \times (5^2 - 1) \}$$

$$= 1421 \text{ cm}^2$$

（ボルト群の回転中心Gから最外端ボルトまでの距離）

$x_m = 3.75$ cm
$y_m = 16.00$ cm

$$r_m = \sqrt{3.75^2 + 16.00^2} = 16.43 \text{ cm}$$

$$R_x = \frac{_pM_w}{I_p} \times y_m = \frac{57089532}{1421} \times \frac{16.00}{10} = 64281 \text{ N}$$

$$R_y = \frac{_pM_w}{I_p} \times x_m = \frac{57089532}{1421} \times \frac{3.75}{10} = 15066 \text{ N}$$

$$R_m = \frac{_pM_w}{I_p} \times r_m = \frac{57089532}{1421} \times \frac{16.43}{10}$$

$$= 66009 \text{ N} < 114466 \text{ N}$$

-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

許容せん断応力度 $_H\tau a$ = 160 N/mm²
ウエブせん断有効面積 $_HAw'$ = 48.51 cm²
= 4851 mm²

$$Sr = {}_H\tau a \cdot {}_HAw'$$

$$= 160 \times 4851 = 776160 \text{ N}$$

2) ウェブ添接板の応力度

添接板断面積 $_PAw$ = 49.50 cm²
= 4950 mm²

$$_P\tau = \frac{Sr}{_PAw} \leqq {}_P\tau a$$

$$= \frac{776160}{4950} = 157 \text{ N/mm}^2 < 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{-OK-}$$

3) ボルトの応力

ボルトの許容せん断応力度 $_B\tau a$ = 285 N/mm²
H形鋼の許容支圧応力度 $_H\sigma a$ = 473 N/mm²
ウェブ厚 tw = 1.1 cm

ボルト1本の耐力 (F10T)

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

$$S1 = 2 \cdot {}_BA \cdot {}_B\tau a \quad (\text{二面せん断})$$
$$= 2 \times 380.1 \times 285 = 216657$$

$$S2 = d \cdot tw \cdot {}_H\sigma a \quad (\text{鋼板の支圧})$$
$$= 22 \times 11 \times 473 = 114466$$

= 114466 N (最小) $_{wb}Sa$

$$Rs = \frac{Sr}{m1 \cdot m2} = \frac{776160}{2 \times 5}$$

$$= 77616 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

(6) ウエブボルトの合成応力

(最外端ボルトの応力)
X方向成分(曲げ) Rx = 64281 N/本
Y方向成分(曲げ) Ry = 15066 N/本
Y方向成分(せん断) Rs = 77616 N/本

$$R = \sqrt{Rx^2 + (Ry + Rs)^2}$$

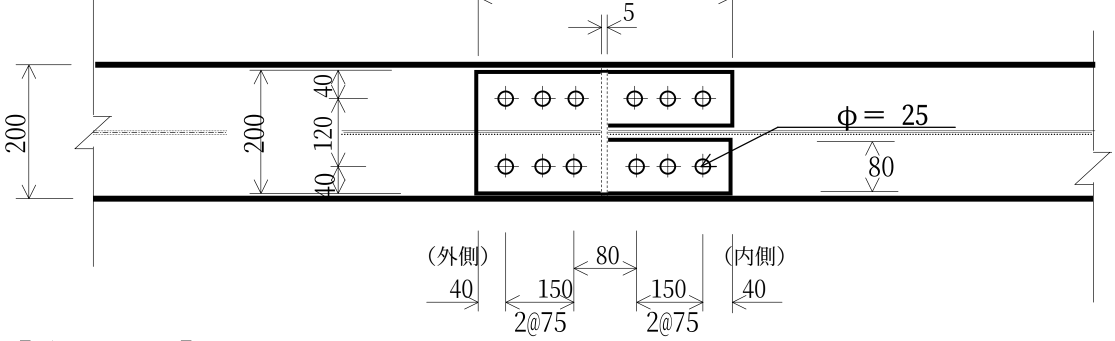
$$= \sqrt{64281^2 + (15066 + 77616)^2}$$

$$= 112792 \text{ N} < 114466 \text{ N} \quad \text{-OK-}$$

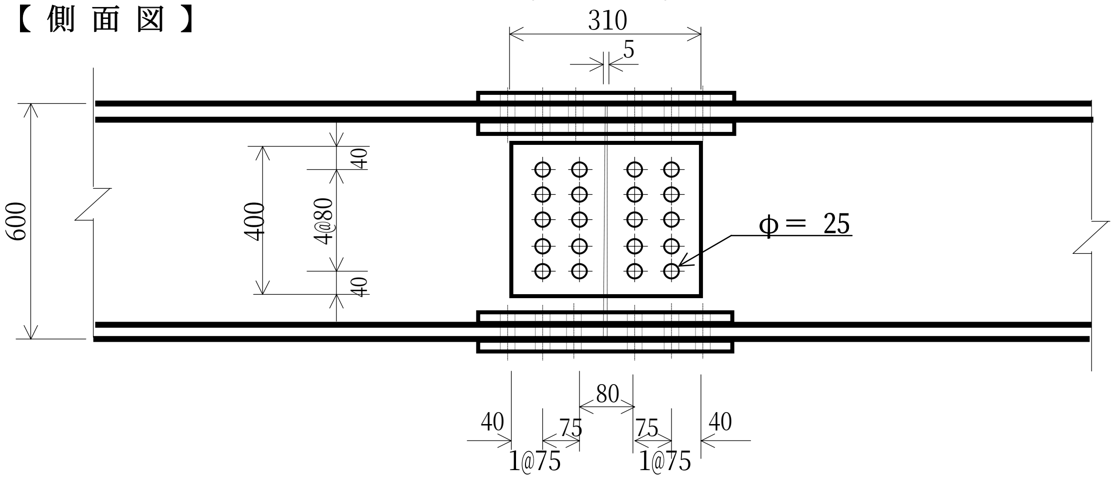
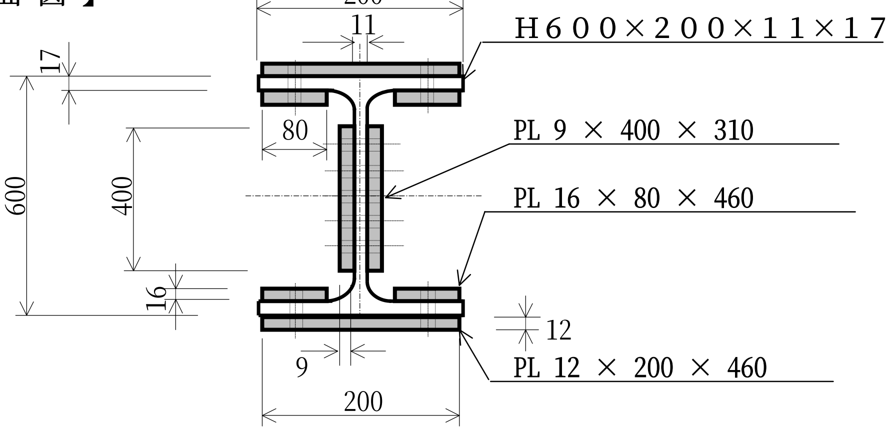
３．計算結果

母　　材	Ｈ６００×２００×１１×１７		(SM490)
フランジ部	添接板仕様	２枚： PL 12 × 200 × 460	(SM490)
		４枚： PL 16 × 80 × 460	(SM490)
	ボルト仕様	F10T ： M22 - 24本　L = 85 mm	
		（トルシア型高力ボルトの場合　L = 80 mm ）	
ウ ェ ブ部	添接板仕様	２枚： PL 9 × 400 × 310	(SM490)
	ボルト仕様	F10T ： M22 - 20本　L = 70 mm	
		（トルシア型高力ボルトの場合　L = 65 mm ）	

【 平 面 図 】



【 側 面 図 】



【 断 面 図 】