

近畿大学大学院 学生員 岡田 明也

近畿大学理工学部 正 員 江藤 剛治

1. まえがき

不飽和状態での水分移動の現象は、次の2つの物理特性により支配されているといわれている。

(i)毛管水分曲線、(ii)不飽和透水係数。前者は土壌水分吸力と、土壌水分量との関係を示す曲線であり、テンシオメーター等で測定されるが、後者の不飽和透水係数を直接的に実測することは、非常に難しくこれまでのほとんどの研究では、間接的な測定法により求められてきた。そこで本報では、直接的に不飽和透水係数が測定できるような装置を試作し、その装置の有用性を実験的に検討したものである。ただし予備実験の測定結果は前報¹⁾に発表したもので、ここではこれ以後の測定結果を中心にその結果を報告する。

2. 充填試料の諸特性

充填試料は豊浦標準砂を用いた。比重：2.63，間隙率：0.424，飽和透水係数：0.016 cm/sec。

一連の実験では、これらの諸量が再現されるよう注意して試料を充填した。

3. 間接的不飽和透水係数測定法（拡散実験による場合）

間接的な不飽和透水係数決定の基礎方程式は、不飽和領域にまで拡張されたダルシー則の式(1)と連続式(2)より誘導される。 $q = -k(\theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \dots (1)$, $\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} \dots (2)$, ここに q : 単位面積当りの流量 (cm³/sec/cm²), $k(\theta)$: θ の函数である不飽和透水係数 (cm/sec), ψ : 土壌水分吸力, z : 鉛直座標 (cm), θ : 土壌水分量 (cm³/cm³), t : 時間 (sec) である。(1)式と(2)式より, $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} k(\theta) \dots (3)$, ここで $D(\theta) = k(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \dots (4)$ で土壌水分拡散係数 (cm²/sec) と呼ばれる。(3)式より $D(\theta)$ を求めるには、水平座標上の土壌水分移動問題として(3)式右辺第2項の重力項 $\frac{\partial}{\partial z} k(\theta)$ を消去し、 z を x に変え Boltzmann 変換を行ない一回積分すれば $D(\theta) = -\frac{1}{2t} \left(\frac{dx}{d\theta} \right)_{\theta} \int_{\theta_1}^{\theta} x d\theta \dots (5)$ が得られる。測定法としては、(i)試料を充填した長柱容器を水平に設置し一端を開放にして他の一端から大気圧に保ちながら水を供給し一定時間(t 時間)放置した後、容器を解体し各 x 地点より採土し炉乾燥を行ない、土壌水分量 θ と x の関係を求める。この関係を(5)式に代入すれば $D(\theta)$ は決定される。(ii)同様にその長柱容器を鉛直にたて、下端を水槽に沈め、水が見かけ上上昇しなくなるまで放置した後容器を解体し各鉛直座標 z の土壌水分量 θ を求めることによって $z - \theta$ 関係が得られる。この状態のとき $q = 0$ であるので(1)式より $\frac{\partial \psi}{\partial z} = 1$, すなわち $\psi = z$ となり, $z - \theta$ 関係が $\psi - \theta$ 関係となるので $\frac{\partial \psi}{\partial \theta}$ が決定される。(i), (ii)より $D(\theta)$, $\frac{\partial \psi}{\partial \theta}$ を(4)式に代入することにより間接的な不飽和透水係数が求まる。

4. 直接的な不飽和透水係数測定法

時空間的に θ が一定であるとき, $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$ であり $\frac{\partial \psi}{\partial z} = 0$ となる, それ故 $q = k(\theta)$ となり q = 一定の定常状態を作りこのときの θ を測定するという実験の繰り返しより $k(\theta)$ が求まる。ここでは内径 10 cm 長さ 100 cm の透明なアクリルの円柱容器を準備し, (i)鉛直容器の中に試料を充填して上端より微量の水供給を続ける。(ii)Wetting front が十分進行した状態で $z - \theta$ 曲線を求める。このとき土壌水分量 θ を測定する。(iii)図-2に示す通り Wetting front 及び上端部のわずかな部分を除いて θ はほとんど一定となるからこのときの θ と供給水量の関係から $q - \theta$ すなわち $k - \theta$ 関係を決定する。筆者らの装置の概要を図-1に示す。すなわち次の各部分からなる。④微量の水を長時間空間的に安定して供給するために、供給部をアクリル容器で覆い、噴霧ノズルにより

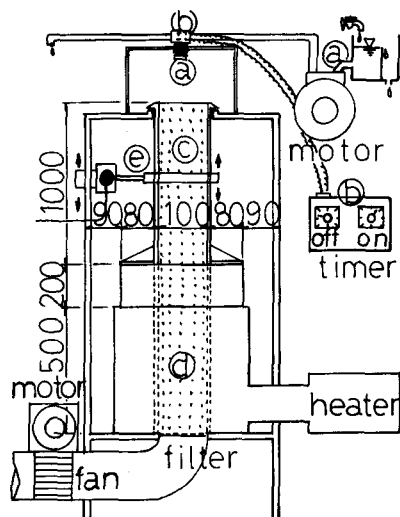


図-1. 装置概要図

水を供給する装置、⑥微流量の調整の為に、タイマー2個と電磁弁の組み合わせにより、任意かつ一定の時間間隔で間欠的に水供給できるようにした装置、⑦アクリル製浸透層(透明)、⑧乾燥部、⑨土壌水分測定部、すなわちアクリル容器外部に設置した電気容量測定装置でアクリル容器を通して内部の水分量を測定しようとする装置、ただし今回の実験段階では十分信頼性の高いCalibrationができなかったため、土壌水分測定には炉乾燥を併用している。(装置の概略図は図-1に示す。)

5. 実験結果

(i)筆者らの装置による $z - \theta$ 関係の測定結果を図-2に示す。

飽和状態付近の大きな流量で供給した場合、かなりバラツいた測定結果となったが、それ以下ではかなりまとまっていたほとんど完全な定常状態となっている。バラツいた原因として考えられることは、大きな流量では水分移動におよぼす重力効果が大きくなるからであろうと思われる。(ii),(i)の実験で同時に測定した電気容量の読みと z との関係を図-3に示す。Wetting front が進行途中のとき測定した結果はある程度まで信頼できそうな曲線を描いているが、それをこすと電気容量は供給流量とほとんど無関係に大きな値を取る曲線を描いた。その原因としてアクリル容器の下部の乾燥部が金属製であり電気が導通してしまい、その結果不適当な曲線になったと思われる。(iii),(i)の炉乾燥より測定した水分量と(ii)の電気容量の読みを対応させCalibrationを行なったが、今一つ適用に困難さを伴うようである。(iv)筆者らの装置より直接的に求めた $k(\theta)$ と、 $\frac{\partial \phi}{\partial z}$ 、 $D(\theta)$ より間接的に求めた $k(\theta)$ の結果を図-4に示す。間接的な結果は $\theta < 0.240$ のとき測定困難であったが、 $\theta > 0.240$ のときには十分信頼度が高いと考えられる値が得られた。一方直接的な結果では θ が小なる領域で予備実験の値と今回の実験結果ともにかかなりまとまったプロットが得られた。以上より θ の小さい領域においても本装置による $k(\theta)$ の測定が可能であり、かつ信頼性の高い値を得ることができる。

6. 結論

不飽和透水係数の直接測定のための装置を試作したが、この装置を使用することによって、 θ が非常に小さい領域でも十分信頼度の高い $k - \theta$ 関係が決定できる。しかしながら重力効果の影響の大きい領域では本装置の適用には未だ問題が残る。

(参考文献)

- 1) 江藤・岡田：「不飽和透水係数直接測定装置の試作」昭51年度関西支部年次学術講演会講演概要
- 2) 岡太郎・角屋睦：裸地斜面域における雨水の浸入と地下水流出(1)一傾斜ライシメータと土壌特性一、京都大学防災研究所年報、第17号B、昭49.4. pp511-522

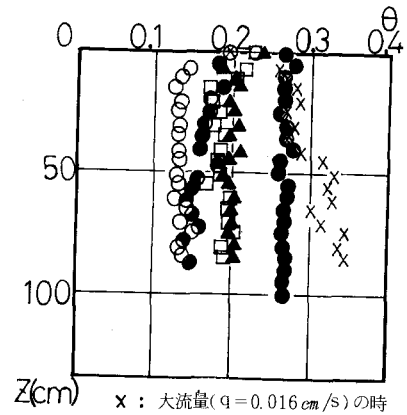


図-2. 炉乾燥法による実験値

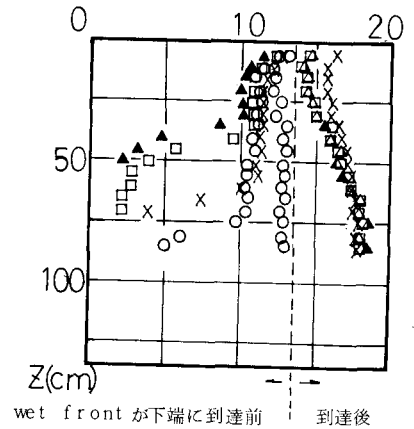


図-3. 電気容量式による実験値

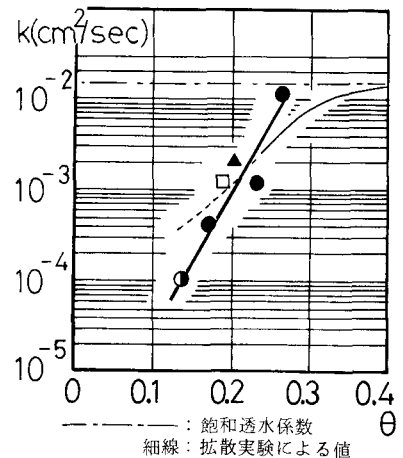


図-4. 不飽和透水係数