

# 琉球大学学術リポジトリ

ジャーガル地帯における農業の機械化に関する研究：  
ジャーガルの物理的性質(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, 國府田, 佳弘, 上野, 正実, Izumi, Hiromi, Akinaga, Takayoshi, Kohda, Yoshihiro, Ueno, Masami メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/4059">http://hdl.handle.net/20.500.12000/4059</a>

# ジャーガル地帯における農業の機械化 に関する研究

—— ジャーガルの物理的性質 ——

泉裕巳\*・秋永孝義\*・國府田佳弘\*・上野正実\*

---

Hiromi IZUMI, Takayoshi AKINAGA, Yoshihiro  
KOHDA, Masami UENO: Studies on farming  
mechanization in the area covered with the  
Jaagaru soil

— Physical properties of the Jaagaru soil —

---

## I 緒 言

近年、我国における農業機械の普及には目覚ましいものがあるが、沖縄県も同様で例えば1978年の資料<sup>6)</sup>では乗用トラクタ2,900台(全国約83万台)、走行用トラクタ7,900台(全国約300万台)が使用されており、今後さらに増加が見込まれている。

特に沖縄県ではサトウキビ栽培農作業の機械化が切望されており、数年前から収穫機などの開発が進められ一部はすでに実用化の段階に入りつつある。

しかしながら、サトウキビの有力な生産地帯である沖縄本島の中南部一帯は泥灰岩が風化したジャーガルと称される重粘土壤に覆われているが、この土壤は水分が多くなると膨軟化し、かつ非常に附着しやすくなるために、トラクタや収穫機の走行性能や耕起砕土などの作業性能は著しく低下するとされている。逆に乾燥すると収縮・固結して強固になるために易耕性が悪くなり、耕起作業における所要動力は増加する。また、排水性が悪いので降雨後何日間も機械作業を行えないことが多く、特に収穫時期は雨が多いため機械の稼働率が極端に低下する。

このように機械作業の面からみると、ジャーガルは水分によって物理的性質が多様に変化し不都合な状態が多いので、機械化を推進する上での大きな障害となっている。したがって、ジャーガルに起因する諸問題を解決しないことには効果的な機械化作業体系の確立は望みえず、生産性の低い手作業から脱却しえないことになる。

これらの問題を解決するには次の2つの方法が考えられる。

- (1) 土層改良を行ってジャーガルの物理的性質を機械作業に適合させる。
- (2) ジャーガルの物理的性質に適合しうる機械や作業機を選択するか、もしくは改良を行う。

すなわち、土壤と機械の特性の一方を他方に合うように改良する方法であるが、問題の性格上決定策はないので両方の研究を同時に進めると同時に機械作業の可能な物理的性質の限界値を明確にする必要

---

\* 琉球大学農学部農業工学科

があると思われる。

以上の研究を進める上で基礎資料となるジャーガルの物理的性質、特に力学的性質は一部<sup>3)</sup>を除いてほとんど明らかにされていないので、著者らはここ数年来ジャーガルの物理的性質およびニービと称される細砂土を客入土することによる土層改良に関する研究を継続している。後者についてはジャーガルの土壌学的な性質が改善されたという研究成果も一部報告されている<sup>5)</sup>。

本研究において含水比をパラメータとしたジャーガルの物理的性質の一部を明らかにし得たので報告する。

## II ジャーガルの性状

ジャーガルの基本的な性状を把握するために比重、粒度、液性限界・塑性限界および容水量を測定した。

各項目の測定法<sup>2)</sup>は以下の通りである。

(1)比重：JIS A 1202による。(2)粒度：JIS A 1204による。(3)液性限界・塑性限界：JIS A 1205, 1206による。(4)容水量：日本農学会の測定法<sup>7)</sup>による。

本研究に使用したジャーガルの比重は2.75で三角座標による粒度の分類では粘土に属している。図1に示すように採取地によって粒度分布には若干の差はあるが、粘土が4～6割、砂が1割程度で残りがシルトであった。また60%粒径は0.007～0.02mm、中央粒径は0.004～0.01mm程度となっている。

このように粘土分の多い土壌であるために、ジャーガルは含水比の変化によって液状から固体までの状態変化すなわちコンシステンシーが顕著に表われる。液性限界や塑性限界は採取地によって多少の変動があり、液性限界 $\omega_L=60\sim 75\%$ 、塑性限界 $\omega_p=25\sim 30\%$ で、塑性指数が40%程度ある非常に塑性に富む土壌であることがわかる。

容水量は55.3%であった。また、土槽内においてジャーガルの含水比が45%から塑性限界付近の25%

まで減少するのに約4ヶ月を必要とした。宮城の研究<sup>3)</sup>によればジャーガルの透水係数は密度によっていく分かの差はあるが $10^{-8}\sim 10^{-6}\text{cm/sec}$ と非常に小さい値が報告されており、保水性に富み排水性の悪い土壌であることがわかる。

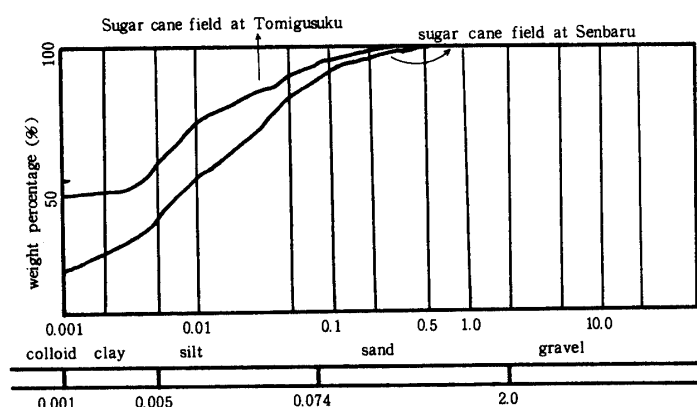


Fig. 1 Grain-size accumulation curves of the Jaagaru soil

## III 走行性や耕起作業からみたジャーガルの物理的性質

農業機械が圃場においてその性能を十分に発揮するためには、①走行性が良好なこと、②作業機による土壌や作物の処理が良好であることが必要である。いずれも機械と土壌や作物との相互作用の問題であるが、土壌に関しては主に変形と破壊の問題に帰し、農業機械の設計と最も密接に関連する問題の一つである。

このため走行性や耕起作業に関連した土壌の変形性、破壊性およびそれらを標示する指標については

従前より数多くの研究が行なわれてきたが、未だに明確な体系は確立していない。本研究ではとりあえずジャーガルの一軸圧縮強度、せん断強度、凝集力、付着力、薄板の貫入・引抜き抵抗およびSR-2型土壌抵抗測定器によってコーン指数、矩形板沈下深さ、せん断抵抗、摩擦抵抗などを測定した。特にこれらの物理的性質と含水比との関係について分析を行った。

### 1) 一軸圧縮強度

一軸圧縮試験 (JIS A 1216<sup>2)</sup>) は粘性土の変形性と強度を知る単純な試験法の一つで、円柱状の供試体に軸方向の圧縮力を加えて応力とひずみの関係を測定するが、側圧  $0 \text{ kgf/cm}^2$  における三軸圧縮試験の一種と考えてもよい。試験中供試体内での水分移動はほとんどないので非排水状態となり、応力は全応力すなわち流体による抵抗を含む応力を意味する。

2mmフルイを通過したジャーガルを一定含水比で練り返し、モールド内に3~5層に分けて充填して  $2.5 \text{ kgf}$  ( $24.5 \text{ N}$ ) ランマーで10回突固めて供試体を作製した。供試体寸法は直径35mm、高さ85mmである。試験因子として含水比を3水準に変化させた。圧縮はひずみ速度  $0.8 \text{ \%}/\text{min}$  で行った。

図2に示した応力-ひずみ曲線では、含水比によって曲線形状に著しい差が表われている。圧縮強度は  $0.49 \sim 0.95 \text{ kgf/cm}^2$  ( $48.2 \sim 93.0 \text{ kPa}$ ) の範囲で変化したが、含水比が高くなると強度は低下し、また最大応力時のひずみは大きくなる傾向がみられた。同様に曲線の立上り勾配は減少し、39.4%については応力のピークも表われなくなった。これらの形状は三軸圧縮試験などでは密づめの供試体でピークがみられ、ゆるづめの供試体ではピークがみられないのと似ている。また、含水比が低くなるといく分脆性をもち、逆に高くなると変形しやすくなるともいえる。

図3には採取地の異なる供試体の圧縮強度を示しておいたが、含水比25%付近 (塑性限界) で  $0.95 \sim 2.45 \text{ kgf/cm}^2$  ( $93.0 \sim 240.1 \text{ kPa}$ )

と約2.5倍の差がみられた。いずれの供試体においても含水比の増加に伴って圧縮強度が低下する現象がみられ、強度差は含水比が高い程小さくなり含水比35~40%付近では約1.4倍であった。

この結果よりジャーガルの圃場では含水比が高くなると圧縮変形による機械の沈下が著しくなり、支持力も低下するので走行抵抗が増加して走行性は悪くなることが予測される。

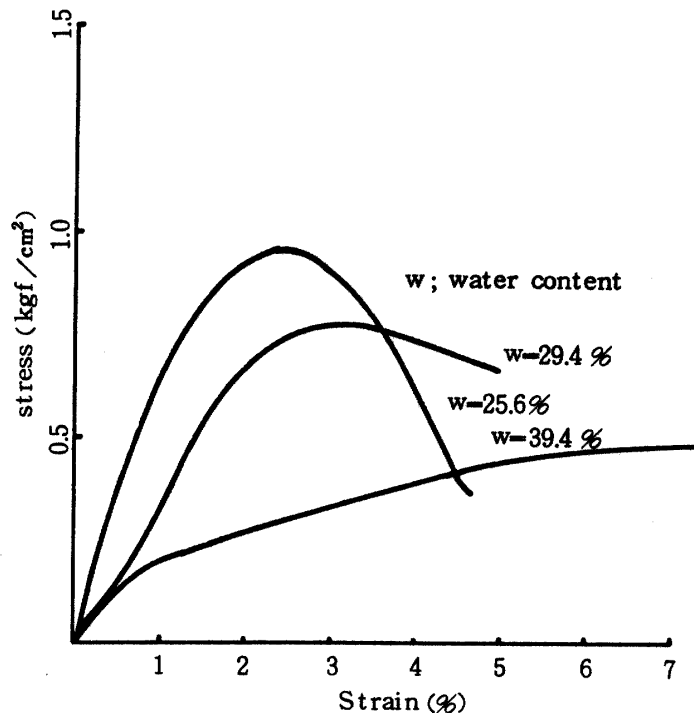


Fig. 2 Stress-strain curves by the uniaxial compression test

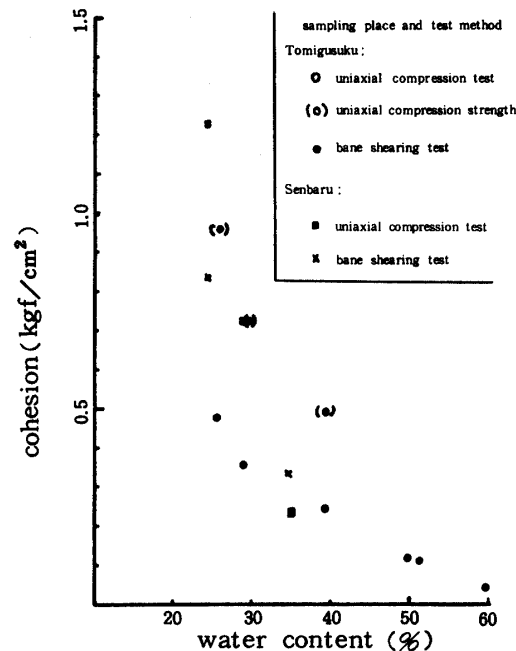


Fig. 3 Relationship between water content and cohesion

## 2) ベーンせん断強度

含水比が高くなると一軸圧縮試験用の供試体は作製できなくなるので、ベーンせん断試験を行って含水比50~60%におけるせん断強度を求めた。ベーンは直径20mm,高さ40mmのものを、直径100mm,高さ127mmのモールドに練り返したジャーガルを充填して2.5kgf(24.5N)ランマーで10回突固めた。ベーンのねじり速度は6.18 deg/minとした。

得られたベーンせん断強度は0.04~0.12kgf/cm<sup>2</sup>(3.9~11.8kPa)で、含水比が増加すると一軸圧縮強度と同様に減少する傾向がみられた。

図3には一軸圧縮強度 $q_u$ から算定したせん断強度すなわち内部摩擦角 $\phi_u=0$ として算定した粘着力 $C=(q_u/2)$ 、およびベーンせん断強度(粘着力 $C$ に相当する)と含水比の関係を示しておいた。

けん引力は走行部の構造との関係で土壌が発生しうる推進力から走行抵抗を減じた値である。この推進力は第一義的に土壌のせん断強度、すなわち粘着力 $C$ と内部摩擦角 $\phi$ の組合せに支配されると考え<sup>1)</sup>ると、図3より含水比が増加すると推進力ならびにけん引力は急激に低下することになる。

## 3) 凝集力

粘性土では毛管力によって土壌粒子が互いに吸引して引張抵抗が発生するので、耕起砕土においてはその大小によって作業の難易が左右される。凝集力はこの引張抵抗の大きさを表示する指標の一つである。本研究では土壌凝集力測定装置(YC-76,山村製作所)を使用して、ジャーガルの含水比と凝集力との関係を検討した。

琉球大学千原農場より採取したジャーガルを液性限界以上に加水し、十分に練返して一夜放置した後60×20×10mmの角柱試験片を作製した。これを測定装置の金属くさびで切断して、その時の抵抗値から凝集力を求めた。供試ジャーガルの液性限界および塑性限界はそれぞれ63.7%および23.8%であった。

本試験で得られた凝集力の値は0.3~1.2kgf/cm<sup>2</sup>(29.4~117.6kPa)であり、図4に示したように含水比の増加に伴って減少する傾向がみられた。凝集力が急激に増加し耕起砕土作業で問題になると思われる塑性限界以下の含水比における凝集力の測定は今後の課題として残された。

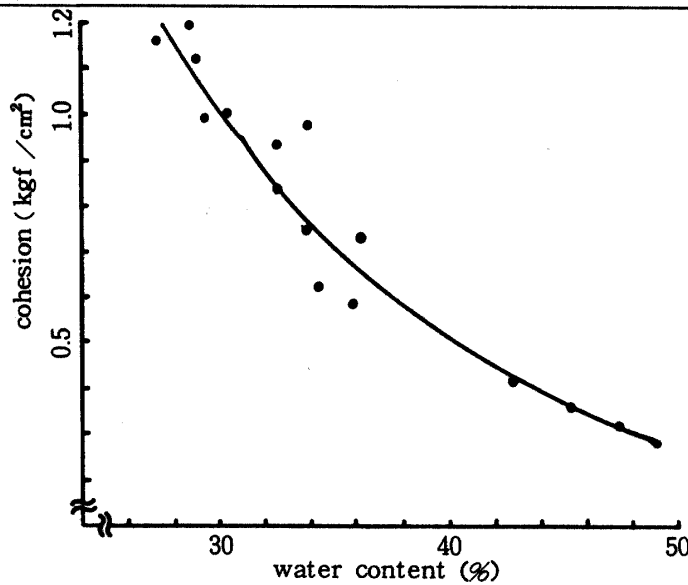


Fig. 4 Relationship between water content and cohesion

4) 付着力

上記のように含水比が増加すると凝集力は低下する反面、機械に付着しやすくなるので一概に易耕性が良くなるとはいえない。そこで土壌付着と含水比の関係を明らかにするために、山中式土壌付着力測定装置 (YA-63, 山村製作所) を用いて付着力を測定した。ジャークルは琉球大学千原農場より採取し、繰り返した試料にステンレス・スチール板を所定の圧力 (4 kgf /cm<sup>2</sup>, 392kPa) で押し着けて、それを引き離す時の最大抵抗値を面積で除した値を付着力とした。

本試験で得られた付着力は 0.12 ~ 0.24 kgf/cm<sup>2</sup> (11.8 ~ 23.5kPa) で、図 5 に示したように含水比 26 ~ 34% の範囲では、付着力は含水比の増加に伴ってほぼ直線的に増加する傾向がみられた。図 4, 5 から含水比 28% では凝集力 1.2 kgf/cm<sup>2</sup> (117.6 kPa) に対し付着力 0.16 kgf/cm<sup>2</sup> (15.7kPa) でその比は 0.13 倍であり、含水比 34% では凝集力 0.7 kgf/cm<sup>2</sup> (68.6kPa) に対し付着力 0.24 kgf/cm<sup>2</sup> (23.5kPa) で 0.34 倍と両者は接近している。含水比がさらに増加した時の付着力の変化を今後明らかにする必要がある。

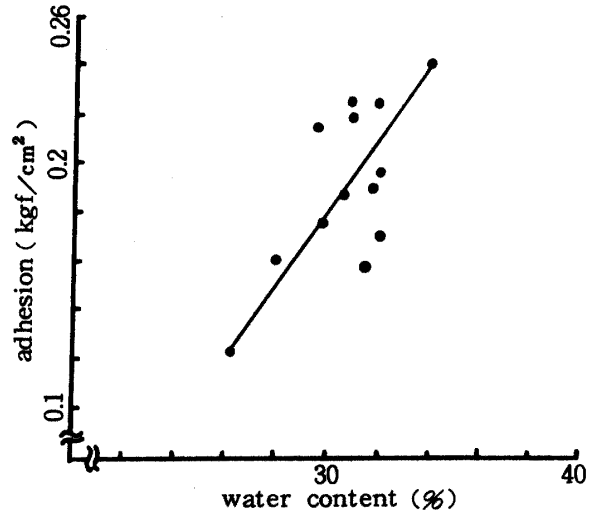


Fig. 5 Relationship between water content and adhesion

5) 貫入・引抜き抵抗

トラクタなどの走行時におけるラグの挙動を考えると、まず土壌中に先端から押込まれて、タイヤの円周方向の力を受けた後に引抜かれる。押込みの過程では主に圧縮抵抗と凝集力、引抜き過程では同じく付着力や摩擦力の影響を受ける。このように実際問題では力の方向と種類が複合した過程が多いので、前述のような個々の力の検討だけでは相互の関係を把握しがたい。そこで単純な複合試験として土槽に充填したジャークルの中に鋼板 (50×20mm, 厚さ 0.5mm) を貫入した後に引抜き、その時の抵抗力を測定して両者の比較を行った。

試験は万能引張試験機 (TENSILON/UTM4-100, 東洋ボールドウィン社) のクロスヘッドにロードセルを介して試験板を取付け  $50 \text{ mm/min}$  の速度で押し込み・引抜きを行った (図6参照)。供試ジャークは琉球大学千原農場で採取した。

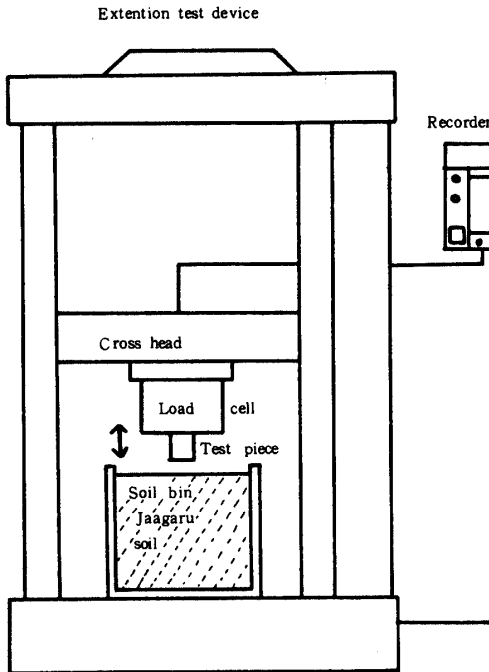


Fig. 6 The test device for penetration and pull up test

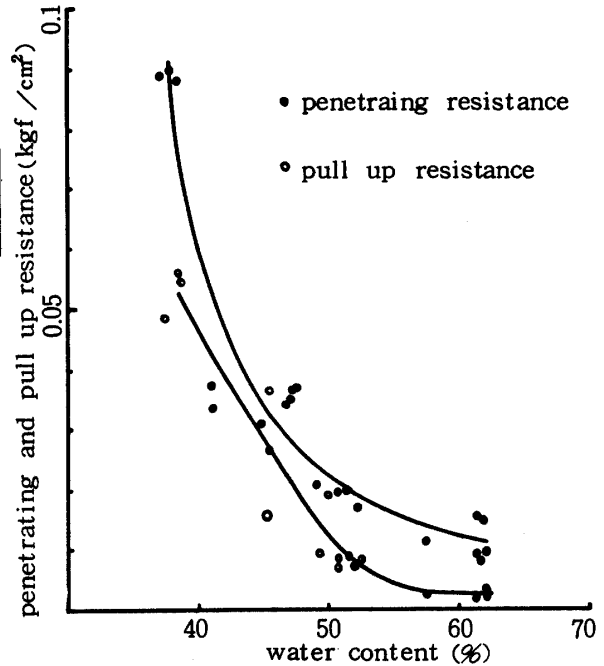


Fig. 7 Relationship between water content and penetrating, pull up resistance

図7に押し込み・引抜き抵抗と含水比との関係を示したが、いずれも含水比の増加に伴って急激に低下している。引抜き抵抗より押し込み抵抗の方が全般に大きいが、含水比45%付近では接近値が得られた。含水比40~60%の範囲では引抜きに要する力は押し込み力の5割以上となっており、ジャーク圃場における走行や作業の困難さを示す一資料となろう。

#### 6) SR-2 型土壌抵抗測定器による土壌指数

ある圃場における走行性や易耕性を判断する簡便な土壌指数として、コーン指数、矩形板沈下深さ、せん断抵抗、摩擦抵抗などが使用される。特にコーン指数や矩形板沈下深さを用いて走行可能性や耕起作業の可能性を判定する一応の基準が設定されている<sup>4)</sup>。しかるに、ジャークについては土壌付着の問題を含み、かつ必要なデータが得られていないのでこれらの基準を適用しうるか否かは不明であり、今後の研究問題として残されている。

本研究ではとりあえずジャーク地帯のサトウキビ畑 (豊見城村) においてサトウキビ成育下と耕起後のコーン指数、せん断抵抗、摩擦抵抗などを参考までに測定したので、その結果を表1に示す。

次に含水比の変化とこれらの土壌指数の関係を検討するためにジャークを充填した土槽において試験を行った。供試ジャークは琉球大学千原農場から採取した。使用したコーンは底面積  $2 \text{ cm}^2$ 、矩形板は  $20 \times 100 \text{ mm}$  であった。

図8, 9に含水比とコーン指数および矩形板沈下深さの関係を示した。含水比の増加に伴ってコーン指数は漸減しているが、矩形板の沈下深さは増加し含水比40%付近から急激に深くなっている。矩形板の沈下深さから判断すると含水比45%以上では矩形板の接地圧はジャークの支持力に達しているとみな

しうる。含水比の高いジャーガル圃場では走行部の沈下が著しくなって走行不能に陥りやすいことを示している。また、コーン指数  $3 \text{ kgf/cm}^2$  ( $294 \text{ kPa}$ ) 付近を境に矩形板の沈下深さは急変することが明らかになった。

Table 1. Examples of soil index by SR-2 soil tester measured at sugar cane field in Tomigusuku

field condition	in growth	after tillage
water content (%)	25.0	23.0
mean corn index ( $\text{kgf/cm}^2$ ) (0-15cm depth)	10.3	3.1
sinkage of rectangular plate (cm) (ground contact pressure = $0.16 \text{ kgf/cm}^2$ )		0.6
shearing resistance		
cohesion ( $\text{kgf/cm}^2$ )	0.37	0.10
angle of internal friction (deg.)	39.0	53.0
frictional resistance		
adhesion ( $\text{kgf/cm}^2$ )	0.05	0.04
angle of outer friction (deg.)	7.5	16.0

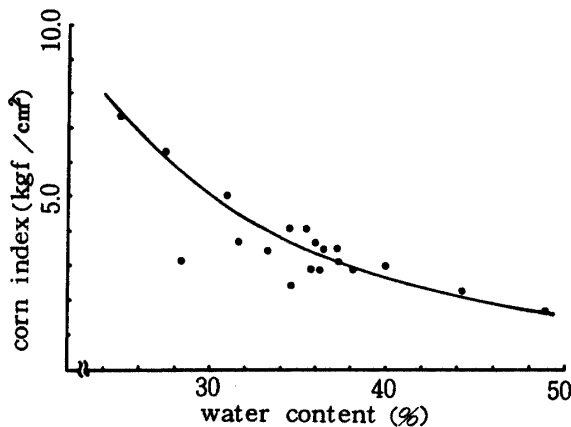


Fig. 8 Relationship between water content and corn index

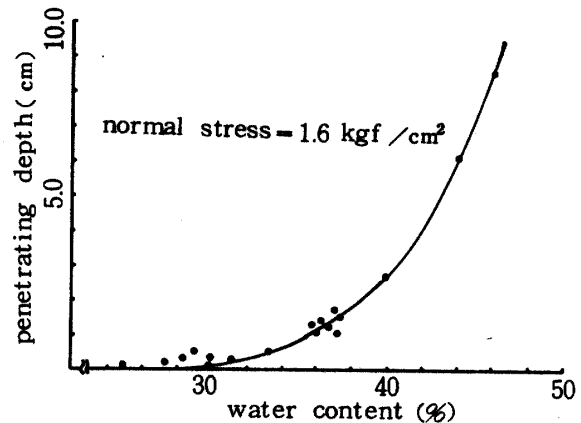


Fig. 9 Relationship between water content and penetrating depth of a rectangular plate (20 × 100 mm)

図10には含水比とせん断抵抗の関係を示した。垂直圧力は  $0.5 \text{ kgf/cm}^2$  ( $49.0 \text{ kPa}$ ) で履帯トラクタの接地圧<sup>4)</sup>にはほぼ等しく、車輪トラクタのそれよりはかなり低い値であった。一軸圧縮試験やベーンせん断試験で得た結果と同様に、せん断抵抗は含水比の増加に伴って減少する傾向がみられた。データにばらつきがあるのは簡易試験のために測定精度が悪いことも一因であろう。



以上に農業機械の走行および耕起碎土作業からみたジャーガルの物理的性質の一部について述べたが、含水比の増加に伴って圧縮強度、せん断抵抗、凝集力は著しく低下し、コーンや矩形板の貫入は容易になるが、付着力は増加することが明らかになった。

これより、圃場の含水比が高いと作業機のけん引抵抗は減少するが、沈下や付着によって走行抵抗が増加し、かつ発揮しうるけん引力も小さくなる。したがって走行や耕起作業の可能な土壌条件の範囲を明確にするには、実際に走行試験や耕起作業を行って確認する必要がある。一部については現在研究を継続中であるのでその結果は別の機会に報告したい。

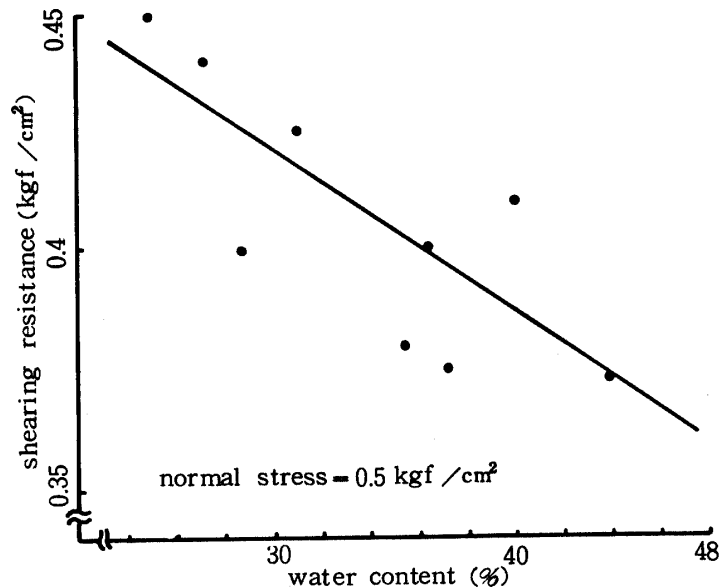


Fig. 10 Relationship between water content and shearing resistance

#### IV 摘 要

本研究ではジャーガル地帯におけるサトウキビ生産の機械化を推進するための基礎研究の一環として、走行性や耕起作業に関連するジャーガルの物理的性質を明らかにした。

(1) ジャーガルは粘土を5割以上含む重粘土壌であり、塑性指数は40%程度であった。

(2) ジャーガルの強度や変形性は含水比によって大きく変化することが明らかになった。一軸圧縮強度、せん断抵抗、凝集力などは含水比の増加に伴って減少し、付着力は逆に増加する傾向が見られた。

#### V 謝 辞

本研究を行うに当って本学部農業工学科・宮城調勝助教授、宜保清一助教授には多大な助言をいただき、また、本学部卒業生・当銘清弘、当山欣三、前田幹男、久保啓昭君他多くの諸君の協力をいただいた。記して感謝する次第である。

#### 引用文献

1. Bekker, M. G.: 1962・Theory of Land Locomotion, Ann Arbor, The Univ. of Michigan Press, P. 186 - 227
2. 土質工学会編: 1975・土質試験法, 東京, 土質工学会, P. 22 - 110
3. 宮城調勝: 1976・ジャーガル土壌の物理性改良について, 第47回農業土木学会九州支部講演会シンポジウム「沖縄の特殊土壌」前刷, P. 41 - 46
4. 農業機械学会編: 1969・改訂農業機械ハンドブック, 東京, コロナ社, P. 442, P. 881

5. 大城喜信：1973・ジャーガル（石灰質重粘土質）の改良に関する研究，沖縄県農業試験場研究報告第1号
6. 沖縄県農林水産部編：1980・農業関係統計資料，P. 178 - 181
7. 東京大学農業工学科編：1966・農業機械実験便覧，P. 110，東京，養賢堂

### Summary

Some of physical properties of the Jaagaru soil were made clear for the mechanization to sugar cane cultivation in the area covered with the Jaagaru soil.

- (1) The Jaagaru soil is a kind of heavy clay that contains more than 50% of clay, and the plasticity index of which is about 40%.
- (2) The strength and deformation properties of the Jaagaru soil were very variable with the change of water content. The uniaxial compression strength, shear resistance and cohesive force of the Jaagaru soil had a tendency to decrease with increasing water content. In opposition to these the adhesive force had a tendency to increase with it.