

氏 名 (本 国 籍)	岡 部 実 (茨城県)
学 位 の 種 類	博士 (農学)
学 位 記 番 号	農博甲第 6 3 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 2 6 年 3 月 3 1 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 3 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	モンテカルロシミュレーションによるスギ CLT パネルの曲げ・せん断耐力の推定に関する研究
審 査 委 員 会	主査 静岡大学 准教授 小 島 陽 一 副査 静岡大学 教 授 安 村 基 副査 岐阜大学 教 授 光 永 徹 副査 静岡大学 助 教 小 林 研 治

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、スギ材による直交集成板（以下 C L T と呼ぶ。）を床、屋根構面などの鉛直荷重支持部材として用いる場合に問題となる面外曲げおよびせん断に関する力学特性を、モンテカルロシミュレーションを用いた確率的手法により解析したものである。C L T は 1 9 9 0 年代に欧州で開発された X-lam または Cross laminated Timber と呼ばれる構造部材で、幅方向に並べて配置したひき板を直交して積層接着して大型のパネルを製造するもので、これらのパネルを床スラブや壁体とすることにより建築物を構成するものである。C L T は、比較的強度の低い木材を用いて大型の建築物を建設することが可能となることから、わが国のスギ材の利用として大いに期待されているところであるが、今のところスギを用いた C L T に関する研究は極めて限られている。本研究は、スギを用いた C L T について特に床材に用いることを想定し、その面外曲げおよびせん断に関する力学特性に関する知見を得ることを目的とするものである。

本研究では、モンテカルロシミュレーションの手法を用いて C L T パネルの剛性、強度の分布を確率的に求める方法を提案し、これを試作した C L T パネルの曲げ実験およびせん断実験の結果と比較し、力学モデルの検討を行った。厚さ、層数、ひき板のヤング率を変数とした C L T パネルについて、スギひき板のヤング率の実測値の分布をもとに C L T パネルの力学モデルを作成し、モンテカルロシミュレーションにより、C L T パネルの曲げ剛性および最大耐力の分布を求め、試作した C L T パネルの実大曲げ試験の結果と比較した。

その結果、ひき板の剛性分布と比べて製作された C L T パネルの剛性のバラツキが著しく小さくなること、C L T の曲げ破壊は、多くの場合ひき板のフィンガージョイントで起こるが、フィンガージョイントを有するひき板の曲げ強度は、フィンガージョイン

トを有さないものの約75%となること、最外層にヤング係数の大きいひき板を配置することにより、剛性、耐力の高いCLTパネルの作製が可能となるが、CLTの曲げ耐力は剛性ほどには上昇しないことが明らかになった。モンテカルロシミュレーションによるCLTパネルの曲げ剛性の推定値は実験値とよく一致したが、最大曲げ耐力の推定値は実験値より低い値を示し、平均モデルによるものが実験値の0.89倍となることが示された。

CLTパネルに用いるひき板の樹種をスギとして、シミュレーションおよび検証実験を行ったが、異なる樹種をひき板に用いる場合の可能性についても検討を行った。その結果ヤング率の高い樹種を用いることでCLTパネルの曲げ剛性および最大曲げモーメントは増加するが、ヤング率の高いひき板では強度変動も大きく、耐力を下限値で評価するとヤング率ほど耐力の上昇は見られないことが明らかになった。また、外層に高いヤング率のひき板を配置することにより、CLTパネルの曲げ剛性および曲げ耐力を上昇させることが可能であることが示された。

CLTパネルにおける面外せん断耐力は、平行層ひき板のヤング率でせん断応力度が決定され、直交層ひき板のローリングシア強度により、せん断耐力が決定される。ひき板のローリングシア強度に関しては、既往の研究がほとんど存在しないため、合板の日本農林規格で規定している合板単板のローリングシア試験を参考にして、3層CLTパネルを用いた圧縮型試験により、ひき板のローリングシア強度を求めた。その結果、スギひき板のローリングシア強度は、平均値で1.64MPa、5%下限値で1.09MPaという結果を得た。CLTパネルの面外せん断耐力は、層内せん断応力度がひき板のローリングシア強度に達したときに破壊を生じるものと仮定し、一定せん断力区間内に配置したひき板のローリングシア強度を、平均強度モデルと最小強度モデルを用いて求めた。その結果、平均強度モデルによる計算値は実験値の1.14倍、最小強度モデルによる計算値は、実験値の0.86倍となり、最小強度モデルが安全側の値を与えることが分かった。

以上により、CLTパネルに用いられるひき板の曲げヤング率の分布と、フィンガージョイントを有するひき板のヤング率と曲げ強度の関係を求めることにより、CLTパネルの曲げ剛性および最大曲げモーメントの分布を確率的に推定する方法が確認できた。またCLTパネルの面外せん断耐力の分布についても、ひき板のローリングシア強度分布を求めることにより同様に求めることができることが確認された。

## 審 査 結 果 の 要 旨

主査及び副査の4名は、平成25年12月10日に学位申請者より提出された論文を精査するとともに、平成26年1月24日に行われた公開学位論文発表会における発表ならびに質疑・応答を踏まえて論文の審査を行った。

本論文は、スギ材による直交集成板（以下CLTと呼ぶ。）を床、屋根構面などの鉛直荷重支持部材として用いる場合に問題となる面外曲げおよびせん断に関する力学特性を、モンテカルロシミュレーションを用いた確率的手法により解析したものである。CLTは1990年代に欧州で開発されたX-lamまたはCross laminated Timberと呼ばれる構造部材で、幅方向に並べて配置したひき板を直交して積層接着して大型のパネ

ルを製造するもので、これらのパネルを床スラブや壁体とすることにより建築物を構成するものである。欧州では、CLTパネルを用いた4～8階建ての共同住宅や学校、事務所などの大型建築物が既に建設されているところであるが、わが国では今のところCLTパネルはほとんど実用化されておらず、この材料を用いた建築物もほとんど建てられていないのが現状である。CLTは、比較的強度の低い木材を用いて大型の建築物を建設することが可能となることから、わが国のスギ材の利用として大いに期待されているところであるが、今のところスギを用いたCLTに関する研究は極めて限られている。本研究は、スギを用いたCLTについて特に床材に用いることを想定し、その面外曲げおよびせん断に関する力学特性に関する知見を得るものであり、今後のスギを用いたCLTの製造および製品の評価法の確立に有用な研究である。

ひき板を平行して積層・接着する集成材と異なり、CLTではひき板を幅方向に配置し、これを直交して積層接着するため、その力学特性は複雑である。特に使用するひき板の強度分布が製品の機械的特性に及ぼす影響については、ひき板の幅方向の分布と積層方向の分布の2方向の強度分布を考慮する必要がある。そのため、本研究では、モンテカルロシミュレーションの手法を用いて製品の剛性、強度の分布を確率的に求める方法を提案し、これを試作したCLTパネルの曲げ実験およびせん断実験の結果と比較し、力学モデルの検討を行っている。

本研究の成果として、ひき板の剛性分布と比べて製品の剛性のバラツキが著しく小さくなること、CLTの曲げ破壊は、多くの場合ひき板のフィンガージョイントで起こるが、フィンガージョイントを有するひき板の曲げ強度は、フィンガージョイントを有さないものの約75%となること、最外層にヤング係数の大きいひき板を配置するとCLTの剛性も上昇するが、強度の下限値は剛性ほどは上昇しないことなどが示された。モンテカルロシミュレーションによるCLTパネルの曲げ剛性の推定値は実験値とよく一致したが、最大曲げ耐力の推定値は実験値より低い値を示し、平均強度モデルによるものがより実験値に近い値となることが示された。また、CLTのせん断性能についても同様のシミュレーションおよび実験が行われ、CLTのせん断応力の分布が単一材と異なり、最大せん断応力がひき板の構成の影響を受けること、シミュレーション値は実験値と比べて最小強度モデルでは若干低い値となるが、平均強度モデルでは若干高い値を与えることが示された。これらの成果は、今後のCLTの製造および性能の評価法の確立に対し、重要な知見となるものであると考えられる。

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あるものと認めた。

#### 基礎となる学術論文

1. Minoru Okabe, Motoi Yasumura, Kenji Kobayashi, Kazuhiko Fujita: Prediction of bending stiffness and moment carrying capacity of sugi Cross-Laminated Timber, J Wood Sci (2014) 60:49-58
2. 岡部 実、安村 基、小林研治：スギCLTパネル層内せん断耐力の推定，木材学会誌，（印刷中）