

南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発

Ⅶ. ケヤキ樹幹内における機械的性質の変動

藤田晋輔

(森林利用学研究室)

昭和61年8月9日

Available Utilization on Hardwoods Growing in Southern Kyushu

Ⅶ. Some Variation of Mechanical Properties in Keyaki-Wood (*Zelkova serrata* Makino)

Shinsuke FUJITA

(Laboratory of Wood Utilization)

緒 言

広葉樹材の枯渇が議論されてから久しい。しかし、これまで広葉樹材は一般に「ザツ」として処理される場合が多く、「雑木」もしくは「低質材」として軽視されてきた。しかしながら、これらの中には古くより、建築、家具、合板、特殊用材として有用なものも多く、我々の生活の中に深く入り込んでいるのは周知のとおりである^{1,2)}。それにもかかわらず、広葉樹の生育特性、材質などに関するデータは、針葉樹に比較して非常に少ない。まして、南九州地域に生育している広葉樹材の基礎的性質に関するデータは特に少なく、今後集積しなければならないことは既に述べた。このような理由から、本研究は南九州地域に生育する広葉樹を順次とりあげ、それぞれの樹種の組織および物理的性質、機械的性質に関する基礎データバンクの作成を目的としている^{3,4,5,6)}。本報告ではケヤキの諸機械的性質の樹幹内横断面水平(半径)方向および垂直(樹幹軸)方向の変動(分布)について検討した。

材 料 と 方 法

本報告に供したケヤキ (*Zelkova serrata* Makino) は鹿児島大学農学部高隈演習林7林班、つ小班(鹿児島県垂水市海潟)に植林されていた樹齢56年生3本(供試木3本の胸高直径、樹高はそれぞれ(No. 1): 25cm, 15.4m, (No. 2): 32cm, 18.0m, (No. 3): 23cm, 16.2m)である。これら3本の試験木の機械的性質を求めするために供した試験材料は、樹幹解析および繊維長測定に供した円盤(厚さ20cm, 伐倒高0.2m, それ以上, 2.0m毎に鋸断)の間材(材長: 1.8m)である。供試材の木取り、試験片の作製手順そして調湿、実験方法

は既報^{2,4)}と同様である。使用した試験機はオートグラフ DSS-5000(島津製作所製)で、強度試験における荷重は、ロードセル5000kgおよび500kgで検出した。また、衝撃曲げ試験はシャルピー型衝撃試験機を使用した。試験項目は次のとおりである。

- 1) 曲げ試験 (JIS・Z 2113-1977)
: 曲げ強さ, 曲げ弾性係数
- 2) 圧縮試験 (JIS・Z 2113-1977)
: 縦圧縮強さ
- 3) 衝撃曲げ試験 (JIS・Z 2133-1977)
: 衝撃曲げ吸収エネルギー
- 4) せん断試験 (JIS・Z 2133-1977)
: 板目およびまき目面のせん断強さ
- 5) 割裂試験 (JIS・Z 2113-1977)
: 板目およびまき目面の割裂抵抗

結 果 と 考 察

ケヤキは南九州地域のうち、宮崎県南部および鹿児島県北部(大口市)付近まで、広葉樹林の中に自生している⁸⁾が、鹿児島県大隅半島、薩摩半島地域にまともって自生しているケヤキ群はない。したがって、本実験でえられたそれぞれの機械的性質はこの地域に生育している天然のケヤキにえられたそれらと比較できない。ゆえに、ここでは文献^{9),10)}に掲載されているケヤキの諸機械的性質(以下既往値とする。)と比較しながら、本学高隈演習林に植林されているケヤキの材質を評価する。

1. ケヤキの比重、年輪幅と各機械的性質の樹幹内横断面水平(半径)方向の変動について

比重、平均年輪幅および諸機械的性質の樹幹内横断面水平(半径)方向の樹幹内変動を Fig. 1 に示す。

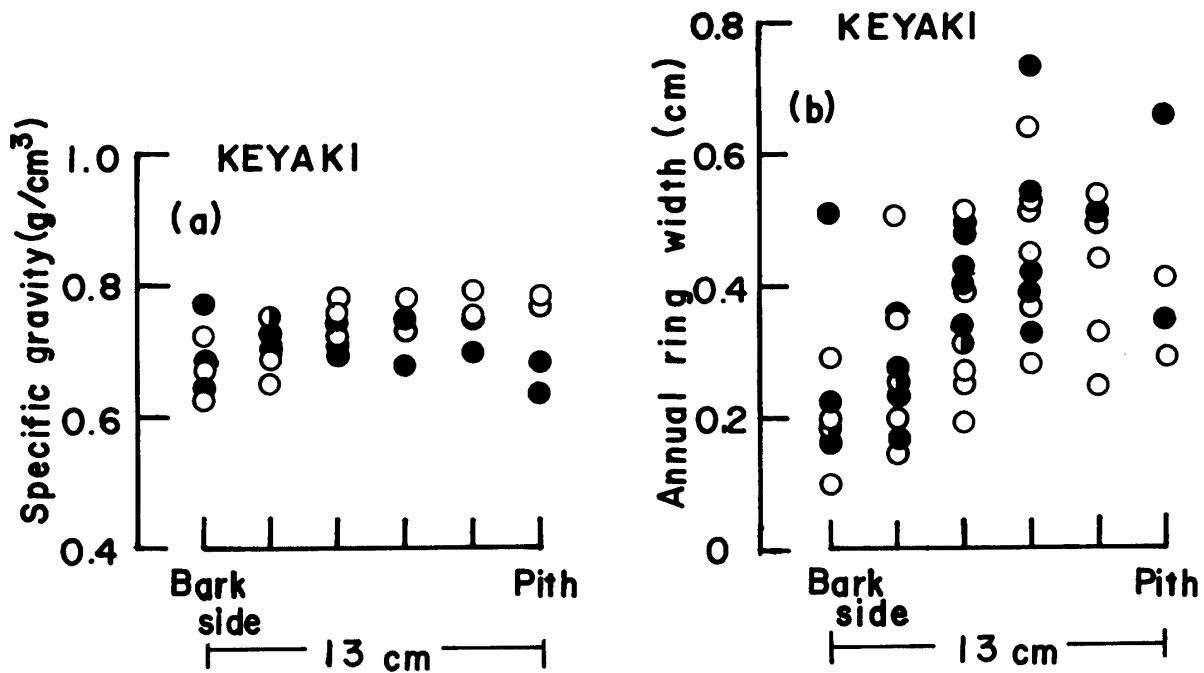


Fig. 1-a. Variation of specific gravity along the stem-radius from pith to bark.

Fig. 1-b. Variation of annual ring width along the stem-radius from pith to bark.

それぞれの図には供試木3本の地上高0.2~2.0m (○印) および2.0~4.0m (●印) にえられた個々の値をプロットした。すなわち, Fig. 1-a は樹心から外方(樹皮側)へ向って樹幹内横断面水平(半径)方向の比重の変動を示す。この図から明らかなように比重は樹心からの同一位置でもバラツキがある。これまでに得たスダジイ⁴⁾, アベマキ⁶⁾の比重変動は, 樹齢20~30年付近で明確なピークを示したのに対し, ケヤキの比重変動は樹心から外方(樹皮側)へ向ってほぼ安定している。一方, 年輪幅の横断面水平(半径)方向の変動(Fig. 1-b)は樹心(髄)に近い部分でやや広く, 外方(樹皮側)へ向って狭くなる。Fig. 2~5は樹心(髄)より外方(樹皮側)に向って, 横断面水平(半径)方向の機械的性質の変動を示す。曲げ強さおよび曲げ弾性係数(Fig. 2)は樹心(髄)より外方(樹皮側)に向って増大し, 辺材領域に至って再び低下する傾向を示す。衝撃曲げ吸収エネルギー(Fig. 3-a)および縦圧縮強さ(Fig. 3-b)はバラツキが大きすぎるが, 樹心(髄)より外方(樹皮側)へ向ってほとんど差が見られない。Fig. 3-bの縦圧縮強さのうち, 供試木No. 1は他のNo. 2, 3にえた値よりかなり大きい。この原因はよくわからない。せん断強さ(板目面およびまさ目面)(Fig. 4)はバラツキが非常に

大きい。全体的な傾向として見ると樹心部で高い値を, 外方(樹皮側)へ向って低下する傾向を示す。割裂抵抗(Fig. 5)は, 板目面では樹心から外方(樹皮側)へ向ってほぼ安定, まさ目面は樹心部でやや高い値を示すが, 外方に向かうにしたがって低下する。以上のようにそれぞれの試験項目により異なる特徴のある傾向を示したが, 全体的に見ると, それぞれの物理的ならびに機械的性質は前報^{4,6)}までにえられたスダジイおよびアベマキと同様に樹心部で高い値を, 外方(樹皮側)に至るにしたがって, 低下する傾向を示す。

2. ケヤキの比重と機械的性質の関係について

(1) 曲げ試験(曲げ強さおよび曲げ弾性係数)

曲げ試験に供した試験片数は134個, 平均年輪幅は0.66cm, 平均含水率13.2%である。比重の平均値は0.72(上限値0.83, 下限値0.57)を示し, 既往値(0.69)よりやや高い。一方, 本実験でえた曲げ強さおよび曲げ弾性係数の平均値は, Table 1に明らかなようにそれぞれ 1067 kg/cm^2 , (上限値 1443 kg/cm^2 , 下限値 586 kg/cm^2), $104 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ (上限値 141×10^3 下限値 $69 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)を示し, これらの値を既往値(それぞれ $700 \sim 1000 \sim 1400 \text{ kg/cm}^2$, $80 \sim 120 \sim 150 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)と比較すれば, 本実験でえた曲げ強さの平均値はやや高く, 曲げ弾性係数はやや低い値を示す。したがって,

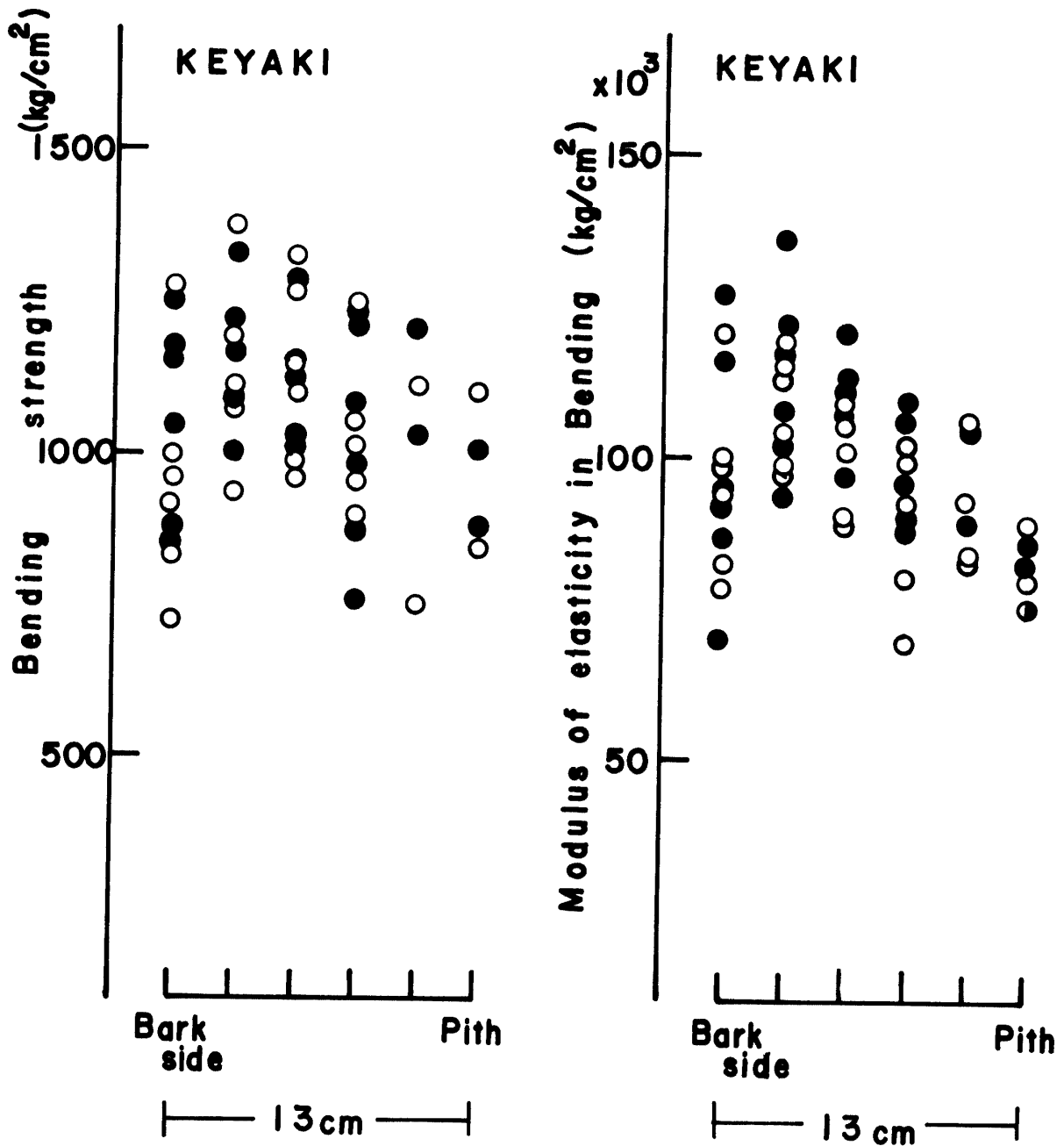


Fig. 2. Variation of bending strength and modulus of elasticity in bending along the stem-radius from pith to bark.

えられたそれぞれの機械的性質の上限値と下限値の幅が広いため、今後の利用にあたっては、特に下限値について注意する必要がある。次に曲げ強さと地上高の関係を見る。Table 1 より曲げ強さは8.0~10.0mにおいてやや低い平均値を示すが、Fig. 6 のプロットのバラツキを見るかぎり、曲げ強さの地上高による差

はないと考えられる。Fig. 6, 7 は比重と曲げ強さおよび曲げ弾性係数を示した。Fig. 6, 7 に見られるように比重と曲げ強さおよび曲げ弾性係数の関係はともに集団状を示し、一樹種でしかもこの程度の比重幅では明確な傾向がえられなかった。

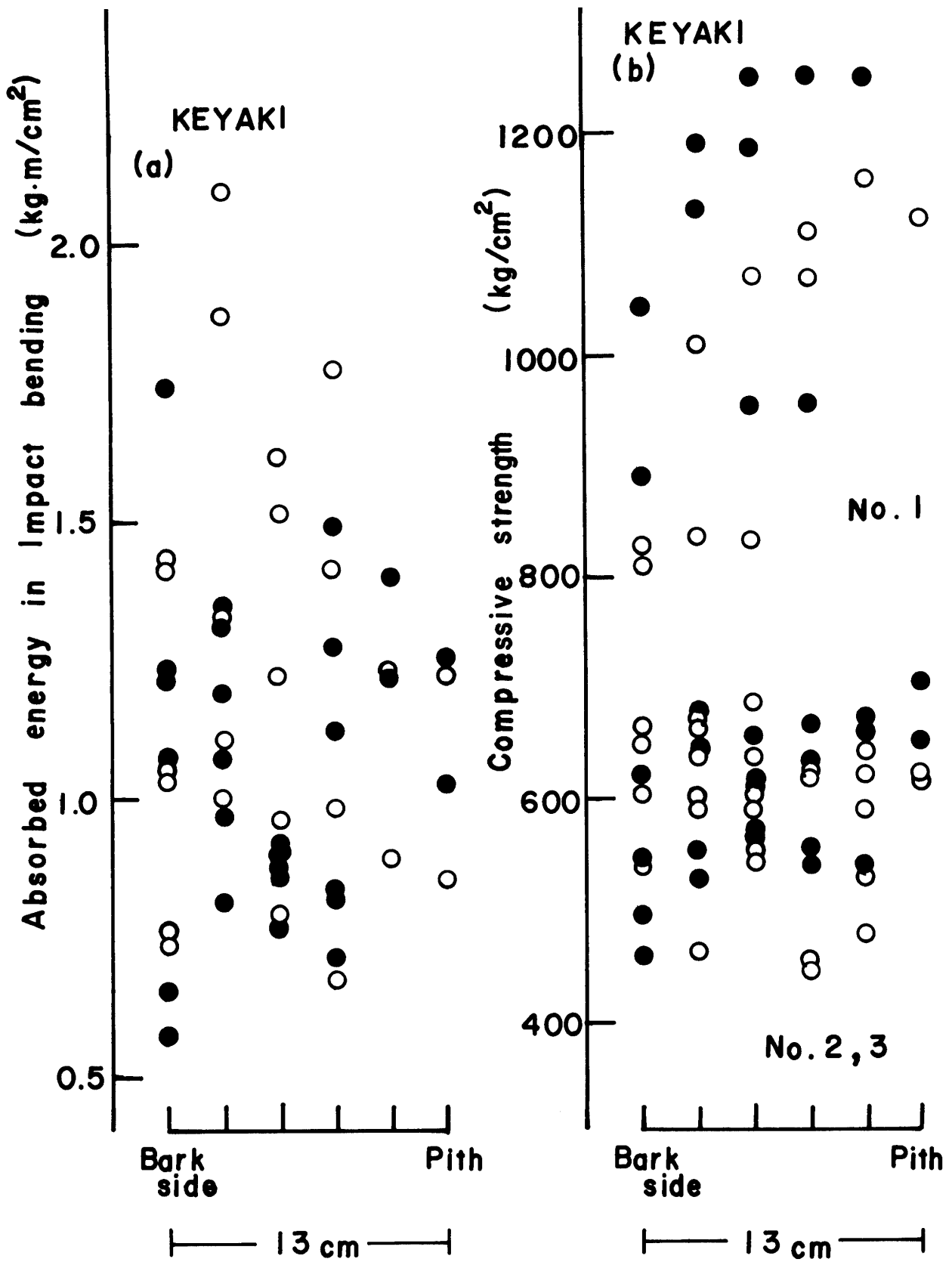


Fig. 3-a. Variation of absorbed energy in impact bending along the stem-radius from pith to bark.

Fig. 3-b. Variation of compressive strength along the stem-radius from pith to bark.

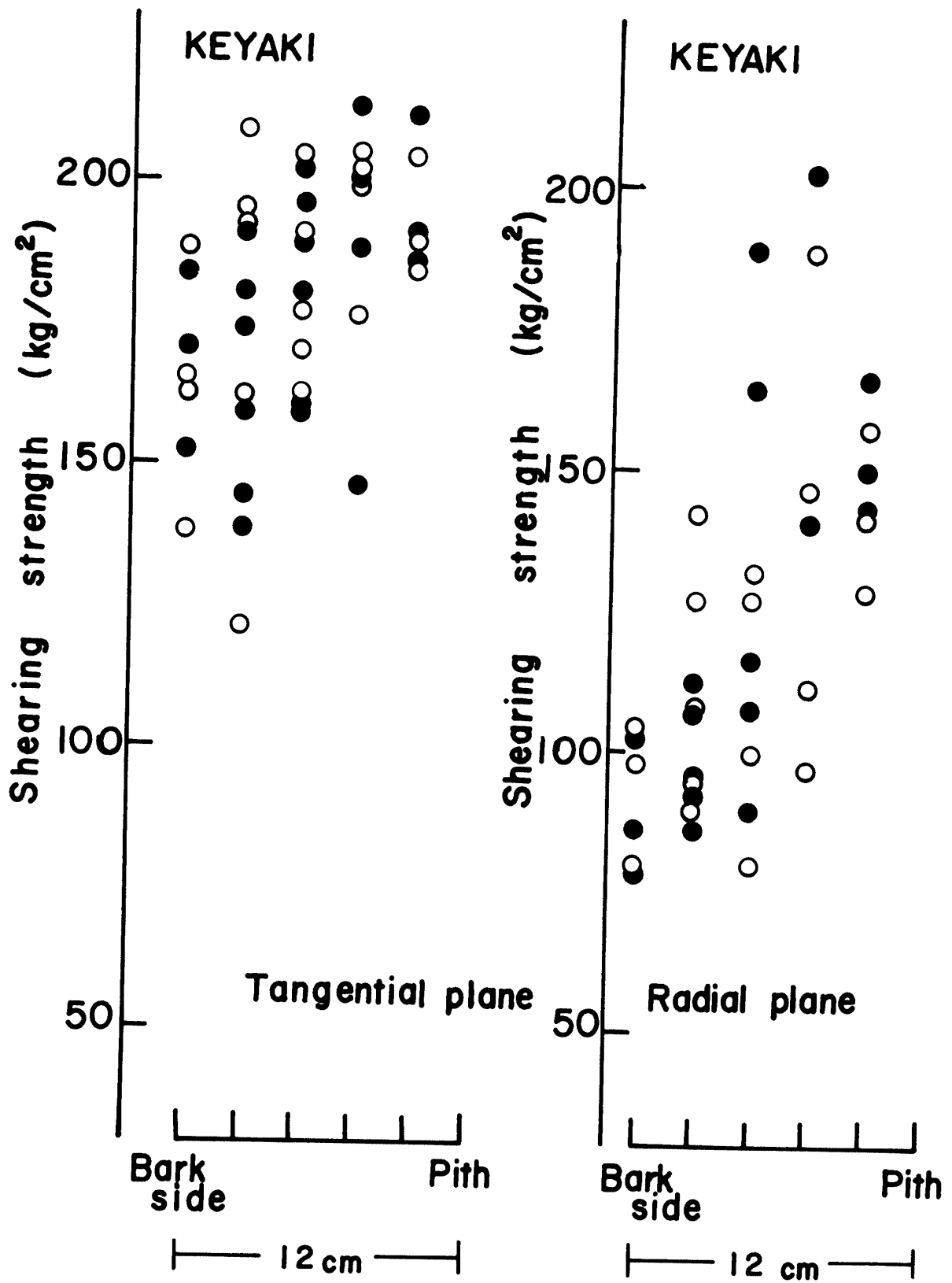


Fig. 4. Variation of shearing strength in tangential and radial planes along the stem-radius from pith to bark.

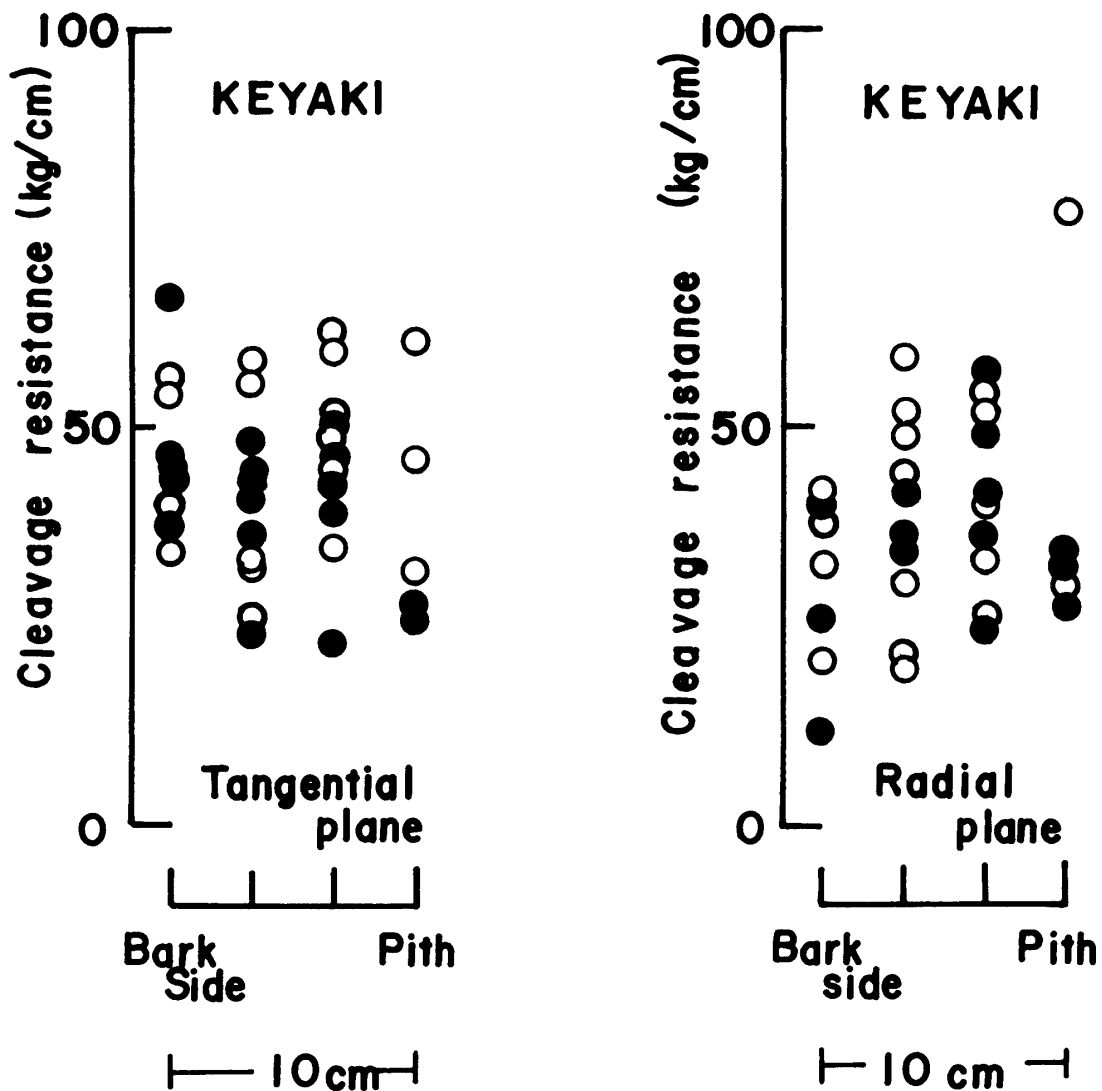


Fig. 5. Variation of cleavage resistance in tangential and radial planes along the stem-radius from pith to bark.

(2) 縦圧縮試験 (縦圧縮強さ)

縦圧縮試験に供した試験片の個数は148個、これらにえられた平均年輪幅は0.34cm, 含水率13.6%, 比重の平均値は0.72 (上限値0.88, 下限値0.48) を示す。Table 1に見られるように, 縦圧縮強さの平均値は $602\text{kg}/\text{cm}^2$ (上限値 $1252\text{kg}/\text{cm}^2$, 下限値 $214\text{kg}/\text{cm}^2$) を示す。

この平均値は既往値 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ (上限値 $650\text{kg}/\text{cm}^2$, 下限値 $350\text{kg}/\text{cm}^2$) よりやや大きい値を示す。Fig. 8は比重と縦圧縮強さの関係を示すが, 一般に言われているように縦圧縮強さは比重の増加とともにやや増大する傾向を示すように見えるが, 明確な評価はえられない。

つぎに縦圧縮強さと地上高との関係を見ると, Table 1, Fig. 8に見られるように供試木 No. 1の縦圧縮強さが供試木 No. 2, 3の地上高0.2~4.0mの範囲でえたそれより高い値を示すが, これらの供試木間の差の原因は良くわからない。供試木3本の地上高と縦圧縮強さの関係をみるとTable 1に見られるように0.2~2.0mで他の地上高部位よりやや高い値を示している。しかし, 全体的に見るとき地上高による縦圧縮強さの差はほとんどないと考えられる。

(3) 衝撃曲げ試験 (衝撃曲げ吸収エネルギー)

衝撃曲げ試験に供した試験片数は129個, これらの平均年輪幅0.26cm, 含水率12.6%, 比重の平均値は0.71 (上限値0.83, 下限値0.50) を示した。衝撃曲げ

Table 1. Variation of specific gravity and other mechanical properties

Item Specimen		Specific gravity (g/cm ³)	Static bending		Compressive strength (kg/cm ²)	Absorbed energy of Impact bending (kg · m/cm ²)	Shearing strength (kg/cm ²)		Cleavage resistance (kg/cm)		Annual ring width(cm)	Moisture content(%)
			Bending strength (kg/cm ²)	Modulus of elasticity (x10 ³ kg/cm ²)			Tangential plane	Radial plane	Tangential plane	Radial plane		
Ave. of all the specimen		0.72	1067	104	602	1.02	172	149	41	37	0.33	13.1
Tree number	1	0.72	1067	104	623	1.07	154	125	44	42	0.40	13.3
	2	0.72	1099	102	628	0.95	185	128	38	37	0.40	12.8
	3	0.71	1067	104	549	1.08	172	140	42	32	0.29	13.0
Height above the ground (m)	0.2-2.0	0.74	1048	104	682	1.22	180	141	39	37	0.34	12.8
	2.0-4.0	0.71	1081	103	576	1.04	176	177	42	35	0.34	13.2
	4.0-6.0	0.71	1099	107	658	0.91	172	123	42	39	0.35	12.9
	6.0-8.0	0.71	1104	111	622	1.05	162	115	39	38	0.35	13.1
	8.0-10.0	0.72	987	101	577	0.85	174	188	46	41	0.31	13.0
	10.0-12.0	0.73	1025	104	539	0.94	161	125	40	37	0.33	13.2

吸収エネルギーの平均値は Table 1に見られるように 1.02kg · m/cm² (上限値2.26kg · m/cm², 下限値0.40kg · m/cm²) を示した。ここにえられた衝撃曲げ吸収エネルギーの平均値は既往値(0.9kg · m/cm²) より高い値を示す。比重と衝撃曲げ吸収エネルギーの関係 (Fig. 9) はバラツキが大きく、この比重幅の範囲から一つの傾向を見いだせない。衝撃曲げ吸収エネルギーと地上高との関係を見ると、Table 1, Fig. 9に見られるように樹幹基部において比較的高い値を示すが、それ以上の部位では Fig. 8 に示すバラツキから見ても地上高の衝撃曲げ吸収エネルギーにおよぼす影響は明らかに出来ない。

(4) せん断試験 (板目およびまさ目のせん断強さ)

板目およびまさ目のせん断試験に供した試験片数はそれぞれ111個、これらの平均年輪幅はそれぞれ0.31cm, 0.33cm, 含水率は13.8%であった。一方、せん断強さを求めた板目面およびまさ目面の比重の平均値は、それぞれ0.75, 0.72を、Table 1より板目面およびまさ目面のせん断強さの平均値はそれぞれ172kg/cm² (上

限値227kg/cm², 下限値87kg/cm²), 149kg/cm², (上限値208kg/cm², 下限値91kg/cm²) を示す。板目面のせん断強さの平均値は、既往値のそれ(130kg/cm²) よりも高い値を示す。一方、板目面のせん断強さとまさ目面のそれを比較すると従来から言われているように、前者が後者よりも高い値を示している。Fig. 10, 11 はそれぞれ比重と板目およびまさ目面のせん断強さの関係を示す。これらの関係はそれぞれ相関係数 $r = 0.44, 0.68$ と正の相関を示し、それぞれ直線式 $\tau_t = 289\rho - 36$, $\tau_r = 469\rho - 229$ が成立する。これまでの多くの報告と同様板目面およびまさ目面のせん断強さは比重の増大とともに増大している。つぎに、Table 1, Fig. 10, 11 からせん断強さにおよぼす地上高の影響を見る。これらの図に見られるようにせん断強さが高い値を示す地上高は板目面において樹幹基部(0.20~2.0m)で平均値180kg/cm²を、まさ目面においては尖端部(8~10m)でやや高い値(平均値188kg/cm²)を示すが、両断面ともに地上高0.2~6mの範囲ではほとんど差が見られない。

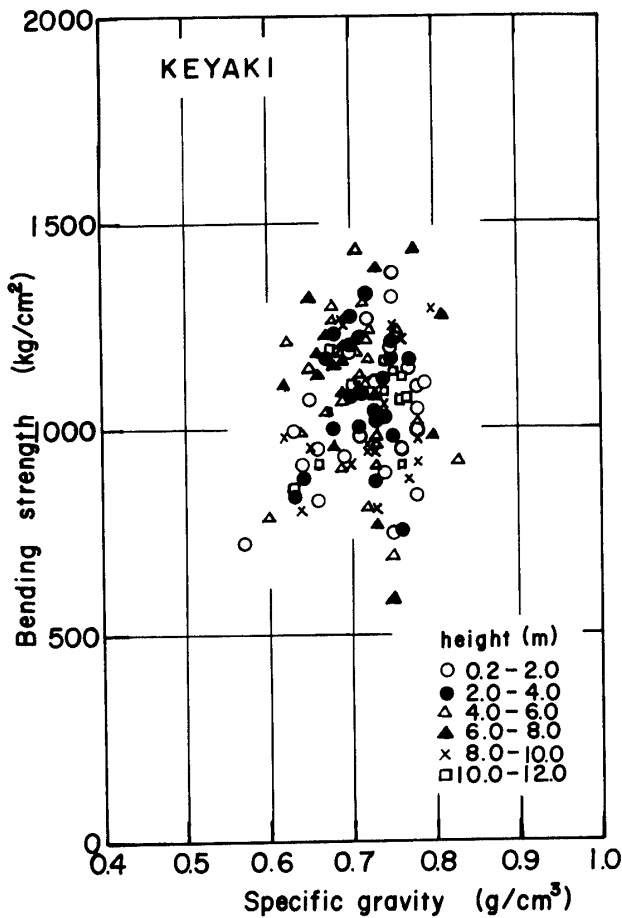


Fig. 6. Relation between specific gravity and bending strength in stem at each height above the ground.

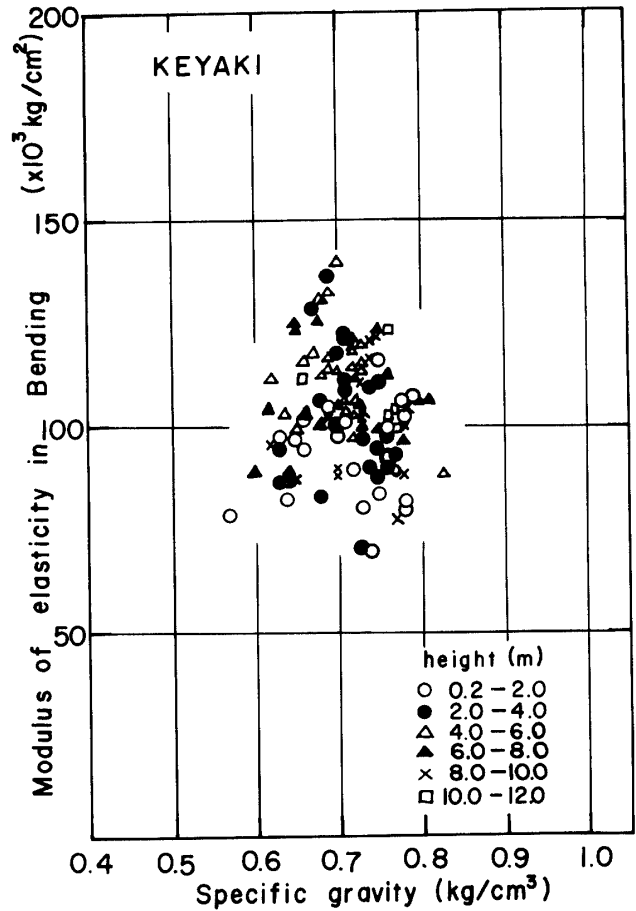


Fig. 7. Relation between specific gravity and modulus of elasticity in bending in stem at each height above the ground.

(5) 割裂試験 (板目面およびまさ目面の割裂抵抗)
 割裂試験に供した試験片の個数は板目面, まさ目面それぞれ84個, 板目面およびまさ目面の平均年輪幅はそれぞれ0.32cm, 含水率はそれぞれ12.5, 11.6%, 比重の平均値はそれぞれ0.72(上限値0.86, 下限値0.54)であった。Table 1より板目面, まさ目面の割裂抵抗の平均値はそれぞれ41kg/cm(上限値81kg/cm, 下限値22kg/cm), 37kg/cm(上限値77kg/cm, 下限値13kg/cm)を示す。既往の研究によれば, 広葉樹では多くの場合, 板目面からまさ目面に移るにしたがって, 割裂抵抗は低下し, これの低下する程度は放射組織が発達しているほど著しいといわれている。ここで取り上げたケヤキの放射組織の発達は中程度であり, $P_t/P_r = 1.11$ を示す。

これまでに実験したスダジイとアベマキの P_t/P_r と比較すれば, この値はアベマキ ($P_t/P_r = 1.6$) よ

り小さいがスダジイ ($P_t/P_r = 1.1$) と同程度である。Fig. 12, 13は板目面, まさ目面の割裂抵抗と比重の関係を示す。この図から明らかなように比重の増大による板目面およびまさ目面における割裂抵抗の増大はほとんどみられない。一方, それぞれの面の地上高と割裂抵抗の関係をみると, Fig. 12および13に見られるように割裂抵抗におよぼす地上高の影響はないと考えられる。

要 約

ケヤキ (*Zelkova serrata* Makino) は本州, 中国, 九州の暖帯地域に分布する陽樹であるが, 南九州では鹿児島県北部に局部的に分布するだけで, 現在では用材として供給されるほどの蓄積量を持つ自生分布はない。本研究では鹿児島大学農学部高限演習林 (鹿児島県垂水市) に植林されている樹齢56年生のケヤキの基

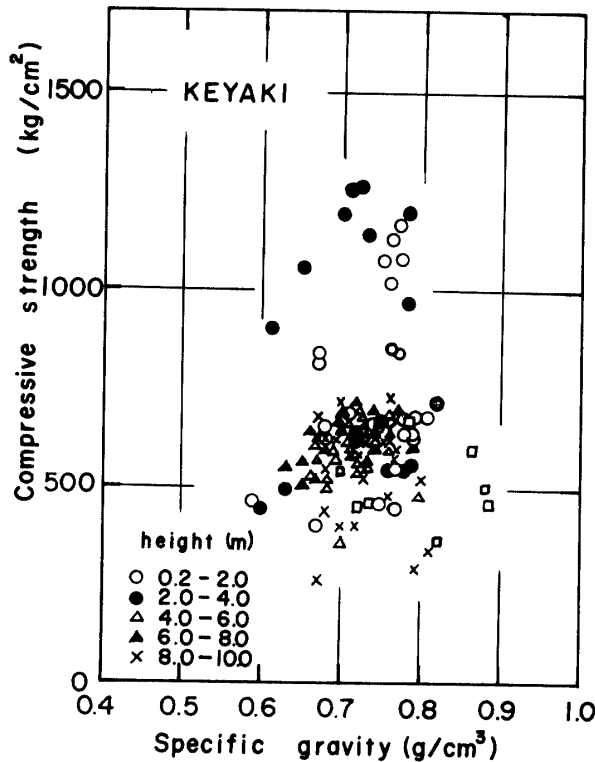


Fig. 8. Relation between specific gravity and compressive strength in stem at each height above the ground.

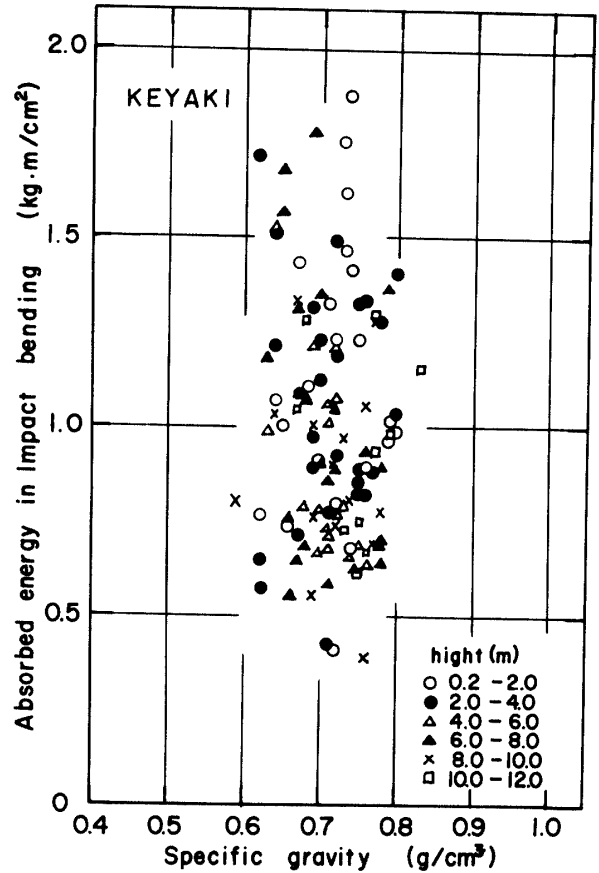


Fig. 9. Relation between specific gravity and absorbed energy in impact bending in stem at each height above the ground.

礎的材質を検討した。供試木個体数は3本で、各地上高において横断面水平（半径）方向に連続的に試験片を採取した。各地上高における比重、平均年輪幅および機械的性質（曲げ強さ、曲げ弾性係数、縦圧縮強さ、衝撃曲げ吸収エネルギー、せん断強さおよび割裂抵抗）を求め、これらの樹幹内横断面水平（半径）および垂直（樹幹軸）方向の変動を検討した。その結果の概要は次のとおりである。

1. 樹幹内横断面水平（半径）および垂直（樹幹軸）方向の比重の平均値は、0.72（上限値0.88、下限値0.48）をえた。この比重を既往値の上限および下限値と比較すると上限値は本実験でえた値がやや大きい、下限値はほとんど類似していた値を示した。一方、樹幹内横断面水平（半径）方向における比重の変動は樹心より外方（樹皮側）へ向ってほぼ安定しているといえる。

2. 樹幹内横断面の平均年輪幅の変動は、樹心部でやや広く、外方（樹皮側）へ向って狭くなる。

3. 本実験でえた諸機械的性質の平均値を既往値と比較すれば、曲げ弾性係数以外の性質はすべて既往値より大きい値を示した。一方、それぞれの機械的性質と地上高との関係はそれぞれの平均値を比較すれば若干の差が見られるが、バラツキを考慮にいと地上高による諸機械的性質にはほとんど差が認められない。横断面水平（半径）方向におけるそれぞれの性質の変動は、せん断強さおよび割裂抵抗のうち、まさ目面は樹心より外方（樹皮側）に向って低下する。その他の性質は樹心部より外方（樹皮側）へ向って増大する傾向を示す。

4. 樹幹基部（地上高0.2~2.0m付近迄）の機械的性質の下限値が、既往値より低いので構造用材として利用するとき注意する必要がある。

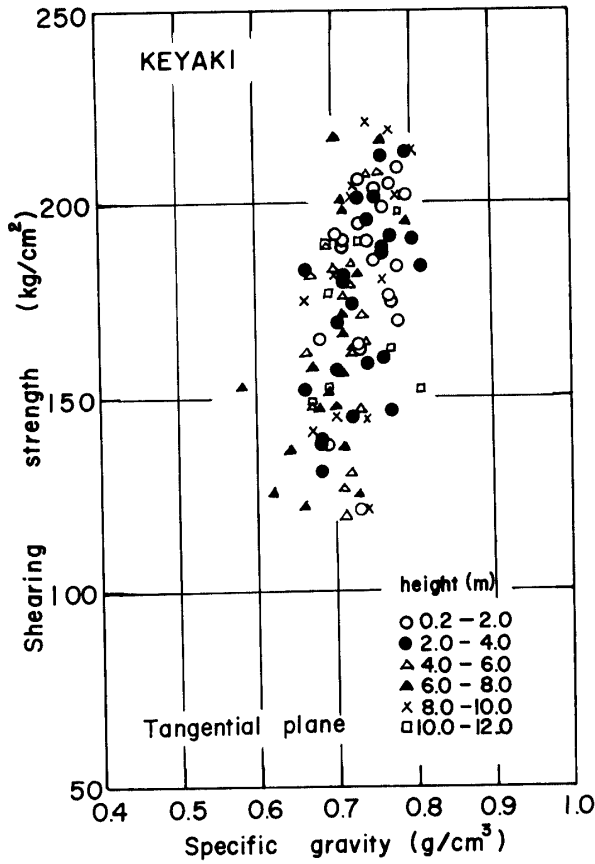


Fig. 10. Relation between specific gravity and shearing strength in tangential plane in stem at each height above the ground.

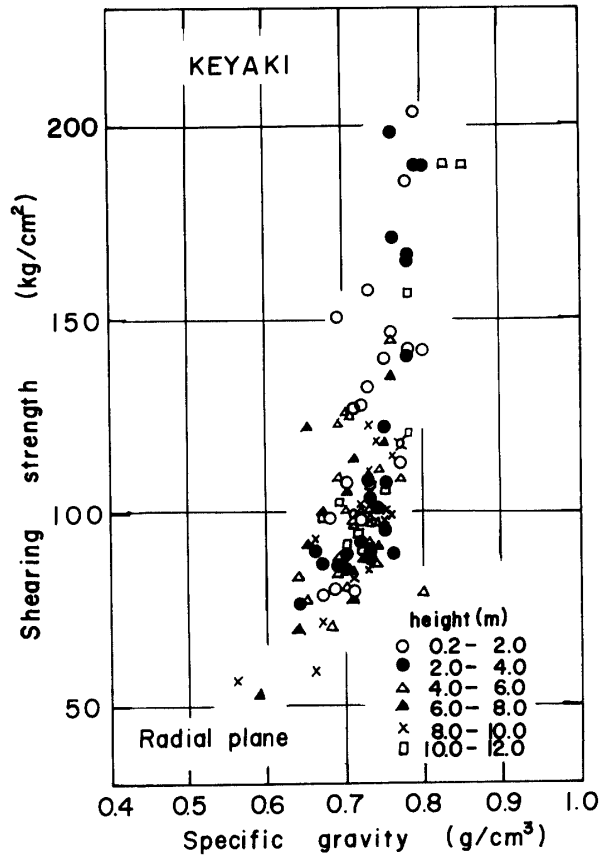


Fig. 11. Relation between specific gravity and shearing strength in radial plane in stem at each height above the ground.

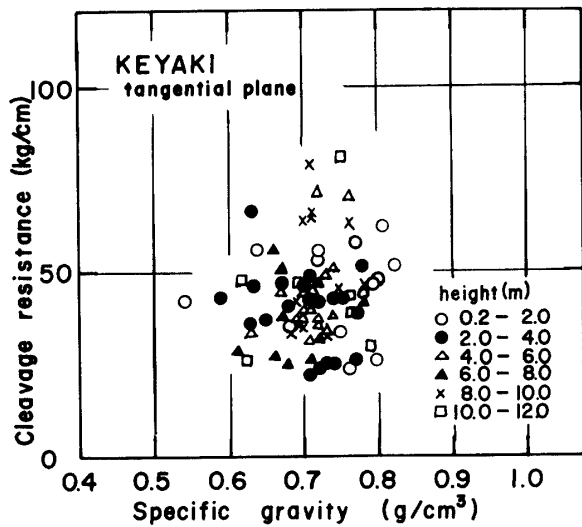


Fig. 12. Relation between specific gravity and cleavage resistance in tangential plane in stem at each height above the ground.

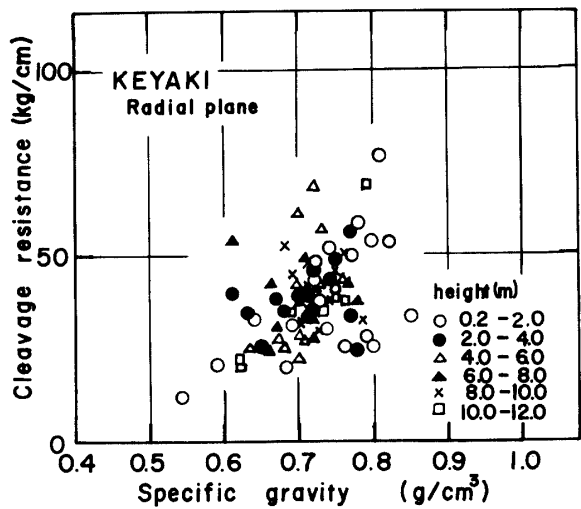


Fig. 13. Relation between specific gravity and cleavage resistance in radial plane in stem at each height above the ground.

謝辞 本研究の試験材を準備するにあたって、鹿児島大学農学部付属演習林黒木晴輝助教授、高隈演習林主任 馬田英隆助手に大変お世話になった。また、高隈演習林 前田利盛、日高安美、港 虎熊、岡山光秀ならびに田中 勇の各技官、また従業員の各位には供試木の伐採、運搬などに対して大変御世話になった。ここに記して謝意を表する。

文 献

- 1) 藤田晋輔・沢辺 攻：国内産広葉樹資源の現状，材質特性と利用，ニューランバーマン，**16**，No. 59，1-32(1986)
- 2) ————・遠矢良太郎：南九州地域における広葉樹資源と用途開発への今後の課題，森林文化研究，**7**，No. 1，印刷中(1986)
- 3) 藤田晋輔：南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発(Ⅲ)．イタジイ材の樹幹内における材質変動(1)．鹿大農演報，No. **13**，103-122(1985)
- 4) ————：南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発(Ⅳ)．イタジイ材の樹幹内における材質変動(2)．鹿大農学術報告，No. **35**，195-204(1985)
- 5) ————：南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発(Ⅴ)．アベマキ材の樹幹内における材質変動(1)．鹿大農演報，No. **14**，1-11(1986)
- 6) ————：南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発(Ⅵ)．アベマキ材の樹幹内における材質変動(2)．鹿大農学術報告，No. **36**，205-214(1986)
- 7) 平井信二：木の辞典．No. 1-4，かなえ書房，東京(1980)
- 8) 銘木史編集委員会：銘木史．p. 230-234，東京(1986)
- 9) 木材工業編集委員会：日本の木材．p. 66-67，日本木材加工技術協会(1966)
- 10) 林業試験場監修：改定3版，木材工業ハンドブック．p. 188-189，丸善，東京(1982)

Summary

In this paper investigations were carried out on to a few fundamental properties of hardwood; Keyaki (*Zelkova serrata* Makino). Three pieces of the stem, fixed at breast-height (56-year-old), being 23 to 32 cm in diameter were adopted as the samples to be ascertained some mechanical properties as to well as of the respective specific gravities.

The specimens were obtained successively in the stem at the respective heights above the ground, along the stem diameter, through pith from one sapwood to another. The following mechanical properties were examined in the handling : ……

1. Bending test (a test carried out to ascertain the bending strength and modulus of elasticity in bending).
2. Compressive test (a test to ascertain the compressive strength parallel to the grain).
3. Impact bending test (a test to ascertain the absorbed energy in impact bending).
4. Shearing test (a test to ascertain the shearing strength in the tangential and radial planes).
5. Cleavage test (a test to ascertain the cleavage resistance in the tangential and radial planes).

The experimental results obtained about the mechanical properties are summarized in Table 1 and Figs. 1-13.

1. The specific gravity and an average ring-width ranged from 0.88 to 0.48 (Ave. 0.72), from 1.04 cm to 0.14 cm (Ave. 0.33 cm), respectively.
2. As described in the previous reports, basing on the discussions made on the variations in the respective mechanical properties, observable, at each height above the ground, along the radial direction from pith to bark, an existence of the two typed variations along the stem radius from pith to bark was ascertained.
3. Basing on the statistical discussions about the specific gravity and the mechanical properties under the air condition, a relatively confirmed between the specific gravity and the shearing strength and in the tangential and radial planes, and between the specific gravity and cleavage resistance in the radial plane, with the added confirmation that the correlations between the specific gravity and other mechanical properties were not so high.