

# 水マノメータを用いた静電容量式 テンシオメータについて

An Automatic Tensiometer with Water Manometer  
Using Changes of Electrostatic Capacitance

佐倉 保夫\*・谷口 真人\*\*・古藤田一雄\*\*\*

## I はじめに

地表面から地下水面に至るいわゆる不飽和土壌中の水の挙動を調べる方法として、土壌水のエネルギー状態すなわち毛管力によって生ずるマトリックサクシヨンの大小をテンシオメータで測定することが、広く行なわれている。従来は、マトリックサクシオンと水分量との関係、いわゆる土壌の水分特性曲線が互いに一価の関係であるとして、水分量を測定する目的でテンシオメータが使用されてきた。しかし、この関係には、ヒステリシス現象のあること、そしてスキニングカーブを描くことなどが明らかになされたため、現在では、水分量の測定法としてではなく直接的に土壌水の圧力状態を知る方法として広く用いられている。

テンシオメータは、土壌中に埋設したポーラスカップと圧力計とをビニール管により気密に接続させ、水で満たし、ポーラスカップの外側を通じて、土壌水とビニール管内の水を連続させた上で、土壌水の圧力と平衡したマノメータの指示値から、マトリックサクシオンを読み取る装置である。近年、土壌水の動的な挙動が注目されるに至り、テンシオメータの各種の自記方法が開発されてきた。本報では、静電容量方式の水マノメータを用いたテンシオメータの概要を紹介する。

## II 水マノメータによる方法

テンシオメータの自記方法としては、土壌水の

圧力をポーラスカップを介して直接的に電気変換させる方法と、マノメータに接続させてマノメータの液柱の変位を電気的にとらえる方法がある。前者の圧力変換型テンシオメータの種類と性能および問題点については、西出・加藤(1981)による詳細な報告があるが、概して性能の良い装置は高価である。一方、後者では、光電管とサーボモータによりマノメータの水銀の昇降を追跡する方法や、水銀の昇降によって生ずる電気抵抗とか静電容量の変化を測定する方法がある。しかし、製作費が安価でしかも精度が良く、製作が比較的簡単であることから、本報では静電容量方式の水マノメータを採用した。

水銀マノメータの場合には、Thony and Vachaud(1980)が、ガラス製のマノメータ内の水銀とマノメータの外側にコーティングしたインジウムの酸化物との間でコンデンサーを形成させる方法を開発した。しかし、水銀レベルの変化に対応した静電容量の変化量が数pF/cmと少ないのと、マノメータの外側へ金属酸化物のコーティングが難かしいため、田中・佐藤(1981)は、マノメータ内の水銀とマノメータ中央に張ったエナメル線でコンデンサーを形成させる方法を考案した。この方法によると静電容量の変化量は、数10pF/cmと前者のおよそ10倍となる。技術的にはエナメル線を中央に張ることに注意する必要があるが、前者より分解能も大きく、製作も容易である点で秀れているといえる。以下に同軸円筒状のコンデン

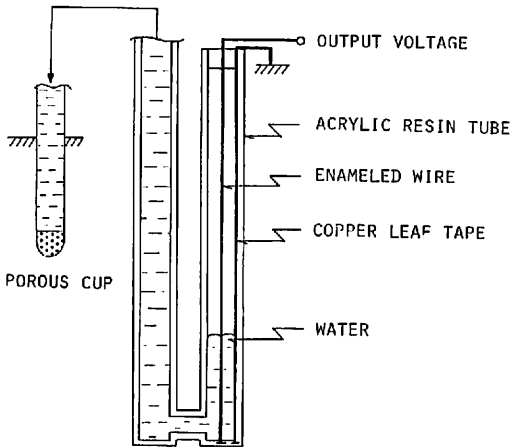
\* 千葉大学理学部地学教室 \*\* 筑波大学・院・地球科学 \*\*\* 筑波大学水理実験センター (1982年5月8日受理)

サーの単位長さ当りの静電容量 $C$ を求める式を示す。

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{a_2}{a_1}} - \frac{2\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon_s}{\ln \frac{a_2}{a_1}} \quad (F/m) \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon_0$ 、 $\epsilon$ 、 $\epsilon_s$  はそれぞれ、真空の誘電率 ( $8.86 \times 10^{-12}$  F/m)、電極間物質の誘電率、同じく比誘電率で、 $a_1$ 、 $a_2$  は、エナメル線の心線および誘電体 (心線+エナメル被覆) の半径である。

コラムによる室内浸透実験を行う場合には、水マノメータを使用すると、水銀と比べて比

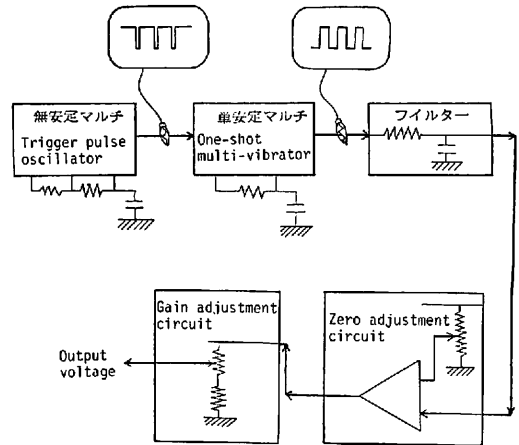


第1図 静電容量式水マノメータ

重が13.6分の1であることから、圧力の微小な変化を測定することが可能となり、実験精度の向上がはかれる。ところが、毛細管中の水の電気抵抗は大きく、水銀と同様な電極を想定することは困難である。そこで、第1図に示すようにマノメータの内壁に電子回路基板に用いる銅箔テープ (厚さ35 $\mu$ 、幅1.0mm) を張りつけ、毛細管中の水を導体化して電極を形成させる方法を新たに考案した。この方法により、水マノメータも水銀の場合と同様な自記化が可能となった。

### III 静電容量測定の実理

静電容量変化を利用した測器は、すでに水位計とか波高計あるいは水分量測定器等として、各方面で実用化されている。本装置は第2図に示され



第2図 静電容量測定の実理

るように、発振周波数を設定した無安定マルチバイブレータの出力をトリガーとして、未知静電容量 $C$ に従ってパルス幅が決まる単安定マルチバイブレータによって構成される。回路は、第3図に示したとおりであるが、トリガーパルスの発振と単安定動作のためのICとして555のデュアルタイプである556を使用した。フェアチャイルドジャパン株式会社 (1980) によれば、このICは安価なわりには、発振周波数の電源電圧変化に対するドリフトが0.1%/V、温度ドリフトが50ppm/ $^{\circ}$ Cと小さいという特徴を持っており、556で構成した無安定マルチによる発振周波数は、次式で決まる。

$$f = \frac{1.44}{(R1+2R2)C1} \quad (2)$$

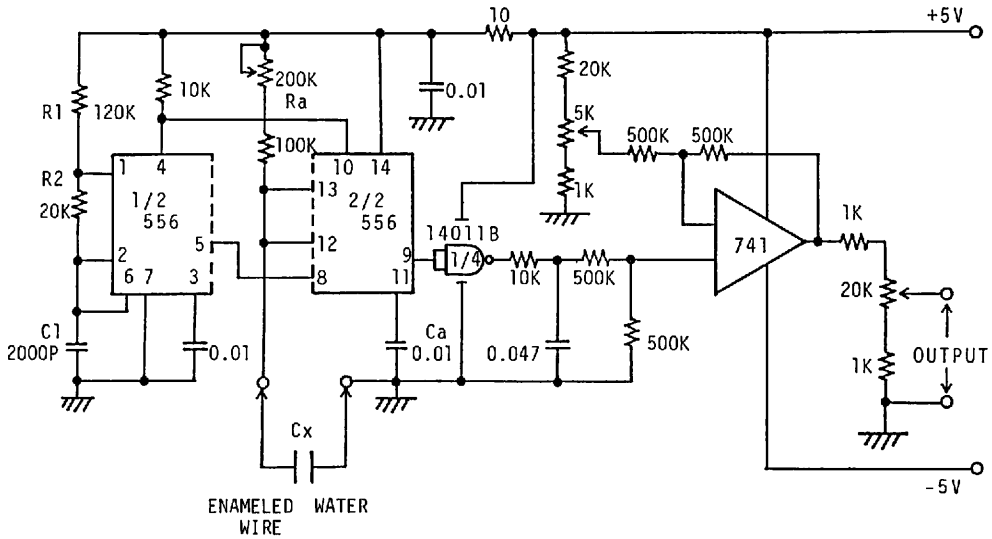
ここで、 $R1$ 、 $R2$ 、 $C1$ は、第3図に示す外付けの抵抗値およびコンデンサーの容量である。また、単安定動作で出力がHIGHになる時間間隔 $t$ は、次式で決まる。

$$t = 1.1 \times R_a C_a \quad (3)$$

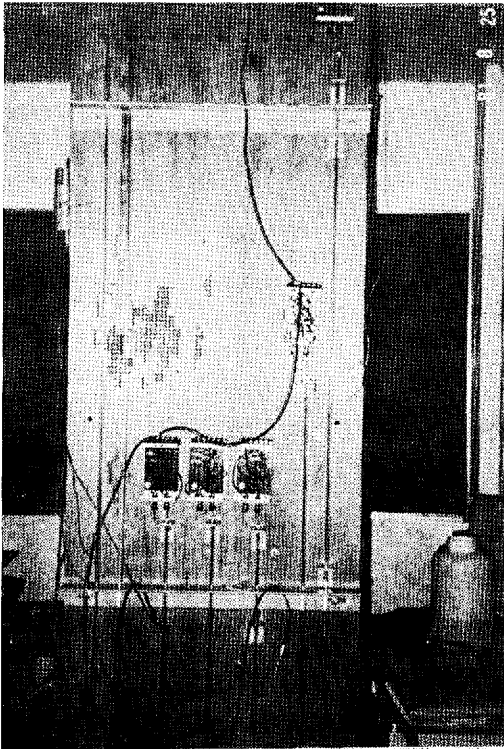
なお、 $R_a$ 、 $C_a$ も第3図を参照のこと。

### IV おわりに

以上の原理により製作した水マノメータとC/V変換器の設置の様子を第4図に示す。この静電容



第3図 水測定器の回路（佐藤朗（1981）原図を修正）



第4図 水マンノメータとC/V変換器の設置の様子

量式水マンノメータは、テンシオメータに於ける圧力水頭の測定の精度を向上させることができたが、毛

細管の内壁に銅箔テープを折れ曲がらないように張り付けること、そして毛細管の中央にエナメル線を張ることなど、水マンノメータのメニスカスをうまく処理する上で技術的に難しい問題が残る。

本装置による自記テンシオメータの測定誤差は、水位の全測定領域に対しては1%程度であったが、ある測定値の周りの変動に対しては0.5mm以下の変位の検出も充分可能であった。なお、本装置の電気回路の製作費は、1台当り数千円程度である。

終りに、本装置を作成するに当り御指導いただいた佐藤 朗氏（興和地下建設）、筑波大・水理実験センターの泉耕二氏に感謝いたします。

#### 文 献

Thony, J. L. and Vachaud, G. (1980) ; Automatic measurement of soil-water pressure using a capacitance manometer. *J. Hydrol.*, 46, 189-196.

西出勲・伊藤和己（1981）：圧力変換型テンシオメータの問題点と現場測定法について、*土壌の物理性*, 43, 21-28.

佐藤朗（1981）：容量式自記テンシオメータおよび容量式水分計の試作とそれらの野外への適用、筑

波大・自然科学類卒業論文（未発表）.  
田中正・佐藤朗（1981）：静電容量式自記テンソメ  
ーターについて. 農業土木学会講演要旨.

フェアチャイルドジャパン株式会社（1980）：「リニ  
アオペアンプデータブック」, 誠文堂新光社.