

## ソイルパラメータの自動計測システムに関する研究

### 移動計測用土壌水分センサの開発

井原基安\*・小松 實\*

平成3年5月31日受付

## Study on Automatic Measurement System of Soil Parameter

### Development of Soil Water Content Sensor for Movable Measurement

Motoyasu IHARA\* and Minoru KOMATSU\*

This paper presents the results of a study on a microcomputer-based instrumentation system to measure soil water content. The system was operated by a Hewlett-Packard 9816s microcomputer. The soil water content was measured as electric resistance by a ground-contacted sensor, transformed and output into electric voltage by R-V converter, and finally processed by microcomputer. The developed system is based on real-time processing, and the acquisition results are drawn out as a soil water content map of the measured field. Measured data are recorded with the source wave, and put to use for data analysis by the secondary processing programs.

We have found out that soil water content correlates with electric resistance. It should be efficient to measure soil water content more continuously and closely using the method with a sensor. We intend that this method will be applied to control system of working machines from now on.

#### 緒 言

一般に、農業機械の作業性能・耐久性などの各種の圃場試験では、土壌を対象とする場合が多い。この場合、土の物理的条件である含水比・土壌硬度・単位容積重などの測定を必要とする。従来は、人手によって事前ある

いは事後に任意にサンプリングして測定する部分的な方法であった。この方法では、農業機械の実作動下の、土壌因子の状態に対応した機械諸性能の変動やその因果関係を明確にすることはできない。こうした背景をもとに、これまでに土壌硬度の自動測定やコンピュータによるリアルタイム処理について報じている。<sup>1-4)</sup>

\* 鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

\* *Department of Agricultural Engineering Faculty of Agriculture, Tottori University*

本研究は、特に機械性能に関連深いソイルパラメータである土壌含水比の測定を機械作動に同期して連続計測することを目的とした移動計測用土壌水分センサの開発を目的としている。なお、実用では、播種深さのコントロール用センサとしての利用を予定している。

移動計測土壌水分センサの開発

基礎テストとして、長さ20mm、直径2mmの棒鋼の電極を用い、接地時の電気抵抗値を土壌含水比に換算・処理する実験を行った。このとき、電極間隔を20mmから100mmまで20mmごとに変化させ、電極貫入深さを20mm、50mm、70mmとし、また土の硬さを示す貫入抵抗値も0.038MPa、0.050MPa、0.081MPaに変化させて測定した。

この実験の結果の出力電圧と電気抵抗値の関係を第1図に、電気抵抗値と含水比の関係を第2図に、含水比と出力電圧との関係を第3図に示した。

これらの線図の関係から、第1図の含水比-出力電圧線図の関係式は $Wc=38.5-82.0V_o$ となる(ただし、 $V_o$ : 出力電圧,  $Wc$ : 含水比)。

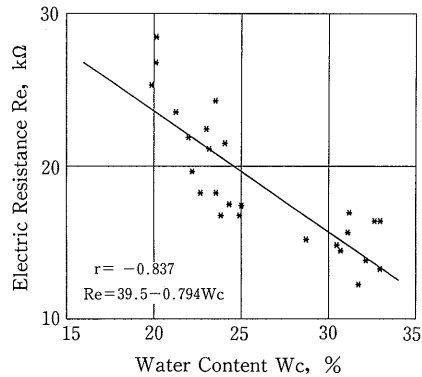
第4図から、電極間隔が広がると電気抵抗値が増大し、電極貫入深さが大きくなると電気抵抗値は減少することがわかった。また、土の硬さを示す貫入抵抗が小さくなると電気抵抗値が増大する傾向を示した。

以上の基礎テストのデータをもとに第5図のような移動計測用土壌水分センサの試作を行った。直径230mm、厚さ3mmでアルミニウム材からなるディスク形電極を持つものである。電極間に円筒形のスペースを入れ、電極間隔は60mm、作用深さを最大40mmに設定した。また、電極の外端20mm間を除いて完全に絶縁コーティングし、スペースにはゴム材を使用している。電極接地の電気抵抗値

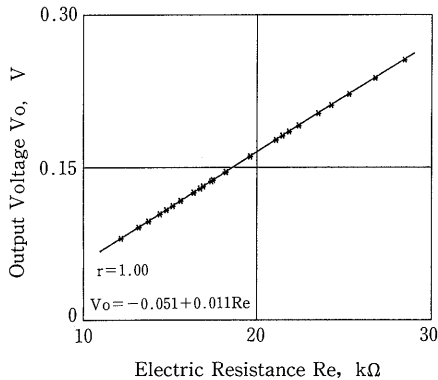
は、スリップリングを介して計測される。

今回開発したシステムは、上記の試作センサを土中に貫入して牽引移動させるときの電極間の土の電気抵抗値をR-Vコンバータによってアナログ電圧に変換・出力し、それを土壌含水比としてコンピュータ処理する測定システムである(第6図)。

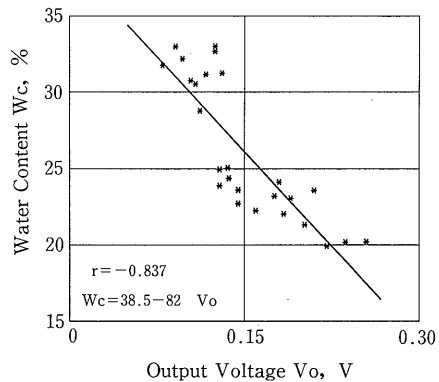
センサ測定の出力電圧値はA-Dコンバータ(32ch, データバッファ16Kデータ, サンプルングスピード $25\mu s$ (40 KHz)~0.82s(1.2Hz), 分解能12bit)を介してテクニカルコンピュータ(PS-9816(01), CPU: モトローラMC6800, クロック周波数8MHz, メモリ容量2.5MB)に取り込まれ、リアルタイム処理がなされる。この結果は即座にプロットされ、素データのプリントアウトと共に各測定レーンごとの平均値がラベリングされる。データレコーダによる同時収集データは、二次処理での測定処理に利用される。



第2図 電気抵抗-土壌含水比線図



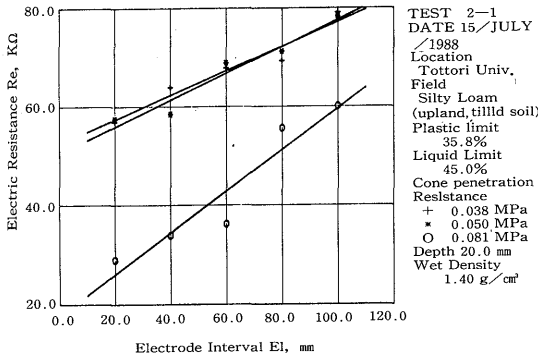
第1図 出力電圧-電気抵抗線図



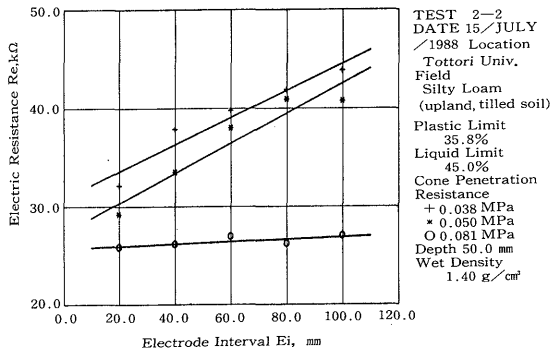
第3図 土壌含水比-出力電圧線図

試作センサの室内実験

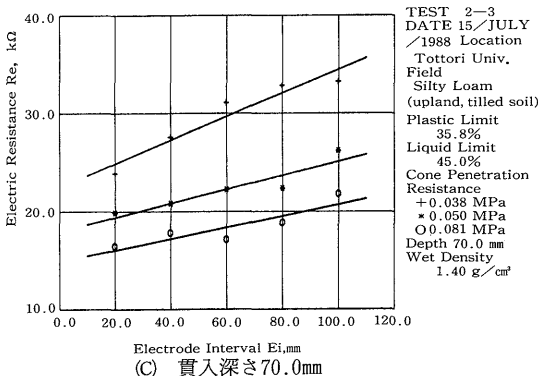
含水比の異なる室内土槽を使用し、試作センサによる静的測定(Static)と動的測定(Dynamic)の土壤含水比、並びに従来の人手による測定(採土法)とを比較する。なお、本報において試作センサによる測定を電気抵抗法、人手による測定を人手測定と表わす。



(A) 貫入深さ20.0mm



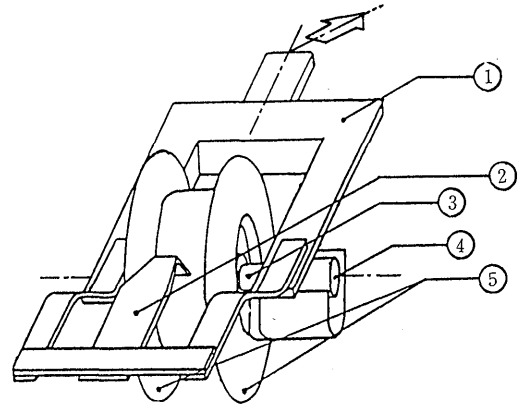
(B) 貫入深さ50.0mm



(C) 貫入深さ70.0mm

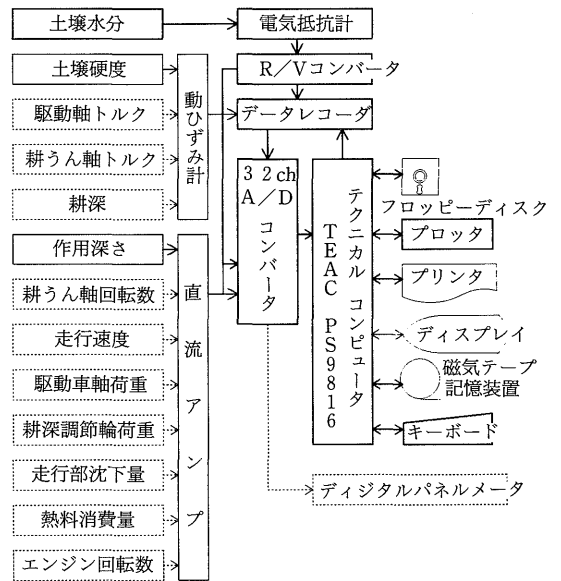
第4図 貫入深さ別の電気抵抗-電極間隔線図

動的測定の場合、土壤水分センサを支持アームを介して4個のキャストを持つ台車に装着し、土槽上のレールに乗せ可変モータで牽引して走行速度を0.082m/s, 0.092m/s, 0.154m/sと変化させ実験した。



- ① フレーム
- ② スクレエパ
- ③ 軸部
- ④ スリップリング
- ⑤ ディスクセンサ

第5図 試作土壤水分センサ



第6図 土壤含水比測定システム

静的測定の時,第7図(A)のように電気抵抗法による土壌含水比は人手測定(ここではSoil Sampling Method)による土壌含水比に比べ少し変動の大きいデータとなっているが,平均含水比の差は0.9%であった。

動的測定の時,走行速度が0.082m/sでは,電気抵抗法による含水比は人手測定に比べ変動は小さく,全体としては高水準値になるが,その線図は類似していた(第7図(B))。それに比べて,走行速度が0.092m/sと0.154m/sの時は人手測定によるそれと比較して,変動は大きい,その平均土壌含水比の差はどちらも0.3%であった(第7図(C), (D))。

人手測定による土壌含水比 $W_m$ と電気抵抗法による静的含水比 $W_{cs}$ ,動的含水比 $W_{cd}$ とを比較したのが第8図である。これは, X軸とY軸を同一スケールにしているのが図上の45°の直線に近いほど高精度と言える。今回の実験では,含水比の測定範囲は狭く25%前後のものであるが,相互間の差は,±5%以内であった。

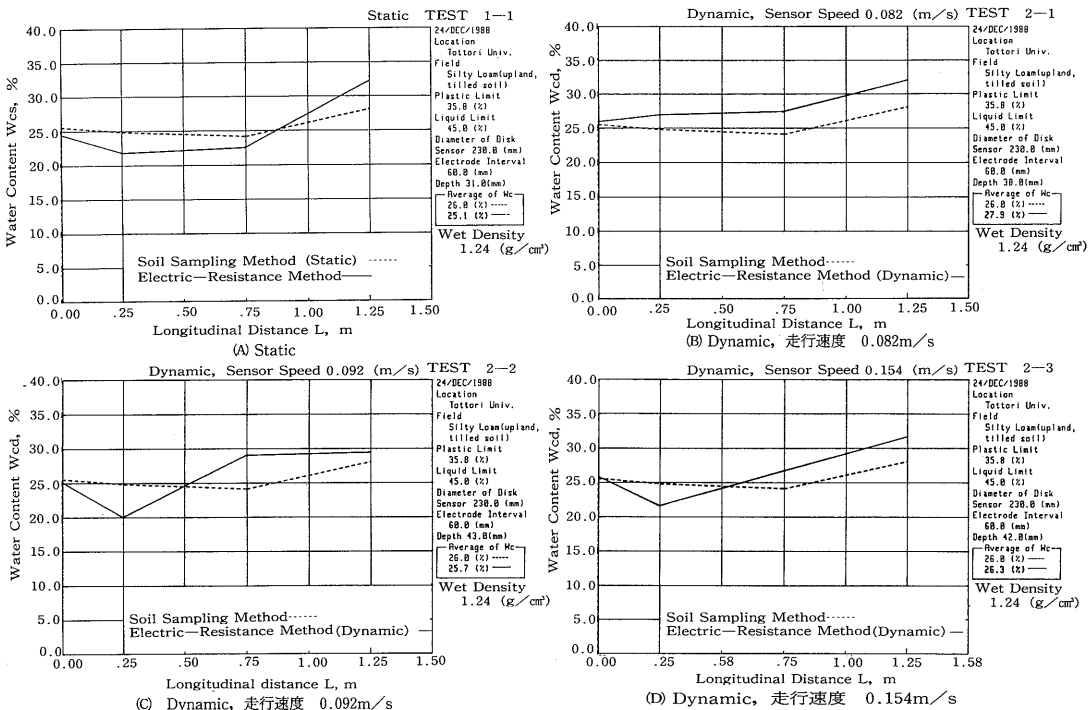
これらの結果から,試作センサによる土壌含水比の高精度な計測と,圃場の機械作動に同期して連続計測するシステムとして実用に供し得る可能性を見いだせた。

### 実用計測システムの概要

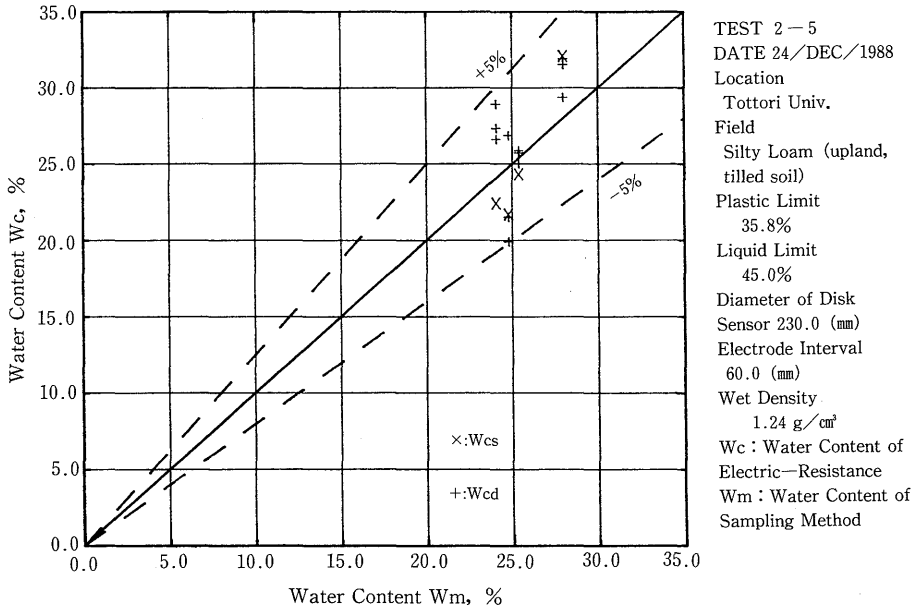
土壌水分測定用センサと既報の土壌硬度測定センサを同一ユニットに構成し,これをトラクタに装着して移動計測する(第9図)。なお,双方のセンサの作用深さも同時に測定する。本計測システムは,最終的には測定圃場の土壌含水比,土壌硬度分布が立体的にマッピングされるとともに素データをプリントアウトし,アナログ波形が収録されるシステムを採用した。

第10図に供試のフローチャートを示した。プログラムが開始され実行モード選択において,土壌水分,土壌水分(立体図),土壌水分と土壌硬度(立体図)及びその他が実験や処理目的に応じて選択でき,圃場や実験条件に対応した測定レーンの設定や部分測定が可能である。

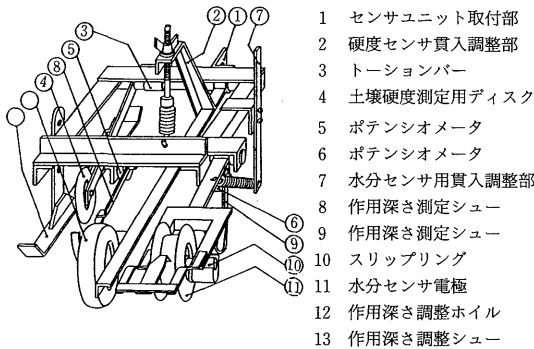
モード選択の後,基礎作図・作表されテスト条件を入力しプリントアウトとラベリングをする。次にプロット条件を入力する。今回,各実験において三つの測定レーンを設けており,また一つの測定レーンにおけるプロット数を30個に設定した。これらの条件入力の後,初期化し,データを取り込む。次に,データを処理し,素デー



第7図 走行速度別の土壌含水比線図



第8図 土壤含水比測定電気抵抗法と採土法の比較線図



第9図 ソイルパラメータ(土壤硬度・土壤含水比)計測装置

タのプリントアウトやプロットをし、30個のプロット回数だけの流れを繰り返す。プロット終了後、リアルタイムを記入し、作図上の測定レーンの移動をし、再びプロットが行われる。レーンの移動が終了すると計測した各因子を平均化し、その値がラベリングされる。最後にデータセーブの有無の後、終了となる。

なお、本フローチャートは、リアルタイム処理と二次処理共用のものである。

圃場計測

測定は、耕うん整地条件の異なる三つの場合について計測実験を行った。

実験1. プラウ+ディスクハロー、整地直後測定

実験2. ロータリ+均平板、整地直後測定

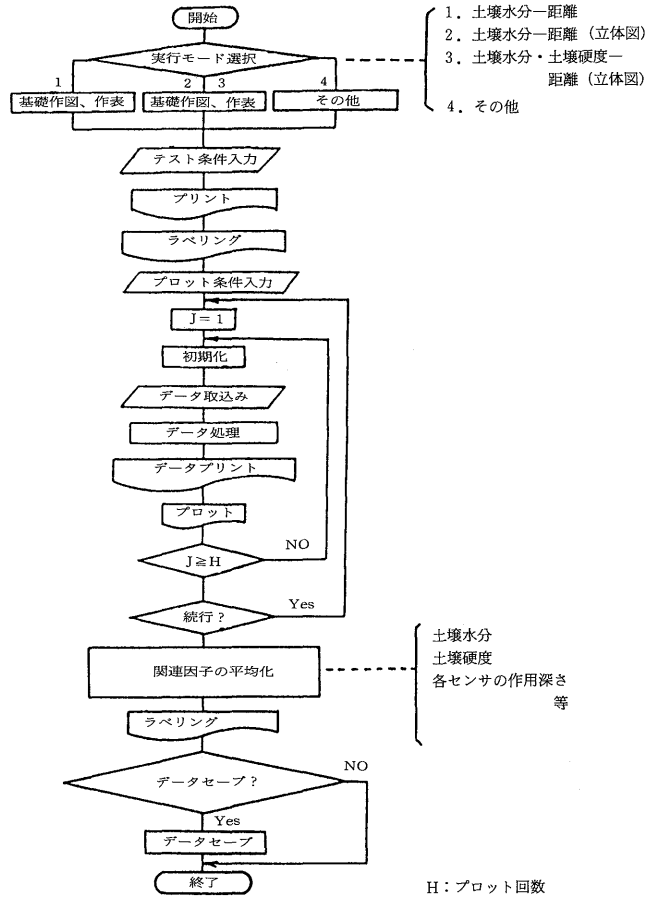
実験3. ロータリ、整地後4時間放置後測定

各実験区での測定走行数は3回で、比較のための人手測定による土壤含水比測定も行った。また、一つの測定レーンにおけるトラクタの計測走行距離を22.5mとしデータ処理を行った。

圃場全体の因子の状態がわかるように主因子である土壤含水比と土壤硬度の測定線図を各実験ごとに第11、12図に示す。これらの図は、縦軸に含水比と硬度を示し、横軸に測定距離を示してあり、実線は土壤含水比、一点鎖線は土壤硬度を表わしている。

実験1(第11図)の土壤含水比は、どの測定レーンの平均値も28%強、土壤硬度も同様に0.11~0.12MPaとレーンごとの差は少ない。実験2(第12図)では、レーンごとの差が含水比と硬度にみられる。

次に、各実験ごとの電気抵抗法と人手測定による含水比の分布の比較を第13図に示した。この図は、縦軸に電気抵抗法による含水比を示し、横軸に人手測定による含



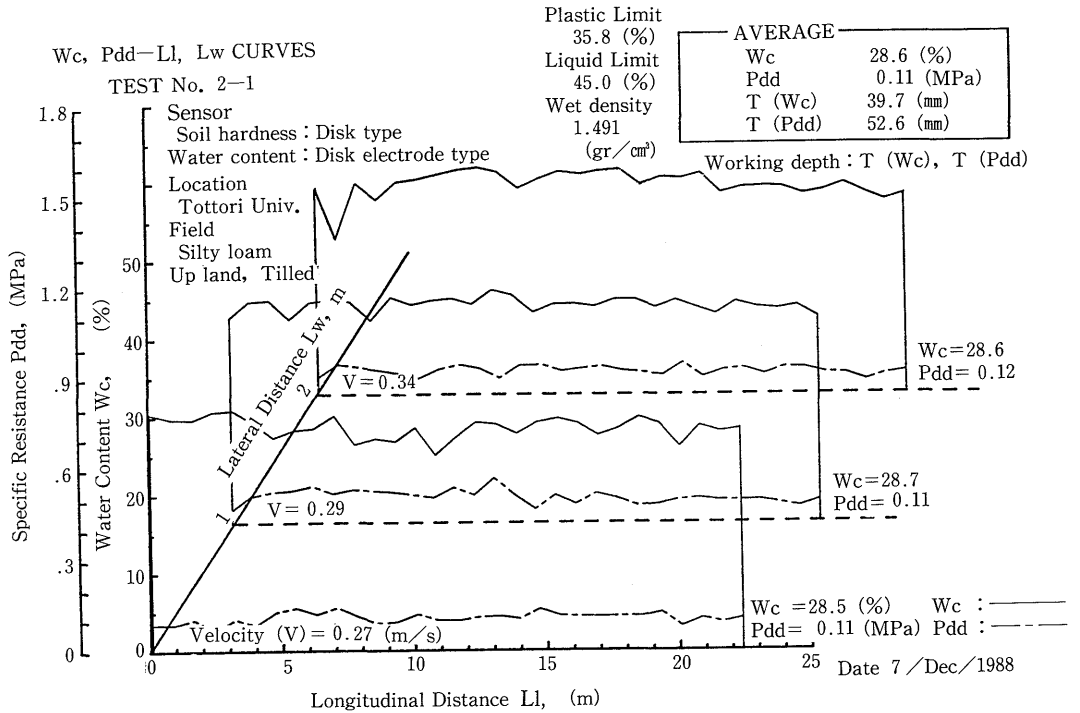
第10図 コンピュータ測定のプロローチャート

水比を示しており、実線は一次回帰線、その回帰線に対して一点鎖線は95%信頼限界を示したものである。なお、第14図は第13図をまとめて表示したものである。実験1 (第13図(A))においては、電気抵抗法と人手測定の含水比の分布がほぼ等しく、その差も大きいところでわずか2%であった。実験2 (第13図(B))においては電気抵抗の変動係数が8.51%で人手測定5.62%に比べ不規則であることがわかる。単位容積重が最も低い1.363g/cm<sup>3</sup>を示していることから締め固めによる影響が伺える。また、実験3 (第13回(C))においては人手測定が26~30%に分布しているのに対して、電気抵抗法では22~26%で4%も低い値を示した。この理由としては、人手測定では5cm以上の下層での平均値であるのに対して、センサは比較的

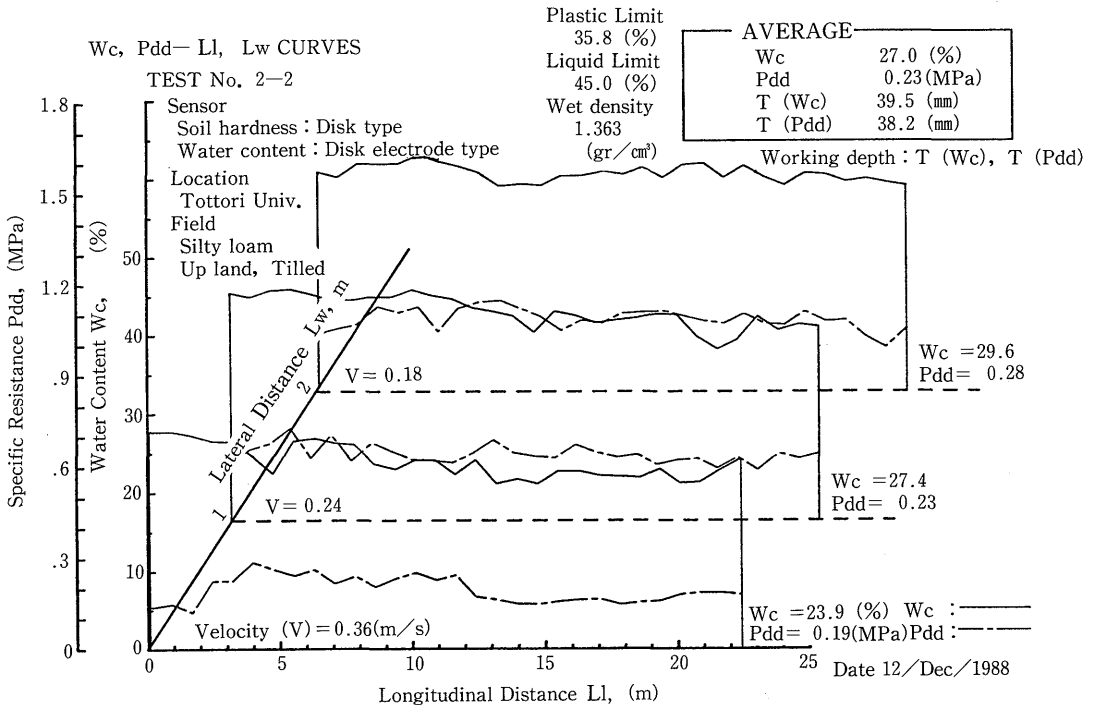
表層の乾燥した土壌を測定したためであると考えられる。第14図より実験1, 2, 3における人手測定での測定値は26~33%である。それに対して電気抵抗法では、23~32%で実験ごとの水準差もみられる。これらは、耕うん整地法と放置時間などの違いによる水分の垂直的分布差によるもので、特に比較的表層の乾燥土を正確に測定した結果と考えられる。

### 摘 要

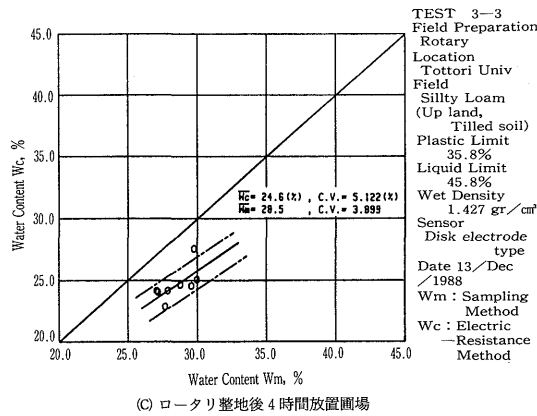
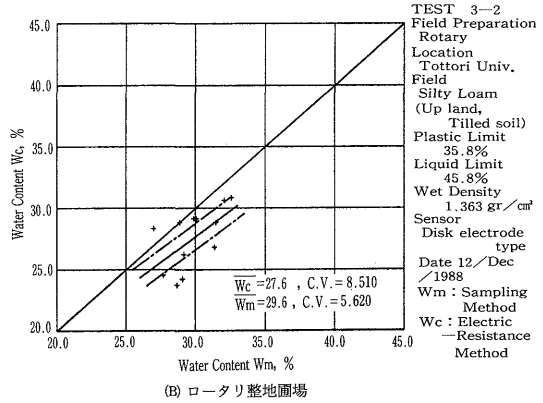
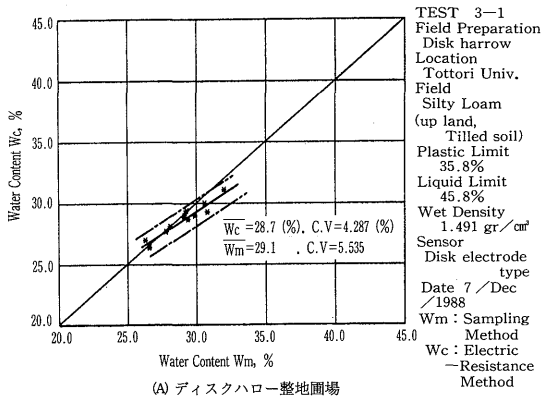
ディスクタイプの移動計測用土壌水分センサを試作した。このセンサによる土壌水分の高度や計測と圃場の機械作動に同期して連続計測するシステムとして実用に供し得る可能性を見出すことができた。また、土壌硬度セ



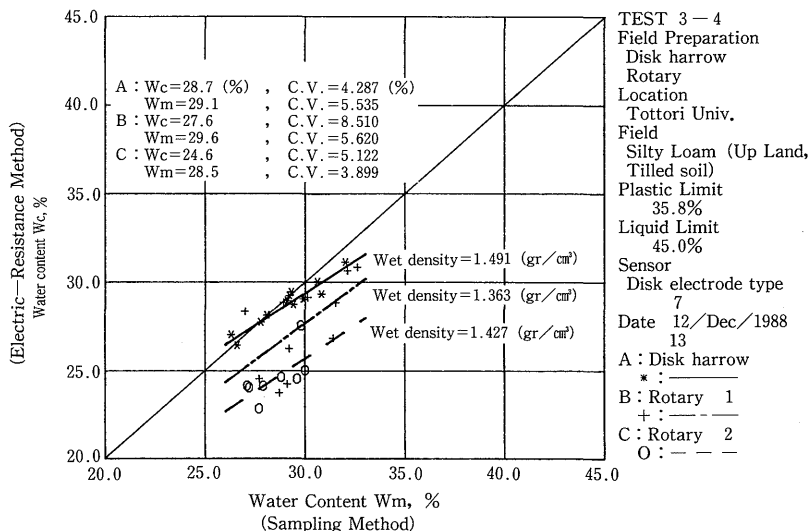
第11図 土壤含水比・土壤硬度線図 (ディスクハロー整地圃場)



第12図 土壤含水比・土壤硬度線図 (ロータリ整地圃場)



第13図 整地方法による圃場の含水比測定線図



第14図 土壤含水比測定の電気抵抗と採土法測定との比較



ンサを併用し、リアルタイムでマッピング化するプログラムを作成して計測実験を行った。土壌水分センサによる測定は従来からの人手測定に比べ細密かつ連続的に測定できる。

今後、播種用機械の制御システムなどに応用する予定である。

終わりに、本研究に協力いただいた当時の専攻学生黒川義一（現、東洋運搬機株式会社）、檜原作二（現、スズキ株式会社）の各氏に謝意を表わす。

#### 文 献

- 1) 小松 實・加藤 昭・坂本 克美：ディスクセンサによるソイルパラメータの自動計測に関する研究。鳥大農研報, 49 39-46 (1988)
- 2) 小松 實・広田 幸人・岡崎 充之：フィールドテストにおけるコンピュータ計測 (第1報)。農業機械学会誌, 48 103-106 (1986)
- 3) 小松 實・岡崎 充之・広田 幸人：フィールドテストにおけるコンピュータ計測 (第2報)。農業機械学会誌, 48 242-246 (1986)
- 4) 小松 實・中尾 浩：フィールドテストにおけるコンピュータ計測 (第3報)。農業機械学会誌, 49 493-496 (1987)