

一次元飽和・不飽和カラム試験法に関する実験的考察

大同工業大学大学院 学生会員 工藤良介
 大同工業大学 金原利成 中村信利
 大同工業大学 正会員 棚橋秀行

1. はじめに これまでの研究結果から、試料粒径と分散長の間に直線的な関係があることがわかっている¹⁾。本稿では飽和カラム試験の結果を、新たに提案する間隙指標と分散長に着目して従来の研究結果と比較した。また、不飽和カラム試験結果を一次元流に近づけ、再現性を向上させるための実験手法・装置について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 飽和カラム試験 図-1 の装置をキャップを除いて組み立てる。試料(0.05mm～3.0mm のガラスビーズと豊浦標準砂)は予め別の容器内で数分間攪拌して水になじませておいたものを、水による飽和状態で所定の充填密度(1.55g/cm³)になるようにカラムに充填する。試料層に空気が入らないように比重試験のピクノメーターの要領でキャップをはめ込み、キャップ上部の水を NaCl 溶液(0.01mol/l)で置き換える。この操作により、キャップの各接続部から試料に空気が侵入し不飽和になることを防ぐことができるように改良した。次に、ポンプ 1～3 の回転スイッチを入れ、カラム下端のバルブを開放する。そして、ストップウォッチを押し電気伝導度計の記録を開始する。以上の事を全て同時に行い、実験を開始する。実験の終了時には、ストップウォッチを止めると同時に、ポンプの回転を止め、電気伝導度計の記録を終了し、カラム下端のバルブを閉じる。それまでの流出水の重さを電子天秤で測定し、単位時間あたりの流量を算出する。その後、電気伝導度計の測定時間インターバルと単位時間あたり流量から求めた流出量を横軸に、相対濃度を縦軸にとり、破過曲線を描き分散係数を同定する。

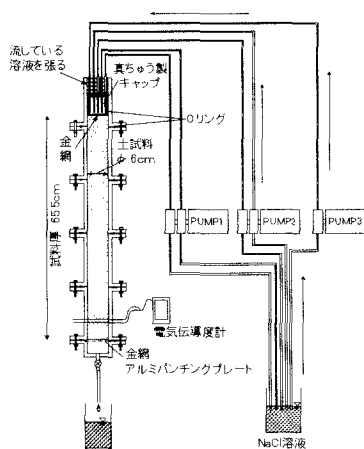


図-1 飽和カラム試験装置

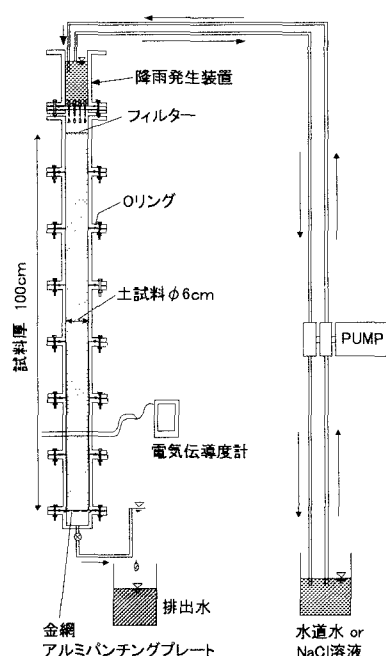


図-2 不飽和カラム試験装置

2.2 不飽和カラム試験 図-2 に示した透明アクリルカラムに、試料を飽和カラム試験と同様に充填する。その後、並列ポンプでカラム上端に水道水を給水しながら、カラム下端から重力排水させ、定常流を作る。定常状態になった後、流入水を NaCl 溶液に変更し、流量と電気伝導度の計測を開始する。電気伝導度が一定になった後、カラム内の試料を適宜分割して炉乾燥し、飽和度分布を測定する。その後、飽和カラム試験と同様に破過曲線を描く。

3. 実験結果と考察

3.1 飽和カラム試験 図-3 は飽和カラム試験の結果を整理したものである。○は我々の実験結果、実線は Pfannkuch および Perkins and Johnston によって整理された従来の実験結果である²⁾。図から見て取れるように、我々の実験結果は従来のものと整合性があり、高い精度で実験を行うことが出来たことが分かる。

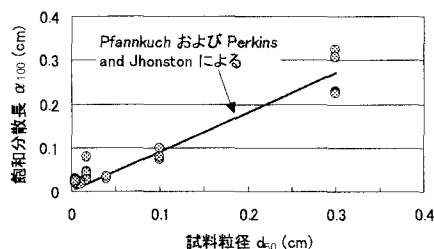


図-3 従来の研究結果との比較

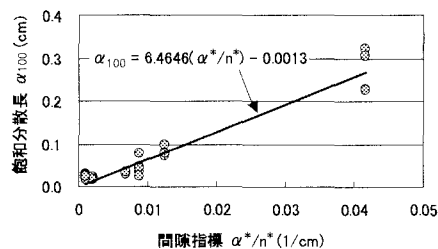


図-4 間隙指標による整理

図-4 は水分保持特性曲線の近似式として用いられるvan Genuchten³⁾のモデル(式(1))から求められた間隙指標 α^*/n^* を横軸にとって整理したものである。横軸を試料粒径で整理した図-3 でも比較的よい結果が得られているが、実際の土は間隙分布が広いので、これをさらによく再現するため間隙指標として α^* , n^* を用いた。図-4 においてもよい相関が得られているが、現段階では単一粒径のガラスビーズのみなので、今後はこの整理法を実地盤の土へと応用したいと考えている。

3.2 不飽和カラム試験 不飽和カラム試験結果を一次元流に近づけるとともに、実験時間を短縮するために以下の装置の改良を行った。

- 1) 供給方法:供給は一本の管路で行っていたが、NaCl 溶液を試料土に平面的に負荷することにより一次元流に近づけることが出来ると考え、3 本の管路での供給に切り替えた。そして、さらに全断面に均一に供給するために降雨発生装置での供給に切り替えた。
 - 2) カラム内径:カラム内径は 6cm で実験を行っていたが、内径が小さい方が一次元流に近づくと考え、内径 3cm のカラムで実験を行った。しかし、6cm の場合よりも結果が思わしくなかった。カラムは内径が 6cm のものを用いた方がよい結果となった。
 - 3) センサーの形状:土柱全断面の電気伝導度を測定するため、表-1Case1 のように、センサーをカラムの中心を通過して平行に挿入していたものを Case2 のようなセンサー形状に改良した。
- 以上の各改良を整理したものが表-1 である。表-1 の条件で行った実験の破過曲線を図-5, 6 に示す。図-5(Case1)は装置改良前、図-6(Case2)は改良後を表している。図-5 では破過曲線が相対濃度 0.5 を通る時にポアボリューム 1 から遠く離れているが、図-6 では非常に近くなっている。両図から、改良を施した Case2 の方が一次元流に近くなっていることが分かる。
- 4) NaCl 溶液の濃度:実験時間を短縮し、1 回の実験で 3 回分の破過曲線を得るために、3 段階の濃度の NaCl 溶液(従来の 1 倍、3 倍、9 倍)を用いて、1 度の充填で 3 回連続して実験を行った。しかし図-7 のように、濃度に比例して電気伝導度が上昇しなかった。また、一定濃度を供給しているにもかかわらず、後半で伝導度が減少していく原因も明らかにならなかった。

4. まとめ

- 1) 飽和カラム試験では装置改良の結果、試験の精度を向上させることができた。また、新たに提案した間隙指標 α^*/n^* によって飽和分散長 α_{100} がよく再現できることを示した。
- 2) 不飽和カラム試験では実験を簡略化し、精度の高い実験を目指したが、まだ発展途上である。今後の課題は、さらに再現性を向上させるため、装置の改良を続けることである。

参考文献

1) 伊藤拓正・吉沢昌隆・工藤良介・棚橋秀行:飽和カラム試験に基づく粒径～有効間隙率 n_e の相関について、土木学会中部支部平成 13 年度研究発表会講演概要集, pp.611～612, 2002.

2) P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ著, 地下水の科学研究会訳:地下水の科学 I, 土木工学社, p.165, 1995.

3) van Genuchten, M. Th.:A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America. Journal, pp.892～898,1980.

$$Se = \frac{1}{\left[1 + (\alpha^* h)^{n^*}\right]^{\frac{1}{n^*}}} \cdots (1)$$

ここで、 Se :有効飽和度 (-)
 h :サクション (cm)

表-1 実験装置の条件

	Case1	Case2
供給	管路1本	降雨発生装置
カラム内径	3cm	6cm
センサー形状		

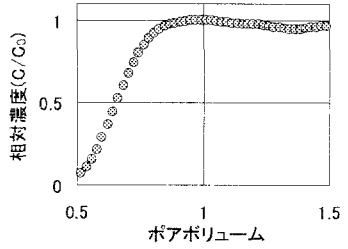


図-5 Case1 の破過曲線
(豊浦標準砂)

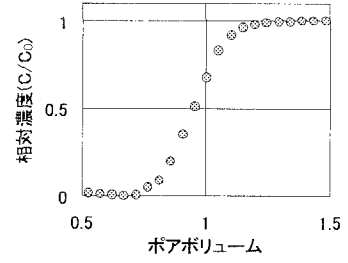


図-6 Case2 の破過曲線
(ガラスビーズ 0.2mm)

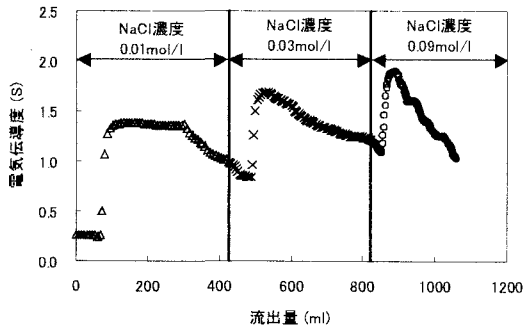


図-7 3 段階の濃度の NaCl 溶液を用いた
不飽和カラム試験結果