

土壌水分の植物根圏への三次元的移動特性

九州大学工学部

学生員 ○納富 真一

九州産業大学工学部

正 員 細川 土佐男

九州大学工学部

正 員 神野 健二

1. はじめに

土壌中の水の移動について、植生の効果による影響はかなり大きいと言われている。そこで、本報では植物がどのような過程で土壌水を吸水するのか、また植物の根および土壌における間隙水圧と蒸発散量との関係について、室内実験および円筒座標を用いた植物の根のモデル化による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：植物の根による吸引速度と不飽和土壌の水理学的特性を決定するために、図-1 に示すような実験装置に、植物からの水平距離を r 、地表面からの深さを z としたときに $r=z=5, 10, 15, 20\text{cm}$ の位置でテンシオメーターにより土壌の間隙水圧を測定する。同時に室内温度、湿度および裸地からの蒸発量を測定する。蒸発量については別にカラム装置を作り、カラム全体の重量変化を電子天秤により測定する。

2.2 結果と考察：間隙水圧と蒸発量と温度および湿度の経時変化を図-2 に示す。日中温度の上昇にもない湿度が下がり、1~2時間遅れて蒸発量が増加し、間隙水圧もそれに対応して負の方へ増加しているのがわかる。日中温度の上昇で蒸発、蒸散により土壌水分が減少するのに対して、夜間には気温の低下とともに蒸発、蒸散が減少すること、地下水からの水分供給により土壌水分が増加しているようである。また、蒸発量については気温の低下にともなう水蒸気の結露のためか、土壌表面からの土壌への水分補給も見られた。 $z=10\text{cm}$ (NO.2)での間隙水圧は、裸地(NO.0)に比べて変動の幅が大きい。また日中は $z=15\text{cm}$ (NO.3)の間隙水圧との差が大きい、夜間はかなり近づく傾向にある。これは根の吸水の効果のようである。

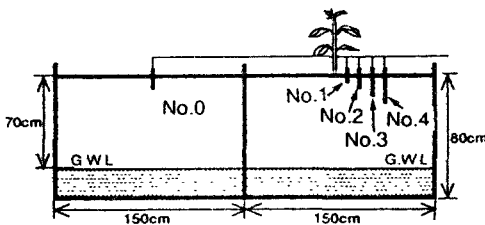


図-1 実験装置

3. 数値解析

3.1 基礎式：根の吸水を考慮した円筒座標を用いた三次元不飽和浸透流を表す式として(1)式を適用する。不飽和土壌特性 $C(\phi)$, $K(\phi)$, $\theta(\phi)$ については、Van Genuchtenの式を用いる。

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

$$C(\psi) = \frac{\alpha m n (\theta_s - \theta_r) (\alpha |\psi|)^{m-1}}{\{1 + (\alpha |\psi|)^n\}^{m+1}} \quad (2) \quad K(\psi) = K_s \frac{1 - (\alpha' \psi)^{n-1} \{1 + (\alpha' \psi)^n\}^{-1/2}}{\{1 + (\alpha' \psi)^n\}^{m/2}} \quad (3)$$

$$\theta(\psi) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / \{1 + (\alpha |\psi|)^n\}^{1/m} \quad (4)$$

ここに、 t :時間、 ϕ :土壌間隙水圧、 C :比水分容量、 S :根の吸水項、 z :鉛直下方への座標、 r :根の中心からの距離、 K_s :飽和浸透係数(0.026cm/sec)、 K :不飽和透水係数、 θ_r :残留体積含水率(0.16)、 θ_s :飽和体積含水率(0.41)、 θ :体積含水率、不飽和土壌特性値； $\alpha=0.0335$ 、 $n=17.1136$ 、 $m=1-1/n=0.941567$ である。

3.2 解析手順：(1)式を解析するために、境界条件および吸水項 S の評価をし、陰形式差分法を用いる。

1)境界条件：植物からの蒸散に加え土壌表面からも蒸発が生じていることが考えられ、可能蒸発散量の10%

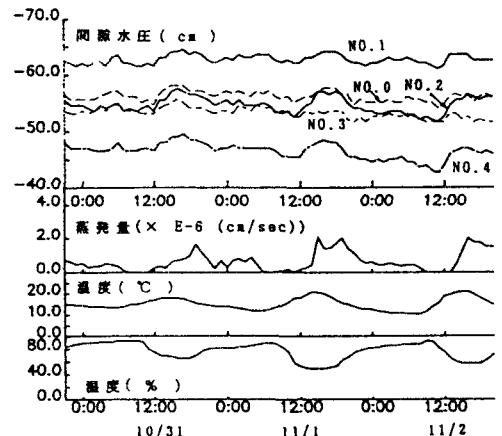


図-2 観測量の時系列

を可能蒸発量、90%を可能蒸散量、即ち根による吸水に分配する。

$$ET_p = E_p + T_p \quad (5), \quad E_p = \gamma ET_p, \quad T_p = (1 - \gamma) ET_p \quad (6)$$

ここで、 ET_p : 可能蒸発散量、 E_p : 可能蒸発量、 T_p : 可能蒸散量、 γ : 分配率 ($\gamma = 0.1$) である。従って土壌表面には裸地の実験に対しては実測の蒸発量を、植物がある場合については (6) 式の E_p を地表面の境界条件として与えるが、根による吸水量を蒸散量 T_p とすることから、数値解と実測の間隙水圧分布とが一致するような可能蒸発散量 ET_p を仮定する必要がある。地下水面では $\phi = 0$ を与える。

2) 根のモデル化 : ここでは (1) 式の吸水項 S を次式のように考える :

$$S(r, z, \psi) = \alpha(\psi) g(r, z) T_{pmax} \quad (7)$$

$$g(r, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_z(z-a)} \exp \left[-\frac{r^2}{2\sigma_z^2} \frac{\{\log(z-a) - m\}^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (8)$$

ここで、 $\alpha(\phi)$: 土壌中の間隙水圧による吸水関数、 $g(r, z, \phi)$: 根の分布関数、 T_{pmax} : 可能蒸散量、 σ^2 : r 方向の分散、 m, σ_z^2 : $\log z$ の平均と分散、 a : 定数

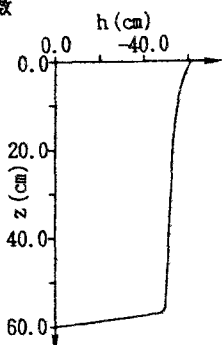


図-3(a) 蒸発を無しの裸地での1ヵ月後の間隙水圧分布

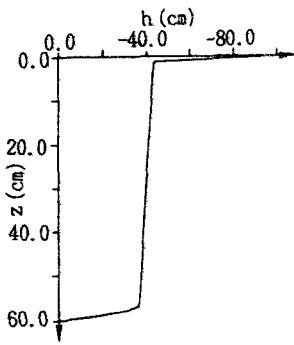


図-3(b) 蒸発を有りの6日後の裸地における間隙水圧分布

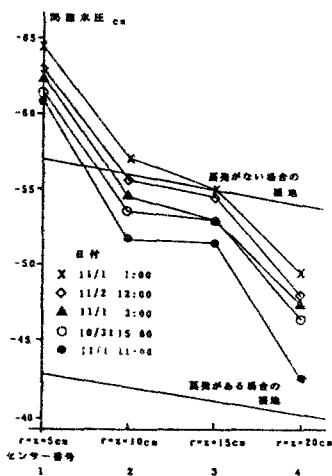


図-4 測定点での間隙水圧の比較

3.3 結果と考察 : 図-3(a)は上の境界条件で裸地で蒸発がない場合の定常状態の間隙水圧で、図-3(b)は図-3(a)の状態から一定の蒸発量 ($3.5 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$) を境界条件として与えた6日後の間隙水圧の分布である。表面からの蒸発が無い場合に比べて、蒸発がある場合には地表面近傍での大きな間隙水圧の勾配が生じていると共に、サクションが低下している。これは表面からの蒸発量に見合う分を地下水面から補給しているために、このような水圧分布に変化したものと考えられる。また、いずれの場合にも地下水面から地表のごく近傍までは、間隙水圧はほぼ直線的に変化している。図-4には、図-3(a),(b)に示す裸地での数値計算結果と、植物がある場合の実験結果との比較である。植物が無い場合に比べて実測値は負圧が大きく、勾配も大きいことより根による吸水の影響があるのがわかる。裸地に比べて $r=z=20\text{cm}$ では数cm、 $r=z=5\text{cm}$ 付近では20cm程度の差があり、根に近いほど吸水効果が顕著である。植物がある場合で間隙水圧が時間的に変化しているのは、図-2にも示すように気象条件の変化に対応しているものと考えられる。

4. 結び

今回の実験により間隙水圧が蒸発散量に応じて変動していること、間隙水圧分布からは植物の根に向かう水分移動があることなどが明らかになった。今後は、根による吸水項のモデル化の妥当性を検討し、吸水状態での数値シミュレーションを実施する予定である。

謝辞 : 本研究を行うに際し御助力下さいました九州大学工学部技官大石秀人氏並びに九州産業大学工学部石井万弘、井手吉一、稲田健君に深く感謝致します。

参考文献 1) 初井和朗他 : 植物の根による吸水を考慮した土壌水分現地日観測値の数値解析、水工学論文集第36巻、1992年 2) P. PERROCHET : WATER UPTAKE BY PLANT ROOTS-A SIMULATION MODEL, I. CONCEPTUAL MODEL, Journal of Hydrology, 95(1987)55-61