

## 技術資料

# ヒノキ心去り正角を使用した3段接着重ね材の曲げ強度性能

田中健斗・土肥基生

## Bending Strength Performance of 3-Step glued build-up timber using hinoki squared timber without pith

Kento Tanaka, Motoo Dohi

径級34～42cm、長さ6mのヒノキ丸太から心去り正角を2丁取りで製材し、70～83℃の乾球温度で人工乾燥を行った後、非破壊で動的ヤング係数を測定して接着組み合わせを決定した。水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤を用いて接着し、120mm×360mm×6000mmの3段接着重ね材を製造した。実大曲げ試験の結果、曲げ強度性能のうち曲げ強さは全ての材で接着重ね材の日本農林規格の基準を満たしていたが、曲げヤング係数は基準を満たさないものが一部に見られた。接着重ね材の構成材料3本の動的ヤング係数の平均値と試験体のみかけの曲げヤング係数の間には非常に強い正の相関が見られたことから、使用する部材を選択することにより、重ね材の性能評価や強度性能を担保できることが示唆された。

キーワード：ヒノキ、接着重ね材、心去り正角、曲げヤング係数、曲げ強さ

### I はじめに

低層住宅建築のうち木造軸組工法では、構造用合板や柱材と比較して、梁や桁等の横架材における国産材の使用割合は、1割程度と低位にとどまっている。横架材には高いヤング係数や多様な寸法への対応が求められるため、ベイマツ製材やレッドウッド（ヨーロッパアカマツ）集成材等の輸入材が高い競争力を持っている。

一方で、接着重ね材の日本農林規格（JAS）が2019年1月31日に制定され、認定工場にて製造されたものをJAS認証材料として使用することができるようになった。

接着重ね材は、「構造用に使用する製材を、その繊維方向を互いにほぼ平行にして厚さ方向に積層接着したもののうち、構造耐力上主要な部分に使用する木材（農林水産省 2019）」と定義されており、一般流通材を使用し、高いヤング係数や多様な寸法に対応した製品を開発することで、横架材分野での国産材利用の促進に寄与する可能性がある。

近年では、人工林資源が充実しヒノキ原木の大径化が進んでいる。このため、例えば末口径34cm以上の丸太から、従来の心持ち木取りの材以外に、心去り木取りの材を複数得ることが可能となり、今後はこのような木取りが増加すると予想される。一般に髄から15～20年輪程度の木部は未成熟材と呼ばれ、強度、比重などの物理的性質が成熟材と比べて安定せず、材質的に劣る。心去り木取りとすることにより、従来の心持ち木取りと比べて未成熟材の割合が少

なく、強度性能に優れた製品を開発することが可能になる。さらにそれらを積層接着し、大断面部材とすることで、ベイマツ製材やレッドウッド集成材などと対抗できる製品を開発することが可能になると考えられる。すでに長野県ではカラマツ心持ち角同士や、スギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツの心持ち平角に厚板を積層接着した「信州型接着重ね材」（伊東ら 2006）を開発し強度性能データ等の蓄積が行われ、建築基準法第37条に基づく国土交通大臣認定を受けている。また、BP材と呼ばれるスギ、ヒノキの105mm角などの一般製材を束ね（Binding）、重ね（Piling）の両方向で集め、エポキシ接着剤で圧着して剛性を高めた木質材料が開発されており、心持ちのA材を利用するため、国内林業の課題であるA材の需要喚起が期待されている（日刊木材新聞社 2022）。

このように、心持ち材の接着重ね材については、強度性能の検証が進められているが、ヒノキ心去り正角を接着した重ね材の強度性能を検証した例はない。そこで、本研究では県産ヒノキ心去り正角を使用した3段接着重ね材の強度性能の担保となる強度データを蓄積することを目的として実施した。

### II 試験方法

試験には岐阜県産ヒノキ元玉丸太（材長6m、末口径34～42cm）を80本（予備材含む）用いた。原木はFFTアナライザー（小野測器CF-4700）により1次共振周波数を測定し、縦振動法により動的ヤング係数を得た。製材、乾燥は、県内

のヒノキ製品を主に製造する製材会社で行った。送材車付き帯鋸盤により、1本の丸太から粗挽き寸法が幅145～170mm×厚さ145～160mmとなるよう2丁取り製材を行った。木取りは、可能な限りあての部分避け、二方桁となるように製材した。人工乾燥は蒸気式木材乾燥機を用い、乾球温度70～83℃、乾湿球温度差1～13℃の条件で中温乾燥を行った。人工乾燥終了後、約1カ月の養生期間を経てモルダーにより幅130mm×厚さ125mmに調整した。養生期間中に、縦振動法により動的ヤング係数を算出するとともに、接着重ね材の日本農林規格 (JAS) に従い、同一等級構成接着重ね材となるように接着組み合わせを決定した。

接着作業は、県内の構造用集成材のJAS認証を受けている工場にて実施した。接着の際、外層の構成材料は木裏が中心軸側を向くように配置し、内層の構成材料は木表および木裏が接着層に面するように配置した。

接着剤は(株)オーシカ製鹿印ピーアイボンドPI-5300、架橋剤は(株)オーシカ製鹿印ピーアイボンド用架橋剤H-30を使用した。接着剤と架橋剤の配合割合は100:15とし、塗布量は約250g/m<sup>2</sup>、片面塗布とした。プレス前の閉鎖堆積時間は10分以内とし、圧縮圧力は1MPa、圧縮時間は1時間以上とした。接着完了後は、モルダーにより、幅120mm、高さ360mm、長さ6,000mmに加工した。

加工後、試験体を4カ月程度室内で保管し、実大曲げ試験を実施した。曲げ試験の実施前にFFTアナライザー (小野測器CF-4700) により1次共振周波数を測定し、縦振動法により接着重ね材の動的ヤング係数を算出した。

実大曲げ試験には、実大強度試験機 (前川試験機製作所製IP-100B-F2) を用い「構造用木材の強度試験マニュアル」(財団法人日本住宅・木材技術センター 2011) に準じ、3等分点4点荷重法により行った。スパン長、荷重点間距離はそれぞれ5,760mm (梁せいの16倍)、1,920mm (梁せいの約5.3倍) とし、載荷速度は毎分20mmで破壊するまで荷重を加え、最大荷重から曲げ強さを算出した。試験体の変位測定には、一般型変位計 (東京測器SDP-200E) を用い、試験体の広い面の両側で測定した2箇所の平均値を採用し、最大荷重の10%および40%時点の変位からみかけの曲げヤング係数を算出した。また、試験体片面に高感度変位計 (東京測器CDP-25) を取り付けたヨークを設置し、最大荷重の10%および40%時点の荷重点間のたわみからせん断変形の影響を含まない曲げヤング係数を測定した。試験体の長さの制約から、スパン長を試験体梁せいの16倍としたため、みかけの曲げヤング係数は標準荷重条件 (梁せいの18倍) 時の値に調整した。なお、加力方向はエッジワイズであるが、上下の設置方向は中心の構成材料の木表が下向きとなるようにした (節などの欠点を考慮せずに設置した)。

曲げ試験後に、材端から50cm以上内側の非破壊部分から含水率測定用の試験片 (2cm厚) を切り出し、全乾法により含水率を求めた。曲げ強さとみかけの曲げヤング係数の算

出値は含水率の値による影響を防ぐため、ASTM D 1990-07の含水率定数により、算出値を含水率15%の値に調整した。

### III 結果と考察

表-1に、使用した原木の性状測定結果を示す。原木の動的ヤング係数は7.83kN/mm<sup>2</sup>から16.55kN/mm<sup>2</sup>に分布し、平均10.56kN/mm<sup>2</sup>であった。素材の日本農林規格 (農林水産省2007) に規定する縦振動ヤング係数区分に当てはめると、Ef90, Ef110, Ef130, Ef150に該当する本数はそれぞれ33本、29本、15本、3本であった。

表-1. 原木の性状測定結果 (n=80)

区分	末口短径 (mm)	元口短径 (mm)	年輪数	細り (mm/m)	みかけの比重 (kg/m <sup>3</sup> )	動的ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
平均値	364	453	91	8.1	677	10.56
標準偏差	20	45	11	3.5	98	1.67
最小値	313	377	67	0.8	487	7.83
最大値	406	585	118	18.2	968	16.55

試作した接着重ね材の日本農林規格 (農林水産省 2019) に定められた強度等級ごとの本数は、E120-F300が13体、E110-F270が8体、E100-F250が8体、E90-F220が11体、E80-F190が3体、計43体であった。表-2に実大曲げ試験の結果を示す。みかけの曲げヤング係数は8.32kN/mm<sup>2</sup>から13.61kN/mm<sup>2</sup>に分布し、平均10.86kN/mm<sup>2</sup>であった。曲げ強さは38.7N/mm<sup>2</sup>から63.1N/mm<sup>2</sup>に分布し、平均49.2N/mm<sup>2</sup>であった。真の曲げヤング係数は9.06kN/mm<sup>2</sup>から14.80kN/mm<sup>2</sup>に分布し、平均12.01kN/mm<sup>2</sup>であった。

表-2. 接着重ね材の曲げ試験結果 (n=43)

区分	試験時含水率 (%)	動的ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	みかけの曲げヤング係数 (補正後) (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (補正後) (N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
平均値	13.8	11.8	10.86	49.2	12.01
標準偏差	1.6	1.3	1.35	6.0	1.47
最小値	11.5	9.4	8.32	38.7	9.06
最大値	16.6	14.1	13.61	63.1	14.80

試験体の破壊性状は、引張の力が加わる下側外層に存在する節から破壊が進展したもの (図-1) や、圧縮の力が加わる上側外層に存在する節の付近が圧縮により破壊したもの (図-2) が主であった。また、今回の木取りでは、側面が桁目となり、流れ節が出現することが多くなった。このため、流れ節が接着層に接している場合に、これを起因として内層から破壊が進展する事例 (図-3) が見られた。また、内層の構成材料がせん断により破壊したものが43体中2体見られた。試験体を確認したところ、いずれも内層の構成



図-1. 試験体の破壊性状 (引張側筋からの曲げ破壊)



図-2. 試験体の破壊性状 (上面圧縮側の圧縮破壊)



図-3. 破壊性状 (接着面に接する内層流れ筋からの破壊)



図-4. せん断破壊した試験体の破壊性状

材料が年輪に沿って破壊しており(図-4)、接着層のせん断により破壊したものは見られなかった。なお、せん断破壊した試験体の最大荷重は、その他の試験体と同程度であった。今回の構成材料の乾燥工程では、高温セット処理を行わず中温域での乾燥としており、採取した含水率測定用の試験片も内部割れは認められなかったことから、乾燥による強度低下(工藤ら2019)の可能性は低いと考えられた。

重ね材のみかけの曲げヤング係数(補正後)と曲げ強さ(補正後)の関係を図-5に示す。相関係数は $R=0.62$ と正の相関が見られた。試験体のうち1体が強度等級ごとのみかけの曲げヤング係数の基準をわずかに満たさなかったが、強度等級ごとの曲げ強さは全ての材で基準を満たしていた。破壊性状を加味すると、接着方法や乾燥方法による強度低下の可能性は低く、節の有無や目回り等の欠点が強度性能に及ぼす影響が高いと考えられた。

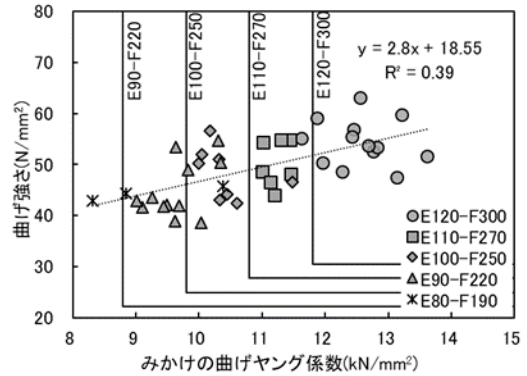


図-5. みかけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係 (グラフ内の実線は強度等級ごとの基準値)

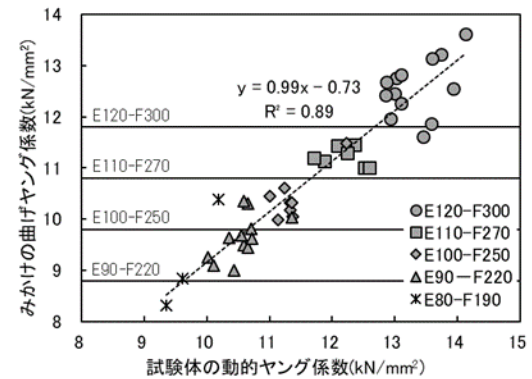


図-6. 重ね材の動的ヤング係数とみかけの曲げヤング係数の関係 (グラフ内の実線は強度等級ごとの基準値)

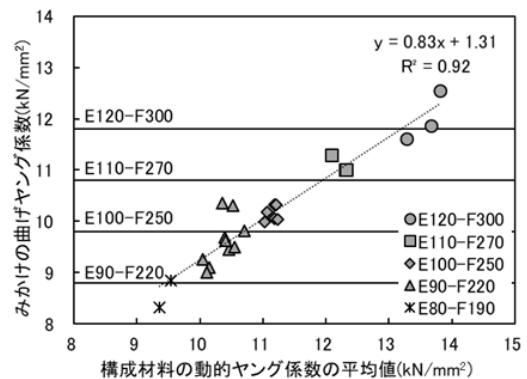


図-7. 構成材料の動的ヤング係数の平均値とみかけの曲げヤング係数の関係 (グラフ内の実線は強度等級ごとの基準値)

接着重ね材の動的ヤング係数とみかけの曲げヤング係数の関係を図-6に示す。相関係数は $R=0.94$ と非常に強い正の相関が見られた。また、3本の構成材料の動的ヤング係数の平均値と、それらを用いて製造した接着重ね材の見かけの曲げヤング係数の関係を図-7に示す。相関係数は $R=0.96$ と非常に強い正の相関が見られた。これらのことから、完成品の曲げヤング係数も通常の製材品と同様、動的ヤング係数から予測が可能であること、材料の動的ヤング係数から完成品の曲げヤング係数を予測することが可能である

と示唆された。

今回の試験で、接着前に動的ヤング係数の測定を行い、接着組み合わせを決定することで、みかけの曲げヤング係数と曲げ強さの基準をおおむね満たす接着重ね材を製造することができた。今後、構成材料の段階で、流れ節や目回りなどの欠点を排除することによる強度性能の向上効果など、さらなるデータの蓄積を行うことにより、安定して日本農林規格(JAS)の基準を満たすヒノキ心去り正角3段重ね材の製造方法を明らかにする。

## 引用文献

- 伊東嘉文・吉田孝久・橋爪丈夫(2006)地域材を利用した接着重ね梁の実用化試験(1)-カラマツ6m接着重ね梁の製造と性能評価-. 長野県林業総合センター研究報告21号：57-66
- 株式会社日刊木材新聞社(2022)木材・建材ハンドブック：272
- 工藤康夫・小林慧・町田初男・井道裕史(2019)高温セットが材の強度劣化に及ぼす影響. 群馬県林業試験場研究報告23号：53-63
- 農林水産省(2007)告示第1052号 素材の日本農林規格.
- 農林水産省(2019)告示第179号 接着重ね材の日本農林規格.
- 財団法人日本住宅・木材技術センター(2011)構造用木材の強度試験マニュアル.