

山梨大学工学部 正 員 坂本 康
山梨大学工学部 正 員 竹内邦良

1. 目的

不飽和状態での水および溶質の移動には、均質な流れを仮定し飽和状態での理論を拡張して用いるのが一般的である。本研究では、(1) 一次元不飽和カラム浸透、(2) 二次元不飽和斜面流出の流れを色素トレーサーを用いて実際に見ることで、このような拡張があてはまるような条件を確認する。

2. 方法

薄層ガラス・ビーズ層中に人工降雨により染色水の流れをつくり、これをビデオ・カメラで撮影した。ガラス・ビーズは中粒（平均径 0.6 mm、空隙率 0.39）、混合粒（種々の粒径を表 1 の割合で混合したもの、空隙率 0.37）を用いた。降雨は雨滴間隔 1 cm で一滴の体積 0.01 ml とした。色素は赤（メチルレッド）、青（メチルブルー）を用いた。ビデオ画像は画像入力装置（カメラ・インターフェイス「眼力」：テックメイト社）でパソコン（NEC PC-9801E）に入力した。入力の際、入力画像の二値化レベルをかえることで種々の濃淡画像をえ、これらを見やすいものに処理、変換した。ただし、画像を解釈するとき、(1) 画像濃度の違いは飽和度にもよる、(2) 色素には吸着がある、点に留意する必要がある。

3. 一次元不飽和カラム浸透実験

3.1 実験条件

ガラス・ビーズで奥行 5 mm、幅 10 cm、長さ 15 cm の鉛直カラムをつくり上面から赤色水降雨を降らせた。実験条件を表 2 に示す。表中、湿潤 1 とは一旦塩水で飽和させた後自然流下で脱水、湿潤 2 とは上面より塩水降雨でしめらせた後自然流下で脱水したものである。塩水を用いるのは密度を赤色水と等しくして密度差による流れを防ぐためである。

3.2 結果

表 2、図 1～4 に各条件での水みちの様子を示す。表中水みち面積率とは水平断面内でぬれた部分のみかけの割合であり、真の水の流路の割合はこの値に有効空隙率をかけたものになる。図は 2 以外は平衡に達したときのものである。結果を要約すると以下ようになる。

- (1) 初期水分状態が乾燥状態のとき(No.1,2)は、鉛直下方への finger 状水みち流れとなり、流量が増えると水みち本数が増える(図 1)。
- (2) 初期水分状態が飽和後脱水のもの(No.3)では水みちはできず、全体的に浸透する(図 2)。
- (3) 初期水分状態が塩水降雨後脱水のものに強度を増してさらに赤色水降雨を与えた場合(No.4)は水みちの本数はそのまま太さが増える。
- (4) 混合粒で初期水分状態が乾燥状態のとき(No.

表 1 混合粒の組成

粒径(mm)	重量%
1.41 ~ 2.00	20
0.84 ~ 1.41	30
0.59 ~ 0.84	25
0.40 ~ 0.59	25

表 2 一次元浸透実験の主な条件と結果

実験 No.	ビーズ種別	初期水分状態	降雨強度 (mm/min)	水みち本数	水みち平均幅 (cm)	水みち面積率 (%)
1	中粒	乾燥	17.3	3	0.55	22
2	中粒	乾燥	44.0	4	0.58	34
3	中粒	湿潤 1	17.3	∞	-	100
4	中粒	湿潤 2	26.6 →45.0	2	1.25	39
5	混合粒	乾燥	14.7	5	0.31	23
6	混合粒	乾燥	45.3	網目	-	67



図 1 実験 No. 2
の水みち

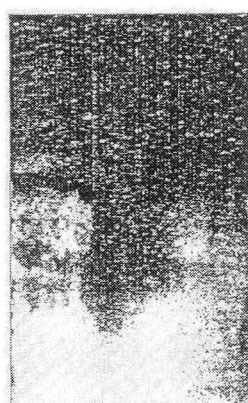


図 2 実験 No. 3
の水みち

5)は、tortuosity の影響で水みちは鉛直にならず、また幅が狭くなり本数が増える(図 3)。
(5) 混合粒で初期水分状態が乾燥状態のとき、流量が増える(No.6)と網目状の流れとなり全体的に浸透する(図 4)。

4. 二次元不飽和斜面流出実験

4.1 実験条件

図 5の装置内に中粒で奥行 1 cm、幅 45 cm、高さ 15 cm の三角形斜面を作った。斜面は「河道方向に垂直な断面内の斜面」を想定し、下端を上流からの基底流に相当する自由水面をもつ流れ(図 5のガラス・ビーズ槽左下すみの裏側から表側に流れる)に連続した。基底流には赤色水、降雨には塩水を用いた。また、斜面表面に青色水を駒込ピペットで 0.13 ml/cm 滴下し、表層水質成分とした。降雨は 38 ml/min、基底流は 20 ml/minである。また、模擬植生としてつまようじにナイロン・タリをつけた模型木を深さ約 3 cm まで差し込んだものも用いた。

4.2 結果

図 6,7に結果を示す。図中の A,B,Cの部分青色の濃い部分である。3.の結果以外に観察された結果を要約すると以下ようになる。

(1) 水はぬれ部分までは水みちを形成して降下し、ここで拡散様移動(図 6と図 7の B)をし、その後ぬれ部分の奥に入ると底面に平行な方向にカーブ(図 7の C)して流れた。ここでいうぬれ部分とは乾燥部分より暗く見える部分で、飽和部(capillary fringe)を含む領域であるが、両者の完全な対応はとれていない。特に混合粒では粒径の小さいものが比較的多く含まれているにもかかわらず、ぬれ部分は他のものより狭くなっていた。乾燥部の浸透のしかたは3.と同様であった。

(2) 模擬植生のないときはぬれ部分では拡散状移動が主(図 6)で、模擬植生があるとカーブが顕著(図 7の C)であった。これは、模擬植生があると表層青色水の降下が多く、ぬれ部分奥の飽和部にまで達するためと考えられる。

5. まとめ

不飽和部では粒径分布、初期水分条件によっては不均一な fingering 状の水みち流れが起こる可能性がある。このとき、雨滴の大きさと間隔、空隙の大きさ、飽和度により水がどのように連続して動くかという視点も必要である。また、ぬれ部分内の場所による流れ方の違いは不飽和部と飽和部との違いによるとも考えられる。このようなことから、乾燥状態のときに capillary fringe より上まで飽和理論の拡張式(Richards 式等)で扱えるかどうかは問題である。なお、本研究ではガラス・ビーズを用いたが、現実の土壌構造にあわせて多孔体の粒子についても検討する必要がある。

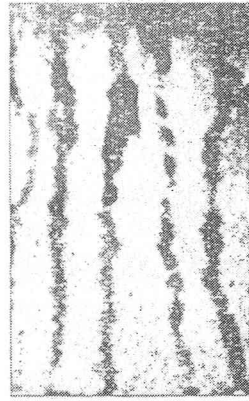


図 3 実験 No. 5
の水みち



図 4 実験 No. 6
の水みち

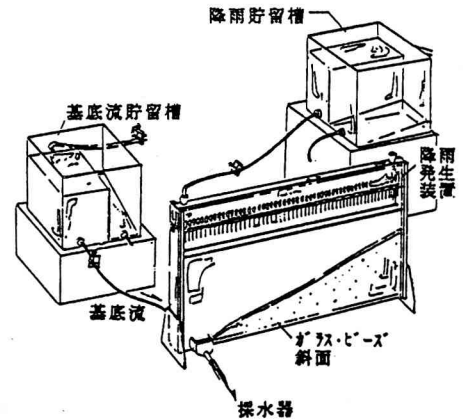


図 5 二次元不飽和斜面流出実験装置

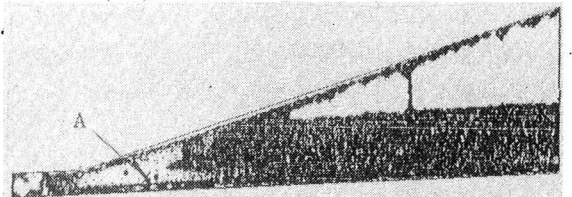


図 6 模擬植生がないときの浸透

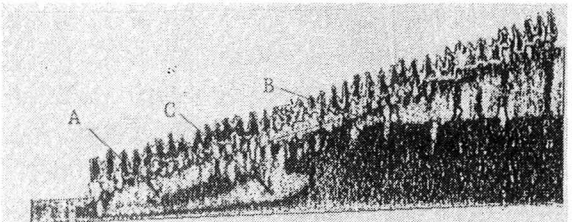


図 7 模擬植生があるときの浸透