木ネジによるモーメント抵抗接合部におけるパネルゾーンのせん断補強方法の開発

DEVELOPMENT OF SHEAR REINFORCEMENT METHOD WITH WOOD SCREW AT PANEL ZONE OF MOMENT RESISTING JOINT

中谷 誠 ——— *1 森 拓郎 ——— *2

キーワード：
LSB, 木ネジ, せん断補強

Keywords:
LSB, Wood screw, Shear reinforcement

Makoto NAKATANI ——— *1 Takuro MORI ——— *2

A moment resisting joint with lagscrewbolts shows good mechanical performance and aesthetic view due to not exposing the connectors to the outside. However, the beam and column joints rarely showed a brittle shear failure at the panel zone of the column surrounded by the lagscrewbolts. In this research, a joint system reinforced by long wood screws was confirmed to improve the strength properties and prevent from the failure at the early stage. As the results, the maximum shear strength and stiffness increased with increasing the number of the screws embedded with a comfortable space between each lagscrewbolts and edge distance.

1. はじめに

公共建築物の木造化の促進¹⁾が求められる中、学校校舎や庁舎などの建築物について、内部空間を広く設けることができ、また使用用途の変化に対応して室内の間取りを比較的容易に変更できる木質ラーメン構造を採用するケースが増加している。木質ラーメン構造を構成するモーメント抵抗接合部は、各種接合金物もしくは接着剤などにより構成されており、数多くの接合形式が提案されている²⁾。その中で、ラグスクリューボルト（以下、LSB）や鋼製ロッドなどを柱材および梁材に埋め込み、ネジや接着によって緊結する接合方法が提案されている。これらは、高い接合強度と回転剛性を有し、金物がほとんど外部に露出しないため審美性に優れ、また現場での施工性が良いとされている³⁻⁷⁾。しかしながら、既往の研究成果⁶⁾より、接合部におけるLSBに挟まれた柱材のパネルゾーンにおいて大きなせん断力が発生し、初期破壊として柱材のせん断破壊が生じる事例が報告されている。

本研究では、LSBによるモーメント抵抗接合部の接合性能と安全性の向上を目的に、柱材のパネルゾーンに長尺の木ネジを埋め込むことによるせん断補強を検討する。実験では、簡易な曲げせん断試験方法を採用し、長尺の木ネジの本数および配置の違いによる補強効果を検証した。

2. 実験

2.1 試験体

本実験は、LSBによる柱と梁接合部を想定した試験体について検討した。柱と梁の接合部の一例の概要図を図1に示す。図中の寸法値は、実際の接合部を想定した値である。

接合部は、柱と各梁材に埋め込まれた大型のネジ型接合具であるLSBを、中間金物を介して緊結することで構成される。中間金物は木材のカバーが施されることで、外部にはほとんど露出しないこと

になる。接合部は、外力モーメントに対して柱材の上下に埋め込まれたLSBが引抜き抵抗もしくは圧縮抵抗することで耐力が発現される。この時、柱材の上下に埋め込まれたLSBには、押しと引きの逆の力が作用するため、LSBに囲まれた部分にせん断力が作用することになる。

そこで本実験では、図1の斜線で示されたせん断力が作用するエリア（以下、パネルゾーン）において、長尺の木ネジを使用した補強について検討した。

図1 接合部と補強エリアの概要図

実験は、柱材を想定した試験体に、パネルゾーンに作用する荷重を負荷することで行った。試験体は、木質部材をスギ構造用集成材（E65F225）とし、寸法を断面120 x 300 mm、長さ2000 mmとした（図2参照）。試験体中央部には接合部と同様の間隔でLSBを2本ずつ2か所、計4本埋め込み、パネルゾーンを作製した。また、試験体の両端にも試験の反力用にLSBを各1本埋め込んだ。

¹⁾ 宮崎県木材利用技術センター 主任研究員・博士（農学）
〒885-0037 宮崎県都城市花緑町21-2

²⁾ 京大大学生存圏研究所 助教・博士（工学）

¹⁾ Senior Researcher, Miyazaki Prefectural Wood Utilization Research Center, Dr. Agr.

²⁾ Assistant Prof., RISH, Kyoto Univ., Dr. Eng.

LSBはネジの山径 25 mm、ネジの谷径 20 mm、全長 300mm、ネジ筋が完全に形成されたネジの有効長さ 270 mm とした。木質材料には、LSBの埋め込み用に直径 22mm の先穴をあけ、一端には LSB の埋め込み時に必要となる六角レンチのソケットが納まるよう、直径 35mm、長さ 35mm の座掘りを設けた。LSB の詳細を図 3 に示す。

木ネジは、ネジ山径 8 mm、全長 320 mm もしくは 290mm（製品名：パネリード X、東日本パワーファスニング社製）とした。各寸法の詳細を図 4 に示す。ネジの埋め込みは、直径 6 mm で表層より 40 mm の長さにあけた先穴に、斜め埋め込み専用治具を用いて、電動インパクトドライバーにより指定の位置まで埋め込んだ。

2.2 実験条件

実験条件は、補強を施さないもの、木ネジ 2 本、4 本、6 本、8 本そして 12 本により補強を施したものとし、木ネジ 6 本については

配置を替えた 2 条件とした。試験条件は全 7 条件とした。補強を施した試験体の詳細を図 5 に示す。木ネジ 2 本、4 本そして 6 本の斜め埋め込みによる補強では、木質部材の埋め込み面に対する木ネジの埋め込み角度は 52.5 度とし、木ネジ 8 本による補強では埋め込み角度を 60 度とした。木ネジ 6 本のひとつの試験条件と木ネジ 12 本では、試験体の繊維方向に対して垂直方向に木ネジを埋め込んだ。

試験体数は無補強を 8 体、補強有りを各 4 体、合計 32 体とした。

図 3 LSB の詳細図

図 4 木ネジの詳細図（単位：mm）

図 2 試験体概要図（単位：mm）

2.3 実験方法

実験は、逆対称 4 点曲げ試験方法⁸⁾を採用し、試験体中央部のパネルゾーンを想定した部分にせん断力を加えることで行った。試験方法の概要を図 6 に示す。

(a) 木ネジ 2 本

(b) 木ネジ 4 本

(c) 木ネジ 6 本、斜め埋め込み

(d) 木ネジ 6 本、垂直埋め込み

(e) 木ネジ 8 本

(f) 木ネジ 12 本

図 5 木ネジによる補強条件（単位：mm）

本試験により、パネルゾーンでの中立軸におけるせん断応力度 (τ) および平均せん断ひずみ (γ) は、以下の式によって求める。

$$\tau = \frac{3Q}{2A} = \frac{3I_a P}{2bh(l_a + 2l_b)} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{\delta}{h} \quad (2)$$

ここで、 Q : せん断力、 A : 断面積、 P : 負荷荷重、 b : 試験体の材幅、 h : 試験体の材せい、 l_a : 外側支点と中央支点の距離 (図6参照)、 l_b : 試験体中央から中央支点までの距離 (図6参照) δ : せん断変形量

加力は実大強度試験機 (容量 1000kN: 東京衡機製作所製) を使用した。中央2箇所 LSB が2本を埋め込まれている支点には、実際の接合金物を想定して長さ 100mm、幅 120mm、厚さ 19mm の鋼板を LSB に被せて配した。また、両端の支点部には、長さ 200mm、幅 120mm、厚さ 19mm の鋼板を配した。荷重は試験機上部に取り付けたロードセルにより測定し、補強部分におけるせん断変形は、試験体の上面と下面からアングルを伸ばし、水平方向でのせん断変形を変位計 (CDP-50M、東京測器社製) により測定した (図6中側面図参照)。

図6 試験方法の概要 (単位: mm)

3 実験結果

3.1 破壊性状

全ての試験体の初期破壊は、図7に示すような材料の中央部 (パネルゾーン) における木材の繊維方向に沿ったせん断破壊であった。無補強の試験体は、初期のせん断破壊が進展することで耐力を失い、終局に至った。補強試験体は、初期にせん断破壊を生じたのち、ほぼ全ての試験体について部材の曲げ破壊により終局破壊に至った。図7に補強無し試験体、そして図8に木ネジ8本による補強試験体の終局破壊を示す。

図7 補強無し試験体の終局破壊性状

図8 木ネジ8本補強試験体の終局破壊性状

3.2 補強効果

図9に典型的なパネルゾーンに作用するせん断力とせん断変形量の関係を示す。全ての試験体について、初期破壊としてせん断破壊が生じて荷重が低下した。最大せん断応力度時のせん断変形量に補強の効果は見られないが、補強によりパネルゾーンの見かけのせん断弾性係数が向上したことで、せん断破壊に至るせん断応力が上昇したと考えられる。表1に試験結果の平均値と補強効果を示す。表中の補強効果は、補強有り試験体のせん断強度もしくは見かけのせん断弾性係数を無補強試験体の各値で除した割合である。

図10に補強条件と試験体が破壊に至った最大せん断耐力の関係を示す。木ネジを斜め方向に埋め込んだ試験体は、木ネジ本数が増えるほど最大せん断耐力が増す傾向が見られた。ただし、木ネジ6本による補強では結果にばらつきが大きく、平均値では木ネジ4本を下回る結果となった。また、木ネジを繊維方向に対して垂直方向に埋め込んだ試験体は、木ネジ6本より12本の方が小さい値となった。これらの理由として、木ネジ同士の間隔が狭くなることにより、埋め込みの際の木材の損傷が大きくなったことが原因と考えられる。

図11に補強条件と見かけのせん断弾性係数の関係を示す。見かけのせん断弾性係数は、せん断応力度とせん断ひずみが比例関係にあると見なせる最大せん断応力度の0.1倍から0.4倍の範囲において、せん断応力度の差分をせん断ひずみの差分で除した値とした。斜め埋め込み試験体は、木ネジ本数が増えるほど、見かけのせん断弾性係数が増す傾向が見られた。垂直方向に埋め込み試験体は、木ネジ6本より12本の方が小さい値となり、無補強とほぼ同じ値となった。

これらの試験結果より、木ネジによる補強を施すことで、実際の接合部において破壊性状が変わることが予想される。図10中の太線は、本試験体のモデルとなった接合部 (図1参照) のLSBについて、既往の研究におけるLSBの引抜き性能の理論式⁹⁾を用いて推定した引抜き耐力である。本試験結果における無補強の最大せん断耐力と比較すると、この太線を下回る5/8の確率でパネルゾーンのせん断

破壊が先行することになる。しかし、木ネジ4本および8本により補強した場合には、全ての試験体が LSB の引抜き強さを上回っており、LSB の引抜き破壊が先行して生じると予想される。今後、木ネジによる補強を施したパネルゾーンのせん断性能についてバラツキを考慮した設計法が提案されることで、LSB の引抜き耐力を勘案し、中間金物などが先行して降伏する靱性のある接合部の設計に役立つと考える。

図9 典型的なせん断力とせん断変形量の関係

図10 木ネジによる補強条件と最大せん断耐力の関係

注) ー：推定される LSB の引抜き強さ

図11 木ネジによる補強条件と見かけのせん断弾性係数の関係

表1 各試験結果の平均値と補強効果

木ネジ数 本	打ち込み方向	せん断強度 N/mm ²	補強効果	見かけのせん断 弾性係数 GPa	補強効果
0		5.59 (0.05)	—	0.61 (0.18)	—
2	斜め打ち	5.83 (0.06)	1.04	0.68 (0.13)	1.12
4	斜め打ち	6.51 (0.02)	1.17	0.95 (0.15)	1.55
6	斜め打ち	6.08 (0.10)	1.09	0.74 (0.15)	1.21
8	斜め打ち	6.84 (0.05)	1.22	0.83 (0.11)	1.35
6	繊維直交	6.09 (0.06)	1.09	0.78 (0.12)	1.27
12	繊維直交	5.56 (0.10)	0.99	0.66 (0.09)	1.07

注) () 内は変動係数、補強有り試験体のせん断強度もしくは見かけのせん断弾性係数を無補強試験体の各値で除した割合

4. まとめ

LSB により構成するモーメント抵抗接合部のパネルゾーンに、木ネジを用いることでせん断性能を補強する効果が確認できた。最大の補強効果が認められた木ネジを斜め方向に8本埋め込んだ場合には、せん断強度は1.22倍に、見かけのせん断弾性係数は1.35倍に増加した。補強効果は、木ネジの本数と共に増加するが、木ネジの使用本数と配置により木ネジ同士の間隔および縁端距離が狭くなると、木材の損傷に起因すると思われる補強効果の低下が認められた。今後、木ネジによる補強メカニズムの解明と、最適な使用条件の提案を行いたい。

【謝辞】本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業(若手研究B：課題番号 23780186)により実施した。また補強用木ネジを提供していただいた東日本パワーファスニング社に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律：HP
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/koukyou>
- 2) 特集 木質ラーメン構法で住宅をつくる，建築技術，No. 688，pp. 91～179，2007. 5
- 3) Komatsu Kohei et al.: Development of Lagscrewbolt as a connector for Glulam moment-resisting joints, Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, pp. 349～354, Rotorua, New Zealand, 1999. 3
- 4) 中谷 誠，森 拓郎，小松幸平：ラグスクリューボルトと特殊金物を用いた木質ラーメン構造の柱—梁接合部に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第73巻，第626号，pp. 599～606，2008. 4
- 5) 森 拓郎，中谷 誠，小松幸平：雄ネジタイプのラグスクリューボルトを用いた一方向ラーメンフレームの開発，構造工学論文集 vol. 55B，pp. 213～218，2009. 3
- 6) Nakatani Makoto, Mori Takuro, Komatsu Kohei: Development of cross embedded joint using Lagscrewbolt. Proceedings of the WCTE 2012, pp. 360～363, Auckland, New Zealand, 2012
- 7) 井上正文，後藤靖ほか：接着剤と接合金物を併用した木質構造継手接合部に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第489号，pp. 59～66，1996. 11
- 8) 森田秀樹，藤元嘉安，小松幸平，村瀬安英：実大構造用木材のせん断試験法の開発，木材学会誌 Vol. 52，No. 6，pp. 376～382，2006. 11
- 9) 中谷 誠，小松幸平：ラグスクリュ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，第51巻，第5号，pp. 311～317，2005. 9.

[2015年2月18日原稿受理 2015年6月4日採用決定]