

解 説

負圧センサーを用いた
自記テンシオメーターシステムの試作

谷川 寅彦*1・矢部 勝彦*1・千家 正照*2・西出 勤*2

**Trial Manufacture of Auto-logging Tensiometer System
by the Use of Negative Pressure Sensor**

Torahiko TANIGAWA*, Katsuhiko YABE*, Masateru SENGE*
and Tsutomu NISHIDE*

*1Faculty of Agriculture, University of Osaka Prefecture

*2Faculty of Agriculture, University of Gifu

Key words : negative pressure sensor, tensiometer, data logger of dry battery type, personal computer, interface circuit

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 53-58, 1992)

I. ま え が き

周知のように、一般に土壌水分張力を測定する場合、テンシオメーターが使用される。

テンシオメーターは、水銀マノメーター式、ブルドン管式、動ヒズミ式、などの方法により読み取られている^{1,2,3,4)}。近年、主に自記記録を目的とし、様々な圧力センサを使用して圧力変化を測定する方法が実用化されてきた。これらに使用される圧力センサの内部は一般に圧力変化に対して感圧部の内部容積があまり変化せず、一般によく用いられる水銀マノメーター接続方式のものと比較して土壌テンシオメーター内部間の水の出入りが少なく、反応遅れ時間が小さくなる。したがって、水銀マノメーター式と比較してより高い精度の測定が可能になることが期待される。

このような利点を持つ圧力センサ式のテンシオメーターではあるが、その自記装置は現時点では、比較的高価なものも多く、また、交流電源を必要とする大型の装置になる傾向もある。そこで、著者らは、以下に述べる様な能力を有する自記テンシオメーター装置の開発を試みた。すなわち、①記録機(乾電池式データロガー)を含め、比較的安価に製作・構成が可能、②市販の乾電池の

最小限の使用で長期間連続測定が可能、③記録紙を読み取るなどの労力を省き、パーソナルコンピュータに簡単に測定データを転送でき、データ解析、作図などを容易に行なえる能力を有する、などを開発目標として検討を試みた。そしてこのような自記テンシオメーターシステムを考案・試作した。さらに、このシステムを実際の測定に適用して一応の成果を得ることができた。そこで、このシステムの概要、工夫した点、使用中に気付いた点などについて紹介する。

II. 試作システムの構成^{5,6)}

試作したセンサ式テンシオメーターシステムは写真-1(試作システム全体概要)に示す。

供試した吸引圧(負圧)センサはガス湯沸し器内部の水圧調節に使用されるものである。

また、温度補償回路が内蔵され、さらには、12Vの乾電池で作動が可能、多少の電源電圧低下も補償される。

(日本アレフ㈱, MM-S型, 価格15,000円, あるいは出力特性など若干性能が低下するが安価なALP-35002型, 価格3,500円, 1990年現在)。出力特性は吸引圧の増加に対して、直線的である。吸引圧-出力電圧特性の一例(MM-S型, 20℃)は図-1に示す。

図-1に示すセンサではメーカー保障値で0~500cm H₂Oまで測定可能としている。現在までに行なったこれらのセンサに対する調節およびその性能、供試データロガー(ユニバルス㈱, データロガー L810型, 価格約200,000

*1大阪府立大学農学部 〒591 大阪府堺市百舌鳥梅町4-804

*2岐阜大学農学部 〒501-11 岐阜県岐阜市柳戸1-1

キーワード: 負圧センサ, テンシオメーター, 乾電池式データロガー, パーソナルコンピュータ, インターフェイス回路

円 (1990年現在) の組合せで、テンシオメーター内部のセンサ取り付け位置における値で各々700cm H₂O 程度まで測定が可能であることを確認している。ただし、ALP-35002型においては高吸引圧時の空気もれを防止するため、エポキシ系接着剤でシール加工を施して使用する。センサの作動用の電源、出力の構成は GND (共通), +12V 電源, +出力電圧の 3 線である。なお、出力電圧が比較的大きいのでノイズの影響は受けにくいと考える。センサ式テンシオメーター、データロガー、さらにはセンサとロガー間に組み込みが必要な試作インターフェイス回路 (材料費概算3,000円程度, (1990年現在)) とそれを含む全体の結線を図-2に、データロガー本体の入出力コネクタ (37ピンタイプ) の各ピン機能割り付けを表-1に示す。

まず、供試したデータロガーは内部構成からみるとコンピュータといえるものであり、チャンネル数、測定開始時間、測定時間間隔など様々な組合せがプログラムでき、それに従った測定が実行可能な型式である。また、入力端子は、アナログ入力 ($\pm 10V$ 仕様) を 8ch もっており、直流電圧として測定され、データは内部メモリに格納される。8ch 全部を使用した場合、1時間に1回程度の測定であれば数ヵ月間連続測定が可能である。したがって、数ヵ月の測定期間において8本までのテンシオメーターが接続可能である。最大8本のテンシオメーターに取り付けた各々のセンサの信号出力線をそれぞれアナログ入力端子の 1ch ~ 8ch (ピン5~12) に接続し、センサの GND 線はピン24~31あるいは33に接続する。これは GND がデータロガー内部で共通であるため可能である。さらに、+12V の電源線をピン14に接続する。ここで、ピン14は本インターフェイス回路の12V出力端子に相当する。また、1回のデータ測定時、図-2に示すようにデータロガー内部ではマルチプレクサによってアナログ入力の各 ch を切換えながら、各チャンネルの入力電圧を順次、増幅し A/D 変換、さらに内部メモリに

格納を行っている。次に、センサ用12V電源回路については以下の様な節電のための工夫をした。この理由は供試センサの作動時には1個あたり、12V - 7mA (MM-S型)、9mA (ALP-35002型) 程度の電力を消費するためである。この消費電力は少ないように思えるものの、試験的に、単1乾電池の直列12V電源に対し、6個並列にセンサ (MM-S型) を接続したところ約1週間程度で10V程度までに電池が消耗する消費電力量であった。

ただし、この場合、センサ自体は常時電圧をかけ、連続作動させていても特に信頼性に問題はなかった。このため、長期間の観測に使用する場合には、センサの消費電力量に対して十分な容量をもつ電源の採用、あるいは、なんらかの節電対策が必要になることは明白である。ここで長期間の定時観測への適用を考えた場合、各測定時刻時以外の待ち時間にはセンサへの電力供給は不要である。そこで、データロガー内部電源とは別にセンサ専用外部12V電源を用意し、その外部電源 on-off 回路に節電の工夫を加えた。外部電源とした理由としては、データロガー本体から直接12Vの電源が確保できないからである。加えて、仮に最大電流が40mAである5V同期電源出力を昇圧して使用することが出来ても、数個のセンサに対しては十分な電力量を確保できない。また、この場合、回路が複雑になる。さらに、データロガーの内蔵電源 (単3電池直列9V) を外部の機器に対して多く利用すると内部電源が消耗し、データロガーの動作に支障を生ずる可能性が高くなるなどがあげられる。このセンサ専用電源の on, off は5V同期電源出力 (ピン35) を利用して、それに DC 5V - 約40mA で作動するリレーを接続して行った。このピン35は図-2に示す供試データロガーの、電源 on, off のメインスイッチ、ロギング (測定) スタート指令用のスイッチの位置により動作が異なる。メインスイッチが off の時には、内部のデータ保持以外の全機能は停止する。したがって、以下は、メインスイッチ on の場合についての説明である。ただし、データロガー自体の電源自動 off 機能、プログラム設定方法等の詳細については繁雑を避けるため説明を省略する。



写真-1

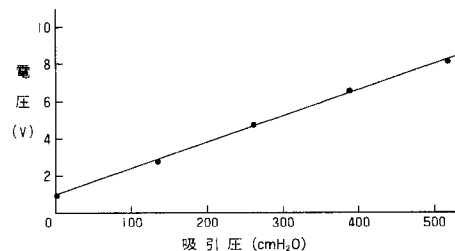


図-1 供試センサーの吸引圧-電圧特性一例

解説：負圧センサを用いた自記テンシオメーターシステムの試作

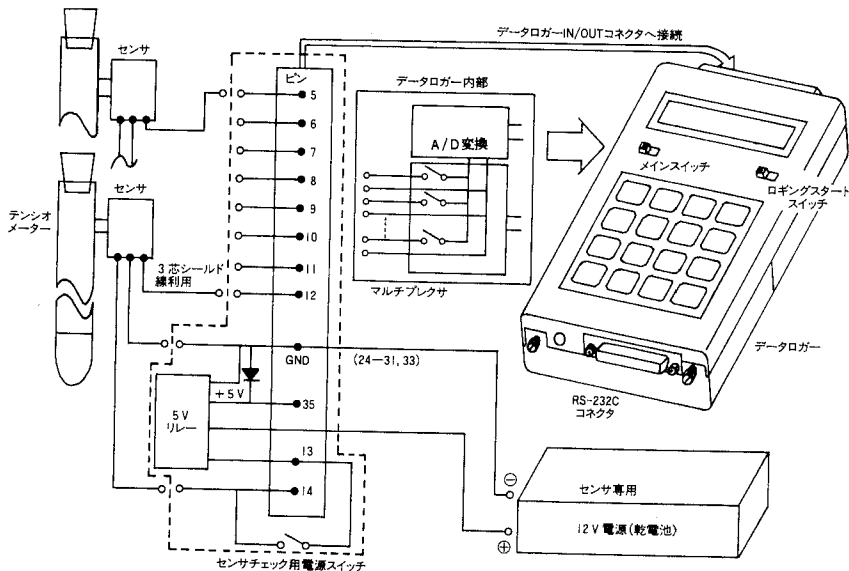


図-2 インタフェイス回路、結線等の概略 (破線内は試作したインタフェイス回路)

表-1 データーロガー入出力コネクタ (37ピンタイプ) 機能割り付け表

ピン番号	シグナル	ピン番号	シグナル
5	ANALOG 1 ch	24	GND (ANALOG 1 ch)
6	" 2 ch	25	" 2 ch
7	" 3 ch	26	" 3 ch
8	" 4 ch	27	" 4 ch
9	" 5 ch	28	" 5 ch
10	" 6 ch	29	" 6 ch
11	" 7 ch	30	" 7 ch
12	" 8 ch	31	" 8 ch
13	STOP RELAY (NC)	33	GND
14	" (COM)	35	+ 5 V 出力

※ 5～12は最大10V仕様

※13, 14間において測定期間常時接 (Normally Close, COMMON 間) 異常時, 測定終了時, スタンバイ時 (電源入, 測定未スタート時) 断

※24～31, 33はデーターロガー内部で共通

※35はデーターロガーコントロール信号 (TTL レベル) に同期した電源出力

5 V同期電源出力 (ピン35) はロギングスタートスイッチが off (プログラム時などが相当) で5 Vの電源電圧を連続に発生する。

したがって, ピン35と GNDに接続されたりリレーは作動し, センサに12V電圧を供給可能とする。電源回路に組込む保安用回路については後述する。次に, ロギングスタートスイッチを onとして測定を開始する場合には, このピン35の5 V電源出力は0 Vとなり, リレーが切れ, センサ電源の接続が断たれ, 節電される。その後, プロ

グラムで定めた測定時刻が来た場合にのみ1秒強の時間, 5 Vの電圧を発生する。したがって, リレーは測定時刻にだけ作動し, センサと12V電源を接続し電力を供給する。たとえば, 1時間に1度の定時の測定を例にとれば, このセンサ専用12V電源は1日あたり1分弱使用されるだけであり, 数ヵ月程度の測定に対しても消費電力量は問題にならない。測定時刻前後の動作をより詳しく述べると, データーロガーが待機している状態から測定時刻直前になると, ①5 V同期電源が電圧を発生 (ピン35が0

Vから5Vに)→②リレー作動→③センサ専用12V電源がonに→センサに12Vの電圧がかかった状態で約0.1~0.2秒経過→④I_{ch}~8chを測定→⑤5V同期電源出力が切れ0Vに(ピン35)→⑥リレーが切れる→⑦センサ専用12Vが電源がoffに→⑧待機状態に戻る, ……繰り返し, という制御である。センサは③~④間のわずかな時間間隔でも十分に立ち上がり, 正常な動作が可能である。参考までにセンサ立ち上がり特性について単純な試験を行った。連続通電時とリレー利用の節電時について出力電圧をほぼ同条件(MM-S型, 吸引圧約500cm H₂O, 26°C, 測定繰り返し回数15回, 測定間隔1分)で比較したところ, 連続通電時, 7.767±0.010V, リレー使用時, 7.777±0.010V程度であり, この結果から判断して, 実用上問題はないと考えている。なお, ALP-35002型についても平均値で差異が0.010~0.020V程度と若干大きい程度であった。最後に, ピン13, 14間は保安用の回路であり, ロギングスタートスイッチがon, すなわち, 測定期間中は, 閉じており12V電源のon, offには全く影響しない。それ以外の場合, 例えばロギングスタートスイッチがoffのとき, すなわち, データロガーにプログラムを入力しているときなどの測定準備をしているとき, あるいは, データロガー異常状態などでは回路が開く。これは保安上の対策であるが, 測定準備中などではピン13, 14間が開いているため, 前述のリレー回路が作動していてもセンサに電力が供給されない不都合が生じてしまう。このような場合, センサに電圧12Vを与え, チェックしたい場合に備え, ピン13, 14間をまたがる形で電力供給用のスイッチを設けている。このスイッチを利用することによりセンサのチェックが可能になる。

最後に, リレー回路のピン35とGNDの間にダイオードを逆方向, 並列に挿入した理由は, リレー作動時の逆起電力を吸収させ, データロガーに対する安全性を高めるためである。

Ⅲ. 使い方の手順, 設置, 記録, データの回収法について

現地での設置に先立ち, テンシオメーターの水密性, 電源などの動作については確認することが望ましい。ここでは, 参考までに, 設置, 測定手順の概略を述べる。

図-3に示す手順は設置場所の状況に応じ, 多少前後しても構わないが, 先ず, テンシオメーターの埋設, 注水を行う。次に, テンシオメーターのセンサ, データロガー間の結線を行う。この場合, 著者らは外径4mmの3芯シールド線をセンサと試作インターフェイス回路間に使用している。シールドはGNDに接続しており, この

電力, 電圧データ, GNDの3芯シールド線は著者らが使用している長さ(5m程度)では電圧低下などについてほとんど問題が生じていない。しかし, テンシオメーターのセンサは, 露地だけでなくビニルハウス内も含め, 降雨, 灌水, 結露などにより非常に湿りやすい状態にある。

したがって, この3芯シールド線とセンサ間のハンダ付け部分, センサ全体はビニル袋, テープなど適当な素材で十分に防水する必要がある。これを怠り, 水分が侵入した場合, 配線間の絶縁不良, あるいは断線, さらにはセンサの故障の原因にもなる。

以上の作業が終了した後にデータロガーへプログラムを入力する。供試したデータロガー自体は幾通りかのデータ記録方式を選択(プログラム)可能なものであるが, ここでは定時刻開始, 定時観測の手順について紹介する。

測定開始時刻, 測定時間の間隔などをプログラム入力する方法は2つある。第1は, データロガーのキーボードから入力する方法であり, 第2はパーソナルコンピュータとデータロガー本体をRS-232Cケーブルにより接続, プログラムをパーソナルコンピュータから転送する方法である。これらの方法でプログラムを入力し, プログラム内容のチェックを行うとともに, 本システムを試験的に定時観測させてリレー回路などがうまく作動しているかなどをチェックする。その後, ロギングスタート

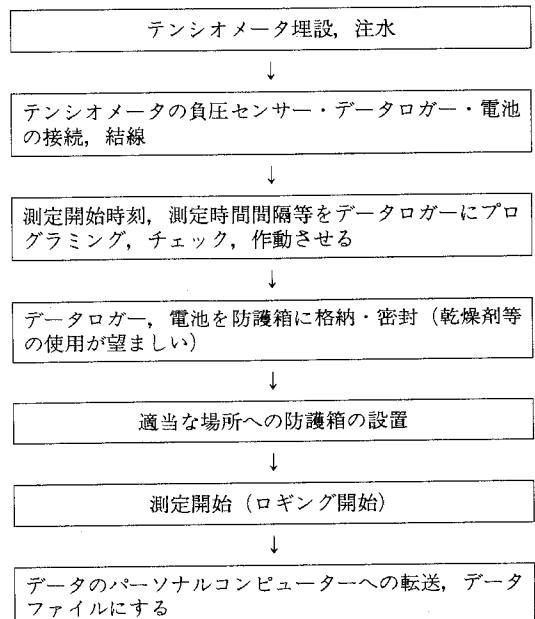


図-3 自記テンシオメータ設置, 測定手順の概略

解説：負圧センサを用いた自記テンシオメーターシステムの試作

スイッチを on にし、測定をスタートさせ、防護箱への格納を行う。なお、データロガーを常にパーソナルコンピュータと接続し、リモートコントロール的に複雑な計測手順指令をデータロガーに対して与え、制御することも可能である。この場合、接続するパーソナルコンピュータの電源確保、価格など本システムのメリットを損い兼ねない問題があり、ここではふれないで置く。また、使用したデータロガー自体は精密な電子機器であり、防水構造になっていないため、防護箱が太陽光線よけ、降雨など水の浸入、ごみ、虫の侵入防止のために必要である。

また、内部には湿気を防ぐため乾燥剤の使用が望ましい。ロギングスタートスイッチを入れた後、プログラムで指定された測定開始時刻が来ると、自動的に土壤負圧（吸引圧）の測定が開始され、以後、定められた時間間隔で測定が継続される。この場合、測定期間中のテンシオメーターに対する水の補充は必要不可欠のことであるが、データ自体はデータロガーに与えられたプログラムに従って、自動的に内部に格納されてゆく。その後、適当な時期にデータロガーに格納されているデータをパーソナルコンピュータに転送し、データファイルを作成する。

次に、測定終了後、あるいは測定期間中にデータロガーからデータを回収する方法の概略を図-4に示す。上段①は測定期間途中で携帯型パーソナルコンピュータを利用して、データを回収、装置を再セットして測定を継続させる方法である。下段②は装置一式を回収後、持ち帰り、パーソナルコンピュータにデータを転送する方法である。この2つの方法はデータロガーの記憶容量なども考え合わせ適当に使い分けることが望ましい。さらに、この様に転送されたデータファイル（各 ch 毎電圧デー

タ）からは図-5に示すような手順でパーソナルコンピュータの環境でテンシオメーターの吸引圧（負圧）→電圧データ記録をマトリックポテンシャルに再変換、解析などを行う。具体的には、著者らはこれらの作業をデータロガー添付ユーティリティプログラムと自作プログラムによる処理を併用して行っている。最後に、本システムを適用した場合の観測結果の一例（1ヵ月間の例）を図-6に示す。この結果は露地畑（メロン栽培）で深さ方向に6点、テンシオメーターを埋設し、自記記録した例（pF 値表示）であり、1990年6月に観測した結果である。この結果では5~25cmまでの深さでは全体的に乾燥傾向を示している。なお、供試センサはMM-S型である。この結果をみると、本システムが当初目的とした性能をある程度達成していることがわかる。

IV. あとがき

本自記テンシオメーター装置は試作品ではあるが、露

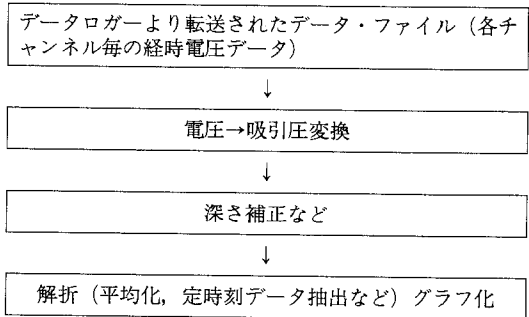


図-5 計測データの処理の流れ概要

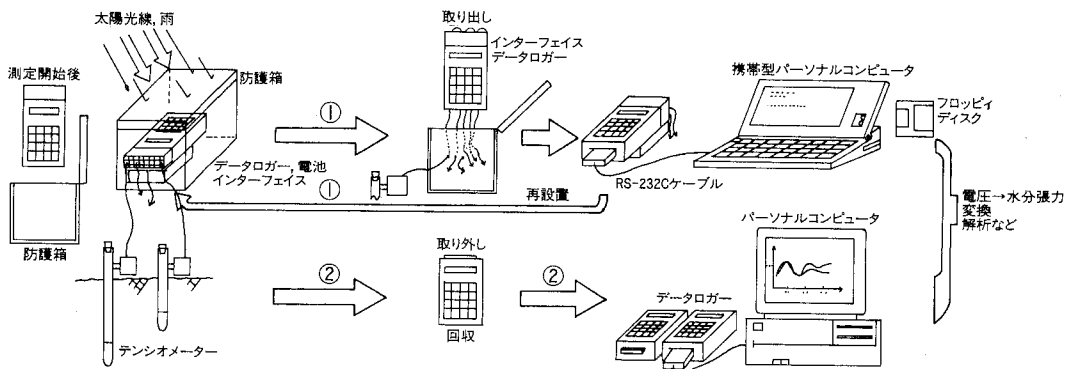
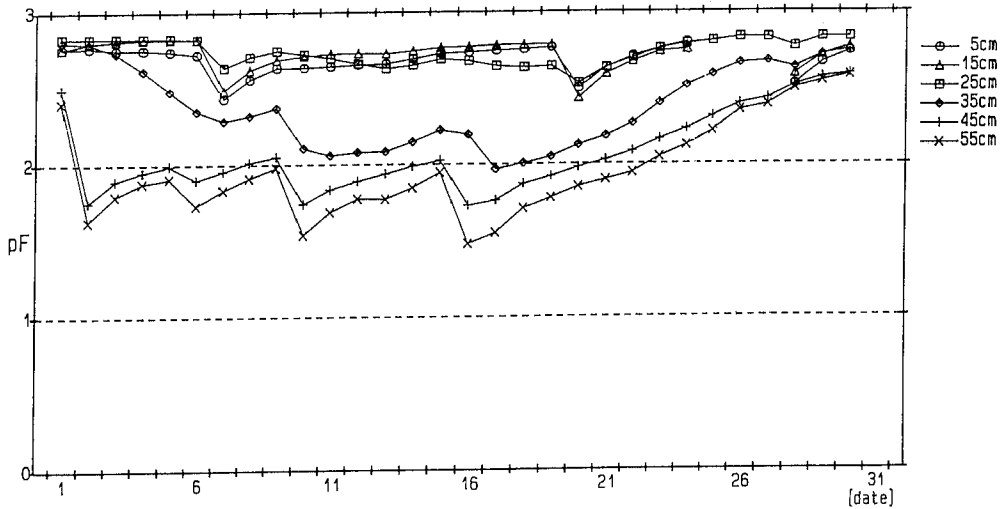


図-4 データ回収法の概略



図一六 自記テンシオメーターによる測定結果の一例 (pF値表示)

地栽培試験での測定にこれまで2期(春→夏, 秋→冬)に数セット使用されてある程度の成果をあげている。しかし、現在はテンシオメーターのセンサとロガー間の3芯シールド線はネジ式で接続しているため、現地での接続の容易さを考えたプラグジョイント化、圧力センサの出力電圧調節の必要など、未だ、不十分な部分があり今後改良すべき点であるといえる。今後、本装置をより実用的で精度の高いものに改良していこうと考えている。

最後に、比較的安価なALP-35002型センサについては実際の測定に適用し、長期自記記録に成功しているので、今後、発表の機会が得られれば、工夫した点など詳細な点を含め報告したいと考えている。

引用文献

1) 西出 勤, 瀬戸隆一, 高橋輝雄: 動ヒズミ式土壌水分

計の測定原理—土壌水分検出による畑地カンガイの自動化に関する研究(I)—, 農土論集50号, pp.9~14(1974)

2) 西出 勤: 動ヒズミ式土壌水分計の性能—土壌水分検出による畑地カンガイの自動化に関する研究(II)—, 農土論集54号, pp.11~16(1974)

3) 西出 勤: 浸潤による土層内の水分ポテンシャル—土壌水分検出による畑地カンガイの自動化に関する研究(III)—, 農土論集55号, pp.15~21(1975)

4) 矢部勝彦: 土壌水分の測定法, 土壌の物理性 No. 41, pp.90~94(1980)

5) 矢部勝彦他: 露地畑および施設栽培における水消費と必要水量—豊川用水地区における畑地灌漑用水の需要の動向—調査報告書, 畑地農業振興会, pp.1~40(1991)

6) ユニパルス株式会社: U LOGGER L810取り扱い説明書 Rev. 2.03-03, pp.1~59(1990)

(受理年月日1991年4月2日)