

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580253

研究課題名(和文) 荷重レベルの違いがフィンガージョイントの損傷および強度に与える影響

研究課題名(英文) The influence of load level on the damages and strength properties of finger-jointed lumber

研究代表者

平松 靖 (HIRAMATSU, YASUSHI)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・室長

研究者番号：80353829

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：フィンガージョイント(FJ)によりたて継ぎしたスギ材の単調及び繰返し引張り試験を行い、負荷の大きさが強度へ与える影響、ひずみ分布、アコースティックエミッション(AE)の発生位置及び発生頻度を調べた。その結果、引張りひずみはFJの底部に集中し、その位置もFJ内ではばらつく様子が観察された。AEの発生源はFJに集中し、その発生頻度は荷重が大きくなるにつれて高くなることから、FJで損傷が発生・進展すると推察された。単調及び繰返し引張り試験において、引張り強さに差はみられなかったことから、繰返しの負荷による損傷は引張り強さに影響を及ぼさないと考えられた。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate the influence of load on the strength properties of finger-jointed (FJ) sugi (*Cryptomeria japonica*) lumber, monotonic and cyclic tensile loading tests were conducted. In the tests, simultaneous observation of acoustic emission (AE) and two-dimensional strain distribution were conducted. Location of AE was monitored using 1-dimensional source localization technique. AEs were mainly at FJs, and total events of AE increased as the load increased. It was considered that damages were occurred in the FJ and progressed with the increase of load. The tensile strength of monotonic loading tests and cyclic loading tests showed little difference. So, it was considered that the damages of FJ lumber by applying cyclic load had no effect on the tensile strength.

研究分野：木材工学

キーワード：フィンガージョイント たて継ぎ アコースティックエミッション AE デジタル画像関連法 集成材
ラミナ 保証荷重

1. 研究開始当初の背景

木材のたて継ぎは、短い材料の長さを伸ばすことができ、さらに節等の欠点を除去できるため、木材の有効利用上重要な技術である。最も一般的なたて継ぎ手法であるフィンガージョイント (FJ) は構造用集成材用ラミナや枠組壁工法用構造用たて継ぎ材の製造に用いられている。

FJ の強度発現機構については、国内外でいくつかのモデルが提案されてきた¹⁾が、いずれも破壊に至るまでの変形挙動や応力分布を正確に把握できていないため、FJ の強度的信頼性は依然として低いのが現状である。

FJ の強度信頼性試験としては保証荷重試験 (強度の最低値を保証し、不良品を排除するためにあらかじめ材料に作用させる荷重試験) があり、強度の低い材料を排除できる利点がある。しかし、材の強度が作用させた応力よりわずかに高い場合に生じる損傷 (強度のパラッキによる損傷) や FJ に局所的に作用する応力による損傷 (応力集中による損傷) が、その短期および長期強度特性に与える影響や、損傷度と強度特性の関係については、十分な検討がなされていない。

2. 研究の目的

母材の平均的な応力が低い場合においても、FJ では応力集中により局所的に破壊強度に到達している可能性もあるため、損傷度と強度特性の関係を明らかにするためには、FJ に作用する力の分布を解明することが必要である。本研究では、荷重レベルの違いが FJ の強度特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、荷重による損傷をデジタル画像相関法²⁾によるひずみ分布の解析とアコースティックエミッション (AE) 音源探査手法を用いることによって明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

FJ 材を構成するひき板の材質及び強度特性を把握するために、幅 125mm × 厚さ 33mm × 長さ 3.6 ~ 4m のスギ、ヒノキ、エゾマツひき板 (長尺材) とそれらから長さ方向に切り出した長さ 435mm の短尺材の密度とヤング係数を調べた。

集成材の日本農林規格のひき板の等級区分における L50 に相当するスギ長尺材 (ヤング係数 5.0 ~ 6.0GPa) L80 に相当するスギ長尺材 (ヤング係数 8.0 ~ 9.0GPa) から切り出した短尺材を用いて FJ 材を作製した後、短冊状に FJ 小試験体採取した (図 1)。

FJ 小試験体の単調引張り試験を実施して引張り強さを調べるとともに、アコースティックエミッション法 (AE 法) を用いて FJ 部での AE の発生挙動を、デジタル画像相関法を用いて FJ 部のひずみ分布を調べた。

FJ 小試験体に荷重レベルの異なる負荷を繰返し引張り載荷し、破壊時の強度、AE の発生挙動、荷重レベルと除荷時のひずみの関係

を調べた。

4. 研究成果

(1) FJ 材の原料ひき板の密度、ヤング係数の分布

長さ 4000m の長尺材とそれらから切り出した長さ 435mm の短尺材の材長方向での密度とヤング係数の分布を図 2 および図 3 に示す。長尺材の密度分布と短尺材の密度分布に差は見られないことから、長尺材内の長さ方向での密度の変動は長尺材間での変動と同程度であると考えられる。一方、長尺材と短尺材のヤング係数については、平均値は同程度であるが、変動係数は短尺材のほうが大きいことから、長尺材内の材長方向でのヤング係数の変動は長尺材間での変動に比べて大きいと考えられる。

同一長尺材から得た短尺材の密度とヤング係数それぞれの最大値と最小値の差を図 4、図 5 に示す。等級区分されたスギ、ヒノキひき板については、低強度等級の材のほうが、材内でのヤング係数の差が大きい傾向にあり、この傾向は野上らの報告³⁾と同様であった。

(2) 単調引張りにおける FJ 小試験体の強度、AE の発生挙動とひずみ分布

FJ 材から短冊状に切り出した FJ 試験体の単調引張り試験結果を表 1 に、同一 FJ 材内での引張り強さの差を表 2 に示す。異なる等級の FJ 材間では差が見られ、また同じ等級内においても差が見られたことから、FJ 材についてはエンドマッチ、サイドマッチの試験体採取しても、引張り強さは大きく異なる場合もあると考えられる。また、同じ等級の FJ 材であってもそれぞれ破壊荷重が異なるため、同じ負荷をかけたときに破壊荷重に対する割合は異なる従って、負荷時に FJ 材に生じる損傷も異なると推察される。

AE 発生源と発生頻度の関係を図 6 に示す。AE の発生源は FJ 部前後にも分布しているが、発生頻度分布の平均 (図 6 中の青線) やピークは FJ 近傍にあることがわかる。AE トータルカウントと荷重との関係を図 7 に示す。

カウント数は試験体によってばらつくが、カウント数が増加した試験体では荷重レベルによってその増加率が変化し、荷重終盤にカウント数が急増する傾向がみられる。また、L50 相当と L80 相当で最大荷重時のカウント数を比較すると、L80 相当のほうがカウント数は大きくなる傾向が認められる。図中に機械等級区分によるラミナの引張り強さの下限值 (集成材の日本農林規格) に相当する荷重を示す。試験体によっては下限値以下の荷重での AE カウント数の増加を確認することができる。

デジタル画像相関法を用いて荷重時の FJ 部のひずみ分布を解析した結果を図 8 に示す。変形が FJ した材の一方に偏って進行する様子が観察された。また、局所的な分布をみる

と、引張りひずみは FJ の底部に集中しており、その位置も FJ 部内ではばらつく様子が観察された。

(3) 荷重レベルの異なる繰返し引張りにおける FJ 小試験体の強度と AE の発生挙動

異なるレベルの荷重を FJ 試験体に負荷後、除荷（荷重を 0 にもどす）する試験を繰返し行った際の FJ 部のひずみと荷重の関係の一例を図 9 に、除荷時のひずみの一例を図 10 に示す。荷重 ひずみ曲線の傾きについては、負荷・除荷の繰返しにおいても大きな変化は見られなかった。除荷時のひずみはある一定レベルの荷重負荷後に増加する傾向があることがわかった。除荷時に FJ 部に生じているひずみは、木部に生じるそれよりもわずかに大きい傾向にあることも明らかになった。

また、AE 発生源の特定と発生挙動を解析した結果、AE の発生源は FJ 部に集中しておりその発生頻度は荷重レベルが高くなるにつれて増加しており、FJ 部での損傷が進むと考えられた（図 11、図 12）。

荷重レベルの異なる繰返し引張り試験における FJ 小試験体の破壊荷重から求めた引張り強さは L50 相当、L80 相当の試験体において、単調引張り試験における引張り強さと同程度であった。AE の発生を考慮すると FJ 部には損傷が生じていると考えられるが、強度への影響についてはより精査していく必要がある。

文献

- 1) 例えば、中村ら(1988)日本木材学会大会研究発表要旨集、38、P134、星、林(1991)木材学会誌、37(3)、194-199、林、宮武ら(1997)木材工業、52(9)、433-437
- 2) 例えば、村田ら(2005)可視化情報学会論文集、25(9)、57-63、宇京ら(2007)木材学会誌、53(2)、90-98
- 3) 野上英孝、赤座道治、低強度等級ヒノキラミナを用いた同一等級構成集成材の試作と強度性能評価、第 59 回日本木材学会大会研究発表要旨集（松本）、D15-1500、2009

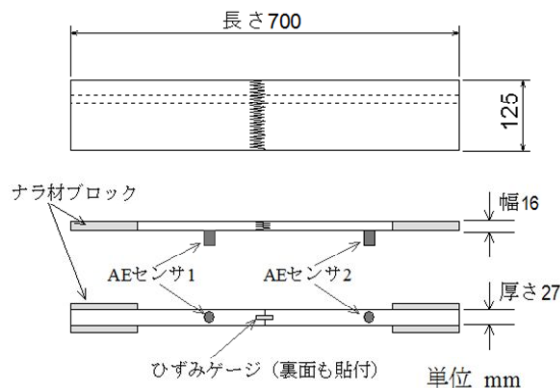


図 1 FJ 小試験体の概要
(FJ 材から短冊状に FJ 小試験体を採取)

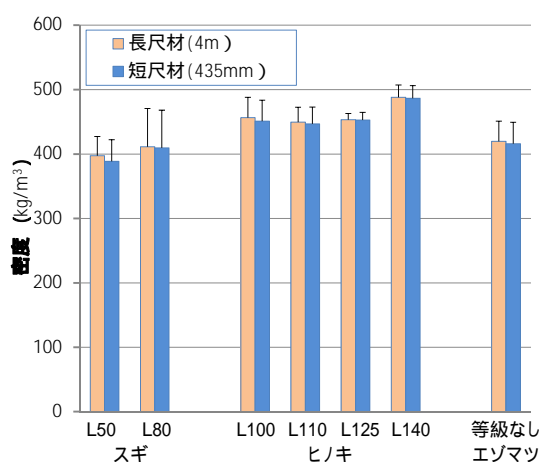


図 2 長尺材、短尺材の密度

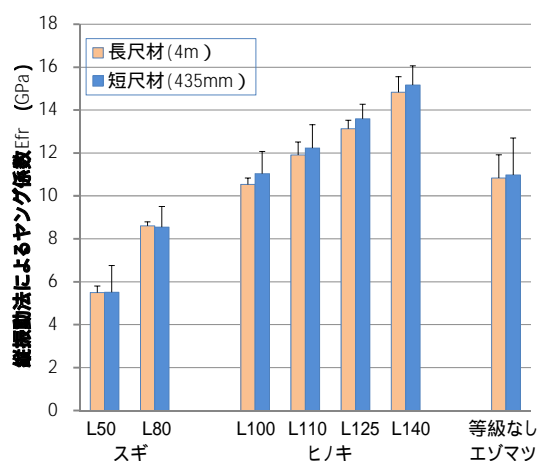


図 3 長尺材、短尺材のヤング係数

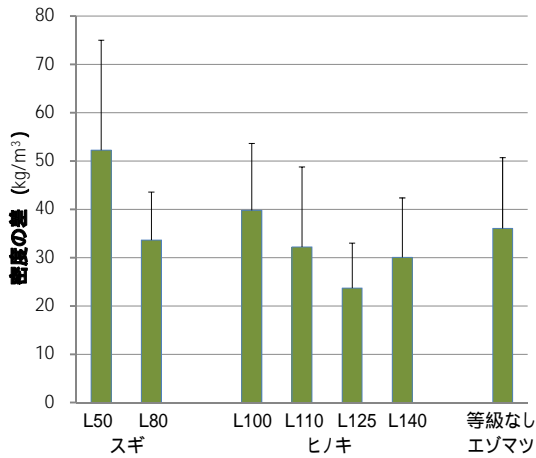


図4 同一長尺材内での短尺材の密度の差

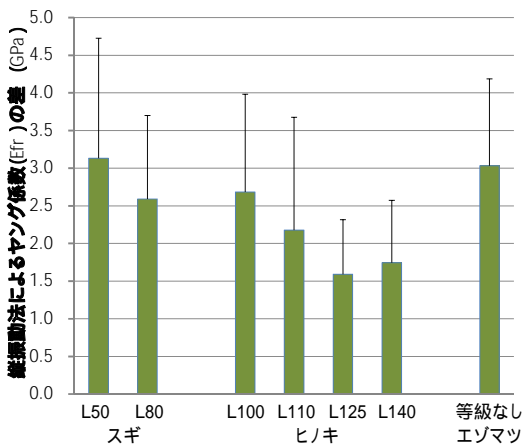


図5 同一長尺材内でのヤング係数の差

表1 FJ材から切り出した小試験体の単調引張り試験結果

等級	引張りヤング係数 (GPa)	引張り強さ (MPa)
L50相当	5.22	27.7
L80相当	8.59	35.9

表2 同一FJ材から切り出した小試験体の単調引張り試験結果の差 (最小 最大)

等級	引張りヤング係数 (GPa)	引張り強さ (MPa)
L50相当	0.60-2.77	4.9-12.1
L80相当	0.44-2.67	4.1-27.7

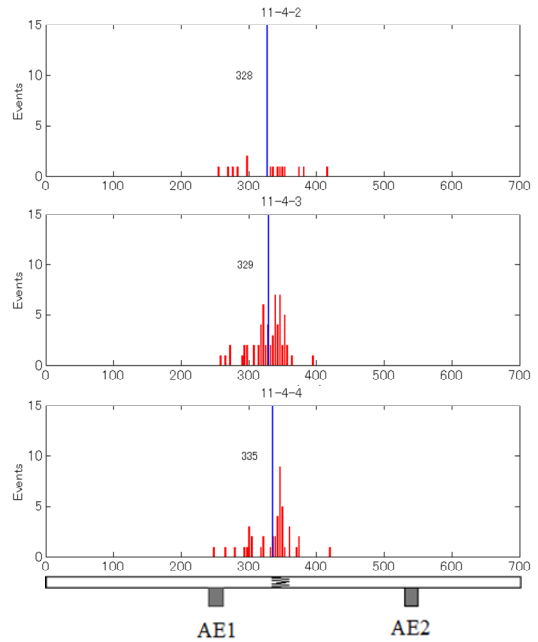


図6 AE発生位置と発生頻度(破壊まで) (L50相当の同一FJ材から切り出した小試験体3体の例、横軸が発生位置、縦軸が発生頻度を示す。図中の青線は頻度分布の平均位置で、FJ部近傍にある。)

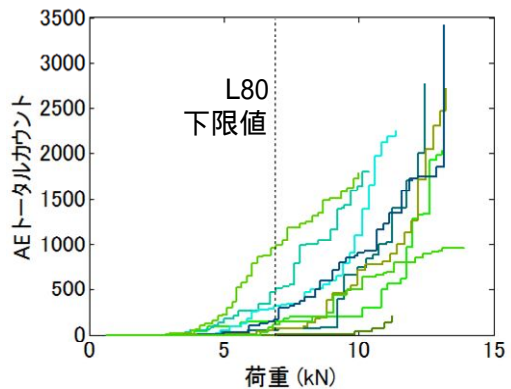
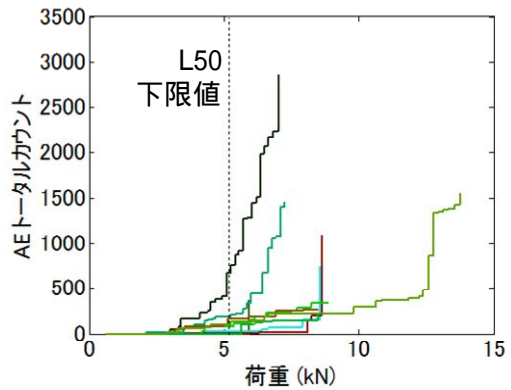


図7 AEトータルカウント(センサ1)と荷重の関係(上:L50相当、下:L80相当)

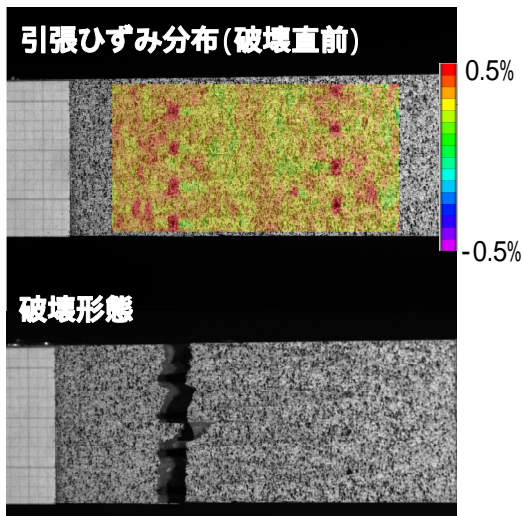


図8 デジタル画像相関法を用いたFJ部のひずみ分布の解析結果

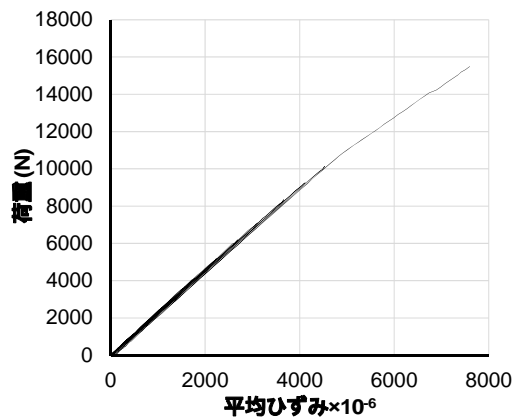


図9 荷重レベルの異なる繰返し引張りにおけるFJ小試験体のFJ部の荷重とひずみの関係 (L50相当の一例)

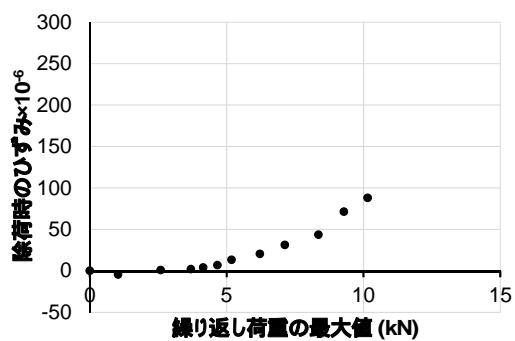


図10 荷重レベルの異なる繰返し引張りにおけるFJ小試験体のFJ部の除荷時のひずみ (L50相当の一例)

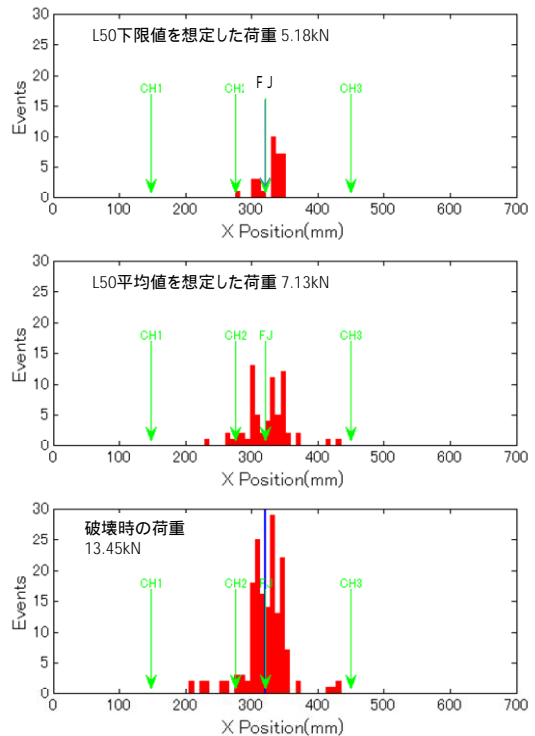


図11 荷重レベルの異なる繰返し引張りにおけるFJ小試験体 AE 発生位置 (横軸) と発生頻度 (縦軸) (累積) (L50相当の一例) (AE センサ 3 個使用)

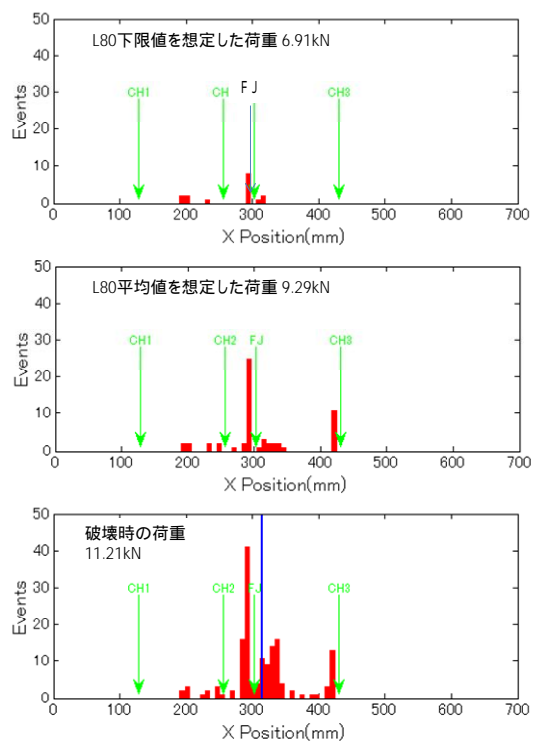


図12 荷重レベルの異なる繰返し引張りにおけるFJ小試験体 AE 発生位置 (横軸) と発生頻度 (縦軸) (累積) (L80相当の一例) (AE センサ 3 個使用)

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0件)

〔学会発表〕(計3件)

平松靖、宇京斉一郎、宮武敦、新藤健太、藤本清彦：荷重負荷がフィンガージョイントの損傷および強度に与える影響(3)同一フィンガージョイント材内での引張り強さの違い、第65回日本木材学会大会、2015年3月16-18日、タワーホール船堀(東京都江戸川区)

平松靖、宇京斉一郎、宮武敦、藤本清彦、新藤健太：荷重負荷がフィンガージョイントの損傷および強度に与える影響(1)ひき板の材長方向での密度とヤング係数の分布、第63回日本木材学会大会、2013年3月27-29日、岩手大学教育学部、盛岡市民文化ホールマリオス(岩手県盛岡市)

平松靖、宇京斉一郎、宮武敦、藤本清彦、新藤健太：荷重負荷がフィンガージョイントの損傷および強度に与える影響(2)単調引張におけるAE発生挙動について、第63回日本木材学会大会、2013年3月27-29日、岩手大学教育学部、盛岡市民文化ホールマリオス(岩手県盛岡市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

平松靖 (HIRAMATSU YASUSHI)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・室長

研究者番号：80353829

(2)研究分担者

宇京斉一郎 (UKYO SEIICHIRO)

独立行政法人森林総合研究所・構造利用研究領域・主任研究員

研究者番号：70455260

宮武敦 (MIYATAKE ATSUSHI)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・チーム長

研究者番号：20353873