

## 傾斜草地土壌における貫入抵抗測定に関する研究(1)

誌名	草地試験場研究報告
ISSN	03850196
著者	澁谷, 幸憲 瀬川, 敬 玉城, 勝彦 田中, 孝一
巻/号	50号
掲載ページ	p. 43-52
発行年月	1994年3月

# 傾斜草地土壌における貫入抵抗測定に関する研究

## I. 水平保持機構付き貫入抵抗測定装置の試作とその性能

澁谷幸憲・瀬川 敬・玉城勝彦・田中孝一<sup>1)</sup>

山地支場 作業技術研究室

<sup>1)</sup>現 放牧利用部 施設工学研究室

(平成5年12月14日受理)

### 要 旨

澁谷幸憲・瀬川 敬・玉城勝彦・田中孝一(1994): 傾斜草地土壌における貫入抵抗測定に関する研究 I. 水平保持機構付き貫入抵抗測定装置の試作とその性能. 草地試研報 50: 43~52.

草地では施肥及び収穫作業が繰り返されるため、機械走行により土壌がち密化し、牧草生産に大きな影響を及ぼすと懸念されている。この実態を幅広く調査解析するために、筆者らは土壌貫入抵抗を高精度・省力的に多数点測定できる装置を試作した。試作機は、コーン貫入駆動部、貫入抵抗検出機構、貫入深検出機構、制御測定記録部、水平保持部、機体吊り下げ部で構成されている。コーン貫入駆動部のモータ動力により定速貫入でき、水平保持部により傾斜地でもコーンを重力方向に貫入でき、土壌貫入抵抗を高精度に測定できた。さらに、草地で、底部面積 2 cm<sup>2</sup>、頂角 30 度のコーンを用い、貫入速度 1 cm/s、貫入深 45 cm の測定条件で測定した。移動には、小型トラクタ等の運搬車を使用した。試作機は設計通りに動作し、測定値はすべて支障なく制御測定記録部に記録できた。測定の適用範囲は、運搬車の走行可能傾斜範囲(最大傾斜 25 度程度まで)に限定された。1ヶ所あたりの平均測定時間は約 5 分であり、このうち、測点間の移動や測量、調整に要した時間を除いた測定時間は 1.5 分であった。これより、草地で貫入抵抗を省力的に多数点測定できることを確認した。以上から、本機の利用により、踏圧層の有無や分布状態の広範囲な把握を可能にし、貫入抵抗コンタマップの作成等に必要データを測定できることを認めた。

キーワード: 貫入抵抗, 踏圧, 装置, 傾斜草地, 測定, 土壌物理(構造)。

### 緒 言

草地では、施肥や収穫作業でトラクタ・作業機械等が何回も走行するため土壌がち密化し作物生育に好ましくない影響を及ぼしている事が懸念されている(常松他 1963, 細野他 1965, 江柄他 1972)。しかし、機械走行による土壌のち密化の現状は、十分明らかにされているとは言えない。土壌のち密化の判定の一方法として、一定容積当たりの乾燥重量、すなわち乾燥密度の測定がある。しかし、土中の一定深さまでコアサンプラーを貫入して行うサンプリング調査を圃場全体から数多く行うのは労働負担が大きく困難である。そのため、密度と関係が深く比較的簡便に調査できる間接的な指標として、土中にコーンを突き刺しそのときのコーンが土から受ける抵抗、すなわち貫入抵抗を測定する事により、土壌のち密化を判定する方法が試みられている。従来から使用されている貫入抵抗計は、人力によりコーンを土壌に突き

刺し、そのときの深さごとの抵抗を測定補助者が読み取ったり、記録紙に自記しコンピュータへ記録する方式である(諸遊英行 1986)。これらを草地の生産現場で使用する場合、いくつかの問題点がある。一つは、測定作業負担の問題である。すなわち、従来の貫入抵抗計の多くは、体重を利用してコーンの貫入を行うため、土壌のち密化が進行した草地を測定する場合、貫入力不足して貫入が不可能なことがあり、仮に貫入できたとしても、圃場全体から多数点測定するには労働負担が大きい。さらに、測定精度の問題があり、精度良く貫入抵抗を測定するには、貫入方向を一定に保ち、一定速度で貫入することが必要である。しかし、特に傾斜の多い草地では、人手による貫入では、一定角度を保持し、土壌の踏圧層の有無に関わらず一定貫入速度を保つのは困難であり、測定者の測定方法のばらつきが、測定値に誤差を与える。こうした問題を解決するためには、測定者の労働負担が小さく、高精度な測定が可能な装置の開発が望

まれる。これまで、国内では、3次元土壌空間の貫入抵抗分布図を作成するために必要なデータを得ることを目的として開発された土壌貫入抵抗測定システムがある(近江谷他1990)が、いわば施設型装置であり機動性等に難点がある。そのため、筆者らは、傾斜の多い草地で省力的かつ高精度な貫入抵抗計測を目的として、測定機の試作を進め、有効性を確認したので報告する。

### 貫入抵抗測定装置の試作

#### 1. 開発目標の設定

一般的に使用されている土壌硬度計の得失を参考に、以下に掲げた開発目標を設定した。

- 1) 傾斜草地圃場(最大傾斜25度程度)で、測定が可能であること。
- 2) 測定方法は簡便であること。
- 3) 多数点測定しても測定者の作業負担が小さいこと。
- 4) 測定者や測定方法によるデータのばらつきが小さい構造であること。
- 5) その場で測定結果を確認できること。
- 6) 圃場の中の測定場所の記録が可能であること。
- 7) 得られた多数の測定データの処理が容易なこと。

#### 2. 具体的機能の選定

各作用部の機能を次のようにした。

測定機は、傾斜草地での広範囲な測定ができるように運搬移動車に積載する。装置の電源には直流のバッテリーを使用する。貫入体には、地耐力等の測定で広く使

用されているSR-2型土壌硬度計と同じ底部面積 $2\text{ cm}^2$ のコーンを使用する。貫入は作業負担の軽減と測定精度の向上をねらって、モータを使用した機械駆動方式とする。その際、コーンが土中の石や根株等に当たり、測定機の持ち上がりや機構の破損に到らないようにする。傾斜によらずコーンを重力方向に貫入できる水平保持機構を取り入れる。測定点3次元座標が光波測距器等の利用により簡単に測定できるよう、コーンの貫入部上端に測量用反射鏡の取付を可能とする。測定には複雑な操作を要しないよう、コンピュータで測定機の制御と計測を連動させ、簡単な操作で貫入が開始でき、貫入終了と同時に自動停止・復帰できる機構とする。そして、貫入深ごとの貫入抵抗の連続的変化を測定終了直後に表示し、フロッピーディスクへ記録する方式とする。

#### 3. 試作機の概要

試作機は、コーン貫入駆動部、貫入抵抗検出機構、貫入深検出機構、制御測定記録部、水平保持部、機体吊り下げ部で構成した(図1、図2、表1)。

##### 1) コーン貫入駆動部

コーン貫入駆動部は交流モータ、ラック・ピニオン機構、モータ速度制御回路、リミットスイッチで構成した。コーンの貫入方向の正逆は、交流モータとラック・ピニオン機構を組み合わせて可能とした。貫入速度は、モータ速度制御回路のボリューム調整により、 $0.63\sim 1.25\text{ cm/s}$ まで変更可能とした。最大貫入深は $45\text{ cm}$ とした。許容最大貫入力、貫入速度 $1.0\text{ cm/s}$ 付近で、 $1.37\text{ kN}$ が得られるようにした。貫入開始位置までのコーンの自

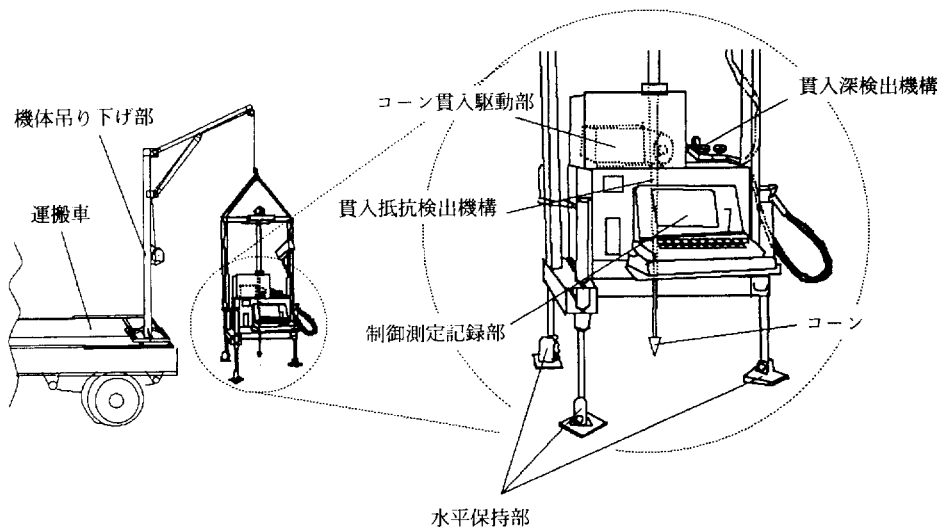


図1 試作測定装置概略図

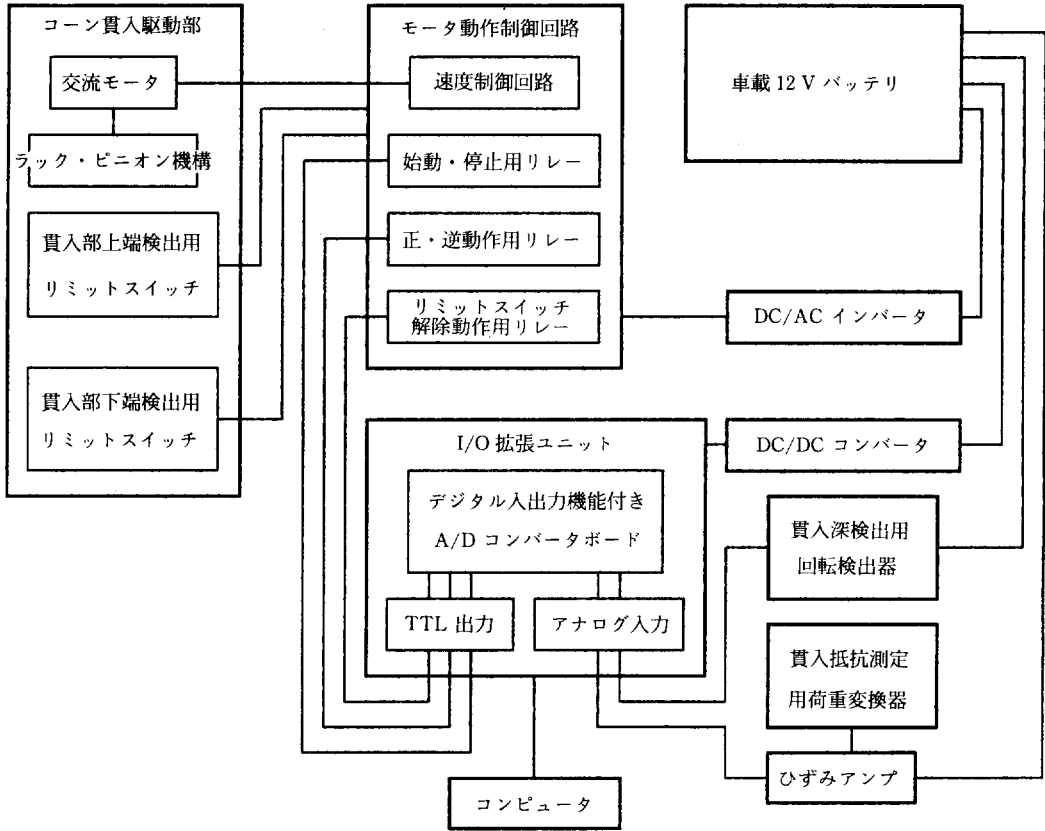


図2 試作測定装置のシステムブロック図

表1. 主要諸元

全長 (cm)	79.0
全幅 (cm)	80.5
全高 (cm)	185.0
質量 (kg)	154
貫入体形状	頂角30度コーン
貫入体底面積 (cm <sup>2</sup> )	2
最大貫入深 (cm)	45.0
最大測定貫入抵抗 (MPa)	6.86
最大傾斜適応角 (度)	25
電源 (V)	運搬車搭載 12(V) バッテリ

動復帰のため、リミットスイッチをラックの下端に設置した位置検出用部品と組み合わせて使用した。

## 2) 貫入抵抗検出機構

貫入抵抗検出機構はコーン、ロッド、鋼管、ロッド接続部、荷重変換器で構成した。貫入抵抗は、ラック下端のロッド接続部にセットした荷重変換器で受け、ひずみアンプへ接続し、荷重に比例した電圧出力を、A/Dコン

バータを通じてコンピュータへ取り込んだ。荷重変換器には、ひずみゲージ式ロードセルを用いた。また、コーンと荷重変換器との間に位置するロッドを鋼管の中に入れ、コーンだけが土から受ける貫入抵抗を測定できる二重管構造とした(図3)。

## 3) 貫入深検出機構

貫入深検出機構は歯数12、モジュール2の歯車(以下歯車a)と、歯数60、モジュール1の回転検出用歯車(以下歯車b)を、一本の軸上に取り付け、歯車aを減速機構のラックと噛み合わせ、歯車bを回転検出器と組み合わせて構成した。コーンが一定深さ7.54cm貫入すると、歯車a, bは1回転する。これにより、回転検出器は60個のパルスが発生する。したがって、1パルス当たり0.126cmの貫入深となる。このパルスをA/Dコンバータを通じてコンピュータへ取り込みカウントすることにより貫入深を求めた。

## 4) 制御測定記録部

制御測定記録部はコンピュータ、I/O拡張ユニット、

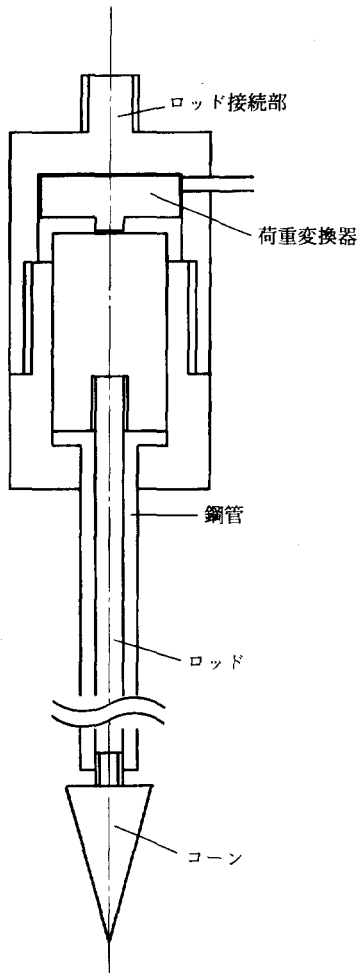


図3 貫入抵抗検出機構概略図

モータ動作制御回路で構成した(図2)。検出機構からの出力は、I/O 拡張ユニット内部に組み込んだ A/D コンバータを通じて、コンピュータへ取り込み、値の表示・記録を可能とした。モータ動作制御回路には、トランジスタのスイッチング回路とリレーを組み合わせ、プログラムへの I/O ポート入出力制御命令でモータの始動・停止動作、正・逆動作を可能とした。

制御測定記録プログラムは、MS-DOS 上で動作する BASIC 言語で記述した。プログラムは、貫入抵抗校正値入力、コーンの始動・停止動作、正・逆動作、貫入抵抗測定、貫入抵抗—貫入深図表示、貫入抵抗—貫入深記録、障害物対策(後述)等を行うサブルーチンで構成した。プログラムの流れは次のとおりである。プログラムをスタートさせ、貫入抵抗 0、0.98 kN の校正値をそれぞれ、

ひずみアンプから入力し、フロッピーディスクへ記録する。次に、コーンの位置の微調整をキーボードの上下矢印キーで行う。リターンキーを入力し、コーンは設定速度で貫入し、45 cm 貫入すると停止し開始位置まで戻る。その間、貫入抵抗データを、回転検出器からのパルス発生ごとに A/D 変換し、フロッピーディスクへ記録する(図4)。さらに、コンピュータの画面に、貫入深 0.126 cm ごとの貫入抵抗の大きさ、すなわち、貫入深別の貫入抵抗の連続的変化を表示する。障害物対策は、あらかじめ限界貫入抵抗を設定し、コンピュータは測定中に常時、貫入抵抗をモニターし、貫入抵抗が限界貫入抵抗を越えた場合、直ちに貫入動作を停止させる命令を送ることで対応した。また、限界貫入抵抗に到るまでの貫入抵抗の表示記録を可能とした(図4)。

#### 5) 水平保持部

水平保持部は支持プレート、単動式の油圧シリンダ、戻し・吸い込み兼用の油圧ホース、ストップバルブ、オイルタンク、作動油で構成した(図5)。オイルタンクから延びたホースは、途中3本に分岐し、それぞれにストップバルブを設け、オイルタンクより下に、単動の油圧シリンダと連結した。油圧シリンダのピストンロッドの先端に、地面と接する支持プレートを取り付けた。支持プレートの大きさは、草地圃場での測定を考慮し、接地荷重  $0.8 \text{ kgf/cm}^2$  前後となるよう  $187.5 \text{ cm}^2$  とした。測定機全体は、ウインチ駆動するワイヤーで吊り下げた。吊り下げた状態で、コーンの貫入方向は、常に重力方向となるように機器に重りをつけ、バランスを取った。機器の水平保持は、以下のように行うこととした。バルブを開く。その時、オイルタンクのオイルは、ホースを通じて、油圧シリンダ内に流れ、油圧シリンダのピストンロッドは、先端に取り付けた支持プレートの重量とピストンロッドの自重により、伸びきった状態となる。次にウインチを徐々に巻き下げる。すると、ピストンロッド先端に取り付けた支持プレートは、地面の状態に応じて、1つあるいはそれ以上が、地面に接する。さらに巻き下げると、既に接地したプレートのシリンダロッドは縮みはじめ、残りのプレートが地面に接する。こうして、すべてのプレートが地面に接し、コーンが地表面に位置するまで、ウインチを巻き下げ、バルブを閉じる。その結果、3本の単動式の油圧シリンダ内のオイルの流れはロックする。さらに、ウインチを巻き下げると、機器は3つの支持プレートだけで、水平を保持する。

#### 6) 機体吊り下げ部

機体吊り下げ部は運搬車固定用支柱、ウインチ、ブーム、吊り下げ用ワイヤーで構成した。測定機は、圃場ま

での移動時には、運搬車荷台へ積載し、圃場内の測定地点間の移動時には、ブーム先端に垂らしたワイヤーから吊り下げた。また、機体吊り下げ部は、運搬車の種類を選ばず、小型トラックや小型トラクタへの取付を可能と

した。

7) 電源

交流モータ駆動用 DC/AC インバータ、I/O 拡張ユニット用 DC/DC コンバータ、回転検出器、ひずみアン

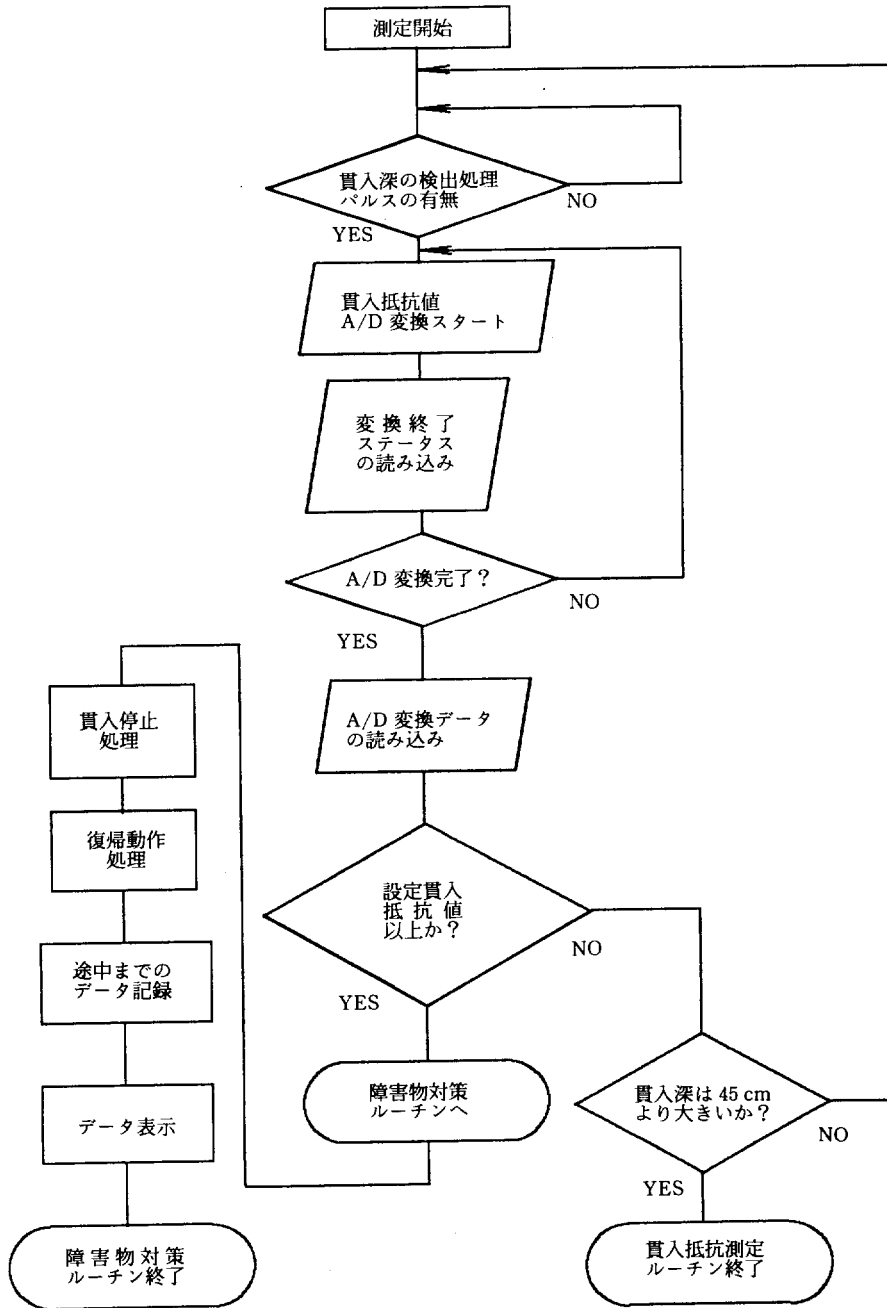


図 4 貫入抵抗測定及び障害物対策フローチャート

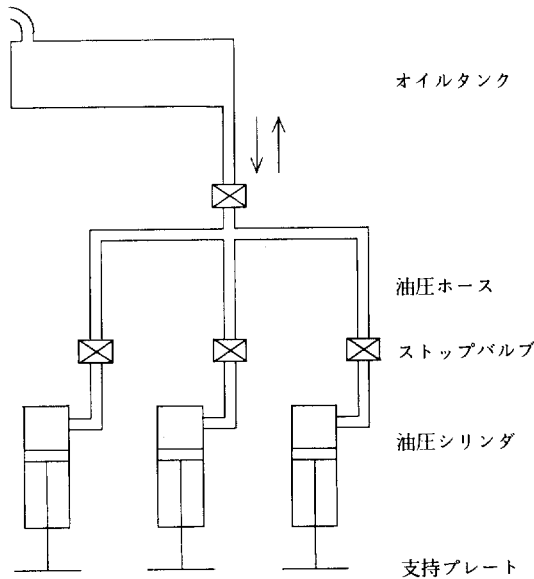


図5 水平保持部概略図

プの電源はすべて、運搬車積載の直流の12Vバッテリーを使用した。コンピュータの電源は、コンピュータ付属のバッテリーを使用した(図2)。

### 試作機の性能試験

#### 1. 試験方法

##### 1) 水平保持部

圃場で水平保持機構のチェックを行った。すなわち、あらかじめ、吊り下げた状態で、デジタル表示レベル計(0.5度刻み表示)を、本機上部のコーンの貫入方向に垂直な面に載せて、姿勢角度を測定した。次に、ストップバルブを閉じ、3つの支持プレートのみで測定機を支持した状態で、同様に測定した。

##### 2) コーン貫入駆動部

速度調整つまみを5段階に調整し、段階ごとにコーンを貫入させ、始動から停止にいたる時間をストップウォッチを用いて計測し貫入深で割って、貫入速度を得た。これを、それぞれ繰り返し5回行った。さらに、定速貫入の検定のため、非貫入時と、貫入時の両方において、設定貫入速度1cm/sで深さ45cmまで貫入させ、回転検出器から得られるパルス波をサンプリング速度1msで表層部、中央部、心土部の3箇所、それぞれ5秒間、A/D変換し波形を調べた。

##### 3) 制御測定記録プログラム

プログラムを起動させ、動作を調べた。さらに石れき

の多く含まれた圃場(後述、群馬県浅間家畜育成牧場)で、貫入抵抗を測定し、障害物対策の動作確認をした。

#### 4) 消費電流

電源を入れた時と、貫入抵抗測定中に、それぞれ消費電流を測定した。

### 結果

#### 1) 水平保持部

測定機は、3つの支持プレートだけで支持しても、ふらつきや倒れがなかった。測定機の姿勢角度は、本機上部面上の垂直に交差する2方向について、それぞれ、接地してから平均0.85度(測定点数40, 標準偏差0.50), 0.80度(測定点数40, 標準偏差0.37)であり、測定地点の傾斜(平均傾斜9.2度~11.1度, 最大傾斜15.0度)によらずほぼ水平を保持していた。又、貫入途中でも、ふらつきや倒れはなかった。

#### 2) コーン貫入駆動部

貫入速度は、速度調整範囲内では、ほとんど、ばらつきが少なく、再現性が高かった(表2)。これより、速度調整つまみによる貫入速度の設定が可能であることを確認した。また、パルス波は、ほとんど等間隔で0Vと5Vとの間を推移していた(表3)。これより、貫入抵抗の有無、貫入深によらず、定速で貫入できる事を確認した。

#### 3) 制御測定記録プログラム

プログラムは、正常に動作した。コーン位置の微調整や測定開始は、キー入力により問題なくできた。さらに、フロッピーディスクには、較正值や貫入深ごとの貫入抵抗の測定結果がプログラムの指示通りに記録できた。測

表2. 貫入速度精度の試験結果

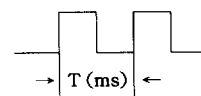
貫入速度調整つまみ位置	5	6	7	8	9	10
平均貫入速度 (cm/s)	0.63	0.85	1.04	1.22	1.25	1.25
変動係数 (%)	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1

表3. 定速貫入の検定結果

	貫入深さ		
	0-5 cm	25-30 cm	37-42 cm
非貫入時			
パルス1周期の平均時間 T(ms)	130.4	128.8	127.9
標準偏差	1.8	1.8	1.8
貫入時			
パルス1周期の平均時間 T(ms)	130.9	129.8	127.9
標準偏差	1.8	1.9	1.8

注 +5V

0V



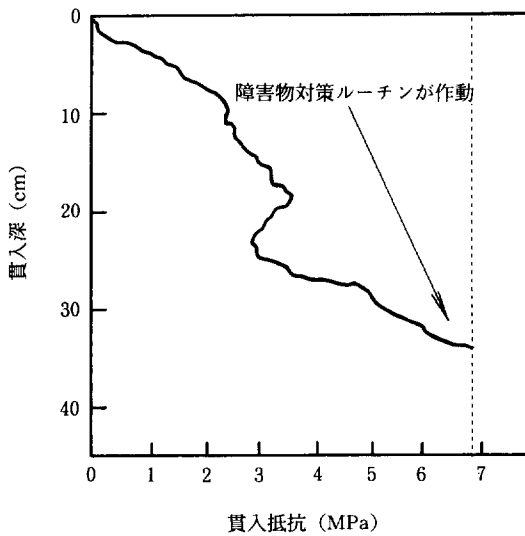


図 6 障害物に遭遇したときの貫入抵抗測定例

表 4. 測定作業能率

	調査面積 ha	平均傾斜 度	測点数	時間 分	作業能率 分/点
供試圃場Ⅰ <sup>a)</sup>	4.26	8.0	60	338	5.6
供試圃場Ⅱ <sup>b)</sup>	1.35	11.2	56	282	5.0
供試圃場Ⅲ <sup>c)</sup>	1.91	5.8	60	264	4.4

注 a) 山地支場内ライムギ刈跡地  
 b) 山地支場内採草地  
 c) 群馬県浅間家畜育成牧場内採草地

定開始のキー入力から測定値が記録表示され、コーンが始動位置へ戻るまでの時間は、障害物対策ルーチンが動作しない場合で90秒であった。1回の測定により、フロッピーディスクへは較正值のファイルを含めて3個のファイルが作られ、その大きさの合計は最大で4600バイト足らずであった。また、石れきの多く含まれた圃場で測定した結果、総測定点60箇所のうち、23箇所で障害物対策ルーチンが動作した。その例を図6に示した。いずれの地点でも、設定した限界貫入抵抗に達すると貫入を停止し、それまでの貫入深ごとの貫入抵抗を記録表示し、始動位置へ復帰した。これより、測定機は破損する事なく設定した限界貫入抵抗に到るまでの貫入抵抗の計測ができることを確認した。

4) 消費電流

消費電流は、貫入前は2.5A、貫入時は、土壌の硬さによって異なるが、最大で瞬間的に10A程度であった。88Ahの12V車載バッテリーは、移動中たえず充電されており、圃場における連続測定の結果（後述）からは、バッテリー供給電力の不足による不安定動作等の問題は認めなかった。

試作機による貫入抵抗測定

1. 試験方法

供試圃場と測定日時は、草地試験場山地支場内ライムギ刈跡地(1992年6月29日)、支場内採草地(1992年7月9日)、群馬県浅間家畜育成牧場内採草地(1992年10月7日)である。測定点数は、順に、60、56、60ヶ所

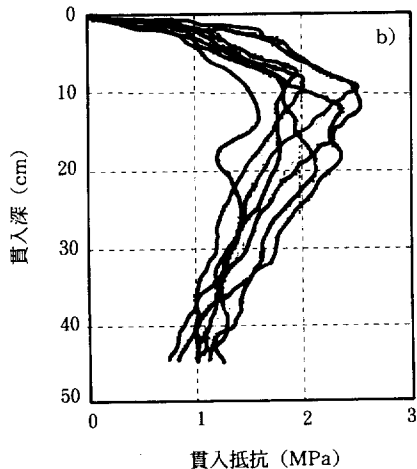
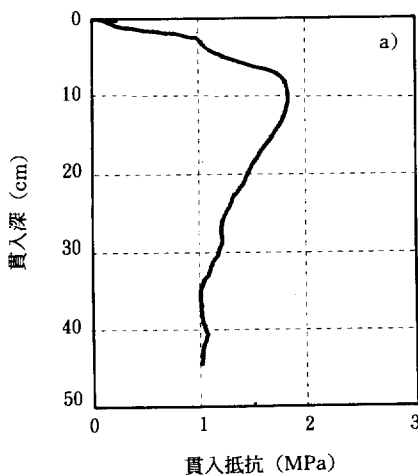


図 7 貫入抵抗測定例

注 a) 1測点例  
 b) 多数測点の重ね書き例



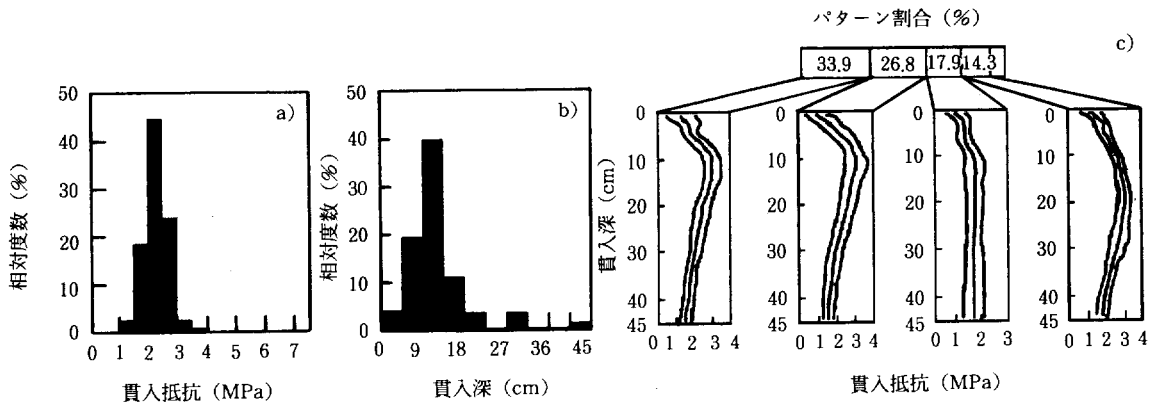


図8 データ解析結果例

- 注 a) 最大貫入抵抗の分布 (支場内採草地)  
 b) 最大貫入抵抗位置の分布 (支場内採草地)  
 c) 貫入抵抗パターンの分類 (支場内採草地)

図内左より, 平均-標準偏差, 平均, 平均+標準偏差

ある。測定は、底部面積  $2\text{cm}^2$ 、頂角  $30$  度のコーンを使い、貫入速度  $1\text{cm/s}$ 、貫入深  $45\text{cm}$  で行った。あわせて、測量用反射鏡を貫入駆動部上端に取り付け貫入抵抗測定前に測定の測定を行った。

## 2. 試験結果

測定に要した総時間は、草地試験場山地支場内ライムギ刈跡地が約  $5.6$  時間、支場内採草地が  $4.7$  時間、群馬県浅間家畜育成牧場内採草地が  $4.4$  時間であった。1 点の測定時間は、正味  $1.5$  分であり、測定に要した時間を含めると、それぞれ、平均  $5.6$  分、 $5.0$  分、 $4.4$  分であった (表 4)。すなわち、それぞれ、全体の測定時間の  $73\%$ 、 $70\%$ 、 $72\%$  を、測定地点間の移動や測定機の設置、コーン位置の微調整、測量に費やしていた。測定地点間の移動を測定機を吊り下げた状態で行ったため、迅速な移動が困難であった。また、ふらつきを防ぐために運搬車のオペレータの他に、人員が必要であった。圃場の傾斜は、いずれも運搬車の走行可能傾斜範囲内 (最大  $25$  度程度) にあり、圃場内のどの地点でも測定が可能であった。測定結果は、すべて支障なくフロッピーディスクへ記録された。図 7 は、フロッピーディスクへ記録されたデータをもとに、コンピュータ画面に描画させた例である。さらに、それらのデータをもとに、各地点の最大貫入抵抗とその位置を求めて、図 8a), b) に示すような度数分布図を作成したり、グラフパターンの類似したものを集めて分類し、図 8c) に示すような分類ごとの平均と平均土標準偏差、およびその割合を計算表示するといった解析も容易にできた。

## 考 察

1. 本機及び従来の測定機で得た各貫入抵抗値の関係  
 従来の貫入抵抗計の多くは、貫入時のコーンの受ける抵抗を、ロッドを通じて、上端に位置するバネにより計測している。この方式では、コーンだけの貫入抵抗とロッド表面と土との接触により生じる摩擦抵抗の合計が、貫入抵抗として記録されるものと推察される。荷重検出器をコーンのすぐ上とロッドの上部に取り付けて貫入させ、両方の値を同時に測定して得た結果から、ロッドと土との摩擦は、貫入深の増加と共に増え、コーンインデックス換算で最大  $40\%$  に達したという報告 (K. ARMBRUSTER 他 1990) もあり、ロッドと土との摩擦は、土の種類や状態、貫入深の程度によって様々であり貫入抵抗値に影響を与えることが懸念される。本機では、ロッドが鋼管の内部にあり、貫入時にロッドと土との摩擦が起こらないため、コーンだけが受ける貫入抵抗を測定する。そのため、本機で得た貫入抵抗値は、これまで得た値と比較してロッドと土との摩擦による抵抗の排除された分だけ小さいことが予想される。しかし、今回の草地圃場における測定では、貫入角度を一定に保持した貫入が可能であり、ロッドに土が付着している様子は明瞭には観察されなかった事から、ロッドと土との摩擦は、懸念したほど起きていなかったと推測される。さらに、草地圃場では、土壌のち密化がかなり進んでおり、大きな貫入抵抗値を示していた事から、ロッドと土との摩擦による貫入抵抗値への影響はそれほど大きくないと

考えられ、従来の測定機で得た値としての読み換えも可能であると考えられる。

## 2. 水平保持機構について

先に述べたとおり、圃場における測定では、水平保持機構はおおむね良好に動作しており、貫入抵抗に大きな変動のあった測定地点においても、測定途中で測定機がふらつく事はなかった。そのため、通常の油圧回路で使用するオイルポンプ、ロッキング回路等の安全機構を取り入れなくても、十分実用に供する機構であると認められた。しかし、接地3ヶ所の地盤の緩いところでは、支持プレートの沈下により、1回の操作では水平保持できない事が懸念される。供試圃場は、機械作業による踏圧の影響を強く受けていたためか、そのような現象は認めなかった。地盤の緩い場所での使用にあたっては、支持プレートを面積の広いものと交換したり、測定前に地盤を足で踏み固める等の処置が必要である。

## 3. 傾斜地における測定時の貫入方向について

測定対象となる草地在傾斜地に多いため、測定時に貫入方向をあらかじめ設定する必要があった。貫入抵抗の測定は、様々な分野でなされているが、対象場面や利用目的ごとにそれぞれ独自の測定器具・測定方式で行っているのが実状である。しかし、どの分野でも、傾斜地でどのように貫入抵抗を測定するかは明確には表記されていない。コーンペネトロメーター、SR-2型測定器の操作方法として、装置を土面に鉛直に立てた状態から押し込むという記載がある程度である(増島博・根本清一1972)。しかし、傾斜草地で、実際に、測定地面に鉛直に貫入する事は、測定地面に凹凸があるため、測定面の選び方により貫入方向を一律に決定できず、再現性のある測定方法とは必ずしも言えない。本研究では、機械走行による車輪荷重がおおむね重力方向に作用し土壌のち密化も重力方向に進行すると考えられること、機械駆動方式では測定地面に鉛直に測定機を設置することが困難であることの2点から、貫入方向は測定地面に鉛直ではなく重力方向とするのが望ましいと考えた。

## 4. 測定作業能率改善のための今後の課題と改良点

測定操作者の労働負担は、貫入動作の機械駆動化や記録の自動化等により、従来の測定方式に比べ大幅に減少したと推察された。そのため、本測定方式により労働負担の点で不可能だった多数点の測定ができると推測される。しかし、測定作業能率は、測定地点間の移動や調整に多くの時間を占めていたことから、移動時間を短縮させる、調整に要する作業を自動化する等の工夫により向上させる余地が残されていた。具体的な方法としては、移動時に測定器を運搬車に固定しふらつきを防ぐ、水平

保持に要するストップバルブの開閉、及びコーンの貫入開始位置までの微調整を自動化するといった事が考えられる。こうした改良により測定作業能率はさらに高まり、圃場全体から貫入抵抗をさらに容易に測定できると予想される。それにより、踏圧層の有無やその分布等の把握に役立つ貫入抵抗コンタマップの作成等のためのデータ取得が可能となろう。また、測定が運搬車の走行可能な傾斜範囲に限定されることから、さらに傾斜地適応性の高い運搬車の利用により測定時の適用傾斜範囲を広げることが可能であろう。また、貫入抵抗は、土の種類、含水比、密度等土の状況や、貫入体の形状、大きさ、表面粗さ、さらに貫入速度や貫入操作といった測定方法など多くの要因に影響を受けるとされている(田中孝他1993)。本装置を利用して測定する場合、貫入体の形状、大きさは、同じ物を使用し、貫入速度や貫入操作は、機械化したため、一定である。従って、本機を用いることにより、測定法による要因は排除され、本機で得られた貫入深ごとの貫入抵抗のグラフは、土の種類、含水比、密度等土の状況を反映した総合結果であると言える。今後は、こうした土の状況のみを反映したデータを多数点集めデータ解析を行い、それに基づいて、機械走行による土壌のち密化の判定の試みを行うことが課題である。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、山地支場業務科職員には、多大なご協力を頂いた。また生産圃場での貫入抵抗測定にあたり、群馬県浅間家畜育成牧場には、多大なご協力を頂いた。さらに、倉島健次山地支場長には助言並びに本稿の校閲を頂いた。ここに厚く謝意を表します。

## 引用文献

- 江柄勝雄・中野淳一・菅野考己(1972):トラクタ車輪踏圧によるイタリアンライグラスの再生障害に関する研究. 四国農誌 報 25: 35-56.
- 近江谷和彦・牧野秀樹・増井孝保・寺尾日出男(1990):土壌貫入抵抗測定システムの開発. 農機誌北支報 31: 39-45.
- K. Armbruster, A. Hertwig, H.D. Kutzbach(1990): An improved design of cone penetrometer. J. agric. Engng Res. 46: 219-222.
- 田中 孝・笈田 昭(1993):車両・機械と土系の力学—テラメカニクス—. 学文社, 東京, 203-222.
- 常松栄・吉田富穂・松居勝彦・池内義則・南部悟・宮本啓二(1963):トラクターによる踏圧現象に関する研究(第4報)根の成長に及ぼす踏圧の影響について. 農機誌北支報 9: 148-156.
- 細野一英・田村仟・荻野正作(1965):牧草に対する農機具踏圧の影響. 日草誌 11: 123-131.
- 増島 博・根本清一(1972):貫入抵抗. 土壌物理性測定法委員

会編. 土壤物理性測定法. 養賢堂. 東京. 313-318.  
諸遊英行(1986): 貫入抵抗. 土壤標準分析・測定法委員会編. 土

壤標準分析・測定法. 博友社. 東京. 29-35.

## Studies on Measurement of Penetration Resistance in sloped Meadows

### I. Test of penetration resistance of measuring instrument with horizontal positioning device

Yukinori SHIBUYA, Takashi SEGAWA, Katsuhiko TAMAKI and Koichi TANAKA<sup>1)</sup>

*Alpine Region Branch, National Grassland Research  
Institute, Miyota, Nagano, 389-02 Japan.*

<sup>1)</sup>*Present Address : Department of Grazing Animal Production, National  
Grassland Research Institute, Nishinasuno Tochigi, 329-27 Japan*

Received December 14, 1993

#### ABSTRACT

Shibuya, Y., T. Segawa, K. Tamaki and K. Tanaka (1994) : Studies on Measurement of Penetration Resistance in sloped Meadows. I. Test of penetration resistance of measuring instrument with horizontal positioning device. Bull. Natl. Grassl. Res. Inst. 50 : 43~52.

In meadows, agricultural vehicles run repeatedly for the application of fertilizers or harvest. Soil compaction associated with these operations adversely affects grass production. The authors developed an instrument that enables to measure the penetration resistance easily and accurately to evaluate the extent of soil compaction generated by the traffic of vehicles in the meadows. The instrument is composed of a cone as penetrating part, a part for measuring the penetration resistance, a part for measuring the penetration depth, a part for recording data, a part for horizontal positioning, and a hanging part. It was possible for the cone to penetrate the soil with a constant speed through the motor of the penetrating part, and to penetrate vertically even a sloped land by using the part for horizontal positioning. To sum up, the use of this instrument enabled to measure the penetration resistance accurately. Thereafter, the instrument was used to measure the penetration resistance in several meadows. Four-wheel tractors, etc. moves among the measured points in the field. Penetrating part consisted of a cone with an apex angle of 30 degrees and base area of 2.0 cm<sup>2</sup>. Penetration rate was 1 cm/sec, with a depth of 45 cm. The instrument worked as designed. The data was all recorded without any problems. Measurement area was limited to the area where vehicles moved, namely the inclination of the area for measurement was less than about 25 degrees. The average time required for one measurement was about 5 minutes, in total. Namely 1.5 minutes in addition to the time required for movement or adjustment of the instrument and sounding of the measured point. This instrument enabled to measure the penetration resistance easily and frequently. The use of this instrument, enabled to draw a contour line map of the penetration resistance to determine the position or spread of the hard pan.

**Key words** : penetration resistance, soil compaction, instrument, sloped meadow, measurement, soil structure