

木材の基礎的材質に関する研究 (第3報) \*\*  
 Ovangkol (*Guibourtia* sp.), Sapele (*Entandrophragma*  
 sp.) および Makore (*Tieghemella* sp.) について

Studies on the Fundamental Properties of Wood (Part 3) On the Wood of Ovangkol (*Guibourtia* sp.), Sapele (*Entandrophragma* sp.) and Makore (*Tieghemella* sp.)

三輪雄四郎\*, 三城昭義\*, 岡野健\*, 浅野猪久夫\*

Yushiro MIWA, Akiyoshi MISHIRO, Takeshi OKANO and Ikuo ASANO

序

前報<sup>1,2)</sup> にひきつづき、熱帯産材3種の樹幹横断面での基礎的材質の変動分布を中心にまとめた結果を報告する。本研究は個々の樹種の平均値を詳しく知ることだけでなく、材質評価の基準因子を見出し、樹種特性を明らかにしようとするものである。そのため、多くのデータを必要とし、目下その蓄積段階であるが、今回は特にアフリカ産材3種について基礎的材質をまとめたので報告する。今後さらにデータを蓄積した段階で材質評価の方法について検討する予定である。

今回とりあげた3種はいずれも市場材であり、種名・樹高・原木の地上高等は不明である。なお属の同定は文献<sup>3,4)</sup>を参考にして行なった。オバンコールはコート・ディボール、ガーナ等西アフリカに産するものであり、高級家具用銘木として特にヨーロッパに輸出されている。マコーレも同様西アフリカに産するものであり、装飾用材に限らず多方面に利用されている。サペリは広く中央アフリカに産し、高級細工用材・装飾用材として使われ、特にツキ板として珍重されている。<sup>3)</sup>

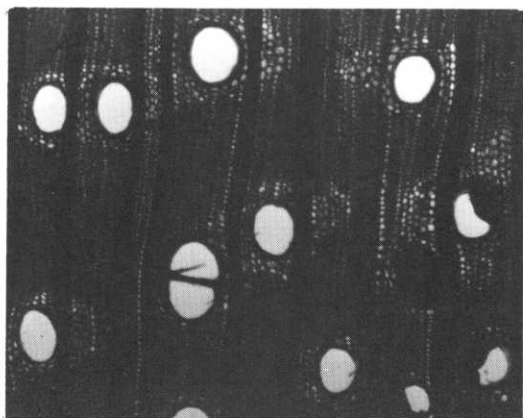
本供試材は全て岩倉組KKより提供されたものであり、また試験体の作製は東京大学農学部会田武郎・土屋欣也両技官によるもので、ここにあわせて謝意を表する。

\* 東京大学農学部林産学科

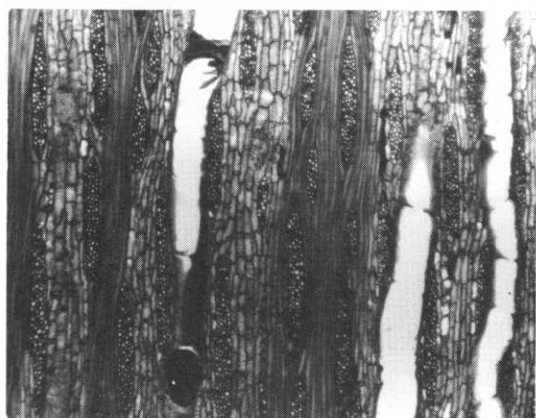
Department of Foest Products, Faculty of Agriculture, University of Tokyo

\*\* 第1報: 東大農演報, 第67号 (1975)

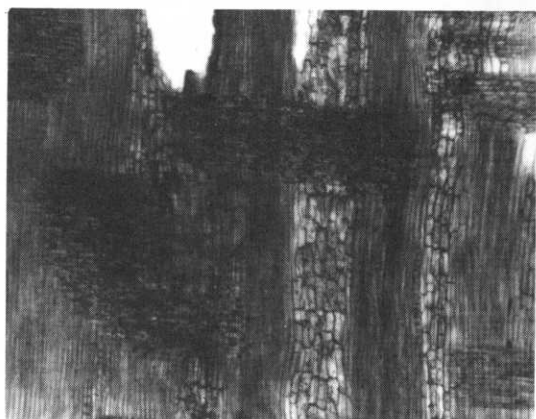
第2報: 同上, 第68号 (1975)



(a) 木口面 Cross section



(b) 板目面 Tangential section



(c) 柁目面 Radial section

図-1 オバンコール (*Guibourtia* sp.) (×70)Fig. 1. Ovangkol (*Guibourtia* sp.) (×70)

## 1. 組織構造

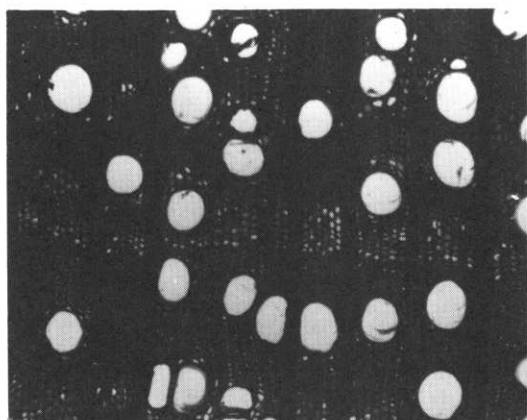
### オバンコール (*Guibourtia* sp.)

供試原木はコートディボアール産で、太さは短径55cm、長径56cmで、辺材部分の幅は約6cmであった。辺材は帯緑灰褐色、心材は灰濃褐色で黒色の縞があり、チーク材に似た色調である。心辺材の区別は明らかである。木口面では道管、帯状の柔組織、放射組織が肉眼で認められる。板目面では道管に白色の沈着物が肉眼で見られる場合がある。また、柁目面で放射組織は濃色で肉眼で明らかに認められる。木理は交錯し、肌目は精である。

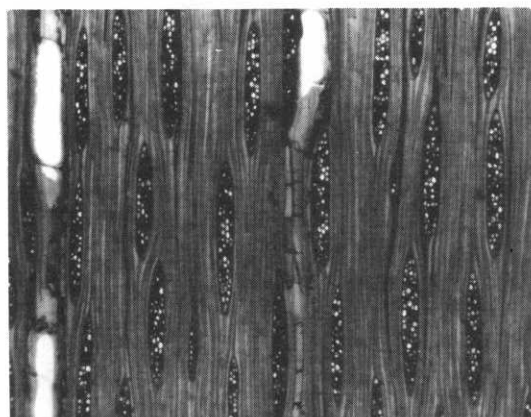
道管：散在。単独のものが多い。まれに2～3個放射方向に複合する。せん孔は単せん孔。単独道管平均径（測定方法は前報と同様。以下同じ。）は放射方向179 $\mu$ m、接線方向152 $\mu$ m、最大径227 $\mu$ m、分布数5.4ヶ/mm<sup>2</sup>、面積率10.0%、壁孔は円形～だ円形で交互配列～不規則配列。

柔組織：周円状、翼状～連合翼状、不規則な帯状。軸方向柔組織に結晶が多数存在し、いわゆるcrystal in chainをなしている。

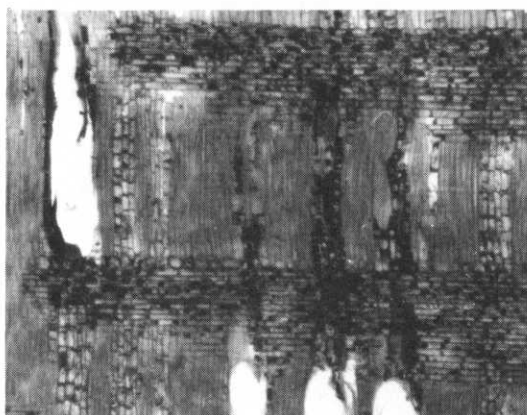
放射組織：単列放射組織は少なく、ほとんど多列。多列放射組織は3～5細胞幅。単列放射組織は



(a) 木口面 Cross section



(b) 板目面 Tangential section



(c) 柁目面 Radial section

図-2 サペリ (*Entandrophragma* sp.) (×70)Fig. 2. Sapele (*Entandrophragma* sp.) (×70)

すべて平伏細胞。多列放射組織には異性Ⅲ型が見られる。板目面における面積率は20.4%。

木 繊維：結晶が多数存在し、いわゆるcrystal in chainをなしている。

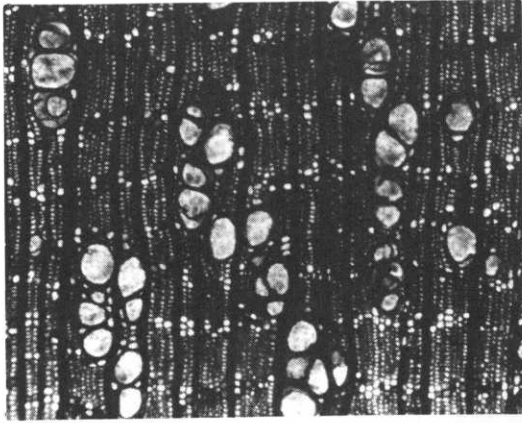
サペリ (*Entandrophragma* sp.)

供試原木はガーナ産で、太さは短径82cm、長径100cmで、辺材部分の幅は約5cmであった。辺材は帯灰淡桃色、心材は赤銅褐色で、辺心材の区別は明らかである。木口面では道管は肉眼では認めにくい、柔組織は帯状に明らかである。柁目面で放射組織は濃色で肉眼で明らかである。木理は交錯し、肌目はやや精で光沢がある。リップルマークが認められる。

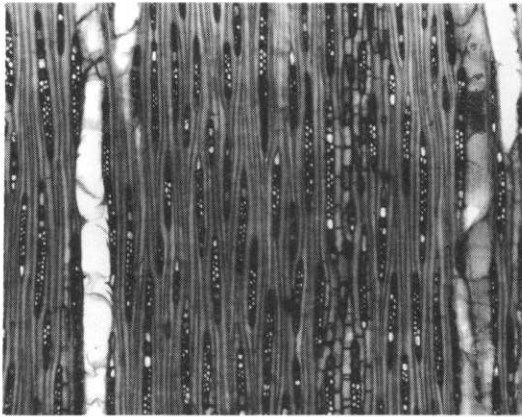
道 管：散在。単独のものが多い。せん孔は単せん孔。単独道管の平均は放射方向124 $\mu$ m、接線方向116 $\mu$ m、最大径199 $\mu$ m、分布数9.9ヶ/mm<sup>2</sup>、面積率11.7%。壁孔の形は円形～だ円形で、非常に小さく、分布は密で交互配列～不規則配列をしている。

柔 組 織：周円状、短接線状、帯状。軸方向柔組織に結晶が見られる。

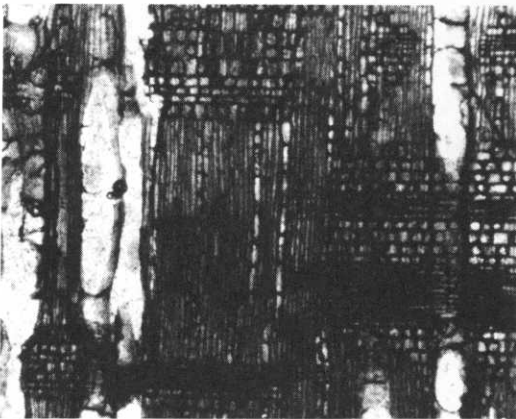
放射組織：多列放射組織で、細胞幅が3～5個のものがほとんど。異性Ⅱ型～Ⅲ型。単列放射組織はほとんど見られない。板目面



(a) 木口面 Cross section



(b) 板目面 Tangential section



(c) 柁目面 Radial section

図-3 マコーレ (*Tieghemella* sp.) (×70)Fig. 3. Makore (*Tieghemella* sp.) (×70)

における面積率は19.4%。方形細胞に結晶が見られる。

木 繊維：層階状配列。

マコーレ (*Tieghemella* sp.)

供試原木はガーナ産で、太さは短径63cm、長径72cmで、辺材部分の幅は約6cmであった。辺材は淡桃褐色、心材は桃褐色～濃褐色で、淡黒色の縞がある。肉眼で、木口面では道管、柔組織は認められるが、放射組織は認めにくい。柁目面では放射組織は濃色のため肉眼で明らかである。リップルマークが認められる。木理は交錯し、肌目は精である。

道 管：単独のものもあるが、放射方向～斜めに数個連らなって配列する。せん孔は単せん孔。道管の平均径は放射方向 $122\mu\text{m}$ 、接線方向 $101\mu\text{m}$ 、最大径 $177\mu\text{m}$ 、分布数 $13.9\text{ケ}/\text{mm}^2$ 、面積率13.0%。壁孔の形はだ円形～円形で、比較的密に分布し、交互配列に近い。道管と放射組織との壁孔は円形～だ円形。

薄型のチロースが多い。

柔 組 織：網目～細かい帯状。

放射組織：単列と多列。多列放射組織は2～3細胞幅。異性Ⅰ～Ⅱ型。板目面における面積率は17.7%。

## 2. 物理的性質

### 2・1 平均ミセル傾角・相対結晶度指数

X線を用いて平均ミセル傾角と相対結晶度指数を測定した。試験体は3樹種とも辺材，心材から採取した板目板で，寸法は繊維方向20mm，接線方向10mm，半径方向1.5mmである。X線回折装置は日本電子製JDB7D型で，測定は板目面投射による対称透過法により，シンチレーションカウンタを用いて，波高分析装置を併用した。なお測定は20℃，65%RHの恒温恒湿室で行なった。

#### 測定条件

管 電 圧：35.0kv  
 管 電 流：30.0mA  
 X 線：Cu, K $\alpha$ 線  
 solar slit :  $\phi = 2$  mm  
 receiving slit :  $\phi = 4$  mm  
 full scale : 2,000 cps  
 time const. : 1 sec.  
 chart speed : 600mm/hr.

#### 測定法

A)  $\theta$ ,  $2\theta = 32^\circ \sim 38^\circ$  走査, 走査速度  $0.5^\circ/\text{min}$ .

B)  $\theta = 17.4^\circ$  固定,  $2\theta = 34.8^\circ$  固定,  $\beta = -20 \sim 90^\circ$  回転

得られた回折曲線について，空気散乱による補正を行ない，ついで測定法Aで得られた(040)面回折曲線の底部をなめらかな曲線で結ぶことによって，結晶回折のBase lineを定めた。つぎに測定法Bで得られた曲線から先に定めたBase lineを差しひいた。この曲線には(040)面の回折以外に面間隔のほぼ等しい(032), (231), (103)ならびに(311)面の回折が含まれている。しかし，これらの面の法線と(040)面のそれとのなす角は約 $40^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ なので，曲線上で分離することができる。本報では(040)面の主極大がいずれの試料でも $\beta = 0^\circ$ に出現したので，他の面の回折曲線，とくに $\beta = 40^\circ$ に主極大をもつ(023)面の回折曲線をフリーハンドで分離した。分離した(040)面の回折曲線を $f(\varphi)$ とすれば，板目面内における平均ミセル傾角 $\overline{\varphi}_p$ ，木材全体における平均ミセル傾角 $\overline{\varphi}_w$ ，さらに相対結晶度指数 $C_{ri}$ はそれぞれ下記の式で求めることができる。

$$\overline{\varphi}_p = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \varphi f(\varphi) d\varphi}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} f(\varphi) d\varphi}$$

$$\overline{\varphi}_w = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \varphi \sin \varphi f(\varphi) d\varphi}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi f(\varphi) d\varphi}$$

$$C_{ri} = \frac{\int_0^{\pi} \sin \varphi f(\varphi) d\varphi}{\int_0^{\pi} \sin \varphi f(\varphi) d\varphi + \int_0^{\pi} \sin \varphi \cdot C d\varphi}$$

ただし、Cは非晶による回折強度で、測定法Aで求めたBase lineに相当する。測定結果を表-1に示す。なお表中、( )内の数値は既報<sup>1,2)</sup>の方法で求めた値である。

平均ミセル傾角の測定法は未だ確立されていないが、本報の方法は(040)面のみから求めたという点で理論的であり、測定値も他の手法、例えば光学顕微鏡で求めた値に近い。しかし、回折曲線の分離過程で誤差を生じる場合もあるので、そのような恐れのない既報の方法<sup>1,2)</sup>も捨てがたい。その場合、(040)面以外の回折が混入するので、数値は試料間の比較に限らねばならない。相対結晶度指数についても同様である。そのような観点で今回の数値を眺めると、マコーレは平均ミセル傾角が大きく、オバンコールは相対結晶度指数が大きいと言えよう。辺材と心材とで、平均ミセル傾角に差がみられなかったことも、広葉樹材の一般的な特徴と一致している。

表-1. 平均ミセル傾角と相対結晶度指数

Table-1. Mean micellar angle and relative crystallinity index

	position	$\overline{\varphi}_p$ degree	$\overline{\varphi}_w$ degree	$C_{ri}$ (%)
Makore	sap wood	12.6(32.4)	19.0(51.0)	5.9(21.0)
	heart wood	12.4(40.1)	19.3(55.9)	3.4(19.6)
Sapele	sap wood	6.9(29.9)	11.8(52.8)	5.2(27.5)
	heart wood	7.5(32.7)	12.3(53.5)	4.1(24.9)
Ovangkol	sap wood	7.1(22.6)	13.1(48.7)	7.0(27.6)
	heart wood	7.5(25.7)	12.9(51.4)	9.0(22.1)

$\overline{\varphi}_p$  : mean micellar angle in tangential plane

$\overline{\varphi}_w$  : mean micellar angle in whole

$C_{ri}$  : relative crystallinity index

The values in parentheses are obtained by the way of the former reports<sup>1,2)</sup>.

## 2・2 比重と収縮率

試験体の採取方法・形状寸法・測定方法は前報<sup>1)</sup>と同様である。

図-4に気乾比重と接線方向、半径方向の平均収縮率の変化を、樹心からの相対距離にもとずいて示す。なおその際、心材を樹心部、中央部、外周部と三つの部位に分け、それと辺材の四つの部位に分けて示した。図中の記号は樹心部が△、心材の中央部が□、心材の外周部が▽、辺材部が○で示されている。

前報<sup>1)</sup>において樹心から周辺部に向っての比重の変動は樹種によって、四つのパターン、すなわちA型—樹心から周辺部に向って増加するもの、B型—ある部位までは増加し、以後ほぼ一定となるもの、B'型—部位によらずほぼ一定のもの、C型—ある部位までは増加し、以後下降するもの、に類別化することが出来ることを示した。

図-4から解るようにマコーレとオバンコールはややA型に近いB型を示し、樹心部における比重はそれほど小さくない。また、辺材部において急激な比重の低下がみられ、辺材部が全体で一番低い値を示した。それに対し、サペリは樹心部から比重は急激に増加し、その後安定するC型に近いB型を示し、辺材部における比重の低下は認められない。

一般に南洋材では樹心部における比重が低いものが多く、今まで報告<sup>1,2)</sup>した南洋材7種についても全てA型を示したことと比較して、本報告のアフリカ材3樹種は南洋材と少し違う傾向を示した。

図-5に平均収縮率と気乾比重の関係を、表-2にその回帰直線式と相関係数を、樹心部から辺材までの全部位についての場合と、樹心部と辺材部を除いた心材部位だけの場合に分けて示す。

マコーレ、オバンコールは全体でみると比重と良い正の相関を示す。しかし、辺材部、樹心部を除くと相関が落ちる。これは、比重の差が小さくなったためと思われる。それに対しサペリには全体でみると相関がまったく認められず、前者と反対に辺材部、樹心部を除いた場合には良い相関が認められた。これは比重の低い樹心部が高い収縮率を示していることに起因している。また、全般に、特にマコーレは比重が比較的高い割には小さい収縮率を示している。

### 3. 機械的性質

試験体の採取方法・形状寸法・測定方法は前報<sup>1)</sup>と同様JIS規格に準じて行なった。試験体数は樹種によって多少異なるが、前節で示した樹心から辺材までの各部位それぞれ4~10個であった。

図-6~16に気乾比重と各試験結果との関係を、表-2にその回帰直線式と相関係数および平均値と範囲を、樹心から辺材までの全部位についての場合と、樹心部と辺材を除いた心材部分だけについての場合とに分けて示す。図中の記号は図-4と同様、樹心部から周辺部に向って△, □, ▽, ○の順で各部位を示している。

気乾比重を基準にして一般的な南洋材の値と比較すると3樹種ともほぼ妥当な値を示しているが、マコーレの衝撃の値は比重の高いわりにかなり低い値を示した。各樹種ごとの比重と各種機械的性質との相関をみると表-2から解るように3樹種とも全体に相関係数の値は小さい。前報<sup>1,2)</sup>における南洋材7種の場合、カロフィルムを除くすべての樹種で比重と各種機械的性質との相関は非常によく、ほとんどの項目の相関係数が0.8を超え、0.9を超えるものも多かつ

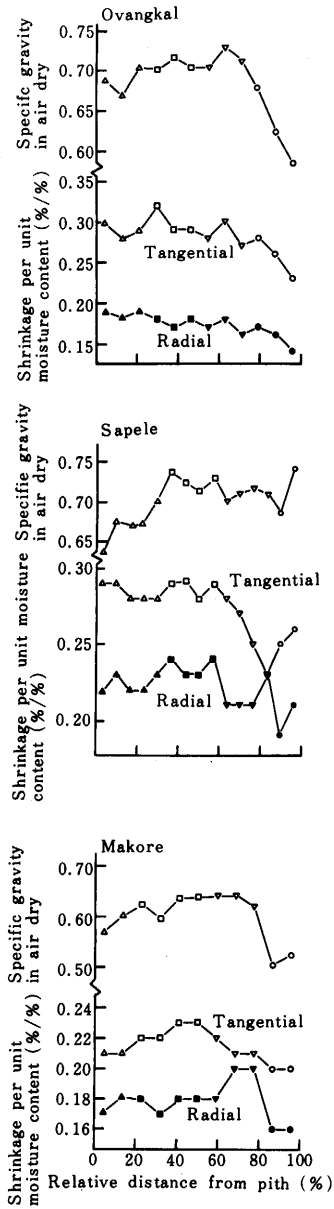


図-4 樹心からの相対距離に対する気乾比重と平均収縮率の変動。  
 △：樹心部 □：心材中央部  
 ▽：心材外周部 ○：辺材

Fig. 4 Change of specific gravity in air dry and shrinkage per unit moisture content in relation to the relative distance from the pith.

△: the inner part of heartwood □: the center of heartwood ▽: the outer part of heartwood ○: sapwood

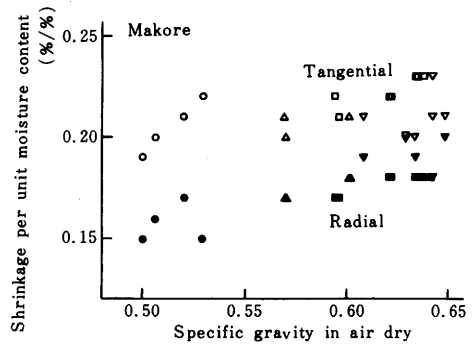
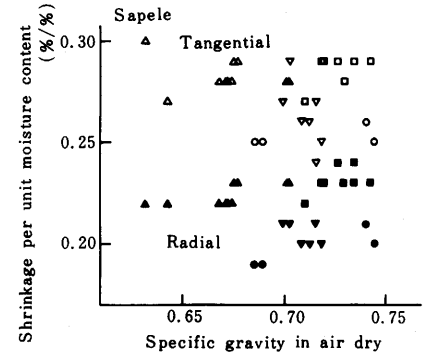
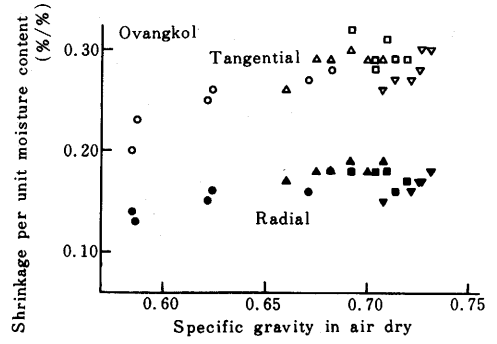


図-5 気乾比重と平均収縮率との関係  
 記号は図-4 と同じ。

Fig. 5 Relation between shrinkage per unit moisture content and specific gravity in air dry.  
 Symbols: refer to Fig. 4



表-2. 物理的・機械的性質試驗結果 (氣乾狀態)

Table-2. Results of investigation of several physical and mechanical properties in air dry.

Ovangkol			Heartwood(included pith-part) and Sapwood		Heartwood(excluded pith-part)	
Specific gravity in air dry	$r_a$	Mean Range	0.690 0.585~0.731		0.714 0.692~0.731	
Moisture content	M. C. (%)	Mean Range	13.8 13.0~14.5		14.1 13.7~14.5	
Shrinkage per unit moisture content	$\alpha_r$ (%/%)	Mean Range	0.169 0.190~0.130	$y=0.228x+0.01$ $r=0.623^{**}$	0.170 0.180~0.150	$y=-0.173x+0.294$ $r=-0.190$
	$\alpha_t$ (% $t$ /%)	Mean Range	0.278 0.320~0.200	$y=0.480x-0.05$ $r=0.776^{**}$	0.288 0.320~0.260	$y=-0.300x+0.503$ $r=-0.196$
Compression parallel to grain	$E_c$ (//) ( $\times 10^4$ kg/cm $^2$ )	Mean Range	12.9 17.8~7.5	$y=16.9x+1.2$ $r=0.356$	13.1 15.1~10.4	$y=-8.79x+19.5$ $r=-0.110$
	$\sigma_c$ (//) (kg/cm $^2$ )	Mean Range	521 589~383	$y=887x-91$ $r=0.779^{**}$	543 576~525	$y=57.6x+501$ $r=0.067$
	$\sigma_p$ (//) (kg/cm $^2$ )	Mean Range	397 551~261	$y=444x+90$ $r=0.348$	407 444~302	$y=-1870x+1760$ $r=-0.961^{**}$
Compression perpendicular to grain	$E_c$ ( $\perp$ ) ( $\times 10^4$ kg/cm $^2$ ) Tang.	Mean	5.46	$y=2.11x+4.01$	5.42	$y=3.41x+2.97$
		Range	6.28~4.64	$r=0.229$	5.87~4.64	$r=0.159$
	$\sigma_p$ ( $\perp$ ) (kg/cm $^2$ )	Mean	74.5	$y=127x+13$	76.9	$y=230x+88$
		Range	89.8~54.5	$r=0.594^{**}$	88.2~65.7	$r=0.528$
$E_c$ ( $\perp$ ) ( $\times 10^4$ kg/cm $^2$ ) Rad.	Mean	7.38	$y=4.91x+4.02$	7.68	$y=-17.5x+20.1$	
	Range	8.21~6.20	$r=0.368$	8.21~6.85	$r=-0.636^*$	
Static bending	$E_b$ ( $\times 10^4$ kg/cm $^2$ )	Mean	11.6	$y=13.0x+2.6$	11.8	$y=20.8-3.1$
		Range	13.4~9.75	$r=0.630^{**}$	12.8~10.7	$r=0.337$
Impact bending	$\sigma_b$ (kg/cm $^2$ )	Mean	1060	$y=2190x-456$	1110	$y=2460x-652$
		Range	1210~756	$r=0.746^{**}$	1200~991	$r=0.343$
Shearing strength	$\tau_t$ (kg/cm $^2$ )	Mean	0.824	$y=3.26x-1.43$	0.892	$y=3.54x-1.63$
		Range	1.35~0.33	$r=0.448^*$	1.23~0.45	$r=0.295$
Brinell hardness	$\tau_r$ (kg/cm $^2$ )	Mean	187	$y=306x-21$	191	$y=-93.7x+257$
		Range	215~155	$r=0.820^{**}$	202~182	$r=-0.177$
Cleavage strength	$H_c$ (kg/mm $^2$ )	Mean	193	$y=302x-15$	197	$y=-333x+432$
		Range	237~152	$r=0.571^{**}$	237~171	$r=-0.149$
		Mean	5.67	$y=14.2x-3.9$	6.11	$y=-1.82x+7.42$
Brinell hardness	$H_t$ (kg/mm $^2$ )	Range	6.72~3.96	$r=0.810^{**}$	6.72~5.21	$r=-0.047$
		Mean	2.42	$y=7.22x-2.49$	2.73	$y=10.9x-5.1$
		Range	3.00~1.63	$r=0.844^{**}$	3.00~2.35	$r=0.556$
Cleavage strength	$H_r$ (kg/mm $^2$ )	Mean	1.93	$y=5.34x-1.70$	2.07	$y=843x-3.95$
		Range	2.25~1.31	$r=0.906^{**}$	2.25~1.89	$r=0.700^{**}$
		Mean	18.9	$y=-12.1x+2.76$	18.5	$y=59.7x-25.6$
Cleavage strength	$C_t$ (kg/cm)	Range	26.1~9.6	$r=-0.147$	26.1~12.9	$r=0.203$
		Mean	26.9	$y=25.8x+8.4$	27.8	$y=-115x+112$
Cleavage strength	$C_r$ (kg/cm)	Range	35.0~18.0	$r=0.243$	35.0~18.0	$r=-0.289$

## Sapele

			Heartwood(included pith-part) and Sapwood		Heartwood(excluded pith-part)	
Specific gravity in air dry	$\gamma_a$	Mean Range	0.702 0.632~0.744		0.719 0.699~0.742	
Moisture content	M. C. (%)	Mean Range	14.5 14.0~15.3		14.5 14.0~15.2	
Shrinkage per unit moisture content	$\alpha_r$ (%/%)	Mean Range	0.218 0.240~0.190	$y=0.031x+0.196$ $r=0.063$	0.219 0.240~0.200	$y=0.825x-0.374$ $r=0.704^{**}$
	$\alpha_t$ (%/%)	Mean Range	0.275 0.300~0.240	$y=-0.100x+0.345$ $r=-0.179$	0.275 0.290~0.240	$y=0.607x-0.161$ $r=0.442$
Compression parallel to grain	$E_c$ (//) ( $\times 10^4 \text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	16.9 20.6~13.2	$y=56.1x-23.0$ $r=0.534^*$	18.4 20.6~15.6	$y=-9.1x+25.0$ $r=-0.062$
	$\sigma_c$ (//) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	608 702~457	$y=1840x-687$ $r=0.624^{**}$	649 702~594	$y=719x+129$ $r=0.255$
	$\sigma_p$ (//) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	494 611~328	$y=2790x-1480$ $r=0.655^{**}$	569 611~503	$y=722x+46.3$ $r=0.231$
Compression prependicular to grain	$E_c$ ( $\perp$ ) ( $\times 10^4 \text{kg/cm}^2$ ) Tang.	Mean	4.66	$y=4.3x+1.6$	4.74	$y=-4.7x+8.1$
		Range	5.50~4.03	$r=0.311$	5.50~4.27	$r=-0.153$
	$\sigma_p$ ( $\perp$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean	46.9	$y=19.9x+32.6$	47.7	$y=167x-73.2$
		Range	59.4~37.5	$r=0.086$	54.3~37.5	$r=0.391$
$E_c$ ( $\perp$ ) ( $\times 10^4 \text{kg/cm}^2$ ) Rad.	Mean	6.57	$y=7.11x+1.52$	6.74	$y=-5.87x+11.0$	
	Range	7.33~5.26	$r=0.311$	7.19~5.26	$r=-0.107$	
$\sigma_p$ ( $\perp$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean	74.8	$y=86.1x+13.7$	80.3	$y=-598x+512$	
	Range	94.1~57.1	$r=0.245$	94.1~62.2	$r=-0.657^*$	
Static bending	$E_b$ ( $\times 10^4 \text{kg/cm}^2$ )	Mean	13.5	$y=8.2x+7.7$	14.2	$y=6.0x+9.9$
		Range	15.3~10.4	$r=0.123$	15.3~13.1	$r=0.114$
	$\sigma_b$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean	1300	$y=3280x-1050$	1400	$y=1330x+2360$
		Range	1480~974	$r=0.417^*$	1480~1230	$r=0.245$
Impact bending	$U$ ( $\text{kg} \cdot \text{m/cm}^2$ )	Mean Range	0.82 1.13~0.11	$y=3.98x-1.99$ $r=0.487^*$	0.84 1.13~0.63	$y=1.40x-0.16$ $r=0.196$
Shearing strength	$\tau_t$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean	166	$y=200x+25.4$	170	$y=490x-181$
		Range	181~136	$r=0.441$	181~136	$r=0.449$
	$\tau_r$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean	160	$y=325x-69$	167	$y=523x-209$
		Range	188~137	$r=0.580^{**}$	188~138	$r=0.506$
Brinell hardness	$H_c$ ( $\text{kg/mm}^2$ )	Mean	6.05	$y=4.40x+2.93$	6.10	$y=19.7x-8.04$
		Mean	7.11~5.27	$r=0.133$	7.11~5.27	$r=0.319$
	$H_t$ ( $\text{kg/mm}^2$ )	Mean Range	2.33 2.67~1.95	$y=9.73x-4.59$ $r=0.869^{**}$	2.41 2.67~2.25	$y=9.64x-4.53$ $r=0.704^*$
	$H_r$ ( $\text{kg/mm}^2$ )	Mean Range	1.91 2.10~1.65	$y=2.61x+0.05$ $r=0.388$	1.99 2.19~1.84	$y=9.64x-4.53$ $r=0.171$
Cleavage strength	$C_t$ ( $\text{kg/cm}$ )	Mean	28.8	$y=-19.6x+43.2$	29.0	$y=-142x+135$
		Range	37.9~20.9	$r=-0.182$	37.9~20.9	$r=-0.389$
	$C_r$ ( $\text{kg/cm}$ )	Mean Range	29.4 37.4~16.3	$y=74.5x-25.1$ $r=0.439^*$	32.7 37.4~26.1	$y=12.7x+23.2$ $r=0.055$

## Makore

			Heartwood(included pith-part) and Sapwood		Heartwood(excluded pith-part)	
Specific gravity in air dry	$r_a$	Mean Range	0.599 0.500~0.648		0.627 0.594~0.648	
Moisture content	M. C. (%)	Mean Range	13.3 12.6~14.5		13.1 12.6~13.4	
Shrinkage per unit moisture content	$\alpha_r$ (%/%)	Mean Range	0.177 0.200~0.150	$y=0.224x+0.043$ $r=0.819^{**}$	0.183 0.200~0.170	$y=0.251x+0.025$ $r=0.472$
	$\alpha_t$ (%/%)	Mean Range	0.214 0.230~0.190	$y=0.131x+0.135$ $r=0.523^*$	0.219 0.230~0.200	$y=0.054x+0.184$ $r=0.085$
Compression parallel to grain	$E_c$ (//) ( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	2.39 2.61~1.97	$y=1.49x+1.46$ $r=0.382$	2.43 2.61~2.09	$y=1.75x+1.29$ $r=0.141$
	$\sigma_c$ (//) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	471 540~398	$y=831x-43$ $r=0.785^{**}$	500 540~448	$y=2370x-1050$ $r=0.795^{**}$
	$\sigma_p$ (//) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	327 413~259	$y=583x-34$ $r=0.638^{**}$	338 388~286	$y=1490x-633$ $r=0.673^*$
Compression perpendicular to grain	$E_c$ ( $\perp$ ) ( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ ) Tang.	Mean	4.91	$y=12.1x-2.37$	5.37	$y=16.5x-5.24$
		Range	6.06~3.62	$r=0.856^{**}$	6.06~4.62	$r=0.645^*$
	$\sigma_p$ ( $\perp$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ) Rad.	Mean	71.9	$y=271x-91$	82.1	$y=374x-157$
		Range	92.5~44.9	$r=0.954^{**}$	92.5~70.2	$r=0.908^{**}$
$E_c$ ( $\perp$ ) ( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	Mean	6.65	$y=15.6x-2.87$	7.45	$y=-0.427x+7.73$	
	Range	8.04~5.07	$r=0.836^{**}$	8.04~7.04	$r=-0.023$	
$\sigma_p$ ( $\perp$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean	108	$y=315x-83$	123	$y=-178x+239$	
	Range	172~60.3	$r=0.603^{**}$	137~95.5	$r=-0.224$	
Static bending	$E_b$ ( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	8.47 9.79~6.00	$y=1.18x+7.78$ $r=0.093$	8.53 9.79~6.82	$y=1.65x+7.53$ $r=0.047$
	$\sigma_b$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	836 1040~498	$y=10.1x+830$ $r=0.005$	810 1010~498	$y=744x+353$ $r=0.110$
Impact bending	$\bar{U}$ ( $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$ )	Mean Range	0.274 0.397~0.142	$y=0.596x-0.059$ $r=0.634^{**}$	0.299 0.397~0.248	$y=0.579x-0.055$ $r=0.398$
Shearing strength	$\tau_t$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	146 171~102	$y=290x-20$ $r=0.825^{**}$	162 171~151	$y=-47.0x+191$ $r=-0.191$
	$\tau_r$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mean Range	155 179~111	$y=299x-17$ $r=0.874^{**}$	169 179~156	$y=112x+100$ $r=0.472$
Brinell hardness	$H_c$ ( $\text{kg/mm}^2$ )	Mean Range	4.53 5.50~3.42	$y=5.91x+1.05$ $r=0.483$	4.66 5.50~3.46	$y=4.58x+1.79$ $r=0.113$
	$H_t$ ( $\text{kg/mm}^2$ )	Mean Range	2.00 2.55~1.37	$y=6.73x-1.96$ $r=0.850^{**}$	2.22 2.55~1.58	$y=11.4x-4.92$ $r=0.572$
	$H_r$ ( $\text{kg/mm}^2$ )	Mean Range	1.50 1.84~1.06	$y=4.59x-1.20$ $r=0.903^*$	1.66 1.84~1.46	$y=2.51x+0.08$ $r=0.299$
Cleavage strength	$C_t$ ( $\text{kg/cm}$ )	Mean Range	22.9 33.4~12.4	$y=27.4x+6.4$ $r=0.387$	24.2 33.4~17.6	$y=23.0x+9.1$ $r=0.191$
	$C_r$ ( $\text{kg/cm}$ )	Mean Range	24.7 38.4~16.6	$y=33.3x+4.6$ $r=0.319$	27.2 38.4~16.6	$y=12.4x+19.2$ $r=0.057$

- Notes.  $\alpha_r$  : radial shrinkage,  $\alpha_t$  : tangential shrinkage  
 $E_c$  : young's modulus in compression,  $\sigma_c$  : ultimate strength in compression  
 $\sigma_p$  : stress at proportional limit  
 $E_b$  : young's modulus in static bending,  $\sigma_b$  : modulus of rupture in static bending  
 $U$  : absorbed energy in impact bending  
 $\tau_t$  : shearing strength (tangential surface),  $\tau_r$  : shearing strength (radial surface)  
 $H_c$  : cross section hardness,  $H_r$  : radial section hardness,  $H_t$  : tangential section hardness  
 $C_t$  : cleavage strength (tangential surface),  $C_r$  : cleavage strength (radial surface)  
 \*\* : significant at 99%, \* : significant at 95%

た。それに比べ、今回のアフリカ産材は相関係数が0.9を超えるものはマコーレ接線方向横圧縮の比例限度力 ( $r=0.954$ )、柎目面硬さ ( $r=0.903$ )、オバンコール柎目面硬さ ( $r=0.906$ ) の3項目にすぎない。特にサペリは板目面硬さ ( $r=0.869$ ) を除いて全て相関係数が0.7を下まわった。しかし、統計的処理をするとマコーレとオバンコールは多くの機械的性質が1%の危険率で比重との相関が認められた(表-2の\*\*印)。サペリは比重との相関が認められたものは縦圧縮強さ、縦圧縮比例限度力、柎目面剪断強さ、板目面硬さの4項目にすぎない。

今回の3樹種および前報のカロフィルムともにバラツキが大きく比重と相関が悪くなるのは木理が交錯していることが原因の一つではないかと考えられる。

また、3樹種ともに樹心部と辺材部を除いた心材部だけに限っても相関が良くなることはなく、まったく相関がない、あるいは負の相関を示すようになる。

#### 4. 摘要

前報<sup>1,2)</sup>に続き、オバンコール (*Guibourtia* sp.)、サペリ (*Entandrophragma* sp.) およびマコーレ (*Tieghemella* sp.) の基礎的材質を検討した。供試原木は市場材各1本で、収縮率および機械的性質については各試験体を樹心から辺材まで、連続して採取した。

調査した基礎的材質は次の通りである。

- 1) 組織構造
- 2) 物理的性質
  - (1) 平均ミセル傾角と相対結晶度指数
  - (2) 樹幹内比重分布
  - (3) 収縮率
- 3) 機械的性質

圧縮・曲げ・衝撃曲げ・剪断・割裂・硬さ試験

試験の結果、気乾比重と収縮率および各種機械的性質との相関は前報の南洋材に比べると良くなかった。とくに、サペリの場合は相関はほとんど認められなかった。これは3樹種ともに認められる交錯木理が原因しているものと考えられる。

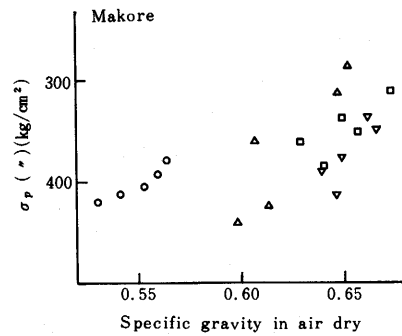
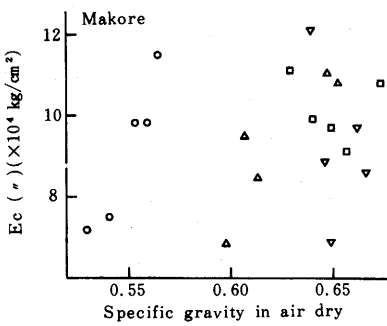
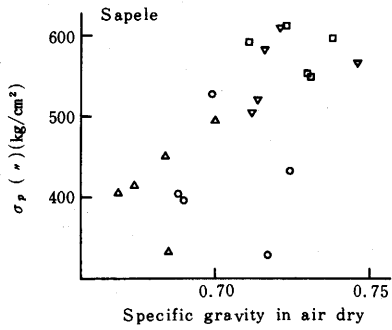
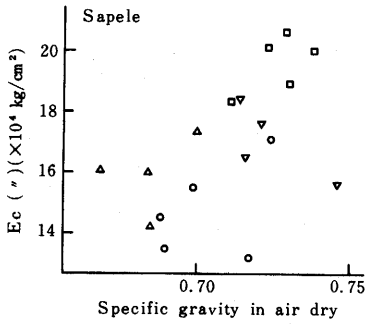
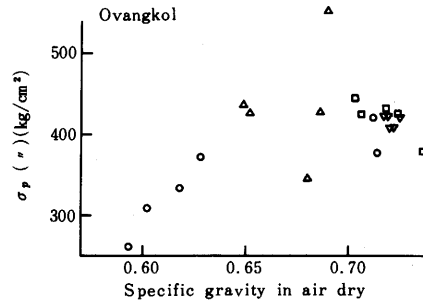
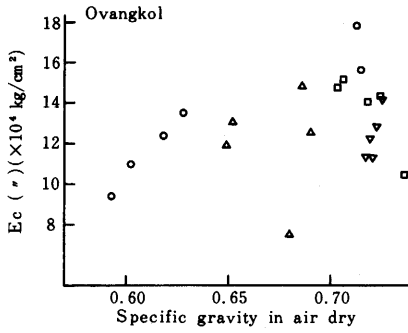


図-6 縦圧縮ヤング係数( $E_c(//)$ )と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ。

Fig. 6 Relation between young's modulus in compression parallel to grain ( $E_c(//)$ ) and specific gravity in air dry. Symbols : refer to Fig. 4

図-7 縦圧縮比例限度力( $\sigma_p(//)$ )と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ。

Fig. 7 Relation between stress at proportional limit in compression parallel to grain ( $\sigma_p(//)$ ) and specific gravity in air dry. Symbols : refer to Fig. 4

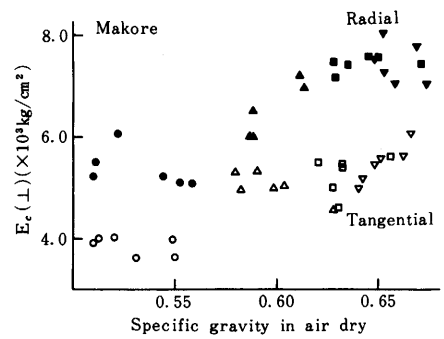
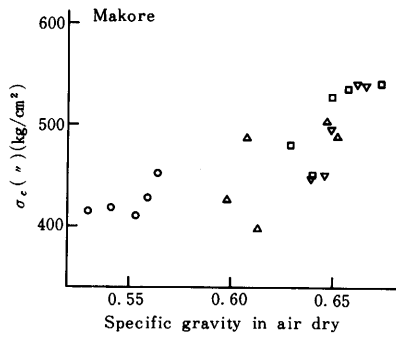
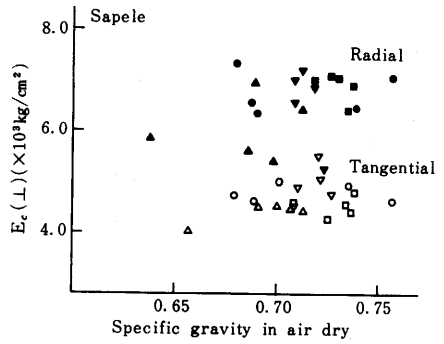
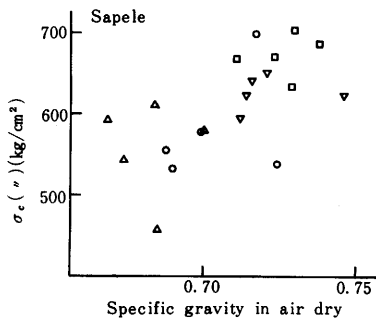
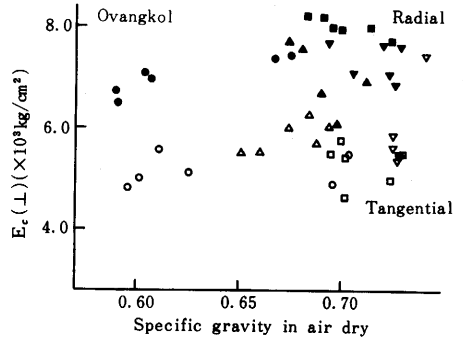
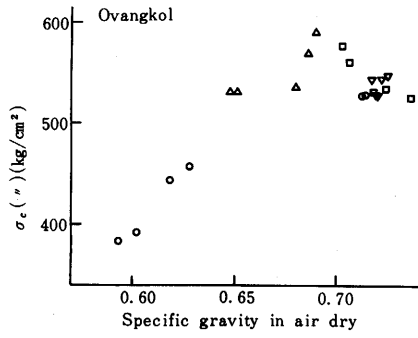


図-8 縦圧縮破壊係数 ( $\sigma_c(\parallel)$ ) と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ

Fig. 8 Relation between ultimate strength in compression parallel to grain ( $\sigma_c(\parallel)$ ) and specific gravity in air dry.  
Symbols : refer to Fig. 4

図-9 横圧縮ヤング係数 ( $E_c(L)$ ) と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ

Fig. 9 Relation between young's modulus in compression perpendicular to grain ( $E_c(L)$ ) and specific gravity in air dry.  
Symbols : refer to Fig. 4

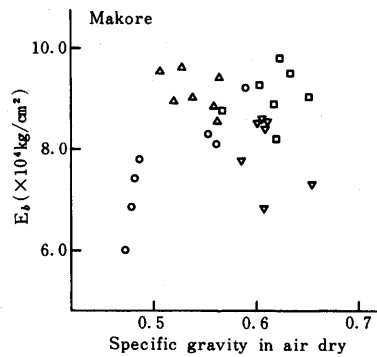
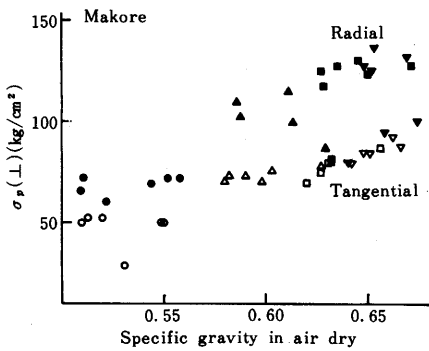
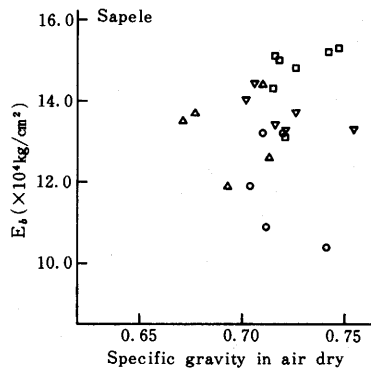
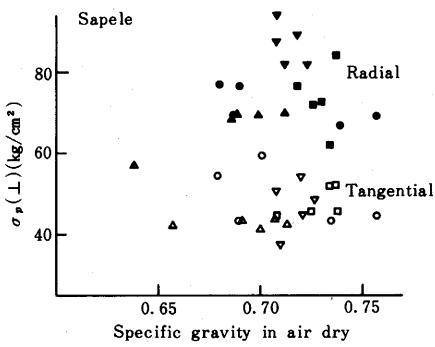
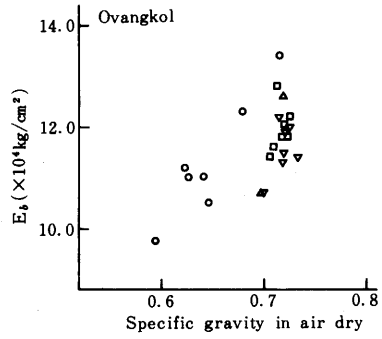
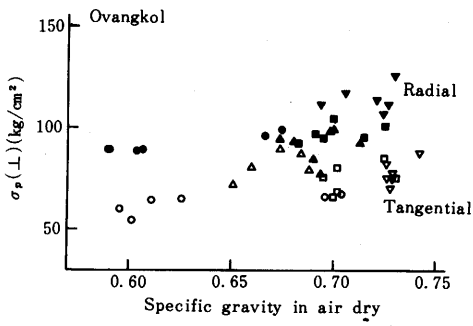


図-10 横圧縮比例限度応力( $\sigma_p(\perp)$ )と気乾比重との関係  
記号は図-4と同じ。

Fig. 10 Relation between stress at proportional limit in compression perpendicular to grain ( $\sigma_p(\perp)$ ) and specific gravity in air dry.  
Symbols : refer to Fig. 4

図-11 曲げヤング率( $E_b$ )と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ。

Fig. 11 Relation between young's modulus in static bending ( $E_b$ ) and specific gravity in air dry.  
Symbols : refer to Fig. 4

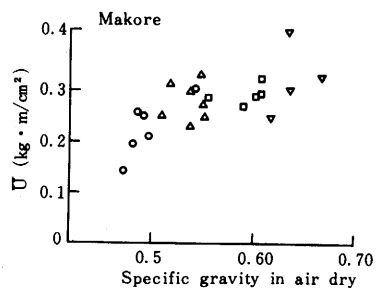
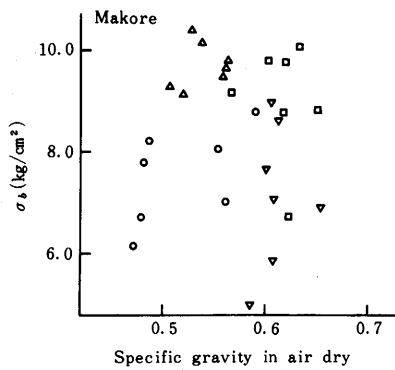
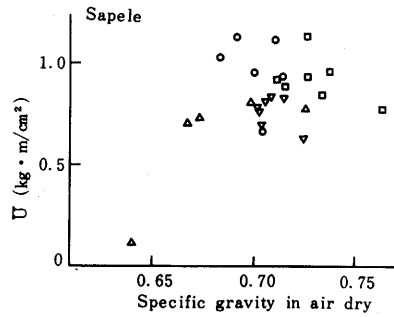
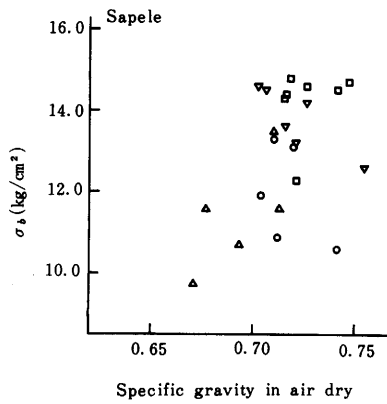
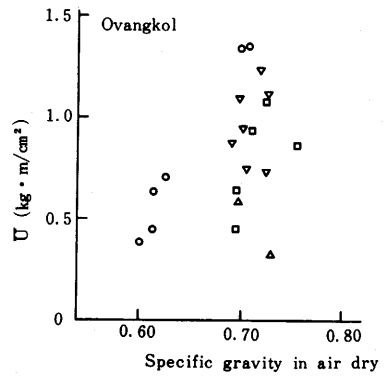
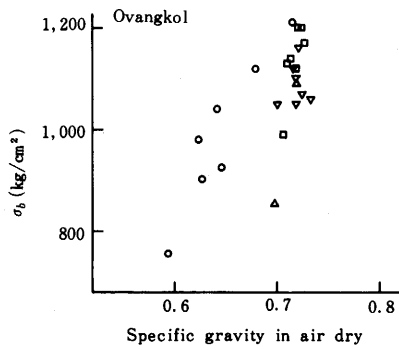


図-12 曲げ破壊係数 ( $\sigma_b$ ) と気乾比重との関係 記号は図-4 と同じ。

Fig. 12 Relation between modulus of rupture in static bending ( $\sigma_b$ ) and specific gravity in air dry. Symbols : refer to Fig. 4

図-13 衝撃曲げ吸収エネルギー ( $\bar{U}$ ) と気乾比重との関係 記号は図-4 と同じ。

Fig. 13 Relation between absorbed energy in impact bending ( $\bar{U}$ ) and specific gravity in air dry. Symbols : refer to Fig. 4



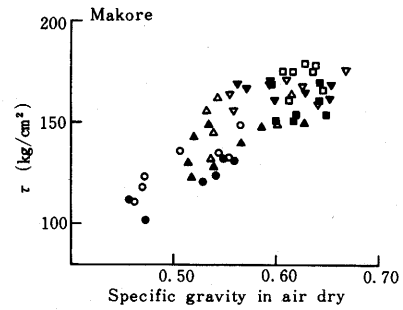
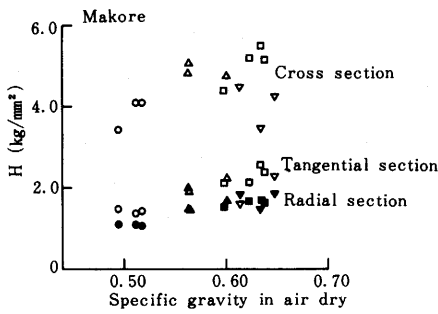
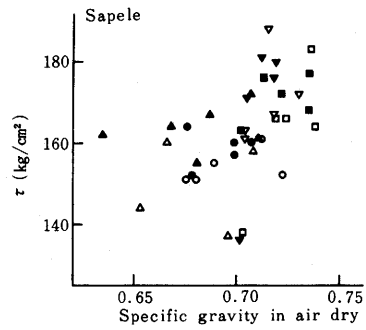
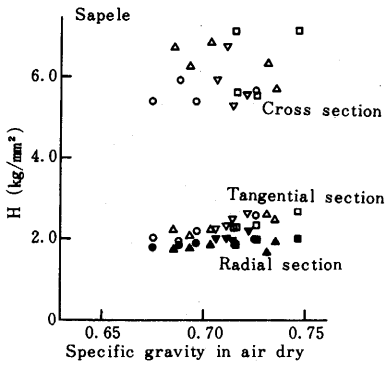
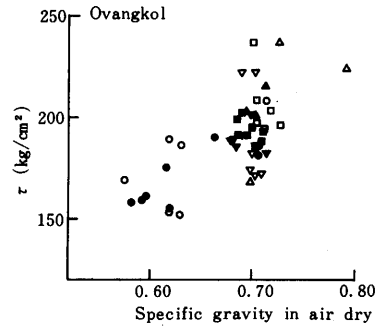
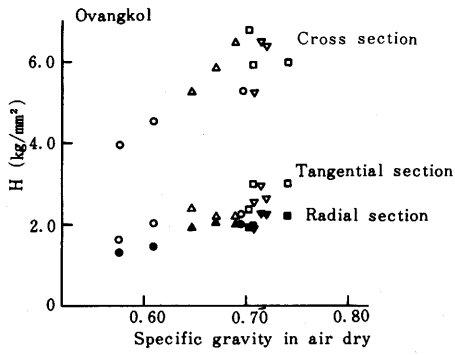


図-14 ブリネル硬さ(H)と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ。

Fig. 14 Relation between brinell hardness(H)and specific gravity in air dry.

Symbols : refer to Fig. 4

図-15 剪断強さ(τ)と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ

中空：柱目面  
中実：板目面

Fig. 15 Relation between shearing strength(τ)and specific gravity in air dry.

Symbols : refer to Fig. 4  
Open : radial surface  
Solid : tangential surface

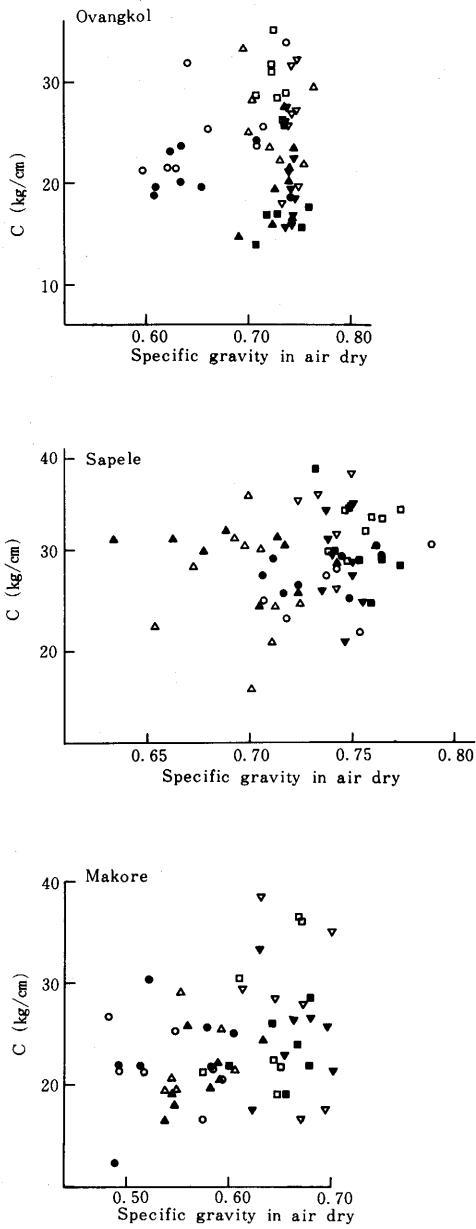


図-16 割裂強さ(C)と気乾比重との関係 記号は図-4と同じ。  
 中空：柁目面  
 中実：板目面

Fig. 16 Relation between cleavage strength(C)and specific gravity in air dry.  
 Symbols : refer to Fig. 4  
 Open : radial surface  
 Solid : tangential surface

## 5. 文 献

- 1) 岡野健・三城昭義・三輪雄四郎・平井信二：東大農演習林報告，第67号，20～50（1975）
- 2) 三城昭義・三輪雄四郎・岡野健・平井信二：東大農演習林報告，第68号，91～110（1975）
- 3) 農林省熱帯農業研究センター：熱帯の有用樹種。PP. 379～382, 410～414, 462～465, 熱帯林業協会，東京（1978）
- 4) Timber Research and Development Association：Timbers of the World, vol 1. PP 68～69, 99～100, 105～106, The Construction Press, Lancaster（1979）

（1981年5月30日受理）

## Summary

The fundamental properties of three African woods, Ovangkol (*Guibourtia* sp.), Sapele (*Entandrophragma* sp.) and Makore (*Tieghemella* sp.) were investigated. Measurements have been done with the specimens successively obtained from the pith to the sapwood. Methods of investigation were similar to those shown in previous reports, and the items were as follows

- 1) Anatomical structure
- 2) Physical properties
  - (1) The mean micellar angle and crystallinity index
  - (2) The variation of specific gravity in radial direction
  - (3) Shrinkage
- 3) Mechanical properties
  - (1) Compression (2) Bending (3) Impact bending (4) Cleavage strength (5) Shearing strength (6) Hardness

The results showed that neither shrinkage nor mechanical properties represent appreciable correlation with specific gravity in air dry in contrast to the good correlation observed in the South East Asian woods in previous reports. This disagreement is likely caused by interlocked grain of three African woods in this report.