

多孔質体における封入飽和時の透水係数と封入空気の分布の関係 Relationship between distribution of entrapped air and hydraulic conductivity in porous media

○福間大起, 中村公人

○Hiroki Fukuma, Kimihito Nakamura

1. はじめに

灌漑や降雨により湛水した土壌の水分移動は、封入空気に影響される (Faybishenko, 1995). こうした土壌は準飽和土壌 (quasi-saturated soil) とよばれ、気相が大気と不連続であるという点で不飽和状態とは区別される. 同じ気相率において、準飽和状態の透水係数 (準飽和透水係数) は不飽和透水係数よりも小さな値を示す (Sakaguchi et al., 2005). これは気相の存在形態が異なることによるものと考えられている (Fig. 1).

気相が占める間隙径分布が異なることが原因で透水係数が変化する例としては、団粒構造を含む土壌の浸潤が挙げられる (Gerke and Genuchten, 1993). このような土壌では、まず団粒間隙が飽和する. そして時間の経過とともに団粒内間隙に水が浸透し、団粒内部の空気が外部の間隙へと移動する. その結果、透水係数は経時的に減少する.

以上のように、準飽和土壌において気相の間隙径分布が透水性に影響を与える例は存在するものの、その影響を定量的に示した研究は殆どない. そこで本研究では、異なる 2 つのタイプの気相分布を有する準飽和状態のガラスビーズカラムを用いた透水試験を行い、気相分布が透水性に与える影響を予備的に検討した.

2. 材料と方法

2.1. カラムの準備: カラムには内径 48mm, 高さ 100mm, 厚さ 2mm のアクリル円筒を用いた. 壁面が透水係数に与える影響を軽減するため、内部の壁面にグリスを薄く塗った. 多孔質体として、0.05mm のガラスビーズと 0.2mm のガラスビーズを重量比 1:4 で混合したものを用いた. これを 5 本作成した. 乾燥密度は $1.701 \pm 0.001 \text{ g cm}^{-3}$ であった.

2.2. 実験方法: 本研究では、下記に示す実験 A, B の 2 通りの方法で異なる気相の間隙径分布をもつ準飽和状態を設定した. その概念図を Fig.2 に示す.

実験 A: カラムを真空下で完全飽和させた後、吸引法により所定の圧力水頭 (-15, -30, -50, -70, -100cm) を与えて不飽和状態にした. その後変水位透水試験器にセットし、カラム上下から蒸留水を加えてカラム内の気相を大気と不連続にした. その後、15 分後の透水係数を測定した. このとき、同時に実験系の重量を測定し、完全飽和時の重量との差から気相

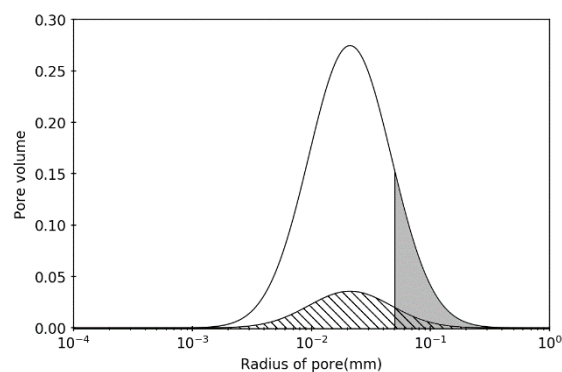


Fig. 1 不飽和状態 (灰色部分) と準飽和状態 (斜線部分) の気相の間隙径分布の概念
Concept diagram of pore size distribution of air in unsaturated soil (gray) and in quasi-saturated soil (shaded).

率を求めた。なお、同一試料を用いて異なる圧力水頭について上記の操作を繰り返した。

実験 B: 実験 A 終了後のカラムを風乾状態まで乾燥させた後、実験 A と同様にカラム上下から蒸留水を加え、カラム内の気相を大気と不連続にした。その後、脱気した蒸留水を通過させることで封入空気を溶解させながら気相率を減少させた。およそ 2 時間毎に透水係数と気相率を測定した。

実験 B では浸透を長時間行うことによる構造変化に起因する透水性の変化が懸念されたため、実験 B 終了後に再び飽和透水係数の測定と実験 A の同じ操作を行い（これを実験 A' とする）、実験 A と比較した。

3. 結果

各実験の透水係数と気相率の関係を Fig. 3 に示す。気相率の増加に伴い透水係数が低下している。実験 A' の透水係数は実験 A よりも同じ気相率のときに 0.0003~0.0005 cm/s 程度小さい。実験 B において実験前半（気相率 4~7 %）では、実験 B の透水係数は実験 A よりも 0.0003 cm/s 程度大きい。一方、実験後半（気相率 1~3 %）ではこれが逆転しており、実験 B の透水係数は実験 A よりも小さいが、実験 A' より大きい。

カラム側面の観察から、実験 A では、実験 B よりも封入空気が空間的に均質に存在したのに対し、実験 B では封入空気が空間的に不均質に分布した。

4. 考察

実験 A と A' の比較より、実験の経過とともに通過水量が増加し、間隙構造の変化が生じて透水係数が低下していることが推察される。間隙構造に大きな違いがないと考えられる実験 A と実験 B の前半、および実験 A' と実験 B の後半において、実験 B の透水係数が実験 A、A' よりも大きくなっている。この要因の 1 つとして、Fig. 2 に示すように、実験 A では実験 B よりも水を通しやすい大きい径の間隙を気相が占めているということが考えられる。また実験 B において、実験 A よりも封入空気が空間的に不均一に分布していたということも、両者の透水性の違いに影響した可能性がある。

5. おわりに

今後は、気相の間隙径分布を表現する方法や準飽和透水係数のモデル化を検討する予定である。

引用文献 1) Faybishenko, B. A. (1995) *Water Resources Research*, 31(10), 2421–2435. 2) Gerke, H. H., & van Genuchten, M. T. (1993) *Water Resources Research*, 29(2), 305–319. 3) Sakaguchi, A. et al. (2005), *Vadose Zone Journal*, 4, 139–144.

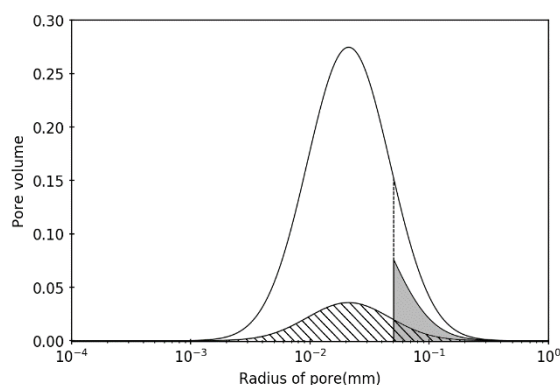


Fig. 4 実験 A（灰色部分）と実験 B（斜線部分）で得られると予想される気相分布の概念 Concept diagram of pore size distribution of entrapped air for experiments A and B.

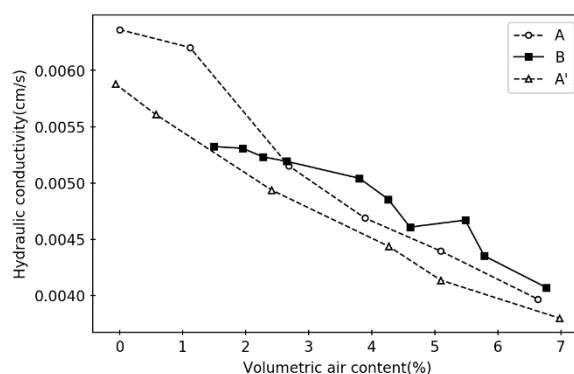


Fig. 3 各実験における気相率と透水係数の関係 Relations between air content and hydraulic conductivity.