

II-467

不攪乱通気土壌カラム内の水分の存在状態とその評価

京都大学 学生員 椎野 徹

京都大学 正会員 井上頼輝

京都大学 正会員 森澤眞輔

1. はじめに : 地表面付近のいわゆる通気層中での水分および物質の移動に関する研究が進み、種々の評価モデルが提示されている。筆者等⁽¹⁾は、すでに通気層内での有害物質の移動を評価するために、土壌水分移動に関する多成分流れモデルを提案している。本研究は、通気状態にある不攪乱土壌カラムを用いて、土壌水分をその存在状態に応じて多成分に区分することの妥当性を実験的に確認するとともに、その区分の方法（多成分流れモデルを適用する場合の関連パラメータの設定方法）を検討することを目的としている。

2. 実験方法 : 京都大学構内の低草地の表層土約5cmを取り除いた後、土壌試料採取用金属筒を約15cm打ち込み、不攪乱土壌カラムを得た。同カラムを図-1のように設置し、上部よりカラム内の水分分布が定常になるまで定量ポンプで水道水を供給し続けた後、トレーサー溶液（臭素濃度50mg/cm³）を表-1に示す実験条件で供給し、臭素の破過曲線を測定した。トレーサー溶液の供給を停止し、カラムからの重力排水が終了した後、カラムを4分割し、超高速遠心分離機にかけ、土壌水分をpFごとに分取するとともに土壌水分中の臭素濃度を測定した。土壌水分の分離条件を表-2に示す。ここに、pF値とは、土壌に保持されている水のエネルギーに等しい化学ポテンシャルを、水柱高に換算し、その絶対値を常用対数で示した値のことである。

3. 実験結果 : RUN4で得られた破過曲線を図-2の黒丸に示す。同図は、破過のテーリング現象を顕著に示している。通水速度の差異による破過曲線の違いは、ほとんど認められなかった。測定した土壌水分中臭素濃度のpFによる分布を図-3に黒丸で示す。この図は、pFが大きく、すなわち土壌との結合力が大きくなると土壌水中の臭素濃度は小さくなる事を示している。また、pFに対する臭素濃度変化の勾配を比較すると通水速度が速い方が、遅い方よりも勾配は大きい。これらの結果は、実験条件下において、カラム内での水分移動が一様ではなく、pFが小さい水分は速

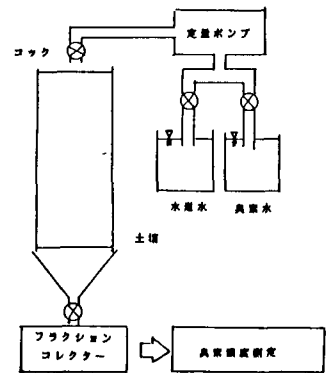


図-1 実験装置

表-1 実験条件

	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
カラム内径 d [cm]	5.0	5.0	5.0	5.0
カラム高さ l [cm]	15.2	14.8	15.2	14.8
臭素濃度 ρ [g/cm ³]	2.58	2.63	2.61	2.60
空隙率 ϵ [-]	0.489	0.577	0.513	0.427
平均含水率 θ [-]	0.377	0.446	0.426	0.389
通水速度 Q [ml/hr]	36.03	64.56	95.12	115.03
トレーサー濃度 C [mg/l]	50.0	50.0	50.0	50.0
トレーサー供給時間 [min]	114.0	81.0	72.0	108.0
観測時間	不攪乱	不攪乱	不攪乱	不攪乱
土の種類	土壌	土壌	土壌	土壌

表-2 各実験における回転数及びUPF

RUN	回転数 [r.p.m.] (P F)	1000 (1.828)	3000 (2.782)	5000 (3.226)	10000 (3.828)
RUN 1	回転数 [r.p.m.] (P F)				
RUN 2	回転数 [r.p.m.] (P F)		3000 (2.782)	5000 (3.226)	7000 (3.518)
RUN 3	回転数 [r.p.m.] (P F)		3000 (2.782)	5000 (3.226)	7000 (3.518)
RUN 4	回転数 [r.p.m.] (P F)	1000 (1.828)	3000 (2.782)	5000 (3.226)	7000 (3.518)
RUN 5	回転数 [r.p.m.] (P F)		3000 (2.782)	5000 (3.226)	7000 (3.518)

く、pFが大きい水分は遅く移動する事を示唆しているといえる。遠心分離された土壌水分量のカラム深さ方向の分布をpFごとに、RUN2を例にとって図-4に示す。pFの違いによる土壌水分量の分離される総量に対する割合は、pF2.8までで70%、pF3.2までで80%、pF3.5までで90%を占めている。しかし、pF3.8でも遠心分離されない水分がカラム全体で60-80ml存在し、これらを合計したカラム内全水分量に対して50-70%の水分が遠心分離されなかった。

表-3 3成分流れモデルにおけるパラメータフィッティング結果

分散係数 k	[cm]	0.8	
θ_i / θ	θ_{im}	[-]	0.50
	θ_m	[-]	0.40
	θ_r	[-]	0.10
トレーサーの配分率	γ_m	[-]	0.70
	γ_r	[-]	0.30
α	{1/hr}	0.12	
β	{1/hr}	0.0001	
土壌と土壌水の分配係数 k_d	[ml/g]	0.05	

4. 考察 : 臭素イオンの破過曲線(図-2参照)に対して3成分流れモデル⁽¹⁾による数値シミュレーションを実施し、パラメータフィッティングにより関連パラメータを決定した(表-3参照)。結果の一部、すなわちRUN4のパラメータフィッティングによるシミュレーション計算結果を図-2に実線で示す。ただし、各成分の水分存在比 ϕ_{im} 、 ϕ_m 、 ϕ_r は実測値に基いて、急流水成分をpF1.8まで、緩流水成分をpF1.8-2.8、不動水成分をpF2.8以上の、各水分としている。同パラメータをそのままRUN3で得たカラム内の臭素濃度分布のシミュレーションに適用し、結果を図-3に実線で示す。計算結果と実測結果とは良く一致しているといえる。

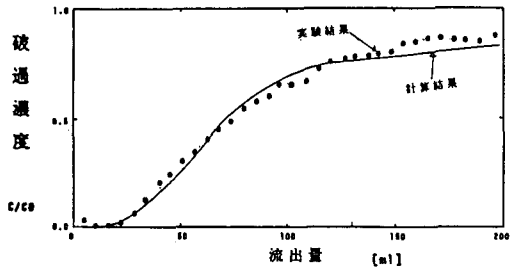


図-2 不攪乱土壌カラムのBrの破過曲線 (RUN 4)
実測値 (黒丸) と予測値 (3成分モデル)

5. 結論 : 本研究で得られた結論を要約すると以下の通りである。

- (1) 実験条件下で、通気状態にある不攪乱土壌カラム内の水分移動は、カラム内で一様でなく、トレーサー濃度分布から、pFが小さい水分ほど移動速度は大きい傾向があるといえる。
- (2) pF0-1.8の水分を急流水成分、pF1.8-2.8の水分を緩流水成分、pF2.8以上の水分を不動水成分として、多成分流れモデルを適用して得たシミュレーション結果は、破過曲線およびカラム内のpFによる臭素濃度分布ともに、実測結果とよい一致を示した。

参考文献：(1) 森澤真輔他、多成分流れモデルによる通気層内物質移動の解析、衛生工学研究論文集、Vol.22, pp.9-21, (1986)

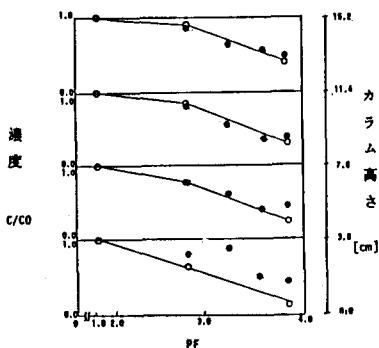


図-3 各pFにおけるカラム内濃度分布 (RUN 3)
実測値 (黒丸) と予測値 (3成分モデル; 実線)

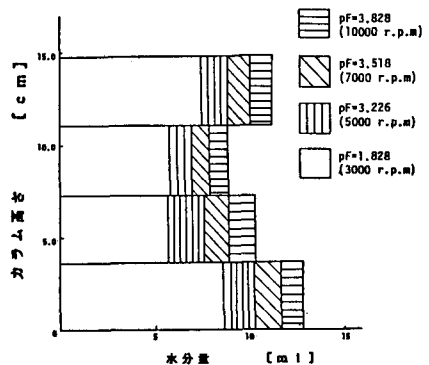


図-4 各pFにおけるカラム内総水分量 (Run 2)