

スギ構造用集成材製造のための原木とラミナの機械的等級区分法の評価

富田守泰、杉山正典、長谷川良一

目 次

はじめに	39		
1. 試験方法	40		
1.1 供試材	40	2.3 原木の動的ヤング係数とラミナの木	
1.2 素材の調査	40	取り位置により区分したラミナ	44
1.3 製材及び乾燥	40	2.4 JASによるラミナの等級区分	44
1.4 構造用大断面集成材用ラミナの		2.4.1 ラミナの目視(視覚的)等級区分	44
荷重載荷法による曲げヤング係数		2.4.2 ラミナの機械的等級区分	45
(E _d)、動的ヤング係数(E _f)、連続		2.4.2.1 E _d による機械的等級区分	45
測定ヤング係数の測定	41	2.4.2.2 MSRラミナによる等級区分	45
1.5 その他の測定	41	2.4.3 製品強度等級毎のラミナ構成比	46
1.6 グレーディングマシンの検定	41	2.4.4 原木の動的ヤング係数により区分	
1.6.1 検定用スギラミナの選定	41	したラミナの等級区分	48
1.6.2 検定用スギラミナのMGFE-E		2.5 グレーディングマシンの検定と測定	50
の再現性測定	41	2.5.1 各社グレーディングマシンについて...	50
1.6.3 検定用スギラミナのMGFE-E		2.5.2 MGFEによるデータの再現性	50
の測定と万能試験機による		2.5.3 検定用スギラミナによる各種ヤン	
非破壊剛性試験	41	グ係数	51
		2.5.4 構造用大断面集成材製造用ラミナ	
		の各種ヤング係数の関係	53
2. 結果と考察	42	まとめ	53
2.1 原木径級別製材枚数と歩留まり	42	引用文献	54
2.2 原木の動的ヤング係数とラミナ			
の各種ヤング係数	42		
2.2.1 原木の動的ヤング係数とラ			
ミナのヤング係数の関係	43		
2.2.2 ラミナのヤング係数の原木			
での分布	43		

はじめに

急速に高まる社会的要請に応じて建築基準法が見直され、大断面構造用集成材による大規模木造建築が岐阜県内でも建設されるようになった。しかしながらその多くはベイマツなど外材によるものが主体で岐阜県産スギ材による建築物はわずかにすぎない。

そのような背景には原材料の価格、確保などの問題に加えて、材料の均一性の確保とそれによる均質な製品製造法の確立が大きな課題である。そこでまず、材料の均一性の確保を目的とし、岐阜県産スギ材による大断面構造用集成材製造用ラミナの機械的強度等級区分の評価方法を検討した。特にロットの小さい県内産スギ材においては、単発的に生じる需要に対してラミナの常時確保は難しく、その都度原木の確保を行わねばならない。しかし、確保した原木が目的とする強度を有するかは保証

し得ない。この問題は普及を進める上で最も重要であるにもかかわらず解決されない隘路となっている。そこで目的とする強度のラミナとそれに対応する原木の強度性能の関係を明らかにし、より効率的で信頼性のある原木確保システムの確立を目的とする。

本試験は日本住宅・木材技術センター受託事業「住宅部材安全性能向上事業 ー集成材の強度性能評価事業ー（平成6～7年）^(1,2)」として行ったものである。また、実施にあたっては㈱セブン工業のご協力をいただいた。深く感謝申し上げる。

本報告で用いたヤング係数等の記号は次のとおりである。

・荷重載荷法によるヤング係数

Ed: 荷重載荷法により求めたラミナの曲げヤング係数（非破壊）

Ed-avg: Edの原木平均値

・FFTアナライザ（打撃法グレーディングマシンを含む）による動的ヤング係数

Ef: 基本振動周波数と比重から算出したラミナの動的ヤング係数

Ef-log: 1.2の(1)式により算出した原木の動的ヤング係数

・連続式グレーディングマシン(MGFE-251G)によるヤング係数

MGFE: 特定位置のヤング係数（補正後の値）

MGFE-E: 平均ヤング係数（補正後の値）

MGFE-min: 最低ヤング係数（補正後の値）

MGFE-p: 特定位置のヤング係数（補正前の値）

MGFE-Ep: 平均ヤング係数（補正前の値）

MGFE-minp: 最低ヤング係数（補正前の値）

・強度試験機による曲げヤング係数

E-AG: 特定位置の曲げヤング係数

E-AG-avg: 曲げヤング係数のラミナごとの平均（3測定点の平均）

1. 試験方法

1.1 供試材

岐阜県大和町森林組合の土場において末口径18～35cm、平均24cmのスギ4 m材222本を選定し、供試材とした。

1.2 素材の調査

素材の調査は、材長、末口径、元口径、末口年輪数、元口年輪数、重量、FFTアナライザーによる基本振動周波数である。重量はフォークリフトにワイヤーで秤をつり下げて測定した。つり下げた状態で原木木口をハンマーで打撃し、他の木口側に設置したマイクロホンにて基本振動周波数を測定した。測定器はA&D社製AD3524で、比重は末口自乗法により求め、下記式により動的ヤング係数を算出した。

$$Eflog = \frac{4L^2 \cdot \rho \cdot f^2}{g} \dots\dots\dots (1)$$

Eflog: 原木の動的ヤング係数(tf/cm²) ρ: 比重(g/cm³)

f: 基本振動周波数(Hz, 1/S) g: 重力加速度9.8m/sec²

L: 材長(cm)

1.3 製材及び乾燥

製材は大和町森林組合に依頼して実施した。製材方法は梓挽きで、注文製材寸法は幅17.5cm、厚さ4.0cmである。

製材時に全ての材について木取りを調査し、注文製材品（ラミナ）の歩留まりを測定した。さらに同一原木から採材された野地板等の副製品を調査し、全製品の歩留まりを調査した。得られたラミナ

の枚数は883枚である。

ラミナの人工乾燥は岐阜県林業センターで実施した。乾燥装置は蒸気式IF型乾燥装置(7m³)で、製材の都度乾燥を実施した。乾燥は最大乾燥温度を90℃、80℃、70℃、60℃の4段階に分けて間欠運転とした。

1.4 構造用大断面集成材用ラミナの荷重載荷法による曲げヤング係数(E_d)、動的ヤング係数(E_f)、連続測定曲げヤング係数(MGFE-E, MGFE-min)の測定

荷重載荷法による曲げヤング係数(E_d)はスパン360cmで水平な鞍の間に載荷し、中央集中荷重方式で測定した。荷重は初期荷重5kgで、最終荷重15kgとの差10kgに対する歪みから求めた。

動的ヤング係数(E_f)はFFTアナライザーを使用したグレーディングマシンによって乾燥前後に実施した。使用したグレーディングマシンはA社製GM-1200である。

連続測定曲げヤング係数はローラー式グレーディングマシンによって乾燥後実施した。使用したグレーディングマシンはI社製MGFE-251Gである。長さ方向に多点測定したラミナ当たり平均値と最小値を求めた。なお値は1.6で示す検定により、算出した(2)式で補正している。

1.5 その他の測定

日本農林規格(JAS)により規定されている諸因子等を求めるため、以下により実施した。

- (1) 最大節径比：材の幅方向2材面で最大値を求め、最大側の1材面評価とした。
- (2) 集中節径比：材の幅方向2材面で2材面を含めた15cm区間に存在する節を集中節とし、集中節径比の最大値を求め、2材面評価とした。
- (3) 繊維傾斜：材の幅方向の1材面にて長さ1mに対する繊維の傾きをmm単位で測定し、1材面の中の最大値とした。
- (4) 平均年輪幅：mm単位で測定した。
- (5) 随からラミナ中心までの距離： E_d 及び E_f の測定後、ラミナの末口木口から長さ4cm程度の試験片を採材し、木取り位置の再現を図り、mm単位で測定した。

当初、昭和61年施行構造用大断面集成材日本農林規格(以後旧JASという)によりラミナを測定し報告した⁽³⁾が、規格の改正に伴い、本試験のラミナについても平成8年施行構造用集成材日本農林規格(以後JASと言う)によりまとめた。ただ既存のデータで可能な範囲でJAS対応としたので一部異なり、最大節径比を材縁部節径比とみなした。

1.6 グレーディングマシンの検定

1.6.1 検定用スギラミナの選定

グレーディングマシンの検定を実施するため、事前に別途ラミナを用意し実施した。

予め、同グレーディングマシンにおいて補正係数を掛けずに測定し、10tf/cm²刻み、5グレードに区分したラミナから各グレード6枚、合計30枚を試験材とした。

1.6.2 検定用スギラミナのMGFE-Eの再現性測定

各グレードの代表的なラミナについて、10回繰返しヤング係数を測定した。MGFEは両端より90cmを除いて5.1cm間隔で測定しているため、1ラミナで得るデータは43個程度である。

1.6.3 検定用スギラミナのMGFE-Eの測定と万能試験機による非破壊剛性試験

各ラミナについてGM-1200によりヤング係数(E_f)を測定し、値は表示値とした。

また中央集中荷重スパン360cmの荷重載荷法によるヤング係数(E_d)を求めた。

次に、ラミナのグレーディング投入側木口から141cm、+51cm、+51cmの3カ所に印を付け、グレーディングマシンに投入し、印箇所の3カ所をマシンの測定値から特定しMGFE-pを求めた。また、マシンによるヤング係数43個の平均(MGFE-Ep)を求めた。

非破壊試験はスパン100cmで上記印を中央にし、3点荷重によりずらしながら測定した。荷重はラミナ2等の基準強度の1/3程度の応力レベルとし、168kgとした。万能試験機(島津製AG-10TD)によるヤング係数(E_{-AG})を求めた。

両ヤングの結果をもとにMGFE-p, MGFE-Epに補正係数を掛け、MGFEおよびMGFE-Eを算出した。

2. 結果と考察

2.1 原木径級別製材枚数と歩留まり

図-1,2に径級別ラミナ枚数とラミナ歩留まり、図-3に野地板等副製品を含めた全製品歩留まりを示す。末口径30cm上で梓挽きができ、ラミナ枚数が2枚程度増加している。ラミナ歩留まりも30cm未満では45%でほぼ一定であるが30cm以上で10%増加している。

梓挽き製材にて、梓挽き外側におけるラミナの有無でラミナ歩留まりはかなり影響すると思われる、その分岐点が末口径30cmとなっている。

また、全製品歩留まりはその影響はなく、62%で一定に推移している。

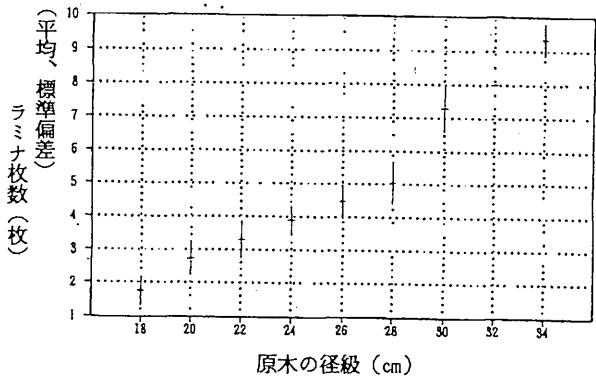


図-1 原木の径級と採材されたラミナ枚数

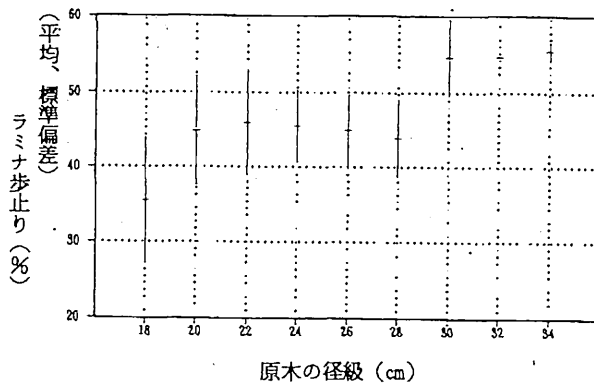


図-2 原木の径級とラミナ歩留まり

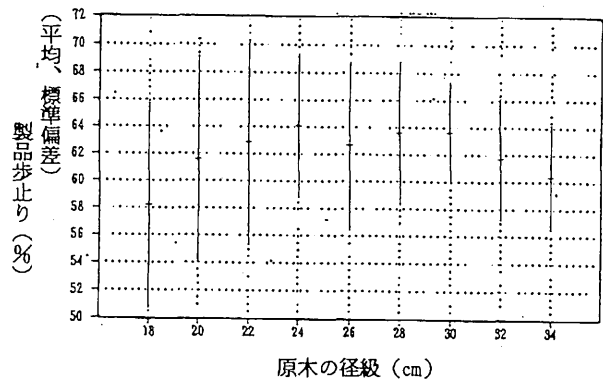


図-3 原木の径級と製品歩留まり

2.2 原木の動的ヤング係数とラミナの各種ヤング係数

測定した各種ヤング係数を表-1に示す。グレーディングマシンによる値は補正が必要で、2.5.3に示す(2)式により補正した値を併記した。しかしながら補正後も平均値レベルにおいてかなり差があり、実用化にあたっては留意が必要である。

表-1 原木およびラミナの各種ヤング係数 (tf/cm²)

	原木動的 ヤング係数 Efr-log	ラミナ動的ヤング係数		ラミナ荷重載 荷法ヤング 係数 Ed	連続式グレーディング 補正前		補正後	
		乾燥前 Ef	乾燥後 Ef		平均値 MGFE-Ep	最小値 MGFE-minp	平均値 MGFE-E	最小値 MGFE-min
枚数	222	876	874	882	882	879	882	879
最小値	46.5	27.7	40.1	36.9	31.8	19.8	38.0	22.8
平均値	74.3	66.4	79.1	76.3	57.6	50.1	70.7	61.2
最大値	105.4	108.7	123.0	122.0	85.5	79.3	106.2	98.3
標準偏差	10.50	13.27	13.87	14.02	8.66	9.78	11.00	12.42
変動係数	14.10	19.98	17.53	18.36	15.05	19.53	15.55	20.29

2.2.1 原木の動的ヤング係数Ef-logとラミナのヤング係数Edの関係

原木の動的ヤング係数Ef-logとそれから得られたラミナのヤング係数Edの原木平均Ed-avgとの関係を図-4に示す。それによると原木の動的ヤング係数はラミナのヤング係数に反映している。また、図-5に原木のヤング係数を順位化してそれに対する原木動的ヤング係数Efとラミナの曲げヤング係数Edの原木平均値を示した。ヤングの低い段階で原木動的ヤングが低めに出ている。

2.2.2 ラミナのヤング係数Edの原木中での分布

図-6にラミナのヤング係数Edの原木平均値Ed-avgとラミナのヤング係数Edとの関係を示す。ほぼ30tf/cm²の帯状で原木内でのEdのばらつきは30tf/cm²とみられる。図-7に髄からラミナ中心までの距離に対するラミナEdとラミナ原木内平均との差を示す。未成熟材と成熟材の推移が明らかに見て取れる。ほぼ髄から50mmのラミナまでは髄から離れるほどEdは高くなるが、それ以上ではあまり変化はない。

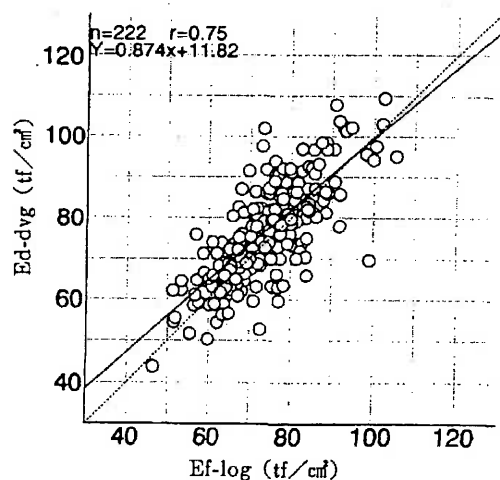


図-4 Ef-logとEd-avg

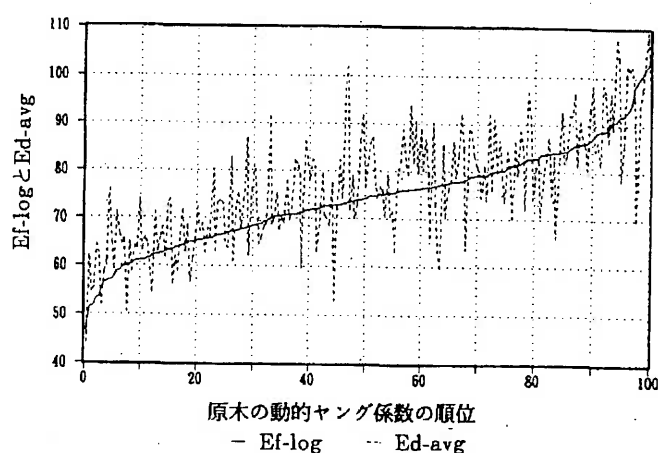


図-5 Ef-logにより順位化したEf-logとEd-avg

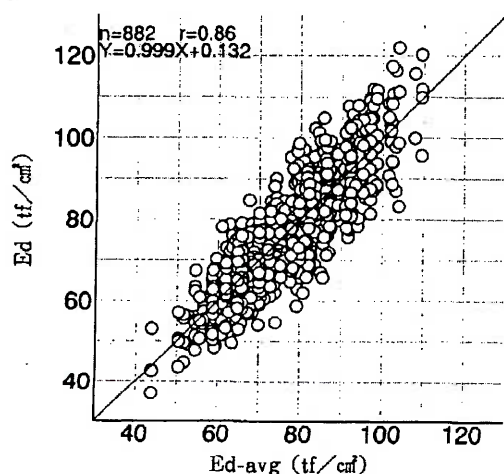


図-6 Ed-avgとEd

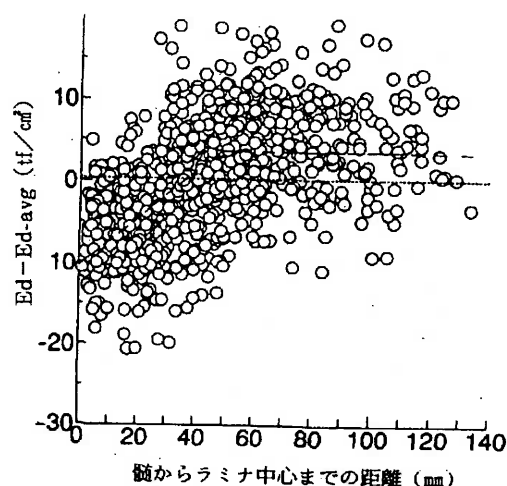


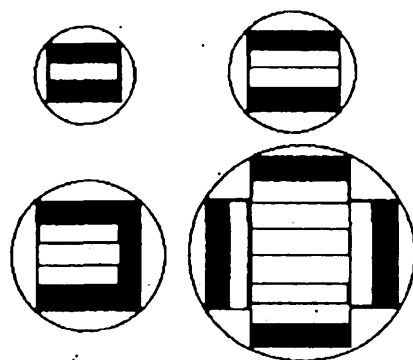
図-7 髄からラミナ中心までの距離とEdとEd-avgとの差

2.3 原木の動的ヤング係数とラミナの木取り位置により区分したラミナの区分

原木内のヤング係数分布に傾向がみられるので、原木の動的ヤング係数により原木を区分した後、さらに木取り別に区分することができるか検討した。

まず、原木動的ヤング係数により区分をした。区分は平均値に近い 70tf/cm^2 で2分し、 70tf/cm^2 未満の原木と 70tf/cm^2 以上の原木に分けた。それぞれについて図-8に示すように木取りの位置により内部から木取られたラミナと最外層から木取られたラミナに分けた。

図-9に区分されたラミナのヤング係数(E_d)を示した。原木の動的ヤング係数が 70tf/cm^2 以上ほど、さらに外層ほど、ラミナのヤング係数大きいことが明らかである。図-10に区分したラミナ頻度分布を示す。原木グレーディングマシンによる二分と木取り位置分類だけでもラミナ区分の可能性が見いだされる。



(黒色部分が最外層から木取られたラミナ)

図-8 木取りによる区分方法

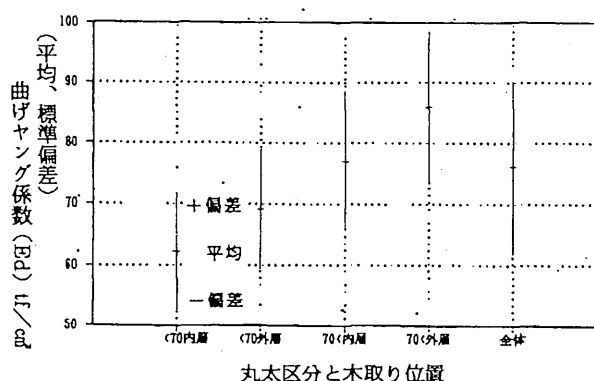


図-9 原木の動的ヤング係数と木取り位置で区分したラミナの E_d

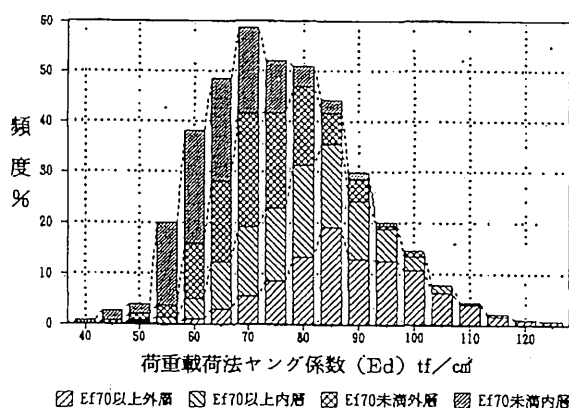


図-10 原木の動的ヤング係数と木取り位置で区分したラミナの E_d 頻度分布

2.4 JASによるラミナの等級区分

平成8年施行による構造用集成材のJASによりラミナの等級区分を実施した。旧JAS^(1,3)による等級区分との比較により検討した。なお下限値⁽⁴⁾を併記した。

2.4.1 ラミナの目視(視覚的)等級区分

目視等級区分は旧JASと比較して集中節径比値の変更、幅面材縁部節径比の新設、心持ち規定の廃止により変動が予想される。そこで、すでに求めた最大節径比を幅面材縁部節径比とみなすことでJASによる等級区分結果を表-2に示す。旧JASの枚数割合に比べ等級間の配分割割が均一化し、特に高い等級での比率が高くなっている。これは心持ち規定の廃止が影響していると思われる。なお、以後用いた集中節径比は集中節径比2(2材面測定)を使用した。また、平均値と±標準偏差の関係を図-11に示す。

表-2 JASにより視覚等級区分した
ラミナのEdと等級割合

等級	1等	2等	3等	4等	等外
枚数	108	151	177	227	219
枚数割合(%)	12.2	17.1	20.1	25.7	24.8
最小値(tf/cm ²)	53.1	50.7	42.7	36.9	44.8
平均値(tf/cm ²)	85.7	81.5	77.2	74.1	69.7
最大値(tf/cm ²)	115.8	122.0	120.3	112.0	110.0
標準偏差	12.5	12.9	14.2	13.0	12.3
変動係数	14.5	15.9	18.4	17.5	17.6
下限値(tf/cm ²)	63.6	58.8	52.4	51.5	48.3
旧JAS割合(%)	7.0	14.1	17.9	37.4	23.6

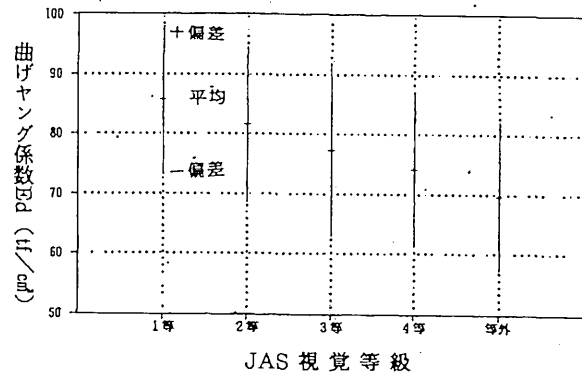


図-11 JASにより視覚等級区分した
ラミナのEd分布(平均値、±標準偏差)

2.4.2 ラミナの機械的等級区分

2.4.2.1 Edによる機械的等級区分

JASでは、等級区分機によるラミナの等級を測定ヤング係数により規定している。スギで使用される範囲ではL50からL110まで10tf/cm²単位ずつ規程している。そこでラミナEdによる分布を図-12に示す。平均値は76tf/cm²で、L70をピークにL50からL110まで分布しており、等外も1.2%あった。

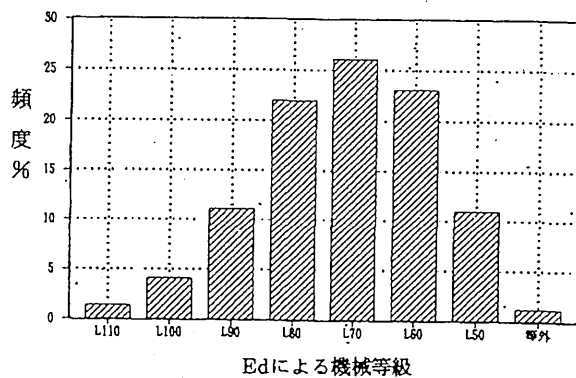


図-12 JAS機械等級区分(荷重荷法Ed)
による等級区分割合

2.4.2.2 MSRラミナによる等級区分

JASでは機械等級区分の一手法として、連続曲げヤング係数測定装置によるMSRラミナについて規定している。MSRラミナは特に最外層以外について材縁部節径比の規定を除外できることから、その利用拡大が期待できる。そこで、MSRラミナを連続式グレーディングマシンMGFE-251Gで測定した平均値MGFE-Eで選択し、その等級別分布とEd値に対する関係を表-3に示す。最小値によれば各等級に満たない個体があるが、下限値によればほぼ等級値と合致し、MGFE-Eで等級区分することの妥当性が見受けられる。MSRラミナ等級ごとのEd値の分布を平均値と±偏差で図-13に示す。ヤング係数以外の因子がなくて等級毎の偏差が小さくなり、視覚等級区分の図-11に比べかなりよく対応している。

また、MSRラミナにおける材縁部節径比規定の除外の理由として、連続的に測定することで節などの影響をひろうことができると考えられる。MGFE-251Gで測定した最低値MGFE-minで選択し、その分布とEd値に対する関係を表-4に示す。最小値ではL60等級を除き全て等級以上となり、下限値では等級値+1.7~+4.5ポイントとなっており、かなり安全側に区分されたこととなる。MSRラミナ等級ごとのEd値の分布を平均値と±偏差で図-14に示す。図-13に比べ、平均値が上昇してはいるものの、節などの局所の変動が影響しているためか、等級毎の偏差はMGFE-Eより大きくなっている。

表-3 JAS機械等級区分(MSRラミナMGFE-E)

したラミナの分布とEd

等級	L100	L90	L80	L70	L60	L50	等外
枚数	3	31	143	281	260	144	20
枚数割合(%)	0.3	3.5	16.2	31.9	29.5	16.3	2.3
最小値(tf/cm ²)	93.0	81.3	79.7	65.8	53.0	47.8	36.9
平均値(tf/cm ²)	106.4	102.3	92.6	81.3	69.5	60.4	49.2
最大値(tf/cm ²)	116.6	122.0	117.5	104.0	94.2	80.2	56.1
標準偏差	9.9	9.1	7.7	7.1	6.5	5.8	4.7
変動係数	9.3	8.9	8.3	8.7	9.4	9.7	9.6
下限値(tf/cm ²)			79.0	68.9	58.1	50.2	

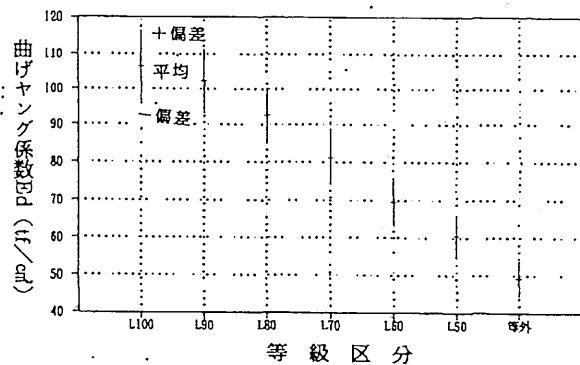


図-13 JAS機械等級区分(MSRラミナMGFE-E)

したラミナのEd分布(平均値、±標準偏差)

表-4 機械等級区分(MGFE-min)

したラミナ分布とEd

等級	L90	L80	L70	L60	L50	等外
枚数	4	50	174	248	238	168
枚数割合(%)	0.5	5.7	19.7	28.1	27.0	19.0
最小値(tf/cm ²)	93.0	81.3	73.4	59.1	53.0	36.9
平均値(tf/cm ²)	109.9	99.0	88.5	78.3	70.5	61.5
最大値(tf/cm ²)	120.3	122.0	112.0	108.0	102.3	92.2
標準偏差	10.5	9.5	8.0	9.0	9.3	9.2
変動係数	9.5	9.6	9.1	11.5	13.1	15.0
下限値(tf/cm ²)		81.7	74.5	62.6	54.4	45.3

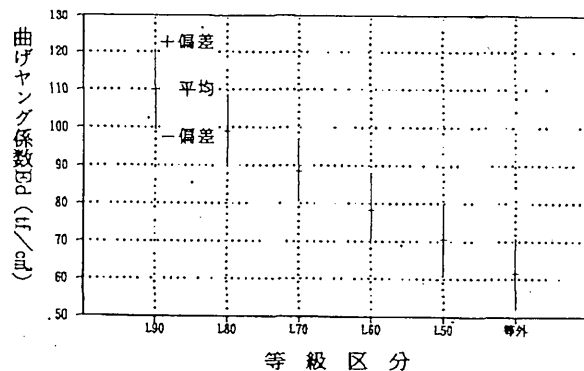


図-14 機械等級区分(MGFE-min)

したラミナのEd分布(平均値、±標準偏差)

2.4.3 製品強度等級毎のラミナ構成比

JASでは最外層のラミナ等級が製造集成材の強度等級に対応している。また最外層用ラミナの等級と、その他の層のラミナの等級がラミナ等級差を基準に構成されている。そこで集成材の強度等級とその製造に必要な構成各層のラミナの出現割合を表-5~8に示す。それぞれ等級区分を視覚等級区分、荷重載荷法によるヤング係数(Ed)、連続測定方式のグレーディングマシンのヤング平均値(MGFE-E)、その他の機械的等級区分法としてグレーディングマシンのヤング最低値(MGFE-min)とした。

参考としてラミナ厚30mmで、製造する集成材をせい300mm、600mmごとに想定し、構成割合を比較した。その結果、Edによる等級区分(表-6)によれば、E75-F240集成材ではせい600mmで最外層ラミナがわずかに不足し、すべてのラミナを使用しても製造はできない。E65-F225集成材ではせい600mm、300mmともすべてのラミナを使用して製造できる。

グレーディングマシンのヤング平均値(MGFE-E)(表-7)による等級区分ではE65-F225、600mm集成材が安定して製造され得る。しかし、グレーディングマシンのヤング最低値(MGFE-min)(表-8)による等級区分では、最外層材縁部節径比を測定しなくてもE65-F225せい600mm集成材すら最外層ラミナ不足となり、製造が困難である。

表-5 製品強度等級別ラミナ出現割合（視覚等級区分）

強度等級	最外層用	外層用	中間層用	内層用	その他
E95-F270				49.4	50.6
E85-F255			49.4	25.7	24.8
E75-F240		29.4	20.1	25.7	24.8
E65-F225		49.4		25.7	24.8

表-6 製品強度等級別ラミナ出現割合（Edによる機械等級区分）

強度等級	最外層用	外層用	中間層用	内層用	その他
E95-F270	0.2	1.7	9.9	35.8	52.4
E85-F255	1.9	9.9	18.8	51.6	17.8
E75-F240	6.0	18.4	23.2	43.8	8.6
E65-F225	24.4	23.2	15.1	29.5	7.8

参考 せいごとの使用割合

600mm	9.1	18.3	18.3	45.7	8.6	E75-F240
300mm	18.4	18.4	18.4	36.9	7.8	E65-F225

表-7 製品強度等級別ラミナ出現割合（MGFE-Eによる機械等級区分）

強度等級	最外層用	外層用	中間層用	内層用	その他
E95-F270	0.0	0.0	2.7	35.9	61.3
E85-F255	0.0	2.7	13.5	60.4	23.4
E75-F240	0.9	11.7	26.1	51.7	9.6
E65-F225	12.6	26.1	19.4	34.1	7.8

参考 600mm集成材の使用割合

600mm	9.2	18.4	18.4	46.1	7.8	E65-F225
-------	-----	------	------	------	-----	----------

表-8 製品強度等級別ラミナ出現割合（MGFE-minによる機械等級区分）

強度等級	最外層用	外層用	中間層用	内層用	その他
E95-F270	0.0	0.0	0.5	25.4	74.1
E85-F255	0.0	0.5	5.7	47.8	46.0
E75-F240	0.0	6.1	19.7	55.1	19.0
E65-F225	4.0	21.9	28.1	41.3	4.8
節径比未	6.1	19.7	28.1	41.3	4.8

参考 600mm集成材の使用割合

600mm	10.0	20.0	20.0	50.0	4.8	E65-F225
-------	------	------	------	------	-----	----------

・最大節径比を材縁部節径比として求めた

2.4.4 原木の動的ヤング係数により区分したラミナの等級区分

図-15に動的ヤング係数E_{flog}の高い原木から選択し製造されたラミナを、JASの視覚等級区分でE75-F240集成材用として製造した場合の構成比変動を示す。視覚等級区分では原木動的ヤング係数による構成変動比はなく、原木の動的ヤング係数で分類したことによる効果はほとんどない。

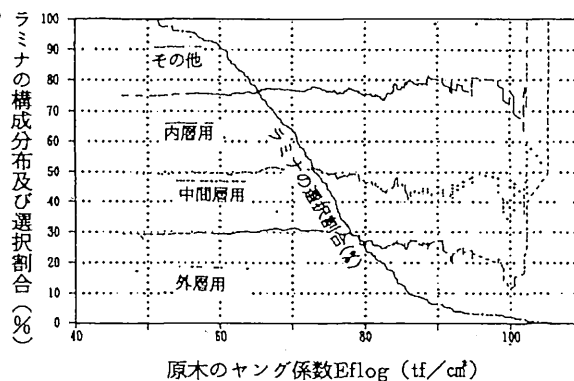


図-15 E_{flog}の高い原木から選択したラミナのE_{flog}と視覚等級区分によるラミナ構成分布及び原木選択割合(E75-F240集成材製造)

図-16、17に同様にE_dによる機械等級区分としてE75-F240集成材用と、E65-F225集成材用とした場合の構成比変動を示す。一例として表-6からE75-F240の60×15cm集成材でも最外層用に9.1%のラミナが必要で、図-16によれば、これを全ラミナによって製造するには動的ヤング係数が70tf/cm²以上の原木を選別する必要がある。その割合として全原木の上位6割程度を選別することとなる。

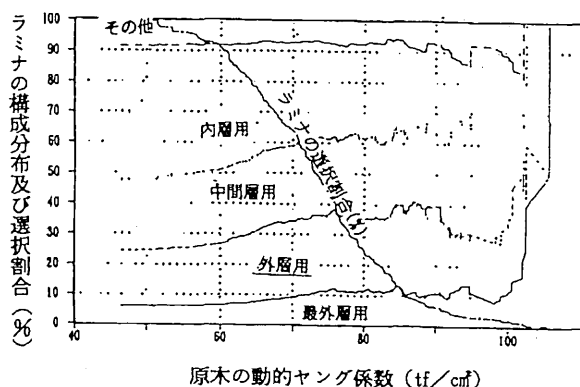


図-16 E_{flog}の高い原木から選択したラミナのE_{flog}と機械(E_d)等級区分によるラミナ構成分布及び原木選択割合(E75-F240集成材製造)

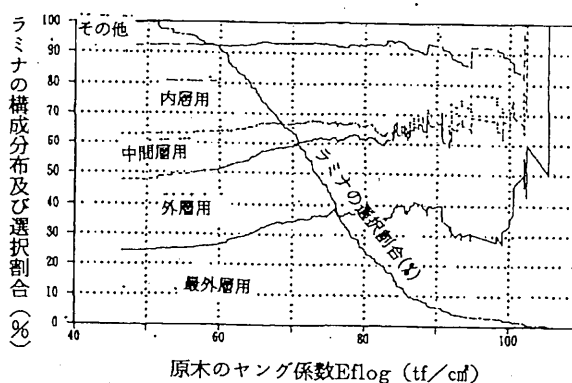


図-17 E_{flog}の高い原木から選択したラミナのE_{flog}と機械(E_d)等級区分によるラミナ構成分布及び原木選択割合(E65-F225集成材製造)

図-18、19にグレーディングマシンのヤング平均値(MGFE-E)を機械等級区分として、E75-F240とE65-F225集成材製造用としてのラミナの構成比の変動を示す。断面60×15cm集成材であれば、E75-F240集成材製造用は表-7の参考によりほぼ最外層で9.2%必要であり、図-18により、いくら原木で選別しても最外層用ラミナの確保はできない。しかし、E65-F225集成材は表-7の参考により9.2%必要で、図-19により原木を選別しなくても全ラミナで製造できる。

参考として図-20にグレーディングマシンのヤング最低値(MGFE-min)を機械等級区分として、E65-F225集成材製造用ラミナとしての構成比の変動を示す。断面60×15cm、E65-F225集成材を全ラミナによって製造するには表-9によれば最外層に10%のラミナが必要で、動的ヤング係数が75tf/cm²以上の原木を選別する必要がある。その割合として図-20により、全原木の上位40%程度を選別することとなる。

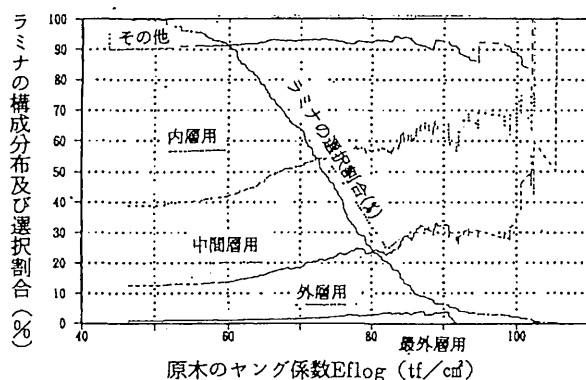


図-18 Eflogの高い原木から選択したラミナのEflogと機械(MGFE-E)等級区分によるラミナ構成分布及び原木選択割合(E75-F240集成材製造)

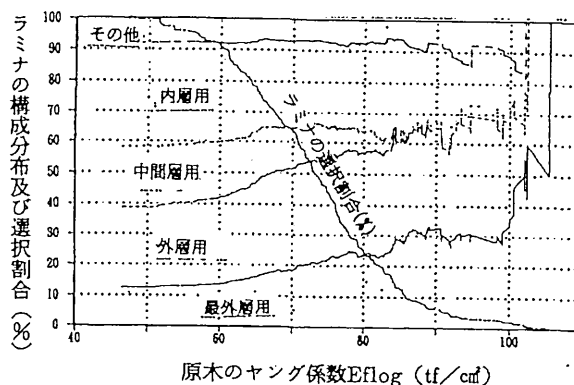


図-19 Eflogの高い原木から選択したラミナのEflogと機械(MGFE-E)等級区分によるラミナ構成分布及び原木選択割合(E65-F225集成材製造)

機械的等級区分法の差によってラミナの構成割合も大きく変動する。同じ機械等級区分であっても、スパンの差、荷重の差、連続式、固定式の差等様々な理由があるが、表-1に示すとおりヤング係数が異なる。またMSRラミナでも最小値をとることで更に違った結果となる。

運用面ではMSRラミナの平均値(MGFE-E)が実現可能であり、図-18、19により選択する原木のヤング係数を決めることとなる。

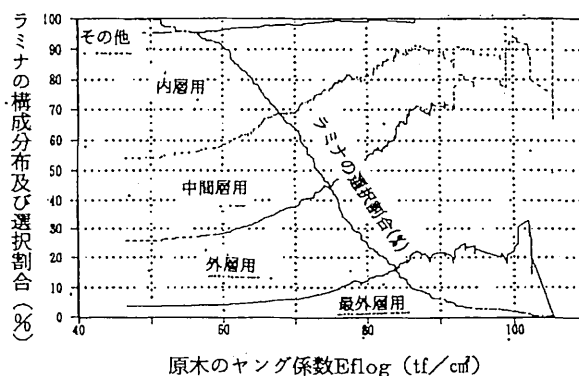


図-20 Eflogの高い原木から選択したラミナのEflogと機械(MGFE-min)等級区分によるラミナ構成分布及び原木選択割合(E65-F225集成材製造)

2.5 グレーディングマシンの検定と測定

2.5.1 各社グレーディングマシンについて

JASによればラミナの等級区分を機械により行う規定を設定している。そこで、事前に現在測定可能な2機種のグレーディングマシンについて性能を測定した。なお、以下の値は全て今回入手したスギ構造用集成材ラミナについての結果のみである。

一つはI社製グレーディングマシン(MGFE-251G)で、ローラー間をラミナが移動する間に1200mmのスパンに対して下面より0.5mmたわませ、次のローラー間で更に同スパンに対して下面からさらに6.0mmたわませ、その反力から曲げヤング係数(MGFE)を算出する仕組みである(図-21)。ヤング係数の測定は材両端90cmから51mm間隔で測定し、ラミナとしてのヤングを平均値、あるいは最小値として出力できる。このタイプのグレーディングマシンはJASによりMSR挽き板(MSRラミナ)として他の機械等級測定方法とは別格に評価している。すなわちこの機械により区分したラミナは最外層用ラミナを除いて材縁部節径比の制約をなくしている。グレーディングの省力化を図る上で今後ますます利用価値の高い機械として注目されている。

もう一つA社製グレーディングマシン(GM-1200)で、FFTアナライザーと計量器を組み合わせた装置で、計量器に試験材を乗せることで重量測定と予め入力してある材積から比重を求め、打撃により、動的ヤング係数(Ef)を求める仕組みである。これは全国木材組合連合会の認定を受けている。

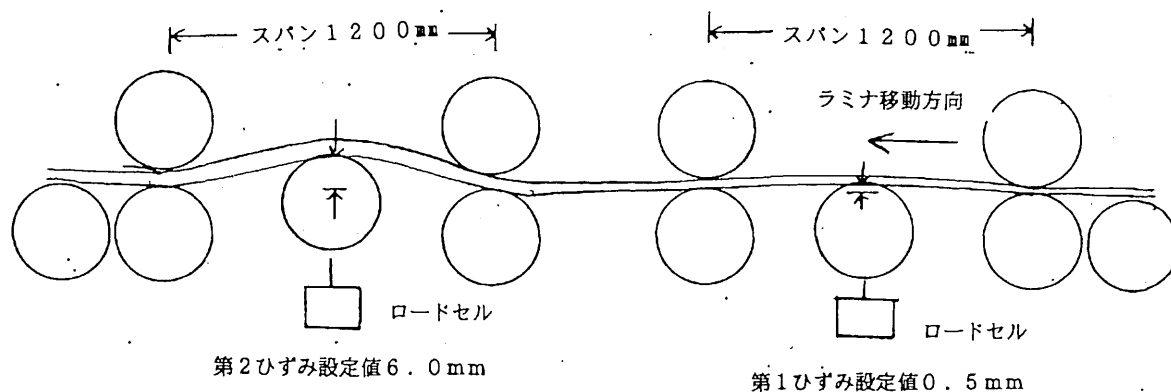


図-21 グレーディングマシン(MGFE-251Gタイプ)のローラーと測定の関係

2.5.2 MGFEによるデータの再現性

MGFEは両端より90cmを除き5.2cm間隔で測定するため、42~45のデータが得られる。材長方向に測定値の再現性について図-22~24に示す。(グレーディングにより高いグレードからNO1~3とした)材の部位により値に変化が生じているが、10回繰り返してもその値を忠実にトレースしており、再現性はかなり高いと判断できる。

位置ごとの測定結果はラミナ一枚の平均値でラミナの値(MGFE-E)としてとらえるため、その平均値の繰り返し回数ごとの値の変化を図-25に示す。多少の変動はあるがせいぜい3tf/cm²以内の変動で繰り返しによる劣化も10回程度では生じていない。

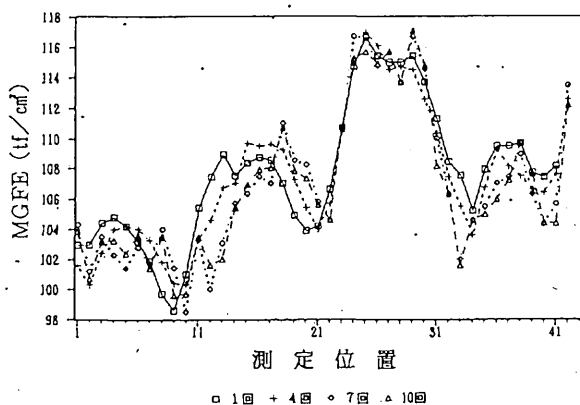


図-22 再現性検討ラミナ繰返し試験NO1

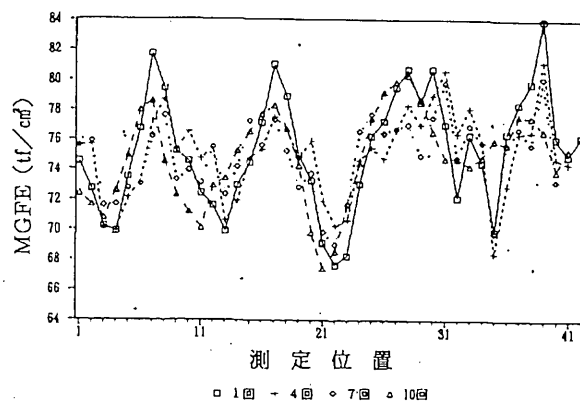


図-23 再現性検討ラミナ繰返し試験NO2

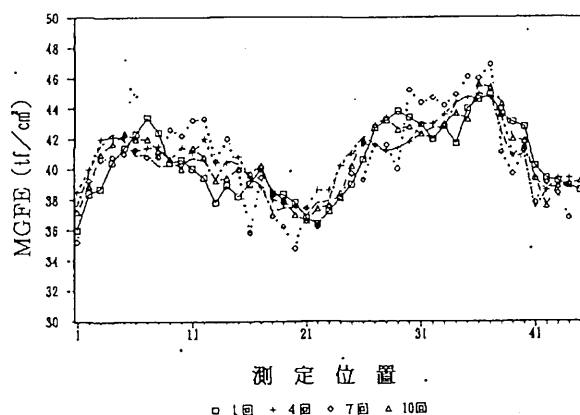


図-24 再現性検討ラミナ繰返し試験NO3

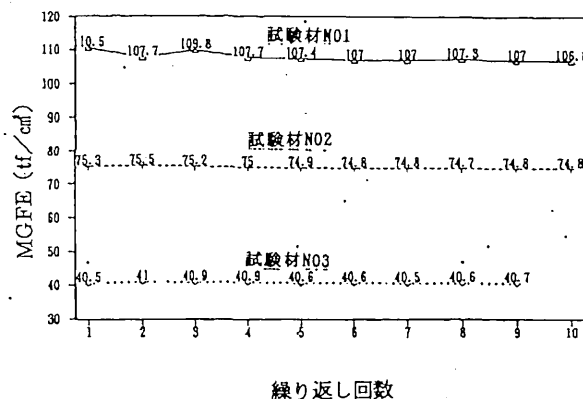


図-25 再現性検討ラミナ平均値の変化

2.5.3 検定用スギラミナによる各種ヤング係数

Ed、Ef、MGFE-E、MGFE-Ep、E-AG-avg(3箇所平均)について表-10にまとめた。それぞれの値が異なるのはスパンや荷重の違いによるものであるがグレーディングマシンでは補正係数により、補正し使用することになる。そこで、グレーディングマシンで測定した測定点と測定値MGFE-pを確認し、測定点にてスパン1000mmによる3点荷重によりヤング係数E-AGを求めた。図-26はMGFE-E-pとE-AGとの関係を示す。両者の関係から次の回帰式によりMGFEを求めた。

$$MGFE = 1.27 \cdot MGFE-p - 2.39 \quad (2)$$

なお、平均値であるMGFE-E、最小値であるMGFE-minも同様である。

図-27にEdとEfの関係を、図-28にEdとMGFE-Eの関係を示す。いずれも相関係数が0.95以上で荷重載荷法ヤング係数Edとの関係がかなりよいことが推定できる。

ただGM-1200については補正していないため、傾きが0.686で、高ヤング域ほど低い値を示す。

表-10 スギ材による各種ヤング係数の集計

	荷重載荷 Ed	GM-1200 Ef	MGFE MGFE-Ep	MGFE補正 MGFE-E	強度試験 E-AG-avg
最小値	54.5	54.3	45.3	55.1	52.0
平均値	85.7	79.9	63.2	77.8	77.2
最大値	123.0	117.5	82.3	102.2	106.4
標準偏差	18.6	16.9	10.1	12.9	14.8
変動係数	21.6	21.1	16.0	16.5	19.2
個体数30枚					

MGFE-Ep は約45測定点の平均

E-AG-avg は3測定点の平均

使用ラミナはグレーディングマシンにより各ヤングから同一頻度を選択

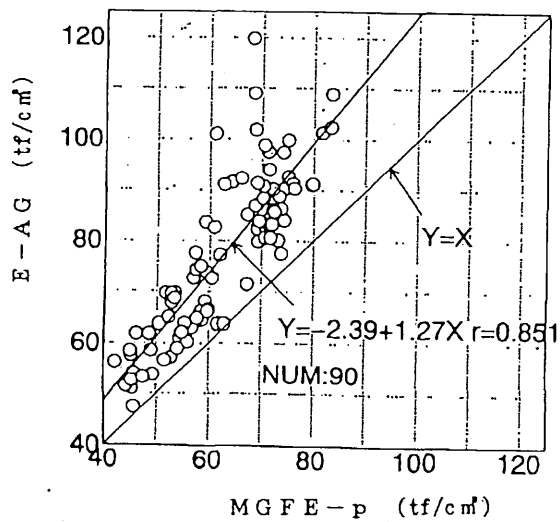


図-26 MGFE-pとE-AG

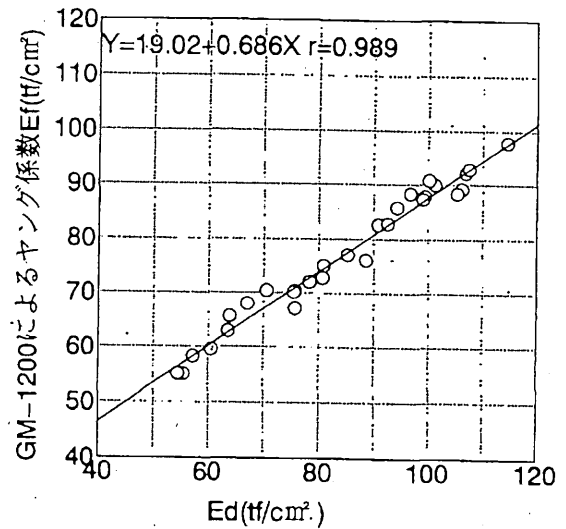


図-27 EdとGM-1200によるEf

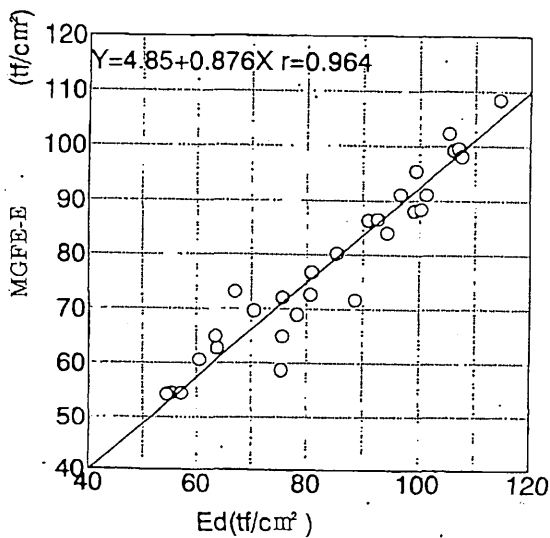


図-28 EdとMGFE-E

2.5.4 構造用大断面集成材製造用ラミナの各種ヤング係数の関係

構造用大断面集成材製造用ラミナのグレーディングによるヤング係数を求め、ラミナの荷重載荷法ヤング係数 E_d に対する関係を図-29~30に示す。

E_f 、MGFE-Eともに相関係数が0.9前後となっている。相関係数が0.9止まりで、ほぼ1.0とならないのは、樹種による特性か、測定方法によるものか判定できない。

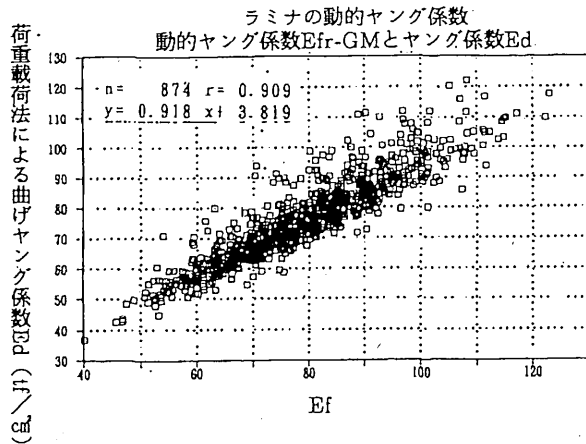


図-29 GM-1200による E_f と荷重載荷法ヤング係数 E_d

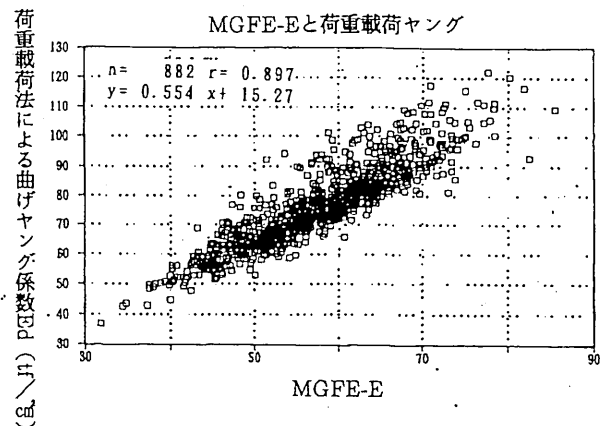


図-30 MGFE-Eと荷重載荷法ヤング係数 E_d

ま と め

岐阜県産スギ材について原木及びラミナ段階で機械的に等級区分し構造用大断面集成材用ラミナとしての性能を検討した。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1 原木の動的ヤング係数とそれから得られたラミナの荷重載荷法によるヤング係数には相関係数0.87の相関が認められ、原木分類によりラミナの目的ヤング係数の分類が可能である。
- 2 ラミナの荷重載荷法によるヤング係数によれば同一原木内のラミナ間で $30\text{tf}/\text{cm}^2$ のばらつきがみられ、未成熟材と成熟材の差が明らかとなった。
- 3 原木動的ヤング係数と製材木取りにより製材ラミナの種類ができ、ラミナ製造課程において、両因子を利用する可能性が見いだされる。
- 4 荷重載荷法による曲げヤング係数の平均は $76.3\text{kg}/\text{cm}^2$ で、JASによるE75-F240集成材では材縁部節径比基準を除けば最外層ラミナとして16.6%が使用できる
- 5 最外層用ラミナの比率により製造集成材の強度等級は決定され、荷重載荷法による機械等級区分法ではE65-F225集成材ではせい300mm以上の集成材が安定して製造され得るが、E75-F240集成材ではせい600mm集成材ですら製造が困難である。
- 6 原木のヤング係数で一定の値以上のみを選択した場合、最外層、外層用ラミナの比率は向上し、荷重載荷法による機械等級区分法では原木動的ヤング係数E70以上の原木ではせい600mmでE75-F240集成材が製造可能となる。
- 7 運用面で最も実現され得るグレーディングマシンのヤング平均値(MGFE-E)で機械等級区分した場合(MSRラミナ)は、E65-F225集成材ではせい600mm以上の集成材が安定して製造され得るがE75-F240集成材の製造では最外層用ラミナの確保はできない。
- 8 原木のヤング係数で一定の値以上のみを選択した場合であっても、グレーディングマシンのヤング平均値(MGFE-E)で機械等級した場合はE75-F240集成材は製造不可能である。

- 9 グレーディングマシンのヤング平均値(MGFE-E)で機械等級したMSRラミナは節径比が規定されておらず原木の動的ヤング係数による区分の効果が顕著で、目的強度の集成材ラミナを原木から安定して入手するため、動的ヤング係数による原木区分は有効な方法である。
- 1.0 グレーディングマシンMGFE-251Gはラミナ等級区分に十分効果がある。
- 1.1 グレーディングマシンを用いたMSRラミナは測定値の平均値による区分と最小値による区分があり、それぞれの目的に応じ使い分けの必要がある。最小値による方法は、かなり安全側を見ているがその反面、上位ランクのラミナが少なく、最外層も含めての製造はできない。

引 用 文 献

1. 日本住宅・木材技術センター：住宅部材安全性能向上事業報告書（集成材の強度性能評価事業）平成7年3月，日本住宅・木材技術センター,1994
2. 日本住宅・木材技術センター：住宅部材安全性能向上事業報告書（集成材の強度性能評価事業）平成8年3月，日本住宅・木材技術センター,1995
3. 富田守泰ら：住宅部材安全性能向上事業－集成材の強度性能評価事業－ 岐阜林セ業務報告平成6年度, 53-59,1994
4. 飯島泰男：木構造設計資料WB-3 構造用製材の強度と等級区分 平成3年3月, 14-15,1990