

自記定速貫入式土壤硬度計の試作

誌名	愛知県農業総合試験場研究報告 = Research bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center
ISSN	03887995
著者	伊藤, 清一 濱田, 千裕 澤田, 恭彦 宮下, 陽里
巻/号	21号
掲載ページ	p. 146-150
発行年月	1989年11月

自記定速貫入式土壤硬度計の試作

伊藤清一*・濱田千裕**・澤田恭彦***・宮下陽里***

緒 言

農業機械の作業性能に大きな影響を与えるほ場の物理的性質、とりわけ力学的性質を把握することは、作業の可否や方法の選択等作業計画の樹立やその効率的な実施を図るためには極めて重要である。

土壤の力学性を求める項目として、摩擦係数、せん断抵抗、コンシステンシ限界、土壤硬度などが挙げられている。そのうち、土壤硬度は、機械-土壤系における重要な指標として用いられており、従来より、土壤硬度と農業機械の走行性について、数多くの研究がなされている^(3,6,9,11)。

土壤硬度は、土壤の破壊、圧縮、摩擦に対する抵抗を総合的に表す指標として測定されている。土中に円錐を貫入させて、その抵抗力と貫入断面積との比をとって表示することが多い。測定器としては、一般的には、コーンペネトロメータやSR-2型土壤抵抗測定器⁽²⁾が用いられている。両測定器とも任意の貫入深さにおける土壤硬度が測定できる。これに対し、山中式硬度計^(8,10)は表層の硬さを表すのに用いられている。何れも操作が容易で軽量なため、短時間に多数の地点を測定することが可能である。

これらのうち、農業機械、農作業研究には、SR-2型土壤抵抗測定器が最も多く使用されている。SR-2型土壤抵抗測定器を使用する場合、現場での問題点を整理すると次のようである。①測定を2名程度の組作業で行う必要がある。②指示値の読み取りと貫入深さの確認を測定者が測定しながら肉眼で行なうため、精度は必ずしも高いといえない。③貫入抵抗は、貫入速度に影響されると考えられるが、人力で貫入させるため貫入速度は一定でない。特に、耕盤付近での貫入速度の制御は容易でない。④②及び③より、測定者による測定誤差が生ずる場合がある⁽⁷⁾。

筆者らは、SR-2型土壤抵抗測定器の測定システムを基本とした高精度なデータを比較的簡単に得ることが

できる自記定速貫入式土壤硬度計を試作した。また、この土壤硬度計を供試して、土壤硬度測定値に及ぼす操作要因について検討したので取りまとめて報告する。

材料及び方法

1 自記定速貫入式土壤硬度計の試作

自記定速貫入式土壤硬度計の試作目標は、代かき土壤を含む、比較的、土壤硬度の小さい利用場面での土壤の測定を前提として試作した。したがって、測定範囲は貫入抵抗力で0~196N (20kgf)、測定深さで0~25cmとした。その他、試作にあたっては以下の点に留意した。

- ①自記式にし、測定と同時に結果を出力させる。
- ②貫入速度を定速とする。
- ③高精度なデータを得るために荷重変換器として歪ゲージ式のロードセルを使用する。
- ④操作を簡便にする。

2. 自記定速貫入式土壤硬度計での測定

自記定速貫入式土壤硬度計とSR-2型土壤抵抗測定器とで得られる測定値を比較する。また、両者の測定値の差の一因である貫入速度が測定値に及ぼす影響について、自記定速貫入式土壤硬度計を供試して、次の条件により検討する。

貫入速度; 4水準 (0.68, 0.84, 1.0, 1.18cm/sec)

供試条件; 土 壤 壤土

含水比 土層0~10cm 18.5%

土層10~20cm 18.0%

使用円錐 小型円錐 (形状は後記)

試験場所; 場内農業機械研究室室内人工は場

試験結果及び考察

1. 自記定速貫入式土壤硬度計の試作

(1) 測定システムの概要 (第1図、第1表)

試作した自記定速貫入式土壤硬度計は、SR-2型土

*経営流通部 (現 弥富農業技術センター)

**経営流通部 (現 作物研究所)

(1989.7.11 受理)

***経営流通部

壤抵抗測定器の測定システムを基本にしており、その構造は測定部と記録部から構成されている。測定部は、ロードセル、駆動用モータ及び制御回路等からできている。記録部は、増幅器と記録用のペンレコーダ等からなっている。

(2) 構造の概要

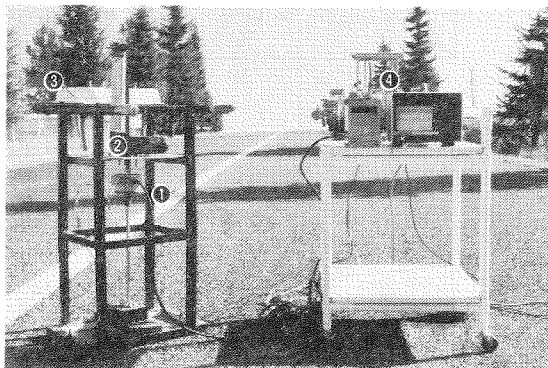
測定器の測定貫入部分は、SR-2型土壤抵抗測定器と同じ部品を使用した。すなわち、頂角30°、長さ30mm、直径15.96mm（底面積2cm²）の小型円錐と、頂角30°、長さ51mm、直径27.66mm（底面積6cm²）の大型円錐を使用できるようにした。

コーンの貫入には、貫入速度が一定となるようにラックとピニオンを組み合わせたリニアヘッド直結の小型スピードコントロールモータを使用した。貫入速度は、0.5~1.2cm/secの範囲で無段に設定できる。

土壤からの貫入抵抗は、円錐とスピンドルと直結したロードセルで検出し、増幅器を介してペンレコーダで表記させた。したがって、測定と同時に貫入抵抗と貫入深の関係を円錐線図^④として出力することが可能となった（第2図；測定例）。また、本システムで用いた増幅器には測定値のデジタル表示が可能であるので、リアルタイムの確認が可能である。

本システムの駆動系にはスリップはほとんど無いと考えられるため、貫入深は貫入速度とペンレコーダのチャート速度の設定によりチャート上で確認できる。この他、測定時に測定者が容易に目安の貫入深を確認できるように深さゲージを取り付けた。このゲージを利用してリミットスイッチを作動させ測定中に貫入深が25cmになると測定が終了するようにした。

測定器の操作は、全てスイッチにより行えるよう簡便



第1図 自記定速貫入式土壤硬度計

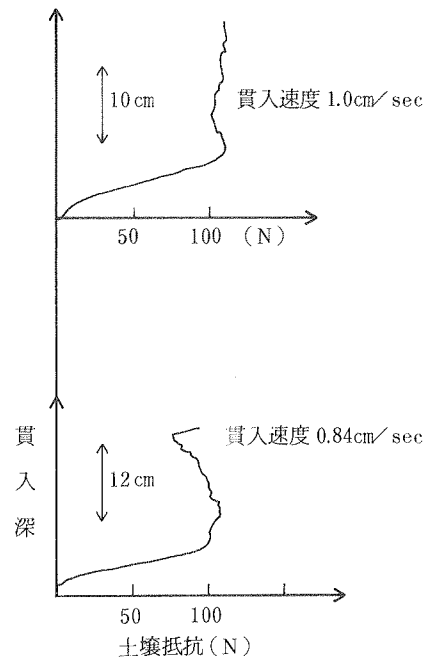
- ①圧力変換器
 - ②駆動モータ
 - ③制御回路
 - ④記録部
- } 測定部

にして、習熟度合など測定者による誤差が生じないようにした。

以上のように、自記定速貫入式土壤硬度計の測定では、円錐の貫入速度の制御、貫入深及び貫入抵抗の計測を全て機械的、電気的に行うことで、測定者に起因する誤差が除去でき、SR-2型土壤抵抗測定器より測定精度を

第1表 自記定速貫入式土壤硬度計の主な仕様

項	目	内	容
測定範囲	貫入抵抗 (N)	0~196	代かき土壤も可能)
	測定深さ (cm)	0~25	
	貫入速度 (cm/sec)	0.5~1.2	
外觀	全長×全副×全高 (mm)	760×360×970	
	重量 (kg)	20	
測定器	圧力変換器	9E01-L3-50K	
	駆動モータ	スピードコントロールモータ 2RK6RGK-A2	
	制御回路	リニアヘッド 2LF10-3	
記録部	増幅器	6E02	
	記録計	SR6421	
電源		AC 100V	



第2図 定速貫入式土壤硬度計測定例

向上させる設計とした。

土壤硬度計の本体の重量は約20kgとやや重たくなった。そのため、測定器の底にアクリル板を張り接地圧を小さくし、代かき土壤の硬度測定を可能にした（接地圧は約 $2 \times 10^3 \text{Pa}$ ）。筆者がすでに報告¹¹⁾したように、水田の土壤硬度は、層別に測定する必要があるが、本システムを用いることにより、代かき直後のほ場での測定も可能となった。

以上より、試作当初の目標を概ね達成することができた。

2. 自記定速貫入式土壤硬度計での測定

(1) 土壤硬度の測定手順

試作した土壤硬度計による測定は、次の手順に従い行う。

- (i) 硬度計の測定部の円錐が鉛直に貫入するようにセットする。
- (ii) ペンレコーダのチャート速度と円錐の貫入速度を決定し電源を入れる。
- (iii) 円錐の作動方向切り替えスイッチ（上方または下方の切り替え）を下方にした後、測定スイッチを入れ測定を行う。
- (iv) 以上を繰り返す。

(2) SR-2型土壤抵抗測定器の測定値との比較

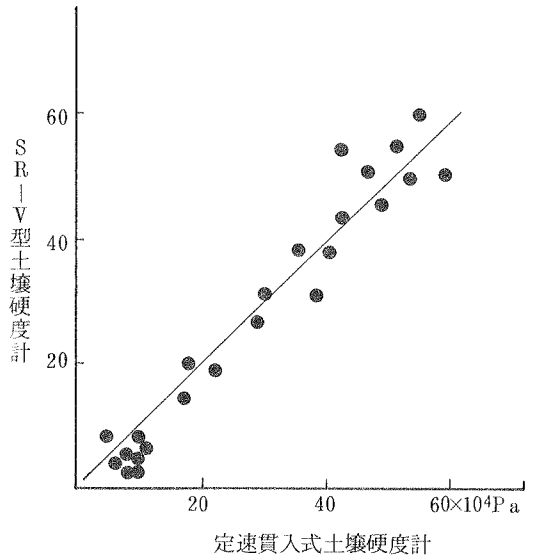
SR-2型土壤抵抗測定器での測定では、測定者により測定値に若干の誤差がみられる¹²⁾が、その原因は、貫入速度が定められた 1 cm/sec で一定しないことと測定値を肉眼でゲージから読まねばならないこと等が挙げられる。

第3図は、土壤条件がほぼ均一な人工ほ場で測定したSR-2型土壤抵抗測定器での測定値と自記定速貫入式土壤硬度計での測定値との相関である。貫入抵抗が $20 \times 10^4 \text{Pa}$ 以下の比較的軟らかいところでは、自記定速貫入式土壤硬度計の測定値よりSR-2型土壤抵抗測定器の測定値の方が小さく測定される傾向があった。また、 $50 \times 10^4 \text{Pa}$ 以上の硬いところでは、SR-2型土壤抵抗測定器での測定値にばらつきが多くみられた。

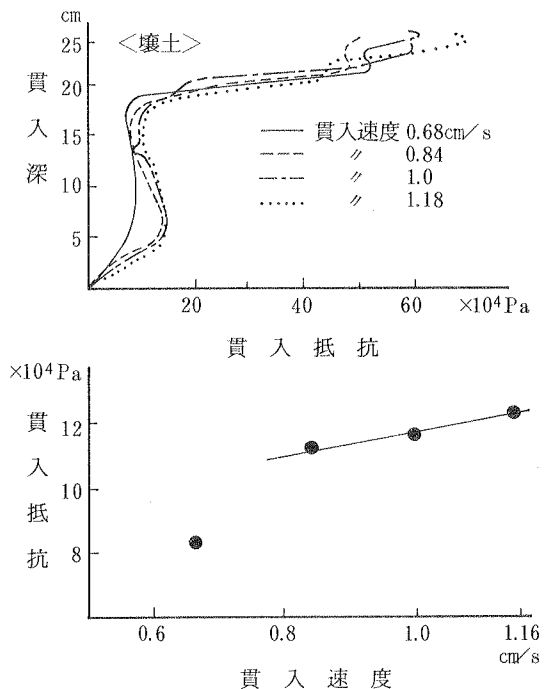
(3) 貫入速度と貫入抵抗との関係

次に、自記定速貫入式土壤硬度計を供試して、貫入速度が測定値に及ぼす影響について検討した。貫入速度と貫入抵抗の関係を第4図に示した。貫入速度が速くなると、貫入抵抗は、ごくわずかであるが増加する傾向であった。土層0~15cmの測定値の平均値についての変動係数(CV1)は7%であった。一般に円錐の貫入速度は 1 cm/sec が標準となっているが、この 1 cm/sec と比べたとき（ 1 cm/sec の測定値を仮の平均値とみなし、偏差平方和を求めた）の変動係数(CV2)は7.6%であ

った。SR-2型土壤抵抗測定器の開発段階において、SR-2型土壤抵抗測定器を用い、本試験よりやや土壤を供試して貫入速度と貫入抵抗の関係についての調査が行われ本試験と同様の変動係数が求められている¹³⁾。それによればCV1は3.9%、CV2は2.0%であり、本試験



第3図 SR-II型土壤硬度計と自記定速貫入式土壤硬度計の比較



第4図 貫入速度が貫入抵抗に及ぼす影響

で求めた値よりいずれも小さい値であった。このことより、軟弱なほ場の硬度を精密に測定しようとする場合には貫入速度の影響が大きいと考えられ、本試験で試作したような定速で貫入するような測定システムが重要と考えられる。

これらのことより、自記定速貫入式土壤硬度計を使用することにより、SR-2型土壤抵抗測定器の測定操作上、特に測定精度が劣るとみられる軟弱ほ場または耕盤のような硬いところの土壤硬度を含め、ほ場の層別土壤硬度を高精度に測定することが可能となった。

3. 今後の改良方向

試作した土壤硬度計は、SR-2型土壤抵抗測定器の測定において、人力部分を機械化し測定精度を高めることを目的としたものである。したがって、データはペンレコーダから出力される円錐線図のみであり、データの収録、処理方法に改良が必要である。つまり、得られたデータの蓄積やこれを利用して多数のデータを一元的に処理する場合（例えばほ場の等硬度線の作図など）には、コンピュータによるデータの収録、処理が不可欠である。これに対応するには、測定システムにデータの記憶装置が必要である。澤村ら⁴⁾は、人力貫入式ではあるが、小型コンピュータを組み込んだ土壤硬度計及び測定値の処理システムを開発している。本システムもこのようなマイクロエレクトロニクスを組み込んだ測定システムに改良する必要がある。

また、測定器の軽量、小型化を図るとともに、現地での測定に供し易いようにバッテリーを電源としたものへの改良が必要である。

摘 要

SR-2型土壤抵抗測定器型を改良した自記定速貫入式土壤硬度計を試作した。

1 試作した自記定速貫入式土壤硬度計の測定範囲は、貫入抵抗力0~196N、測定深さで0~25cmで、以下の特徴がある。①貫入速度0.5~1.2cm/secの範囲で定速

測定ができる。②歪ゲージ式ロードセルを用いて貫入抵抗を検出するため高精度なデータが得られる。③測定中に貫入抵抗、貫入深を円錐線図として出力する。④操作が簡便であり、測定者の習熟度合の差によって生ずる誤差が除去できる。⑤軽量であるため、代かき土壤の硬度測定も可能である。

2 自記定速貫入式土壤硬度計は、円錐の貫入速度の制御、貫入深及び貫入抵抗の計測を全て機械的、電気的に行うため、測定精度は、SR-2型土壤抵抗測定器より高い。

引用文献

1. 伊藤清一, 1988, 代かき土壤の硬度測定法に関する力学的一考察, 愛知農総試研報, 20, 99~104.
2. 金須正幸ら, 1966, 乗用トラクタの走行・牽引および耕うん性能に関する研究, 農機研報告, 8~18.
3. 倉田和彦ら, 1985, 転換畑における作業不可能日の推定法, 農作業研究53, 1~9.
4. 澤村篤ら, 1985, マイクロコンピュータを用いた土壤硬度計の試作, 農機誌48, 247~251.
5. 田中孝, 1979, トラクタの走行性, 農機誌42, 581~588.
6. 長野間宏, 1984, 機械化と圃場整備, 土壤の物理性50, 29~32.
7. 農林水産省農業研究センター, 1988, 昭和62年度関東東海農業試験研究成績・計画概要集—総合農業・作業技術関係—, 194.
8. 松岡憲一, 1968, 粒径組成と土壤の物理性に関する研究, 農技研報告B-14, 309~323.
9. 三浦恭志郎, 1984, 土壤物理と農業機械, 土壤の物理性50, 26~29.
10. 山中金次郎ら, 1962, 土壤硬度に関する研究(第1報), 土肥誌33, 343~347.
11. 吉田勲, 1974, 貫入速度が貫入量—貫入抵抗曲線に及ぼす影響, 農機誌36, 374~377.

Studies on Development of Self-recording, Fixed-speed Penetrating Soil Resistance Tester

Seiichi ITO, Yukihiro HAMADA, Yasuhiko SAWADA
and Hisato MIYASHITA

Summary

The SR-2 soil resistance tester was designed for the purpose of knowing the relationship between trafficability of tractor and physical properties of soil. We improved individual parts of SR-2 soil resistance tester for a higher accuracy and made the self-recording, fixed speed penetrating soil resistance tester on an experimental basis.

1. The range of measurement of this trial tester is 0 ~ 196N in the penetrating resistance and 0 ~ 25 cm in the penetrating depth. And the properties of this trial tester are as follows.

1) The range of this penetrating speed is 0.5 ~ 1.2 cm/sec.

2) The penetrating resistance can be measured very accurately, because the penetrating resistance is measured by load-cell using strain gauge.

3) This trial illustrates by a diagram showing the relationship between the penetrating resistance and the penetrating depth.

4) The operation is simple and the experimental errors is less. Therefore the observed values don't differ by a fair amount from one experimentalist to the other.

5) The light weight of this tester makes it easy to measure the resistance of pudding soil.

2. This self-recording, fixed-speed penetrating soil resistance tester increases the accuracy of measurement than the SR-2 soil resistance tester, because it measures the soil resistance mechanically and electrically.