

# 有機質体の切断について (第1報)

宮地豊房, 吉崎 繁, 山崎堯右, 角野 茂, 大原健男

## Some Informations on Cutting of Organic Material (First Report)

T. Miyaji, S. Yoshizaki, T. Yamazaki, S. Kadono  
and T. Ohara

(Laboratory of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture)

### 緒 言

物質の破壊は現在物性論の方面より, また材料力学的方面あるいは材料学的部門特に結晶学の方面よりしだいに解明されつつあり, その全ぼうが明らかになる日も遠くないことと思われるが, ただわれわれはその本質の解明を待たず一連の実験を開始したのは実際設計上のデータを, でき得れば破壊の本質探求へのささやかな寄与をしようとするものである。

現在縦剪断弾性係数の大きいいわゆるかたい材料に対しては, 金属, 土壌等比較的多くの切断あるいは切削に関する研究報告があり, その本質的に近い説明がなされている。すなわち被切断物の刃先前方の小部分が圧縮され, 剪断破壊する。その割れ目を刃先が前進し再び刃先の小部分が圧縮されさらに再び剪断破壊と断続的にくり返されて切断が進められる。したがってそのくり返し頻度および剪断割目の発生方向と刃先進行方向規制力の大小等が切断面のあらさを決定すると考えられている。一方縦および剪断弾性係数の極めて小さいいわゆる軟い材料に対しては, その切断機構に関しての解明が比較的少ないが, その理由として次の様なことが考えられる。

(1) 比較的切断が容易である。すなわち多少不適当な条件のもとでも実用上さしつかえない程度に切断が行われ得ること。

(2) 刃物の損傷, あるいは寿命が本来の被切断物の切断によるよりも, むしろ例外的な異物, 夾雑物の切断に, さらに遊休期間中の保守等間接的な要因に左右されることが多い。

(3) あまりにも使用歴史が古く, 経験的に決定された因子が多く, かつ动力的にも大を要さないため実用上致命的な欠陥が少ないこと。

(4) 被切断物の条件の再現性が困難であるため, 実用上さしつかえない総括的, 定性的なデータは得られても厳密なデータを得ることが困難であり, またその絶対的な必要性が少ないと考えられたこと。

しかしながら近年工業的には合成物質等, いわゆる軟い材料が多く使用される傾向にあり, また農林業方面においても, 木材, 農作物等の加工, 多量の処理を機械的に行なう場合が増大し, 軟い材料の切断, 切削加工等の作業が多くなりつつある。われわれはこの機会にその切断機構の設計資料すなわち刃物の形状, 運動方向, および速度, さらに刃具材料等基礎条件を知るとともにでき得れば破壊機構そのものの本質も解明したいと望むものである。

この後者の分野においてはモワー, カッターに関する発表論文が多く, モワーあるいは刈取機の切断機構に関しては常松<sup>1)</sup>, 守島<sup>2)</sup>, 松田<sup>3,4,5)</sup>, 江崎<sup>6)</sup> の諸氏の論文があり, カッターについては, 土屋<sup>7)</sup>, 岡村<sup>8)</sup>, 森田<sup>9)</sup>, Chancellor<sup>10)</sup>, Feller<sup>11)</sup> の諸氏のものがある。これ等の論文においては当然被切断物として牧草および稲, 麦, とおもろこし等の植物体が選ばれており, 大別してこれら植物体の切断抵抗値または切断所要エネルギーが追求されている。なおこれ等に影響する因子として

は、刃先角、切断方向角、刃先の鋭利さ、切断されようとする個所における被切断物の堆積量、切断刃と受刃の切断運動面に直角方向の間隙（刃物のすれちがい間隙）、刃の逃げ角、切断速度等があげられている。

刃先角（楔角）についてはほとんどすべての報文に取上げられており、二、三の例をあげると、Chancellor<sup>10)</sup>の実験結果によれば刃先角30°以上では抵抗力が著しく増大し、Fisher-Schlemm<sup>12)</sup>は耐久性も考えて24°を最適刃先角として推奨している。また Prince<sup>13)</sup>等は植物繊維の破断は刃先角の楔作用による引張り破壊であると極論し、江崎<sup>6)</sup>も稲わらの実測値において刃先角の増大に対し切断抵抗力は直線的に増加し、したがって限界切断速度（切断可能な最低刃物速度）も大きくなると発表している。これ等は何れも楔の原理によると考えられるものが多く、前述の刃物進行方向規制のさいに生ずる抵抗の説明になっているものと考えられる。

切断方向角については前述の刃先角との組合せでその影響を論ずるものが多く、例えば Feller<sup>11)</sup>は有効刃先角（effective included edge angle）の概念を導入しているが、所要エネルギーおよび抵抗力への影響については言及せず、ただ刃先における植物体への衝撃力とすべりに関係があることを論じている。また Chancellor<sup>10)</sup>はこの角度が大となる程最大切断抵抗力は小さくなると述べているが定量的な発表は行っていない。江崎<sup>6)</sup>は小麦、稲の実測値において同じ傾向を主張し、作用角の名のもとに有効刃先角の概念を導入している。

刃先の鋭利さについては切断抵抗力に関する影響力の大きいことを認めているものが多いが、ただし実用上ある値以上は無意味であり、Chancellor<sup>10)</sup>が刃物自身の強度からの実用値を推論し、刃先厚 35  $\mu$  以下では抵抗力はほとんど一定でそれ以上では厚さとともに増大することを図示している。その他 Feller<sup>11)</sup>、Prince<sup>13)</sup>も2種あるいは3種の刃先厚について論じているが、グラインダー加工後手砥石仕上刃先（sharp knife）以外は何れも刃先厚 100  $\mu$  以上で刃物刃先としては実用性の少ないものと考えられる。なお森田<sup>9)</sup>は鎌、カッター、モワールの刃先摩耗の程度測定のためにハンド板を使用することを提唱したさい、刃先厚を測定して5~30  $\mu$ の値を報告している以外数量的な発表は少なく、したがって切断抵抗力への影響の具体的報文は発見できなかった。また刃の「にぶさ」（dullness）も経験的常識的取扱いを受けることが多く、刃物の寿命を決定する重要なものと考えられるにもかかわらず、取扱いの困難さも手伝って、追求された論文も少ない。

被切断物の堆積量とは、今まさに切断されようとする場所にどれだけの量（厚み）が置かれているかの因子であり、これについては刃物と被切断物の間に生ずる圧接力の大きさが切断に必要な抵抗力にまで高まる状態および単位被切断物当りの所要切断エネルギーの大小に関係することも論じられている。さらにこれは受刃の切断に対する影響力を規制することも考えられ、したがって切断機構の解釈に本質的影響も考えられる因子である。

つぎに切刃と受刃のすれちがい間隙については剪断切断と曲げ切断の本質的差違を引起す因子と推論したのもあるが十分な追求はなされておらず、また実用機構上この値もある制限を受けることが多い。

逃げ角、切断速度についてはその重要性を主張した論文は少ないが、前者と刃先角とに関係する切削角は相当重要な因子と考えられ、貫入角度あるいは作用角度とでも呼ぶべきものと考え、本研究では重要視することとした。後者については受刃の有無による影響とも考えられるが、やや主張が分かれる。すなわち Chancellor<sup>10)</sup>は1.6~5.0 m/sの範囲内では受刃のある場合差を示さないと述べ、Feller<sup>11)</sup>も切断方向角が一定ならば所要エネルギーは変わらないと主張しているの、切断速度により刃物の切断通過距離は変化しないゆえに抵抗力にも変化はないこととなる。しかしながらモワールの刈跡観察、鋸内の刈払い所要エネルギー実験においては速度の影響と考えられる結果が観察されている。

なお刃先角、切断方向角、刃の鋭利さの組合せで関連する「引切り作用」について論及してい

る論文もあり、何れもその切断抵抗力軽減効果を認めながらも明確な説明はない。

また刃物寿命にも相当影響を与えると考えられるがこれに論及した論文は少ない。われわれはこの点について案外物質の破壊現象に関連した命題が導かれるのではないかと考えている。すなわち一般に破断を目的とする処理においては構造物の場合有害な応力集中その他応力の不均一分布を利用することが所要動力より考えて有利と思われる。切断の場合も上述のごとく、曲げと圧縮を加えるほか直接の剪断力を加える意味において引切り作用を加味すると考えれば、いわゆる「切易さ」の説明もつくとも考える。しかし寿命への影響については刃先の減耗機構を解明する必要がある。

なお実験における被切断物としては木材あるいは合成樹脂等も考えられるがこれ等に対する報文は少なく、前者に対しては鋸断抵抗、鋸歯寿命、後者については一般的機構性質がわずかに報告されているにすぎない。したがってわれわれは比較的多量に得やすいこと、實際上被切断物とされる場合が多いこと、牧草への類似性の大きいことおよび材料破壊に対する強度についての異方性(極端な)を利用することができると考えられる稲わらを選んだ。一方切断速度については受刃を有する場合その影響が少ないとの説にしたがって測定の容易な静的切断による最大抵抗力の実験から始めることとした。

なお本実験の一部は文部省科学研究費により行ったことを記して感謝の意を表したい。

#### 記号および定義

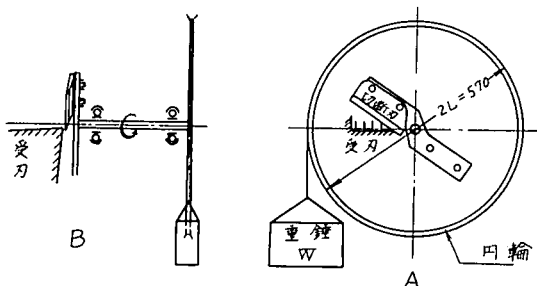
記号	定 義	単 位
$W$	総重錘重量(重錘用容器を含む)	[Kg]
$P_0$	最大切断抵抗力の実測値	[Kg]
$P_x$	最大切断抵抗力の切断刃回転軸半径方向分力	[Kg]
$P_y$	同軸心方向分力	[Kg]
$P_z$	同回転方向分力	[Kg]
$L$	円輪の半径	[mm]
$l$	切断刃回転軸心より切断部までの距離	[mm]
$l_1$	切断巾	[mm]
$b$	刃丈すなわち切断刃固定点より切断刃先端までの距離	[mm]
$\alpha$	刃先角すなわち切断刃の刃先部分のくさび角	[deg]
$\beta$	逃げ角すなわち切断刃の被切断材料供給側側面と切断刃の進行方向とのなす角	[deg]
$\theta$	切断方向角すなわち切断刃の進行方向と切断刃稜線の法線とのなす角	[deg]
$\phi$	切削角すなわち刃先角と逃げ角との和	[deg]
$\gamma$	有効刃先角 上記の刃先角および切断方向角の総合されたものと考えられる作用角を表わし、以下の関係が成立する。 $\gamma = \tan^{-1}(\tan \alpha \cdot \cos \theta)$	[deg]
$\delta$	有効逃げ角 すなわち切断刃稜線の運動平面の法線と切断刃の進行方向線を含む平面内における逃げ角	[deg]
$\sigma$	有効切削角 すなわち有効刃先角と有効逃げ角との和	[deg]
$d$	刃先厚	[ $\mu$ ]
$C_i$	受刃と切断刃との間隙	[mm]

I. 実験装置

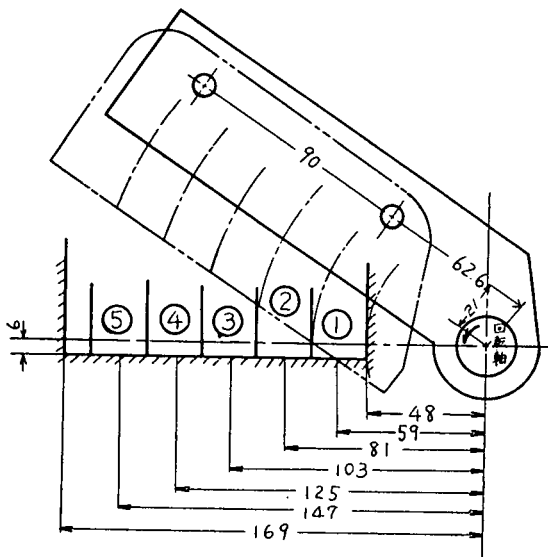
I-1 切断装置

実験装置は以下に述べる理由により市販品のホイール型カッター三菱 MB-I 型を一部改造したものである。

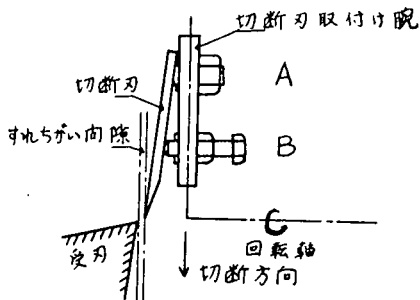
すなわち実用条件に適した諸数値が得られ、直ちに設計資料として使用し得ることおよびトルクメータの取付けに対し構造上好都合なことなどの理由から上記機種を選定し改造して使用した。



第1図 実験装置概略図



第2図 切断部主要寸法



第3図 刃の取り付け方法

第1図Aは改造した部分の正面概略図、Bは同側面概略図を示したもので、以下のような改造をおこなった。すなわち静的および動的切断抵抗力を測定するために中間軸および架台を被切断物供給樋に対して反対方向に約550mm延長し、切断刃取付軸に対しては駆動用プーリーを取はずしてつば接手により新興TM/3型トルクメータを装着し、各軸の端

部は軸受により支えるようになし、切断刃取付軸の延長端には第1図に示すような溝外径570mmの円輪を取付け、外周に太さ0.5mmのワイヤーの一端を固定してまきつけた後他端に重錘用容器を取付け、重錘用容器に注入する小鉛球の量を変化させることによって任意の静的切断トルクを加えてトルクメータの検定も同時に行ない得るようにした。

なお本報告は動的切断抵抗力に関してはふれていない。静的切断抵抗力は後述のごとく上記円輪の半径と重錘量より計算して求めたが、本装置の無負荷における抵抗トルクは1.2~2.0 Kgcmで、測定最小トルクの4%以下であった。一方被切断物供給樋に対して切断方向角を変化させるための区分け用隔壁を設け、静的切断の場合は自動供給ロールは作動しないようになし、動的切断の場合には供給ロール本体にも隔壁を設けた。静的切断の場合の隔壁と切断刃との関係位置を示せば第2図のとおりである。また切断刃の取付方法および受刃との関係位置は第3図に示すとおりで、ボルトAは切断刃を取付腕に引きつけ、ボルトBは押出

すようになっており、切断刃の逃げ角および受刃と切断刃との間隙は切断刃と取付腕との間のボルトAの位置に座金を入れて調節した。なお受刃の形状はコの字型であり、その刃先角は約 $70^\circ$ で切断刃を保護するために焼入れ硬化はほどこされていない。

## I-2 切断刃

### (1) 切断刃の材質

切断刃の材質は切削用合金工具鋼に属する低タングステン高炭素合金鋼で、商品名はヤスキ複合鋼材青1号および2号である。

その成分を示せば第1表のとおりである。

第1表 刃の材質および成分

成分 材質	C	S <sub>t</sub>	Mn	C <sub>r</sub>	W	P	S
1号	1.2~1.4	0.1~0.2	0.2~0.3	0.2~0.5	1.5~2.5	0.25以下	0.04以下
2号	1.0~1.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.2~0.5	1.0~1.5	0.25以下	0.04以下

なお焼入れ硬さは  $R_c=60\sim65$  に仕上げたものである。

### (2) 切断刃の形状および刃面仕上げ方法

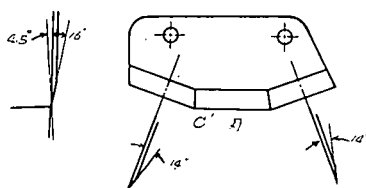
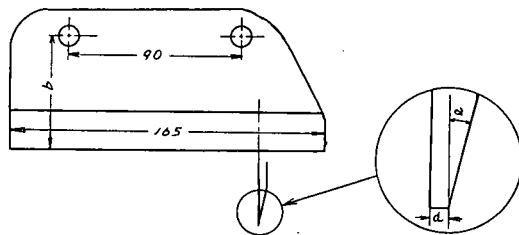
切断刃の形状は第4図に示すとおりで、C'刃を除きほぼ同一形状である。

供試切断刃の変数は刃丈および刃先角で、種々の切断方向角、逃げ角、有効刃先角および有効切削角等が得られるようになっている。各供試切断刃に対する上記の数値は第2表に一括して示されている。

また刃先角を測定した手順を示せば以下のようなになる。まず刃先部分に画用紙製の巾10mmの型枠を固定し、型枠中へ融解したパラフィン(融点 $60^\circ\text{C}$ )を注入して2~3時間自然冷却させて固まらせ、刃先より型枠を取りはずして刃先のめす型を取出す。上記のめす型をカミソリで切断し、刃先部分より約 $400\mu$ にわたる個所の角度を直交軸移動量読取りマイクロメータつき載物台を有するニコン工場顕微鏡で400倍に拡大して測定する。測定は5度くりかえしその平均値を採用した。

刃先厚は切断回数が数十回程度ではほとんど変化しないことが予備実験から知られたので切断試験終了後に測定した。すなわち上記工場顕微鏡の投下光による直接検鏡により刃先1mmごとに視野内の刃先厚の平均値を求めて、測定点前後0.5mm間の平均刃厚とみなした。

なお切断刃の両面はワレハトイシWA 80Jを使用して精密平面研削盤で研磨を行なったが、砥石の周速度がやや大きすぎて研削剤を与えても焼戻しを起す危険があったので、切込量をきわめて小さくした。刃先は研磨後油砥石でカエリを取る程度に仕上げた。



第4図 切断刃の形状

表 2

	C	D	E	F	G	H	A'	B'	C'					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6			
<b>A</b>	5.1	13.36	7.40	20.20	11.05	15.24	13.7	5.1	13.36	7.40	20.20	11.05	15.24	13.7
<b>B</b>	5.4	12.00	7.20	20.00	11.00	15.00	12.2	5.4	12.00	7.20	20.00	11.00	15.00	12.2
<b>C</b>	5.4	12.40	7.20	20.00	11.36	15.18	13.7	5.4	12.40	7.20	20.00	11.36	15.18	13.7
<b>D</b>	5.4	13.40	7.20	20.00	12.54	16.20	15.2	5.4	13.40	7.20	20.00	12.54	16.20	15.2
<b>E</b>	6.5	12.50	6.15	20.35	10.35	15.54	10.5	6.5	12.50	6.15	20.35	10.35	15.54	10.5
<b>F</b>	6.5	12.20	6.15	20.35	10.35	15.54	11.0	6.5	12.20	6.15	20.35	10.35	15.54	11.0
<b>G</b>	6.8	12.20	6.00	20.00	11.00	15.00	11.2	6.8	12.20	6.00	20.00	11.00	15.00	11.2
<b>H</b>	6.8	12.40	6.00	20.00	11.00	15.00	11.9	6.8	12.40	6.00	20.00	11.00	15.00	11.9
<b>A'</b>	4.3	12.30	8.00	20.00	13.23	16.33	8~15	4.3	12.30	8.00	20.00	13.23	16.33	8~15
<b>B'</b>	4.3	11.30	8.00	20.00	11.00	15.00	8~15	4.3	11.30	8.00	20.00	11.00	15.00	8~15
<b>C'</b>	4.3	12.00	4.30	—	—	—	10~15	4.3	12.00	4.30	—	—	—	10~15

II. 供試材料

被切断材料は稲わら（越路早生）である。

わら個体差はかなり大きいことが予想された。したがってできるだけ同じ大きさのわらを選び、できるだけ本数の多い束を作製して切断実験を行うことが望ましいが、本切断試験機の被切断材料供給

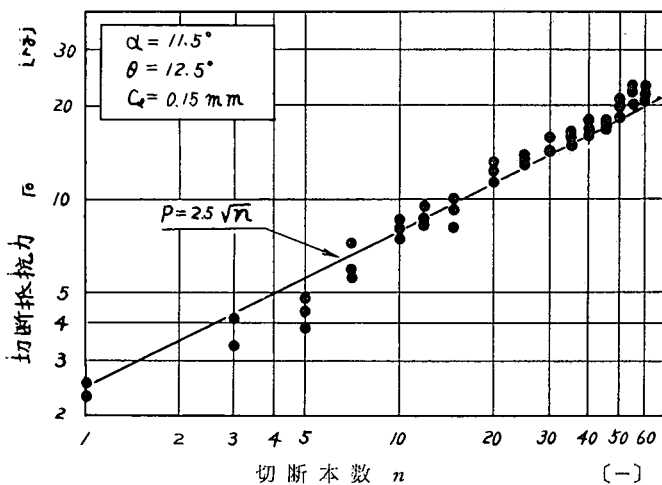
1チャンネルの最大供給本数はほぼ40本程度なので、以下では40本を一束として切断実験を行なった。参考のために切断本数と切断抵抗力との関係を調べたところ第5図に示すとおり

の線図が得られた。同図よりわら束の断面がほぼ円型の場合には最大切断抵抗力は断面の直径に比例すると考えてよさそうである。

さらに、わらの含水率の差違により最大切断抵抗力が変化するおそれがあるため、実験中数回にわたってケツト赤外線含水測定器を用いて含水率をチェックしたが、含水率は8~8.5%の範囲にあって、含水率の影響による差違は無視した。

また各わら束の切断抵抗力のパラッキを知るために任意に選んだ10束について予備的に最大切断抵抗力を測定してみた。

その結果は第6図に示すとおりで、切断抵抗力のパラッキはかなり大きく、±13%程度であることがわかった。したがって本実験では同一条件のもとに20回のくり返し測定

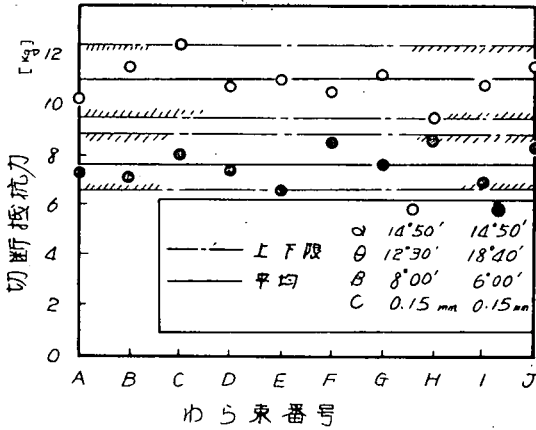


第5図 切断抵抗力と切断本数との関係

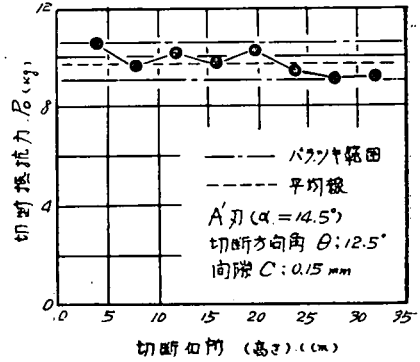
を行ない、その平均値を採用した。

また同一のわら束においても切断部位の違いによって切断抵抗力に差違がある。第7図は同一束

における切断部位と最大切断抵抗力との関係で、バラキは±7%程度であることが知られる。本実験では刈取部より2~12 cm 間に限定して測定を行ったので、これらのバラツキは±4.5%程度になり、切断部位の違いによる切断抵抗力の差は無視した。



第6図 わら個体差による切断抵抗力のバラツキ



第7図 切断抵抗力とわら切断箇所

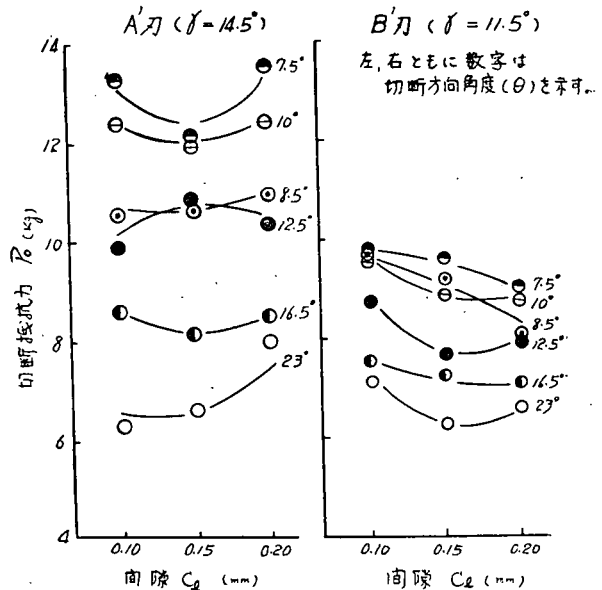
### III. 実験方法

回転軸と一体になった切断刃取付腕の一方に所定の刃先角の切断刃を、他方にバランスウェイトを取付ける。第3図に示すとおり切断刃の逃げ角および受刃と切断刃との間隙は切断刃と取付腕との間のボルトAの位置に座金を入れて所定の値に調節する。

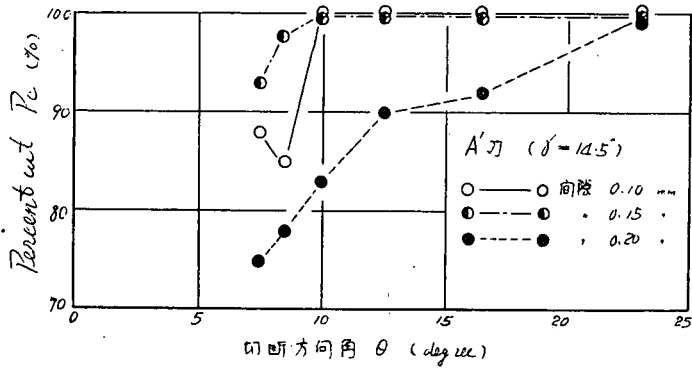
本実験では以下の予備実験から間隙は0.15 mm が最適なことがわかったので間隙を0.15 mm に定めた。すなわち Chancellor<sup>10)</sup> が指摘したごとく被切断材料の物理的性質によって最適な間隙が存在するものと予想されたので、間隙を0.10~0.20 mm に変化させて切断抵抗力を測定したところ第8図に示すとおり結果を得た。

さらに切断終了後のわらの切断箇所を観察したところ、切断箇所はかならずしも同一の状態を示さず、切断方向角、間隙などの違いによって逃げを生じたり、曲げ、すべりなどが加わり完全には切断されずに一部折れ曲ったり引きぎられたものも見うけられた。

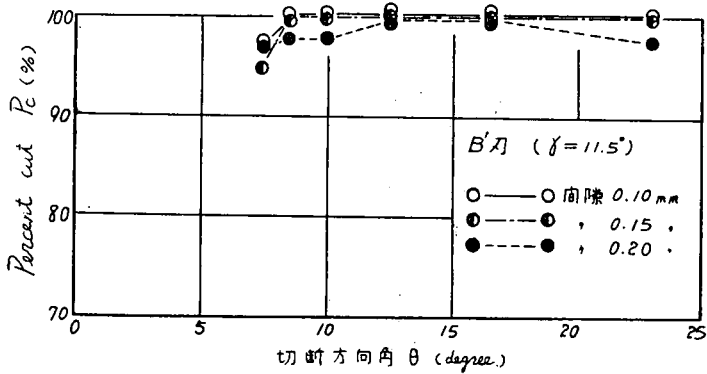
したがって Feller<sup>11)</sup> にならって、(完全に切断されなかった本数 / 供試本数) × 100, を Percent cut と定義し、間隙をパラメータに選んで Percent cut と切断方向角との関係をプロットしたところ第9図が得られた。一般に間隙が0.15 mm 程度で切断抵抗力は最小を示し、かつ切断方向角が大なるほど切断抵抗力が小さくなることがわ



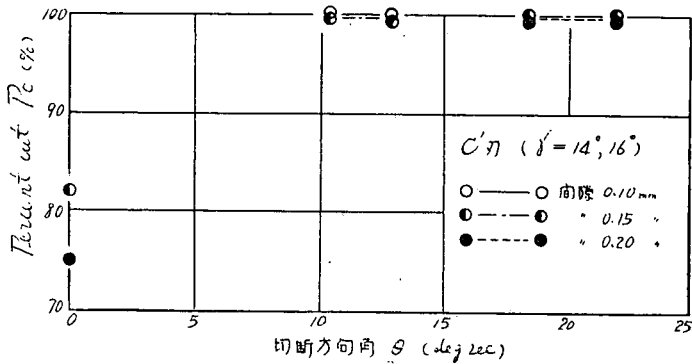
第8図 切断抵抗力と間隙との関係



第9図 Percent cut と切斷方向角および間隙 (i)



第9図 Percent cut と切斷方向角および間隙 (ii)



第9図 Percent cut と切斷方向角および間隙 (iii)

かった。また切斷方向角が  $10^\circ$  以上ではいずれの間隙においても Percent cut はほぼ 100% を示したが、間隙が 0.20 mm のみは刃先角  $14^\circ 30'$  においては切斷方向角がほぼ  $23^\circ$  ではじめて Percent cut 100% を示した。

つぎに所定のチャンネルにわら束を挿入し、受刃より切斷刃側に約 200 mm 突出す。切斷刃をできるだけ静かにわら束に対し接触させ、第 1 図に示すとおり重錘用容器に小鉛球をわら束が切斷されるまで連続的に加える。

今 Chancellor<sup>10)</sup> が求めた刃の運動に対して刃の受ける力の典型的な線図を示せば第 10 図のとお



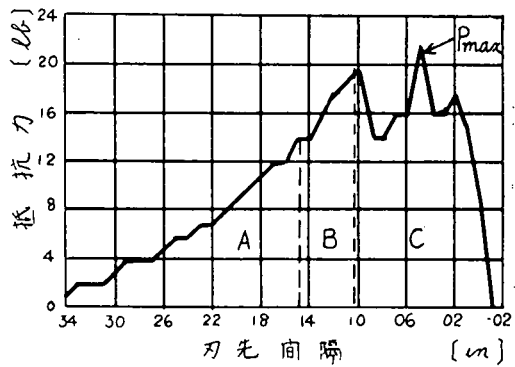
りである。図中Aは束が切断されずに圧縮されているところで、Bは刃に隣接した一本ないし数本が切断されたのちに圧縮と圧力の調整がなおつづけられているところで、Cは刃の前進にともなって規則正しく切断されているところである。本実験は図中の  $P_{max}$  に相当する最大切断抵抗力を測定することになる。

本装置における最大切断抵抗力  $P_0$  の計算式を示せば、第11図より容易に知られるように

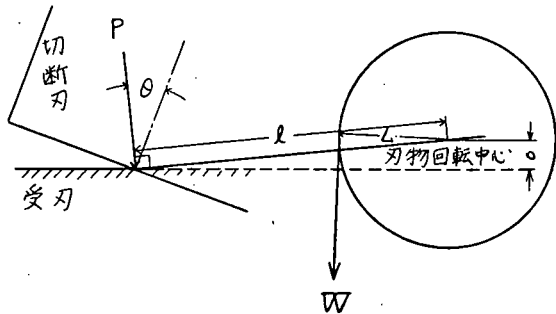
$$P_0 = WL/l \dots\dots\dots (1)$$

ただし  $W$  は総重錘重量 [Kg],  $L$  は円輪の半径 [mm],  $l$  は軸心より切断部までの距離 [mm] を表わす。

なお上記の  $P_0$  は真の切断抵抗力ではなく、切断抵抗力の切断刃回転方向分力を表わしている。



第10図 抵抗力と刃先移動との関係



第11図

#### IV. 実験結果

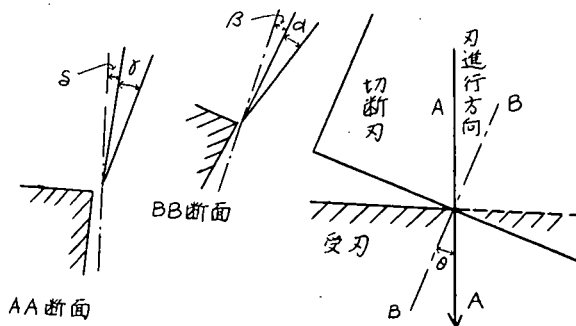
##### IV-1. 実験結果

第2表に示した各切断刃について (A~H刃は1~5チャンネル, A'~C'刃は1~6チャンネル) 計58種類の最大切断抵抗力を測定した。

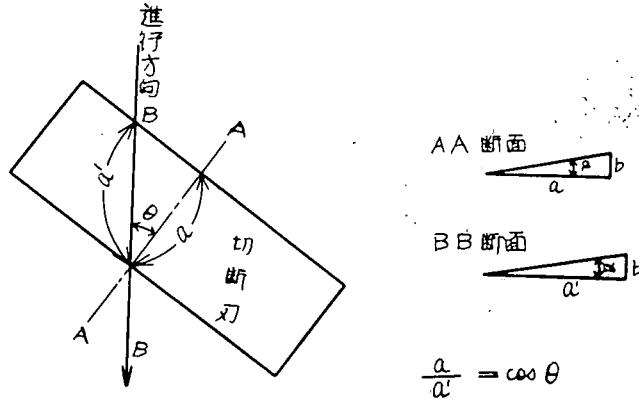
切断時における切断刃と受刃との関係位置を示せば第12図のとおりである。

静的切断の場合、従来の報告あるいは第12図に示した関係図より予想されるごとく、切断抵抗力は主として以下に述べる要素に関係するものと思われる。すなわち (1) 刃先角あるいは切削角, (2) 切断方向角, (3) 刃先厚, (4) 切断刃と受刃との間隙および (5) 刃先と被切断材料との摩擦係数などである。

本実験の場合上記の摩擦係数はほぼ一定と考えてさしつかえないものと思われる。また間隙を一定に選んであるので、上記諸要素のうち(1)~(3)項について着目する。



第12図 切断時における切断刃と受刃との関係



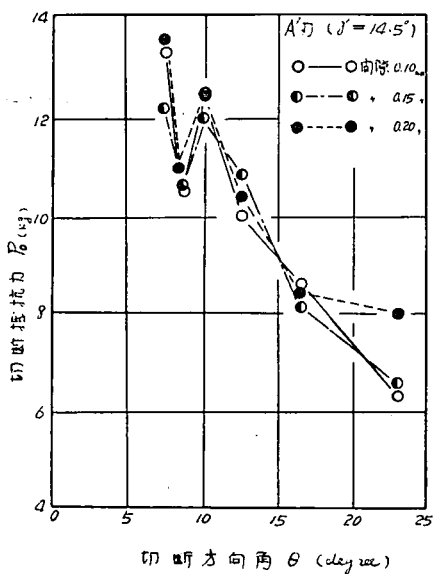
第13図 有効刃先角

さらに有効刃先角を導入すれば、第13図から容易に知られるように刃先角  $\alpha$  および切断方向角  $\theta$  と有効刃先角  $\gamma$  との間には以下に示す関係が成立する。

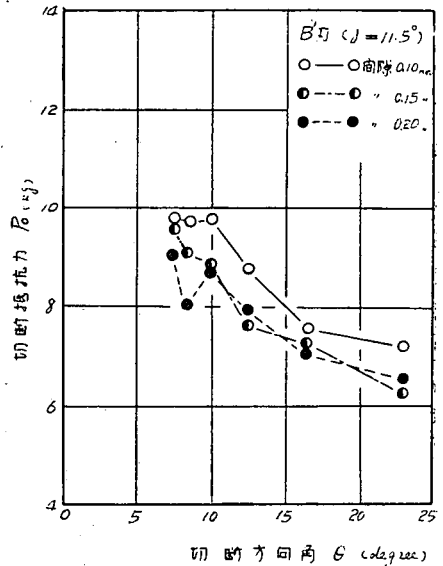
$$\tan \gamma = b/a' = b/a \cdot a/a' = \tan \alpha \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

したがって有効刃先角は刃先角および切断方向角の二要素が総合されたものと考えられる。いま刃先角を一定にした場合の切断抵抗力と切断方向角との関係をプロットすれば第14図に示すとおりである。

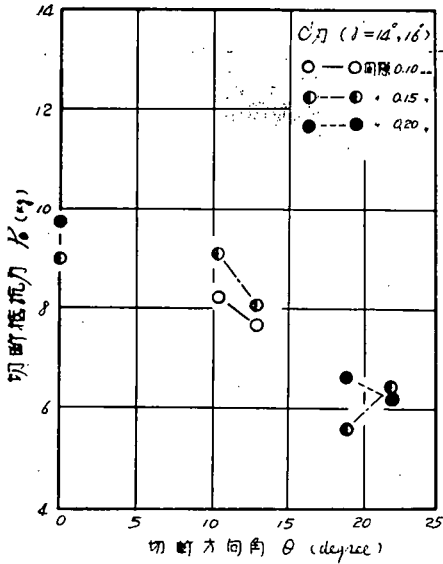
江崎<sup>6)</sup>の実験結果と同様一般に刃先角が大なるほど切断抵抗力は大きくなるが、逆に切断方向角の増大とともに切断抵抗力は減少してゆくことが知られる。すなわち(2)式から知られるように切断方向角の増大は有効刃先角の減少をもたらす、日常経験するとおり刃を垂直に動かすより斜めに動かすいわゆる「引切り」がよく切れるということを示しているにほかならない。結局刃の切断方向角が一定であれば刃先角が小なるほど、刃先角が一定であれば切断方向角が大なるほど切断抵抗力は小さい。



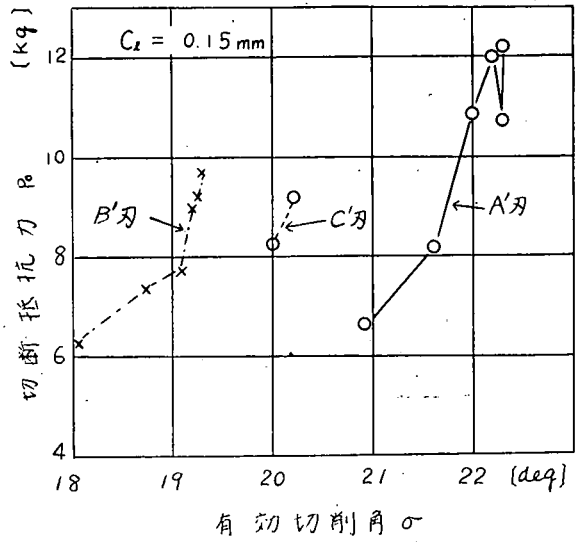
第14図 切断抵抗力と切断方向角との関係 (i)



第14図 切断抵抗力と切断方向角との関係 (ii)

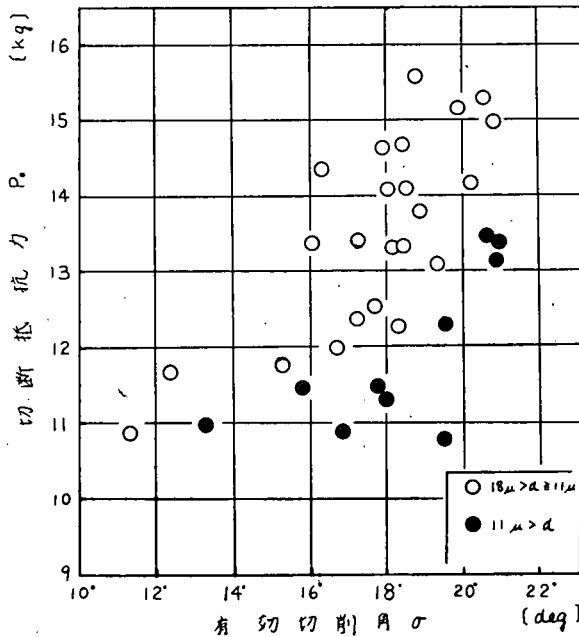


第14図 切断抵抗力と切断方向角との関係 (iii)

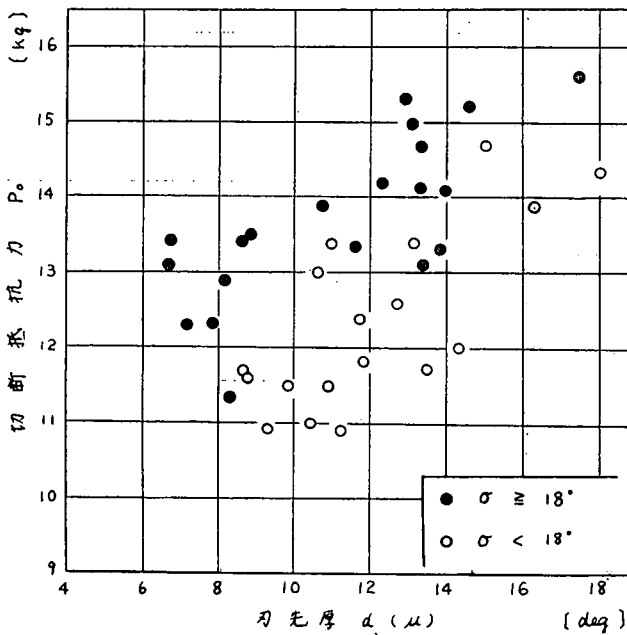


第15図 切断抵抗力  $P_0$  と有効切削角  $\sigma$  との関係

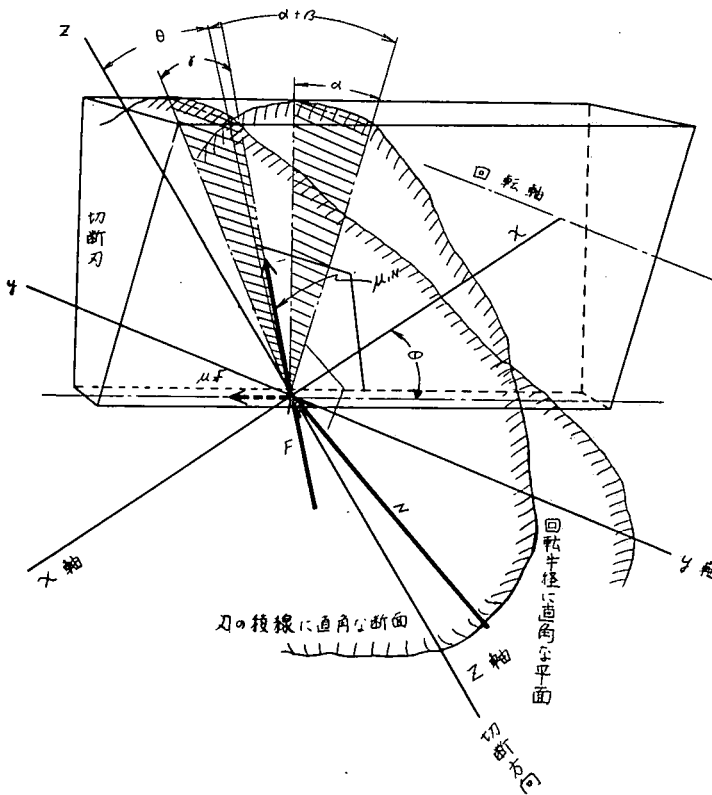
さらに切削角の類推より、有効切削角  $\sigma$  を定義し、上記のデータを切断抵抗力と有効切削角とで表示すれば第15図に示すとおりになり、各供試刃によって異なる三本の曲線が得られたが、各供試刃の各切断部の刃先厚を詳細に調べたところ刃先厚は  $8 \sim 15 \mu$  の範囲にありかなりまちまちで、常識どおり刃先厚の大きさとともに切断抵抗力は増加しており、この点を考慮すると上記の三曲線はなめらかな一本の曲線に近づく傾向がみられ、わらのごとき材料を静的に切断する場合には森田<sup>9)</sup>の指摘どおり刃先厚は切断抵抗力にきわめて大きな影響を与えることが推定される。



第16図 切断抵抗力と有効切削角との関係



第17図 切断抵抗力と刃先厚との関係



第18図 切断刃刃先に作用する力

これらの事実より、結局本実験では切断抵抗力に対し有効切削角および刃先厚の二要素に着目すればよいことになる。

第16図は切断抵抗力と有効切削角との関係を刃先厚  $d < 11 \mu$ ,  $18 \mu > d \geq 11 \mu$  に分類してプロットしたものである。データの散ばりはかなりはげしいが、切断抵抗力は有効切削角の増大とともにほぼ一次関数的に増大するものと推定される。また第17図は切断抵抗力と刃先厚との関係で有効切削角  $\sigma \geq 18^\circ$ ,  $\sigma < 18^\circ$  に分類してプロットしたものである。すでに第15図で推定したごとく、刃先厚の増大は切断抵抗力の増大をもたらすことがよくわかる。

したがって第16図におけるバラッキは主として刃先厚に、第17図におけるバラッキは主として有効切削角の差によるものと推定される。

#### IV-2 切断抵抗力の表示式

切断刃の形状を単純化して考え、実験結果を考慮すれば、切断にさいし刃先部に作用する力は第18図に示すとおりになるものと考えられる。ただし  $N$  は刃側面に対し垂直方向に作用する力、 $\mu_1 N$  は  $N$  による摩擦力、 $F$  は刃先面に対し垂直方向に作用する力、 $\mu_2 F$  は  $F$  による摩擦力を表わす。

さらに回転方向を  $z$  軸と定めた直交座標を考えれば、上記の力  $N$ ,  $\mu_1 N$ ,  $F$ ,  $\mu_2 F$  な

どは第3表に示すとおりになる。

第 3 表

	x 方 向 分 力	y 方 向 分 力	z 方 向 分 力
$N$	$N \sin (\alpha+\beta) \sin \theta$	$N \cos (\alpha+\beta)$	$N \sin (\alpha+\beta) \cos \theta$
$\mu_1 N$	0	$-\mu_1 N \sin (\gamma+\delta)$	$\mu_1 N \cos (\gamma+\delta)$
$F$	0	$F \sin \theta$	$F \cos \theta$
$\mu_2 F$	0	$\mu_2 F \cos \theta$	$\mu_2 F \sin \theta$

したがって各  $x$  軸方向分力,  $y$  軸方向分力および  $z$  軸方向分力の和を  $P_x$ ,  $P_y$  および  $P_z$  とおけば以下の諸式が成立する。

$$P_x = N \sin (\alpha+\beta) \sin \theta$$

$$P_y = N \{ \cos (\alpha+\beta) - \mu_1 \sin (\gamma+\delta) \} + F (\sin \theta + \mu_2 \cos \theta)$$

$$P_z = N \{ \sin (\alpha+\beta) \cos \theta + \mu_1 \cos (\gamma+\delta) \} + F (\cos \theta + \mu_2 \sin \theta)$$

本実験では  $z$  方向分力を測定したので,  $z$  方向分力のみについて着目し, 切削角および有効切削角を用いて書改めれば

$$P_z = N (\sin \phi \cos \theta + \mu_1 \cos \sigma) + F (\cos \theta + \mu_2 \sin \theta) \dots\dots\dots (3)$$

(3)式における  $N$  はチャンネル全巾に作用する力を表わすので, いま単位巾に作用する力を  $N'$ , チャンネル巾を  $l_1$  で表わせば

$$N = l_1 N' \dots\dots\dots (4)$$

となる。また刃先面の単位面積に作用する力を  $k_1$  で表わせば

$$F = d l_1 k_1 \dots\dots\dots (5)$$

あるいは

$$F = d k \dots\dots\dots (5-1)$$

ただし  $K = l_1 k_1$  とする。

(3)式に(4)式および (5-1) 式を代入すれば以下ようになる。

$$P_z = l_1 N' (\sin \phi \cos \theta + \mu_1 \cos \sigma) + d K (\mu_2 \sin \theta + \cos \theta) \dots\dots\dots (6)$$

したがってなんらかの方法により  $N'$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  および  $K$  がわかれば, (6)式より切断抵抗力は算出できることになる。

まず刃先面と被切断材料繊維直角方向との摩擦係数は刃側面と被切断材料繊維断面との摩擦係数と同一と仮定 ( $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ ) し以下のような方法で  $\mu$  を求めた。

すなわち同一条件の被切断材料を  $500 \times 250 \times 10$  の板上に敷きつめ, その上部に各種重量の金属 (切断刃を含む) を接触させ, 金属が動きはじめるさいの板の傾斜角  $\rho$  を測定した。

測定結果は  $\rho = 22^\circ 20' \sim 24^\circ 50'$  の範囲にあった。

したがって摩擦係数に換算すれば

$$\mu = 0.38 \sim 0.42 \dots\dots\dots (7)$$

となる。なお Feller<sup>(1)</sup> の実測によればアルファルファとの間には  $\rho = 20^\circ \sim 25^\circ$  で, 本測定値とはあまり大きな差がみられない。

つきに(6)式の右辺第 2 項は刃先厚によって生ずる附加切断抵抗力  $P_a$  を表わすので,  $P_a$  のみに着目すれば

$$K = P_a/d (\mu_2 \sin \theta + \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。さて、第17図より知られるように刃先厚が  $10 \mu$  程度の増大で切断抵抗力はおおよそ  $2 \sim 3$  Kg 増大しており、同図に含まれる各点の  $(\mu_2 \sin \theta + \cos \theta)$  を  $\mu_2 = 0.4$  として計算すれば約1となる。したがって(8)式で表わされた  $K$  を計算すれば

$$K = 2 \times 10^2 \sim 3 \times 10^2 \text{ Kg/mm} \quad \dots\dots\dots (9)$$

さらに(6)式より  $N'$  を求めれば

$$N' = P_s - dK (\mu_2 \sin \theta + \cos \theta) / l_1 (\mu_1 \cos \sigma + \sin \phi \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。(10)式に(7)式および(9)式の数値を代入し、実測値  $P_o (= P_s)$  および  $\phi, \theta, d, \sigma$  などを代入すれば本実験の範囲では

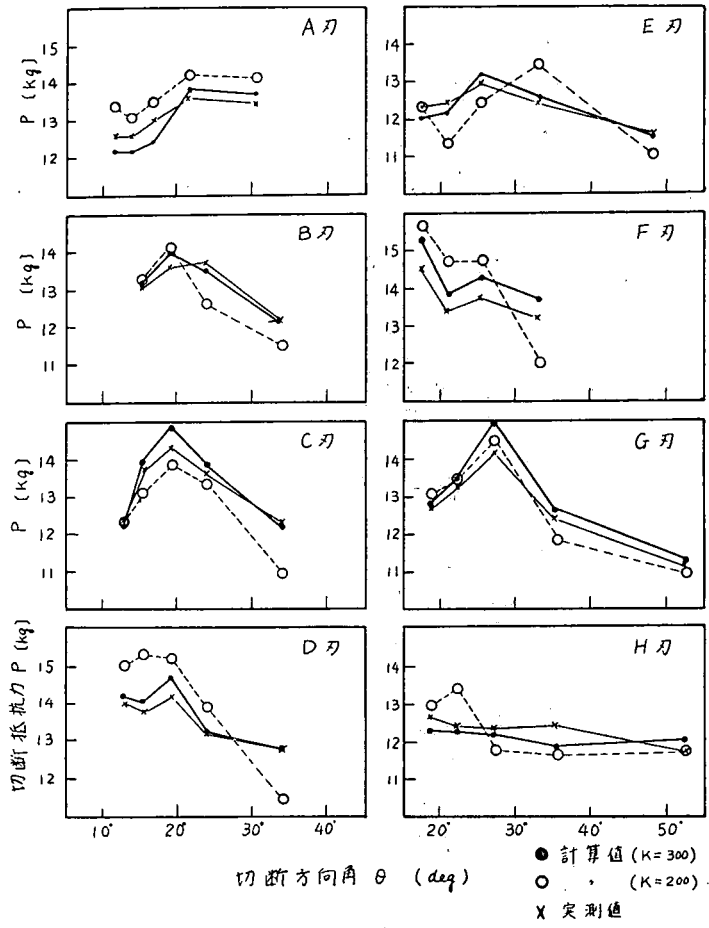
$$N' = 0.61 \sim 0.68 \text{ Kg/mm} \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。したがっていま  $N' = 0.61, \mu_1 = \mu_2 = 0.4, K = 3 \times 10^2$  を採用し、チャンネル巾  $l_1 = 22$  を代入すれば(4)式は以下のように表わされる。

$$P_s = 13.4 (0.4 \cos \sigma + \sin \phi \cos \theta) + 3 \times 10^2 d (0.4 \sin \theta + \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (12)$$

あるいは  $N' = 0.61, K = 2 \times 10^2$  を採用すれば

$$P_s = 15.0 (0.4 \cos \sigma + \sin \phi \cos \theta) + 2 \times 10^2 d (0.4 \sin \theta + \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (13)$$



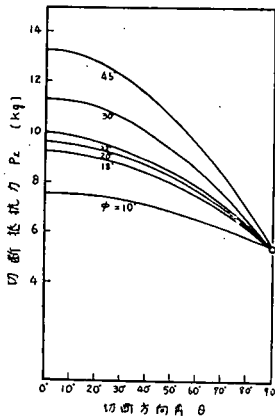
第19図 計算値と実測値との関係

となる。(12)式および(13)式より得られた計算値と実測値  $P_0$  を同時に表示すれば第19図に示すとおりである。両者の値は必ずしも一致していないが、D、E刃などをのぞけば計算値は実測値の定性的な傾向をかなりよく説明していることがわかる。

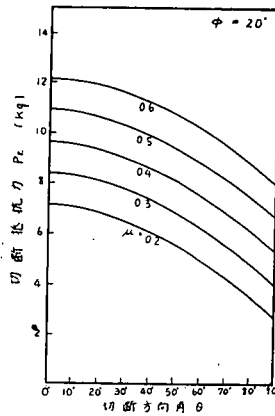
さらに(12)式に数値を与えて検討してみれば以下のようなになる。

第20図は(12)式において  $d=0$  すなわちくさび作用のみを考えた場合で、パラメータを切削角に選んで表示したものである。同図は定説のように切断方向角の増大にともなって切断抵抗力は減少し、切削角の増大につれて切断抵抗力が増大することを示している。

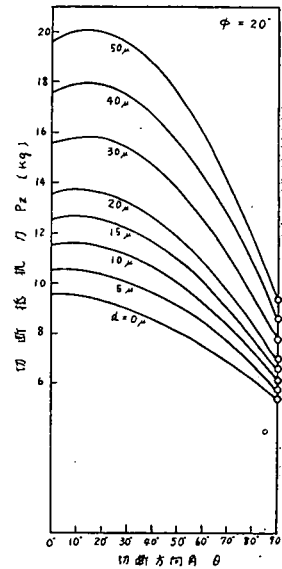
同様に第21図は摩擦係数をパラメータに選んだもので、摩擦係数が大きくなるほど切断抵抗力は増大し、常識どおり刃面を滑らかに加工することが有利であることを示している。



第20図 切断抵抗力と切削角との関係



第21図 摩擦係数と切断抵抗力



第22図 刃先厚と切断抵抗力

さらに第22図は(12)式において、切削角を一定にした場合の刃先厚をパラメータに採用した計算図で、刃先厚の増大にともなって切断抵抗力は増大し、また刃先厚の増大にともない切断方向角の効果が大きく表われるため切断方向角が大なるにつれ引切作用が生じ、刃先厚の効果はあまりきいてこないことを示している。以上より切断抵抗力表示式(6)あるいは(12)式は数値計算を行なってもほぼ妥当な傾向があらわれ、定説にむじゅんしないことが知られる。結局静的切断抵抗力は主として切削角、切断方向角、刃先厚などによってきまり、わらに類似の物理的の性質をもった材料に対して切断抵抗力は(12)、(13)式より算出しても大きな誤まりはないものと思われる。

### 結 語

われわれは本実験において有機質体の切断について、従来影響の大きいと考えられていた、刃先角(楔角)と刃先厚(鋭利さ)の効果を不確かではあるが数量的に表わそうと試みたわけである。緒言でも述べたごとく、切断あるいは切削、さらに材料の破壊の本質の明確でない現段階において、再現性にとほしい有機質体を対象とした実験において結論をくだすことはきわめて危険であると考え、前述のごとくその影響は主張されながら数量的な追求はなされず、切断機械、特に刃物について切味試験機等にみられるごとき慣習的な従来の方法からの脱皮の第一歩を踏み出さんとし、あえて結果を発表するしだいである。

事実有機質体の切断をマイクロに考えた場合被切断物は細胞組織であり、その大きさは $10\sim 100\ \mu$ オーダー、細胞膜の厚さにいたっては $\text{mm}\mu$ のオーダーのものに対し、刃先は前述のごとく $5\sim 20\ \mu$ オーダーのものである。

かつ細胞組織、細胞膜の機械的性質等はもちろん明確でなく、したがって貫入機構の真の姿は把握できないがマクロ的に拡大類堆すれば刃先が植物細胞あるいは細胞間組織等の弱い部分に貫入し組織が破壊分離され切断が進行して行くものと考えられる。なお、刃先については適当な方法を用いればマイクロームの刃先のごとく、砥石仕上の場合でも $1\ \mu$ 以下の刃先厚を得ることも可能であるが、この場合いずれにせよ刃物側面は砥粒による溝を有する面となり、この側面の交線としての刃先稜線は鋸歯状となることが想像される。A. A. Ivashko<sup>14)</sup>等はこの構造を基部 $6\sim 10\ \mu$ 頂部 $1\sim 0.5\ \mu$ の微小歯が2列に形成されていると述べている。電子顕微鏡サンプルの厚さは $100\ \text{mm}\mu$ 以下が要求されるため、前述の方法による刃物を使用するマイクロームは使用不可能であり、現在ガラス破面により構成された(刃先角は $45^\circ$ 近傍)刃物が使用されているがこれは砥粒のごとき大きさのものによる溝面をさけてガラス破面のガラス粒子により構成される溝面の交線としての稜線を利用しているものと考えられる。なお上のガラス刃によれば最良条件においては $10\ \text{mm}\mu$ の厚さのサンプルが得られるといわれる。これは刃先厚の小なる刃物ほど薄い切片が得られるという考えから刃先の鋭利性を考えたのであるが、以上の推論にしたがった実在刃先を使用して切断する場合その機構としてつきのごとく考えられる。

(1) 刃先稜線方向の力のみにより切断される場合は刃先稜線の凹凸と被切断物表面の凹凸のからみ合いによる表層のみの切断

(2) 刃先稜線の法線方向の力のみによる切断は刃先稜線の突出部の貫入からしだいに貫入面積が増大し加える力の大きさにより刃先稜線全長にわたった切れ込みに進展して行く切断

一般の切断の場合は両者の結合されたものと考えられるが、この両者は本質的に異なった破断過程とも考えられるので両者の組合わせ割合を示す切断方向角を本報告中で重視したわけである。しかしながら、われわれのあつかった有機質体の場合上述の(2)のごとき切断過程のみをとる部分はきわめて小部分とも考えられる。すなわち有機質体の剛性(変形抵抗力)は貫入抵抗力より小さいことが普通であり、したがってある刃先稜線長さにわたった切断においては破断開始前の圧力により被切断物が変形してある部分は刃先稜線方向の運動をおこし、マイクロ的にはもはや(2)の切断過程ではない状態となることが推察される。

したがってわれわれの切断方向角の数値もあくまでマクロ的意味であり、厳密な本質をもった数値ではない恐れもある。なお Ivashko<sup>14)</sup>は(2)の場合の切断において刃先面積当りの切断抵抗圧力を提案し、これは被切断物と切断方法により決定されると述べているが、この場合刃物稜線方向長さとこれに直角方向長さのもつ意味は上述の切断にさいしマイクロにみた場合の被切断物の部分移動を考えれば当然差違があり、また稜線方向長さは抵抗力に対し直線の関係にあると考えられるがこれに直角方向の長さに対しては刃先厚そのものの増大のみであれば直線関係とも考えられるが、さらに両側隅部の影響があるはずであり直線関係になるとは考え得ない。なおこの部分の破断機構は破壊機構の本質に関係すると思われる部分でもあるが、いずれにせよその両方向長さの影響を同一視することはできない。したがってわれわれは報告中刃先厚み方向の長さのみを変数と考える表現方法をとった。

なお上述の被切断物の部分移動の問題は切断状態の再現性が小さく、得られるデータのバラツキの大きな原因ともなると考えられ、さらにマクロ的には束の結束かたさに関係するもので将来この方面の研究も必要と考えている。

なおその他の因子として切断刃と受刃のすれちがい間隙も、報告では本実験装置に限定される恐れもあり、既報告と数値的な一致も本質的な説明なしに行われているが、この因子についても、



Chancellor<sup>10)</sup> の提案のごとく刃先の隅における曲げと刃先正面による圧縮の結合応力により破断すると考えるか、さらに刃物のすれちがいによる本来の剪断によるか、さらにまた、切断方向角がある値を有する場合には引切りによる剪断応力も関係すると思われ、その本質の解明が必要と思われるが十分な報文はない。

われわれの設定した逃げ角についても、有機質体の切断に関しては考慮した報文を発見できなかったが、これは刃先の貫入抵抗に主として注目した研究者が多く、切削角よりも刃先角に重点がおかれたものと思われる。われわれはこの逃げ角をとることによりくさび作用による摩擦抵抗を片側側面にのみ作用させ得る利点をも考え合わせて切削角の概念を導入したわけである。もちろん、この逃げ角を与えると刃物に刃の稜線方向を軸とする振れ荷重と刃物回転軸に直角な直線のまわりの曲げ荷重を与え、受刃と切断刃のすれちがい間隙の安定性を害することとなり、実用上はむしろ不適当と考えられるが、測定の場合上述の方法を採用した。

なお Chancellor<sup>10)</sup> は刃物材料の圧縮強度より刃先厚が規制されると報告していることを前述したが、この逃げ角を決定すれば上述の振れ荷重を生ずる力が刃先を逃げ角の側に曲げる荷重ともなるのでこれによる曲げ応力を生じて Chancellor<sup>10)</sup> の主張する圧縮応力とともに刃先を破損する傾向を生じ、彼の考えた安定刃先厚も実際は大きくなることが考えられる。

実用上、もっとも問題となる刃物寿命の問題も以上のべた因子の総合結果として、またさらに刃物材料および被切断物の種類による摩擦の差違も関係することがらであり、終局的には取上げるべきことがらと考える。

以上われわれの実験はきわめて不備な点も多く、得られた結果も不確かなきらいもあり、前述の意味から将来の問題を提起したにとどまるが、一応刃先角、刃先厚、切断方向角の影響の定性的な傾向を知り得たものと考え、さらに将来これ等の厳密な関係および上述の諸問題について順次解明してゆくつもりである。なお当教員森田南海男君に本報告作製にさいし製図その他の労をわずらわしたことを記して感謝の意を表したい。

## 参 考 文 献

- 1) 常松, 岡村: 農業機械学会誌, Vol. 13, No. 1・2, P. 26, (1952)
- 2) 守島: 農業機械学会誌, Vol. 14, No. 1・2, P. 23, (1953)
- 3) 松田, 江崎: 農業機械学会誌, Vol. 12, No. 1・2, P. 55, (1951)
- 4) 松田, 江崎, 奥井: 農業機械学会誌, Vol. 15, No. 3・4, P. 105, (1954)
- 5) 松田, 江崎, 奥井: 農業機械学会誌, Vol. 15, No. 3・4, P. 109, (1954)
- 6) 江崎:刈取機の研究と実際上, 下, 新農林社, (1956)
- 7) 土屋: 農業機械学会誌, Vol. 17, No. 4, P. 150, (1956)
- 8) 岡村: 農業機械学会誌, Vol. 17, No. 2, P. 49, (1956)
- 9) 森田, 田谷: 農業機械学会誌, Vol. 23, No. 2, P. 76, (1961)
- 10) Chancellor, W. J.: Agricultural Engineering, Oct. (1958) P. 633
- 11) Feller, R.: Jour. of Agric. Eng. Res. Vol. 4, No. 4, P. 277, (1959)
- 12) Fisher, Schlemm, W. S.: Landtechnische Forschung, Heft 4, (1955)
- 13) Prince, R. P. et al., Agricultural Engineering, Oct. P. 638, (1958)
- 14) Ivashko, A. A.: Traktori Selikhozmashini, No. 2, (1958)

