

ボルト、構造用木ねじ、くぎを用いた木質接合部のせん断試験における終局強度比及び終局変位・塑性率

終局強度比	終局変位	塑性率
くぎ接合	構造用木ねじ接合	ボルト接合

正	○ 岡部 実 *1
〃	小林 研治 *2
〃	安村 基 *3

1. 緒言

曲げ降伏型接合具を用いた接合⁽¹⁾では、European Yield Theory (以下 EYT) を用いて接合具 1 本当たりの降伏耐力 p_y を求め、終局強度比 r_u を乗じて 1 本当たりの終局耐力 p_u を算出し、複数本の接合具配置では、本数 n と本数による耐力低減係数 jK_n を乗じて接合部全体の終局耐力 P_u を計算することができる。併せて木部が割裂、せん断、引張により脆性的な破壊を生じないことを別途検定している。

木質構造接合部設計事例集⁽²⁾では、ボルト等の接合において、終局強度比 r_u が EYT による降伏モード毎に示されているが、靱性が大きな木質構造建築物を設計する際、接合部においても塑性率 μ 、終局変位 D_u を考慮しておく必要がある。

本報では既往のボルト^{(3),(4)}、構造用木ねじ⁽⁵⁾及びくぎ接合部実験⁽⁶⁾で得られた結果から、終局強度比 r_u 、終局変位 D_u 及び塑性率 μ について整理することを目的とする。

2. 既往実験データの整理方法

構造用集成材を用いたボルト接合部実験⁽³⁾ (鋼板添え板、鋼板挿入及び木-木接合) は、ボルト径 16mm と 20mm の 2 種類 (JIS B 1051 強度区分 4.6)、主材を構造用集成材、側材の鋼板厚さ 9mm 又は 12mm 及び構造用集成材を用いた接合とし、繊維平行加力と繊維直角加力を行っている。構造用集成材の樹種は、スプルース (一部トドマツ) とベイマツとし、集成材厚 l とボルト径 d の比率 l/d は、2, 4, 8 を実験での変数としている。

荷重-変位曲線から、比例限荷重 P_p 、比例限荷重時変位 D_p 、最大荷重 P_{max} 及び最大荷重時変位 D_{max} を抽出した。

ボルト接合部実験における終局強度比 r_u を(1)式で、終局変位 D_u 及び塑性率 μ を(2)式、(3)式で定義した。

$$r_u = \frac{P_{max}}{P_p} \quad (1) \quad D_u = D_{max} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{D_{max}}{D_p} \quad (3)$$

一般に接合部実験で得られた荷重-変位曲線の包絡線から最大耐力の 10%、40%、90%時耐力及び変位を用いて降伏耐力 P_y ・変位 D_y を求め、 $0.8P_{max}$ 時変位を終局変位 D_u として、包絡線の面積と等価な完全弾塑性復元力特性か

ら終局耐力 P_u を求める計算を行うが、構造用集成材ボルト接合実験当時は降伏耐力 P_y 、終局耐力 P_u を求める手法が確立していなかったことや、脆性的な破壊を示す試験体も多かったことから、比例限荷重 P_p や最大荷重 P_{max} を用いてデータの再整理を行った。

構造用 LVL (A 種及び B 種) を用いた鋼板添え板ボルト接合部、構造用木ねじを用いた木材と木材の接合部及び構造用面材と枠組壁工法構造用製材 (SPF 2nd NLGA 規格) 接合部実験では、降伏耐力 P_y 、終局耐力 P_u 、終局変位 D_u 及び塑性率 μ は、脆性的な破壊を生じないものは一般的な算出方法で求めている。

3. 典型的な曲げ降伏型接合具の荷重-変位曲線

接合具径、接合具長さ、支圧強度が異なる接合部は耐力が異なることから、終局耐力 P_u で基準化し変形性能を比較できる基準化荷重と変位の関係を図 1 に示す。最大耐力時の変位は、構造用 LVL-ボルト接合と構造用集成材-構造用木ねじ接合では約 20mm 程度、構造用 MDF-CN50 くぎ接合では 8mm 程度であった。構造用木ねじのせん断試験は、正負繰り返し加力を行っていることから、木ねじ胴部の曲げ変形による折損による耐力低下が見られた。

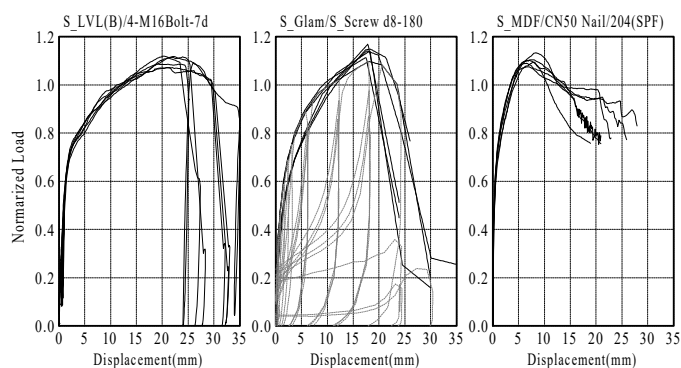


図 1 構造用 LVL(B 種)-M16 ボルト接合、構造用集成材-構造用木ねじ接合及び構造用 MDF-CN50-204(SPF)くぎ接合 基準化荷重-変位曲線の一例

4. 終局強度比 r_u

降伏耐力 P_y と終局耐力 P_u の関係 (構造用集成材は、比例限耐力 P_p と最大耐力 P_{max}) を図 2 に示す。図中点線の傾きが終局強度比 r_u を示し、くぎ接合部、構造用木ねじ接合部では 1.5 倍以上となることが認められた。破壊状況は接合具の曲げ降伏による塑性ヒンジの発生が見られた。

また構造用木ねじ接合で終局強度比が大きなグループは全ねじタイプの木ねじであった。

一方構造用 LVL や構造用集成材でのボルト接合において終局強度比 r_u が 1.0 に近い接合は、木部での脆性破壊が生じている。

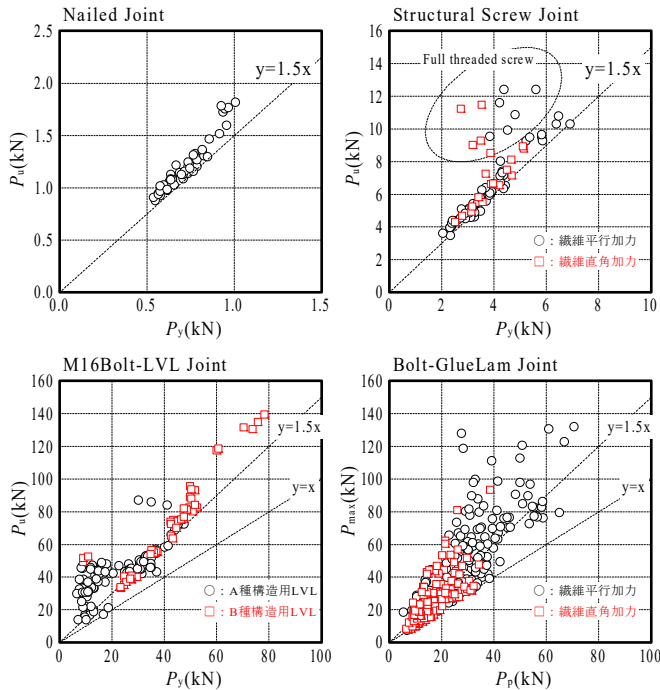


図 2 降伏耐力 P_y と終局耐力 P_u の関係

5. 終局変位 D_u と塑性率 μ

接合部のせん断試験で得られた荷重-変位曲線の包絡線で囲まれた面積を等価な完全弾塑性モデルに置換することで、終局変位 D_u 、塑性率 μ を求めることができる。終局耐力 P_u で基準化した完全弾塑性モデルの台形の面積 W を終局変位 D_u と塑性率 μ で表現すると(4)式で表すことができ、面積等価な終局変位と塑性率が関数で与えられる。

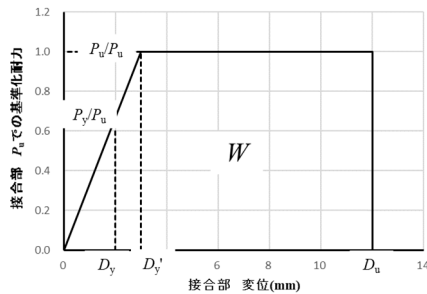


図 3 完全弾塑性モデルでの面積 W

$$W = D_u \times \left(1 - \frac{1}{2\mu}\right) \quad (4)$$

接合部毎の終局変位 D_u と塑性率 μ の関係を図 4 に示す。図中の青点線は、終局変位 $D_u=10\text{mm}$ 、塑性率 $\mu=5.0$ で求めた面積 W と等価な終局変位及び塑性率を示している。

くぎ接合部は剛性が高いため、終局変位は 20mm 前後で

あるが、塑性率は 10 を超えるものが多い結果であった。逆に構造用木ねじは、繊維平行方向、直角方向加力とも終局変位が 20mm を超えるものが多い結果となっている。

B 種構造用 LVL を M16 ボルトで鋼板添え板 2 面せん断とした接合では、本報で定めたクライテリア ($D_u=10\text{mm}$ 、 $\mu=5.0$ と等価な面積 W 以上) を満足する結果が多く見られたが、A 種 LVL 構造用 LVL では終局変位、塑性率が小さい値となっている試験体も見られ、これらの接合の多くが LVL の割裂もしくはせん断破壊であった。

構造用集成材のボルト接合では、多くの試験結果が終局変位 (集成材ボルト接合の実験では最大荷重時変位としている。) 10mm 以下であり、靱性型接合部を設計するにはボルト配置は十分注意し、木部の割裂やせん断破壊が生じないようにする必要がある。

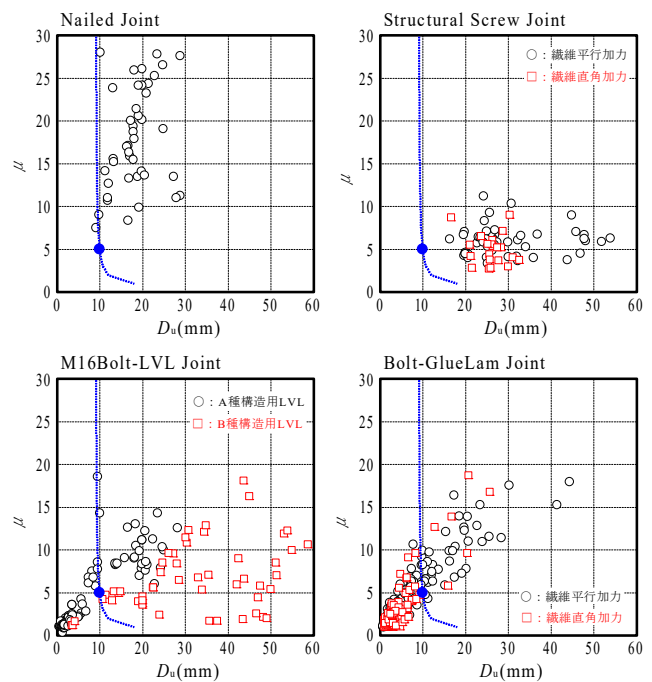


図 4 接合部毎の終局変位 D_u と塑性率 μ の関係

6. 参考文献

- (1) 木質構造設計規準・同解説; 日本建築学会, 2006
- (2) 木質構造接合部設計事例集; 日本建築学会, 2012
- (3) M. Yasumura, T. Murota and H. Sakai; Ultimate Properties of Bolted Joints in Glued-Laminated Timber; 20-7-3, CIB-W18A, Ireland, 1987
- (4) 小林 研治, 安村 基, 村山和繁, 岡部 実, 成田敏基, 李元羽; LVL を用いた鋼板添え板ボルト接合部の二面せん断性能に及ぼすボルト配置および直交層の影響; 第 67 回日本木材学会大会要旨集, 2017
- (5) Minoru Okabe, Chiara Luzzani, Flavio Nebiolo; Cyclic Lateral Load Test of Screws on Timber to Timber Connections for Sugi Wood Products; 2018 World Conference on Timber Engineering, South Korea, 2018
- (6) 岡部 実, 服部和徳, 小谷直人; くぎ接合部一面せん断試験結果を用いた高耐力仕様枠組壁工法耐力壁の降伏耐力の計算; 日本建築学会大会梗概, 22129, 構造III, 中国, 2017

*1 (一財)ベターリビングつくば建築試験研究センター, 博士 (農学)

*2 静岡大学大学院農学領域, 准教授 博士 (農学)

*3 静岡大学名誉教授, 農学博士

*1 Center for Better Living, Tsukuba Building research and test Laboratory, Dr. Agr.

*2 Associate Prof., Shizuoka University, College of Agriculture, Dr. Agr.

*3 Professor emeritus, Shizuoka University, Dr. Agr.