

# 琉球大学学術リポジトリ

サトウキビ収穫機に関する研究(第2報):  
茎稈の切断抵抗について(農業工学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 泉, 裕巳, Izumi, Hiromi メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/4488">http://hdl.handle.net/20.500.12000/4488</a>

# サトウキビ収穫機に関する研究(第2報)\*

## 茎稈の切断抵抗について

泉 裕 巳\*\*

---

Hiromi IZUMI: Studies on the Sugarcane Harvester;  
Part II. the Cutting Resistance of Sugarcane Stalk.

---

### I 緒 言

サトウキビ収穫機をトラクター用作業機として装着使用する場合に、トラクター用原動機としてどの程度の容量が必要であるかについては、作業機装置各部の入力が的確に把握された後、最後に全体としての所要動力を算出することが必要であり、その際には装置各部の入力に影響を及ぼす各因子の実態が的確に解明されなければならない。収穫機の場合実際に圃場内を走行することになるので、各装置部分の入力には外的要因に影響される度合いの大きいものが多く、それらについては外的要因との関連において実際の入力を把握しておかなければならない。

本研究で行なった切断抵抗も外的条件によって大きく影響される部分の一つである。すなわち切断部装置は、刃の形式や回転数はもちろんのこと、被切断物の物理的性質からくる切断抵抗の違いによって大きく影響を受ける。しかも切断抵抗は、切断速度や切断角、切断刃の磨耗、土壌その他枯葉など雑物の付着によって起ると予想される切断条件の変化から二次的に変動する。しかし実際にはそれらとの関連において切断所要動力を把握することは非常に困難である。

筆者は、切断機構のうち実際の切断に必要な切断所要トルクを知るために、その根幹をなす茎稈の静切断抵抗に影響すると考えられる諸因子の解明を試みた。次いで、それが切断速度によって、また切断角度によってどのように変化するか、つまり動切断抵抗についても室内測定試験装置を試作し、サトウキビ茎稈の切断という現象のみを取り出して試験を行ない、切断にどれ程の力が必要であるかについて実測した。その結果二・三の知見を得たのでその概要を報告する。

本研究を実施するにあたって御指導ならびに援助を賜った恩師九州大学教授中馬豊先生、試験材料の収集輸送に多大の援助を賜った鹿児島県立農業試験場 大島支場長吉国平先生、東亜航空株式会社福岡支店、実験その他に協力して下さった九州大学農学部堀善昭技官、岡部正昭君、琉球大学農学部専攻生平良雄功君に感謝の意を表します。

尚、本研究は九州大学農学部にて研修中に行ったものに(1)、帰学後さらに試験を追加してまとめたものである。

- 
- \* 昭和42年4月第26回農業機械学会(東京)にて講演(本研究の一部)
  - \*\* 琉球大学農学部農業工学科  
琉球大学農学部学術報告 13:73~87(1971)

## II サトウキビ茎稈の一般的形態

サトウキビは禾本科の *Saccharum* に属する多年生の作物で種子或いは蔗苗から発芽して発育し、成熟に達するまでの期間は、早熟性、脱熟性というように品種によって異なり、またサトウキビが生育する場所（緯度）や自然条件によって等しくない。赤道を離れて熱帯から亜熱帯に向うにつれて生育期間は一般に長くなり18~24ヶ月となる。サトウキビは品種の改良と栽培法の研究によって亜熱帯の高緯度まで栽培されるようになったが、中国の四川省やアメリカのルイジアナ州の如き降霜地帯では12ヶ月以下の未熟なサトウキビでも収穫しなければならない場合もある。

サトウキビの茎長や分けつ数、茎径等は品種と環境により異なり、一般に中国の竹蔗や印度種のように中茎種、細茎種に属するものは分けつの数が多く、所謂高貴種といわれるものは大茎種で茎径40mmに達するものもあるが分けつ数は少ない。

茎は砂糖分が蓄積される場所であり、数多くの節によって分けられており、節には芽が左右交互に着生している。頂部と基部では節が非常につまって接近しているため、この部分には沢山の芽が着生しており、基部（根茎）の芽の接近している部分は分けつ茎の発生と株出しのため必要な部分である。節間は基部と頂部で長さ、直径、形態、断面の形、色および並び方を異にしている。節間の長さや太さは茎稈の部分により異なり、これはサトウキビの生長と深い関係があり、気候条件や栽培方法に起因している。水分と気温がサトウキビの生長に適している時には長く、気候冷涼で乾燥している時は短いものである。節間の大きさも同様に環境条件により異なってくる。茎の断面は一般に円形であるが、ある品種では形の場合もある。茎は節間が節のところで連結して並んだものであるが、この並び方は大抵の場合には真直ぐであるが品種によっては互い違いにジグザグ状になったものもある。(4)

## III 茎稈の静切断抵抗

茎稈（被切断物）を固定状態に置いて、刃を垂直に作用させ、徐々に荷重を増加して切断する場合の切断抵抗を静切断抵抗と仮称して本測定試験を行なった。

### 1. 測定装置と測定方法

試験装置は第1図 (Fig. 1) に示すような土質試験用三軸圧縮試験機（定歪定荷重式、円井製作所製）を利用した。切断に用いた刃は、後述の動切断抵抗の測定値と比較できるように、実際の切断に使用する刃を第2図 (Fig. 2) のように工作しなおし、垂直荷重が偏心することなくかゝるように工夫した。形状は第2図に示す如く切断角 ( $\lambda$ )  $0^\circ$ 、楔角 ( $\delta$ )  $25^\circ$ 、刃の厚さ (th)  $3.3\text{mm}$ である。作用角 ( $\gamma$ ) は刃が被切断物である茎稈の面に対して垂直に、茎稈の水平を保ちながら作用することになるので切断角 ( $\lambda$ ) と一致する。

測定方法は、先ず被切断物である茎稈を水平台上に垂直荷重がかゝっても動かないように固定し、刃の重心を通る垂直線上から  $2.2\text{mm}/\text{min}$  の速度で荷重を増加し、PROVING RING の中央にセットしたダイヤルゲージを注視しながら茎稈が完全に切断されるまで続け、その間における最大偏位を読み取り、換算表に、より荷重を求め静切断抵抗とした。

同様の方法で、茎稈の大きさ（円周）の異なるものについて50回余り実施し第3図 (Fig. 3) のような結果を得た。

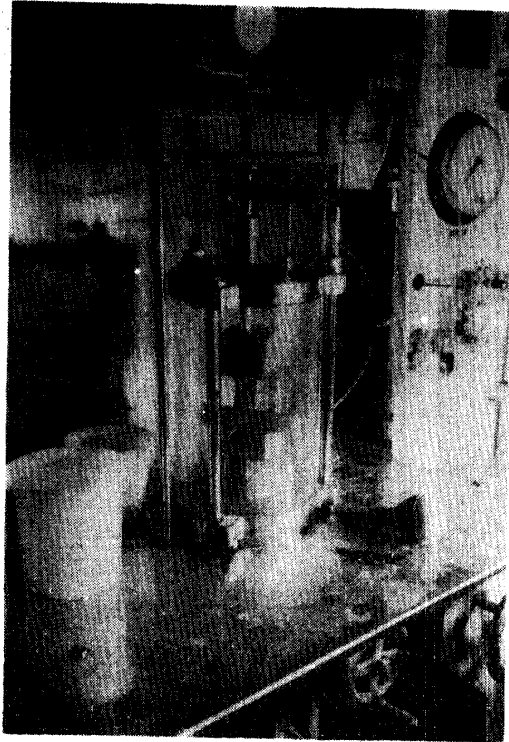


Fig. 1. 静切断抵抗測定状況

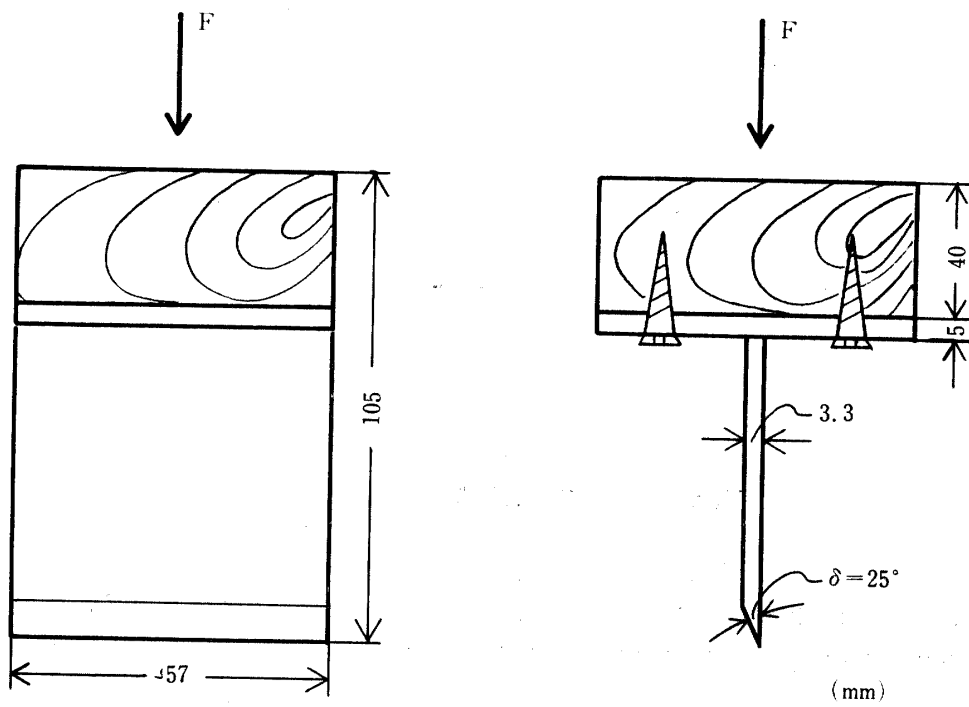


Fig. 2. 静切断試験刃の形状

## 2. 測定材料と測定結果

測定材料は、品種N : Co. 310, 1969年7月植付けの夏植サトウキビの中から生育状況が普通程度以上のものについて、収穫の際に通常切断している部分を中心に長さ約10cmに切り取って供試材料とし、1970年12月~1971年1月にかけて測定試験を行なった。

第3図 (Fig. 3) は静切断抵抗 (kg) と茎稈の切断部周長の関係を示したものである。

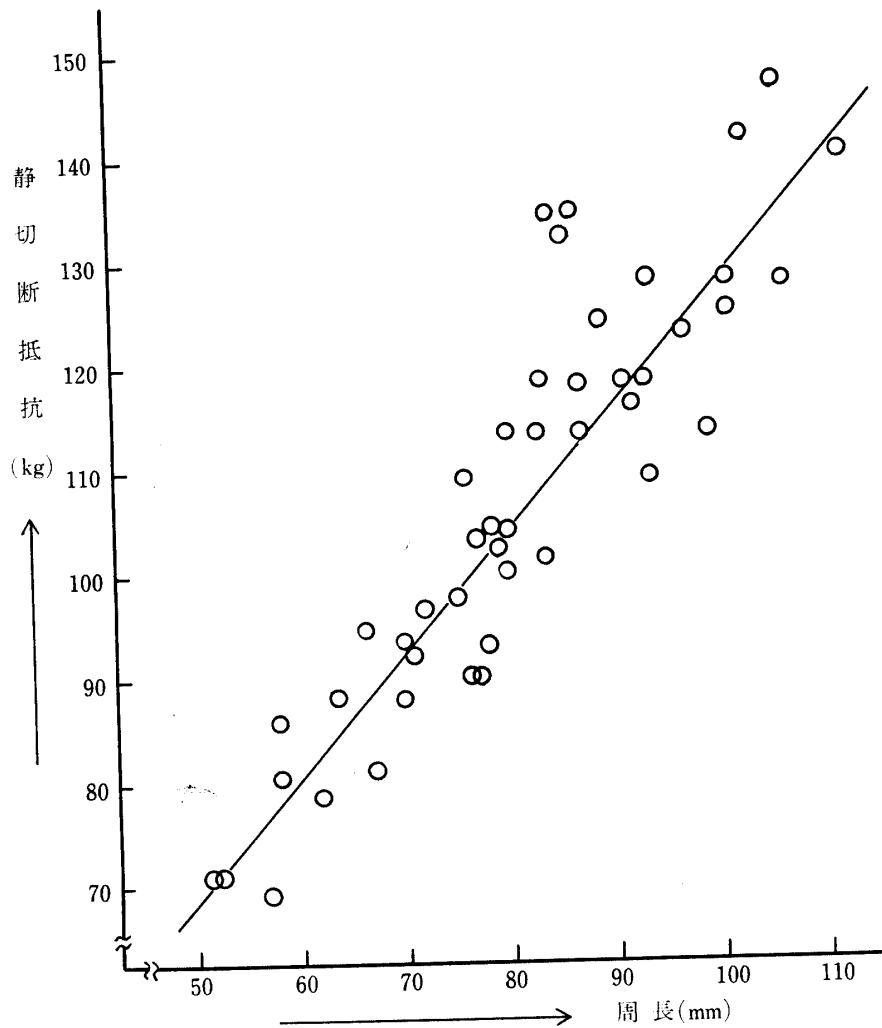


Fig. 3. 茎稈の周長と静切断抵抗

サトウキビ茎稈の表皮組織は硬いロウ質で保護されており、内部は柔組織および多数の維管束から成っており、柔組織はうすい膜をなした細胞よりなりたっているために外力に対して弱く、切断抵抗に影響を与える因子としては断面積よりむしろ周囲を被覆している表皮の長さの方が大きいと考えられる。

第3図によると、静切断抵抗は周長に比例して増大し、周長50mm~110mmの間では凡そ70kg~150kgの

範囲にあり、その関係式を最小二乗法によって求めると、次式のようになる。

$$Y = 9,957 + 11,783X$$

### 3. 考 察

静切断，すなわち切断速度が0に近い状態で楔角（ $\delta$ ） $25^\circ$ の切断刃を用い、被切断物に対して垂直に刃を作用させて切断力に対する抵抗を測定した結果について考察すると、切断は一般に切断角が大きくなると、被切断物（作物）は切断押力に対して逃げの作用が働くのであるが、本試験に使用した刃は切断角が小さいために（ $0^\circ$ である）作用が刃縁に沿って逃げるのが全くなく、必然的に切断抵抗は大きくなったと考えられる。何故なら、刃で物体を切断する場合の切れ味は、刃と被切断物の間に摩擦を生じさせる（滑らせる）ことによって容易になることが考えられるので、切断角 $0^\circ$ でしかも静切断という場合は、非常に摩擦を生じ難い状態であり、どちらかという刃の圧縮力のみが作用している状態である。従って後述の動切断に比較して大きな切断抵抗力を示したものと思われる。

## IV 茎稈の動切断抵抗

刃がある速度で移動しているときに切断される際に生ずる切断抵抗を動切断抵抗と仮称する。

動切断抵抗値は、切断速度によって大きな差のあることが一部の材料について示されているので（2,5），サトウキビ茎稈についての切断速度と切断抵抗の関係を知るために本試験を実施した。

本来ならば、実際の圃場において立毛状態の茎稈についての測定試験を実施すべきであるが、試験装置および計測におよぼす外的要因があまりにも多いので室内測定試験装置を試作して実施した。

### 1. 測定装置と測定方法

動切断抵抗の測定装置は第4図（Fig. 4）に示すようなもので、それぞれの切断角で任意の切断速度が得られるように無段変速機を使用し、刃の回転数（周速度）を大幅に変えられるようにした。さらに、それぞれの切断速度における切断抵抗は、回転動力伝達主軸の中間に取り付けたトルクメーターに

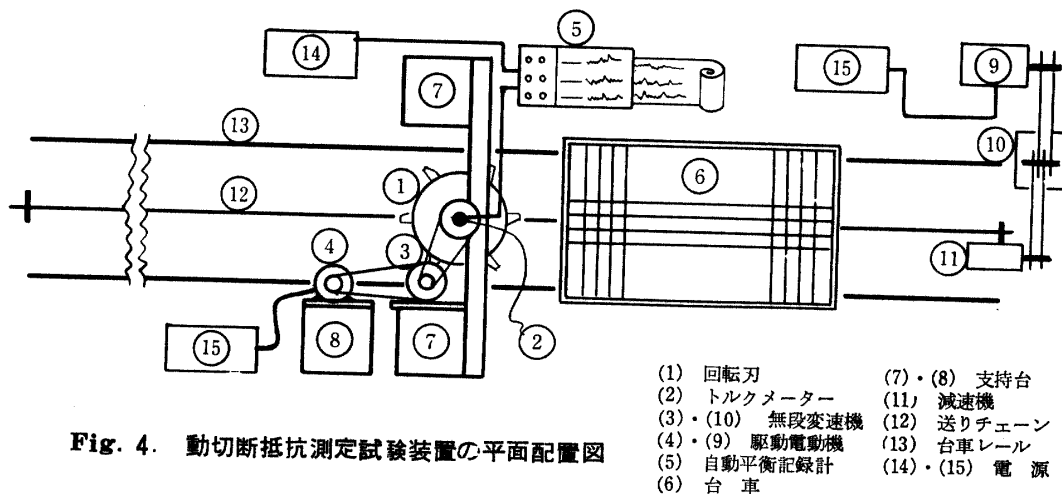


Fig. 4. 動切断抵抗測定試験装置の平面配置図

かゝる歪量を自動平衡記録計にペン書き自記させ、同時に回転軸上端部で切断時の回転数変化をタコメーターで読みとった。

これを系統的に説明すると、回転刃①は回転主軸 ( $\phi 32mm$ ) の中間に取り付けた抵抗線歪計式トルクメーター② (新興通信工業製 TM-10型) に連結し、無段変速プーリー③ (三木製作所) を経て駆動電動機④ (三菱製 3.7kw, 1690RPM) につなぎ、この装置によって主軸の回転数を任意の回転刃の切断速度に変えられるようにセットした。一方刃の駆動トルクはトルクメーター②により電気的出力に変換して取り出し、これを自動平衡記録計⑤ (新興通信工業製, AS-18型, 3点式) にペン書き自記させた。

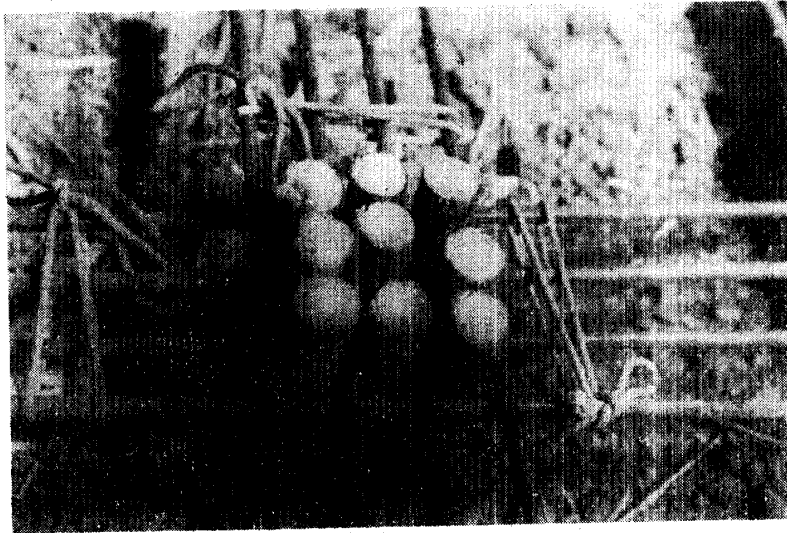


Fig. 5. 切断材料の固定状態

切断材料である茎稈は第4図 (Fig. 4) に配置した台車⑥上に第5図 (Fig. 5) に示すように  $\phi 9mm$  の鉄筋4本を40mm間隔に交叉させ、これを上下2段に配置してできた網目の中に茎稈を挿入し、切断の際に抜け出さないように紐で固定した。台車は走行速度を一定に (0.4m/s) にし、前述の回転刃の直下①を通過する際に切断が行なわれるように操作した。

試験の種類を模式的に図示すると第6図 (Fig. 6) の通りであり、回転刃の周速度を17~21m/sまで

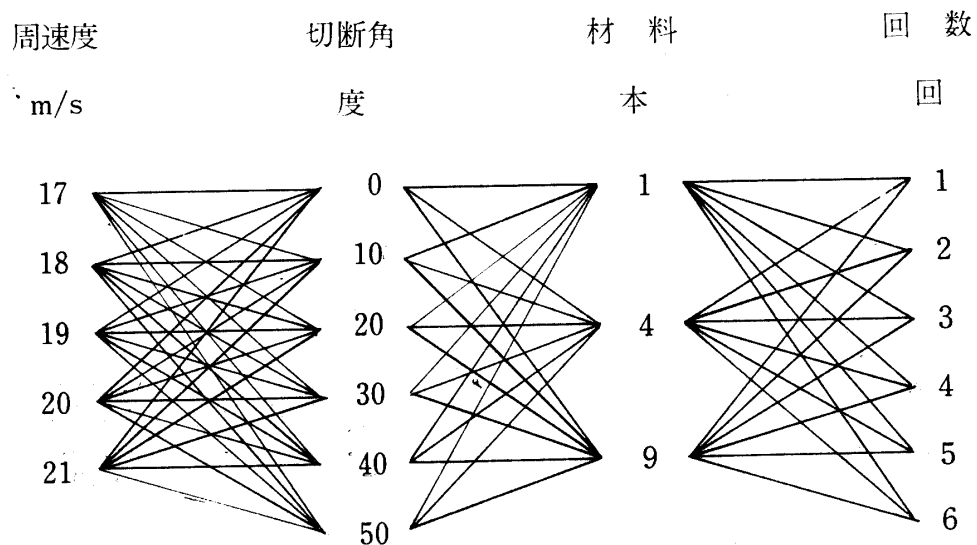


Fig. 6. 動切断試験の種類と組合せ

の5段に、切断角を  $0^{\circ}$ ~ $50^{\circ}$ までの6段に、材料の種類を1本、4本、9本の3種類に分け、各々同一の試験について6回ずつ行ない平均値を採用するという方法で動切断抵抗測定試験を行なった。

回転刃の形式は第7図 (Fig. 7) に示す如く円周上に等間隔に6枚の刃を取り付け、各2本のボルトで円板上に固定した。

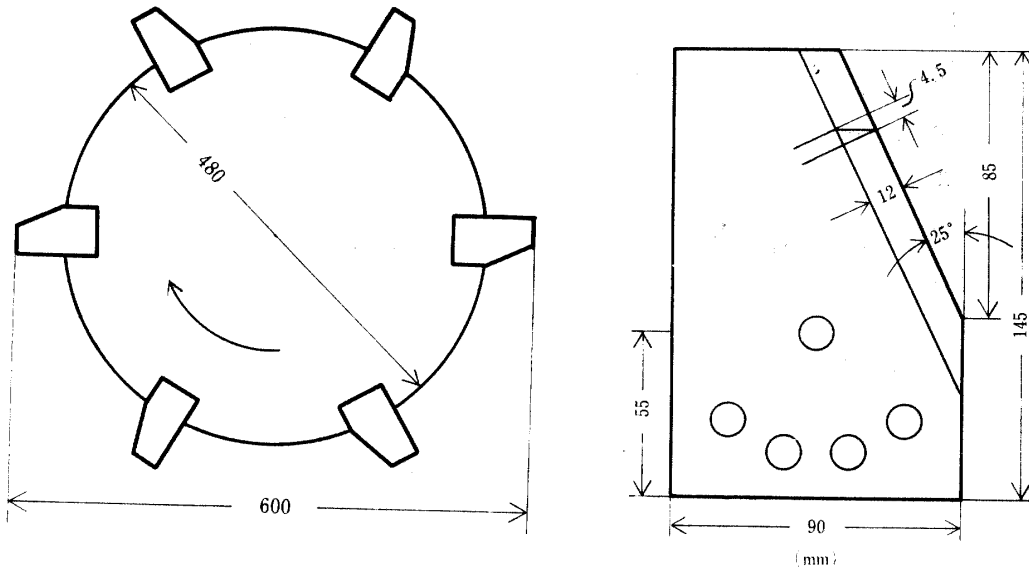


Fig. 7. 動切断試験用回転刃の形状

自動平衡式記録計に自記される曲線は、切断抵抗のほかいろいろな外力が含まれてくるので複雑な波形が描かれる。この波形の原因をつきとめ、その中から切断速度と切断抵抗との関係を正確につかむためにいろんな角度から繰り返し実験を行なった。しかしながら本試験に使用した回転刃は円周上に6枚の刃を取り付けてあるために、無負荷トルク発生時の振動が記録形の波形に直接影響して周期的な振幅値 (波形) を示し、さらに高速切断になると切断トルクが極めて小さくなるので、読み取りについては正確を期すことがかなり困難であった。その結果、何れの場合も波形の谷は零線を越えて (+) 側に振れることはなく、つまり回転刃を回転させる方向への力は生じないことがわかったので、零レベルの設定には、無負荷時波形曲線の (-) 側における平均値を採用した。

## 2. 測定材料と測定結果

測定試験材料は静切断抵抗試験の場合と同様に琉大農学部石嶺農場における1969年7月の夏植サトウキビN:Co.310について行なった。材料の調製は、先ず茎稈をできるだけ基部から刈り取り、収穫の際に切断する基部が試験装置の回転刃の位置になるように長さ約50cmに採取した。材料はできるだけ稈径の異なるものについての切断抵抗測定値が示されるように  $\phi 20 \sim 35 \text{mm}$  の範囲について行なった。

第8図は回転刃の切断速度 (周速度) と切断所要トルクの関係を示したものである。図において (4-50) というのは、茎稈4本を切断角  $50^{\circ}$  で切断したという記号である。



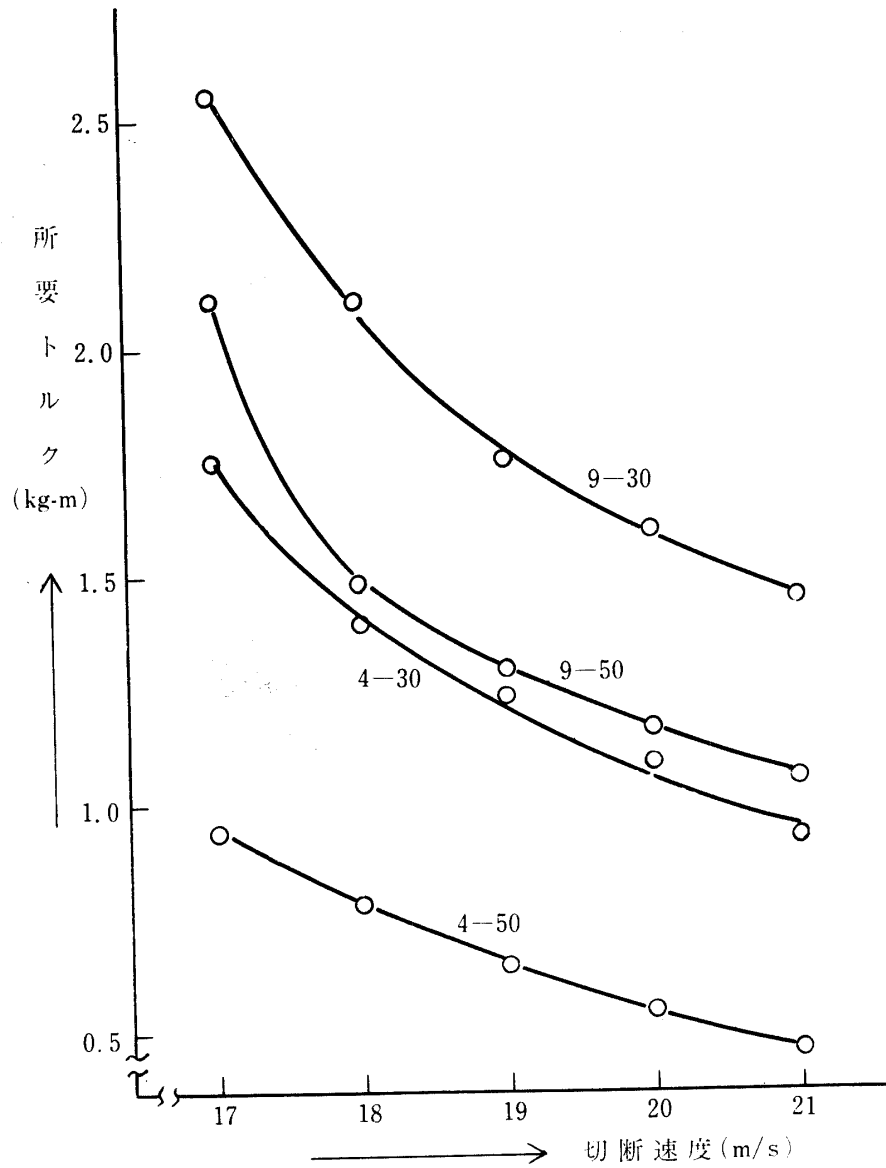


Fig. 8. 切断速度と所要トルクの関係

第9図は回転刃の切断角と切断所要トルクの関係を示したものであり、図中(4-20)というのは、茎稈4本を20m/secの周速度で切断したという記号である。

### 3. 考 察

#### 1) 切断速度と切断トルクの関係

第8図 (Fig. 8) の結果から判断すると、切断所要トルクは、全体的に切断速度の増加につれて減少しており、切断速度 19m/s 附近より曲線がやゝゆるやかになる傾向がみられる。その理由としては次のようなことが考えられる。

普通回転刃の一般的傾向として、受刃をつけることが困難であるために高速回転させる必要があり

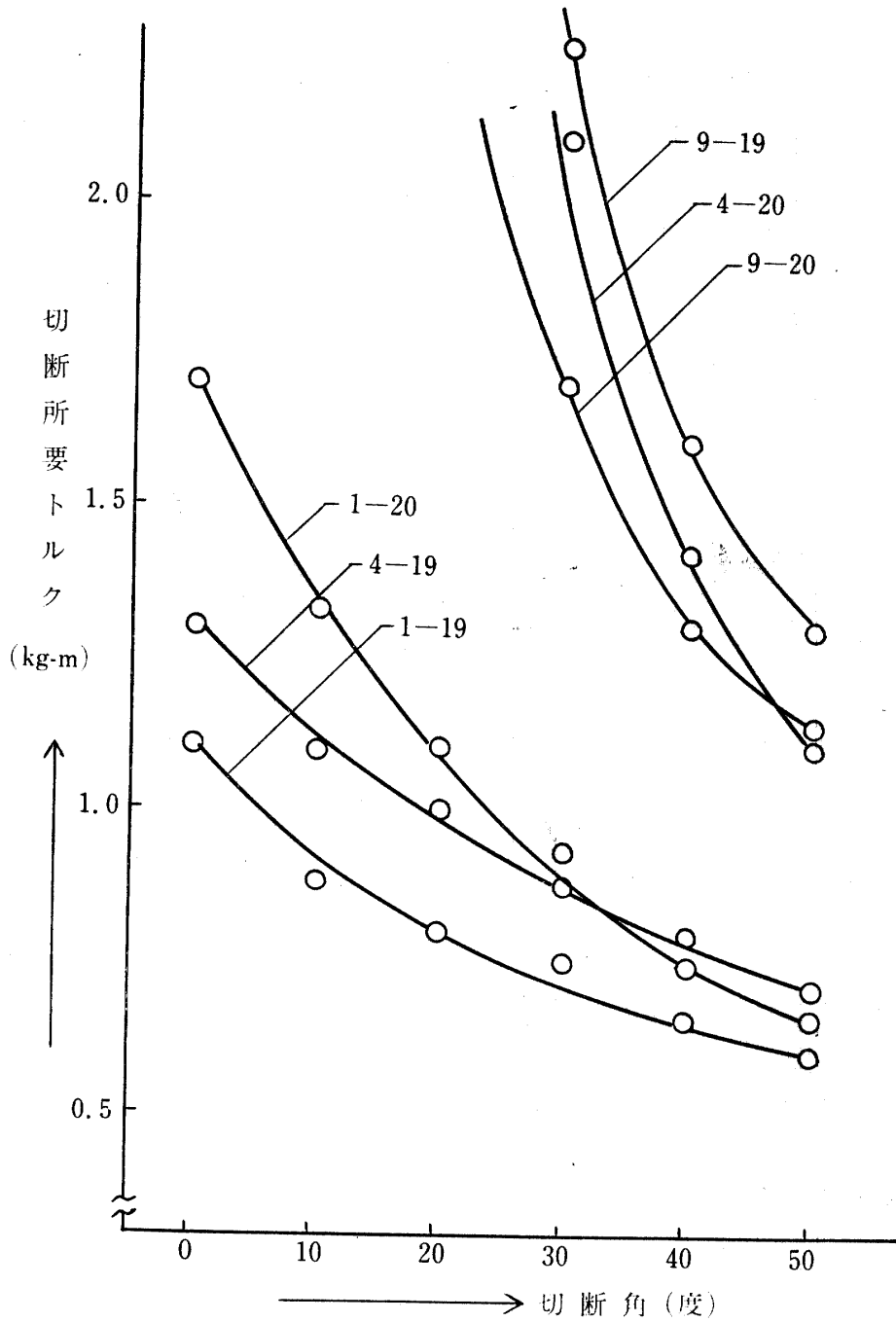


Fig. 9. 切断角と所要トルクの関係

第10図は各周速度における切断角別の切口跡の状態を比較したものである。

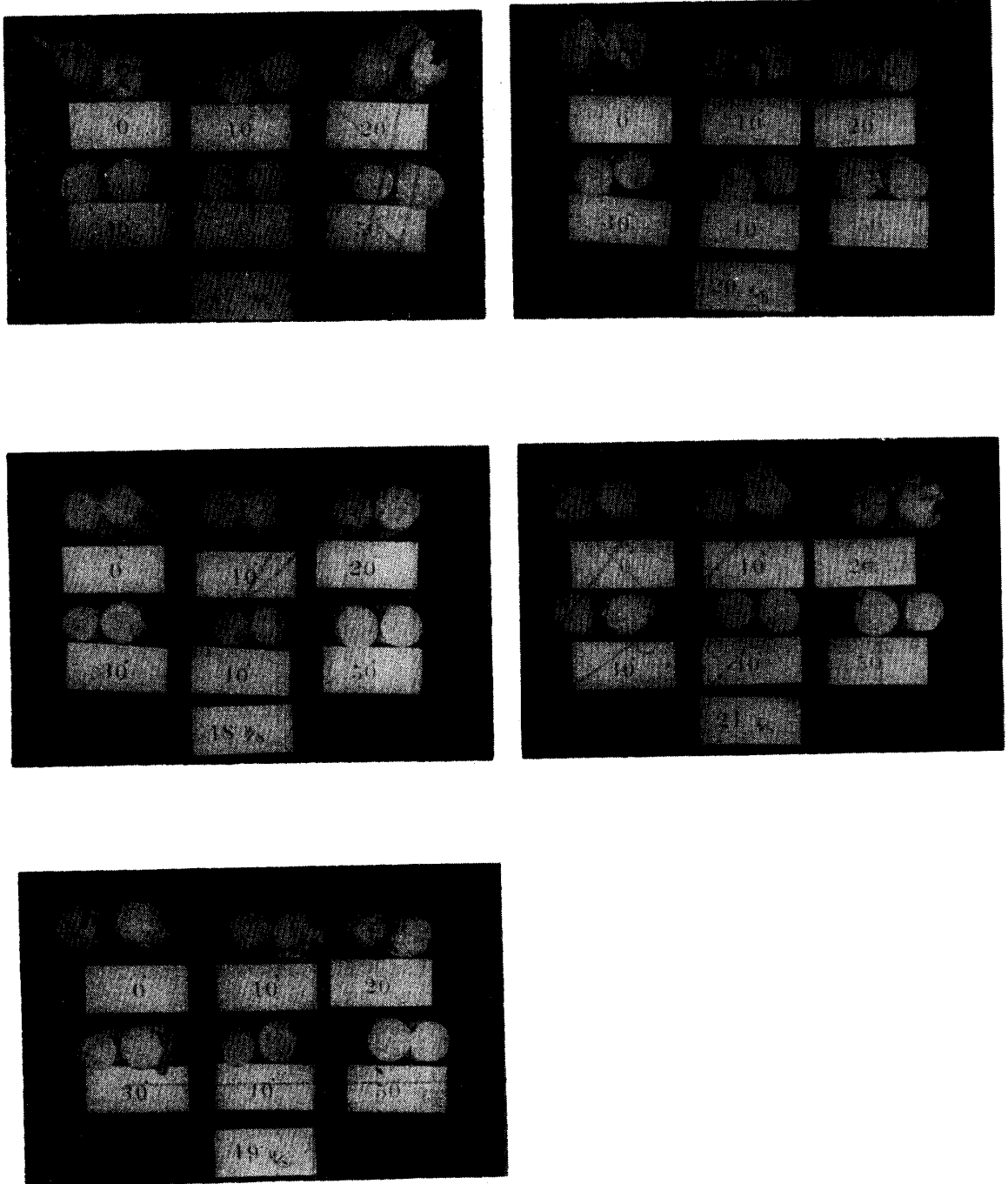


Fig. 10. 各切断速度における切断角別切り口跡の状態

(2), 受刃のないものでは回転刃が被切断物に当たった位置で直ちに切断されることが必要になってくる。もしそうでないと被切断物は単に押し倒されるだけで切断されないことがおこる。そのためには、静止状態を続けようとする被切断物の剛性とか慣性よりも切断抵抗が小さくなければならない。(5)つまり、動切断の際に起る切断圧力(押し力)に耐えさせなければ切断できない。(7)サトウキビの茎稈は一般の作物に比較して植物体、重量共に大きく剛性も強いので、自由切断であっても実際の切断時における状態は拘束切断に近い状態になると考えられる。従って切断に際しては、比較的切断抵抗が大きいのでよほど刃の切れ味がよく、しかも刃が摺動する(滑る)ように接し、切断速度も速くすることにより順調な切断が可能になり、所要トルクも小さくなったと考えられる。

しかし実際には、高速回転にすると刃が被切断物に衝撃的に当るので、刃の切れ味が低下しやすくなるといわれている(3)が、本試験に使用したサトウキビ茎稈の状態は、茎の内部形態が稲、麦などゝ異なり、中空になっておらず柔組織から成る細胞がぎっしりつまっており、しかも内部に水分が充満しているので衝撃に対する抵抗は弱い。(一説には成熟サトウキビは約70%の水と、30%の乾物を含んでいるといわれている(4))。従って、切断の際に回転刃の遠心力が作用し、刃の鋭利度による切断と同時に衝撃による内部破壊を起し、つまり衝撃破壊による切断が行なわれ易い状態になっていたために切断トルクも小さくなったと思われる。しかしよく切れる刃では一度に切断してしまうから、同じ水平面上を刃が回転し切断されるだけずつ送り込まれていくなれば、二度切りをせず平らにきれいに切断されている筈である。

本試験では、台車の進行速度を0.4m/sに固定して行なったので切断速度比(刃の周速度/前進速度)は42.5~52.5の範囲にあり、刃の運動軌跡は円に近い。従って切断は殆んど刃の先端部だけで行なわれていることになる。これらの試験結果から判断すると

- ① 第8, 9, 10図の結果から、切断速度19m/s~21m/sの間で良好な切れ味を示している。
- ② 切断トルクは18m/s以下では急激に上昇する。
- ③ 従って適正周速度は20m/s前後と考えられる。

## 2) 切断角と切断トルクの関係

第9図によると、全般的な傾向として切断角が大きくなるにつれて切断トルクは急激に減少しており、また何れの場合も切断角が0に近づくにつれて急激にトルクが増大している。

こゝで切断角と楔角の関係について若干考察すると、回転刃が茎稈に作用する場合の力の方向は、刃の遠心力が茎稈の中心に向って作用する方向であり、楔角とは違った角度で作用する。すなわち茎稈に作用する角度は刃の切断角( $\lambda$ )と楔角( $\delta$ )の関係によってきまり、図解すると第11図(Fig.11)の作用角( $\gamma$ )となる。

作用角( $\gamma$ )については次の関係式が成り立ち、計算によって求めることができる。

$$\tan \gamma = AB/AC$$

$$\tan \delta = AB/AO$$

$$\sin \beta = AO/AC \quad \text{但し} \quad \beta = 90 - \lambda$$

$$\therefore \gamma = \tan^{-1} (\tan \delta \cdot \cos \lambda)$$

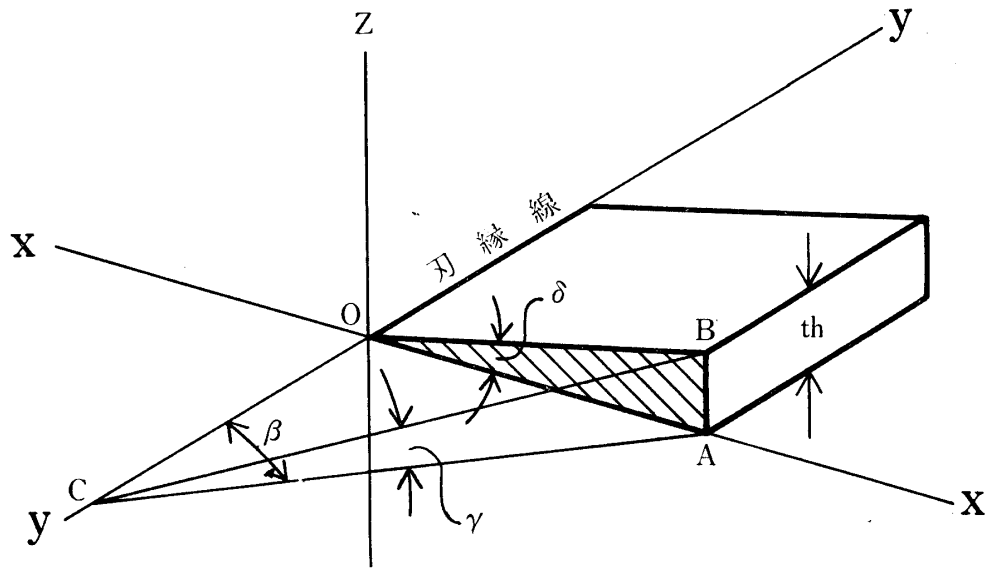


Fig. 11. 刃の作用角

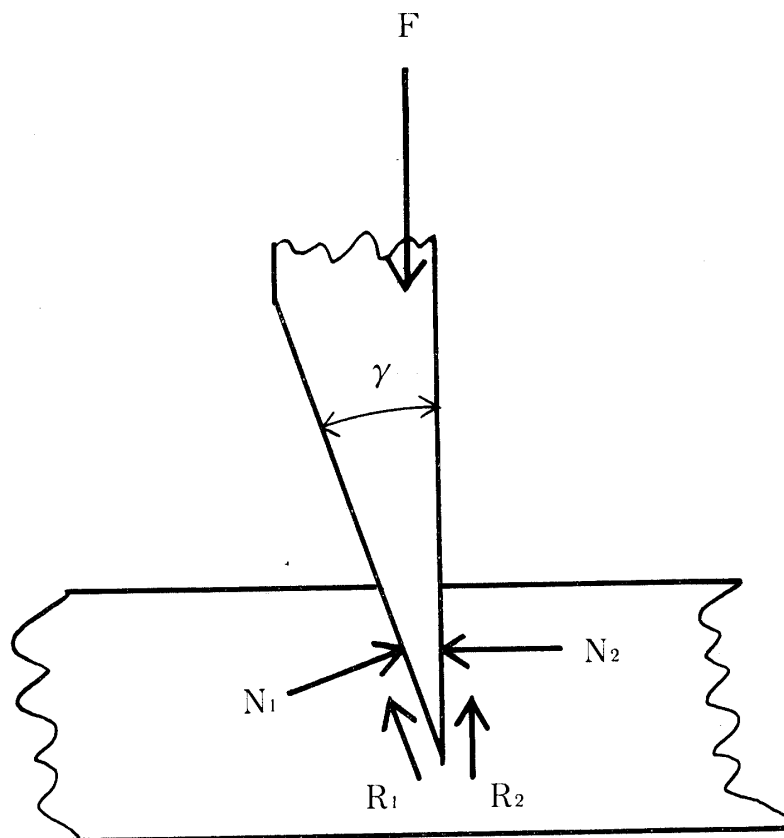


Fig. 12. 楔の作用による切断力

すなわち作用角は切断角（ $\lambda$ ）と楔角（ $\delta$ ）の変化によって変化することが知られている。(2,5)

また切断に要する力については、江崎氏によると茎稈の垂直抗力（ $N$ ）、摩擦力（ $R$ ）、刈刃の摩擦係数（ $\mu$ ）が一定であれば、作用角が小さい程切断に要する力は小さくなることが理論的に証明されている。

第12図において、 $F$  = 切断に要する力、とすれば

$$F = N_1 \sin \gamma + R_1 \cos \gamma + R_2$$

$$R_1 \doteq R_2 \doteq \mu N_1 \doteq \mu N_2$$

$$\therefore F = N_1 (\sin \gamma + \cos \gamma + \mu)$$

となり、刃の切断角が一定であれば楔角が小なる程、楔角が一定であれば切断角が大なる程自由切断抵抗は小さくなる。(2)

以上の結果から判断すると

① 第9図において切断トルクの変化過程をみると、大きく分けて大体3段階に分けられる。つまり、切断角 $0^\circ \sim 20^\circ$ 間における切断は、刃の作用角が楔角に略等しくなるために切断抵抗は大きく、また茎稈の逃げ（滑り）は殆んど起こり得ないので回転刃の遠心力が直接衝撃力となって茎稈に作用する傾向を生ずる結果、切るというより打撃という現象の方が強くあらわれ、そのために切口跡は乱れ、従って切断トルクも大きくなったと考えられる。

②  $30^\circ \sim 40^\circ$ の間は、 $0^\circ \sim 20^\circ$ 間に比べて作用角もやゝ小さくなり、茎稈が刃縁に沿って逃げる傾向が生じはじめる状態であり、切るという作用が大きく働らき打撃作用が①に比べて小さくなる結果、切断が適正に行なわれ切口跡がきれいになったものと思われる。

③  $40^\circ \sim 50^\circ$ 間は①②に比べて切断角が一段と小さくなり、茎稈の逃げる傾向が著しく、つまり刃縁に沿って滑る距離が長くなるために、その間におこる摩擦によって切断が行なわれる結果切口跡の乱れが少なくなったものと思われる。しかしながら茎稈の逃げが著しくなると、1枚の刃のみでは切断されず2枚あるいは3枚の複数刃によって切断が完了するという現象が起こりやすくなり、その結果切口跡が若干乱れてくる傾向が生じたと考えられる。

④ 以上の結果から、切断角 $20^\circ$ 以下では衝撃による切断破壊が強くあらわれ、その結果切口跡が乱れる傾向を生ずる。 $50^\circ$ 以上では茎稈の逃げが著しく起こり、複数の刃による切断が行なわれやすくなるために切口跡が乱れる。結局、 $40^\circ$ 前後の切断角がサトウキビの場合適正な切断角ではないかと考えられる。

## V 総 括

サトウキビ収穫機的设计要素の一つである茎稈の切断抵抗を、静切断と動切断の場合について、それぞれ試験装置を試作し、1966年12月～1967年2月と1970年12月～1971年2月の2回にわたって測定試験を行なった。

静切断抵抗の測定試験には、土質試験用三軸圧縮試験機を使用した。動切断抵抗の測定試験には回転刃 ( $\phi 600\text{mm}$ ) を使用し、円板の円周上に6枚の刃を取りつけて行なった。動切断抵抗測定試験方法は、材料を台車上に固定し、台車を一定速度で走行させて回転主軸に取りつけた回転刃により自由切断（茎稈の剛性が強いのでやゝ拘束切断に近い状態であった）の方法で行なった。動切断抵抗測定試験の種類は、切断角が  $0^\circ \sim 50^\circ$  までの6段、切断速度は  $17\text{m/s} \sim 21\text{m/s}$  の5段に変速して実施し、各試験時の切断抵抗は、回転主軸の中央部に連結したトルクメーターで軸トルクをストレンメーターに自記させた。

適正切断角の判定には、切断所要トルクの大小と、各切断角、各周速度における茎稈の切口跡の状態を切断速度別に相対的に比較し総合的に検討した。

以上の測定試験の結果明らかになったことは、

① サトウキビ茎稈の静切断抵抗は、茎稈の周長に比例して増大し、周長  $50 \sim 110\text{mm}$  の間では  $70 \sim 150\text{kg}$  の範囲にあり、切断抵抗と周長の関係は、 $Y = 9,967 + 11,783X$  の式を満足する。

② 動切断における適正周速度（切断速度）は約  $20\text{m/s}$  前後である。

③ 動切断における刃の切断角は、楔角  $25^\circ$  の場合には約  $40^\circ$  が適当である。

④ 動切断において楔角が一定であれば、切断角が大なる程作用角は小さくなり、また所要トルクも小さくなる。

尚、実際の圃場で行なう収穫時の切断は、収穫量との関係で、茎稈をできるだけ基部から切断することになるので、回転刃は一部土壌表面を切削する状態が起こりやすい。従って切断に要するトルクも、土壌の種類、含水比、枯葉、雑草などの有無によって著しく影響を受けることが考えられるので実際には相当のトルク増加が予測される。また、刃の土壌粒子との摩擦によって起る摩滅が極度に進展することも考えられるが、本試験ではこれらの外的要因に関しては行なっておらず、実際面については今後の試験研究の課題としたい。

#### 参 考 文 献

- 1) 中馬 豊, 泉 裕巳 1967 甘蔗収穫機に関する研究, 第26回農業機械学会講演要旨 p 158
- 2) 江崎春雄 1959 刈取機的设计要素に関する実験的並びに理論的研究, 関東々山農試報告, 12: 147~191
- 3) 泉 裕巳 1970 さとうきび収穫機に関する研究 I, 農業機械学会九州支部誌, 19: 29~36
- 4) 北原健次郎 1968 甘蔗農業, 琉球分蜜糖工業会 p p 67~69
- 5) 中川健治 1965 茶摘機的设计要素に関する研究 II, 三重大学農学報 32: 57~81
- 6) 農業機械学会編 1969 農業機械ハンドブック コロナ社 p p 121~141
- 7) 岡村俊民 1966 フライホイール型飼料截断機の刃型に関する実験的研究, 北大農学部農場報告 14: 69~79

### Summary

The resistance of sugarcane stalks to static and dynamic cuttings was measured by an experimentally constructed apparatus.

Sugarcane stalks were dynamically cut by rotary cutter of fixed of a shaft (Fig 7) The cutting was experimented at six cutting angles in a range of  $0^{\circ}$  to  $50^{\circ}$ , and at five cutting speeds in a range of 17 to 21 meters per second.

The shape of cut ends of the sugarcane was examined as affected by the cutting angle and speed. The results obtained were in the following.

When sugarcane stalks were statically cut, their resistance increased with the circumference of the stalks. The relationship was expressed as  $Y = 9,967 + 11,783 X$  where Y was the resistance and X the circumference of sugarcane stalks. (Fig 3)

The appropriate speed was 20 meters per second in the dynamic cutting.

The best cutting angle was  $40^{\circ}$  with  $25^{\circ}$  of the wedge angle to obtain the minimum resistance.

In the dynamic cutting the angle of action decreased with increasing cutting angle as the wedge angle was kept constant, and so decreased was cutting torque accordingly.

The cutting torque was 0.8m·kg at  $40^{\circ}$  of the cutting angle and 20 meters per second of the cutting speed in the present experiment.