



# 岐阜大学機関リポジトリ

## Gifu University Institutional Repository

Title	Estimation of Shear Strength of Bolted Timber Joints Using Nonlinear Finite Element Analysis and Linear Elastic Fracture Mechanics( 内容・審査結果の要旨(Summary) )
Author(s)	澤田, 圭
Report No.(Doctoral Degree)	博士(農学) 甲第289号
Issue Date	2003-03-13
Type	博士論文
Version	
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12099/2630">http://hdl.handle.net/20.500.12099/2630</a>

この資料の著作権は、各資料の著者・学協会・出版社等に帰属します。

氏名(本国籍)	澤田 圭 (秋田県)
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	農博甲第289号
学位授与年月日	平成15年3月13日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物資源科学専攻
研究指導を受けた大学	静岡大学
学位論文題目	Estimation of Shear Strength of Bolted Timber Joints Using Nonlinear Finite Element Analysis and Linear Elastic Fracture Mechanics (有限要素法による非線形解析および線形破壊力学を用いた木質構造ボルト接合部のせん断耐力の推定)
審査委員会	主査 静岡大学 教授 安村 基 副査 静岡大学 教授 平井 信之 副査 信州大学 教授 徳本 守彦 副査 岐阜大学 教授 篠田 善彦

### 論文の内容の要旨

木質構造物は、木材や木質系材料などの構造部材をボルト等の機械的接合具を用いて接合した構造であり、一般的に接合部の設計が構造物全体の特性を左右する。本研究では主要な接合法であるボルト接合部を取り上げ、ボルト接合部耐力の推定法について検討を行った。ボルト接合部のせん断耐力の推定法には降伏理論式が広く用いられている。降伏理論においては木材およびボルトを剛塑性体と仮定し、木材の面圧強度およびボルトの降伏曲げモーメントから接合部のせん断耐力が推定される。そのため、各材料強度を適切に用いることが信頼性を有する接合部耐力の推定につながると考えられる。

降伏理論に用いる強度データを得るため、木材の面圧試験およびボルトの引張・曲げ試験を行った。棒鋼を用いた面圧試験はエゾマツ・トドマツ集成材ラミナについて行った。棒鋼径は、8, 12, 16, 20mmとし、繊維平行方向および直交方向に加力した。また、面圧試験体付近より、圧縮試験体を切り出し、面圧強度と圧縮強度の比較を行った。面圧強度と圧縮強度の間には高い正の相関がみられた。そこで、面圧強度を圧縮強度で除した値( $f_e/f_c$ )と棒鋼径の比較を行った。繊維平行方向加力の場合、棒鋼径に関わらず、 $f_e/f_c$ はほぼ一定となり、繊維平行方向の面圧強度は、縦圧縮強度の約0.9倍となった。繊維直交方向の場合、棒鋼径に関わらず $f_{e,5\%}/f_c$ はほぼ一定となり、繊維直交方向の面圧強度 $f_{e,5\%}$ は、横圧縮強度の約4倍となった。しかし、 $f_{e,5\%}/f_c$ は径が増加するに従い減少した。ボルトの引張および曲げ試験は直径8, 12, 16, 20mmの鋼種SS400ボルト用棒鋼を用いて行った。各試験より降伏および終局強度を求めた。引張強度と曲げ強度の間には極めて高い正の相関がみられ、終局曲げ強度と終局引張強度は一致した。降伏曲げ強度は、降伏引張強度の約0.9倍、終局引張強度の約0.7倍の値となった。

ボルト接合部の降伏および終局耐力を求めることは構造物の性能を知る上で非常に重要となる。そこでボルト接合部について非線形解析を行い、降伏理論式を用いた接合部の降伏および終局耐力推定法について検討を行った。ボルト接合部を1次元有限要素に分割し、対象軸を持つ非線形基礎上の梁と置き換え解析を行った。非線形基礎は木材の面圧試験より、梁はボルトの引張試験よりモデル化した。解析より、木材が降伏する荷重およびボルトが降伏する荷重を調べ、その最大値と解析より得られた接合部の降伏耐力の比較を行った。両者は極めて近い値を示したことから、接合部の降伏時には木材およびボルトが既に降伏していることがわかった。実験および解析より降伏耐力および終局耐力を求め、降伏理論値との比較を行った。木材およびボルトの降伏強度より得られた理論値は、解析より得られた降伏耐力と一致し、実験より得られた降伏耐力と近い値を示した。終局耐力において、木材およびボルトの終局強度より得られた理論値は、解析より得られた終局耐力と一致したが、実験値よりは低い値を示した。これは木材およびボルトの終局強度より接合部耐力を推定した場合、理論値は安全側に評価されることを示す。

木材の割裂破壊によりボルト接合部が脆性破壊を起こし、降伏理論が適用できない場合がある。そこで線形破壊力学を用い、接合部の端距離が耐力に及ぼす影響について調べた。実験および解析は鋼板添え板2面せん断接合部について行った。端距離はボルト径の2.5, 4, 7倍とした。ボルト接合部を2次元有限要素に分割し、き裂を有するボルト接合部の線形解析よりエネルギー開放率を算出し、これより接合部の終局耐力を求めた。解析値と実験値との比較を行った結果、端距離がボルト径の2.5, 4倍のとき、実験値と解析値は一致した。端距離がボルト径の7倍のとき、実験値は、解析値より低い値を示したが、面圧強度と一致した。これは端距離がボルト径の2.5, 4倍のとき、接合部の耐力は木材の割裂によって決まるのに対し、端距離がボルト径の7倍のとき、接合部耐力は木材のめりこみによって決まることを示す。このことから、端距離をボルト径の7倍以上とることが、ボルト接合部の設計において有効であることが確認された。

## 審 査 結 果 の 要 旨

ボルト接合部の耐力は、ボルト径や材厚により定まる降伏モードに依存し、耐力の推定に当たっては、接合部を構成する木材の支圧強度やボルトの曲げ強度が必要となる。現在のところ、木材の支圧強度やボルトの曲げ強度に関する資料は乏しく、設計に当たっては、木材の圧縮強度や鋼材の降伏強度が代用されている。そこで、本論文では、まずボルト接合部の力学特性の解析を行う上で最も基本となる木材の支圧強度およびボルトの強度分布に関する資料の収集を行っている。

ボルト接合部耐力の算定には、木材およびボルトを完全弾塑性体と仮定した降伏理論式が一般に用いられているが、木材およびボルトの荷重・変形関係は実際には完全弾塑性を示さず、降伏理論式により接合部耐力を推定するためには、木材およびボルトの挙動を適切にモデル化することが必要となる。そこで、本論文では木材のめり込み実験及びボルトの強度実験の結果を用いて、ボルト接合部の非線形解析を行い、さらにその結果を接合形式、加力方向、木材厚およびボルトの材種を変化させた接合部の実験結果と比較することにより、降伏理論の適用性の検討を行っている。これにより、塑性変形時の木材及びボルトの応力分布を明らかにし、ボルト接合部の降伏及び破壊のプロセスを明らかにしている。降伏理論で仮定されている応力分布は、降伏時には実際の分布を必ずしも正確に記述していないが、終局時の応力分布は極めて良く表していることを示し、このことにより、ボルト接合部の耐力の推定には降伏理論に基づいた設計式を適用することが可能であるが、設計式に適用する木材の支圧強度およびボルトの強度は、木材のめり込み試験およびボルト

の強度試験により、適切に評価することが必要であることを示している。本研究は、ボルト接合部における力学特性を実験および数値解析により明らかにしており、本研究の成果を活用することにより、今後、信頼性のより高い木質構造の設計が可能となるものと思われる。

ボルト接合部においては、ボルトの配置によっては木材が終局時に脆性的に割裂破壊する場合があります、降伏理論による終局耐力の推定が不可能となる場合がある。そこで、本論文では線形破壊力学を用いて、端距離がボルト接合部の終局耐力に及ぼす影響について調べている。ボルト接合部を2次元有限要素に分割し、き裂を順次進展させることにより、それぞれの状態におけるエネルギー開放率を算出し、これよりき裂が不安定となる荷重を最大荷重として求め、この解析値を実験値と比較することにより、ボルト接合部の破壊条件を明らかにしている。本研究は、ボルト接合部の破壊のプロセスを明確にするものであり、本研究の成果を活用することにより、ボルト接合部の破壊をより正確に推定することが可能となるものと考えられる。

以上について、審査委員全員一致で本論文が岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として十分価値があるものと認めた。

〔基礎となる学術論文〕

- 1) Kei Sawata, Motoi Yasumura (2000). Determination of embedding strength of wood for dowel-type fasteners. *Journal of Wood Science* 48(2), 138-146
- 2) Kei Sawata, Motoi Yasumura. Estimation of yield and ultimate strengths of bolted timber joints by nonlinear analysis and yield theory. *Journal of Wood Science* (2002年9月受理)
- 3) Kei Sawata, Motoi Yasumura (2000). Evaluation of yield strength of bolted timber joints by Monte-Carlo simulation. *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering*, 1.4.4
- 4) Kei Sawata, Motoi Yasumura (2002). Nonlinear analysis of lateral strength of bolted timber joints. *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering*, 176-183