

スギ品種における組織構造と材質の関係(II)

ウラセバル, オビアカ, アヤスギ
およびキジンについて

藤崎 謙次郎*・渋谷 昌資*

On the Relationship between the Anatomical Features
and the Wood Quality in the Sugi Cultivars. (2)
On cv. Urusebaru, cv. Obiaka, cv. Ayasugi and cv. Kijin.

Kenjiro FUJISAKI and Masasuke SHIBUYA

Summary: The previous report dealt with the relationship between the anatomical features and the mechanical properties of the four cultivars, namely cv. Kumotoshi, cv. Yaichi, cv. Yabukuguri and cv. Measa. Some interesting results were obtained. Other cultivars, cv. Urusebaru, cv. Kijin, cv. Ayasugi and cv. Obiaka, which were also established in the Kyushu district by cuttings, were chosen as the test cultivars to determine the relationship between the anatomical features and the mechanical properties.

The results obtained could be summarized as follows,

(1) The tracheid length of cv. Urusebaru and cv. Kijin was longer than that of the other two cultivars.

(2) The microfibril angle (MFA) of cv. Ayasugi and cv. Urusebaru was smaller than that of the other two cultivars, so cv. Urusebaru had the longest tracheid length and the smallest MFA and it had the highest MOE in the four cultivars tested.

(3) Though its tracheid length was shortest of the four cultivars, cv. Ayasugi had a relatively small MFA and its coefficient of correlation between the MOE and the work to max. load was positive, and this was different from the other three cultivars.

(4) It was found that the coefficient of correlation between the MOE and the work to max. load was, though not significant, negative. The classification of Sugi cultivars by the load-deflection curves proposed by Sasaki et al. was thought useful from the results obtained in this study.

* 木材理化学研究室 Laboratory of Wood Physics

要旨 前報⁽¹⁾で、九州産スギ品種、クモトウシ、ヤイチ、ヤブクグリおよびメアサについて、組織構造と力学的性質の関係について報告したが、さらに同じ目的で、九州産スギ品種のウラセバル、キジン、アヤスギおよびオビアカについて検討した。その結果は以下のようであった。

仮道管長は、ウラセバルとキジンが他の2品種に比較して長く、マイクロフィブリル傾角(MFA)は、アヤスギとウラセバルが他の2品種に比べ小さい。また、ウラセバルの仮道管長は4品種中最も長く、MFAは最小であった。さらに、ウラセバルは曲げヤング率で4品種中最大であった。

アヤスギは4品種中、仮道管長が最も短いにもかかわらず、MFAは比較的小さく、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との相関関係においても、他の3品種と異なって、正の相関係数を示し、他の品種にくらべて特異的とおもわれた。

曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との関係では、一般に負の相関係数が得られた。さらに、佐々木ら⁽²⁾の荷重-たわみ曲線によるスギ品種の分類は、この実験結果からも、その妥当性が認められた。

1. はじめに

前報⁽¹⁾において、九州地方のスギ挿木品種、クモトウシ、ヤイチ、ヤブクグリおよびメアサを供試品種として、各品種の材質と組織構造との関係について調べたところ、組織構造、とくにマイクロフィブリル傾角(MFA)は、各品種において、その弾性係数(MOE)と靱性に大きく影響することが認められた。つまり、MFAが小さいことはMOEの大きいことにつながるが、反面、靱性に対しては低下の方向に働らくことが認められた。このことは、組織構造と材質との関係という観点から興味あることである。また構造材料としての各品種の材質評価の上からも重要な意味をもつと考えられるので、更に、材料の範囲を拡げて、ウラセバル、オビアカ、アヤスギおよびキジンの4品種について、前報とほぼ同じ実験方法で上記4品種の組織構造と材質の関連性を検討した。

2. 材料および実験方法

2-1 供試木

供試木は本学演習林において現地適応試験のため、昭和45年に植栽されたもので、その伐採時期、およびその後の処置、試験に供した部位等は前報と同じである。

各供試木の概要は以下の通りであった。

	胸高直径(cm)	樹高(m)
アヤスギ	11.5	9.85
オビアカ	15.1	10.37
キジン	9.9	8.14
ウラセバル	11.0	10.45

各供試木の地上高1mにおける肥大生長曲線をFig. 1に示す。Fig. 1に明らかなように、キジンは若干肥大生長が劣り、アヤスギは第8年以降生長の鈍化が認められる。なお、供試木はすべて若齢で、樹幹の多くの部分は未成熟材に属するものと考えられる。

2-2 比重、仮道管長およびマイクロフィブリル傾角(MFA)測定

これらの項目の測定用試験片の採取位置および測定法は前報で述べた方法と同じ方法である。

2-3 静的曲げ試験

前報と同じく、地上高1mから2mの間で、できるだけ多くの無欠点試験片を採取した。試験片寸法は、2cm(T)×2cm(R)×35cm(L)とし、オルセン型試験機により、スパン28cmで、中央集中荷重を加え、曲げ破壊係数(MOR)曲げヤング率(MOE)および破壊までの仕事量を求めた。

なお、試験時の含水率は、いずれの品種の試験片においても、11%±1%の範囲に入っていた。

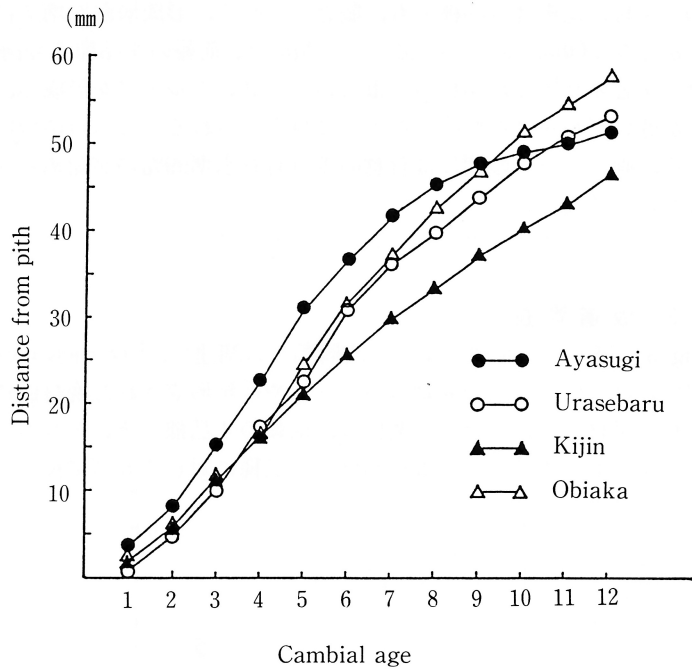


Fig.1 Curves of the radical growth for the four cultivars tested.

3. 結果と考察

3-1 早晚材別比重

Fig.2 に供試4品種の早晚材別の比重が形成層齢との関連でどのように変化するかを示した。この図から、

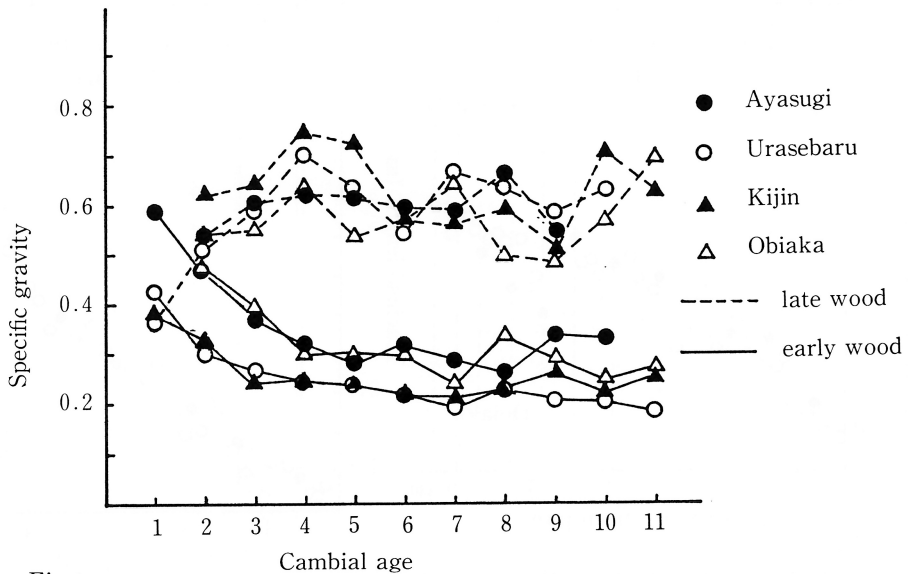


Fig.2 The relationship between the cambial age and specific gravity of late wood and early wood.

(1) 早材の比重は各品種とも、髄近くで高く、形成層齢を増すに従って漸減し、4年以降はほぼ一定となる傾向が認められる。この傾向は、前報の4品種でも同じように認められた。さらに、アヤスギとオビアカが早材の比重において高いグループを形成し、他の2品種、キジンとウラセバルが低いグループを形成するように見うけられる。この点について平均値の差の検定を行ったところ、両グループの間には有意の差（有意水準99%）が認められ、比重の大きさは次の順序になるものと考えられた。

アヤスギのオビアカ > キジンのウラセバル

3-2 仮道管長

Fig. 3 に髄からの距離および形成層齢との関連で、半径方向の仮道管長の変動を示した。各生長輪内における仮道管長の変動のパターンや前年形成された晩材仮道管長とそれに接する次年に形成された早材の仮道管長との関係は、前報の4品種のそれと基本的には変りはない。しかし、ウラセバルの第1年輪の仮道管長が他の3品種に対して非常に長いのが注目される。

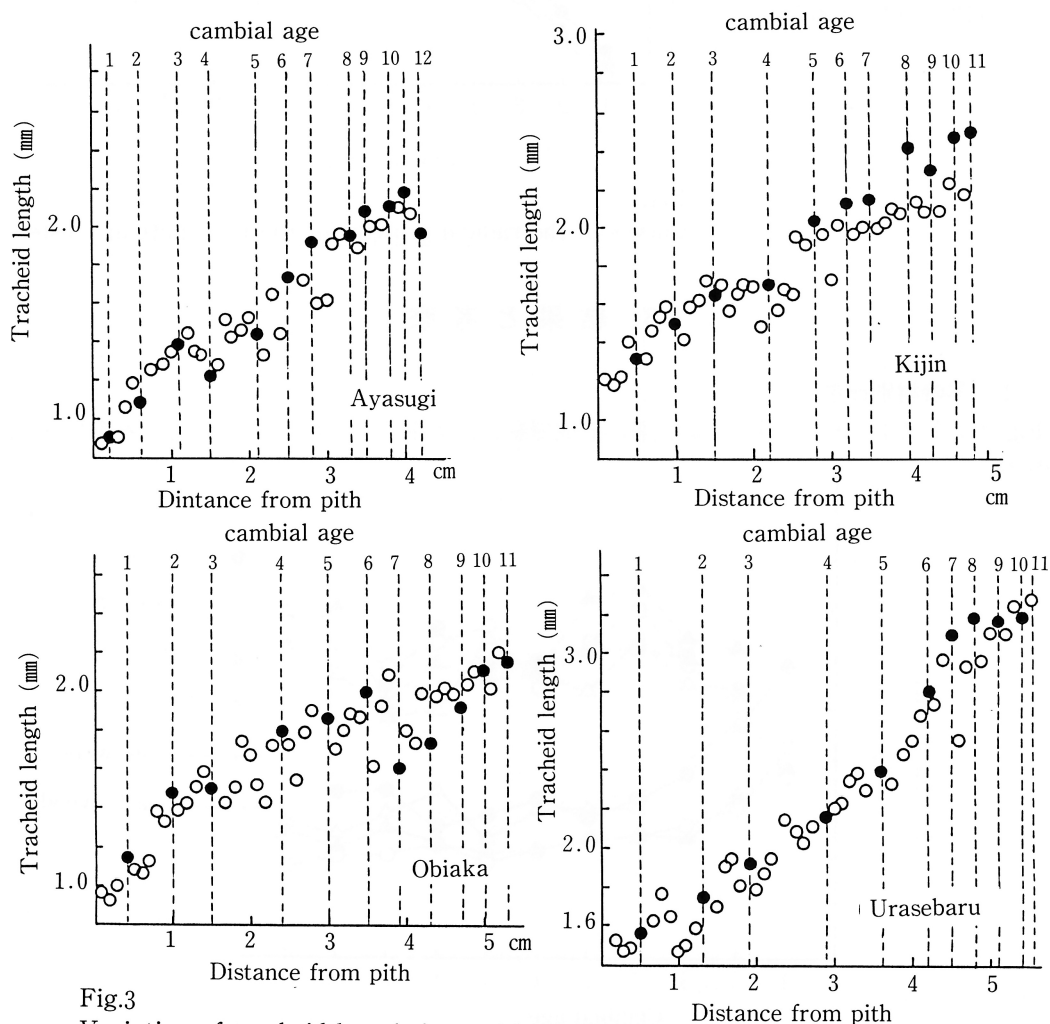


Fig.3
Variation of tracheid length from pith to outermost ring.
Symbols: ● = tracheid length of late wood, ○ = tracheid length of early wood.

前報と同じように、本報の4品種の半径方向の仮道管長の変動を直接比較検討するために、各年輪を代表する仮道管長として、その年輪内の仮道管長の平均値をとり、対数式にあてはめて回帰式を求めると以下ようになった。ただし、Y：仮道管長，X：形成層齢

ウラセバル

$$Y = 2.001 \log X + 1.093$$

キジン

$$Y = 1.027 \log X + 1.166$$

オビアカ

$$Y = 0.903 \log X + 1.175$$

アヤスギ

$$Y = 1.185 \log X + 0.749$$

Fig. 4 はそれぞれの品種の回帰曲線を示す。ウラセバルの $\log X$ の係数、つまり伸長係数が他の3品種にくらべ大きいことが目につく。このことと上記の第1年輪の仮道管長がウラセバルではとくに長いことから4品種の中でウラセバルの仮道管長が最長になっている。また、仮道管長の平均値の差を調べたところ、以下の順に仮道管が長いと考えられた。

ウラセバル > キジン > オビアカ > アヤスギ

3-3 ミクロフィブリル傾角 (MFA)

MFA の半径方向での変動および各年輪内での変動を Fig. 5 に示した。

前報の結果と同じように、本報の4品種においても、1年輪内では、前年形成された晩材部に接する早材部ではMFAは大きく、肥大生長に伴ってその値は小さくなり、晩材部でその年輪内の最小値を示し、次の年の生長開始とともに、再びMFAは大きくなるというパターンの繰り返しが認められる。Fig. 6 は、各品種の変動パターンを直接比較検討するため、各年輪内のMFAを平均し、その平均値をその年輪を代表するMFAとして、形成層齢との関連でプロットしたものである。

この図から、前報の4品種に認められた、若い形成層齢ではMFAは大きく、形成層齢を増すには従ってMFAが小さくなる傾向が、認められる。また、ウラセバル、アヤスギはMFAの小さいグループに属し、オビアカ、キジンは大きいグループに属すようにおもわれる。各品種について、MFAの平均値の差を調べたところ、以下の順に小さくなることが認められた。

オビアカのキジン > アヤスギのウラセバル

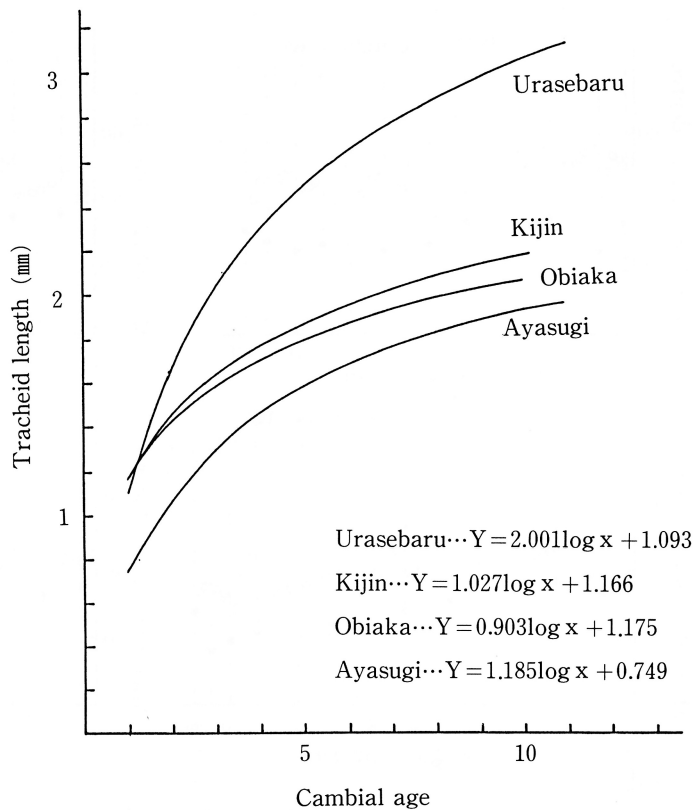


Fig.4

Regression curves of the four cultivars.

Applied equation : $Y = a \cdot \log x + b$ (Y = tracheid length, X = cambial age)

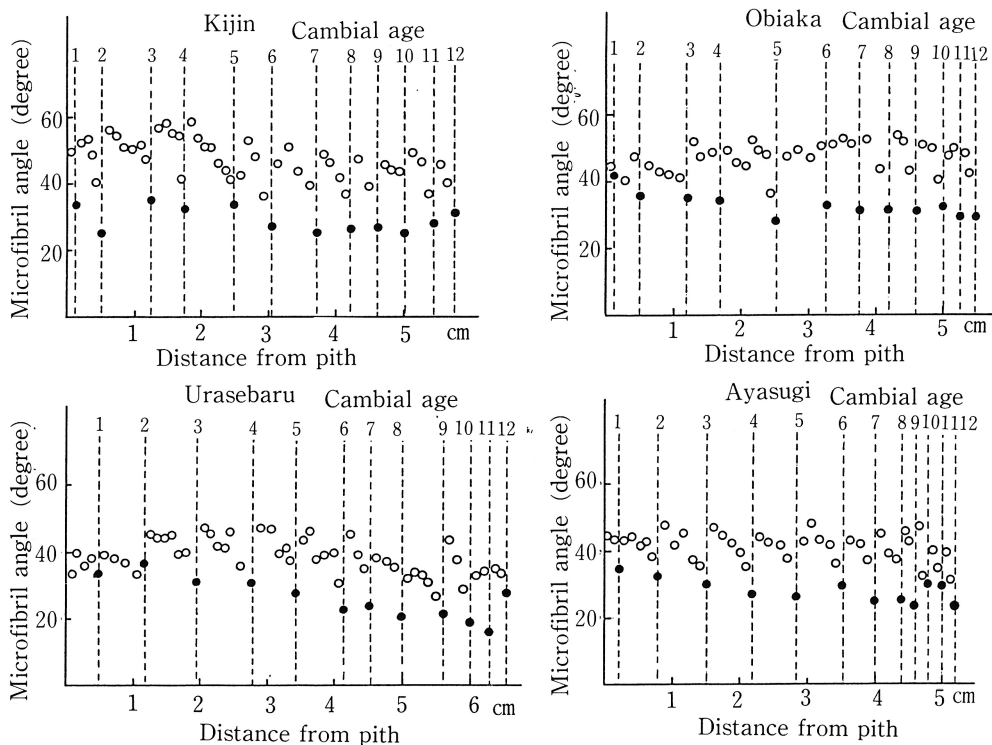


Fig. 5
 Variation of the MFA from pith to outermost ring.
 Symbols : ● = MFA of late wood, ○ = MFA of early wood.

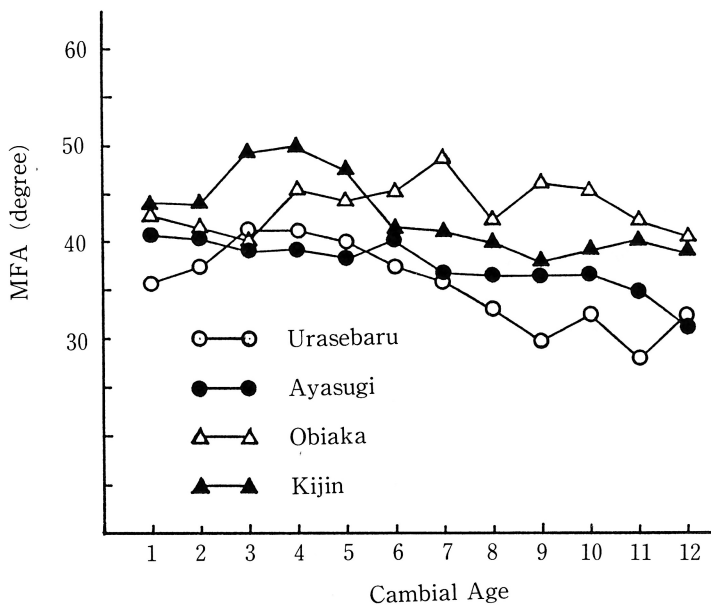


Fig.6
 Variation of the MFA from the pith to outermost ring.
 Each plot indicates the mean MFA in each growth ring.

また、MFA が最も小さいウラセバルは、仮道管長が最も長く、仮道管長と MFA は負の相関関係にあるという一般的所見と合致した。しかし、MFA が小さいアヤスギの仮道管長が最も短いということは極めて特異的であるとおもわれる。この実験だけではこのことは断定し難いが今後の検討課題であろう。

3-4 静的曲げ試験

供試した 4 品種の曲げ試験の測定結果と比重、仮道管長および MFA の平均値等を Table 1 に示す、また、各品種の荷重-たわみ曲線を、試験片の採取位置別に 1 組づ、Fig. 7 に示した。

曲げ破壊係数 (MOR) は、アヤスギが他の 3 品種にくらべて大きな値となっている。平均値の差の検定によると以下のような順の大小関係になった。

アヤスギ > オビアカのウラセバルのキジン

曲げヤング率 (MOE) については、ウラセバルが最も大きい値を示す。MOE の大きさの順は次のようになった。

ウラセバル > アヤスギのオビアカのキジン

曲げ破壊までの仕事量については、Fig. 7 および Table 1 に示すように、品種間に大きな差があるばかりでなく、樹幹内位置によっても異なることが判る。すなわち、一般にこの仕事量は髄近くで大きく、外周部にゆくに従って小さくなる傾向が見られる。アヤスギとオビアカは曲げ破壊仕事量が大きいグループに属して、曲げ破壊仕事量の大きさは次の順序になった。

アヤスギのオビアカ > キジンのウラセバル

前報において、クモトウシとヤイチはヤブグリとメアサに対して、曲げヤング率は高く、曲げ破壊仕事量は逆に前者の組では小さく、後者の組では大きいという結果が得られた。つまり、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量とは逆比の関係にあると考えられた。この実験においても、この点に注目して検討を行った。まず、供試 4 品種の各々について曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との相関関係を求めたところ、以下の結果を得た。(r : 相関係数, n : 試験片数, N. S. : not significant)

Table I. The mean and the standard deviation determined in the anatomical and mechanical measurements.⁽¹⁾

cultivars	Tracheid length (mm)	MFA (degree)	Specific Gravity		Static Bending Test		
			early wood	late wood	MOR (kg/cm ²)	MOE (×10 ³ kg/cm ²)	work to max load ⁽²⁾ (kg·m)
Urasebaru	2.233 (0.591)	36.19 (7.30)	0.247 (0.066)	0.590 (0.090)	472 (28.6)	42 (8.5)	0.826 (0.339)
Kijin	1.806 (0.343)	42.97 (10.73)	0.259 (0.065)	0.632 (0.075)	457 (37.8)	30 (6.72)	1.076 (0.334)
Ayasugi	1.559 (0.367)	38.13 (6.78)	0.338 (0.071)	0.592 (0.039)	564 (71.7)	34 (6.55)	2.682 (0.944)
Obiaka	1.665 (0.332)	43.79 (6.97)	0.315 (0.066)	0.573 (0.068)	490 (58.2)	34 (7.32)	2,507 (0.891)

Note (1) Upper figures and parenthesized lower figures are the mean and the standard deviation respectively

(2) Dimension of test specimen : 2 (T) × 2 (R) × 28 (Span), (cm)

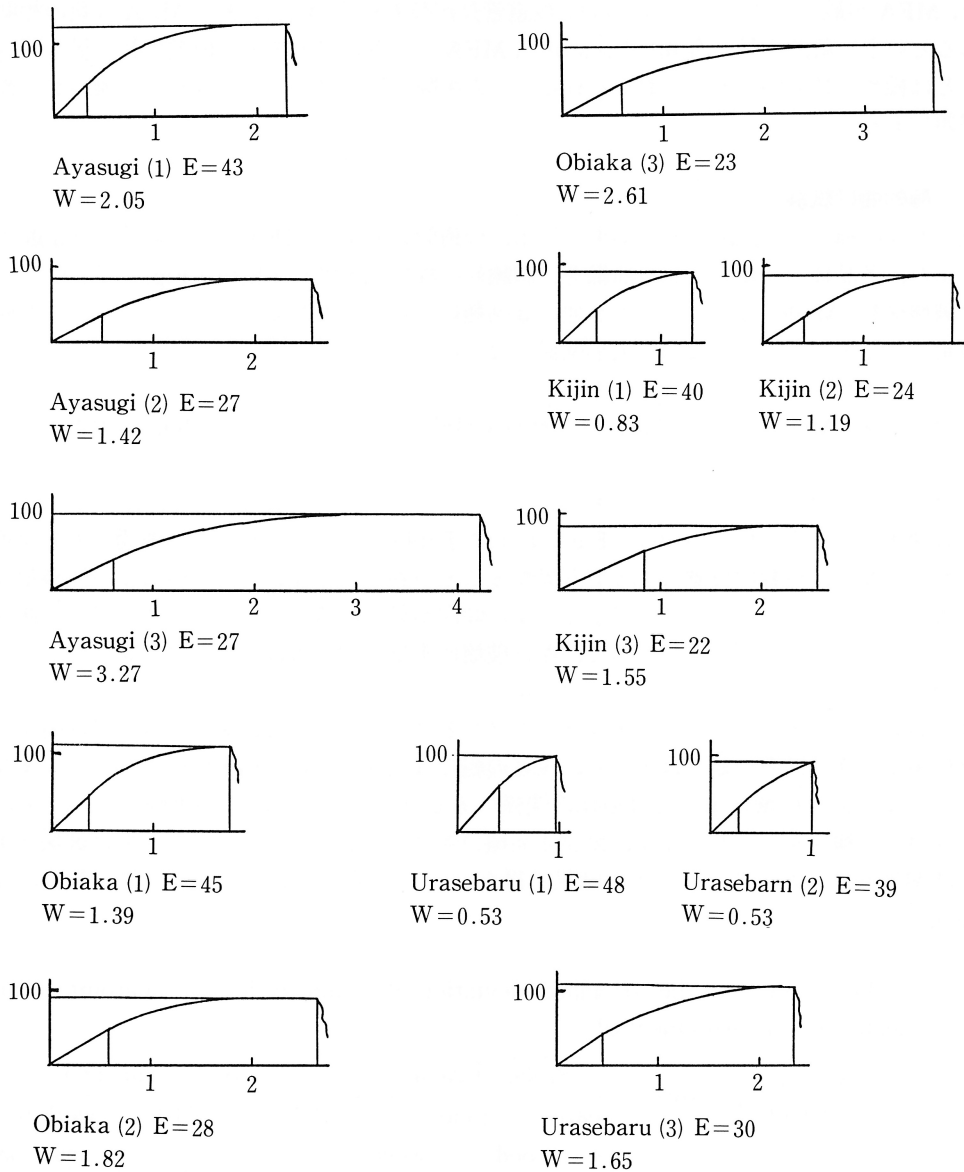


Fig.7 Load-deflection curves obtained by static bending tests.

The dimension of test specimen was 2 (T)×2 (R)×28 (span) (cm).

Ordinate : load (kg), Abscissa : deflection (cm).

(1), (2) and (3) indicate the outer region, intermediate region and core of the stem respectively.

キジン : $r = -0.017^{N.S.}$ (n=13), オビアカ : $r = -0.214^{N.S.}$ (n=17),
 ウラセバル : $r = -0.394^{N.S.}$ (n=16), アヤスギ : $r = 0.113^{N.S.}$ (n=14)

すべて有意ではないが、アヤスギを除いて他の3品種は負の相関係数を示し、4品種を全部まとめて計算すると、 $r = -0.220^{N.S.}$ (n=60)であった。つまり、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量は定性的に負の相関があるようである。前報では、このことはMFAと深く関連するものと考え

た。この実験でも、MFA との関連で曲げ試験の結果をみると、MFA の最も小さいウラセバルは曲げヤング率において4品種中最大であり、曲げ破壊仕事量は最小で、前報の考察と一致した。アヤスギは前にもものべたように、MFA は比較的小さいにもかかわらず曲げヤング率は大きくなく、曲げ仕事量は最も大きかった。上記のように、アヤスギは、曲げヤング率と曲げ仕事量との間の相関係数は唯一の(+)であったことと考え合せると、特異的とおもわれる。

佐々木ら⁽²⁾は、スギの36品種の力学的性質について広範な調査を行い、曲げ試験における荷重一たわみ曲線の型によってスギ品種を分類している。すなわち、比例限度が高く、短い塑性域を示した後、脆性に破損するのをタイプI、比例限度がやゝ低く塑性域が比較的大きいものをタイプII、比例限度が低く塑性域が極端に長いものをタイプIIIと定義している。それによると、この実験の4品種は以下のように分類されている。すなわち、タイプIとしてはキジン、ウラセバル、タイプIIとして、オビアカ、タイプIIIとしてアヤスギである。

Fig. 7 の荷重一たわみ曲線と上記のタイプ分けとを照合すると、おおむね一致しており、荷重一たわみ曲線による分類は品種の特性をあらわすものとして有用であると考えられる。

また、材質に対する評価について、石崎はその著書⁽³⁾の中で、この実験の4品種について次のような評価を下している。すなわち、アヤスギでは“材は強靱で心材は黄赤桃色、柱材に最適”，ウラセバルは，“材は軟弱”，オビアカは，“赤心材で脂分多く強靱”，そしてキジンは，“心材は赤褐色で材はもろい”と表現している。

このことを前述の荷重一たわみ曲線によるタイプ分けの結果と照合すると、タイプIは“もろい”と表現され、タイプII、IIIは“強靱”にとらえられている。曲げ部材の場合、破壊にいたるまでに大きなエネルギーを吸収することは、材料の選択にあたって重要な要素なのであろう。しかし、上に述べたように、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量とは負の相関関係にあり、曲げ破壊仕事量が大きいことは曲げヤング率が小さいこと、つまり、曲げ剛性が小なることを意味し、両者は両立し難い要素であるが、この両者の調和点をどこに求めるかは、今後に残された課題であろう。

4. 結 論

前報にひきつづき、九州産スギ品種のウラセバル、キジン、アヤスギおよびオビアカについて、組織構造と力学的性質との関係を調べた結果、以下の結論を得た。

- (1) 仮道管長については、ウラセバルとキジンが他の2品種に比較して有意的に長いことが認められた。
- (2) MFA については、アヤスギとウラセバルが他の2品種に比し小さく、ウラセバルは仮道管長で4品種中最も長く、MFA は最も小さかった。また、ウラセバルは曲げヤング率で4品種中最大であった。
- (3) アヤスギは4品種中、仮道管長が最も短いにもかかわらず、MFA は比較的小さく、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との相関関係においても、他の3品種と異なる性質を示した。
- (4) 曲げヤング率と曲げ破壊仕事量の間には、有意ではないが、負の相関係数が得られた。また、佐々木らによる荷重一たわみ曲線によるスギ品種の分類は、この実験結果からもその妥当性が認められた。

謝 辞

本研究に供試したスギ4品種は、本学農学部付属演習林から提供をうけた。その伐倒、搬出に

は同演習林職員のご協力をいただいた。厚く謝意を表する次第である。

また、実験にあたっては、本学の昭和60年度卒業生、武田秀雄君と五藤智久君のご協力によるところが多い。併せて謝意を表したい。

引用文献

- (1) 藤崎謙次郎：スギ品種における組織構造と材質の関係（I）クモトウシ，ヤイチ，ヤブクグリおよびメアサについて。愛媛大演報No.23, 1985.
- (2) 佐々木光，角谷和男，瀧野眞二郎：スギ36品種の力学的性質，木材研究・資料No.17, 1983.
- (3) 石崎厚美：スギの品種目録・その性質，九州地方のさし木品種，最近の林業技術No.15, 日本林業技術協会，1968.

(1986年7月30日受理)