

(資 料)

岩手県産人工林アカマツ材の集成材利用への強度適性

森 諒平, 山口 晃輔, 小島 瑛里奈*, 鈴木 雅人**

Aptitude in strength of Akamatsu-wood from artificial forests in Iwate Prefecture for use as laminated wood

Ryohei MORI, Kosuke YAMAGUCHI, Erina KOJIMA, Masato SUZUKI

要 旨

人工林アカマツ資源の有効活用や輸入材等から県産アカマツ製材品への切り替えを促進するため、人工林アカマツの丸太及びラミナの縦振動ヤング係数を調査し、人工林アカマツ材の材質や強度性能から集成材で利用する上での強度適性を検証した。その結果、人工林アカマツの縦振動ヤング係数の平均値は、丸太で 10.0GPa、ラミナで 10.7GPa だった。また、ラミナの縦振動ヤング係数から曲げヤング係数を推定し、集成材の日本農林規格の基準で等級区分した結果、L110 が最も多く出現し、L80～L110 が約 7 割を占めた。最外層に使用できるラミナの出現割合は、E95-F270 で約 4 割、E105-F300 で約 2 割となり、E105-F300 を製造する場合、最外層ラミナの不足が懸念された。さらに、ラミナの木口面に占める未成熟材(髄から 15 年林分)の割合とラミナの等級区分の関係を調査した結果、未成熟材の割合が高いラミナほど、最外層に使用可能なラミナの出現割合は低下した。未成熟材を含むラミナの出現割合が高くなる若齢のアカマツ林から得られたラミナでは、E95-F270 であっても、最外層ラミナの不足が懸念される。

キーワード：人工林、アカマツ、集成材、ラミナ、縦振動ヤング係数

目 次

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1 はじめに | 3.2 ラミナの縦振動ヤング係数 |
| 2 実験方法 | 3.3 ラミナの曲げヤング係数の推定 |
| 2.1 供試材料 | 4 おわりに |
| 2.2 丸太の縦振動ヤング係数の測定 | 4.1 人工林アカマツ材の強度性能 |
| 2.3 ラミナの縦振動ヤング係数の測定 | 4.2 人工林アカマツ材の集成材利用の検討 |
| 2.4 ラミナの曲げヤング係数の測定 | 謝 辞 |
| 3 結果 | 引用文献 |
| 3.1 丸太の縦振動ヤング係数 | |

※ 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

※※ 東海国立大学機構 名古屋大学 大学院生命農学研究科

1 はじめに

岩手県のアカマツ蓄積量(クロマツを含む)は、5,866 万 m^3 (天然林 1,506 万 m^3 , 人工林 4,360 万 m^3) であり、人工林が約 7 割を占める¹⁾。アカマツ人工林の齢級別の蓄積は、11~12 齢級が最頻値であり、10 齢級以上が約 9 割を占める分布となっている¹⁾。県内のアカマツの標準伐期齢は、40~45 年生 (8~9 齢級) であり、既に多くのアカマツ人工林は、本格的な利用期に達している。しかし、令和 3 年度の岩手県のアカマツ素材生産量 (クロマツを含む) は、製材用 31 千 m^3 , 合板用 117 千 m^3 , 木材チップ用 70 千 m^3 となっており²⁾、価格の高い製材用丸太としての利用が進んでいない。本格的な利用期に達したアカマツ人工林の資源を有効に活用するため、製材用丸太としての需要拡大が急務となっている。

また、ウッドショック以降、国産材利用の機運が高まるなか、県内事業者では、輸入材等の代替として、アカマツ材の製品開発が進められている。集成材等の構造部材の製品開発では、製品の性能やコストを検討するため、丸太やラミナの強度分布を把握する必要がある。しかし、これまでに県内の人工林アカマツ材に特化した材質、強度等の調査は行われておらず、県産人工林アカマツ材の強度分布は明らかではない。

人工林アカマツ資源の有効活用や輸入材等から県産アカマツ製材品への切り替えを促進するため、人工林アカマツの丸太及びラミナの材質や強度性能を調査し、集成材で利用する上での強度適性を検証した。

2 実験方法

2.1 供試材料

岩手県内 4 地域 (盛岡市, 花巻市, 奥州市, 洋野町) から得られた人工林アカマツ丸太 (長さ 4.0~4.2m, 末口径 28.6~50.1cm) 各地域 25 本, 合計 100 本を供試した (図 1)。

なお、丸太の元口は地域ごとにスプレーで着色し、末口は未成熟材 (髓から 15 年輪分) をスプレーで着色して、製材後も地域と未成熟材を判別できるようにした。

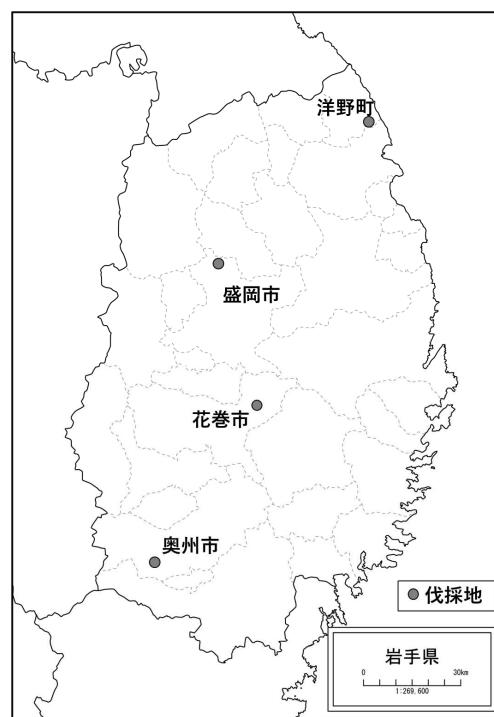


図 1 供試した人工林アカマツ丸太の伐採地

2.2 丸太の縦振動ヤング係数の測定

丸太は、長さ、両木口の最大径と最小径、両木口の未成熟材の最大径と最小径と測定した。また、クレーンスケール (A&D 社製 FJ-T001) で重量を測定した。その後、FFTアナライザ (小野測器社製 CF-4220Z) を用い、固有振動数を測定した。

縦振動ヤング係数を、素材の日本農林規格³⁾に準拠し、以下のとおり算出した。

$$E_{fr} = (2Lf)^2 \rho / 10^9$$

$$\rho = W / (D^2 \times \pi / 4 \times L \times 1 / 10,000)$$

E_{fr} : 縦振動ヤング係数 (GPa)

L : 材長 (m)

f : 縦振動の 1 次の固有振動数 (Hz)

ρ : 見かけの密度 (kg/m^3)

W : 丸太の重量 (kg)

D : 両木口の最大径と最小径の平均値 (cm)

2.3 ラミナの縦振動ヤング係数の測定

測定した丸太を製材・乾燥し、得られたラミナ (長さ約 4m, 幅約 114cm, 厚さ約 32cm) 1,206 枚の寸法と重量を測定した後、2.2 と同様の方法で固有振動数を測定した。

縦振動ヤング係数は、構造用木材の強度試験マ

ニュアル⁴⁾に準拠し、以下のとおり算出した。

$$E_{fr} = (2Lf)^2 \rho / 10^9$$

E_{fr} : 縦振動ヤング係数 (GPa)

L : 材長 (m)

f : 固有振動数 (Hz)

ρ : 密度 (kg/m³)

また、元口の着色から地域を判別し、末口の着色から木口面に占める未成熟材の割合を、なし、4割未満、4割以上9割未満、9割以上の4段階で区分し(以下、「未成熟割合」という。), それぞれ、なし、1~4割、5~8割、9~10割として示すこととした。

2.4 ラミナの曲げヤング係数の測定

測定した丸太の縦振動ヤング係数の分布を参考に、表1のとおり、地域及びラミナの縦振動ヤング係数ごとに曲げ試験用ラミナの抽出枚数を設定し、各地域25枚、計100枚抽出した。

表1 曲げ試験用ラミナの抽出枚数

地域	抽出枚数(枚)								合計
	ラミナの縦振動ヤング係数 (GPa)								
	7以下	8	9	10	11	12	13	14以上	
盛岡市	2	3	3	5	5	3	3	1	25
花巻市	1	2	5	5	5	4	2	1	25
奥州市	0	3	3	5	5	4	3	2	25
洋野町	1	2	4	5	5	4	2	2	25
全体	4	10	15	20	20	15	10	6	100

抽出したラミナは、長さ方向の中央で切断した後、長さ2,000mm、幅110mm、厚さ28mmに調製した (n=200)。

その後、2.3と同様の方法で、ラミナの縦振動ヤング係数を測定し、さらに、グレーディングマシン(飯田工業社製 MGN-101)を用い、曲げヤング係数を測定した。

表2 人工林アカマツ丸太の材質指標

地域	本数 (本)	平均直径(cm)		未成熟材(cm)		密度(kg/m ³)		丸太E _{fr} (GPa)	
		平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)
盛岡市	25	37.4	11.9	18.2	11.9	885.4	7.7	9.3	12.9
花巻市	25	33.6	7.4	15.8	16.6	904.9	6.7	10.1	9.1
奥州市	25	35.0	7.4	14.3	13.9	898.5	6.0	10.0	13.9
洋野町	25	35.4	12.1	16.0	16.5	889.8	6.9	10.5	12.1
全体	100	35.4	10.8	16.1	15.6	894.6	6.9	10.0	12.8

※ 平均直径: 両木口の最大径と最小径の平均

※ 未成熟材: 両木口の髄から15年輪分の最大径と最小径の平均

※ E_{fr}: 縦振動ヤング係数

※ C.V.: 変動係数

3 結果

3.1 丸太の縦振動ヤング係数

表2に人工林アカマツ丸太の材質指標の測定結果を示す。

平均直径、未成熟材の大きさ及び密度は、地域ごとで若干の差異はあるが、類似した値を示した。

縦振動ヤング係数の平均値は、10.0GPaとなり、地域ごとの平均値では盛岡市産の丸太が他地域と比べ、若干低い値を示したが、他の地域では類似の値を示した。

これまでに報告されている岩手県産アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の平均値は、大橋(2008)の報告⁵⁾では、8.6GPa (n=408)、後藤ら(2020)の報告⁶⁾では、久慈市産で10.3GPa (n=52)、奥州市産で9.4GPa (n=65)、洋野町産で10.4GPa (n=21)であった。

今回測定した人工林アカマツ丸太のみの縦振動ヤング係数は、天然林と人工林の区別なく測定した既往の報告と類似の値を示した。なお、大橋(2008)の報告では、供試した丸太の末口径が19.0~36.5cmと径が小さいものも用いており、材に占める未成熟材の割合が高いため、縦振動ヤング係数は低い値を示したと考えられる。

図2~6に県内4地域全体及び地域別の人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数ごとの出現割合を示す。

盛岡市産の丸太は、他地域と比べ、7GPaが多く出現し、奥州市産の丸太は、7~13GPaの間で幅広く出現する分布となった。

地域ごとで若干の差異はあるが、4地域全体、地域別のいずれにおいても、10GPaにピークが出現し、9~11GPaが約8割以上を占める分布となった。

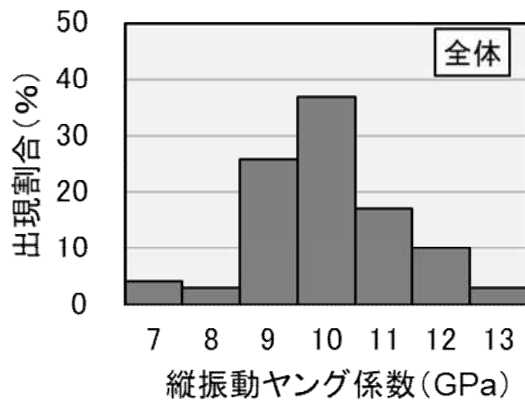


図 2 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (岩手県内4地域, n=100)

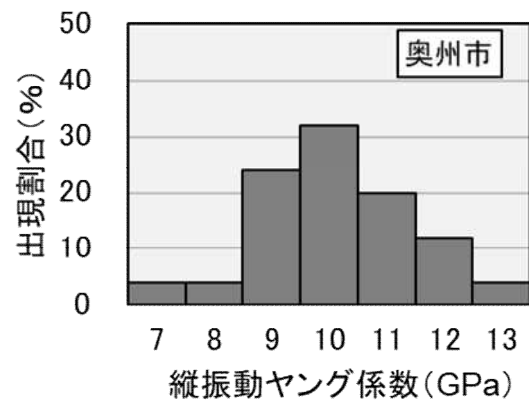


図 5 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (奥州市産, n=25)

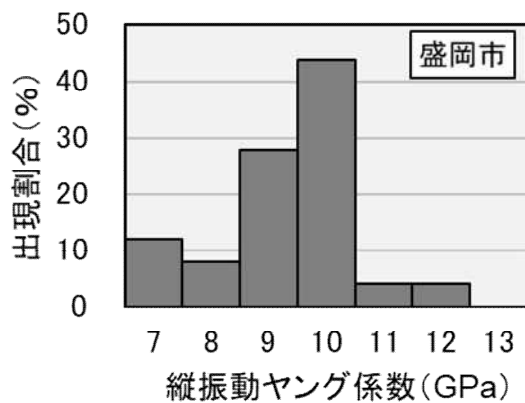


図 3 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (盛岡市産, n=25)

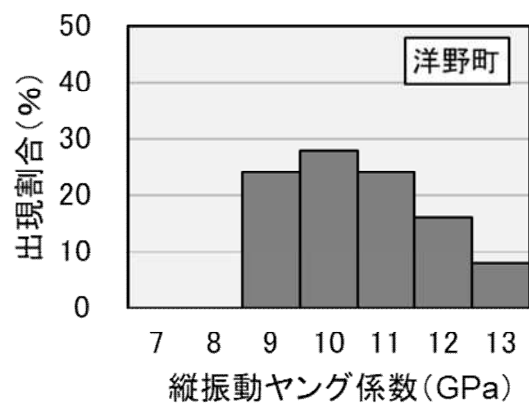


図 6 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (洋野町産, n=25)

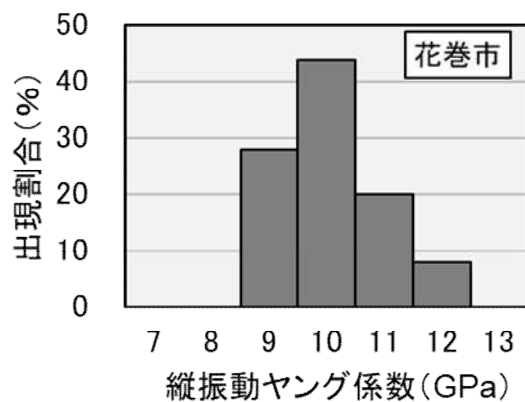


図 4 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (花巻市産, n=25)

3.2 ラミナの縦振動ヤング係数

表3に人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の代表値を示す。

人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の平均値は、10.7GPaとなり、地域ごとの平均値では盛岡市産のラミナが他地域と比べ、若干低い値を示したが、他の地域では類似の値を示した。

これまでに報告されている岩手県産アカマツラミナの縦振動ヤング係数の平均値は、大橋(2008)の報告⁵⁾では、10.7GPa (n=509)、後藤ら(2020)の報告⁶⁾では、久慈市産で10.8GPa (n=360)、奥州市産で10.6GPa (n=397)、洋野町産で11.3GPa (n=183)と11.4GPa (n=159)であった。今回測定した人工林アカマツラミナのみ縦振動ヤング係数は、天然林と人工林の区別なく測定した既往の報告と類似の値を示した。

表3 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数

地域	枚数 (本)	ラミナEfr(GPa)			
		平均値	最小値	最大値	C.V(%)
盛岡市	342	9.9	4.7	15.8	21.4
花巻市	241	11.3	6.3	19.7	25.2
奥州市	303	10.8	5.5	16.4	18.5
洋野町	320	11.0	6.5	16.8	20.3
全体	1,206	10.7	4.7	19.7	21.9

※ Efr: 縦振動ヤング係数
 ※ C.V: 変動係数

図7~11に県内4地域全体及び地域別の人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数ごとの出現頻度を示す。

地域別にみると、盛岡市産のラミナは8GPa以下が約3割を占め、他地域と比べ、低い値を示すラミナが多く出現した。また、花巻市産のラミナは14GPa以上のラミナが約2割を占め、他地域と比べ、高い値を示すラミナが多く出現した。

地域ごとで若干の差異はあるが、県内4地域全体、地域別のいずれにおいても、9~11GPaの間でピークが出現し、9~12GPaが5~7割を占める分布となった。

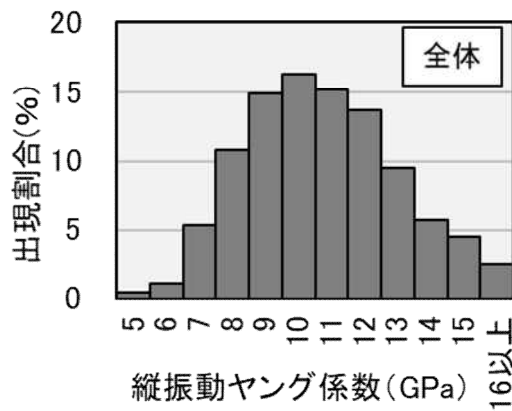


図7 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (岩手県内4地域, n=1,206)

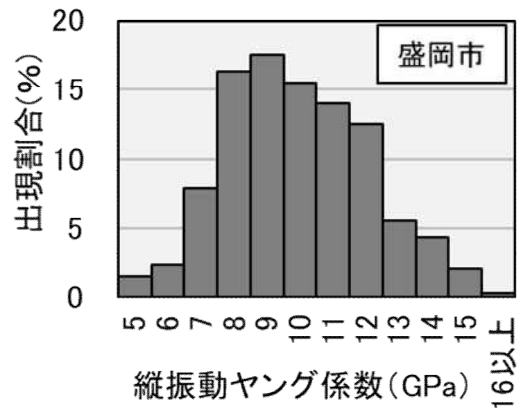


図8 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (盛岡市産, n=342)

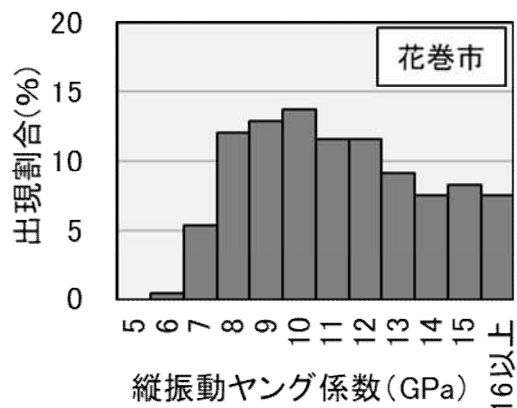


図9 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (花巻市産, n=241)

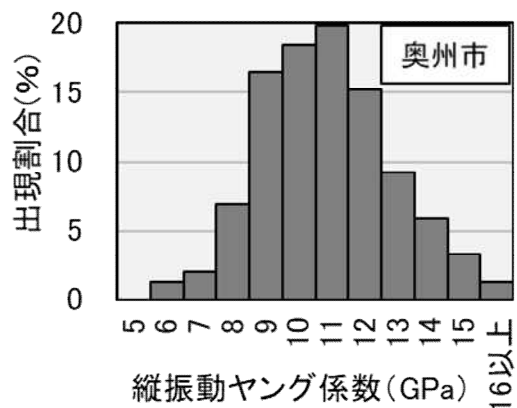


図10 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (奥州市産, n=303)

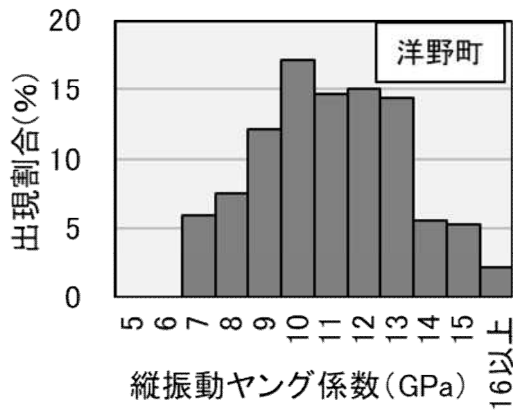


図 11 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (洋野町産, n=320)

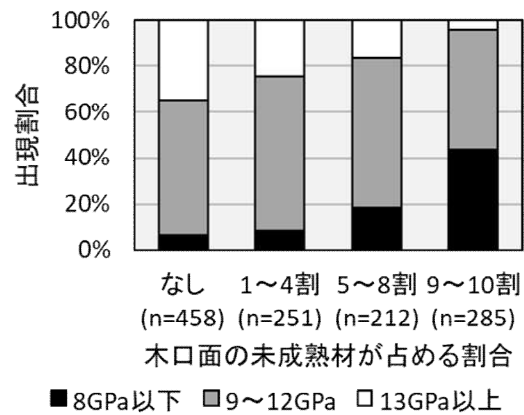


図 12 未成熟割合ごとの縦振動ヤング係数の出現割合

表 4 にラミナの未成熟割合ごとの縦振動ヤング係数の代表値を示す。

縦振動ヤング係数の平均値は、未成熟材の割合が高くなるほど低下する傾向が見られ、未成熟割合なしと未成熟割合 9~10 割では、平均値で 2.6GPa の差が見られた。

表 4 ラミナの未成熟割合ごとの縦振動ヤング係数

未成熟割合	枚数 (本)	ラミナEfr			
		平均値	最小値	最大値	C.V.(%)
なし	458	11.6	5.3	18.8	18.6
1~4割	251	11.1	5.9	19.7	18.6
5~8割	212	10.4	4.7	18.9	23.0
9~10割	285	9.0	5.2	15.6	20.2

※ 未成熟割合: 木口面に占める未成熟材(髄から15年輪分)の割合

※ Efr: 縦振動ヤング係数

※ C.V: 変動係数

また、図 12 に縦振動ヤング係数の出現割合を未成熟割合ごとに示す。

未成熟割合なしに区分されたラミナの約 4 割は 13GPa 以上であり、8GPa 以下のラミナは 1 割未満であった。一方、未成熟割合 9~10 割に区分されたラミナの約 4 割は 8GPa 以下であり、13GPa 以上のラミナは 1 割未満であった。

未成熟材の割合が高くなるほど、8GPa 以下のラミナが占める割合は高くなり、また、13GPa 以上のラミナが占める割合は低くなる傾向が見られた。

3.3 ラミナの曲げヤング係数の推定

図 13 に 2.4 で抽出したラミナの縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の関係を示す。

今回の結果では、縦振動ヤング係数は、曲げヤング係数と比べ、約 3% 高い値を示し、関係式 $y=0.95x+0.21$ ($R^2=0.95$) を得た。今回の関係式を使用し、2.3 で測定したラミナの縦振動ヤング係数から曲げヤング係数を推定し、さらに、集成材の日本農林規格⁷⁾(以下、「集成材 JAS」という。)に基づき、表 5 のとおり等級区分を行った。

図 14 に等級区分ごとの出現割合を示す。

L110 が最頻値となり、L80~L110 が約 7 割を占める分布が得られた。

強度等級 E95-F270 の対称異等級構成集成材のラミナは、内層は L70 以上、中間層は L90 以上、外層は L100 以上、最外層は L110 以上で構成され、L60 以下のラミナは使用できない。今回得られた分布では、L60 以下は 1 割未満、L110 以上は約 4 割を占めた。

また、強度等級 E105-F300 の対称異等級構成集成材のラミナは、内層は L80 以上、中間層は L100 以上、外層は L110 以上、最外層は L125 以上で構成され、L70 以下のラミナは使用できない。今回得られた分布では、L70 以下は約 1 割、L125 以上は約 2 割を占めた。

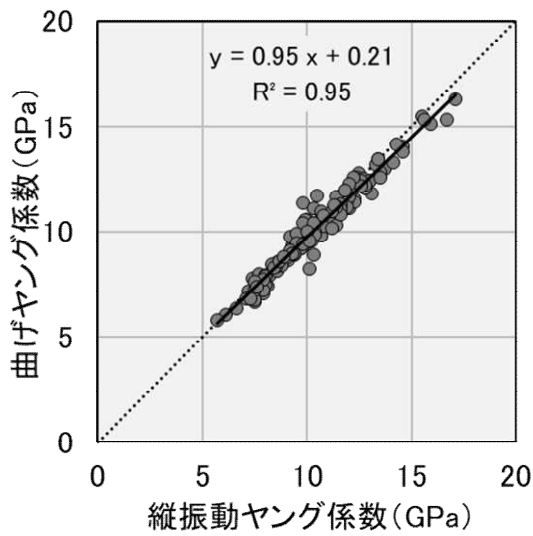


図 13 ラミナの縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の関係 (n=200)

表 5 ラミナの等級区分

ラミナの等級	曲げヤング係数 (GPa)
L60以下	MOE < 7.0
L70	7.0 ≤ MOE < 8.0
L80	8.0 ≤ MOE < 9.0
L90	9.0 ≤ MOE < 10.0
L100	10.0 ≤ MOE < 11.0
L110	11.0 ≤ MOE < 12.5
L125	12.5 ≤ MOE < 14.0
L140	14.0 ≤ MOE < 16.0
L160以上	16.0 ≤ MOE

※MOE: 曲げヤング係数

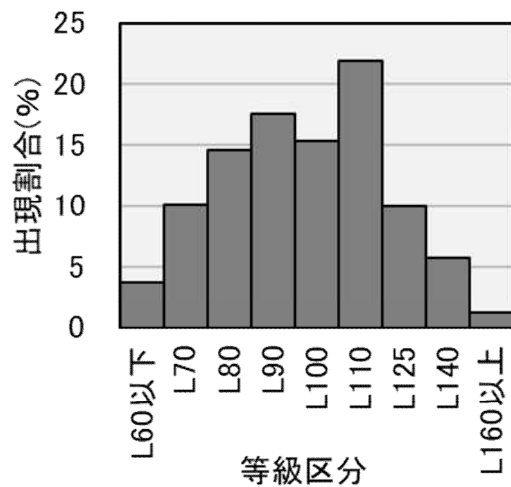


図 14 等級区分ごとの出現割合 (人工林アカマツラミナ, n=1, 206)

さらに, 図 15~16 に等級区分の出現割合を未成熟割合ごとに示す。なお, 図 15 は, E95-F270 を想定し, ラミナに使用不可である L60 以下, 最外層ラミナに使用可能な L110 以上, 内層ラミナ等に使用可能な L70~L100 ごとで示し, 図 16 は, E105-F300 を想定し, ラミナに使用不可である L70 以下, 最外層ラミナに使用可能な L125 以上, 内層ラミナ等に使用可能な L80~L110 ごとで示した。

E95-F270 の場合, 最外層に使用可能なラミナの出現割合は, 未成熟割合なしに区分されたラミナでは約 6 割, 未成熟割合 9~10 割に区分されたラミナでは約 1 割であった。

E105-F300 の場合, 最外層に使用可能なラミナの出現割合は, 未成熟割合なしに区分されたラミナでは約 3 割, 未成熟割合 9~10 割に区分されたラミナでは 1 割未満であった。

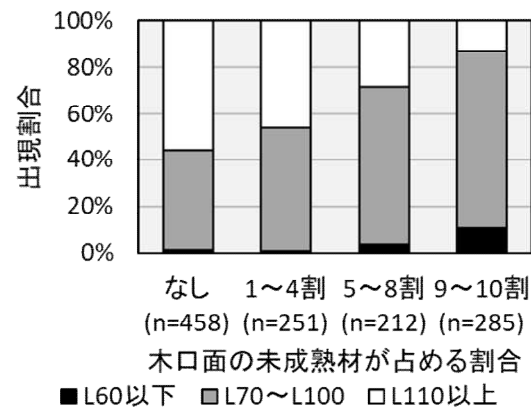


図 15 未成熟割合ごとの等級区分の出現割合 (E95-F270 を想定した等級区分)

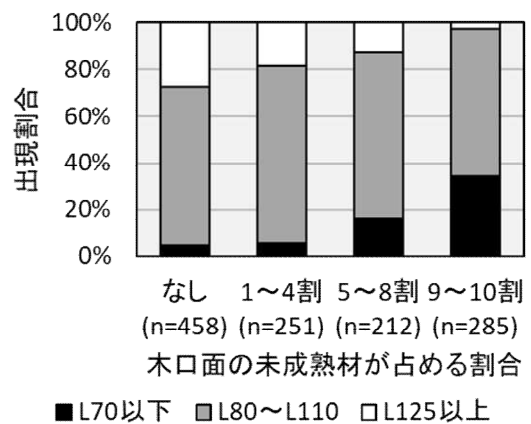


図 16 未成熟割合ごとの等級区分の出現割合 (E105-F300 想定を想定した等級区分)

4 おわりに

4.1 人工林アカマツ材の強度性能

人工林アカマツ材の縦振動ヤング係数の平均値は、丸太で 10.0GPa、ラミナで 10.7GPa であり、天然林と人工林の区別なく測定した既往のアカマツ材の縦振動ヤング係数の報告⁵⁾⁶⁾と類似の値を示した。

また、ラミナの木口面に占める未成熟材の割合とラミナの縦振動ヤング係数の関係を調査した。その結果、未成熟材の割合が高いラミナからは、縦振動ヤング係数の値が低いラミナが多く出現した。このことから、径に占める未成熟材の割合が高い丸太ほど、未成熟材を含むラミナの出現割合が高くなり、縦振動ヤング係数の平均値は低下すると考えられる。林齢が若い林分から得られた丸太は、径に占める未成熟材の割合が高くなるため、若齢のアカマツ林から得られたラミナの縦振動ヤング係数は、成熟したアカマツ林から得られたラミナと比べ、低い値を示すと推察される。

4.2 人工林アカマツ材の集成材利用の検討

人工林アカマツ材の集成材利用への強度適性を検討するため、人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数から曲げヤング係数を推定し、集成材 JAS に基づき、等級区分を行った。

等級区分の結果、L110 が最頻値となり、L80～L110 が約 7 割を占める分布が得られた。対称異等級構成集成材の最外層に使用可能なラミナの出現割合は、E95-F270 では約 4 割、E105-F300 では約 2 割であった。対称異等級構成集成材のラミナのうち最外層ラミナが占める割合は、積層数が 5 層では 4 割、10 層では 2 割となるため、E105-F300 を製造する場合、最外層ラミナの不足が懸念される。

また、ラミナの木口面に占める未成熟材の割合とラミナの等級区分の関係を調査した。その結果、未成熟材の割合が高いラミナほど、最外層に使用可能なラミナの出現割合は低下した。そのため、未成熟材を含むラミナの出現割合が高くなる若齢のアカマツ林から得られる丸太では、E95-F270 であっても、最外層ラミナの不足が懸念される。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、ノースジャパン素材流通協同組合には、供試材料の手配、強度の測定など、株式会社川井林業には、測定場所の提供、アカマツ材の製材と乾燥など、多大なるご協力をいただきました。深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 林野庁 (2023). 森林資源の現況 (令和 4 年 3 月 31 日現在)
- 2) 農林水産省 (2022). 木材統計調査 令和 3 年木材需給報告書
- 3) 農林水産省 (2007). 素材の日本農林規格 (最終改正: 令和 4 年 4 月 15 日農林水産省告示第 776 号): 13-14
- 4) 公益社団法人 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: 60-63
- 5) 大橋一雄 (2008). 岩手県林業技術センター研究成果速報 No. 247
- 6) 後藤幸広・谷内博規 (2020). 岩手県林業技術センター研究報告第 28 号: 27-33
- 7) 農林水産省 (2007). 集成材の日本農林規格 (最終改正: 令和 5 年 7 月 31 日農林水産省告示第 897 号)