

土壌の透水性測定について

八 幡 俊 雄

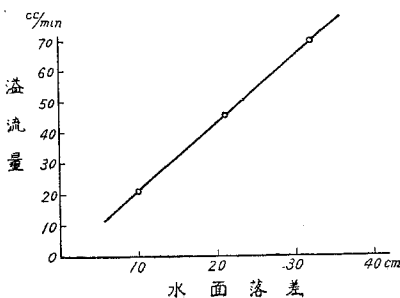
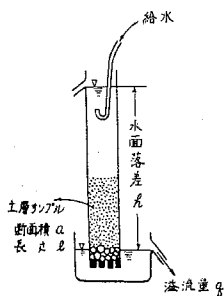
(東大農学部)

本誌第1号で山口農試の坂上氏が、「現地には土壌物理研究搾取家が多い」と、面白いことを書いておられる。筆者は土壌の浸透物理をこの数年取扱つて来ており、一応は基礎部門を研究する方に属して、搾取するよりはされる側にあるわけなのであろうが、「現地におられる方々を対象に透水性 (Permeability) 測定について何か書け」と云われて、さて搾取して載けるようなものが何かあろうか、と見廻しても、それがありそうに見えて、その実一向に整わないのは誠に申訳ない次第である。どなたも経験がおありのことと思うが、実験をやればやるほど「分から」なくなり、簡単に説明して通り過ぎていたことが、そうでなくなつてゆくのである。しかし一旦引き受けた以上、何か書かねばならない。そこで今回は透水性の測定についての、きわめて初歩的なことを書かせていただくことにする。読者の中には稲作における土と水の問題などに関連して、そういう物理性を研究項目の1つに加えてみようかなどと考えている方々も何人かはおられることと思う。たとえばそういう人達が読んでくれるという想定に立つて、以下の解説を試みる次第である。

透水性の尺度“透水係数”

直径5cmばかりの有り合せの円筒に有孔の底を施し、粒径0.2mm級の砂を約20cm厚につめて土層模型をつくり、予めよく水で飽和させておいてから、両端に例えば10cmの水面落差を与えてやると、透水が起つて溢流量が21cc/minと測られる。次に水面落差を21cmにする

第1図



と、溢流量は45cc/min、更に落差を32cmにすると、60cc/minと、次第に多くなる。これをグラフにかけば、第1図の通りで、直線となる。

一般に砂層や松葉の堆積層のような、孔隙性の物体に、このような仕方で水を透過させるとき、第1図の記号、a, l, h, gの間には、

$$q = k \cdot a \cdot \frac{h}{l} \dots\dots\dots(1)$$

のような関係が成立つことが、今から100年ほど前に、Darcyによつて見出された。尤も孔隙の間をぬつて流れる水の速度が余り早くなるとまずいけれども、普通の場合は大抵この式が成立つ、あるいは近似的に成立つていふと考えてよい。

(1) 式のkは比例常数で、一般に透水係数 (Darcy coefficient of permeability 或は permeability constant) と呼ばれている。kは、水の粘性 (従つて温度) などにも多少関係するけれども、主に材料の粒の粗さや形やその詰まり方などによつてきまる常数である。

すなわち、第1図の例で云えば

$$45 \text{cc/min} = k \text{cc/sec} \times (3.14 \times 2.5^2) \text{cm}^2 \times 60 \text{sec} \times \frac{21 \text{cm}}{20 \text{cm}}$$

$$\therefore k = 3.5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$$

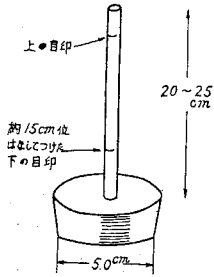
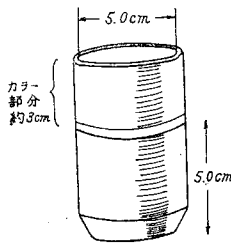
というこの値は、粒径0.2mmの砂粒がある詰め方で詰まっている状態 (注意: もはや砂層の断面積や厚層に關係なし) に個有なものであつて、このことを利用すれば物質の空間配置というような表示のむずかしいものが水を通したときの透水性 (Permeability) によつて、とにかく一応量的に表示できる機会を持つのである。

一般の土壌も孔隙性や構造性をもっているから、それについてkを測ることができる。土壌についてkをはかることがどんな意味をもつかは後に述べるが、土壌の物理性には仮比重や容水量など以外にもこのようなものがあることをこの際是非知つておいていただきたい。

土壌の透水係数の測り方

そこでまずその測り方から始める。原理

第 2 図



は第 1 図に示した通りきわめて簡単なものであるが、実際にはかる上では、やはりテクニクがあつて、手ぎわよくしないと、無駄が多くなる。

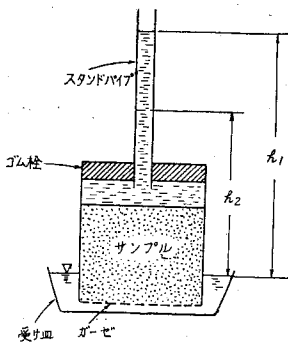
使用器具の型態や寸法にはいろいろのものがあつて、これについての国際的なシムポジウムさえ催される有様であるが、それらを羅列的に紹介することは本文の主旨ではないから、以下、筆者が主に野外で測定するときに使つている、変水頭試験器による測り方を述べよう。

←第 3 図

〔用意すべき器具〕

- ①円筒サンプラー：標準寸法内径 5.0cm、高さ 5cm (容量約 100cc) の金属円筒。ネジで取外し自由なカラー円筒つき。これを付けて採土を行う。薄い肉厚でしかも丈夫なように筆者らは特殊鋼製を使つている。数個あれば便利。
- ②アルマイト皿 2、3 枚とガーゼ少々。
- ③スタンドパイプ付ゴム栓、ガラス管は長さ 20~25 cm 位。内径は 0.5cm、0.7cm、1.0cm 程度の 3 通り位を用意し、材料の透水性によつて使いわけるようにすれば便利。
- ④水さし：ピペット(またはポリエチレン製噴射びん)とやかんそれぞれ 1 個。
- ⑤ストツプウォッチ：1 個。

第 4 図



⑥洗面器またはバケツ：1 個。

〔はかり方〕 念のため説明を採土のところから始めると、まず、採土円筒(カラーつき)の内側にはグリースを塗つて、壁面効果(Wall effect)を防いでおく。これを透水度を知らうとする部分

に上手に押込んで、サンプルを取るのである。土がかたくサンプラーを押込みにくい時は、サンプラー上部に木片をあててサンプラーが左右にゆれないように注意しながら木づちで軽くたたいて押込めるとよい。押込みを終わつたら、サンプラーのまわりの土を取り除き、サンプラーの上下両面に土が盛上つているまま取り出し、その端面を小刀で平らに(但し押しつけ均してはいけない)整形する。植物の根などはハサミで切りとるとよい。下端の断面が整形されたら、その切口に板をあて逆にし、カラー円筒を静かに外して次には上部の端面を同じ要領で平らに整形するのである。これでサンプルがとれた。

そこでサンプルの入つた円筒に、あらためてまたカラー円筒をつけ(ネジの部分にグリースを塗布)、数枚重ねたガーゼを敷いたアルマイト皿の上に置く。

あり合せの容器に 5cm ほどの深さに水をはり、受け皿ごとひたして下から徐々に試料土を水で飽和させる。試料土が十分飽和したら静かに皿ごと取り出し、流し合の上におき、試料土の表面をかき乱さないように気をつけつつ、ヤカンの水を加え、円筒一杯になつたら手早くスタンドパイプ付ゴム栓を施せば、水面は自づとガラス管中に上つて来て、やがてその位置から透水が始まる。

ストツプウォッチを構え、パイプに付けた上の目印(h_1cm)から下の目印(h_2cm)まで水位が降下するに要する時間(t_{sec})を測定する(回ごとにパイプの上端よりピペット(または噴射びん)で補給して、この操作を t の値がほぼ 1 定になるまで繰返して行く。

求める透水係数は、次に

a : スタンドパイプの断面積。たとえば管の内径 0.5 cm ならば

A : 円筒サンプラーの断面積。サンプラーの内径 5.0 cm ならば 19.6cm²

l : 試料土柱の長さ。ここでは 5.0cm

および、直接測定の h_1 、 h_2 、 t を代入して計算から求めることができる。

$$kcm/sec = \frac{2.3 \times a^{cm^2} \times l^{cm}}{A^{cm^2} \times t^{sec}} \log_n \frac{h_1^{cm}}{h_2^{cm}}$$

こうした、或る水田の或る箇処でかんがい期にすぎ床の部分は $k=1.4 \sim 3.7 \times 10^{-4}cm/sec$ であるのにそれに続く心土の部分では $k=5.6 \sim 8.7 \times 10^{-3}cm/sec$ であるという風に構造の違いが透水性を尺度として、数量的にとらえられるのである。

土壤の透水係数を測ることの意味

100 年前に Darcy が(1)式のような法則を見出し、各種

材料のkを求めた時、それは孔げき性物体の内部構造の研究として出発したのではなかつた筈である。土木工事において使用骨材の粒度からkの程度が分れば、それを使って堤防を浸透する水の量が、堤防の両側の水面落差を測量することだけで分る。kはそう云う意味のものであつたし、また事実、今日でも土木技術者はそのような場合に主としてこのkを使つているのである、これは土木技術者たちの取扱う対象が、同じ土ではあつても、自然構造を一旦こわしてそれを改めて「撒き出し」築き上げた、といったように著しく人工的なものであること、従つて全体の構造がかなり均一であつて、サンプル試験で知られたkを堤防全体に適用しても大して誤ることがないという事情があるからである。

しかし、耕地の状態にある土壌では、事情はいささか違ふと思われる。しろかき直後の水田表土などでは或程度構造は均一かも知れないが、その後そこに稲株が植えられ、中ぼしが行われ、根ばりがすすんでゆけば、代かき時にえられたような均一性は、そういつまでも保たれはしまい。一方、水田においては、堤防の両面の水面落差に相当するものが、伸々簡単にははかれないのである。(筆者らの研究室では苦心の末に実際の水田でこの量をはかることに一応成功はしたが、まだまだ覚束ないものである。)

結局、筆者の見解では、耕地土壌の透水係数を測るのは、今のところそれを知つて水田の減水深を見当つてたり、暗渠への排水量を計算したりする為には測るのではなく、田または畑という、土壌体の各部分が、どんな性質をもつ部材で出来上つているか、を知るために測るのだと思う。部材の性質は仮比重や空隙率ででも、硬度でも、プレバート写真でも表現できないわけではないが、透水度はそれらの何れにもまさつて鋭く構造の差違を示し、1枚の水田または畑が、どう云う部分で組立てられているかを詳細に示してくれるのである。

耕地の生産力を、土壌の理学性ととの関連において把握しようとする最近の傾向から云えば、この鋭い指標は、より多くの研究者にもつと利用されてよいものと思う。

実は厄介な透水係数の測定

解説を平易にと考えて、これまでのところ測り方を大へんさりげなく述べたけれども、或る状態におかれた孔隙性物体の透水係数をはかることは、それ程簡単なことでは、実はない。一番こまるのは、飽和の問題である。さきの解説では整形を終つたサンプル入りの円筒皿にのせ程よい深さに水をはつた洗面器かバケツに暫次ひたして

サンプルの底からのしみ上りを待つ、というのであつたが、これでは飽和したかどうか、実はあやしいのである。

もし内部に空気がとじこめられて不飽和であるとうゆいことになるかという、これは一般に透水係数に大きく影響して、大幅にその値を低下させる傾向をもつ。それであるから、できることなら、サンプルを実験室に持ち帰り、排気鐘の中に入れてしずかに孔げき中の空気を排除し、その状態のまま水(脱気した水)をしみ上がらず方法をえらびたい。そして透水実験中も、使用する水は水道水を直接使うのではなく、煮沸または減圧脱気した水を使う。こうすれば孔げきはすべて水に充されそれこそほんものの透水係数がはかれるのである。

筆者はさきに、透水係数という指標が、孔隙性物体の空間構造の相違を示す甚だ鋭敏なインデックスであると唱へたが、実はそれが少々鋭敏すぎて、もう少し鈍感(鈍感といつても仮比重の値のように鈍感であつては困りものだが)であつて呉ればよいとさえ思うことがある。というのは、実験の途中で、内部にある水みちに一寸でも気泡がたまると、粒子の空間配置はそのままで、もう(見かけの)透水係数はかなりの低下を起してしまうのである。

こうゆうことを書き出すと、せつかく知つた測定の方法も、大へんたよりなくなつて来て、読者はここでいささかがつかりされるかも知れない。しかし、そのような失望は少々早すぎると筆者は思う。もともと耕地土壌というような複雑な相手と取つ組むのであるから、性質の場処的なバラツキの著しいことは覚悟のまえである。そのようなジャングルに切り込んでゆく武器は、少々難のあるものであつてもあまり気に病む必要はない。刃こぼれをいちいち気にしては1畝歩の下草も刈り取れまい。事実筆者の乏しい経験に倣してもさきに述べた野外の測定法だけで、今まで知られなかつた幾つかの事実を、かなりはつきり掴んだ経験けんを筆者は持つ。静岡県三方ヶ原台地の開田では20cm附近にかなり水もちのよい土層があり、これが相当に水を支える勘定であつたところ、実際に水をかけてみると一向にもたない。筆者らはいろいろな深さの土壌サンプルにつき根気よく野外測定をつづけ、一見良好な盤と見られる土層の中にも、局部的に甚だルーズな構造の部分があつて、そこに漏水の原因があるらしいことを、ようやくして探知することができた。これはその1例だがこれなど全く例の「たよりない」野外測定法のおかげであつた。このようなたぐいのことならば未だ未だいくらかでもその辺にころがつている筈で、しかもそれらについては多くの場合、上へのべた程度のことすら分つていないに相違ないのである。