

土中空気の圧力勾配を伴う砂中の不飽和水分流れについて

Unsaturated Water Flow with Pneumatic Pressure Gradient in a Sand

取出 伸夫* Feike J. Leij**
Nobuo Toride Feike J. Leij

1. はじめに

土中の水分量が均一で圧力勾配がゼロのときに生じる不飽和重力流れは、不飽和透水係数の測定や、水分量に依存する溶質分散係数の測定に用いられる。しかし重力のみを駆動力とした流れのため、ある水分フラックス J_w に対して、不飽和透水係数 K による定まる一組の体積含水率 θ と間隙流速 v が得られる。この θ と v の組み合わせを変化させる可能性として、土中空気の圧力勾配を利用する方法がある。このとき土中水のダルシー式は、土中水のマトリック水頭 h_m (cm)、土中空気の圧力水頭 h_a (cm)、及び重力水頭 z (cm)の和の勾配と不飽和透水係数 K の積で与えられる。

$$J_w = -K(\theta) \frac{d}{dz}(h_m + h_a + z) \quad (1)$$

大気圧($h_a=0$)の下での重力流れでは、 h_m が一定で $dh_m/dz=0$ である。重力流れの生じている土に対して、適当な土中水及び空気の圧力の境界条件を与え、 $dh_m/dz=0$ を保ちながら空気の流れを生じさせると、重力に加えて空気圧勾配が水分駆動力となり、異なる θ と v の組み合わせが得られる。このときテンシオメータで測定される土中水の圧力水頭 h_w は、 h_m と h_a の和であり、また水分量は $h_m(=h_w-h_a)$ により与えられる。本研究では、不飽和重力流れの生じている砂に対して、空気の流れを生じさせ、土中空気圧勾配を用いて水分量変化させた不飽和流れについて、実験による検討を行った。

2. 実験

用いた試料は Ottawa Sand (平均粒径 0.25mm) である。試料を内径 5.2cm、高さ 25 ~ 30cm のコラムに充填し飽和させた後、一定の給水フラックスを与え($J_w=13 \sim 93\text{cm/day}$)、下端の吸引圧を段階的に増加させながら排水させ、水分量がコラム全体に一樣な不飽和重力流れを作成した。その後、一定の給水を続けながら、上端に一定の空気圧(20 ~ 100 cmH₂O)を与え、上端からコラム下端の空気出口への空気流れを生じさせた。テンシオメータによる土中水の圧力 h_w 及び気相圧力 h_a を圧力変換器、排水量を電子天秤により自動計測した。空気圧を与えると、下端の h_m が増加する傾向があるので、必要に応じて下端の吸引圧を増加させた。また土中水濃度として電気伝導度を4極塩分センサーで測定し、濃度の時間変化から溶質分散係数の推定も行った。

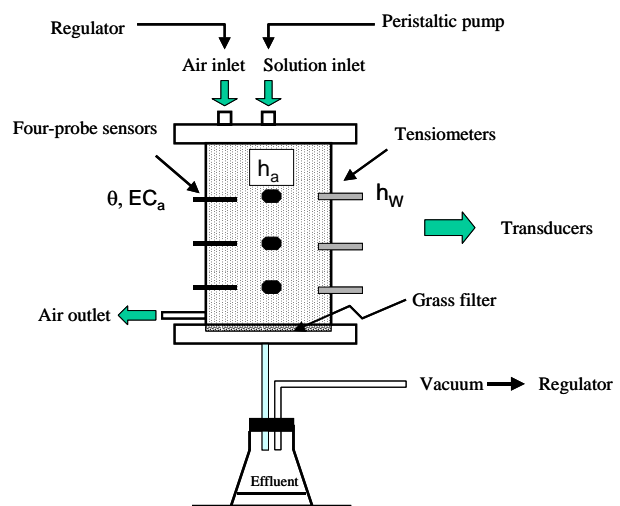


Fig.1. Experimental setup for unsaturated water and pneumatic flow experiments.

*佐賀大学農学部 **George E. Brown Jr. Salinity Laboratory

3. 結果と考察

Fig.2 に、 $J_w=65$ cm/d の重力流れに対して、空気圧 50 cmH₂O を与えたときの、圧力分布および h_m と水分保持特性から求める体積含水率(θ)分布の経時変化を示す。下端吸引圧は、70 cmH₂O である。空気の流れを与える以前の重力流れでは、土中水圧力 $h_w(=h_m)$ は -45 cmH₂O 程度、 θ は 0.17 程度でほぼ一様である。空気圧を加えると、空気の流れが生じ始め、速やかに下端への排水が始まる。空気圧(h_a)分布の変化は小さく、ほぼ上端圧力 50 cmH₂O と空気出口の大気圧($h_a=0$)の直線分布となっており、時間変化は小さい。一方、空気流れが生じ始めた後 5 分では、既に上部の水分が排水して、下部の水分が増加した h_m および θ 分布である。115 分ではさらに全体的な排水が進み、20cm 深さまでの h_m は、-55 cmH₂O 程度でほぼ一様になった。ただし、下端部の水分量は上部に比べて大きく、これ以上の減少は見られなかった。さらに時間が経過すると、コラム全体に h_m および θ が漸増する傾向が見られた。この傾向は、他の水分フラックスでも見られ、下端部フィルターが目詰まりしたこと、また下層土が上方からの排水に伴う吸水とその後の排水によるヒステリシスを生じていること等が原因と考えられる。今回測定した水分フラックスの範囲では、空気圧 (20 ~ 100 cmH₂O) により、体積含水率を 5% 程度減少できた。ただし、そのときの h_w 及び h_m 分布は、空気の流れのない重力流れに比べて、ばらつきが大きい傾向がみられ、流れが不安定であることが予測された。

また同時に測定した溶質分散係数では、水分量の減少に伴い分散長が増加する傾向が見られた。また水分量が一定であれば、間隙流速 v によらず分散長がほぼ一定であることが確認された。

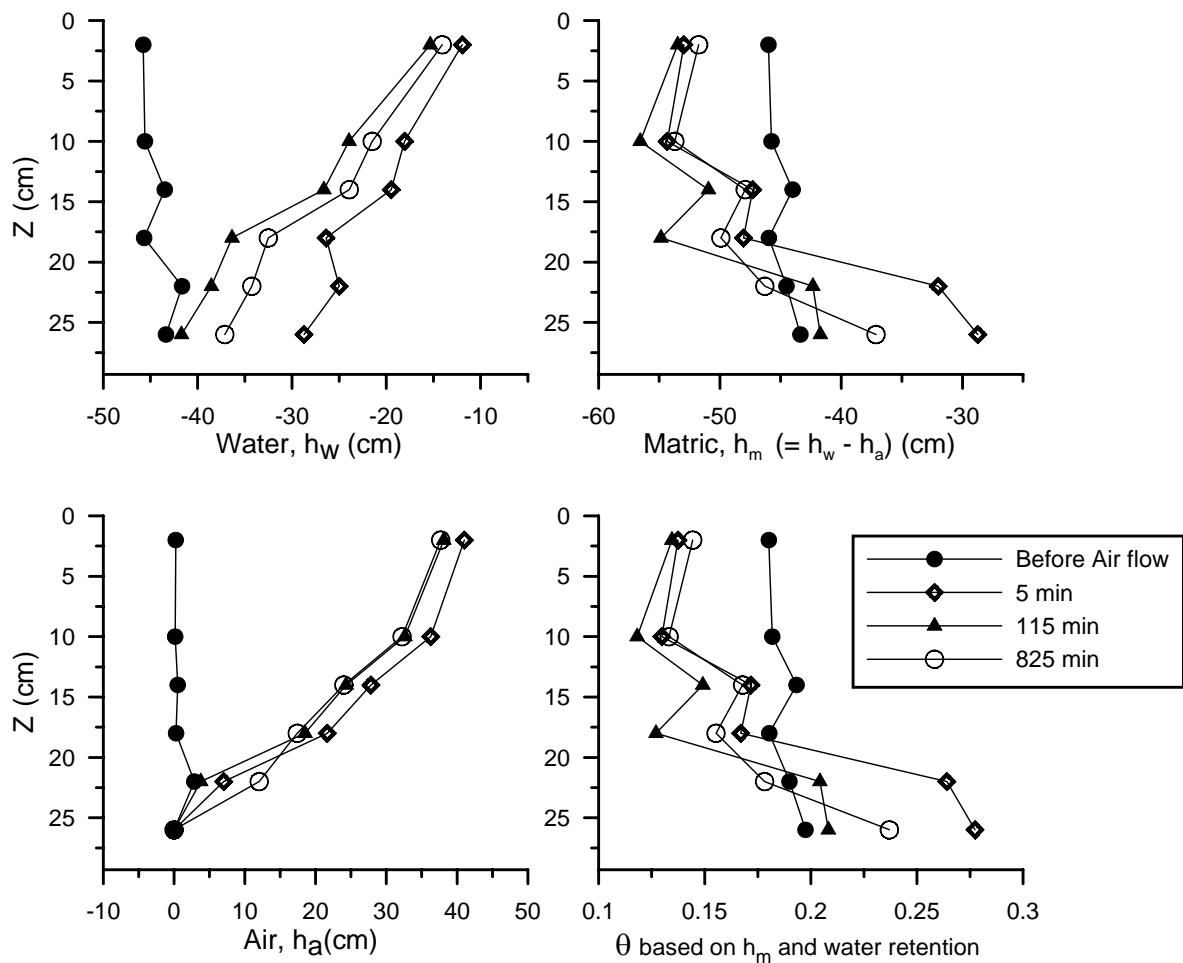


Fig.2. Distribution of h_w , h_a , h_w and θ for unsaturated water flow with pneumatic flow.