

雇用促進事業団理事長賞
鉄骨造建築施工:高力ボルト工法

ポリテクカレッジ北九州
 (北九州職業能力開発短期大学校)

奥屋 和彦

1. はじめに

鉄骨造建築施工技術者・工事監理・施工管理技術者・建築施工を目指す学生諸氏・在職者能力開発セミナーを対象とした内容である。建築工事は、多職種の集合体で成立し建築されていることより、監理・管理技術者によっては鉄骨構造物に関する、あいまいな認識で工事監理・施工管理・施工が実施されている現状もある。建築鉄骨工事では、接合は高力ボルト工法が大部分の現場工事に採用されているが、発生する不良施工の多くは接合部（高力ボルト工法・溶接工法）の施工が占めていることより、接合部の的確な監理・管理が鉄骨構造体としての品質を確保するために重要、不可欠となっている。

実技テキスト・実技用鉄骨構造物・各種試験体は、高力ボルト工法について設計・製作・施工・施工実験を通して、工事監理・施工管理技術を習得するために制作した。以下に教材概要を報告する。

2. 高力ボルト工法の概要

- ・材料発注（鋼材問屋）・受け入れ・保管
- ・鋼材の機械切断加工
- ・スライスプレート、ガセットプレートのケガキ
- ・ガス切断加工・グラインダ処理
- ・高力ボルト孔加工・接触面のグラインダ加工
- ・梁部材の寸法確認・製品検査・施工分解
- ・使用ボルトの確認・赤さび発生処理
- ・高力ボルト施工用鉄骨造、足場配置
- ・揚重機器の設置・動作確認

- ・梁部材の玉掛け・梁部材の地切り
- ・本締め用足場設置・トラッククレーン設置
- ・梁部材の仮ボルト締め・1次締め・マーキング
- ・高力ボルト本締め・締め付け順序・目視検査

図1は最も一般的な仕口部タイプである。柱に梁端部が鉄骨製作工場で溶接接合され、他方と梁中央部は施工現場で添板を用い高力ボルト工法で施工される。

JSS 09構造用トルシア形高力ボルトセット
 JIS B 1186摩擦接合用高力ボルトセット
 高力ボルトセット：2種・F10T・M16・M20

梁の鋼種：SN490B

添板の鋼種：SN490B

梁部材：H - 300 × 150 × 6.5 × 9 × (13)

・単位重量：3.67kg/m ・断面積：46.78cm²

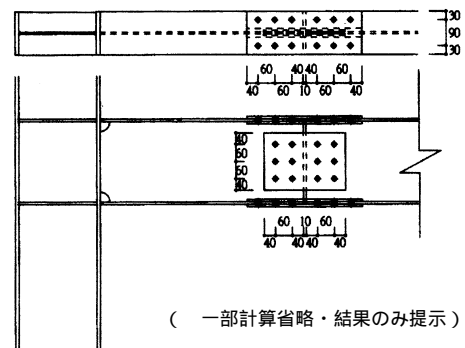
・断面2次モーメント： I_x ：7210cm⁴

・断面係数： Z_x ：481cm³

・塑性断面係数： Z_{px} ：542cm³

高力ボルト継手位置の決定

1. 建築現場に搬入するまでの交通事情



(一部計算省略・結果のみ提示)

図1 梁-柱ブラケット継手の設計概要

2. 部材の輸送に使用するトラックの大きさ
3. 部材に発生する応力状態
4. 鋼材の市場性・定尺寸法
5. 鉄骨建方の工法
6. 揚重機器の性能
7. 建築現場の環境
8. 鉄骨製作工場の部材加工能力

梁端部に作用する応力：全強度設計法
 接合部の設計：第1種保有耐力設計法
 ドリルによる高力ボルトの孔径： d

・ M16： 18mm / M20： 22mm

最小縁端距離は端部加工条件2で実施
 接合面

：2面摩擦接合

締め付け工法

：トルクコントロール法

フランジ外側添板の幅

：150mm

フランジ内側添板の幅

：60mm

フランジゲージ寸法

：90mm

梁フランジ：曲げモーメント負担

梁ウェブ：曲げモーメント・せん断力を負担

フランジ部の高力ボルトピッチ：60mm

ウェブ部の軸方向高力ボルトピッチ：60mm

フランジ添板（外・内側）の端あき：40mm

フランジ添板（外・内側）のへりあき：30mm

ウェブの縁端距離／へりあき：40mm

ウェブの縁端距離／端あき：40mm

ウェブボルトの部材せい方向のピッチ：60mm

6mm添板の切断方法：動力シャーにより切断

9mm添板の切断方法：帯のこ盤により切断

梁部材継手部の間隔：10mm

ウェブ添板の板厚：6mm

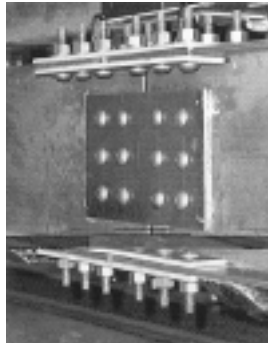
g ：フランジボルト穴控除用のゲージライン数：2行

m_w ：ウェブボルトの部材せい方向の行数：3行

e_j ：断面中心軸からウェブボルト位置までの距離

n_F ：フランジボルトの部材長手方向の列数：3列

n_w ：ウェブボルトの部材長手方向の列数：2列



h ：梁のウェブ高さ = 28.2cm

I_{ex} ：両フランジおよびウェブの高力ボルト孔を控除した断面2次モーメント $I_{ex} = 5751\text{cm}^4$

Z_{ex} ：梁部材のボルト孔を控除した有効断面に基づく断面係数

$$\bullet Z_{ex} = I_{ex} / (0.5 H) = 383\text{cm}^3$$

曲げモーメント $M_1 = Z_x \cdot \text{短期} f_t = 15.87 \text{ t} \cdot \text{m}$

曲げモーメント $M_2 = Z_e \cdot \text{短期} f_t = 12.64 \text{ t} \cdot \text{m}$

ウェブ全断面積のせん断力 $Q = A_w \cdot f_s = 34.9 \text{ t}$

ウェブ断面欠損を考慮した断面のせん断力

$$Q_e = A_{ew} \cdot f_s = 28.2 \text{ t}$$

・ f_s ：梁部材の短期許容せん断応力

・ A_w ：梁部材ウェブ部の断面積

・ A_{ew} ：ウェブボルト孔による断面欠損を考慮したウェブ断面積 = 14.82cm^2

M_w ：梁部材ウェブで負担する曲げモーメント

$$\bullet M_w = \left(\frac{I_w}{I_x} \right) \times M_2 = 1.06 \text{ t} \cdot \text{m}$$

・ I_w ：ウェブ全断面の断面2次モーメント = 1214.7cm^4

・ \quad ：母材ウェブ許容曲げモーメントのうちウェブ接合部で伝達させる曲げモーメントの割合

M_F ：梁部材フランジで負担する曲げモーメント

$$\bullet M_F = M_2 - M_w = (1 - \left(\frac{I_w}{I_x} \right)) \cdot M_2 = 11.78 \text{ t} \cdot \text{m}$$

フランジ添板の算定

・ SPL-1 = 9mm厚・幅：15cm

・ SPL-2 = 9mm厚・幅：6cm

・ 算定式： ${}_{PL}A_{eF} \cdot (H - g t_F) \cdot Z_{eF}$

・ Z_{eF} ：梁フランジの曲げモーメントに抵抗する断面係数

$$\bullet Z_{eF} = \{ 1 - \left(\frac{I_w}{I_o} \right) \} \times Z_e = 357\text{cm}^3$$

・ ${}_{PL}A_{eF}$ ：ボルト穴を控除したフランジ添板の断面積



ドリルによるボルト孔加工

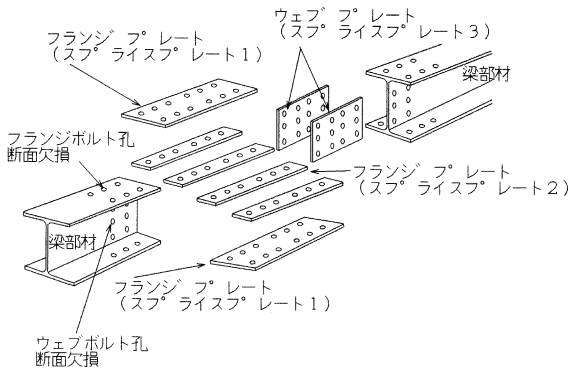
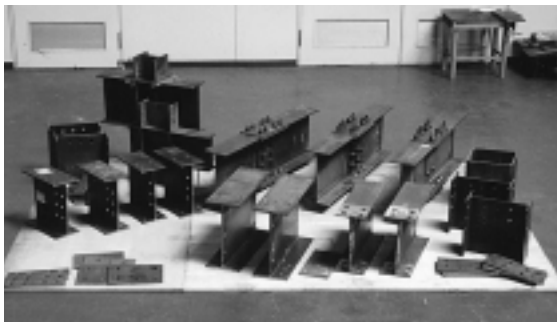


図2 高力ボルト継手部の名称



高力ボルト継手部施工課題

- $PL A_{eF} = 17.82 \text{ cm}^2$
- $PL A_{eF} \cdot (H - g t_F) = 518 \text{ より } 518 \quad 357 \text{ cm}^3$
フランジボルト本数の算定
- $n_F \cdot m_F \cdot \{ Z_{eF} \cdot f_t / R_s \cdot (H - g t_F) \}$
= 4.47本 6本 ($n_F \cdot m_F = 3 \text{ 列} \times 2 \text{ 行}$)
- R_s : HTB 1 本許容せん断耐力 9.05 t f
ウェブ添板の算定
- * $PL A_{ew} \quad A_{ew} \quad * PL Z_{ew} \quad Z_{ew}$
- $PL A_{ew}$: ウェブ添板の有効断面積
- $PL A_{ew} = (2 \cdot PL t_3) \cdot (PL b_3 - m_w \cdot d) = 17.52 \text{ cm}^2$
- $A_{ew} = 14.82 \text{ cm}^2$
- $PL A_{ew} \quad A_{ew}$ より, $17.52 \text{ cm}^2 > 14.82 \text{ cm}^2$
- * $PL Z_{ew} \quad Z''_{ew}$
- $PL Z_{ew} = PL I_{ew} / (0.5 \cdot PL b_3) = 64.2 \text{ cm}^3$
- Z_{ew} : 梁ウェブの曲げモーメントに抵抗する断面係数
- $Z''_{ew} = \cdot (I_w / I_x) \cdot Z_e = 32 \text{ cm}^3$
- $PL Z_{ew} \quad Z''_{ew}$ より, $64.2 \text{ cm}^3 > 32 \text{ cm}^3$
 $PL I_{ew}: 642 \text{ cm}^4$
- $PL b_3$: ウェブ添板の部材せい方向の長さ (mm)
- $PL t_3: PL t_1$: ウェブ添板厚: 0.6cm

• PL: SPL-3 の寸法: 29cm x 20cm x 0.6cm

ウェブボルト本数の算定

ウェブボルト本数の算定では, 一番外側のボルトの設計用曲げモーメントによるせん断力の部材材軸方向の分力, せん断力の部材せい方向の分力, 設計用せん断力によるボルト 1 本当たりのせん断力より, 一番外側のボルトにかかる設計応力によって生じるせん断力 R を次式により検討後算定した。

$$\bullet R^2 = \{ (Q_w \div n_w \cdot m_w) + (Z'_{ew} \cdot \text{短期 } f_t \div S) \times \sin \quad \}^2 + \{ (Z'_{ew} \cdot \text{短期 } f_t \div S) \times \cos \quad \}^2 \quad (R_s)^2$$

$$\bullet R^2 = (7.07)^2 + (9.05)^2 = (R_s)^2$$

$$\bullet S = \{ m_w (m_w - 1) (m_w + 1) n_w + n_w (n_w - 1) (n_w + 1) m_w^2 \times P_c \} \div [6 \{ (m_w - 1)^2 + (n_w - 1)^2 \}] = 29.5 \text{ cm}$$

《第1種保有耐力接合 (値の確認)》

梁継手部曲げ強度は, 梁継手の最大曲げ強度 M_u その部材の全塑性モーメント M_p の規定値 倍以上とした。

• 曲げモーメントに対する検討 ()

J : 継手の M_u の梁母材の全塑性モーメントに対する倍率 $J = M_u \div (Z_{px} \times y)$

• Z_{px} : 母材全断面の塑性断面係数

$$M_u = \text{Min.} \{ M_1, M_2 \}$$

• M_1 (ボルト穴控除による母材耐力) = $Z_{pe} \times u$

Z_{pe} : ボルト穴を控除した塑性断面係数

• Z_{px} : 強軸側の塑性断面係数 = 542 cm^3

$n_F: 3, n_w + 2: 4, 3 < (2 + 2)$ より

$$\bullet Z_{pe} = Z_p - g \cdot d \cdot g t_F \cdot (H - g t_F) - g H_w \cdot d \cdot g t_w \cdot [0.5 \cdot m_w] - 1 / 4 \cdot g t_w \cdot d^2 \cdot \text{Mod.} (m_w - 2) = 440 \text{ cm}^3$$

$$\bullet M_1 = Z_{pe} \times SM90B \quad u = 22000 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

• M_2 : ボルトおよびボルト接合で決まる耐力

$$M_2 = F_p \cdot (H - g t_F) + 0.5 \cdot W_p \cdot g H_w$$

ただし, $F_p = \text{Min.} \{ A_1, A_2, A_3 \}$

$$W_p = \text{Min.} \{ B_1, B_2, B_3 \}$$

• d_1 : 高力ボルト軸径・フランジ摩擦面の数: 2面

• n_F : 片側フランジのボルト本数 = 6本

$$\bullet HTB A_s = 0.75 \cdot (d_1 / 2)^2 = 1.5 \text{ cm}^2$$

• A_1 : ボルトで決まるフランジの引張耐力

$$A_1 = \cdot n_F \cdot 0.75 \cdot HTB A_s \cdot HTB \quad u = 135 \text{ t}$$

A_2 : 母材の縁端距離で決まる耐力

- $A_2 = b n_F \cdot e \cdot G t_F \cdot S_{N490B} \quad u = 81 \text{ t}$
(フランジは $G t_F < P_L t_1 + P_L t_2$ とし $G t_F$ で検討)
- e : 引張力方向の縁端距離 = 3 cm
 A_3 : フランジ添板の有効断面で決まる耐力
- $A_3 = P_L A_{eF} \cdot S_{N490B} \quad u = 89.1 \text{ t}$
 $F_p = \text{Min.} \{ A_1, A_2, A_3 \} = 81 \text{ t}$
 B_1 : ボルトで決まるウェブの引張耐力
- $B_1 = 2 \cdot n_w \cdot 2 \cdot [0.5 m_w] \cdot 0.75 \cdot H_{TB} A_s \cdot H_{TB} \quad u = 90 \text{ t}$
 B_2 : 母材の縁端距離で決まる耐力
- $B_2 = n_w \cdot 2 \cdot [0.5 m_w] \cdot e \cdot G t_w \cdot S_{N490B} \quad u = 52 \text{ t}$
 B_3 : ウェブ添板の有効断面積で決まる耐力
- $B_3 = P_L A_{ew} \cdot S_{N490B} \quad u = 87.6 \text{ t}$
 $W_p = \text{Min.} \{ B_1, B_2, B_3 \} = 52 \text{ t}$
 $M_2 = F_p \cdot (H - G t_F) + 0.5 \cdot W_p \cdot G H_w = 25.13 \text{ t} \cdot \text{m}$
 $M_U = \text{Min.} \{ M_1, M_2 \} = 22.0 \text{ t} \cdot \text{m}$
- $J = M_U \div (Z_{px} \times y) = 1.23 \quad 1.2 (=)$
せん断力に対する検討
- $Q_u = 2 \cdot M_{px} / L_q$
- $M_{px} = Z_{px} \cdot y (L_q: \text{せん断力スパン長})$
 $Q_u = \text{Min.} \{ C_1, C_2, C_3 \}$
- C_1 : ウェブ添板で決まる耐力
 $C_1 = P_L A_{ew} \cdot u / \sqrt{3} = 50.6 \text{ t}$
- C_2 : ウェブ母材で決まる耐力
 $C_2 = A_{ew} \cdot u / \sqrt{3} = 42.8 \text{ t}$
- C_3 : ウェブボルトで決まる耐力
 $C_3 = 2 \cdot n_w \cdot 2 \cdot [0.5 m_w] \cdot 0.75 \cdot H_{TB} A_s \cdot H_{TB} \quad u = 90 \text{ t}$
- $Q_u = \text{Min.} \{ C_1, C_2, C_3 \} = 42.8 \text{ t}$
値を満たす最小せん断梁長さ L_q
- $L_q = 2 \cdot M_{px} / Q_u$
- $Q_u = 2 \cdot M_{px} / L_q$

- M_{px} : 梁部材の全断面に基づく全塑性モーメント
42.8 $\{ (1.2 \times 2 \times 17.88) / L_q \}$
最小せん断梁長さは 値を満たしている
以上の結果をもとに、部材を製作加工、施工・施工分解・施工管理について検討・実施した。

[高力ボルトに関する施工実験概要]

施工実験: ボルト・ナット・座金の硬さの比較

施工実験: 高力ボルト軸力と強度

- 1次締めトルクと軸力
 - 1次締めトルクと高力ボルトナット回転角
 - 標準ボルト軸力と締め付けトルク値
 - キャリブレーション試験
 - 高力ボルト破断強度
- 施工実験: すべり耐力施工実験

試験体の条件

: 黒皮付き

: グラインダ処理

: 塗装処理

: ショットブラスト処理

: 土砂付き

: 赤さび処理

- すべり量, すべり荷重, すべり係数の測定



締め付けトルク - 軸力



施工・施工分解・施工管理



すべり耐力試験体

3. おわりに

高力ボルト工法教材

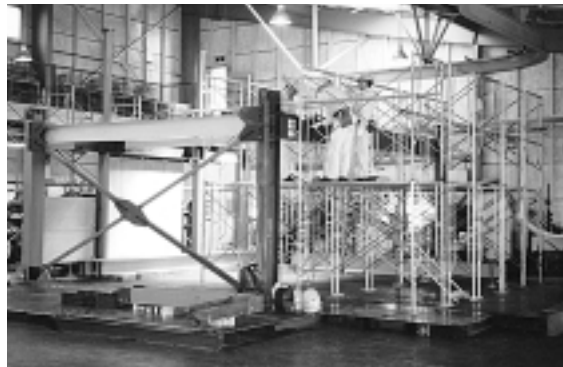
- (1) 高力ボルト工法テキスト
- (2) 重量鉄骨造 2 階建て
- (3) 軽量鉄骨造平屋建て
- (4) 施工実験用試験体
- (5) 鉄骨製作，施工現場，企業調査による写真資料

上記は，建築科の鉄骨造建築施工・在職者能力

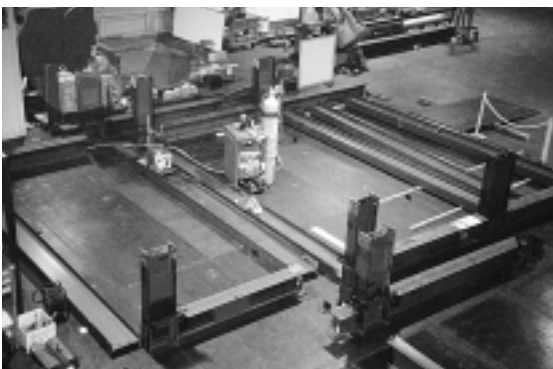
開発セミナー等で活用している。実施にあたり先輩諸賢の文献，資料を参考にさせていただいた。誌面を借りてお礼申し上げる。なお，調査に協力いただいた，鉄骨製作工場・鉄骨建方現場・高力ボルトメーカーなど関連企業等，多くの皆さまに心からお礼申し上げます。製作・施工では安全に特に注意し災害なく実施できた。重量鉄骨建方・製作安全では新貝雅文氏，和久井賢二氏をはじめ建築科職員ならびに建築科学生に助言・協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げます。



帯のご盤による柱・梁部材の切断



重量鉄骨造による高力ボルト工法施工中



主架構の製作加工・製品検査



軽量鉄骨造の高力ボルト施工中



トラッククレーンによる大梁 - 小梁の建方施工



軽量鉄骨造の施工管理課題