

## スギ 36 品種の力学的性質\*

佐々木 光\*\*・角谷 和男\*\*\*・瀧野真二郎\*\*

### Mechanical Properties of Thirty-six Varieties of Cryptomeria\*

Hikaru SASAKI\*\*, Kazuo SUMIYA\*\*\*  
and Shinjiro P. TAKINO\*\*

#### 1. はじめに

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) は日本特産の針葉樹高木で天然分布は本州北部から屋久島に及び、わが国の最も重要な造林樹種として知られている。しかし、その林業上の品種は非常に多く、さし木で人工植栽を繰り返しているものでは、固有の品質を継承しており、品種間の材質の差異はかなり大きいといわれている<sup>10)</sup>。

住友林業株式会社では 20 年前に主として西日本を主体とする有名品種 40 をあつめて、熊本県の社有林の一区画に同一条件で植栽しておられ、今回間伐を行って間伐木の樹幹解析を実施された。その際残った丸太を製材し京都大学木材研究所に御提供頂いた。

本報告はこれらについて行った柱寸法の実大曲げ性能試験の結果と、その端部から採取した JIS 規格の曲げおよびせん断試験片について行った強度試験の結果をとりまとめたものである。残念なことに供試材は 36 品種各 1 本に限られていたため、この試験結果から直ちに品種間の力学的性質の相違を論ずるのは早計であるが、一般にスギ間伐材といわれるものもつ力学的性質のバラツキがどの程度のものであるか、また、その中にはどのような特徴を示すものが含まれているかといった観点からは有用な知見であると考えられる。

供試材は引続き繊維長、マイクロフィブリル傾角等の観察に供する予定であるが、ここでは力学的性質についての部分だけを取りまとめた。材料を御提供頂き、供試木の原産地と品種名、樹冠、枝、幹の状況、丸太の形質などの測定結果を参考に御提供頂いた住友林業株式会社、とくに同社林業技術研究室松江亨氏、曾田良氏をはじめ関係諸氏に深甚の謝意を表す。なお実験に協力頂いた大学院学生林知行君（現農林水産省林業試験場技官）および坂本正弘君に対し、また、とりまとめに協力頂いた勝山主任に対してもここに謝意を表す。

#### 2. 供試材及び試験方法

##### 2.1. 供試材

供試木は熊本県球磨郡錦町字鍋山、住友林業株式会社有林、人吉事業区、3 林班、と小班内に設けられた

\* 間伐材の利用に関する研究 (Ⅲ) とする、Studies on the Utilization of Logs from the Thinning Operation (III)

\*\* 木質材料部門 (Research Section of Composite Wood)

\*\*\* 木材物理部門 (Research Section of Wood Physics)

佐々木・角谷・瀧野：スギ36品種の力学的性質

スギ 40 品種見本林から間伐されたものである。

この見本林には昭和 38 年 4 月に植栽された主として西日本における有名品種 40 種類のスギが生育している。植栽は 1 品種 10 本宛列状植付け (1.8×1.8 m) を行っている。この見本林の立地条件は次の通りである。すなわち、標高：190~200 m, 方位：西北, 傾斜：3~5°, 基岩：砂岩および火山砂, 土質：壤土, 湿度：適潤, 深度：深, 結合度：軟, 土壌型：B<sub>D</sub>(d)。また、この地方の気象条件は次の通りである。すなわち、年平均気温：14.8°C, 最高気温 (平均)：20.8°C, 最低気温 (平均)：10.2°C, 最高温度：7 月, 最低温度：

表 1 供試木の品種と原産地 (住友林業 K. K. 調べ)

本報における略号	品 種 名	別 名 (その他)	原 産 地
アオ	アオスギ	ヒゴメアサ	熊本県阿蘇地方
アカ	アカバ	(葉が冬期赤褐色になる)	福岡県八女地方
アヤ	アヤスギ		九州中北部
アラ	アラカワ		宮崎県飫肥地方
ウラ	ウラセバル	ヨエモノスギ	大分県日田市小山町三春原(うらせばる)
エダ	エダナガ	イボアカ	宮崎県飫肥地方
オオ	オオブチ	ムラサキキウラ	福岡県八女郡黒木町大淵 関
オド	オドリスギ	トノサコスギ	鹿児島県始良郡牧園町 深川仁之助
オビ	オビアカ	アカ、マアカ	宮崎県飫肥地方
カラ	カラツキ	ハンダロ	宮崎県飫肥地方
ガリ	ガリン	ヒナガハエ	宮崎県飫肥地方
キウ	キウラ		福岡県八女郡星野村木浦 樋口峯吉
キジ	キジン	(新芽が黄色)	鹿児島県鹿屋市 南橋三郎、乙吉(子)、盛蔵(孫)
クモ	クモトオシ		熊本県菊地市 武藤品雄
クロ	クロ	シングロ	宮崎県南部
ゴガ	ゴガボ	ゴガ	福岡県八女郡上陽町古賀 井上虎平
サン	サンブスギ	カンノウスギ	千葉県山武郡山武町
シャ	シャカイン	(釈迦院岳にちなんで)	熊本県下益城郡砥用町
タノ	タノメアサ	タノアカ	宮崎県宮崎郡田野町
チズ	チズスギ	オキノヤマスギ、ハンヤ	鳥取県八頭郡智頭町
チリ	チリメントサ		宮崎県飫肥地方
トサア	トサアカ		宮崎県飫肥地方
トサグ	トサグロ		宮崎県南部
トミ 1	トミススギ 1 号		兵庫県宍粟郡安富町 松下仙蔵
トミ 2	トミススギ 2 号		兵庫県宍粟郡安富町 松下仙蔵
ヒダ	ヒダリマキ	(樹皮が左旋回)	宮崎県飫肥地方
ヒノ	ヒノデスギ	(日の出の勢で生長する)	大分県日田郡前津江村 梶原近利
ボカ	ボカスギ		富山県小矢部市石動(いするぎ)町
ミゾ	ミゾロギ		宮崎県飫肥地方
ヤイ	ヤイチスギ	星野 1 号	福岡県八女郡星野村 江良弥一
ヤク	ヤクスギ		鹿児島県屋久島
ヤナ	ヤナセスギ		高知県安芸郡馬路村魚染瀬(やなせ)
ヤブ	ヤブクグリ	インスギ、ヤクノシマサワラ	大分県日田地方、熊本県小国地方
ヤマ	ヤマノカミ	ヤマカンボウ(山神坊)	鹿児島県川辺郡川辺町神殿字山神
ヨシダ	ヨシダスギ	ヨシダグロ	鹿児島県鹿児島郡吉田町島津興業会社
ヨシノ	ヨシノスギ 2 号		奈良県吉野地方

1月, 年間総雨量: 2,621 mm。

今回供試された原木は植栽された40品種のうち36品種各1本で, 住友林業(株)の調査によれば, その品種名, 原産地等は表1の通りである。すなわち, 原産地が鹿児島県のもの5品種, 宮崎県12品種, 熊本県3品種, 熊本・大分両県にまたがるもの1品種, 大分県2品種, 九州中部1品種, 福岡県5品種と九州原産のものも多く, このほか, 兵庫県2品種, 高知・奈良・鳥取各県1品種など近畿, 中国, 四国のものが加

表2 供試木の樹冠, 枝, 幹の状況と丸太の形質(住友林業K. K. 調べ)

品 種 (略号)	枝張り長さ (cm)	最大 枝径 (mm)	枝 密度 (本/m)	幹の ねじれ	幹の 断面形	根曲がり	曲がり率** (%)	心 材 色
アオ	215×240	18	14	なし	正円	なし	—	赤
アカ	210×205	11	13	なし	正円	なし	—	半赤
アヤ	225×220	14	18	なし	円	大(地上1m)	51(根元1m)	赤
アラ	310×330	26	20	なし	正円	なし	—	淡赤～帯黒赤
ウラ	180×215	20	14	なし	円	なし	—	暗褐
エダ	200×200	22	16	なし	正円	中	25	淡赤
オオ	230×185	16	20	なし	正円	なし	—	半赤
オド	270×320	22	15	なし	円	なし	36	黒褐
オビ	180×210	16	23	なし	円	なし	18	赤
カラ	280×235	16	18	なし	円	なし	—	黒褐
ガリ	225×230	21	16	なし	正円	なし	—	赤
キウ	225×255	18	16	あり(小)	だ円	小	14	赤
キジ	265×240	17	13	なし	だ円	なし	—	淡紅
クモ	245×285	22	18	なし	だ円	なし	—	半赤
クロ	210×200	17	13	あり	正円	極小	20	黒褐
ゴガ	220×225	18	13	なし	円	中	25	赤
サン	230×255	18	18	なし	円	なし	—	赤黒
シヤ	158×210	16	19	なし	円	なし	—	褪桃赤
タノ	180×215	14	17	なし	正円	なし	—	赤
チズ	235×285	20	18	なし	だ円	なし	—	赤黒
チリ	190×210	15	17	なし	だ円	なし	10	黒
トサア	235×210	22	15	なし	正円	なし	—	半赤
トサグ	230×235	18	14	なし	正円	なし	—	黒褐
トミ1	205×195	19	19	なし	だ円	大	29	赤
トミ2	170×200	17	20	なし	円	小	—	赤
ヒダ	195×230	18	18	あり	だ円	小	24	帯黒赤
ヒノ	245×265	22	15	なし	だ円	なし	—	赤
ボカ	210×225	18	18	なし	正円	なし	—	赤
ミゾ	380×360	17	16	なし	正円	なし	—	淡赤
ヤイ	260×235	21	16	なし	円	なし	—	半赤
ヤク	330×300	20	16	なし	正円	小	32	黒
ヤナ	375×385	26	15	なし	円	大	22	赤
ヤブ	235×220	17	19	なし	円	中	20	半赤
ヤマ	280×260	18	18	なし	正円	小	13	黒～淡赤
ヨシダ	280×280	22	18	あり	円	中	42	黒
ヨシノ	380×380	16	16	なし	だ円	なし	—	赤

\* 表1参照    \*\* 元玉4m材について(中央矢高)/(4m末口径)の百分率

わっているほか、富山県のボカスギや千葉県のスンプスギなど、中部や関東の特徴ある品種も加えられている。

これらの供試木が見本林内でどのような生育をしていたかについて、住友林業（株）が調査した結果を表2に引用した。これによると供試木の樹冠の拡がりの大きさに多少のバラツキが見られるが、いずれも円形に近く、一方に偏ったものではないことがわかる。また、ほとんどのものは幹のねじれが見られない。36本の供試木中9木のもは幹の断面形がだ円であったが、このことは後の製材の木口断面の観察におけるアテらしきものの存在と整合するものではないように思われる。もっともアテの存在については引続き行う繊維や組織の観察にまたなければはっきりしたことはいえない。原木の曲がりの最大は4 m未口径の50%の矢高に達しているが、後に述べる材質試験結果から明らかのように、原木の曲がりにより製材に目切れが生じ、実大曲げ試験の性能を低下させているとは考えられない程度のものである。これらの試験木は10年生の時期に2 m位の高さまで枝打ち（すそ払い）し、その後13年生、16年生の時期にも枝打ちをしている。また15年生の時期に一度間伐を行っている。

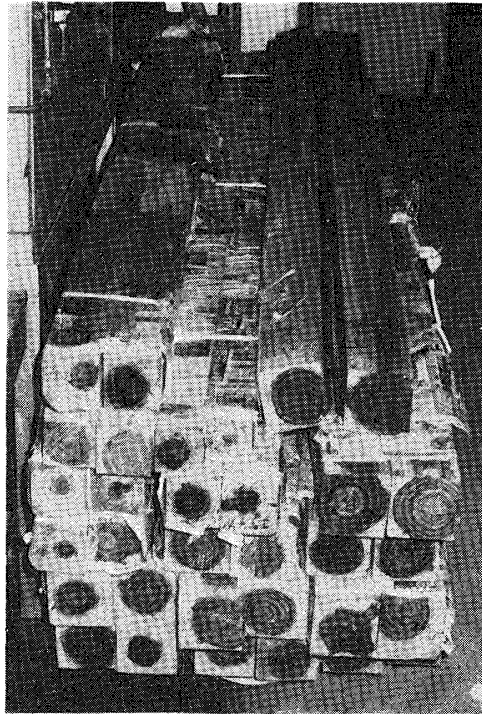


写真1 搬入された製材

原木は昭和57年1月に伐採され、樹幹解析に供せられた後、元玉 190 cm（樹高 1.25~3.15 m）の部分は製材され昭和57年2月15日に京都大学木材研究所に搬入された。この間、乾燥をさけるため、新聞紙を用いて包装され、搬入後はビニールシートを用いて覆われたので、実大曲げ試験を行った時点における含水率はすべて50%以上に保たれていたと推定される（写真1）。製材寸法は原木の生長速度にバラツキがあったため、断面寸法 9.5×9.5 cm のとれたもの24品種（各1本）、8.0×8.0 cm のとれたもの10品種（各1本）、6.5×6.5 cm のとれたもの2品種（各1本）計36品種各1本となった。その内訳を表3に示す。なお、前述のように10年生の時期に地上高2 mまで枝打ちを行っているため、これら製材の中央部分には強度に影響するような節はなかった。

表3 供試材の製材寸法

製材寸法(cm)	本数	品種内訳(品種略号は表1参照)
9.5×9.5×190	24	アカ、アラ、オオ、オビ、カラ、ガリ、キウ、キジクモ、クロ、ゴガ、サン、タノ、チズ、トサア、ヒダヒノ、ボカ、ミゾ、ヤイ、ヤク、ヤナ、ヤブ、ヨシノ(各1本)
8.0×8.0×190	10	アオ、アヤ、ウラ、エダ、オド、チリ、トサグ、トミ1、トミ2、ヤマ(各1本)
6.5×6.5×190	2	シヤ、ヨシダ(各1本)

## 2.2. 試験方法

### A. 実大寸法曲げ試験

表3の寸法の供試材をそのままの断面寸法で中央集中荷重方式の実大曲げ試験に供した。この場合含水率は生材状態のまま試験した。含水率は試験時の重量と試験後室内に立てかけて3カ月経過した後の重量から、いずれの供試材も試験時の含水率は50%以上の値をもっていたことが確認された。

中央集中荷重による実大曲げ試験のスパン( $l$ )ははりせいの約17倍とした。すなわち、断面が9.5×9.5 cmのものではスパンを1.6 m、8.0×8.0 cmのものでは1.35 m、6.5×6.5 cmのものでは1 mとし、全長にわたって欠点を観察し目切れ、アテ、節などの少ない部分を選んで試験した。試験機は島津10 t油圧式材料試験装置で、支点には厚さ6 mmの鉄板を敷き、荷重点には直径100 mmの鋼製パイプを用いた。荷重点と支点の相対変位(中央たわみ $y$ )をデジタル伸び計で読んだ。

供試材の中でヤブクグリとトミス1号の両品種のものは破壊する以前に大きなたわみを生じて供試材が支点からすべり始め、荷重が低下してしまった。これらの曲げ破壊係数の値は供試材が破壊していないが、便宜的にその最大荷重を用いて破壊した他のものと同様の式で計算された。

最大荷重を $p_m$  (kg)、任意荷重 $p_1$  (kg)におけるたわみを $y_1$  (cm)、供試材の幅を $b$  (cm)、はりせいを $h$  (cm)として、曲げ破壊係数( $\sigma_g$ )と曲げヤング係数( $E_g$ )は次式で算出された。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_g &= 3p_m l / 2bh^2 \\ E_g &= p_1 l^3 / 4y_1 bh^3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

一方、木構造設計規準<sup>1)</sup>によれば建築に用いる構造材は含水率20%以内で用いることとなっているから、測定された生材の曲げ性能 $\sigma_g$ と $E_g$ を含水率20%の値に換算しておく方が実用的である。第1報<sup>2)</sup>と同様に既往の文献<sup>3,4)</sup>における換算率を用いて次式にしたがって含水率20%における曲げ破壊係数( $\sigma_{20}$ )および曲げヤング係数( $E_{20}$ )を算出した。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{20} &= \sigma_g \left(1 + \frac{4}{100}\right)^8 \\ E_{20} &= E_g \left(1 + \frac{2}{100}\right)^8 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

但し繊維飽和点含水率を28%と仮定している。

### B. 無欠点小型試験片による曲げ及びせん断試験

以上の実大材の曲げ試験では、目切れ、節などの欠点を含んだ試験であると同時に間伐材の製材がすべて心持材であることから、辺材部の性質が主として測定されている傾向がある。したがって、実用的な立場をはなれて、品種による材質のバラツキのより科学的なデータを得るために、JISに規定されている小型無欠点試験片による曲げおよびせん断試験を行った。

試験片の寸法は曲げ2×2×28 (スパン $l$ ) cm、いす型せん断3×3 (せん断面積) cmである。これらの試験片を実大曲げ試験を終えた材の両端からそれぞれ2個ずつ採取した。すなわち、1品種当り曲げ試験片4

個，せん断試験片4個である。断面内における試験片採取位置はそれぞれの試験片の中央に樹心から7番目の年輪が存在するような位置で，節やアテのない部分が選ばれた。7番目の年輪を選んだのは特に意味はないが，同じ年輪番号のあたりを比較した方が生長条件が同じであることと第7年輪あたりが一番採取しやすかったことによる。

実大曲げ試験を終えた材を室内に立てかけて3か月間乾燥した後 JIS 試験用試験片の採取に供した。作製された JIS 試験片はさらに2週間 20°C, 65%RH の恒温恒湿室に静置され，含水率が平均で 15.5% になった時点で試験された。

試験は 20°C, 65%RH の室内で新興通信（株）ロードセルタイプ材試料試験機 TOM 500J で負荷し，デジタル変位計を用いて XY レコーダーに荷重一変位曲線を記録し，インストロン社製データ処理装置 MICROCON II によって計算結果および統計処理結果を打出すことによって行われた。

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1. 実大寸法曲げ試験

気乾比重，曲げ破壊係数および曲げヤング係数の平均値，標準偏差および変動係数を表4に示す。変動係

表4 スギ36種の実大曲げ試験結果の平均値，標準偏差及び変動係数

	測定数	平均値	標準偏差	変動係数*
気乾比重	36	0.405	0.034	8.40%
曲げ破壊係数				
生材の値	36	371kg/cm <sup>2</sup>	49.8kg/cm <sup>2</sup>	13.4%
含水率20%へ換算値	〃	508 〃	68.2 〃	〃
曲げヤング係数				
生材の値	36	46.5×10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>	11.3×10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>	24.2%
含水率20%へ換算値	〃	54.5 〃	13.2 〃	〃

\* (標準偏差)/(平均値) × 100 (%)

数は比重，曲げ破壊係数，曲げヤング係数の順に大きくなっていることがわかる。一般に，普通構造材としてスギの製材に要求される曲げ許容応力度（長期）は 60 kg/cm<sup>2</sup> であり，曲げヤング係数は 70×10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>（設計に際し安全をみて 56×10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup> を用いる）とされている<sup>1)</sup>。通常，米国において用いられている許容応力度の略算式<sup>2)</sup>

$$\text{許容応力度} = \{(\text{平均強度}) - 2(\text{標準偏差})\} / 2.1 \quad (3)$$

を用いてこの場合の値を計算すると，生材の場合 129 kg/cm<sup>2</sup>，含水率 20% の場合 177 kg/cm<sup>2</sup> となつて，スギ間伐材心持ち材の強度は生材のままでも構造材として十分なものであると考えられる。しかし，曲げヤング係数の平均値は生材では 45.5×10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>，含水率 20% に換算した値でも 54.5×10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup> に過ぎず，曲げ変形を重視する部材には断面形状を増加させて用いるなどの配慮が必要であると考えられる。

間伐材心持ちの曲げ強度がヒノキや米桐の心去り材のそれ<sup>2)</sup>に比べて幾分高くしかもバラツキが比較的小さいことは意外であるが，これは未成熟材部が内部に，成熟材部が外部に配置されるためではないかと思われる。しかし，それでは何故曲げヤング係数が同じ理由で改善されないのであろうかと言う点が問題になる。

図1は曲げ破壊係数と気乾比重の関係，図2は曲げヤング係数と気乾比重の関係，図3は曲げ破壊係数と曲げヤング係数の関係を各品種についてプロットしたものである。ここに用いた強度とヤング係数はいずれも含水率 20% に換算された値である。

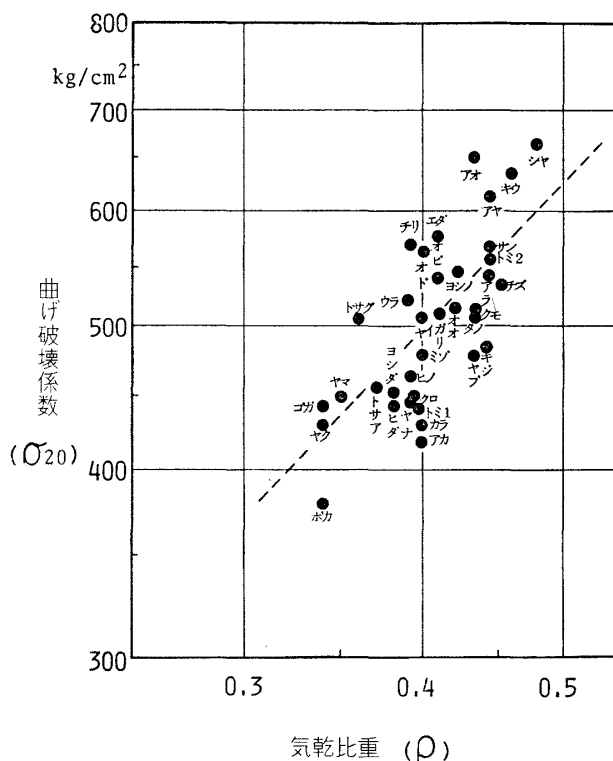


図1 実大曲げ試験における曲げ破壊係数と気乾比重の関係

一般に針葉樹の繊維細胞は直径に比べて長さが100倍程度であるから、末端部の接合の欠陥や放射組織の存在が繊維方向のヤング係数に及ぼす影響は小さく、したがって繊維方向のヤング係数は細胞壁の実質率、すなわち比重とよい相関をもつと考えられている。細胞壁の比重を  $\rho_1$ 、細胞壁のヤング係数を  $E_1$ 、木材の比重を  $\rho$ 、木材のヤング係数を  $E$  とすると

$$E = \frac{E_1}{\rho_1} \cdot \rho \tag{4}$$

の関係があると考えられている<sup>6)</sup>。もし、この関係が成り立つとすれば、 $E$  と  $\rho$  を同じスケールの両対数目盛でプロットした場合、両者は  $45^\circ$  の線上に並ぶはずである。

このことから図1と図2は縦横同じスケールの両対数目盛りにとってある。図中の点線は最も密度の高い集団を通過して引いた  $45^\circ$  の線である。

まず、図1についてみると、測定値はこの  $45^\circ$  の線のまわりにかかなりの幅をもってばらついているが、右上りの傾向をはっきり示しており、強いて言えば  $45^\circ$  の線よりも幾分急傾斜をもった直線に沿って分布しているように思われる。破壊が通常繊維細胞の末端や放射組織と仮道管の交点において出発する<sup>7)</sup>ことから考えると細胞壁実質率（比重）との相関が  $45^\circ$  の線上に乗らないのは当然かも知れない。細胞壁の実質率の増加が同じ外力に対する細胞壁の応力を低下させるが、この効果よりも強度の増加が上廻っている（図1の傾斜が  $45^\circ$  以上である）理由として細胞内の欠陥寸法が比重と共に相対的に小さくなるためと考えると理解しやすいように思える。

次に図2についてみると、本来曲げ破壊係数よりも比重との関係が  $45^\circ$  の線に近いと考えられる曲げヤング係数が、この図では逆に  $45^\circ$  の線とは全く関係がないように思われる。後に JIS 型小試験片で求めた荷重—たわみ曲線について詳述するが、この  $45^\circ$  の線から下に大きく離れている品種、たとえばボカスギ、トミス1号、ヤブクグリなどはいずれも荷重—たわみ曲線が大きな塑性域をもち、破壊までに要するエネルギー

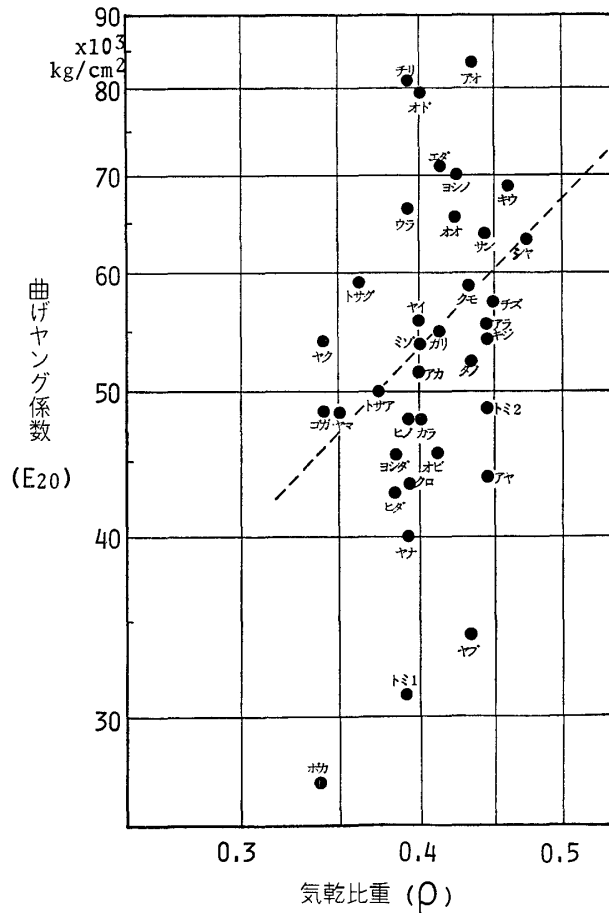


図2 実大曲げ試験における曲げヤング係数と気乾比重の関係

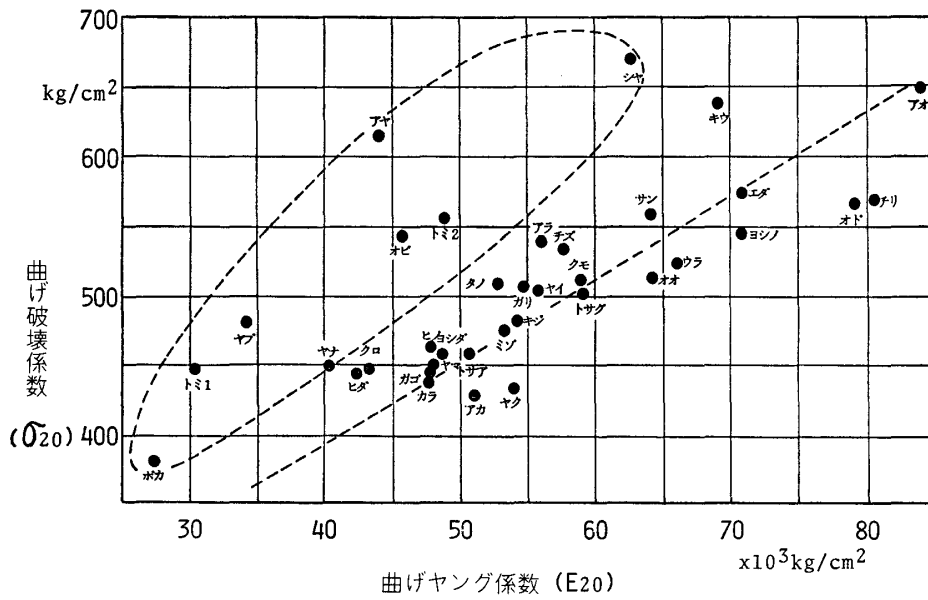


図3 実大曲げ試験における曲げ破壊係数と曲げヤング係数の関係



表5 JIS 曲げ及びせん断試験結果 (表の値は試験数4の平均値, 含水率は平均15.5%)

品 種	比 重	曲げ破壊 係数(kg/cm <sup>2</sup> )	曲げヤング 係数(10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	曲げ破壊** エネルギー(kg・cm)	せん断強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
アオ	0.403	513	62.0	1.94	69.8
アカ	0.383	505	60.9	1.98	59.0
アヤ	0.450	493	37.7	3.54	74.3
アラ	0.360	478	51.3	2.07	64.5
ウラ	0.378	430	51.7	1.69	60.5
エダ	0.403	536	61.7	2.16	66.0
オオ	0.405	560	68.8	2.46	60.3
オド	0.408	523	63.5	1.90	70.8
オビ	0.418	521	51.2	3.25	67.0
カラ	0.357	508	52.8	2.31	57.8
ガリ	0.375	589	55.3	2.12	58.0
キウ	0.500	698	78.6	3.34	80.3
キジ	0.375	477	54.2	1.86	68.8
クモ	0.400	523	46.2	2.14	65.8
クロ	0.348	435	48.6	2.06	65.3
ゴガ	0.348	435	52.5	1.74	53.0
サン	0.427	621	67.8	2.68	75.0
シヤ	0.500	590	56.2	3.52	85.8
タノ	0.415	545	51.3	2.46	73.5
チズ	0.463	667	71.7	2.99	73.5
チリ	0.398	564	72.8	1.88	63.3
トサア	0.358	481	53.0	2.20	64.0
トサグ	0.353	483	51.0	2.25	59.8
トミ1	0.438	461	29.3	3.00	79.8
トミ2	0.443	476	34.2	3.03	75.0
ヒダ	0.355	465	49.7	2.19	56.3
ヒノ	0.373	474	52.7	1.84	68.3
ボカ	0.343	404	31.8	2.45	52.0
ミゾ	0.358	463	54.2	1.28	58.5
ヤイ	0.400	570	65.9	2.05	60.3
ヤク	0.340	467	55.8	1.71	56.3
ヤナ	0.360	483	43.5	2.16	61.3
ヤブ	0.420	483	37.4	3.02	74.0
ヤマ	0.318	493	44.8	1.58	59.3
ヨシダ	0.408	498	42.9	3.39	65.0
ヨシノ	0.413	547	64.3	1.99	67.5
平均値	0.394	512	53.5	2.34	65.8
標準偏差	0.0431	63.9	11.6	0.594	8.02
変動係数(%)	10.9	12.5	21.7	25.4	12.2

\* 表1参照 \*\* 2×2×28(スパン)cmの試験片に中央集中荷重を与えた場合の最大荷重に達するまでに消費するエネルギー

一が非常に大きい。このことから、これら品種に特有な細胞壁の構造（たとえばマイクロフィブリルの傾角など）が、ヤング率と比重の単純な関係を否定的なものにしていると考えられる。また、図の45°の線の上方に大きくはずれる品種、たとえばチリメントサ、アオスギ、オドリスギ等はいずれも95cm角が製材できず8cm角に製材したもので（表3参照）、成熟材が多く含まれている可能性が高いことから、あるいは材の成熟・未成熟に関係するものではないかと考えられる。

図3についても、点線で描いた曲線内の品種は後述の塑性変形の大きい品種群であって、このグループを除けば $\sigma_{20}$ と $E_{20}$ は或程度の相関性をもっていることがわかる。一般にこの関係は強度のグレード分けを機械によって非破壊的に行うために活用されている<sup>8)</sup>。しかし、図3の関係は今まで他の樹種について知られている関係<sup>9)</sup>に比べて非常に異っている。それは上に述べた例外的なバラツキに関するものではなく（この程度のバラツキは一般に知られている）、 $E_{20}$ に対する $\sigma_{20}$ の値が異常に高いことに関してである。図3の関係は後に示す小型無欠点試験片の $E$ と $\sigma$ の関係に近く、通常の構造用製材が節や目切れなどの欠点のために $\sigma$ の値が低く、 $\sigma/E$ の比が5/1000程度であるのに、図3の関係は9/1000にも達している。これは、間伐材の製材がすべて心持ちで、節などの欠点が最小断面で現われることと、未成熟部が内部に位置することによる強度上のメリットと考えられる。

### 3.2. 無欠点小型試験片による曲げ及びせん断試験

JISに規定されている無欠点小型試験片を用いて求めた曲げ破壊係数( $\sigma$ )、曲げヤング係数( $E$ )、曲げ破壊エネルギーおよびせん断強度を表5に示す。表の値はそれぞれ樹心から7年輪目を中心に含む4個の試験片についての試験結果の平均値である。しかし乍らこの4個の試験片は1本の原木から得られたものであるから、平均のもつ意味は個体内の平均値であって、その品種を代表する値であるかどうか明らかではない。

表4の実大試験の結果とこの表の値を比較すると、比重はほとんど変わらないのに、曲げ破壊係数と曲げヤング係数については、同じ含水率に換算すると、いずれも実大試験における値の方が高いことがわかる。これは実大心持ち材では節などの欠点が存在するにもかかわらず未成熟材が内部に配置し、外部に成熟材が存在するために曲げ性能が高いのであろうと考えられる。

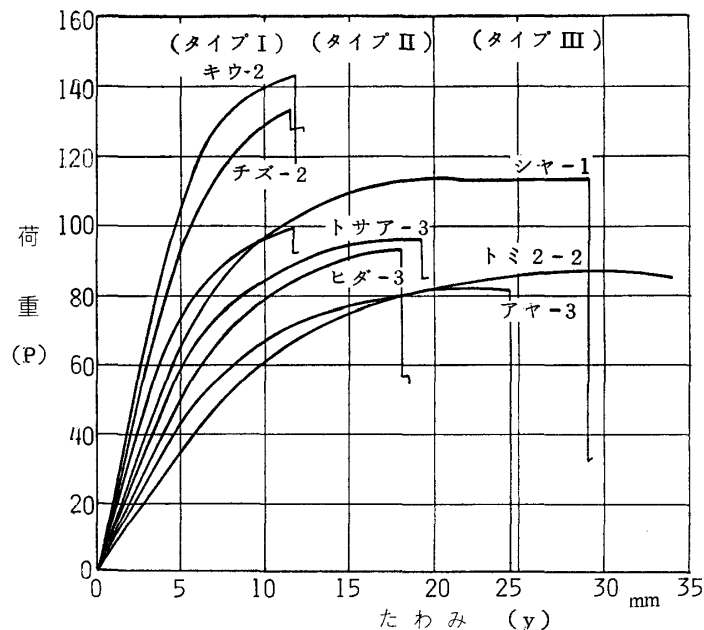


図4 曲げ荷重—たわみ線図の3つのタイプの例  
(無欠点, 小試験片, 含水率15.5%)

せん断強度は比重に次いでバラツキの少ない性質である。これに反して曲げ破壊エネルギーは最も大きなバラツキを示している。これは品種によって荷重-たわみ線図に大きな違いがあることと対応しているように思われる。

図4は荷重-たわみ線図の代表的なタイプの例である。図においてタイプⅠはキウラやチズスギの例のように、比例限度が高く、塑性が現われたと思うやいやな脆性的な破損がおこるタイプである。これに反して、タイプⅢは比例限度が低く、塑性が著しく現われ、極めて大きなたわみの後破損する（シャカイン、ア

表6 曲げ試験における荷重-たわみ曲線の型とスギ品種の関係

曲線の タイプ	品 種 (略称は表1参照)
I	アオ、アカ、アラ、ウラ、オオ、オド、 キウ、キジ、クモ、ゴガ、サン、チズ、 チリ、ミゾ、ヤイ、ヤク、ヨシノ
II	エダ、オビ、カラ、ガリ、トサア、クロ、 トサグ、ヒダ、ヒノ、ヤナ、ヤマ
III	アヤ、シヤ、タノ、トミ1、トミ2、 ボカ、ヤブ、ヨシダ

註) タイプⅠ：比例限度が高く、短い塑性域を示した後脆性に破損。  
 タイプⅡ：比例限度がやや低く、塑性域が比較的大きい。  
 タイプⅢ：比例限度が低く、塑性域が極端に長い。

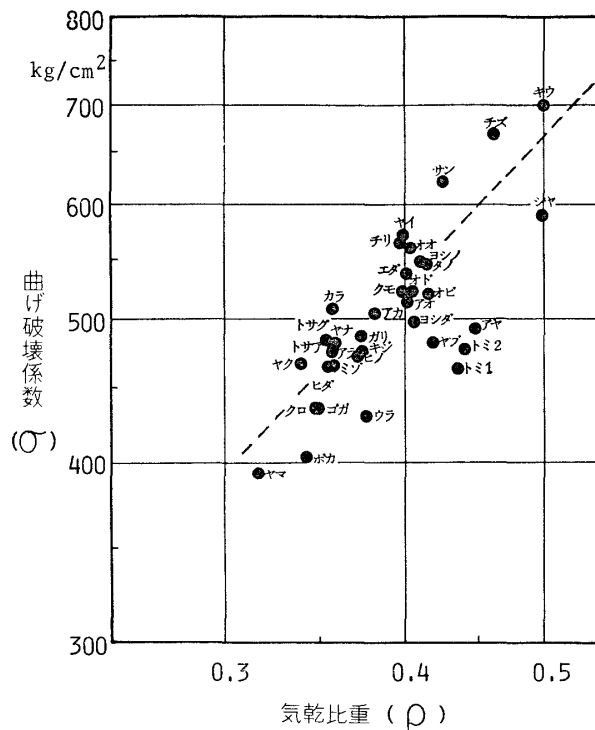


図5 気乾、無欠点小試験片で求めた比重と曲げ破壊係数の関係 (各測点は4個の平均値)

ヤスギの例) か、或いは破損せずに曲げアタッチメントからすべり落ちてしまうもの(トミス2号)など、極めて塑性的な性質を示すものである。タイプⅡをこれらの中間的なものとするならば、試験の範囲において各品種は表6のように分類される。この分類は原木の本数が少ないので品種の性質を示すものとは言い難いが、少なくとも品種によって塑性的な性質にこのような大きな差異のあることは確かである。

図5は比重と曲げ破壊係数の関係、図6は比重と曲げヤング係数の関係をプロットしたものである。両図は図1、図2と同様、縦軸と横軸を同じスケールの対数で目盛っている。したがって、式(4)の関係は図の45°の線で表わされる。図5では最も密度の高い集団を通過する45°の線が点線で描かれている。図6では表6に示した荷重-たわみ線図のタイプⅢに属する品種群を点線の曲線で囲んでいる。また45°の直線はタイプⅠのグループを主体に引いてある。

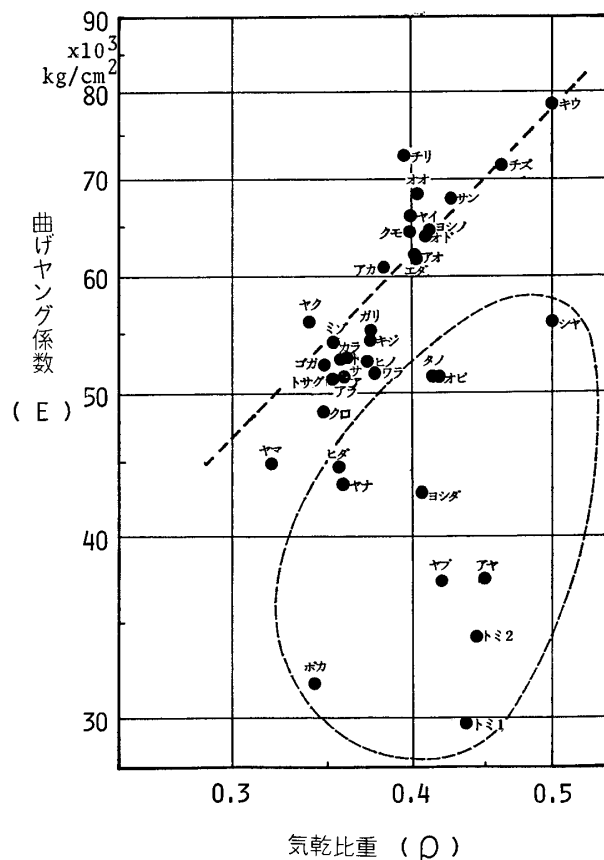


図6 気乾、無欠点小試験片で求めた比重と曲げヤング係数の関係(各測定は4個の平均)

これらの図から次のことがわかる。すなわち、両図においてタイプⅢの品種群は他のものと異った性質をもっており、とくに図6においてははっきりとそれが示されている。しかし、曲げ破壊係数と比重の関係はタイプⅢのグループを含めても、全体としては45°より幾分急な傾斜をもった直線に沿って分布している傾向がある。これは破壊が細胞壁の微細構造よりも組織のオーダーの欠陥に関係が深いからではないかと考えられる。これに反して、ヤング係数は式(4)の形で比重に関係すると同時に細胞壁の微細構造にも影響されるものと考えられるから、タイプⅢの変形特性をもつ品種のものは細胞壁の構造たとえばマイクロフィブリルの傾角などが他の品種と幾分異っているのではないかとと思われる。この点は今後の研究で明らかにしたいと考えている。

図1と図5を比較すると、両図の絶対値はよく似ている。このように実大強度と無欠点小試験片の強度が等しいことは大変稀なことである。その理由はすでに述べた。一方、図2と図6はかなり異なっている。図6ではタイプⅢの変形をする品種を除けば、比較的高いヤング率のあたりで45°の線に沿って分布しているのに対し、図2のそれは不明確に分散している。実大材における組織構造の不均質性によるものと考えられ

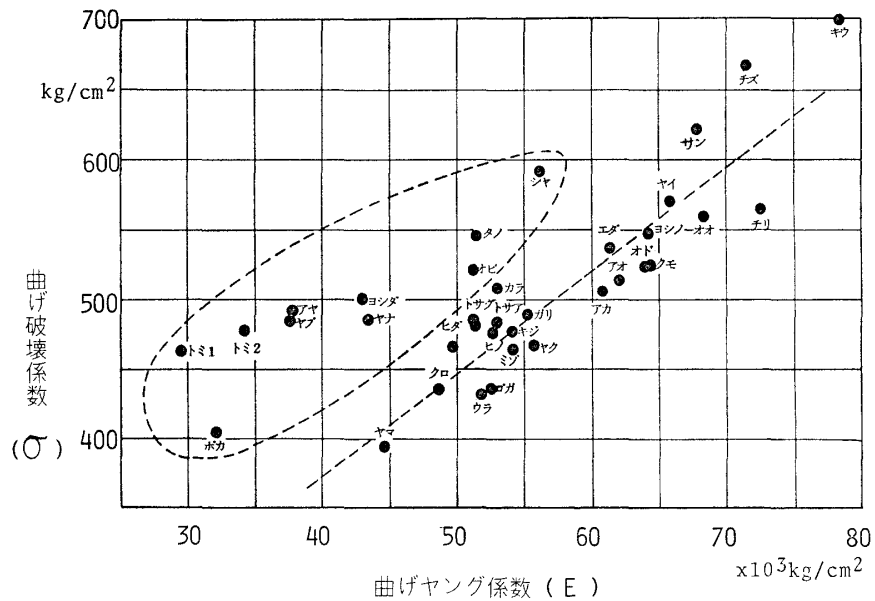


図7 気乾、無欠点小試験片で求めた曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係 (各測点は4個の平均)

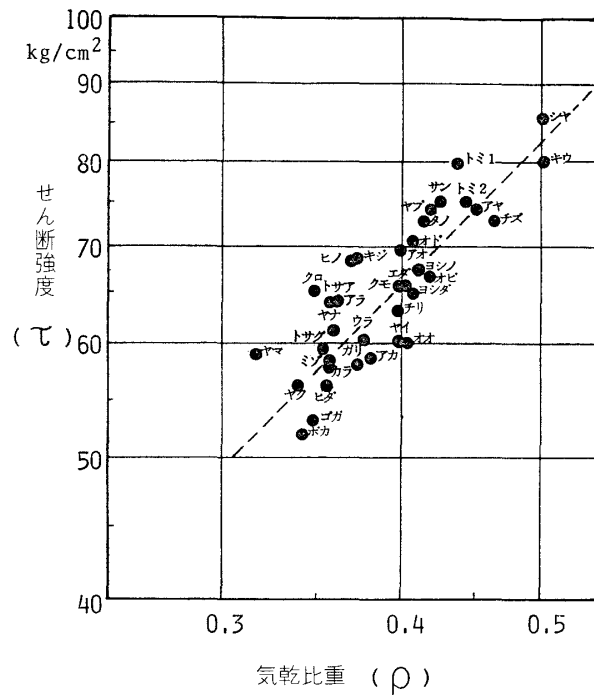


図8 気乾、無欠点小試験片で求めた比重とせん断強度の関係 (各測点は4個の平均)

る。

図7は曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係である。傾向は図3の実大材の曲げ試験の場合とよく似ており、タイプⅢの変形をする品種がかげ離れた位置に現われる点も比較的よく似ている。

図8はせん断強度と比重の関係である。この図は他のどの図よりも比重とのよい相関をもっている。せん断破壊がせん断面に存在する実質量に比例的であるのは、この試験片が切欠きを有し、その点を中心に塑性領域が広がった後に破断するメカニズムと関係するものとして興味深い。

#### 4. 結 論

熊本県の試験林で生育した20年生の36品種のスギ間伐材の製材の曲げ試験および無欠点小試験片の曲げおよびせん断試験を行った結果次の結論を得た。

- 1) 製材の曲げ強度は比較的高く、生材の状態でもその許容応力度は木構造設計規準の値をはるかに上まわる。
- 2) 製材の曲げヤング係数は全体に低く、木構造のたわみを重視する部材に用いるには特別の配慮が必要である。
- 3) 製材の曲げ強度は無欠点小試験片の強度と同等である。これは製材がすべて心持材で成熟部を外に未成熟部を中に配置した形をとっていることによるものと考えられる。
- 4) 比重と強度、とくにせん断強度とは比較的良好な相関性をもっている。
- 5) 比重と弾性係数の相関性は非常に低い。これは品種によって、細胞壁の微細構造が特別なものがあるためと考えられる。これらの品種の曲げ変形は非常に大きな塑性域をもっている。

#### 文 献

- 1) 日本建築学会 “木構造設計規準・同解説” (1973)
- 2) 佐々木 光, 瀧野眞二郎: 木材研究・資料, No. 13, 47 (1979)
- 3) Munition Board Aircraft Committee “Design of Wood Aircraft Structure” U.S. Government Printing Office (1951)
- 4) U.S. Dept. Agric. F.P.L. “Wood Handbook” U.S. Government Printing Office (1974)
- 5) P. Кочн, FPJ, 23, 17 (1973)
- 6) 則元 京, 大釜敏正, 小野晃明, 田中文男, 日本レオロジー学会誌, 9, 169 (1981)
- 7) 佐伯 浩: 材料, 22, 894 (1973)
- 8) 佐々木 光: 木材工業, 28 (1), 2 (1972)
- 9) たとえば B. MADSEN, Proceeding of XVII IUFRO World Congress, Div., 5, 2 (1981)
- 10) 遠矢良太郎, 第29回木材学会大会要旨, 65 (1979)