鉛直不飽和浸透流について

京都大学 防災研究所 正員 岡 太郎

雨水の浸入・地下水流出に大きな影響をおよぼしている鉛直不飽和浸透流については未解明な点が多く残されている。ここでは砂質土の鉛直不飽和浸透流に土壌水分移動の拡散理論を適用し,定数の決定および基礎理論式の解法について検討を加えた結果を報告する。

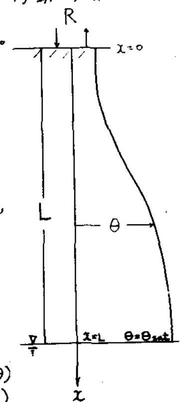

図1. 解析領域

1. 基礎方程式 土壌水分の移動に関する基礎方程式は(1)式で表わし得る[1]。

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[D(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x} - K(\theta)\right] \cdots\cdots(1)$$

ここに,xは地表面からの深さ(cm), tは時間(sec), θは土壌水分量(体積含水率), $D(\theta)$, $K(\theta)$はそれぞれθの函数である土壌水分の拡散係数(cm²/sec), 透水係数(cm/sec)である。(図1)。 Soil suction Ψを用いると$D(\theta)$と$K(\theta)$は(2)式で関係づけられる。 $D(\theta) = K(\theta)\ \partial\Psi/\partial x$ ····(2)

2. 境界条件および初期条件 1) $x=0,\ t>0$: (i) $R \geqq 0$ (Rは雨量強度)

(a) 土壌表面($x=0$)で土壌が飽和していないとき($\theta_{sur} < \theta_{sat}$) $\partial\theta/\partial x|_{x=0} = -(R-K(\theta))/D(\theta)$ ····(3)

(b) 土壌表面で土壌が飽和しているとき $\theta_{sur} = \theta_{sat}$ ····(4) (θ_{sat}: 飽和含水率)

(ii) $R<0$, (ここではRは蒸発強度) (a) $\theta_{sur} > \theta_{air}$ のとき (θ_{air}: 気乾状態の含水率)

$\partial\theta/\partial x|_{x=0} = -(R-K(\theta))/D(\theta)$ ·····(5) (b) $\theta_{sur} \leqq \theta_{air}$ のとき $\theta_{sur} = \theta_{air}$ ····(6)

2) $x=L,\ t>0$: $\theta_{x=L} = \theta_{sat}$ ····(7) 3) 初期条件: $t=0,\ L>x>0$ において $\theta = f(x)$ ····(8)

3. 拡散係数,透水係数の決定 現在,拡散係数の決定方法については①Gardnerによる Pressure plate outflow data を用いる方法[2], ②Bruce and KluteによるTension plate outflow dataを用いる方法[3], および③拡散データを用いる方法[4]などがある。拡散係数はhysteresisを有し,乾燥過程と湿潤過程について異なる関係を示すが,①②の方法は一過程にしか適用できず,実験装置も複雑で適用範囲も限定される。③の方法は湿潤過程にしか適用できないが,次に示すように実験手法は簡単で実用的であると考えられる。この方法では,水平方向について表わした(1)式を,初期条件として半無限領域に一様な土壌水分量(θ_i),境界条件として$x=0$に飽和の条件を与え,Boltzmann変換を行なった後,1回積分して次式を得る。

$$D(\theta_x) = -\frac{1}{2}\left(\frac{d\lambda}{d\theta}\right)_{\theta_x}\int_{\theta_i}^{\theta_x}\lambda\, d\theta \cdots(9)$$

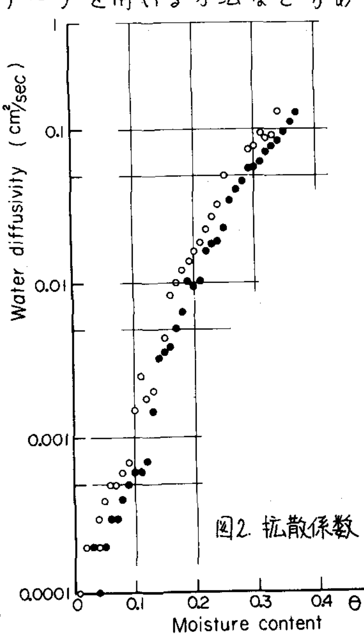

図2. 拡散係数

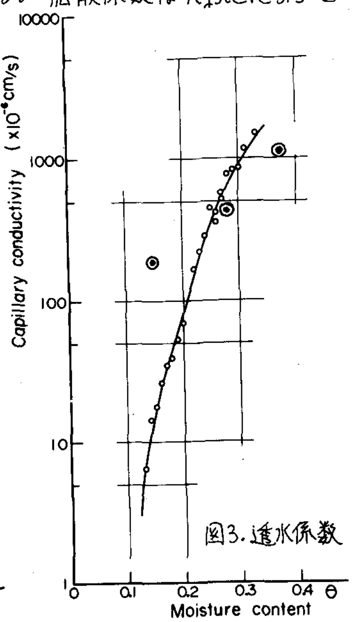

図3. 透水係数

ここで,tにおけるχ〜θ曲線を実験で求めれば,D(θ)を容易に決定しうる。いま対象としている砂質土(砂95%,シルト粘土5%)について実験を行ない決定したD(θ), K(θ)およびΨとθとの関係を図2.3.4.にそれぞれ示す。③の手法は比較的短時間で実験を終了するという利点を有しているが,適用が湿潤過程に限られ,一回の充填で繰返し実験が不可能であり,θの測定に誤差が含まれるなど短所を有している。これらの短所を補うため筆者は図5に示す装置を用い次のようにしてK(θ)を決定した。図5に示すように,上端から雨滴状で水を供給し,下端で排水することにより垂直な土壌柱で不飽和定常浸透流を生じさせ,その時のθとΨを中性子土壌水分計とtensiometerを用いて測定する。ここで,Ψ,θは全領域で一定であるので不飽和領域に拡張されたDarcy則を適用しK(θ)を決定しうる。この手法は,湿潤・乾燥両過程に適用でき,D(θ)を介さずK(θ)が求められ,Ψ〜θ曲線が同時に決定しうるなど利点を有するが,実験に長時間を要し,材料が限定され,供給流量の制御,θの測定に問題がある。湿潤過程について求めた結果を図3に◉印で示す。

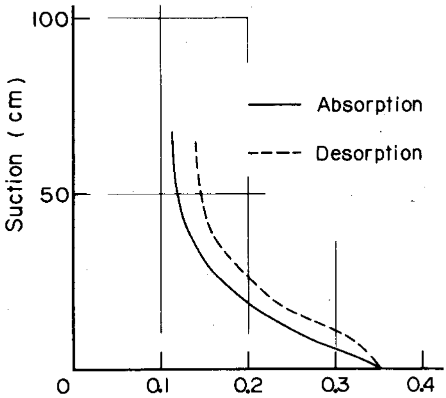

図4. 土壌水分量(θ)とSoil suction(Ψ)との関係

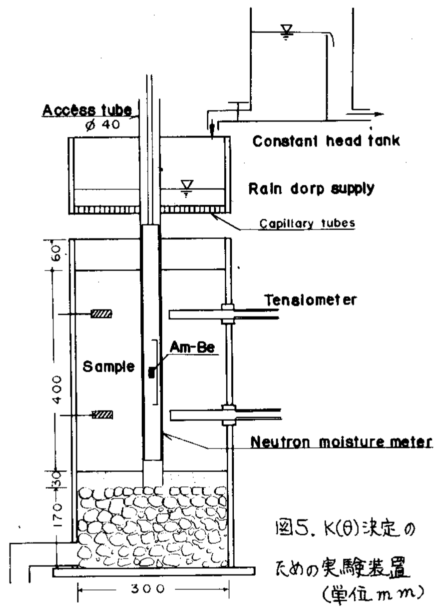

図5. K(θ)決定のための実験装置(単位mm)

4.計算結果 上述の各係数を用い,Lが130cmの領域を13分割し,時間増分を10secとして,土壌表面は飽和しているという条件の下で,Modified Gauss Seidel Method を用いて数値的に計算した結果を図6に示す。なおここでは,まるめ誤差,打ち切り誤差に10^{-7}を採用し,京大大型計算センターのFACOM 230-60を用いて計算を行なった。現在計算精度について十分な検討を行なっていないが,有用性のある解が得られたものと考えている。

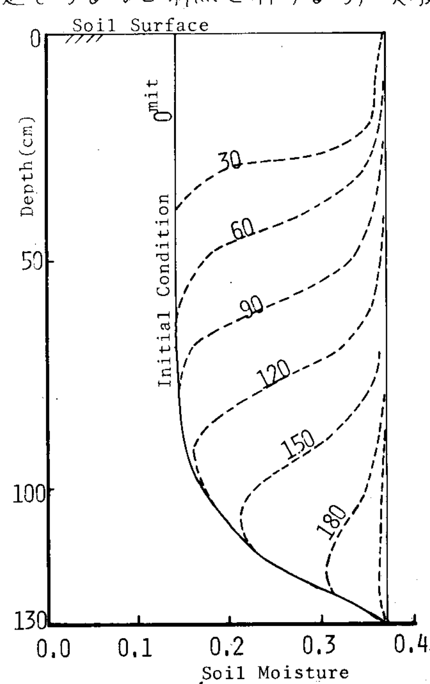

図6. 計算結果

参考文献

1) 例えば De Wiest 編: Flow through Porous Media P.229 Acad. Press.
2) W. R. Gardner: Calculation of Capillary Conductivity from Pressure Plate Outflow data. S.S.S.A.P. 1956 pp. 317〜320
3) Bruce and A. Klute: Measurement of Soil Moisture Diffusivity from Tension Plate Outflow Data. S.S.S.A.P. 1963 pp. 18〜21
4) R.R. Bruce and A. Klute: The Measurement of Soil Moisture Diffusivity. S.S.S.A.P. 1956 pp. 458〜462.