

## スギ構造用大断面集成材に関する研究(2)

誌名	静岡県林業技術センター研究報告 = Bulletin of the Shizuoka Prefecture Forestry Technology Center
ISSN	09162895
巻/号	19
掲載ページ	p. 1-15
発行年月	1991年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## スギ構造用大断面集成材に関する研究 (II)

## 曲げ保証荷重を施したスギ縦継ぎラミナの引張り及び曲げ強度性能

池田潔彦・丸山則義\*・伊藤勝啓\*\*・早村俊二\*\*

平井信之\*\*・宮武 敦\*\*\*・大森昭壽

**要 旨**：静岡県産のスギを用いた構造用大断面集成材における強度の信頼性を高めるため、県産スギ丸太とそれより製材したラミナについて材質測定をした後、動的ヤング係数により3グループに等級区分して製造した縦継ぎラミナに対して、曲げによる一定応力の保証荷重を負荷した。その後、保証荷重で破壊しなかったものに対し曲げ及び引張り試験を行い、縦継ぎラミナの強度性能を把握すると共に、保証荷重の負荷と曲げ及び引張り強度、接合効率との関係を明らかにし、保証荷重による縦継ぎラミナの性能保証手法について検討した。供試したスギ丸太の動的ヤング係数は $70 \text{ ton/cm}^2$ 以上であり、これらの丸太から構造用に適するラミナが得られた。縦継ぎラミナは曲げ及び引張り強度と静的ヤング係数との相関係数が0.72及び0.76であり、機械的等級区分により等級間に明確な強度性能の差が見られた。縦継ぎラミナにおける曲げ強度の引張り強度に対する比は0.6前後であることから、保証荷重の負荷により、曲げ及び引張り強度の性能保証の可能性がうかがわれると同時に、縦継ぎにおける製造不良や視覚的に不良なものを検出し、縦継ぎにおける接合効率を高める事が認められた。

## I. はじめに

スギ構造用大断面集成材製造において、丸太やラミナにおける機械的等級区分の重要性は有馬(2)や前報(6)で報告されたが、更に強度の信頼性を高める要因として、縦継ぎラミナ(特に引張り側に配置される外層ラミナ)の性能が大きく関与している。そのため、日本農林規格の製造基準等では縦継ぎラミナの抽出検査を行い、それらが基準以上の強度性能を保有することが規定されている(16, 18)。また、集成材の縦継ぎラミナに限らず、縦継ぎ木材に関しても、その製造基準に基づいて製造されたものに対し、一定の性能保証がなされようとしている(17)。しかし、実際に工場で生産されている縦継ぎラミナの強度性能は、工場間に著しい差が認められ、中には基準に達していないものも多く見られている(1)。

一方、構造用大断面集成材の梁材等における引張り側の外層(特に最外層)ラミナは大きな引張り力を受け、

それにより破壊する事が予測される。実大曲げ試験における大断面集成材の破壊も、引張り側に位置する縦継ぎラミナの接合部や、ラミナ材面における引張り破壊であるとされ(8, 15)、ラミナの引張り性能を重視する必要がある。そのため、外層ラミナの引張り及び曲げ強度性能や、それらの相互関係を明確にする必要があることから、北米ではラミナ及び縦継ぎラミナの引張り強度性能に関する研究や(4, 10)、集成材を構成するラミナに対し引張り保証荷重を加えた(大断面)構造用集成材の実験、研究が行われている(19)。更に、それらの研究成果をもとにグレーディングマシン、プルーフローダーといった機械が開発され、集成材工場でも実用化されはじめている(7)。日本においても近年、海老原(3)や丸山(12)により縦継ぎラミナの曲げ引張り強度性能、引張り保証荷重に関する報告がされている。また、小松ら(9)はプルーフローダーを開発し、ラミナの保証荷重試験を行っている。

\*：静岡大学農学部(現 鹿島建設㈱技術研究所)

\*\*：静岡大学農学部

\*\*\*：森林総合研究所

これらの事より本県産スギによる大断面集成材製造においても、合理的なラミナ（特に縦継ぎラミナ）の性能保証を行う手法の確立や、高い許容応力度を設定するため、丸太やラミナに関する強度データの集積が必要であり、県産縦継ぎラミナについても、保証荷重による性能保証について検討すると共に、曲げ及び引張り強度の関係を明確にする必要がある。

本試験では、集成材製造に適すると思われる丸太から得られたラミナを機械的等級区分により3つの等級に分類し、丸太とそれより得られるラミナについてヤング係数の相互関係を調べた。次に各等級内のラミナで作成した縦継ぎラミナに、曲げによる一定の保証荷重を負荷した。その後、破壊しなかったものに対して曲げ及び引張り試験を行い、保証荷重の設定手法や保証荷重と接合効率の関係、保証荷重と曲げ及び引張り強度との関係について検討した。

引張り試験を行う際、御指導いただいた森林総合研究所の海老原徹、林知行、原田真樹の各位に厚くお礼申し上げる。

## II. 試験体および試験方法

試験は図-1に示す様に、(1)丸太の材質調査、(2)丸太の製材、ラミナの作成及び材質調査、(3)ラミナの機械的等級区分及び縦継ぎラミナの作成、(4)縦継ぎラミナの保証荷重試験、(5)縦継ぎラミナの引張り及び曲げ試験、(6)接合効率試験の順で行った。(1)及び(2)は前報(6)と同様であり詳細は省略する。

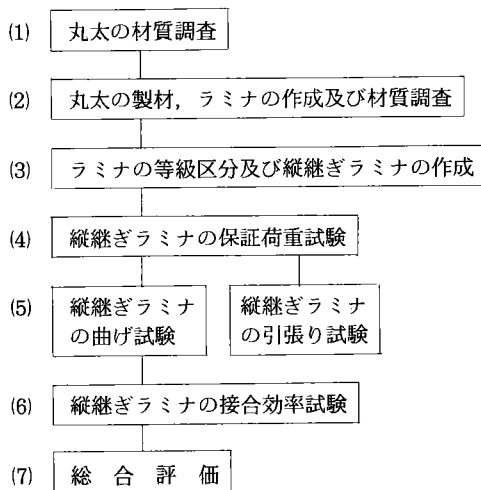


図-1 試験のフローチャート

### (1.2) 丸太及びラミナの材質調査

静岡県天竜市阿多古地区で伐採された、スギ丸太27本を供試した。これらは材長が4.05~4.2m、直径の平均が元口28cm、末口24cmの中目材である。それらの丸太について材質調査を行った後、幅125mm、厚さ26mm、長さ4mのラミナを270枚採材し、人工乾燥（蒸気式）前後の材質調査を行った。乾燥したラミナはそれぞれ材中央で2mに切断し、動的及び静的ヤング係数（以下ヤング係数と称する）を測定した。

### (3) ラミナの機械的等級区分及び縦継ぎラミナの作成

本試験で行ったラミナの等級区分は、JAS（構造用大断面集成材の日本農林規格）に記載されたラミナの品質基準によらず、ヤング係数による機械的な方法で行った。等級区分は動的ヤング係数（ $\text{ton}/\text{cm}^2$ ）のみを用い、75未満をAグループ、75以上95未満をBグループ、95以上をCグループとする3等級に区分した。等級付けされた540枚の2mラミナは更に長さ1mに切断した後、同一等級内でランダムに組み合わせて、フィンガージョイントにより接合した。また、一部は接合効率を明らかにする目的から、切断前と同一の組み合わせで縦継ぎを行った。

縦継ぎラミナのフィンガー加工及び接合にはフィンガージョインター（C55-B型 太平製作所製）を使用した。フィンガーは図-2に示す垂直タイプを用いた。フィンガーの形状はフィンガー長23mm、ピッチ3mm、傾斜角は $5.7^\circ$ とした（図-2参照、フィンガー刃は兼房製）。

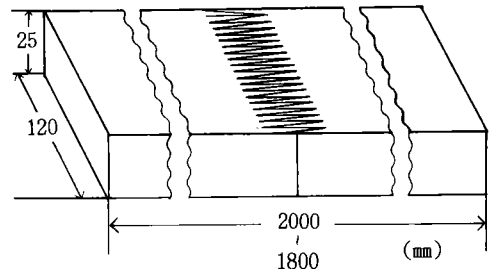
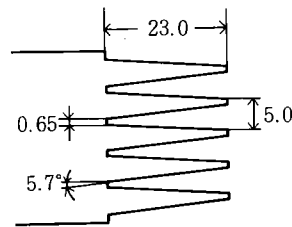


図-2 垂直型縦継ぎラミナ及びフィンガージョイントの形状

縦継ぎに際して、フィンガーの底部より10cm以内には節等の欠点を含まないようにした。圧縮圧力はA～Cグループに対し、それぞれ30, 35, 40kg/cm<sup>2</sup>とし、約15秒間圧縮した。接着剤はレゾルシノール樹脂(ディアノール大鹿振興製)を用いフィンガーの両面に塗布した。1週間室温で養生、硬化させた後、縦継ぎラミナの寸法が幅120mm、厚さ25mm、となるようプレーナーにより仕上げた。作成された縦継ぎラミナの等級別枚数はそれぞれAグループ43枚、Bグループ227枚、Cグループ270枚、合計540枚であった。

#### (4) 縦継ぎラミナの保証荷重試験

縦継ぎされた全ラミナに対して、等級に応じた曲げ保証荷重を负荷した。保証荷重応力は前報(6)の縦継ぎラミナのヤング係数と曲げ強度の関係、予備に作成した縦継ぎラミナの曲げ試験における接合効率等を考慮し設定した。その結果、保証荷重はA～Cの各グループに60kg/cm<sup>2</sup>の幅で、それぞれ220, 280, 340kg/cm<sup>2</sup>とした。保証荷重の负荷は万能強度試験機(オートグラフSG-5000B)により、荷重速度30mm/min、スパン87cm、3等分点荷重方式で行い、荷重とたわみの計測結果から縦継ぎラミナのヤング係数測定と、破壊、非破壊の確認を行った。

#### (5) 縦継ぎラミナの曲げ及び引張り試験

保証荷重负荷による損傷の有無を確認する目的から、保証荷重試験後、破壊しなかった縦継ぎラミナの動的ヤング係数を測定し、保証荷重负荷前の値と比較した。その後、同一グループ内における動的ヤング係数の分布がほぼ同等になるよう区分し、引張り及び曲げ試験に供した。曲げ及び引張り試験の供試数は、Aグループでそれぞれ21, 20枚、Bグループで99, 100枚、Cグループで136, 140枚とした。曲げ試験は荷重速度10mm/min、スパン99cmの3等分点2点荷重方式で行い、ヤング係数、比例限度力及び曲げ強度を求めた。引張り試験では引張り保証荷重試験機(NET-401型 飯田工業 容量

40ton)を用い、引張り強度を測定した。

また、引張り試験の際、保証荷重時におけるラミナの損傷度を推定する手法を得るため、宮武の手法(13)に準じて、非破壊検査等に利用されているアコースティックエミッション(AE)センサーによりAEを計測し、その適用可否について検討した。AEセンサーはAE-901S(エヌエフ製)を用い、プリアンプで増幅した後、AE解析装置(9502 U-PROT エヌエフ製)に入力した。

#### (6) 接合効率試験

接合効率試験は縦継ぎラミナの曲げ試験でフィンガー部分のみで破壊した試験体について、材面に破壊の影響が見られない事を確認し、それぞれ1mラミナを2枚採取し、節等の材質測定をした後、スパン84cmで縦継ぎラミナと同様の方法で曲げ試験を行い、曲げ強度及びヤング係数を測定し、縦継ぎラミナと比較した。

### III. 結果及び考察

#### (1) 丸太の材質

表-1にスギ丸太27本の材質を示す。年輪数は50前後、平均年輪幅が0.27cmであった。また動的ヤング係数の平均値は93.4ton/cm<sup>2</sup>であった。これらを前報(6)で用いたものと比較すると、年数は多く、平均年輪幅がやや狭くなっており、動的ヤング係数も若干高くなっている。

丸山ら(11)は、スギのように材質のバラツキが大きい樹種による構造用集成材製造では、丸太の等級区分が重要であるとしている。また丸太とそれより得られるラミナの動的ヤング係数には相関が高く、丸太に対するラミナの動的ヤング係数は約9割程度となる事から、動的ヤング係数による区分を提案している。それによれば、JASにおける特級や1級の構造用集成材を製造する場合、外層用ラミナのヤング係数の適合基準値(18)はそれぞれ95, 85ton/cm<sup>2</sup>以上であることから、丸太の動的ヤング係数で約100ton/cm<sup>2</sup>前後のものが、また内層用ラミナの最低基準は65ton/cm<sup>2</sup>であることから、丸太

表-1 ラミナ作成用スギ丸太の材質

	直 径		心 材 径		年輪数	年 輪 幅			比重	動 的 ヤング係数 (ton/cm <sup>2</sup> )
	元口 (cm)	末口 (cm)	元口 (cm)	末口 (cm)		元口	末口	平均		
平均値	30.5	26.2	17.7	13.5	52	0.29	0.25	0.27	0.60	93.4
最大値	36.0	29.0	20.8	15.0	64	0.36	0.31	0.33	0.81	115.4
最小値	28.0	23.8	14.1	12.6	41	0.24	0.20	0.22	0.47	70.6
標準偏差	1.9	1.6	1.8	0.7	6	0.03	0.02	0.03	0.10	12.6
変動係数	6.2	6.1	9.9	5.3	11	10.34	8.00	11.11	16.67	13.5

で72ton/cm<sup>2</sup>前後のものが必要になる。図-3に丸太の動的ヤング係数を度数分布で示すが、最も低いものでも70.6ton/cm<sup>2</sup>であることから、今回供試した丸太の大半が構造集材材用として区分できるとと思われる。更に丸太の動的ヤング係数で100ton/cm<sup>2</sup>以上のものがあることから、構造用集材材の外層に使用できる上質のラミナが得られる事が推定される。

(2) ラミナの材質

製材された4mラミナの乾燥前後の材質を表-2に示す。年輪幅の平均値は3.6mm、乾燥後の比重、動的及び静的ヤング係数の平均値は0.40、96.9及び94.6ton/cm<sup>2</sup>であり、これらの値を前報(6)の結果と比較すると、年輪幅は狭く、比重や各ヤング係数は共に高くなっており、材質は良質の部類に属すると思われる。図-4に動的ヤング係数の度数分布を示すが、58~144ton/cm<sup>2</sup>の広範囲な正規分布になる傾向は丸山らの結果(11)と同様であった。正規分布の5%下限値は68.7ton/cm<sup>2</sup>で、JAS

のスキ外層用ラミナ3等の最低基準値(18)である67.5ton/cm<sup>2</sup>を上回っており、ほとんどが構造集材材用ラミナとして利用が可能であると思われる。これよりスキ中目丸太から構造用ラミナを得るためには、丸太の動的ヤング係数が70ton/cm<sup>2</sup>以上が必要であると考えられ、その値は丸太を集材材用と造作用に区分する際の一つのめやすになると思われる。

尚、ラミナの動的ヤング係数は人工乾燥により約10%程度増加しており、これら平均値の差の検定では危険率5%で有意差が認められた。4mラミナを中央で切断した2mラミナの動的ヤング係数度数分布を図-5に示す。4mラミナの分布と比較してほぼ同様な分布形になり、平均値が96.8ton/cm<sup>2</sup>、5%下限値が69.2ton/cm<sup>2</sup>と近い値であった。

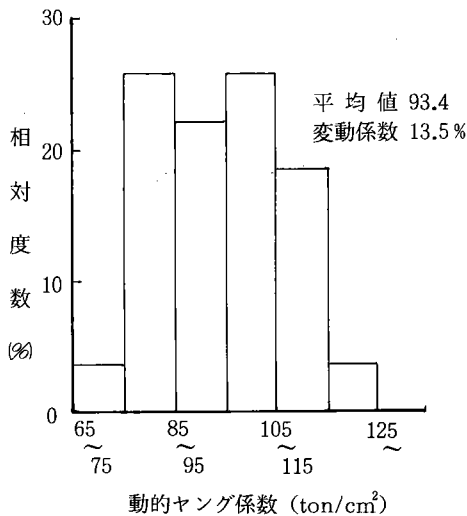


図-3 スギ中目丸太の動的ヤング係数度数分布

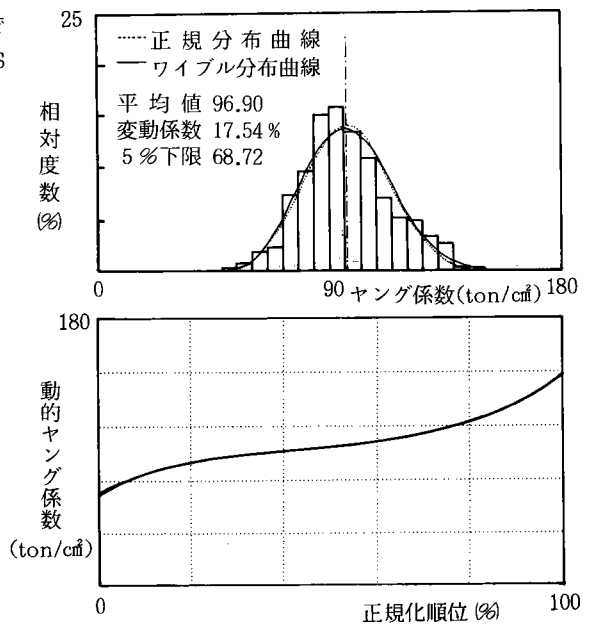


図-4 4mスギラミナの相対度数分布

表-2 4mラミナの材質

	年輪幅 (mm)	比 重		節 径 比		含 水 率		動的ヤング係数		静的ヤング係数
		乾燥前	乾燥後	最大	集中	乾燥前 (%)	乾燥後 (%)	乾燥前 (ton/cm <sup>2</sup> )	乾燥後 (ton/cm <sup>2</sup> )	乾燥後 (ton/cm <sup>2</sup> )
平均値	3.6	0.60	0.40	0.24	0.22	77	15	83.9	96.9	94.6
最大値	10.0	1.08	0.57	0.83	0.83	100	12	133.2	144.7	151.5
最小値	1.1	0.37	0.31	0.00	0.00	15	18	47.1	58.5	58.6
標準偏差	0.2	0.13	0.03	0.17	0.16	25	2	16.4	17.0	16.5
変動係数	5.0	22.50	7.50	70.83	71.07	32	15	19.5	17.5	17.4

(3) 縦継ぎラミナのヤング係数

縦継ぎ前の2mラミナ及び、同一等級内でランダムに縦継ぎしたラミナの動的ヤング係数を表-3に示す。各等級の平均値はAグループ67.4, Bグループ85.5, Cグループ

107.2ton/cm<sup>2</sup>となっている。変動係数は各等級でそれぞれ7.5, 6.8, 9.0%であった。

縦継ぎラミナの実験値は、縦継ぎした2枚の1mラミナのヤング係数を平均した値(計算値)とはほぼ同等になっている。

A, B, Cの等級における縦継ぎラミナの動的ヤング係数度数分布を図-6に示す。各等級の5%下限値は、それぞれ57.8, 73.6, 89.9ton/cm<sup>2</sup>であり、B及びCグループの値は2mラミナを機械的区分した動的ヤング係数値75, 95ton/cm<sup>2</sup>を若干下回っている。本試験ではラミナのヤング係数と動的ヤング係数の関係が極めて高い(6, 11)事から、動的ヤング係数による機械的区分を行ったが、縦継ぎラミナにおいてもヤング係数と動的ヤング係数には図-7に示すように高い相関が認められ、相関係数は0.98で、動的ヤング係数はヤング係数と比較して若干高い値を示している。これより、区分されていないラミナからJAS外層用ラミナ1級(ヤング係数95ton/cm<sup>2</sup>以上)及び2級(ヤング係数75ton/cm<sup>2</sup>以上)を得るには、動的ヤング係数の機械的区分値を、縦継ぎラミナ5%下限値から判断して約5~10%ほど高めに設定する必要があると思われる。

A~Cグループの比重の平均値は0.39, 0.40, 0.43, また集中節径比の平均値はそれぞれ0.62, 0.47, 0.40, とな

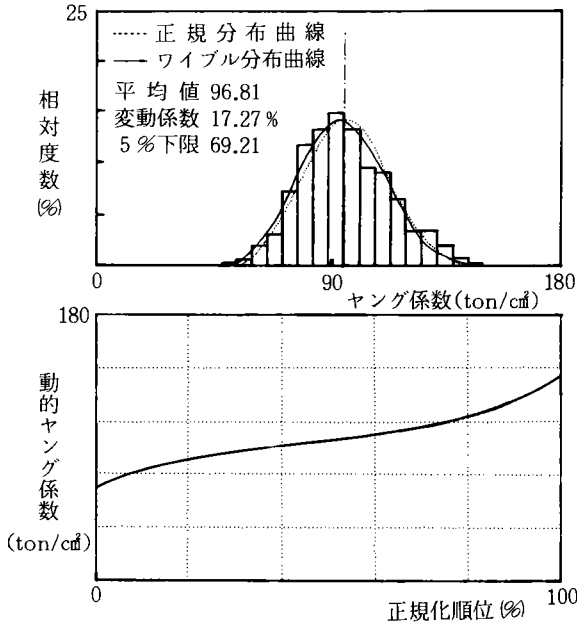
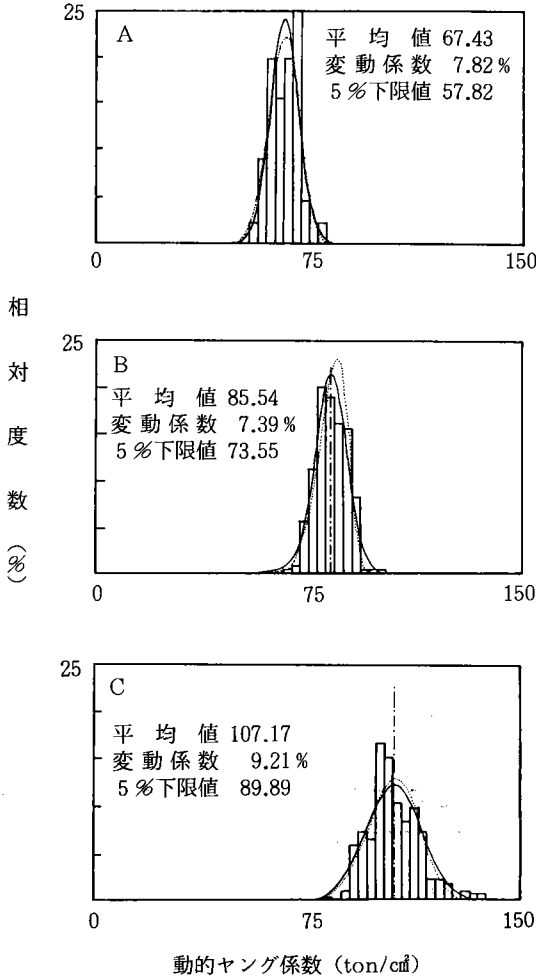


図-5 2mスギラミナの相対度数分布

表-3 縦継ぎラミナのヤング係数及び材質

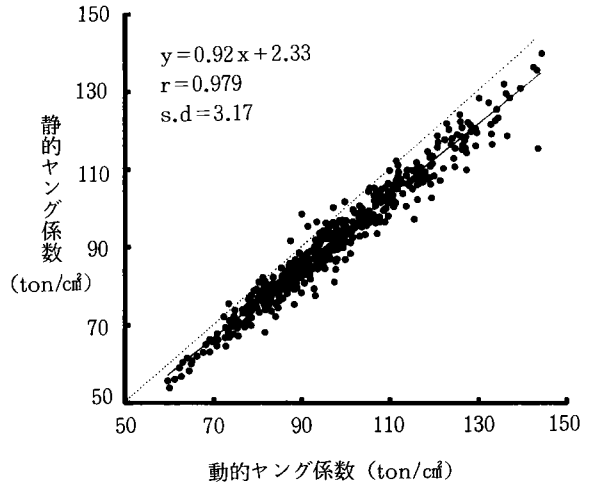
等級	2mラミナヤング係数 (ton/cm <sup>2</sup> )		縦継ぎラミナヤング係数 (ton/cm <sup>2</sup> )				比重	節径比		
	動的	静的	実験値		計算値			最大	集中	
			動的	静的	動的	静的				
A	平均値	69.4	65.3	67.4	66.1	69.2	65.3	0.39	0.35	0.62
	最大値	75.2	75.4	76.3	78.2	74.7	75.4	0.45	0.64	1.31
	最小値	59.7	54.1	56.2	55.0	59.7	55.7	0.31	0.19	0.30
	標準偏差	4.6	5.2	5.3	4.9	3.6	4.0	0.03	0.10	0.19
	変動係数	6.6	8.0	7.8	7.5	5.2	6.1	7.00	28.57	30.65
B	平均値	84.0	81.7	85.5	82.9	86.3	81.6	0.40	0.29	0.47
	最大値	118.4	107.8	101.1	99.2	99.0	95.4	0.49	0.65	1.13
	最小値	70.3	65.0	68.0	60.5	76.2	70.5	0.33	0.14	0.19
	標準偏差	6.2	6.8	6.3	5.6	4.4	4.7	0.03	0.09	0.18
	変動係数	7.4	8.3	7.4	6.7	5.1	5.8	6.50	31.03	38.30
C	平均値	109.6	102.9	107.2	105.6	109.8	103.0	0.43	0.27	0.40
	最大値	144.3	140.0	137.6	136.1	138.6	129.6	0.57	0.57	1.00
	最小値	76.5	73.5	80.8	78.1	93.8	85.6	0.33	0.00	0.00
	標準偏差	11.9	11.2	9.9	9.5	8.4	7.7	0.03	0.09	0.17
	変動係数	10.8	10.9	9.2	9.0	7.6	7.5	7.49	33.33	42.50



図一六 等級区分された縦継ぎラミナのヤング係数相対度数分布

っており、等級が上位になるに連れて材質は良質となるが、BとCグループは比較的近い値になっており、視覚的に節で等級区分を行った場合には、BやCグループのラミナの一部は等級が変動とするものと思われる。集中節径比をJAS外層用ラミナの基準値(18)(集中節径比で1級が0.125以下、2級が0.25以下、3級が0.33以下)と比較すると、CグループでもJAS3級の値よりも高くなってしまふ。それ故に大部分のものが低い等級に位置づけられスギ集成材製造上の問題点となる。そのため集中節径比の基準値を越えたラミナについても保証荷重を負荷し、保証荷重をクリアーしたのものについては、集中節径比の制限を緩和するといった事の検討が必要であろう。

(4) 縦継ぎラミナの曲げ保証荷重試験



図一七 縦継ぎラミナの動的と静的ヤング係数の関係

表一四 保証荷重試験結果

等級	試験体数	破壊数	破壊比率 (%)	破壊した際の応力 (kg/cm <sup>2</sup> )		
				最小	最大	平均
A	43	2	4.7	209	209	209
B	227	24	10.6	213	278	246
C	270	13	4.8	220	338	279

保証荷重試験の結果を表一四に示す。ここでは結果のみを述べて保証荷重の評価については次項の曲げ及び引張り強度試験で考察を行う。保証荷重の負荷により破壊した縦継ぎラミナはAグループ4.7%、Bグループ10.6%、Cグループ4.8%であった。Cグループで破壊した試験体は、接着剤の塗布量不足やフィンガー加工が不適切な場合であり、BやAグループでは上記の他に、フィンガー付近の節の存在及び節により材面の繊維傾斜が大きく乱されている場合が主であった。

破壊しないものでも、保証荷重負荷時の高い応力レベルで微小な音が発生し、材に対する損傷が若干懸念された。しかし、動的ヤング係数の低減は、保証荷重負荷後の負荷前に対する比で0.97である事から、ほとんど見られなかった(保証荷重により破壊したものは除いた)。今回不適切な要因により製造された縦継ぎラミナが、保証荷重を負荷することで検出され、更に、材面において節や目切れ等の視覚的な欠点割合が極端に大きいラミナも、保証荷重負荷により検出された事から、縦継ぎラミナに

表一五 保証荷重負荷後の縦継ぎラミナ曲げ試験結果

等級区分		曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	比例限 強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	曲げ試験 ヤング係数 (ton/cm <sup>2</sup> )	比重	比例限強度 曲げ強度	最大 荷重 (kg)	比例限 荷重 (kg)
A	平均値	290	254	64.4	0.39	0.88	215	189
	最大値	418	335	70.9	0.43	0.80	314	252
	最小値	207	203	57.4	0.31	0.98	157	151
	75 ton/cm <sup>2</sup> 未満	5%下限値	213	—	57.8	—	—	—
	標準偏差	45	35	3.6	0.03	0.78	35	27
	変動係数	15	14	5.5	7.41	0.89	16	14
	-----							
B	平均値	342	302	83.3	0.40	0.88	254	223
	最大値	478	396	120.2	0.47	0.83	356	292
	最小値	237	230	71.2	0.33	0.97	180	173
	75以上 95 ton/cm <sup>2</sup> 未満	5%下限値	262	—	73.6	—	—	—
	標準偏差	49	35	7.4	0.03	0.72	36	26
	変動係数	14	12	8.9	6.68	0.81	14	11
	-----							
C	平均値	461	407	107.6	0.43	0.88	340	300
	最大値	607	530	135.3	0.50	0.87	444	388
	最小値	328	274	76.6	0.33	0.83	205	204
	95 ton/cm <sup>2</sup> 以上	5%下限値	361	—	89.9	—	—	—
	標準偏差	60	48	10.7	0.03	0.79	44	35
	変動係数	13	12	10.0	7.58	0.90	13	12
	-----							
総平均値		402	354	94.8	0.41	0.88	297	262

に対する保証荷重の負荷は、視覚的区分も兼ね得る可能性が示唆された。

#### (5) 保証荷重を受けた縦継ぎラミナの曲げ及び引張り試験

縦継ぎラミナの等級別曲げ試験結果を表一五に、曲げ強度の度数分布を等級別に図一八に示す。曲げ強度の平均値はA～Cの各等級でそれぞれAグループ290、Bグループ342、Cグループ461 kg/cm<sup>2</sup>、また正規分布5%下限値はそれぞれ213、262、361 kg/cm<sup>2</sup>となり、明確な強度性能の差が各等級間に現れた。比例限強度の曲げ強度に対する比の平均値は各等級とも0.88と高くなっており、弾性領域内においてフィンガーで破壊する試験体がいくつか見られた。

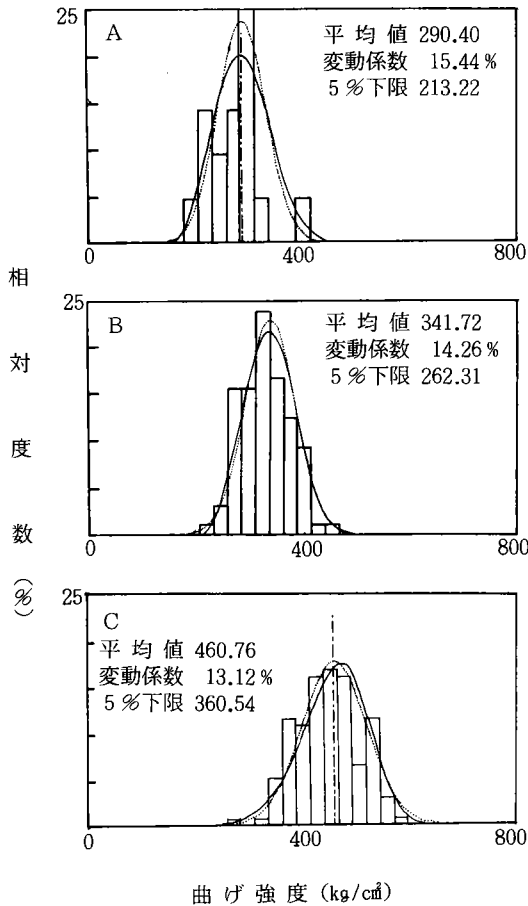
各等級における曲げ強度とヤング係数との関係を図一九に、全体におけるそれらの関係を図一〇に示す。等級別ではB及びCグループの相関係数が0.41、0.60と低く、特にAグループは試験体が少ないこともあるが、まったく相関が認められなかった。しかし、全体での相関係数は0.83と高くなっている。破壊の形態は、90%がフィンガーの接合部であった。それ以外で破壊したものは、そのほとんどがフィンガー付近の目切れや材面での破壊で

あった。

図一〇に各グループに負荷した保証荷重の応力を点線で示す。ほとんどのラミナが保証荷重の応力以上の値を示しているが、Aグループで1体、Bグループで3体が保証荷重の応力以下で破壊している。本試験では曲げ保証荷重の負荷が縦継ぎラミナの材面に対し片面のみであり、また保証荷重時と曲げ試験時での荷重負荷面が必ずしも同一ではなかった。保証荷重以下で破壊した試験体を調べた結果、保証荷重を負荷されていない材面が負荷された材面に比べ、フィンガージョイント付近の節や、繊維傾斜の乱れ等の強度低減因子が存在しており、この事が一部のラミナが保証荷重以下の応力で破壊した要因であったと考えられる。

引張り試験の結果を表一六に、等級別の引張り強度の度数分布を図一一に示す。引張り強度の平均値はA～Cグループで、それぞれ179、232、303 kg/cm<sup>2</sup>、正規分布5%下限値は120、166、200 kg/cm<sup>2</sup>であり、曲げ強度の結果と同様に各等級間に明確な差が認められた。等級別の引張り強度とヤング係数との関係を等級別に図一〇に、全体におけるそれらの関係を図一二に示す。等級別では、曲げ強度とヤング係数との関係と同様、相関係数が0.42





図一八 等級別スギ縦継ぎラミナの曲げ強度  
相対度数分布

～0.60と低い値になっている。ただし、Aグループでは曲げの場合強度とヤング係数に相関が無かったのに対し、引張りではそれらの間に相関が見られる。また、全体では相関係数が0.76となり相関は比較的高くなっている。

構造用縦継ぎ材料の引張り強度適合基準値案(17)の225kg/cm<sup>2</sup>に対して、CグループとBグループでは20%程度が、Aグループではほとんどがその値を下回っていた。しかし、ほとんどのラミナはスギの引張り材料強度(長期許容応力度の3倍)である135kg/cm<sup>2</sup>を上回っている。各等級の正規分布の5%下限値は120, 166, 200kg/cm<sup>2</sup>となり、スギ正角材の引張りの強度値(14)232kg/cm<sup>2</sup>と比較すると低い。しかし、板材であるため角材に比べ、節や目切れ等、欠点が強度性能に及ぼす影響が大きい事や、縦継ぎの接合効率等を考慮すれば、この程度の値になると思われる。

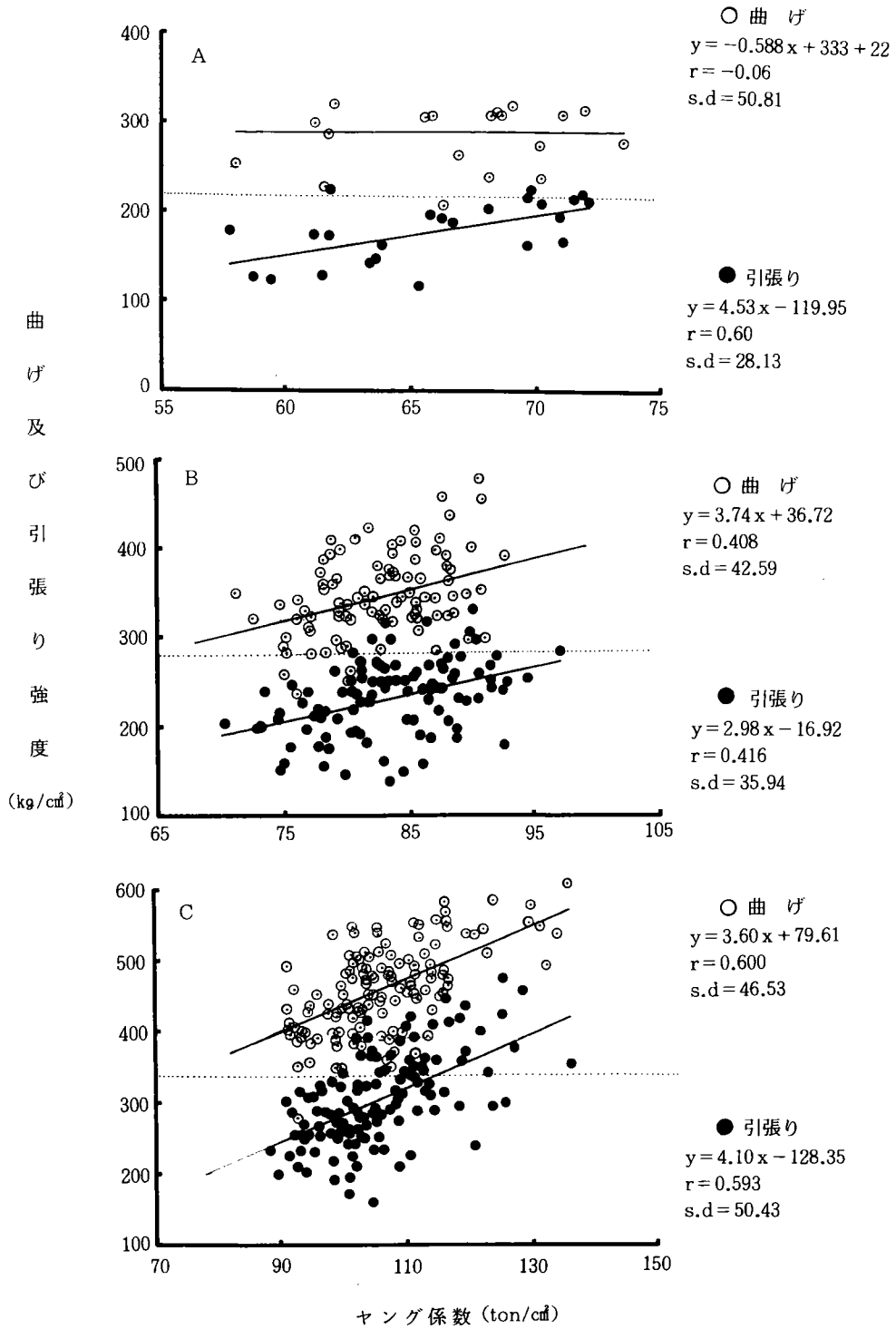
破壊形態は表一6に示すように77%がフィンガーでの破壊で、そのほとんどがフィンガー根元部におけるものであった。その他はフィンガー付近における材面での破壊であった。

引張り試験の際行ったAEセンサーによるAE計測の詳細は別に報告する予定で、ここでは簡単に結果のみを述べる。AEは、ある程度荷重が負荷されると発生し始め、荷重の増加によりAE数が増加した。さらに破壊直前には急激に発生する傾向が見られた。宮武(13)の解析手法によれば、コインシデンスの設定範囲が12μsで音圧レベル80dB以上のAEが発生した応力と引張り強度の関係には、相関がみられ、相関係数は0.59であった。これより、今後更に解析手法等を検討すれば、保証荷重試験等の強度性能の推定にも応用できる可能性が示唆された。

引張り強度と曲げ強度の関係は図一9に示すように、BやCグループでは引張りと曲げの回帰直線がほぼ平行になっており、相関の高いことが推定される。曲げ及び引張り強度を平均値と比較すると曲げ強度に対する引張り強度の割合はA～Cグループでそれぞれ0.62, 0.68, 0.66であり、丸山(12)の0.61, 江口(15)の0.72および中井(14)がスギ正角材で示した0.60と比較して、ほぼ中間の値となった。また正規分布5%下限値と比較すると、A～Cグループでそれぞれ0.56, 0.63, 0.56となり、平均値と比較した場合に比べ、やや低くなっている。一方曲げ強度とヤング係数の回帰式に引張り試験体のヤング係数を代入し、曲げ強度を計算した値と引張り強度との比は、A～Cグループで0.55, 0.61, 0.66であり、全体では曲げ強度に対する引張り強度の割合は0.63となった。このように、各等級における縦継ぎラミナの曲げ強度と引張り強度との比が0.6前後である事から、曲げ保証荷重により曲げ強度の性能保証を行うと同時に、引張り強度の性能保証(曲げ強度の1/2程度)も行える可能性がうかがえる。

Cグループの引張り強度の5%下限値及び平均値を有馬が示したラミナ引張り強度と集成材曲げ強度の回帰式(1)に代入すると、345及び460kg/cm<sup>2</sup>となり、これらの値をJASの大断面集成材の製造基準値と比較すると、特級あるいは1級レベルに相当する集成材の製造が可能であると思われる。

これらの結果から今後、保証荷重を施した縦継ぎラミナの曲げ及び引張り強度に関して更にデータを蓄積するとともに、そのラミナを用いた集成材を製造し曲げ強度性能等を検討する必要があると思われる。



図一 9 等級別の曲げ及び引張り強度とヤング係数の関係

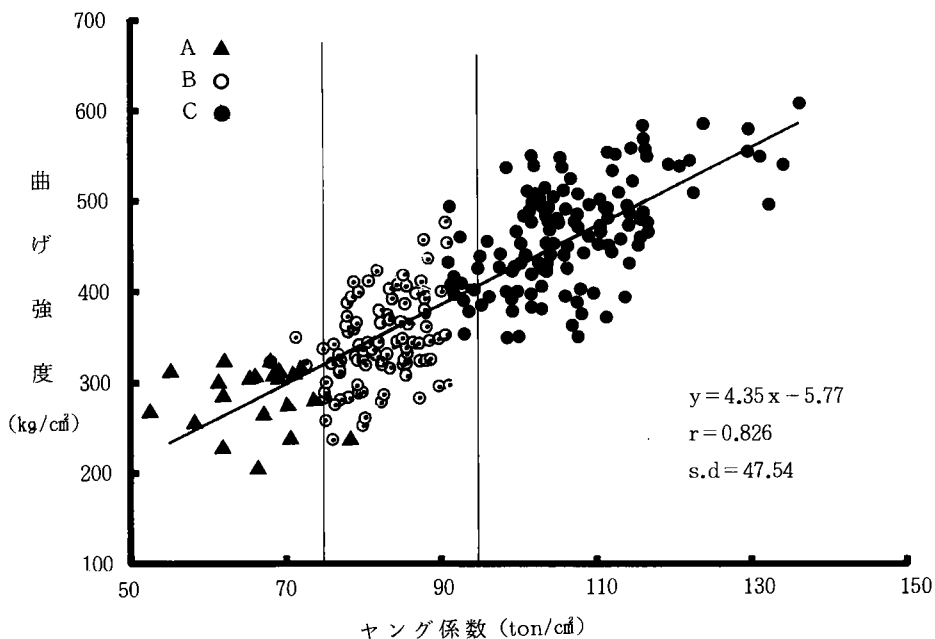
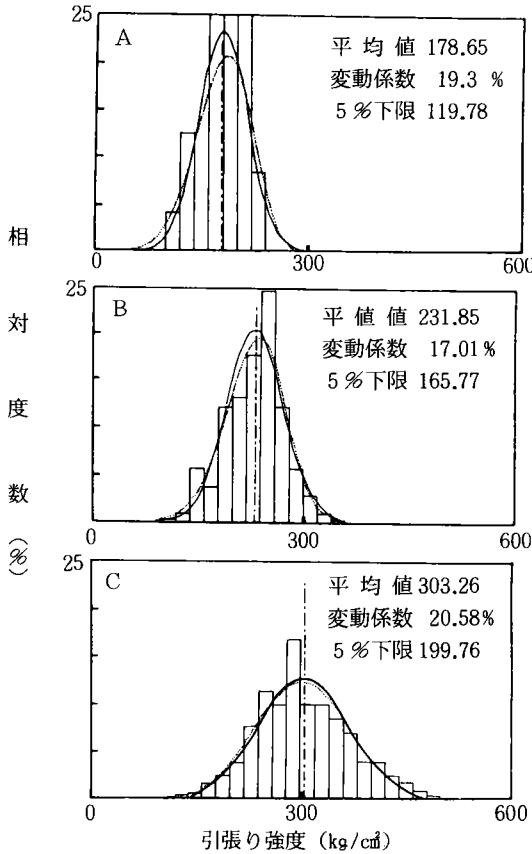


図-10 曲げ強度とヤング係数の関係

表-6 保証荷重負荷後の縦継ぎラミナ引張り試験結果

等級区分		引張り 破壊強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	動的 ヤング係数 (ton/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 に対する 比率	引張り 破壊荷重 (ton)	比重	破壊形態 (%)		
							フィンガー 根元部	フィンガー 夏材部	ラミナ 材面部
A	平均値	179	65.9	0.62	2.64	0.39	75	2	23
	最大値	225	72.1	0.68	3.32	0.45	100	10	100
	最小値	116	57.8	0.36	1.73	0.33	0	0	0
	ヤング係数 75ton/cm <sup>2</sup> 未満	5%下限値	120	57.8	0.56	—	—	—	—
	標準偏差	34	4.6	0.10	0.50	0.03	41	3	42
	変動係数	19	6.9	17.47	18.83	6.69	54	177	182
B	平均値	232	81.9	0.68	4.21	0.40	77	4	19
	最大値	329	93.4	0.84	20.00	0.49	100	20	100
	最小値	137	70.5	0.37	0.00	0.33	0	0	0
	ヤング係数 75以上 95ton/cm <sup>2</sup> 未満	5%下限値	166	73.6	0.63	—	—	—	—
	標準偏差	40	4.7	0.10	4.89	0.03	35	5	36
	変動係数	17	5.7	15.70	116.06	6.36	45	116	193
C	平均値	303	105.1	0.66	4.44	0.43	78	8	15
	最大値	472	136.2	0.96	6.79	0.57	100	50	100
	最小値	160	78.1	0.36	2.32	0.36	0	0	0
	ヤング係数 95ton/cm <sup>2</sup> 以上	5%下限値	200	89.9	0.56	—	—	—	—
	標準偏差	62	9.3	0.12	0.90	0.03	30	8	32
	変動係数	21	8.9	18.40	20.27	7.40	39	104	214
総平均値		263	92.1	0.67	4.18	0.41	77	6	17



図一十一 スギ縦継ぎラミナの引張り強度の相対度数分布

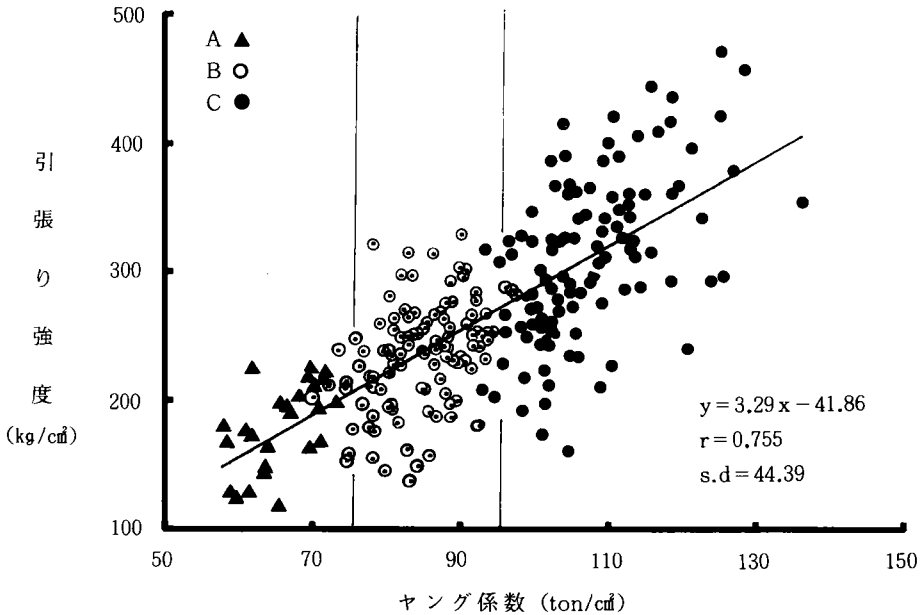
(6) 縦継ぎラミナの接合効率試験

1m ラミナの曲げ強度及びそれより計算した縦継ぎラミナの接合効率を表-7に示す。1m ラミナの曲げ強度の平均値はA~Cグループでそれぞれ、363, 432, 580 kg/cm<sup>2</sup>であり、等級間に明確な差が見られた。接合効率はA~Cグループでそれぞれ0.80, 0.80, 0.81であり、ほぼ一定となった。これらの値はフィンガー形状等が異なるものの、前報(6)や江口の結果(5)と比較しても高くなっている。この事は縦継ぎラミナの保証荷重負荷により、接着不良やフィンガー加工ミス等のため、接合効率が低くなると予測されるものが取り除かれた事に起因していると考えられる。

IV. ま と め

今回行った試験の要約を以下に示す。

- ・供試したスギ丸太及びそれより製材したラミナは、動的ヤング係数がそれぞれ93.4, 83.9ton/cm<sup>2</sup>であり、丸太の動的ヤング係数が70ton/cm<sup>2</sup>以上あれば構造用のラミナが、100ton/cm<sup>2</sup>以上あれば外層用ラミナが採取できることが示唆された。
- ・乾燥したラミナのヤング係数は平均96.9ton/cm<sup>2</sup>、変動係数17%のほぼ正規分布であり、その5%下限値は68.7ton/cm<sup>2</sup>で大部分が構造用集成材のラミナとして利用できると思われる。



図一十二 引張り強度とヤング係数の関係

表一七 縦継ぎラミナの接合効率試験結果

等級		曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			接合効率	
		縦継ぎラミナ	1mラミナ			
			1	2		平均
A	平均値	290	361	364	363	0.81
	最大	418	513	476	451	1.08
	最小	207	269	258	297	0.59
	標準偏差	45	59	66	44	0.13
	変動係数	15	16	18	12	16.25
B	平均値	342	432	430	432	0.80
	最大	478	603	580	597	1.16
	最小	237	215	291	308	0.51
	標準偏差	49	80	74	61	0.14
	変動係数	14	19	17	14	17.30
C	平均値	462	563	594	580	0.80
	最大	583	885	784	784	1.13
	最小	304	361	453	453	0.51
	標準偏差	63	104	74	74	15.38
	変動係数	14	18	13	13	54.00

- 縦継ぎラミナにおいても一般のラミナと同様、動的ヤング係数とヤング係数には高い相関が認められ、相関係数は0.97であった。
- 乾燥したラミナを動的ヤング係数によりA～Cの3等級に区分し、その中でランダムな組み合わせで作成した縦継ぎラミナの動的ヤング係数の変動係数は10%以内になり、材質の変動が減少した。
- 縦継ぎラミナに対し等級別に高いレベル（長期曲げ許容応力度の3～5倍）での曲げによる保証荷重を負荷した結果、各等級で5～10%程度が保証荷重の負荷途中で破壊した。これより、保証荷重の負荷は縦継ぎの際の接着不良やフィンガーの加工不良といった製造ミスによる強度低減の因子を検出し、更に視覚的区分の要素も含んでいる事が示唆された。
- 保証荷重をクリアしたものに対して、曲げ及び引張り試験を行った。曲げ強度はA～C等級でそれぞれ290, 341, 460 kg/cm<sup>2</sup>となり等級間で明確な差が見られた。引張り試験でも等級間に差が見られ、その強度の平均値はそれぞれ178, 231, 303 kg/cm<sup>2</sup>であった。これよりヤング係数による等級区分の有効性が得られたと思われる。
- 曲げ及び引張り強度とヤング係数の関係は等級別にみるとそれぞれ相関係数で0.5程度と低い全体では曲げで0.74, 引張りで0.78となった。

- 縦継ぎラミナの曲げと引張り強度には相関のある事が示唆され、平均値や5%下限値で比較すると曲げ強度の引張り強度に対する比は約0.6前後となり、既報や製材等の実験で示されている結果とほぼ同じ値となった。
- 縦継ぎラミナの曲げ強度は等級間に明確な差がみられたが、接合効率は等級間では差が見られず、その値は0.8と比較的高かった。この事は保証荷重により不良な縦継ぎラミナが検出されたことに起因すると推定された。
- 引張り試験の際、同時に行ったAEの測定では、一定レベルの音圧において、AEが発生した応力と引張り強度には相関がみられ、保証荷重試験等における有効性が示唆された。
- 今回供試した丸太から得られた縦継ぎラミナの接合効率や強度値（曲げ及び引張り強度、ヤング係数）の5%下限値及び平均値から製造される構造用集成材の強度を推定すると、JASの特級及び1級レベルになると思われた。
- ラミナの曲げ強度とヤング係数の回帰式を重視し、保証荷重の応力レベルを各グループ毎に設定したが、保証荷重負荷後におこった曲げ試験及び引張り試験の結果から、曲げによる保証荷重の負荷により縦継ぎラミナの曲げ強度はもとより、引張り強度の性能保証についても併せて行える可能性が示唆された。

## 引用文献

- (1) 有馬孝禮：フィンガージョイント縦継ぎ木材の現状と技術的課題。木材工業(35)：9～14, 1984。
- (2) ———・丸山則義：昭和61年度国産針葉樹多目的促進事業報告書。34pp, 静岡県集成材工業会, 静岡, 1986。
- (3) 海老原 徹・宮武 敦：フィンガージョイント材の引張り保証荷重試験。日本会大会要旨集,(40)：393, 1990。
- (4) MARX, C.M. & EVANS, J.W.: Tensile strength of laminating grades of lumber. Forest Prod. J. (38)：6～14, 1988。
- (5) 江口 篤・海本 一・中西祺周：フィンガージョイントの接合効率と構造用大断面集成材の強度性能。奈良県林試報(18)：38～45, 1988。
- (6) 池田潔彦・大森昭壽：スギ構造用大断面集成材に関する研究  
(I) 静岡県産スギのラミナ及び集成材の材質と強度性能, 静岡県林試研報(18)：25～35, 1990。

- (7) 神谷文夫：北米における MSR (マシン・ストレス・レーティング) の現状. 木材工業 (40) : 21~25, 1985.
- (8) 小松幸平：構造用集成材の強度と破壊性状, 日本住宅・木材技術センター事業報告書. 40 pp, 東京, 1990.
- (9) ———・堀江和美・北村維朗・旭川技研工業㈱：量産工場におけるフィンガージョイントラミナ (F.Jラミナ) の保証荷重試験. 木材工業 (41) : 25~28, 1986.
- (10) SAMSON, M. : Potential of finger-joined lumber for machine stress-rated lumber grades. Forest Prod. J. (35) : 20~24, 1985.
- (11) 丸山則義・有馬孝禮：昭和62年度国産針葉樹多目的促進事業報告書. 34 pp, 静岡県集成材工業会, 静岡. 1987.
- (12) ———・海老原 徹・中村 昇・鴛海四朗：工場生産されたフィンガージョイントラミナの性能 (2) 曲げ及び引張り強度. 日木会大会要旨集, (38) : 133, 1988.
- (13) 宮武 敦：スギフィンガージョイント材における AE (アコースティックエミッション) による非破壊検査. 10 pp, 森林総合研究所 (未発表), 1990.
- (14) 木材強度・木質構造研究会：構造用木材一強度データの収集と分析. 日本木材学会, 77 pp, 東京, 1988.
- (15) MOODY, R. C. : Large glued laminated timber beams with AITO 301A-69 grade tension laminations. Madison, Wis. U.S. D.A Forest Serv. Pap. FPL (146) : 30 pp, 1970.
- (16) 日本木材加工技術協会：構造用大断面集成材の製造基準, 東京, 34 pp, 1987.
- (17) 日本木材, 住宅技術センター縦接合委員会：構造用たてつぎ木材の製造基準(案)について. 木材工業 (40) : 25~31, 1985.
- (18) 日本農林規格：構造用大断面集成材の日本農林規格, 28 pp, 日本合板検査会, 東京, 1987.
- (19) PELLERIN, R.F. & STRICKER, M.D. : Tension proof-loading for large laminated beam. Forest Prod. J. (21) : 50~55, 1971.

## Studies of laminated structural timbers of large dimension size of sugi (II)

### Tensile and bending strength of proof loaded laminae with finger joint

Kiyohiko IKEDA, Noriyoshi MARUYAMA, Kathuhiro ITOU

Shunji HAYAMURA, Nobuyuki HIRAI

Athusi MIYATAKE and Shoju OHMORI

#### Summary

The purpose of this study was to improve reliabilities for the strength properties of large glued laminated timbers of sugi. A total of 27 sugi logs, and 270 laminae of four meters in length sawn from those sugi logs were investigated in their specific gravity, annual ring width, and dynamic modulus of elasticity (D-MOE) with a longitudinal vibration technique. These of laminae were cut into halves and five hundreds and forty laminae two meters in length were classified into three grades, using the D-MOE value.

D-MOE value for A grade was less than 75 ton/cm<sup>2</sup>, B grade was from 75 ton/cm<sup>2</sup> to 95 ton/cm<sup>2</sup>, C grade was 95 ton/cm<sup>2</sup> or more.

Thus classified laminae were cut into halves one meter in length, and the pairing laminae was done within the same grade and all of the pair was finger-jointed each other.

Finger-joint used was vertical type.

These finger-joints laminae were proof loaded in bending, to find out outstanding course quality of finger-joint.

The proof load was from 3 to 5 times the allowable design stress for sugi material for permanent duration, that was 220 kg/cm<sup>2</sup> for A, 280 kg/cm<sup>2</sup> for B, 340 kg/cm<sup>2</sup> for C.

Finger-joint laminae survival after proof loading were divided into two groups which have almost the same parameters of MOE distribution and tested in bending and tension parallel to grain.

The bending test was informed to the C test specified in the large glued laminated timbers of Japan Agricultural Standard (JAS).

Both qualities and mechanical properties of logs and laminae were seemed to be relatively slightly high compared with the previous work of this study.

About 5 to 10% of each grades were failed by proof loading.

The mean value of modulus of rupture (MOR) were 290 kg/cm<sup>2</sup> A, 342 kg/cm<sup>2</sup> B, 461 kg/cm<sup>2</sup> for C respectively and tensile strength values were 179 kg/cm<sup>2</sup> for A, 232 kg/cm<sup>2</sup> for B, 303 kg/cm<sup>2</sup> for C.

The difference of bending strength appeared obviously between each grades. The same bending

was seen in the tensile strength and MOE values. These results were considered the effect of mechanical grading and proof loading.

The mean and characteristics value of 0.6 were obtained for the ratio of tensile strength to MOR of finger joint laminae in each grades. The efficiency of finger joint value was about 0.8 in mean value, as finger joint laminae were compared with laminae with no end joint. The results of these experiments show that proof loading provides a means of assuring bending and tensile strength properties of each grades laminae.