

氏名	なか 中	たに 谷	まこと 誠
学位(専攻分野)	博士(農学)		
学位記番号	農博第1575号		
学位授与の日付	平成18年5月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
研究科・専攻	農学研究科森林科学専攻		
学位論文題目	ラグスクリューボルトの耐力発現機構の解明と木質ラーメン構造への応用		
論文調査委員	(主査) 教授 小松幸平	教授 奥村正悟	教授 矢野浩之

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ラグスクリューボルトと呼ばれるねじ込み型接合具の、任意埋込深さの引抜き耐力とすべり係数の予測式をフォルカーセンモデルに基づいて誘導し、ラグスクリューボルトを用いて全接合部を構成した実大集成材ラーメン架構の初期変形性能が誘導した剛性予測式を用いて正確に推定できることを、実験値との比較によって明らかにした結果を取りまとめたものである。

- (1) 先穴直径については、山側直径30 mm、谷側直径25 mm のラグスクリューボルトを使用した本研究では、埋込みに必要とするトルクと引抜き性能の関係から、27 mm が最適であることがわかった。すなわち、最適な先穴直径は谷側直径に山側直径と谷側直径の差の4割を足した値であるとの提案を行った。埋込み深さについては、一般的傾向として、埋込み深さに応じ、最大引抜き荷重とすべり係数は増加していくが、埋込み深さが深くなるほどその増加の割合は鈍化していくことが明らかになった。埋込み方向については、ラグスクリューボルトを、繊維平行方向に埋込むと、繊維直交方向に埋込む場合より最大引抜き荷重が25%低下し、すべり係数は3～6倍になることが明らかとなった。また、繊維平行方向引抜きにおいて、特に脆性的な破壊を示した。縁距離については、縁距離  $D$  が0.75, 1.0では、ラグスクリューボルトの埋込み時と引抜きの終局状態で集成材の側面に割裂が生じるものが見られた。このことから、縁距離  $D$  は1.5以上設けることが適当であるとの結論を得た。ラグスクリューボルトの直径の影響については、埋込み深さが浅い場合、本実験で使用した山側直径25 mm～36 mm の範囲において、単位面積当たりの最大引抜き荷重とすべり係数は、ほぼ同じ値を示した。また、山側直径が細いほど、埋込み深さが深くなることによって、最大引抜き荷重とすべり係数の増加割合が鈍化する影響を受けやすいとの結論を得た。最後に、樹種と材質が与える影響については、樹種(比重)と引抜き性能の明確な関係は認められなかった。現時点では、木材の比重によりラグスクリューボルトの引抜き性能を決定することは適当ではないと考えられる。今後、より多くの樹種や木質材料について実験を行い、データを蓄積することが必要であると考えられた。
- (2) 集成材の繊維方向に対し平行方向と直交方向に埋込んだラグスクリューボルトの引抜き性能に関する理論式を、ラップジョイントの解析モデルであるフォルカーセンモデルを参考に導いた。しかし、この理論式を用いて任意埋込み深さのラグスクリューボルトの最大引抜き荷重とすべり係数を予測するためには、ラグスクリューボルトの引抜き性能特有の物理常数であるせん断強度( $f_v$ )とせん断剛性係数( $G$ )、そして木質部材の有効面積 $A_w$ を知る必要がある。そこで、本研究ではせん断強度( $f_v$ )とせん断剛性係数( $G$ )を、埋込み方向でのせん断応力がほぼ均一に分布すると仮定できる15 mm厚の薄板実験から求めた。また、木質材料の有効面積 $A_w$ は、繊維平行方向では埋込み位置(試験体の側面までの距離)を変化させた実験結果より、山側直径の1.5倍を半径とする円の面積とし、繊維直交方向ではラグスクリューボルトの使用条件に応じて、弾性床上の梁の理論もしくは短尺の梁の曲げ理論における変形エネルギーを、フォルカーセンモデルの一樣な引張り変形エネルギーに置き換えることで算定した。誘導した理論式から算出した理論的引抜き耐力ならびに理論

的すべり係数の値は、山側直径25 mm, 30 mm, 35 mm のラグスクリューボルトを用い、さまざまな埋込み深さで引抜き実験を行った結果と比較的よく一致した。以上の結果より、簡単な薄板の引抜き実験を行うことで、誘導した理論式を用いて多様な埋込み条件のラグスクリューボルトの最大引抜き荷重とすべり係数を推測できることが明らかとなった。

- (3) 以上で誘導した理論的すべり係数が実際の本質ラーメン架構の変形をどの程度正確に推定可能であるかどうかを検証する目的で、スパン3.64 m, 高さ2.49 m の実大木質門型ラーメン構造の試験体をラグスクリューボルトを用いて組み立てた。完成した門型ラーメン架構は柱―梁, 柱脚接合部全てがラグスクリューボルトのみで構成されており、金物が全く外部に見えないシンプルで美しい構造となった。この木質ラーメン構造に対し正負繰り返し水平加力を与え、試験体の水平せん断性能を評価した。試験体の柱に一定間隔で貼り付けたひずみゲージによるひずみ実測値から、ラーメン架構の変曲点が柱の2/3程度の位置にあることが確認できた。またこの変曲点の位置情報から柱―梁, ならびに柱脚接合部における作用モーメントを推定し、各接合部におけるモーメントと回転角の関係が、理論的に計算される関係と非常によく一致することを確認した。門型ラーメン試験体はほぼ完全な弾性的挙動を示し、ほとんど粘りのない破壊性状で、柱脚接合部の柱側面において割れ破壊が発生した。柱脚接合部については今後粘りを付与できるよう改良する必要があることが示唆された。また、本研究で導いた理論式を用いて、木質ラーメン構造全体のモデル解析を行った結果、実験値から得られた柱脚接合部の回転角と柱のひずみゲージの値から推測される柱の曲げ変形を足し合わせた総変形角と計算値は非常によく一致した。以上から、本研究で誘導したラグスクリューボルト1本の性能予測式は、実際の門型ラーメン架構の性能評価においても十分な精度で適応できることを確認した。

#### 論文審査の結果の要旨

近年、木質ラーメン構造が注目を浴びている。しかし従来のモーメント抵抗接合部は、鋼板と多数のドリフトピンもしくはボルトを使用するため大量の鋼材が必要であり、また木材が異方性材料のため構造計算が複雑であった。本論文は接合部をより容易に、かつ経済的に構成できる接合具として、大型のねじ接合具であるラグスクリューボルトに着目し、その安全かつ最適な使用条件の決定、引抜き耐力発現機構のモデル解析、そしてラグスクリューボルトで構成された実大木質ラーメン架構の水平せん断性能実験における実験値と理論値の比較について取りまとめたものである。評価できる主要な成果は以下の通りである。

- (1) ラグスクリューボルトの引抜き性能に影響を及ぼす①先穴直径、②埋込み深さ、③埋込み方向、④縁距離、⑤直径、⑥樹種と材質の6項目をそれぞれパラメータと定め、ラグスクリューボルトの引抜き耐力との関係を実験的に定量化し、設計に必要な諸条件を明確に整理した。
- (2) 任意深さに埋め込んだラグスクリューボルトの理論的引抜き耐力と理論的引抜きすべり係数をフォルカーセンモデルに基づいて誘導した。この理論式を用いて実際にすべり係数と引抜き耐力を計算するために必要となる接合系固有のせん断強度 ( $f_v$ ) とせん断剛性係数 ( $T$ ) は薄板実験で求めることが妥当であることを実大実験との比較から明らかにした。
- (3) 木質部材の有効面積  $A_w$  は、繊維平行方向の場合は、実験結果より山側直径の1.5倍を半径とする円の面積であること、繊維直交方向の場合は、弾性床上の梁の理論に基づくエネルギー等価式から、上記パラメータを含む関数として誘導できることを明らかにした。
- (4) 柱―梁接合部および柱脚接合部にラグスクリューボルトを用いた実大木質ラーメン架構試験体に対する実大実験の結果から、誘導した理論式は柱脚および柱―梁接合部の変形を精度良く推定可能なこと、さらに木質半剛節ラーメン架構全体の初期変形性能も精度良く推定できることを明らかにした。

以上のように、本論文は集成材構造におけるモーメント抵抗接合部を、これまでの鋼板挿入ドリフトピン接合法よりも、より経済的に製作でき、かつより簡単な計算法で設計できるラグスクリューボルト接合法の基本的使用条件を定量的に明確にし、ラグスクリューボルトを用いた集成材半剛節ラーメン架構の可能性を実験と理論の両面から確認したもので、木構造学、木材工学、林産加工学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成18年4月13日、論文ならびにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。