

5. スラウェシー産材の切削特性

林 和 男 福 井 尚

Machinability of Sulawesi Woods

Kazuo HAYASHI and Hisashi FUKUI

5・1 はじめに

スラウェシー産材 41 種について、丸のこによる鋸断性、プレーナによる鉋削性および平削りによる切削性を調べた。このような被削性にかかわる試験には統一された試験法がなく、従来のデータと比較しにくいいため、必要に応じて従来試験されている材を併せて切削し、今回の樹種と比較できるようにした。なお、本報告に使用した記号は次の通りである。

H_v : 丸のこ切削における被削材の外側高さ

H_L : 丸のこ切削における被削材の内側高さ

d : 被削材の厚み (mm)

P_M : 一歯当りの主切削抵抗値 (kgf/cm)

P_u : 平均切削抵抗 (kgf/cm)

z : 歯数

z_c : 切削に従事している歯の数

φ : 切削弧に対する鋸中心角 (rad)

F_z : 一歯当りの送り量 (mm)

C_M : 一歯当りの切り込み量 (mm)

R_r : チップソーの半径 (mm)

ρ_a : 気乾比重

α, β : ρ_a と P_M の関係を示す実験式における定数

a, b : F_z と P_M の関係を示す実験式における定数

N : 主軸回転数 (rpm)

F : 送り速度 (m/min)

R'_{max} : 組織あらさを除去した加工面あらさ (μm)

μ_s : スポンジと加工面の静摩擦係数

R_f : すくい面に投影した刃先後退量 (μm)

P_c : プレーナ切削における平均的な切削方向分力 (kgf/cm)

F_v : 送りに垂直方向の分力 (kgf/cm)

W_E : 切削直後の加工誤差 (弾性回復量) (μm)

W_T : 全加工誤差 (μm)

ℓ : 切削長 (m)

P : 平削りにおける主分力 (kgf/cm)

△P: 主分力の変動幅 (kgf/cm)

5・2 丸のこ切削

5・2・1 実験条件

鋸断条件を表1に示す。同表で条件A, B, C, D, Eに使用した鋸は、チップソー（兼房刃物製, KS型）で径305mm, 歯数42（片側21）, 歯先厚さ3mm, 歯喉角20°, 横すくい角0°, 歯背角10°, 横にげ角10°である。また条件A', B'に使用した鋸は、チップソー（兼房刃物製, BC_s型）で、径305mm, 歯数36（片側18）, 歯先厚さ3mm, 歯喉角25°, 横すくい角5°, 歯背角15°, 横にげ角0°である。

Table 1. Sawing Conditions.

condition	N (rpm)	F (m/min)	F _z (mm)
A	1400	5	0.17
A'	1390	5	0.2
B	2800	5	0.085
B'	3000	5	0.092
C	2800	10	0.17
D	4200	15	0.17
E	2800	15	0.255

Note

1) A, B, C, D and E: number of saw tooth: 42, thickness of timber: 30 mm.

2) A', B': number of saw tooth: 36, thickness of timber: 37 mm.

被削材は41種中22種を生材とし残りの19種は気乾材とした。気乾材については条件Cだけで実験を行なったが、生材22種についてもA, B, C, D, Eのすべての条件で実験を行ったのは10種だけであり他の12種についてはA', B'の条件を適用した。試験材の厚さは3~3.7cmとし、コントロール材として用いたアピトンとメラッチは3cm厚のものを使用した。

実験は、向い挽き（counter sawing）で縦挽きを行なった。切削位置は $R_r - H_L = 4 \cdot d / 3$ とした。

上述のように、切削条件、被削材の厚さが異なっても、 P_M によれば相互の比較は可能である。 P_M は次式によって求めた。

$$P_M = P_u / z_c$$

$$z_c = \varphi \cdot z / 2\pi$$

その後、一歯当りの切り込み量（ C_M ）を、

$$C_M = \frac{F_z}{2} \left[\sqrt{1 - \left(\frac{H_L}{R_r}\right)^2} + \sqrt{1 - \left(\frac{H_V}{R_r}\right)^2} \right]$$

から求め¹⁾、両供試のこグループ間の切削抵抗値の換算を行なった。

Table 2. Average cutting force per tooth (green).

Botanical name		Specific Gravity ρ_a	CUTTING FORCE, P_M (kgf)				
			A* (A')	B* (B')	C*	D*	E*
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Dracontomelon sp.</i>	0.50	0.965	0.62	—	—	—
"	<i>Spondius sp.</i>	0.47	0.85	0.62	—	—	—
<i>Burseraceae</i>	<i>Canarium sp. (1)</i>	0.59	0.89	0.675	—	—	—
"	<i>Santiria sp. (1)</i>	0.45	0.765	0.63	—	—	—
"	<i>Santiria sp. (2)</i>	0.54	0.88	0.635	1.01	0.865	1.155
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia sp. (1)</i>	0.37	0.875	0.565	0.755	0.755	1.06
"	<i>Terminalia sp. (2)</i>	0.35	0.755	0.525	—	—	—
"	<i>Terminalia sp. (3)</i>	0.68	1.045	0.755	1.01	1.07	1.465
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Sapium sp. (1)</i>	0.39	0.825	0.75	—	—	—
<i>Lauraceae</i>	<i>Litsea sp. (1)</i>	0.40	0.92	0.69	—	—	—
"	<i>Litsea sp. (2)</i>	0.41	0.645	0.53	0.805	0.67	1.065
<i>Meliaceae</i>	<i>Aglaiia sp. (1)</i>	0.53	0.925	0.77	—	—	—
"	<i>Sandoricum sp. (1)</i>	0.41	0.715	0.53	0.68	0.68	0.855
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus sp. (1)</i>	0.52	0.71	0.545	—	—	—
<i>Sapotaceae</i>	<i>Palaquium sp. (1)</i>	0.50	0.83	0.44	0.78	0.78	0.94
<i>Simarubaceae</i>	<i>Ailanthus sp. (1)</i>	0.44	0.815	0.505	0.78	0.80	1.01
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Duabanga sp. (1)</i>	0.46	0.845	0.48	0.795	0.755	1.11
"	<i>Duabanga sp. (2)</i>	0.44	0.94	0.64	—	—	—
"	<i>Duabanga sp. (3)</i>	0.33	0.69	0.67	—	—	—
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Heritiera sp. (1)</i>	0.50	0.835	0.615	0.815	0.855	1.095
"	<i>Sterculia sp. (1)</i>	0.24	0.57	0.44	0.57	0.525	0.77
"	<i>Sterculia sp. (2)</i>	0.36	0.565	0.505	—	—	—
<i>Dipterocarpaceae</i>	<i>Dipterocarpus sp. *1</i>	0.68	1.035	0.72	1.1	1.075	1.35
"	<i>Shorea sp. *2</i>	0.39	0.78	0.49	0.77	0.81	0.935

*: Sawing conditions (refer to Table 1)

Empirical formulas ($P_M = \alpha\rho_a + \beta$)

A: $P_M = 0.908\rho_a + 0.407$ (R=0.737)

B: $P_M = 0.498\rho_a + 0.370$ (R=0.520)

C: $P_M = 1.099\rho_a + 0.308$ (R=0.925)

D: $P_M = 1.175\rho_a + 0.253$ (R=0.944)

E: $P_M = 1.392\rho_a + 0.416$ (R=0.892)

*1: Apitong, *2: Meranti

Table 3. Average cutting force per tooth under sawing condition c (air dry).

Botanical name	Specific Gravity ρ_a	Cutting force P_M (kgf)
<i>Anacardiaceae Koordersiodendron sp. (1)</i>	0.82	1.405
<i>Burseraceae Canarium sp. (1)</i>	0.58	1.215
<i>Celastraceae Lophopetalum sp.</i>	0.56	1.345
<i>Combretaceae Terminalia sp. (4)</i>	0.69	1.54
<i>Datisaceae Octomeles sp.</i>	0.39	0.615
<i>Gonystylaceae Gonystylus sp.</i>	0.55	1.00
<i>Guttiferae Calophyllum sp. (1)</i>	0.52	1.215
<i>Lauraceae Litsea sp. (3)</i>	0.50	1.165
<i>Meliaceae Dysoxylum sp.</i>	0.59	1.33
" <i>Artocarpus sp.</i>	0.29	1.02
<i>Moraceae Ficus sp. (2)</i>	0.49	0.99
<i>Myristicaceae (1) ———</i>	0.51	0.875
<i>Myrtaceae Eugenia sp.</i>	0.74	1.305
<i>Podocarpaceae Podocarpus sp. (1)</i>	0.54	0.785
<i>Sapindaceae Pometia sp. (1)</i>	0.71	1.475
<i>Sapotaceae Madhuca sp.</i>	1.06	1.455
" <i>Palaquium sp. (2)</i>	0.59	1.245
<i>Simarubaceae Ailanthus sp. (2)</i>	0.50	1.245
<i>Sterculiaceae Heritiera sp. (2)</i>	0.56	1.345

Empirical formula ($P_M = \alpha \rho_a + \beta$)

$$P_M = 0.997\rho_a + 0.596 \quad (R=0.647)$$

5. 2. 2 実験結果

(1) 切削抵抗

表2に22種の生材の P_M を示す。また、表3に19種の気乾状態の材の P_M を示す。図1, 2はそれぞれ条件A (A') およびB (B') の生材試験における気乾比重 (ρ_a) と P_M の関係である。条件B (B') の場合は条件A (A') の場合に比べバラツキが大きい。図2の破線内の樹種は、毛羽立ちが多いものである。ただし、他に、毛羽立ちが多いもので P_M が大きくないものが数樹種あった。また、条件B (B') の場合だけに毛羽立ちの影響が現われたのは、この条件では切り込み量が小さく、したがって切削抵抗が小さいため、摩擦力が大きな割合になり毛羽立ちの影響が目立ったものと考えられる。これらのグラフを参照して、いま ρ_a と P_M の関係を

$$P_M = \alpha \rho_a + \beta$$

という実験式で表わすと表2から挽材条件ごとに α , β は表4のようになる。

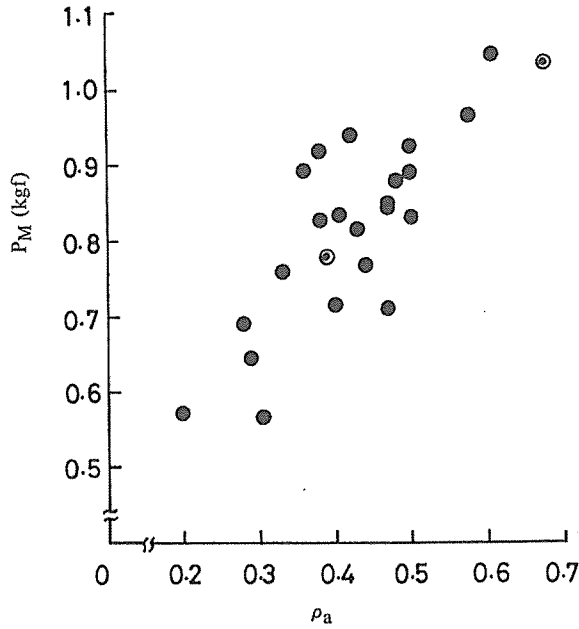


Table 4. Values of α and β in formulas $P_M = \alpha\rho_a + \beta$. *1

Sawing condition	α	β	R^{*2}
A (A')	0.908	0.407	0.737
B (B')	0.498	0.370	0.520
C	1.099	0.308	0.925
D	1.175	0.253	0.944
E	1.392	0.146	0.892

*1: Refer to the foot notes of Table 2.

*2: Corelation coefficient.

図3は生材10種とコントロール材アピトンおよびメランチについて F_z と P_M の関係を示す。鋸断条件は、B、C、Eである。 F_z が増加すれば、 P_M も直線的に増加する。実線はアピトン、一点鎖線はメランチ、破線は両者の平均値を示す。これらの関係を $P_M = aF_z + b$ とすれば、 a と比重の関係は図4のようになり（コントロール材については両者の平均値）、 F_z による P_M の増加割合は比重が大であれば、わずかではあるが大きくなる。この結果は青山²⁾の結果と類似している。図5は、気乾材19種を切削したときの P_M と ρ_a の関係である。 ρ_a が大きくなれば、 P_M も大きくなるが、*Madhuca*, *Podocarpus*, *Myristicaceae*, *Octomeles*は、若干小さな値を示した。直線回帰を行うと19種全体では、

$$P_M = 0.814 \rho_a + 0.487 \quad (R = 0.647),$$

上記の4種を除くと、

$$P_M = 0.774 \rho_a + 0.577 \quad (R = 0.727)$$

となった。

(2) 毛羽立ち

生材時に切削した22種について各条件ごとに加工面での毛羽立ちを目視で調べ、4段階にランク付けした。結果を表5に示す。また、鋸断条件Bの場合の ρ_a と毛羽立ちの程度との関係を図6に示す。これらによると毛羽立ちの程度は比重とあまり相関がない。一般に、 ρ_a が小さい程毛羽立ち易いように考えられるが、南洋材は交錯木理をもっている場合が多く、一般的な傾向には当てはまらない。事実、今回の場合も、交錯木理に沿って毛羽立ちは発生しており、交錯木理の程度、頻度によっても毛羽立ちの程度は大きく影響されるものと思われる。図7は F_z を0.17 mmと一定にしたときの切削速度と毛羽立ちの程度との関係である。スピードが速くなると、毛羽立ちの程度が低くなるものが多かった。

(3) 評価

生材状態で切削した22種について、コントロール材アピトンおよびメランチとの切削抵抗の比較をしてみた(表6)。評価1はメランチ以下、2はメランチとアピトンの間、3はアピトン以上である。表中、*Sapium*(1)、*Canarium*(1)、*Aglaia*の総合評価には符号に*印がついているがこれは鋸断条件A'で切削した場合に、主軸の回転が止まり材が割れて飛来したことがあることから、材中に鋸断しにくい部分が存在することを示すものである。特に*Sapium*では数回これが発生した。

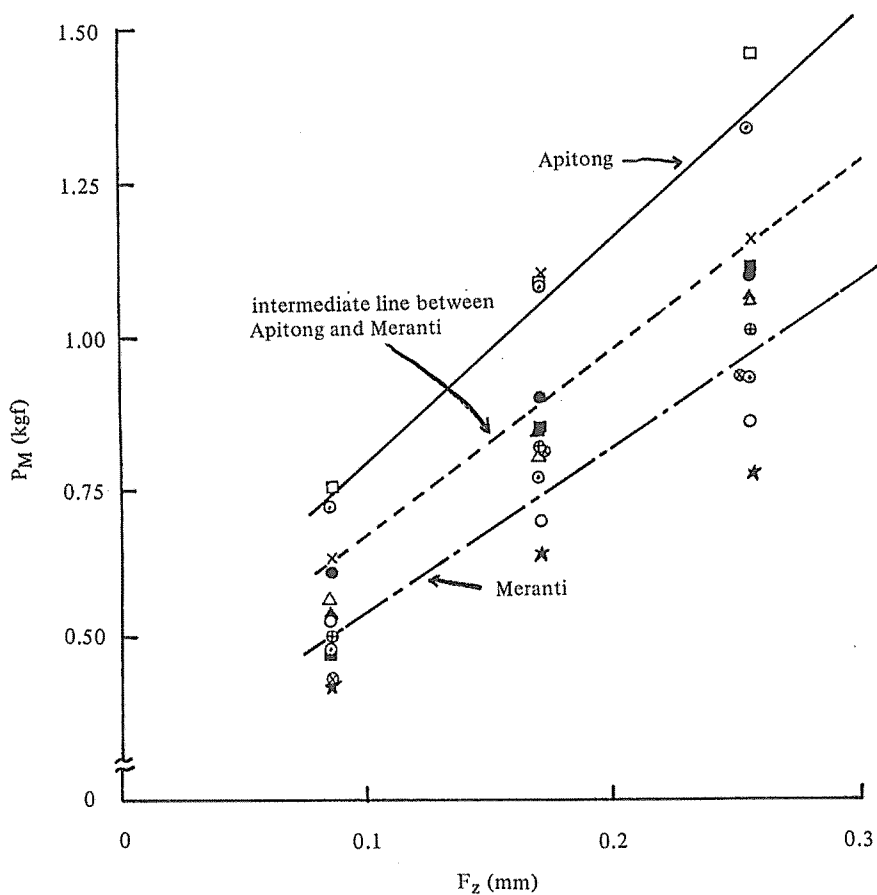


Fig. 3. Effect of feed per tooth (F_z) on P_M in rip sawing of green lumber by circular saw.
Spindle speed: 2800 rpm, feed speed: 5, 10 and 15 m/min.,
◎: Apitong (upper) and Meranti (lower).

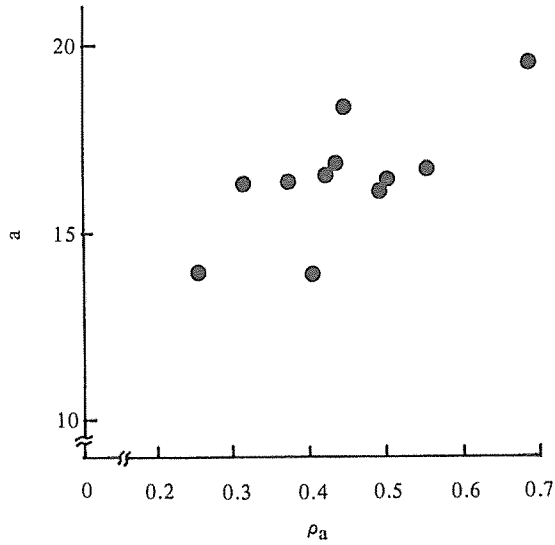


Fig. 4. Relationship between ρ_a and the values of a in linear function $P_M = aF_z + b$ assumed from Fig. 3.

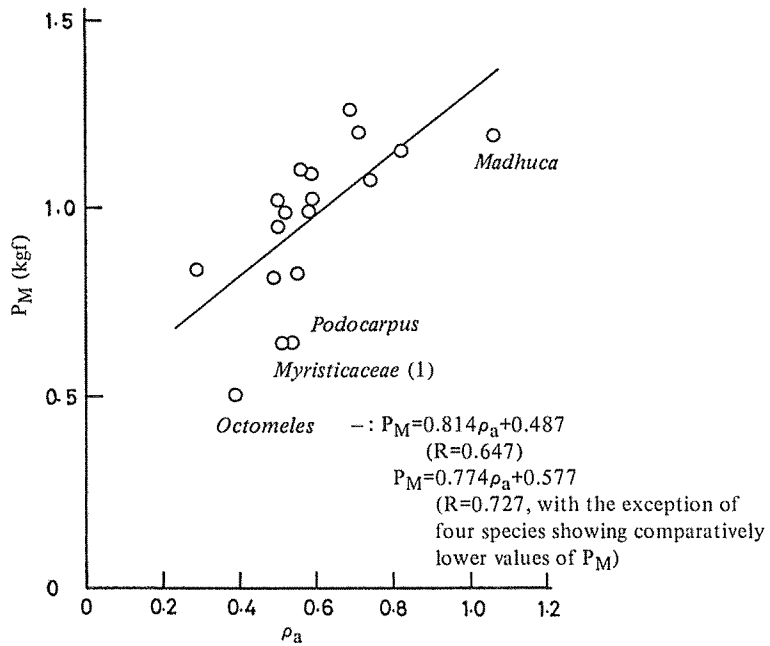


Fig. 5. Relationship between ρ_a and P_M in rip sawing of air dried lumber by circular saw.
 Spindle speed: 2800 rpm, feed speed: 10m/min.

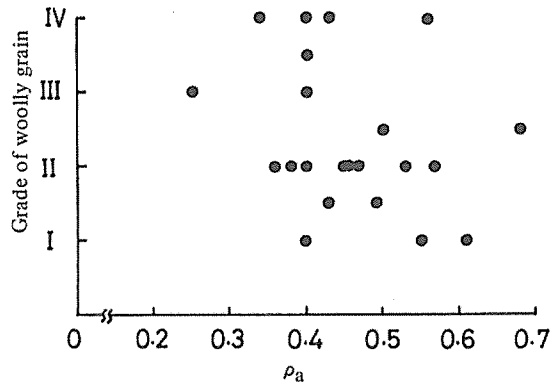


Fig. 6. Relationship between ρ_a and grade of woolly grain in rip sawing of green lumber by circular saw.
Spindle speed: 2800 or 3000 rpm, feed speed: 5 m/min.

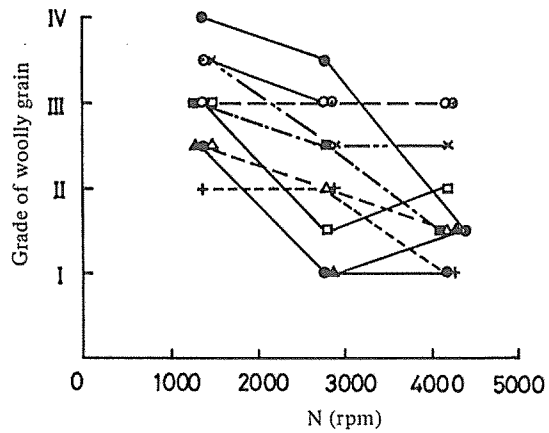


Fig. 7. Relationship between spindle speed (N) and grade of woolly grain in rip sawing of green lumber by circular saw.
 F_z was kept constant at 0.17 mm.

Table 5. Grade of woolly grain in green lumber

Botanical name		Sawing conditions				
		A	B	C	D	E
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Dracontomelon sp.</i>	II	II	-	-	-
"	<i>Koordersiodendron sp.</i> (1)	-	-	-	-	-
"	<i>Spondias sp.</i>	II	II	-	-	-
<i>Burseraceae</i>	<i>Canarium sp.</i> (1)	II-III	I	-	-	-
"	<i>Canarium sp.</i> (2)	-	-	-	-	-
"	<i>Santiria sp.</i> (1)	III	II	-	-	-
"	<i>Santiria sp.</i> (2)	II-III	II	I	I	I
<i>Celastraceae</i>	<i>Lophopetalum sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia sp.</i> (1)	II-III	II	II	I-II	II
"	" (2)	III-IV	II	-	-	-
"	" (3)	III	II-III	I-II	II	II
"	" (4)	-	-	-	-	-
<i>Datisceae</i>	<i>Octomeles sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Sapium sp.</i> (1)	II	II-III	-	-	-
<i>Gonystylaceae</i>	<i>Gonystylus sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Guttiferae</i>	<i>Calophyllum sp.</i> (1)	-	-	-	-	-
<i>Lauraceae</i>	<i>Litsea sp.</i> (1)	III	IV	-	-	-
"	" (2)	II-III	II	I	I-II	I
"	" (3)	-	-	-	-	-
<i>Meliaceae</i>	<i>Aglaia sp.</i> (1)	IV	IV	-	-	-
"	<i>Dysoxylum sp.</i>	-	-	-	-	-
"	<i>Sandoricum sp.</i> (1)	III-IV	III-IV	III	III	III
<i>Moraceae</i>	<i>Artocarpus sp.</i>	-	-	-	-	-
"	<i>Ficus sp.</i> (1)	I	I	-	-	-
"	" (2)	-	-	-	-	-
<i>Myristicaceae</i> (1)		-	-	-	-	-
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eugenia sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Podocarpaceae</i>	<i>Podocarpus sp.</i> (1)	-	-	-	-	-
<i>Sapindaceae</i>	<i>Pometia sp.</i> (1)	-	-	-	-	-
<i>Sapotaceae</i>	<i>Madhuca sp.</i>	-	-	-	-	-
"	<i>Palaquium sp.</i> (1)	III-IV	I-II	II-III	II-III	II
"	" (2)	-	-	-	-	-
<i>Simarubaceae</i>	<i>Ailanthus sp.</i> (1)	II	I-II	II	I	I
"	" (2)	-	-	-	-	-
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Duabanga sp.</i> (1)	IV	IV	-	-	-
"	" (2)	IV	IV	-	-	-
"	" (3)	III	II	II-III	I-II	III-IV
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Heritiera sp.</i> (1)	III	II-III	III	III	II-III
"	" (2)	-	-	-	-	-
"	<i>Sterculia sp.</i> (1)	IV	III	III-IV	I-II	II-III
"	" (2)	II-III	I	-	-	-
<i>Dipterocarpaceae</i>	<i>Dipterocarpus sp.</i> * ¹	II-III	I-II	II	I-II	I-II
"	<i>Shorea sp.</i> * ²	II-III	II	I	I-II	II

*¹: Apitong, *²: Meranti

Note: Grade I: very little

Grade II: little

Grade III: much

Grade IV: very much

Table 6. Evaluation of sawing property in green condition.

Botanical name		F _A	K _A	E _A	F _B	K _B	E _B	E _T
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Dracontomelon sp.</i>	1.93	II	2	1.24	II	2	2*
"	<i>Spondias sp.</i>	1.70	II	2	1.24	II	2	2
<i>Burseraceae</i>	<i>Canarium sp.</i> (1)	1.78	II	2	1.35	I	2	2*
"	<i>Santiria sp.</i> (1)	1.53	III	1	1.20	II	2	1-2
"	" (2)	1.76	II	2	1.27	II	2	2
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia sp.</i> (1)	1.79	II	2	1.13	II	2	2
"	" (2)	1.51	III	1	1.05	II	2	1-2
"	" (3)	2.09	III	3	1.51	II	3	3
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Sapium sp.</i>	1.65	III	2	1.50	III	3	2*
<i>Lauraceae</i>	<i>Litsea sp.</i> (1)	1.84	III	2	1.38	IV	2	2
"	" (2)	1.29	II	1	1.06	II	2	2
<i>Meliaceae</i>	<i>Aglaia sp.</i> (1)	1.85	IV	2	1.54	IV	3	2
"	<i>Sandoricum sp.</i> (1)	1.43	III	1	1.06	III	2	1
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus sp.</i> (1)	1.42	I	1	1.09	I	2	1-2
<i>Sapotaceae</i>	<i>Palaquium sp.</i> (1)	1.66	III	2	0.88	I	1	1-2
<i>Simarubaceae</i>	<i>Ailanthus sp.</i> (1)	1.63	II	2	1.01	I	2	2
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Duabanga sp.</i> (1)	1.69	IV	2	0.96	IV	1	2
"	" (2)	1.88	IV	2	1.28	IV	2	2
"	" (3)	1.38	IV	1	1.34	IV	2	1-2
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Heritiera sp.</i> (1)	1.67	III	2	1.23	II	2	2
"	<i>Sterculia sp.</i> (1)	1.14	IV	1	0.88	III	1	1
"	" (2)	1.33	II	1	1.01	I	2	1-2
<i>Dipterocarpaceae</i>	<i>Shorea sp.</i> *1	1.56	II	1	0.98	II	1	1
"	<i>Dipterocarpus sp.</i> *2	2.07	III	3	1.44	II	3	3

*1: Meranti, *2: Apitong

1: Easy to cut

2: Medium

3: Difficult to cut

F_A, F_B: Cutting force per tooth for sawing conditions A (A') and B (B') respectively.K_A, K_B: Grade of woolly grain for sawing conditions A (A') and B (B') respectively.E_A, E_B: Evaluation of sawing property for sawing conditions A (A') and B (B') respectively.E_T: Total evaluation of sawing property.

* shows the species difficult to cut in some cases.

5・3 鉋 削

切削抵抗, 加工面の性状, 加工精度および工具摩耗を調べた。

5・3・1 実験方法

すくい角 35° , 刃角 45° , 主軸回転数(N)4000 rpm 送り速度(F)4m/min, 切削円直径144mm, 削り代2mmとした。工具材質は, 摩耗実験以外はK-30, 摩耗実験にはSKS-3を使用し, いづれの場合も切削に關与する刃は一枚とした。被削材はすべて気乾状態(含水率13~15%)である。切削抵抗は, 主軸にかかるトルクから平均的な切削方向分力を求めた。加工面の性状については, 組織あらしの影響を除外するため, ナイフエッジ(幅0.7mm, 先端丸み半径5 μ m)式ピックアップによる工具の切削方向での加工面あらし(R'_{max})の測定と, スポンジ接触子による加工面の工具の切削方向での静摩擦係数(μ_s)の測定を行なった³⁾。

加工精度は切れ刃の摩耗度との関連で調べるもので刃の中央部1.5cm(全体の刃幅6cm)だけが摩耗している刃を用い, 幅3cmの材を切削し, 両側の未摩耗部と中央の摩耗部で切削した加工面のそれぞれの高さの差から, 加工誤差として求めた。方法の詳細は, 既報⁴⁾を参照されたい。なお, 今回使用した刃の中央部の摩耗度は, すくい面に投影した刃先後退量(R_f)で平均25 μ mである。

5・3・2 実験結果

(1) 切削抵抗

表7にup millingとdown millingの場合の切削抵抗(P_c)を示す。同表には両者の比もとつてある。up millingの切削過程は逆目切削であるから, 切削過程が順目であるdown millingより P_c が大きくなるはずである。しかし表7でup/downの比をみる限り1より大きいものはない。このことから, up millingでは先割れに基づく削り代の一部剥離が発生し, 實質的に削り代がかなり減少しているのではないかと考える。Octomeles, Litsea(3), Ficus(2)などは, up/downの比が0.8を越え, 削り代の剥離が比較的少ないのではないかと推定される。一方, そのような剥離が大きいと考えられるものとしては, Dracontomelon, Ficus(1), Myristicaceae, Podocarpus(1), Duabanga(2)などがあげられよう。

P_c と ρ_a の關係を図8, 9に示す。図8のup millingには比較のためにセランガンバツ(Shorea sp., 気乾比重0.09), マトア(Pometia sp., 0.07), ラミン(Gonystylus sp., 0.60)およびメラランチ(Shorea sp., 0.42)の測定値が○印で記入してある。図中に実験式が記載してあるが, 既述のようにup millingでは先割れによる削り代の一部剥離があると考えられるが, 樹種によってその程度が異なるためか相関係数はdown millingに比べて小さい。up millingの場合実験式から大きくはずれるものとして, 数値が下まわるものでは, Octomeles, Ficus(1), Podocarpus, Madhuca, Duabanga(2)等があり, 上まわるものでは, Litsea(3), Ficus(2)が目立つ。down millingでは比重との相関が比較的よく, 実験式から大きくはずれるものは少ないが, この場合もOctomelesだけは極端に小さいのが特徴的である。その他, P_c が実験式から離れて比較的小さいものとして, Palaquium(1), Ficus(1), 比較的大きいものとしてDracontomelon, Sandoricum, Artocarpus等がある。

Table 7. Cutting force in peripheral milling.

Botanical name	Specific Gravity, ρ_a	Cutting force, P_c (gf/cm)		Up/down	
		Up milling	Down milling		
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Dracontomelon sp.</i>	0.57	82.0	169.0	0.49
"	<i>Koordersiodendron sp. (1)</i>	0.80	132.0	195.0	0.68
"	<i>Spondias sp.</i>	0.46	73.0	123.0	0.59
<i>Burseraceae</i>	<i>Canarium sp. (1)</i>	0.58	89.0	145.0	0.61
"	<i>Canarium sp. (2)</i>	0.58	104.0	154.0	0.68
"	<i>Santiria sp. (1)</i>	0.59	96.0	141.0	0.68
"	<i>Santiria sp. (2)</i>	0.57	117.0	160.0	0.73
<i>Celastraceae</i>	<i>Lophopetalum sp.</i>	0.52	88.0	154.0	0.57
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia sp. (1)</i>	0.56	112.0	143.0	0.78
"	" (2)	0.50	86.0	146.0	0.59
"	" (3)	0.71	109.0	174.0	0.63
"	" (4)	0.64	121.0	174.0	0.70
<i>Datisaceae</i>	<i>Octomeles sp.</i>	0.39	49.0	60.0	0.82
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Sapium sp. (1)</i>	0.44	103.0	141.0	0.73
<i>Gonystylaceae</i>	<i>Gonystylus sp.</i>	0.54	91.0	156.0	0.58
<i>Guttiferae</i>	<i>Calophyllum sp. (1)</i>	0.51	101.0	161.0	0.63
<i>Lauraceae</i>	<i>Litsea sp. (1)</i>	0.51	89.0	148.0	0.60
"	" (2)	0.46	78.0	122.0	0.64
"	" (3)	0.56	125.0	137.0	0.91
<i>Meliaceae</i>	<i>Aglaia sp. (1)</i>	0.60	98.0	158.0	0.62
"	<i>Dysoxylum sp.</i>	0.59	91.0	148.0	0.62
"	<i>Sandoricum sp. (1)</i>	0.44	94.0	155.0	0.61
<i>Moraceae</i>	<i>Artocarpus sp.</i>	0.29	87.0	135.0	0.64
"	<i>Ficus sp. (1)</i>	0.59	72.0	132.0	0.55
"	" (2)	0.49	131.0	146.0	0.90
<i>Myristicaceae (1)</i>	—	0.51	83.0	152.0	0.55
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eugenia sp.</i>	0.77	130.0	188.0	0.69
<i>Podocarpaceae</i>	<i>Podocarpus sp. (1)</i>	0.55	73.0	141.0	0.52
<i>Sapindaceae</i>	<i>Pometia sp. (1)</i>	0.71	119.0	189.0	0.63
<i>Sapotaceae</i>	<i>Madhuca sp.</i>	1.07	130.0	222.0	0.59
"	<i>Palaquium sp. (1)</i>	0.60	101.0	137.0	0.74
"	" (2)	0.60	107.0	168.0	0.64
<i>Simarubaceae</i>	<i>Ailanthus sp. (1)</i>	0.43	74.0	115.0	0.64
"	" (2)	0.43	78.0	136.0	0.57
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Duabanga sp. (1)</i>	0.44	84.0	118.0	0.71
"	" (2)	0.42	64.0	117.0	0.55
"	" (3)	0.50	81.0	123.0	0.66
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Heritiera sp. (1)</i>	0.62	93.0	152.0	0.61
"	" (2)	0.60	91.0	151.0	0.60
"	<i>Sterculia sp. (1)</i>	0.36	75.0	120.0	0.63
"	" (2)	0.38	78.0	136.0	0.57
<i>Dipterocarpaceae</i>	<i>Shorea sp. *1</i>	0.90	129.0	—	—
"	<i>Shorea sp. *2</i>	0.42	67.0	—	—
<i>Sapindaceae</i>	<i>Pometia sp. *3</i>	0.70	98.0	—	—
<i>Gonystylaceae</i>	<i>Gonystylus sp. *4</i>	0.60	105.0	—	—

*1 : Selangan batu, *2 : Meranti, *3 : Matoa, *4 : Ramin

Cutting conditions: Rake angle 35°, clearance angle: 10°, spindle speed: 4000 rpm, feed per knife: 1 mm, depth of cut: 2 mm, air dry.

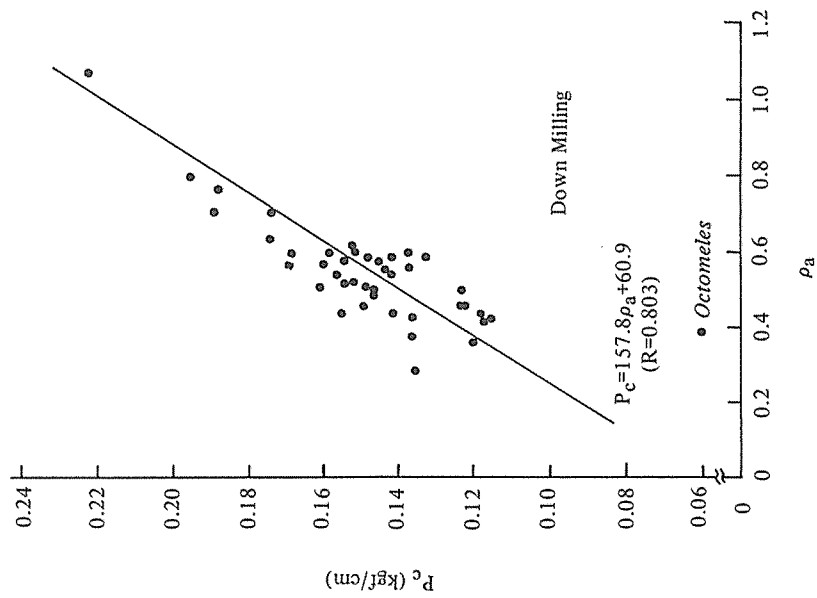


Fig. 9. Relationship between ρ_a and P_c in peripheral milling (II) (down milling).
Cutting condition: Same as in Table 7.

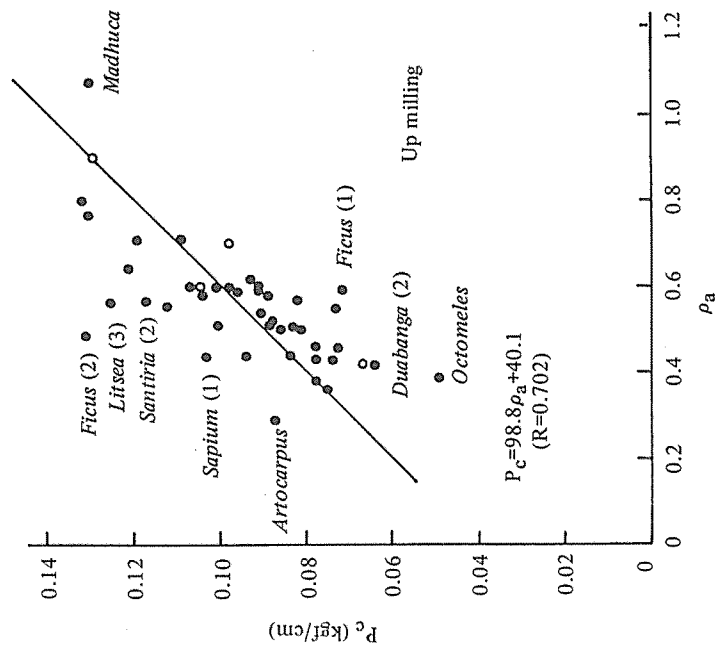


Fig. 8. Relationship between specific gravity in air dry (ρ_a) and tangential cutting force (P_c) in peripheral milling (I) (up milling).
Cutting conditions: Same as in Table 7. ○: control.

(2) 加工面あらさ

プレーナ切削は大むね仕上げ加工であるため、加工面のあらさが問題になる。しかし、切削加工によって決まるあらさを表すためには、組織あらさを除かなければならないので、本実験では、0.7mm幅のナイフエッジ型触針を用いて組織あらさをカットした形であらさ曲線をもとめて R'_{max} の測定を行なった。測定結果を表8に示す。同表には、up milling と down milling の場合がのせてあるが、両者にはあまり差が見られない。また、 ρ_a との関係は、

$$\begin{aligned} \text{up milling} \quad R'_{max} &= 12.24 \rho_a^{-0.406} \quad (R = 0.336) \\ \text{down milling} \quad R'_{max} &= 11.80 \rho_a^{-0.668} \quad (R = 0.432) \end{aligned}$$

がえられた。非常にバラツキは多いが、比重が小さい程、加工面あらさは大きくなるという傾向はみとめられる。また、一部の樹種の down milling 面についてスポンジを接触子に用いて加工面の静摩擦係数 (μ_s) を求めた。その結果を図10に示す。 μ_s は比重が小さくなると大きくなる。摩擦係数の値は表面の性質・状態によって非常に異なるため、一概にこの値を加工面あらさに置きかえるわけにはいかないが、 R'_{max} も μ_s も主に突起の大きさ、数によって決定されると考えると加工面の状態は比重が高い程よいといえる。 μ_s の値は、*Palaquium* がとびぬけて大きな値を示し、

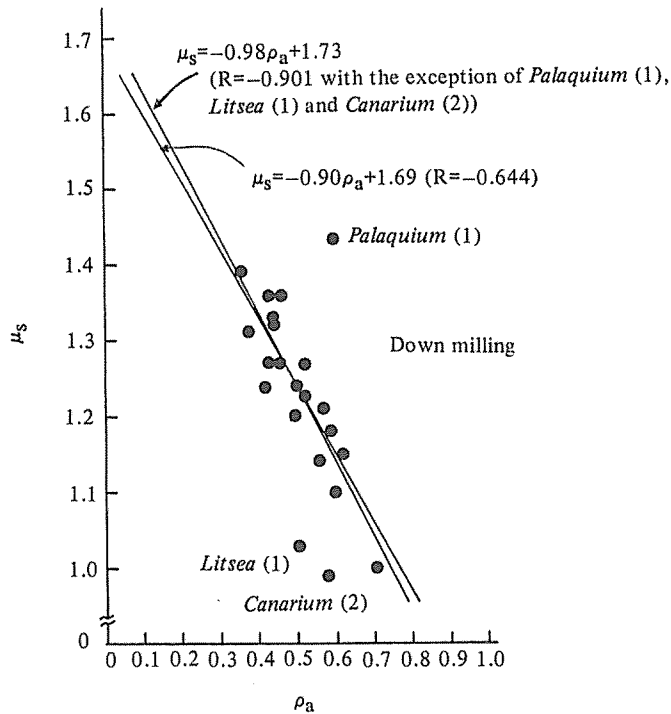


Fig. 10. Relationship of coefficient of static friction (μ_s) between sponge and machined surface to ρ_a of tested species in peripheral milling. Cutting conditions: Same as in Table 7.

Table 8. Surface roughness in peripheral milling.

Botanical name		Specific gravity, ρ_a	R'_{max} (μm)	
			Up milling	Down milling
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Dracontomelon</i> sp.	0.52	25.9	23.9
"	<i>Koordersiodendron</i> sp. (1)	0.80	8.7	10.5
"	<i>Spondias</i> sp.	0.46	15.8	19.8
<i>Burseraceae</i>	<i>Canarium</i> sp. (1)	0.58	14.7	21.1
"	<i>Canarium</i> sp. (2)	0.58	15.5	34.3
"	<i>Santiria</i> sp. (1)	0.59	14.2	11.4
"	<i>Santiria</i> sp. (2)	0.57	11.8	11.8
<i>Celastraceae</i>	<i>Lophopetalum</i> sp.	0.52	11.7	19.0
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia</i> sp. (1)	0.56	22.5	13.5
"	" (2)	0.50	14.5	20.7
"	" (3)	0.71	14.3	12.6
"	" (4)	0.64	15.6	11.3
<i>Datisceaeae</i>	<i>Octomeles</i> sp.	0.39	26.1	40.0
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Sapium</i> sp. (1)	0.43	19.2	12.7
<i>Gonystylaceae</i>	<i>Gonystylus</i> sp.	0.54	11.7	16.6
<i>Guttiferae</i>	<i>Calophyllum</i> sp. (1)	0.51	12.3	22.0
<i>Lauraceae</i>	<i>Litsea</i> sp. (1)	0.51	14.1	15.8
"	" (2)	0.46	26.1	16.0
"	" (3)	0.56	26.3	41.7
<i>Meliaceae</i>	<i>Aglaia</i> sp. (1)	0.60	14.0	13.6
"	<i>Dysoxylum</i> sp.	0.59	11.8	19.9
"	<i>Sandoricum</i> sp. (1)	0.44	13.3	15.7
<i>Moraceae</i>	<i>Artocarpus</i> sp.	0.29	15.1	31.1
"	<i>Ficus</i> sp. (1)	0.52	19.0	21.5
"	" (2)	0.49	32.3	31.3
<i>Myristicaceae</i> (1)		0.51	12.3	16.5
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eugenia</i> sp.	0.77	11.4	17.1
<i>Podocarpaceae</i>	<i>Podocarpus</i> sp. (1)	0.55	12.0	17.1
<i>Sapindaceae</i>	<i>Pometia</i> sp. (1)	0.71	17.2	12.7
<i>Sapotaceae</i>	<i>Madhuca</i> sp.	1.07	16.0	16.2
"	<i>Palaquium</i> sp. (1)	0.60	16.1	17.1
"	" (2)	0.60	12.6	14.9
<i>Simarubaceae</i>	<i>Ailanthus</i> sp. (1)	0.43	15.6	22.3
"	" (2)	0.43	13.2	17.3
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Duabanga</i> sp. (1)	0.44	16.2	12.5
"	" (2)	0.42	21.3	23.2
"	" (3)	0.50	17.6	14.2
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Heritiera</i> sp. (1)	0.62	16.0	10.3
"	" (2)	0.60	13.2	20.1
"	<i>Sterculia</i> sp. (1)	0.36	16.7	16.6
"	" (2)	0.38	22.3	35.0

Cutting conditions: Same as in Table 7.

Litsea (1), *Canarium* (1) は小さな値を示す。*Litsea* (1) は手で触ると、ろう成分が含まれているような感触があることから、そのような成分が μ_s の値に影響したものと推定される。この種の材にチークがあるが、チーク材の μ_s もやはり、極端に小さな値をとる。しかし、*Litsea* (2) も同じような感触があるにもかかわらず μ_s の値が特に小さいということにはなかつた。このような矛盾についてはなお詳細な検討が必要である。いずれにしてもスポンジと木材表面の間の摩擦係数は表面の状態を表わす一つの指標になりうる可能性がある。

(3) 加工精度

加工精度の目安として実用的な見地から研摩直後のものでなくある程度の摩耗刃での加工精度を調べた。加工精度は後述するような加工誤差の形で調べたがそれに先立って種々の R_f における切削抵抗（送りに垂直方向の分力、 F_v ）を測定した。

i) R_f と F_v との関係

種々の R_f に対する F_v の値を表9に示す。このうち数樹種についての R_f と F_v の関係を図11に示す。 R_f と F_v の関係は原点を通る直線とみなし得るので、 $F_v = aR_f$ として a を求めた。この関係から R_f が0、すなわち末摩耗刃では F_v が0であると考えてよく、末摩耗刃による加工面には弾性回復や塑性回復がほとんどみられないとする既往の結果⁴⁾と一致する。表9に各樹種に対する a の値を示してある。次に a と各樹種の比重(ρ_a)との関係を求めたのが、図12である。 ρ_a が大きい程 a も大きくなる。 ρ_a と a の関係は、

$$a = 32.25 \rho_a - 7.28 \quad (R = 0.683)$$

となり、この関係から大きくはずれるのは、*Dracontomelon*, *Santiria* (2), *Palaquium* (1), *Dua-banga* (3) である (図12参照)。

ii) 加工誤差

5.3.1で述べたように切れ刃の中央部1.5cmだけが摩耗($R_f = 25 \mu\text{m}$)した工具を使用して摩耗刃の加工誤差を求めた。切削方式はdown millingである。切削直後の加工誤差(弾性回復量 W_E)、水塗布後乾燥し塑性回復もさせた全加工誤差(W_T)を表10に示す。また、 W_E と ρ_a の関係および W_T と ρ_a の関係をそれぞれ図13, 14に示す。なお、 W_E , W_T については表10の附図の通りであるが既述のように末摩耗刃による切削面では W_E , W_T ともに0である⁴⁾。両図からそれぞれ比重との関係を求めると、

$$W_E = 15.16 \rho_a^{-1.04} \quad (R = 0.522)$$

$$W_T = 33.57 \rho_a^{-1.16} \quad (R = 0.633)$$

となり、 ρ_a が小さい程加工誤差が大きいといえる。 W_T でみると上式から大きくはずれるのは、*Ficus* (2), *Sapium* (1), *Artocarpus*, *Palaquium* (1), *Octomeles*, *Ailanthus* (1) などであった。

Table 9. Cutting forces vertical to the feeding direction (F_v) at the times when several values of edge recession (R_f) were reached in peripheral milling of down cut.

Botanical name	Specific gravity, ρ_a	F_v^{*3} (kgf/cm)					Value of a in $F_v = aR_f^{*2}$	
		Edge recession, R_f (μm) ^{*1}						
		0	15	20	36	100		
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Dracontomelon sp.</i>	0.59	0.002	0.189	0.263	0.585	1.767	18.095
"	<i>Spondias sp.</i>	0.45	0.015	0.153	0.188	0.332	0.593	5.516
<i>Burseraceae</i>	<i>Canarium sp.</i> (1)	0.60	0.042	0.175	0.183	0.435	1.176	11.653
"	<i>Santiria sp.</i> (1)	0.49	0.018	0.128	0.128	0.235	0.603	5.798
"	<i>Santiria sp.</i> (2)	0.62	0.044	0.111	0.288	0.608	1.796	18.368
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia sp.</i> (1)	0.42	0.005	0.153	0.183	0.345	0.549	5.111
"	" (2)	0.48	0.012	0.141	0.151	0.413	0.903	9.040
"	" (3)	0.71	0.033	0.209	0.237	0.569	1.325	13.124
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Sapium sp.</i> (1)	0.41	—	0.183	0.268	0.533	0.981	9.582
<i>Lauraceae</i>	<i>Litsea sp.</i> (1)	0.42	0.000	0.164	0.197	0.397	0.704	6.766
"	" (2)	0.49	0.007	0.124	0.119	0.311	0.855	8.647
<i>Meliaceae</i>	<i>Aglaiia sp.</i> (1)	0.58	0.004	0.168	0.157	0.463	0.956	9.575
"	<i>Sandoricum sp.</i> (1)	0.45	0.000	0.111	0.111	0.183	0.544	5.338
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus sp.</i> (1)	0.53	0.029	0.120	0.180	0.311	1.112	11.177
<i>Sapotaceae</i>	<i>Palaquium sp.</i> (1)	0.51	0.020	0.139	0.096	0.185	0.468	4.349
<i>Simarubaceae</i>	<i>Ailanthus sp.</i> (1)	0.42	0.024	0.149	0.179	0.371	0.928	9.140
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Duabanga sp.</i> (1)	0.43	0.020	0.075	0.123	0.383	0.613	6.118
"	" (2)	0.52	0.004	0.079	0.160	0.319	0.804	8.160
"	" (3)	0.57	0.012	0.135	0.132	0.387	0.611	5.932
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Heritiera sp.</i> (1)	0.56	0.009	0.208	0.197	0.463	1.376	13.878
"	<i>Sterculia sp.</i> (1)	0.36	0.012	0.172	0.195	0.387	0.624	5.809
"	" (2)	0.41	0.010	0.171	0.181	0.267	0.467	4.119

*¹: The values projected to tool face line.

*²: Refer to Fig. 11.

*³: Cutting conditions: Same as in Table 7.

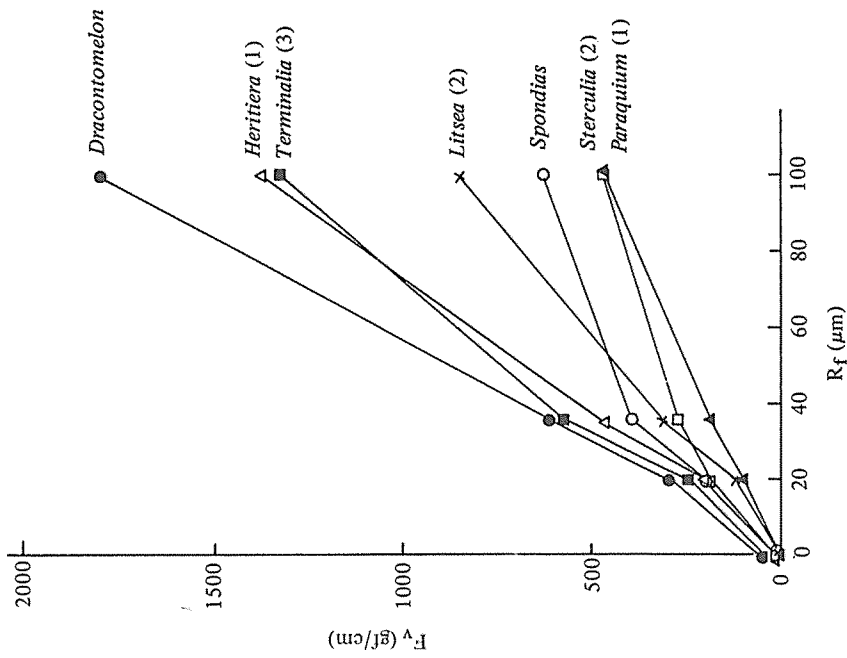


Fig. 11. Relationship between F_v and R_f in peripheral milling of down cut. It is assumed to be $F_v = aR_f$, where a is a constant. Cutting conditions: Same as in Table 7.

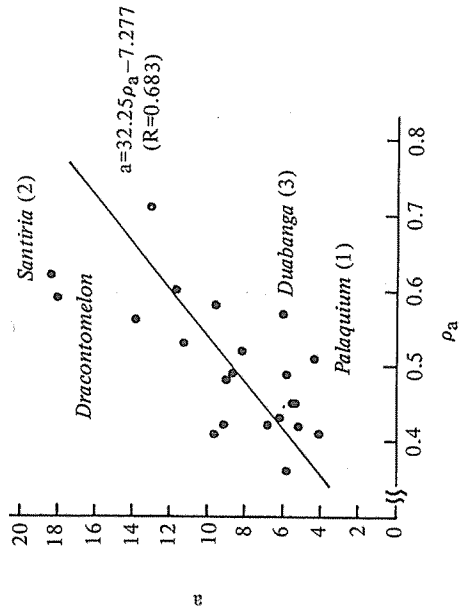


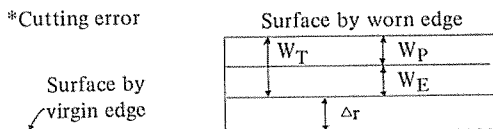
Fig. 12. Relationship between ρ_a and the value a in equation $F_v = aR_f$. Cutting conditions: Same as in Table 7.

Table 10. Machining accuracy in peripheral milling.

Botanical name	Specific gravity, ρ_a	Cutting error* (μm)	
		Elastic (W_E)	Total (W_T)
<i>Anacardiaceae</i>			
<i>Dracontomelon</i> sp.	0.59	45.1	83.2
"			
<i>Koordersiodendron</i> sp. (1)	0.80	25.2	49.3
"			
<i>Spondias</i> sp.	0.45	26.2	100.2
<i>Burseraceae</i>			
<i>Canarium</i> sp. (1)	0.60	27.0	65.9
"			
<i>Canarium</i> sp. (2)	0.58	27.6	84.3
"			
<i>Santiria</i> sp. (1)	0.49	25.9	47.1
"			
<i>Santiria</i> sp. (2)	0.62	54.1	85.4
<i>Celastraceae</i>			
<i>Lophopetalum</i> sp.	0.52	22.6	50.8
<i>Combretaceae</i>			
<i>Terminalia</i> sp. (1)	0.42	19.6	77.9
"			
"	(2)	0.48	26.5
"			
"	(3)	0.71	19.3
"			
"	(4)	0.64	23.4
<i>Datisceae</i>			
<i>Octomeles</i> sp.	0.39	26.8	64.3
<i>Euphorbiaceae</i>			
<i>Sapium</i> sp. (1)	0.41	56.8	189.4
<i>Gonystylaceae</i>			
<i>Gonystylus</i> sp.	—	—	—
<i>Guttiferae</i>			
<i>Calophyllum</i> sp. (1)	0.51	15.6	43.8
<i>Lauraceae</i>			
<i>Litsea</i> sp. (1)	0.42	43.0	106.2
"			
"	(2)	0.49	25.8
"			
"	(3)	0.56	28.2
<i>Meliaceae</i>			
<i>Aglaia</i> sp. (1)	0.58	23.5	57.6
"			
<i>Dysoxylum</i> sp.	0.59	27.8	61.3
"			
<i>Sandoricum</i> sp. (1)	0.45	35.2	61.7
<i>Moraceae</i>			
<i>Artocarpus</i> sp.	0.29	129.1	223.8
"			
<i>Ficus</i> sp. (1)	0.53	27.0	76.5
"			
"	(2)	0.49	64.6
<i>Myristicaceae</i> (1)	—	0.51	38.0
<i>Myrtaceae</i>			
<i>Eugenia</i> sp.	0.77	26.0	60.8
<i>Podocarpaceae</i>			
<i>Podocarpus</i> sp. (1)	0.55	13.0	43.8
<i>Sapindaceae</i>			
<i>Pometia</i> sp. (1)	0.71	19.2	56.8
<i>Sapotaceae</i>			
<i>Madhuca</i> sp.	1.07	15.6	30.8
"			
<i>Palaquium</i> sp. (1)	0.51	15.6	34.2
"			
"	(2)	0.60	28.2
<i>Simarubaceae</i>			
<i>Ailanthus</i> sp. (1)	0.42	21.3	56.4
"			
"	(2)	0.43	56.4
<i>Sonneratiaceae</i>			
<i>Duabanga</i> sp. (1)	0.43	72.1	103.7
"			
"	(2)	0.52	24.0
"			
"	(3)	0.57	23.0
<i>Sterculiaceae</i>			
<i>Heritiera</i> sp. (1)	0.56	28.1	45.5
"			
"	(2)	0.60	31.6
"			
"	<i>Sterculia</i> sp. (1)	0.36	60.0
"			
"	(2)	0.41	24.0

Cutting conditions: Same as in Table 7, edge recession (R_f): 25 μm

*Cutting error



W_E : Elastic recovery

W_T : Total recovery

W_P : Plastic recovery

Δr : Reduction in radius of cutting circle by edge wear (20.5 μm in this paper)

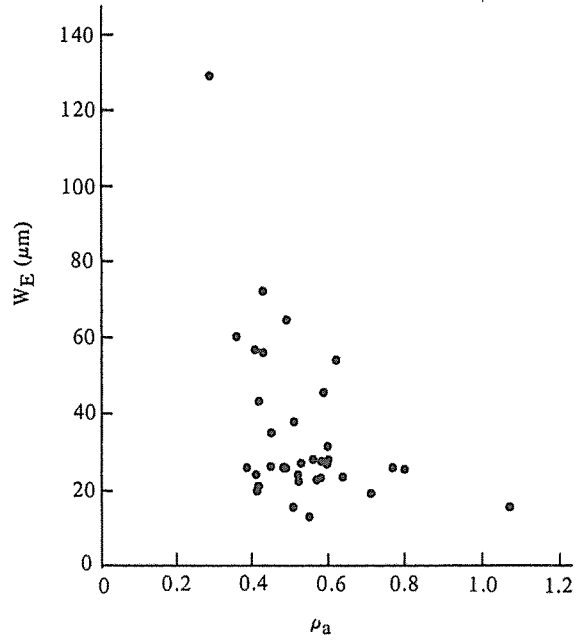


Fig. 13. Relationship between ρ_a and elastic cutting error (W_E) in peripheral milling. Cutting conditions and W_E : Refer to Table 10.

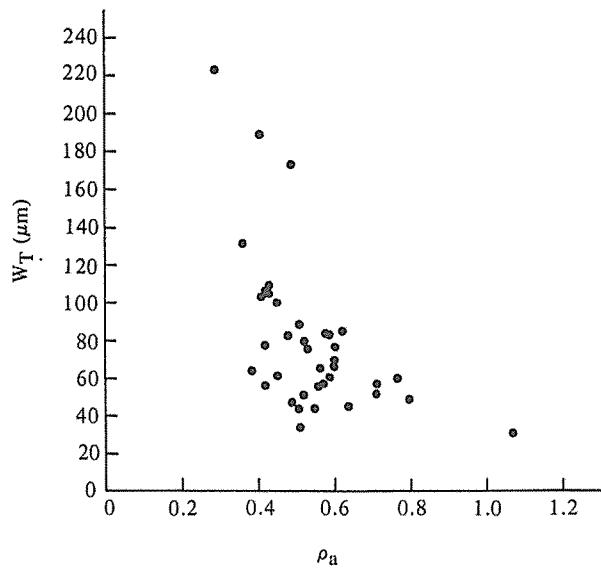


Fig. 14. Relationship between ρ_a and total cutting error (W_T) in peripheral milling. Cutting conditions and W_T : Refer to Table 10.

(4) 工具摩耗

SKS-3の工具を使用して摩耗実験を行なった。摩耗量は、 R_f で表わした。

測定の結果を表11に示す。この表に記載した R_f は切削長500mと1,500mのときのものである。 R_{f500} は初期摩耗の末期ぐらいいあたる。 R_{f500} を切削長(ℓ)で割り、切削長1mあたりの刃先後退量(R_{f500}/ℓ)を求めて、比重との関係を見ると図15になる。

R_{f500}/ℓ は切削抵抗のように ρ_a の影響を受けないものであることがわかる。このことは青山も丸のこ切削で認めている²⁾。

R_{f500}/ℓ が 10^{-1} オーダー以上のもの(同図中の□印)は SiO_2 含有量の多い樹種である。また黒丸印と白丸印は後述する方法で、摩耗パターンを分類したときのそれぞれType IとType IIのグループである(図20参照)。2, 3の例外を除けば、Type IはType IIより刃先後退量は少ない。また、Type Iは初期摩耗が終って定常期に入ると摩耗量の増加が少なく、Type IIは増加が大である。これらの傾向の目安として($R_{f1500} - R_{f500}$)の値も表11に示してある。Type Iのグループの中でも*Aglaiia*および*Gonystylus*(2)は $R_{f1500} - R_{f500}$ の値が比較的大きいが、*Aglaiia*では750mから1,500mまでの間で、*Gonystylus*(2)では1,000mから2,000mまでの間でいづれも1 μm の増加に留まっており、むしろ初期摩耗の段階が長いと判断するべきで、安定期での増加はすくないといえる。図16~18にそれぞれType I, II, IIIごとの摩耗経過を示すが、Type I, Type IIの差がよくわかる。

Type I, Type IIとも R_{f500} と ρ_s の間には明らかな関係はみとめられないが、図19の R_{f1500} と ρ_a との関係を見ると両Typeとも ρ_a が大きくなると、 R_{f1500} も増大するといえそうである。

Type I, II, IIIについては以下のとおりである。すなわち切削試験終了後のすくい面の状態を観察すると、

- (1) 刃先付近に少し摩耗帯があり、それにつづいて刃先線から遠ざかると研摩痕が残留していて、被削材との摩擦が少なかったと思われる帯域がみられ、さらに遠ざかると再び摩耗帯のあらわれるもの(Type I)
- (2) 刃先から摩耗しはじめるが、その程度はそれ程激しくなく、かつ摩耗帯が広いもの(Type II)
- (3) 刃先から激しく摩耗し、摩耗帯が狭いもの(Type III)

に分類できる。触針法によりすくい面上の断面曲線を描くと各タイプは図20のようになり、すくい面の写真では写真1~3の例のとおりである。このような分類に従えば、工具を早く摩耗させる樹種か、そうでない樹種かは、若干切削を行い、すくい面の摩耗状態を観察をすれば、容易に推測できる。なお、前にも触れたがType IIIの摩耗をおこさせる樹種は SiO_2 含有量の多いものと対応する。

また、 SiO_2 を含まない材(含有量の極めて少ない材)がType I, IIの2つのパターンの摩耗をおこさせる原因として、切削中の微小な先割れの発生の有無(先割れが発生すればType I)が考えられる。そこで、先割れが非常に発生しやすく、しかもそれがすくい角や切り込み量によって変化するup milling方式で、Type IIの摩耗をおこさせる*Litsea*(2)を使用してすくい角を $25^\circ \sim 50^\circ$ の範囲

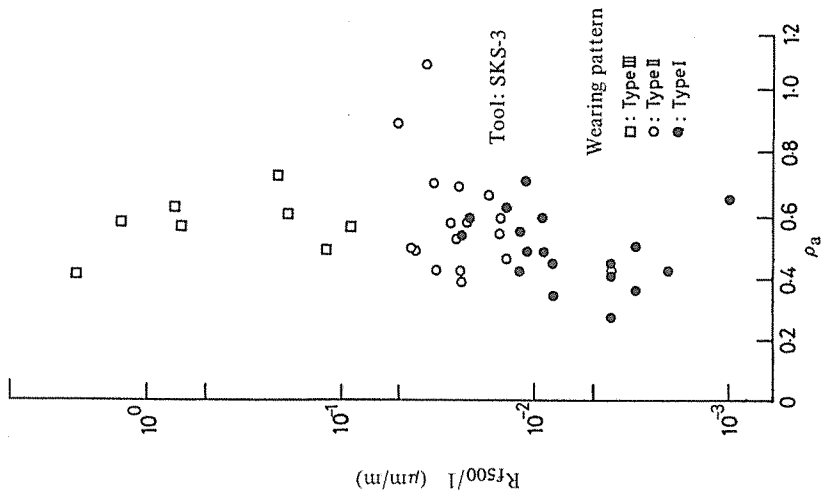


Fig. 15.
Relationship among edge recession per 1 m of cutting length ($R_{f500/l}$), specific gravity (ρ_a) of test species and wearing pattern on the tool face side (refer to Fig. 20).
Cutting conditions: Refer to Table 7.

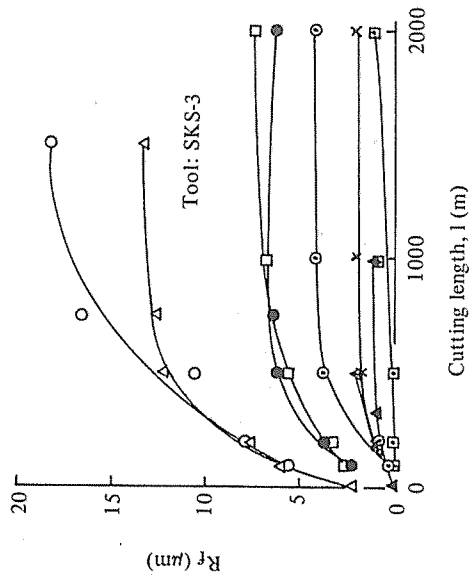


Fig. 16.
Development of edge recession (R_f) with the progress of machining for wearing pattern of Type I in peripheral milling of down cut.
Cutting conditions: Refer to Table 7.

- : *Aglaia*
- △ : *Ficus* (1)
- : *Terminalia* (2)
- : *Terminalia* (1)
- : *Spondias*
- X : *Sterculia* (1)
- △ : *Sterculia* (2)
- ▲ : *Ailanthus* (1)
- : *Sandoricum* (1)

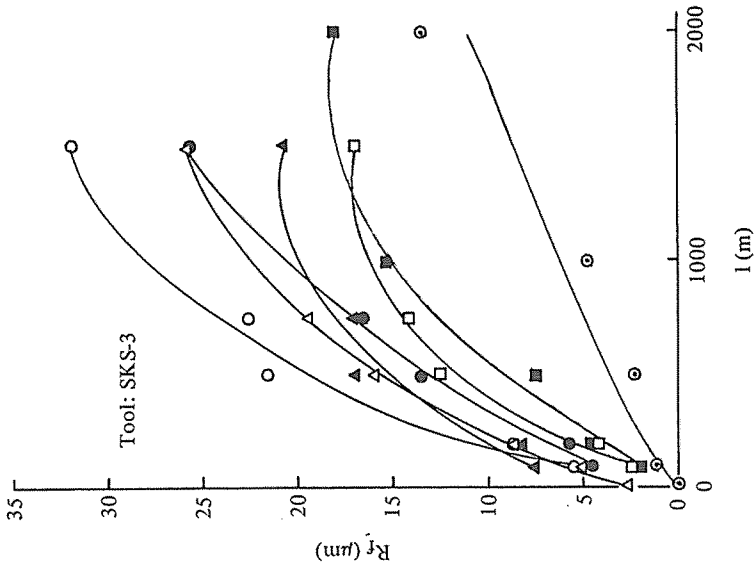


Fig. 17.
Development of edge recession (R_f) with the progress of machining for wearing pattern of Type II in peripheral milling of down cut.
Cutting conditions: Refer to Table 7.

- : *Litsea* (2)
- △ : *Litsea* (1)
- : *Duabanga* (3)
- ▲ : *Terminalia* (3)
- : *Duabanga* (2)
- : *Dracontomelon*
- : *Duabanga* (1)

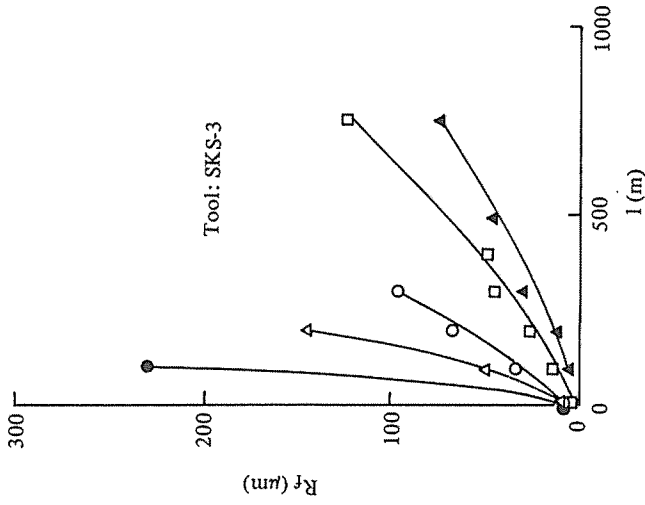


Fig. 18.
Development of edge recession (R_f) with the progress of machining for wearing pattern of Type III in peripheral milling of down cut.

- : *Canarium* (1)
 - : *Sapium* (1)
 - △ : *Santiria* (2)
 - ▲ : *Heritiera* (1)
 - : *Santiria* (1)
- These species contain plenty of SiO_2 .

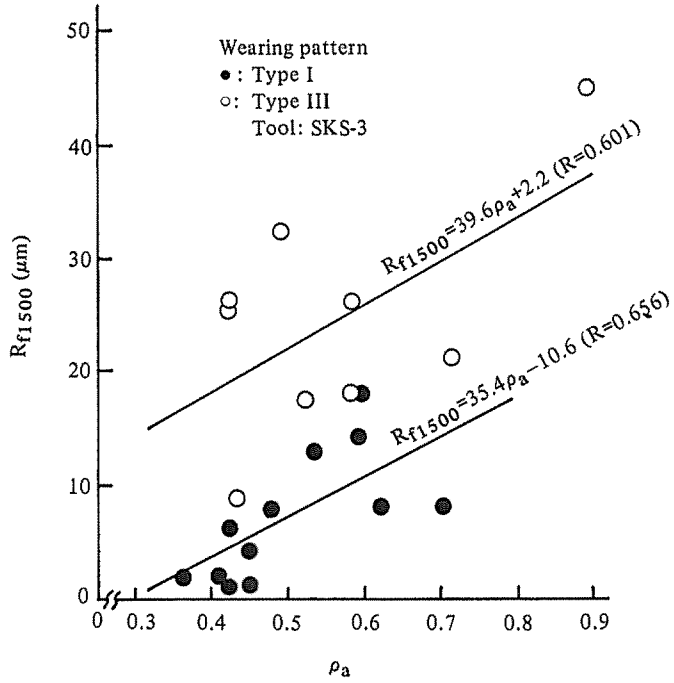


Fig. 19. Relationship among ρ_a , edge recession for 1500m of cutting length (R_{f1500}) and wearing pattern on the tool face side (refer to Table 11).
 Cutting conditions: Refer to Table 7.

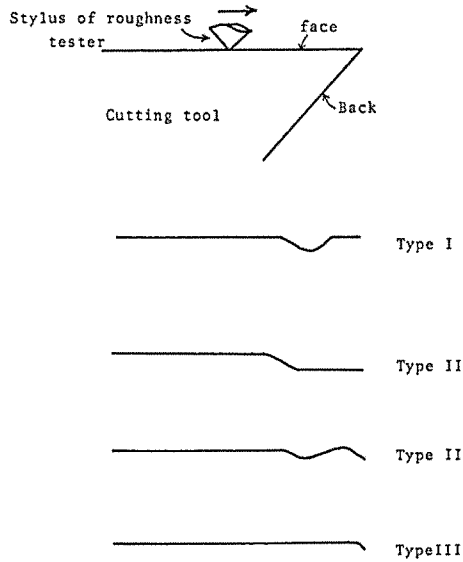
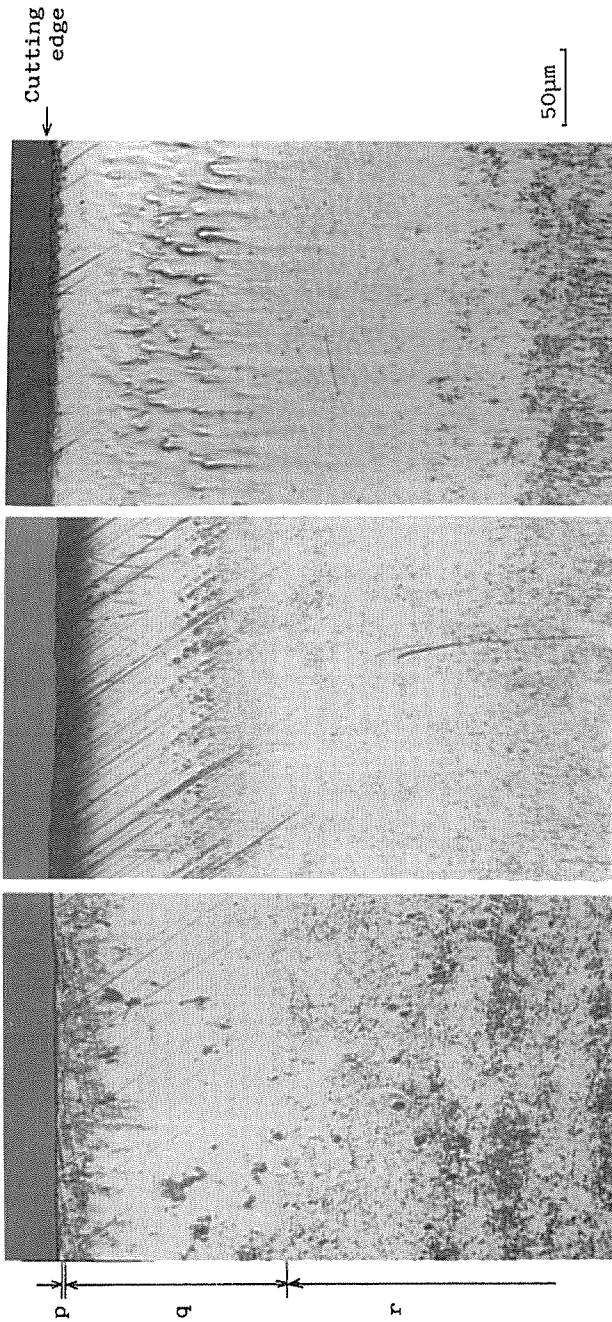


Fig. 20. Wearing patterns of tool face.

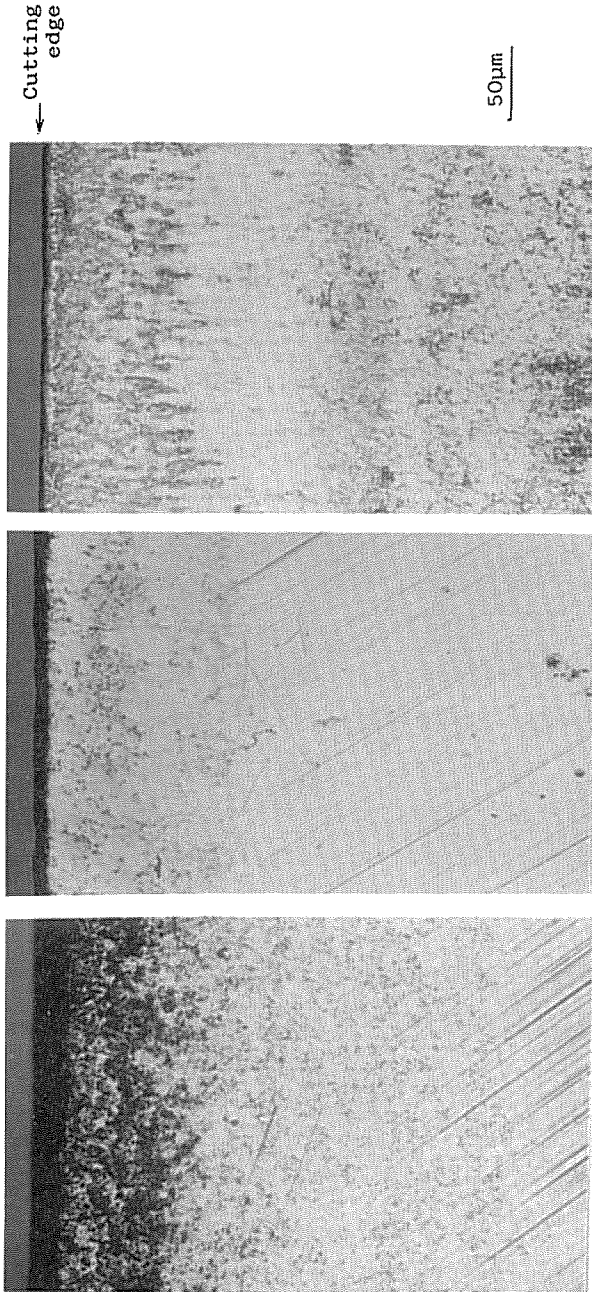


Materials cut: *Sterculia sp.* (1)
 Edge recession: $R_f = 2 \mu\text{m}$
 Cutting length: 1,500 m

Materials cut: *Gonyostylus sp.*
 Edge recession: $R_f = 14 \mu\text{m}$
 Cutting length: 500 m

Materials cut: *Terminalia sp.* (3)
 Edge recession: $R_f = 21 \mu\text{m}$
 Cutting length: 1,500 m

Photo. 1. Some examples of the wearing pattern of Type I on the tool face in down milling of air dried lumber, showing narrow wear zone (p) near the cutting edge and unworn zone (q) followed by broad wear zone (r). Spindle speed: 3,000 rpm., feed per knife; 1 mm, rake angle: 35° , sharpness angle: 45° , kind of tool materials: SKS-3.

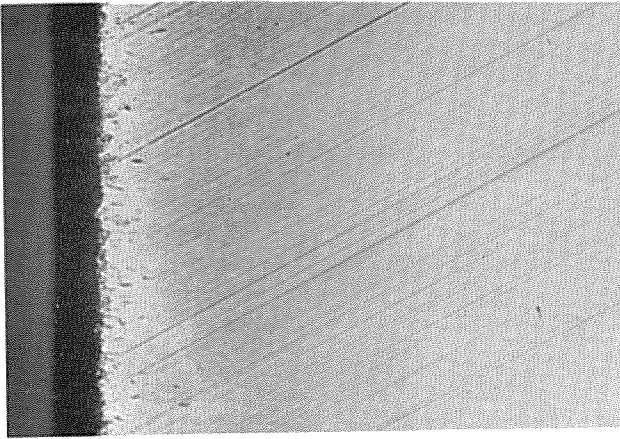


Materials cut: *Shorea sp. (1)*
 Edge recession: $R_f=45 \mu\text{m}$
 Cutting length: 1,500 m

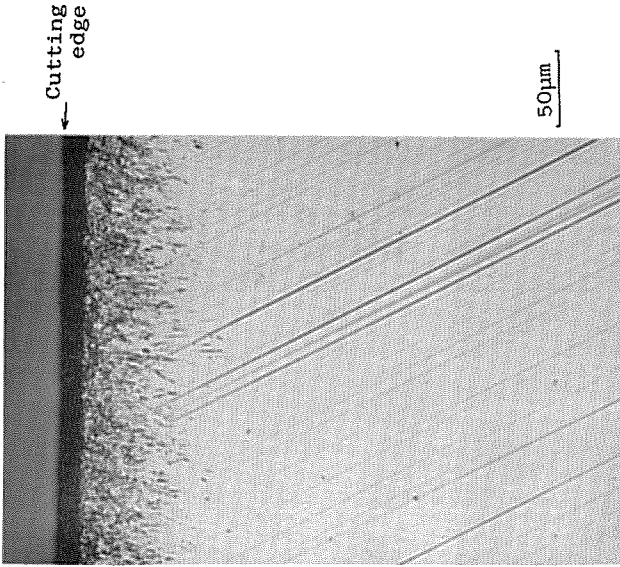
Litsea sp. (1)
 $R_f=26 \mu\text{m}$
 1,500 m

Duabanga sp. (1)
 $R_f=9 \mu\text{m}$
 1,500 m

Photo. 2. Some examples of the wearing pattern of Type II on the tool face in down milling of air dried lumber, showing edge wear followed by comparatively broad wear zone. Black zone at the top corresponds to the roundness of cutting edge.
 Cutting conditions: Same as in Photo. 1.



Materials cut: *Sapium* sp.
 Edge recession: $R_f = 230 \mu\text{m}$
 Cutting length: 100 m



Santiria sp. (2)
 $R_f = 144 \mu\text{m}$
 200 m

Photo. 3. Some examples of the wearing pattern of Type III on the tool face in down milling of air dried lumber, showing the violent wear of cutting edge followed by the narrow wear zone. Black zone at the top corresponds to the roundness of cutting edge.
 Cutting conditions: Same as in Photo. 1.

で変化させて摩耗実験を行なったが、Type I の摩耗は発生しなかった。

このようにすくい面の摩耗形態と被削材材質との関係は今のところ不明であるが、Type I の摩耗を発生させる原因が先割れにあると仮定するならば、たとえばそのような樹種の平削り試験における切削抵抗の主分力は、あたかも折れ型切削にみられるように大きな変動幅を示すのではないかということが考えられる。そこで、すくい角 35° 、にげ角 5° 、切り込み量 0.1 mm の切削条件で、Type I、および II の摩耗を発生させた樹種のうちの一部のものについて平削り試験を行なってみた。その結果を図 21、22、23 に示す。図 21 は主分力 (P)、図 22 は主分力の変動幅 (ΔP)、図 23 は主分力の比変動幅 ($\Delta P/P$) と、それぞれ試験材の ρ_a との関係を示すものである。図 22、23 を見ると、Type I の摩耗をおこさせる樹種では ΔP が Type II の摩耗をおこさせる樹種よりも大むね大きいことがわかる。

なお既述のように刃先後退量は Type I の摩耗の場合の方が Type II の場合よりも一般に小さいことを指摘したが、これも Type I が折れ型切削にもとづくものとすれば折れ型切削では切れ刃が切屑と接触している時間が短いことから理解出来る。

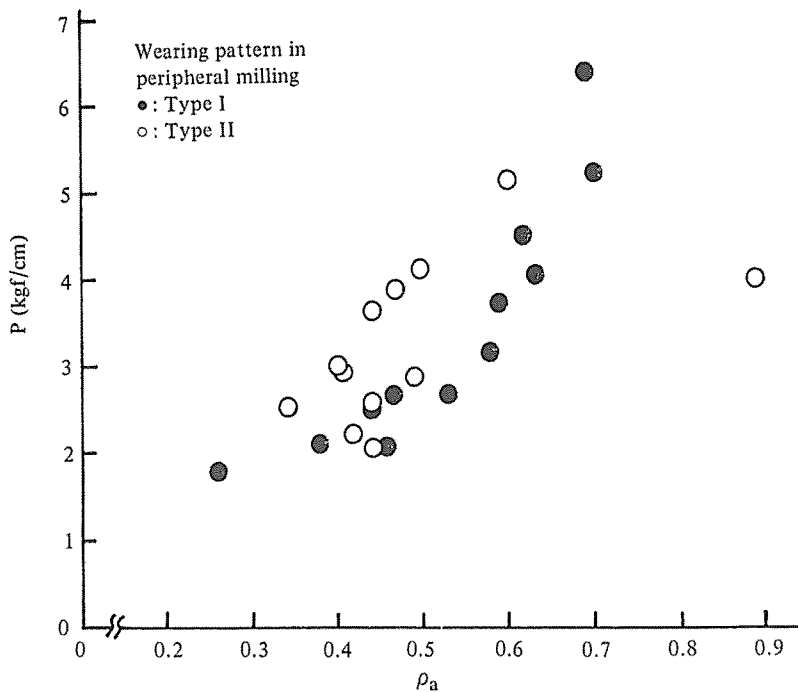


Fig. 21. Relationship between parallel cutting force (P) and specific gravity in air dry (ρ_a) in orthogonal cutting of some of test species.
 Rake angle: 35° , clearance angle: 5° , depth of cut: 0.1 mm , cutting situation: $90^\circ\text{-}0^\circ$, materials cut (test species): the species listed in Table 11 other than the ones which caused the type III wear of cutting tool face in peripheral milling.

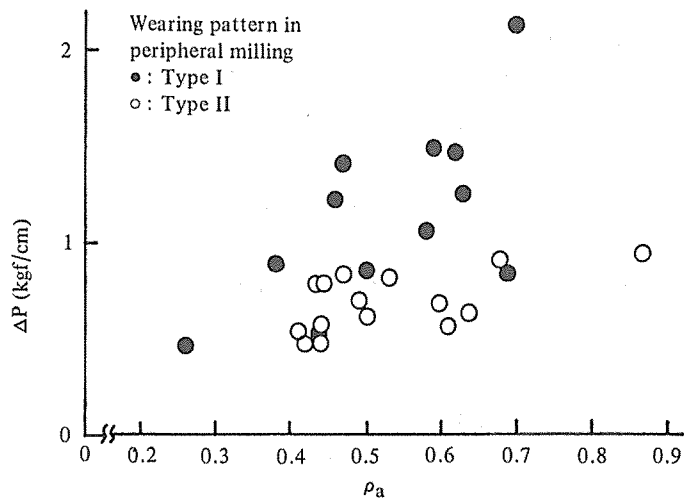


Fig. 22. Relationship between fluctuation of parallel cutting force (Δp) and ρ_a in orthogonal cutting of some of test species.
 Cutting conditions and materials cut: Same as in Fig. 21.

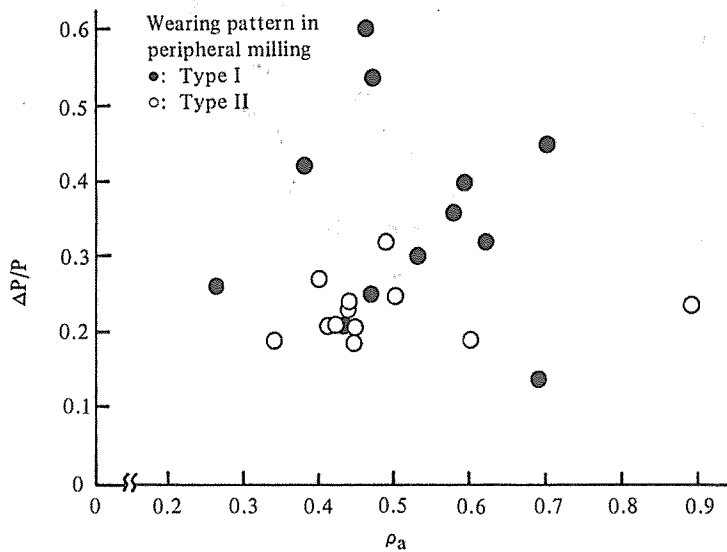


Fig. 23. Relationship between specific fluctuation of parallel cutting force ($\Delta p/p$) and ρ_a in orthogonal cutting of some of test species.
 Cutting conditions and materials cut: Same as in Fig. 21.

5・4 平 削 り

すくい角 45° 、にげ角 5° 、切り込み量は 0.1 mm で気乾材の2次元切削を行ない (P) を求めた。図 24 に結果を示す。 ρ_a と P との関係は $P = 4.28\rho_a + 0.1$ ($R = 0.789$) であった。ただし、*Madhuca*, *Octomeles*, *Myristicaceae* などは上記の実験式より下まわり、*Pometia* (1), *Terminalia* (3) 等は大きく上まわっている。同図で *Litsea* (2) について矢印で P の値の範囲を示したが、この樹種は木理交錯の度合が最大 24° あり、切削部位による差、切削方向による差がこれだけあることを示している。交錯木理が、切削抵抗にいかに関与を及ぼすかを示す例である。

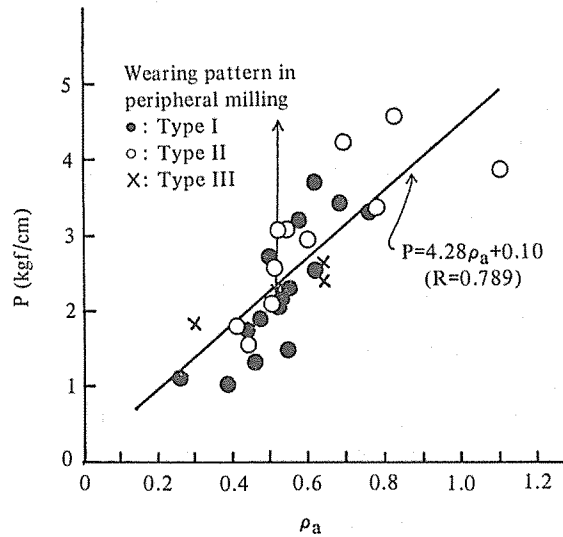


Fig. 24. Relationship between specific gravity in air dry (ρ_a) and parallel cutting force (P) in orthogonal cutting. Vertical arrow shows the range of P for *Litsea* (2). The value of P for this species fluctuated violently because of its abundant interlocked grain.
 Rake angle: 45° , clearance angle: 5° , depth of cut: 0.1 mm , air dry.

引 用 文 献

- (1) 坂井秀春：『チップソー』，槇書店（1974）
- (2) 青山経雄：南洋材の性質 6，南洋材の丸ノコによる被削性試験 1，林試研報，200号，195，（1967）
- (3) 林 和男・木村志郎・野村実里：ねじれ刃フライス切削（第3報），木材誌，27，185（1981）
- (4) 林 和男：摩耗刃の切削性能，木材誌，26，455（1980）

5.5 SUMMARY

Sawing property, planing property and property in orthogonal cutting were studied. As to sawing property, cutting force and the quality of sawn surface were examined. On planing property, cutting force, surface quality, cutting accuracy and tool wearing characteristics were investigated. Concerning property in orthogonal cutting, only cutting force was determined.

A) Sawing property (green and air dried lumber)

A-1 Cutting force increased with specific gravity under the condition of larger value of feed per tooth (Fig. 1). However, under the smaller value of it, cutting force seems to be scarcely dependent upon specific gravity (Fig. 2).

It is assumed that under the smaller value of feed per tooth, friction force between saw blade and woolly grain on the sawn surface, which is apt to occur with Southern hardwood, put the normal correlation of cutting force to specific gravity into confusion because of the smaller values of cutting force.

A-2 Cutting force linearly increased with feed per tooth in all species (Fig. 3) and the rate of increment increased with specific gravity (Fig. 4).

A-3 Grade of woolly grain was independent of specific gravity (Fig. 6). It was observed clearly in the timbers with interlocked grain of a high grade.

B) Planing property (air dried lumber)

B-1 Cutting force increased with specific gravity in both up and down milling. However, the coefficient of correlation in up milling was smaller than that in down milling because of the occurrence of advanced splitting and its irregularity in the former.

B-2 Roughness of planed surface was measured by knife edge type stylus with the edge of 0.7 mm width in order to eliminate the influence of cellular structure. The roughness decreased with the increase of the specific gravity, but the coefficient of correlation was very small.

The coefficient of friction between sponge and machined surface linearly decreased with the increase of the specific gravity (Fig. 10).

B-3 As to cutting accuracy, cutting error was investigated. In this study cutting error means the sum of elastic and plastic recoveries of machined surface (W_T , Table 10). Using the tool which had a worn portion (edge recession: $R_f = 25 \mu\text{m}$) in the center part of the cutting edge, cutting errors on the surfaces machined with worn and unused sharp portions were compared. The surface machined with the latter indicated no recovery. Cutting error of the worn edge decreased with the increase of the specific gravity (Fig. 13, 14).

The relationship between edge recession (R_f) and cutting force (F_v) vertical to the feed direction was also investigated incidentally. F_v linearly increased with R_f in all species (Table 9 and Fig. 11).

The value of "a" in the empirical formula $F_v = aR_f$ for above-mentioned relationship increased with specific gravity of test species (Fig. 12).

B-4 Species containing silica crystals more than 0.1% in weight severely wore the cutting edge. In such a species, edge recession of cutting edge was independent of specific gravity. There were three types of wearing pattern of tool face according to the machining properties of the materials cut Type I, II and III (Fig. 20). In Type I wear (depression) zone was observed at some distance from the cutting edge and in Type II the wear overspread the neighbourhood of cutting edge. The values of R_f of Type I group were less than those of Type II

group with a few exceptions for some species cut (Table 10 and Fig. 15).

It seems that one of the causes for the Type I wearing is the occurring of micro advance splitting ahead of cutting edge in the materials tested. The fluctuation of parallel force in orthogonal cutting was larger in such species than in the species causing Type II wearing.

C) Orthogonal cutting (air dried lumber)

Cutting force linearly increased with specific gravity. The interlocked grain improved the cutting force violently.