

植物の蒸散中における土壌水分移動について

九州大学工学部

学生員 ○田中 敬太郎

九州大学工学部

正員 神野 健二

鳥取大学乾燥地研究センター

正員 梶井 和朗

1. はじめに 土壌における水収支について、植生による効果は多大なものであると言われている。そこで、本報では植物がどのような過程で土壌水を吸収するのか、また植物の根および土壌における吸引圧と蒸散量との関係について考察するために室内実験と数値解析により基礎的な検討を行う。

2. 室内実験

2.1 実験方法 植物の根による吸水速度の変化と不飽和土壌の水理学的特性を決定するために、植物がある場合(下方からの水分供給無し)と、裸地の場合(下方に湛水)の2つのカラムを室内に設置して、深さ $z=3, 10, 17, 25\text{cm}$ の各位置にてテンシオメーターにより土壌の吸引圧を測定する。同時に温度・湿度を測定する。蒸発散量はカラム全体の重量変化を電子天秤により実測している。実験装置の概略を図-1に示す。

2.2 結果と考察 図-2は吸引圧、蒸発散量、気温、湿度の経時変化を示している。裸地の場合は、各測定位置の吸引圧について時間的な変化は見られなかったことから、定常状態に達していると言える。これを利用して定常状態の不飽和流の基礎式を用いて不飽和パラメーターを求めた。一方、植物がある場合は気温の上昇と湿度の低下に伴って蒸散量が増加している。これに対応して、カラム壁面に埋め込んだ間隙水圧計には1~2時間遅れて吸引圧が増大することが認められる。このことから、①植物が水分を蒸散すると蒸散要求に見合うだけの根の吸引圧が増大する。その結果、②根系周辺の土壌吸引圧が漸次増大するという過程が生じると考えられる。

3. 数値解析

3.1 基礎式 鉛直方向の水分移動を表す一次元不飽和浸透流式は(1)式の様になる。また、根の中心から水平方向への水分移動については円筒座標系の一次元不飽和浸透流式(2)式を適用する。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right\} - S(\psi, z) \quad (1) \quad C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial r} \right\} \quad (2)$$

また、不飽和土壌特性 $\theta(\psi) \cdot K(\psi)$ については Van Genuchtenによる次式を用いる。

$$\theta(\psi) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / \{ 1 + (\alpha |\psi|)^m \}^m$$

$$K(\psi) = K_s \left[1 - (\alpha |\psi|)^{m-1} \{ 1 + (\alpha |\psi|)^m \}^{-1/2} \right] / \{ 1 + (\alpha |\psi|)^m \}^{m/2}$$

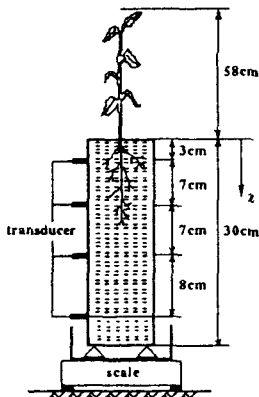


図-1 実験装置の概略(植物がある場合)

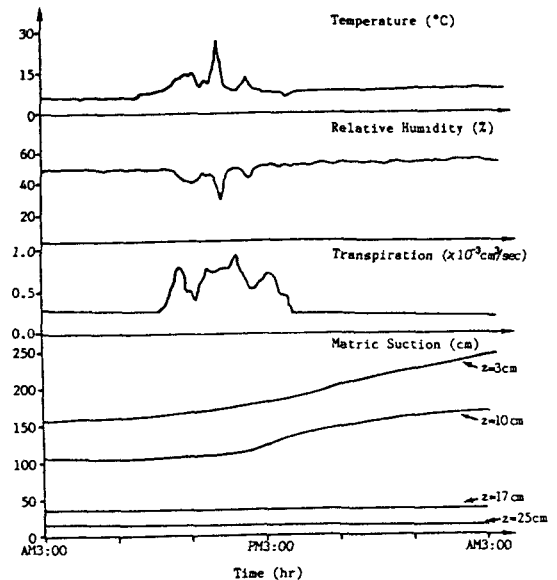


図-2 気温、湿度、蒸散量、吸引圧の時間変化

ここで、 t :時間、 ψ :土壌吸引圧、 C :比水分容量、 S :根による吸い込み項、 z :鉛直下方の座標、 r :根の中心からの半径方向の座標、 K :不飽和透水係数、 K_s :飽和透水係数(=0.00493cm/sec)、 θ :体積含水率、 θ_r :残留体積含水率(=0.10)、 θ_s :飽和体積含水率(=0.38)、不飽和土壌特性値 $\alpha=0.095$ 、 $n=1.30$ である。

3.2 解析手順 1) (1)式に対する境界条件

計算にあたって土壌表面からも蒸発が生じていると考えられ、実測の蒸発散量を次式の様に蒸散量と蒸発量に分配する。

$$E_{pl} = \alpha E_{spi} \quad \text{根による吸い込み} \quad (3)$$

$$E_s = (1 - \alpha) E_{spi} \quad \text{土壌表面からの蒸発} \quad (4)$$

ここで、 E_{spi} :実測の蒸発散量、 E_{pi} :蒸散量、 E_s :蒸発量
 α :分配率である。従って、土壌表面での(1)式に対する境界条件はAをカラムの土壌表面積として

$$q = \frac{E_{pi}}{A} = -K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \Big|_{z=0} \quad (5)$$

となる。次に(1)式の下方における境界条件としては $z=25\text{cm}$ での実測の吸引圧(ほぼ一定)を与えた。(1)式の吸い込み項 S について図-3に示す様に根が一定の半径を持つ円筒で表され、蒸散量が根による水分の吸収量に等しいと仮定して、次式の様に与える。

$$S(\psi, z) = \frac{1}{\pi a_r^2 L} \beta(\psi) g(z) \quad (6)$$

ここで、 $\beta(\psi)$:根の分布関数、 $g(z)$:吸い込み強度関数、 a_r :根の半径、 L :根の長さである。

2) (2)式に対する境界条件

(1)式を上述の境界条件のもとで解いて得られる間隙水圧計の深さにおける数値解を(2)式における $r=a_r$ での吸引圧の境界条件とする。また、カラム壁面では次に示す(7)式の境界条件を与え、(2)式を数値計算する。

$$q = -K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \Big|_{r=R} = 0 \quad (7)$$

3.4 結果

図-4には各測定位置における吸引圧の実測値と計算値との比較を示している。この場合 $A=100\text{cm}^2$ 、 $\alpha=0.9$ 、 $a_r=0.8\text{cm}$ 、 $R=1.6\text{cm}$ であり、ほぼ良い一致を示している。図-5には根の吸引圧の数値解と蒸散量の変化を示している。これより、根の吸引圧は蒸散が始まると時間遅れを伴って、 $z=3\text{cm}$ においては、しおれ点まで増加し、 $z=10\text{cm}$ においては、蒸散の減少に伴って周囲の土壌とほぼ同じ値に低下してこれを繰り返す。

4. おわりに

- (1) 植物体の根系を円筒形でモデル化することによって妥当な土壌吸引圧変化を算定することができる。
- (2) 根の吸引圧が測定点に伝播することを考慮することによって、根における吸引圧がいかなる変化を呈するか算定することができ、また植物の蒸散要求に対する根による水分吸収の時間遅れが表現できる。

参考文献 1) 初井 和朗、神野 健二、成松 忠仁: 植物の根による吸水が土壌水分分布に及ぼす影響について、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月 2) Daniel Hillel: Soil and Water, Academic Press, inc., 1971 3) R.A.Feddes, P.J.Kowalik and H.Zaradny: Simulation of Field Water Use and Crop Yield, Center for Agricultural Publishing and Documentation, 1978

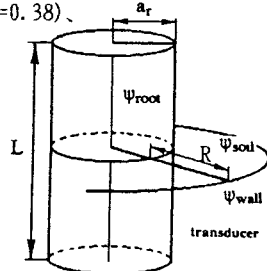


図-3 根のモデル

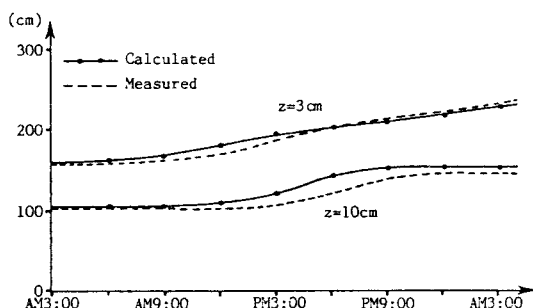


図-4 壁面における吸引圧の実測値と数値解の比較

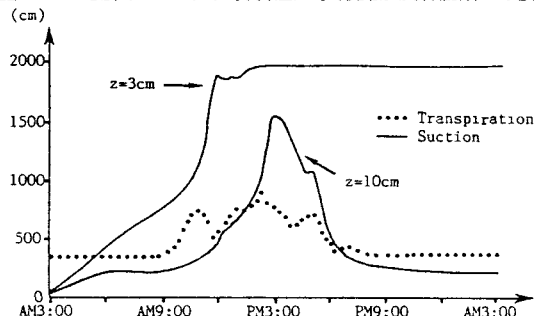


図-5 根における吸引圧の数値解と蒸散量の変化