

県産カラマツ材の強度性能評価

Evaluation of strength property of Karamatsu(*Larix kaempferi*) in Gunma prefecture.

小林 慧・工藤 康夫

要旨

これまで未整備であった群馬県産カラマツ材の強度性能を明らかにするため、県産カラマツ材を平角材と板材に分けて試験をおこなった。また、県産カラマツを対象に立木の応力波伝播速度と加工製品の曲げヤング係数との関係性を調査した結果、以下の知見を得た。

- 1 県産カラマツの縦振動ヤング係数別の出現頻度は、平角材では E110 以上のものが 54% を占め、板材では L110 以上のものが 58% を占めた。
- 2 曲げ試験の結果、県産カラマツ材は角材と板材はともに構造用材として利用可能な曲げ強度性能を有していた。
- 3 カラマツ立木の応力波伝播速度の測定は、加工後の挽き板の縦振動ヤング係数を推定できる可能性あり、伐採前に必要とするヤング係数を満たさない個体を選別するために有効であると考えられた。

キーワード：カラマツ *Larix kaempferi*、曲げヤング係数、応力波伝播速度

I はじめに

近年、カラマツは強度面での優位性によって合板用単板（ベニア）や集成材用挽き板（ラミナ）を中心として需要が増大している。県内のカラマツは、スギに次ぐ資源量を有し、また需要の増大から造林樹種としての人気も高く、令和元年度の県内造林面積 336ha のうち、約 3 割の 109ha がカラマツの造林面積である（群馬県，2020）。しかし、これまで県内のカラマツの強度性能等については、枠組み壁工法部材の一部の研究（町田ら，2018）に限定され、基礎的な強度性能の調査は、県産のスギに比べて少ない。特にカラマツを集成材へと加工する段階では、その素材となるラミナの曲げヤング係数が重要視されている。そのため、立木を無造作にラミナに加工してから区分すると、ラミナの曲げヤング係数によっては必要とされるラミナの過不足が発生する。

そこで本研究では、①これまで未整備であった県産カラマツの角材および挽き板材の強度性能を明らかにすること、加えて今後の利用を踏まえた②立木段階で県産カラマツ材の曲げヤング係数を推定することを目的として研究を行った。

II 方法

1 調査林分及び試験体の調整

調査林分及び調査木について表-1 に、試験体の段階別調査項目および試験体数について表-2 に示す。調査は 2 林分で実施し、樹高、胸高直径及び携帯型の応力波伝播時間測定器 FAKOPP Microsecond Timer (FAKOPP ENTERPRISE 社製) を用い立木の地上高 70cm~170cm の 100cm 間の応力波伝播速度を測定した。その後、調査木を伐採し、長野原調査地では 1 番玉から 3 番玉まで 4 m ごとに、安中調査地では、1 番玉から 3 番玉まで 3 m ごと連続して造材し素材丸太を得た。長野原調査地から得られた

素材丸太は、長さ 3 m と 1 m に分割して 3 m 部分を試験に用いた。それぞれの林分から得られた素材丸太は、末口径、元口径、重量及び固有振動数 (Woody, 静岡製機(株)) を測定し、丸太の縦振動ヤング係数 (E_{log}) を算出した。

固有振動数測定後、長野原調査地から得られた素材丸太は、末口径に対する最大断面となるよう、幅 120~135mm、せい 120~330mm の正角または平角の心持材を製材した。その後、蒸気式木材乾燥機 (DKSH-15HT, 日本電化工機製) を用いて乾球温度 120°C、湿球温度 90°C で 24 時間セット処理後、乾球温度 90°C、湿球温度 60°C で 192 時間人工乾燥を行った。人工乾燥終了後、再び帯鋸製材機を用いて幅 105~120mm、せい 105~300mm に調整し、角材として試験に供した。

安中調査地より得られた素材丸太は、だら引きにて幅 105~135、せい 38mm に製材し、素材丸太 1 本から 1~6 枚の板材を得た。その後、蒸気式木材乾燥機を用いて乾球温度 70~90 °C、湿球温度 65~90 °C で 152 時間人工乾燥を行った。人工乾燥終了後はモルダーを用いて幅 20~30mm、せい 90mm 又は 120mm に調整し板材として試験に供した。

角材および板材へ調整後の試験体も素材丸太同様に縦振動ヤング係数 (E_{tr}) を算出した。

表-1 調査地及び調査木の概況

調査地	所在地	樹種	林齢	調査木(本)	胸高直径(cm)	樹高(m)	応力波伝播速度(m/s)
長野原	県有林38-2林班65小班	カラマツ	65年	10	28.0~44.4	22.6~27.7	3258~4204
安中	実験林37小班	カラマツ	45年	10	17.9~33.7	20.1~25.6	3085~3781

表-2 試験体の段階別調査項目

	立木 (n=20)	素材丸太 (n=30)	加工製品 (角材 (n=22)・板材 (n=91))
測定項目	・樹高	・末口径	・寸法
	・胸高直径	・元口径	・重量
	・応力波伝播速度	・重量	・応力波伝播速度
		・応力波伝播速度	・縦振動ヤング係数
		・縦振動ヤング係数	・曲げヤング係数
		・曲げ強さ	

※n は試験体数を示す。

2 強度試験

曲げ試験はインストロン・ジャパン製万能強度試験機 5582EX/H を使用し、構造用木材の強度試験マニュアル (日本住宅・木材技術センター, 2011) に準じて、載荷速度 20mm/min で 3 等分点 4 点曲げ試験を行った。支点間距離は 18h または 24h、荷重点間距離は 6h または 8h とし、曲げヤング係数は全区間に対する中央の変位から、せん断の影響を含んだ見かけの曲げヤング係数 (MOE) を算出した。支点間距離が 24h の試験体では、得られた曲げヤング係数にスパンの試験製材の木口の短辺に対する比 (農林水産省, 2019) を乗じて支点間 18h、荷重点間 6h の値へと曲げヤング係数の補正を行った。曲げ試験終了後、木口から約 1m 内側の非破壊部分を切り出して重量測定し、恒温器中で $103 \pm 2^\circ\text{C}$ で恒量になるまで静置し、全乾法による含水率を求めた。なお、曲げ試験に際して破壊しなかったものや試験時間が 1 分に満たないもの、また著しい腐朽がみられたものは、解析から除外した。

Ⅲ 結果及び考察

1 県産カラマツ材の強度性能について

全ての素材丸太より得られた角材 (n=30) 及び板材 (n=91) の縦振動ヤング係数 (E_{tr}) 別に機械等級区分した結果を図-1 及び図-2 に示す。なお角材は製材の JAS の機械等級区分構造用製材 (農林水産省, 2007a) として、板材は集成材の JAS 「等級区分機による等級」 (農林水産省, 2007b) に準じて区分した。角材では、E50 に満たない試験体はみられず、E90 以上の試験体は角材では 95%以上に及んだ。

板材ではすべての試験体で L90 を満たしており、L100 及び L110 の出現率が 57%と全体の半数以上であった。異種等級構成集成材としてカラマツ集成材は E95-F270 及び E105-F300 が主に生産されているが、強度性能については、E95-F270 では最外層のラミナに L110 が、E105-F300 では L125 が求められている。県産カラマツ材では L110 が 31%の割合で出現しており、E95-F270 であれば安定的な生産が可能であると考えられた。

曲げ試験の結果を表-3 に示す。曲げ試験の際に破壊しなかったものや試験時間が 1 分に満たないもの (角材: 2 試験体、板材: 2 試験体)、また著しい腐朽がみられたもの (角材: 1 試験体) 及び異なる試験へ供したもの (5 体) は、解析から除外した。角材の曲げ性能は、曲げヤング係数 (MOE) の平均が 9.98 kN/mm^2 であり、曲げ強さ (MOR) の平均は 39.62 N/mm^2 であった。板材の曲げ性能は、MOE の平均が 11.18 kN/mm^2 であり、MOR の平均は 32.69 N/mm^2 であった。また、目視等級区分甲種構造材 2 級の基準強度 (国土交通省, 2016) である 25.8 N/mm^2 を下回った試験体は、角材で 2 体 (9.1%)、板材で 12 体 (13.4%) であった。

曲げヤング係数 (MOE) と曲げ強さの関係 (図-3) をみると、角材と板材ともにでは、高い相関関係が認められ相関係数 $r=0.75$ であった。板材でも同様に正の相関関係が認められたが相関係数 $r=0.52$ と角材に比べてやや低い相関係数を示した。これは、板材では、節や繊維傾斜等の強度低減因子の影響が角材に比べ節が顕著に表れたため、MOR の値でばらつきが大きくなったためと考えられる。以上のことから県産カラマツ材の角材及び板材の曲げ強度性能が明らかになるとともに、構造材としての利用において十分な強度性能を有することが明らかとなった。

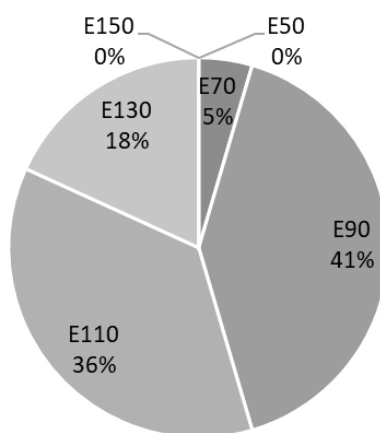


図-1 角材 (n=30) の縦振動ヤング係数 (E_{tr}) の等級別出現率

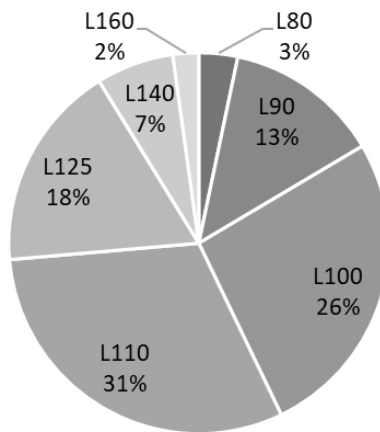


図-2 板材(n=91)の縦振動ヤング係数 (E_{tr}) の等級別出現率

表-3 角材と板材の曲げ試験結果

	角材 (n=22)			板材 (n=89)		
	MOE kN/mm ²	MOR N/mm ²	含水率 %	MOE kN/mm ²	MOR N/mm ²	含水率 %
平均値	9.98	39.62	14.16	11.18	32.69	5.24
最大値	13.26	58.82	15.88	15.44	74.25	9.81
最小値	6.52	20.18	12.28	8.24	16.83	4.14
標準偏差	1.61	8.69	0.92	1.34	10.71	0.52

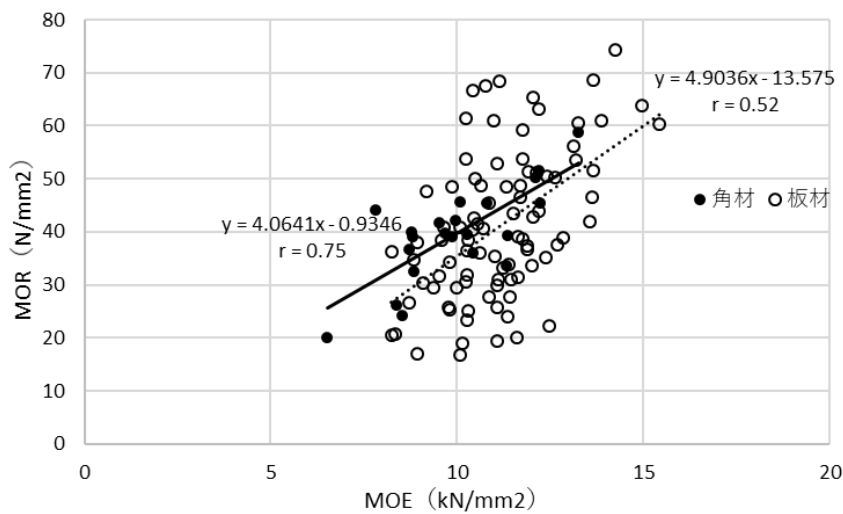


図-3 角材 (n=22) と板材 (n=89) の曲げヤング係数 (MOE) と曲げ強さ (MOR) の関係

2 県産カラマツ材の樹幹内ヤング係数変動

県産カラマツ材の樹幹内半径方向における曲げヤング係数分布については、髓付近では、外側に比べて低ヤング係数材の比率が高いとの報告がある（町田ら，2018）。そこで、本研究では樹幹の軸方向で曲げヤング係数の変動について検討し県産カラマツ材の樹幹内での曲げヤング係数の分布状況を検討した。試験体は、長野原調査地より得られた角材及び安中調査地より得られた挽板材のうち、心持ち材を対象に解析を行った。なお解析は、1番玉から3番玉までの曲げヤング係数が測定できた13体を用いた。番玉別の曲げヤング係数の変動を図-4に示す。樹幹内軸方向の曲げヤング係数は、1番玉と2番玉間での顕著な増減傾向はみられないが、1番玉と3番玉間では、明らかに減少傾向が認められ、平均で12%減少することが確認された。

このことから、県産カラマツ材の樹幹内ヤング係数の変動傾向としては、一般的に知られている地上に近い部分において曲げヤング係数が高いことが示された（例えば、橋爪，1998）。

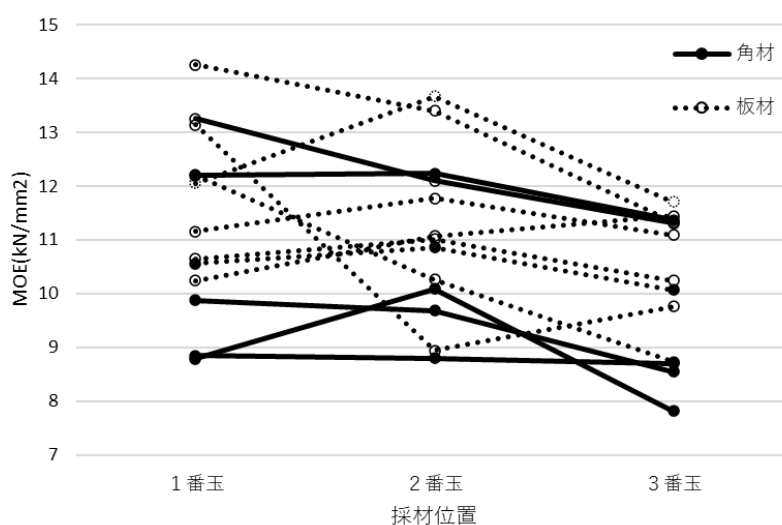


図-4 樹幹軸方向での曲げヤング係数 (MOE) の変動

3 立木の応力波伝播速度による加工製品の強度推定について

図-5に応力波伝播速度と素材丸太の E_{log} （1番玉）の関係を示す。2つの調査地をまとめて立木の応力波伝播速度と E_{log} （1番玉）の関係をみると、相関係数 $r=0.43$ と弱い正の相関が確認された。一方で、調査地別では、長野原調査地で相関係数 $r=0.14$ 、安中調査地で相関係数 $r=0.19$ と相関関係が認められなかった。

次に、立木の応力波伝播速度と1番玉から得られた加工製品である角材及び板材の E_{tr} との関係を図-6に示す。なお、板材の E_{tr} は、素材丸太9体の外縁部から製材された2枚の板の平均値であり、髓が含まれていた1体については、解析から除外した。

角材では、 E_{tr} と立木の応力波伝播速度との間に明確な相関関係が認められなかった（相関係数 $r=0.008$ ）、一方で、丸太外縁部から得られた板材の E_{tr} と立木の応力波伝播速度には高い正の相関関係（ $r=0.76$ ）が認められた。このことから、立木の応力波伝播速度は外縁部の測定値であることから外縁部から製材される板材については、 E_{tr} を推定できる可能性が示唆された。

以上のことから、本研究の調査林分において立木の応力波伝播速度から、加工後の角材の強度性能を推定することはできなかった。応力波伝播速度は外縁部の測定値であり、心持ち角材のように主に素材丸太の中心部を利用する加工製品の強度性能を直接的に推定することはできないと考えられた。

また、これまでにスギ・ヒノキを対象とした研究において立木の応力波伝播速度と胸高直径の関係性が検討されており、一斉林では直径が小さいほど測定に関与する晩材数の増加や含水率の低い心材部にセンサーが達する可能性について指摘されている（藤沢ら、2003）。本研究においては、樹種は異なるが、長野原調査地で測定した立木の胸高直径には16cm程度の差があり、応力波伝播速度の測定区間内の晩材数や含水率等の影響を受けたため、応力波伝播速度と加工製品との明確な関係性が認められなかったものと推察される。一方で、外縁部から得られた板材の E_{tr} と応力波伝播速度で正の相関関係が認められたこと、また県産カラマツの樹幹内半径方向において髓に近いほど曲げヤング係数が減少することが報告されていることから、応力波伝播速度の測定は、集成材等で用いられる挽き板の選別において事前に縦振動ヤング係数の低い個体を流木の時点で除去する等のスクリーニングに有効である可能性が考えられた。

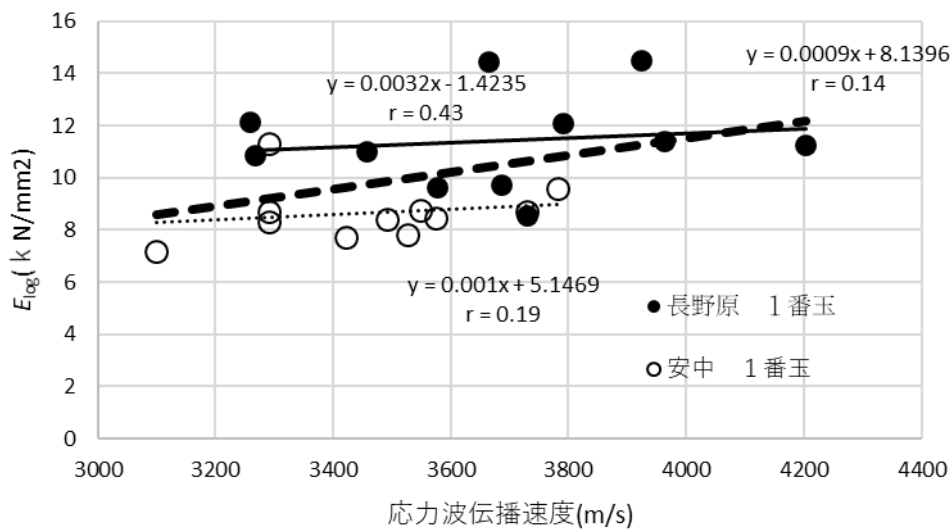


図-5 調査地別の立木応力波伝播速度と1番玉の縦振動ヤング係数 (E_{log}) の関係

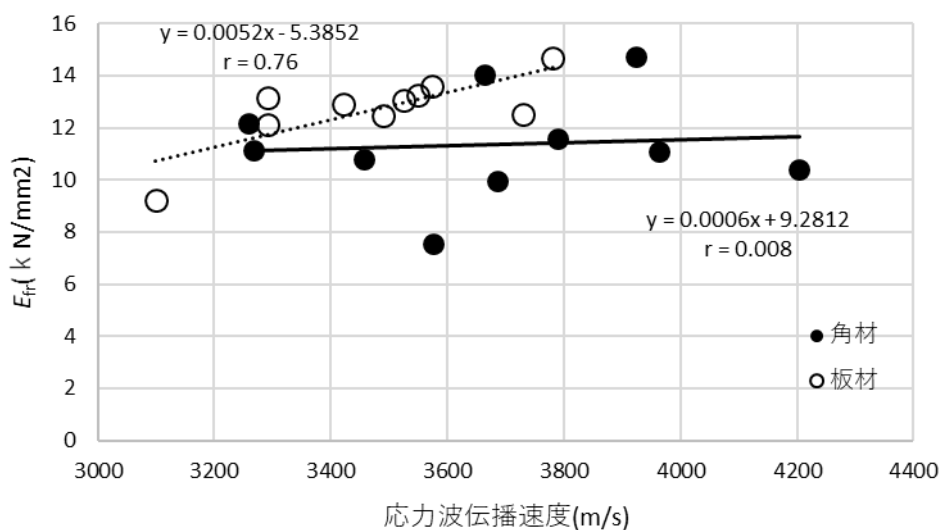


図-6 立木応力波伝播速度と加工製品別 E_{tr} (1番玉) の関係

IV おわりに

これまでに十分な検討がなされていなかった県産カラマツ材について、本研究によって心持ち平角材及び集成材等に用いられる板材の縦振動ヤング係数 (E_{tr}) の出現頻度について明らかとなった。また、曲げ試験の結果からは、県産カラマツ材が構造用材として十分利用可能であるとの結論を得た。

さらに、立木の応力波伝播速度の測定により、そこから得られる板材のヤング係数が推定できることが示唆され、強度特性に応じたカラマツ板材を生産する可能性が見いだされた。

引用文献

群馬県 (2020) , 令和 2 年度版森林林業統計書, 25pp.

藤沢義武, 柏木学, 井上祐二郎 (2003) , ファコップを用いた材質優良個体の非破壊的選抜技術, 九州森林研究 56 号, 180-181

橋爪丈夫 (1998) , 長野県産カラマツ構造材の強度特性に関する研究, 長野県林業総合センター研究報告 13 号, 1-101

国土交通省 (2000) , 木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s を定める件, 建設省告示第 1452 号 (最終改正平成 27 年 8 月 4 日国土交通省告示第 910 号)

町田初男・工藤康夫 (2018) , 県産材を使用した枠組壁工法部材の性能評価, 群馬県林業試験場研究報告第 21 号, 56-65

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, 90-95

農林水産省 (2007a) , 製材の日本農林規格 (JAS1083) , 平成 19 年 8 月 29 日農林水産省告示第 1083 号 (最終改正: 令和元年 8 月 15 日農林水産省告示第 661 号)

農林水産省 (2007b) , 集成材の日本農林規格, 平成 19 年 9 月 25 日農林水産省告示第 1152 号 (最終改正: 令和元年 6 月 27 日農林水産省告示 475 号)