

青森県産スギ大径材から得た集成材ラミナの等級分布

上野文明、伊藤快^{※1}、工藤睦津美^{※2}

※1 中南地域県民局 ※2 林政課

要約

青森県産のスギ大径材（径級が概ね 40cm 以上の丸太）から集成材ラミナ（幅 120mm、厚さ 30mm の断面）を挽き、丸太とラミナの強度（ヤング係数、等級）の関係を調べ、ラミナの等級分布の把握と、丸太段階でラミナの強度性能や等級分布を推定する方法の検討を行った。

ラミナの等級分布については、丸太の等級に応じたラミナの等級分布を試算し、Ef50 丸太から L40 以上のラミナが約 9 割出現し、L40～L60 の範囲に約 7 割が入ること、Ef70 丸太から L50 以上のラミナが約 9 割出現し、L50～L80 の範囲に約 7 割が入ること、Ef90 丸太から L60 以上のラミナが約 9 割出現し、L60～L100 の範囲に約 7 割が入ることを導いた。

丸太段階でラミナの強度性能や等級分布を推定する方法については、丸太横断面内におけるヤング係数の分布特性を元に、樹心付近から取るラミナ（心側ラミナ）と、その外側から取るラミナ（外側ラミナ）に分ける方法を検討し、丸太の径、木取り、縦振動ヤング係数を用いて丸太別に得られるラミナの等級分布の推定方法を試案として示した。

I はじめに

全国的にスギ人工林は高齢級林分の割合が増加しており、供給原木の主体は小・中径材から中・大径材に移行すると考えられている。青森県においても 10 齢級以上の割合が増加しており、今後、大径材の供給増加が見込まれる。

その大径材の用途として集成材や直交集成板（C L T）への利用を考えると、得られるラミナ（ひき板）の品質や強度等の特性を理解することが重要である。また、建築に用いられる構造用集成材や C L T では、ラミナの強度性能基準があり、生産工場は製造する規格に応じてラミナを選別し、層構成を行う。このため、生産あるいは仕入れするラミナの強度性能（ヤング係数）がどの程度でどのくらいの量を得られるかを把握することが重要となる。

そこで、青森県産のスギ大径材から得られるラミナの強度特性を調査し、強度性能の等級分布を把握することとした。また、規格に合うラミナの効率的な生産に向けて、丸太段階でラミナの強度性能や等級分布を推定する方法を検討することとした。

ラミナの生産において、断面寸法は通常、製造する集成材の断面寸法に合わせて決められる。注文生産される大断面集成材では、丸太のサイズを勘案して生産しやすい断面寸法にする場合もある。また、ラミナ生産工場（製材工場）では、ラミナの断面寸法に合わせて、最も歩留まりの良い木取りになるような径級の丸太を調達する。このようなことから、大径材からラミナを製造する場合の断面寸法と木取りは実際には多様なものとなる。

本研究では、断面の短辺が 120mm の構造用集成材の生産を想定した集成材ラミナを対象として、強度特性を調査することとした。

Ⅱ 材料と方法

1. 供試丸太

供試丸太は、高齢級の一般材で、径級を概ね 40cm 以上とし、東津軽郡と三戸郡の 2 地域から調達した。それぞれセット A、セット B とし、詳細は次のとおりである。

セット A の丸太は、立木 12 本から材長 4m の 1 番玉と 2 番玉を採材したものである。林齢は不明であるが、元口の年輪数は 60～74 本であった。末口径は 37～47cm となっている。2020 年に伐採・運搬し、製材した。セット B の丸太は、林齢 69 年の林分から材長 4m で採材した 1 番玉 14 本である。末口径は 44～49cm となっている。2021 年に伐採・運搬し、製材した。

供試丸太の測定は製材前に行い、寸法、重量、固有振動数、年輪数を測定した。固有振動数は、木口をハンマーで叩き、その打音から得られる振動数を F F T アナライザで計測し、固有振動数を特定した。材積、密度、固有振動数から縦振動ヤング係数を算出した。縦振動ヤング係数から素材 JAS (JAS1052) に基づき丸太の等級を区分した。

2. 供試ラミナ

本研究では、建築構造材によく使われるサイズとして、断面の短辺が 120mm の集成材を想定し、供試ラミナの断面寸法は、仕上げで幅 120mm、厚さ 30mm のものとした。

供試ラミナの木取りは、図-1 のように髄を含むタイコ材部分から取り、粗挽き寸法は、幅 130mm、厚さ 36mm とした。粗挽きしたラミナは、温度 20℃、湿度 45% の恒温恒湿条件の部屋に約 1 か月間置いて乾燥させた後、セット A のラミナは材長を鋸断して 4000mm に揃え、断面寸法を幅 120mm、厚さ 30mm に仕上げた。セット B のラミナは、セット A と同様に乾燥させた後、材長を鋸断して 4000mm に揃え、厚さ 31mm に仕上げた。幅は調整せず、乾燥後に測定したときの幅は平均 126mm であった。このタイコ材部分から得たラミナの枚数は、セット A が 219 枚、セット B が 149 枚の合計 368 枚で、丸太 1 本当たりでは平均 9.7 枚であった。

ラミナは、製材時の木取り位置で樹心からの距離を記録し、仕上げ後に、寸法、重量、固有振動数を測定し、縦振動ヤング係数を算出した。また、集成材 JAS (日本農林規格 1152) の曲げ試験 B に基づき、スパン 3850mm、初期荷重 10kg、最終荷重 20kg で荷重を加え、たわみを測定して曲げヤング係数を求めた。曲げヤング係数から、集成材 J A S における機械区分の等級を求めた。

なお、挽き方は、セット A の丸太については材長方向で樹心に沿って挽く「中心定規挽き」とし、セット B の丸太については丸太の片側半面を中心定規挽き、反対側半面は側面に沿って挽く「側面定規挽き」としている。挽き方の違いが縦振動ヤング係数及び曲げヤング係数に有意な差として現れなかったことから、本研究では挽き方の違いを区別せずに分析した。

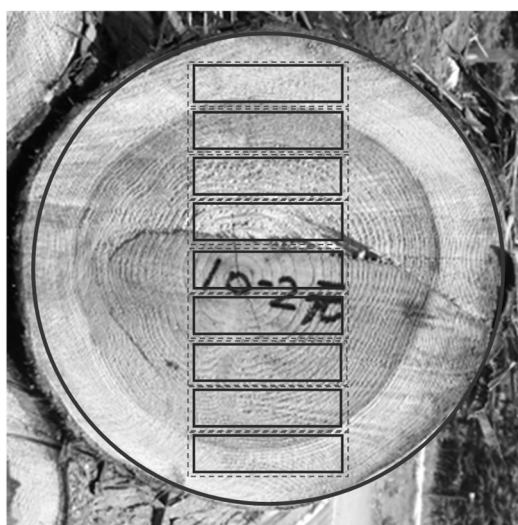


図-1 木取り図

Ⅲ 結果と考察

1. 丸太の測定結果

供試丸太の測定結果の概要を表-1に示す。縦振動ヤング係数は、セットAが平均7.53kN/mm²、セットBが平均6.02kN/mm²で、セットAがセットBに比べてやや高い。合算した全体で見ると、平均6.98kN/mm²（最小4.23、最大9.00）である。等級で見ると、全体でEf50が4本（全数に対する割合11%）、Ef70が27本（同71%）、Ef90が7本（同18%）となっている。

本県のスギ大径材の強度は、過去の調査（未発表）において複数産地から合計67本のデータを得ており、それによると、縦振動ヤング係数が平均6.98kN/mm²（最小4.36、最大11.19）、等級の出現範囲がEf50からEf90に多いという結果が得られており、本研究の供試丸太の強度は、セット間では差があるものの、合算した全体で見ると、概ね偏りのない強度分布になっているものと考えられる。

表-1 供試丸太の概要

	元口径	末口径	密度	縦振動 ヤング係数	平均年輪幅	等級
	(cm)	(cm)	(kg/m ³)	(kN/mm ²)	(mm)	
セットA	46.6 (4.0)	41.9 (2.8)	655 (48)	7.53 (0.83)	3.9 (0.2)	Ef70 (n=17) Ef90 (n= 7)
セットB	52.3 (2.6)	46.1 (1.5)	505 (48)	6.02 (0.71)	4.9 (0.3)	Ef50 (n= 4) Ef70 (n=10)
全 体	48.7 (4.5)	43.5 (3.1)	600 (87)	6.98 (1.07)	4.3 (0.5)	Ef50 (n= 4) Ef70 (n=27) Ef90 (n=7)

上段:平均値 下段かっこ内:標準偏差

等級のかっこ内はその等級に対する丸太本数

2. ラミナの測定結果

ラミナの測定結果の概要を表-2に示す。密度、縦振動ヤング係数及び曲げヤング係数は、セットAがセットBに比べてやや高かった。これは、丸太の縦振動ヤング係数に差があることが影響したものと考えられる。

本研究は、丸太の調達とラミナの製造が2年にわたり、供試材料としてはセットAとセットBに区分されるが、丸太の産地やラミナの製造方法の違いを論じようとするものではないことから、以降の結果と考察においては、特に必要のない限り、セットAとセットBを合算した全体を用いて検討を進める。

合算した全体で見たとき、縦振動ヤング係数は、平均 7.29kN/mm^2 （最小 2.44、最大 12.43）、曲げヤング係数は、平均 7.16kN/mm^2 （最小 2.68、最大 12.56）となった。

表-2 供試ラミナの測定結果概要

	試験体数	密度	縦振動 ヤング係数	曲げ ヤング係数	含水率
		(kg/m^3)	(kN/mm^2)	(kN/mm^2)	(%)
セットA	n=219	370 (30)	7.65 (1.98)	7.62 (2.06)	12.4 (3.2)
セットB	n=149	340 (31)	6.77 (1.29)	6.50 (1.28)	12.2 (1.0)
全 体	n=368	358 (34)	7.29 (1.78)	7.16 (1.87)	12.3 (2.6)

上段:平均値 下段かっこ内:標準偏差

3. ラミナの曲げヤング係数

曲げヤング係数は、縦振動ヤング係数と高い正の相関関係を示し（相関係数 0.9873）、縦振動ヤング係数と曲げヤング係数は、概ね 1:1 の関係であった（図-2）。

ラミナの木取り位置で樹心からの距離と曲げヤング係数の関係を見ると、全体的に樹心付近が低く、外側（樹皮側）に向かってしだいに高くなる傾向が見られた（図-3）。

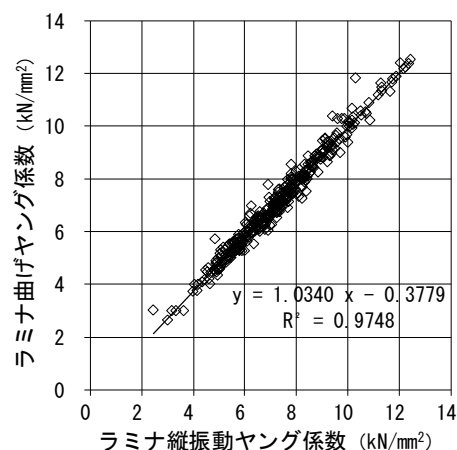


図-2 縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の相関

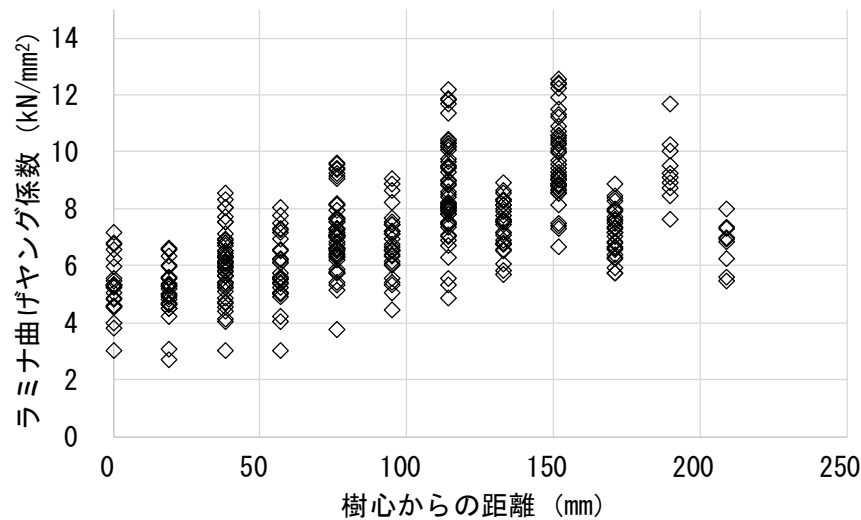


図-3 樹心からの距離で見た曲げヤング係数の分布

4. ラミナの等級分布

等級区分では、L30 に満たない規格外の 1 枚を除いて、L30 から L125 まで出現した。丸太の等級別に見ると、Ef50 丸太では L30 から L70 まで、Ef70 丸太では L30 から L110 まで、Ef90 丸太では L40 から L125 まで出現した（図-4）。各等級の丸太から得られるラミナの等級分布は、重なる範囲が大きいものの、Ef50 丸太、Ef70 丸太、Ef90 丸太の順に等級の高いラミナを得る割合が高かった。

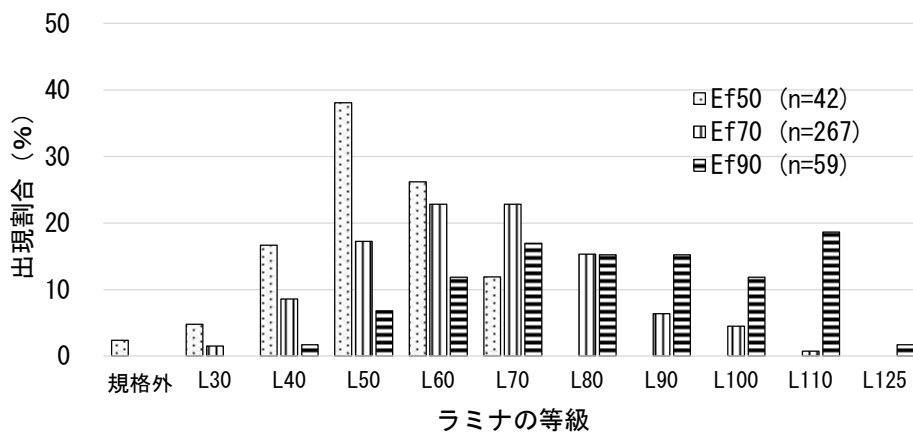


図-4 丸太の等級別に見たラミナの等級分布

5. 出現範囲の試算

前述の結果から、ラミナの等級分布は、丸太の等級に対応すると考えられる。つまり、丸太の等級が分かれば、ラミナの等級分布を想定することができると考えられる。そこで、丸太の等級に応じたラミナの等級分布を想定するための試算を行った。

試算は、ラミナの曲げヤング係数の出現分布が正規分布になると仮定して、出現範囲を確率的

に計算して行った。まず、曲げヤング係数が90%確率で出現する範囲について、片側90%信頼区間の下限となるヤング係数を計算した。計算の結果、下限値は、Ef50丸太から得られるラミナが4.0kN/mm²、Ef70丸太の場合が5.0kN/mm²、Ef90丸太の場合が6.2kN/mm²となった。次に、出現範囲のボリュームゾーンとして、平均値±標準偏差の範囲を想定した。この場合、Ef50丸太は4.4～6.8kN/mm²、Ef70丸太は5.4～8.7kN/mm²、Ef90丸太は6.8～11.0kN/mm²の範囲に68.3%（約7割）が分布するものと計算された。試算した正規分布図と区間を図-5に示す。

ラミナの曲げヤング係数を等級に表し、出現範囲としてまとめると、Ef50丸太ではL40以上のラミナが約9割、L40～L60のラミナが約7割、Ef70丸太ではL50以上のラミナが約9割、L50～L80のラミナが約7割、Ef90丸太ではL60以上のラミナが約9割、L60～L100のラミナが約7割得られると試算された（表-2）。

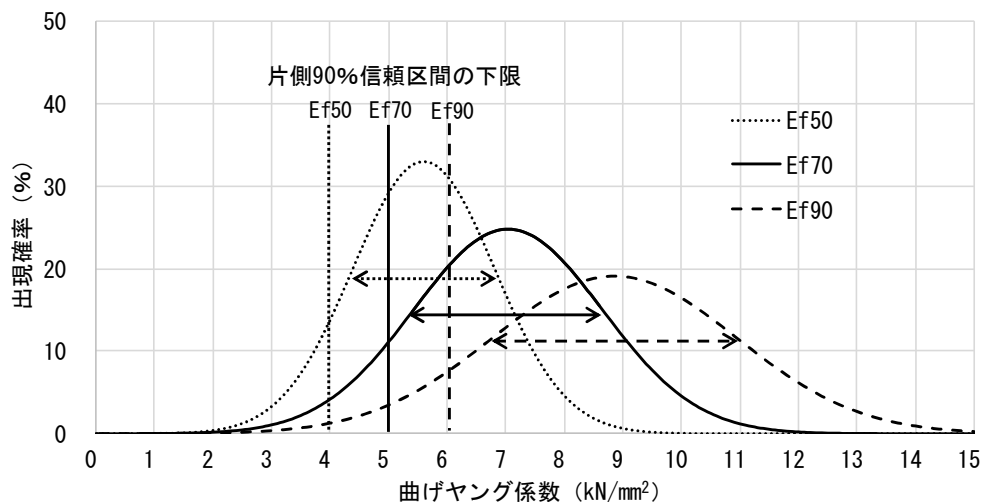


図-5 ラミナ出現範囲の試算に係る分布と区間
※矢印は平均値±標準偏差の区間を示す。

表-2 ラミナの出現範囲の試算結果

丸太	ラミナの出現範囲	
	9割が入る	約7割が入る
Ef50	L40以上	L40～L60
Ef70	L50以上	L50～L80
Ef90	L60以上	L60～L100

6. 丸太とラミナの関係

スギの場合、ヤング係数は丸太の横断面において均一ではなく、樹心から樹皮側に向かってある一定の年輪あるいは距離まで増加し、その後ほぼ安定した値を示すことが知られている。これは、樹心側の未成熟材部と、その外側に形成される成熟材部があるためと理解されている。本研究においてもラミナの曲げヤング係数は髄からの距離で変化し、樹心付近が低く、外側が高い傾

向があった。

これらのことから、樹心付近のヤング係数が低いラミナと、その外側にあるヤング係数が高いラミナを分けて考えることで、丸太全体のヤング係数からラミナのヤング係数を推定できるのではないかと考えた。そこで、丸太1本当たり、樹心付近から得られた3～4枚を便宜上「心側ラミナ」、その外側のものを「外側ラミナ」と呼び、丸太の縦振動ヤング係数とラミナの曲げヤング係数の関係を検討した。

心側ラミナと外側ラミナの境界は、曲げヤング係数の分布（図-3）を元に判断し、樹心からの距離を約60～70mmとした。木取りで示すと図-6のイメージとなる。

丸太毎にラミナの曲げヤング係数を見たとき、心側ラミナは外側ラミナより有意に低く（2標本t検定、有意水準1%）、平均 2.4kN/mm^2 低い値であった。

丸太の縦振動ヤング係数とラミナの曲げヤング係数の相関関係を図-7に示す。心側ラミナは相関係数0.49、外側ラミナは同0.66となり、外側ラミナは心側ラミナより丸太の縦振動ヤング係数との相関が高かった。また、丸太の縦振動ヤング係数 x に対する外側ラミナの曲げヤング係数 y を線形回帰したとき、回帰式は $y=1.06x+0.65$ となり、外側ラミナの曲げヤング係数は、丸太の縦振動ヤング係数に近い値を示すと考えられた。このことから、丸太段階でラミナのヤング係数を推定しようとするとき、心側ラミナより外側ラミナのほうが高い精度での推定が可能と考えられた。

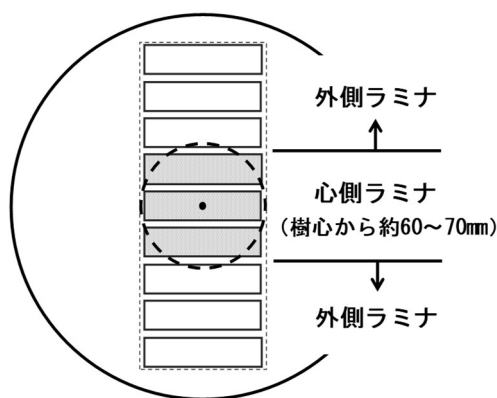


図-6 心側ラミナと外側ラミナのイメージ

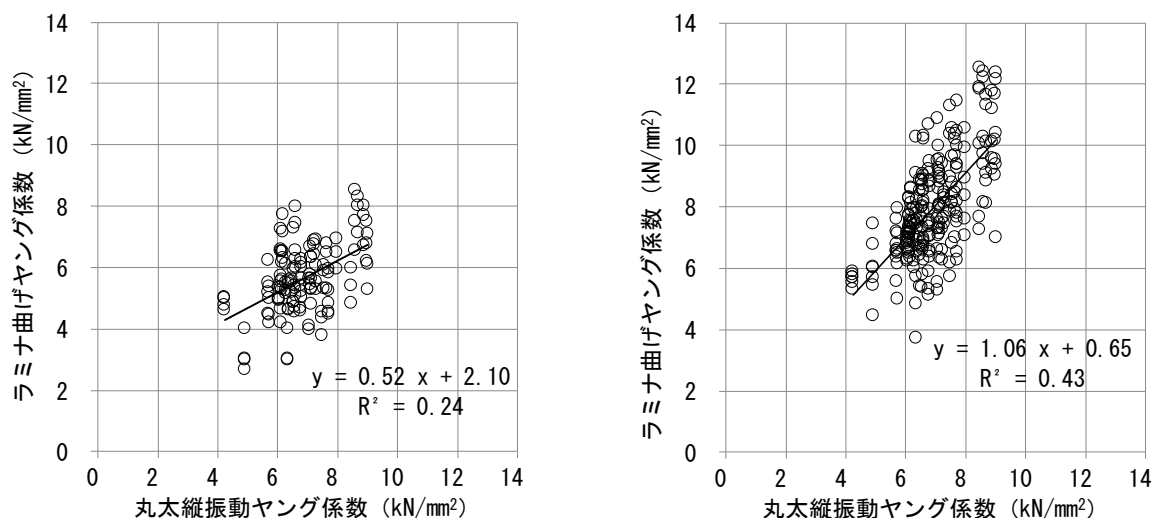


図-7 丸太の縦振動ヤング係数とラミナの曲げヤング係数の相関
(左：心側ラミナ 右：外側ラミナ)

7. 丸太段階でラミナのヤング係数や等級を推定する方法

丸太段階で製材品のヤング係数を推定する技術については、丸太横断面内のヤング係数分布をモデル化して推定する方法が長尾ら（2021）によって開発されている。そのモデルは、丸太の半径、縦振動ヤング係数、製材の採材位置（髄からの距離）をパラメータとして、その丸太から採材される様々な製材品のヤング係数を推定する式となっている。本研究で対象にした集成材ラミナについても、このモデルの適用が可能と考えられる。

一方、本研究では大径材から得られるラミナを対象とし、心側ラミナと外側ラミナに分けて考えることでヤング係数の推定を試みている。試験の結果では、外側ラミナの曲げヤング係数は、丸太の縦振動ヤング係数に近い値を示すことが示唆された。また、心側ラミナの曲げヤング係数は、外側ラミナより低くなる傾向がある。これらのことから、丸太の縦振動ヤング係数が分かれば、外側ラミナの曲げヤング係数を推定することができ、心側ラミナについても外側ラミナより低くなるものとして推定できると考えられる。

曲げヤング係数を推定できれば、等級を推定することができる。曲げヤング係数の推定精度は、外側ラミナで回帰直線の決定係数が 0.43 であったことから、推定誤差が自ずと生じる。推定誤差があることを踏まえ、推定する等級は、ある程度幅をもたせた出現範囲として示すことが考えられる。

今回の木取りでは心側ラミナは平均 3.4 枚、外側ラミナは平均 6.3 枚であった。外側ラミナの枚数は、丸太の径が大きいほど多く得られる。丸太の径、木取り及びラミナ断面寸法から 1 本当たりのラミナ枚数、さらには心側ラミナ及び外側ラミナの枚数を想定することができる。丸太の縦振動ヤング係数を測定することで、外側ラミナの曲げヤング係数を推定し、推定誤差を加味して等級を出現範囲として想定することができると考えられる。この方法を試案として示すと図-8 のようになる。

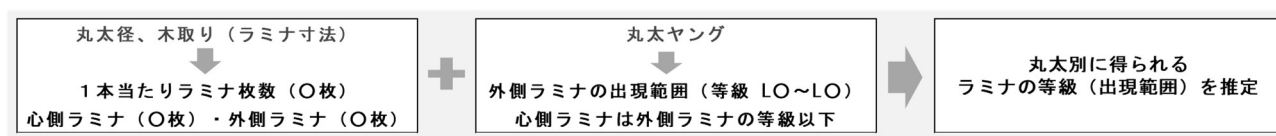


図-8 丸太からラミナの強度性能を推定する方法の試案

V おわりに

本研究では、径級が概ね 40cm 以上の大径丸太から断面寸法が幅 120mm、厚さ 30mm のラミナを挽き、丸太とラミナの強度（ヤング係数、等級）の関係を調べ、ラミナの等級分布の把握と、丸太段階でラミナの強度性能や等級分布を推定する方法の検討を行った。

ラミナの等級分布については、丸太の等級に応じたラミナの等級分布を試算し、Ef50 丸太から L40 以上のラミナが約 9 割出現し、L40～L60 の範囲に約 7 割が入ること、Ef70 丸太から L50 以上のラミナが約 9 割出現し、L50～L80 の範囲に約 7 割が入ること、Ef90 丸太から L60 以上のラミナが約 9 割出現し、L60～L100 の範囲に約 7 割が入ることを導いた。

丸太段階でラミナの強度性能や等級分布を推定する方法については、丸太横断面内におけるヤング係数の分布特性から、樹心付近から取る「心側ラミナ」と、その外側から取る「外側ラミナ」に分ける方法を検討し、丸太の径、木取り、縦振動ヤング係数を用いて丸太別に得られるラミナの等級分布の推定方法を試案として示した。

本研究で示したラミナの等級分布及び推定方法は、ラミナの断面寸法と木取りについて一つのパターンのみで試算したものである。ラミナの断面寸法や木取りが異なれば、試算結果が変わることは当然想定される。試算結果の有効性を確認し、精度を高めるためには、ラミナの断面寸法や木取りの異なる複数のパターンを調査することが必要である。

なお、本研究の一部は、第 73 回日本木材学会大会（2023 年 3 月）において発表したものである。

引用・参考文献

長尾博文・加藤英雄・井道裕史・原田真樹・藤本清彦・松村ゆかり・伊神裕司・小川敬多（2021），丸太段階で製材品のヤング係数を推定する技術の開発（スギ），大径材の使い方：17-18.
上野文明・工藤睦津美・伊藤快（2023），青森県産スギ大径材から得た集成材ラミナの強度分布，第 73 回日本木材学会大会研究発表WEB要旨集