

鎖鋸による切削 (第2報)*

棟 徹 夫

(昭和43年9月30日受理)

Cutting Behaviours of Saw Chain (Part 2)

by Tetuo To

This paper aims to report on the cutting characteristics in more details, in connection with our previous research which was made with the fixed single blade of a saw chain, imposing restriction on its rotation.

(a) The variation of the cutting force is not rectilinear with the exception of its vertical component. As the amount of cutting increases, the cutting force value increases by degrees within the depth of approximately 0.8 millimeters, and then it gains a great deal but beyond 2.0 millimeters returns to a steady increase.

The vertical force has a rectilinear variation, tending to decrease in proportion to depth. All this while, we observed some minus force working, and this may be the reason why the vertical force decreases.

(b) The degree of the rake angle being lessened, the cutting force value increases gently attended with a lineal variation. In this case it must be considered that the change of the rake angle is brought about by the inclination of the blade itself, but that it has no effect on its tool angle.

(c) The shape of the chips shows that the increasing amount of cutting and the lessening of the rake angle brings about a similar result in cutting wooden pieces.

(d) The two-dimensional cutting by the top plate of a blade explains the fundamental cutting behaviour similar that of the standard cutting shown in (a).

1. 緒 言

先の第1報では、鎖鋸の切削特性を総体的に把握する基礎的実験として、実験をおおよそ次の三部門に分けた。

実験 (I)……実際に鎖鋸盤を駆動して被削材を鋸断した (人力による操作のかわりに、フライス盤のテーブルに固定し、テーブルの上下送りによって鋸断した) 際の切削力の測定

実験 (II)……単一鋸刃の切削状況を知るために、鋸刃1個を測定装置に固定し、刃の回転運動を拘束した状態での切削力の測定

実験 (III)……実際の鎖鋸において生ずる刃の回転の影響を見るために、鎖鋸中の特定の刃

* 日本機械学会北海道支部第12回講演会発表 (昭43. 10. 11)

による切削力の測定

これら3部門の実験によって、今まで明らかでなかった鎖鋸の切削特性について、若干ではあるが基礎的な事項が明らかにされ、それらをもとにして、更に種々の角度からの実験観察を推し進めることになった。

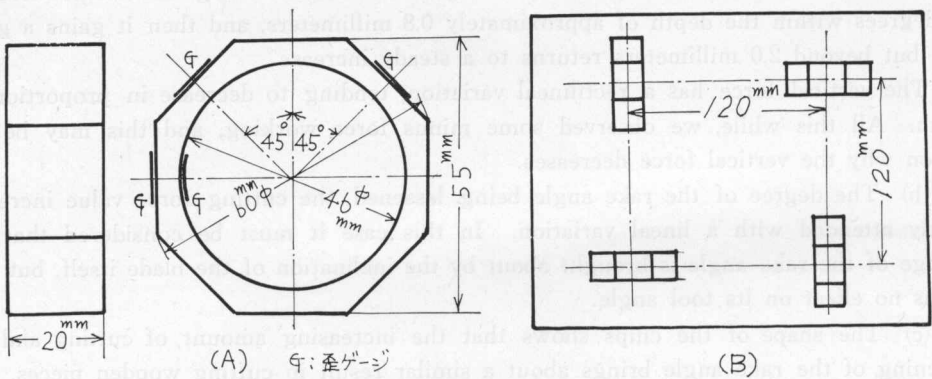
現在、前掲の3部門のうちの実験(II)について、更に細部にわたって実験を継続しているが、その経過において明らかになった事項を第2報として、ここにまとめ報告する。

2. 実 験

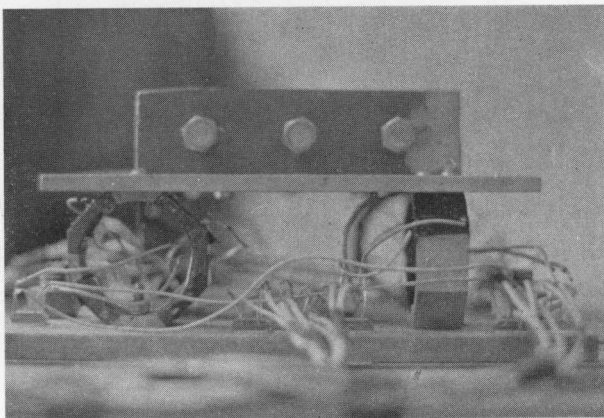
2.1 実験装置および実験方法

2.1.1 切削力測定装置

第1報における切削力測定装置としては、単刃をとりつけた工具側に歪ゲージを貼りつけた装置から切削力を検出する方法をとったが、今回は、被削材側から切削力を検出する方法を採用した。この方法は、いわゆるフライス切削動力計に Shaw などが提唱した六角リング法^{1),2)}



第1図 歪検出用リングの形状寸法および配列図
(A): リングの形状寸法 (B): リング配列



第2図 切削力測定装置外観

を用いたもので、リング材質は軟鋼である。同装置に用いたリングの形状寸法および配列を第1図に、装置の外観を第2図に示す。

切削動力計の較正には、被削材とりつけ台にテストピースと同形の材を固定し、一定長さ一定幅を持つ切削区間を考慮して、切削平面の対角線の交点にそれぞれ主分力、横分力、垂直分力の方向に一致するように重錘を用いて荷重を加え、それによって指示された歪量とで較正表を作製した。この場合、たとえば主分力の較正の際には、横分力および垂直分力は変化せずゼロであることが望ましいが、実際にはある程度の相互干渉が避けられないことが多く、本装置でも、製作過程から若干の相互干渉が派生したので、較正図にもとづいて相互干渉図を作製、次のような補正方程式^{2),3)}を用いて、真の作用力を算出した。

いま検出される3分力、すなわち主分力を P_A 、横分力を P_B 、垂直分力を P_C 、真の作用力をそれぞれ P'_A 、 P'_B 、 P'_C とし、補正直線の勾配を a_{ij} として

主分力の補正における P_A 、 P_B 、 P_C 線の勾配を a_{AA} 、 a_{AB} 、 a_{AC}

横分力の補正における P_A 、 P_B 、 P_C 線の勾配を a_{BA} 、 a_{BB} 、 a_{BC}

垂直分力の補正における P_A 、 P_B 、 P_C 線の勾配を a_{CA} 、 a_{CB} 、 a_{CC}

とすれば、

$$\left. \begin{aligned} P_A &= a_{AA}P'_A + a_{AB}P'_B + a_{AC}P'_C \\ P_B &= a_{BA}P'_A + a_{BB}P'_B + a_{BC}P'_C \\ P_C &= a_{CA}P'_A + a_{CB}P'_B + a_{CC}P'_C \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

となる。いま (1) 式を解くと、

$$\left. \begin{aligned} P'_A &= \left\{ P_A \begin{vmatrix} a_{BB}a_{BC} \\ a_{CB}a_{CC} \end{vmatrix} - P_B \begin{vmatrix} a_{AB}a_{AC} \\ a_{CB}a_{CC} \end{vmatrix} + P_C \begin{vmatrix} a_{AB}a_{AC} \\ a_{BB}a_{BC} \end{vmatrix} \right\} / \Delta \\ P'_B &= \left\{ -P_A \begin{vmatrix} a_{BA}a_{BC} \\ a_{CA}a_{CC} \end{vmatrix} + P_B \begin{vmatrix} a_{AA}a_{AC} \\ a_{CA}a_{CC} \end{vmatrix} - P_C \begin{vmatrix} a_{AA}a_{AC} \\ a_{BA}a_{BC} \end{vmatrix} \right\} / \Delta \\ P'_C &= \left\{ P_A \begin{vmatrix} a_{BA}a_{BB} \\ a_{CA}a_{CC} \end{vmatrix} - P_B \begin{vmatrix} a_{AA}a_{AB} \\ a_{CA}a_{CB} \end{vmatrix} + P_C \begin{vmatrix} a_{AA}a_{AB} \\ a_{BA}a_{BB} \end{vmatrix} \right\} / \Delta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{AA} & a_{AB} & a_{AC} \\ a_{BA} & a_{BB} & a_{BC} \\ a_{CA} & a_{CB} & a_{CC} \end{vmatrix}$$

(2) 式から計算によって補正方程式は次のように求められた。

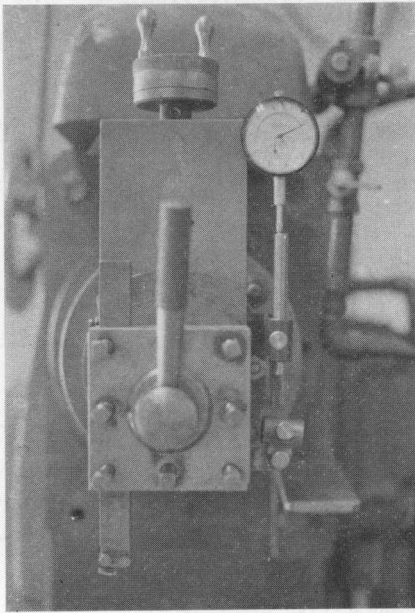
$$\left. \begin{aligned} P_A &= 0.455 P'_A + 0.15 P'_B \\ P_B &= 0.526 P'_B \\ P_C &= -0.028 P'_A + 0.011 P'_B + 0.361 P'_C \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

以下、実験中の切削力の測定値を (3) 式に代入し真の切削力を算定した。なお、使用歪ゲ

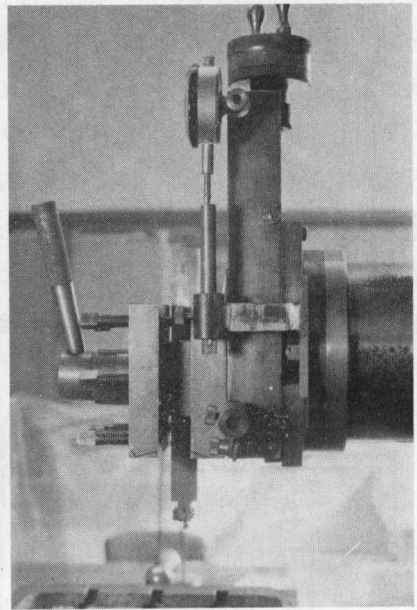
ージは、共和電業製 KP-10-AI-11 ポリエステルセルコンゲージ (G.F=2.05±1%) である。

工具側について言えば、一部に改修をほどこした旋盤用刃物台をフライス盤の主軸端にとりつけ、切込深さは刃物台のダイヤル操作により刃物の上下運動で与え、切込深さの読みとりは、併置したダイヤルゲージによって行なった。切削装置の外観を第3図に示す。

切削方向はテーブルの長手方向とし、切削速度は、テーブルの長手自動送りによって与え、単刃のすくい角の変化は刃物台のスウィーブルによって行なった。第4図に切削状況を示す。

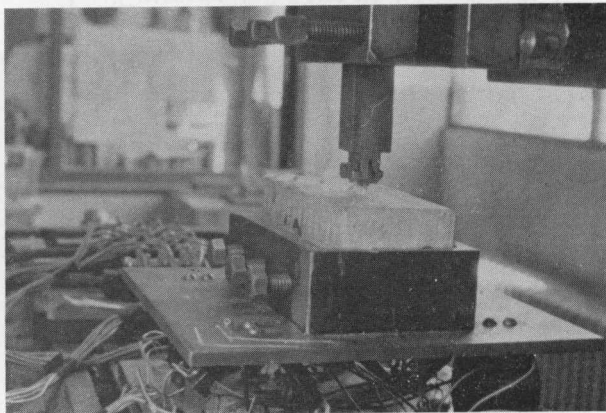


(A): 正 面



(B): 側 面

第3図 切削装置外観



第4図 被削材の切削状況

2.1.2 使用単刃および被削材

使用した鎖鋸単刃は、米国オレゴン社製チップーチェン (Sabre) で、その主要諸元は第1表の通りである。なお、実験にあたってはデプスゲージはグラインダーで切除し、切削力に影響

第1表 使用鋸刃諸元

Front Rake Angle	30°	Side Relief Angle	2°50'
Side Plate Angle	90°	Side Rake Angle	30°
Top Plate Cutting Angle	82°	Top Plate Angle	34°
Relief Angle	5°30'		

響をおよぼさないよう配慮した。デプスゲージは、実際に鎖鋸で切削する際、リンクの回転によって切刃の切込みがある値より大なるのを防止するため、刃と一体になって作られている突起で一種のストッパーである。

被削材としてはえぞ松を用い (含水率 11~14%)、繊維方向に 60×55×130 (mm) の長方形のテストピースを切りとって用いた。

2.1.3 使用機械器具

本江機械製作所製 万能フライス盤

共和電業製 DPM-6CT 型抵抗線歪測定器

同 RMV-33D 型電磁オンロググラフ

(ラビコーダ: M-400-23B ガルバー装着)

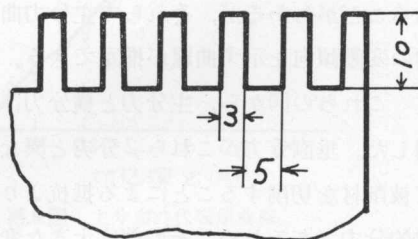
ケット研究所製 M-BD 木材水分計

2.2 実験条件

実際の鎖鋸盤の切削においては、鋸速度は数百米/毎分の高速であるが、単刃の切削挙動を解析する初期段階では、必ずしもそれに近い高速を必要としないし、また使用機械からの制約もあり、本実験では 1050 mm/min を基本速度とし、その他速度変化の影響も配慮して 770 mm/min, 570 mm/min および 430 mm/min の3種の切削速度を適宜採用した。

被削材の切削方向は、木材の繊維方向に平行な場合と繊維を横切る方向とで、切削力にあまり差がない⁴⁾ので、切屑の流出状態を考慮して繊維方向に平行とし、切削面としては板目面を用いた。切削面のとり方についての研究⁵⁾によれば、板目面と柁目面の切削抵抗には大差がなく、追柁面で最大値を示すことが明らかにされている。

基準すくい角 (30°) で単刃を固定した通常切削における切込深さは、0.2 mm から 0.2 mm きざみで 2.4 mm までとした。すくい角を変化させた場合、切込深さは 0.3 mm, 0.6 mm, 1.0 mm の3種とし、すくい角は 30° から 27°, 25°, 22°, 20°, 15°, 15°、



(単位: mm)

第5図 切欠被削面

10°, 5°, 0° の9段階とした。そのほか、切刃の2次元切削を行なうために、第5図に示すような切欠溝を被削面にシェーパーで削りとり、その凸部の切削方向と切刃を直角において切削し、2次元切削における切削力の変動を求めた。

2.3 実験結果および考察

第1報においても指摘したごとく、木材は有機細胞質繊維からなっており、その生長過程によっても材質が変化し、同一材であっても部分的には必ずしも均質とは言えず、異方性を持つ。また含水率の相違、比重、材温など、被削性におよぼす因子として、刃物や切削条件のような外的因子のほかに、これら内的因子を無視することはできない⁵⁾。そのため、実験にあたって測定値のバラツキは避けられず、切削特性を把握するためには、相当数の測定を繰返し、それらによって一定の傾向を統計的に推定することが考慮されなければならない。

今回の実験では、各測定項目について5回程度の測定を行ない、そのバラツキを考慮しながらその変動傾向を解析したが、ほぼ同一の変動傾向がみられたので、その代表値をもって特性の傾向とした。代表値の算出には、実験値計算に用いられる統計的手法^{6),7)}を用いた。しかし、これらの実験結果は、等方性物質を同一単刃で切削して得られる結果と対比して後日検討されるものとする。

実験は、次の3つの項目に分けて行なった。

実験(A)……基準すくい角における固定単刃による切削3分力の変動傾向の解明

実験(B)……すくい角の変化が切削力におよぼす影響

実験(C)……直線切刃の2次元切削の際の切削力の変動

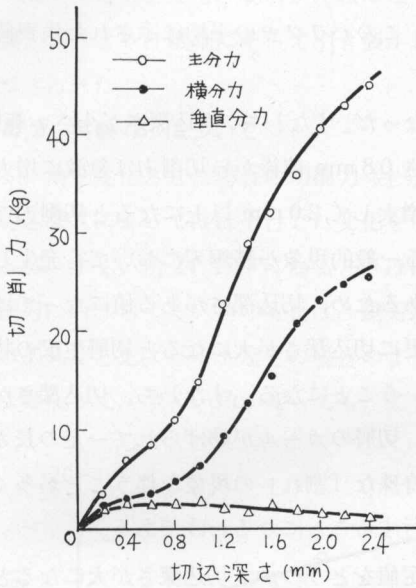
2.3.1 実験(A)について

固定単刃による切削3分力の状態は、先に述べた実験(II)においてその相対関係と、おおよその傾向が示されたが、各分力個々についての特性を明らかにするまでに至ってはいなかったが、この実験では、それぞれについての細部の状況を一層明らかにすることができた。第6図、第7図、第8図は切削速度をかえて切削した場合の3分力曲線で、第9図は主分力について行なった代表値曲線である。

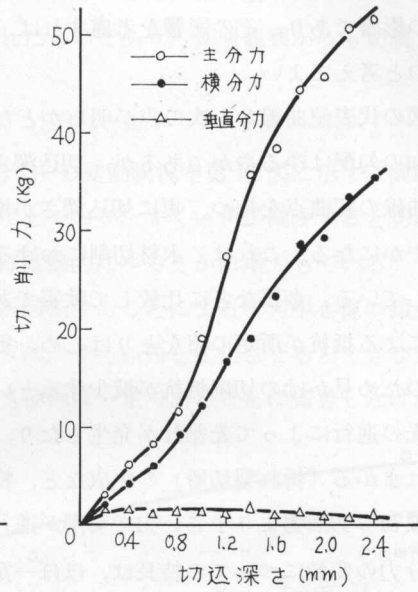
第6図、第7図、第8図を総体的に比較してみると、いずれもその変動傾向がほぼ同様であることがわかるが、それらの主分力曲線を第8図の代表値曲線と対比すると、明らかに切削力の変動傾向を示す曲線が推定できる。

これらの図から、主分力と横分力は細部においても、ほぼ似た傾向の変化をすることが判明した。垂直分力がこれら2分力と異なった傾向を示しているのは、この力は直接切刃によって被削材を切削することによる抵抗よりは、切刃形状によって生ずる全切削力の垂直方向の力学的分力であるため、その値は大きな変化を示さないものと考えられる。

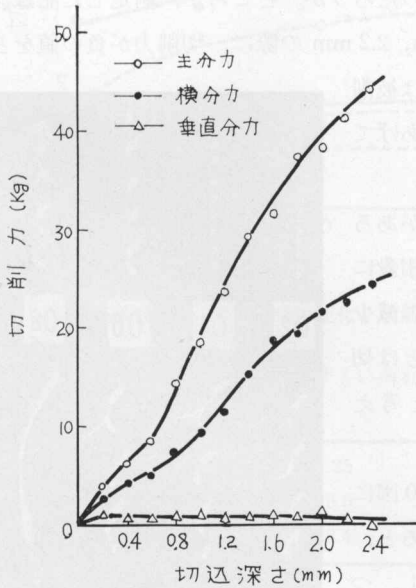
今、切削力のうち最も大きい値をとる主分力を例にとりてその傾向を解析してみる。そのため、第9図を観察すると、測定点のバラツキは切込深さが大になるほど大きくなっているが、



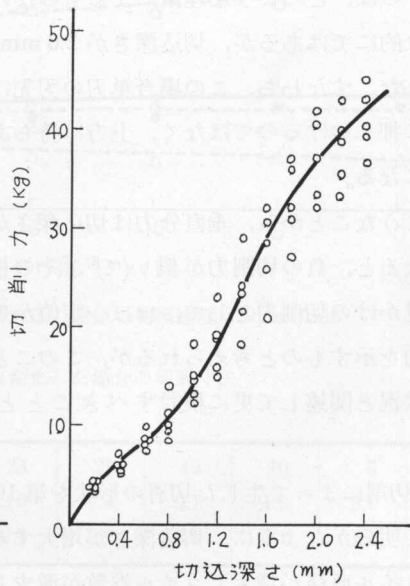
第6図 3分力曲線 (1)
切削速度 1050 mm/min



第7図 3分力曲線 (2)
切削速度 570 mm/min



第8図 3分力曲線 (3)
切削速度 430 mm/min



第9図 主分力の代表値曲線
切削速度 1050 mm/min

切込深さが 0.6 mm 以下の場合、各点が殆んど重なっていることから、これは含水率が比較的低いことの影響であり、その影響を考慮すれば、このバラツキの平均は示された代表値に充分近づくものと考えてよい。

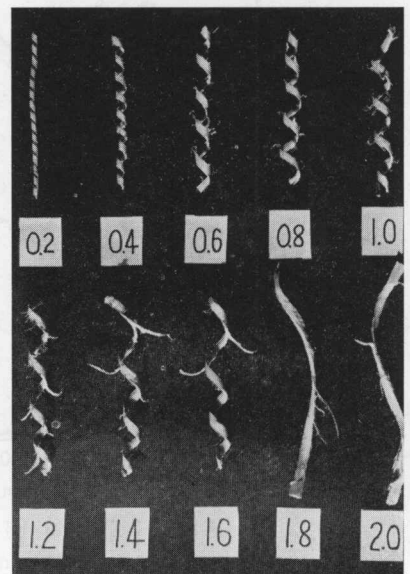
この図の代表値曲線から次の点が明らかとなった。すなわち、切込深さが小さい範囲では、切削力増加の勾配はゆるやかであるが、切込深さ 0.8 mm 前後から切削力は急激に増大し、その付近に曲線の変曲点を持つ。更に切込深さが増大して 2.0 mm 以上になると切削力の増大は再びゆるやかになる。これは、木材切削における一般的現象が鎖鋸刃においても発生していることを示している。金属などに比較して軟質であるため、切込深さがある値になってはじめて切屑生成による抵抗が所定の値をとりはじめ、更に切込深さが大になると切屑生成の状況が変化し、そのため見かけの切削抵抗が減少するということになる。すなわち、切込深さが大になると、刃先の進行によって先割れが発生したり、切屑のカールが妨げられて一定の長さごとに切屑が折れまがる「折れ型切屑」の生成など、特殊な「割れ」の現象を伴うことが多くなり⁵⁾、このため最初の切削力より小さい力で切削が進行することになるわけである。

垂直分力の変動についての特長は、ほぼ一定値をとりつつ、切込深さが大になると切削力が減少する傾向を示していることである。

前述のようにこの垂直分力は切削力の力学的分力の性格を持っているが、それにしても全体として切削力が増大するので、それに応じて垂直分力も増大するのが当然と思うが、減少の傾向を示すのは、どのような理由によるものなのだろうか。ところが、測定した記録波形のなかに、部分的にはあるが、切込深さが 2.0 mm, 2.2 mm の際に、切削力が負の値をとるものが散見された。すなわち、この場合単刃の刃先は被削材を下方に押しつけるのではなく、上方に持ちあげていることになる。

このようなことから、垂直分力は切込深さがある値以上になると、負の切削力が働いて⁸⁾、その相殺によって、見かけの切削力として、ほぼ一定値から減少という傾向を示すものと考えられるが、このことは切屑生成の状況と関連して更に検討すべきことと考える。

次に、切削によって生じた切屑の形状を第 10 図に示す。図で明らかなように、切込深さが増大すると、切屑幅、コイル直径が増大しコイル巻数が減少し、ついにはカールを伴わない片状の切屑となっている。切屑幅の増大は、切込深さが大になると側刃など切削にあづかる部分がひろがる結果であるが、切屑幅の増大



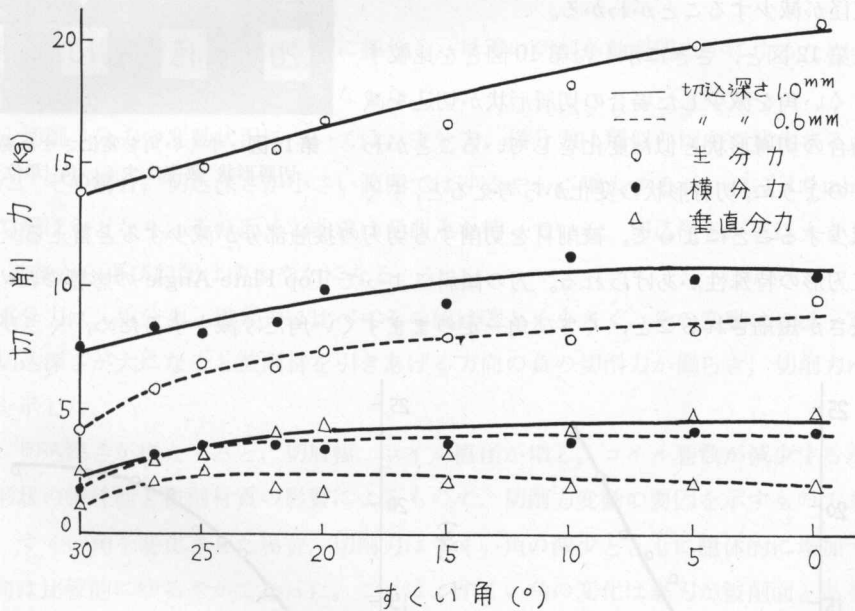
第 10 図 通常切削における切屑形状
数字は切込深さ (単位: mm)

は当然切削力の増大となる。切屑が片状になっていることは、先に述べた「割れ」の現象のため、切削というよりは繊維にそって引き裂かれたものであり、切屑観察からも切削力変動の傾向が裏づけられた。

2.3.2 実験(B)について

すくい角を変化させた場合の切削力(主分力)の変動状況を第11図に示す。図についてみると、切込深さによってほぼ平行した変化を示しており、すくい角が減少すると切削力は増大しているが、すくい角 24° 以下になると、ほぼ直線的にゆるやかに増大している。

鎖鋸刃におけるすくい角の変化は、鋸刃が回転することによる単刃中心線の傾斜と考えると、他の工具たとえばバイトなどの場合のように、すくい角を変化させるとくさび角も変化するのは異なっており、すくい角が変わっても、くさび角は一定であることに留意しなければならない



第11図 すくい角の変化と切削力との関係 切削速度 570 mm/min

第2表 すくい角を変化した場合の切屑寸法

切込深さ = 0.3 mm

すくい角 (°)	29	27	25	23	21	15	10	5	0
コイル直径(mm)	4.0	3.4	3.6	3.0	2.4	2.1	1.9	2.1	1.9
切屑幅(mm)	3.5	3.4	3.4	3.3	2.2	2.1	2.1	1.4	1.4

切込深さ = 0.6 mm

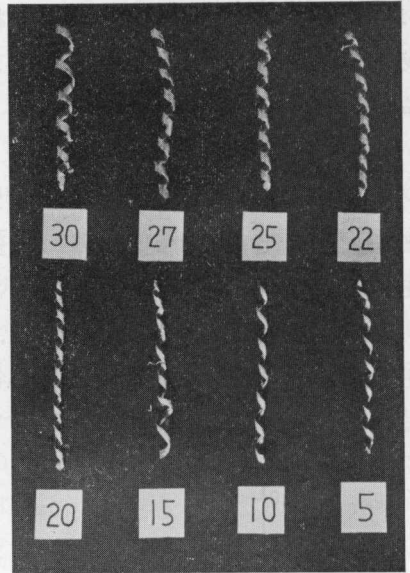
すくい角 (°)	29	27	25	23	21	15	10	5	0
コイル直径(mm)	7.7	5.5	6.4	5.3	4.4	4.0	4.2	3.9	3.6
切屑幅(mm)	3.9	3.5	3.7	3.2	3.3	3.0	3.1	2.2	2.0

い。すなわち、くさび角の変化が切削力に影響するのではなく、一定くさび角の切刃が傾斜することによって、被削材表面との相対位置（接触状況）が変化し、そのための切削力の変化と考えるのが妥当である。

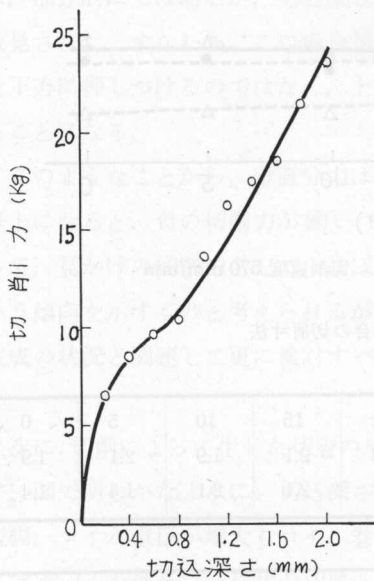
こうした関係が、金属切削の場合と異なった、ゆるやかな勾配をもった切削力の変動に示されているが、これを切屑の状況から検討を加えた。第2表に、切屑寸法を測定した際のデータを示し、第12図にその形状を示す。

第2表から、すくい角が減少すると切屑幅およびコイル直径が減少することがわかる。

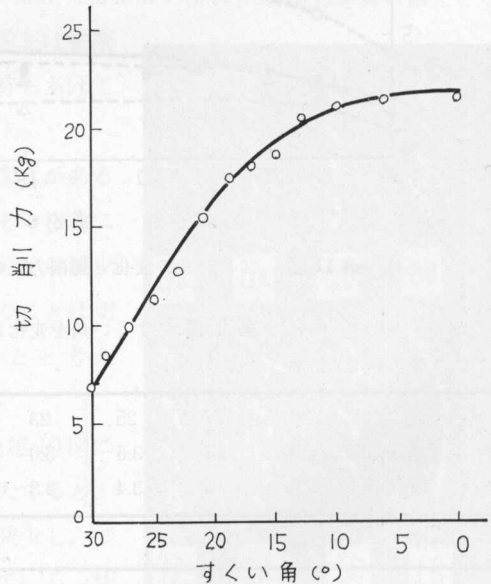
また第12図と、さきに示した第10図とを比較すると、すくい角を減少した場合の切屑形状が切込を減少した場合の切屑形状と似た変化をしていることがわかる。このように、切屑形状の変化から考えると、すくい角が減少することによって、被削材を切削する切刃の接触部分が減少すると言える。この理由として刃形の特長性があげられる。刃の傾斜によって Top Plate Angle の影響のため、切刃の切削長さが短縮されること、くさび角一定のまますくい角だけ減少するため、くさび力の影



第12図 すくい角を変化させた場合の切屑形状 数字はすくい角(単位:度)



第13図 2次元切削における切込深さと切削力の関係 (基準すくい角)



第14図 2次元切削におけるすくい角と切削力の関係 (切込深さ: 0.6 mm)

響が相対的に減少する方向に働くことなどが、それらの要因として観察された。

2.3.3 実験(C)について

この実験は、Top Plate の直線切削による2次元切削の際の切削力の変動を求めたものであり、鎖鋸刃の切削についての基礎的データとして抽出した。この場合、被削材は第5図に示したような被削材を用いた。第13図は基準すくい角(30°)で切込深さを変えた場合、第14図は切込深さ0.6mmですくい角を変えた場合のグラフである。これらの図から、2次元切削の場合は、通常の切削と比べて切削の作用長さが長い為、切削力の値は全体として高くなっているが、切削力の変動の状態は明らかに類似しており、すくい角30°の鋸刃の基本的切削挙動を把握することができた。

3. 結 言

先に行なった実験(II)の内容を更に細分し、単刃の切削挙動を明らかにするための実験によって、今までに次の諸点が明らかになった。

(1) 切削3分力の変動状況については、主分力、横分力は類似の傾向で変化することが認められた。その場合、切込深さが小さい範囲ではゆるやかに増大するが、ほぼ1.0mm付近からその勾配は急となり、その近くで曲線は変曲点を持っている。切込深さが更に大きくなり、2.0mm前後から再び勾配はゆるやかになる。

垂直分力は、主分力、横分力に比べてその値は著しく小さく、その変動はほぼ一定値をとるが、切込深さが大になると被削材を引きあげる方向の負の切削力が働らぎ、切削力は減少する傾向を示した。

(2) 切込深さが増大すると、切屑幅、コイル直径が増し、コイル巻数が減少するが、これは鋸刃形状の特殊性と被削材質の影響によるもので、切削力変動の要因を示すものである。

(3) すくい角を変化させた場合、切削力はすくい角の減少とともに総体的に増加するが、その傾向は比較的ゆるやかであった。これは、すくい角の変化は鋸刃が被削面とある傾斜を持つということだけで、くさび角の変化とは無関係であること、それから鋸刃の形状から、切削にあづかる切削長さが減少することなどによると判断された。

(4) 2次元切削を行なった結果、通常切削の場合の切削力の変動と比較してその類似性が認められ、鎖鋸刃の持つ基礎的切削特性が把握された。

(5) 垂直分力として負の切削力が発生する要因については、工具側、被削材側それぞれに検討を要するもので、この説明は今後に俟たねばならない。

文 献

- 1) Milton C. Shaw: Metal cutting principles, 3rd ed. Technology Press, Massachusetts Institute of Technology.
- 2) 藤井義也: 高速切削. 工業調査会 (1965).
- 3) 切削動力計使用取扱解説書: 昌運工作所.
- 4) 棟・土肥・横山: 鎖鋸の切削 (第1報). 北見工大研報, 1(2), 50 (1967).
- 5) 枝松・森: 製材と木工. 森北出版 (1963).
- 6) 森口繁一: 統計的方法. 日本規格協会 (1962).
- 7) 浅野 徹: 実験値計算法. 日刊工業新聞社 (1963).
- 8) S. S. Gambrell, Jr. and E. F. Byars: Cutting characteristics of chain saw teeth, Forest Product Journal, 16(1) (1966).

