

木材の削り抵抗について

中 村 源 一⁽¹⁾

青 山 経 雄⁽²⁾

1. 緒 言

木材の利用上切削加工は普遍的必然的手段にかかわらず、金属その他の諸材料に比べ比較的容易な加工性のために、従来この方面の研究に乏しい。しかし木材利用の精密化、合理化の最近の趨勢は切削加工についても、その基礎的資料が必要とされ、なканずく、切削機構の解明、切削諸条件と削り抵抗、面仕上精度、刃物耐久性等の究明が課題とされておる。したがってこの研究は木材の加工性を究明する諸段階として、木材の各種多様の切削加工のうちで、最も単純であり、また基礎的方式と考えられる、いわゆる平削の場合を取り上げ、本邦産材 25 種類の静的削り抵抗を測定し、切削条件との関連において木材のいわゆる切削性能についての基礎的資料を得ることを主目的としたものである。削り抵抗の大小は直接動力消費、刃物耐久度または木工機械の振動等に影響し、したがって加工面の精粗、寸法誤差等に関係する。それゆえ、本邦産材各樹種の削り抵抗の標準値が得られるならば、この研究の削り方式とほぼ同じ削り機構で作用するスライサー、スーパーサーフェサー、スクレーパー等の実用諸機械の設計や改良に対する示唆を与え、また木材利用上よりは適材選択の一基準として役立つことも期待できるであろう。この研究はこのような直接の実用を終局の目的としたものである。

なお、この研究で削り抵抗の測定方法として採用した方式は捩れ磁歪効果を利用したもので、刃物の進行方向に対する主削り抵抗と刃物軸のトルクを同時に測定し得ることに特長をもつものである。この研究を報告するにあたり、指導校閲をいただいた斎藤場長、小倉木材部長、東大平井教授（兼加工科長）、実験装置について援助をいただいた当時 本多作業科長、運輸技術研究所、安積博士、幸尾、前田技官、実験実行をともにした当時加工研究室、斎藤真寿夫技官に感謝の意を表する。

2. 実験装置と方法

削り抵抗の測定方法としては、最近工業力学上各種力量計や衝撃圧力計等に応用されつつある捩れ磁歪効果を利用する方式を採用した。この方式は削り抵抗の測定手段として、よく用いられる圧電気法に比べ外周条件に支配されず、取扱いも簡単であり、また削り抵抗の時間的変

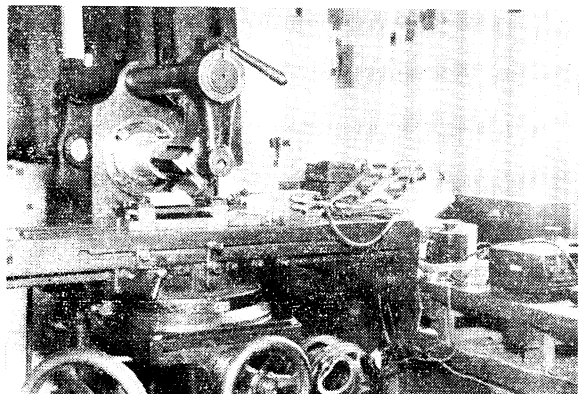


Fig. 1 実験装置
Testing apparatus.

(1) 木材部木材加工科加工研究室長 (2) 木材部木材加工科加工研究室員

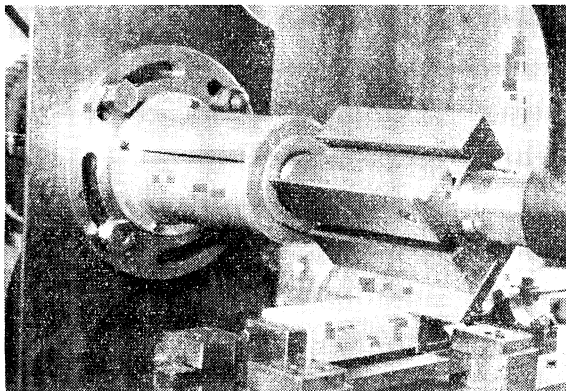


Fig. 2 切削状況
View of cutting.

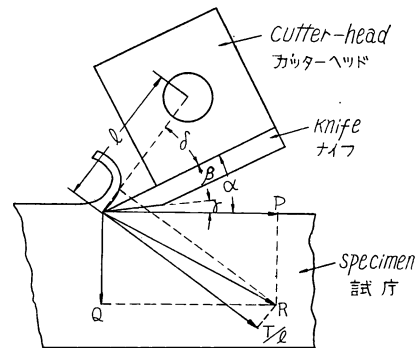


Fig. 3 刃先にはたらく切削力の関係
Relation of forces acting on the
knife edge.

動も忠実に測定できるからである。交番磁場における振れ磁歪効果についての理論および応用例はすでに論及されておるから、発条の弾性を利用する予備実験結果より適宜性能諸元を定め、削り抵抗測定部位を Fig. 1~2 に示すようにフライス盤の送り台および廻転軸の位置に取り付けたものである。

Fig. 3 に示すように刃物が木材を削るためには刃先にある方向の力 R が作用しなければならない。これに対し木材内部には同大の削り抵抗を生ずる。 R は削り方向とこれに垂直方向の二成分に分解されるから、前者すなわち主削り抵抗または水平削り抵抗 Haupt Schnitt Kraft を P 、後者すなわち垂直削り抵抗 Stoss Schnitt Kraft を Q で表わすこととする。したがってカッターヘッドに作用するトルクを T とすれば刃先とカッターヘッドの廻転中心を結ぶ直線に直角方向の成分 T/l および P, Q の釣合いの関係から次式が成立するはずである。

$$Q = \{T - Pl \sin(\alpha + \delta)\} / l \cos(\alpha + \delta) \quad \dots\dots\dots (1)$$

l : 刃先とカッターヘッドの廻転中心との距離 (cm)

δ : カッターヘッドの形状により定まる角度、なおカッターヘッドは $\delta = 0^\circ$ の特殊型を適宜使用した (deg.)

α : l と削り方向のなす角度すなわち切削角 (deg.)

それゆえに T と P を直接測定することにより Q を計算上求め得られるはずであるから、そのためトルク計、張力計として、2 個の磁歪管を使用し Fig. 4 に示す結線図のように力を直流電流値に変換し、電流計の読みまたはオシログラフによりその変動状態を記録するようにしたものである。

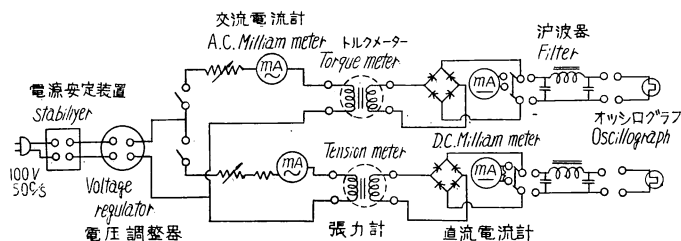


Fig. 4 実験装置結線図
Circuit of apparatus

較正試験は張力計の場合試験片支持台より滑車を通じ索を張り 5~10kg ごとに負荷し荷重と電流値の関係を求め、トルク計においては軸に直接方向にアームを取り付け、その先端に同様に重錘を負荷し、トルクと電流値の関係を求め

た。その結果は両者は正比例的関係にあり、負荷増減による履歴現象も無視できる結果であつた。さらに電磁オツシログラフの振動子の振れとの関係も同様にあらかじめ較正し、振れを削り抵抗の大小に応じ適宜制御する目的から、オツシログラフの直列抵抗ごとに試験し、実用上計算図表を作製した。

切削条件として削り速度は静的削り抵抗の測定目的から、装置の許容しうる低速とし、 2.25 mm/sec とした。切込量はフライス盤の送台の上下送りで与え、切削角はトルク計の軸にとりつけたカッターヘッドの角度とトルク計をフライス盤にとりつける位置を変えることにより任意に変化させた。

なお、この報告では刃物の諸角度の名称を Fig. 3 に示すように定めた。

3. 供 試 材 料

(1) 供試用木材 供試した木材の種類は針葉樹材9種、広葉樹材16種、合計25種を供試した。これらの名称、気乾比重は第1表のようである。これらは丸太より厚さ約2寸の厚板に柾目木取りに製材し、室内に棧積して気乾状態に達した後、Fig. 5 に示す形状寸度の試験片を採取した。削り抵抗は削る巾と直線的関係にあることが予備実験で確かめられたので、削り巾は適宜変えて供試した。削り面は繊維方向にあつては春、秋材の影響をなくするため柾目面とし、木口面では削り方向を年輪に切線方向と

第 1 表 供試材の気乾比重と平均年輪巾

Table 1. Specific gravity and width of annual ring in air dry condition of test species.

No.	Common name	Scientific name	Specific gravity (kg/cm^3)	Width of annual ring (mm)
1	スギ	<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON	0.40	1.7
2	コウヤマキ	<i>Sciadopitys verticillata</i> SIEB. et Z.	0.41	0.8
3	トドマツ	<i>Abies Mayriana</i> MIYABE et KUDO	0.43	4.7
4	ハリモミ	<i>Picea polita</i> CARR.	0.44	2.2
5	エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i> CARR.	0.45	0.9
6	ヒメコマツ	<i>Pinus parviflora</i> S. et Z.	0.45	3.5
7	クロマツ	<i>Pinus Thunbergii</i> PARL.	0.53	2.8
8	ツガ	<i>Tsuga Sieboldii</i> CARR.	0.54	1.0
9	アカマツ	<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	0.55	3.6
10	ドロノギ	<i>Populus Maximowiczii</i> A. HENRY	0.36	3.6
11	バツコヤナギ	<i>Salix Caprea</i> L.	0.40	3.5
12	シナ	<i>Tilia japonica</i> SIMK.	0.43	1.5
13	ホオ	<i>Magnolia obovata</i> THUNB.	0.47	1.2
14	カヅラ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> S. et Z.	0.52	1.7
15	シオジ	<i>Fraxinus commemoralis</i> KOIDZ.	0.57	1.6
16	オニグルミ	<i>Juglans Sieboldiana</i> MAXIM.	0.58	2.6
17	ヤチダモ	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR.	0.59	0.7
18	アカダモ	<i>Ulmus japonica</i> SARG.	0.60	1.1
19	タブ	<i>Machilus Thunbergii</i> S. et Z.	0.61	1.9
20	ブナ	<i>Fagus crenata</i> BLUME	0.62	2.1
21	シイ	<i>Shiia Sieboldi</i> MAKINO	0.63	2.1
22	ナラ	<i>Quercus crispula</i> BLUME	0.66	1.4
23	マカンバ	<i>Betula Maximowicziana</i> REGEI	0.70	2.2
24	イタヤカエデ	<i>Acer pictum</i> Thunb.	0.70	3.4
25	アカガシ	<i>Quercus acuta</i> THUNB.	0.93	2.3

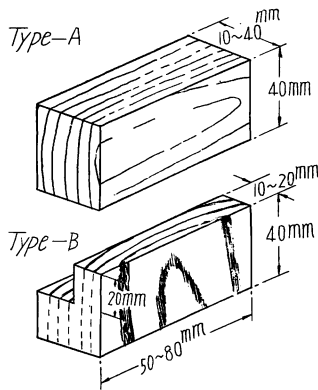


Fig. 5 試片の形状、寸度
Shape and dimension of specimen.

し、年輪の矢高は単位長さ当り 0.2 mm 程度を限度とするように試片を製作した。

(2) 供試用刃物 供試用刃物は平削鉋機械用で材質高速度鋼、硬度 $R_c 65$ 程度のものを用いた。これらは精密ナイフグラインダーで所要角度に研磨した。使用碗型砥石は直径 $6''$ 、材質 Vitrified, 砥料 WA_1 、結合度 G、粒度 #30、組織中で回転数 2000 r/min 、刃物に対する傾斜角 3° の研削条件で研磨した。さらにこれを同機付属の超仕上用砥石 (直径 $3''$ 、材質 Elastic WA, #/1000, 密) で回転数 500 r/min 、刃物に対する傾斜角 1° 以下で、各刃物に対し研磨度をなるべく一様になるように努めつつ、仕上研磨を行い、刃先のまくれのとれるまで油砥石で仕上げで研磨した。研磨した刃物は投影器により 100 倍の拡大像より刃先の凹凸を精査し、最大

0.02 mm 以内になるようにした。このことは刃角の小さい場合のほかは容易であつた。刃角は 15° および 20° それ以上は 10° おきに 60° まで、合計 6 種類を調製して使用した。

この研究の切削条件は、25 樹種について柾目および木口の削り抵抗を切削角 $20^\circ \sim 70^\circ$ の範囲に 10° ごと 6 種類、切込量は測定容量を考慮し柾目では $0.25, 0.50$ および 0.75 mm 、木口面では $0.13, 0.25, 0.50\text{ mm}$ の 3 種類に変化させて実験した。

4. 実験結果と考察

(1) 削り抵抗の変動と削屑の生成

削り作用の進行に伴う削り抵抗の変動は削り屑生成の経過に対応するもので、したがって削り条件と密接な関係があり、またその変動状況は削り機構を解明する上に実験的根拠を与えるものである。これらの関係については模型的解明が試みられておるけれども、実際の場合は、この実験でもみられるように、かなり複雑な変動を示すものである。削り抵抗の変動を示す数例としてオツシログラフ写真を示すと Fig. 6~9 のようである。実験結果によれば、各樹種に共通の傾向として、柾目面削りの場合、切込量が 0.2 mm 程度であれば、切削角の大小に関せず、削り作用の進行に伴う削り抵抗は、ほぼ直線上で安定してお

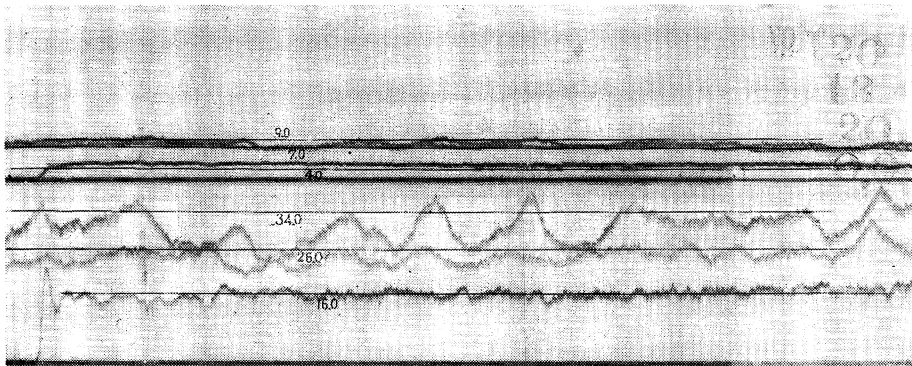


Fig. 6 オツシログラフ写真例 樹種 ツガ、切削面 $\alpha = 20^\circ$ 切込厚 $t = 0.25, 0.50, 0.75\text{ mm}$ 柾目面
Example of oscillograph. species. TSUGA, cutting angle $\alpha = 20^\circ$ depth of cut $t = 0.25, 0.50, 0.75\text{ mm}$, radial surface.

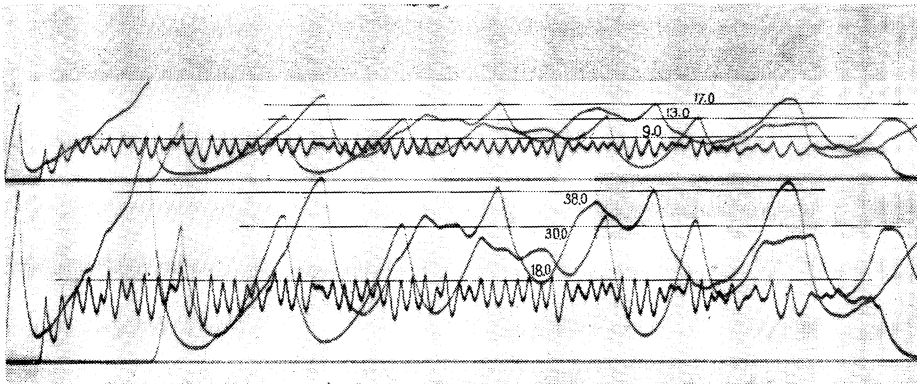


Fig. 7 オツシログラフ写真例 樹種ツガ, $\alpha=50^\circ$ $t=0.25, 0.50, 0.75\text{mm}$ 柢目面
Example of oscillograph. sp. TSUGA. $\alpha=50^\circ$ $t=0.25, 0.50, 0.75\text{mm}$, radial surface.

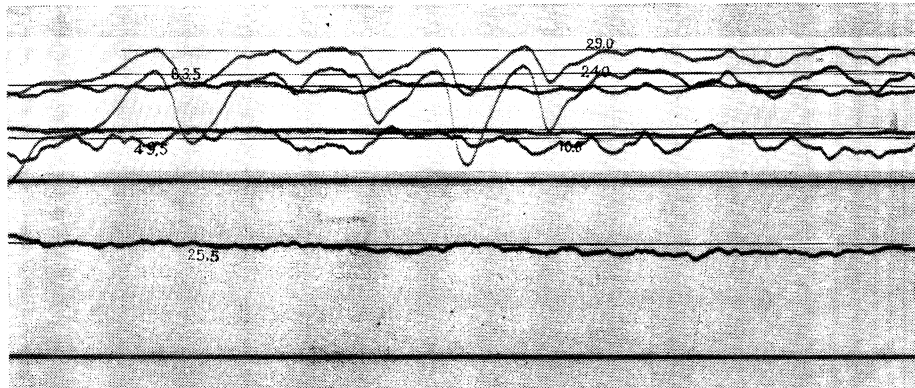


Fig. 8 オツシログラフ写真例 樹種アカマツ, $\alpha=70^\circ$ $t=0.25, 0.50, 0.75\text{mm}$ 柢目面
Example of oscillograph. sp. AKAMATSU, $\alpha=70^\circ$ $t=0.25, 0.50, 0.75\text{mm}$, radial surface.

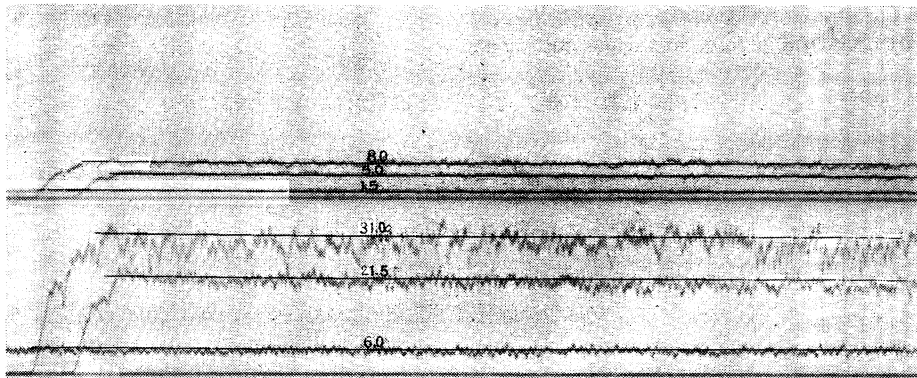


Fig. 9 オツシログラフ写真例 樹種カツラ, $\alpha=40^\circ$ $t=0.13, 0.25, 0.50\text{mm}$ 木口面
Example of oscillograph. sp. KATSURA, $\alpha=40^\circ$, $t=0.13, 0.25, 0.50\text{mm}$, end surface

るが、切込量を増せば、削り抵抗の変動は切削角が支配的要因となり、切削角 $30^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で最も激しい傾向がみられる。切削角が 70° に達すると削り抵抗自体は著しく大となるが、その変動はかえって小さくなり、削り抵抗曲線はゆるやかな起伏を示す状態となる。これらの関係を明らかにするため一例としてツガ、カエデ、ホオの3種の削り抵抗曲線の上限值と下限値の差を変動値として各切削角ごとに図示す

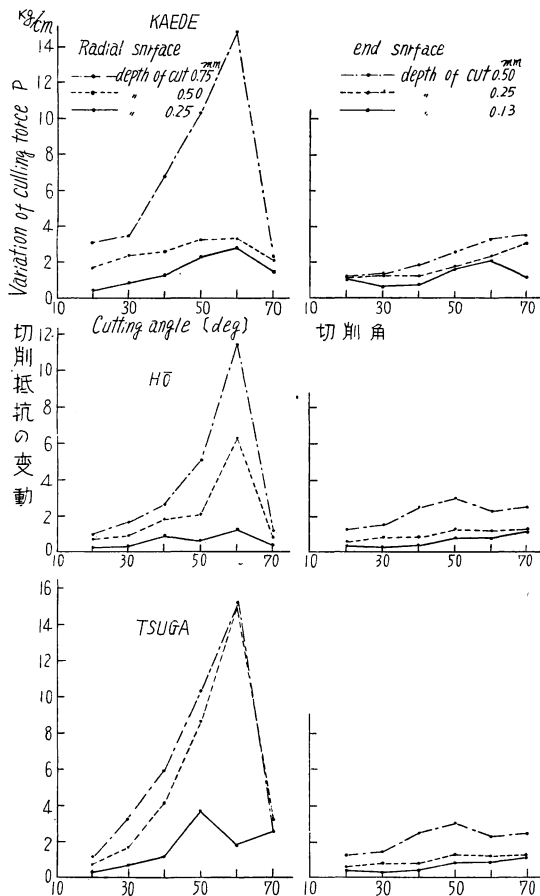


Fig. 10 各切削角に対する水平切削抵抗の変動
Variation of cutting force at various cutting angles.

いずれの樹種も示し、削り抵抗の変動も繊維方向の場合とは異なり、変動の巾は小さく、変動週期は著しく小さくなることがみられた。

以上のように基本的削屑の生成が各樹種ともに認められたのであるが、なお次のことが観察された。

- (1) 柎目面削りにおいては全樹種ともに削屑はスパイラル状に生ずるが、その曲率半径は切込量を増すにしたがい大きくなり、切削角を増せば小さくなる傾向がみられた。
- (2) 木口面削りでは切削角の大きい場合は削屑は非連続であつて、カバ、カエデ等では飛散することがある。
- (3) シイのように繊維の直通性を欠く樹種では切込量が大きいときは、仕上面はむしれやすい。
- (4) エゾマツ、トドマツ等の針葉樹材中、軽比重材は切削角が大きいときは典型的縮み型を示す。
- (5) 木口面削りの場合、針葉樹材および環孔材は、削り面にも割裂を生じ、特に春材部のむしれを生ずる。このことは切削角、切込量が大なる時顕著である。

なお、削り抵抗は以上のように削り作用の経過に伴い変動するから、削り抵抗値の決定は実験で得られた変動曲線より並外れて大きなピークを除いて、各ピークの平均とみなされる平均的高さを求め基線との

と Fig. 10 のようである。各樹種ともにおおむね以上述べた傾向がこの図より判明するが、シイの場合は 70° においても変動が激しく例外であつた。木口削の場合にあつては削り抵抗の変動は柎目面削りの場合にみられるような激しい変動は見られず、切込量および切削角を増せば、変動量が大きくなる一般的傾向を示してゐる。

以上の事実を従來說明されておる切削機構の関連において考察すると、柎目面削りにおいて切込量 0.2mm 程度では $20^\circ \sim 70^\circ$ の切削範囲では削屑の塑性変形が主であつて、したがつて削り抵抗の変動は少ないいわゆる流れ型 Continue Type であり、切込量を増すと、刃物によつて木材特有の割裂を生じ、削屑は曲げ破壊を生じつつ削られるために、いわゆる折れ型 Break Type となり、変動が激しく表われるようになる。切削角が 70° に達すると切削は迂り破壊を生じつつ、外見上は著しく圧縮された、いわゆる縮み型 Flow Type となり抵抗の変動はかえつて減少する。

木口面削りの場合においては繊維方向に剪断されつつ発生する剪断型 Shear Type を

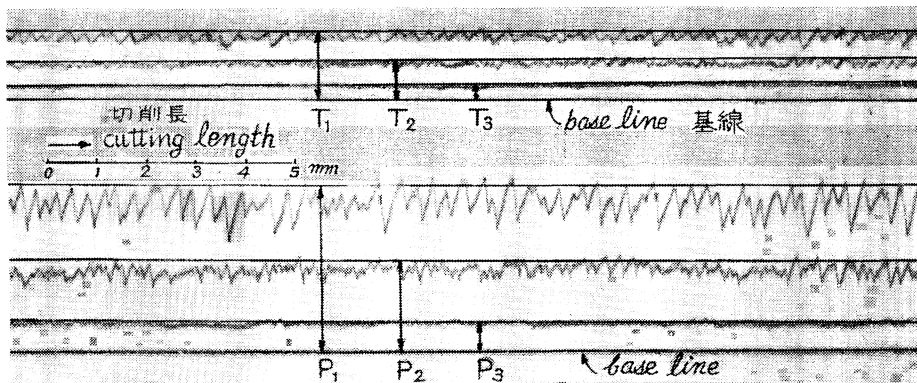


Fig. 11 切削抵抗のきめ方の一例

樹種 マカンバ, 切削角 60° 切込量 0.13, 0.25, 0.5mm 木口面 P_1, T_1 は切込量 0.5mm P_2, T_2 は切込量 0.25mm P_3, T_3 は切込量 0.13mm のときの水平切削抵抗, トルクを示す

Example for determining method of cutting force.

Species: MAKAMBA Cut surface: end surface Cutting angle: 60°
depth of cut: 0.13, 0.25, 0.5 mm P_1, T_1 : Horizontal cutting force, torque at depth of cut 0.5 mm P_2, T_2 : Horizontal cutting force, torque at depth of cut 0.25 mm P_3, T_3 : Horizontal cutting fore, torque at depth of cut 0.13 mm

距離をもつて定め較正した。この関係を一例をあげて図示すると Fig. 11 のようである。

(2) 削り抵抗に対する切削角の影響

刃物の適正な形状と取付け角度を知ることは実用上必要であつて、そのためには刃角、逃げ角または両者の和で表わされる切削角について、種々なる場合の組合せについて実験を試みなければならないが、本実験のように刃物が材の送り方向と一致して運動する削り状態においては、切削機構に最も影響を与える切削角にまず注目して実験を単純化した。したがつて切削角を構成する刃角は削り抵抗と密接な関係を、もつとともに実用上刃物自体の剛性、耐磨耗性、刃先の欠損や研磨の難易等に直接影響を与えると考えられる重要な要素であるから、実用範囲を考慮して $15^\circ \sim 60^\circ$ 間に 6 種類の刃角を選んだ。また逃げ角は刃物の刃先以外が被削物に接触しないように、いわゆる逃げを取つた角度であり、回転刃物の場合は回転数、送り速度、切込厚等の削り条件により、いわゆる逃げの程度に差を生ずるけれども、本実験の場合はこのようなことはないから、削り抵抗に影響すると考えられる逃げ角の極端に小さい場合を除いて、便宜上刃角 15° の場合 5° の逃げ角、他の刃角の場合は、いずれも 10° として実験した。したがつて切削角は $20^\circ \sim 70^\circ$ の範囲について、削り抵抗の測定を行い、スギ外樹種について得られた結果を図示すると Fig. 12~13 のようであつた。

(a) 柱目面削りの場合 Fig. 12 (1~15) に示されるように供試樹種に共通的傾向としていえることは次のようである。すなわち P は切削角 α が大となるに従い漸増し、 $60^\circ \sim 70^\circ$ に達すると急増することで、この傾向は切込量が大きい程顕著である。この関係を、さらに樹種別に検討すると、シナは削り抵抗に対する切削角の影響が他材に比べて著しく小さく、バツコヤナギ、トドマツ、スギ、ホオ、コウヤマキ等はアカガシ、マカンバ、イタヤカエデ、ナラ、ブナ、ツガ等に比較すれば、この影響が、より少ない傾向がみられた。削り抵抗の最小値を示す切削角は大部分の樹種はこの実験範囲での最小切削角 20° であつたが、スギ、アカダモは 30° のとき最小値を示した。上述の削り抵抗に対する切削角の影響は樹種

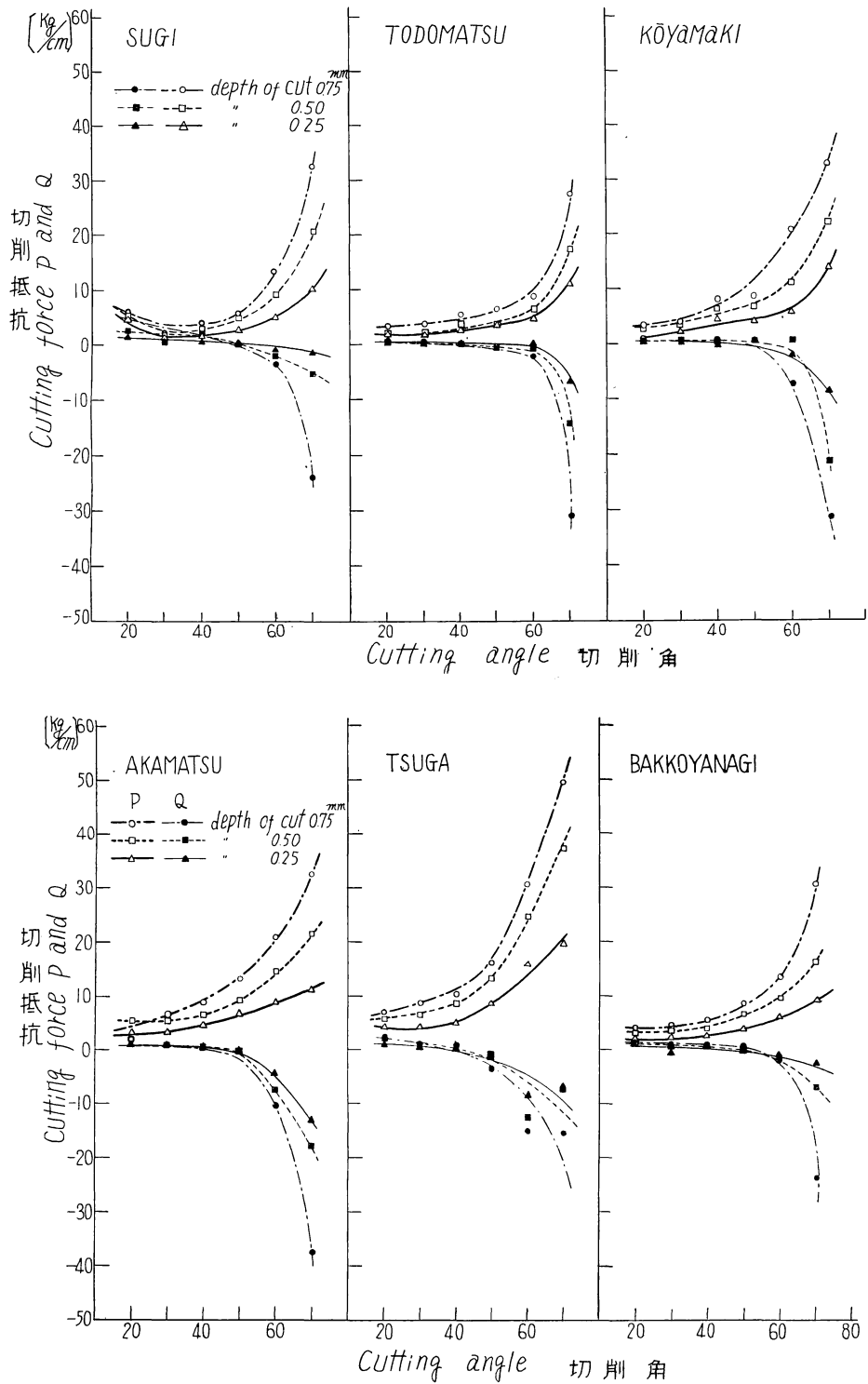


Fig. 12 (A) 柁目面切削のときの切削角と切削抵抗 P, Q の関係
Relation of cutting force P and Q to cutting angle at radial surface.

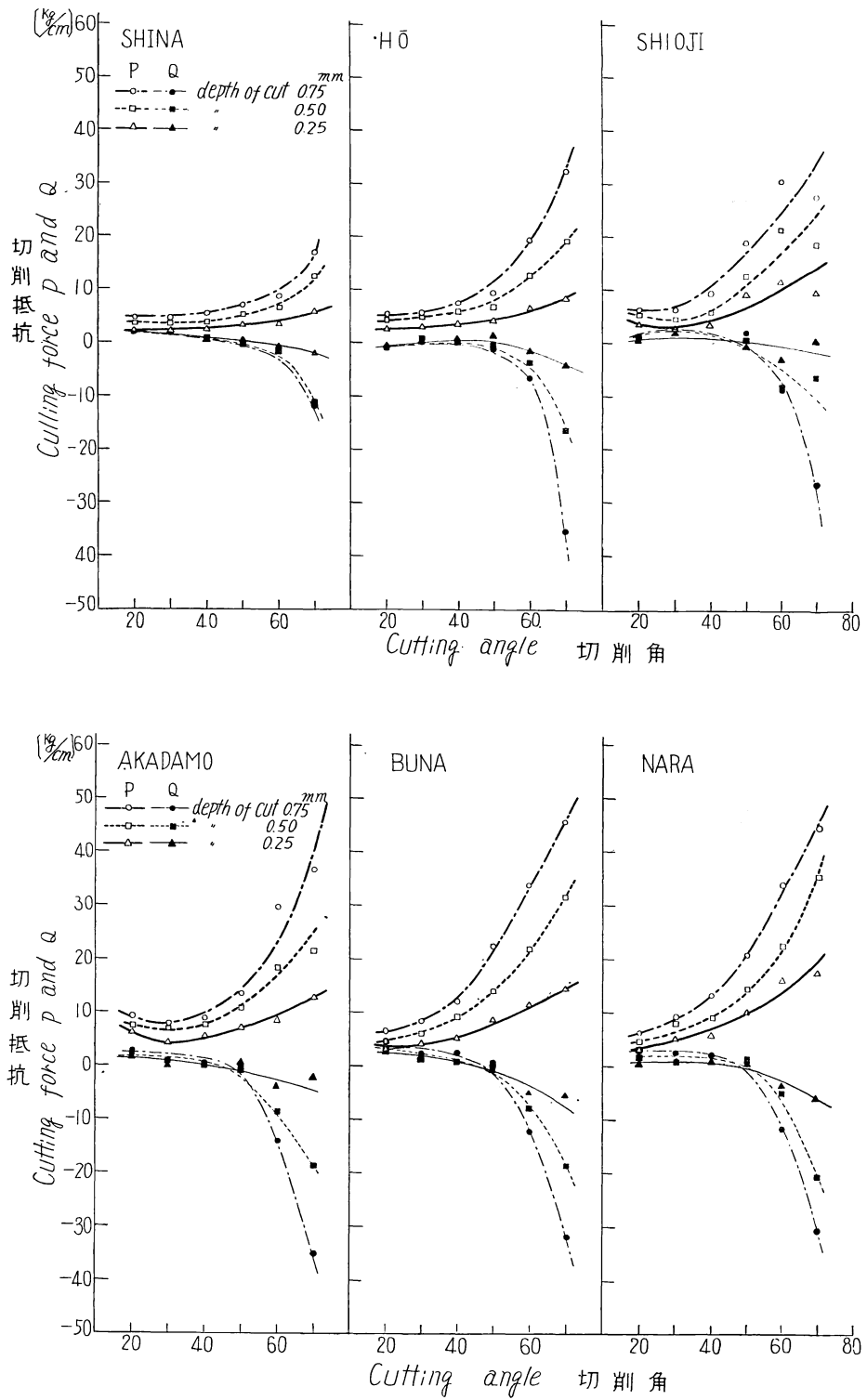


Fig. 12 (B)

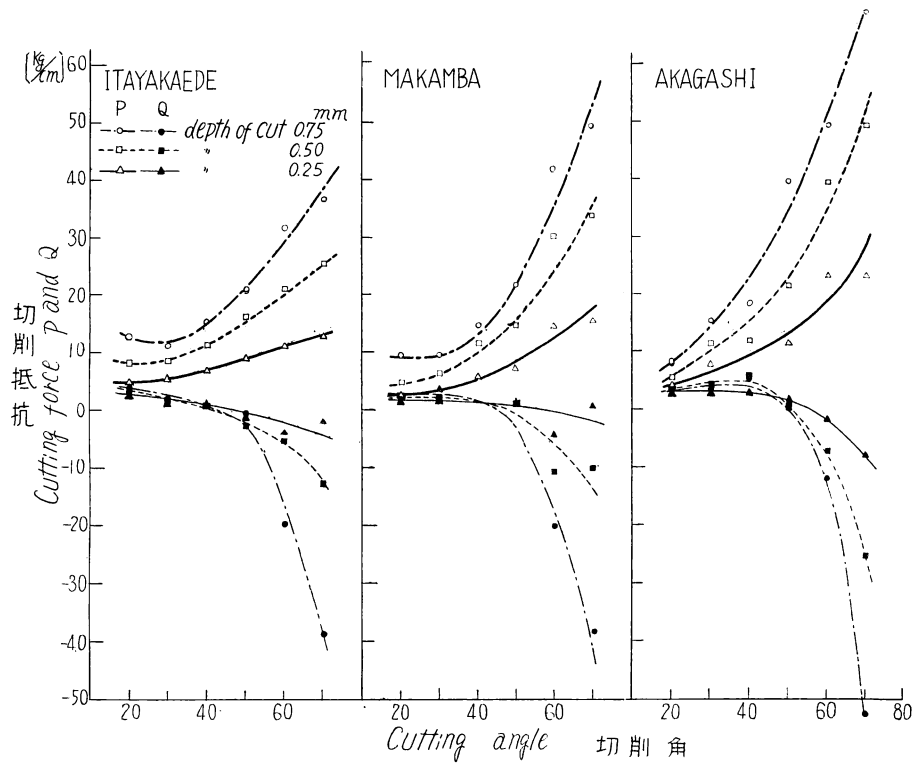


Fig. 12 (C)

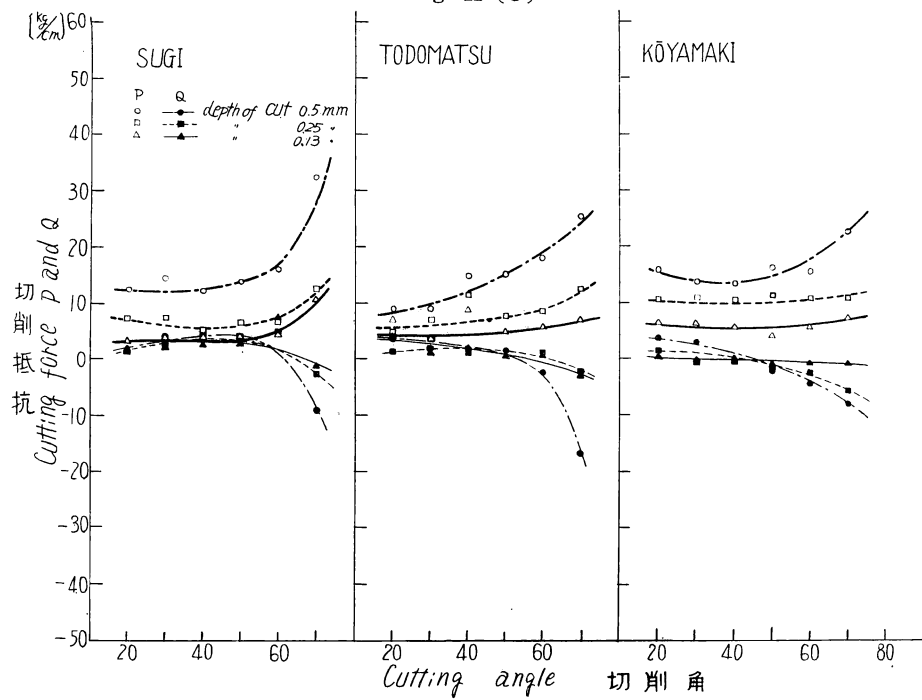


Fig. 13 (A) 木口面切削のときの切削角と切削抵抗の関係
Relation of cutting force P and Q to cutting angle at end surface.

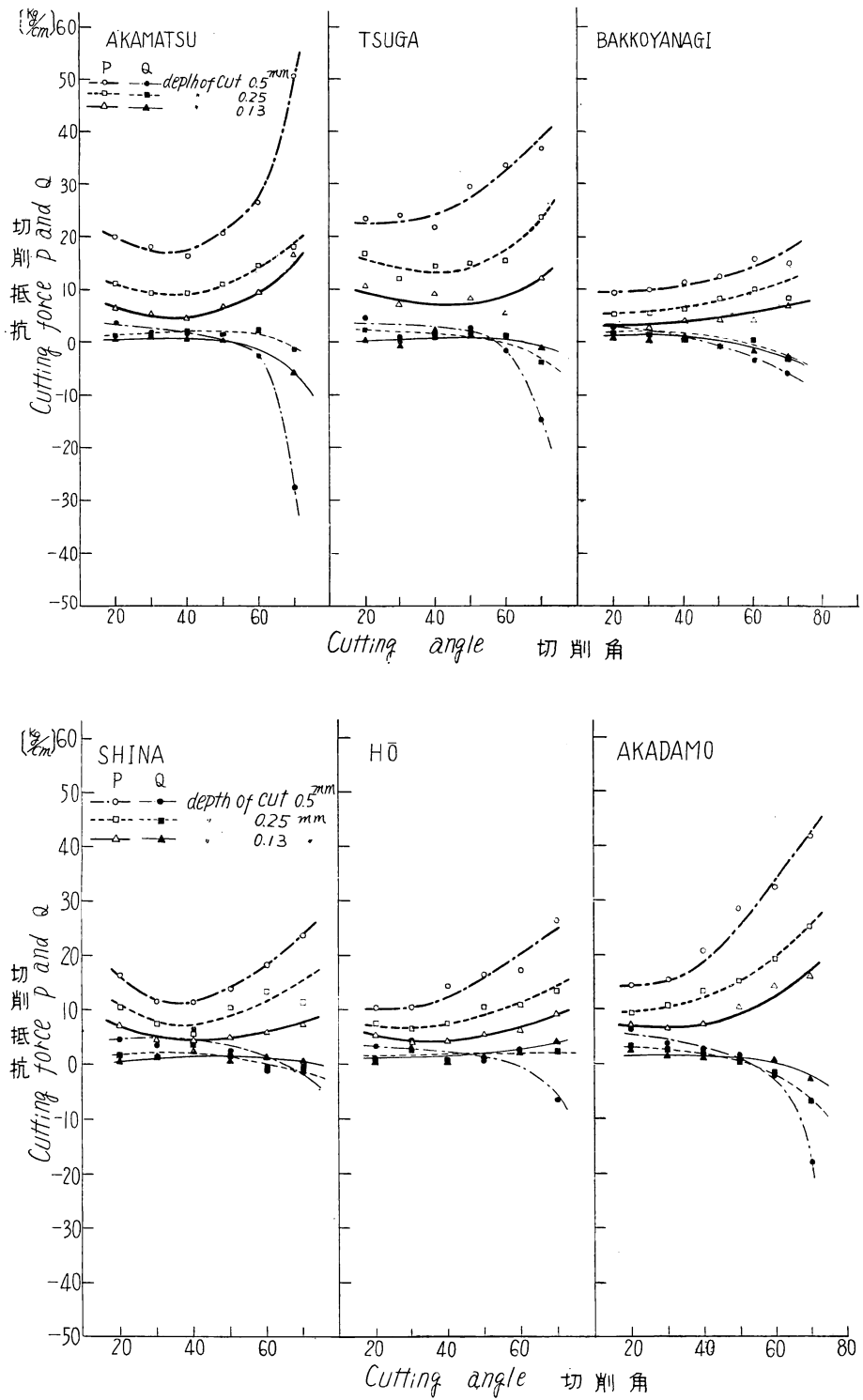


Fig. 13 (B)

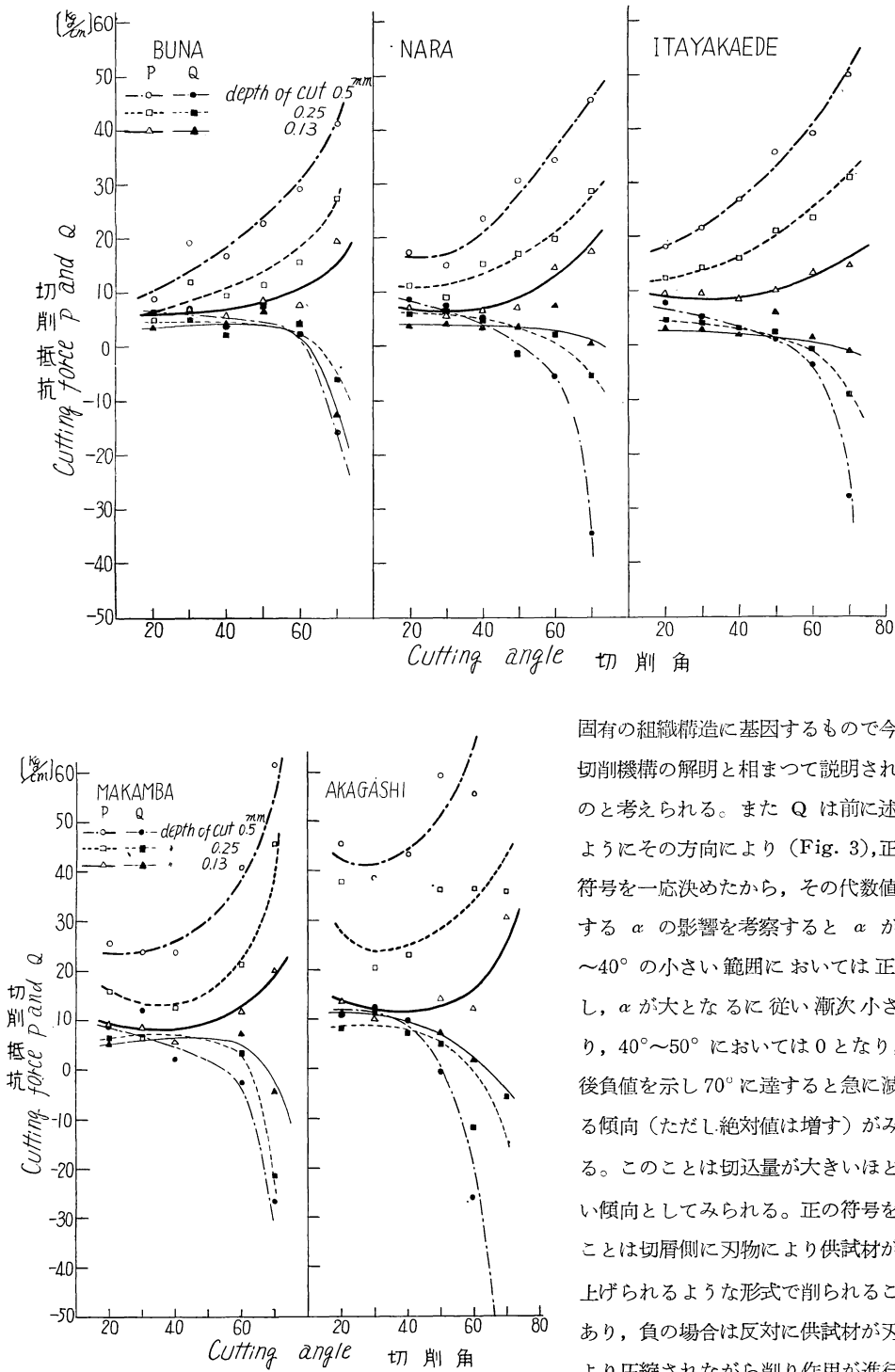


Fig. 13 (C)

固有の組織構造に基因するもので今後、切削機構の解明と相まつて説明されるものと考えられる。また Q は前に述べたようにその方向により (Fig. 3), 正負の符号を一応決めたから、その代数値に対する α の影響を考察すると α が $20^\circ \sim 40^\circ$ の小さい範囲においては正を示し、 α が大となるに従い漸次小さくなり、 $40^\circ \sim 50^\circ$ においては 0 となり、その後負値を示し 70° に達すると急に減少する傾向 (ただし絶対値は増す) がみられる。このことは切込量が大きいほど著しい傾向としてみられる。正の符号をもつことは切屑側に刃物により供試材が持ち上げられるような形式で削られることであり、負の場合は反対に供試材が刃先により圧縮されながら削り作用が進行することを意味するものである。供試材 15

種について Q/P の値, または P

と Q の合力の方向を示す $\tan^{-1}Q/P$ の値を α ごとに図示すると Fig.

14 のようである。これらの関係より $\alpha=40^\circ\sim 50^\circ$ では Q の値は P の約 5~15%, 30° 以下, 50° 以上では約 20~100% の範囲に分散することが知れた。また P と Q の合力の方向は $\alpha=40^\circ\sim 50^\circ$ 付近においては材の送り方向に對しわずかに上下する方向に働くにすぎないが, 30° 以下では上向きに, 60° 以上ではおおむね下向きに $20^\circ\sim 45^\circ$ の角度範囲で作用することが, この実験結果より明らかにいえると考えられる。 $Q=0$ となる場合は仕上面にまつた力のかからない状態で, 合理的な切削条件と考えられ, 切削角については各樹種ともに, おおよそ $40^\circ\sim 50^\circ$ の範囲内が, この条件を満足するように思われる。

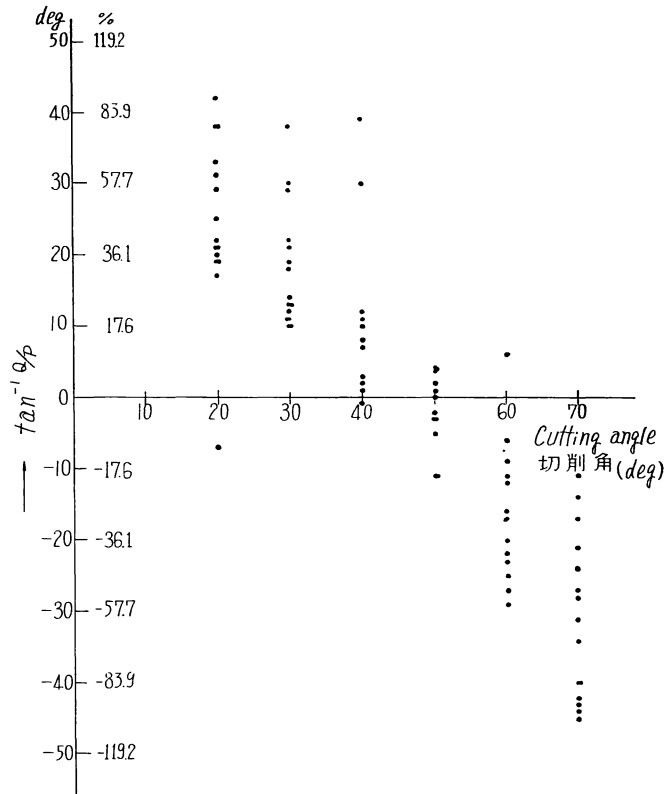


Fig. 14 切削角と $\tan^{-1}Q/P$ の関係 柾目面, 切込厚 0.5mm
Relation between $\tan^{-1}Q/P$ and cutting angle, radial surface.
depth of cut 0.5 mm.

(b) 木口面削りの場合 この場合における P と Q に対する α の影響を図示すれば Fig. 13 (1~14) に示すようである。柾目面の削り抵抗に比べ切削角に対する実験値の偏差が目立つけれども, 多くの樹種にみられる傾向としては柾目面削りと同様に切削角が大きくなれば削り抵抗 P もしたがって増大する。しかし, この増加率は柾目面に比べかなり小さく, 切込量の小さいときはほとんど変わらない場合もみられた。なおアカマツ, コウヤマキ, シナ, アカガシ等は切削角 $30^\circ\sim 40^\circ$ において削り抵抗の最小値が存在するような傾向がみられたが, その妥当な説明は切削機構を通じて今後解明すべき点であると考えられる。切削角の増大に伴う Q は柾目削りの場合と同じ傾向であるが, 70° において特に激減 (絶対値は増大) する樹種はブナ, ナラ, カエデ, カバ, カシ等の高比重材に顕著である。 Q に対する P の割合 Q/P と, P と Q の合力の方向 $\tan^{-1}Q/P$ を切削角ごとに示すと Fig. 15 のようであつて, Q/P は $\alpha=28\sim 60^\circ$ の範囲では樹種により差異はあるが約 30% 以内であるが, 70° においては 40~90% に達する。合力の方向は $\alpha=20^\circ\sim 50^\circ$ で供試材を持ち上げるように上向きにはたらき, 70° では下向きに材を圧縮するようにはたらく。 $Q=0$ となる α は柾目削りの場合に比べ大きく, おおむね 50° 内外と推定される。

(c) 同一樹種について柾目面と木口面の削り抵抗の比 ($P_{\perp}/P_{\parallel}$) 柾目面に比べ木口面の削り抵抗が大となることは前述の実験値により明らかであるが, 後者は前者の約何倍程度になるかという実用上の目的を得るため, 切込量 0.5mm の場合の各樹種の $P_{\perp}/P_{\parallel}$ の値を α ごとに図示すると Fig. 16 のよ

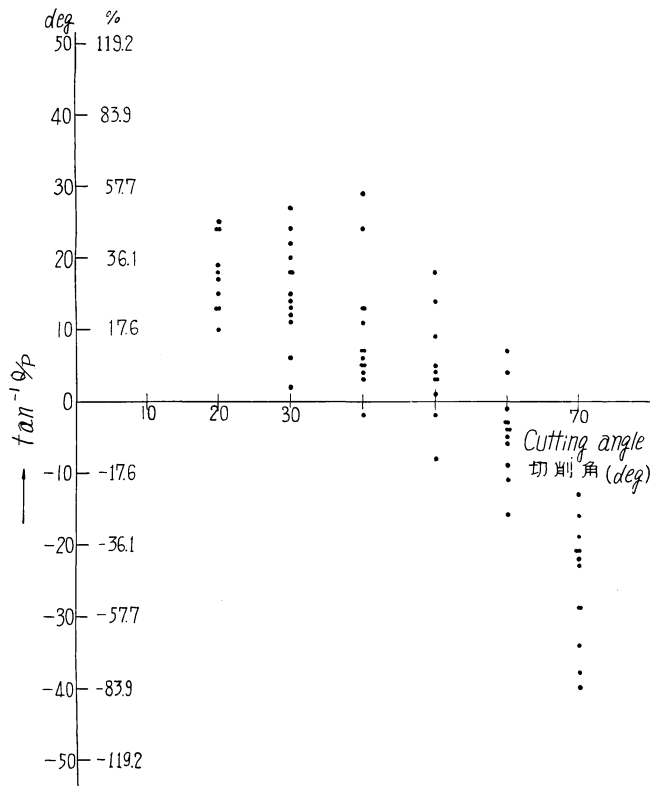


Fig. 15 切削角と $\tan^{-1}Q/P$ の関係 木口面, 切込厚 0.5mm
Relation between $\tan^{-1}Q/P$ and cutting angle, end surface.
depth of cut 0.5 mm.

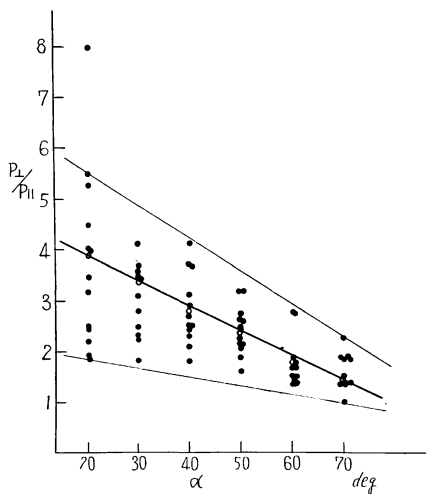


Fig. 16
切削角と柾目, 木口面切削抵抗比との関係
Relation between $P_{\perp}/P_{\parallel}$ and α .

うである。すなわち樹種による差異がかなり大きく $P_{\perp}$ は $P_{\parallel}$ の 2~8 倍の範囲にわたるが, α が大となるにしたがい, この値は小さくなる傾向が明らかにうかがわれ, すなわち α が大になれば削り抵抗の異方性の程度は減少するという事実が示された。

(3) 切込量の削り抵抗に対する影響

Fig. 12, 13 よりもわかるように, 同一樹種で同じ切削角で比較すれば, 切込量を増すと削り抵抗もしたがって増大することは明らかである。逆にこの関係を詳細に知るため $\alpha = 30, 50, 70^{\circ}$ の各場合について柾目面, 木口面の削り抵抗 P と切込量の関係を図示すると Fig. 17, 18 のようである。この実験結果より判断して, この程度の切込量の範囲内では両者はおおむね直線的関係が成立するものと考えてさしつかえない。すなわち, この関係を示す実験式を次のようにする。

$$P = a + bt \dots\dots\dots (2)$$

P : 削り抵抗, 柾目のとき $P_{\parallel}$, 木口のとき $P_{\perp}$ で表わす (kg/cm)。 t : 切込量 (mm)。 a, b : 樹種および切削角により定まる実験常数。

この式に従い切削角別に各樹種ごとに a, b を決定すると, a は同一切削角では樹種による差異が少なく, 多少の偏差を許容するならば, おおむね同じような数値が得られたため, 各樹種の a の平均値を求め, 実験式の a を決定した。 b は同一切削角では, いわゆる軟材より硬材になるに従い順次大となる傾向, すなわち Fig. 17, 18 を一見しても判断されるように直線の勾配が急になる傾向が察知されるため, b は樹種の函数, ここでは各

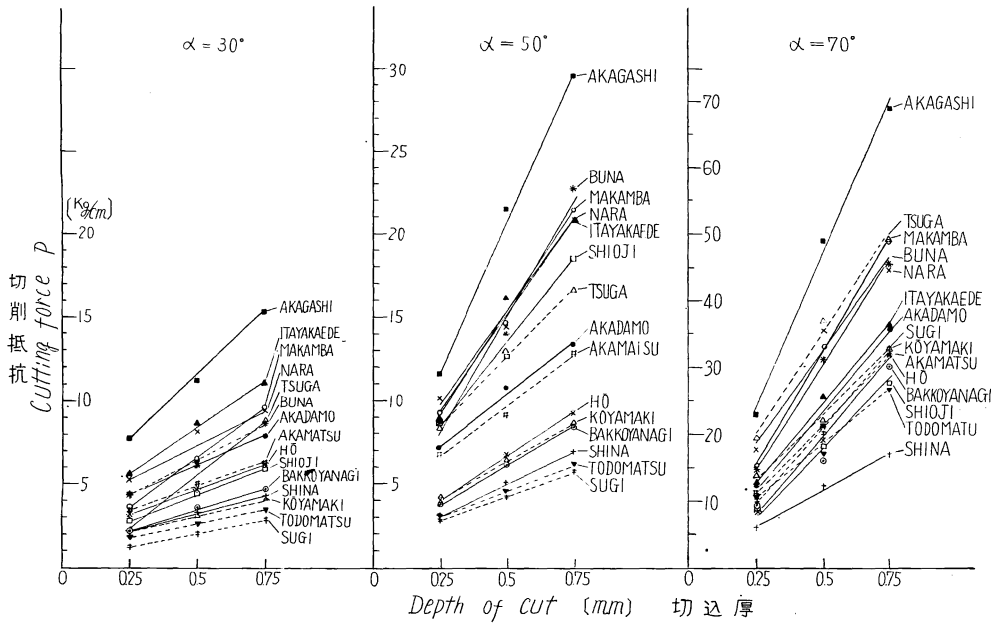


Fig. 17 柎目面切削のときの切込厚と切削抵抗との関係
Relation between cutting force P and depth of cut at radial surface.

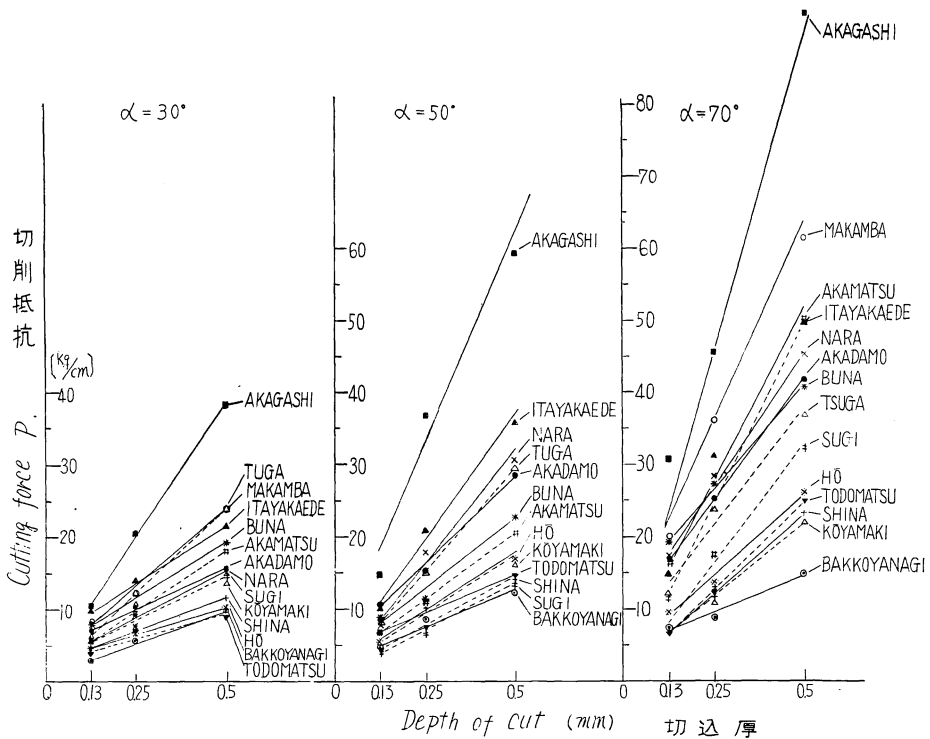


Fig. 18 木口面切削のときの切込厚と切削抵抗との関係
Relation between cutting force P and depth of cut at end surface.

樹種の気乾比重 γ の函数として、一応表示し得ると考察された。b と γ の関係は切削角が大となるに従い、そのバラツキが目立つが、簡単に直線式を適用し、この場合の実験式を決定し (2) 式に樹種を表示する要素としての比重を取り入れることにより、切込量と削り抵抗の関係を表示すると次のような実験式を作り、この関係を明らかにした。

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 30^\circ \text{ に対し } \begin{cases} P_{\parallel} = 1.70 - (4.6 - 21.4\gamma)t \\ P_{\perp} = 2.57 - (33.2 - 116.2\gamma)t \end{cases} \\ \alpha = 50^\circ \text{ に対し } \begin{cases} P_{\parallel} = 2.42 - (14.8 - 54.8\gamma)t \\ P_{\perp} = 2.34 - (32.4 - 126.6\gamma)t \end{cases} \\ \alpha = 70^\circ \text{ に対し } \begin{cases} P_{\parallel} = 0.59 - (8.5 - 123.5\gamma)t \\ P_{\perp} = 4.24 - (50.1 - 218.1\gamma)t \end{cases} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

(4) 本邦産材樹種の削り抵抗値

木材の削り抵抗は切削条件により変化し、また削り面の種類によつても差異があるけれども、前述したように、これらの間には一定の傾向がみられるから、ある与えられた条件で測定された削り抵抗値をもつて、各樹種の加工性の特性を表示する指標とすることができる。したがつて前述した樹種にさらに 10 種を加え 25 樹種について柀目面と木口面について削り抵抗を判定した。切削条件として、切削角は 30° , 50° , 70° とし切込量は 0.5mm を採用した。

一般に木材の物理、機械的諸性質はその比重と密接な関係にあることが知られており、削り抵抗の場合も、その切削機構の理論的説明については未解決であるけれども、削り作用は刃物による破壊現象であるから、削り抵抗自体も比重と密接な関係にあることが容易に推察される。したがつて、各樹種の気乾比重と

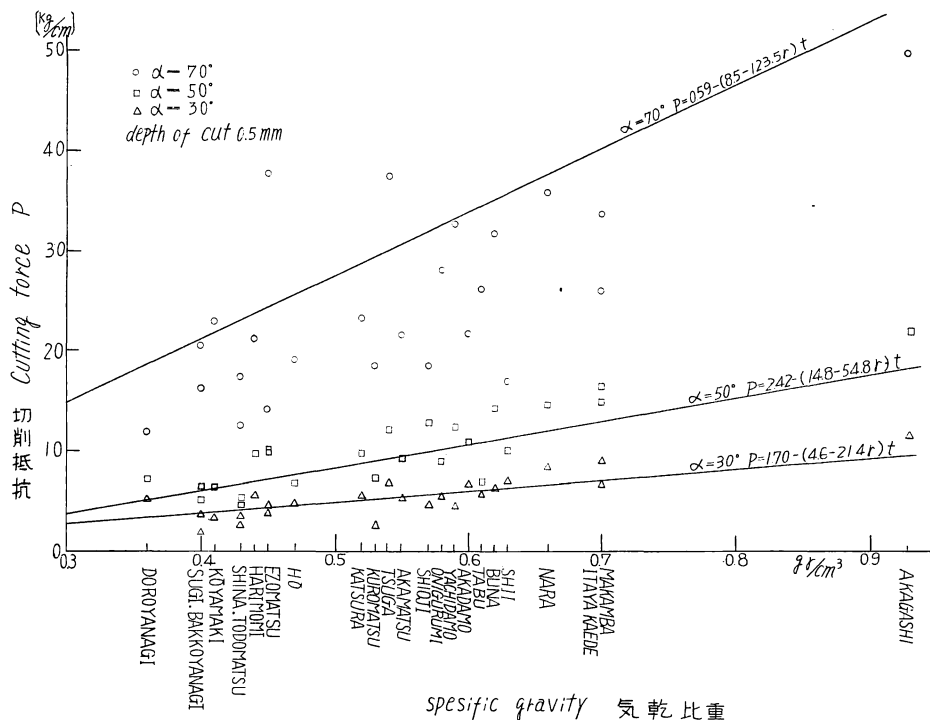


Fig. 19 柀目面切削のときの気乾比重と切削抵抗との関係
Relation between cutting force P and specific gravity in air dry condition
at radial surface cutting.

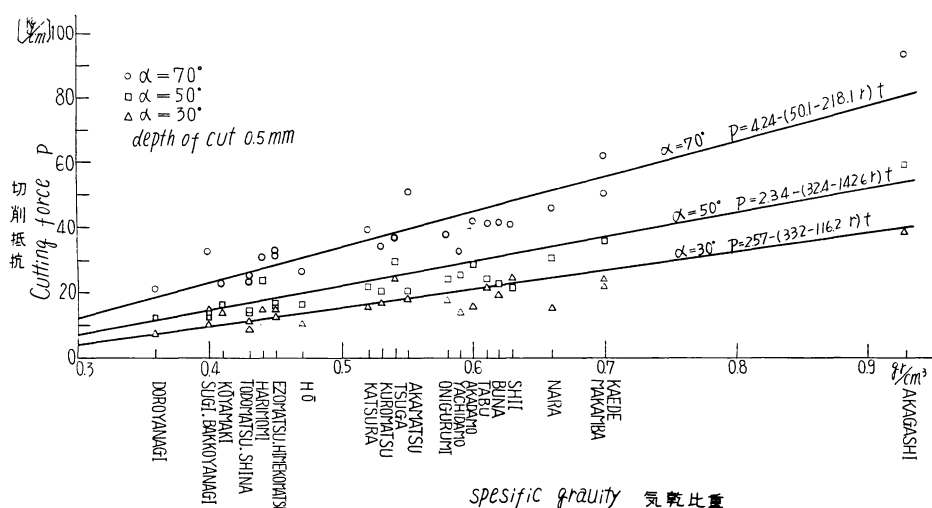


Fig. 20 木口面切削のときの気乾比重と切削抵抗との関係
Relation between cutting force P and specific gravity in air dry condition
at end surface cutting.

削り抵抗 P の測定値を図示すると Fig. 19~20 のようである。この結果によるとかなりの偏差はみられるが概略の傾向として削り抵抗は比重の大小と比例的関係が成立することがみられる。前に述べた各切削角に対して削り抵抗を切込量と比重の函数として表わした実験式に切込量 0.5mm として図に示すと、各樹種の実験値はほぼこの直線を中心に散在するから、各樹種の削り抵抗と比重の関係式として (3) 式は

第 2 表 本邦産材の削り抵抗 ($\alpha=50^\circ$ $t=0.5\text{mm}$)

Table 2. Cutting force of Japanese woods.

Species	Specific gravity	$P_{\parallel}$ kg/cm		$P_{\perp}$ kg/cm	
		Calculated value	Measured value	Calculated value	Measured value
SUGI	0.40	4.2	6.0	13.6	14.3
KÖYAMAKI	0.41	6.4	6.2	16.1	15.2
TODOMATSU	0.43	4.6	6.6	14.9	16.9
HARIMOMI	0.44	9.7	6.9	23.9	17.5
EZOMATSU	0.45	9.9	7.1	15.4	18.1
HIMEKOMATSU	0.45	10.1	7.1	16.5	18.1
KUROMATSU	0.53	7.2	8.9	20.4	24.0
TSUGA	0.54	13.1	9.2	29.3	24.9
AKAMATSU	0.55	9.1	9.3	20.5	25.6
DORONOKI	0.36	7.1	5.1	12.4	11.2
BAKKOYANAGI	0.40	6.4	6.0	12.3	14.3
SHINA	0.43	5.2	6.6	14.0	16.9
HŌ	0.47	6.9	7.6	16.8	19.9
KATSURA	0.52	9.7	8.7	21.8	23.4
SHIOJI	0.57		9.8		27.0
ONIGURUMI	0.58	8.9	10.1	24.3	27.9
YACHIDAMO	0.59	12.3	10.3	25.4	28.5
AKADAMO	0.60	10.8	10.5	28.9	29.0
TABU	0.61	6.8	10.7	23.9	30.0
BUNA	0.62	14.1	11.0	22.7	30.8
SHII	0.63	10.0	11.2	21.5	31.4
NARA	0.66	14.5	11.8	30.4	33.8
MAKAMBA	0.70	14.7	12.7		36.7
ITAYAKAEDE	0.70	16.2	12.7	35.6	36.7
AKAGASHI	0.93	21.6	18.0	59.1	54.0

ほぼ満足すべきものと考えられる。Kivimaa によつて行われた 21 樹種の削り抵抗の実験と比較すれば、実験方法に差異はあるが、この実験式により同じ切込量とした削り抵抗は、両者ほぼ同程度の値を示した。

以上要約するに木材の削り抵抗は削り諸条件により差異があるから、合理的に表示するには多くの変数の函数値として表現されなければならない。しかし、樹種相互の比較値を得る目的とすれば、多少の不合理を許容して唯一の削り条件における削り抵抗値をもつて代表されることが便利である。そのため比較的削り抵抗の安定する条件として切削角 50° 、切込量 0.5mm における本邦産各樹種の柢目面の削り抵抗の実測値と実験式による計算値を表示すると第2表に示すようである。

摘 要

木材の削り加工性に関する基礎資料として平削の場合の静的削り抵抗を測定した。測定方法は振れ磁歪効果を利用した張力計およびトルク計を試作し、刃物が木材を削る場合刃物が削る方向に受ける力 $P(\text{kg})$ と刃物に与えられる振れ力 $T(\text{kg}\cdot\text{cm})$ を同時にオツシログラフにより記録させた。その記録より波形のピークの平均値を水平抵抗 $P(\text{kg/cm})$ とし、 P と T より計算により垂直抵抗 $Q(\text{kg/cm})$ を求めた。

供試材料は針葉樹材 9 種、広葉樹材 16 種を選び、丸太より製材、木取り後気乾状態に達したものを供試した。切削条件は、切削角 $20^\circ\sim 70^\circ$ 、切込量 $0.13\sim 0.75\text{mm}$ の範囲について、柢目面、木口面の削り抵抗を測定した。その結果次のことが分つた。

(1) 削り抵抗 P の変動は、柢目面削りの場合、切込量が大きいほど、切削角は中間の範囲で激しく変動する傾向を示した。木口面削りでは同様の傾向であるが、それほど顕著ではない。削るときの初期抵抗は定常状態に比べかなり大であつて、切削角が小さいほどこの傾向が著しい。 P と T は、ほぼ比例的関係が成立する。

(2) 柢目面削りおよび木口面削りの場合、概括的傾向として切削角を増せば P は大となり、 Q は切削角の小さい範囲では、刃物が切屑を持ち上げるような方向に働き、切削角が 70° 程度に大となると、削り面を圧縮する方向に働く傾向を示し、その作用方向は切削角の大小により変化する。各樹種のこれらの関係は Fig. 12, 13 に示すとおりである。

(3) 各樹種の P と Q の比および両者の合力の方向と切削角の関係は Fig. 14, 15 に示すように、偏差はかなりあるが、一定の傾向がみられた。

(4) 同一樹種について柢目面と木口面の削り抵抗の比は、樹種により程度の差はあるが、木口面の削り抵抗は柢目面の抵抗の約 2～8 倍の範囲であつて、切削角が大きくなるにしたがい、この比は小さくなる傾向がみられた。

(5) 切込量と削り抵抗 P との関係は、この実験条件の範囲内では、各樹種ともに直線関係とみなして差し支えないと考えられ、切削角別に実験式を決定した (Fig. 17, 18)。

(6) 各樹種の削り加工性を示す指標として、削り抵抗値の安定する条件を決定し、その場合における削り抵抗値を示すと第2表のようであつた。各樹種の削り抵抗値は、その比重と比例的関係があり、切削角別に (3) 式のような実験式を得た。

文 献

- 1) 関口八重吉・長谷川一郎：木材の切削に関する研究，機械学会誌，38，217，40 242.
- 2) 田中義信・津和秀夫：木材の切削に関する研究，精密機械，14 11・12 15 11・12
- 3) 安積健次郎：軸方向に交番磁化せる管の捩磁歪効果及其工業力学上の応用，中央航研彙報，(昭 20. 10)
- 4) 安積健次郎・土屋賢治：磁歪現象を利用する切削加工度の研究，応用物理 16 9，(昭 22) p. 133.
- 5) 国枝与四次郎・石原利雄：鉋盤作業における木材仕上面についての二，三の問題，鉄道業務研究報告，6 6・7 (昭 24) p. 14.
- 6) KIVIMAA, E.: Die Schnittkraft in der Holz-bearbeitung, Holz als Roh- und Werkstoff. Jg. 10, H. 3. (1952) p. 94

On the Statical Cutting Force of Wood.

Gen-ichi NAKAMURA and Tsuneo AOYAMA

(Résumé)

The statical cutting force in the case of planing by means of a fixed knife was measured to provide fundamental data for the cutting property of wood.

As the measuring method, the tension-meter and torsion-meter applying magnetostriction were used, and both the cutting force P (kg) acting on the knife in the direction of feed and torque T ($kg\text{-cm}$) acting on the knife during cutting were recorded simultaneously by oscillograph.

The horizontal cutting force P (kg/cm) was obtained by averaging maximum values recorded, and the vertical cutting force Q (kg/cm) was calculated from P and T .

The test materials consisted of 9 species of softwood and 16 species of hardwood, and were tested after sawn from logs, dried to air dry condition and shaped to the required dimensions.

As cutting variables, cutting angle was varied from 20° to 70° and depth of cut from 0.13 mm to 0.75 mm .

The cutting force was measured in the cases of the radial surface and end surface cutting.

The results obtained are as follows.

(1) The variation of cutting force tended to be wider at deeper cut and medium cutting angle when radial surface was cut. At end surface cutting the same tendency was recognized, but was not so evident.

The cutting force at the beginning was considerably higher than that during cutting, and the smaller the cutting angle, the more remarkable was this trend.

The horizontal cutting force P and torque T were approximately proportional.

(2) Both at the radial surface and at the end surface cutting, in general, P rose as cutting angle increased.

Q acted in the direction that the knife raised chips at decreased cutting angle, and at increased cutting angle, such as 70° , it acted in the direction that the knife compressed the cut surface. Thus, the direction of Q varied according to the cutting angle. These relations in each species are shown in Fig. 12, 13.

(3) The relations of the ratio of P to Q and direction of resultant force of the two to cutting angle are shown in Fig. 14, 15, indicating a definite tendency in spite of comparatively wide deviations.

(4) The ratio of cutting force at end and at radial surface cutting of the same species ranged approximately from 2 to 8, with slight differences among species, and this ratio tended to diminish as cutting angle increased.

(5) The relation between cutting force P and depth of cut in this test tended to be proportional in every species, and empirical formulas were determined at each cutting angle (Fig. 16, 17).

(6) As the index to indicate cutting property of each species, the stable conditions of the cutting force were determined, and the cutting forces in these cases are shown in table 2.

The cutting forces of various species showed a linear relationship to specific gravity, and the empirical formulas (3) were obtained at every cutting angle.