

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580246

研究課題名(和文)木質系複合材料の力学特性の解明と新しい評価法の確立

研究課題名(英文) Experimental characterization of wood-based composite materials and establishment of the novel characterization methods

研究代表者

吉原 浩 (Yoshihara, Hiroshi)

島根大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：30210751

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：合板、中密度繊維板(MDF)および紙などの木質系複合材料の弾性定数や強度の値は、実施する試験方法や試験体形状の影響が著しく、たとえば積層理論などの単純な理論では精度よく評価できないことが指摘されていた。本研究ではこうした力学特性評価に及ぼす試験方法や試験体形状の影響について精査し、評価法の問題点および問題点が発生する原因について検討した。また、さまざまな材料について適切な評価値を与えることができる試験方法や試験体形状を提案することができた。

研究成果の概要(英文)：It has been often difficult to characterize the mechanical properties of wood-based materials, including plywood, medium-density fiberboard (MDF), and paper, accurately because of the significant effects of the measurement method and specimen configuration. In this study, these effects were examined in detail, and several methods for characterizing the elasticity and strength properties of the wood-based materials accurately could be successfully proposed.

研究分野：木質科学

キーワード：木質系複合材料 実験的評価 弾性特性 強度特性 破壊力学特性

1. 研究開始当初の背景

大型の構造物に合板, OSB, パーティクルボードおよび単板積層材などの木質系複合材料を使用する機会が非常に増えてきたが, このことは同時に構造物全体の強度が部材として使用されている木質系複合材料の力学特性に大きく影響されることを意味している。したがって, 木質系複合材料を使用した構造物の安全性を保証するためにも, その力学特性を適切に評価することがきわめて重要である。にもかかわらず, 木質系複合材料の力学特性は, その積層構造や材質の不均一性のために問題が複雑化し, 木材素材に比べて十分に解明されておらず, 木材素材の力学特性評価の方法をそのまま採用することの危険性および従来木材素材の評価法として常識的に考えられてきた方法が木質系複合材料では著しく不適切な場合が存在することが示されていた。一方, 主要な規格に標準化されている木質系複合材料の力学特性評価法はきわめて工業的な側面が強く, 得られた特性値が「材質比較値」としての相対的な意味合いしか持たないものが多区存在している。以上のことから, 現状では木質系複合材料本来の「力学特性値」は適切に評価ができない状況にあり, 木質系複合材料を使用した構造物の安全性の保証の観点からも早急に解決すべき問題であると考えられた。

2. 研究の目的

本研究では, さまざまな木質系複合材料(合板, 中密度繊維板および紙)の変形および強度特性を様々な試験方法で評価した。まず, 従来の木材素材および木質系複合材料の力学特性評価法ではなぜ適切な特性値が得られないのか原因の解明を試みた。また, その結果に基づいてより正確な「木質系複合材料の力学特性評価法」の確立を目指した。

3. 研究の方法

以下に本研究課題で実施した研究の一部についてその方法を記す。

(1)木材素材, 中密度繊維板(MDF)および合板のヤング率およびせん断弾性係数の測定における試験方法および試験体形状の影響の検討

たわみ振動試験, 静的な3点曲げ試験および4点曲げ試験で木材素材(ベイツガ)と代表的な木質材料である中密度繊維板(MDF)および合板のヤング率とせん断弾性係数を測定し, 評価法の確立を目指した。具体的に示すと

a. さまざまな形状を持つ試験体のたわみ振動試験を実施し, 1~4次までのたわみ振動における共振周波数を測定することによってヤング率およびせん断弾性係数を測定した。

b. 上述した試験体を用いて静的3点曲げおよび4点曲げ試験を実施し, ASTM D198, JIS Z2101-2009 および ISO 3349-1975 に標準化さ

れている方法に準じてヤング率およびせん断弾性係数を求めた。

それぞれの試験の結果から, 試験方法および試験体形状がヤング率やせん断弾性係数の評価にいかなる影響を与えるかについて検討した。

(2)たわみ振動試験とねじり振動試験の複合による中密度繊維板(MDF)の面内せん断弾性係数の評価

木材素材に較べて面内等方性材料に近いMDFは, 面内せん断弾性係数の値がヤング率に較べて比較的大きい。したがって, たわみ振動試験におけるせん断たわみの寄与が小さくなるため, 精度よく面内せん断弾性係数を測定することができなかつた。そこで, MDFの面内および面外せん断弾性係数に大きな差が存在することに注目し, 面外せん断弾性係数をたわみ振動試験で求め, その値とねじり振動試験の結果から面内せん断弾性係数を評価することを試みた。

(3)非対称4点曲げ試験による紙の面内せん断強さの測定

紙は厚みがないため, 引張以外の負荷様式で力学特性を評価することが困難であった。ここでは紙の側面にMDFの副木を貼り付けた試験体を作製し, 非対称4点曲げ試験によってせん断特性の評価を試みた。

4. 研究成果

以下に本研究課題で得られた成果の一部について記す。

(1)木材素材, 中密度繊維板(MDF)および合板のヤング率およびせん断弾性係数の測定における試験方法および試験体形状の影響の検討

本研究ではベイツガ, MDF および5プライ合板を用いてたわみ振動試験および図1のような静的な3点曲げおよび4点曲げ試験を行い, ASTM D198, JIS Z2101-2009 および ISO 3349-1975 に標準化されている方法に準じてヤング率およびせん断弾性係数を求めた。

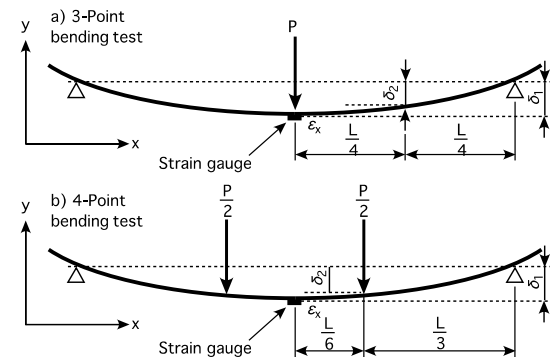


図1 静的曲げ試験の概要

得られた結果を図2に示す。この図の中で  $E_3$  の値ははりの複数の箇所のたわみを求めるという JIS Z2101-2009 および ISO 3349-1975 に標準化された方法に準じて求めたヤング

率であるが、標準化された方法であるにも関わらず正確にヤング率が評価できず、試験体形状の影響が大きいことが示されている。また、ASTM D198 に準拠した方法で求めたせん断弾性係数はまったく適切に求めることができていない。

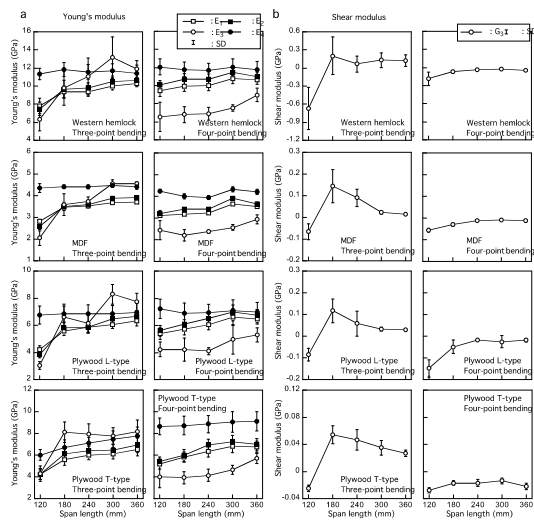


図2 静的曲げ試験で得られたヤング率およびせん断弾性係数とスパン長の関係

以上のことから、標準化された方法で木材や木質材料のヤング率やせん断弾性係数を精度よく測定するのは困難であるため、今後の見直しが必要であることが示された。

(2) たわみ振動試験とねじり振動試験の複合による中密度繊維板 (MDF) の面内せん断弾性係数の評価

本研究 MDF を用いて図3のようなねじり振動試験およびたわみ振動試験を行い、面内せん断弾性係数の測定を試みた。

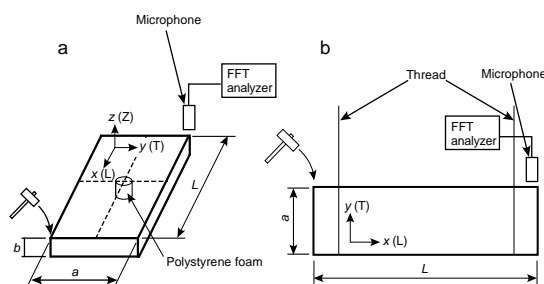


図3 MDF のねじり振動試験およびたわみ振動試験の概要

振動試験では試験体の形状を変化させ、面内せん断弾性係数の測定値におよぼす試験体形状の影響について検討した。結果を図4に示す。

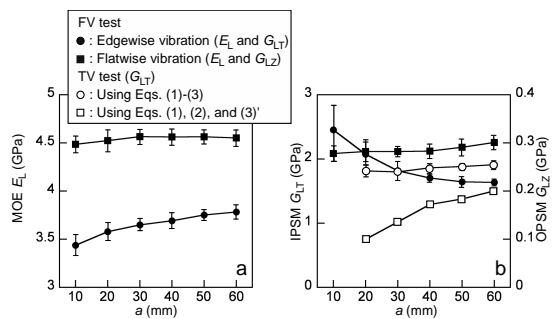


図4 振動試験で得られた試験体の幅  $a$  とヤング率および面内せん断弾性係数の関係

MDF は面外せん断弾性係数が小さく、たわみ振動試験で適切に求めることが可能であるため、たわみ振動試験で求めた面外せん断弾性係数とねじり振動試験で得られた共振周波数を用いることにより、試験体形状の影響を排除して面内せん断弾性係数を決定できることが示唆された。

(3) 非対称4点曲げ試験による紙の面内せん断強さの測定

コピー用紙、ろ紙および袋紙のせん断強さを、側面に副木を貼り付けた試験体の非対称4点曲げ試験により測定した。

図5に非対称4点曲げ試験の概要を示す。この図のように、紙の側面に MDF の副木を貼付して非対称4点曲げ試験を実施した。また、試験対策政治には中央のクリアランスの幅を様々に変化させ、その影響について検討した。また、異方性主軸方向が長手方向と  $35^\circ$  ずれた試験体 (off-axis 試験体) の単軸引張試験からせん断強さを測定し、非対称4点曲げ試験の結果と比較した。

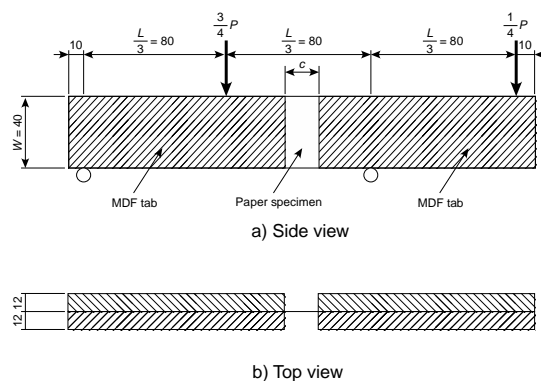


図5 紙の非対称4点曲げ試験の概要

図6にクリアランスの幅とせん断強さの関係を示す。クリアランスがまったくない場合、せん断強さは著しく大きな値となっており、クリアランス幅の増加とともにせん断強さは低下する傾向がある。また、コピー用紙および袋紙のせん断強さは、off-axis 試験体から得られたせん断強さよりも小さくなる傾向がある。初等はり理論から、曲げ負荷では中立軸付近のせん断応力が大きく、ろ紙のようにある程度厚みをもつ紙であればはり

理論にしたがって中立軸付近のせん断応力で破壊が発生するが、コピー用紙や袋紙のような薄い紙では紙全体でせん断破壊が発生するため、せん断強さが小さく評価されたと考えられる。したがって、紙のせん断強さの評価には試験方法の影響が大きく、さらなる検討が必要であると考えられる。

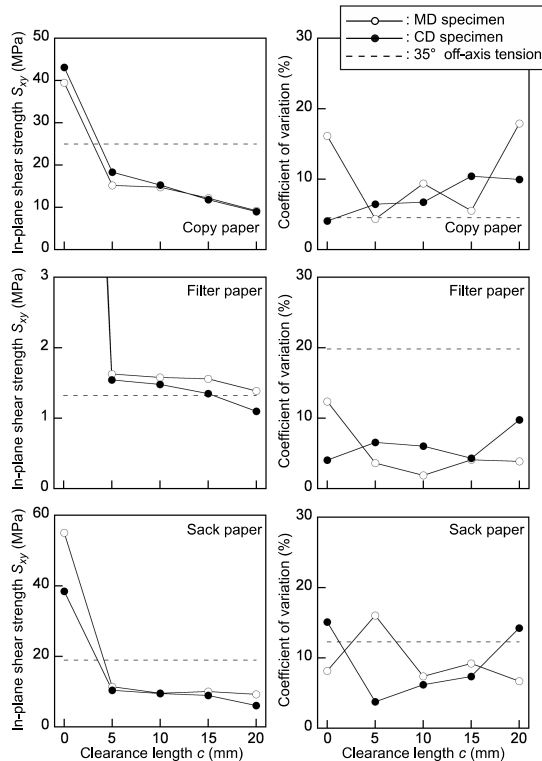


図6 紙のせん断強さとクリアランス幅の関係

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計12件)

吉原 浩, 吉延匡弘, 手動式つかみ具およびタブを使用したコピー用紙の引張特性の簡便な評価, 材料, 査読有, 64 巻, 2015, 350-355

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms/64/5/64\\_350/\\_article/-char/ja/Yoshihara, H., Yoshinobu, M. Young's modulus and shear modulus of solid wood measured by the flexural vibration test of the specimens with large height/length ratios. Holzforschung, 査読有, 69 巻, 2015, 493-499](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms/64/5/64_350/_article/-char/ja/Yoshihara,H.,Yoshinobu,M.Young's%20modulus%20and%20shear%20modulus%20of%20solid%20wood%20measured%20by%20the%20flexural%20vibration%20test%20of%20the%20specimens%20with%20large%20height/length%20ratios.Holzforschung,2015,493-499)

DOI 10.1515/hf-2014-0151

Yoshihara, H., Yoshinobu, M. In-plane shear strength of paper obtained by asymmetric four-point bending test. Holzforschung, 査読有, 69 巻, 2015, 41-46

DOI 10.1515/hf-2014-0047

吉原 浩, 吉延匡弘, 数理塑性理論によるコピー用紙の引張負荷における応力-ひずみ関係の解析, 木材学会誌, 査読有, 61 巻, 2015, 74-81

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwrs/61/2/61\\_74/\\_article/-char/ja/Yoshihara, H., Yoshinobu, M. Measurement of the in-plane shear modulus of medium-density fibreboard by torsional and flexural vibration tests. Measurement, 査読有, 60 巻, 2015, 33-38](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwrs/61/2/61_74/_article/-char/ja/Yoshihara,H.,Yoshinobu,M.Measurement%20of%20the%20in-plane%20shear%20modulus%20of%20medium-density%20fibreboard%20by%20torsional%20and%20flexural%20vibration%20tests.Measurement,2015,33-38)

DOI 10.1016/j.measurement.2014.09.066  
Yoshihara, H., Yoshinobu, M. Effect of specimen configuration on the measurement of off-axis logarithmic decrement of solid wood measured by longitudinal and flexural vibration tests. Holzforschung, 査読有, 68 巻, 2014, 839-841

DOI 10.1515/hf-2013-0241

Yoshihara, H., Yoshinobu, M. Effects of specimen configuration and measurement method of strain on the characterization of tensile properties of paper. J. Wood Sci., 査読有, 60 巻, 2014, 287-293

DOI 10.1007/s10086-014-1398-y

Yoshihara, H., Yoshinobu, M. Off-axis tensile strength and evaluation of the in-plane shear strength of paper. Holzforschung, 査読有, 68 巻, 2014, 583-590

DOI 10.1515/hf-2013-0163

Yoshihara, H., Mizuno, H. Mode I critical stress intensity factor of medium-density fiberboard measured by the single-edge-notched bending test. Drvna industrija, 査読有, 65 巻, 2014, 99-104

DOI:10.5552/drind.2014.1326

Yoshihara, H. Plasticity analysis of the strain in the tangential direction of solid wood subjected to compression load in the longitudinal direction. BioResources, 査読有, 9 巻, 2014, 1097-1110

[https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_09\\_1\\_1097\\_Yoshihara\\_Plasticity\\_Analysis\\_Tangential\\_Longitudinal](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_09_1_1097_Yoshihara_Plasticity_Analysis_Tangential_Longitudinal)

Yoshihara, H. Comparison of results obtained by static 3- and 4-point bending and flexural vibration tests on solid wood, MDF, and 5-plywood. Holzforschung, 査読有, 67 巻, 2013, 941-948

DOI 10.1515/hf-2013-0016

Yoshihara, H. Flatwise Young's modulus and flatwise shear modulus of

plywood measured by flexural vibration test. Holzforschung, 査読有, 67 巻, 2013, 683-690  
DOI 10.1515/hf-2012-0174

〔学会発表〕(計3件)

吉原 浩, 木材および木質材料の曲げ試験法について, 日本木材学会木材強度・木質構造研究会 2014 年度秋期シンポジウム, 2014 年 12 月 9 日, 「東京大学農学部 1 号館 119 号室(東京都文京区)」  
森本次郎, 吉延匡弘, 吉原 浩, 街路樹剪定枝の酵素糖化, 第 64 回日本木材学会大会, 2014 年 3 月 13 日, 「愛媛県県民文化会館ひめぎんホール(愛媛県松山市)」  
竹田和正, 吉延匡弘, 吉原 浩, 和久芳春, 安部信一郎, 安部紀正, 安部己岡枝, 出雲民芸紙の科学的評価 引張特性について, 第 63 回日本木材学会大会, 2013 年 3 月 28 日, 「マリオス(盛岡市民文化ホール)(岩手県盛岡市)」

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉原 浩 (YOSHIHARA HIROSHI)  
島根大学大学院・総合理工学研究科・教授  
研究者番号: 30210751

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

太田 正光 (OHTA MASAMITSU)  
東京大学大学院・農学生命科学研究科・教授  
研究者番号: 20126006