

土壌水分の移動特性の数値実験による検討

信州大学工学部 正員 〇富所五郎

国立公害研究所 正員 大坪国順

信州大学工学部 山崎成史

1. はじめに

本研究は、不飽和土壌中の水分の移動機構を解明するために、大坪によってなされた環境制御型ライシメータを用いた土壌水分の鉛直移動特性の実験結果¹⁾を数値実験により再現を試みたものである。水分の移動特性を示す物理量としては、雨水の浸透に伴う浸透量、吸引水頭、トレーサ濃度の変化である。数値実験は、不飽和浸透方程式、物質の移流拡散式に、数値解析法として差分法を適用して行っている。

2. 基礎方程式

不飽和土壌中の雨水の鉛直浸透と物質の移流拡散を支配する方程式は、それぞれ

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{\partial F}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial z} \left(k \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right) \quad (1), \quad \frac{\partial wC}{\partial t} + \frac{\partial FC}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(wD \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (2)$$

である。ここに、 z 軸は鉛直下方を正とし、 w は体積含水率、 F は浸透流速、 k は不飽和透水係数、 h は吸引水頭、 C は拡散物質濃度、 D は物質の拡散係数である。上式においては、植物による水分の吸収および拡散物質の土壌への吸着・脱離や生成・消滅はないものとしている。

3. 数値計算法

上に述べた数値計算法は、ほぼ乙間の方法²⁾に依っている。その概略を以下に示す。図1を参考にして、式(1)の降雨及び蒸発の影響を受ける第一層に対する差分式は、降雨などの急激な変化に対応する

ため、時間変数に対して two-step Lax-Wendroff法を用いると、

$$1 \text{ step}; W_{i,j+1/2} = (P_j - E_j - F_{ij})dt/2L + W_{ij} \quad (3)$$

$$2 \text{ step}; W_{i,j+1} = (P_{j+1/2} - E_{j+1/2} - F_{i,j+1/2})dt/L + W_{ij} \quad (4)$$

であり、第二層以下の第 i 層においては、

$$1 \text{ step}; W_{i,j+1/2} = (F_{i-1,j} - F_{ij})dt/2L + W_{ij} \quad (5)$$

$$2 \text{ step}; W_{i,j+1} = (F_{i-1,j+1/2} - F_{i,j+1/2})dt/L + W_{ij} \quad (6)$$

となる。ここに、 W_{ij} は時刻 j における層 i の体積含水率 (cm^3/cm^3)、 F_{ij} は時刻 j における層 i から層 $i+1$ への浸透流速 (cm/d)、 P_j は時刻 j における降雨強度 (cm/d)、 E_j は時刻 j における蒸発強度 (cm/d)、 L は層の厚さ (cm)、 dt は時間間隔 (d) である。式中の F_{ij} などは、吸引水頭より次式

$$F_{ij} = K_i (h_{i+1,j} - h_{ij} + L)/L, \quad (K_i = 2k_i k_{i+1}/(k_i + k_{i+1})) \quad (7)$$

などを用いて計算される。ここに、 h_{ij} は時刻 j における層 i の吸引水頭 (cm)、 K_i は層 i と層 $i+1$ との境界における不飽和透水係数 (cm/d)、 k_i は層 i の土壌の不飽和透水係数 (cm/d) である。

次に、式(2)についても同様に求められ、第一層と第二層以下の i 層について示すと

$$1 \text{ step}; C_{i,j+1/2} W_{i,j+1/2} = (P_j C_p - E_j C_{ij} - C_{i,j}^* F_{ij})dt/2L + C_{ij} W_{ij} \quad (8)$$

$$2 \text{ step}; C_{i,j+1} W_{i,j+1} = (P_{j+1/2} C_p - E_{j+1/2} C_{i,j+1/2} - C_{i,j+1/2}^* F_{i,j+1/2})dt/L + C_{ij} W_{ij} \quad (9)$$

$$1 \text{ step}; C_{i,j+1/2} W_{i,j+1/2} = (C_{i-1,j}^* F_{i-1,j} - C_{i,j}^* F_{ij})dt/2L + C_{ij} W_{ij} \quad (10)$$

$$2 \text{ step}; C_{i,j+1} W_{i,j+1} = (C_{i-1,j+1/2}^* F_{i-1,j+1/2} - C_{i,j+1/2}^* F_{i,j+1/2})dt/L + C_{ij} W_{ij} \quad (11)$$

である。ここに、 C_{ij} は時刻 j における層 i の土壌水に含まれる拡散物質の濃度 (ppm)、 C_p は降雨のそれである。 $C_{i,j}^*$ は浸透流が正、負により、上層または下層の濃度になる。つまり、次式である。

$$F_{ij} \geq 0 \text{ のとき}; C_{i,j}^* = C_{ij}, \quad F_{ij} < 0 \text{ のとき}; C_{i,j}^* = C_{i,j+1} \quad (12)$$

4. 実験結果の数値実験による検討

不飽和土壌中の水分の移動特性を示す物理量として、浸透量、吸引水頭、トレーサである重水の濃度の

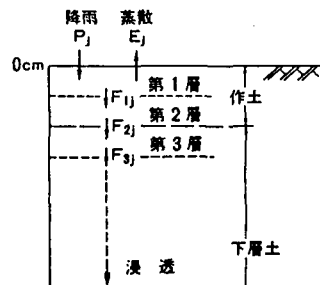


図1 土壌水分の流れ

変化を選んだが、これらの実験結果については文献(1)を参照されたい。数値実験において、不飽和透水係数と吸水水頭は、それぞれ $k=aw^b$, $h=cw^d$ とおき、係数 a, b, c, d を実験により表-1のように決めた。ここで、 c, d は乾燥課程における係数で、湿潤課程のそれは吸水水頭ヒステリシスを考慮して c を最大50%まで減少させた。しかし、図-1での計算結果は実験結果に見られるような、いわゆる s カープを示していない。また図-2では、計算結果と実験結果の差は初期において大きい。さらに図-3における重水の濃度も、分布形などは大体似ているが、その進む早さが3週目まで大きく異なっている。これらは全て地表面付近の土壌に因っているものであり、同じ作土内においても a, b, c, d 諸係数やその式型が大きく異なる可能性があることを示しており、もう少し細分してこれらを定めるべきであった。

表-1 係数

	層位置	a	b	c	d
作 土	0~20cm	4042	12.0	0.940	6.29
	20~35cm	1564	12.0	0.480	8.23
下層土	35~80cm	3242	15.0	0.042	14.91
	80~230cm	1450	15.0	0.0145	15.30

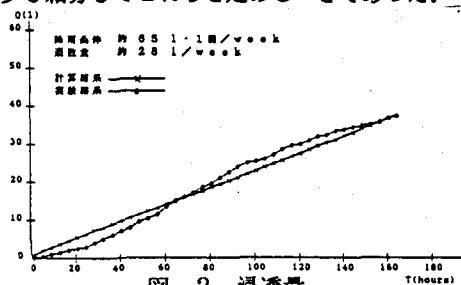


図-2 浸透量

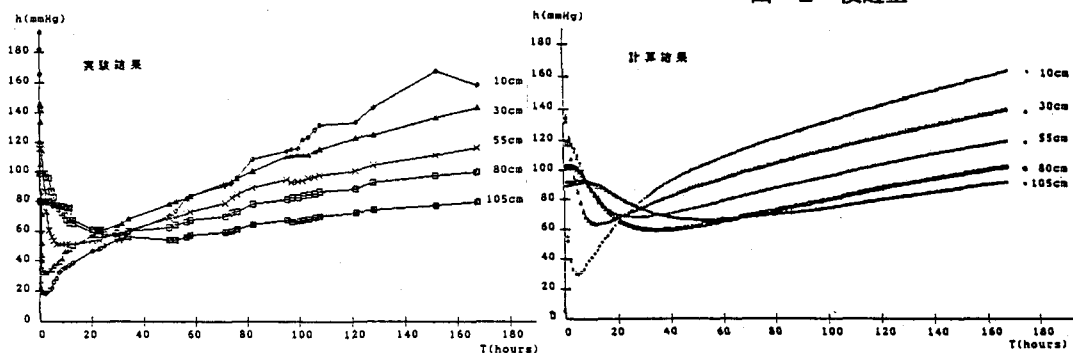


図-3 吸水水頭の経時変化

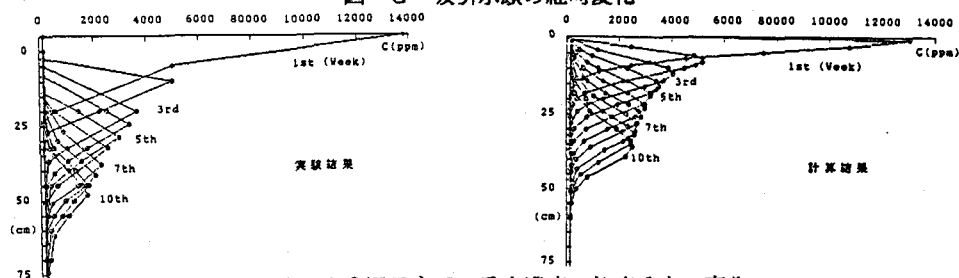


図-4 10週目までの重水濃度の鉛直分布の変化

5. おわりに

上述のように、実験結果の数値実験による再現性は良くない。これは、作土内の体積含水率と吸水水頭・透水係数の関係を示す実験結果のばらつきが大きいことに依るものと考えられるが、この他に数値解析法にも問題がある可能性もある。この問題は、今後有限要素法の導入により検討したい。

参考文献

- 1) 大坪: 大型ライシメータにおける不飽和土壌中の水分の鉛直移動特性, 第32回水理講演会論文集, pp.101-106, 1988.
- 2) 乙間他: 畑地土壌における水分と諸元素の動態, 国立公害研研究報告, 105号, pp.74-107, 1987.