

平成2年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

技術開発推進事業報告書

性能標準

木質材料等級区分

平成3年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

木質材料等級区分委員会の委員構成（平成2年度）

	氏 名	所 属
委員長	有馬 孝禮	東京大学農学部林産学科助教授
委員	中村 昇	東京大学農学部林産学科
〃	丸山 則義	鹿島建設(株)技術研究所主任研究員
〃	小松 幸平	森林総合研究所木材利用部接合研究室長
〃	飯島 泰男	富山県林業技術センター木材試験場主任研究員
〃	浜田 宗男	日本木材青壮年団体連合会事務局長
協力委員	春川 真一	林野庁林産課住宅木材技術専門官
事務局	倉田 久敬	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究部長
〃	鴛海 四郎	(財)日本住宅・木材技術センター主任研究員

目 次

はじめに

1. スギ丸太の等級区分と強度性能のシミュレーション 1

2. スギ丸太のヤング係数の地域差と丸太内部の変動 13

3. 製材の強度の及ぼす丸太における等級区分の相違 22

はじめに

わが国を代表する樹種であるスギ材に関しては、これまでは、間伐小径材が問題とされてきたが、今では俗に云う”スギ並材”が大きくクローズアップされている。スギ並材とは、平たく云えば成長期での山の手入れが十分でなかったために、多くの節などの欠点を含み、成長の良い材で、いわゆる「役物」の採材の可能性が極めて少ない材で、末口径が14、5～27、8cmのものをいう。柱材を採材するには径が大きく、梁材を取るには径が小さく、柱材+板材または板材で採材すること等が最適と考えられるが、板材ではその需要が問題となる。

国産材のストック量は十分なのに普及しない大きな要因として、経済性、川下と川上の問題などがよく指摘されるが、いま世界で大きく叫ばれているのが地球の温暖化や熱帯雨林などの地球環境問題に絡むことであり、再生可能な人工針葉樹をどのように利用して行くかが大きな課題である。品質が悪いから、性能が悪いから、価格が高いからといって安易に海外の木材を輸入し、国産材を放置しておくような時代はだんだん過ぎようとしており、今後のわが国を考えたとき、世界から取り残されないためにも、国産材をどのように活用していくか、とりわけスギ並材を建築材料として利用するための方法論、システムなりを検討することが急務であろう。それには、山を知り、山元との関係をもっと身近に感じ取ることが必要であろう。

スギ材といっても、地域、種類、場所等によりそれぞれ特性を持っており、構造材として利用するには、強度等級区分が重要な要因となろう。

本プロジェクトでは、代表的国産材であるスギ並材を対象として、丸太での等級区分、製材木取りの問題、製材強度の等級区分、特に厚さ45mmの板材は”ラミナ45”と称し、集成材のラミナ、製材品のどちらにも転用可能な市場流通性の高い寸法材との認識に立ち、建築材としての利用について検討を行った。

平成3年3月31日

第1章 スギ丸太の等級区分と強度性能のシミュレーション

1. 目的と前年度の検討結果の概要

針葉樹の国産化時代をひかえ供給の増大が予想されるスギ並材の需要開発を図るためには、生産性の向上や付加価値の高い製品の開発が必要となってくる。ここでは丸太段階での強度区分の導入や市場流通性の高い規格寸法材の製材による生産性の向上、乾燥、集成、複合化等による付加価値の向上を併せることにより、スギ並材の需要開発を図ることを目的とする。

前年度は、図1のような、市場で一括して扱われているスギ中目材を想定した利用システム案を設定し、その中での問題点について以下のように検討を加えた。

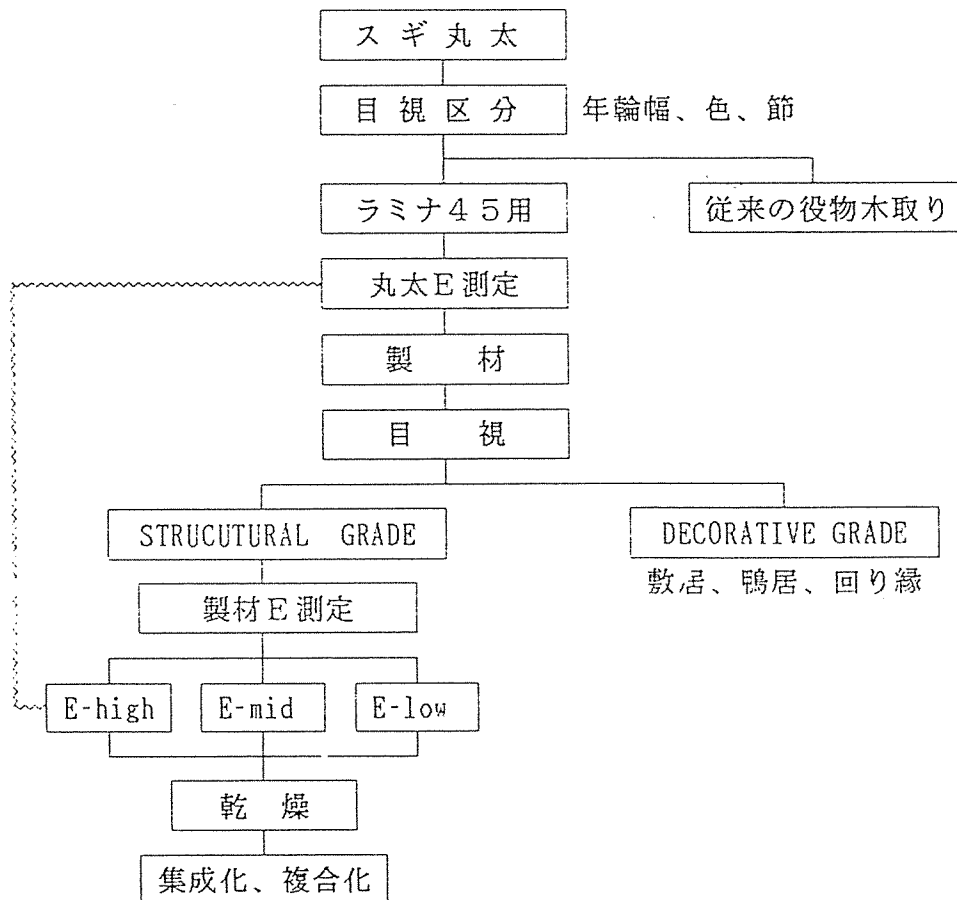


図1. システム案フロー

①シミュレーションによる合理的木取り法の検討

中径丸太から厚さ45mmの材を採材する場合、丸太の径級選別をどう行うかによって多少異なるようであるが、径18~28cmの中径材ではこれを一括し、幅120mmの材を中心に採材するのが最も現実的といえる。この場合、歩留まりは概ね50%程度と考えられる。

②現場における丸太の等級区分

現場において丸太を効率よく等級区分する方法としては、縦振動法によってEを測定し、これを基準にするのが最も現実的と考えられる。この場合、以上の検討結果から、椴積み状態で、比重を一定値とみなして行うことによって、大幅に測定を簡略化することが可能と思われる。

2. 本年度の検討内容

全国的なスギ材の強度試験結果は、既に中井^{1)・2)}、日本木材学会木材強度・木質構造研究会^{3)・4)} によって取りまとめられている。また品種的な特異性についての実験結果も報告されている^{5)・6)}。筆者は、木材の強度等級区分因子として最も有効と考えられるMOEとMORの関係を、これまでに収集された全国の曲げ強度実験のデータをもとに考察し、さらに、そこでみられるスギ製材での特異性を説明するため、材内の MOE変動と弾性変形条件をモデル的に与え、曲げ実験条件での変形、破壊のシミュレーションを行った⁷⁾。ここで用いた方法は節等の欠点を考慮していないなど不十分な点が多いが、実態をかなり説明できるものと思われ、実験データによる回帰直線の計算結果とほどよく対応している。

そこで今年度はこのモデルを用いて、前年度に想定した寸法（50mm厚、120mm幅）の材を採材した場合の製品の強度性能をシミュレーションし、実際の製品による実測結果と比較検討した。

3. シミュレーションの考え方

3. 1 仮定と力学的計算方法

①材内の微小部分では軸力に対して図2のような応力-歪の関係を示すものとする。すなわち C_p 、 T_p は圧縮、引張の比例限歪で、歪量 C_1 または T_1 まで近似的に弾性変形し、圧縮、引張のヤング係数は等しい。これを超えた後非弾性領域では σ/ε を任意の歪時のヤング係数と考える。また、曲げ破壊は引張側の歪が T_m に達したときに起こる。

②胸高部でのスギ材のヤング係数、歪に関する数値（澤田：林試研報 No.108より推定）は図3に示す変動をし、年輪数20で一定に達する。

③胸高部の髄からの距離 d (cm)と年輪数 R には次の関係がある。これは、全国のスギ製材のデータ（図4）から求めたものである。

緩慢生長： $R=5d$

平均的生長： $R=1.772d \cdot 9364e^{-0.429d}$

急速生長： $R=.6867d \cdot 9183e^{-0.771d}$

⑤立木内において同一時期には同質（強度、年輪幅）の材が形成される。

以上の仮定に基づけば、図5のように木材横断面内の任意の位置の曲げヤング係

数 (E) および歪に関する係数 (ϵ) は髓からの距離 d から求められ、さらに図 6 の方法で断面内の応力平衡条件式 ($\int \sigma_y dA=0$) から、任意の断面の曲げ強度性能は計算可能となる。

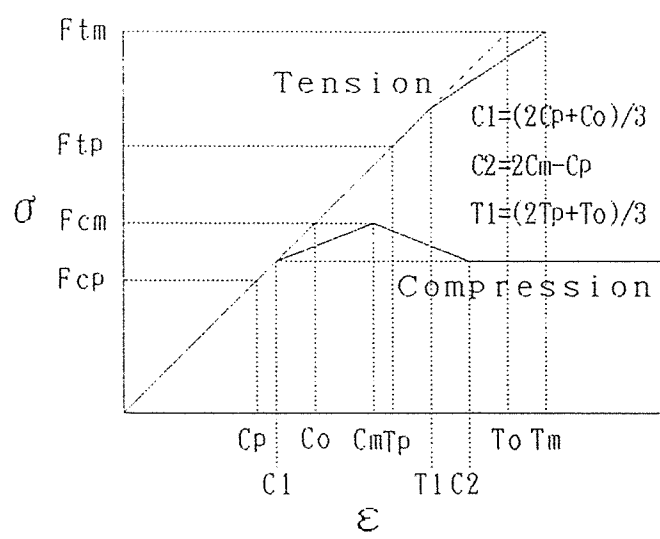


図2 応力と歪の関係

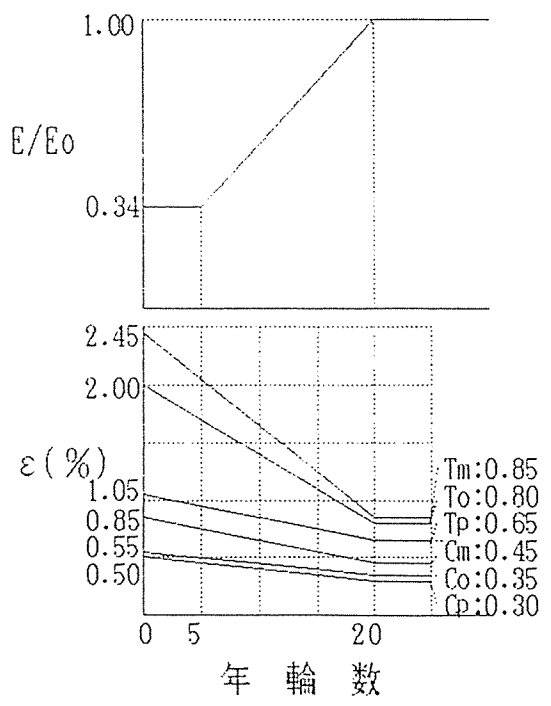
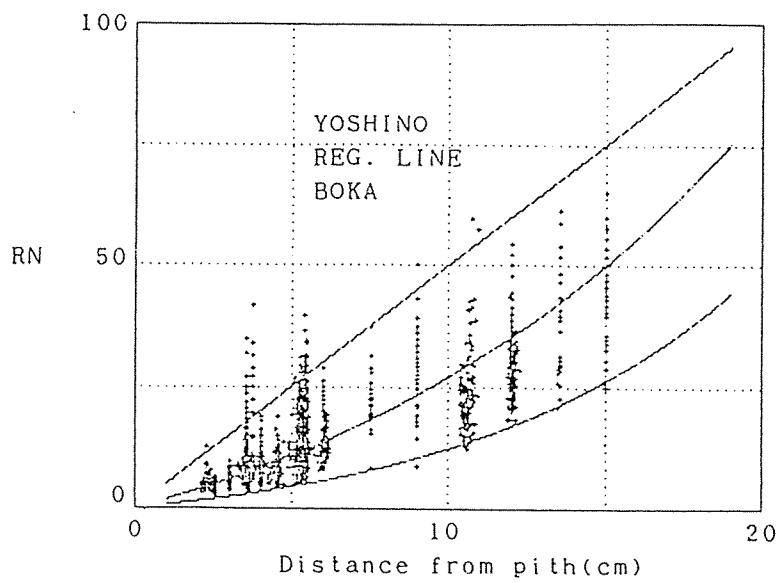
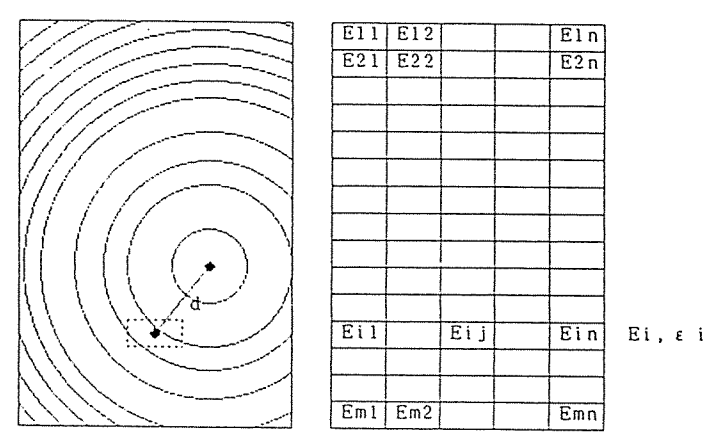


図3. 胸高部でのヤング係数および歪係数の変動



YOSHINO: 吉野材の標準施業
 曲線による、緩慢生長
 (R=5d)
 REG. LINE: データから得ら
 れた回帰直線、平均的生長
 (R=1.772d^{0.9964}e^{0.0429d})
 BOKA: 富山県産ボカスギ樹幹
 解析による曲線、急速生長
 (R=.6867d^{0.9183}e^{0.0771d})

図4. 髄からの距離と年輪数の関係



$$R_{ij} = f(d), E_{ij} = F(R), E_i = \sum E_{ij}/n$$

$$\epsilon_{ij} = G(R), \epsilon_i = \sum \epsilon_{ij}/n$$

図5. 断面内各部分の係数值計算模式図

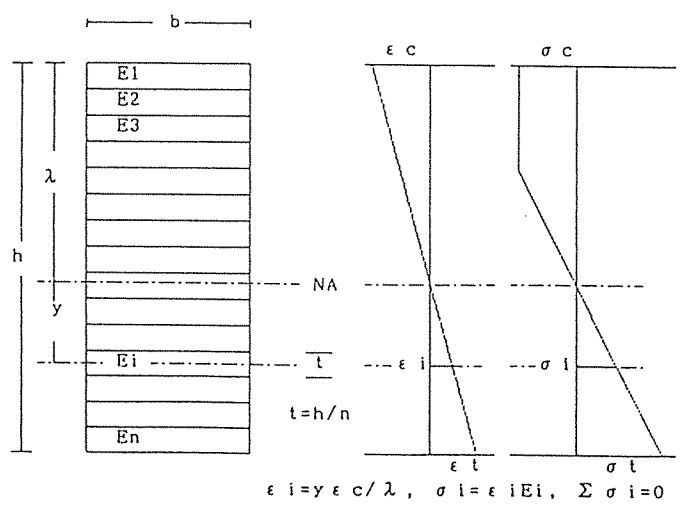


図6. 曲げ荷重条件での断面内の応力状態

3.2 計算方法および採材モデル

計算は以下のように行った。

①各断面を幅方向15、梁せい方向50のメッシュに分割し、その各部分の力学的係数 (E 、 ϵ) を求める。

②圧縮側に適当な歪値 (ϵ_0) を与える。

③内部応力の和が0になる λ (中立軸までの距離) を求める。

④見かけのヤング係数および剛性を計算し、モーメント一定区間内のたわみ (ここでは、 $1/h=7$ 、とした) を計算する。

⑤引張側最外層の歪が破壊歪に達していなければ、さらに ϵ_0 を増加して③-⑤を繰り返す。

ここで行ったものはスギ1および2番玉から図7のように製材品を採材し、これをフラットワイズの曲げ強度実験に供した場合である。なお、既往の結果⁷⁾にも示されるように、実用の材には欠点が含まれているため、計算ルーチン⑤での「破壊歪」を無欠点材における「引張側最大歪 (図2における T_m)」と仮定すると、実状より2割程度高めの値を示すようである。そこで今回は破壊歪を、無欠点材における「引張側比例限歪 (図2における T_p)」と仮定した。

また、「打撃法によるヤング係数は全断面ヤング係数の算術平均である」と仮定し、上記生長モデルによって、丸太時および製材時の打撃法によるヤング係数を試算した。

以下の図表で、Fast、Medium、Slow と記述しているのは、半径方向の生長モデルであり、各番玉の長さ方向の中央部は地上高2.5または6.5mとする。このときの材断面の年輪の推移を図8に示す。なお、髓から20年輪以降の材のヤング係数は全て $90 \times 1000 \text{ kgf/cm}^2$ と仮定した。

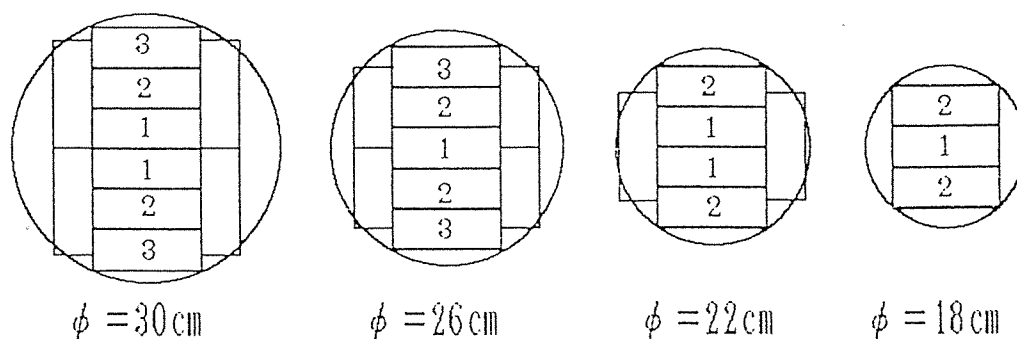


図7. 木取り模式図

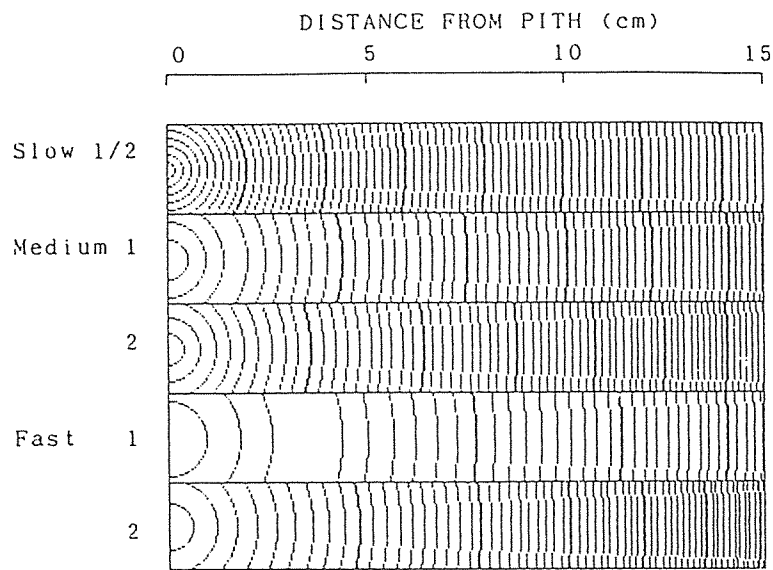


図8. 材断面内の年輪の推移

表1. 打撃法による丸太と製材品のヤング係数

径 級	モデル	Fast		Medium		Slow		
		1	2	1	2	1	2	
18cm	丸 太	56.4	83.7	77.0	86.3	86.8	88.9	
	製材	No.1 (1)	38.7	69.9	53.9	75.5	75.7	85.0
		No.2 (2)	52.2	85.3	76.9	88.4	89.4	90.0
		平 均	47.7	80.2	69.2	84.1	84.8	88.3
22cm	丸 太	66.9	85.8	81.3	87.5	87.9	89.3	
	製材	No.1 (2)	42.2	75.4	61.1	81.1	82.3	87.5
		No.2 (2)	67.5	89.8	87.7	90.0	90.0	90.0
		平 均	54.9	82.6	74.4	85.6	86.2	88.8
26cm	丸 太	73.5	87.0	83.8	88.3	88.5	89.4	
	製材	No.1 (1)	38.7	69.9	53.9	75.5	75.7	85.0
		No.2 (2)	52.2	85.3	76.9	88.4	89.4	90.0
		No.3 (2)	82.8	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
平 均	61.7	84.1	77.5	86.5	86.9	89.0		
30cm	丸 太	77.4	87.7	85.3	88.7	88.9	89.5	
	製材	No.1 (2)	42.2	75.4	61.1	81.1	82.3	87.5
		No.2 (2)	67.5	89.8	87.7	90.0	90.0	90.0
		No.3 (2)	89.7	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
平 均	66.5	85.1	79.6	87.0	87.4	89.2		

注) 製材No.は図7に対応する。また、平均値は全製材による。

3.3 計算結果

1) 打撃法による丸太時および製材時のヤング係数

上記生長モデルによって、丸太時および製材時の打撃法によるヤング係数を試算した結果を表1に示す。結果によれば、ヤング係数の低い丸太から採材された製材は、それなりに低いヤング係数を示す傾向は窺える。しかし生長が平均的～急速な立木の1番玉では、材内のばらつきが大きいいため、同一丸太であっても、製材のヤング係数は必ずしも一様ではない。

2) 強度性能のシミュレーション

強度性能のシミュレーションの例を図9に、結果のまとめを図10に示す。図から判断されることは、いずれの強度指標に関しても、1)と同様に平均的～急速生長モデルの1番玉が、採材位置によってかなり変動することであり、2番玉では採材位置による差はそれほど大きくはない、ということである。

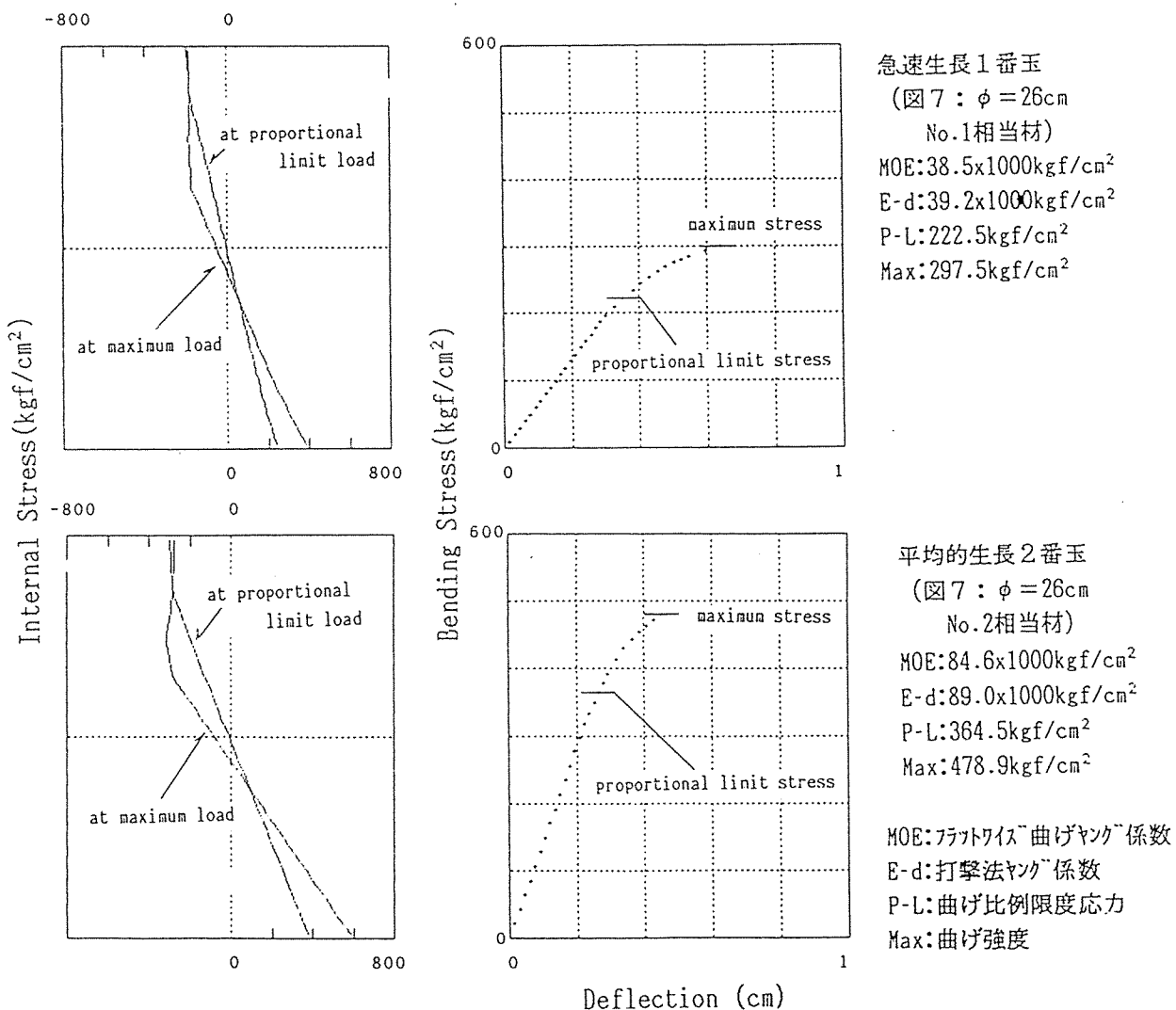


図9. シミュレーション結果の例

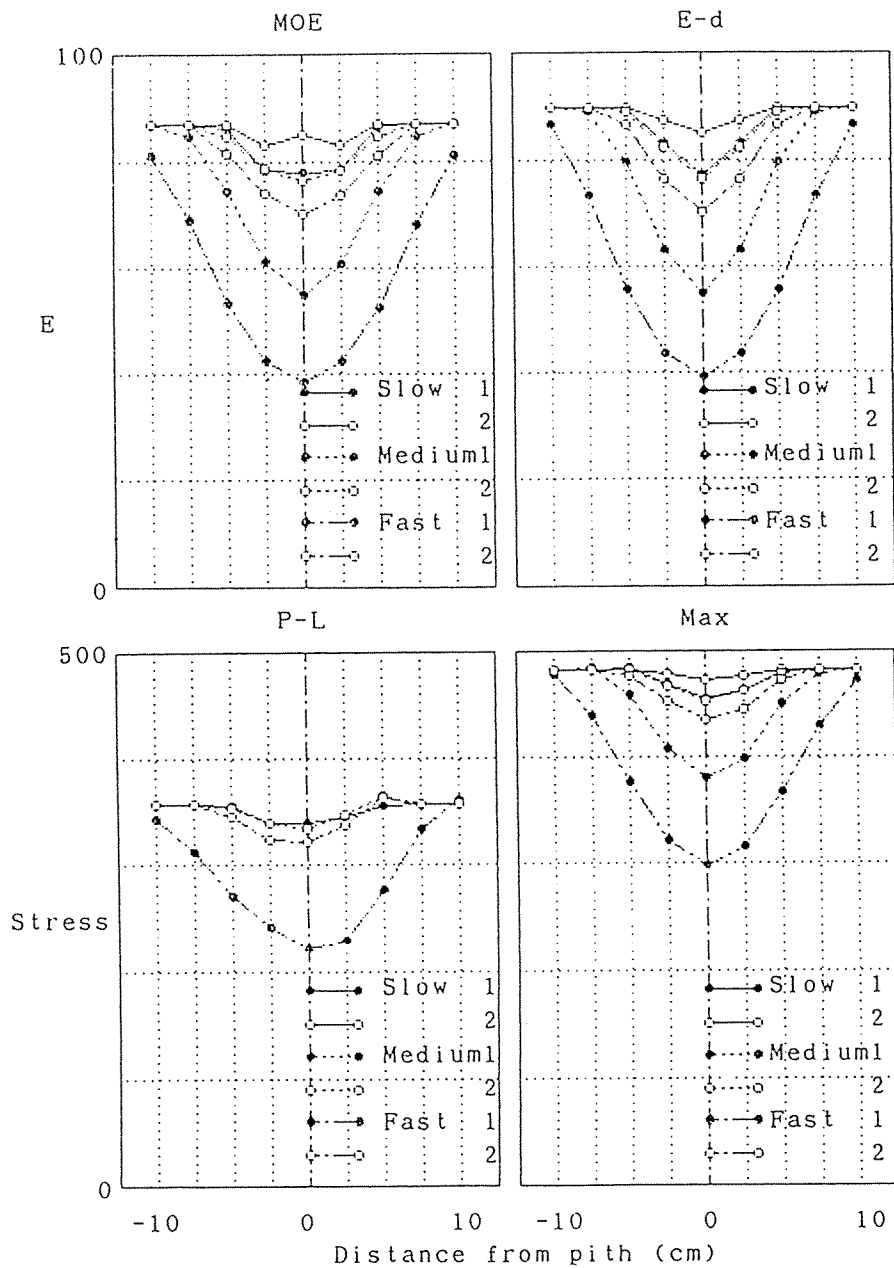


図10. 強度性能のシミュレーション結果のまとめ

MOE : フラットワイズ曲げヤング係数 (1000kgf/cm²)

E-d : 打撃法によるヤング係数 (1000kgf/cm²)

P-L : 曲げ比例限度応力 (1000kgf/cm²)

Max : 曲げ強度 (1000kgf/cm²)

横軸 : 材中央部の髄からの距離 (+側 : 木裏荷重、-側 : 木表荷重)

3.4 シミュレーション結果のまとめ

以上のように、1番玉では髄からの年輪数がほぼ15以内のいわゆる未成熟材部の取扱いに留意する必要がある。逆にいえば、この部分の比率が少ない原木であれば、丸太の時点で全体の強度評価（たとえば、振動法によるEの測定）によって、製材品の強度をかなり高精度で予測することが可能になるといえる。

4. 実験

4.1 実験の方法

実験は図1に示したフローにしたがい、富山県産スギ丸太計20本から、公称断面45x120mmの平割り材を連続的に製材した。丸太長は380cmである。

4.2 実験の結果

各測定値は表2に示した。

表2. 測定結果

No.	丸太						製材			E-1
	D1	D2	D0	RN	ARW	E-log	N	E-1	sd	E-log
15	20.5	23.5	22.0	22	5.00	73.3	3	72.3	10.6	0.986
16	22.5	28	25.3	21	6.02	90.4	3	77.5	13.3	0.857
17	20	31	25.5	30	4.25	94.7	3	69.6	8.8	0.734
18	22	26.5	24.3	23	5.28	88.4	5	88.1	5.1	0.997
19	21	29	25.0	44	2.84	78.8	4	59.0	5.2	0.749
20	22	30	26.0	16	8.13	86.9	5	62.8	5.7	0.722
21	20.5	25.5	23.0	21	5.48	84.2	3	81.4	8.1	0.967
22	22.5	29.5	26.0	28	4.64	67.1	4	59.1	8.2	0.880
23	28	29.5	28.8	27	5.33	85.2	6	67.2	5.3	0.789
24	21	24	22.5	29	3.88	72.2	3	75.2	7.3	1.042
25	23	29	26.0	30	4.33	74.5	3	68.9	13.4	0.925
26	18	26.5	22.3	25	4.46	92.8	3	67.0	7.9	0.722
27	24	29	26.5	54	2.45	79.4	3	88.0	3.5	1.109
28	21	27	24.0	50	2.40	95.4	3	74.4	7.0	0.780
29	25	32.5	28.8	22	6.55	59.8	5	50.5	12.0	0.845
30	20	25	22.5	20	5.63	87.0	3	79.9	6.8	0.918
31	27	32.5	29.8	31	4.81	84.2	5	79.7	8.6	0.947
32	24	28.5	26.3	55	2.39	82.0	4	85.6	7.8	1.044
33	26.5	35	30.8	23	6.70	66.4	7	36.9	9.8	0.555
34	27.5	35	31.3	21	7.45	64.2	6	36.9	9.3	0.574

D1,D2,D0：丸太の末口、元口、平均直径(cm)、RN：年輪数、ARW：平均年輪幅(mm)、E-log：丸太の動的ヤング係数(1000kgf/cm²)、N：製材本数、E-1, sd：製材の動的ヤング係数の平均値および標準偏差(1000kgf/cm²)

1) 製材歩留まり

丸太の末口径は18~28cmである。供試丸太の平均径は約22cmであり、製材された本数は1本あたり4本となった。原木材積を末口（JAS法の2cm括約）の2乗に長さを乗じたものとする、材積は3.832m³であり、これに対し製材本数は81本であった。これから、製材を公称断面換算で計算すると、材積1.662m³、歩留まり41.5%となる。なお、製材の正味断面は50x125mmであり、50x155mmが4本採材されているので、正確には、1.947m³、50.8%となる。したがって、正味断面で考えれば、昨年度のシミュレーション結果ときわめてよく一致しているといえる。

2) 製材のヤング係数と丸太性質との関係

丸太の動的ヤング係数（E-log）と製材の動的ヤング係数（E-lumber）の関係を図11に、丸太の年輪数、平均年輪幅とE-log、E-lumberの平均値およびその比の関係を図12に示す。

まずE-logとE-lumberの関係では、同一原木内でのばらつきは少ないとは思われるが、ヤング係数の高い丸太ほど、そこから得られる材のヤング係数は高い傾向は明らかであろうと思われる。

また、丸太の年輪数、平均年輪幅とE-log、E-lumberの平均値およびその比の関係では、生長度合とE-logの相関関係は低いが、E-lumberと材の生長（とくに平均年輪幅）はかなり密接な関係がある。したがって、E-lumber/E-log値は、生長の早い材ほど低くなる傾向がある。得られたデータから見ると、製材の平均ヤング係数は平

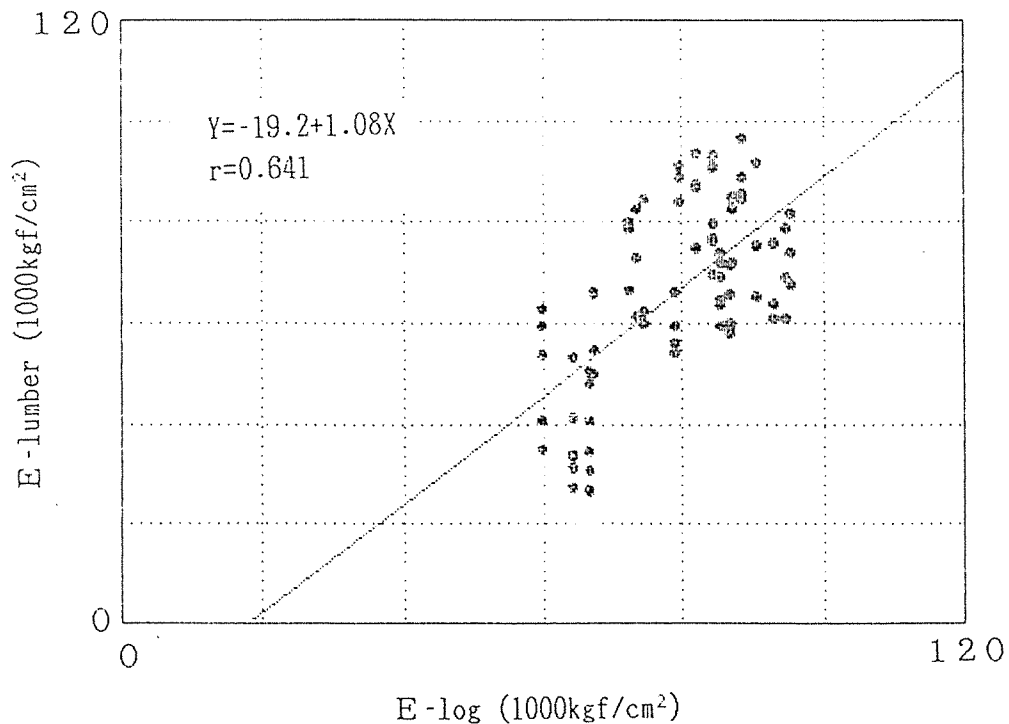


図11. 丸太の動的ヤング係数(E-log)と製材の動的ヤング係数(E-lumber)の関係

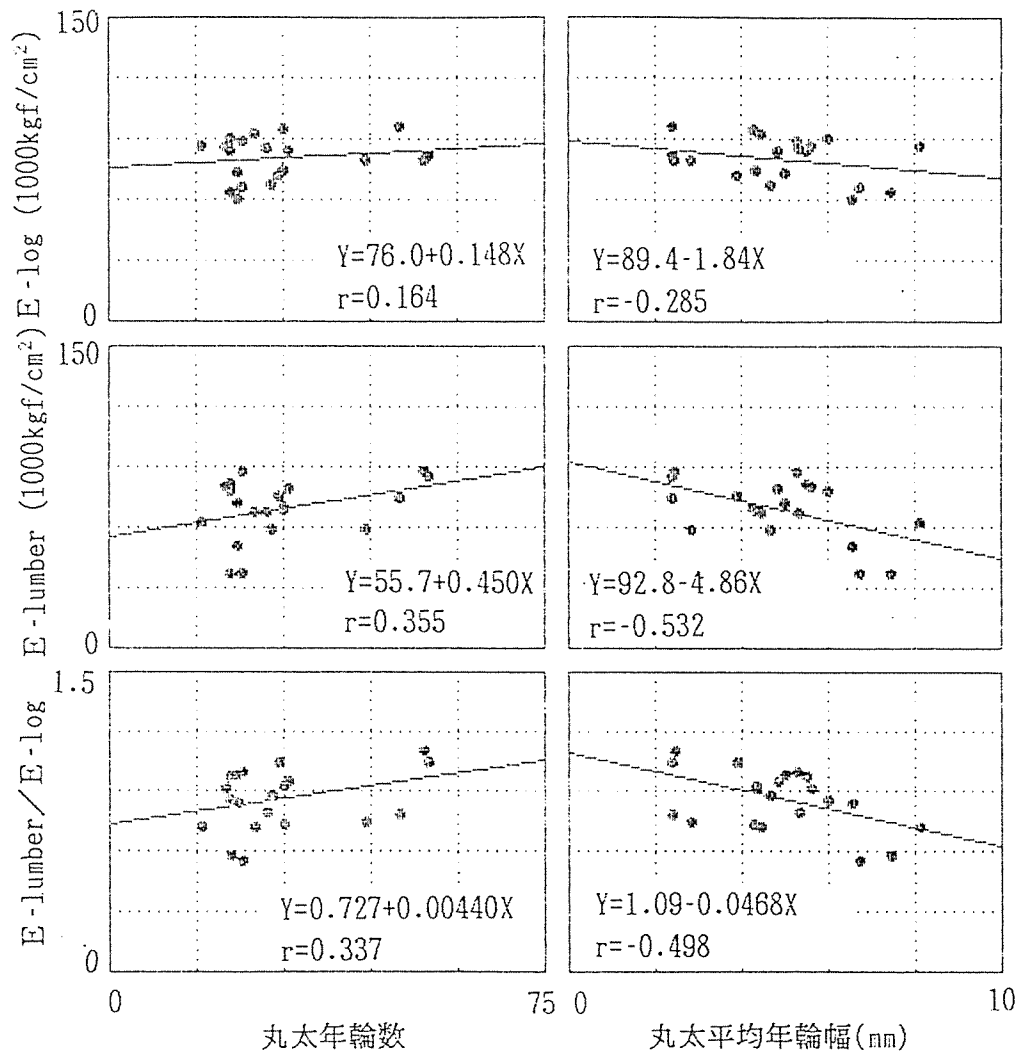


図12. 丸太年輪数、平均年輪幅とE-log、E-lumberの平均値およびその比の関係

均年輪幅2mmでは、丸太のヤング係数とほぼ等しく、6mmでは約80%になる。

3. 2に述べたシミュレーション例のうち、急速生長1番玉モデルの結果では、製材のヤング係数の平均と丸太のヤング係数の比は80~85%を示しており、よく一致しているといえよう。

5. まとめ

以上のように、ここで用いた、生長を考慮したスギのシミュレーションモデルは、スギの材から任意断面の材を採材したときのヤング係数をほどよく予測可能であることがわかった。

しかし、供試材の破壊実験は完了していないため、その強度予測の可能性については次年度に報告する予定である。

- 1) 中井 孝ら：間伐材等小径木の強度性能、木材工業、39(5)、29-35(1984)
- 2) 中井 孝：国産造林木の材質、木材工業、39(11)、42-46(1984)
- 3) 日本木材学会木材強度・木質構造研究会：構造用木材－強度データの収集と分析(1988)
- 4) 日本木材学会木材強度・木質構造研究会：スギ材の構造的利用の方向と問題(1988)
- 5) 佐々木光ら：スギ36品種の力学的性質、木材研究・資料、18(1983)
- 6) 三輪雄四郎：スギの品種別材質試験（Ⅱ）曲げ性状について、第36回木材学会大会要旨集(1986)
- 7) 飯島泰男：スギ材強度性能の特異性に関して、日本建築学会大会梗概集(1989)

第2章 スギ丸太のヤング係数の地域差と丸太内部の変動

1. はじめに

日本を代表する木材であるスギに関する研究は多いが、文献1)～9)にみられるような組織と材質についての研究がほとんどであり、構造材としての材質に言及したものの^{10) 12)}はすくない。しかし、文献12)では、全国各地の試験場、研究所、大学により実験されたスギ材の強度に関するデータを収集し、統計的な解析を行っている。そのデータのほとんどがスギ正角材のデータであり、曲げヤング係数、曲げ強度に地域性があることを認めている。一方、急激な伐採による熱帯雨林の消滅や生態系の危機といった地球規模での環境問題が生じており、できることなら国産材を積極的に利用していかなければならないであろう。このような観点から、スギ材を集成材など構造材の材料として用いることは十分考えられることである。またわが国における木材流通の現状を考えると、丸太の時点での等級区分が現状に適している¹³⁾という報告もある。以上の理由から、丸太のヤング係数の地域性を把握することは非常に重要である。本研究では、いくつかの地域のスギ丸太のヤング係数を測定するとともに、丸太内部の分布も求め、丸太のヤング係数から内部のヤング係数の分布を推定することを試みた。

2. 実験方法

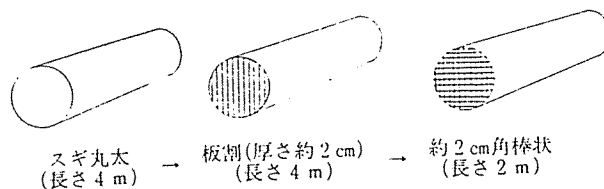
本実験のフローを図1に示す。まず4地域におけるスギ丸太の形状(元口および末口径、長さ)、重量を測定し、みかけの比重 ρ を求めた。また丸太の木口をハンマーで打撃することにより発生した音をスペクトラムアナライザーにより周波数分析し、一次の固有振動数 f_1 を求めた。これより次式にしたがい縦ヤング係数 E_L を算出した。以後縦ヤング係数を単にヤング係数と呼ぶことにする。

$$E_L = (2 f_1 L)^2 \times \rho / g \quad (L: \text{丸太の長さ、} g: \text{重力加速度})$$

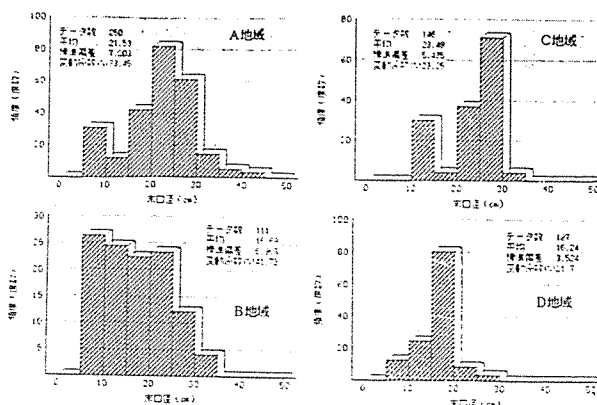
4地域とは静岡県天竜地方、愛媛県松山地方、岡山県美作地方、栃木県鹿沼地方である。それらをA、B、C、D地方と呼ぶことにするが、地方の名称と記号は対応していない。丸太の本数は地域により異なるが、長さはほぼ4mである。さらに固有振動数の値を順序づけし、固有振動数の値が偏らないように4本の丸太を抽出した。抽出した丸太を厚さ約2cmにだら挽きし、長さ4mの板材について丸太と同様の測定を行った。図2に各地域の末口径の分布を示す。本実験では樹齢や品種は調べておらず、丸太のヤング係数の分布は樹齢、径級、比重等により異なることが考えられるので、以後末口径14～30cmまでの中目丸太のヤング係数の差異について論ずることにする。

また抽出した4本の丸太については図3に示すようにスパン100cmを伝播する応力波の時間差を測定し、次式によりヤング係数 E_T を求めた。固有振動数から算出されるヤング係数 E_L が丸太の平均的なヤング係数を表すのに対し、 E_T は丸太の外周付近の部分的なヤング係数を表すと考えられる。¹⁴⁾

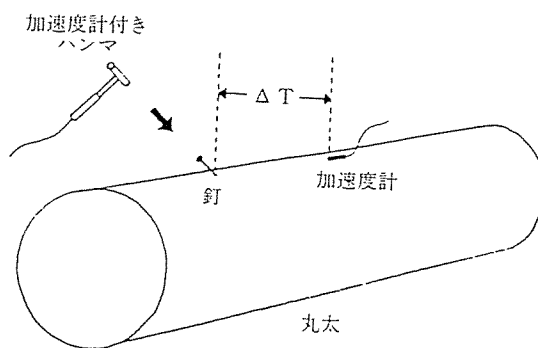
$$E_T = (1 / \Delta T)^2 \times \rho / g \quad (1: \text{スパン、} \Delta T: \text{時間差})$$



第 1 図 実験のフロー



第 2 図 4 地域における丸太末口径の頻度分布



第 3 図 応力波の伝播時間差によるヤング係数の測定

3. 結果と考察

3. 1 丸太のヤング係数の分布

4 地域の中目丸太のヤング係数の頻度分布を図 4 に示した。標本の平均値や分散の差異についての検定には t 検定や F 検定があるが、これらはいずれも母集団が正規分布やそれに近い分布であることを前提としており、分布そのものについての差異の検定にはこれといった手法がない。そこで中目丸太のヤング係数の分布に最小二乗法によりワイブル分布を当てはめ、あてはめたワイブル分布により分布の差異を検討することにした。

まずワイブル分布の確率分布関数 $F(x)=1-\exp\{-((x-\gamma)/\eta)^m\}$ におけるパラメータ m 、 η 、 γ を求めた。図 5 に 4 地域の確率密度関数を表した。これよりヤング係数の値が 85、95、105、115、125 (tonf/cm²) 以上となる出現確率を算出すると表 1 のようになった。これより、表の値が丸太材の値でありひき板にした場合のヤング係数の幅が上下に同様に広がるとを考えると、構造用大断面集成材の外層用ラミナとしてスギでは 95 (tonf/cm²) 以上が一等であるが、B、D 地域では 1 等が約 2 割から 4 割入手できるのに対し、A 地域では約 2 割、C 地域では約 1 割となってしまうことがわかる。つまりいわゆる中目丸太と呼ばれる丸太のヤング係数について、分布としての地域変動が認められることになる。しかし、2. で述べたように本実験では樹齢や年輪幅、品種は調べてはいないので、今回の結果からは一概に地域差が認められるという結論は早急すぎるのではないだろうか、今後データの収集と注意深い解析が必要であろう。

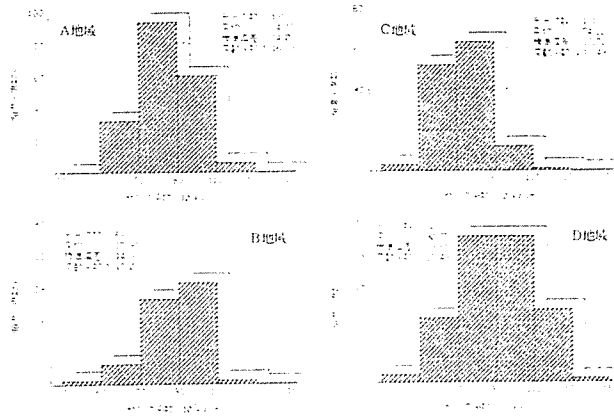
3. 2 丸太における固有振動数とヤング係数との関係

丸太のヤング係数を求めるためには、固有振動数の他に比重も必要であるが、100kg 以上の丸太の重量を測定するのは、人力ではなかなかたいへんである。そこで比較的測定の容易な固有振動数のみから、ヤング係数推定の可能性を探ってみた。図 6 に長さを 4 m に換算した場合の固有振動数とヤング係数の関係を示した。同図には最小二乗法から算出した直線も載せてある。これより相関係数の値が有意であるとしても、同じ固有振動数であってもヤング係数の幅がかなり大きいことがわかる。したがって固有振動数からのヤング係数の測定には、密度の測定が必要であろう。

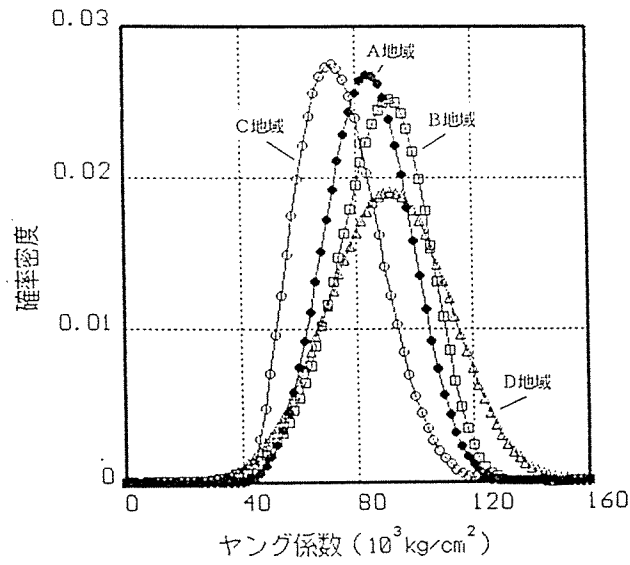
また固有振動数からヤング係数を算出する式の中には比重の項が入っているため、含水率の違いによる影響が考えられる。しかし既往の研究¹³⁾や現在行っている実験からすると、含水率が異なっても、みかけの比重と得られた固有振動数から計算したヤング係数には大きな相違はないようである。

3. 3 丸太内部のヤング係数の変動

4 地域それぞれ 4 本の丸太を厚さ約 2 cm の板材にした場合の、内部のヤング係数の変動を図 7 に示した。これより丸太内部のヤング係数の変動には相違が認められる。つまり A-2、C-3、D-2、D-3 のようにヤング係数の変動の幅が大きく、外側と内側で約 4 割もヤング係数の値が異なっている丸太や、一方 A-1、B-2、B-3 のように比較的ヤング係数の変動の幅が小さい丸太が存在することが分かる。これは地域変動によるものよりは、むしろ個々の丸太により異なっていると思われ、随の位置、辺材や心材、径級、樹齢、比重等の違いにより当然考えられることである。



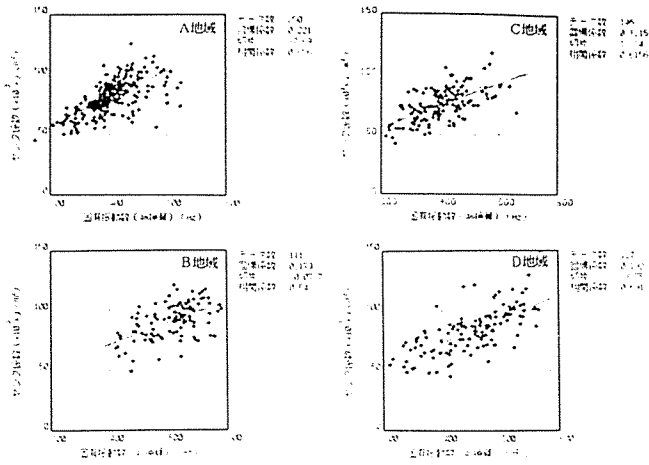
第4図 4地域における中目丸太ヤング係数の頻度分布



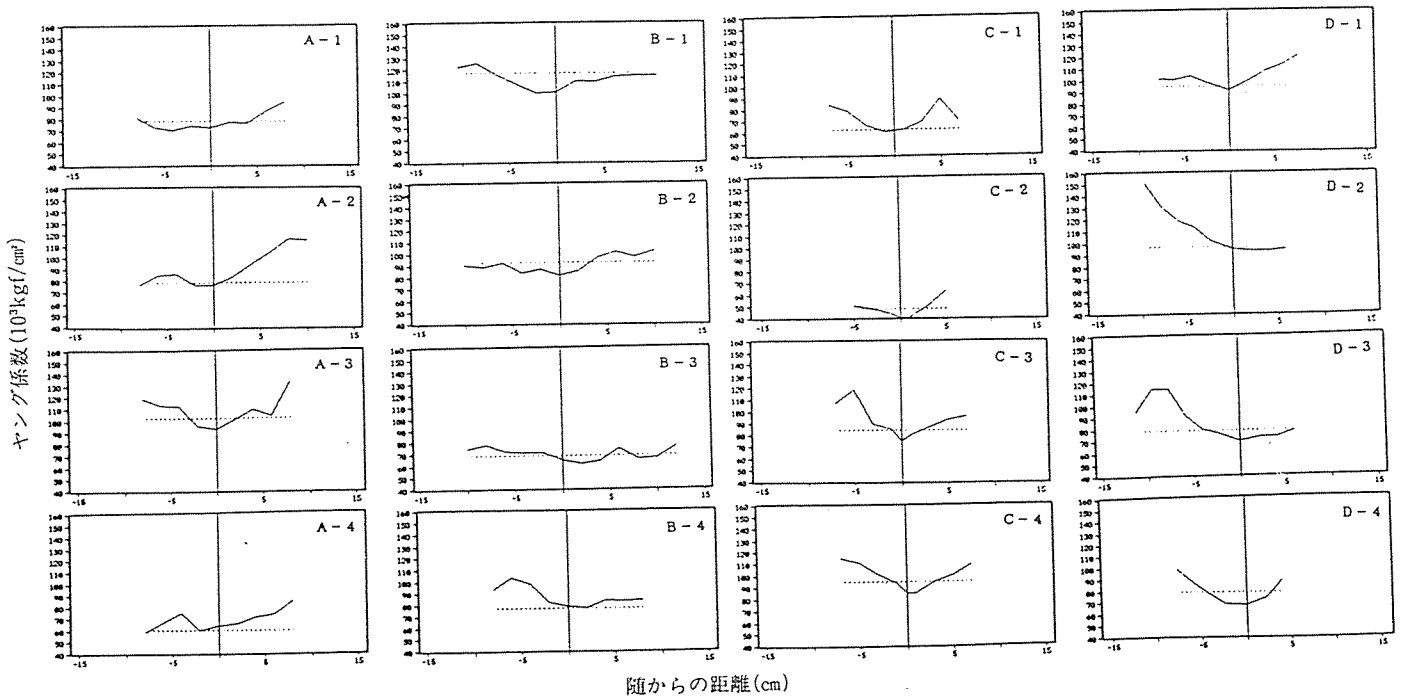
第5図 4地域における中目丸太ヤング係数の確率密度

表1. 丸太のヤング係数の出現確率

ヤング係数 (tonf/cm ²)	確 率 (%)			
	A	B	C	D
85以上	66.8	59.9	61.4	47.9
95以上	50.4	35.3	42.6	23.1
105以上	34.1	24.0	24.9	7.4
115以上	20.5	3.0	11.8	1.4
125以上	10.4	0.2	4.3	0.1



第6図 4地域における固有振動数とヤング係数との関係



第7図 各地域における丸太内部のヤング係数の変動
 実線: 長さ4m, 厚さ2cmのだら挽き
 点線: 丸太のヤング係数

このことを確かめるために、板材をさらに細かく約2cm角の棒状に製材した場合のヤング係数の変動の代表的な例を図8に表した。それぞれヤング係数の変動が大きい、D-3ではヤング係数の値が小さいものが随近くに多数集まっており、だら挽きした板材の場合の板のヤング係数の変動の幅が大きくなっていること、またD-2では片側にヤング係数の大きなものが存在し同様にヤング係数の変動の幅が大きかったことを裏付けている。一方、B-1ではD-3、A-2に比べそれほど内部の分布に大きな変動がみられないために、板材のヤング係数の分布に大きな差異が認められないと考えられる。

このことは、例えば集成材用のラミナを製材する場合、丸太の時点で同じヤング係数の値を示した丸太でも変動が大きいと、ラミナとして適さないものが多数出現する可能性が存在することが考えられる。したがって次の項で丸太内部のヤング係数の推定について述べる。

3. 4 丸太内部のヤング係数の推定

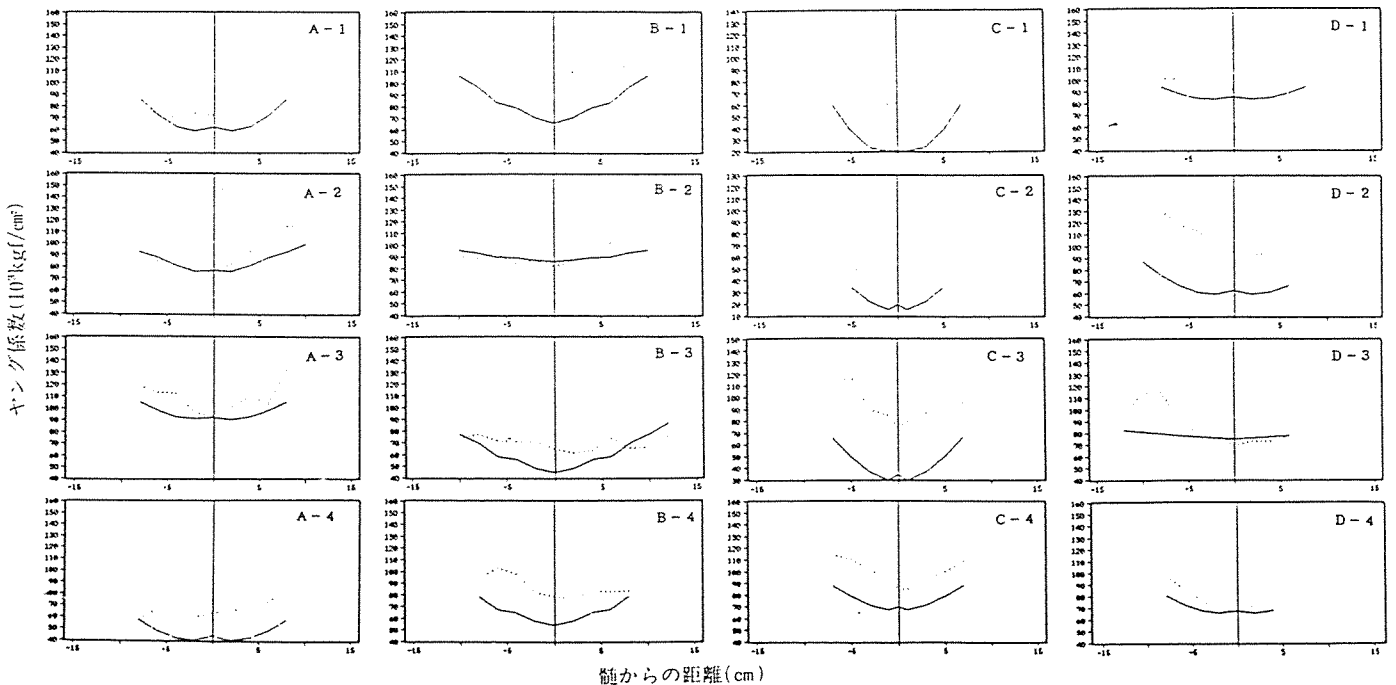
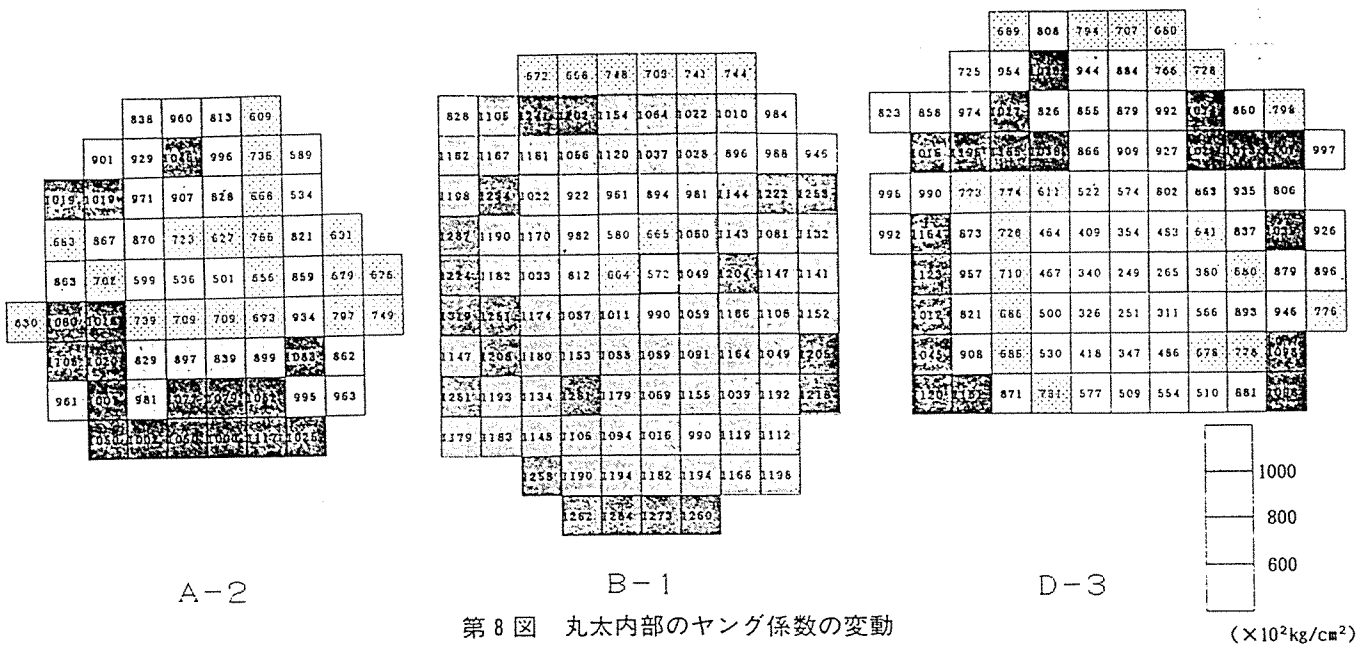
E_L と E_T を用いて丸太内部のヤング係数の推定を試みた。まず仮定を以下のように設定した。

- ① 随からの距離 x が同じ箇所の丸太内部のヤング係数は同じとする。また長さ方向においても変化しないものとする。
- ② 丸太内部のヤング係数の値 $E(x)$ は随から外周に向い、

$$E(x) = a x^n + b \quad \dots (1)$$
 のように変化するものとする。
- ③ $E(x)$ に、 $E(x)$ を表す部分の面積を重み付けしたものを断面積で除した値が、丸太の平均的なヤング係数 E_L を表すものとする。つまり次の式のように表せる。

$$\int \{ [(x+dx)^2 - x^2] \cdot E(x) \} / \pi r^2 = E_L \quad \dots (2) \quad (r \text{ は丸太の半径})$$

いま、いくつかの丸太において図8で示した丸太内部のヤング係数の値を式(1)に当てはめ、 $\log(E(x) - b) = n \log x + \log a$ と変形し最小二乗法を用いて n を求めると、ほぼ1であると考えたことがわかった。このことと(2)式より(1)式の係数は、 $a = 3(E_T - E_L) / r$ 、 $b = 3E_L - 2E_T$ となった。このようにして丸太内部のヤング係数を求め、図9に示した。これより全ての丸太についてうまく推定できているとは考えられないことがわかる。上記の仮定や応力波を用いた測定におけるスパンを丸太全長でとること等今後の課題が多いが、全体の傾向として E_L と E_T の値がかなり異なる丸太については、丸太内部のヤング係数の分布に大きな幅が存在する可能性がある。またA-2、D-2、D-3のように片側のヤング係数が大きく異なっている場合には、応力波による伝播時間差の測定を数ヶ所行うことも考えられる。



第 9 図 推定された丸太内部のヤング係数と実測値の比較
実線：推定値 点線：実測値

4. まとめ

以上、丸太におけるヤング係数の地域変動について論じてきたが、収集する地域やデータに限りがあり本研究の結果からは、変動が認められるとする結論は早急であろう。しかし個々の丸太について内部のヤング係数の分布に変動が存在することがわかった。このことは集成材のラミナとして用いる場合に非常に重要なことであり、丸太の時点で丸太内部のヤング係数の変動が推定できるなら、ラミナ材として不適応な丸太を分けることができ、それだけコスト削減が可能になると思われ、国産材の有効利用やわが国の木材工業の発展に寄与するものと考えられる。また丸太内部のヤング係数推定的手段として、打撃による固有振動数の他に応力波による伝播時間差を測定し、外周付近のヤング係数を求める手段が考えられるが、問題点も存在し今後の研究が望まれる。

参考文献

- 1) 藤崎謙次郎：スギにおけるヤング率と仮道管長およびマイクロフィブリル傾角との関係について、愛媛大学農学部演習林報告、1984、No. 11
- 2) 藤崎謙次郎：スギ品種における組織構造と材質の関係（Ⅰ）、愛媛大学農学部演習林報告、1985、No. 23
- 3) 藤崎謙次郎ら：スギ品種における組織構造と材質の関係（Ⅱ）、愛媛大学農学部演習林報告、1986、No. 24
- 4) 渋谷昌資ら：スギ品種における組織構造と材質の関係（Ⅲ）、愛媛大学農学部演習林報告、1987、No. 25
- 5) 見尾貞治ら：スギ品種の木材材質、九州産在来6品種について、九州大学農学部演習林報告、1985、No. 55
- 6) 又木義博ら：スギ若齢木からの平割材における曲げヤング係数の材内分布に関する統計的解析、九州大学農学部演習林報告、1987、No. 57
- 7) 又木義博ら：スギおよびカラマツ造林木からの実大寸法小割材における曲げ弾性係数の材長変動、九州大学農学部演習林報告、1988、No. 59
- 8) 小田一幸ら：同一林分で生育したスギ品種内の木材性質のバラツキ、九州大学農学部演習林報告、1989、No. 60
- 9) 林 昭三ら：スギ36品種の組織構造的性質、1983、木材研究・資料、No. 18
- 10) 佐々木光ら：スギ36品種の力学的性質、1982、木材研究・資料、No. 17
- 11) 小田一幸ら：構造部材を意識したスギ12品種の木材材質、九州大学農学部演習林報告、1990、No. 62
- 12) 日本木材学会木材強度・木質構造研究会編：構造用木材－強度データの収集と分析、1988
- 13) 静岡県集成材工業組合：昭和61年度国産針葉樹多目的利用促進事業報告書
- 14) 平成2年度科学研究費補助金研究成果報告書：「振動による立木材質の測定法の検討と立木材質を基準とする新しい間伐法の開発」、研究代表者 東京大学農学部 大熊幹章

第3章 製材の強度のおよぼす丸太における等級区分の相違

1. はじめに

丸太における等級区分において、等級区分の数をいくつにするかは重要な問題である。特にスギは、地域においてヤング係数の分布に変動がみられる^{1)・2)}ことから、各地域毎のスギ丸太のヤング係数の分布を把握しておくこと、等級区分の数をいくつにするかは非常に重要である。ここでは丸太における等級区分の数を変化させ、丸太を挽いて得られる製材のヤング係数や強度の分布、またフィンガー加工した場合の組合せによる縦つぎ部のヤング係数、強度の分布について検討を行った。

2. 実験

実験に供した丸太は32年生で、長さはほぼ4m、直径は平均で約20cmである。末口の直径の分布を図.1に示す。これらの丸太の重さ、形状を測定し、さらに打撃音による固有振動数をハンディー型のFFTにより求め、 $E_{100} = (2fL)^2 \rho / g$ (f : 固有振動数、 L : 丸太の長さ、 ρ : 密度、 g : 重力加速度)より丸太のヤング係数 E_{100} を算出した。

次にこれらの丸太から厚さ5cm、幅110cmの製材を挽いた。1つの丸太からは2枚から3枚の製材が得られた。さらにこのような比較的厚い製材を中央でカットし、長さを約2mにした。これら長さ約4m製材および約2m製材についても丸太と同様打撃音によるヤング係数を求めた。さらに半分はフィンガー加工し2mの縦つぎ材を製造した。これら2mの製材と縦つぎ材について、スパン180cm3等分4点荷重方式でフラットワイズにて曲げ試験を行い、静的なヤング係数(MOE)、曲げ強度(MOR)を求めた。実験全体のフローを図.2に示す。

3. 結果と考察

3.1 丸太、製材のヤング係数および強度

丸太、長さ約4m製材および約2m製材のヤング係数の頻度分布を図.3に示した。これよりヤング係数の平均値はそれほど変わらないが、丸太、4m製材、2m製材となるにつれて分布の幅(バラツキ、変動係数)が大きくなっていることがわかる。つまり丸太の内部にも長さ方向にもヤング係数は変動している(バラツキをもっている)のである。また図.4に丸太のヤング係数と4m製材のヤング係数との関係を、図.5に4m製材のヤング係数と2m製材のヤング係数の関係を示した。これらの図より以下のことが分かる。

- ・ 図.4より丸太のヤング係数の値は1つしかないが、4m製材のヤング係数の値は当然のことながら2~3つ存在する。しかも製材のヤング係数の値の幅(バラツキ)はかなり大きい。
- ・ 図.5より元口側よりも末口側の製材のヤング係数の値が大きく、回帰直線の傾きはほぼ等しい。

次に、曲げ試験における静的なヤング係数について考察する。図.6に2m製材のせん断の影響を含むヤング係数、MORの分布を示した。この図のMOEと図.3の動的なヤング係数の値を比較すると、変動係数の値はほぼ同じことから、動的なヤング係数の方が静的な値より若干大きくなっていることが分かる。また丸

太との関係についてみた図.7、8を眺めると、それぞれの関係における相関係数より、ヤング係数については丸太における等級区分は有効性が存在すると思われるが、強度についてはあまり有効性が認められないように思われる。

3. 2 丸太における等級区分の相違による製材強度の分布

(1) 丸太における等級区分を2つにした場合

図.9に、丸太のヤング係数を70 (tf/cm^2)を境に2つに分けた場合の静的なヤング係数MOE、および強度MORの分布を示した。これよりMOEについては、3.1で述べたように明かな分布の相違がみられるが、MORについては明かな差異がみられるとは結論し難い。

(2) 丸太における等級区分を3つにした場合

図.10に、丸太のヤング係数を60 (tf/cm^2)、80 (tf/cm^2)を境に3つに分けた場合のMOE、MORの分布を示した。(1)と同様のことが窺えるが、G1のMORの分布が左側にG3のそれが右側によっていることを考えると、等級区分の効果が表れているようにも思える。しかし、G1にもMORのおおきな要素が、G3にはMORの小さな要素が存在することも事実で、丸太のヤング係数以外にも何らかのファクターを導入してより精度の高い等級区分が必要なのではないだろうか。

3. 3 縦つぎ部の強度

(1) 丸太における等級区分を2つにした場合

図.11および表.1に縦つぎ部をモーメント一定区間に含む縦つぎ材のヤング係数と、縦つぎ部の強度を示した。MOEについては、縦つぎ加工を行う2つの材の等級が高ければ高いほど大きくなっていること、つまりG I - G Iでは分布が左によっており、G I - G IIではほぼ正規分布に、G II - G IIでは分布が右によっていることが分かる。しかしMORについては3.2と同様分布に明かな差異は認められない。

(2) 丸太における等級区分を3つにした場合

図.12に縦つぎ部をモーメント一定区間に含む縦つぎ材のヤング係数を、図.13に縦つぎ部の強度を、それらをまとめたものを表.2に示した。MOE、MORについては、(1)と同様のことが窺える。

4. まとめ

スギを構造的に利用する場合、わが国の実状を考えれば丸太における等級区分は重要な意味をもってくる。しかし、スギはヤング係数の幅が大きい割に強度の幅が小さいという性質をもっている。¹⁾したがってスギ丸太をヤング係数によって等級区分する場合、等級区分の数をいくつにするか、つまりヤング係数の値をどこ分けるかが大きな問題である。本報ではあるケーススタディーではあるが、等級区分の数を変えた場合の製材および縦つぎ材の強度分布について考察した。丸太の径が小さいせいか、際だった分布の差異は得られなかった。しかし前述したようにスギには地域性もあり、今回の結果だけで結論づけるのは早急である。さらなるデータの蓄積が必要であろう。

参考文献

- (1) 木材学会 木材強度・木質構造研究会編：「構造用木材－強度データの収集と分析」、1988年
 (2) 中村他：「スギ丸太のヤング係数の地域差と丸太内部の変動」、木材工業、Vol.46、No.7、1991

表.1 丸太における等級区分を2つにした場合の縦つぎ材の強度性状

		E1	E2	MOR
		平均(tf/cm ²)	平均(tf/cm ²)	平均(kgf/cm ²)
		(COV(%))	(COV(%))	(COV(%))
G I - G I	同じ材	70.2 (14.0)	83.3 (15.9)	352 (19.7)
	異なる材	69.3 (11.3)	83.2 (15.4)	351 (13.7)
G I - G I 全て		69.9 (13.1)	83.3 (15.7)	352 (17.9)
G I - G II	異なる材	63.7 (17.1)	76.6 (20.0)	357 (13.6)
G II - G II	同じ材	58.9 (22.1)	69.6 (29.6)	333 (15.5)
	異なる材	56.4 (18.9)	66.2 (24.0)	316 (14.9)
G II - G II 全て		57.9 (21.1)	68.3 (27.8)	326 (15.5)
全て		64.1 (18.7)	76.3 (22.6)	344 (16.5)

E1 : せん断の影響を含むヤング係数

E2 : " 含まないヤング係数

MOR : 曲げ破壊係数

表.2 丸太における等級区分を3つにした場合の縦つぎ材の強度性状

		E1	E2	MOR
		平均(tf/cm ²)	平均(tf/cm ²)	平均(kgf/cm ²)
		(COV(%))	(COV(%))	(COV(%))
G1 - G1	同じ材	54.2 (21.8)	63.8 (26.3)	317 (13.6)
	異なる材	50.9 (12.8)	60.7 (18.9)	313 (9.5)
G1 - G1 全て		53.5 (20.4)	63.1 (25.0)	316 (12.9)
G1 - G2	異なる材	58.0 (21.4)	70.0 (36.0)	330 (17.9)
G1 - G3	異なる材	60.4 (19.4)	69.9 (21.3)	345 (12.2)
G2 - G2	同じ材	64.0 (18.9)	75.2 (20.3)	349 (13.8)
	異なる材	65.1 (11.2)	78.4 (15.7)	343 (10.8)
G2 - G2 全て		64.4 (16.3)	76.5 (18.7)	367 (12.7)
G2 - G3	同じ材	74.1 (14.4)	85.4 (17.1)	299 (22.8)
	異なる材	68.8 (14.8)	81.3 (19.9)	373 (13.5)
G2 - G3 全て		69.4 (15.0)	81.7 (19.7)	365 (15.6)
G3 - G3	同じ材	71.4 (12.1)	83.5 (16.2)	356 (18.0)
	異なる材	68.1 (9.8)	84.6 (9.5)	344 (9.9)
G3 - G3 全て		70.5 (11.8)	83.8 (14.7)	353 (16.5)
全て		64.1 (18.7)	76.3 (22.6)	344 (16.5)

E1 : せん断の影響を含むヤング係数

E2 : " 含まないヤング係数

MOR : 曲げ破壊係数

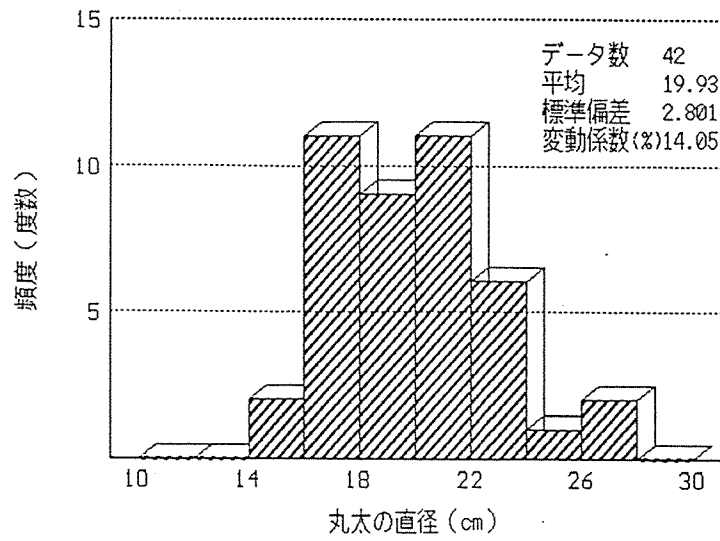


図. 1 試験に用いた丸太の直径

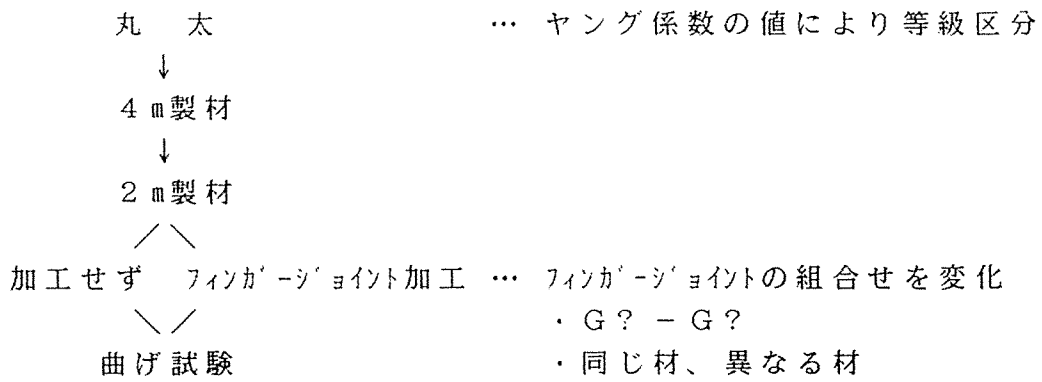


図. 2 全体のフロー

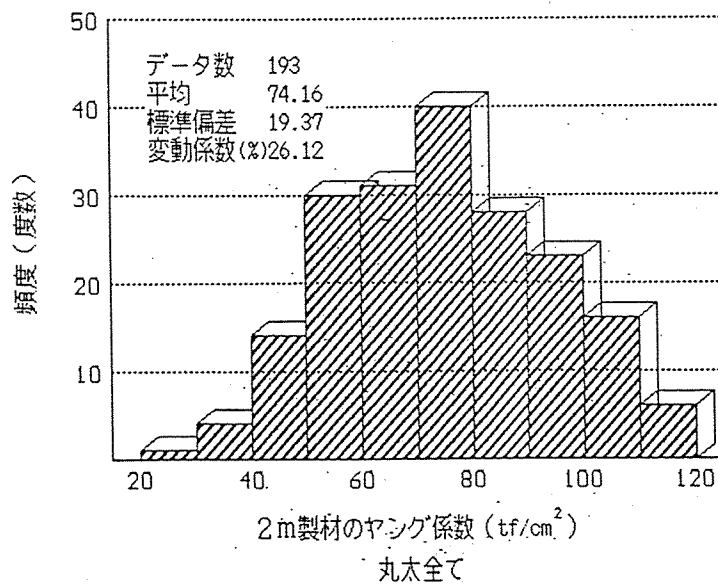
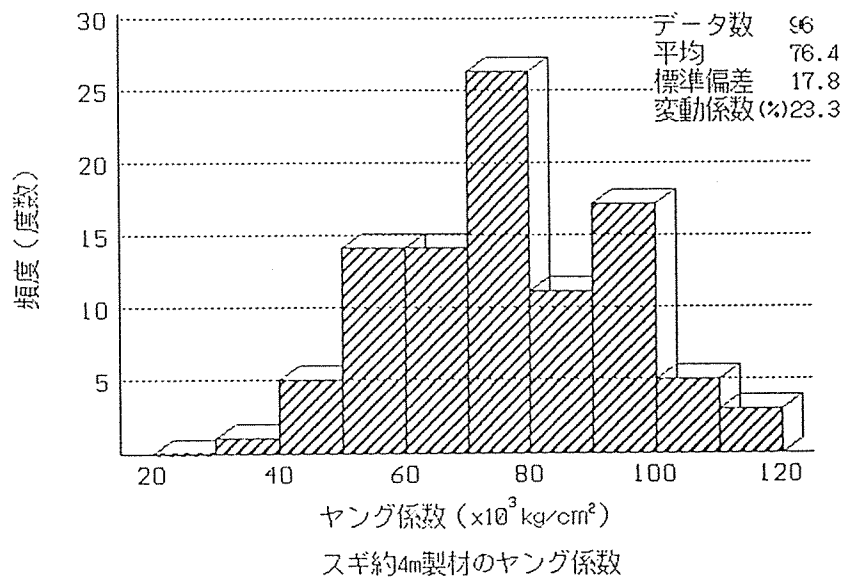
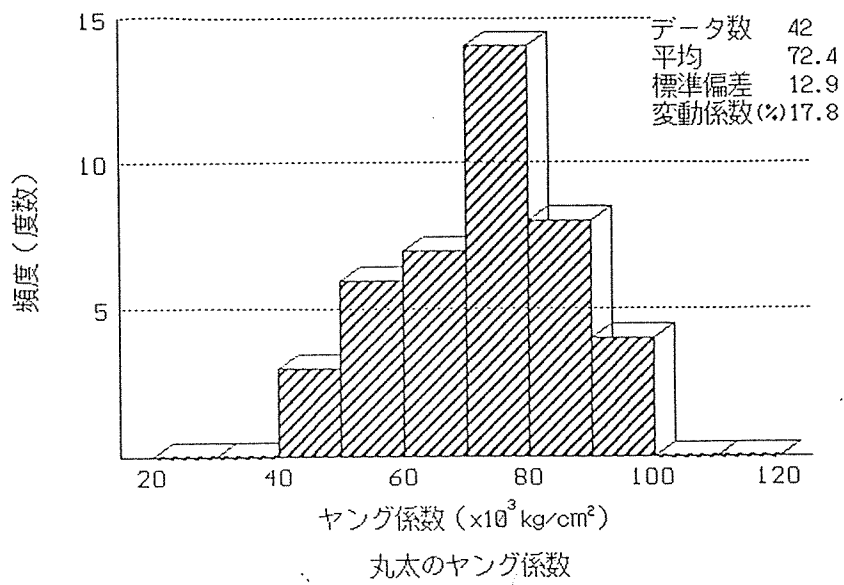


図.3 打撃音によるヤング係数の分布の推移

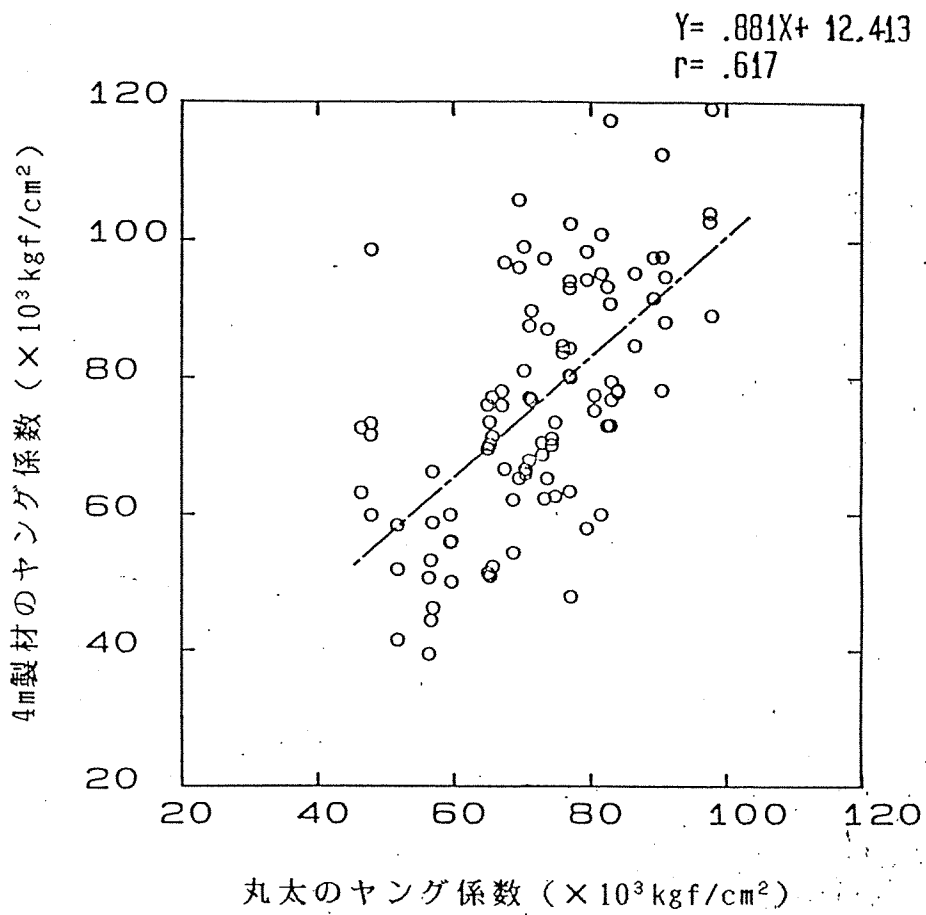


図4 スギの丸太と約4mの製材におけるヤング係数の関係

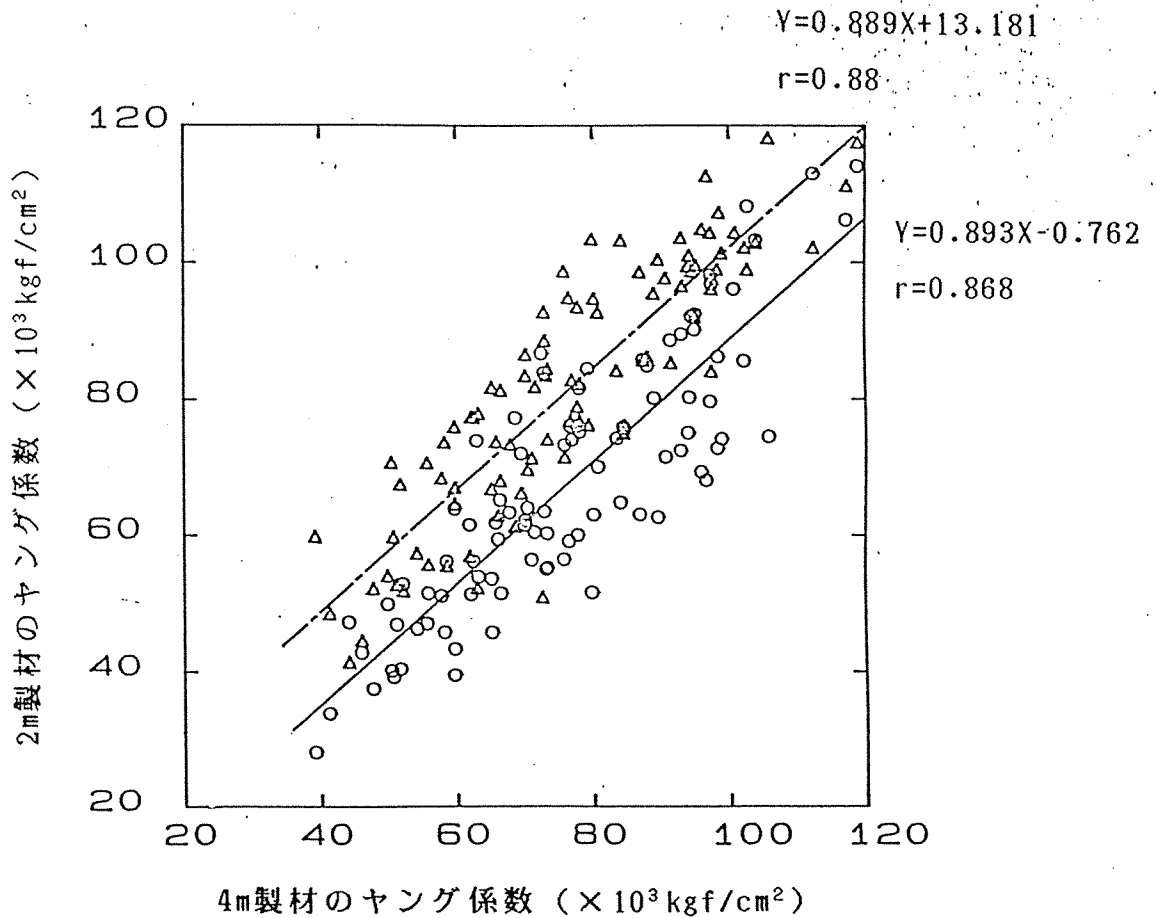


図5 スギの約4mの製材と約2mの製材におけるヤング係数の関係

○, ——— : 元口側2m製材
△, - · - · : 末口側2m製材

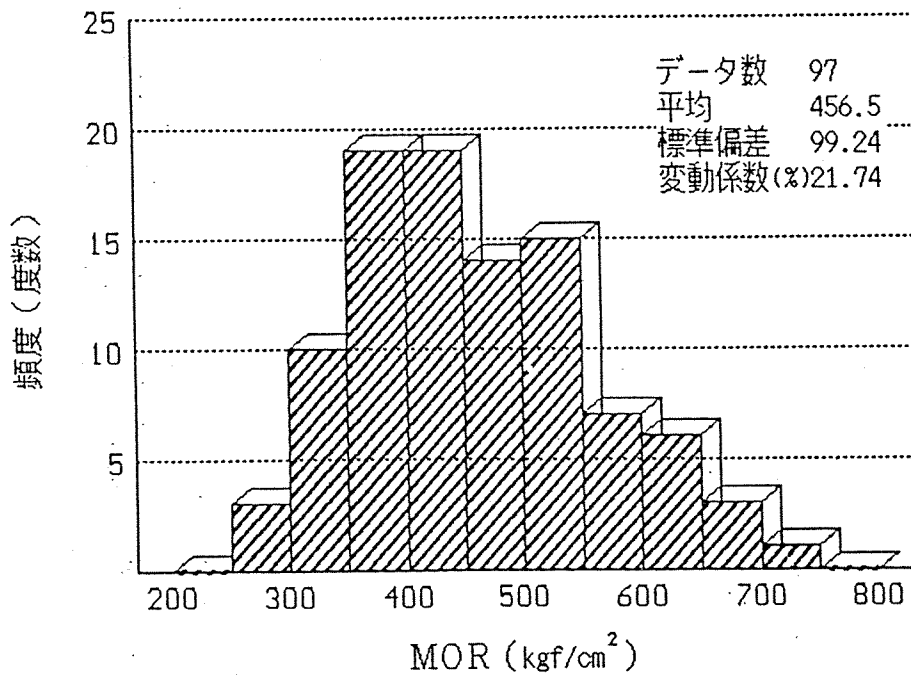
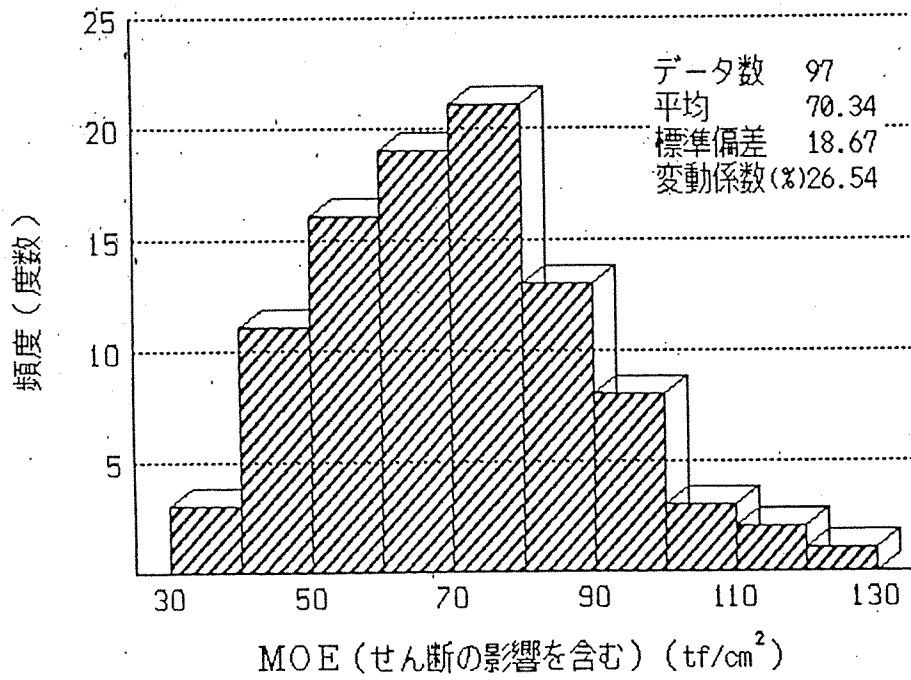


図.6 2 m 製材の曲げヤング係数と曲げ強度の分布

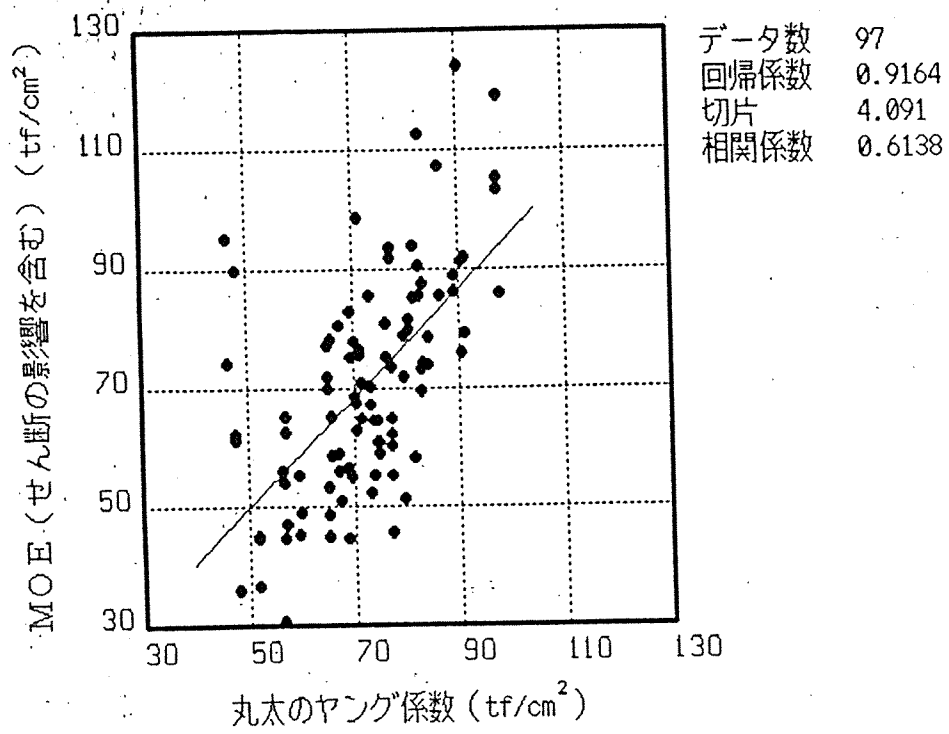


図 7 丸太のヤング係数とせん断の影響を含むMOEとの関係

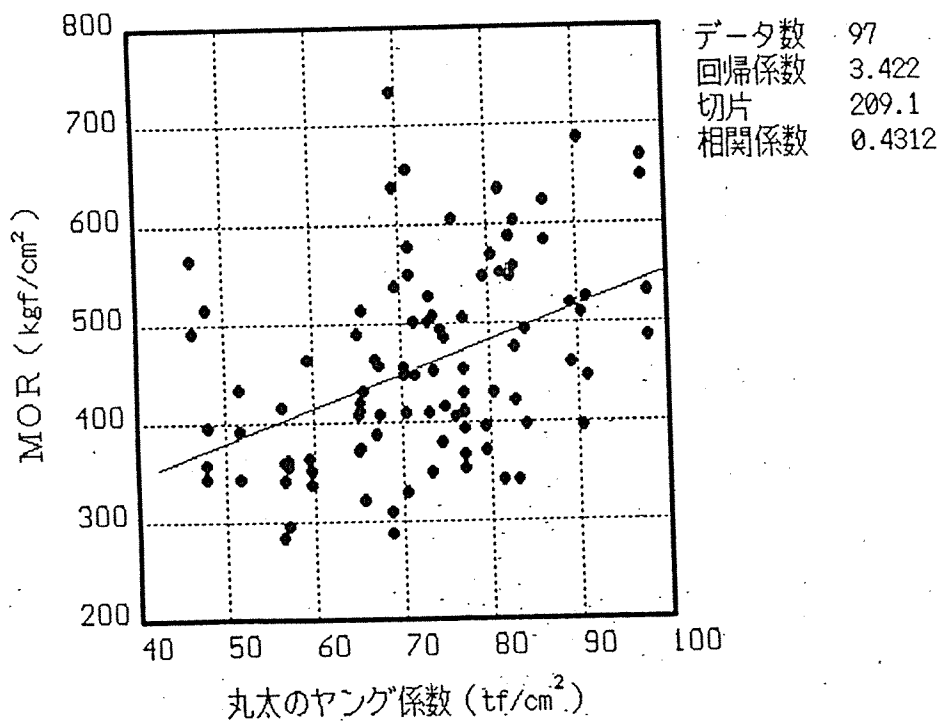
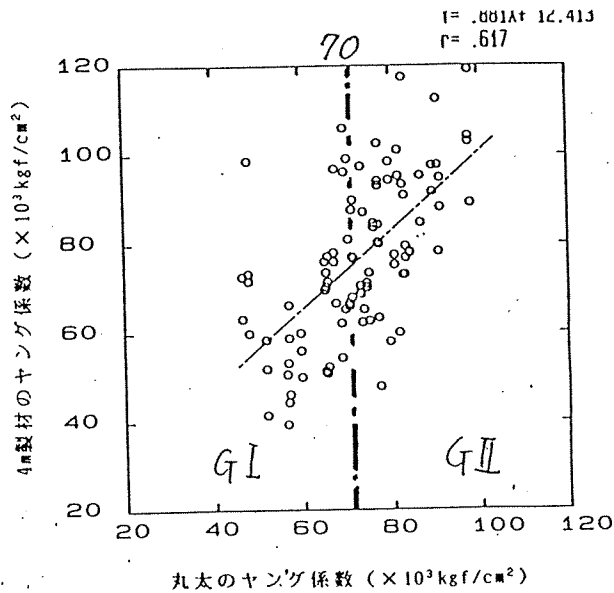


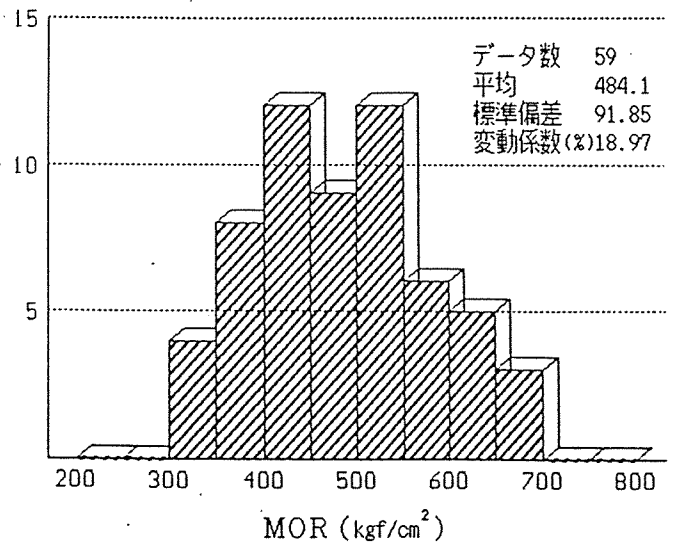
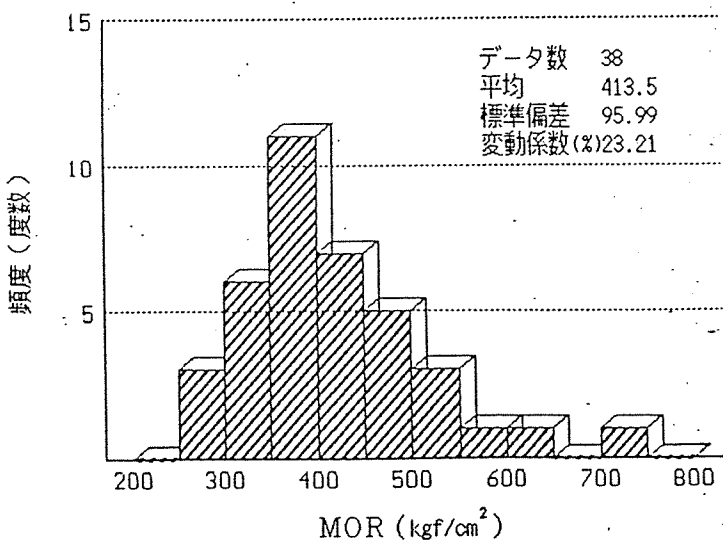
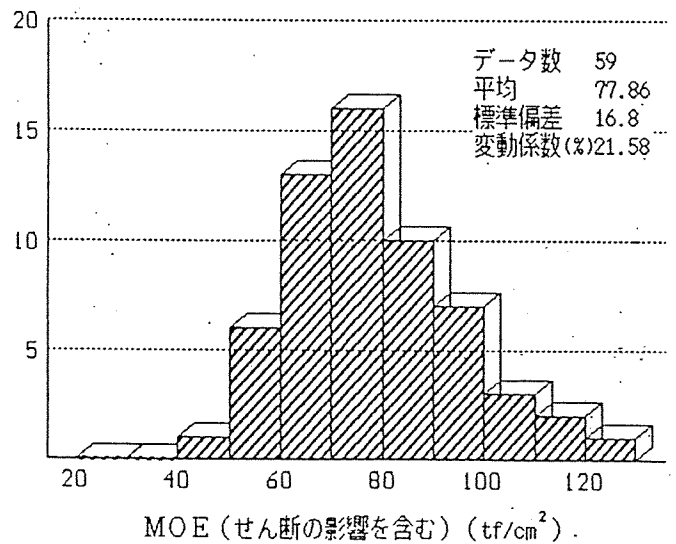
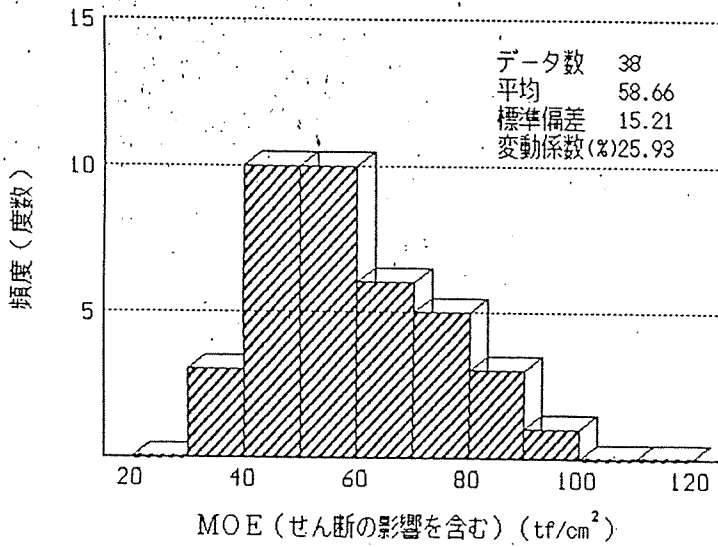
図 8 丸太のヤング係数と製材の強度との関係



スギの丸太と約4mの製材におけるヤング係数の関係

GI

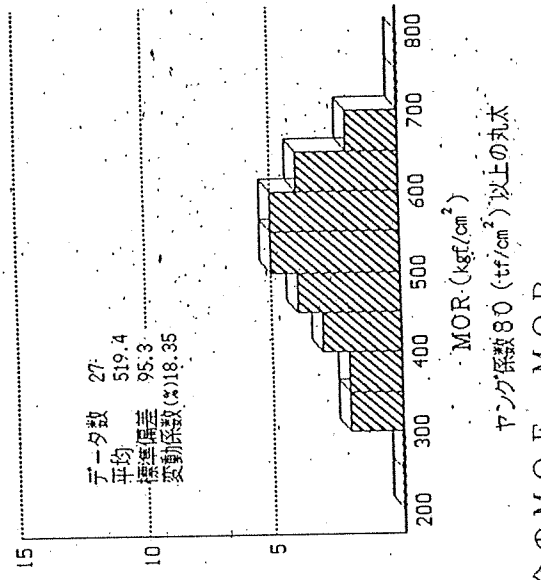
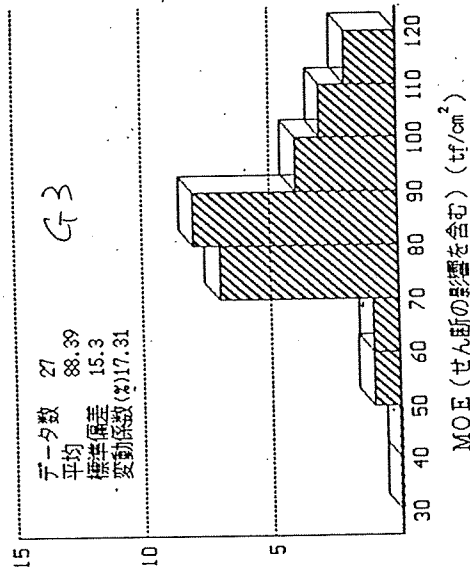
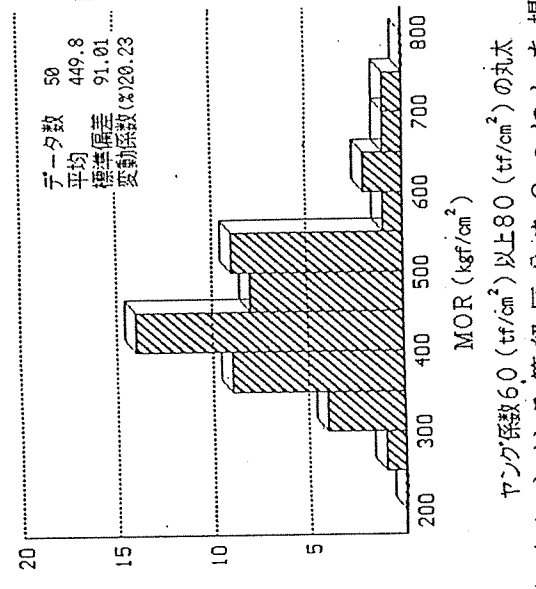
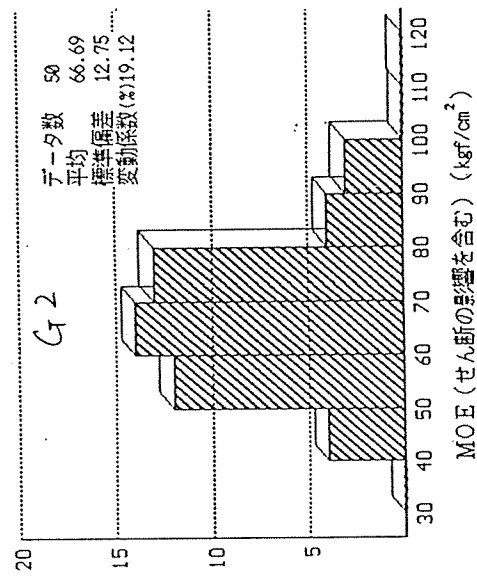
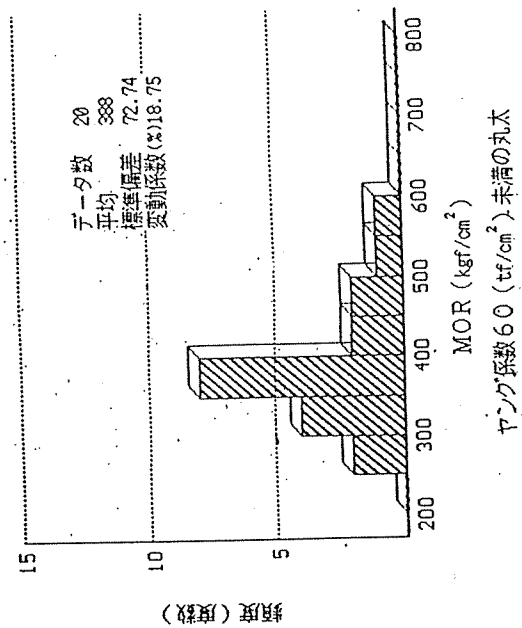
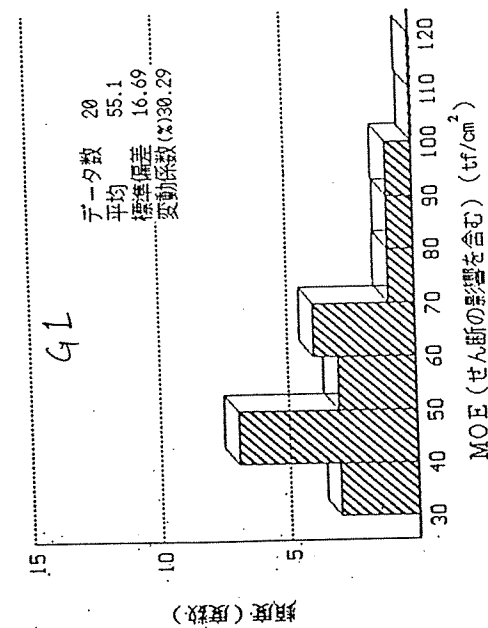
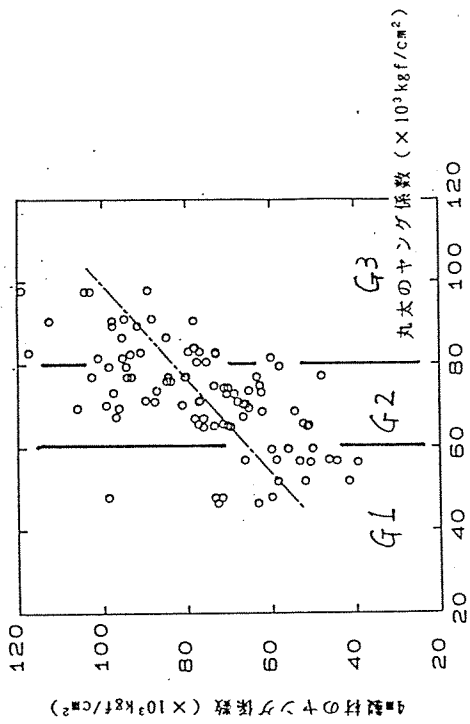
GII

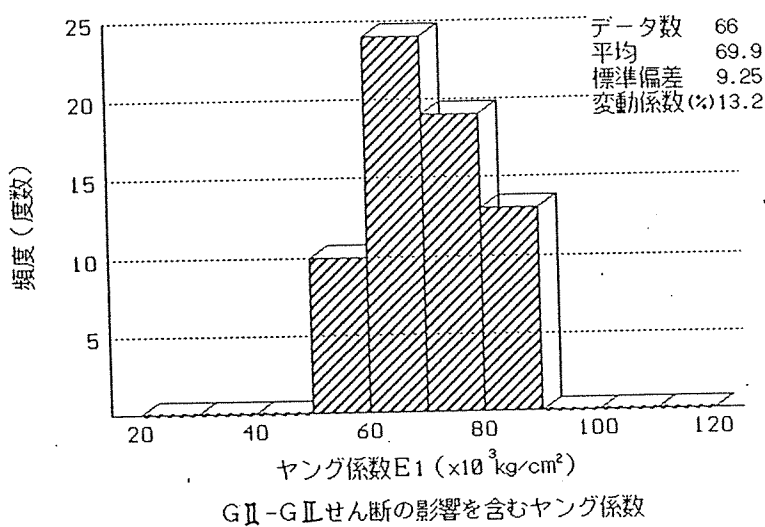


ヤング係数70 (tf/cm^2) 未満の丸太

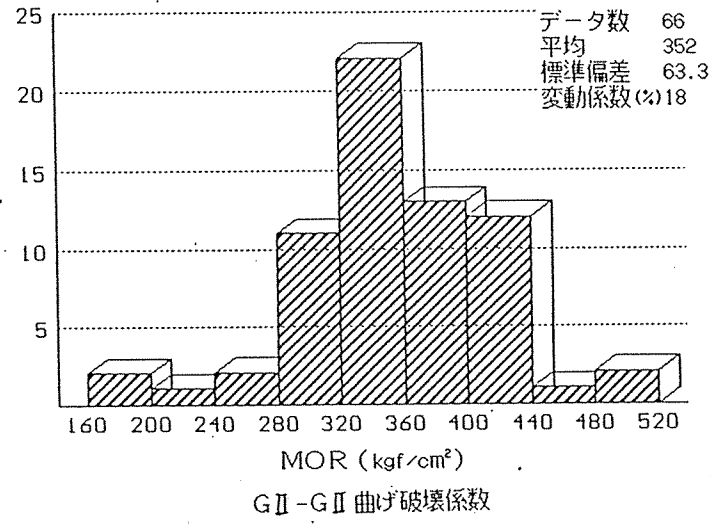
ヤング係数70 (tf/cm^2) 以上の丸太

図.9 丸太における等級区分を2つにした場合のMOE、MOR

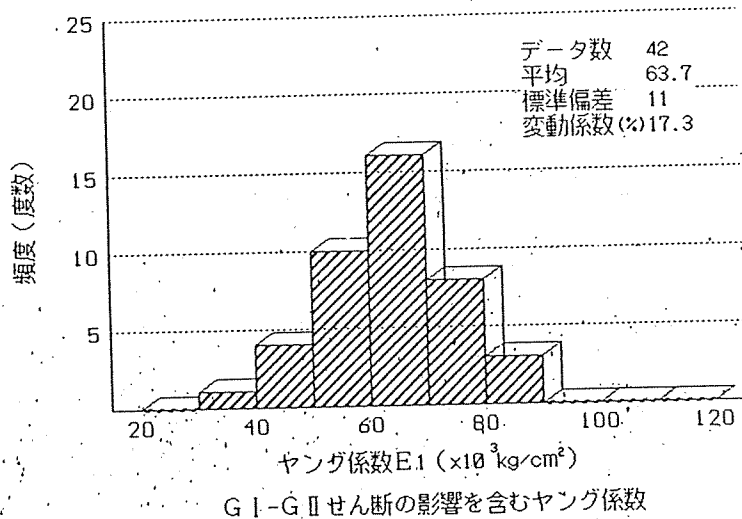




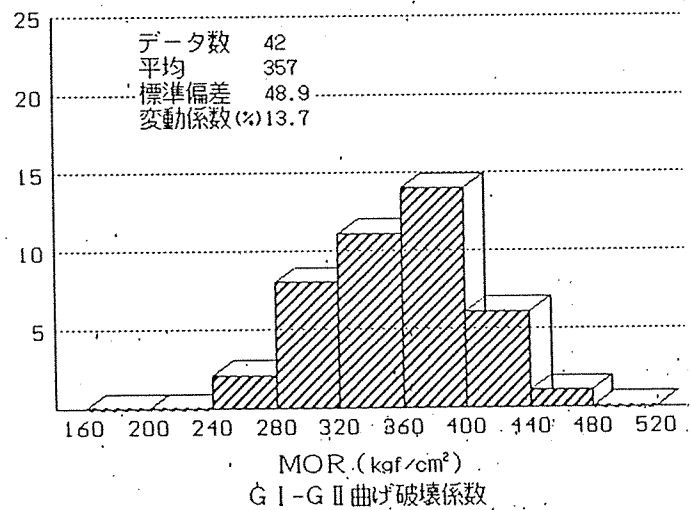
GI I-GIIせん断の影響を含むヤング係数



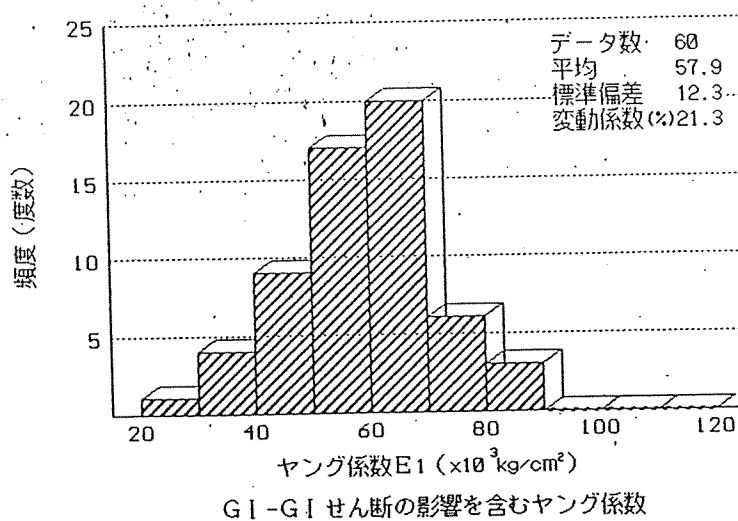
GI I-GII 曲げ破壊係数



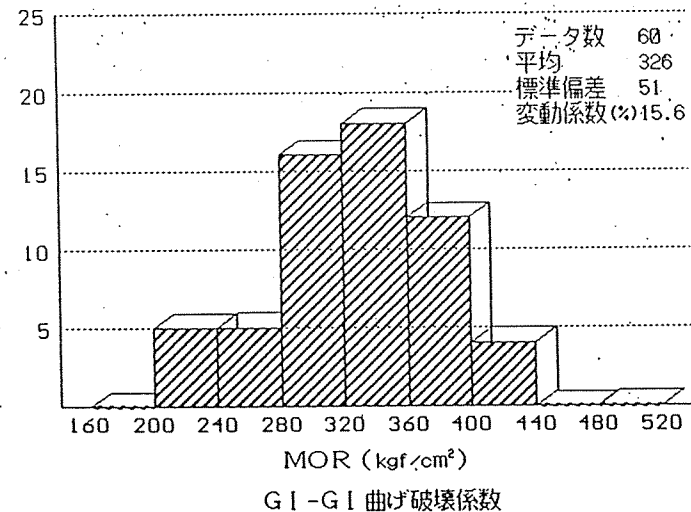
GI I-GIIせん断の影響を含むヤング係数



GI I-GII 曲げ破壊係数



GI I-GIせん断の影響を含むヤング係数



GI I-GI 曲げ破壊係数

図. 1.1 丸太における等級区分を2つにした場合の縦つき材のMOE、MOR

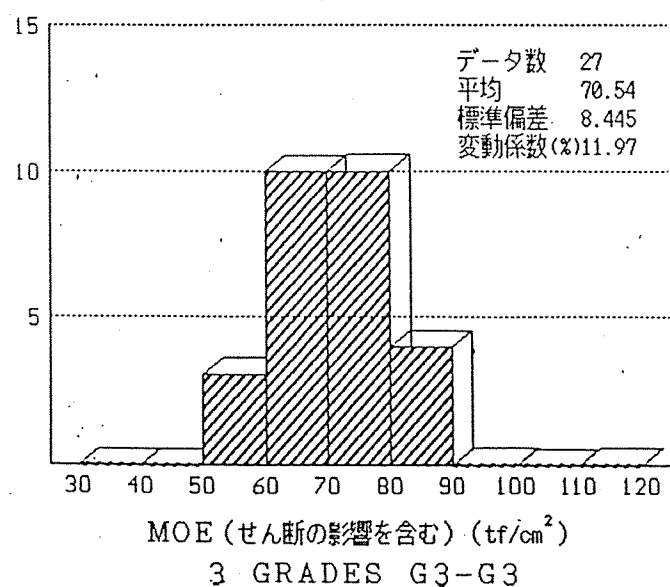
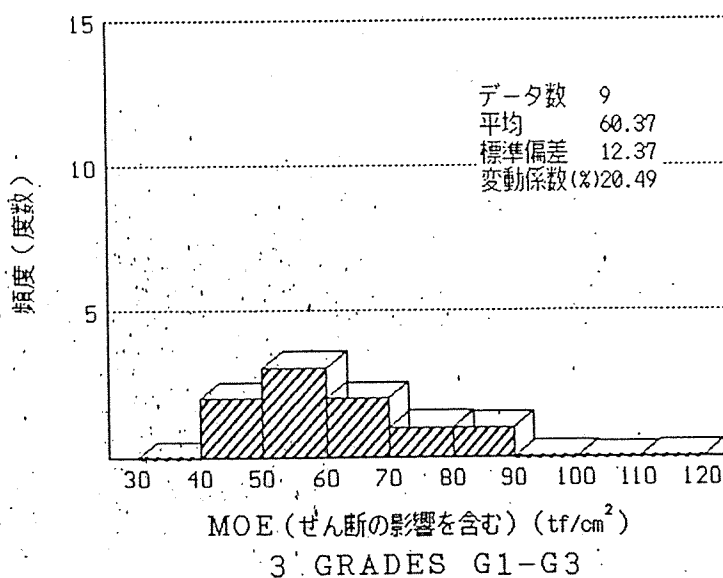
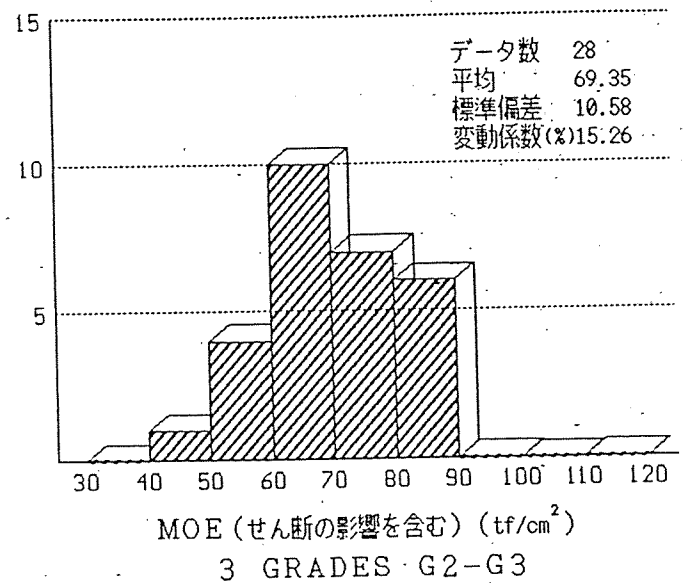
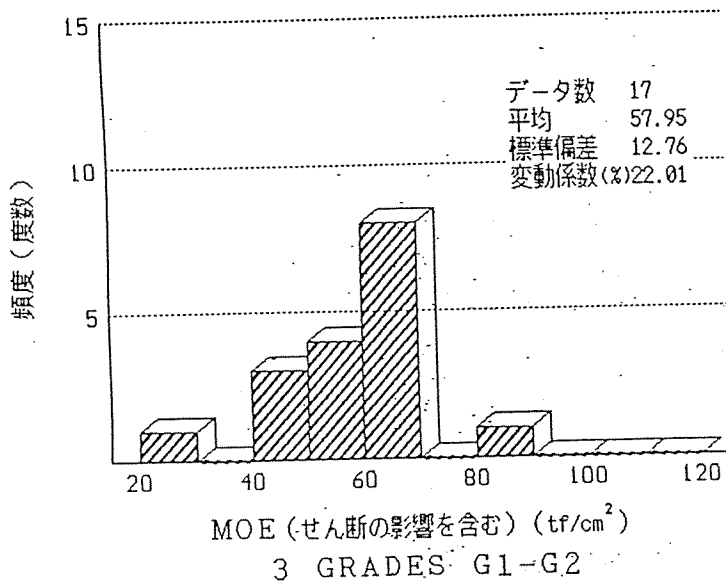
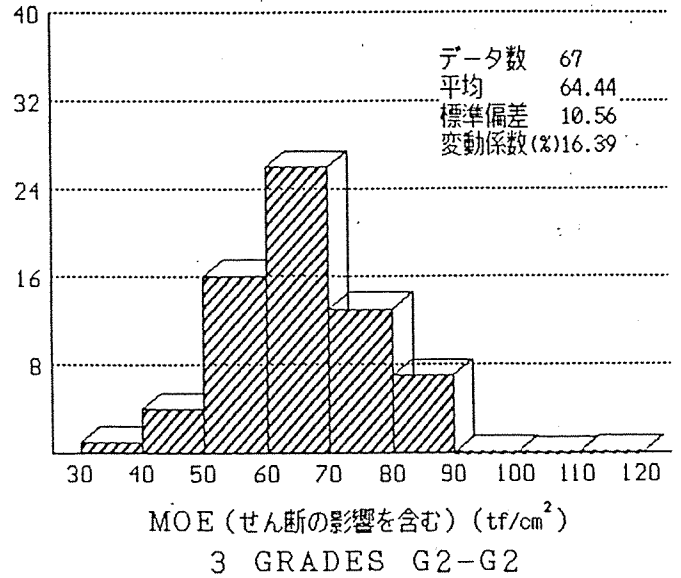
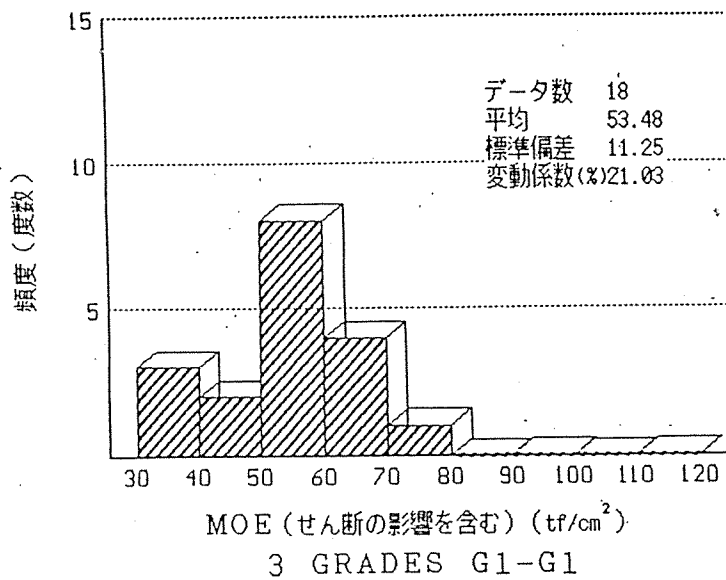


図. 12 丸太における等級区分を3つにした場合の縦つき材のMOE

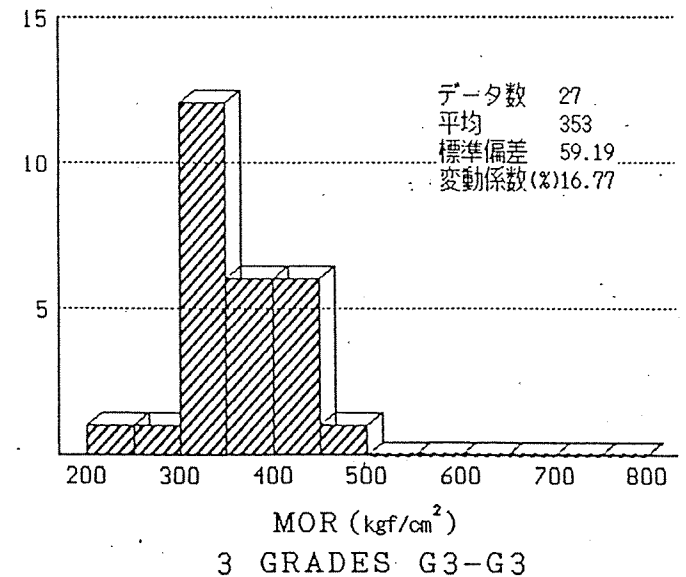
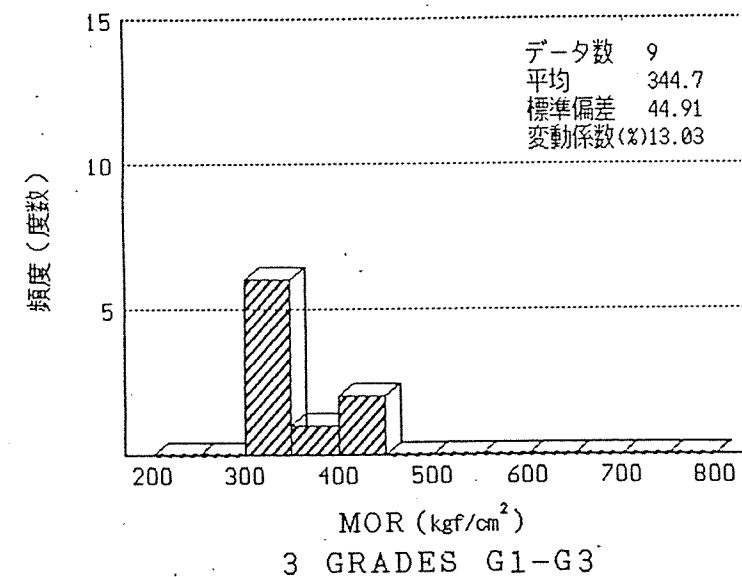
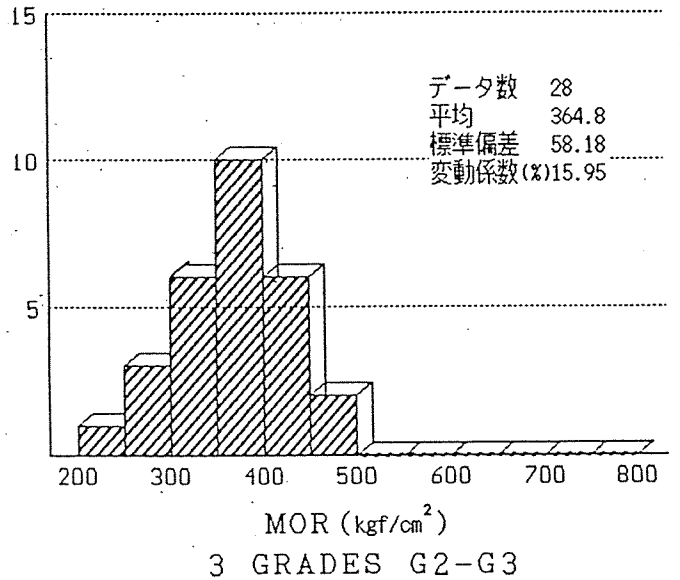
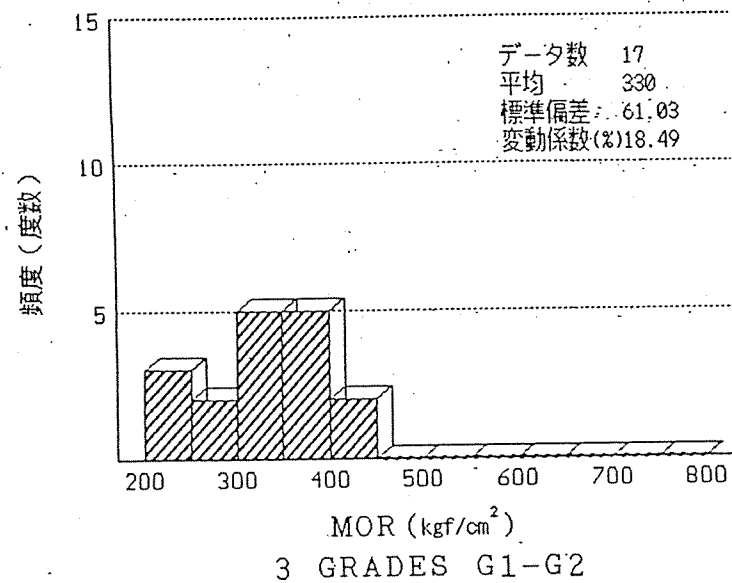
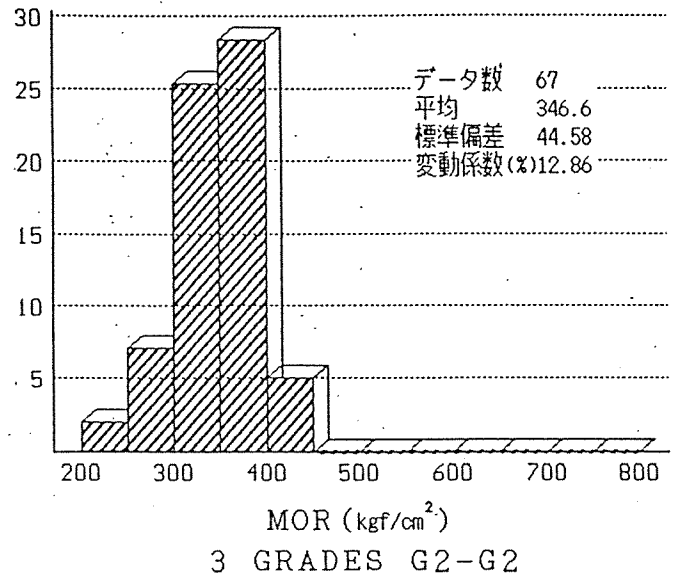
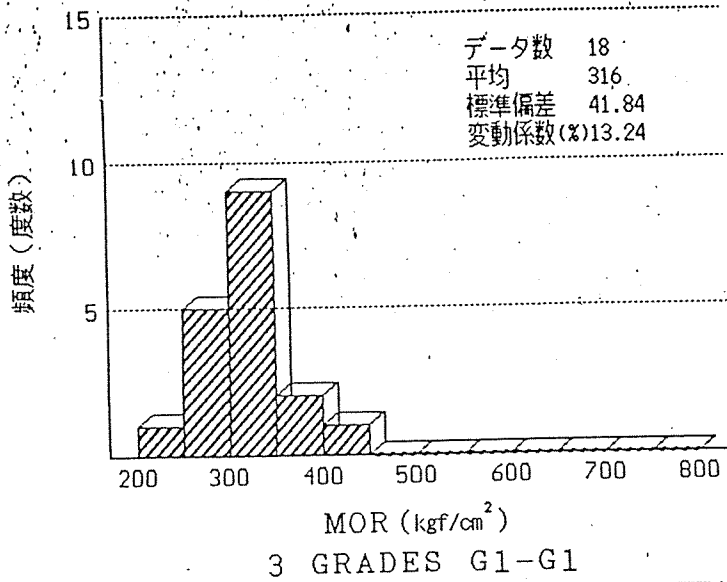


図. 13 丸太における等級区分を3つにした場合の縦つき材のMOR