

スギ品種における組織構造と材質の関係 (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

渋谷 昌資*・藤崎 謙次郎*

Relationship between the Anatomical Features and
the Wood Quality among the Sugi Cultivars. (3)

On cv. Iwao, cv. Akaba, cv. Aoshimaarakawa and cv. Hinode.

Masasuke SHIBUYA and Kenjiro FUJISAKI

Summary : The previous reports dealt with the relationship between the anatomical features and the mechanical properties of eight cultivars of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), and some interesting results were obtained. Furthermore the other cultivars, cv. Iwao, cv. Akaba, cv. Aoshimaarakawa and cv. Hinode, 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.

Results obtained could be summarized as follows.

- 1) The tracheid length of cv. Hinode, the triploid cultivar, was longer than that of the other three cultivars.
- 2) The microfibril angle (MFA) of cv. Hinode and cv. Iwao was smaller than that of the other two cultivars.
- 3) The percentage of late wood of cv. Hinode was smallest in the four cultivars. There was an exponential relation between the percentage of late wood and the annual ring width.
- 4) It was found that the coefficient of correlations between the modulus of elasticity in bending (MOE) and the work to maximum load in the static bending test was significantly negative.

* 木材理学研究室 Laboratory of wood Physics

要旨 前報で^{1), 2)}で、九州産スギ品種、8品種の材で、組織構造と力学的性質について調べ、仮道管長、ミクロフィブリル傾角(MFA)は品種間で違いがあることを、また、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との間に負の相関関係があることを報告した。さらに、これらの関係を明確にする目的で、九州産スギ品種のイワオ、アカバ、アオシマアラカワおよびヒノデの若令木を使って、樹幹木部の組織構造と力学的性質との関係について検討を行った。その結果は、

仮道管長は、ヒノデが他の3品種に比べ有意的に長いことが認められた。

MFAは、ヒノデとイワオが他の2品種より小さい。

供試したスギ材の晩材率と年輪幅の間には、指数曲線的な相関関係が認められた。また、静的曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との関係では、有意の負の相関係数が得られた。これは先に報告した測定結果とよく付合する。

1. はじめに

前報^{1), 2)}で、九州地方のスギ挿木品種8品種の材を用いて、樹幹内木部の組織構造と材質の関係について検討を加えた。とくに、ミクロフィブリル傾角(MFA)は、弾性係数(MOR)と韌性に大きく影響し、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量の間には定性的ではあるが、負の相関がある。三倍体品種であるウラセバルの仮道管長が極めて長く、髓から第1年輪目の仮道管長は、他の品種のそれより非常に長いことが認められることを報告した。この関係を明確にし、スギ品種の材質特性を知る目的で、イワオ、アカバ、アオシマアラカワおよびヒノデの4品種について、樹幹木部を用いて、前報^{1), 2)}と同じ実験方法で、材の組織構造的性質と力学的な性質の関連性について検討を行った。

2. 材料および実験方法

2-1 供試木

供試木は、スギ品種現地適応試験のために、愛媛大学農学部附属演習林に昭和45年に植栽された同一スギ林分から、平均胸高直径に近い標準的な木を1本ずつ選び、昭和61年5月に伐り出し、実験室内で十分自然乾燥させた。供試部分は、地上高1~2.2(m)の樹幹部位からとり、各種試験に供した。Table 1に示すように供試木はすべて若令木で、樹幹内木部の大部分は未成熟材部に属するものとおもわれる。

Table 1. Data for sample trees.

Cultivar	Diameter at breast		Tree height (m)
	height	(cm)	
Iwao	10.3	9.2	
Akaba	10.5	10.3	
Aoshimaarakawa	11.5	10.2	
Hinode	11.1	9.9	

2-2 比重, 仮道管長およびマイクロフィブリル傾角 (MFA) の測定

前報^{1), 2)}で述べた方法に従って, 各供試木の地上高 1.4m の部位から, 厚さ約 3 cm の円盤を切り取り, この円盤から仮道管測定用柁目板 (厚さ約 1 mm) を糸鋸で切出し, 髓から外周部に向かって連続的に半径方向に幅約 1 mm の解繊用小片に分割した。また, マイクロフィブリル傾角測定用ブロックには, 髓から外周部に向けて約 1 cm 角の大きさに分割した小木片を使った。軟化処理ののち, 各ブロックの柁目面からマイクロームで簿切片を約 30 枚採り, MFA の測定に供した。比重測定用試料は, 円盤の残りの部分を適当な大きさに分割し, 各生長輪ごとに早材部と晩材部に糸鋸で分けて調製し, 測定に供した。測定法は前報と同じ方法で行った。

2-3 晩材率測定

各供試木の地上高 2.2m の部位から, 厚さ約 2 cm の円盤を採り, この円盤から厚さ約 1 cm で髓から外周部までのブロックを切り取った。実体顕微鏡下で, 各年輪幅を 1/10mm 精度で測定した後, 髓から幅約 1 cm で, 半径方向にそって連続的に分割した。この小さなブロックを軟化処理して, 木口簿切片をマイクロームで採った。これを光学顕微鏡を使って, 約 50 倍の顕微鏡写真を撮り, 写真から, 放射方向の細胞内腔径 L と隣接した仮道管の二重の接線壁の厚さ d の比が 2 より小となる ($L/d \leq 2$) ところを年輪内の晩材とする, Mork の定義に従って晩材幅を求めた。

2-4 静的曲げ試験

各供試木の地上高 100-136, 143-178, 185-220cm の部分から木口寸法 2×2 cm, 長さ 35cm の試験片をできるだけ多く作った。曲げ試験は, オルセン型強度試験機を使ってスパン 28cm で中央集中荷重方式で行った。なお, 試験時の含水率は, いずれの試験片も $10.5\% \pm 1\%$ の範囲にあった。

3. 結果と考察

3-1 生長量

供試木の地上高 1.4m から, 高さ約 3 cm の円盤を切り取り, 円盤の長径および短径方向の年輪幅を精度 1/20mm のノギスで読み取り, 髓から 4 方向の測定値を平均した値をもって, それぞれの年輪の幅とした。Fig. 1 に各年輪の髓からの隔たりと年輪幅または形成層令との関係を示した。半径方向の肥大生長曲線から, 品種間で肥大生長の仕方に大きな差は認められなかった。いずれの場合も 8 年以降肥大生長が鈍化する傾向を示し, イワオはこの傾向がやや強くあらわれていた。

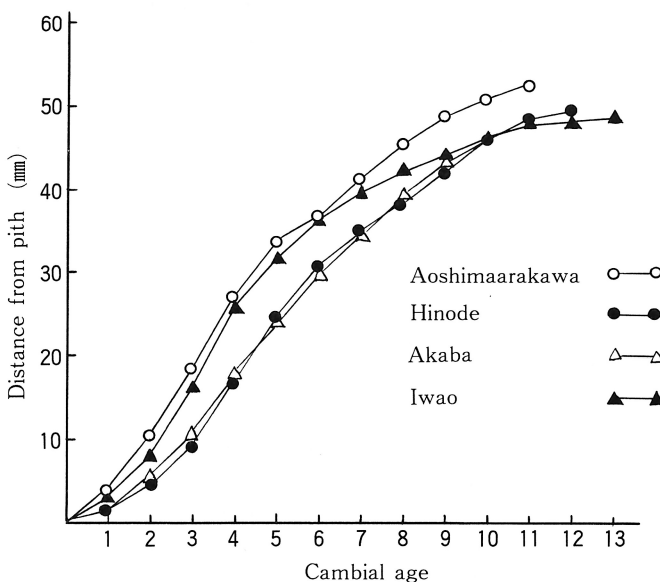


Fig. 1. Curves of the radial growth in stem.

3-2 早晚材別比重

供試木の地上高 2.2m の早材・晩材別の平均気乾比重を Table 2 に示している。アカバがやや高い値を示しているが、4 品種間で、早材・晩材別気乾比重のそれぞれの平均値の差を調べたところ、余り大きな違いはなかった。また、Fig. 2 に、供試木の早・晩材別の気乾比重と形成層令との関係がどのように変化するかを示した。図から、早材の比重は、各品種とも髓近くで高く、形成層令を重ねるに従って漸減し、5 年以降はほぼ一定となる傾向がある。このことは前報^{1), 2)}の結果とも一致している。

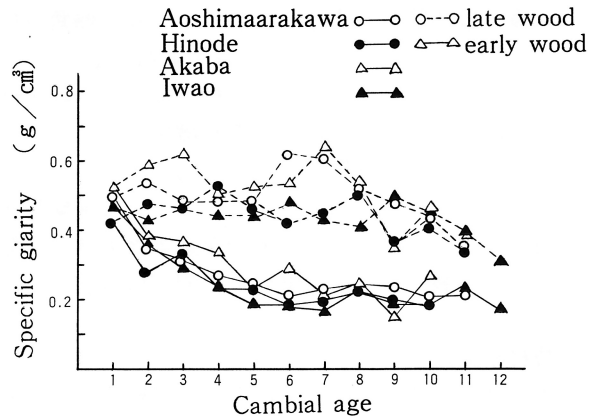


Fig. 2. The relationship between the cambial age and specific gravity of late wood and early wood.

3-3 仮道管長

Fig. 3 に、仮道管長と髓からの距離および形成層令との関係を示した。図から、各品種とも仮道管長の変動パターンは、基本的には前報^{1), 2)}で述べた結果と同じで、1 年輪内では、前年に形成された晩材部に接する早材部の仮道管の長さが最も短く、その後急速に伸長した。年輪幅が広い場合は、年輪途中で、年輪幅が狭くなると、晩材部でその年輪内の最も長い仮道管長に達した。形成層令が進むと仮道管長も長くなった。しかし、ヒノデの広い年輪幅の生長輪内で、仮道管長の変動が年輪途中で短くなる傾向を示した。

Table 2. The mean and standard deviation determined by the anatomical and mechanical measurements. ⁽¹⁾

Cultivar	Annual ⁽²⁾ ring width (mm)	Percent ⁽²⁾ late wood (%)	Tracheid length (mm)	MFA	Specific gravity		Static bending test ⁽³⁾		
					Early wood	Late wood	MOR ⁽⁴⁾ (kg/cf)	MOE ⁽⁴⁾ (×10kg/cf)	Work to max. load (kg·m)
Iwao	5.3	9.12	1.61 (0.44)	29.15 (5.21)	0.219 (0.060)	0.432 (0.048)	426 (30.3)	41 (9.63)	0.867 (0.365)
Akaba	4.4	9.85	1.47 (0.35)	34.09 (4.53)	0.273 (0.078)	0.527 (0.082)	516 (33.7)	40 (3.62)	1.682 (0.606)
Aoshima- arakawa	5.7	8.13	1.57 (0.44)	36.19 (8.09)	0.249 (0.045)	0.496 (0.075)	462 (48.9)	43 (5.80)	1.074 (0.506)
Hinode	5.7	5.98	1.87 (0.57)	30.36 (5.67)	0.232 (0.050)	0.436 (0.055)	437 (41.2)	41 (9.06)	0.973 (0.498)

Note (1) Upper figures and parthesized lower figures are the mean and standard deviation, respectively.

(2) Mean values at 2.2m stem level.

(3) Dimension of test specimen : 2 (T) × 2 (R) × 28 (span) (cm)

(4) Modulus of rupture

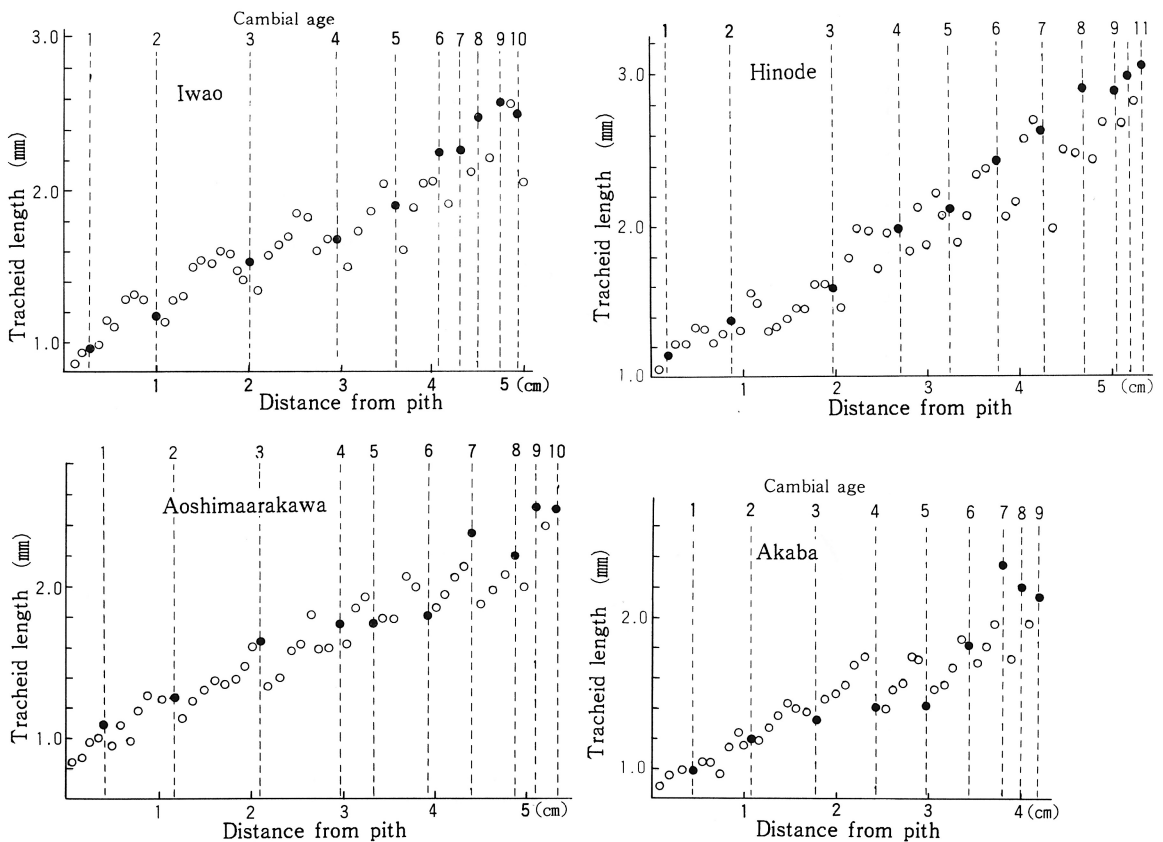


Fig. 3. Variation of tracheid length from pith to outermost ring.

Symbols : ● = tracheid length of late wood. ○ = tracheid length of early wood.

髓から第1年輪目の仮道管長を品種間で比較すると、アオシマアラカワ、イワオおよびアカバの仮道管の長さはそれぞれ0.89, 0.86, 0.87mmであるのに対して、ヒノデの仮道管長は1.06mmで長いことがわかった。

4品種間の半径方向と仮道管長の変動を直接比較検討するために、各年輪内での仮道管長の平均値を各形成層令の仮道管長として、対数式にあてはめて回帰式を求めたところ以下のようなになった。

ヒノデ	$y = 1.857 \log x + 0.842$
イワオ	$y = 1.520 \log x + 0.822$
アオシマアラカワ	$y = 1.465 \log x + 0.790$
アカバ	$y = 1.160 \log x + 0.843$

ただし、y : 仮道管長, x : 形成層令である。Fig. 4 に各品種の回帰曲線を示した。

ヒノデのlog xの係数、つまり伸長係数は他の3品種の伸長係数より大きく、しかも、髓から第1年輪目の仮道管長が長いことが目につく。このことは前報²⁾のウラセバルの場合と同じような傾向を示している。ヒノデとウラセバルは、ともに三倍体品種であることと関係があるようにおもわれる。

また、品種ごとに測定した仮道管長の総平均値を求め、各品種の仮道管長の平均値としてTable 2に示した。品種間の平均値の差を調べた結果、下記の順となった。

ヒノデ > イワオ > アオシマアラカワ > アカバ

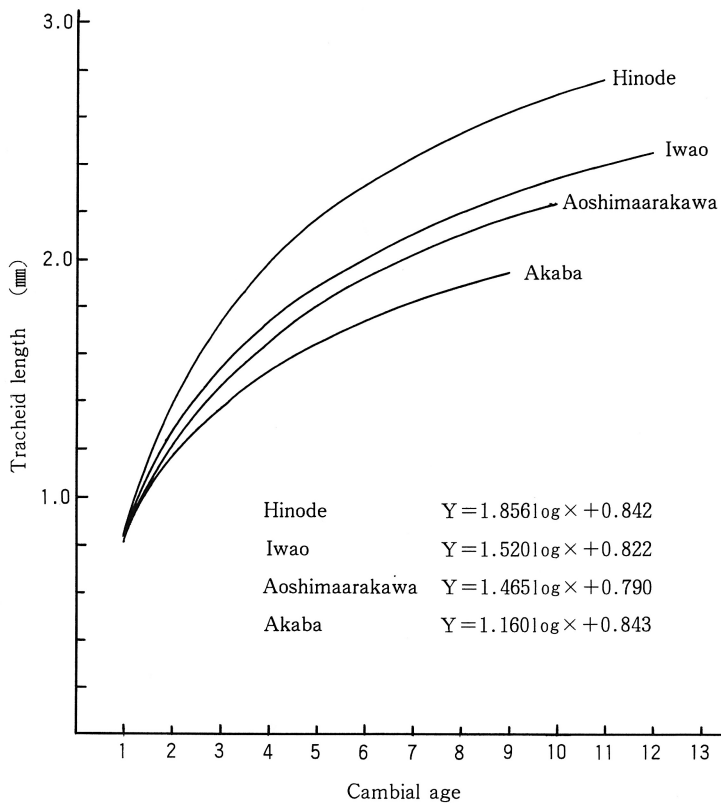


Fig. 4 . Regression curves of four cultivars.
 Applied equation : $Y = a \cdot \log X + b$
 (Y = tracheid length, X = cambial age)

3-4 ミクロフィブリル傾角 (MFA)

Fig. 5 に、髄からの距離および形成層令の違いによる半径方向における MFA の変化を示した。図から、MFA の変動パターン、つまり各年輪内での変動は、生長開始時の MFA が最も大きく、肥大生長するにつれて小さくなり、晩材部で最小の MFA となる。この変動の仕方は前報^{1), 2)}の結果と一致した。しかし、非常に幅の広い生長輪内での MFA の変化は、生長開始時より多少遅れて MFA の最大値が現われた後、再び小さくなり、晩材部で最小となる傾向がみられる。各年輪内の MFA の平均値を求めた。Fig. 6 は、年輪の平均 MFA と形成層令との関係でプロットしたものである。図から、MFA は、髄近くで最も大きく、形成層令が進むと MFA が小さくなる傾向が認められた。Table 2 に示した各品種の MFA の平均値で、品種間の違いを調べたところ、下記に示すようになった。

アカバのオシマアラカワ > ヒノデのイワオ

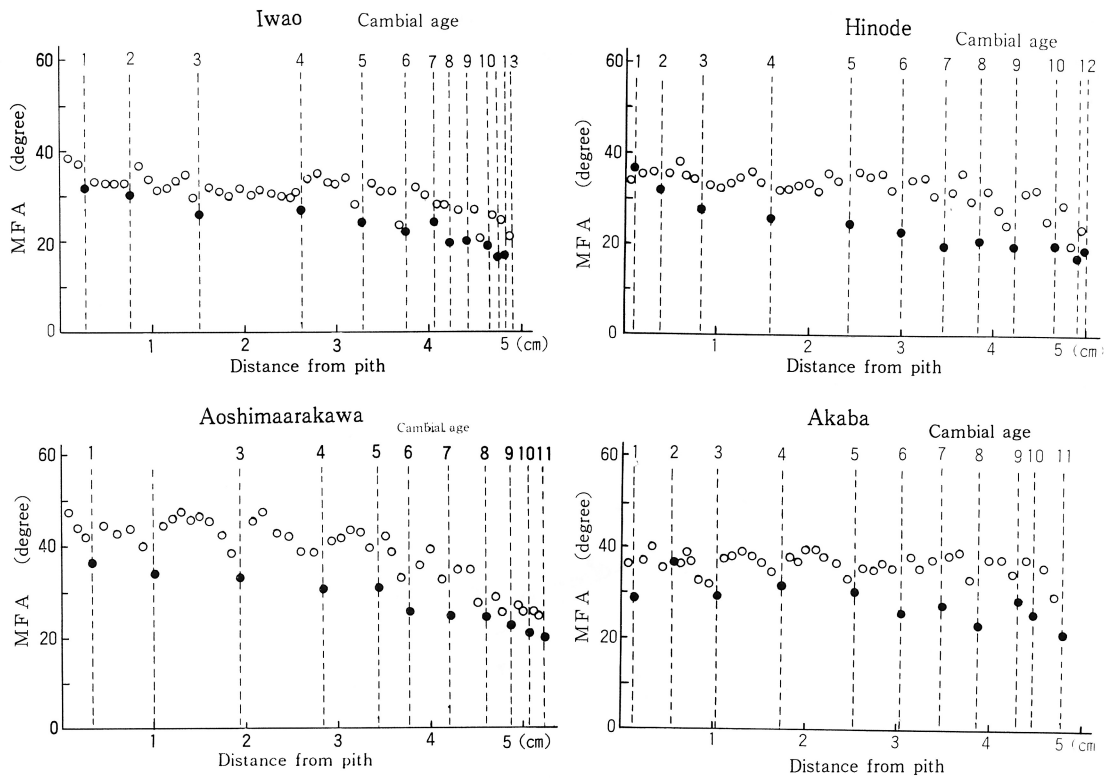


Fig. 5 . Variation of the MFA from pith to outermost ring.
 Symbols : ● =MFA of late wood. ○ =MFA of early wood.

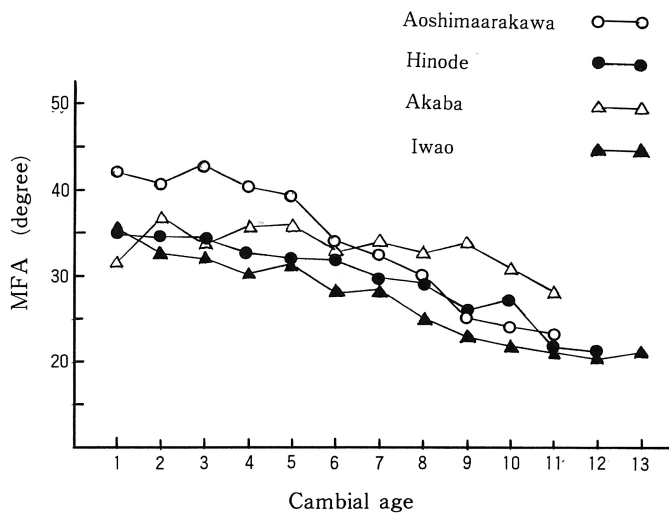


Fig. 6 . Variation of the MFA from pith to outermost ring.
 Each plot indicates the mean MFA in each growth ring.

3-5 晩材率

Fig. 7に、晩材率と年輪幅の関係でプロットした。図から、年輪幅が広いと晩材率は低く、年輪幅が狭くなるに従って晩材率は、指数曲線的に高くなる傾向がみられた。各品種の平均晩材率をTable 2に示した。平均晩材率の品種間での差を検討したところ、ヒノデは他の3品種より晩材率が小さいことがわかった。

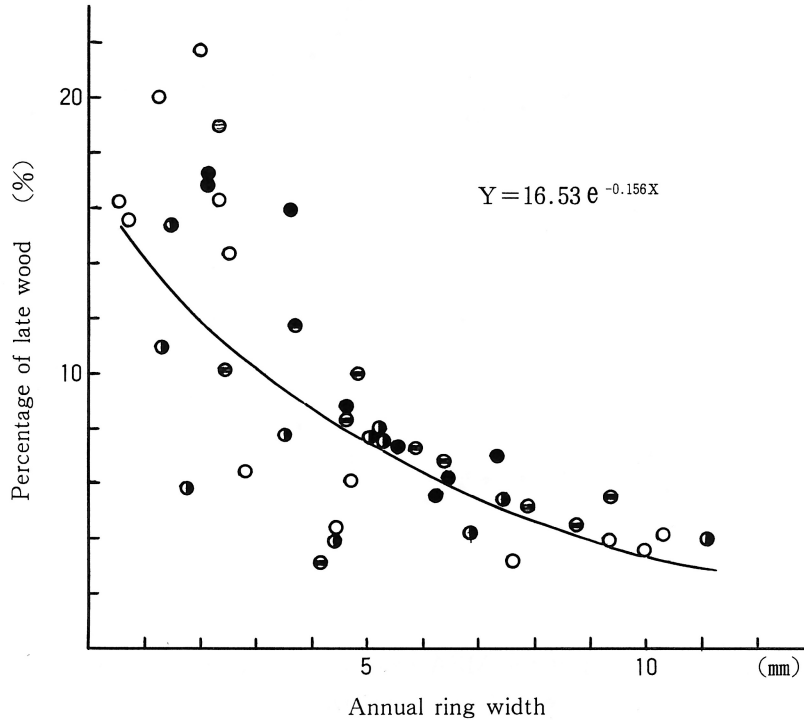


Fig. 7. Relationship between percentage of late wood and annual ring width.

Symbols : ○=Iwao, ●=Akaba, ⊖=Aoshimaarakawa, ⊕=Hinode

Applied equation : $Y = a \cdot e^{-X}$ (Y : percentage of late wood, X : annual ring width)

3-6 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、晩材率、仮道管長およびMFAの平均値等をまとめてTable 2に示した。また、各品種の荷重-たわみ線図を、試験片の採取位置別に1組ずつFig. 8に示した。Fig. 8に示すIは試験片の採取位置が材の外周部、IIIは髄近くの試験片、IIはIとIIIの中間位置からの試験片である。

曲げ破壊係数(MOR)は、Table 2に示したように、アカバが他の3品種にくらべ大きな値となっている。平均値の差を求めた結果、

アカバ > アオシマアラカワ > ヒノデ > イワオ

の順にこの差は大きくなった。

曲げヤング率(MOE)については、Table 2で判るように、4品種ともほぼ同じ値で、品種間に差は認められない。

曲げ破壊までの仕事量は、Fig. 8およびTable 2に示すように、品種間で大きな差があり、樹幹内位置でも異なることが判った。一般には、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ある。アカバは他の3品種にくらべ曲げ仕事量で顕著な差を示した。曲げ仕

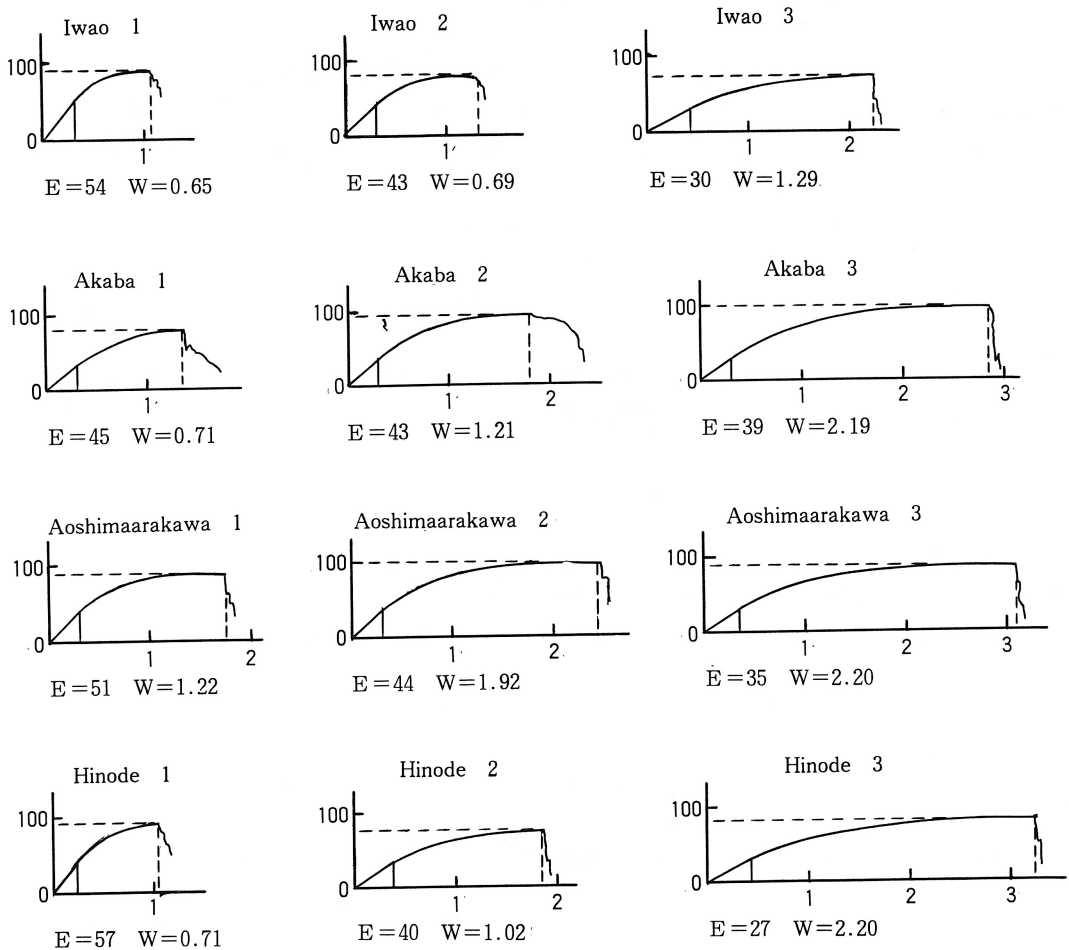


Fig. 8. Load-deflection curves obtained by static bending tests.

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.

事量の平均値の差を調べた結果、次の順にこの差は大きくなることがいえる。

アカバ>アオシマアラカワのヒノデのイワオ

佐々木ら³⁾の曲げ試験の荷重-たわみ線図の型によるスギ品種の分類によれば、アカバはI型に、ヒノデはII型に類別される。つまり、曲げ試験の荷重-たわみ線図で、比例限度が高く、塑性域が少なく脆性的に破損するものをタイプI、比例限度が低く、大きな塑性域をもち、極めて大きなたわみの後破損するものをタイプIIIとし、IとIIIの中間的なものをタイプIIとして類別している。アオシマアラカワとイワオは記載がない。Fig. 8からアオシマアラカワとイワオはともにタイプIに属するとおもわれる。また、材質評価について、石崎⁴⁾はその著書で、アカバは“材質は暗紅色で粘り強い”，ヒノデは“材質は軟弱”であると評価を下している。Table 2の

実験結果からも、アカバは仮道管長は短い、曲げ破壊係数、曲げ破壊仕事量は他の3品種のこれらの値より大きく、靱性がある。他の3品種はやゝ脆いとおもわれる。これは石崎の評価とも一致する。

前報²⁾で、ウラセバル、キジン、アヤスギおよびオビアカの4品種で、曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との間の相関関係を求め、定性的に負の相関があることを報告した。この実験でも各品種ごとに曲げヤング率と曲げ破壊仕事量との間の相関係数を求めた結果、有意の相関係数を得た。r：相関係数、n：試験片数

イワオ； $r = -0.526$ (n=25)、アオシマアラカワ； $r = -0.404$ (n=26)、アカバ； $r = -0.885$ (n=11)、ヒノデ； $r = -0.609$ (n=21) ですべて有意で負の相関係数を得た。4品種全体で計算すると、 $r = -0.448^*$ (n=83) で、回帰式は、

$$y = 48.16 - 6.507x$$

となる。但し、y：曲げヤング率、x：曲げ破壊仕事量である。曲げヤング率と曲げ破壊仕事量の間には有意（有意水準99%）な負の相関があるといえる。

4. 結 論

前報にひきつづき、九州産スギ品種のイワオ、アカバ、アオシマアラカワおよびヒノデの4品種の材について、組織構造と力学的性質との関係を検討した結果、以下の結論を得た。

- 1) 仮道管長については、三倍体品種であるヒノデが、他の3品種にくらべ有意的に長いことが認められた。このことは前報²⁾のウラセバルの測定結果ともよく一致する。
- 2) MFAについては、ヒノデとイワオがアカバとアオシマアラカワの2品種に比較して小さかった。
- 3) 晩材率は、ヒノデの晩材率が4品種中最小であった。また、晩材率と年輪幅の間には、指数関数的な相関が認められた。
- 4) 静的曲げヤング率と静的曲げ破壊仕事量の間には、有意で、負の相関係数が得られた。

謝 辞

本研究に供試したスギ4品種は、本学農学部附属演習林から提供をうけた、その伐到、搬出には同演習林職員のご協力をいただいた。厚く謝意を表します。

また、実験にあたっては、本学の昭和61年度卒業生、本田日出男と森山 弘に多大のご協力を得た。ここに記して謝意を表する。

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）クモトウン、ヤイチ、ヤブクグリおよびメアサについて。愛媛大演報，No.23：47-59（1985）。
- 2) 藤崎謙次郎・渋谷昌資：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。愛媛大演報，No.24：61-70（1986）。
- 3) 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17：192-205（1983）。
- 4) 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）。

（1987年8月31日受理）