

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07515

研究課題名(和文) 構造用木質材料の破壊力学特性の解明と評価法の確立

研究課題名(英文) Analysis and experimental characterization of the fracture mechanics properties of structural wood-based materials

研究代表者

吉原 浩 (Yoshihara, Hiroshi)

島根大学・総合理工学研究科・教授

研究者番号：30210751

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年、大型の構造物に木質系複合材料を利用する機会が非常に増えてきたが、木質系複合材料を使用した構造物の安全性を確保するためにもその力学特性を適切に評価することは重要で、その中でも木質系複合材料の破壊力学特性を適切に評価することが特に重要である。そこで本研究では、木材素材を含む構造用木質系複合材料の破壊力学特性について詳細に検討し、その力学特性値を適切に評価できる試験法および試験条件の確立を目指すこととした。また、破壊力学特性に大きく影響を与える弾性特性および応力-ひずみ特性についても検討を加えることとした。さらに、構造用木質系複合材料に加え、紙や構造用合成木材についても同様の検討を試みた。

研究成果の概要(英文)：Recently, there are many occasions to utilize several wood-based products as the structural members. To ensure the reliability of the structural members, it is important to evaluate the mechanical properties of the wood-based products, including the fracture mechanics properties. In this study, the fracture mechanics properties of the wood-based products were examined as well as several solid wood in details. In addition to the fracture mechanics properties, the elastic and stress-strain behaviors of these materials, which significantly influence the fracture mechanics properties, were also examined. These examinations were also conducted using papers and synthetic wood.

研究分野：木質科学

キーワード：破壊力学特性 構造用木質材料 実験的評価

1. 研究開始当初の背景

近年、大型の構造物に木質系複合材料を利用する機会が非常に増えてきたが、木質系複合材料を使用した構造物の安全性を保证するためにもその力学特性を適切に評価することは重要で、その中でも木質系複合材料の破壊力学特性を適切に評価することが特に重要である。しかし、研究開始当初においては木質系複合材料本来の「破壊力学特性値」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、木材素材を含む構造用木質系複合材料の破壊力学特性について詳細に検討し、その力学特性値を適切に評価できる試験法および試験条件の確立を目指すことを目的とした。また、破壊力学特性に大きく影響を与える弾性特性および応力-ひずみ特性についても検討を加えることとした。さらに、構造用木質系複合材料に加え、紙や構造用合成木材の破壊力学特性、弾性特性および応力-ひずみ特性についても検討した。

3. 研究の方法

以下に本研究課題で実施した研究について、その方法を記す。

(1) 偏心3点曲げENF試験による木材のモードIIの破壊力学特性の測定

木材素材の面内せん断モード(モードII)におけるき裂進展抵抗曲線(R曲線)をより広い範囲で測定できる偏心3点曲げENF試験(3EENF試験)を開発し、その妥当性を検討した。

(2) 非対称4点曲げショートビームシア試験による中密度繊維板のせん断特性の評価

試験体の上下に鍵型のノッチを切った中密度繊維板の非対称4点曲げショートビームシア試験を行い、面内せん断特性を測定した。

(3) 円孔を持つ木材の圧縮強度の評価

鈍い欠陥(円孔)を持つ木材素材(スプルース)を圧縮試験し、その強度特性を point stress criterion によって解析した。

(4) 繊維傾斜をもつ合板の縦振動試験によるヤング率測定におよぼす試験体幅の影響

繊維傾斜をもつ合板の縦振動試験を行い、ヤング率の測定を試みた。

(5) 鍵型ノッチを有する試験体の4点曲げ試験による木材および中密度繊維板の強度特性の評価

木材素材(ベイツガ)および中密度繊維板に鍵型のノッチを切って4点曲げ試験を行い、その強度特性を point stress criterion および線形破壊力学によって解析した。

(6) コピー用紙のモードIにおけるJ積分値の測定

市販のコピー用紙に様々な長さの切欠き

を導入し、破壊じん性値(J_{Ic} 値)を測定した。

(7) 合成木材の縦振動およびたわみ振動試験によるヤング率およびせん断弾性係数の測定

木材素材を擬して製造された構造用合成木材の縦振動試験およびたわみ振動試験を行い、ヤング率とせん断弾性係数の測定を試みた。

(8) 引張せん断試験による紙の面内せん断強さの評価

市販のコピー用紙、袋紙および紙に2つの円孔を開けた後に互い違いにスリットを切った試験体を引張試験することにより、紙のせん断強さを測定した。

(9) 片側切欠きばりの4点曲げ試験(4SENB試験)による木材および中密度繊維板の K_{Ic} 値の測定

片側切欠きばりの4点曲げ(4SENB)試験から木材素材および中密度繊維板のモードIにおける破壊じん性値を測定し、試験方法の妥当性について検討した。

(10) 木材のねじり振動試験によるせん断弾性係数の測定

さまざまに幅を変えた木材のねじり振動試験を実施し、せん断弾性係数の測定に及ぼす試験体形状の影響について検討した。

(11) 4点曲げ試験による木材の曲げヤング率の測定精度に及ぼす荷重位置およびたわみ測定方法の影響

JISやISOに規格化されている木材の4点曲げ試験法による曲げヤング率の測定精度について検討した。

(12) 異なる理論による中央に円孔を持つ紙の引張強度の評価

市販のコピー用紙に様々な大きさの欠陥を導入し、引張強さに及ぼす欠陥の大きさの影響について2つの半経験則(Point Stress criterion および Average Stress Criterion)と破壊力学に基づいて解析を実施した。

4. 研究成果

以下に本研究課題で得られた成果について記す。

(1) 偏心3点曲げENF試験による木材のモードIIの破壊力学特性の測定

図1のように、木材素材の面内せん断モード(モードII)におけるき裂進展抵抗曲線(R曲線)をより広い範囲で測定できる偏心3点曲げENF試験(3EENF試験)を開発した。

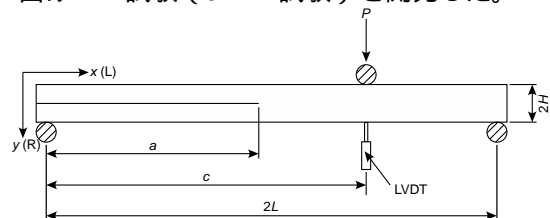


図1 3EENF試験の概要

適切に破壊力学特性を得るためには、荷重点

位置を適切に設定する必要があると考えられたため、様々な位置に荷重を負荷することにより、破壊力学特性に及ぼす影響について検討した。その結果、荷重点を適切な範囲に設定することにより従来よりも広範囲で R 曲線を求めることができた。

(2) 非対称 4 点曲げショートビームシア試験による中密度繊維板のせん断特性の評価

試験体の上下に鍵型のノッチを切った中密度繊維板の非対称 4 点曲げショートビームシア試験を行い、面内せん断特性を測定した。その結果、ノッチ底の距離を適切に決定することによって精度よく面内せん断特性が得られる可能性が示唆された。

(3) 円孔を持つ木材の圧縮強度の評価

鈍い欠陥（円孔）を持つ木材素材（スプルース）を圧縮試験し、その強度特性を point stress criterion によって解析した。その結果、木材は鈍い欠陥に対する感度が鈍いが、その強度特性は point stress criterion によって適切に予測できることがわかった。

(4) 繊維傾斜をもつ合板の縦振動試験によるヤング率測定におよぼす試験体幅の影響

繊維傾斜をもつ合板の縦振動試験を行い、繊維傾斜角および試験体の幅を変えてヤング率の測定を試みた。その結果、試験体の幅が広いほど適切にヤング率が測定できることがわかった。また、こうした傾向は木材素材の傾向と相反していた。

(5) 鍵型ノッチを有する試験体の 4 点曲げ試験による木材および中密度繊維板の強度特性の評価

図 2 のように木材素材（ベイツガ）および中密度繊維板の片側に鍵型のノッチを切った 4 点曲げ試験を行い、その強度特性を point stress criterion および線形破壊力学によって解析した。その結果、木材ではノッチの方向が繊維と直交している場合は point stress criterion で、繊維方向と一致している場合は線形破壊力学によって適切に予測できることがわかった。一方、異方性が小さい中密度繊維板ではいずれの理論で予測された強度特性も実験結果とよく一致していた。

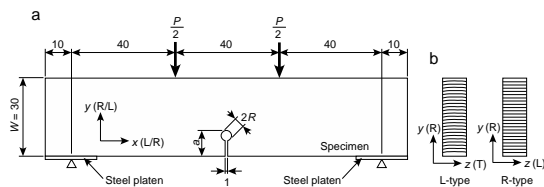


図 2 片側鍵型ノッチ試験体の 4 点曲げ試験

(6) コピー用紙のモード I における J 積分値の測定

図 3 のように市販のコピー用紙の中央あるいは端部に様々な長さの切欠きを導入し、破壊じん性値 (J_{Ic} 値) を測定した。その結果、木材や中密度繊維板と同様き裂長さを補正

することによって適切に J_{Ic} 値を評価することができることが示された。

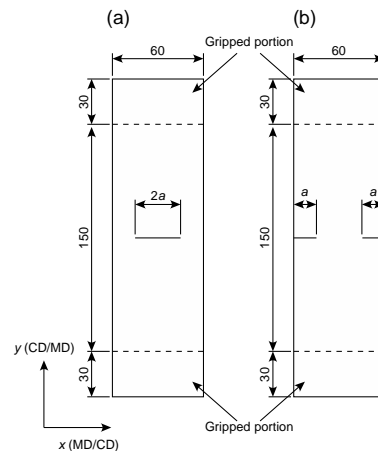


図 3 紙の破壊じん性試験の概要

(7) 合成木材の縦振動およびたわみ振動試験によるヤング率およびせん断弾性係数の測定

木材素材を擬して製造された構造用合成木材の縦振動試験およびたわみ振動試験を行い、ヤング率とせん断弾性係数の測定を試みた。その結果、これらの弾性定数を適切に測定するには試験体の長さをはりせいの 10 倍程度にすればよいことがわかった。

(8) 引張せん断試験による紙の面内せん断強さの評価

市販のコピー用紙、袋紙および紙に 2 つの円孔を開けた後に互い違いにスリットを切った試験体を引張試験することにより、紙のせん断強さを測定した。その結果、せん断強さは円孔径および円孔間の距離に依存することが示唆された。また、適切にせん断強さを評価するための方法を提案した。

(9) 片側切欠きばりの 4 点曲げ試験 (4SENB 試験) による木材および中密度繊維板の K_{Ic} 値の測定

図 4 のように片側切欠きばりの 4 点曲げ (4SENB) 試験から木材素材および中密度繊維板のモード I における破壊じん性値を測定し、試験方法の妥当性について検討した。その結果、従来より多く実施されている 3 点曲げ (3SENB) 試験よりも優れた方法であることが示された。

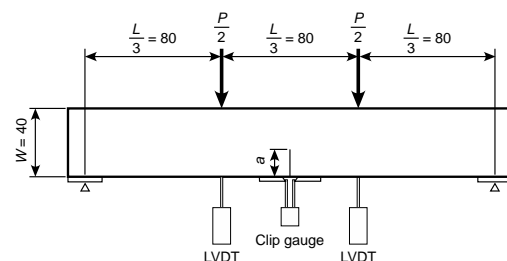


図 4 4SENB 試験の概要

(10) 木材のねじり振動試験によるせん断弾性係数の測定

さまざまに幅を変えた木材のねじり振動試験を実施し、せん断弾性係数の測定に及ぼす試験体形状の影響について検討した。その結果、断面寸法比の異なる2つの試験体を用いることによって適切にせん断弾性係数が得られるが、使用する試験体の断面寸法比の範囲を適切に設定する必要があることが示唆された。さらにねじりの中心軸が木材の繊維方向に一致するか、繊維に垂直な方向に一致するかによって適切な断面寸法比の範囲が著しく異なることがわかった。

(11) 4点曲げ試験による木材の曲げヤング率の測定精度に及ぼす荷重位置およびたわみ測定方法の影響

JIS や ISO に規格化されている木材の4点曲げ試験法による曲げヤング率の測定精度について検討した。その結果、荷重点をより外側に配置する方が精度よくヤング率を測定できることが示唆された。

(12) 異なる理論による中央に円孔を持つ紙の引張強度の評価

図5のように市販のコピー用紙に様々な大きさの欠陥を導入し、引張強さに及ぼす欠陥の大きさの影響について2つの半経験則 (Point Stress criterion および Average Stress Criterion) と破壊力学に基づいて解析を実施した。その結果、抄紙方向と引張方向が一致する場合には Point Stress Criterion および破壊力学による予測が適切であったが、引張方向が抄紙方向と垂直な場合には Point Stress criterion および Average Stress Criterion の方が適切であることが示唆された。

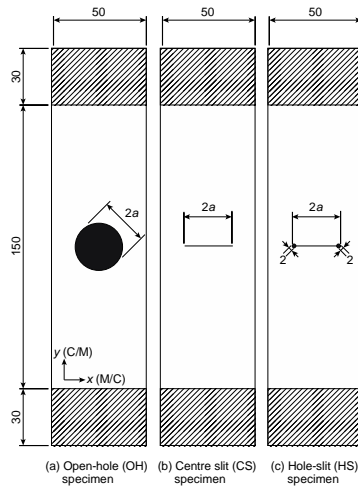


図5 様々な形状の欠陥を有する紙の引張試験の概要

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14件)

Hiroshi Yoshihara, Masahiro Yoshinobu, Makoto Maruta and Hiroshi Usuki (2018) Analysis of the tensile strength of copy paper with a center notch based on four strength theories. Journal of the Society of Materials Science, Japan, 査読有, 67 巻, 2018, in press.

Hiroshi Yoshihara and Makoto Maruta (2018) Shear moduli in the longitudinal-radial and radial-tangential planes of Sitka spruce measured by torsional vibration tests. Holzforschung, 査読有, 72 巻, 507-512. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0136>

吉原 浩, 吉延匡弘 (2017) 4点曲げ試験による木材の曲げヤング率の測定精度に及ぼす荷重位置およびたわみ測定方法の影響, 木材工業, 査読有, 72 巻, 528-533.

<https://ci.nii.ac.jp/naid/40021412779/>

Hiroshi Yoshihara and Makoto Maruta (2017) Measurement of the shear moduli of spruce by torsional vibration tests using a pair of specimens with different aspect ratios. Holzforschung, 査読有, 71 巻, 977-984. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0045>

吉原 浩, 安高尚毅, 丸田 誠 (2017) 片側切欠きばりの4点曲げ試験 (4SENB試験)による木材および中密度繊維板の K_{Ic} 値の測定, 材料, 査読有, 66 巻, 323-327.

<https://doi.org/10.2472/jsms.66.323>

Hiroshi Yoshihara and Masahiro Yoshinobu (2017) Evaluation of the in-plane shear strength of paper measured by tensile-loaded shear test. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 査読有, 32 巻, 127-132.

10.3183/NPPRJ-2017-32-01-p126-131

吉原 浩, 神谷佳佑, 吉延匡弘 (2017) 合成木材の縦振動およびたわみ振動試験によるヤング率およびせん断弾性係数の測定, 材料, 査読有, 66 巻, 195-198.

<https://doi.org/10.2472/jsms.66.195>

Hiroshi Yoshihara and Masahiro Yoshinobu (2017) Determination of the Mode I critical J-integral of copy paper. Engineering Fracture Mechanics, 査読有, 169 巻, 251-261.

<https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2016.10.017>

Hiroshi Yoshihara and Makoto Maruta (2017) Four-point key-hole side-edge-notched bending (4KHSENB) strength of medium-density fibreboard. Holzforschung, 査読有, 71 巻, 889-892. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0050>

Hiroshi Yoshihara, Naoki Ataka and Makoto Maruta (2016) Four-point bending strength of key-hole side-edge-notched western hemlock (Tsuga heterophylla) wood. *Holzforchung*, 査読有, 70 巻, 1073-1079.

<https://doi.org/10.1515/hf-2017-0050>
吉原 浩, 小高 拓, 吉延匡弘 (2016) 繊維傾斜をもつ合板の縦振動試験によるヤング率測定におよぼす試験体幅の影響, *材料*, 査読有, 65 巻, 339-342.

<https://doi.org/10.2472/jsms.65.339>
Hiroshi Yoshihara, Naoki Ataka and Makoto Maruta (2016) Analysis of the open-hole compressive strength of spruce. *Holzforchung*, 査読有, 70 巻, 449-455.

<https://doi.org/10.1515/hf-2015-0110>
Hiroshi Yoshihara, Shungo Suzuki and Masahiro Yoshinobu (2016) In-plane shear properties of medium-density fibreboard measured by the asymmetric four-point bending test of notched specimen. *Wood Science and Technology*, 査読有, 50 巻, 475-487.

<https://doi.org/10.1007/s00226-016-0806-4>

Hiroshi Yoshihara (2015) Mode II fracture mechanics properties of solid wood measured by a three-point eccentric end-notched flexure test. *Engineering Fracture Mechanics*, 査読有, 141 巻, 140-151.

<https://doi.org/10.1016/j.engfracmec.2015.05.028>

〔学会発表〕(計4件)

吉原 浩, 奥鳴政貴, 吉延匡弘, 平板ねじり試験による MDF の面内せん断特性の評価, 2017 年度日本木材学会中国・四国支部研究発表会 2017 年 9 月 11 日「広島工業大学広島校舎(広島県広島市)」
吉延匡弘, 児玉晋作, 吉原 浩, 親水性ポリマーのグラフト共重合による和紙の水分特性の制御, 2017 年度日本木材学会中国・四国支部研究発表会, 2017 年 9 月 11 日, 「広島工業大学広島校舎(広島県広島市)」

吉延匡弘, 小笠原隆文, 吉原 浩, 臼杵年, 福岡昭弘: 感熱紙の酵素糖化基材としての適正評価に関する研究, 2016 年度日本木材学会中国・四国支部研究発表会, 2016 年 9 月 12 日, 「愛媛大学城北キャンパス共通講義棟 A (愛媛県松山市)」

吉延匡弘, 桑田達也, 吉原 浩, 安部信一郎, 安部紀正, 安部己図枝: 出雲民芸紙の科学的評価-遮光特性について-, 2015 年度日本木材学会中国・四国支部研

究発表会, 2015 年 9 月 28 日, 「久世エスパスランド(岡山県真庭市)」

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉原 浩 (YOSHIHARA HIROSHI)
島根大学・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・名誉教授
研究者番号: 20126006

(4) 研究協力者

()