

(資 料)

カラマツ丸太の材質指標と 集成材用ラミナの強度性能の関係

谷内 博規, 後藤 幸広^{*}, 竹田 光一^{**}, 吉田 佳右^{**}

Relationship between material indexes of larch logs and strength properties of lamina for glulam

Hironori TANIUCHI, Yukihiro GOTO, Koichi TAKEDA, Keisuke YOSHIDA

要 旨

素材生産現場において、簡易な方法でカラマツ丸太から高強度ラミナを得るための材質指標を明らかにするため、県内5地域から、カラマツ丸太を供試し、径級、心材率、年輪幅、動的ヤング係数の測定の後、製材されたラミナの年輪幅、晩材率、動的ヤング係数の測定を行った。

その結果、集成材JASのL125以上のラミナを得る場合の丸太の材質指標は、髓から15年輪（若しくは8cm）の未成熟と考えられる部位を除いた心材部において、年輪幅が1.5～3.5mmとなる部位となった。

キーワード：カラマツ、丸太、集成材用ラミナ、動的ヤング係数、年輪幅

目 次

1 はじめに	26
2 実験方法	
2.1 供試材料	26
2.2 カラマツ丸太の動的ヤング係数	26
2.3 カラマツラミナの動的ヤング係数	26
2.4 ラミナの年輪幅、晩材率	26
3 結果	
3.1 カラマツ丸太のEfrの分布と材質指標	26
3.2 丸太Efrと材質指標の関係	27
3.3 カラマツラミナのEfrの分布	27
3.4 ラミナのEfrと曲げヤング係数の関係	29
3.5 ラミナEfrと材質指標の関係	30
4 まとめ	31
引用文献	31

※：現森林整備課

※※：ノースジャパン素材流通協同組合

1 はじめに

岩手県内でカラマツは、合板、集成材、製材等に利用される。特に集成材、製材については、高い強度を持つ製材品の需要が高く、その強度性能は、試験機やグレーディングマシーンをを用いて評価することができるが、素材生産現場や貯木場において、機械を用いた丸太の強度性能を評価するのは難しい。そのため、素材生産現場において、簡易な方法で丸太の強度性能を判断する材質指標が求められている。

これまで、藤原ら⁶⁾は、集成材用原木の選別を目的とし、丸太の動的ヤング係数とラミナの曲げヤング係数との関係を検討している。また、橋爪⁵⁾は、径級、平均年輪幅、密度、動的ヤング係数などを材質指標として、ラミナの強度性能との関係を検討している。これらの中で、カラマツは、他の樹種に比べ、樹幹内の強度性能の変動が大きく、樹心近くのヤング係数は低く、樹皮付近のヤング係数は高いことが知られ、この主要因は、樹心付近の未成熟部の影響とされている^{5, 6)}。未成熟部とは、樹齢を経るとともに仮道管は一定の長さになるが、その過程において、短い仮道管で構成される部位であり、カラマツの未成熟部は、髓から概ね15年輪、約8cmといわれ³⁾、曲げ、引張強度性能が、成熟部に比べ低下するといわれている⁴⁾。このことから、未成熟部を加味した、径級、心材率、平均年輪幅、晩材率などの基本的な材質の把握も丸太の強度性能を判断する指標として重要と考える。

今回は、県内5地域から、カラマツ丸太を供試し、径級、心材率、年輪幅、動的ヤング係数の測定を行った後、カラマツラミナの年輪幅、晩材率、動的ヤング係数を測定し、丸太の材質指標とラミナの動的ヤング係数との関係から、高強度ラミナを得るための丸太の材質指標の検討を行った。

2 実験方法

表1 カラマツ丸太の直径、年輪幅、心材率、密度、丸太Efr

地域	直径(cm)		年輪幅(mm)		心材率(%)		密度(kg/m ³)		丸太Efr(GPa)	
	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)
平均	26.0	9.6	6.0	17.3	68.0	6.8	673.9	10.1	12.2	11.6
二戸	26.7	7.9	5.3	10.6	71.3	5.5	679.5	9.1	11.8	11.2
葛巻	26.2	9.1	7.1	17.5	67.5	6.9	640.5	9.3	12.4	10.0
遠野	27.1	8.2	6.0	16.7	68.6	6.7	696.2	9.6	12.5	12.2
軽米	24.7	10.8	6.1	9.8	66.6	6.5	629.8	10.2	11.5	12.4
岩泉	25.4	9.6	5.8	11.5	66.2	6.2	723.3	5.8	12.8	9.8

C.V.: 変動係数

2.1 供試材料

岩手県内の二戸、葛巻、遠野、軽米、岩泉地域から各30本、合計150本のカラマツ丸太(長さは、4.0~4.2m、直径20~33cm、年輪数26~67)を供試した。

2.2 カラマツ丸太の動的ヤング係数

丸太は、長さ、元口、末口の長径、短径、心材の長径、短径および年輪数を測定し、クレーンスケール(A&D社製FJ-500)で重量を測定した後、容積密度を算出した。その後、FFTアナライザー(小野測器社製CF-4220Z)を用い、固有振動数を測定し、縦振動法¹⁾により、丸太の動的ヤング係数(以下、丸太Efr)を以下のとおり算出した。

$$\text{動的ヤング係数 (GPa)} = (2fl)^2 \rho$$

f : 固有振動数(Hz), l : 材長(m), ρ : 密度(g/cm³)

2.3 カラマツラミナの動的ヤング係数

測定した丸太を製材・乾燥し、1008枚のカラマツラミナ(断面寸法115×30mmおよび100×25mm、含水率11.0%)を調製した。ラミナの寸法・重量を測定の後、2.2と同様の方法で固有振動数を測定し、ラミナの動的ヤング係数(以下、ラミナEfr)を算出した。また、測定の際、ラミナの髓の有無も調査した。

2.4 ラミナの年輪幅、晩材率

葛巻、遠野、軽米地域のラミナから各30枚を無作為に抽出し、ラミナの木口面を撮影した。撮影した写真上で、半径方向に年輪数が最大となるよう線を引き、線上にかかる年輪数、晩材厚を測定し、平均年輪幅、晩材率を算出した。

3 結果と考察

3.1 カラマツ丸太のEfrの分布と材質指標

表1にカラマツ丸太の材質指標の測定結果を示す。平均直径、年輪幅については、地域ごとで若干の差

異はあるが、類似した値を示している。一方、密度、丸太 Efr については、若干高い値を示す地域もある。このことについては、丸太の含水率が影響していると考えるが、今回は丸太の含水率を測定していないため、原因は明らかでない。

図1に丸太 Efr を地域別に示す。地域別で丸太 Efr の分布は異なるが、全体では丸太 Efr は 8~15GPa に分布し、平均値 12.2GPa となっている。

北海道の報告⁷⁾では丸太の平均直径 35.4cm、密度 591kg/m³のとき、丸太 Efr は 7~13GPa に分布し、平均値 10.1GPa となっている。また、長野県の報告⁵⁾では、丸太の平均直径 25.4cm、密度 654kg/m³のとき、丸太 Efr は、概ね 8~14GPa に分布し、平均値 11.0GPa となっている。今回の結果は、長野県の報告と類似している。

3.2 丸太 Efr と材質指標の関係

表2にカラマツ丸太 150本の Efr、密度、年輪幅、直径、心材率間の単相関係数を示す。丸太 Efr と危険率 1%で有意な相関を示したのは、密度と年輪幅であった。密度については、Efr 算出の要素であるため、相関が高いことは当然である。また、年輪幅については、相関は認められるが、相関係数 0.29とそれ程高い値は示していない。

橋爪⁵⁾は、カラマツ丸太 52本の末口径、密度、年輪幅を材質指標として、動的ヤング係数との相関を検討し、年輪幅と動的ヤング係数には高い相関 ($r = 0.479$) が認められると報告している。また、丸太の径級が大きいほど、樹心と樹皮下で採材されたラミナの曲げヤング係数の差は大きくなるとも報告している。

このことから、年輪幅と丸太 Efr、密度の間で相関は認められるが、それ程高い相関を示さないことについて、要因は様々あるが、丸太内には未成熟部、成熟部が分布しており、成熟部位の増加に伴う丸太の密度、Efr の上昇の効果は、丸太断面全体では薄まるためと考える。

3.3 カラマツラミナの Efr の分布

表3にカラマツラミナの概要を示す。ラミナ枚数は遠野、二戸地域では、225、226枚と多く、他の地域は200枚以下となっている。これは丸太の直径と同様の傾向となっている。また、ラミナ歩留は平均 44.9%となり、表1の心材率 68.0%より低い値となった。このことから、製材されるラミナは、ほとんど辺材を含まないことを示す。さらに、ラミナ Efr の C.V (変動係数) は 22.9%を示し、表1の丸太 Efr

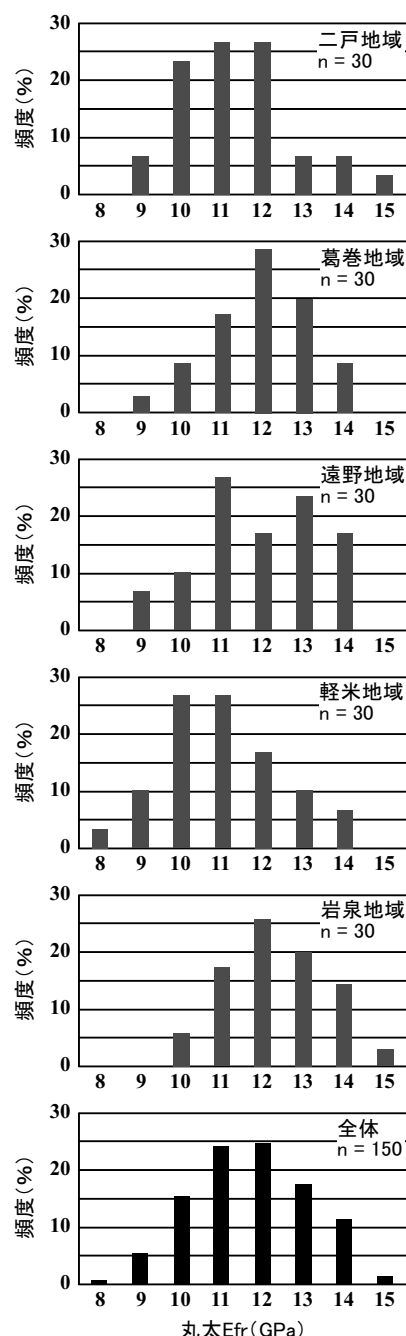


図1 地域別の丸太の Efr の分布

表2 カラマツ丸太の Efr、密度、年輪幅、直径、心材率間の単相関係数

	丸太 Efr	密度	年輪幅	直径
密度	0.49***			
年輪幅	0.29***	0.30***		
直径	0.04	0.05	0.22***	
心材率	0.01	0.01	0.17**	0.37***

***: 危険率 1%, **: 危険率 5%

の C.V. 12.3%より高くなった。このことは、ラミナの Efr のバラツキが、丸太のそれより大きいことを示す。

次に、図2にカラマツラミナの Efr の分布を地域別に示す。ラミナ全体の分布は、Efr 12GPa に極大値を持ち、8~11GPa にショルダーをもつ形状となっている。各地域の分布形も同様の傾向となっている。松本ら⁷⁾によれば、カラマツの髓付近から採材されたラミナは未成熟材比率が高くなるため、丸太よりラミナ Efr が低くなる傾向が明瞭であると報告している。今回の Efr の分布形において、8~11GPa 域にあるショルダーは、髓付近の未成熟材に由来するラミナの可能性が考えられる。また、ラミナ Efr のバラツキが大きかった理由も未成熟部位が原因と考えられる。

そこで、髓の有無によるラミナ Efr の分布を図3に示す。髓を含むラミナの Efr は6~16GPa に分布し、8~9GPa にピークをもつ分布形となった。この傾向

は各地域とも同様であり、髓を含むラミナの枚数も地域によらず50枚前後となっている。このことは、ラミナ製材における丸太の木取り方法が同一であることに起因するが、髓を含まないラミナであっても、Efr が低いラミナは未成熟部位の影響を受けているものと推測される。

また、髓を含まないラミナは7~21GPa に分布し、12~13GPa をピークとする分布形となった。髓を含まないラミナの枚数は地域によって異なり、二戸、

表3 カラマツラミナの概要

地区	ラミナ枚数	ラミナ歩留(%)	ラミナEfr (GPa)	C.V.(%)
全体	1008	44.9	12.3	22.9
二戸	226	48.5	11.9	21.5
葛巻	192	42.0	12.2	23.4
遠野	225	46.2	13.2	23.3
軽米	178	43.1	11.6	22.4
岩泉	187	44.2	12.5	21.2

C.V : 変動係数

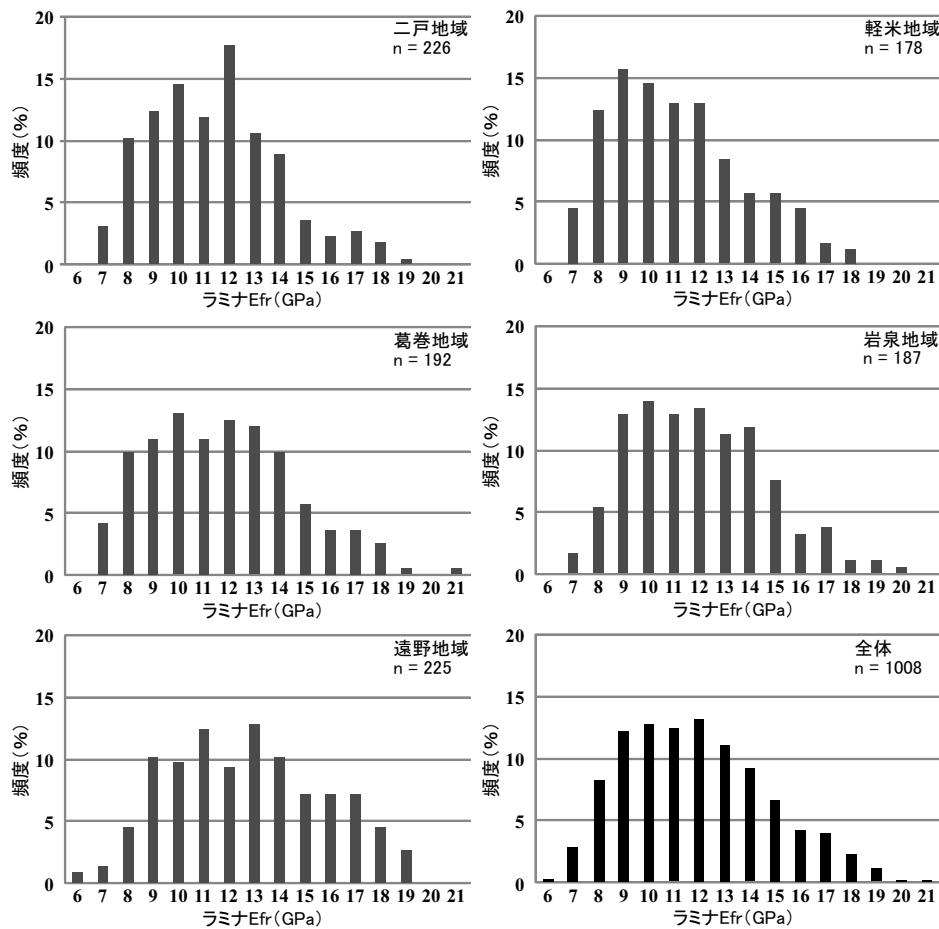


図2 カラマツラミナの Efr (動的ヤング係数) の分布

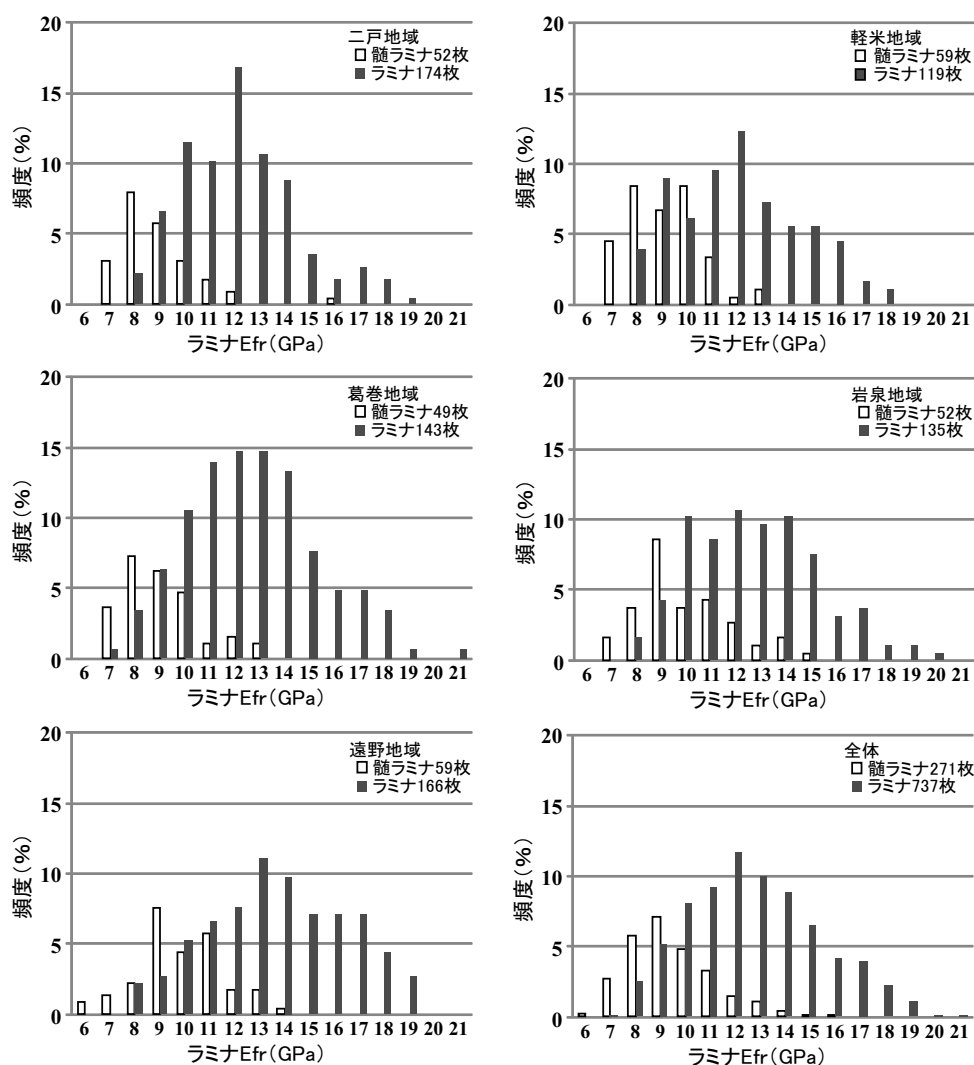


図3 髓の有無によるラミナ Efr の分布の比較

遠野、葛巻、岩泉、軽米で174、166、143、135枚となった。この傾向は、丸太の直径、心材率と類似した。換言すれば、径径が大きい丸太からは、髓を含まないラミナが多く製材できるということになる。

さらに、髓を含むラミナと髓を含まないラミナの Efr のピークを比較すると、髓を含むラミナは4割程度低い値を示す結果となった。

これらのことから、カラマツ丸太内において、未成熟材と成熟材の Efr (強度) は大きく異なるため、髓を含むラミナは、髓を含まないラミナに比べ Efr が4割程度低く、髓を含むラミナはどの丸太にも一定量含まれる。また、髓を含まない Efr の高いラミナは、丸太の直径が大きければ、製材される枚数も増えることが明らかとなった。

藤原ら⁶⁾、松本ら⁷⁾の報告によると、カラマツ丸

太からラミナまでの製造工程において、ラミナのヤング係数は髓から樹皮側に向かって上昇し、同一の丸太から採材されたラミナでもヤング係数の変動が大きかったとされている。今回の結果もこれまでの報告と一致するものとなった。

3.4 ラミナの Efr と曲げヤング係数の関係

今回、実験に供したラミナ Efr から、集成材 JAS のラミナ強度分布を推定するため、4枚ラミナの曲げヤング係数と動的ヤング係数の比較を行った。

曲げヤング係数の測定に当たっては、集成材 JAS の曲げ B 試験 (中央集中荷重)²⁾を行った。試験は、スパン 3985mm、初期荷重 5kg、最終荷重 8kg もしくは 10kg で行い、荷重直下のラミナ変位を測定した。なお、ラミナ含水率は 11.0%であった。

図4にラミナ Efr と曲げヤング係数の関係を示す。今回の結果では、ラミナ Efr に比べ動的ヤング係数

は約5%低い値を示し、関係式 $y=0.963x-0.3805$ （相関係数=0.97）を得た。相関係数は危険率5%で有意な相関となった。一般に、動的弾性係数は静的弾性係数より5~10%程度大きな値を示す¹⁾と言われており、今回の関係式を使用して、ラミナ Efr から曲げヤング係数の推定を行った。さらに、集成材 JAS に基づきラミナの等級区分を行い、L125 以上の等級のラミナ割合を地域別に表 4 に示す。

L125 以上の等級のラミナとは、ラミナ Efr13.3GPa 以上のラミナを示す。L125 以上のラミナの出現割合は、一見すると、表 3 のラミナ Efr の平均値と同様の傾向を示している。しかし、これまでの結果から、ラミナ全体の Efr の平均には、ラミナ Efr の値が低い髓付近のラミナも含まれており、高 Efr ラミナが的確に反映されているとは限らないと考えられる。したがって、ラミナの年輪幅や晩材率とラミナ Efr の関係と検討する必要がある。

3.5 ラミナ Efr と材質指標の関係

図 5 にラミナ年輪幅とラミナ Efr の関係、図 6 にラミナ晩材率とラミナ Efr の関係を示す。ラミナ Efr は、年輪幅、晩材率と危険率1%で有意な相関を示した。集成材 JAS におけるラミナ等級区分 L125 相当のラミナ Efr は 13.3GPa であり、13.3GPa とするラミナの年輪幅、晩材率は、各関係式から、3.46mm、23.9%と導かれた。一見すると、丸太において、年輪幅3.5mm 以内もしくは晩材率25%以上となる部位は高い強度を有する部位と考えられる。

朱⁴⁾によると、未成熟材部では、年輪幅の増加に伴い晩材率は減少し、成熟材部では、年輪幅が1.5mm 以上であれば、晩材率はほぼ一定になるとされている。また、未成熟材部では高い成長速度が材の密度低下をもたらすのに対して、成熟材部では、成長速度の増加に伴って晩材率も増加し、結果として密度と晩材率は低下しないとされている。今回の結果は、髓の有無によりラミナを評価したため、朱の報告と傾向は異なるが、少なくとも年輪幅3.5mm 以内の部位は、高い強度を有する指標として有効であると考えられる。

今回の結果とこれまでの知見を併せて検討すると、

- ① 強度の低い未成熟材部については、塩倉の報告³⁾を引用し、未成熟部位を髓から15年輪（若しくは8cm）とすることで未成熟材部を除外。
- ② 晩材率については、朱の報告⁴⁾を引用し、成熟材部では年輪幅が1.5mm 以上であれば、晩材率はほぼ一定とすることで晩材率を考慮しない。

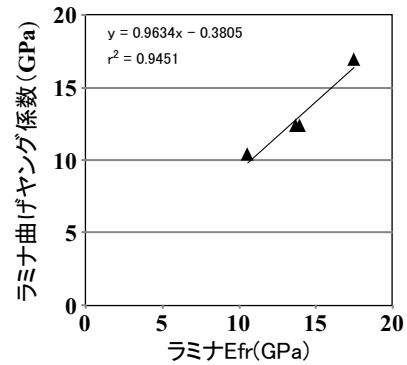


図4 ラミナ Efr と曲げヤング係数の関係

表 4 集成材 JAS 規格による
強度等級 L125 以上のラミナの出現割合

地区	ラミナ枚数	L125以上のラミナ枚数	L125以上のラミナの出現割合(%)
全体	1008	368	36.5
二戸	226	63	27.8
葛巻	192	66	34.3
遠野	225	128	56.8
軽米	178	41	23.0
岩泉	187	70	37.4

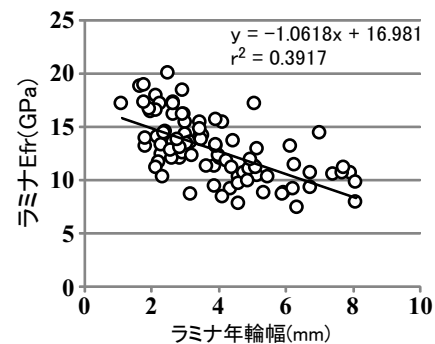


図5 ラミナ年輪幅とラミナ Efr の関係

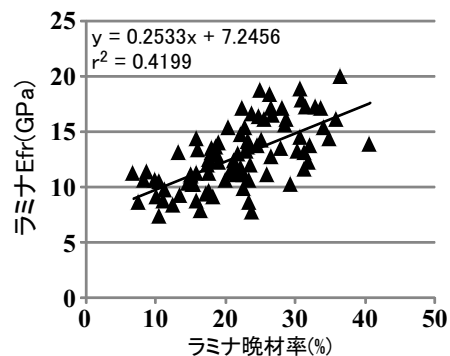


図6 ラミナ晩材率とラミナ Efr の関係

- ③ 年輪幅については、今回の結果を踏まえ、高い強度を有する部位は年輪幅 3.5mm 以内。となり、素材生産現場での丸太の強度を判断する指標は、髓から 15 年輪（若しくは 8cm）を除く部位の年輪幅 1.5～3.5mm を目安とするのが妥当と考える。

4 まとめ

- (1) カラマツ丸太の Efr が高くても、未成熟部位は強度が低いため、全ての丸太において、強度の低いラミナは一定量出現する。
- (2) 心材率はラミナ製品歩留より高いため、辺材部を含むラミナは非常に少ない。したがって丸太の段階で辺材部の材質指標を考慮する必要はない。
- (3) 高強度ラミナが製材される丸太は、樹皮に近い心材部において、年輪幅が小さい部位を多く含むもの。
- (4) 集成材 JAS の L125 以上の高強度ラミナは、髓から 15 年輪（若しくは 8cm）を除く部位の年輪幅 1.5～3.5mm を目安とする。

引用文献

- 1) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル：p59-63.
- 2) 構造用集成材の日本農林規格 最終改正平成 15 年 2 月 27 日農林水産省告示 235 号：p18.
- 3) 塩倉高義 (1982) 針葉樹幹材における未成熟材の区分とその範囲 木材学会誌 Vol.28 No.2：p85-90.
- 4) 朱 建軍 (2002) 信州産高樹齢カラマツ造林木の成長と材質 信州大学農学部演習林報告 第 38 号：p81-91.
- 5) 橋爪文夫 (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 第 13 号：p47-53.
- 6) 藤原拓哉, 細谷俊人, 千葉宗昭, 工藤 修 (1994) 打撃音によるヤング係数を用いた集成材用原木の選別 北海道立林産試験場報 第 8 巻 第 6 号：p25-28.
- 7) 松本和茂, 安久津 久, 藤原拓哉, 堀部 敏 (2008) 北海道カラマツの集成材ラミナとしての性能評価 北海道立林産試験場報 第 22 巻 第 2 号:p24-28.