

植物根圏部周辺の水分移動シミュレーション

九州大学工学部 学生員 ○納富 貫一
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

土壌中の水分移動の主なものとして、地表面からの蒸発、降雨の浸透などあげられるが、植物の根による効果も大きく影響しているといわれている。そこで本報では、植物の根による土壌中の水分移動がどのような過程で生ずるかを室内実験に基づいて、円筒座標系を用いたシミュレーションを行い検討する。

2. 室内実験

2.1 実験方法： 植物の根による吸水過程と不飽和土壌の水理的特性を決定するために、図-1に示す実験装置を用いる。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。また同時に室内温度、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。また実験終了後、植物の根の分布を半径方向に 1cm毎、鉛直方向に 2cm毎の重量により調べた(表-1)。

2.2 実験結果： 間隙水圧、蒸発量、温度および湿度の経時変化を図-2に示す。日中温度の上昇にと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、蒸散が減少し、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。 $z=10\text{cm}$

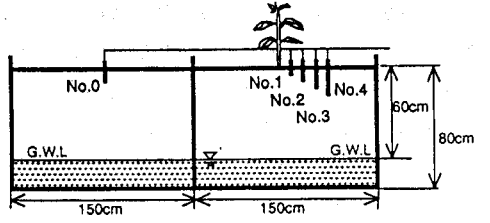


図-1 実験装置

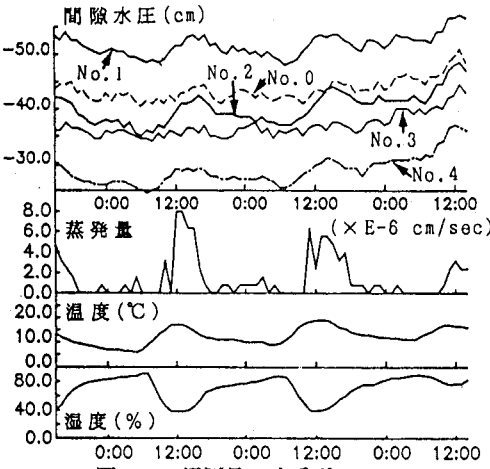


図-2 観測量の時系列

表-1 根の分布

		単位(%)									
		r(cm)									
z(cm)	r(cm)	0-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	計
		0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
0-2	0.10										0.10
2-4	1.33	0.05	0.03								1.41
4-6	2.58	0.37	0.08	0.05	0.01	0.73	0.01	0.05	4.60		
6-8	0.35	0.93	1.08	0.90	0.97	0.68	0.29	0.24	5.44		
8-10	1.73	1.16	0.79	0.52	1.03	0.65	1.78	0.68	0.01	8.35	
10-12	1.75	0.86	3.23	2.68	3.21	3.94	0.98	1.44	0.49	18.8	
12-14	1.18	1.19	1.42	2.11	2.08	4.12	2.44	5.53	0.02	20.1	
14-16	2.23	1.04	1.37	1.60	1.34	2.83	2.41	2.32	0.02	15.1	
16-18	3.50	2.02	3.54	2.56	4.19	5.94	2.36	0.58	0.01	24.7	
18-20			0.31	0.17	0.33	0.58	0.18			1.57	
計	11.8	9.25	12.0	11.5	13.1	19.0	11.6	10.9	0.84	100.0	

流式を (1)式に示す。不飽和土壌特性値 $C(\phi)$ 、 $K(\phi)$ については、Van Genuchten の式を用いる。

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

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 :不飽和透水係数である。

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。また、モデルは実験に基づき、植物の根付近とその外の性質の異なる土壌の二層とした。

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%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。

$$ET_P = E_P + T_P \quad (2)$$

$$E_P = \gamma ET_P, \quad T_P = (1 - \gamma) ET_P \quad (3)$$

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。したが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(5)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) 吸水項 S ：ここでは(1)式の吸水項 S を次式のように考える。

$$S(r, z, \psi) = \alpha(\psi) g(r, z) T_P \quad (4)$$

ただし

$$\iint g(r, z) dr dz = 1 \quad (5)$$

ここで、 $\alpha(\psi)$ ：土壌中の間隙水圧による吸水関数、 $g(r, z)$ ：根の分布関数、 T_P ：可能蒸散量

$\alpha(\psi)$ は図-3に示される関数であり、分布関数 $g(r, z)$ については、表-1に示す実測結果を用いる。

3.3 結果と考察：(1) 式を上述の方法により解いて得られた数値解析の結果と観測結果との比較を図-4に示す。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。表-1と図-4を見較べてみると、根があるところは間隙水圧に変化がみられ、周りに比べて間隙水圧が負の方向に低いところは根の割合が多いところになっている。これは根が土壌水分を吸い込むために根の周りには水分が集められて負圧が低くなっていると考えられる。

4. 結び

実験結果および解析結果により根の周辺部では水分が集まり根に向かう水分移動が確認できた。今後は根の吸水項のモデル化とその妥当性についての検討を行い、根の吸水について数値シミュレーションを行う予定である。

参考文献

1) 舛井和朗他：植物の根による吸水を考慮した土壌水分現地観測値の数値解析。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 3) Christian Blondin: Parametization of Land-Surface Processes in Numerical Weather Prediction 4) 納富貴一他：土壌水分の植物根圏への三次元的移動特性。土木学会西部支部研究発表会講演集1992年

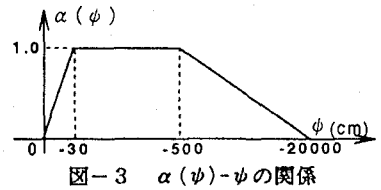


図-3 $\alpha(\psi)$ - ψ の関係

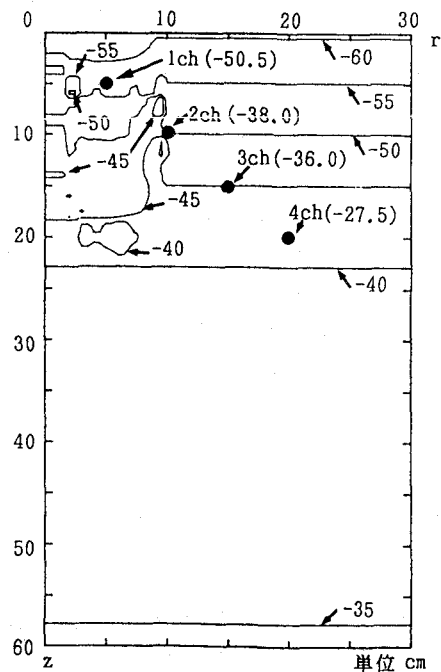


図-4 観測値と解析値の比較(22日13時)