

県産スギ間伐材ラミナの性能評価

高信 則男 阿部 由紀子^{*} 村上 香^{**}

目 次

要 旨	
I はじめに	13
II 調査方法	13
III 結果と考察	16
IV おわりに	24
V 引用文献	24

要 旨

スギ間伐材を集成材用ラミナとして利用するにあたり、大径材を含むスギ原木から得られたラミナについて、その強度に関する試験・解析を行い、径級に応じた特性の把握を行った。スギ原木の縦振動ヤング係数と同一原木から製材したラミナの曲げヤング係数の平均値との間においては、高い相関が、曲げ強度との間では相関が認められた。また、原木の直径とラミナの曲げヤング係数、曲げ強度の平均値の間には、負の相関がみられるとともに、原木の径級区分が大きいほどL70未満のラミナの出現割合が増加した。以上のことから、原木段階における縦振動ヤング係数の測定を行うことにより、そこから得られるラミナの曲げヤング係数を推測することができるとともに、原木の径級による区分を行うことにより、低い等級のラミナの出現率を低下させることが可能であると考えられた。また、原木におけるラミナの採取位置とラミナの曲げヤング係数との関係について検討したところ、髄からラミナの採取位置が離れるほど曲げヤング係数が高くなる傾向が確認されたが、径級区分が大きい原木においては、その傾向は顕著ではなかった。

キーワード：スギ間伐材、ラミナ、縦振動ヤング係数、曲げヤング係数、曲げ強度

受付日 令和2年3月30日

受理日 令和5年3月28日

^{*}現福島県農中農林事務所 ^{**}元福島県林業研究センター

課題名 県産間伐材の利用技術の開発（県単課題 平成27～令和元年度）

I はじめに

近年の福島県産スギ材は長伐期施業等の影響により、蓄積量の増加とともに、原木市場には大径材の出材割合が増加している現状にある。特に直径が36cmを越える大径材になると住宅様式の変化や製材機械の規格から外れてしまう等の理由により、需要が少ない状況にある。また、本県においては東日本大震災による原子力発電所事故により停滞している森林整備を市町村などの公的主体が行うふくしま森林再生事業の実施に伴い、大径材を含む様々な径級の間伐材が生産されており、その有効活用が求められている。しかしながら、本県においては、比較的径級の大きなスギ原木から得られた製材品の強度性能に関するデータは少ない。そのため、大径材を含むスギ原木から製材されたラミナの強度特性について評価を行った。

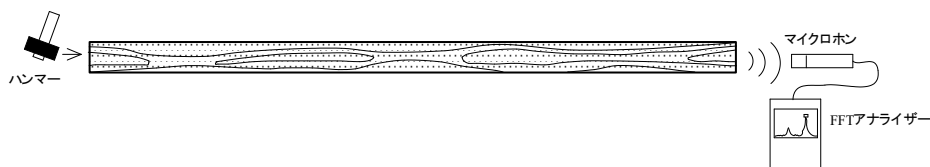
II 調査方法

1 ラミナの製材

県南地域の同一林分から間伐された末口径18～42cm、長さ2mのスギ原木計30本を供試材とした。元口の年輪数は最小、平均、最大でそれぞれ39、60.4、104であった。

この供試材の寸法、重量を測定し、その後、原木の一方の木口を木製ハンマーで打撃することにより、原木を縦振動させ、他方の木口近くのマイクロホンで材中を伝播した弾性波を縦振動音としてとらえ、FFTアナライザー（小野測器CF-1200）で固有振動数を測定し、次式により縦振動ヤング係数（以下、Efr）を求めた（図－1）。

原木の密度（ ρ ）を求めるための材積はmm単位で測定した末口径と元口径を用い平均直径法で求めた。また、丸太の年輪幅は、元口における髄と外周までの距離を年輪数で除して求めた。



図－1 縦振動ヤング係数（Efr）の測定模式図

$$\text{縦振動ヤング係数 } E_{fr} = (2 \times L \times f)^2 \times \rho$$

Efr：縦振動ヤング係数（kN/mm²）

L：材長（m）

f：固定振動数（Hz）

ρ ：密度（kg/m³）



図-2 スギ原木の外観



図-3 原木の Efr 測定状況

その後、送材車付帯鋸盤で、幅135×厚さ37mmのラミナを製材した。
 なお、ラミナの木取りは下記のとおり10パターンであった（図-4）。

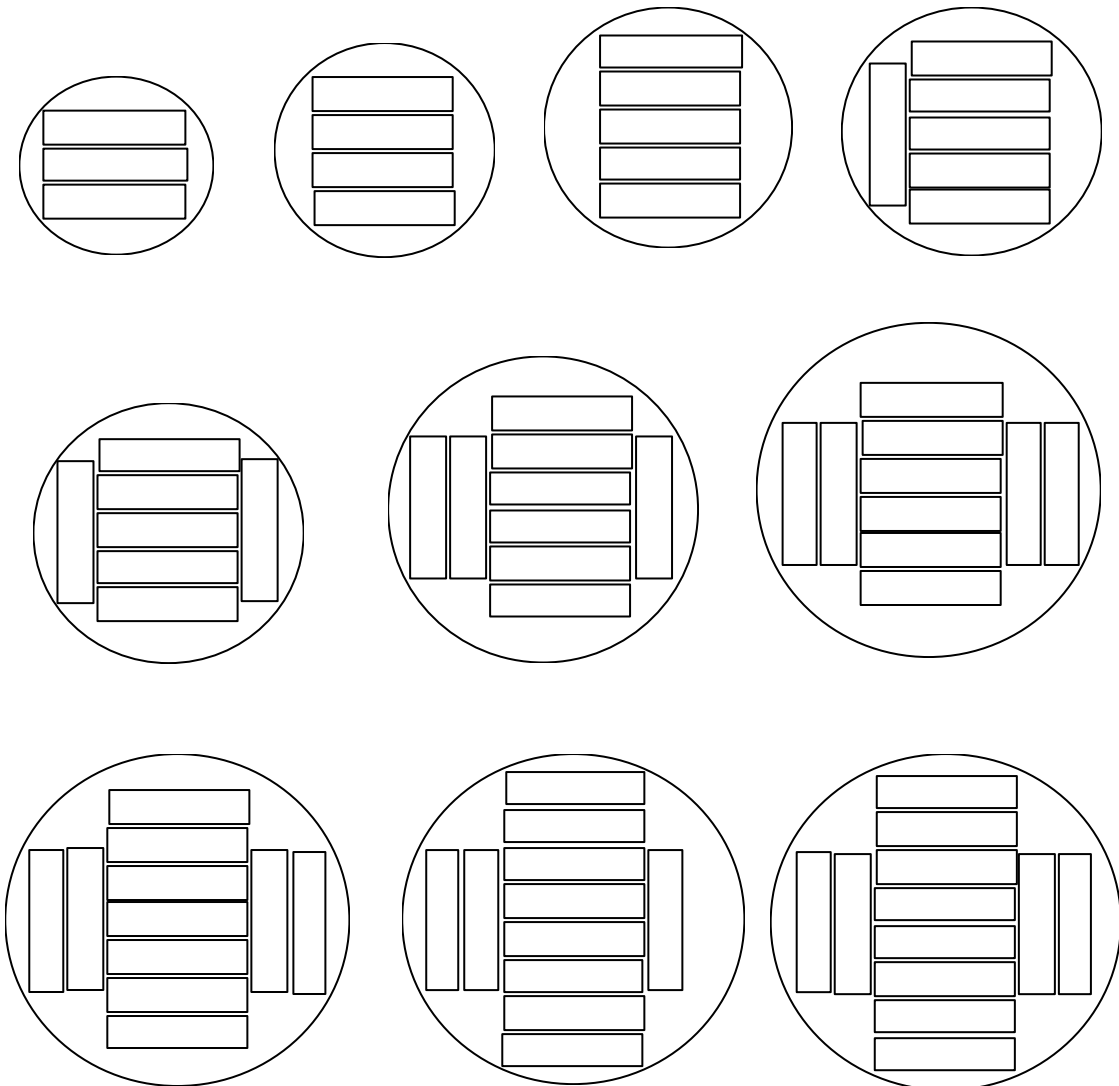


図-4 木取りパターン

製材後、蒸気式中温乾燥機により最高乾球温度90℃、最大乾湿球温度差25℃で7日間の人工乾燥を行い、養生後モルダーで断面寸法123×30mmに仕上げ加工し、221枚のラミナを得た。その際、ラミナは原木のどの部分から製材したか（髄からの距離）を記録した。

2 ラミナの縦振動ヤング係数及び歩留まり

ラミナの寸法、重量を測定し密度を求め、FFTアナライザーで固有振動数を測定し、Efrを算出した。また、高周波木材水分計（Kett HM-520）でラミナの表面を3カ所測定し、測定値の平均値を含水率とした。さらに、原木の末口径を測定し末口二乗法で求めた材積とラミナの粗挽き寸法、仕上がり寸法の材積から各時点の歩留まりを求めた。



図-5 ラミナの積積み状況



図-6 ラミナの Efr 測定状況

3 ラミナの強度性能の測定

曲げ試験は構造用集成材の日本農林規格の曲げC試験に準拠し、スパンを1,200mmとし、3等分点4点荷重方式で行った。試験には万能試験機（島津製作所製AG-100kNG）を用いクロスヘッド速度5mm/minで荷重し、最大荷重から曲げ強さ（以下、MOR）、比例域内における荷重とたわみ量から曲げヤング係数（以下、MOE）を求めた。

$$\text{曲げヤング係数MOE (kN/mm}^2\text{)} = 23 \Delta P \ell^3 / 108bh^3 \Delta y$$

$$\text{曲げ強さMOR (N/mm}^2\text{)} = P_b \ell / bh^2$$

P_b : 最大荷重 (N)

ℓ : スパン (mm)

b : ラミナの幅 (mm)

h : ラミナの厚さ (mm)

ΔP : 比例域における荷重差 (N)

Δy : ΔP に対応するスパン中央のたわみ (mm)



図-7 ラミナの曲げ試験状況

III 結果と考察

1 ラミナの製材

原木の径級毎（2 cm括約）の本数を表－1に、原木の外観特性および縦振動ヤング係数（Efr）については表－2に示す。寸法については、素材の日本農林規格で分類すると、中丸太（直径14cm以上30cm未満）16本、大丸太（直径30cm以上）14本の内訳であった。

表－1 原木径級毎の本数

径級(cm)	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	計
本数(本)	3	1	3	4	1	4	0	2	2	3	2	4	1	30

表－2 原木の外観特性等

	材長 (mm)	末口径 (cm)	元口径 (cm)	密度 (kg/m ³)	平均年輪幅(元口) (mm)	心材率 (%)	Efr (kN/mm ²)
平均値	2057	28	31	836	3	66	8.78
標準偏差	20	7	8	81	0.5	9	1.48
変動係数(%)	1.0	25.0	26.7	9.7	18.2	13.7	16.9
最小値	2014	17	19	694	2	47	6.12
最大値	2117	40	45	1020	4	81	11.80

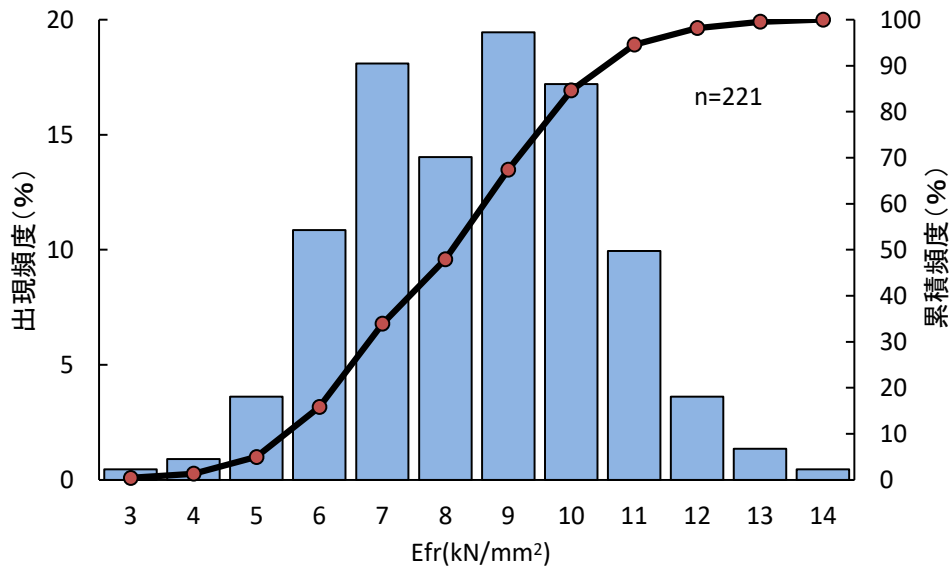
2 ラミナの縦振動ヤング係数及び歩留り

(1) ラミナの縦振動ヤング係数

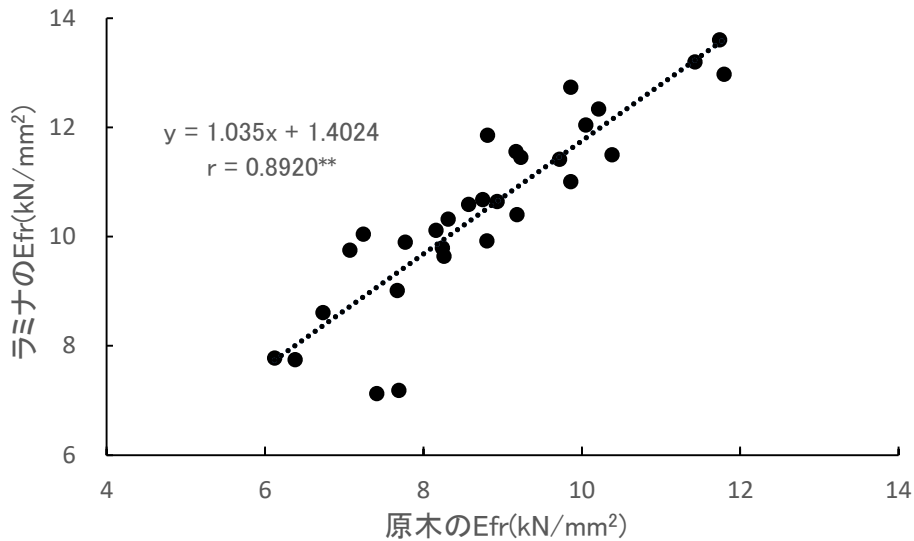
ラミナの縦振動ヤング係数（Efr）の測定結果は表－3のとおりであり、その分布を図－8に示す。また、丸太の縦振動ヤング係数（Efr）とラミナの縦振動ヤング係数（Efr）の関係は図－9のとおりであった。ラミナの縦振動ヤング係数（Efr）は、最大で14.3kN/mm²、平均で9.02kN/mm²、最小で3.86kN/mm²であった。次に、原木の縦振動ヤング係数（Efr）と原木毎のラミナの縦振動ヤング係数（Efr）の平均値の間には高い相関が認められた。

表－3 ラミナのEfr

	密度 (kg/m ³)	Efr (kN/mm ²)	含水率 (%)
平均値	385	9.02	11.4
標準偏差	0.04	1.94	3.1
変動係数(%)	10.4	21.5	27.3
最小値	292	3.86	8.5
最大値	497	14.3	29.5



図－8 ラミナのEfr分布



図－9 原木のEfrとラミナのEfrとの関係

**： r が危険率 1 % で有意なことを示す。

(2) ラミナの歩留り

末口二乗法により算出した原木材積とラミナの粗挽き寸法と仕上げ寸法による材積から求めた製材歩留りの平均は、中丸太（14～30cm未満）では、粗挽きで45.8%、仕上げ挽きで33.5%、大丸太（30cm～）では、粗挽きが47.8%、仕上げ挽きでは、35.0%であり、中丸太と大丸太の歩留りに大きな差は認められなかった（表－4）。

表－4 原木径級毎の製材歩留り

径級(cm)	原木 本数 (本)	歩留り	
		粗挽き (%)	仕上げ (%)
18	3	54.1	39.8
20	1	43.1	31.8
22	3	44.8	33.0
24	4	45.0	32.9
26	1	34.6	25.2
28	4	52.9	38.5
中丸太平均	(16)	45.8	33.5
32	2	53.8	39.1
34	2	48.2	35.3
36	3	51.6	37.6
38	2	47.2	34.7
40	4	47.1	34.8
42	1	38.6	28.6
大丸太平均	(14)	47.8	35.0
全体平均	(30)	46.8	34.3

3 ラミナの強度性能の測定

(1) 原木の縦振動ヤング係数とラミナの曲げヤング係数の関係

原木の縦振動ヤング係数 (Efr) とラミナの曲げヤング係数 (MOE) の原木毎の平均値の間には強い相関があり (図-10)、ラミナの曲げ強度 (MOR) の平均値の間には相関が確認された (図-11)。また、原木の直径とラミナの曲げヤング係数 (MOE) 及び曲げ強度 (MOR) の原木毎の平均値との間には負の相関が見られた (図-12、13)。以上のことから原木段階における縦振動ヤング係数 (Efr) の測定、あるいは原木の直径を参考にすることにより、そこから得られるラミナの曲げヤング係数 (MOE) を推定できる可能性が示唆された。

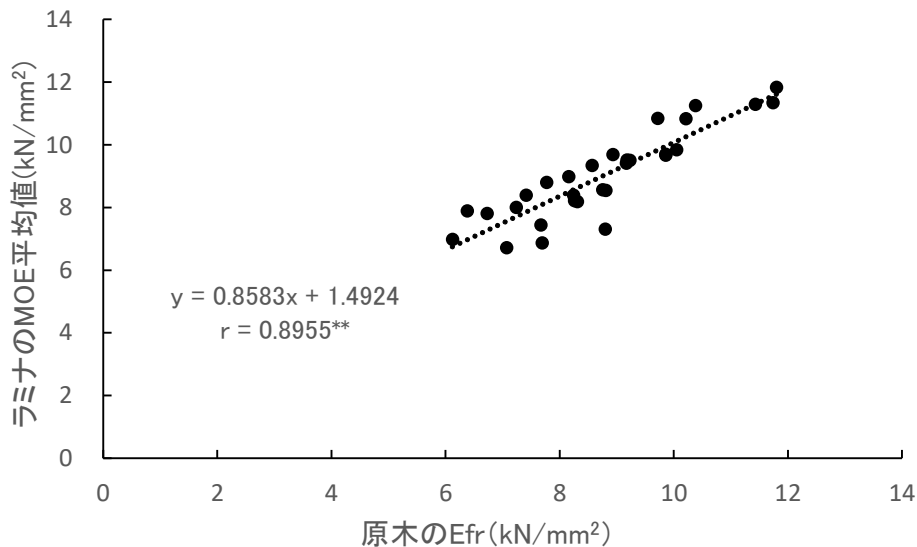


図-10 原木Efrと原木から製材されたラミナのMOEの平均値との関係

** : r が危険率1%で有意なことを示す。

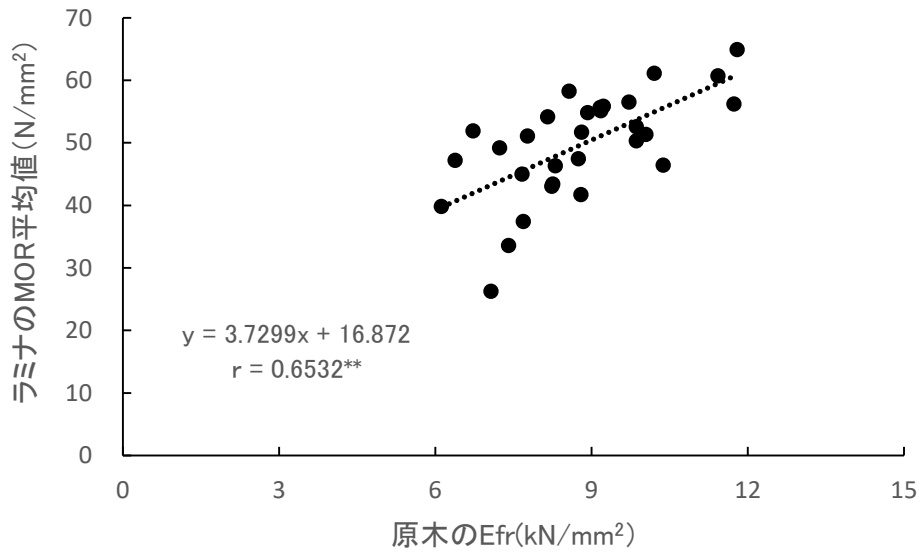


図-11 原木Efrと原木から製材されたラミナのMORの平均値との関係
 **: r が危険率1%で有意なことを示す。

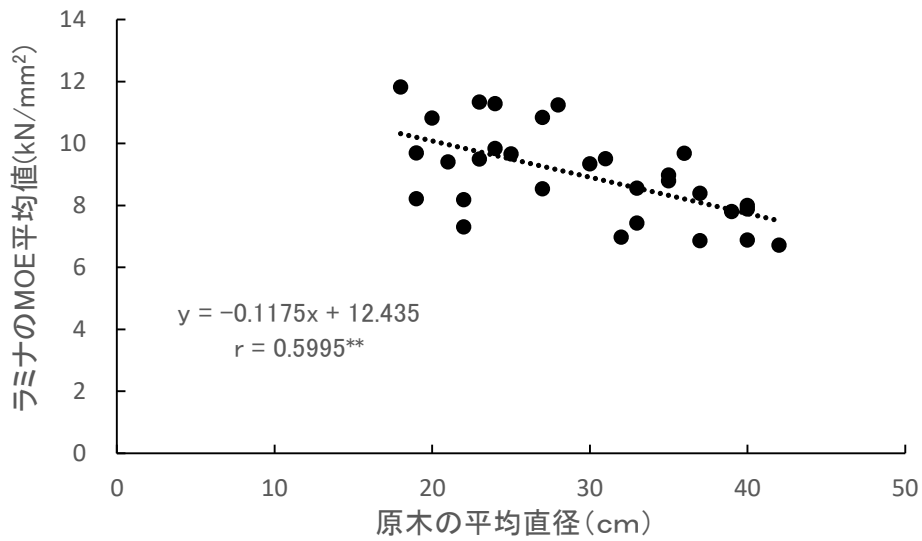


図-12 原木直径とラミナMOE平均値との関係
 **: r が危険率1%で有意なことを示す。

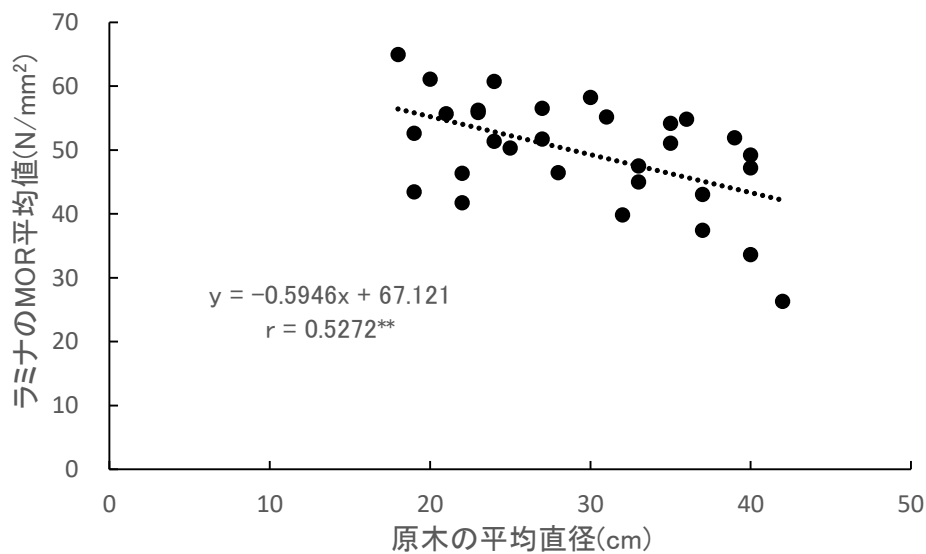
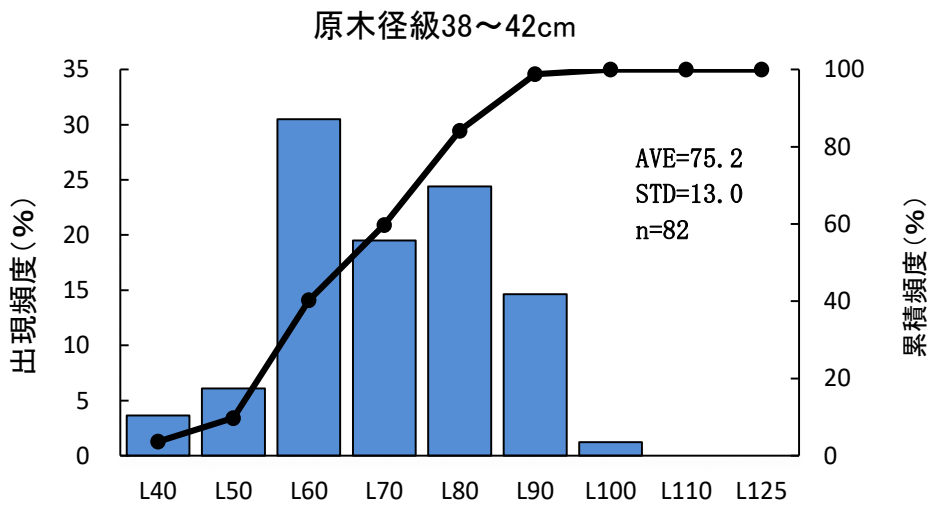
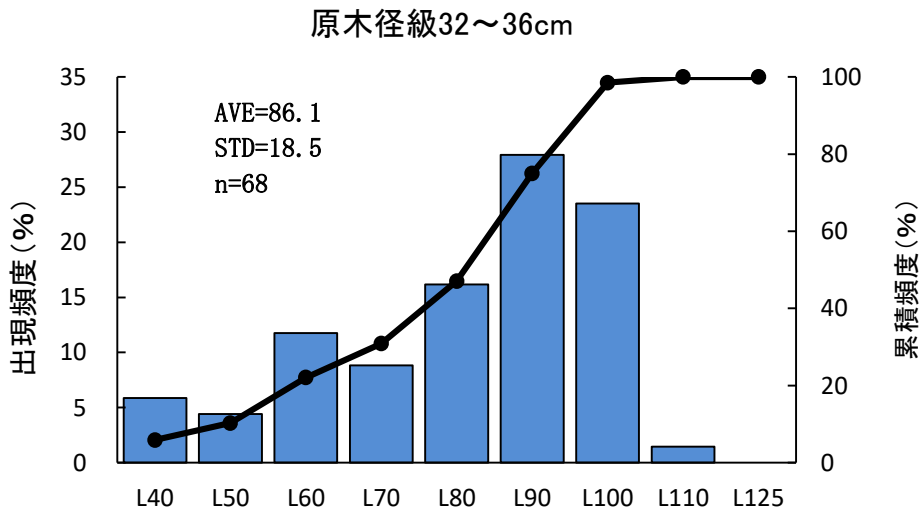
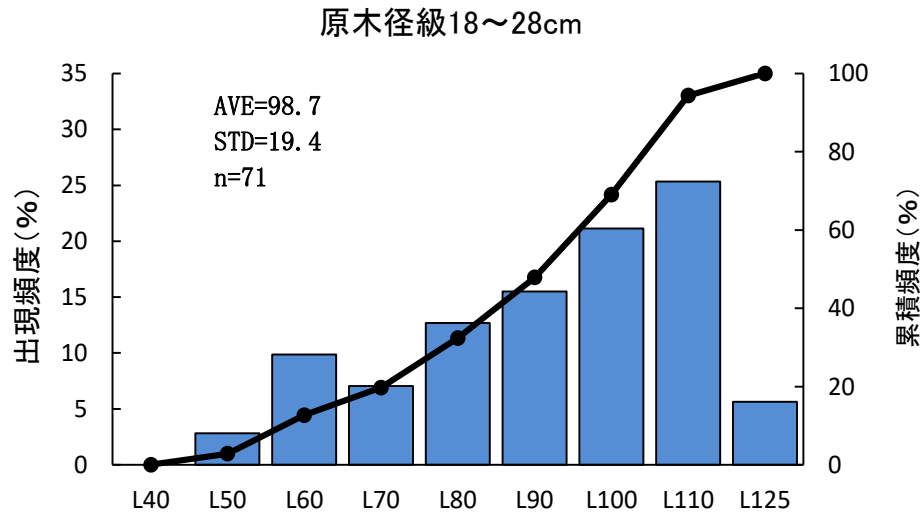


図-13 原木直径とラミナMOR平均値との関係

** : r が危険率 1 % で有意なことを示す。

(2) ラミナの機械等級区分

県内の大手集成材工場では、集成材の日本農林規格における同一等級構成集成材（E65-F255、4プライ）を標準的に生産しており、等級区分機による等級がL70以上のラミナを使用している。今回の試験では、原木の径級が小さいほど機械等級区分が高いラミナが多く出現しており（図-14）、原木の径級が大きくなるほど、L70未満のラミナの割合が増加する傾向となった（図-15）。これらの結果はラミナ製材時に径級による区分を行うことにより、同一等級構成の集成材を製造する際に規格外となるラミナの出現率を低下させることができるものと考えられた。一方ですぎ大径材の利用に際しては、低い等級のラミナの出現率を考慮した用途設定が必要となるケースが生じるものと考えられた。



ラミナの機械等級区分

図-14 直径階別ラミナ機械等級区分の分布

原木径級 (cm)

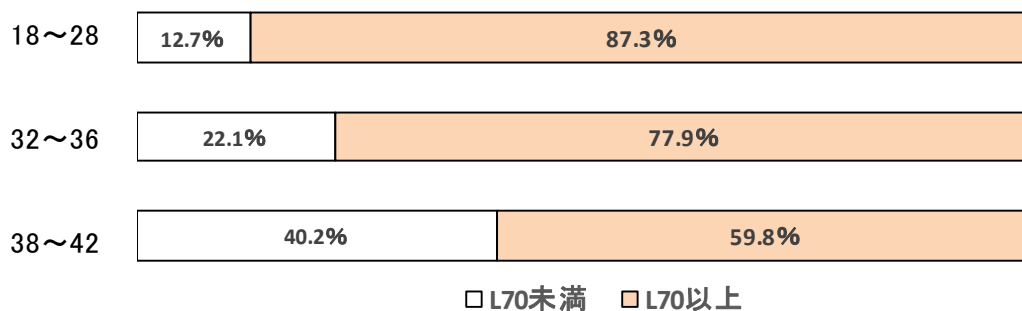


図-15 直径階別のL70以上ラミナの出現率

(3) 原木内のラミナの強度分布

既往の研究¹⁾²⁾³⁾によれば、スギの曲げヤング係数は髄から外周に向かい大きくなる傾向がみられる。そこで、原木内の曲げヤング係数 (MOE) の変動を、径級区分毎に図-16に示した。また、同一原木でみるとバラツキはあるが、原木の中心部 (髄) 付近から得られたラミナのヤング係数 (MOE) は低く、髄から離れた位置のラミナほど高い傾向が見られた。これは、髄の付近には、未成熟材が存在するため、この部分を含む割合が多いためであると考えられる。ただし、L70未満の出現率が最も高かった直径階 (原木径級38~42cm) においては、この傾向は顕著ではなかった。この原因については、今回試験に供した原木は同一林分から得られたものであり、径級が大きい原木は一番玉など根元部に近い位置の材である可能性があることから、繊維傾斜の影響により、髄から離れた周辺部においても強度が低く推移したと考えられる。

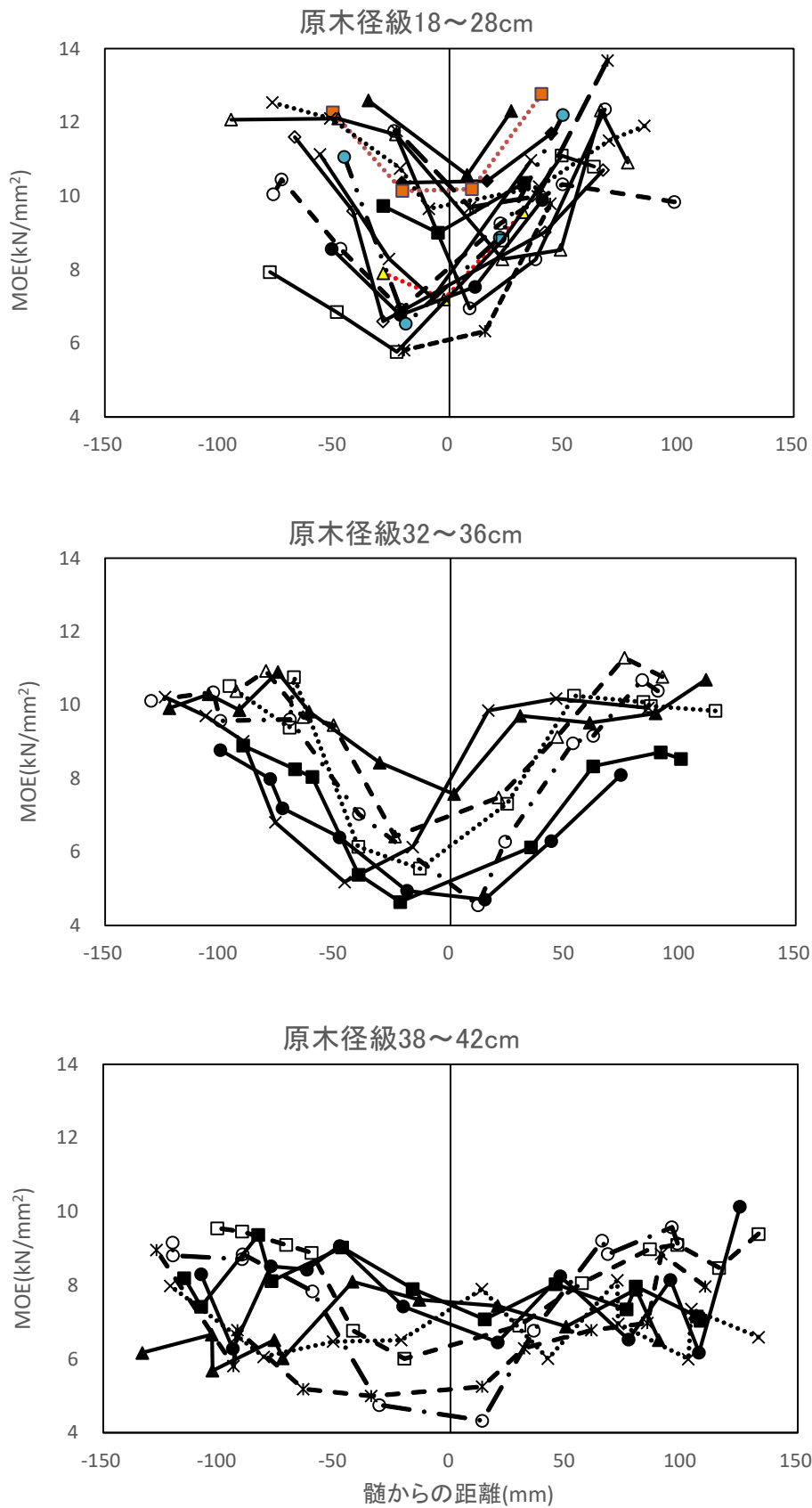


図-16 ラミナのMOEと髓からの距離

IV おわりに

今回は原木のEfr及び径級区分とラミナ強度との関係を確認したが、ラミナの強度に及ぼす影響は、他にも木取りや年輪幅、容積密度等複数の要因が考えられる。しかしながら、作業効率を考慮した場合、ラミナのグレーディングを行う前に、等級外となるラミナの出現率を低下させる手段としては丸太段階における動的ヤング係数の測定や径級の区分による選別が有効と考えられる。

戦後の植栽林分が成熟期を越えて高林齢化するにともない、更なる大径材の増加が予想される。今回の試験結果によれば、同一林分で採材された原木においては、径級が大きくなるほどラミナの強度性能が低くなる傾向にあることから、大径材のラミナを構造用集成材に使用するのであれば、強度基準に満たないラミナの出現頻度を考慮して、カラマツ等のラミナと組み合わせた異樹種集成材での内層利用やCLTでの利用などとともに、新たな用途を模索する必要がある。

V 引用文献

- 1) 有馬孝禮ら(1993) 周波数分析による丸太区分とその製品生産工程への応用. 材料42(473) : 141-146
- 2) 藤田 誠ら(1998) スギ構造部材の利用技術. 愛媛県林業試験場研究報告19 : 108-119
- 3) 松村ゆかり(2014) 大径材の丸太形質と材質. 木材工業69(11) : 486-491