

# 携帯用土壌物理性測定器の構造

美 園 繁\*

A New Poatable Apparatus for Measurements of Soil physical Properties

Shigeru MISONO

Taiyo Consultants Co., Ltd.

## 1 はじめに

筆者は、1978年から農業に係るコンサルタンツ業務にたずさわり、たびたび国内外の農業開発地域の土壌調査に参加してきた。そのたびごとに現場で使える携帯用の土壌物理性測定器の必要を感じてきた。1980年12月から試作をはじめ、1981年11月にはほぼ完成することができた。本報はその構造と機能について述べる。

土壌物理性の測定および表示に容積法の適用が大切であり、容積法の中では実容積法がすぐれた方法であることについては、これまでも再三報告してきたところであり<sup>5,7)</sup>、実容積測定装置の導入もこのような考え方に基づくものであった。<sup>1,2)</sup>

実容積の測定にはボイルの法則が利用されているが、実際の測定器を組みたてていくときの原理的な考え方には、既に報告したように<sup>4)</sup>、単一空気系を利用する方法（単子型とよぶ）と二空気系を利用する方法（双子型とよぶ）とがある。実容積測定装置<sup>1,2)</sup>は二空気系を利用する双子型測定器の一種である。

## 2 携帯用土壌物理性測定器の構造

このたび試作のおわった測定器は、全容積100ccの土壌試料を用いて、全重量Wを測定する部分、実容積Vを測定する部分および固相率 $S_v$ を求めるための数表の三部で構成されている。

全容積100ccの試料を使用することは圃場状態における土壌物理性を現場で測定しようとするとき、とくにすぐれているからである。

全重量を測定する部分は、本器が現場用・携帯用を目指していることを考え、また安定性を重視して、復秤式・無錘式上皿付秤秤を利用した。測定範囲は0~350gである。上秤と下秤の二秤よりなる復秤式で、下秤は0~300gの範囲を50gごとに設定され、上秤は0~50gの範囲を0.5gごとの目盛りなきぎざまれている。

実容積を測定する部分は、単一空気系を利用する単子型測定器である。測定操作には圧縮過程の利用が採り入れられ膨脹過程の利用はなされていない。圧縮操作のためのシリンダーの内径は40mm、圧縮圧力の表示と測定には0~1 kg/cm<sup>2</sup>の範囲を0.01kg/cm<sup>2</sup>ごとに目盛りした圧力計を利用している。測定操作中のピストンの位置は、0~50mmの範囲を0.01mmごとに目盛りしたストロークゲージ（ダイヤルゲージ）で測定できるようになっている。

固相率を求めるための数表は、全重量と実容積との差および真比重の値を知って、それに対応する固相率を読みとれるように作られている。すなわち（1）式の内容を数表にしたものである。

$$(W - V) / (d - 1) = S_v \dots\dots (1)$$

W：全重量，V：実容積，d：真比重，1：土壌水分の比重， $S_v$ ：固相率，

数表のかわりに計算図表<sup>8,9)</sup>を利用することもできる。

固相率が求めれば、孔隙率・水分率・空気率・固相重量（容積量）・水分重量・含水比・飽水度・容気度・土層内の水分含量など、圃場状態における基礎的な土壌物理性は簡単な計算によって求めることができる。

なお、実容積法では土壌水分の密度を1 g/ccとし、試料の全容積を100ccとすることを前提として数値計算をおこない、デイメンションを合せるための厳密な手続きを省略している場合がある。たとえば（1）式は浮力の式であるから土壌水分の密度を1 g/ccとすれば、 $(W - V \cdot 1)$ とするとを単に $(W - V)$ としている。また、固相・液相・気相の占める容積の数値を、そのまま固相率・水分率・空気率の数値によりみかえるようにしている。

## 3 単子型実容積測定器の組みたての原理

単一空気系を利用する実容積測定器を組みたてていく上での原理的な考え方は二つに大別できる。一つは圧縮圧力を一定にし、圧縮容積の変化量から試料の実容積を

\*太陽コンサルタンツ

求める方法であり、他の一つは圧縮容積を一定にし、圧縮圧力の変化量から試料の実容積を求める方法である。

もとよりボイルの法則を利用しているのであるから理論的には圧縮圧力と圧縮容積の両方を同時に変化させながら試料の実容積を求めることは可能である。しかし実際の測定操作や測定器の構成などはかなり複雑になることが予想されるので、測定器の実用性を考え合せると前述の二つの方法に大別できる。とくに現場用・携帯用測定器を旨とする場合には、小型・軽量・簡便な操作・安定性の大きなどを要請されるので、測定器組み立ての原理的な考え方は、前述の二つの方法のうちのいずれかを採用することとなる。

なお、こゝでは測定操作を圧縮過程の利用に限定して記述をすゝめているが、膨脹過程の利用も可能であることはいうまでもない。

このたび作られた測定器は、前者すなわち圧縮圧力を一定にして圧縮容積の変化量から実容積を求める方法によったものであるが、後者すなわち圧縮容積を一定にして圧縮圧力の変化量から実容積を求めることも可能となっている。但し、測定結果の精度は前者がはるかにすぐれている。

前者の場合には、ストロークゲージのよみ、すなわちピストンの位置—圧縮容積量を示している—のよみが、後者の場合は圧縮はじめの大気圧に付加される圧縮圧力の大きさを示す圧力計のよみが、求める測定値に係るデータを与えてくれる。

#### 4 圧縮圧力一定・圧縮容積変化による方法

この方法による測定操作の概要を図-1を参考にしながら説明する。

S : 試料室, G : 圧力計, K : コック, T : シリンダー内のピストン, IO : ストロークゲージ, a : テストピース, V : 試料, である。

$p_i$  : 圧縮前の圧力 (大気圧, Gのよみ0)

$v_i$  : 試料室空, ピストンの位置Iのときの器内空気容積

$p_c$  : 定められた圧縮圧力 (任意)

$v_o$  : 試料室空, ピストンの位置Oのときの器内空気容積

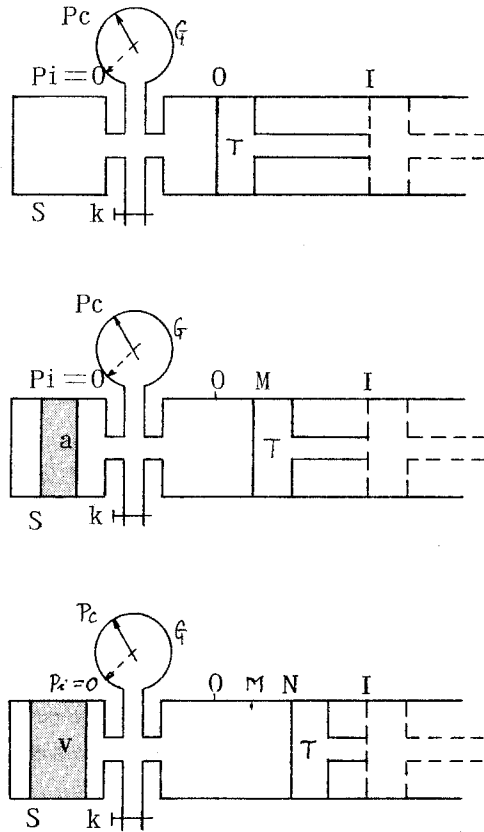
I : 圧縮はじめのピストン位置

O : 試料室空, 圧縮圧力 $p_c$ まで圧縮したときのピストンの位置

M : 試料室にテストピースaccをいれ, 圧縮圧力 $p_c$ まで圧縮したときのピストンの位置

N : 試料室に実容積Vの試料をいれ, 圧縮圧力 $p_c$ まで圧縮したときのピストンの位置

とする。試料室にテストピースaccをいれたとき、圧縮



註 S : 試料室 G : 圧力計  
K : コック T : ピストン

図1 圧縮圧力一定・圧縮容積変化量から実容積を求める方法

はじめおよび圧縮終りの状態で器内空気容積はそれぞれ ( $v_i - a$ ) および ( $v_i - a + v_{OM}$ ) となる。 $v_{OM}$ はピストンの移動量  $\overline{OM}$  に相当する容積で、MはOからIの方向に後退するので符号は正となる。

ボイルの法則が成立するとして、

$$p_i \cdot v_i = p_c \cdot v_o \dots\dots\dots (2)$$

$$p_i (v_i - a) = p_c (v_o - a + v_{OM}) \dots\dots\dots (3)$$

を得る。(2)と(3)より

$$a \cdot p_i = a \cdot p_c - p_c \cdot v_{OM} \dots\dots\dots (4)$$

となる。定められた圧縮圧力と大気圧との比をnとする

$$p_c / p_i = n \dots\dots\dots (5)$$

(4)と(5)より

$$n \cdot v_{OM} = a (n - 1) \dots\dots\dots (6)$$

を得る。シリンダーの断面積を  $a'$  とすれば

$$v_{OM} = a' \cdot \overline{OM} \dots\dots\dots (7)$$

となり、(6)と(7)より

$$a = \{ n / (n - 1) \} a' \cdot \overline{OM} \dots\dots\dots (8)$$

となる。

$$\{n / (n - 1)\} \alpha' = \alpha$$

とすれば (8) 式は

$$a = \alpha \cdot \overline{ON} \dots \dots \dots (9)$$

となる。

$\alpha$  は圧縮圧力・大気圧およびシリンダーの断面積のみで定まる 常数である。これを計測常数とよぶことにする。

計測常数は試料室にとりこむ容積とピストン移動量一圧縮終りの状態における移動量一との比例常数に当る。また単位長さのピストン移動量を生ずるのに必要な実容積数を示している。

計測常数  $\alpha$  が定まれば試料の実容積  $V$  は

$$V = \alpha \cdot \overline{ON} \dots \dots \dots (10)$$

で得られる。

簡単な説明を加えるならば、試料室に試料をとりこんだとき、圧縮はじめおよび圧縮終りの状態で、器内空気容積はそれぞれ  $(v_1 - V)$  および  $(v_0 - V + v_{ON})$  となっている。 $v_{ON}$  はピストンの後退量  $\overline{ON}$  に相当する容積量である。ボイルの法則が成立するとして、

$$p_1 (v_1 - V) = p_0 (v_0 - V + v_{ON}) \dots \dots \dots (11)$$

を得、(11) と (2) 式より

$$p_1 \cdot V = p_0 \cdot V - p_0 \cdot v_{ON} \dots \dots \dots (12)$$

となる。(12) と (5) 式より

$$V = n \cdot V - n \cdot v_{ON}$$

を得るが、 $v_{ON} = \alpha' \cdot \overline{ON}$  であるから前式は

$$(n - 1) V = n \cdot \alpha' \cdot \overline{ON} \dots \dots \dots (13)$$

となり、計測常数  $\alpha$  を代入することにより

$$V = \alpha \cdot \overline{ON}$$

を得る。

したがって、計測常数を定めておけば実容積はピストンの移動量より求められる。

### 5 圧縮容積一定・圧縮圧力変化による方法

この方法による測定操作の概要を図-2を参考にしながら説明する。

S: 試料室, G: 圧力計, K: コック, T: シリンダー内のピストン,  $\overline{IO}$ : ストロークゲージ, a: テストピース, V: 試料, である。

$p_i$ : 圧縮前の圧力 (大気圧, Gのよみ0)

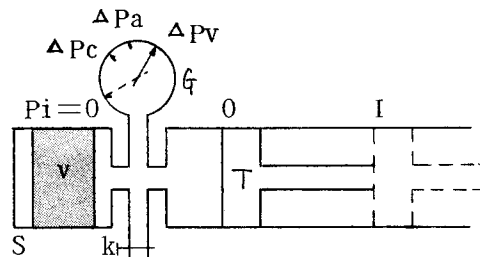
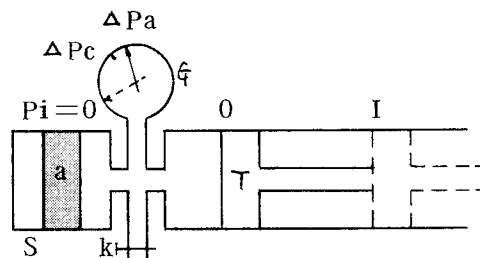
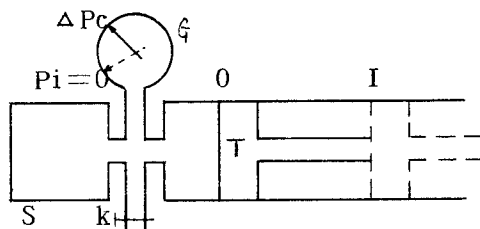
$v_i$ : 試料室空, ピストンの位置 I のときの器内空気容積

I: 圧縮はじめのピストンの位置

O: 圧縮終りのピストンの位置

C: 定められた圧縮容積 (任意),  $C = \alpha' \cdot \overline{OI}$ ,  $\alpha'$  はピストンの断面積

$p_c$ : 試料室空, 圧縮終りの状態における圧力



註 S: 試料室 G: 圧力計  
K: コック T: ピストン

図2 圧縮容積一定・圧縮圧力変化量から実容積を求める方法

$p_a$ : 試料室にテストピース a ccをいれて圧縮終りの状態になったときの圧力

$p_v$ : 試料室に試料をとりこみ圧縮終りの状態になったときの圧力

とする。

圧力計のよみ0は大気圧  $p_i$  に相当するので

$$p_c = p_i + \Delta p_c \dots \dots \dots (14)$$

$$p_a = p_i + \Delta p_a \dots \dots \dots (15)$$

$$p_v = p_i + \Delta p_v \dots \dots \dots (16)$$

とすると、 $\Delta p_c \cdot \Delta p_a \cdot \Delta p_v$  はそれぞれの操作時点における圧力計のよみを示している。

試料室を空にしたときとテストピース a ccをいれたときおよび試料をとりこんだときのそれぞれの場合に、圧縮操作の前後を通じてボイルの法則が成立するとすれば、

$$p_i \cdot v_i = p_c (v_i - C) \dots \dots \dots (17)$$

$$p_i (v_i - a) = p_a (v_i - C - a) \dots \dots \dots (18)$$

$$p_i (v_i - V) = p_v (v_i - C - V) \dots \dots \dots (19)$$

となる。

(17) と (18) および (14) と (15) から

$$a \cdot p_i = (\Delta P_c - \Delta P_a) (v_i - c) + a (p_i + \Delta P_a)$$

となり、

$$v_i - c = a \cdot \Delta P_a / (\Delta P_a - \Delta P_c) \dots\dots\dots (20)$$

を得る。さらに (16) と (19) 式より、

$$p_i (v_i - V) = (p_i + \Delta P_v) (v_i - V) - c (p_i + \Delta P_v)$$

$$\Delta P_v \cdot V = \Delta P_v (v_i - c) - c \cdot p_i$$

$$V = (v_i - c) - c \cdot p_i / \Delta P_v \dots\dots\dots (21)$$

を得る。また (14) と (17) 式より、

$$p_i \cdot v_i = (p_i + \Delta P_c) (v_i - c)$$

となるので、

$$c \cdot p_i = \Delta P_c (v_i - c) \dots\dots\dots (22)$$

が得られる。したがって (21)、(22) および (20) より、

$$V = \{ a \cdot \Delta P_a / (\Delta P_a - \Delta P_c) \} (1 - \Delta P_c / \Delta P_v)$$

または、

$$V = a \cdot \Delta P_a (\Delta P_v - \Delta P_c) / \Delta P_v (\Delta P_a - \Delta P_c) \dots\dots\dots (23)$$

を得る。

(23) 式の形は複雑にみえるが、右辺の各項はすべて圧縮操作終りの状態における圧力計のよみとテストピースの容積値から得られる値である。したがって、試料の実容積は圧力変化量にもとづいて求めることができるといえる。

## 6 考 察

### 1) 圧縮容積一定・圧縮圧力変化量から実容積を求め る方法について

すでに述べたように、単一空気系を利用して実容積を測定するには、圧縮圧力一定・圧縮容積変化による方法と圧縮容積一定・圧縮圧力変化による方法がある。理論的には、これら両者の方法は全く対等にとり扱われるべきものである。

しかし実用的には、圧縮圧力一定・圧縮容積変化による方法が、圧縮容積一定・圧縮圧力変化による方法よりもはるかにすぐれている。それは主として変化量を追跡するセンサーの精度の優劣にもとづいている。

圧縮容積変化量は、すでに述べたようにピストンの位置で示され、それを測定するストロークゲージの精度は 0.01mm である。ピストンの内径は 40mm であるから、0.01mm の移動量にもとづく容積の変化は約 0.01cc となる。

他方、圧縮圧力変化量は最小目盛 0.01kg/cm<sup>2</sup> の圧力計で測定される。0.01kg/cm<sup>2</sup> の圧力変化量に対応するピストンの移動量は、ピストンの位置によって変化しているが、試料室に 60cc のテストピースをとりこんだ場合、さ

きに述べた操作過程では約 1~1.5mm の範囲にわたっている。1~1.5mm のピストン移動量に対応する容積の変化は、約 1.2~1.9cc の範囲を示す。

このように変化量を追跡するセンサーの精度が、前者の場合は後者の場合の 100 倍以上になっている。圧力センサーの精度がきわめて低いことが、理論的には対等にとり扱われるべき二つの方法であるにもかかわらず、実用的には両者の間に著しい差を生じていることの原因である。

圧縮容積一定・圧縮圧力変化による方法が実用の可能性を得るためには、圧力センサーを改良し、その精度を前述の値のすくなくとも 10 倍以上にする必要があると考えられる。

### 2) 圧縮にともなう被圧縮空気 of 発熱・器内空気の温度上昇について

本器による実容積の測定は単一空気系の圧縮操作を通じておこなわれる。測定操作のはじめに大気圧を示していた器内空気は、操作終りの時点で約 1.5kg/cm<sup>2</sup> までその圧力を上昇する。ところで本器はボイルの法則が成立するという前提をもって作られているので、器内空気の温度は測定操作の全過程を通じて一定であると考えていることを意味している。

しかし圧縮の進め方によっては、それにともなう被圧縮空気 of 発熱量は器壁を通じての放熱量をうわまわり、器内空気の温度上昇を生ずるようになる。このような温度上昇は、前提としているボイルの法則からの逸脱となり、誤差の原因となることは明らかである。

この種の誤差はさけることのできないものであると考えてよいが、圧縮速度をできるだけ小さくすることによって実用上さしつかえない程度に小さくすることは可能である。もちろん、圧縮操作上の注意のみならず、測定器の放熱効率を大きくするような製作上の注意も必要である。

### 3) 膨脹過程の利用について

本器は圧縮過程の利用を前程にして製作されたので、本報告では測定操作としても圧縮過程を利用する方法だけを述べた。しかし、ボイルの法則の利用は圧縮過程のみでなく、膨脹過程についても可能である。

膨脹過程の利用についての実験は、本器については行なわれていないが、実容積測定装置についてはすでに行なわれ、圧縮過程の利用と全く同等であることが報告されている<sup>4)</sup>。本器の構造・機能は、実容積測定装置のそれとは違っているが、両者ともにボイルの法則を利用したものである。本器の場合にも、圧力計を負圧計におきかえ、操作ははじめのピストン位置を前述の I から O へ置きかえることによって、実容積の測定は可能となるであろう。しかも、膨脹過程の利用は、操作のしかたにもよ

るが、圧縮過程を利用する場合よりも器内空気の温度変化を小さくし、それにもとづく誤差を小さくすると思われる。

引用文献

1) 美園 繁：土壌物理性の新しい測定法，農業技術誌11, 465～469, 1956.  
 2) -----：実容積法による土壌物理性の測定，日土肥誌29, 67～70, 1958.  
 3) -----：実容積法の計算図表について，日土肥誌30, 113

～116, 1959.  
 4) -----：土壌の履歴現象に関する研究，農技研報告B11, 1～197, 1961.  
 5) -----：圃場水分の表示法について，日土肥誌31, 216～210, 1960.  
 6) -----：土壌物理性の簡易計算図表について，日土肥誌32, 19～22, 1961.  
 7) -----：容積法と土壌の物理性，日土肥誌33, 48～58, 1962.

(昭和56年12月24日受理)