

## 構造用大断面集成材用針葉樹ラミナの引張り強度特性

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
著者	池田, 潔彦
巻/号	23号
掲載ページ	p. 7-19
発行年月	1995年3月

## 構造用大断面集成材用針葉樹ラミナの引張り強度特性

池田 潔彦

池田潔彦：構造用大断面集成材用針葉樹ラミナの引張り強度特性 静林技研報23：7～19, 1995 構造用大断面集成材の製造に用いるスギ、ヒノキ、ベイツガの縦継ぎの無いラミナおよびフィンガージョイントによる縦継ぎを有するラミナの引張り試験を行った。その結果、それらの引張り強度は、樹種、縦継ぎの有無に関わらず、3パラメータワイブル分布を当てはめた場合の適合性が良かった。各樹種における引張り強度の平均値や統計的下限値の順位と”構造用大断面集成材の日本農林規格”に示される樹種区分の順位とは必ずしも一致しなかった。また、ラミナのF J加工は引張り強度のバラツキを減少させる点からその有効性が示唆された。

Ikeda, K. : Tensile strength properties of softwood glulam member. Bull. Shizuoka Pref. Forest & For. Prod. Res. Inst. 23: 7~19, 1995 The purpose of this study was to collect and evaluate tensile strength properties of no end joint laminae (NJ laminae) and finger-jointed laminae (FJ laminae) of Sugi, Hinoki and Hem-fir for large glue laminated wood members. A total of 120~170 specimens for each species, were tested in tension parallel to grain. Before the tensile test, oven-dry moisture content, using specific gravity, based on weight and volume, modulus of elasticity (MOE), and group knot ratio were measured. The following results were obtained.

- 1) MOE and tensile strength of NJ laminae of sugi and hinoki were influenced by the position in logs, and they increased from heartwood to sapwood.
- 2) A ranking of species which was evaluated by the averages and the statistical lower fifth percentile point of strength values of NJ laminae, agreed with a ranking of species group in Japanese Agricultural Standard, but the agreement was not shown in the case of FJ laminae.
- 3) The three parameter Weibull distribution showed a good overall fit with tensile strength data for both NJ laminae and FJ laminae of all species.
- 4) Correlation between tensile strength and MOE of NJ laminae and FJ laminae was found to be high for both sugi and hem-fir, but was found to be low for hinoki.
- 5) Coefficient of variation of tensile strength of FJ laminae was lower than that of NJ laminae of each species. It was suggested that finger-jointing of laminae was effective from a point of view of the strength reliability of glulam members.

## I はじめに

近年、構造用大断面集成材（以下「集成材」）は、各種性能の信頼性が高い材料として、大型木造建築物や在来軸組構法等の構造部材に利用されている。静岡県では県産針葉樹材の有効利用の一手法としてそれらの製造手法の開発や性能評価に取り組んできた(9,16)。しかし、実際の工場で生産されている集成材やその部材である縦継ぎラミナは、強度性能における信頼性が必ずしも高いとはいえない(1)。また、我が国においては、北米等に比べて集成材の実大実験による強度性能データが極めて乏しく、今後も実験経費等の点から多数の実験データを求めることは難しいと考えられる。その解決策として、シミュレーションによる集成材強度性能の予測手法が開発・提案されている(4,6)。ただし、それらシミュレーションより算出されたデータの信頼性向上を図るためには、構成部材であるラミナの試験による統計・確率データが多量に必要である(2)。特に、集成材の曲げ強度性能を精度良く予測するためには、ラミナの引張り強度に関するデータが必要となる。そのため、北米等では集成材に用いるラミナの引張り試験が多数行われている(2,3,10)。また、「構造用大断面集成材の日本農林規格」（以下「JAS」）(14)においても大幅に規格改正が検討され、ラミナに対する引張り試験の導入も検討されている(17)。一方、このような実大実験によるデータの蓄積は、今後、木質構造計算基準等に導入が検討されている限界状態設

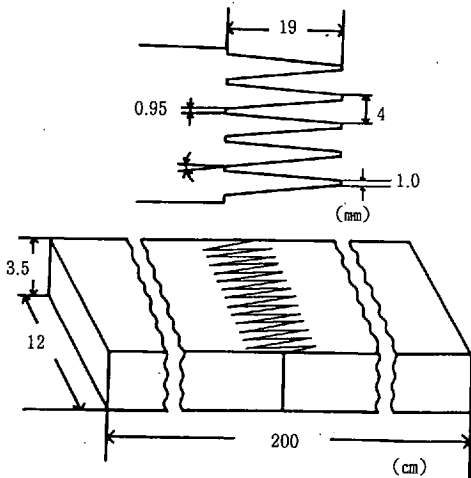


図-1 フィンガーおよびFJラミナの形状

Fig. 1 Finger joint and finger joint laminae geometry used in this study.

計法(20)にも参考になると思われる。

このような背景から本研究では、静岡県内の集成材工場で製造された針葉樹ラミナの引張り強度特性を明らかにした。本研究の一部は財団法人日本住宅・木材技術センターの「エンジニアリングウッド性能評価事業」による委託を受けて実施した。

本試験の遂行に当たり、静岡大学農学部祖父江信夫教授、早村俊二技官および同木材物理学研究室専攻生の方々には多大な御助言、御協力を頂いた。また、川島建設合資会社には試験体作製の際に多大な御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

## II 試験材料および試験方法

### 1 試験材料

供試した樹種は静岡県春野町産のスギとヒノキおよび北米産のベイツガである。

スギとヒノキでは、ラミナの原料である丸太について縦振動法(18)により動的ヤング係数を、目視計測により年輪数、平均年輪幅を測定した。それらの丸太から幅13 cm、厚さ4 cm、長さ4 mのひき板を製材した。それらの枚数はスギ170枚、ヒノキ120枚であった。その際、ひき板は丸太のどの部分から製材されたかを記録した。ひき板は目標含水率を15%に設定して蒸気式人工乾燥を行った。その後、4面モルダーにより表面平滑処理を行い、幅12 cm、厚さ3.5 cm、長さ4 mのラミナに仕上げた。

ベイツガは、県内の集成材メーカーに日常入荷している平均的なロットより120枚のKD（人工乾燥済み）ラミナを無作為に選んだ。それらは高周波式含水率計（モコ HM-520 ケット科学研究所(株)）により含水率を測定し、その値が15%前後であることを確認した。それらは4面モルダーにより表面平滑処理を行い、幅12 cm、厚さ3.5 cm、長さ4 mの寸法に仕上げた。

スギ、ヒノキ、ベイツガの4 mラミナは長さが2 mになるよう半分切断し、その際著しい丸身、腐れ、乾燥による狂いがあるものは試験体から除去した。その後、2 mラミナは、縦振動法(18)により動的ヤング係数（以下「Ed」）を計測し、Edの平均値と変動係数がほぼ等しい2つのグループに分けた。一方を縦継ぎの無いラミナの引張り試験体（以下「NJラミナ」）とし、残りの方をフィンガージョイントラミナの引張り試験体（以下「FJラミナ」）作製用とした。FJラミナは長さ2 mのラミナを横切り盤で半分切断し、切断した材相互の木口面をフィンガー加工した後に再び接着接合して作製した。その際、フィンガー加工する木口部分から10 cm以内に存

表-1 供試原木丸太の材質  
Table 1. Qualities of Sugi and Hinoki logs.

		年輪数		動的 ヤング係数 Ed (tonf/cm <sup>2</sup> )	平均年輪幅		密度 Density (g/cm <sup>3</sup> )	直径 Diameter		
		元口 Annual rings number	末口		元口 Annual rings width	末口		元口 Top	末口 Bottom	平均 Average (cm)
スギ Sugi	平均値	46	40	77	0.37	0.38	0.74	33	29	31
	変動係数 COV	19	22	18	23	24	18	10	10	10
ヒノキ Hinoki	平均値	71	58	97	0.22	0.23	0.54	31	26	28
	変動係数 COV	15	16	12	14	18	11	9	10	9

Legend: Ed: Dynamic modulus of elasticity with tapping method, COV :Coefficient of variation.

表-2 NJラミナおよびFJラミナの材質  
Table 2. Qualities of NJ laminae and FJ laminae.

試験体 Specimen	含水率		気乾比重		集中節径比		平均年輪幅		MOE		Ed	
	平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数
	Average (%)	COV (%)	Average (%)	COV (%)	Average (%)	COV (%)	Average (mm)	COV (%)	Average (tonf/cm <sup>2</sup> )	COV (%)	Average (tonf/cm <sup>2</sup> )	COV (%)
スギ NJ Sugi NJ	13	11	0.40	10	21	95	4.51	37	75	17	83	18
ヒノキ NJ Hinoki NJ	14	9	0.49	8	21	90	2.20	26	109	12	115	12
ベイツガ NJ Hem-fir NJ	11	7	0.44	13	18	48	1.82	63	106	17	122	17
スギ FJ Sugi FJ	15	11	0.40	7	21	59	5.10	36	75	18	82	13
ヒノキ FJ Hinoki FJ	15	12	0.48	12	21	63	2.90	22	103	15	111	18
ベイツガ FJ Hem-fir FJ	11	8	0.44	10	19	53	1.73	53	114	16	126	16

Legend: NJ :No end joint laminae, FJ : Finger-joint laminae, Ed : See Table 1.

在する節は切除した。FJラミナの作製に用いたフィンガージョイントの形状および寸法を図-1に示す。フィンガー長は19mm、フィンガーの接合形式は垂直型とした。フィンガー加工した材の接合は、ハネムーン型接着剤(スーパーディアノール DF-1000 大鹿振興(株))を用い、フィンガー片面にレゾルシンノール樹脂主剤、片面にホルムアルデヒド液状硬化剤を塗布した後、スギでは60 kgf/cm<sup>2</sup>、ベイツガおよびヒノキでは70kgf/cm<sup>2</sup>で圧縮した。接着圧縮後における養生期間は5日間とした。これらFJ試験体の作製は川島建設合資会社集成材工場で行った。

2 材質調査および引張り試験

作製したスギ、ヒノキ、ベイツガのNJラミナおよびFJラミナは、縦振動法によるEdおよび小荷重負荷(スパン180cm,中央集中荷重方式)による曲げヤング係数(以下「MOE」)を測定した。また、現行のJASに準じて目視により集中節径比、平均年輪幅を計測した。比重

は重量を体積で除した値とした。その後、NJラミナおよびFJラミナは引張り保証荷重試験機(NET-4000 飯田工業(株))を用いて引張り試験を行った。引張り試験では、引張り両端支持点の距離を100cmとし、引張り強度および破壊位置・形態を目視により調べた。試験体がFJラミナの場合にはFJ部分が試験機の両端支持点間の中央付近に位置するように調整した。引張り負荷応力は毎分80kgf/cm<sup>2</sup>前後とし、破壊に至るまでに要する時間は3~7分とした。引張り試験終了後、速やかに破壊の影響が無い試験体の部分から小試片を切り出し、全乾法によりそれらの含水率を測定した。

III 結果および考察

1 原料丸太および引張り試験体の材質

表-1に引張り試験体の原材料であるスギおよびヒノキ丸太の材質を示す。また、表-2に引張り試験体の材

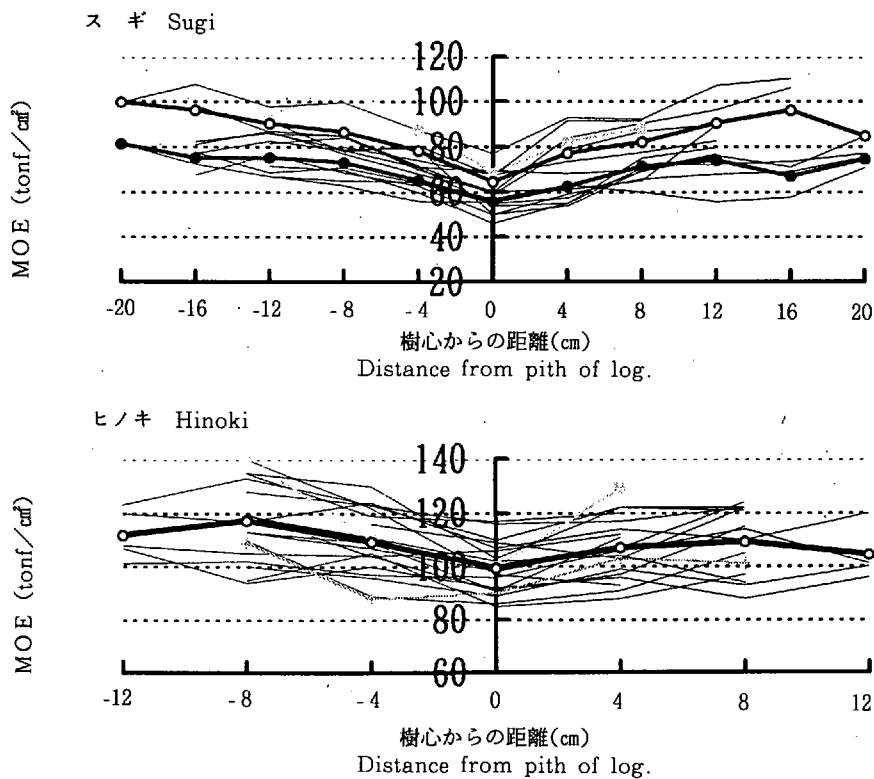


図-2 NJラミナのMOEと丸太採材位置との関係

(注) 太線は平均、但しスギでは○が丸太Ed 75 tonf/cm<sup>2</sup>以上の平均  
●が丸太 75 tonf/cm<sup>2</sup>未満の平均

Fig. 2 The distribution MOE in the sawn part from log for NJ laminae.

Note: Bold lines represent average, ○Sugi log Ed over 75 tonf/cm<sup>2</sup>, ●Sugi log Ed under 75 tonf/cm<sup>2</sup>

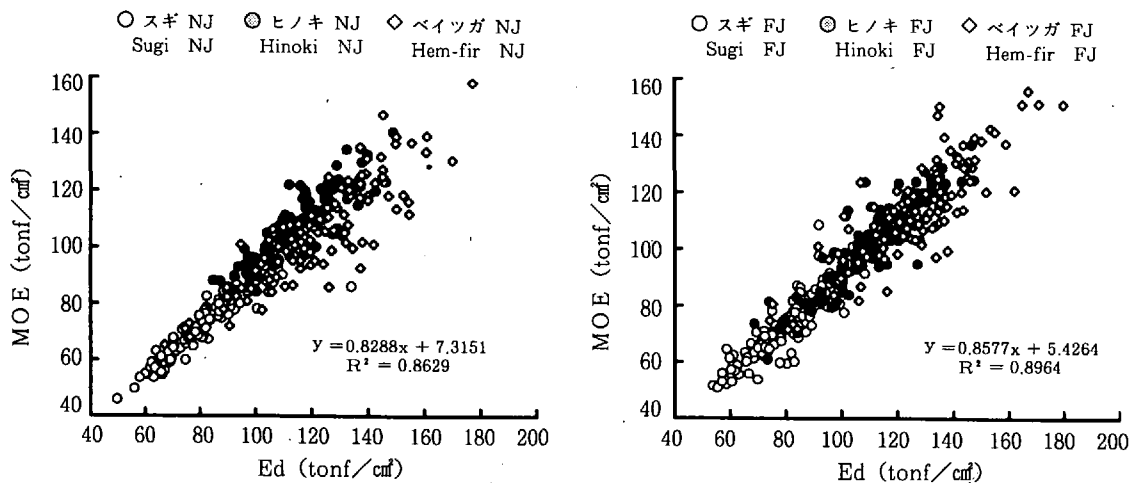


図-3 NJラミナおよびFJラミナのMOEとEdの関係 (注) R<sup>2</sup>は決定係数

Fig. 3 Relationship between MOE and Ed of NJ, FJ laminae.

Note: R<sup>2</sup>: Coefficient of determination.

表-3 NJラミナおよびFJラミナの引張り強度  
Table 3. Tensile strength of no end joint laminae and finger-joint laminae.

試験体 Specimen	引張り強度 Tensile strength					引張り強度基準値(推定値) Standard value in JAS(estimate value)		
	平均	変動係数	標準偏差	最大	最小	特級	1級	2級
	Average (kgf/cm <sup>2</sup> )	C.V. (%)	S.D. (kgf/cm <sup>2</sup> )	Max (kgf/cm <sup>2</sup> )	Min (kgf/cm <sup>2</sup> )	Special grade	First grade (kgf/cm <sup>2</sup> )	Second grade
スギ NJ Sugi NJ	295	33	98	656	135	305	271	237
ヒノキ NJ Hinoki NJ	384	41	159	855	138	356	322	271
ベイツガ NJ Hem-fir NJ	336	41	137	127	729	339	305	254
スギ FJ Sugi FJ	255	27	68	522	109	305	271	237
ヒノキ FJ Hinoki FJ	299	25	76	468	146	356	322	271
ベイツガ FJ Hem-fir FJ	302	35	106	630	89	339	305	254

Legend: S.D: Standard deviation, C.V.: Coefficient variation.

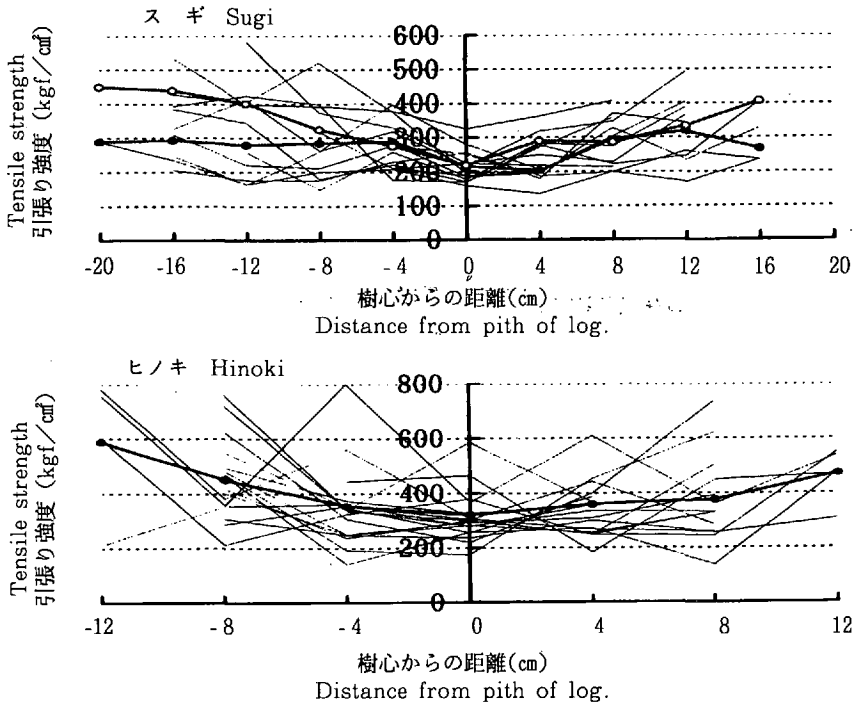


図-4 NJラミナの引張り強度と丸太採材位置との関係

(注) 太線は平均、但しスギは○が丸太Ed 75 tonf/cm<sup>2</sup>以上の平均  
●が丸太Ed 75 tonf/cm<sup>2</sup>未満の平均

Fig. 4 The distribution MOE in the sawn part from log for NJ laminae.

Note: Bold lines represent average, ○Sugi log Ed over 75 tonf/cm<sup>2</sup>,  
●Sugi log Ed under 75 tonf/cm<sup>2</sup>

質を示す。

丸太元口の年輪数の平均値はスギが46、ヒノキが71であった。丸太のEd(tonf/cm<sup>2</sup>)の平均値はスギが77、ヒノキが97であった。引張り試験体の含水率は、各樹種ともに平均値が15%以下でありその変動係数も10%前後で

あった。そのため、各試験体における含水率の違いがMOEや引張り強度に及ぼす影響は少ないと思われ、以下の本文や図表のMOEや引張り強度は含水率による補正(7)を行わずに示した。

表-1に示した丸太のEdと表-2に示したNJラミナ

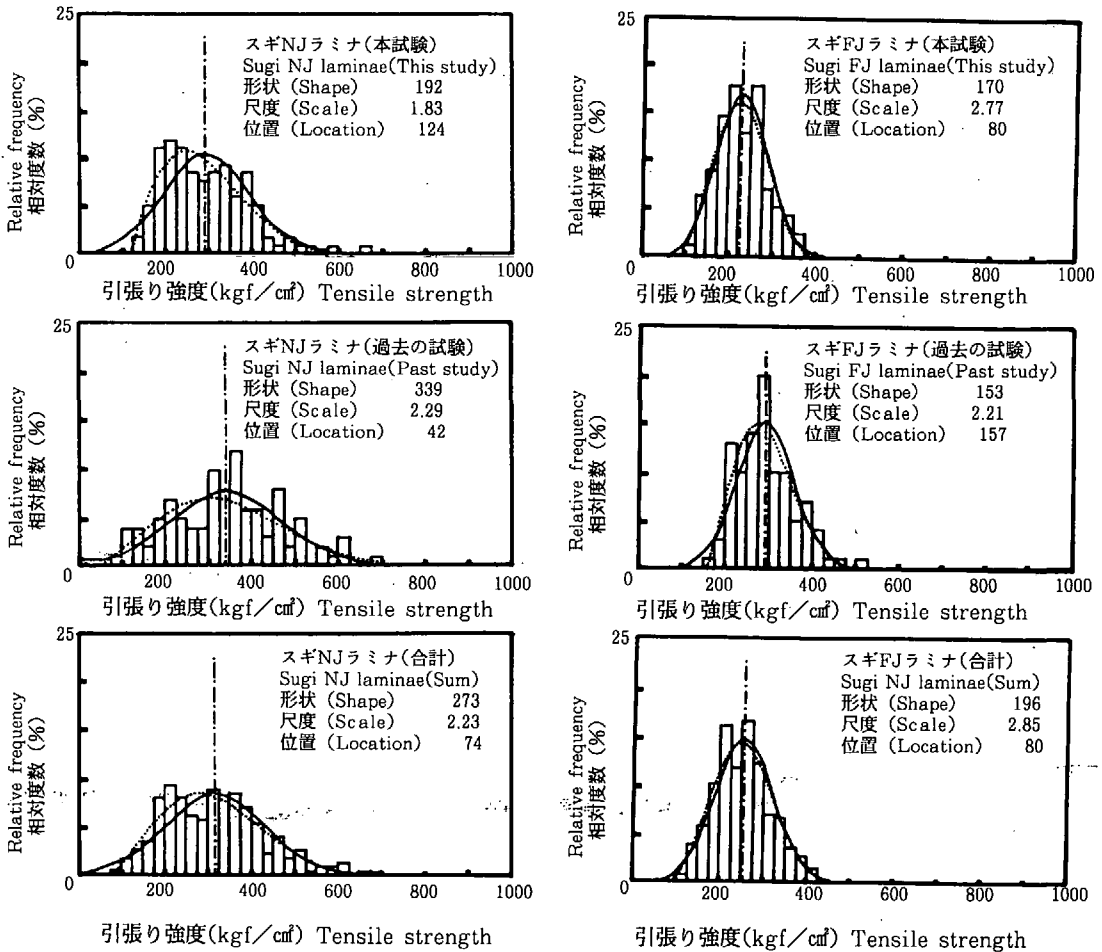


図-5 スギNJラミナおよびFJラミナの引張り強度分布

Fig. 5 Histogram with overlaid fitted Normal and 3P-Weibull density distribution function for Sugi laminae tensile strength.

(注) ——— は正規分布曲線 - - - - - は3Pワイブル分布曲線  
 Note : ——— Normal distribution - - - - - 3 P-Weibull distribution

およびFJラミナのMOEとを比較した。両者の平均値や変動係数はスギ、ヒノキ共に近い値となり、過去の試験でもスギに関して同様な結果が得られている(9)。図-2にスギおよびヒノキのNJラミナについて、丸太採材箇所における樹心からの距離とMOEとの関係を示す。スギでは、個体間にバラツキがみられるが、樹心部からの距離が大きくなるにつれてMOEも大きくなる傾向がみられ、平均値では、丸太外周部より作製したNJラミナは樹心部付近のそれに比べて、MOEが30~50%大きな値になっている。ヒノキはスギに比べてそれらの関係が不明瞭であるが、MOEの平均値では丸太外周部のラミナは樹心部付近のそれに比べて10~15%大きな値とな

た。

今後、このようなデータの蓄積により、原料丸太のEd等から集材製造用ラミナのMOE分布を予測するシミュレーションモデルの作成が可能と思われる。また、静岡県産針葉樹材による効率的な集材製造のためには、そのモデルの作成は不可欠と思われる。

表-2に示した各樹種における材質について平均値で比較した。NJラミナでは、集中節径比はスギとヒノキでほぼ等しく、ベイツガではそれよりやや小さかった。また、平均年輪幅はスギ、ヒノキ、ベイツガの順に小さくなり、スギはベイツガの2倍以上であった。MOE( $\text{tonf/cm}^2$ )は、スギが75、ベイツガ106、ヒノキ109であり、

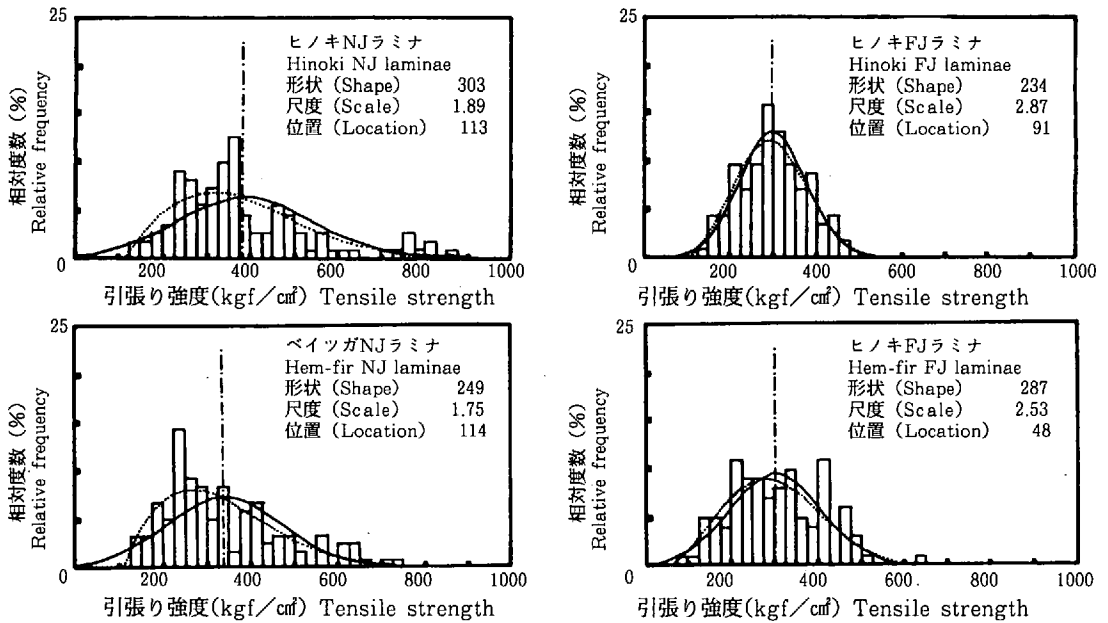


図-6 ヒノキ、ベイツガNJラミナおよびFJラミナの引張り強度分布

Fig. 6 Histogram with overlaid fitted Normal and 3 P-Weibull density distribution function for Himoki and Hem-fir laminae tensile strength.

(注) ——— は正規分布曲線 - - - - - は3Pワイブール分布曲線  
 Note : ——— Normal distribution - - - - - 3 P-Weibull distribution

表-4 引張り強度の統計的下限值

Table 4. Distribution estimates of lower tensile strength.

試験体 Specimen	引張り強度5%下限値 Lower 5th percentile			引張り強度許容限界値 75% tolerance limit, 5th percentile		
	正規分布 Normal	3Pワイブール分布 3P Weibull (kgf/cm <sup>2</sup> )	ノンパラメトリック Nonparametric	正規分布 Normal	3Pワイブール分布 3P Weibull (kgf/cm <sup>2</sup> )	ノンパラメトリック Nonparametric
	スギNJ Sugi NJ	123	146	151	105	140
ヒノキNJ Hinoki NJ	116	176	180	94	169	172
ベイツガNJ Hem-firNJ	108	159	171	89	154	166
スギFJ Sugi FJ	142	149	150	132	145	143
ヒノキFJ Hinoki FJ	171	174	163	161	167	159
ベイツガFJ Hem-firFJ	124	136	139	110	128	136

現行のJASにおける樹種区分の順位と同じくスギが最小、ヒノキが最大であった。それらのMOEをJASの集成材外層用ひき板の3等適合基準値(スギ75、ベイツガ85、ヒノキ95)と比較すると、各樹種ともに基準値以上であった。

FJラミナの各材質をみると、平均値および変動係数がNJラミナのそれにほぼ近似しており、各樹種間における材質の大小関係はNJラミナと同様であった。ただ

し、スギ、ヒノキでFJラミナにおける集中節径比の変動係数がNJラミナの値に比べて小さくなっているのは、FJラミナを製作する際にFJ付近の節を切除したためと思われる。

図-3に全樹種をひとまとめにしたNJラミナおよびFJラミナのEdとMOEとの相関を示す。両者間には、ベイツガのNJラミナでややバラツキが見られるものの、NJラミナ、FJラミナ共に高い相関関係が認められた。



正規確率順位(百分位数)で5%, 50%, 95%にあたるMOEの値と、その値を回帰分析で得られた直線回帰式に代入して求めたEdの値とを比較した。その結果、NJラミナ、FJラミナ共に、回帰式によるEdは各有分位点におけるMOEに比べて5~13%大きな値となった。

2 NJラミナおよびFJラミナの引張り強度

表-3に引張り試験の結果を示す。NJラミナの引張り強度(kgf/cm<sup>2</sup>)の平均値はスギが295、ヒノキが384、ベイツガが336であった。またFJラミナのそれは、スギが255、ヒノキが299、ベイツガが302であった。各樹種における引張り強度平均値の順位とJASの樹種区分に示される順位(ヒノキ>ベイツガ>スギ)とを比較すると、NJラミナでは両者の順位が同じであったが、FJラミナではヒノキとベイツガにおいて両者の順位が一致しなかった。

現行のJASや"構造用大断面集成材の製造基準"(13)では、外層用ラミナまたは縦継ぎラミナに対する抜き取り検査に引張り試験が導入されておらず、引張り強度の適合基準値は規定されていない。そのため、JAS外層用ラミナおよび縦継ぎラミナの曲げ強度の適合基準値の算出根拠に準じて(11)、引張り強度適合基準値を引張り長期許容応力度(構造用集成材:繊維方向)の3.39倍と推定し、表-3に示した。その値と本試験の平均値を比

較すると、NJラミナではヒノキが特級以上、スギおよびベイツガは1級以上となり、FJラミナではいずれの樹種でも2級以上であった。

図-4に、スギおよびヒノキのNJラミナにおける、丸太採材箇所(樹心)からの距離と引張り強度との関係を示す。両者とも個体間のバラツキが大きく、明瞭な関係は認められないが、平均値では、スギ、ヒノキ共に樹心部から外周部に推移するにつれて引張り強度が大きくなる傾向がみられる。外周部付近から得られたNJラミナの引張り強度平均値は樹心部から得られたそれに対して、スギでは85~105%、ヒノキでは40~80%大きな値となった。

スギのNJラミナおよびFJラミナの引張り強度のヒストグラムを図-5に、ヒノキおよびベイツガのそれを図-6に示す。また、これらの図には、引張り強度データに対する正規分布および3パラメータワイブル分布(以下3Pワイブル分布)の確率密度曲線も表示した。なお、スギについては、以前に筆者らが実施したNJラミナおよびFJラミナ(試験体寸法、FJ接合条件等はやや異なる)の引張り試験結果(20)、およびそれらと本試験結果を加えた結果も併せて示した。NJラミナでは各樹種ともにFJラミナに比べてバラツキが大きく現れ、変動係数で比較するとNJラミナはFJラミナに比べて5~10%

表-5 FJラミナの破壊形態  
Table 5. Destruction type of FJ laminae in tensile test.

樹種 Species	材面 Lumber surface	破壊形態別の比率(%) Ratio of destruction type in tensile test			
		FJ	節 + FJ Knot + FJ	節 Knot	目切れ Grain
スギ Sugi	5	71	3	18	3
ヒノキ Hinoki	5	38	17	35	5
ベイツガ Hem-fir	8	37	12	34	9

表-6 引張り強度とMOEおよび集中節径比の重回帰分析結果  
Table 6. Analyses of multiple regression between tensile strength and MOE, GKR.

試験体 Specimen	決定係数 Coefficient of determination	重回帰式 Multiple regression line		
スギ NJ Sugi NJ	0.462	y = 4.50	MOE - 0.99	GKR - 17.50
ヒノキ NJ Hinoki NJ	0.312	y = 4.74	MOE - 3.13	GKR - 65.23
ベイツガ NJ Hem-fir NJ	0.220	y = 3.50	MOE - 0.21	GKR - 30.17
スギ FJ Sugi FJ	0.514	y = 2.75	MOE - 0.93	GKR + 44.76
ヒノキ FJ Hinoki FJ	0.328	y = 1.76	MOE - 2.65	GKR - 173.11
ベイツガ FJ Hem-fir FJ	0.483	y = 3.49	MOE - 1.67	GKR - 61.63

(注) GKRは集中節径比を示す。 Note: GKR: Group knot ratio.

程度高い。

コルモゴロフスミルノフの方法を用いて、分布当てはめに対する適合性の検定を行った(15)。その結果、FJラミナでは、いずれの樹種でも、正規分布および3Pワイブル分布当てはめの適合性は良いが、パラメータ数の多い3Pワイブル分布が正規分布に比べて適合性が良い結果となった。NJラミナでも、3Pワイブル分布の適合性は良かったが、正規分布のそれはヒノキ、ベイツガで悪い結果となった。

各樹種のNJラミナおよびFJラミナについて、ノンパラメトリックによる方法(順位法)(7,12)および関数法(7,12)を用い、5%下限値および信頼水準75%における

5%下限値を許容限界値(7,12)として算出した。関数法の算出には正規分布および3Pワイブル分布を適用した。それぞれの方法によりその結果を表-4に示す。正規分布による5%下限値、許容限界値をみるとNJラミナではスギがヒノキやベイツガよりも大きい。3Pワイブル分布による5%下限値や許容限界値は、NJラミナではJASの樹種区分と同じ順位になるが、FJラミナではスギとベイツガの順位が逆転した。ノンパラメトリックによる方法では3Pワイブル分布による場合とほぼ同様な結果になった。

次に、引張り強度におけるNJラミナとFJラミナとの差異について比較した。まず、表-2に示した集中節径

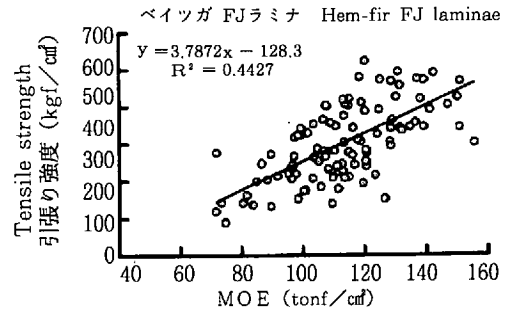
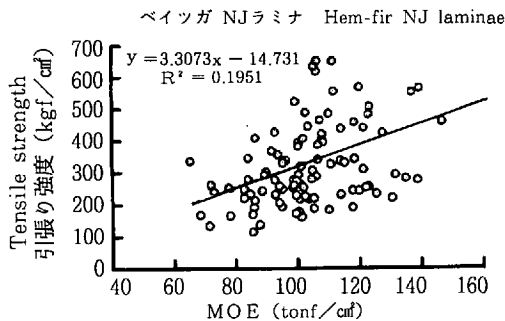
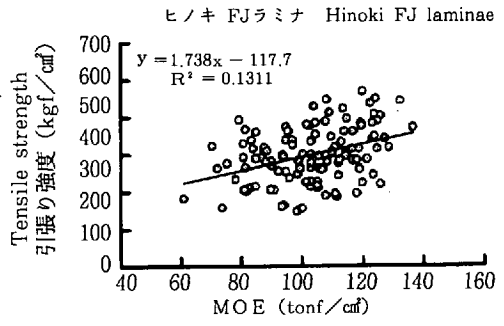
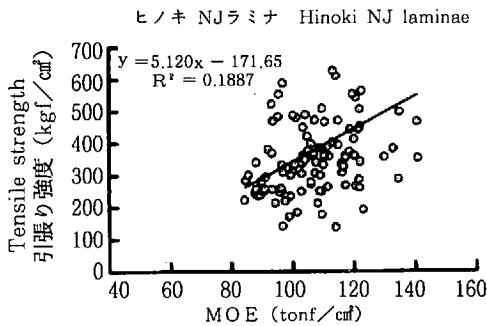
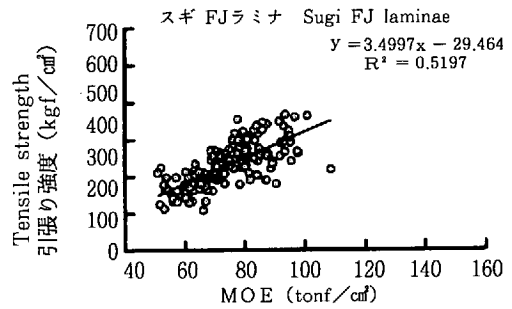
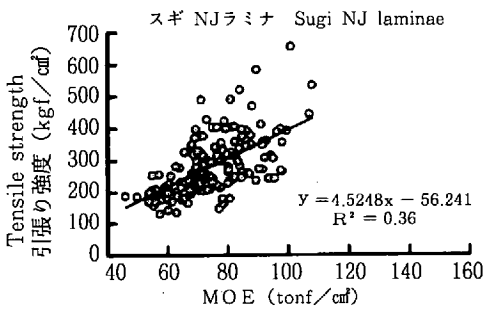


図-7 NJラミナおよびFJラミナの引張り強度とMOEの関係 (注) R<sup>2</sup>は決定係数

Fig.7 Relationship between tensile strength and MOE of FJ laminae, NJ laminae.

Note: R<sup>2</sup>: Coefficient of determination.

比, MOE等の各材質について, NJラミナとFJラミナとの平均値の差の検定および分散の検定を行った。その結果, 一部の樹種, 一部の材質で, 両者の間には平均値や分散の有意差が認められたものの, 概ね各材質の平均値や分散は近似した。そのため, 両者間の材質の違いが引張り強度に及ぼす影響は小さいと思われた。そこで, 表-3に示した平均値で比較すると, FJラミナはNJラミナに比べて, スギが14%, ヒノキが22%, ベイツガが10%低くなっている。一方, 変動係数はいずれの樹種でもFJラミナがNJラミナよりも小さくなっている。次に両者の統計的下限值(3Pワイブル分布で算出)を比較すると, 5%下限値は, スギではFJラミナがNJラミナ

よりも大きくなり, ヒノキでは両者の値が近似した。一方, ベイツガではFJラミナがNJラミナよりも17%小さな値となり, 樹種の違いにより両者の関係に差異がみられた。ただし, FJラミナの平均値や統計的下限值にはFJ部以外で破壊が発生した試験体の値も含まれている。そこで, 引張り試験を行ったFJラミナを破壊形態別に分類した。表-5にFJラミナの破壊形態別の比率を示す。スギでは全試験体のうち71%がFJ部で破壊したが, ヒノキやベイツガのそれは約40%であり, FJ部+節部の複合による破壊を合わせても49%および55%であった。FJ部で破壊したものとそれ以外で破壊したものとに分けて, 引張り強度の平均値や統計的下限值を算出すると,

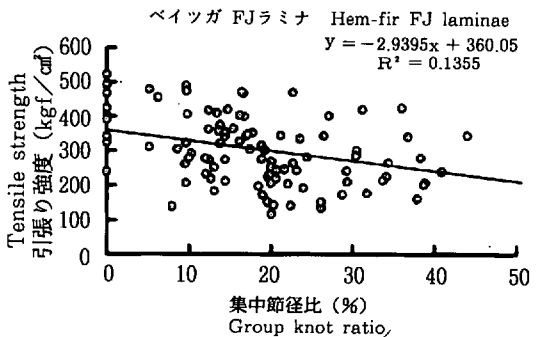
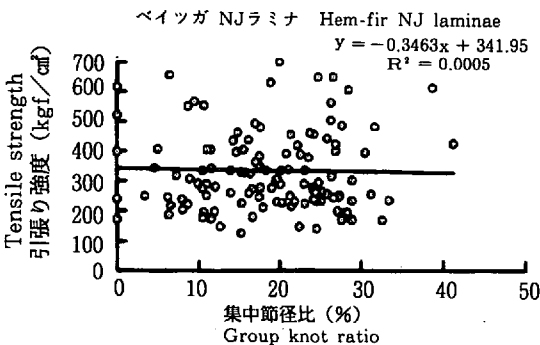
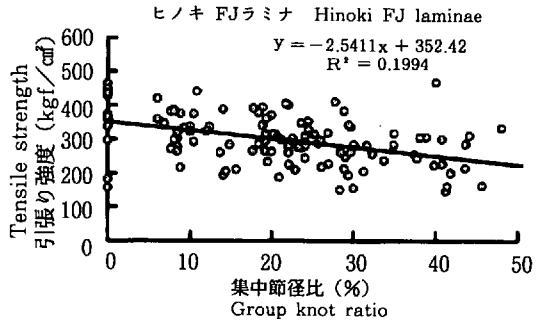
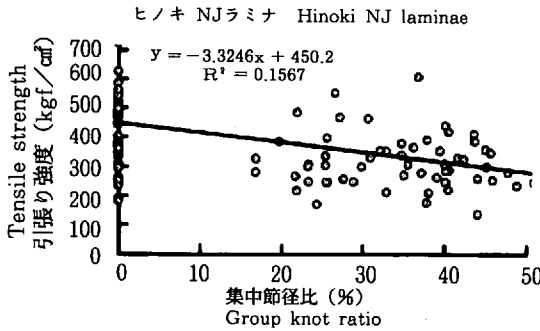
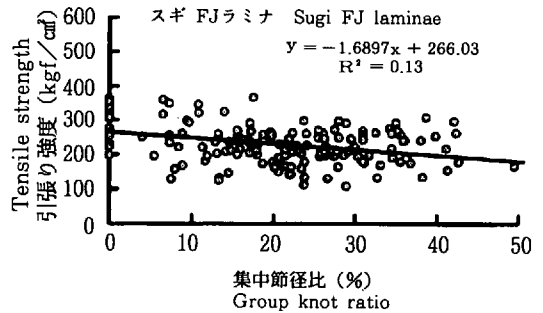
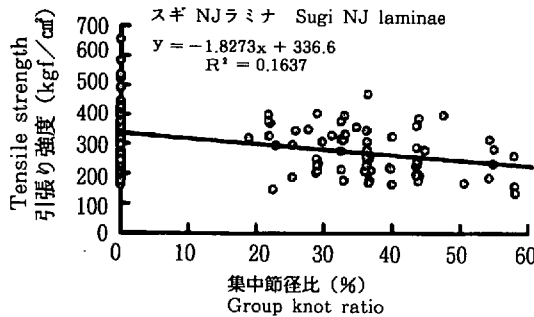


図-8 NJラミナおよびFJラミナの引張り強度と集中節径比の関係 (注)  $R^2$ は決定係数  
 Fig.8 Relationship between tensile strength and group knot ratio.  
 Note:  $R^2$ : Coefficient of determination.

表-7 集中節径比により等級区分したデータ  
Table 7. Visual grading of tensile strength of laminae.

試験体 Specimen	等級 Grade	NJラミナ No end joint laminae			FJラミナ Finger-joint laminae			改正JAS(案)				
		曲げヤング係数 MOE		引張り強度 Tensile strength		曲げヤング係数 MOE		引張り強度 Tensile strength				
		平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数			
		Average	C.V.	Average	C.V.	Average	C.V.	Average	C.V.			
		(tonf/cm <sup>2</sup> ) (%)		(kgf/cm <sup>2</sup> ) (%)				区分 比率		区分 比率	JAS(Amened bill)	
										Tensile strength	Average	
										Average	Average	
スギ Sugi	1等 First	79	16	335	33	14	83	20	274	23	10	235
	2等 Second	77	10	324	28	2	71	15	214	24	16	215
	3等 Third	70	13	282	26	6	71	15	216	21	9	200
	4等 Forth	73	19	264	29	9	78	15	227	22	7	-
	等外 Outer grade	66	15	218	24	4	該当データ無し		No data			-
ヒノキ Hinoki	1等 First	110	13	451	38	14	100	18	344	21	9	285
	2等 Second	106	15	385	59	3	105	16	298	21	10	265
	3等 Third	107	10	339	29	4	104	11	269	26	6	245
	4等 Forth	107	12	317	28	9	104	13	255	29	6	-
	等外 Outer grade	108	10	300	45	1	該当データ無し		No data			-
ベイツガ Hem-fir	1等 First	106	19	340	45	10	122	12	366	30	8	265
	2等 Second	105	17	328	37	16	111	17	285	33	13	245
	3等 Third	105	18	335	43	7	114	18	258	39	3	235
	4等 Forth	114	17	424	45	1	107	18	261	35	4	-
	等外 Outer grade	該当データ無し		No data			該当データ無し		No data			-

表-8 曲げヤング係数により等級区分したデータ  
Table 8. Mechanical grading of tensile strength of laminae.

試験体 Specimen	改正JAS(案) 等級 Grade	NJラミナ No end joint laminae			FJラミナ Finger-joint laminae			改正JAS(案)				
		曲げヤング係数 MOE		引張り強度 Tensile strength		曲げヤング係数 MOE		引張り強度 Tensile strength				
		平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数			
		Average	C.V.	Average	C.V.	Average	C.V.	Average	C.V.			
		(tonf/cm <sup>2</sup> ) (%)		(kgf/cm <sup>2</sup> ) (%)				区分 比率		区分 比率	JAS(Amened bill)	
										Tensile strength	Average	
										Average	Average	
スギ Sugi	L100以上	114	16	432	30	7	116	10	323	21	10	245
	L90	94	3	313	26	7	96	3	277	17	10	235
	L80	84	4	292	26	12	84	4	256	16	10	215
	L70	75	4	245	29	14	74	4	243	17	9	200
	L60以下	63	9	139	26	13	62	8	179	20	11	-
ヒノキ Hinoki	L140以上	137	3	491	40	2	135	2	407	12	1	320
	L125	122	2	501	40	4	125	3	357	20	4	285
	L110	114	3	375	31	5	114	3	299	20	4	265
	L100	105	3	373	38	6	104	3	295	17	10	245
	L90以下	95	5	306	36	6	87	10	274	26	8	235
ベイツガ Hem-fir	L125以上	132	9	346	42	5	133	7	371	28	7	285
	L110	115	3	335	39	4	114	3	297	30	10	265
	L100	104	3	328	40	7	105	3	284	27	3	245
	L90	95	3	340	48	4	96	3	240	26	2	235
	L80以下	82	8	333	38	5	80	8	171	34	2	215

それらは各樹種共にFJで破壊したものがそれ以外の箇所でも破壊したものよりも大きな値となった。ベイツグではFJ部で破壊した平均値は表-2に示したNJラミナのそれよりも大きな値となった。これらの結果から、NJラミナの引張り強度に対するFJラミナのその比（FJ接合効率）は、樹種の違い、あるいは節径比の違い（視覚等級の違い）により異なると考えられた。

図-7にNJラミナおよびFJラミナの引張り強度とMOEとの関係を示す。引張り強度とMOEとの決定係数を各樹種間で比較すると、NJラミナ、FJラミナ共にスギ>ベイツグ>ヒノキの順に大きかった。両者の関係は樹種により差異が認められ、特にヒノキでは引張り強度とMOEとの相関関係は低かった。

同様に両者の相関関係について、NJラミナとFJラミナの決定係数を比較すると、スギおよびベイツグではFJラミナがNJラミナよりも相関関係が高いが、ヒノキでは低くなっている。そのため、両者の95%下限信頼限界直線を用いてMOEから引張り強度の予測を行った場合、スギやベイツグでは、FJラミナがNJラミナよりもその精度は高くなるが、ヒノキではそれらの精度は変わらないと考えられる。

以上の結果より、集材材用ラミナの製造におけるFJ加工は引張り強度の平均値を低減させる。しかし、集中節等の欠点を除去することにより引張り強度のパラッキは減少するため、材料としての信頼性はむしろ高まると考えられる。このことは林ら(5)が行ったスギの引張り試験でも認められている。ただし、ラミナの引張り強度に対する節等欠点の質・量、位置およびFJとの関連性は、定量的または定性的に明確になっておらず、今後の課題であろう。

図-8に集中節径比と引張り強度との関係を示す。各樹種ともに統計的に有意な相関関係は認められたものの、MOEとの関係に比べて相関関係は低い。ただし、ヒノキFJラミナでは、集中節径比のほうがMOEよりも引張り強度との相関関係は高かった。過去に行われた縦継ぎの無いスギラミナの引張り試験では(5,21)、引張り強度との決定係数はMOEよりも集中節径比のほうが大きい結果も示されている。

引張り強度を目的変数に、MOEおよび集中節径比を説明変数として重回帰分析を行った。表-6に重回帰決定係数および回帰式を示す。いずれも重回帰決定係数の値は、樹種、縦継ぎの有無に関わらず、単回帰決定係数の値よりも大きい。

これらの結果より引張り強度を予測する際には集中節径比を考慮したほうが推定精度が向上すると思われる。

### 3 JAS等級区分と引張り強度

表-7にJASの視覚等級区分によって等級付けされたラミナのMOEおよび引張り強度の平均値および変動係数を示す。なお、等級を決定した視覚因子は、NJラミナ、FJラミナの試験体作成の際に、腐れや丸身等の欠点を有するものは予め試験体から取り除いてあったため、大半が集中節径比であった。NJラミナではスギやヒノキで等外が見られたが、FJラミナでは全て等級付けされた。NJラミナでは、MOEにおいて等級間の差異がほとんどみられず、引張り強度は各等級の順位が平均値の順位と同じであったが、ベイツグではそれらの順位が逆転している。FJラミナでも、MOEで等級間に差異が認められず、引張り強度ではスギやベイツグにおける等級の順位と平均値の順位が一致していない。

表-8にMOEにより機械等級区分を行った場合の結果を示す。その等級区分は現在検討されている集材材の改正案(17)に基づいて行った。FJラミナでは各樹種ともに等級の順位と平均値の順位が同じになったが、NJラミナではベイツグで両者の順位が必ずしも一致しない結果となった。

改正が検討されている構造用集材材および構造用大断面集材材のJASでは、ひき板の引張り試験の導入が検討され、その適合基準値（平均値、下限値）が案として示されている(17)。表-8にその値を示した。それらと機械等級区分した値とを比較すると、樹種、縦継ぎの有無に関わらず、機械等級区分した場合の値はそれらの基準値を上回った。

視覚等級区分、機械等級区分における各等級の変動係数と区分前のそれとを比較すると、いずれの区分法でもNJラミナおよびFJラミナともに区分前・後には明確な差異がみられず、等級区分により引張り強度のパラッキは減少しなかった。

ただし、以上の区分による等級間の強度差異の判定や適合基準値との比較を行うには、各等級に属するサンプル数が十分な量ではなく、今後更にデータを蓄積して検討することが必要である。

## IV ま と め

スギ、ヒノキ、ベイツグについて縦継ぎの無い(NJ)ラミナおよびフィンガージョイント(FJ)ラミナの引張り試験を行い、以下の結論を得た。

1) スギ、ヒノキのNJラミナの曲げヤング係数や引張り強度は、それらの丸太採材部位によって異なり、

丸太樹心部から外周部に移行するにつれて大きくなる傾向が認められた。

2) 各樹種の引張り強度の平均値や統計的下限値を比較すると、樹種間の順位は、NJラミナでは現行のJASに示される樹種区分の順位と同じになったが、FJラミナでは必ずしもその順位と一致しなかった。

3) 引張り強度に対する確率密度関数の当てはめでは、樹種、縦継ぎの有無によらず、正規分布に比べて3パラメータワイブル分布の適合性が良かった。

4) NJラミナおよびFJラミナにおける引張り強度とMOEとの相関関係は、樹種により差異が認められ、スギやベイツガでは高くMOEによる機械等級区分が有効と考えられたが、ヒノキでは低かった。

5) FJラミナの引張り強度の変動係数はNJラミナのそれに比べて小さく、節を除去しFJ加工を行うことは、引張り強度のバラツキを減少させ、材料強度の信頼性を向上させる点で有効であると考えられた。

### 引用文献

- (1) 有馬孝禮(1984)フィンガージョイント木材の現状と技術的課題. 木材工業, 35:9~14.
- (2) Catherine, M. Marx · James, W. Evans(1986) Tensile strength of AITC 302-24 grade tension laminations, Forest Prod. J., 36:13~19.
- (3) ——— (1988) Tensile strength of laminating grades of lumber, Forest Prod. J., 38:6~14.
- (4) 林知行・宮武敦(1991)確率モデルによる集成加工材料の性能予測(第5報) 5プライ集成材の強度予測確率モデル, 木材学会誌, 37:904~911.
- (5) ———・宮武敦・星通・山路和義(1992) 2プライ積層材の強度性能(第1報) 引張強度の分布. 木材学会誌, 38:1026~1034.
- (6) 平島義彦・山本幸雄・鈴木滋彦(1994)集成材の強度計算モデルおよび確率モデル, 木材学会誌 40:1172~1179.
- (7) 飯島泰男(1988)構造用木材-強度データの収集と分析. 77pp, 日本木材学会木材強度・木質材料研究会.
- (8) 小松幸平(1990)構造用集成材の強度と破壊性状, 40pp, 日本住宅・木材技術センター事業報告書.
- (9) 池田潔彦・伊藤勝啓(1994)引張り保証荷重を負荷したフィンガージョイントラミナによるスギ構造用集成材の曲げ強度性能, 静岡林技セ研報, 22:9~18.
- (10) Marcel Samson(1985) Potential of finger-jointed lumber for stress-rated lumber grades, Forest Prod. J., 35:20~24.
- (11) 日本建築学会(1995)木質構造計算基準・同解説, 342pp, 丸善.
- (12) ——— (1995)木質構造設計ノート, 326pp, 丸善.
- (13) 日本木材加工技術協会(1987)構造用大断面集成材の製造基準, 34pp, 日本木材加工技術協会.
- (14) 日本農林規格(1987)構造用大断面集成材の日本農林規格. 26pp, 日本合板検査会.
- (15) 野中保雄(1983)信頼性データのとり方, まとめ方, 161pp, 日科技連.
- (16) 静岡県集成材工業会(1988)静岡県産スギを用いた構造用大断面集成材の製造とその強度性能, 静岡県集成材工業会.
- (17) 食品流通局消費経済課(1995)集成材の日本農林規格の改正等について(構造用集成材の日本農林規格(案)), 21pp, 農林水産省.
- (18) 祖父江信夫(1989)振動現象を利用した実大構造材の弾性率測定—理論と応用, 57pp, 文部省科研資料.
- (19) ———・野々田秀雄・池田潔彦・早村俊二・平井信之(1993)有節のスギフィンガージョイントの引張り強度, 木材学会大会要旨 43:319.
- (20) 友井政利(1992)木構造の信頼性解析, 木材工業, 47:39~44.
- (21) 柳川靖夫・上田正文(1993)集成材用スギラミナの引張強度. 奈良林試研報, 23:1~6.