

丸太外周部から採材されたスギラミナの引張強度

Tensile Strength of Sugi Laminae Converted from Outer Positions within Logs

山吉 栄作, 野々田 稔郎, 並木 勝義

Eisaku YAMAYOSHI, Toshiro NONODA and Yoshitomo NAMIKI

要旨：三重県宮川村産スギ中径材の外周部から採材されたラミナを対象に、たて継ぎ無しのラミナ（NJラミナ）とフィンガージョイントによるたて継ぎ有りのラミナ（FJラミナ）の引張試験を行った。引張試験による破壊形態は、NJラミナでは節絡みの破壊が83%、FJラミナではFJ絡みの破壊が70%を占めた。集中節径比が40%を超えるFJラミナでは、フィンガージョイント部より集中節径比の箇所での破壊比率の方が大きかった。引張強度は、NJラミナでは対数正規分布、FJラミナでは正規分布の適合性が最も高かった。FJラミナのNJラミナに対する接合効率は、引張強度の平均値比較で71%、5%下限値比較で99%であった。目視等級区分および機械等級区分による各等級の引張強度の平均値は、全て日本農林規格（JAS）の適合基準を満足したが、JASの下限値は一部の等級において満足しなかった。JASの下限値を全等級で満足させるためには、曲げヤング係数による区分だけでなく、さらに節の要素を考慮した等級区分を行う必要があることを指摘した。

はじめに

国内におけるスギ *Cryptomeria japonica* の人工林は、樹種別面積比率では45%を占め、年々高齢級化しており、戦後造林地では主伐可能な時期が到来したと見られている（天野 1998）。また、スギ丸太の径級別では、末口径14~28 cmの中径材が最も多く生産され、スギ全体の約65%を占める（藤原 1998）。このことから、スギ中径材は今後も原木市場の主品目になると予想され、その有効活用を図っていくことが重要と考えられる。特に、柱角を一丁取りするには径が大きすぎる末口径20 cm以上の中径材では、その需要開発が急務となっている。

一方、構造用大断面集成材を用いた大規模木造建築物が、地域活性化事業として各地で建てられるようになり、その集成材の原材料としてスギが使用されるケースも増えてきた。しかし、実際スギの採択においては、構造材料としての等級区分とその量的な対応を満足させることが難しく、その使用を断念せざるを得ないことも多い。従って、スギ採択の比率を上げるためには、一定品質以上のラミナを短期間で大量に収集できる体制を整えておく必要がある。

こうした背景の中、三重県では県産スギ中径材の有効利用の一つとして、スギ構造用集成材の製造および強度性能評価に取り組んできた。前報（山吉 2000）では、末口径26 cm以上の県産スギ中径材を対象に、丸太内木取り位置別にラミナのヤング係数を調査し、木取り位置が丸太の中心部から外周部へ移行するに従ってヤング係数が高くなることを明らかにした。また、丸太からラミナのヤング係数を推定する際は、丸太の

強度等級区分に、丸太内木取り位置による区分を併用した方がその推定精度が上がることを指摘した。

本研究では、スギ中径材の中心部から柱角、外周部からラミナを採材して別途利用する手法を想定し、外周部のみから集められた比較的高品質でヤング係数の高いラミナを対象に、たて継ぎ無しのラミナ（NJラミナ）とたて継ぎ有りのラミナ（FJラミナ）の引張強度（ TS ）について検討した。また、各ラミナの目視等級区分および曲げヤング係数（ MOE ）による機械等級区分が、 TS およびそのばらつきに及ぼす影響について検討した。なお、本研究は農林水産省補助事業「平成6年度エンジニアリングウッド性能評価事業」の一環として、財団法人日本住宅・木材技術センターより依頼を受け、受託試験として実施したものである。

本研究の遂行にあたり、三重大学生物資源学部の鈴木直之助教授および同木質資源工学研究室（旧称）専攻生の井出薫氏には多大な御助言、御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

材料および方法

1 試験材料

ラミナ採集用の供試丸太は、三重県宮川村産の末口径23~26 cm、長さ3 mのスギ中径材60本を対象とし、末口径、元口径、長さ、密度および縦振動法による動的ヤング係数（ E_f ）を測定した。なお、 E_f は、小野測器製CF-350型FFTアナライザーを用いて材固有の一次共振周波数を測定し、次式より算出した。

$$E_f = \frac{(2 \times L \times f)^2 \times \rho}{10^9}$$

E_f 、動的ヤング係数（ kN/mm^2 ）； L 、長さ（ m ）；

f 、一次共振周波数（ Hz ）； ρ 、密度（ kg/m^3 ）。

丸太の中心部より11 cm正角の柱材を取った後、残りの外周部（背板部）から、幅11 cm、厚さ3.5 cm、長さ3 mのひき板を製材した。ひき板は、目標含水率を25%に設定して蒸気式人工乾燥を行った後、屋内にて、およそ1ヶ月間棧積み状態で自然乾燥を行った。その後、手押しおよび自動一面カンナ盤を用いて、4材面全てのプレーナがけを行い、幅10 cm、厚さ3 cm、長さ300 cmのラミナに仕上げた。

ラミナは、縦振動法により E_f を測定し、 E_f の平均値と変動係数がほぼ等しくなるように2グループに分けた。その内、1グループは、たて継ぎ加工を行わない通しラミナ（NJラミナ）用とし、もう1グループは、たて継ぎ加工を行うたて継ぎラミナ（FJラミナ）用とした。FJラミナは、長さ方向中央付近において、節を避けた部位で半分に切断し、その切断面をフィンガー加工した後、レゾルシノール樹脂を用いて再度接着および圧縮して作製した。なお、フィンガーの接合形式は、幅広面側にフィンガー模様が入る垂直型とし、フィンガーの形状は、フィンガー長19.4 mm、ピッチ5.0 mm、先端寸法0.85 mm、底部寸法0.75 mm、かん合度0.1 mm、傾斜比1/11.4とした。また、フィンガージョイントの加工に際しては、株式会社オオコーチ勢和工場に依頼した。FJラミナは、フィンガージョイントの接着硬化および養生後、再度4材面全てプレーナがけし、幅9.7 cm、厚さ2.8 cm、長さ295 cmに仕上げた。

これらラミナの中から、顕著な丸身や腐れを含むものは除外し、最終的に、NJラミナ103枚とFJラミナ110枚を引張試験体として選出した。

なお、これら一連の作業は、1994年6月上旬から10月中旬にかけて行った。

2 材質調査と引張試験

NJ ラミナおよび FJ ラミナの引張試験体は、1994 年 11 月中旬に縦振動法による E_f と小荷重負荷の曲げ試験による曲げヤング係数 (MOE) を測定した。小荷重負荷の曲げ試験はスパン 280 cm の中央集中荷重方式とし、荷重速度 10 mm/分 で約 100N の荷重を負荷した。また、構造用集成材の日本農林規格 (JAS) (社団法人日本農林規格協会 2000) に準じて、平均年輪幅 (ARW)、集中節径比 ($GKDR$) を調査した。なお、 $GKDR$ は、引張試験時の引張区間を調査範囲として測定した。試験体のみかけの密度 (ρ) は、ラミナ全体の重量を全体の体積で除して求めた。

引張試験は、島津製作所製 UH-100A 形実大材強度試験機 (最大引張容量 300 kN) を用いて 1994 年 12 月上～中旬に実施し、引張強度 (TS) と破壊形態を調べた。引張試験では、ラミナ中央部の 90 cm 区間を引張区間、残り両端部の 1 m ずつをつかみ区間とした。なお、試験体が FJ ラミナの場合、フィンガージョイント部が引張区間のほぼ中央に位置するようにセットした。引張試験の荷重速度は 3 mm/分 とし、破壊に至るまでに要する時間を 2～3 分とした。破壊後、破壊の影響を受けていない部位から、長さ方向 3 cm 程度の無欠点小試片を採取し、全乾法により含水率を測定した。

結果および考察

1 丸太および引張試験体の材質

丸太の材質を表-1 に、引張試験体の材質を表-2 に示す。引張試験体の含水率は、両ラミナともに平均で 12%、変動係数は約 5% であり、各試験体における含水率の違いが強度値に及ぼす影響は小さいと思われた。よって、本文中の強度値は含水率による補正を行わずに示した。

引張試験体の ARW は、両ラミナともに、平均で約 3 mm、最大でも 6 mm を超えているものはなく、JAS 1, 2 等の品質基準である 6 mm 以下を全数満足するという結果であった。これは、ラミナの採材位置を、丸太外周部の比較的年輪が密な部分のみを対象としたためと考えられる。

丸太全体からラミナを採材した場合、ラミナの平均 MOE と丸太の平均 E_f は近い値を示すが (池田 1995)、採材位置を丸太外周部に限定したため、ラミナの平均 MOE はどちらも丸太の平均 E_f に比べて約 15% 高い値を示した。

丸太の E_f とグループ分け前のラミナの E_f との相関図を図-1 に示す。図中には回帰直線と相関係数 (r) を示した。両者の相関は $r=0.863$ (1% 水準で有意) と高く、外周部から採材されたラミナの E_f は丸太の E_f から十分推定できると考えられた。このことは前報 (山吉 2000) でも同様の結果が得られている。

また、NJ ラミナと FJ ラミナそれぞれにおける E_f と MOE の相関は、図-2 に示したとおり、ともに高い相関関係が認められた。

MOE を基に、ラミナの機械等級区分を JAS に準じて行ったところ、L140 : 6 枚、L125 : 14 枚、L110 : 50 枚、L100 : 46 枚、L90 : 33 枚、L80 : 34 枚、L70 : 25 枚、L60 : 4 枚、L50 : 1 枚という結果であった。JAS の対称異等級構成集成材では、スギの最外層用ラミナの機械等級は L110 が最高位であるが、本ロット中には L110 以上のものが全体の 33% を占めていた。よって、最外層に L110 を用いた強度等級 E95-F270 のスギ集成材の製造も十分可能であることが示唆された。ただし、基データとなるスギ中径材の E_f の分布形態が十分把握できていないため、今後大量のデータ蓄積を行い、さらに検討する必要がある。

以上のことから、スギ中径材の一利用方法として、中心部から柱材、外周部から集成材用ラミナを採材して各々利用する方法は、ラミナを利用する側からみれば、年輪が密で、MOEの高いラミナを集中して収集でき、かつ強度等級の高いスギ構造用集成材の製造が見込めるといった点で、大きな利点があると考えられた。

NJ ラミナと FJ ラミナの各材質の平均値および変動係数は近似しており、両ラミナの材質はほぼ同等と判断された。一般に、FJ ラミナにおける GKDR の変動係数は、NJ ラミナに比べて小さくなるが（池田 1995）、本研究では FJ 加工の際に節を切除していないため、ほぼ同等の数値であった。

表-1 供試丸太の材質

スギ丸太 (n=60)	末口径 D_t (cm)	元口径 D_b (cm)	長さ L (cm)	生材密度 ρ (kg/m ³)	動的ヤング係数 E_f (kN/mm ²)
最小値	23.0	25.5	299.8	625	5.87
平均値	24.5	27.2	306.5	779	8.65
最大値	26.2	30.5	320.5	937	11.91
変動係数	3.2%	3.9%	1.2%	8.4%	16.2%

表-2 NJ ラミナおよび FJ ラミナの材質

引張試験体の種類		密度 ρ (kg/m ³)	集中節径比 GKDR (%)	平均年輪幅 ARW (mm)	含水率 MC (%)	動的ヤング係数 E_f (kN/mm ²)	曲げヤング係数 MOE (kN/mm ²)
NJ ラミナ (n=103)	最小値	334	0.0	1.06	10.8	6.31	5.78
	平均値	406	25.8	2.73	12.0	10.03	9.77
	最大値	494	69.6	5.10	13.7	15.11	14.67
	変動係数	9.6%	61.3%	35.5%	4.6%	18.0%	18.2%
FJ ラミナ (n=110)	最小値	337	0.0	1.06	11.3	6.96	6.71
	平均値	426	31.1	2.77	12.4	10.42	10.09
	最大値	525	81.0	5.77	14.3	14.96	14.45
	変動係数	9.8%	59.9%	35.5%	4.8%	18.0%	17.9%



図-1 丸太および乾燥ラミナの動的ヤング係数 (E_f) の相互関係

**、危険率1%で有意



図-2 NJラミナおよびFJラミナのMOEと動的ヤング係数 (E_f) の関係

**、危険率1%で有意

2 引張試験結果

2.1 引張試験体の破壊形態

引張試験体の破壊形態を写真-1および2に示す。

引張試験によりつかみ区間内で破壊が生じたものは、NJラミナで6枚観察されたが、他は全て引張区間内で破壊が生じた。

NJラミナにおける破壊形態を、関与したと思われる要因別で区分すると、*GKDR*が64枚、単独の節が21枚、目切れが2枚となり、要因の分からない無欠点部での破壊が9枚となった。NJラミナでは、*GKDR*や単独節といった節絡みの破壊が多く、両方合わせると全体の83%を占めた。

一方、FJラミナも同様に区分すると、FJが72枚、FJと*GKDR*の複合が4枚、FJと単独節の複合が1枚、*GKDR*が29枚、単独節が3枚、無欠点部が1枚となった。FJラミナでは、FJ絡みの破壊が全体の70%を占めたが、*GKDR*での破壊も26%観察された。

FJラミナの中でも*GKDR*の大きなものは、FJより*GKDR*の方が弱部になると考えられ、*GKDR*で破壊が生じたものはその数値が大きいことが推測された。そこで、破壊要因で*GKDR*に区分されたラミナ29枚の*GKDR*の平均値を求めると、43.8%とFJラミナ全体の平均値31.1%より大きく、個々の値では50%を超えるものも10枚含まれていることが分かった。

また、JASの目視等級区分における各等級の*GKDR*の基準値は、1等が20%以下、2等が30%以下、3等が40%以下、4等が50%以下である。これに基づいてFJラミナを等級区分し、各等級における*GKDR*での破壊比率を調べると、1等が3%、2等が22%、3等が26%、4等が54%、等外(*GKDR*が50%を超えるもの)が56%となり、*GKDR*が大きくなるほど*GKDR*での破壊比率が高くなることが分かる。特に、*GKDR*が40%を超える4等や等外ではその破壊比率が過半数を占めた。

よって、FJ加工時に節の切除を行い、*GKDR*を小さく抑えることで、*GKDR*での破壊の比率は減らせられると思われた。しかし、*GKDR*が50%を超えるものでもFJで破壊が生じるものもあり、*GKDR*と破壊の関係は定数、定量的に明確に示すことは難しいと言える。少なくともフィンガーの形状の影響およびFJから*GKDR*までの距離の影響は考慮する必要があると思われた。

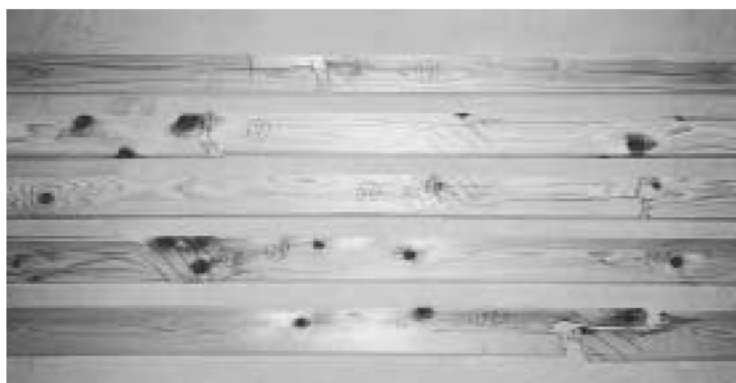


写真-1 NJラミナの破壊形態
(注) 黒斜線部分：集中節径比 (GKDR) の 15 cm 区間

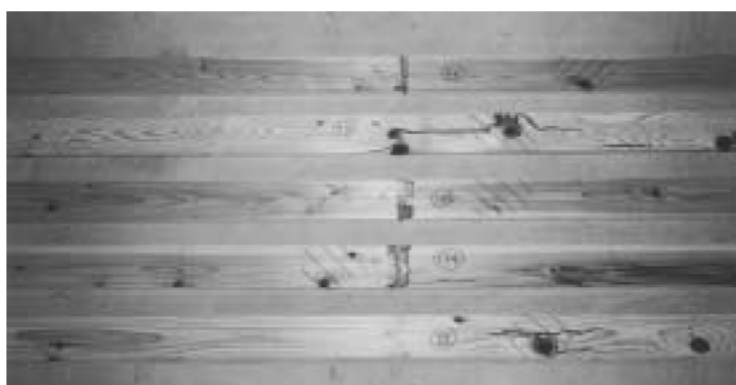


写真-2 FJラミナの破壊形態
(注) 黒斜線部分：集中節径比 (GKDR) の 15 cm 区間

2.2 引張強度の分布

引張試験において、NJ ラミナの 1 体は、試験機の最大負荷容量である 300kN に達しても破壊に至らなかったため、その 1 体の TS は最大荷重を 300kN と仮定して求めた。表-3 に引張試験の結果を示す。

FJ ラミナの TS の変動係数は、NJ ラミナのそれに比べて約 40% 小さい値を示し、たて継ぎによるばらつきの減少効果が認められた。このことは、林ら (1992a, b)、池田 (1995) および橋爪ら (1998) によっても指摘されている。また、FJ ラミナの TS を NJ ラミナの TS で除して百分率で表した値 (接合効率) は、平均値比較で 67% であった。

両ラミナの TS のヒストグラムを図-3 に示す。ヒストグラムの仮定分布として、正規分布、対数正規分布、2P ワイブル分布、3P ワイブル分布の 4 種類の分布を想定し、最尤法で推定された各仮定分布に、Kolmogorov-Smirnov (K-S) 法による適合度検定を危険率 95% で行った。なお、この適合度検定および後述のパラメトリックによる 5% 下限値の算出においては、堀江 (1997) の統計手法を基にした。

表-4 に K-S 法による適合度検定の結果を示す。各分布における d_n 値が、NJ ラミナでは $d(0.05, 103) = 0.1338$ 、FJ ラミナでは $d(0.05, 110) = 0.1295$ より小さければ、その仮定分布を否定できない、すなわちその仮定分布は適当であると判断される。その結果、NJ ラミナの 2P ワイブル分布を除く他の仮定分布では、適当であると判断された。また、NJ ラミナでは対数正規分布、FJ ラミナでは正規分布の d_n 値が最も小さく、仮定分布の中では最も適合度が高いと考えられた。この適合度の最も高かった分布曲線およびそ

のパラメータをそれぞれ図-3中に示した。また、各分布における信頼度75%の5%下限値を算出し、その値を表-3に示した。

FJラミナのNJラミナに対するTSの接合効率は、5%下限値比較では85%と、平均値比較の値より高い値を示した。ただし、このFJラミナの平均値および5%下限値には、FJ以外で破壊が生じたものの値も含まれているため、FJの純粹な接合効率とは異なると思われる。そこで、FJが破壊に関与したものだけを選出し、そのTSの平均値および正規分布による5%下限値を求めると、平均値が28.6N/mm²(変動係数

表-3 NJラミナおよびFJラミナの引張強度

引張試験体の種類	引張強度 TS (N/mm ²)				
	最小値	平均値	最大値	変動係数	5%下限値
NJラミナ (n=103)	15.6	40.2	96.3	38.5%	19.3
FJラミナ (n=110)	12.8	26.9	40.3	22.3%	16.4

表-4 引張強度分布のK-S検定結果

		正規	対数正規	2Pワイブル	3Pワイブル
NJラミナ	d _n 値	0.1186	0.0536	0.1556	0.1210
	検出力	45%	100%	34%	44%
FJラミナ	d _n 値	0.0566	0.0594	0.0834	0.0790
	検出力	100%	95%	68%	72%

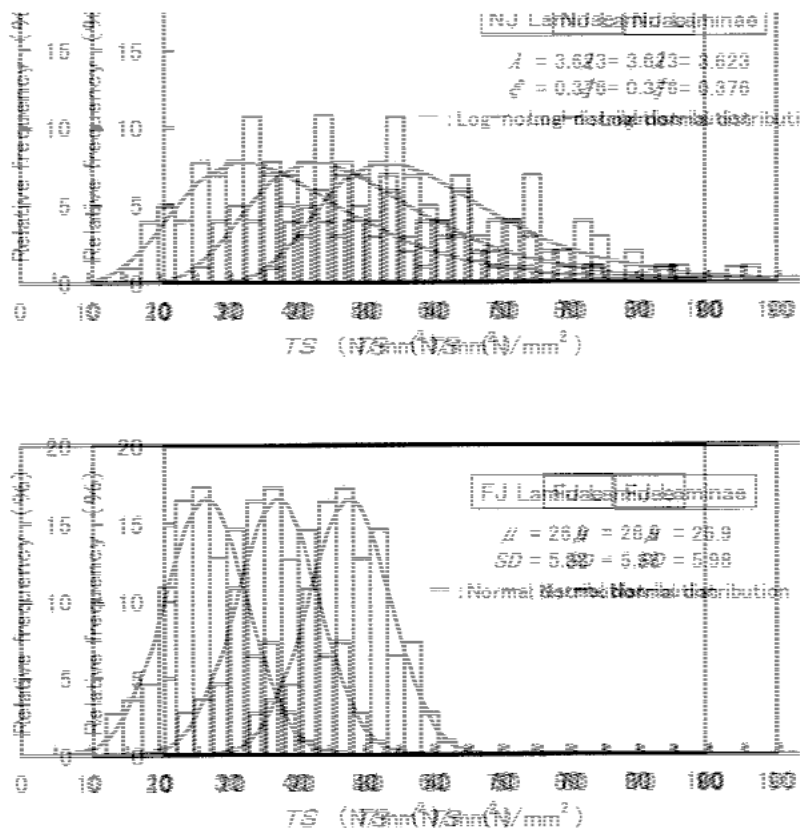


図-3 NJラミナおよびFJラミナの引張強度 (TS) 分布

8.6%), 5%下限値が19.1N/mm²となり, 全数で求めたそれらの値よりともに高い値を示した。この値を基に再度TSの接合効率を求めると, 平均値比較で71%, 5%下限値比較で99%となり, 5%下限値ではTS間に差はないと考えられた。これについては, 林ら(1992b)もたて継ぎ木材の性能を平均値比較の接合効率のみから判断することは, 節のある実大材では非常に不合理であることを指摘している。

2.3 引張試験体の材質と引張強度の関係

表-5に引張試験体の各材質とTSとの単相関係数(r)を示す。また, MOEとTSの関係を図-4, 集中節径比(GKDR)とTSの関係を図-5に示す。図中には回帰直線とその式および r を示した。

NJラミナでは, GKDR, MOEとの間で相関関係が認められ, TSの予測においては, MOEだけでなく, GKDRも重要な因子になると考えられた。このことは, NJラミナの破壊の多くが, GKDRの箇所で見られていることから推察される。

一方, FJラミナでは, GKDR, MOEに加え, ARW, ρ との間にも相関関係が認められた。FJラミナにおけるGKDRとTSの相関は, NJラミナのそれに比べて低い。FJラミナの破壊の多くがGKDRの箇所ではなく, FJで見ていることから考えると当然の結果と思われる。

両方のラミナで相関関係が認められたGKDRとMOEを説明変数とし, TSを目的変数として重回帰分析を行った。表-6に重回帰式, 重決定係数(R^2)および重相関係数(R)を示す。分析の結果, 柳川・上田(1993)および池田(1995)の報告と同様, R は個々の r に比べて大きい値を示した。よって, TSの予測においては, MOEだけでなく, GKDRも考慮した方が推定精度が上がると判断された。

表-5 引張強度と各因子との単相関係数

引張試験体の種類	密度 ρ	集中節径比 GKDR	平均年輪幅 ARW	含水率 MC	曲げヤング係数 MOE	動的ヤング係数 E_f
NJラミナ (n=103)	0.189	-0.578**	-0.167	-0.090	0.608**	0.610**
FJラミナ (n=110)	0.258**	-0.489**	-0.451**	-0.047	0.548**	0.544**

(注)** : 危険率1%で有意

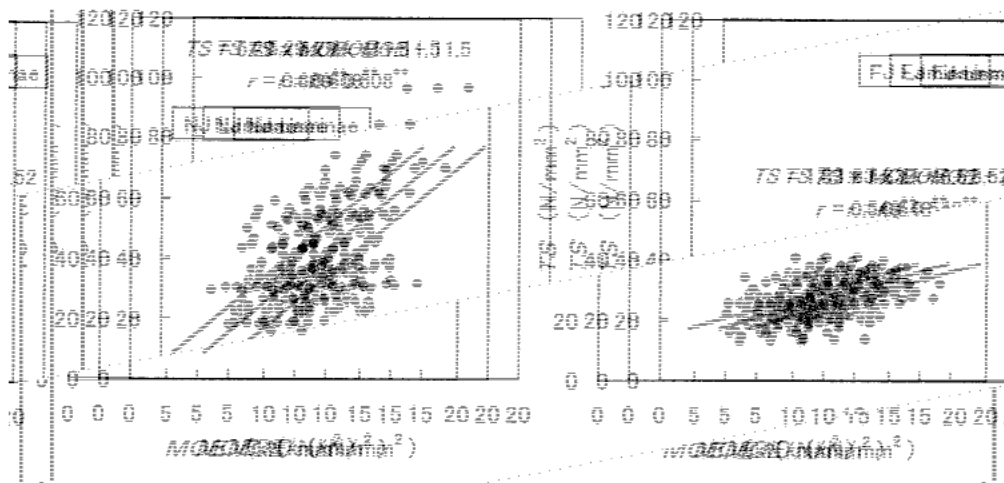


図-4 NJラミナおよびFJラミナの引張強度(TS)とMOEの関係

** , 危険率1%で有意

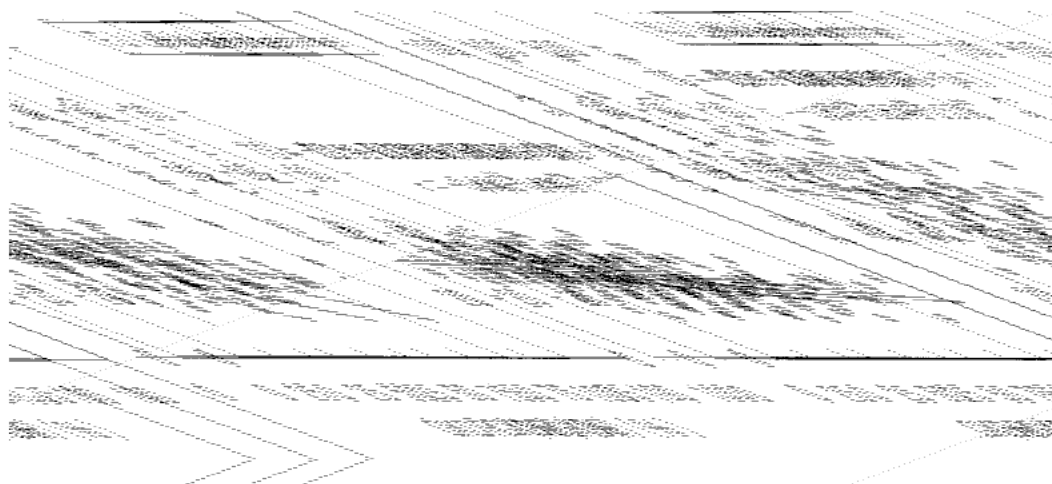


図-5 NJラミナおよびFJラミナの引張強度 (TS) と集中節径比 (GKDR) の関係

**，危険率1%で有意

表-6 引張強度とMOEおよび集中節径比の重回帰分析結果

引張試験体の種類	重回帰式	重決定係数 R^2	重相関係数 R
NJ ラミナ ($n=103$)	$TS=4.26 \times MOE - 0.44 \times GKDR + 9.90$	0.557	0.746
FJ ラミナ ($n=110$)	$TS=1.36 \times MOE - 0.10 \times GKDR + 16.19$	0.370	0.608

(注) TS：引張強度，GKDR：集中節径比

2.4 JAS 等級区分と引張強度

JAS に準じて目視等級区分を行った場合の各等級におけるMOE およびTSの統計値を表-7に示す。また，JASで示されている1等から3等までの各等級に対するMOE およびTSの適合基準値を表-8に示す。なお，目視等級区分は，調査したARWとGKDRのみを因子としたが，ARWは6mm以下という基準値を全て満たしているため，実質はGKDRのみの等級区分となった。

両ラミナにおける各等級の出現頻度は，既報の結果（小邦 1987，林ら 1992a，柳川・上田 1993）とは異なり，1等が最も高く，以降等級が下がるごとに順次低くなる傾向を示した。これは，ラミナの採集位置を丸太外周部に限定したことで，相対的に節の少ない上位等級のラミナが得られたためと考えられる。ただし，全てのラミナが4等までの等級区分に収まらず，全体の約12%は等外と判定された。

等級別のMOEおよびTSは，各等級における平均値の順位と等級の順位が必ずしも一致しておらず，NJラミナの一部の等級間では逆転が認められた。

1等から3等までの各等級におけるMOEおよびTSの平均値は，両ラミナともにJASの平均値を満足した。一方，JASの下限値を下回ったものは，MOEではNJラミナの3等で1枚（出現比率5.0%），TSではFJラミナの2等で1枚（出現比率3.7%），同3等で1枚（出現比率5.3%）確認された。ただし，JASの適合基準では，下限値は各等級内の95%以上のものがその数値以上であれば良いため，下限値未満の出現比率が5%以下の場合基準を満足したとなる。よって，TSにおけるFJラミナの3等以外は，JASの下限値を満足すると判断された。

TSにおける各等級の変動係数の平均値を求めると，NJラミナで31.3%，FJラミナで20.3%であり，それぞれ区分前の変動係数に比べて，NJラミナで約19%，FJラミナで約9%小さい値を示した。橋爪・

表-7 目視等級別のMOEおよび引張強度

引張試験体の種類	目視等級	出現頻度	曲げヤング係数 MOE (kN/mm ²)				引張強度 TS (N/mm ²)			
			最小値	平均値	最大値	変動係数	最小値	平均値	最大値	変動係数
NJ ラミナ (n=103)	1等	18%	7.38	10.36	14.67	18.5%	22.6	51.5	96.3	31.1%
	2等	13%	7.22	9.61	11.80	13.7%	18.3	37.4	54.5	26.9%
	3等	9%	5.78	9.27	11.81	19.6%	15.6	30.5	47.8	25.2%
	4等	4%	6.55	9.36	12.81	23.6%	19.0	31.6	61.5	41.9%
	等外	4%	6.98	9.11	10.54	14.8%	18.2	28.2	42.7	31.5%
FJ ラミナ (n=110)	1等	15%	7.46	11.09	14.45	16.2%	24.2	30.4	39.2	13.8%
	2等	13%	6.87	10.24	13.22	16.7%	15.6	27.7	37.5	21.8%
	3等	9%	7.39	9.91	13.84	15.5%	13.5	27.1	40.3	24.5%
	4等	6%	6.71	9.11	12.45	18.7%	14.3	22.5	32.2	22.0%
	等外	8%	6.75	8.92	11.61	13.9%	12.8	22.5	31.5	19.4%

(注) 目視等級は集中節径比による区分

表-8 目視等級に対するMOEおよび引張強度のJAS適合基準値

目視等級	曲げヤング係数 MOE JAS (kN/mm ²)		引張強度 TS JAS (N/mm ²)	
	平均値	下限値	平均値	下限値
1等	8.82	7.35	23.0	17.2
2等	7.84	6.37	21.1	15.7
3等	6.86	5.88	19.6	14.7

(注) 数値はJAS表示値をSI単位に換算した値

吉田(2001)の報告では、NJラミナにおけるその減少率は約16%であり、ほぼ同等の結果であった。これより、目視等級区分ではTSのばらつきを大幅に減少させることはできないと思われた。

次に、MOEを基に機械等級区分を行った場合の各等級におけるGKDRおよびTSの統計値を表-9に示す。なお、機械等級区分では、実際L50からL140までの範囲で等級付けが行われたが、L50またはL60に区分される試験体数はいずれも2枚以下と少なかったため、これらの等級については表記しなかった。また、通常FJラミナでは、FJ加工時に節を切除するため、目視等級区分のGKDRで等外と判定されるものは実際有り得ない。よって、表-9のFJラミナの統計値には、目視等級区分で等外と判定されたものの数値は含めなかった。また、JASで示されている各機械等級に対するTSの適合基準値を表-10に示した。

等級別のGKDRの平均値は、等級が上がるほど小さくなる傾向が見られたが、その変動係数は等級の上下に関係なく大きな値を示し、機械等級区分によるGKDRのばらつき減少は認められなかった。また、等級別のTSは、目視等級区分の結果と同様、各等級における平均値の順位と等級の順位が一致しておらず、NJラミナおよびFJラミナの一部の等級間で逆転が認められた。

各等級におけるTSの平均値は、両ラミナともにJASの平均値を満足した。一方、JASの下限値を下回ったものは、NJラミナのL90、FJラミナのL110、L90、L70で1枚ずつ確認され、各等級内における出現比率はそれぞれ5.3%、3.7%、9.1%、10.0%であった。よって、出現比率が5%を超えるNJラミナのL90、FJラミナのL90およびL70では、JASの下限値を満足しないと判断された。

TSにおける各等級の変動係数の平均値は、NJラミナで29.9%、FJラミナで16.8%であり、それぞれ区分前の変動係数に比べて、NJラミナで約21%、FJラミナで約18%小さい値を示した。なお、区分前の

表-9 機械等級別の集中節径比および引張強度

引張試験体の種類	機械等級	試験体数	集中節径比 GKDR (%)				引張強度 TS (N/mm ²)			
			最小値	平均値	最大値	変動係数	最小値	平均値	最大値	変動係数
NJ ラミナ (n=100)	L140	2	2.7	7.1	11.5	87.9%	69.7	83.0	96.3	22.7%
	L125	4	0.0	15.3	41.7	119.8%	31.1	62.0	83.9	36.4%
	L110	21	1.9	22.9	41.0	47.3%	23.4	46.6	73.6	31.9%
	L100	26	0.0	28.2	69.6	63.4%	21.9	41.7	63.2	29.0%
	L90	19	0.0	26.1	69.3	58.5%	15.6	35.8	58.6	29.0%
	L80	14	0.0	20.9	49.9	70.6%	19.0	37.1	56.0	26.8%
	L70	14	9.2	33.6	66.6	51.8%	18.2	27.3	49.2	33.5%
FJ ラミナ (n=90)	L140	4	3.1	14.8	36.8	102.9%	26.8	32.1	35.9	12.3%
	L125	10	0.0	17.4	43.6	72.3%	25.5	31.5	37.0	11.7%
	L110	27	0.0	20.9	44.2	51.9%	18.6	30.2	39.2	18.0%
	L100	17	0.0	26.3	44.1	49.1%	21.8	29.1	40.3	17.8%
	L90	11	17.0	33.1	46.7	26.8%	17.1	24.1	32.2	16.2%
	L80	11	16.5	29.1	47.3	34.6%	20.2	26.4	32.5	13.6%
	L70	10	0.0	28.6	48.4	55.7%	14.3	21.4	34.0	28.1%

表-10 機械等級に対する引張強度の JAS 適合基準値

機械等級	引張強度 TS JAS (N/mm ²)	
	平均値	下限値
	L140	31.4
L125	27.9	21.1
L110	26.0	19.6
L100	24.0	18.1
L90	23.0	17.2
L80	21.1	15.7
L70	19.6	14.7

(注) 数値は JAS 表示値を SI 単位に換算した値

変動係数は、統計に含めた試験体のみで算出し直した結果、NJ ラミナで 38.0%、FJ ラミナで 20.5%であった。これより、区分前後における TS のばらつきは、両ラミナともに平均で 2 割程度の減少と推察され、目視等級区分と同様、大幅な減少は期待できないと思われた。しかし、NJ ラミナにおける減少率では、約 35%と大きめの値を示している報告（橋爪・吉田 2001）もみられ、機械区分によるばらつきの減少度合は、サンプリングしたラミナの材質によっても異なると思われた。

目視等級区分および機械等級区分のいずれの区分法においても、各等級内の TS のばらつきは大幅には小さくならず、一部の等級において JAS の下限値を満足しなかった要因はこの点にあると考えられた。よって、JAS の下限値を全等級で満足させるためには、MOE による区分だけでなく、さらに節の要素を考慮した等級区分を行う必要があると思われた。

本研究では、等級ごとに求めた TS の統計値を用いて、等級間および JAS 適合基準値との比較検討を行ったが、各等級内のデータ数はまだまだ不十分であり、今後のデータ蓄積によりさらに検討する必要がある。

引用文献

- 天野正博. 1998. 日本の森林資源. (社団法人全国林業改良普及協会・林野庁, 監修: 林業技術ハンドブック) pp. 23-29. 社団法人全国林業改良普及協会, 東京.
- 藤原勝敏. 1998. 製材. (社団法人全国林業改良普及協会・林野庁, 監修: 林業技術ハンドブック) pp. 1468-1504. 社団法人全国林業改良普及協会, 東京.
- 橋爪丈夫・吉田孝久. 2001. スギラミナの曲げ及び引張試験. 長野県林業総合センター研究報告, (15): 40-47.
- 橋爪丈夫・吉田孝久・武田孝志・石原茂久. 1998. カラマツラミナの性質と集成材の強度性能 (第4報) ラミナの曲げ・引張強度特性. 木材学会誌, 44: 49-58.
- 林 知行・宮武 敦・星 通. 1992a. スギ複合集成材の強度特性 (第2報) フィンガージョイントされた低質ラミナとLVLから構成されたスギ複合集成材の曲げおよび引張強度. 木材学会誌, 38: 247-255.
- 林 知行・宮武 敦・星 通・山路和義. 1992b. 2プライ積層材の強度特性 (第1報) 引張強度の分布. 木材学会誌, 38: 1026-1034.
- 堀江和美. 1997. 木材強度データの確率・統計手法. 木質構造研究所, 北海道.
- 池田潔彦. 1995. 構造用大断面集成材用針葉樹ラミナの引張り強度特性. 静岡県林業技術センター研究報告, (23): 7-19.
- 小邦 徹. 1987. 熊本県産スギラミナ及び集成材の強度等級区分. 熊本県林業研究指導所業務報告書, (26): 101-111.
- 社団法人日本農林規格協会. 2000. 集成材 構造用集成材. 85 pp.
- 山吉栄作. 2000. スギ丸太内木取り位置別のラミナのヤング係数. 三重県科学技術振興センター林業技術センター研究報告, (12): 1-11.
- 柳川靖夫・上田正文. 1993. 集成材用スギラミナの引張強度. 奈良県林業試験場研究報告, (23): 1-6.