

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月30日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23658139

研究課題名（和文）木質材料の可撓化

研究課題名（英文）Improvement of flexibility of wood-based composite

研究代表者

井上 雅文（INOUE MASAFUMI）

東京大学・アジア生物資源環境研究センター・准教授

研究者番号：20263155

研究成果の概要（和文）：

よくたわみ、かつ、たわみ量を制御可能な木質材料を開発した。特にアクリル樹脂系粘着剤を用いた単板積層材は変形性能に優れていた。せん断変形を考慮した多層重ね梁の解法を用いた単板積層材の曲げ剛性と強度が推測値と実験値はよく一致し、可撓性単板積層材の硬さとたわみ量が設計可能であることを明らかにした。また、木材小片とポリエチレンシートを交互に多層積層して熱圧成形した木質材料でも可撓性の向上が認められた。

研究成果の概要（英文）：

A flexible wood-based material that can control the degree of flexibility of bending was developed. An allowable deflection of the flexible laminated veneer lumber (LVL) was increased by the use of acrylic pressure-sensitive adhesive, especially. Measured values of bending stiffness and strength of the flexible LVL gave close agreement with calculated values by using a multi-layer built-up theory for shear deformation effect. A wood-based composite that prepared from wood particle and polyethylene sheets had high flexibility.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：接着・木質材料

1. 研究開始当初の背景

木材は、軽量性と強度・寸法安定性、経済性のバランスに優れているが、鉄やプラスチックの代替が難しい理由には、強靱性や可撓性に乏しい点が挙げられる。従来の木質材料は、無垢材と同等以上の強度性能を発揮させるために、三次元網目構造の硬化膜を形成する熱硬化性樹脂でエレメントが接着されており、得られる変形能は無垢材と同等かそれ以下となるのが一般的である。元来、木材接着は強固な緊結に主眼が置かれているため、木質材料は高弾性・高強度化の道を歩んできた。近年、接着剤の機能が多様化し、低弾性

化や大変形化も可能となっており、木材接着にそれらに対応させ、木質材料に適した新規接着加工技術を構築することで木材利用の新たな展開を拓くことが可能となる。従来の木質材料で体現されていない機能の一つに「可撓性の向上」が挙げられるが、この課題に取り組もうとした研究はこれまで無かった。本研究では、更に「可撓性（変形量）の制御」も視野に入れた素材開発に挑戦する点に今後の当該分野の発展性を見ている。本技術が確立されれば「やわらかさ」、「しなやかさ」といった木材の特性が木質材料でも体現され、新たな木材用途・接着剤用途の道も拓

かれることが期待される。

2. 研究の目的

金属やプラスチックなど他の工業材料と比較して、木質材料に圧倒的に不足している材料特性「靱性」と「可撓性」の向上を目指し、レース単板を基材とする木質系新素材の開発に挑戦し、せん断やねじり変形の許容量を考慮可能な材料設計式の構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究は

- (1) 単板と接着剤の材質が木質材料の変形能に及ぼす影響を実験的に観察し、樹木の力学設計との相違を考察するために、基材となる木材のエレメント形状、接着剤の種類、塗布量、積層数等の材料条件および曲げスパン、余長、荷重速度等の加力条件を様々にして、曲げ挙動に及ぼす影響を検討した。
 - (2) 接着層の変形量を制御可能とするために可撓性木質材料用の新たな積層・接着技術を開発し、その性能を検証するために、同一断面内において弾性と許容破壊ひずみの異なる接着剤を割り付け塗布することによる変形量の制御法と、木材小片とポリエチレンシートを交互に多層積層して熱圧成形する手法を検討した。
 - (3) 可撓性の向上が特に優位であった低弾性・高粘性接着剤を用いた単板積層材について、積層面のせん断ずれを考慮した多層積層梁の解法を応用し、接着剤の物性をパラメータに組み入れた強度設計式を構築し、実験的に検証した。
- の3段階で行った。

4. 研究成果

(1) 材料および荷重条件が LVL の曲げ挙動に及ぼす影響の検討

単板と接着剤の材質が単板積層材の可撓性に及ぼす影響に関して、(i)単板条件：樹種(密度)、厚さ、(ii)接着条件：接着剤種類、塗布量、(iii)積層条件：積層数を変えて種々の LVL を製造し、荷重速度、スパン、余長を様々とした静的曲げ試験および動的粘弾性試験を行った。図1に20℃雰囲気下での各種接着剤を用いた LVL (18ply, 厚さ 20mm) の曲げ荷重時の荷重-たわみ曲線を示す。曲げ剛性は、エポキシ樹脂≒酢酸ビニル樹脂>シリコン系樹脂>アクリル系樹脂の順で低下し、これは、動的粘弾性試験において求めた接着剤単体の20℃の貯蔵弾性率と同様であった。また、20℃でゴム状態が確認されたシリコン系樹脂およびアクリル系樹脂の LVL 破壊曲げたわみ量は、エポキシ樹脂や酢酸ビニル樹脂のそれと比較して2~4倍の高い値を示し、高い変形能が発現することを確認した。また、

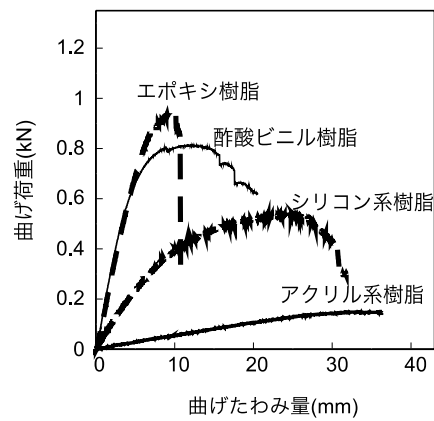


図1. 単板積層材の曲げ-たわみ曲線

動的粘弾性測定の結果、今回用いたアクリル系樹脂接着剤は、0℃付近にガラス転移点を示し、75℃で流動した。そこで、-20℃から80℃の雰囲気下においてアクリル系樹脂接着剤で作製した LVL して曲げ挙動を測定した結果、図2に示すように、20℃から60℃の間ではほぼ等しい曲げ剛性と曲げたわみ量が示された反面、ガラス転移点以下の-20℃では曲げ剛性の向上および許容たわみ量の

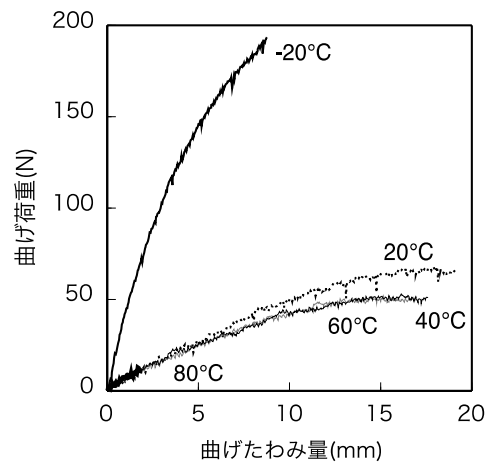


図2. アクリル系樹脂接着剤で作製した LVL の曲げ-たわみ曲線の雰囲気温度依存性

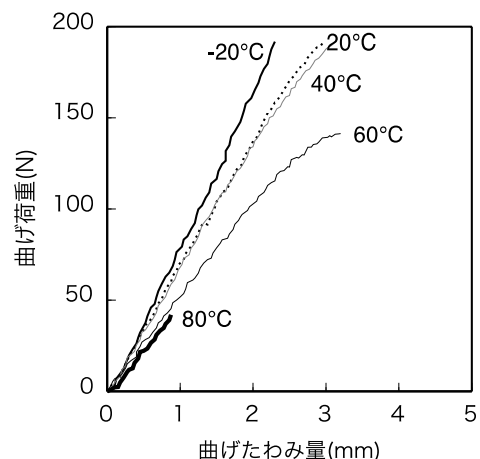


図3. エポキシ樹脂接着剤で作製した LVL の曲げ-たわみ曲線の雰囲気温度依存性

低下が、80℃では接着剤の流動に伴う早期のせん断破壊に伴う曲げたわみ量の低下が確認された。また、70℃付近にガラス転移点を示すエポキシ樹脂で作製した LVL の場合、

図3に示すように、曲げ剛性は-20℃から40℃はほぼ等しかったが、雰囲気温度 60℃および 80℃において接着層の軟化に伴い低下した。特に、80℃の曲げたわみ量は接着凝集力の低下に伴って20℃雰囲気下の1/3程度となった。また、これら傾向はいずれの接着剤においても荷重速度 1~100mm/分の静的曲げ環境において同様に確認され、曲げ試験の雰囲気環境とよく対応した動的粘弾性の測定周波数は 110Hzであった。以上のことから、木質材料の可撓化を達成するためには、使用環境範囲において、ガラス転移点以上かつ流動しない接着剤を選定することが重要であることが確認され、その判断には接着剤の動的粘弾性測定が有効であった。

(2)木質材料の可撓化に向けた新たな積層・接着技術の検討

接着剤に粘性の高いアクリル系接着剤の使用は、接着層のせん断変形によって可撓性が向上する反面、材料全体の曲げ剛性が低下するため、材料設計の幅が狭いことが課題となった。これを解決するために、同一断面内において弾性と許容破壊ひずみの異なる接

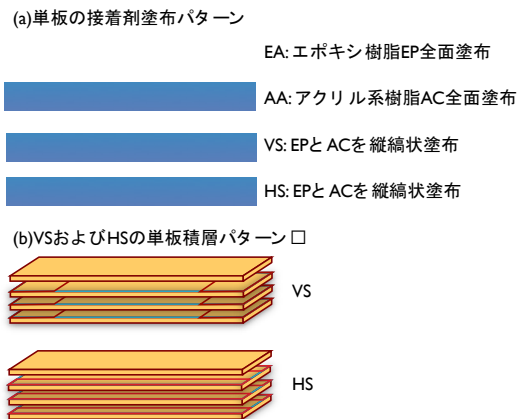


図4. LVLの接着剤割り付け塗布 (a) 単板1枚に塗布する接着剤の割り付けパターン。 (b) VS および HS で割り付け塗布した単板の積層イメージ

着剤を割り付け塗布することによる変形量の制御を試みた。手法としては、図4に示すように、接着剤としてエポキシ樹脂およびアクリル系樹脂を用い、単板に接着剤を縦縞状 (Vertical striped; VS) および横縞状 (Horizontal striped; HS)で塗布するパターンを新たに考案し、可撓性の向上効果を検討した。結果の代表例として、厚さ 0.8mm×幅 20mm×長さ 300mm のスプルーズ単板を基材として、エポキシ樹脂を全面塗布(EA)、アクリル系樹脂を全面塗布(AA)、エポキシ樹脂：アクリル系樹脂=7：3の面積比で VS および HS で割り付け塗布した 11ply の LVL の曲げ-たわみ曲線を図5に示す。EA と AA の曲げ剛性の範囲内に VS と HS が存在し、VS では曲げ剛性が EA の約 70%となり、エポキシ樹脂の接着面積とほぼ同等であった。

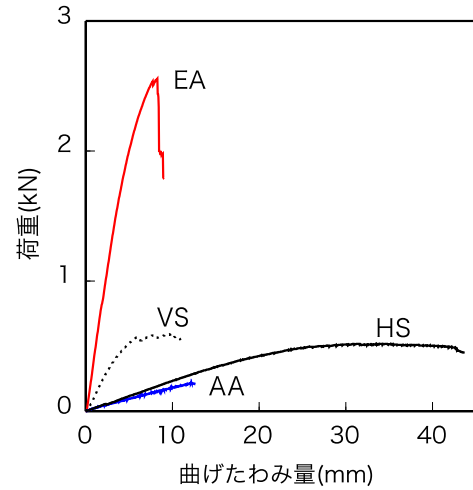
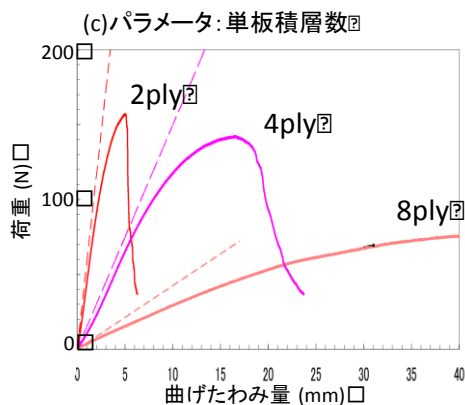
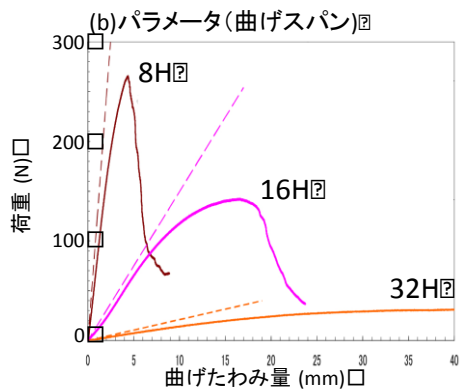
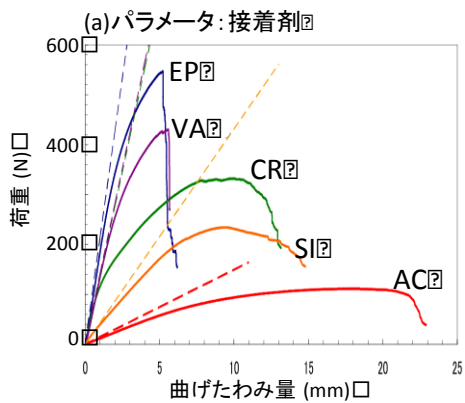


図5. エポキシ樹脂とアクリル系樹脂の割り付け塗布パターンが曲げ-たわみ曲線に及ぼす影響

一方、HS では AA と同程度の曲げ剛性を示した。これは、HS より VS で曲げたわみに対して接着層のせん断変形に対する抵抗力が高い塗布パターンとなっていることが考えられた。また、曲げたわみ量においては、VS が EA よりも低くなり、この傾向は割り付け間隔が長いほど、すなわち、縦縞パターンの幅が長いほど顕著となった。これは、曲げたわみにともない、局所的に発生するアクリル系樹脂接着層の面外座屈の影響によるものと考えられた。曲げたわみ量が最も大きくなったのは、HS であった。この傾向は、横縞パターンが細くなるほど、すなわち、横縞1本の幅が狭くなるほど顕著となった。さらに、接着層のせん断変形を一定範囲の留めるために、低弾性接着層を挟む基材間を高強度繊維によって縫合することで可撓性を確保しつつ剛性の向上が図られた。また、熱可塑性樹脂単体の可撓性を効果的に木質材料に反映させることを目的として、木材小片とポリエチレンシートを交互に積層して熱圧成形する手法を用いた結果、木材小片とポリエチレンパウダーを攪拌混合する手法よりも優れた可撓性が発現することが明らかとなった。

(3)可撓性 LVL の強度設計式の構築

可撓性の向上が特に優位であった低弾性・高粘性接着剤を用いた LVL について、接着層間のせん断変形のズレを考慮した多層重ね梁の解法を元に、木材単板の弾性率、厚さ、接着剤の弾性率、曲げスパン、余長をパラメータして曲げ剛性および曲げ強度の推定式を検討した。図6に推定式の妥当性を検証するために行った曲げ剛性の計算値と実測値の結果を示す。図6(a)では、動的粘弾性測定によって得られた接着剤のせん断弾性率を用いて、計算値と実測値の値が概ね一致した。また、図6(b)および図6(c)において、アクリル系樹脂を接着剤とした LVL の曲げスパンおよび単板積層数をパラメータとした場合も、曲げ剛性の計算値と実測値は概ね一致した。このことから、前掲の各種パラメータを設定することで LVL の可撓性が制御可能であることが明らかとなった。



本研究によって、従来の木質材料で体现されていない機能の一つであった「可撓性の向上」に挑戦し、どうすれば木質材料の可撓性を向上させ、かつ、曲げ性能を制御できるのか、という点が明らかになった。本研究のように高い可撓性を発現させることができる LVL の開発事例は世界的に見ても類例はなく、今後は可撓性の更なる制御に向けた学術的な研究を継続する一方で、可撓性を向上させることによってもたらされる変形能や衝撃吸収性の木質材料の新しい機能性を追求した実践展開が期待される。

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)

[学会発表] (計2件)

1. Adachi K., Hayashi R., Kojima M., Inoue M., Habu N., Melaleuca Shredded Bark-Plastic Composites, BIOCOMP2012,

Shizuoka, 2012. 11. 27-30

2. 林隆三, 児嶋美穂, 井上雅文, 足立幸司, 羽生直人, 熱可塑性樹脂シート積層法による木質ボード製造技術の提案, 第63回日本木材学会年次大会, 盛岡, 2013. 3. 27-29

[その他]

ホームページ等

<http://smd.anesc.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

井上 雅文 (INOUE MASAFUMI)

東京大学・アジア生物資源環境研究センター・准教授

研究者番号: 20263155

(2)研究分担者

足立 幸司 (ADACHI KOJI)

秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授

研究者番号: 70451838

(3)連携研究者

該当無し