

木質構造におけるラグスクリーボルト接合具の耐力発現機構に関する研究

学生番号 B142532 氏名 大坪 祐介
研究室 建築構造力学 指導教員 森 拓郎 准教授

1. はじめに

中・大規模建築物での木材の利用拡大を目指す中、設計自由度の高い木質ラーメン構造の需要が高まっている。この接合部を構成する接合具の 1 つとしてラグスクリーボルト（以下 LSB）が挙げられる。しかし、鉄筋コンクリート造や鉄骨造では完全な剛節接合部ができるのに対して、木質構造では常に半剛節接合部になるため、接合部の性能評価が重要となる。中谷らの研究¹⁾⁻²⁾では、木材繊維平行方向に埋め込まれた LSB の引抜き性能を理論的に推定できる式を誘導しており、押し込みにおいても同等の性能を有すると考えている。そこで本研究では、この理論式の精度を高めることを最終的な目的とし、まずは引抜きと押し込み性能の耐力発現機構の差異について検討した。加えて、提案されている最大引抜き耐力の理論式における各パラメータの影響について考察した。

2. LSB 概要

LSB（図 1）とは、木材に埋め込む雄ネジを持ち、引抜き及び押し込み抵抗することで軸力を伝達する大径の接合具であり、特徴として軸部端部に引張力または圧縮力を他の部材に伝達する雄ネジまたは雌ネジを有する。

3. 実験概要

本実験で使用する LSB は山側直径 27.2mm、谷側直径 22.2mm とし、M16 のハイテンションボルトと接合した。また LSB の軸方向力を調べるため、中空にした LSB の軸方向に 60mm 間隔で 4 箇所、対になるようにひずみゲージを貼り付けた。以降の結果及び考察においては、対になるひずみの平均値をその地点でのひずみとして用いた。試験体はスギ集成材 E65-F225 を用い、全長は 160mm とした。その全長にわたり、図 2 におけるひずみ計測条件の配置となるように LSB を木材繊維平行方向に埋め込んだ。図 3 に示す方法で、各条件 3 体ずつ引抜き及び押し込み実験を行った。

4. 実験結果と考察

4.1 荷重-変位の関係

荷重-変位の関係を図 4 に、実験結果を表 1 に示す。引抜き実験と押し込み実験を比較すると、最大耐力及び降伏耐力に関してはほぼ同じ値を示しているが、すべり係数に関しては引抜き実験の方が高い傾向にあった。



図 1 ラグスクリーボルト (LSB)

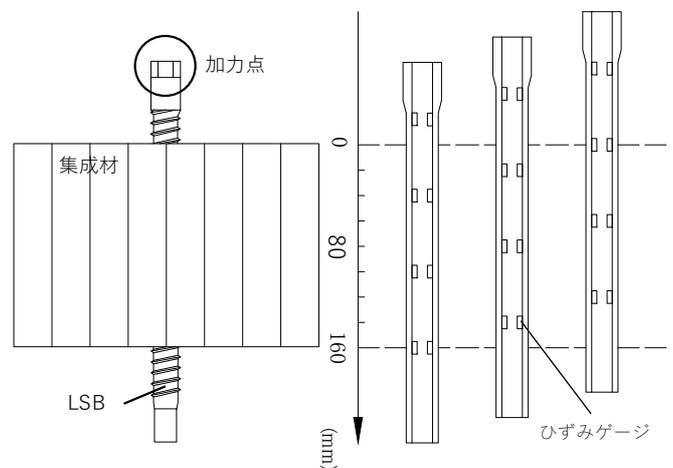


図 2 試験体及びひずみ計測条件

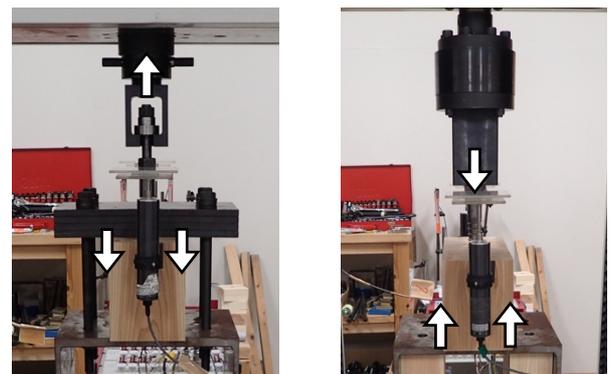


図 3 実験の様子（左 引抜き実験、右 押し込み実験）

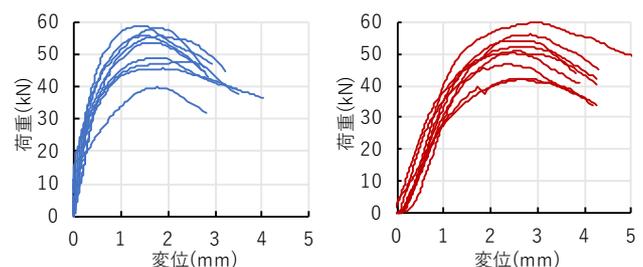


図 4 荷重-変位の関係（左 引抜き実験、右 押し込み実験）

4.2 LSBの軸方向力

10kN から 40kN まで 10kN ずつそれぞれの荷重における LSB の軸方向力を図 5 に示す。なお、横軸はひずみ計測位置とした。LSB の軸方向力は、それぞれの地点のひずみに鋼鉄のヤング係数と別途実験的に求めた LSB 平均有効断面積を乗じた値とした。引抜実験では、LSB の軸方向力は LSB のひずみ計測位置の深さに比例して減少した。0mm 地点の LSB の軸方向力は荷重に近い値を示している。しかし、押込実験では、0mm-20mm 地点は LSB の軸方向力が上昇し、20mm-40mm 地点は急激に減少した。0mm 地点の LSB の軸方向力は、荷重より小さい値を示した。このことから、引抜きと押込みににおける LSB 内部の力の伝達の仕方に差異があることがわかった。

5. 理論式を構成するパラメータの解明

5.1 比較対象とした理論式

LSB は国内で開発されたため研究例が少ない。そこで海外での研究例が多く、LSB に類似した耐力発現機構を持つ接合部を構成するグルード・イン・ロッド (以下 GIR) に着目した。GIR 理論式との比較を行い、LSB の最大引抜耐力を推定する際にパラメータがどのような影響を与えるかを考察した。以下に比較対象とした理論式を示す。あと m

$$\text{中谷 (Pull-Push)}^1): P_{max} = \pi \cdot R \cdot f_v \cdot \tan hkl / k$$

$$\text{Haris Stamatopoulos}^3): P_e = \pi \cdot R \cdot l \cdot f_w \cdot \tan h\omega / \omega$$

$$\text{Eurocode5 (2001)}^4): R_{ax,k} = \pi \cdot d_{equ} \cdot l_a \cdot f_{v,k}$$

$$\text{Eurocode5 (2003)}^4): R_{ax,k} = \pi \cdot d_{equ} \cdot l_a \cdot f_{av,k} \cdot \tan h\omega / \omega$$

$$\text{GIROD}^4): P_f = \pi \cdot d \cdot l \cdot \tau_f \cdot \tan h\omega / \omega$$

ここで、

$$P_{max} / P_e / R_{ax,k} / P_f: \text{最大引抜耐力 (N)}$$

$$R / d / d_{equ}: \text{LSB 山側直径/GIR 山側直径/等価直径 (mm)}$$

$$f_v / f_w / f_{v,k} / f_{av,k} / \tau_f: \text{せん断強度 (N/mm}^2\text{)}$$

$$k / \omega: \text{剛性比率}$$

5.2 理論式の比較

図 6 に示すように、最大引抜耐力は大きな差があるが、直径または接合長さに対してよく似た増加傾向を示した。この結果と上記の理論式より最大引抜耐力の差異はせん断強度に依存することが確認できた。

6. まとめ

本実験におけるひずみの計測により、引抜きと押込みの耐力発現機構には差異があることがわかった。また理論式の比較より、せん断強度が最も重要なパラメータの 1 つとして挙げられ、せん断強度の算出方法について調査し、検討する必要があると考えた。今後も引抜きと押込み性能の推定手法の確立を進めたい。

表 1 実験結果(上 引抜実験、下 押込実験)

	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	K (N/mm ²)
Ave.	51.51	1.76	29.56	0.32	101469.6
Cv.	6.03	0.24	5.55	0.11	31789.6

	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	K (N/mm ²)
Ave.	50.47	2.64	32.32	1.05	33944.1
Cv.	5.64	0.19	5.64	0.36	6198.5

※ P:耐力(kN) δ:変位(mm) K:すべり係数(N/mm²)

添え字 max:最大時 添え字 y:降伏時

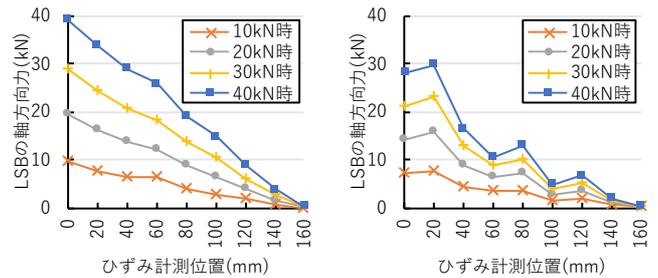


図 5 LSB の軸方向力 (左 引抜実験、右 押込実験)

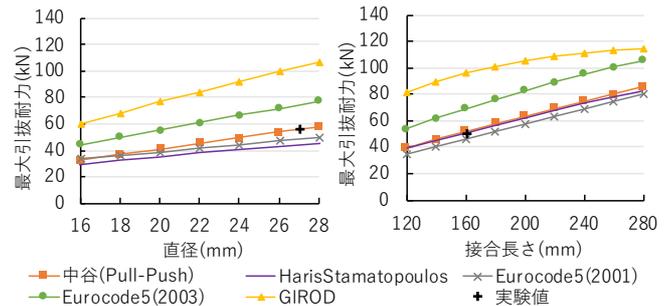


図 6 最大引抜耐力に与える影響(左 直径、右 接合長さ)

参考文献

- 1) Makoto Nakatani, Kohei Komatsu: Development and verification of theory on pull-out properties of Lagscrewbolted timber joints, Proceedings of WCTE2004, pp. 95-99, 2004
- 2) 中谷 誠, 小松 幸平: ラグスクリーボルトの引抜き性能発現機構(第2報)繊維平行方向引抜き理論の構築, 木材学会誌, 51(5), pp. 311-317, 2005
- 3) Haris Stamatopoulos, Kjell Arne Malo: Withdrawal capacity of threaded rods embedded in timber elements, Construction and Building Materials, pp.387-397, 2015
- 4) Stepinac Mislav: Comparison of design rules for glued-in rods and design rule proposal for implementation in European standards, International council for research and innovation in building and construction, pp.7-12, 2013