

県産材の材質特性と加工利用技術の解明

県産スギ正角材の強度

誌名	愛媛県林業試験場研究報告
ISSN	03892875
著者名	武智,正典 村口,良範
発行元	愛媛県林業試験場
巻/号	15号
巻号補足	
掲載ページ	p. 113-139
発行年月	1994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



県産材の材質特性と加工利用技術の解明

－（県産スギ正角材の強度）－

武 智 正 典*¹

村 口 良 範*²

要旨： 県産造林木から得られる一辺が10.5cm、長さ3mの心持正角の曲げ強度試験を実施し、また曲げ破壊試験後の非破壊部分から短柱縦圧縮試験を行い、それぞれの統計的下限値を求め、材質相互間の関係を検討した。

1. 曲げ強度の統計的下限値（NTL）は310（kgf/cm²）であり、建築基準法施行令第95条に定める材料強度を十分満たしていた。
2. 曲げヤング係数の平均値は72.3（10³kgf/cm²）であり、木構造計算基準・同解説の普通構造材の70（10³kgf/cm²）を満たしていた。
3. 単相関分析の結果、曲げ強度を推定するのに最も有効な因子は曲げヤング係数であり（ $r=0.80$ ）、曲げ強度と最大節径比及び集中節径比との間には相関は殆ど認められなかった。また、重回帰分析を行った結果からは曲げヤング係数、気乾比重、材縁部の最大単独節径比（中央1／3区間）の3因子が有効であった。
4. JASに基づいて目視等級区分をすると、曲げ強度は1級を除いて等級区分の効果が認められず、機械等級区分では等級間に明確な差が現れた。
5. 生材と乾燥材の動的ヤング係数（ E_f ）の変化を測定したところ、乾燥により平均で12.2%増加した。
また乾燥による見かけの剛性（ E_{fI} ）は平均値では変化がなかった。
さらに、含水率に関係なく動的ヤング係数から静的ヤング係数を推定できることが明らかになった。
6. 丸太の E_f は、正角の曲げ強度との間に中程度の相関（ $r=0.67$ ）があり、曲げヤング係数との間には高い相関関係（ $r=0.85$ ）を示した。
7. 短柱縦圧縮強度の統計的下限値（NTL）は259（kgf/cm²）で、曲げ強度と同じく建築基準法施行令に定める材料強度を十分満たしており、曲げ強度に比べ変動が少ない傾向を示した。
8. 圧縮強度を推定するのに最も有効な因子は、単相関分析の結果気乾比重であり、続いて、曲げヤング係数であった。
9. 曲げ強度に対する短柱縦圧縮強度の比は5 th%ile値で比較すると0.85であった。

I はじめに

愛媛県の民有林の人工林面積は戦後の積極的な拡大造林により、平成4年度末現在で223000haと森林面積の62%を占めており、その内スギ人工林面積は109000ha、ヒノキ人工林面積は106000haとスギ・ヒノキで人工林面積をほぼ二分しているが、蓄積量は圧倒的にスギが多く、約10900000m³を有している。

また、素材生産量は平成3年には618000m³に達し全国でも有数の林業県である。

しかし木材は、その品質のバラツキが大きいことと、在来工法では美観を重視してきたため、建築サイドにたった信頼性のある構造材料として供給されているとは言えない。

一方、木材の物理的、力学的性質の基準となる無欠点小試験体での試験に比べ、木材の不均一性による強度のバラツキや寸法的評価を行い、木材を信頼性のある構造材料として提供するため、ここ10年の間に各地で実大試験が行われている。

*1 Masanori TAKECHI *2 Yoshinori MURAGUCHI

こういった実大材の試験の結果により、平成3年7月31日から施行された「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」(以下JAS)では、用途別規格が明確になり、寸法・乾燥規定や強度等級区分が設けられ、よりユーザーサイドにたった規格となった。建築基準法施行令第89条に規定されている許容応力度も、平成4年1月31日付け通達によりJASに対応した許容応力度が樹種毎、等級毎に設定されてきている。

そこで、愛媛県においても主要造林樹種であるスギを対象とし、造林木から製材される長さ3m、一辺が10.5cmの心持正角の曲げ強度の統計的下限値を求めることを目的に、実大曲げ試験を実施した。さらに曲げ強度と圧縮強度との強度比を求めることを目的に、短柱縦圧縮試験を実施したので、その結果を報告する。

なお、本報告の一部はすでに公表した¹⁾。

II 材料及び試験方法

1 試験体の入手方法

試験体の入手は製品市場及び製材所からと、丸太から当场で製材する方法がある。産地を明確にすることと、生材から試験を行うこと及び製材方法を統一するという観点から、試験体は丸太を入手し、当场で製材する方法を採用した。

なお、丸太の入手経路は山元からと原木市場からとがあるが、入手の容易さと県内製材所の殆どが原木市場から購入している実態を考慮し、原木市場で入手することとした。

2 丸太の形状の決定

(1) 番玉及び材長

スギ樹幹内の材質については、採材位置(高さ方向)により、その強度的性質は異なるとの報告²⁻⁷⁾があり、ここでは、高さ方向による強度の変動を最小限におさえるため、採材位置は統一し、下限値を求める目的からより安全側と思われる元玉を試験材とした。

また、立木の地際から1mは曲りにより取り除かれることを考慮にいれ、購入丸太は元玉で材長は3~4mとした。なお、破壊試験では、4mの丸太のものは元口から1mを切除し、3mとした。

(2) 径級

気乾材で10.5cm心持正角の製材品を得るためには、乾燥後の挽き直しも入れて、丸太は生材の直材で、末口径は16cm以上必要である。

原木市場の流通実態は13上(13cm~16cm)と18上(18cm~24cm)に区分されている場合が殆どであり、製材所では13上から10.5cm正角を製材し、18上からは12.0cm正角を主に製材しているが、10.5cmの正角も製材している。

このことから、丸太の流通及び製材実態並びに入手の容易さから、丸太は末口径16cm~24cmの1番玉、材長3~4mとし、全て10.5cm正角に製材を行うこととした。

3 試験体数及びサンプリング方法の決定

(1) 試験体数の決定

母平均を信頼度95%、目標精度（E）を10以内で推定することを目的に次式により試験体数を決定した。

$$n o = \{ t (\alpha, n - 1) \sigma / E \}^2$$

n o：試験体数， t：t値， α ：有意水準， n：サンプル数， σ ：サンプル標準偏差，
E：目標精度

予備試験30体の σ から上式により試験体数を算出すると、156体となり、この作業を目的の精度になるまで繰り返した結果は266体となり、まるめて300体とした。

なお、このときの標本誤差率は2.3%であった。

(2) サンプリング方法

サンプリング方法は小国町の例⁹⁾を参考に行った。

県内をその地域性から図-1のとおり東予、中予、久万、南予の4つの地域に分割した。対応する地域森林計画区はそれぞれ東予、今治松山、中予山岳、肱川・南予である。（以下A，B，C，D地域という。なお、地域名と記号は対応していない。）

立木の地際から4 mの位置で16cm～24cmの径が採材できる齢級は、スギ・ヒノキ人工林収穫予想表及び林分材積表⁹⁾並びに当試験場毎木データ・樹幹解析データから、6～8及び9齢級以上と仮定し、それぞれの地域で6、7、8・9齢級以上の、4区分のスギ人工林面積を地域森林計画から算出した。

それぞれの齢級の本数/haを、その地域の平均的植栽本数及び地位指数から決定し、各齢級毎の本数を算出した。

また、各地域から同程度に出材されるとの仮定のもとに本数比を求めた結果は、表-1のとおりであり、これを全試験体数300体に割り振った。

4 丸太の外観調査

丸太は素材の日本農林規格に準拠し、末口・元口径、平均年輪幅、林齢、木口割れ、節径、腐り、目回り、曲がりを300体中251体について調査した。

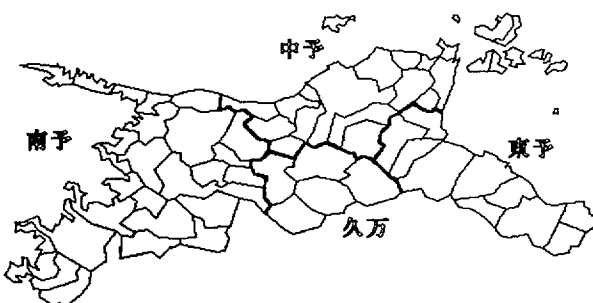


図-1 愛媛県における地域区分図

表-1 地域別本数比及び試験体数

地 域	A地域	B地域	C地域	D地域	計
本数比	1.06	1.00	1.57	1.57	——
試験体数	60	60	90	90	300

5 製材方法

製材は乾燥後の挽き直しを考慮し、11.5cm（一部12.0cm）に製材（生材時正角）した。また、割れは強度に及ぼす影響がないとして、JASにおいても貫通割れしか対象にしておらず、さらに荒武ら¹⁰⁾によると干割れは曲げ強さ及び曲げヤング係数には影響しないという報告があるが、本試験では乾燥割れを発生させないことを主眼に背割りを行った。

6 乾燥方法

本試験では乾燥方法及び、人工乾燥の場合は乾燥温度の違いが、強度に影響を与えないと仮定し、天然乾燥と人工乾燥を併用した。

含水率が約25%になるまで一定温度条件で人工乾燥を行い、その後は気乾状態（モニターの水分傾斜が含水率で概ね1%）になるまで天然乾燥を行い、その後10.5cm正角に挽き直しを行った。またB地域の57体については、乾燥過程におけるヤング係数を測定するため、天然乾燥を9カ月行った。

7 乾燥時正角の材質調査（記号と意味）

材質調査はJASに準拠して実施し、甲種構造用Ⅱ及び乙種の等級区分を行った。

(1) 平均年輪幅（ARW1）

JASに準拠し、両木口の平均年輪幅を平均した値（mm）

(2) 平均年輪幅（ARW2）

中井らの方法¹¹⁾により、髓から一辺の長さの四分の一の長さを除いた部分に含まれる完全年輪から求めた平均年輪幅（mm）

(3) 試験時の比重（RU）

正角の試験体全体から求めた比重

(4) 気乾比重（SG）

曲げ破壊試験終了後、破断した箇所近傍から繊維方向に厚さ2cmの、節を含まない板を両サイドから採取し、平均した比重

(5) 含水率（MC）

曲げ破壊試験終了後、破断した箇所近傍から繊維方向に厚さ2cmの板を両サイドから採取し、全乾法で求めた平均含水率（%）

(6) 繊維傾斜（SLOG）

引っかき式の繊維走行計で求めた繊維走行の傾斜（mm/1m）

(7) 材縁部の最大単独節径比（%）（中央1／3区間）（eKDC）

(8) 材縁部の最大単独節径比（%）（全区間）（eKDL）

(9) 材縁部のみの最大集中節径比（%）（中央1／3区間）（eSKDC）

(10) 材縁部のみの最大集中節径比（%）（全区間）（eSKDL）

(11) 材幅中央部の最大単独節径比（%）（中央1／3区間）（cKDC）

- (12) 材幅中央部の最大単独節径比 (%) (全区間) (c K D L)
- (13) 材幅中央部のみの最大集中節径比 (%) (中央 1 / 3 区間) (c S K D C)
- (14) 材幅中央部のみの最大集中節径比 (%) (全区間) (c S K D L)
- (15) 材縁部+材幅中央部の最大集中節径比 (%) (中央 1 / 3 区間) (S K D C)
- (16) 材縁部+材幅中央部の最大集中節径比 (%) (全区間) (S K D L)

8 生材時及び乾燥時のヤング係数の測定

(1) 打撃法による動的ヤング係数 (E f)

丸太 (251 体)、生材時正角 (251 体)、乾燥時正角 (300 体) の各段階において、木口的一方をプラスチックハンマーで打撃し、他方に置いたマイクロフォン (リオン NK-50) で打撃音をとらえ、F F T アナライザー (リオン SA-71) によって得られた基本振動周波数と試験体の密度、材長から次式により E f を求めた。

$$E f = (2 \ell f)^2 \rho / g$$

ℓ : 材長, f : 基本振動周波数, ρ : 密度, g : 重力加速度

なお、支持方法は、本来両端自由振動が望ましいが、藤田らの報告^{1,2)}にもあるとおり、予備試験の結果、破壊試験時のスパンと同じ 270cm の支点上にスポンジをおいた支持方法と中央吊り下げによる支持方法とにはほとんど差がなかったため、支持方法はスパン 270cm の支点上にスポンジを置く方法とした。

(2) 死荷重によるヤング係数 (E dw)

生材時 (251 体) 及び乾燥時正角 (300 体) において、スパン 270cm の中央集中荷重方式で死荷重 50kg を積載したときのたわみを、リニアゲージ (小野測器 GS-112 1/1000mm) で測定し E dw を求めた。

9 曲げ破壊試験

木材万能試験機 (ミネベア TCM1000) を用い、クロスヘッドスピード 10mm/min、スパン 270cm の 3 等分 4 点荷重により、背割り面を上にして曲げ試験を行い、曲げ破壊係数 (MOR)、曲げヤング係数 (MOE L) [全スパンからのたわみをリニアゲージ (小野測器 GS-001 1/100mm) で測定]、曲げヤング係数 (MOE I) [モーメント一定区間のたわみをリニアゲージ (小野測器 GS-112 1/1000mm) で測定]、曲げ比例限度 (S P L) を算出した。

10 短柱縦圧縮試験

曲げ破壊試験終了後の非破壊部分から、細長比 10 の短柱縦圧縮試験体を 300 体中 169 体採取し、森林総合研究所の容量 100ton の実大試験器を借用し、圧縮強度 (σc) を求めた。

材質調査は、曲げ破壊試験と同様に行い、節面積比 (K A R) (最大節径を有する節について木口面に投影したときの面積比)、集中節面積比 (S K A R) (材長方向 15cm 間に含まれる節を木口面に投影したときの面積比) を新たに加えた。

なお、繊維傾斜は破壊試験終了後、ナタで材長方向に割った最大傾斜により求めた。

Ⅲ 結果と考察

1 丸太の材質調査結果

各地域別、及び全体での材質調査結果を表-2に示した。

表-2 丸太の材質調査結果

項目 地域		元口径 (cm)	末口径 (cm)	林 齢 (年)	曲がり (%)	平均年輪幅 [元口] (mm)	平均年輪幅 [末口] (mm)	容積重	最大節径 (cm)	丸太Ef (10 ³ kgf/cm ²)
A地域 (n=60)	mean	25.8	21.3	39	9.0	3.6	3.7	0.683	5.6	76.6
	S.D	2.3	1.9	8.3	2.9	0.8	0.8	0.119	1.7	13.5
	C.V	9.0	8.9	21.4	32.0	21.1	22.8	17.4	29.6	17.6
	min	21.5	17.5	29	4.5	1.6	1.5	0.463	3.0	46.9
	max	31.1	25.5	69	17.0	4.9	5.1	0.951	12.0	108.1
B地域 (n=60)	mean	25.3	21.3	46	8.2	2.9	2.8	0.739	4.7	83.1
	S.D	2.5	1.9	6.9	3.2	0.5	0.6	0.101	2.4	11.8
	C.V	9.9	8.9	15.0	39.8	18.9	20.2	13.7	50.5	14.2
	min	18.9	17.0	30	0.0	1.9	1.7	0.532	0.0	55.6
	max	30.2	25.7	70	16.8	4.9	5.0	0.986	11.0	111.5
C地域 (n=42)	mean	21.5	18.2	33	8.4	3.5	3.7	0.831	2.1	83.8
	S.D	1.3	1.1	7.3	3.2	0.8	1.0	0.091	2.2	10.7
	C.V	6.1	5.9	22.0	38.2	23.3	27.5	11.0	101.7	12.7
	min	19.0	15.8	20	0.0	2.2	2.3	0.617	0.0	57.1
	max	24.0	20.5	51	15.8	5.5	6.6	1.009	10.0	107.8
D地域 (n=89)	mean	22.7	19.2	33	7.0	3.6	3.5	0.781	4.7	86.8
	S.D	2.8	1.6	4.2	4.5	0.6	0.5	0.089	1.7	15.8
	C.V	12.2	8.5	12.7	64.5	15.6	15.1	11.4	36.0	18.3
	min	17.2	15.5	22	0.0	2.2	2.1	0.591	0.0	55.1
	max	28.5	22.5	44	19.7	6.0	5.1	0.991	10.0	143.2
計 (n=251)	mean	23.9	20.0	37	8.0	3.4	3.4	0.756	4.5	82.9
	S.D	2.9	2.1	8.4	3.7	0.7	0.8	0.111	2.2	14.1
	C.V	12.3	10.5	22.3	46.7	21.0	23.5	14.7	49.9	17.0
	min	17.2	15.5	20	0.0	1.6	1.5	0.463	0.0	46.9
	max	31.1	25.7	70	19.7	6.0	6.6	1.009	12.0	143.2

全体の材質特性では、林齢は20年から70年の広範囲に分布し、平均では37年であった。齢級で見ると図-2のとおり4齢級から14齢級となり、仮定した6齢級を下回るものが4%あったが、利用伐期齢を下回るものはなかった。

元口径は元玉であったことから、17.2cmから31.1cmと広く分布し、平均は23.9cmであった。

末口径は図-3のとおり15.5cmから25.7cmに分布し、平均は20.0cmであった。

10.5cm心持正角を製材するには多少大きな

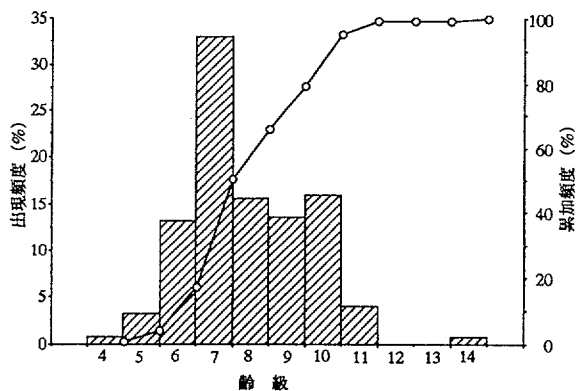


図-2 丸太齢級の出現頻度と累加頻度

径と言えるが、これは、目的とする16cm以上の径級を得るために、18上のはい積みからの入手が多かったことによる。なお、細りは元玉であるにもかかわらず平均で1.3 cm/mと小さな値であった。

最大節径は、かくれ節の存在により平均4.5cmと大きく、変動係数も49.9%と非常に大きなバラツキであった。

曲がりとは、図-4のとおり平均8.0%、変動係数46.7%と最大節径と同じく大きなバラツキがあったが、重曲しているものはなかった。

平均年輪幅は、末口・元口とも平均3.4 mmであり、末口平均年輪幅の出現頻度と累加頻度を図-5に示した。

丸太容積量は、図-6のとおり平均0.756であり、変動係数は14.7%であった。

材質調査の結果、素材の日本農林規格に基づき等級区分を行った結果、図-7のとおり2等が86.1%を占め、1等は13.1%、3等は僅かに0.8%であり、通常取引されている原木市場の現状からも、並材として位置づけられる。

地域別の材質については、A地域の容積重が他の地域に比べて小さく、B地域では林齢が高くそのため平均年輪幅も小さい傾向を示し、C地域では最大節径が小さく、また節数も少ない傾向があり、年輪幅も他の地域に比べ随分からほぼ一定してた。C地域でこのような外観特性が現れたのは、その地域の育林施業によるところが大きいと認められる。

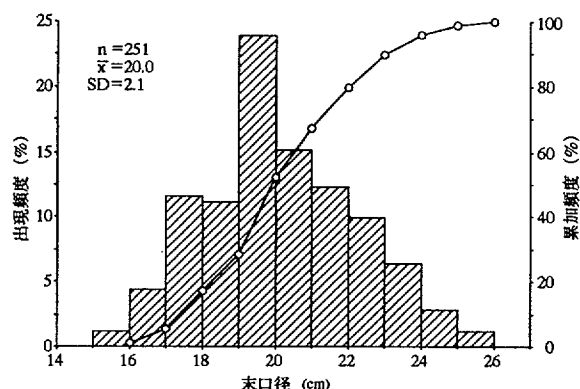


図-3 丸太末口径の出現頻度と累加頻度

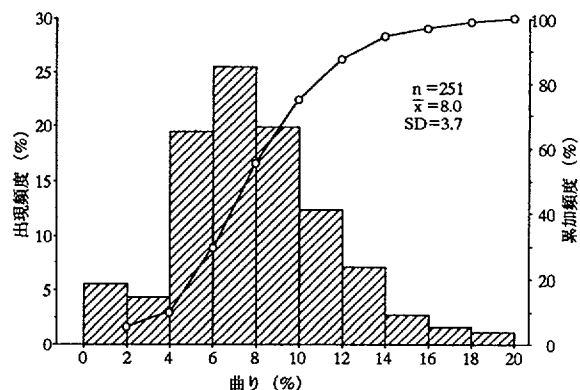


図-4 丸太の曲がりの出現頻度と累加頻度

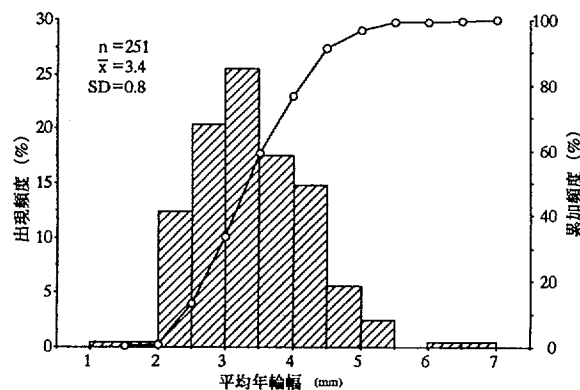


図-5 丸太末口平均年輪幅の出現頻度と累加頻度

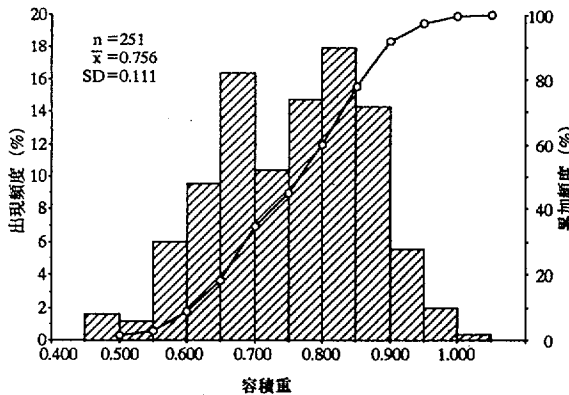


図-6 丸太容積重の出現頻度と累加頻度

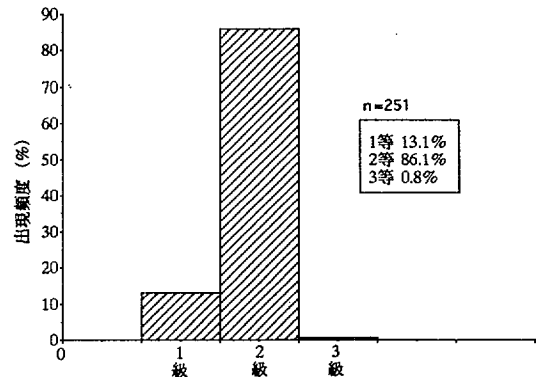


図-7 素材の日本農林規格における等級別出現頻度

2 丸太Efと材質の関係

丸太のEfは、図-8のとおり46.9 (10^3 kgf/cm^2) から143.2 (10^3 kgf/cm^2) の間に分布し、平均は82.9 (10^3 kgf/cm^2)、変動係数は17.0%であった。

地域別Efに関しては、図-9のとおりA地域で低い値を示したほかは、ほぼ同様の傾向を示した。

全地域の丸太Efと材質の単相関係数を表-3に示した。

林齢が高くなるほど平均年輪幅は小さくなっている。また丸太Efについて見ると、丸太径と平均年輪幅が低い負の相関を示しているが、丸太Efを実用レベルで推定する有効な因子はなかった。

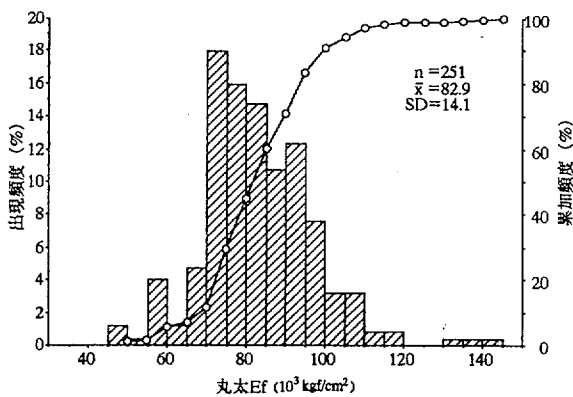


図-8 丸太Efの出現頻度と累加頻度

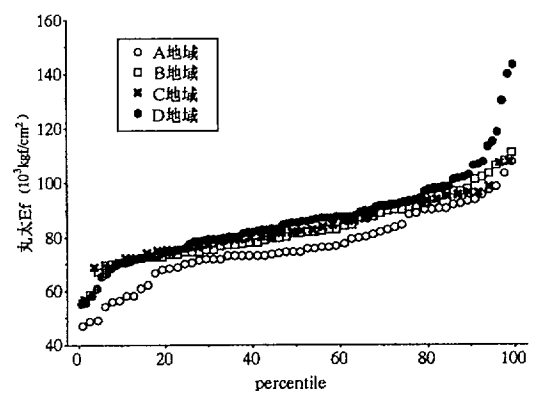


図-9 丸太の地域別Efの正規化順位

表-3 丸太Efと材質の単相関係数

	元口径	末口径	林 齢	曲がり	平均年輪幅 [元口]	平均年輪幅 [末口]	容積重	最大節径	丸太Ef
元口径	1.00	0.87 ^{***}	0.38 ^{***}	0.32 ^{***}	0.16 [*]	0.02	-0.23 ^{***}	0.37 ^{***}	-0.44 ^{***}
末口径		1.00	0.40 ^{***}	0.14 [*]	0.06	0.01	-0.31 ^{***}	0.32 ^{***}	-0.31 ^{***}
林 齢			1.00	0.14 [*]	-0.81 ^{***}	-0.83 ^{***}	-0.04	0.24 ^{***}	0.13 [*]
曲がり				1.00	0.03	-0.03	-0.00	0.01	-0.23 ^{***}
平均年輪幅[元口]					1.00	0.94 ^{***}	-0.08	-0.04	-0.43 ^{***}
平均年輪幅[末口]						1.00	-0.12	-0.11	-0.36 ^{***}
容積重							1.00	-0.09	0.28 ^{***}
最大節径								1.00	-0.23 ^{***}
丸太Ef									1.00

注) * 5%有意
 *** 1%有意

3 乾燥によるヤング係数の変化

(1) 生材と乾燥材との関係

乾燥によるヤング係数の増加については、実大材では無欠点小試験体に比べ増加率が低いことが知られており^{11, 13-19)}、スギの製材品については、乾燥により10数%ヤング係数が上昇している。

生材時正角(11.5cm)と乾燥時正角(11.5cm)及び挽き直し後の乾燥時正角(10.5cm)251体のEfの出現頻度と累加頻度を、それぞれ図-10~12に示した。

また、それぞれの時点での含水率を同図に付記した。この含水率は曲げ破壊試験時の試験体含水率から推定したものである。

生材時正角のEfは平均で69.6(10³kgf/cm²)であったものが、乾燥時正角(11.5cm)の段階では78.1(10³kgf/cm²)になり、平均値で比較すると12.2%上昇した。また、Efが丸太・生材時正角・乾燥時正角(11.5cm)の各段階で、すべて正規分布とみなしたときの変化を図-13に示した。丸太材質の違い等で、製材することにより変動は若干高くなったほかは同様の傾向を示した。

一方、挽き直し後の乾燥時正角(10.5cm)のEfは平均で74.7(10³kgf/cm²)となり、挽き直し前に比べ4.4%の減少となった。このことは中井ら¹⁵⁾が指摘しているように、断面寸法が小さくなるにつれて平均年輪幅が大きくなり、また高いヤング係数を示す外周部が取り除かれたことによるものと認められる。生材時正角(11.5cm)と乾燥時正角(10.5cm)のEf及びEdwの正規化順位を図-14, 15に示した。平均値で比較するとEfは7.3%、Edwは9.7%の増加がみられたが、5thile値で比較すると大きな差は認められなかった。

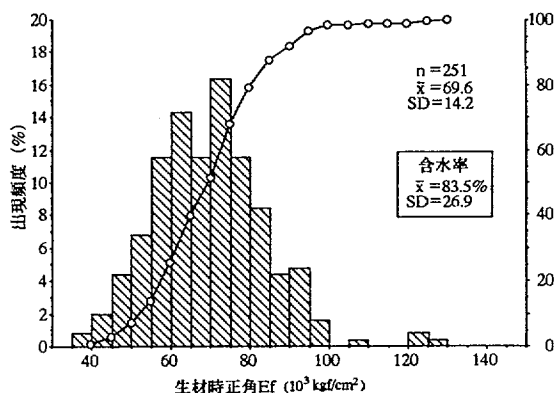


図-10 生材時正角(11.5cm) Efの出現頻度と累加頻度

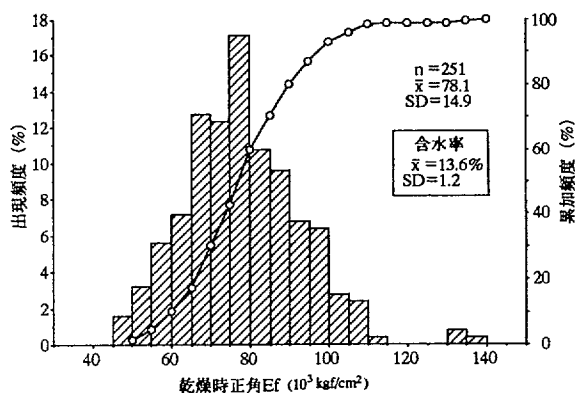


図-11 乾燥時正角(11.5cm) Efの出現頻度と累加頻度

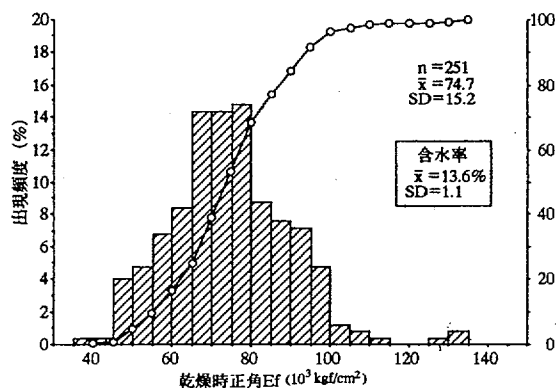


図-12 乾燥時正角(10.5cm) Efの出現頻度と累加頻度

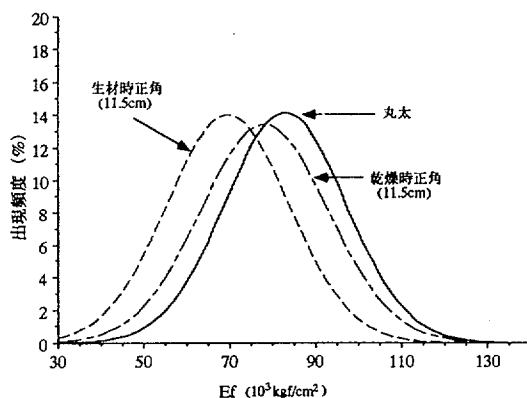


図-13 正規分布仮定時におけるEfの変化

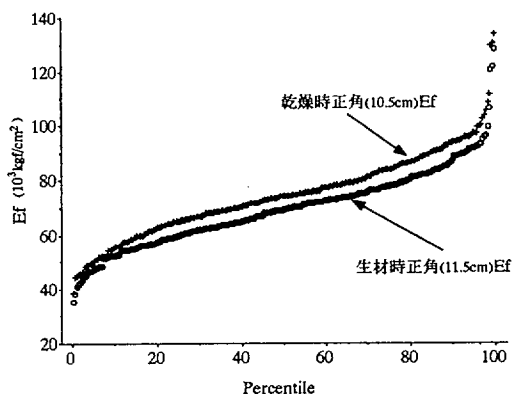


図-14 生材時正角Efと乾燥時正角Efの正規化順位

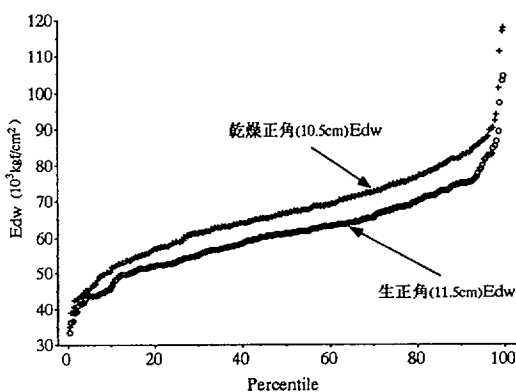


図-15 生正角Edwと乾燥正角Edwの正規化順位

(2) 乾燥過程におけるヤング係数の測定

ア 方法

木材の含水率と強度的性質との関係については、多くの報告がなされているが、同一試験体を用い生材から乾燥材に至るまで定量的にヤング係数を調査した報告は少ない。

²⁰⁻²³⁾ そこで、乾燥過程でのヤング係数の変化を詳しく見るために、B地域の丸太60体を用い、乾燥過程における E_f と見かけの剛性 E_{fI} の挙動、並びに E_f と E_{dw} との関係を調査した。

丸太は材長3.0m, 12.0cm正角に製材した後、その内57本を供試材とし、残りの3体は含水率のモニター用として、室内で栈積(1991年9月)し、モニターの含水率が約30%までは1ヵ月毎、その後は約2週間毎に E_f と E_{dw} の測定を行い、重量が平衡になった時点(1992年6月)で測定を終了し、水分傾斜がないことを確認した後全乾法により気乾含水率を求め、乾燥過程での含水率を算出した。

イ 含水率と動的ヤング係数及び見かけの剛性との関係

測定回数とそれぞれの時点での含水率(u)を図-16に示した。初期含水率は平均87.4%(S.D=26.9)でかなりバラツキがあったが、測定14回目では平均15.2%(S.D=0.7)となりほぼ気乾状態に達した。

生材時に対する乾燥過程時の E_f , E_{fI} の比をそれぞれ $E_{f'}$, $E_{fI'}$ とし、含水率との関係をそれぞれ図-17, 18に示した。 E_f は高含水率域では増加がゆるやかであるが30%前後を境に急激に増加する傾向を示した。そこで含水率が15%から30%の間において、気乾時の E_f を 50 ± 10 (10^3 kgf/cm^2), 70 ± 10 (10^3 kgf/cm^2), 80以上 (10^3 kgf/cm^2) の3階層に分け、 $y = a/x + b$ の曲線式を当てはめ、回帰係数及び定数項の検定を行った結果、階層間に有意差が認められなかったため、含水率30%以下のすべての $E_{f'}$ につ

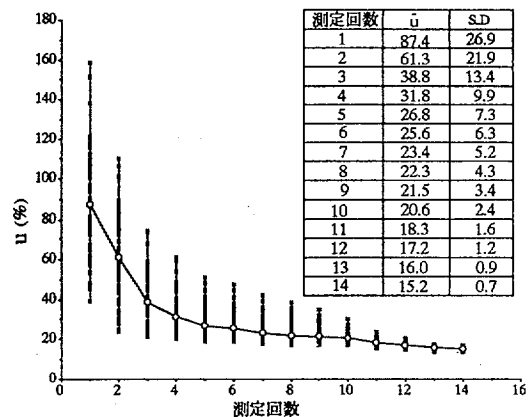


図-16 測定回数と含水率の関係

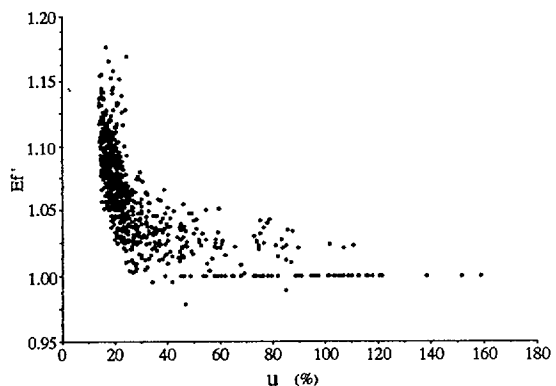


図-17 乾燥過程における E_f の変化

いて当てはめると、以下の回帰曲線式が得られた。

$$E f' = 2.098 / u + 0.969$$

$$(注) \quad 15\% \leq u \leq 30\%$$

しかし、生材時から含水率が30%に至るまでにも $E f$ は若干上昇しており、 $E d w$ でより顕著であった。このことは断面の大きな実大材においては、水分傾斜の影響が考えられ、NISHINOら²²⁾も梁の高さ方向の水分傾斜が曲げ剛性に影響を与えると指摘している。

一方、生材時に対する気乾時の $E f$ 、 I (断面2次モーメント)、 $E f I$ の比を表-4示した。 $E f I$ は少なくとも測定された範囲内では、平均値において生材時も気乾時も変化しないと認められる。

$E f$ については繊維飽和点を30%と仮定した場合、含水率が15%から30%の間において含水率1%に対する $E f$ の増加率は0.69%であり、通常言われている無欠点小試験体の2%²⁴⁾ に比べ低い値であった。

ウ $E f$ と $E d w$ との関係

$E f$ と静的曲げヤング係数との間には高い相関関係があることが知られているが、今回各測定回数毎に求めた $E f$ と $E d w$ の回帰直線式の、回帰係数と

定数項について検定を行った結果、有意差が認められなかった。 $E f$ と $E d w$ には含水率に関係なく高い相関が認められたため、生材時から気乾時まですべての $E f$ と $E d w$ との関係を図-19に示した。相関係数も0.93と高く、永富ら²⁰⁾の結果と同じく、含水率に関係なく $E f$ から $E d w$ を推定することができると思われる。

4 曲げ破壊試験結果

曲げ破壊試験に用いた10.5cm正角300体の材質調査と曲げ破壊試験結果を表-5に示した。

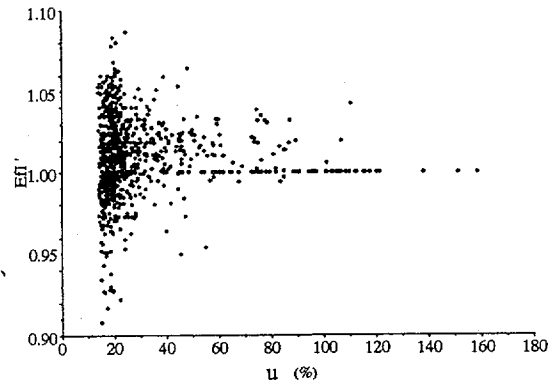


図-18 乾燥過程における $E f l$ の変化

表-4 生材時に対する気乾時の $E f, E d w, I, E f I$ の比

	$\frac{E f-dry}{E f-green}$	$\frac{I-dry}{I-green}$	$\frac{E f I-dry}{E f I-green}$
mean	1.103	0.905	0.999
S.D	0.023	0.020	0.028

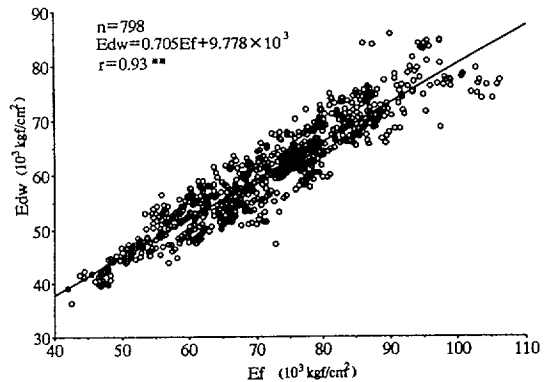


図-19 生材から気乾材に至るまでの $E f$ と $E d w$ との関係

表-5 材質調査と曲げ破壊試験結果

	RU	SG	MC	ARW1	ARW2	eKDL	eKDC	eSKDL	eSKDC	eKDL	eKDC	eSKDL	eSKDC	SKDL	SKDC	SLOG	Ef	Edw	MOEL	MOEI	SPL	MOR
A地域 n = 60	mean	0.399	0.381	12.8	5.5	19.7	17.9	29.3	21.1	22.1	19.4	27.7	15.8	41.4	34.3	6	70.2	62.8	65.1	67.7	223	389
	S.D	0.039	0.038	0.5	1.1	3.5	3.8	10.2	13.0	4.7	5.4	13.9	16.5	9.4	12.9	5.1	14.5	12.0	13.4	14.7	53.8	88.0
	C.V	9.8	9.9	4.1	20.0	19.6	21.3	34.7	61.6	21.3	27.8	50.3	104.5	22.6	37.5	83.7	20.7	19.1	20.7	21.7	24.1	22.6
	min max	0.323 0.498	0.309 0.477	11.9 14.4	2.0 9.3	1.7 8.2	10.3 32.7	0.0 47.5	0.0 44.1	13.3 37.4	6.6 37.4	0.0 57.3	0.0 42.9	0.0 67.3	0.0 61.5	0 27	39.0 97.7	35.1 87.2	34.6 90.9	35.6 97.9	121 333	249 653
B地域 n = 60	mean	0.403	0.389	14.9	5.4	17.2	14.9	22.9	12.5	19.0	15.6	25.3	14.3	33.3	24.6	11	72.1	64.1	66.9	69.0	251	435
	S.D	0.029	0.028	0.8	1.1	3.3	4.1	7.4	11.4	3.8	4.7	13.9	14.3	10.0	14.1	8.8	14.4	12.2	14.1	14.7	45.2	67.8
	C.V	7.1	7.2	5.3	19.9	29.7	19.3	32.4	91.7	19.9	29.9	54.9	100.2	29.9	57.5	80.0	20.0	19.0	21.1	21.3	18.0	15.6
	min max	0.344 0.468	0.327 0.462	12.2 16.5	3.1 7.8	2.2 9.3	11.4 26.9	0.0 40.0	0.0 40.0	4.8 26.7	0.0 26.7	0.0 68.5	0.0 45.6	0.0 55.2	0.0 45.7	0 42	45.0 104.2	38.7 93.9	38.3 102.5	41.3 106.6	154 361	289 595
C地域 n = 60	mean	0.417	0.399	13.5	4.8	17.7	14.8	24.2	15.1	17.8	15.1	20.5	11.7	34.8	24.8	9	84.0	75.2	80.1	82.1	288	475
	S.D	0.041	0.036	0.7	1.3	7.1	7.0	14.2	15.0	8.6	8.5	18.8	16.5	19.6	17.1	8.6	13.9	10.2	12.0	12.5	43.5	68.7
	C.V	9.8	9.1	5.2	27.4	40.0	47.6	58.6	99.2	48.2	55.8	92.0	141.9	56.4	69.0	96.6	16.5	13.6	15.0	15.2	15.1	14.5
	min max	0.339 0.519	0.328 0.489	12.2 14.8	2.0 8.1	1.5 7.6	0.0 31.5	0.0 56.9	0.0 55.4	0.0 31.4	0.0 30.3	0.0 56.1	0.0 49.5	0.0 94.5	0.0 62.8	0 32	55.9 119.0	55.1 101.5	56.5 110.6	55.3 112.0	184 388	310 612
D地域 n = 60	mean	0.398	0.383	13.3	5.7	20.0	17.1	27.0	17.8	19.2	16.2	23.7	8.9	37.3	27.7	13	78.2	70.6	72.8	75.1	269	447
	S.D	0.037	0.037	1.0	1.1	4.9	4.7	9.9	13.2	4.7	5.4	15.2	13.3	9.6	11.2	9.6	16.6	13.7	15.9	16.9	51.5	81.8
	C.V	9.4	9.7	7.8	19.5	24.4	27.3	36.5	74.1	24.2	33.2	64.1	148.6	25.8	40.5	73.5	21.2	19.4	21.8	22.5	19.1	18.3
	min max	0.328 0.537	0.321 0.528	12.0 17.0	3.4 8.6	2.7 11.7	10.4 35.0	0.0 47.5	0.0 42.7	0.0 30.2	0.0 30.2	0.0 64.5	0.0 37.8	0.0 66.2	0.0 46.5	0 42	46.0 134.4	43.2 117.9	43.5 131.9	44.8 135.9	176 455	317 781
計 n = 300	mean	0.405	0.389	13.6	5.3	18.7	16.1	25.8	16.6	19.3	16.4	23.9	12.2	36.5	27.5	10	77.1	69.1	72.3	74.5	262	441
	S.D	0.038	0.036	1.1	1.2	5.3	5.4	11.2	13.6	6.2	6.5	16.0	15.3	13.7	14.5	8.7	15.8	13.0	15.1	15.8	53.6	82.2
	C.V	9.4	9.2	7.8	22.8	28.4	33.5	43.4	82.3	31.8	39.7	67.3	125.7	37.4	52.7	87.2	20.5	18.8	20.9	21.2	20.5	18.6
	min max	0.323 0.537	0.309 0.528	11.9 17.0	2.0 9.3	1.5 11.7	0.0 35.0	0.0 56.9	0.0 55.4	0.0 37.4	0.0 37.4	0.0 68.5	0.0 49.5	0.0 94.5	0.0 62.8	0 42	39.0 134.4	35.1 117.9	34.6 131.9	35.6 135.9	121 455	249 781

(1) 材質調査結果

破壊時のMCは平均で13.6%、変動係数は7.8%であり、 $15 \pm 2\%$ を気乾状態と考えると、それ以外のものがA, C, D地域で110体あり、屋内の平衡含水率が低いためあって、やや過乾燥ぎみであったが水分傾斜は殆ど1%以内であった。

破壊時のSGは平均で0.389、RUは密度の高い節を含むため0.405と4%高く、地域別には大きな差はなかった。

ARW1は平均が5.3 (mm)、変動係数は22.8%あり、全国平均¹¹⁾ 4.7 (mm)と比較すると、やや広い年輪幅であった。これは丸太の径が大きかったことにより、髓に近い比較的年輪幅が広い部分で心持ち正角を木取ったことによると思われる。

地域別にはC地域が4.8 (mm)と他地域に比べ若干狭かった。

ARW2はARW1より狭いことが予想されたが、実際には平均で5.2 (mm)とARW1と殆ど差がなかった。地域別にはARW1と同様にC地域が他地域に比べ小さい値であった。

節について全区間でみると、JASに基づく、cKDL、eKDLは平均で約19%であったのに対し、eSKDLは23.9%と高く、SKDLに至っては節数が多かったため、平均で36.5%と高い集中節径比を示した。地域別には特に特徴があるとは認められない。

曲がり、及び丸みはなかったため、ここでは取り上げていない。

SLOGは平均10 (mm/1m) で心持ちであることからあまり大きくなく、全国平均¹¹⁾ と比

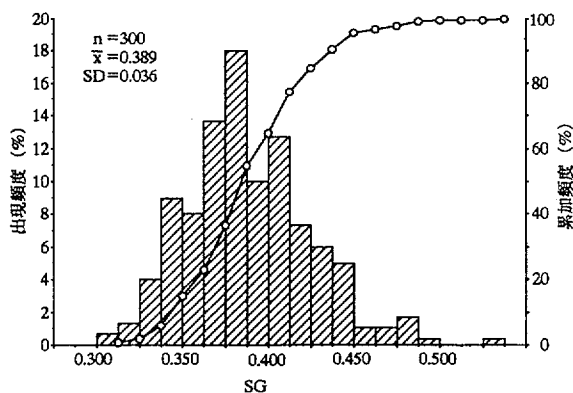


図-20 SGの出現頻度と累加頻度

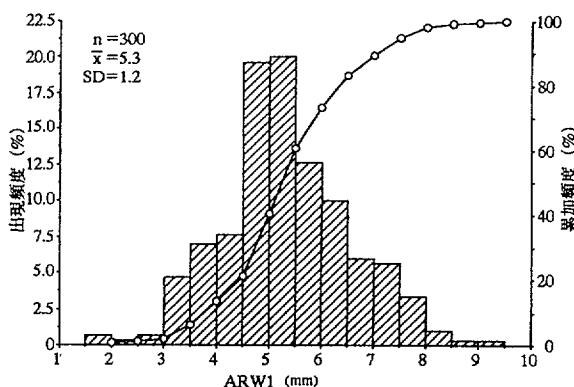


図-21 ARW1の出現頻度と累加頻度

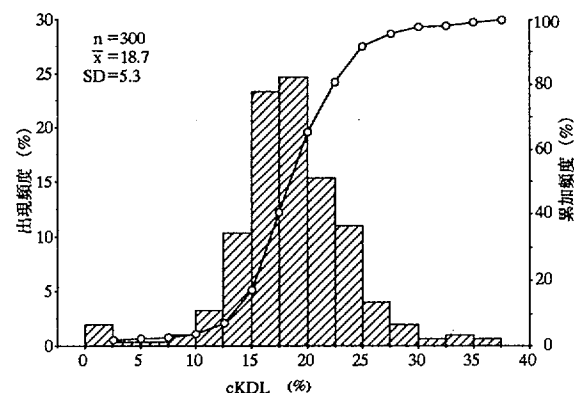


図-22 cKDLの出現頻度と累加頻度

とても少なかった。地域別にもほぼ同様の値であった。

主な材質指標であるSG, ARW1, cKDL, eKDL, eSKDL, SKDLについての出現頻度と累加頻度を一括して、図-20～25に示した。

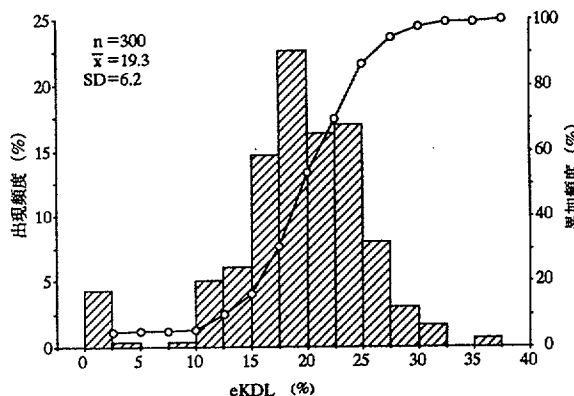


図-23 eKDLの出現頻度と累加頻度

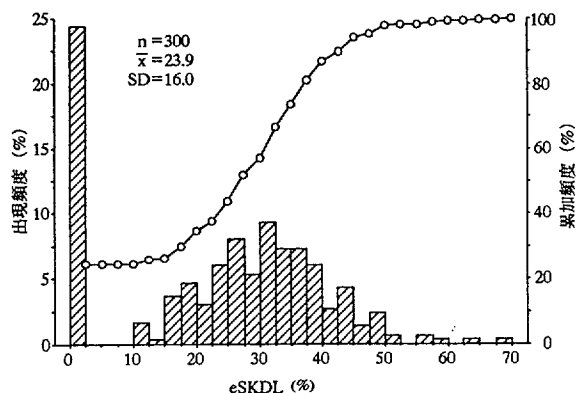


図-24 eSKDLの出現頻度と累加頻度

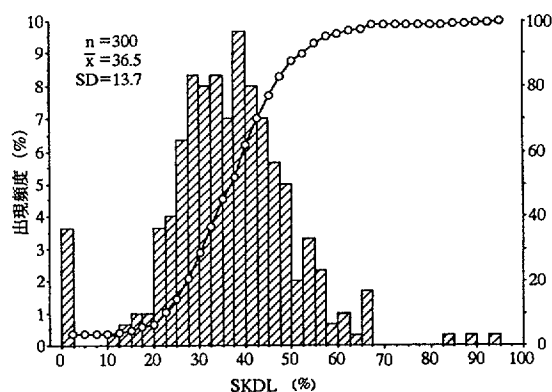


図-25 SKDLの出現頻度と累加頻度

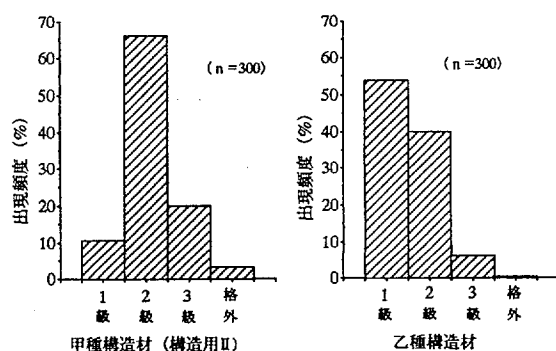


図-26 JASにおける目視等級区分製材の等級別頻度

JAS（集中節径比測定方法変更後）に基づく甲種構造材（構造用Ⅱ）と乙種構造材の等級別出現頻度を図-26に示した。甲種構造材は1級が10.7%、2級が66.0%、3級が20.0%、格外品が3.3%であり、2級が多くを占めていた。等級格付けは節、特に集中節径比によるところが大きく、JAS施行当時の集中節径比の測定方法では、材縁の集中節径比が厳しく影響し、図-27のとおりの3級が

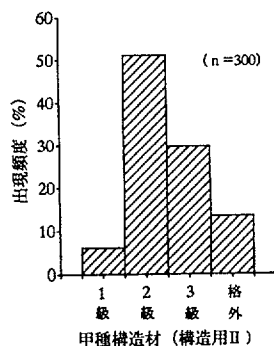


図-27 JAS施行当時における甲種構造材の等級別頻度

29.7%を占め格外品も13.3%あった。

一方乙種構造材では材縁の集中節が関係ないため、1級が53.7%、2級が39.7%、3級が6.3%、格外品は僅かに0.3%にすぎなかった。

(2) 強度性能測定結果

曲げ破壊試験に要した時間は平均10分前後で、また破壊箇所は殆ど引張り側の節周辺からであり、破壊形態はそぎ割れ・単純・目切れが多かった。なお、背割りによる特徴的な破壊形態は認められなかった。

MOELは平均72.3 (10^3 kgf/cm^2)、変動係数20.9%で全国平均¹⁾ 74.1 (10^3 kgf/cm^2) とほぼ同様であり、木構造計算基準・同解説の普通構造材70 (10^3 kgf/cm^2) を上回っていた。地域別にはC地域が平均で80.1 (10^3 kgf/cm^2) と一番高く、また変動係数も15.0%とバラツキが少なく、A地域が平均65.1 (10^3 kgf/cm^2) と他地域に比べ低い値であった。そのMOELの出現頻度と累加頻度を図-28に示した。

MOELの平均値は70 (10^3 kgf/cm^2) を上回っていたものの、他樹種と比較し相対的にヤング係数は低く、後述するように強度的には支障はないが、ヤング係数が低いのがスギの場合問題と言えよう。

また、70 (10^3 kgf/cm^2) 以下のものが46.7%あり、ヤング係数を平均値で採用することにも問題がある。たわみ制限²⁵⁾等、剛性が重要視される部材に使用するには、ヤング係数は実測し、用途にあった利用の仕方が最善と思われる。

MOE Iはせん断たわみを含まないため、MOELより平均で3.0%高い値が得られている。

E fは静的ヤング係数に比べ5~12%高いことが²⁶⁾、また引張りでは7~

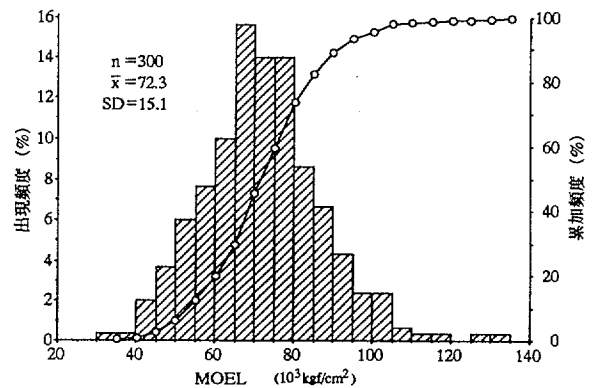


図-28 MOELの出現頻度と累加頻度

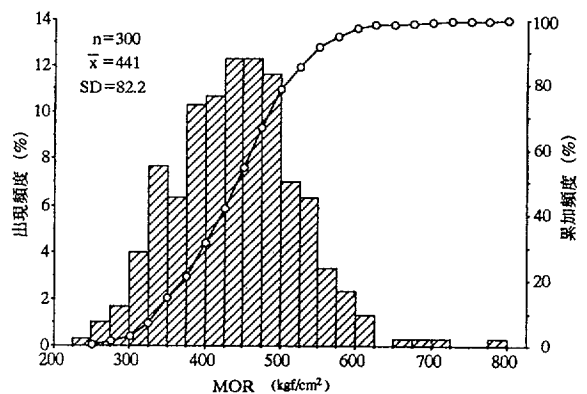


図-29 MORの出現頻度と累加頻度

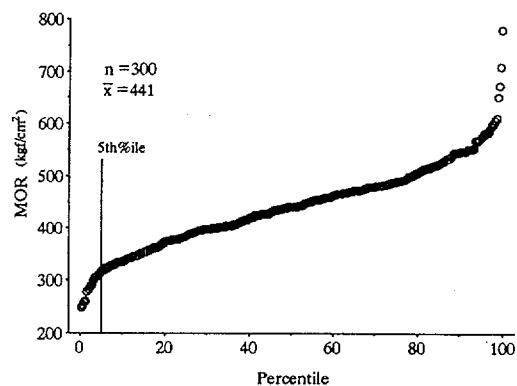


図-30 MORの正規化順位

9%高い値が得られている。²⁷⁾ 今回の試験では平均77.1(10³kgf/cm²)でMOELより6.6%高い値が得られた。

E_{dw}は平均で69.1(10³kgf/cm²)とMOELに比べ4.4%低めの値であり、これは、荷重が少なかったことにより、初期ひずみを含んでいたためと思われる。

なお、JASでは長期許容応力度に相当する荷重を積載することとしているが、この程度の試験体であれば、小荷重でも安全側であるため問題ないレベルと言えよう。

MORの出現頻度と累加頻度を図-29、及び正規化順位を図-30に示した。平均441(kgf/cm²)、変動係数18.6%で、統計的下限值(ASTM D 2915に準拠)は表-6のとおりNTLが310(kgf/cm²)あり、建築基準法施行令第95条に定められている曲げの材料強度225(kgf/cm²)を大きく上回っていた。

地域別には、図-31のとおり、C地域で平均475(kgf/cm²)と最も高く、逆に変動係数は14.5%とバラツキが小さく、またA地域は平均389(kgf/cm²)と低く、変動係数も22.6%とバラツキがあったが、製材品としては平均的バラツキと思われ、かつ、最低値も249(kgf/cm²)と材料強度を下回っているものは1体もなかった。

その地域毎の正規化順位を図-32に示す。5th%ile値でみると、明らかにC地域で高く、B、D地域は同様に、A地域で低い傾向を示した。

JASの等級区分別正規化順位を図-33、34に示す。5th%ile値で比較すると、甲種の1級は381(kgf/cm²)と目視等級区分の効果が認められたが、2級以下については310(kgf/cm²)前後であり目視等級区分の効果が認められなかった。

一方乙種の1級は335(kgf/cm²)であり甲種と同じく目視等級区分の効果が認められたが、2級、3級は300(kgf/cm²)

表-6 MORの統計的下限值

単位: (kgf/cm ²)					
NPE a)	NTL b)	PPE(N) c)	PTL(N) d)	PPE(W) e)	PTL(W) f)
315	310	306	300	308	303

- a) ノンパラメトリックによる5%point推定値
b) ノンパラメトリックによる5%信頼下限値
c) パラメトリック (正規分布仮定) による5%point推定値
d) パラメトリック (正規分布仮定) による5%信頼下限値
e) パラメトリック (ワイブル分布仮定) による5%point推定値
f) パラメトリック (ワイブル分布仮定) による5%信頼下限値

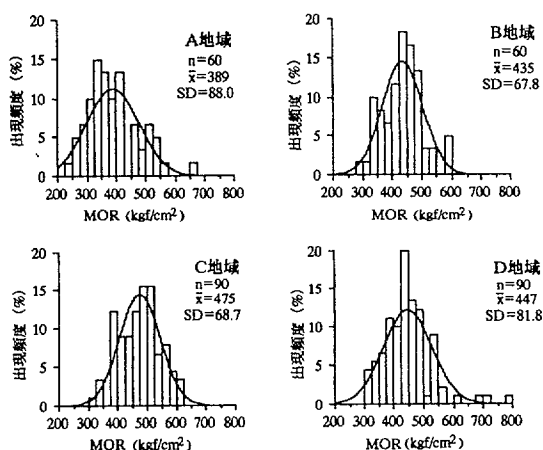


図-31 地域別MORの出現頻度

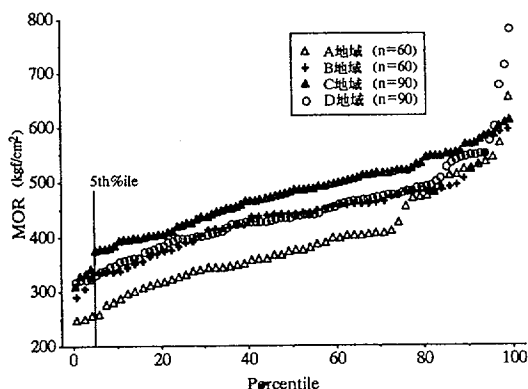


図-32 地域別MORの正規化順位

であり目視等級区分の効果は認められず、かつその級別の差も甲種に比べると低かった。

スギは構造材として十分な強度を有していることは他の試験結果^{8, 11)}からも明らかであり、今後はどれだけ高い強度値が得られるかが問題であろう。また、品種・施業履歴等による違いも報告^{2, 28-38)}されており興味深いが、あまり品種等にこだわると、永遠とこの作業が繰り返されることになり、特に構造的利用に限ると品種の差はあまり問題とはせず、スギはスギとして認識した方がより需要開発につながるのではないかと思います。

SPLについては、平均262 (kgf/cm²)でMORに対する比は0.59であった。通常みなされている最大応力に対する比例限度の比の2/3と比べるとやや低かった。

(3) 材質と曲げ強度性能との関係

材質と曲げ強度性能相互間の単相関係数を表-7に示した。

ア MORとヤング係数との関係

曲げ強度と曲げヤング係数との間には高い相関関係があることが知られているが、今回の試験でもMORと最も高い相関を示したのはMOELで図-35のとおり単相関係数は0.80であった。

また、Efは0.78の相関を示し、Edwも0.80の相関を示した。EfもEdwもMORと高い相関があることが知られており³⁹⁾、ヤング係数を指標とした強度等級区分を比破壊的に行うには、

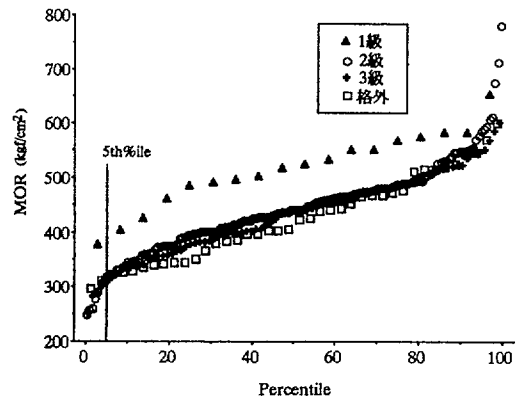


図-33 甲種構造材（構造用Ⅱ）のMORの等級別正規化順位

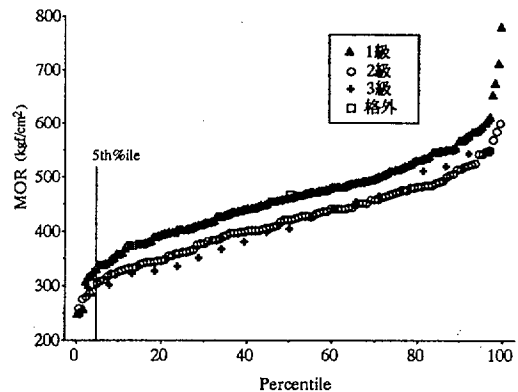


図-34 乙種構造材のMORの等級別正規化順位

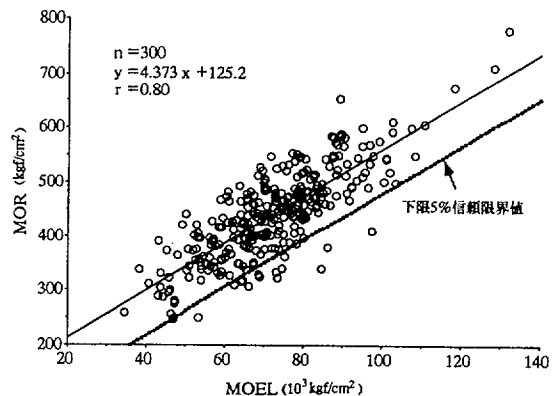


図-35 MOELとMORとの関係

表-7 材質と曲げ強度性能との単相関係数

	RU	SG	ARW1	ARW2	eKDL	eKDC	eSKDL	eSKDC	eKDL	eKDC	eSKDL	eSKDC	SKDL	SKDC	SLOG	Ef	Edw	MOEL	MOEI	SPL	MOR
RU	1.00	0.98	-0.49	-0.44	0.21	0.12	0.16	0.04	0.22	0.16	0.15	0.25	0.22	0.10	-0.09	0.67	0.67	0.67	0.67	0.60	0.68
SG		1.00	-0.50	-0.45	0.12	0.03	0.08	-0.02	0.13	0.07	0.05	0.17	0.13	0.05	-0.01	0.68	0.69	0.69	0.70	0.64	0.73
ARW1			1.00	0.84	-0.15	-0.03	-0.09	0.08	-0.16	-0.05	0.05	0.04	-0.15	-0.04	0.07	-0.52	-0.51	-0.50	-0.51	-0.42	-0.49
ARW2				1.00	-0.07	0.03	-0.05	0.07	-0.04	0.01	0.08	0.04	-0.05	0.01	0.13	-0.58	-0.58	-0.58	-0.57	-0.47	-0.51
eKDL					1.00	0.76	0.60	0.35	0.64	0.54	0.35	0.24	0.67	0.45	-0.01	0.00	-0.03	-0.06	-0.05	-0.08	-0.11
eKDC						1.00	0.52	0.43	0.61	0.58	0.36	0.27	0.58	0.57	-0.12	-0.04	-0.08	-0.10	-0.10	-0.16	-0.18
eSKDL							1.00	0.59	0.49	0.40	0.28	0.15	0.62	0.50	-0.13	-0.00	-0.03	-0.05	-0.05	-0.07	-0.05
eSKDC								1.00	0.32	0.27	0.17	0.08	0.36	0.55	-0.06	-0.11	-0.13	-0.14	-0.15	-0.15	-0.14
eKDL									1.00	0.81	0.57	0.38	0.67	0.54	-0.21	-0.00	-0.05	-0.07	-0.06	-0.15	-0.13
eKDC										1.00	0.45	0.45	0.63	0.58	-0.22	0.01	-0.04	-0.06	-0.06	-0.15	-0.17
eSKDL											1.00	0.53	0.46	0.26	-0.14	-0.07	-0.09	-0.11	-0.11	-0.18	-0.15
eSKDC												1.00	0.33	0.26	-0.24	0.09	0.05	0.05	0.05	-0.08	-0.06
SKDL													1.00	0.64	-0.14	-0.01	-0.04	-0.07	-0.07	-0.13	-0.14
SKDC														1.00	-0.13	-0.07	-0.10	-0.11	-0.12	-0.18	-0.15
SLOG															1.00	-0.10	-0.08	-0.08	-0.08	0.07	0.07
Ef																1.00	0.97	0.98	0.97	0.83	0.78
Edw																	1.00	0.99	0.99	0.85	0.80
MOEL																		1.00	0.99	0.85	0.80
MOEI																			1.00	0.86	0.80
SPL																				1.00	0.86
MOR																					1.00

注) ※ 5%有意
*** 1%有意

E f や E dw は非常に有効であり、とりわけ静的よりも簡便な動的方法である E f を用いる方法が実用的であると思われる。

一方丸太の E f と MOR (251 体) の関係は図-36 のとおり MOE L ほどではないが、単相関係数で 0.67 あり、丸太 E f から MOR をある程度予測することが可能であろう。

イ MOR と材質との関係

MOR と高い相関を示したのは SG で 0.73 あり、ARW 1 とは -0.49、ARW 2 とは -0.51 と弱い負の相関を示した。SG、ARW 1 との関係を図 37、38 に示す。比重との相関が通常より高く現れたことは樹幹内部の材質によるところが大きいと思われる。

成熟材、未成熟材の区分分けは難しいが、渡辺らの報告^{10, 41)}によると未成熟材は樹心から 10~15 年としている。今回の試験体は比較的樹心部分から採材しており、完全年輪数も殆どこの範囲にあったことから、正角を未成熟材の領域とみなすと、未成熟材領域での相関となったため、ある程度高い相関関係が現れたと思われる。

未成熟材は強度的に成熟材と比べて劣っているといわれており、今回はその点からは MOR、MOE L も安全側と言えよう。

その他 S L O G は有意な相関は認められず、節についても、今回のスギ心持正角のような場合には相関関係が認められないことが多い。

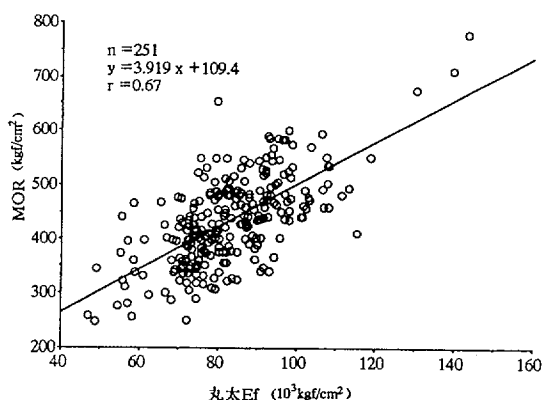


図-36 丸太EfとMORとの関係

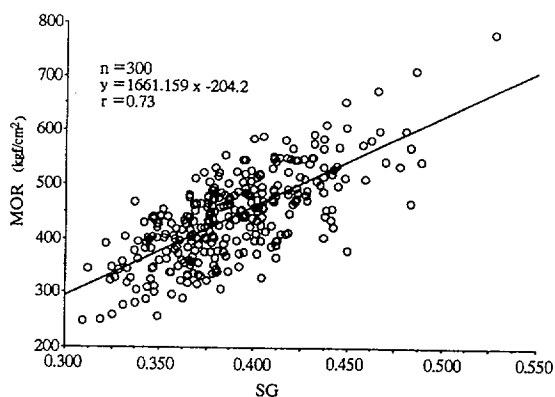


図-37 SGとMORとの関係

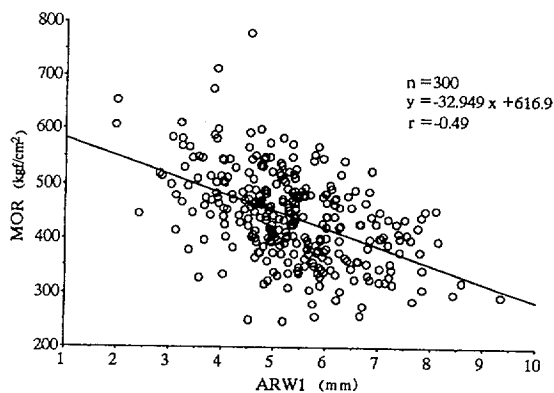


図-38 ARW1とMORとの関係

ウ MOELとEf、Edw及び材質との関係

Ef、EdwとMOELとの関係を図-39に示した。どちらも非常に高い相関を示し、MOELを推定するのに実用的に十分な精度を有している。

ARWとMOELとの間の相関係数はMORとの相関係数よりやや高い傾向であった。逆にSGとMOELとの間の相関係数はやや低い値を示した。

また、丸太EfとMOELとの関係(251体)は図-40のとおり、MORとの相関より高い0.85を示し、丸太EfからMOELを推定することができる。

エ 重回帰分析

MORに及ぼす各因子の影響を見るために、SG、ARW1、eKDC、eSKDC、cKDC、SKDC、SLOG、MOELの説明変数を用い、後退法により偏回帰係数のt値が全て0.1%レベルで有意³⁾になった時の組み合わせを表-8に示す。MORを推定するのに最も有効な因子はMOELで、続いてSG、eKDCであり、これらの因子で約70%説明できる。

なお、MOELを説明変数から除く、と最も有効な因子はSGであり、続いてeKDC、ARW1であったが、推定精度はMOEL単独より劣っていた。

(4) 許容応力度

JASの目視等級区分製材では1級を除き、等級区分の効果が見られなかったが、図-35からヤング係数を指標とする機械等級区分製材の長期許容応力度の算

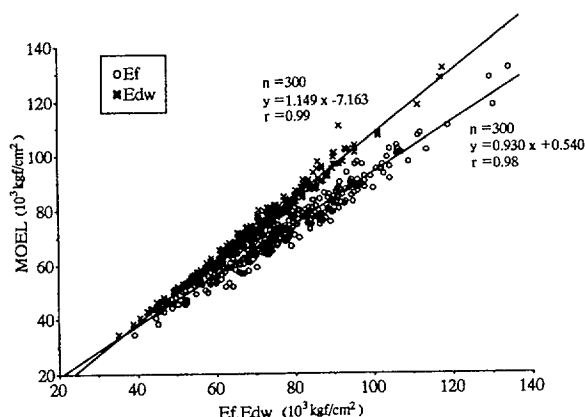


図-39 Ef,EdwとMOELとの関係

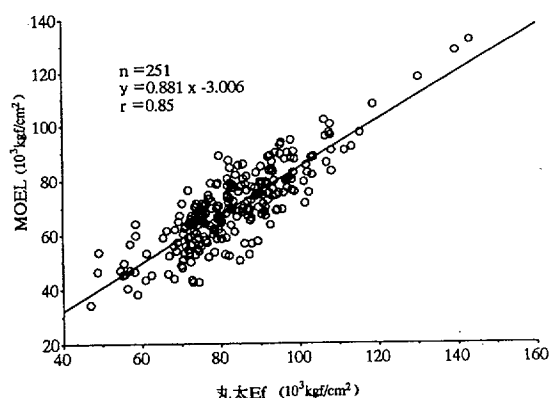


図-40 丸太EfとMOELとの関係

表-8 重回帰分析結果

	係数	t値	F=259.629 $\sqrt{V_e}=43.3$ 自由度調整済 $R^2=0.722$
定数項	-59.131	12.707	
MOEL	2.965	8.388	
SG	822.508	5.229	
eKDC	-2.039		

表-9 長期許容応力度の算出結果

等級	現行通達 (曲げ)	試験結果からの 許容応力度 (kgf/cm ²)
E50	75	70
E70	95	100
E90	115	130
E110	135	160
E130	155	190
E150	175	220

出を行った。下限5%信頼限界値は誤差分散が一定として、各MOEL水準における予測値⁴²⁾から算出した。下限5%信頼限界値から誘導した許容応力度の結果を表-9に示す。現行の許容応力度に比べE50では若干下回っているものの、それ以上の等級については現行より高い許容応力度となった。

5 短柱縦圧縮試験結果

(1) 材質及び強度性能測定結果

曲げ破壊試験後に採取できた短柱縦圧縮試験体169体の材質調査、 σ_c 、及びそれらの曲げ試験結果を表-10に示した。

表-10 短柱縦圧縮試験結果

		RU	SG	MC	ARW1	KD	SKD	KAR	SKAR	SLOG	σ_c	MOR ^{a)}	MOEL ^{b)}
計 (n=169)	mean	0.407	0.388	13.6	5.4	16.2	19.3	3.9	4.4	31	325	426	72.0
	S.D	0.040	0.039	1.1	1.2	5.5	16.5	1.6	3.8	17.1	47.2	86.6	16.3
	C.V	9.9	10.1	7.9	23.2	34.0	85.1	40.0	86.6	55.4	14.6	20.3	22.7
	min	0.333	0.309	11.9	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	246	249	34.6
	max	0.535	0.528	16.7	9.3	33.3	80.9	8.5	15.9	99	492	781	131.9

a), b) MOR, MOELは圧縮試験を行った試験体(169体)の値

RU、SG、MC、ARW1は曲げ試験300体の試験結果とはほぼ同様であり、KDについては平均16.2%、SKDは19.3%でどちらもバラツキが大きく、KARは平均3.9%、SKARは平均4.4%で同様にバラツキが大きかった。

σ_c の出現頻度と理論分布曲線を図-41に示した。理論分布の当てはめについては、3パラメータワイブル分布が最もよく適合し、各パラメータを同図に附記した。 σ_c は平均325 (kgf/cm²)、変動係数14.6%であり、同じ169体のMORの変動係数は20.3%であったため σ_c はMORに比べバラツキが少ないといえる。

採取した169体のMORと300体のMORを比べると、圧縮試験に供したMORの方が平均で15 (kgf/cm²) 少なく、変動係数は1.7%多い程度であったため、平均的にサンプリングしたと仮定して、MORと同様に統計的下限値を求めると、表-11のと

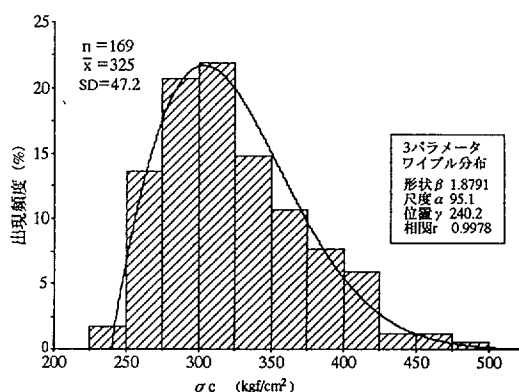


図-41 σ_c の出現頻度と理論分布曲線

表-11 σ_c の統計的下限値

単位: (kgf/cm ²)					
NPE ^{a)}	NTL ^{b)}	PPE(N) ^{c)}	PTL(N) ^{d)}	PPE(W) ^{e)}	PTL(W) ^{f)}
262	259	247	242	260	258

- a) ノンパラメトリックによる5%point推定値
b) ノンパラメトリックによる5%信頼下限値
c) パラメトリック (正規分布仮定) による5%point推定値
d) パラメトリック (正規分布仮定) による5%信頼下限値
e) パラメトリック (ワイブル分布仮定) による5%point推定値
f) パラメトリック (ワイブル分布仮定) による5%信頼下限値

おり、NTLは259 (kgf/cm²) で、建築基準法施行令第95条に定められている圧縮の材料強度180 (kgf/cm²) を大きく上回っていた。 σ_c とMOR (169体) の正規化順位を図-42に示した。5th%ile値のMORに体する σ_c の比をSR (c/b) とすると0.85であり、中井らの結果⁴³⁾の0.64に比べMORとの差が少なく、平均値では0.76と無欠点小試験体での結果⁴⁴⁾と比較してもMORとの差が少ない傾向を示した。現在の許容応力度体系ではヤング係数にかかわらず、圧縮は曲げの80%としている。しかし、 σ_c は変動が少なく、図-43のとおりMORが大きなものほど σ_c との違いが大きくなる傾向が認められるため、品質の差を含めた検討が必要と思われる。

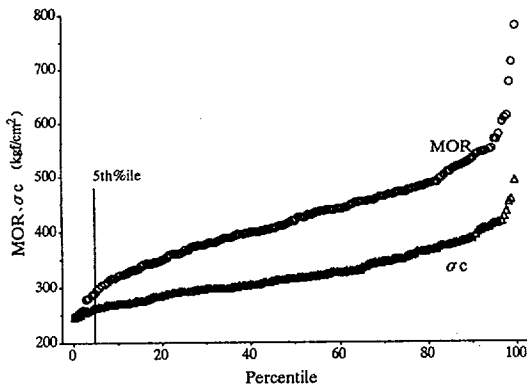


図-42 σ_c とMORの正規化順位

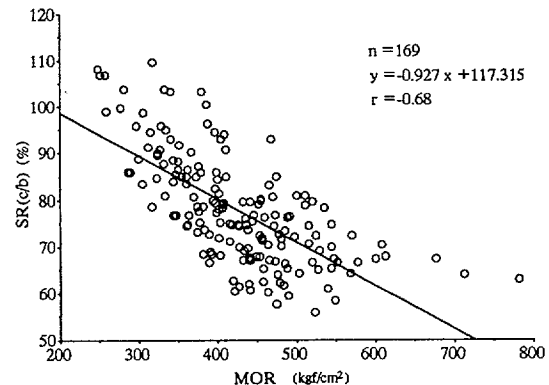


図-43 MORとSR(c/b)の関係

(2) 材質と圧縮強度性能との関係

材質と圧縮強度性能相互間の単相関係数を表-12に示した。

表-12 材質と圧縮強度性能との単相関係数

	RU	SG	ARW1	KD	SKD	KAR	SKAR	SLOG	MOEL	MOR	σ_c
RU	1.00	0.94**	-0.52**	0.24**	0.38**	0.22**	0.44**	-0.10	0.66**	0.65**	0.83**
SG		1.00	-0.53**	0.13	0.25**	0.10	0.29**	-0.12	0.74**	0.75**	0.85**
ARW1			1.00	0.03	-0.10	0.05	-0.16	0.24	-0.56**	-0.48	-0.56
KD				1.00	0.51**	0.84**	0.47**	0.09	0.06	-0.05	0.15
SKD					1.00	0.38**	0.93**	0.04	0.05	0.03	0.20
KAR						1.00	0.45**	0.01	0.09	-0.02	0.15
SKAR							1.00	-0.08	0.10	0.08	0.25**
SLOG								1.00	-0.22**	-0.18*	-0.15
MOEL									1.00	0.82**	0.83**
MOR										1.00	0.71**
σ_c											1.00

注) * 5%有意
 ** 1%有意

σ_c と SG の相関が 0.85 で最も高く、続いて MOEL との相関が 0.83 であり、それらの関係を図-44、45 に示した。

その他の節、節面積比、繊維傾斜との間には殆ど相関はなく、ARW1 が弱い負の相関を示したにすぎなかった。

これらのことから σ_c は SG に大きく依存しており、また材長方向で MOEL の変動がないと仮定した場合、MOEL から σ_c を推定できると思われる。

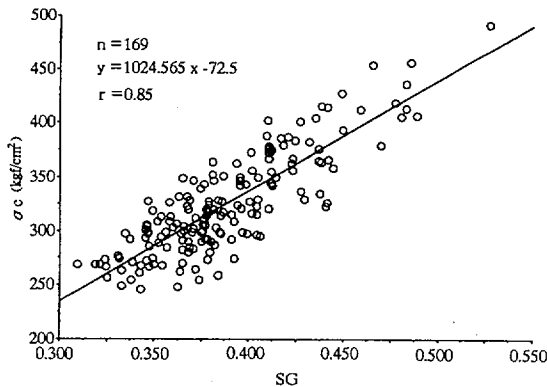


図-44 SGと σ_c との関係

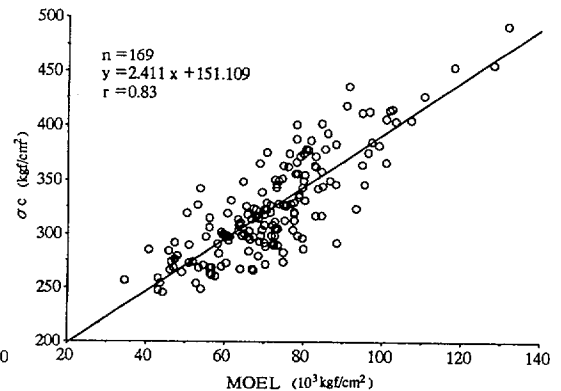


図-45 MOELと σ_c との関係

IV おわりに

県産スギ心持ち正角の曲げ破壊試験及び短柱縦圧縮試験を行った結果、曲げ強度及び圧縮強度の分布があきらかになり、強度と材質との相関等いくつかの知見を得た。強度的には建築基準法施行令に定める材料強度を満たしており、構造用材として十分な強度を有しているといえる。スギはバラツキが大きい材料だとよく言われるが、飯島¹⁵⁾も指摘しているように、スギは強度的には外材に比べ変動係数は少なく、今回も18.6%と低かった。そのため、心持・心去りの問題はあるが目視等級区分製材での許容応力度では、スギの2級がベイマツの同じ2級を上回っている結果となっている。問題は他樹種に比べヤング係数が低いことであると考えられる。構造材としての利用を考えるならば剛性は重要であり、ヤング係数を指標とした強度等級区分を行った上で、用途に応じた利用方法を考えるべきと思われる。

また、今回の試験でtimberの等級区分を考える場合、機械等級区分法が目視法に比べ明確にその差違が現れた。特にEfに代表される動的方法は測定が簡便で大断面でも可能であるため、現場での適応性が高く、現在では研究段階から実用段階へ移行してきた感がある。そのためにはさらに多くのデータの蓄積が必要であり、そういった意味ではスギのデータは全国で最も多く、他樹種に比べ恵まれている材料と言える。

一方今回丸太のEfを測定した結果、製材品のヤング係数と高い相関が得られた。このことは、丸太段階で等級区分を行うことにより、目的とする製材品の強度性能を予測できることを示している。特に集成材ラミナや枠組壁工法構造用製材を効率的に得るための試験^{46・48)}も行われており、ヤング係数が低くかつバラツキがあるスギから、目的にあった製材品を得るためには有効な手段と認められる。

最後に、今回の試験を行うにあたり、貴重な御意見、御指導を頂いた森林総合研究所中井孝氏（前材料性能研究室長）、及び材料性能研究室諸氏、並びに愛媛大学森林資源学助教授林和男氏、試験体入手に関しご協力を頂いた愛媛県森林組合連合会各木材市場及び久万町森林組合木材市場の方々に厚くお礼申し上げます。

（引用文献）

- 1) 武智正典ほか：スギ正角の乾燥過程におけるヤング係数の測定，日本木材学会中国・四国支部第4回研究発表会要旨集，20-21，（1992）
- 2) 見尾貞治ほか：スギ品種の木材性質について，九州大学農学部演習林報告，55，187-199，（1985）
- 3) 又木義博ほか：スギ若齢木からの平割材における曲げ弾性係数の林内分布に関する統計的解析，九州大学農学部演習林報告，57，229-241，（1987）
- 4) 又木義博ほか：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方向変動，九州大学農学部演習林報告，59，71-95，（1988）
- 5) 大森昭壽ほか：静岡県産材の材質と強度性能（Ⅰ）－スギ材の材質と強度性能－，静岡県林業技術センター研究報告，21，45-57，（1993）
- 6) 中谷 浩：林木の冠雪害に関する樹木力学的研究，富山県林業技術センター研究報告，4，1-51，（1991）
- 7) 長尾博文ほか：スギ造林木における曲げ強度性能の垂直分布－スギ心持ち正角の場合－，日本木材学会大会研究発表要旨集，40，383，（1990）
- 8) 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）
- 9) 愛媛県農林水産部林政課：スギ・ヒノキ人工林収穫予想表及び林分材積表，（1984）
- 10) 荒武志朗ほか：スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響－曲げ強さと曲げヤング係数について－，木材工業，48（4），166-170，（1993）
- 11) 林野庁：構造用製材の強度等級区分に関する研究，昭和58年度林業試験研究報告書，No.25，196-218（1985）
- 12) 藤田晋輔ほか：打撃音法によるスギ製材品のヤング係数の評価法〔Ⅰ〕，木材工業，47（6），266-270，（1992）
- 13) 中山茂夫ほか：島根県産スギ造林木の強度性能－スギ正角材の曲げ強度－，島根県林業技術セ

- ンター研究報告, 42, 17-36, (1991)
- 14) 丸山則義ほか：国産造林木の応力等級に関する基礎的研究，静岡大学農学部演習林報告，8，69-76，(1984)
 - 15) 中井 孝ほか：間伐等小径木の強度性能—曲げ剛性と曲げ破壊係数—，木材工業，39 (5)，235-241，(1985)
 - 16) 中井 孝ほか：在来工法構造用製材の応力等級区分 (3) —スギ平角の実大曲げ試験—，日本木材学会大会研究発表要旨集，35，88，(1985)
 - 17) 飯島泰男ほか：ベイマツ平角材の曲げ強度試験，日本木材学会大会研究発表要旨集，40，379，(1990)
 - 18) 中井 孝ほか：スギ平角の曲げ強度に及ぼす含水率の影響，日本木材学会大会研究発表要旨集，41，99，(1991)
 - 19) 長尾博文ほか：スギ正角の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響，日本木材学会大会研究発表要旨集，43，314，(1993)
 - 20) 永富一之ほか：乾燥過程におけるオビスギ14品種の打撃音によるヤング係数の測定，木材工業，47 (2)，70-72，(1992)
 - 21) 鈴木正治：水分による木材の動的ヤング率の減少量と比重との関係，木材学会誌，26 (5)，299-304，(1980)
 - 22) Yoshihiko NISHINO : Changes in Apparent Young's Moduli of Wood Obtained by Flexural and Longitudinal Vibrations with Moisture Adsorbing and Desorbing Processes, Mokuzai Gakkaishi, 38 (5)，429-432，(1992)
 - 23) 高橋幹夫ほか：スギ材の乾燥経過に伴う曲げヤング係数の変化，日本木材学会大会研究発表要旨集，42，141，(1992)
 - 24) 木質構造研究会：“木質構造建築読本”，井上書院，(1989)
 - 25) 日本建築学会：“木質構造計算基準・同解説”，日本建築学会，(1988)
 - 26) 渡辺治人：“木材理学総論”，農林出版株式会社，(1978)
 - 27) 中井 孝ほか：実大材における動的ヤング係数と静的ヤング係数との関係，日本木材学会大会研究発表要旨集，40，384，(1990)
 - 28) 藤崎謙次郎：スギ品種における組織構造と材質との関係 (I) —クモトオシ，ヤイチ，ヤブクグリ及びメアサについて—，愛媛大学演習林報告，23，47-58，(1985)
 - 29) 藤崎謙次郎ほか：スギ品種における組織構造と材質との関係 (II) —ウラセバル，オビアカ，アヤスギおよびキジンについて—，愛媛大学演習林報告，24，61-70，(1986)
 - 30) 渋谷晶資ほか：スギ品種における組織構造と材質との関係 (III) —イワオ，アカバ，アオシマアラカワおよびヒノデについて—，愛媛大学演習林報告，25，149-158，(1987)
 - 31) 古賀信也ほか：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，62，101-113，

- (1990)
- 32) 小田一幸ほか：構造部材を意識したスギ12品種の木材性質，九州大学農学部演習林報告，62，115-126，(1990)
 - 33) 伊東隆夫ほか：ヒノキおよびスギの材質に及ぼす植栽密度の影響，木材研究・資料，15，45-60，(1980)
 - 34) 佐々木 光ほか：スギ36品種の力学的性質，木材研究・資料，17，192-205，(1983)
 - 35) Yoshitake FUJISAWA. et al. : Wood Characteristics and Genetic Variations in Sugi (*Cryptomeria Japonica* D. Don), *Mokuzai Gakkaishi*, 38 (7), 638-644, (1992)
 - 36) Song -Yung.WANG. et al. : Wood Properties of Japanese Cedar Originated by Seed and Vegetative Reproduction in Taiwan VI., *Mokuzai Gakkaishi*, 39 (10), 1128-1139, (1993)
 - 37) 長尾博文ほか：同一林分から得られたクモトオシスギの実大強度，日本木材学会大会研究発表要旨集，41，97，(1991)
 - 38) 長尾博文ほか：同一林分内で生育したスギクロンの曲げ強度特性，日本木材学会大会研究発表要旨集，42，137，(1992)
 - 39) 農林水産会議事務局：国産針葉樹中小径材の構造部材への新利用技術開発，研究成果，253，(1991)
 - 40) 渡辺治人ほか：未成熟材に関する研究（第1報）スギ樹幹についての実験，木材学会誌，9（6），225-230，(1963)
 - 41) 渡辺治人ほか：未成熟材に関する研究（第2報）スギ樹幹内の比圧縮強度と比圧縮ヤング率の分布，木材学会誌，10（4），125-130，(1964)
 - 42) “応用統計ハンドブック”，養賢堂，(1986)
 - 43) 中井 孝ほか：スギ正角の曲げ・縦圧縮・縦引張強度特性値の相対的關係，日本木材学会大会研究発表要旨集，39，53，(1989)
 - 44) 中井 孝ほか：日本産主要35樹種の強度的性質，林業試験場研究報告，No.319，13-46，(1982)
 - 45) 飯島泰男ほか：スギ並材の構造的利用に関するいくつかの視点，木材工業，44（6），253-259，(1989)
 - 46) 静岡県集成材工業会：昭和61年度国産針葉樹多目的利用促進事業報告書，(1987)
 - 47) 橋爪丈夫ほか：カラマツ構造用大断面集成材ラミナの性能評価，日本木材学会大会研究発表要旨集，43，312，(1993)
 - 48) 杉山正典他：枠組壁工法用住宅部材の生産技術開発－県産スギ中目材による製材，乾燥及び強度測定試験－岐阜県林業センター研究報告，21，41-84，(1993)