

雨水の浸透に関する実験的考察

長崎大学工学部 正 武政 剛弘

一ノ瀬 和雄

○学 前田 栄一 学 野マ下 寛

1. まえがき

雨水の浸透機構に関しては、流出解析、土砂崩壊や農薬面でのカンガイ排水等、多面にわたって過去数多くの研究がなされている。しかしながら、この機構解明に提案されている方程式は、不飽和浸透流ゆえ非線形性の強いものである。このような方程式を利用して、現場への適用を考えた場合などには 解が複雑すぎて利用上大変不便である。従って水分移動の方程式の線形化の試みが工夫され、解析解の適用が近年見直されている。

本報では、一次元の浸透に限定した室内実験にこの線形化解を適用し、その結果について論及するものである。

2. 実験方法および結果

実験装置は鉛直浸透場を形成するための円筒部、給水装置および測定装置から成立っている。鉛直浸透場の円筒は、内径7.8cmの透明なアクリル樹脂製で、長さ10cmのユニットよりなる。各ユニットは所定の長さに取り付けられたフランジにより密着接合させた。さらに漏水を防ぐために各ユニットの両端にパッキン(0-リング)を入れている。最上部には湛水深以上の越流水を取り出す様に、試料上端から所定の高さに穴を開けメスシリンダーにて集水した。下端は約1.5cmの空間上に多孔な板を設けその上にろ紙を敷いた状態であり、境界条件としては大気に開放していると考えた。

給水装置は円筒上方に取り付けた大型マリOTT管より給水し、さらにこの水を点滴装置により二重に給水量を制御した。浸透水量はマリOTT管とメスシリンダーの水量変化より決定した。測定装置は切り替レコーダーと電導度計よりなり、試料内の含水比の変化を電導度に変換して連続記録した。さらに毛管ポテンシャルと水分量の関係は土中法により測定した。すなわち内径5cm、長さ5cmのユニットを1mの長さに2本組立て、一方は自然乾燥の砂を、他方は完全飽和にさせた後、両者を常に一定の水位を保つようにした容器に鉛直に立て、約2週間放置した後これを分解し自由水面からの高さに対応する試料の水分量を求めた。使用した試料は豊浦標準砂である。

図-1、2は毛管ポテンシャル-体積含水率と、浸潤終了の水分飽和度の分布を示したものである。

3. 考察

試料上端より鉛直下方にx軸をとる。このときの水分移動の方程式は時間をもて示すと(1)式となる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\partial K}{\partial x} \quad \text{or} \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) - \frac{\partial K}{\partial x} \quad \dots (1)$$

ここに θ ：体積含水率、 h ：マトリックスポテンシャル、 $K(h)$ ：不飽和透水係数、 $D(\theta)$ ($K(h) \cdot \frac{dh}{d\theta}$)：水分拡散係数である。

(1)式に(2)、(3)式を導入して、 $D(\theta)$ を $\bar{D}$ (平均値)として解くと(4)式となる。

$$\phi = \int_{h_i}^0 K(h) dh = \int_{\theta_i}^0 \bar{D}(\theta) d\theta \quad \dots (2) \quad K(h) = K_0 \exp(\alpha h) \quad \dots (3)$$

$$\phi = \frac{1}{2} \phi_0 \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{\bar{D}t}} - \frac{\alpha\sqrt{\bar{D}t}}{2} \right) + \exp(\alpha x) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{\bar{D}t}} + \frac{\alpha\sqrt{\bar{D}t}}{2} \right) \right] \quad \dots (4)$$

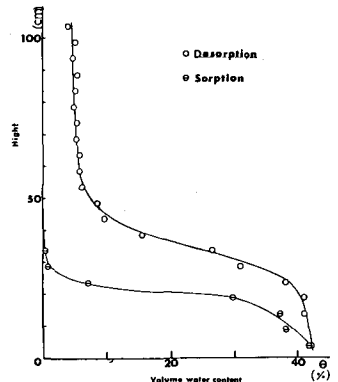


図-1 体積含水率と毛管上昇高

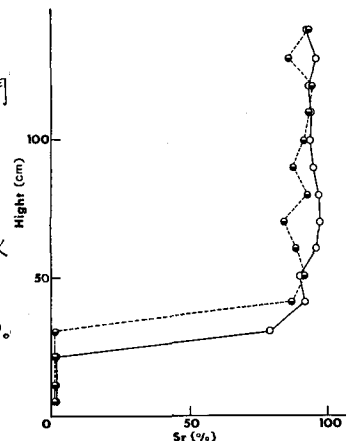


図-2 浸潤終了後の飽和度の分布

(ただし、 K_0 :飽和透水係数、 α :定数、 ϕ_0 : ϕ 式で積分の上限を h_0 、 θ_0 (飽和時の値)においた値)

(4)式より $x=0$ での積算浸透量 $q(t)$ を級数展開し
時間が充分大きい場合の $q(t)$ を示すと(5)式となる。

$$q(t) \doteq \phi_0 \alpha \left\{ t + \frac{1}{\alpha^2 \bar{D}} \right\} \dots (5)$$

(5)式は t の一次式になっている。そこで実験結果

図-3を見ると10分以上の部分ではほぼ $q(t) \sim t$ は直線関係となっている。従ってこの部分より算出される諸量を表-1に示す。表-1で得られる α と K_0 を用いて(3)式の不飽和透水係数の変化を示したのが図-4である。

次に図-2に見られるように浸潤前線の通過した部分はほぼ飽和状態になっている。前報⁽²⁾に用いた(6)式

$$t = \frac{\theta - \theta_0}{K} \left\{ y - (h_0 + h_a) \ln \left(\frac{y}{h_0 + h_a} + 1 \right) \right\} \dots (6)$$

に表-1の値を適用して浸潤前線の位置を計算したのが図-5である。ただし(6)式の h_a は図-1の毛管上昇高の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ の値を用いた。

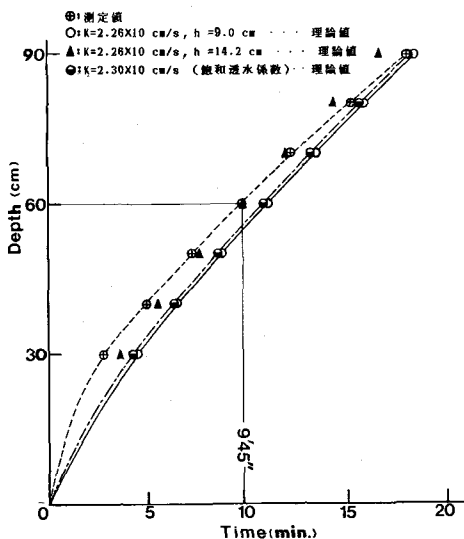


図-5 理論値と測定値の比較

表-1 算出された値

$K_s = 2.30 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$	定数飽和透水係数
$K_0 = \alpha \phi_0 = 2.35 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$	鉛直浸潤
$\bar{D} = 1.34 \text{ cm}^2/\text{s}$	(5)式
$\alpha = 4.48 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$	(5)式

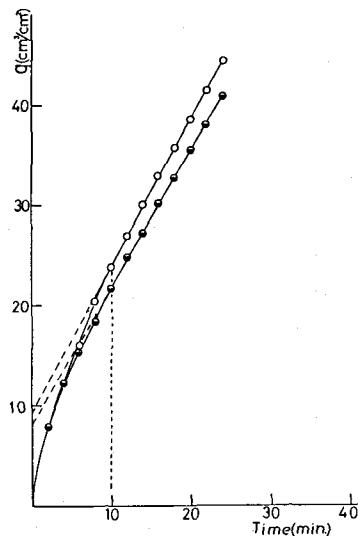


図-3 浸透流量と時間の関係

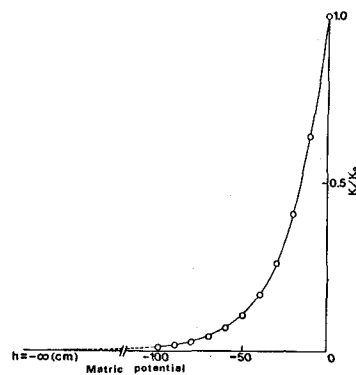


図-4 マトリックポテンシャルと
不飽和透水係数の関係

結論として、今回はマトリックポテンシャルを導入して不飽和浸透の解析を試みた。その結果、下方開放の砂の浸潤の場合は飽和浸透として取り扱っても、実験値と比較して大きな誤差は生じないことがわかる。

【参考文献】 1)清沢秀樹:マトリックポテンシャルを用いた土壌水分移動の解析について、第19回農業土木学会土壌物理研究部会シンポジウム資料、昭和55年11月 PP.21~33

2)伊勢田他:不飽和土における降水の浸透速度、西部支部 昭和59年2月 PP.332~333

3)KIRKHAM: Advanced Soil Physics. PP.416-417. WILEY-INTERSCIENCE

4)CARSLAW: Conduction of Heat in Solids. P.388 PP.482-484. OXFORD