

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3報) :
茎幹の材質について (2) (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, 秋永, 孝義, Izumi, Hiromi, Akinaga, Takayoshi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4372

サトウキビ収穫機に関する研究 (第3報)

茎幹の材質について (2)

泉 裕巳* 秋永孝義*

Hiromi Izumi and Takayoshi Akinaga : Studies on the sugarcane harvester III. the physical properties of sugarcane stalks (2)

I 結 言

沖縄県の基幹作物であるサトウキビは、1970年を最高に、徐々に生産量が減少している。特に、1972年5月15日に本土に復帰以来、農業労働力の減少は著しく、刈取られずに圃場に放置されるサトウキビが出るに至った。たとえば、従来、台湾からの季節労働者に労働力を頼っていた南大東島では、復帰後、外国人季節労働者の導入ができなくなったため、1973年には、4,000トン以上のサトウキビが圃場に放置された。このような状況から、南大東島には、大型のチョッピングタイプの収穫機が導入され、定着しつつある。しかし、南大東島に比して経営規模の小さい沖縄本島、南西諸島では、小型の収穫機の開発が待たれている。著者らは、収穫機開発の基礎となるサトウキビの茎幹について理工学的物性の研究を続けており、第1報で曲げ強度と圧縮強度について、第2報で切断抵抗について報告した(2, 3)。

本報では、万能引張試験機を用いて測定した。サトウキビの茎幹の強度について、その概要を報告する。

II 実験装置及び方法

サトウキビ収穫機の設計に当っては、茎幹の諸理工学的性質についての情報が必要である。たとえば、切断刃の設計についてみても、サトウキビの硬度や圧縮性を知る必要がある。著者らは、サトウキビの茎幹の硬度と圧縮性を知るために、貫入試験、平板圧縮試験、静切断試験を以下の要領で、1974年1月から5月にかけて行った。また、以下に述べる各項の実験には万能引張試験機(東洋ポールドウィン製、テンシロンUT-M-4-100型容量100kg)を用いた(Fig. 1)。

1) 供試材料

試料には、琉球大学農学部付属農場(那覇市首里石嶺町4-21)産のサトウキビ(品種Nco 376, 1972年夏植付1回株出, 品種Nco 310, 1973年春植付, 初収穫)ならびに沖縄県島尻郡具志頭村字新城産のサトウキビ(品種Nco 310, 1969年夏植付4回株出)を用いた。なお、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, 21: 161~172(1974)

沖縄県島尻郡南大東村産のサトウキビ（品種，Nco 376 以下不詳）を用いた。

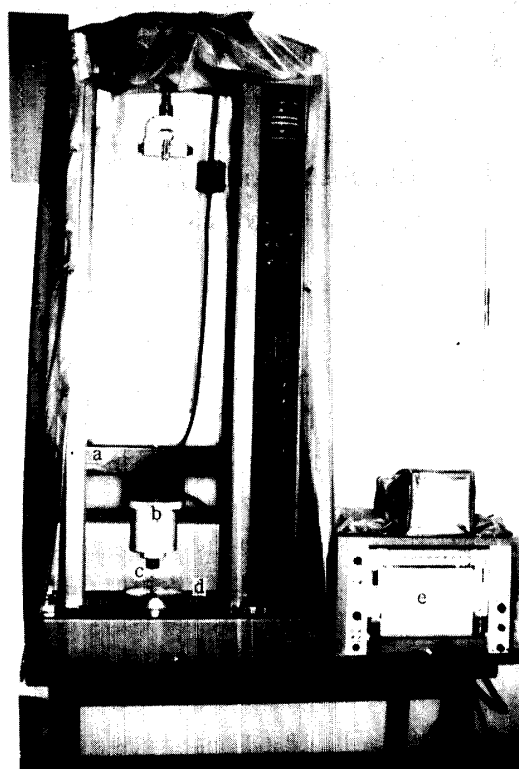


Fig. 1. Instron type universal testing machine was used for compression and cutting tests

**a : cross head, b : compressive load cell, c : plunger
d : bed, e : recorder and controller**

2) 茎幹の貫入試験

茎幹の硬さは、製糖工場および圃場の両方で重要な特性である、Puri や Venkatraman (4) によって、初めて測定されて以来、多くの研究者によって測定されてきたが、定量的に測定された値はないようである。本研究では、茎幹の硬度を外力-変形曲線より求めるために、ステンレス鋼製のプランジャを茎幹内に低速で押し込み、その押し込み距離およびプランジャにかかる力を連続的に記録した。茎幹の外力-変形曲線から得たデータを、他の農産物と比較できるように、圧縮速度には、一般に農産物の圧縮速度として多く用いられている 10 mm/min を採用した。

測定試料は、前述の供試材料より、全茎に渡って一節ずつ切出して、ほぼ節間中央部を圧縮した。以上に述べる実験結果は、それぞれの品種につき、約 100 個の試料から得られた平均値である。

3) 茎幹の平板圧縮試験

前報では、圧縮速度を $1/100\text{ mm/min}$ としたが、本研究では、貫入試験との比較のために、 10 mm/min とした。試料は、各節間の中央部から長さ 50 mm の試片を切出して供試体とした (Fig. 2)。測定に際し、試料を万能圧縮試験機のテーブル上の直径 150 mm の定盤上に置いて、移動クロスヘッドに固定し

たロードセルに装着した、直径150mmの圧縮アンビル（以下平板）で押した。予備実験によって、圧縮力が100kgを超過することが予想されたので、ロードセルの破損を防止するために、圧縮力がこの装置の最大容量である100kgに達したら、安全装置によって、クロスヘッドの運動が停止するようにした。

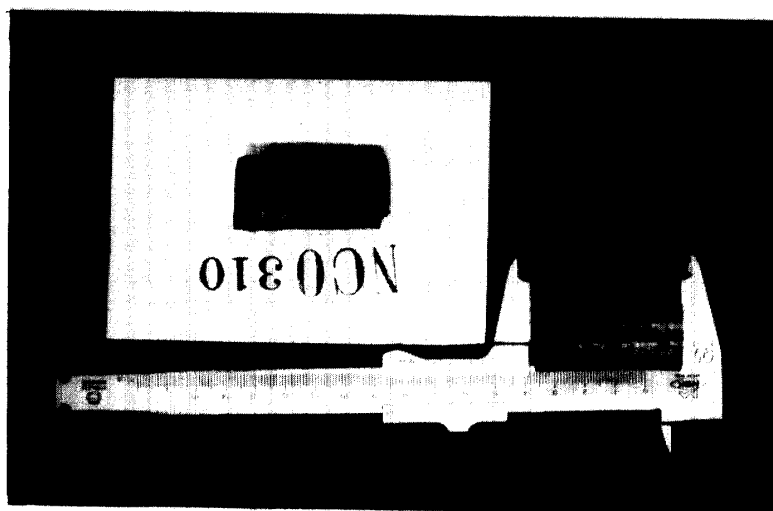


Fig. 2. Test pieces for plate compression test

4) 茎幹の静切断試験

切断刃の楔角と切断速度の関係をj知るために、Fig. 3のように、刃厚4.7mmで、楔角がそれぞれ15°、20°、25°の刃を移動クロスヘッドのロードセルに、刃の作用線が、ロードセルの軸線に一致するように固定して、定盤上に置いた試料を垂直に切断した。クロスヘッドの移動速度すなわち切断速度は、それぞれの楔角につき、10mm/min.、100mm/min.、1000mm/min.の3水準とした。予備実験によって、被切断材料の茎幹を、パイス等で固定して切断すると、パイスの締めつけトルクの大小によって、切断時の外力-変形曲線に影響がでることが解ったので、試料は、固定せずに、定盤上に刃と直角に置いて切断した。

試片は、節間中央部が切断できるように、節を一個残して切出して用いた。また、被切断材料を完全に切断すると、刃を定盤に打ち当てて刃先を損傷したり、ロードセルに過荷重を掛けることが予想されたので、過荷重安全装置を作動させるとともに、茎幹の長径の約90%の点まで切断するように、クロスヘッドの動きを制御した。

5) 茎幹の含水率の測定

茎幹の含水率は、茎幹の硬度を考察するとき重要な指標である。それぞれの測定が終了すると、ただちに試料を、秤量4kg、精度0.1gの直示天秤で秤量したあと、100℃に設定した恒温乾燥機で48時間乾燥して乾燥重量を求めて、湿量基準の含水率を求めた。

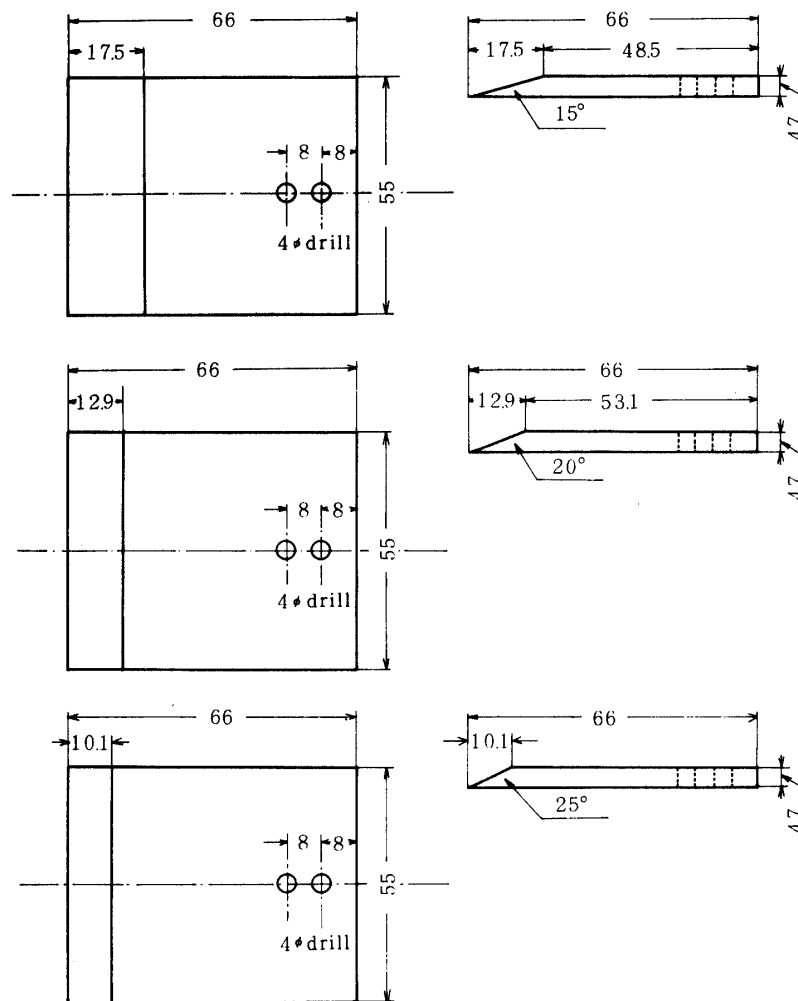


Fig. 3. Plan of the experimental cutting knife

III 実験結果および考察

1) 貫入抵抗について

茎幹にプランジャを貫入するときの外力-変形曲線を Fig. 4 に示す。外力-変形曲線の頂点の外力は、茎幹にプランジャを貫入させる時の抵抗の最大値である。また最初の○印の点は、プランジャによって内部組織細胞が損傷を受ける点と仮定して、生物降伏点 (Bioyield point, 以下降伏点), そして、最大値の点をプランジャが表皮を破り内部に貫入を開始する点として、貫入点 (Rupture point 以下貫入点) とした。貫入点の力をプランジャの断面積で除した応力を、貫入抵抗 (kg/cm^2) と呼ぶことにした。サトウキビの茎幹の横断面は、長径および短径ともほぼ同じであるから、近似的に円とみなし得る。貫入抵抗と茎幹の長径の関係は、それぞれの品種について、Fig. 5 のようになる。貫入抵抗と長径の間にはそれぞれ

$$r_{310} = 0.613, \quad r_{376} = 0.615 \dots\dots\dots (1)$$

の相関関係があった。

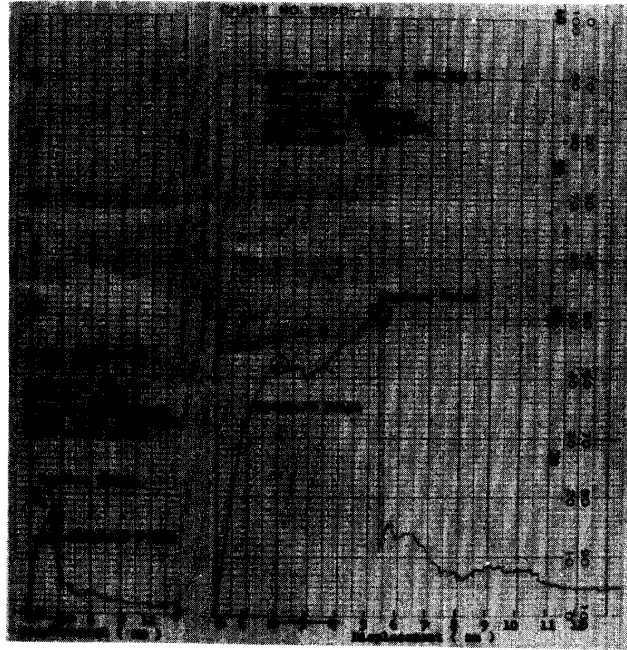


Fig. 4. Force-deformation curves of the rigid plunger compression test

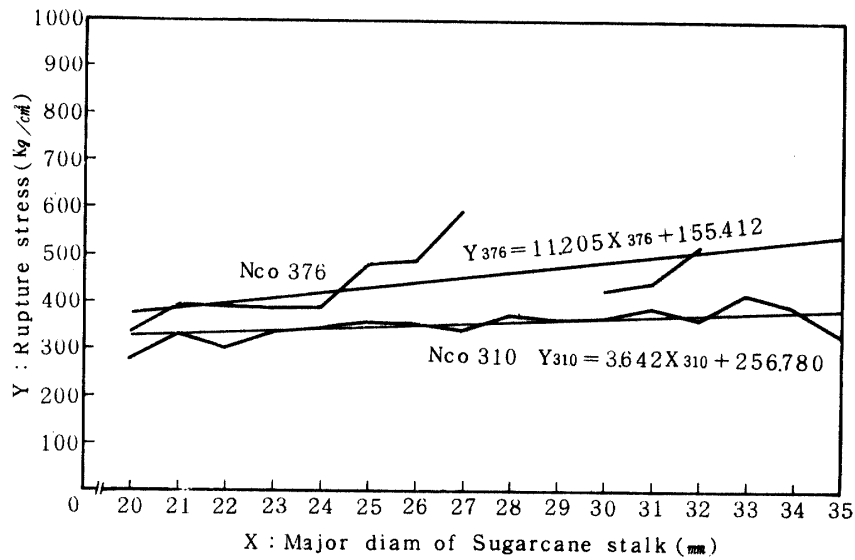


Fig. 5. Relationships between rupture stress and major diam. of sugarcane stalk with 2 φ plunger compression test

(以下、Nco 310については添字 310 を、Nco 376については 376 を用いる。また、貫入抵抗と長径の間には、次式のような関係式が得られた。

$$Y_{310} = 3.642 X_{310} + 256.780 \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_{376} = 11.205 X_{310} + 155.412 \dots\dots\dots (3)$$

ここで,

Y : 貫入抵抗 (kg/cm^2)

X : 長径 (mm)

これら, サトウキビの表皮の破壊力すなわち貫入抵抗を, 石橋ら(1)が測定した, 他のいくつかの農産物のそれと比較してみると, **Table 1**のように, サッマイモの10倍以上の硬さを持っていることが解る。

Table 1. Examples of strength with some agricultural products.

Product	Bioyield point stress(kg/cm^2) mean	Rupture point stress(kg/cm^2) mean	Source
Sugarcane			
Nco 310	—	3534 *1	H. Izumi & T. Akinaga
Nco 376	—	4858 *2	
Sweet potato			
Norin #1	27.3	40.3	S. Ishibashi & T. Kojima
Carrot			
Sanzun	19.6	37.0	"
Radish			
Nerima	24.1	28.3	"
Eggplant			
Nagaokakohai#1	—	13.2	"
Potato			
Norin#2	9.2	20.5	"
Cucumber			
Yotsuba	4.5	13.8	"

*1, *2 : 2φ plunger, compression speed 10mm/min.

others : 8φ plunger, compression speed 10mm/min.

このことは, サトウキビ収穫機の設計に当って, 最も考慮しなければならないことである。測定結果から, Nco 310 より, Nco 376 の方がやや硬い傾向が認められた。しかし, 農産物の貫入抵抗は, その生育環境によって異なるので, さらに検討の余地があるものと考えられる。

2) 平板圧縮試験について

平板圧縮時の外力—変形曲線の一例を **Fig. 6** に示す。平板圧縮時は貫入試験の場合に比べて応力集中が小さいために, 降伏点が明確に表われないことがあるので, 便宜的に, 最初のピークの値を表皮の破壊力とした。**Fig. 7** に平板圧縮時の表皮破壊力を示す。表皮破壊力と茎幹の長径との間には, 次のような関係が得られた。

$$r_{310} = 0.456, r_{376} = 0.622 \dots\dots\dots (4)$$

$$Y_{310} = 2.118 X_{310} + 11.466 \dots\dots\dots (5)$$

$$Y_{376} = 3.301 X_{376} - 4.999 \dots\dots\dots (6)$$

ここで

r : 相関係数

X : 長径 (mm)

Y : 表皮破壊力 (kg)

前述の貫入抵抗と平板圧縮による表皮破壊力の間には、それぞれの品種について、次のような低い相関関係しか認められなかった。

$$r_{310} = 0.355, r_{376} = 0.329 \dots\dots\dots (7)$$

また、1970年に著者らが、Nco 310 について、圧縮速度 $1/100 \text{ mm/min}$ で行なった圧縮試験の結果から、破壊力と長径の関係として、次式が得られた。

$$r_{310} = -0.343 \dots\dots\dots (8)$$

$$Y_{310} = -0.515 X_{310} + 77.488 \dots\dots\dots (9)$$

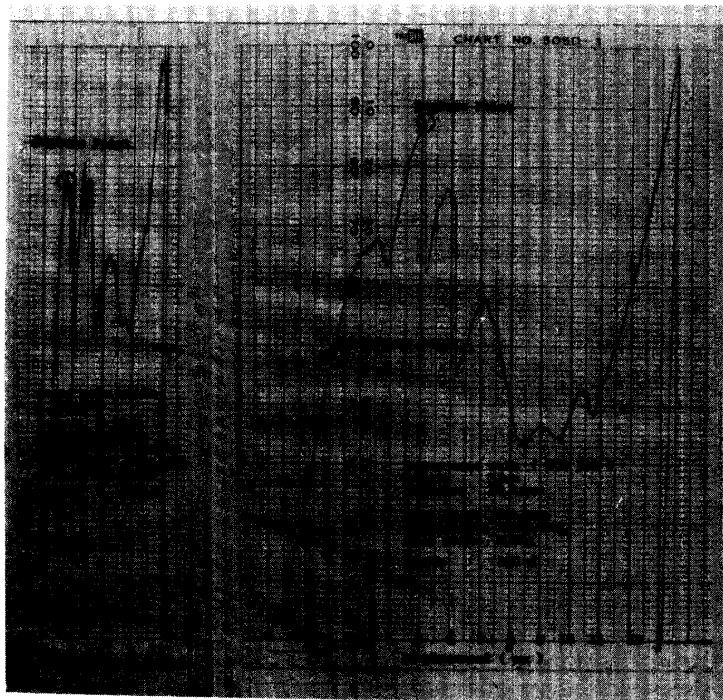


Fig. 6 Force-deformation curves of the plate compression test

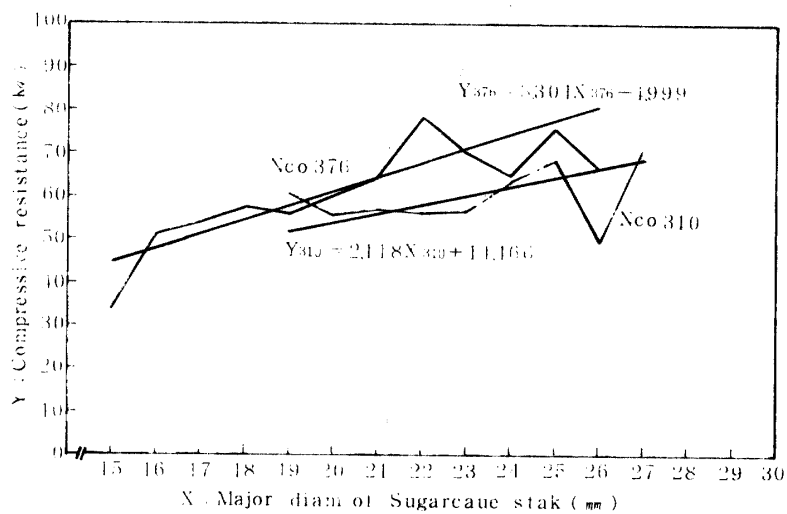


Fig. 7 Relationships between force to rupture skin and major diam. of sugarcane stalk with plate compression test

(4)は正の相関, (8)は負の相関であり, 両者は全く相反した結果となっている。これは, 本研究では, 圧縮速度を $10\text{mm}/\text{min}$ と1972年の1000倍の速度にとったことに原因するものと考えられる。

3) 茎幹の静切断抵抗について

楔角が15度の切断刃を用いた場合の外力-変形曲線の例 Fig. 8 に示す。

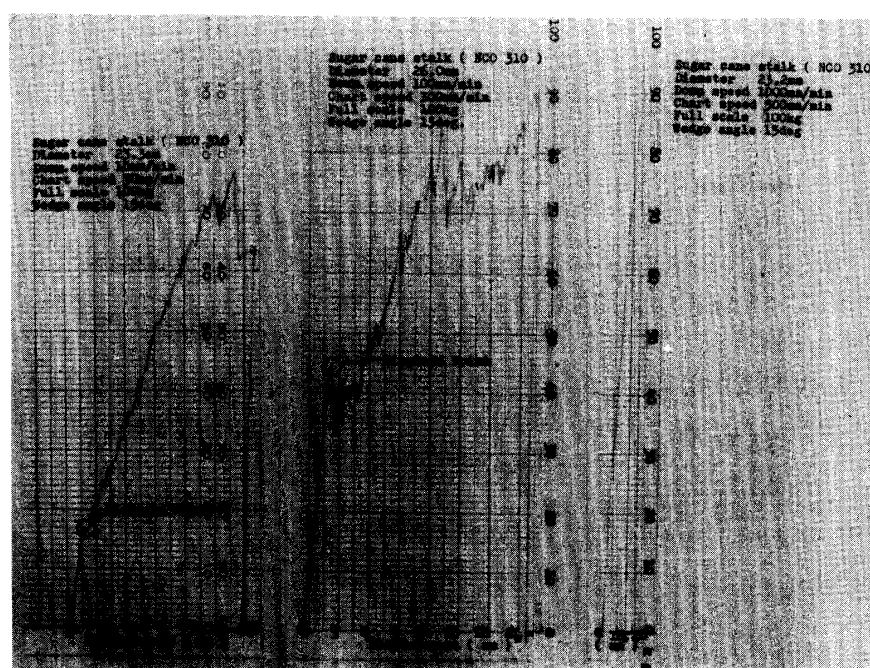


Fig. 8 Force-deformation curves of the statically cutting test

切断速度により, 表皮が切断され始める点 (生物降伏点) が変わることが解る。ここでは, この点の力を切断抵抗 (kg) と呼ぶことにする。切断の過程は, 表皮が切断された後は, 刃の先端および作用面による剪断と圧縮が繰返えされて, 完全な切断に至ることが解った。測定結果から, 茎幹の長径と, 切断抵抗との間には, Table 2に示すような相関関係が認められた。Fig. 9に示すように, 楔角が小さいほど, 切断速度が遅いほど切断抵抗が小さくなる傾向が認められた。

なお, Nco 310 については, 測定途中で, 試料の入手が困難になったので測定を中止した, このため, 品種間の切断抵抗の差を知ることができなかった。

4) 含水率

サトウキビの含水率は, 100°C で, 48時間加熱して乾燥させる方法を用いて測定したが, 48時間後に平衡状態に達しているかどうかの確認は行なわなかった。また, 茎幹に付着した葉柄部が測定時に脱落するので, 正確な計測が困難であった。そのため計画していた含水率の低下と茎幹の硬度の関係について, 十分な検討ができなかった。概して収穫直後のサトウキビは72~73%の水分を保有していた。

Table 2. Coefficient of correlation between cutting resistance and major diam. of sugarcane stalk.

Wedge angle degree	Cutting speed mm/min	Regression equation	Coefficient
15	10	$Y=0.643X+1.683$	$r=0.867$
	100	$Y=1.678X-19.020$	$r=0.568$
	1000	$Y=1.981X-11.201$	$r=0.907$
20	10	$Y=0.870X+0.065$	$r=0.751$
	100	$Y=2.129X-15.151$	$r=0.719$
	1000	$Y=3.874X-40.028$	$r=0.974$
25	10	$Y=1.039X-6.408$	$r=0.782$
	100	$Y=1.682X-13.304$	$r=0.906$
	1000	$Y=1.372X+6.590$	$r=0.799$

* Y : cuttig resistance (kg), X: major diameter (mm)

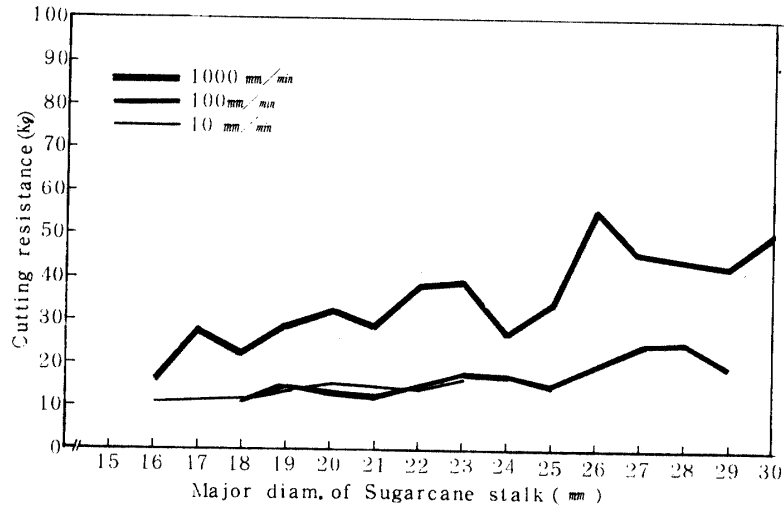


Fig. 9a Relationships between cutting resistance and major diam. of sugarcane stalk with statically cutting test use of 15 deg. wedge

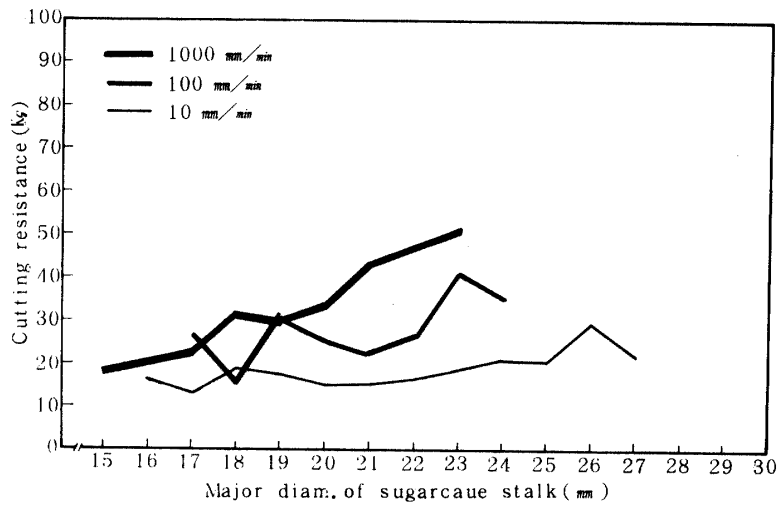


Fig. 9b Relationships between cutting resistance and test use of 20 deg. wedge

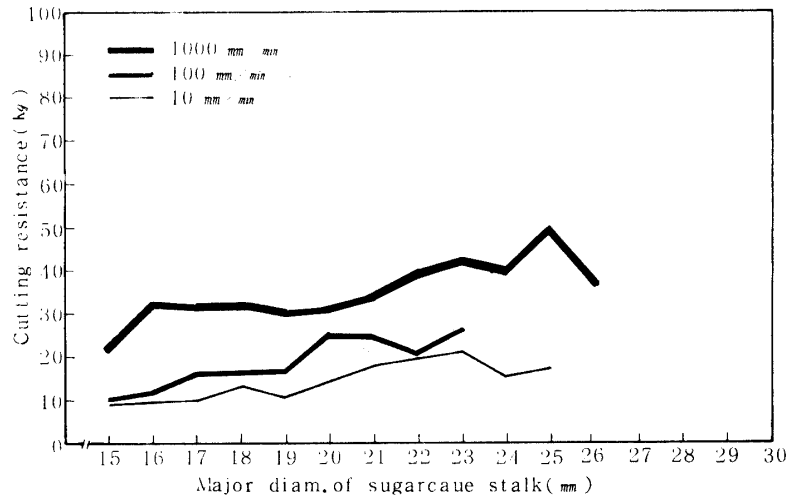


Fig. 9c Relationships between cutting resistance and major diam. of sugarcane stalk with statically cutting test use of 25 deg. wedge

5) Nco 310 と Nco 376 の比較

Nco 310 と Nco 376 のそれぞれの測定値の 1 例を Table 3 に示す。

Table 3. Comparison for the physical properties of sugarcane stalks*

Type of Plunger test speed	Plunger compression	Plate compression	Statically cutting		
	10 mm/min	10	10	100	1000
	Rupture stress (Kg/cm ²)	Rupture force (Kg)	Cutting resistance (Kg)		
Variety					
Nco 310	3388	61.7	16.5	20.2	64.9
Nco 376	387.5	75.1	(17.7)	(18.2)	(39.5)

* major diam. was 23 mm

ここでは、比較を容易にするため、長径23mmの場合を示した。貫入抵抗、平板圧縮による表皮の破壊力は、Nco 376の方が、Nco 310よりやや大きい。また、静切断抵抗は、切断速度10mm/min、1000mm/minでは、Nco 310の方が大きくなっている。これは、Nco 376の表皮が硬いため、剪断による表皮の破壊より、ぜい性破壊により近い形式による切断であると考えられる。

IV 要 結

サトウキビ収穫機の設計の基礎であるサトウキビの茎幹の理工学的性質を知るために、万能引張試験機（容量 100 kg）を用いて、プランジャ貫入試験、平板圧縮試験、静切断試験を行なった。供試材料には、沖縄県下で栽培されている一般的な品種である、Nco 310 と Nco 376 を用いた。測定結果から得られたサトウキビの茎幹の性質について、以下に要約する。

1) サトウキビの茎幹の長径と貫入抵抗の間には相関関係があり、10mm/minで、直径2mmのプランジャを貫入される場合に、Nce 310, Nce 376 について、それぞれ $r_{310} = 0.613$ $r_{376} = 0.615$ の相関係数を持つ。関係式として、次式が得られた。

$$Y_{310} = 3.642 X_{310} + 256.780$$

$$Y_{376} = 11.205 X_{376} + 155.412$$

ここでX: 長径 (mm), Y: 貫入抵抗 (kg/cm²)

2) 平板圧縮試験の結果、茎幹の長径と表皮破壊力との間に、それぞれの品種について、 $r_{310} = 0.456$, $r_{376} = 0.622$ の相関関係があり、次の関係式が得られた。

$$Y_{310} = 2.118 X_{310} + 11.466$$

$$Y_{376} = 3.301 X_{376} - 4.999$$

ここでX: 長径 (mm), Y: 表皮破壊力 (kg)

3) 切断力の楔角を15°, 20°, 25°, 切断速度を10mm/min., 100mm/min., 1000mm/min. でサトウキビを切断する場合、楔角15°の場合が最も小さな力で切断することができた。また、切断速度が大きくなるにつれて、表皮破壊力が大きくなる傾向が認められた。

4) 概して、Nco 376 の方が Nco 310 より硬い。

本研究を実施するに当たって、試験材料や資料の収集に御協力いただいた沖縄開発庁沖縄総合事務局、南大東村役場、大東糖業株式会社、第一製糖株式会社の関係の方々に感謝の意を表します。

引 用 文 献

1. 石橋貞人, 小島孝之 1969 農産食品の力学的性質に関する研究 (第1報), 農業機械学会誌, 30: 231~236
2. 泉裕巳 1970 さとうきび収穫機の開発に関する研究 I, 農業機械学会九州支部誌, 18: 73~87
3. 泉裕巳 1971 サトウキビ収穫機に関する研究 II, 琉球大学農学部学術報告, 18: 73~87
4. Puri, A. N. and T. S. Venkatraman 1929 An apparatus for testing rind hardness in sugarcane, Proc. Sug. Tech. Assoc. India: 15~19 [C. van Dillewijn Botany of sugarcane, 内原彪訳 1971 甘蔗植物学, 16~17 那覇市 琉球分密糖工業会]

Summary

Information of the physical properties of sugarcane stalks under compression and cutting has an important significance for us to designe the sugarcane harvester and other processing machines.

This paper presents the physical properties of sugarcane stalks. It was measured by the Instron type universal testing machine with use of rigid plunger compression, plate compression and statically cutting tests.

Nco 310 and Nco 376 were used for these tests, which popularly were grown in the Ryukyu Islands.

The following results were obtained.

1) When sugarcane stalke were compressed with 2ϕ rigid plunger and 10 mm/min in compression speed, their skin rupture stress increased with the major diameter of it. The relationship was expressed as

$$Y_{310} = 3.642 X_{310} + 256.780$$

$$Y_{376} = 11.205 X_{376} + 155.412$$

where Y was rupture stress (kg/cm^2)

X was major diam. of stalk (mm)

suffix 310 was expressed Nco 310 and 376 expressed Nco 376

2) When sugarcane stalks were compressed with 150ϕ plate and 10 mm/min in compression speed, their skin rupture force increased with the major diam. of it. The relationship was expressed as

$$Y_{310} = 2.118 X_{310} + 11.466$$

$$Y_{376} = 3.301 X_{376} - 4.999$$

where Y was skin rupture force (kg)

X was major diam. of stalk (mm)

3) When sugarcane stalks were cut with cutting knives which had 15° , 20° , 25° of wedge and 10 mm/min , 100 mm/min , 1000 mm/min in cutting speed, their cuttig resistance was increased with wedge angle and cutting speed. The best wedge angle in use of these tests was 15° to obtain the minimum resistance.

4) Generally speaking, Nco 376 was harder than Nco 310.