

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

大同工業大学建設工学科
大同工業大学建設工学科
大同工業大学大学院工学研究科 学生会員
大同工業大学都市環境デザイン学科 正会員

○伊藤拓正
吉沢昌隆
工藤良介
棚橋秀行

1.はじめに これまでの研究結果により、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。また、実測値が計算値よりも早期破過する傾向が見られていた。本研究の目的は、装置を改良し実験の精度を上げ、試料粒径と分散長の関係を確かなものにするとともに、早期破過の比率を有効間隙率 n_e の概念を通じて定量的に検討することである。

2.実験方法 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砂)はあらかじめ別の容器内で数分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 溶液で置き換える。この操作により、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た。

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。以上のことをすべて同時に行い、実験をスタートする。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って破過曲線を描いた。

3.結果と考察 実測破過曲線(◆)と計算結果(一次元移流分散方程式の解析解による)との比較を図-2～図-6 に示した。図中の試料名の次にある「下」は、図-1 の電気伝導度計 2 の測定結果であることを示している。縦の太線は計算ポアボリューム 1、縦の点線は実測ポアボリューム 1 である。ここで、計算ポアボリューム 1 は、土の充填密度と土粒子密度から算出した間隙の体積である。実測ポアボリューム 1 は、破過曲線において相対濃度 0.5 となる流出量である。図中の x は $x=(\text{実測ポアボリューム})/(\text{計算ポアボリューム})$ で求めた数値である。図-2～図-6 から、粒径の大きい試料ほど x が 1 に近くなる傾向が伺える。この傾向に着目して粒径と x の関係について整理したのが図-7 である。 $x=1$ のときは、有効間隙率 $n_e = \text{間隙率 } n$ を意味している。電気伝導度計のセンサーは設置場所の上流の濃度も測定するので、若干早く NaCl を検出する。この影響を考えると、ガラスビーズ 3.0mm においては n_e/n はほとんど 1 であると思われる。粒径が小さくなると、 n_e/n

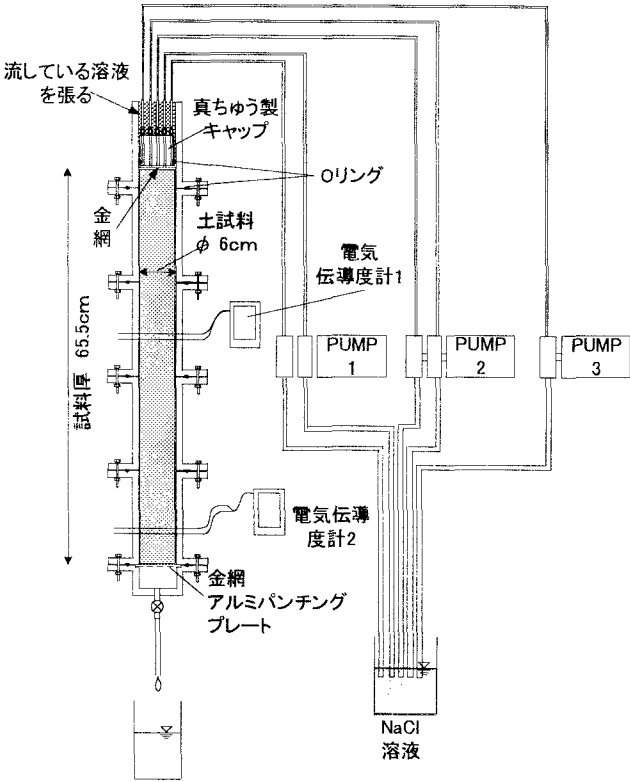


図-1 飽和カラム試験装置

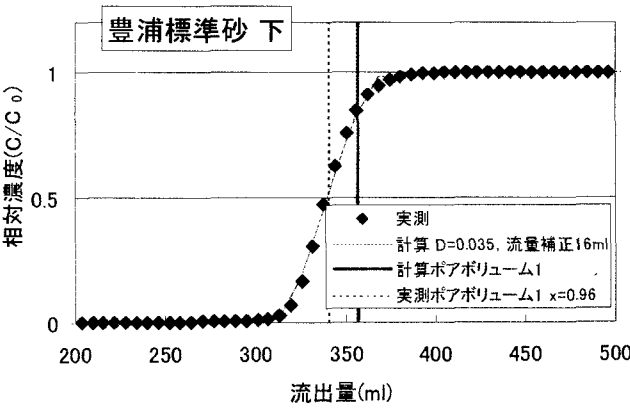
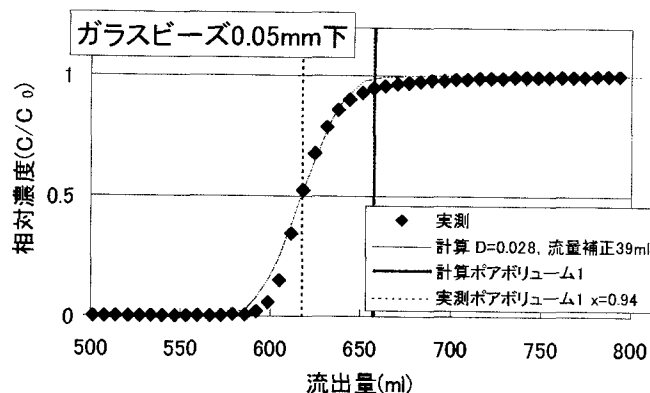
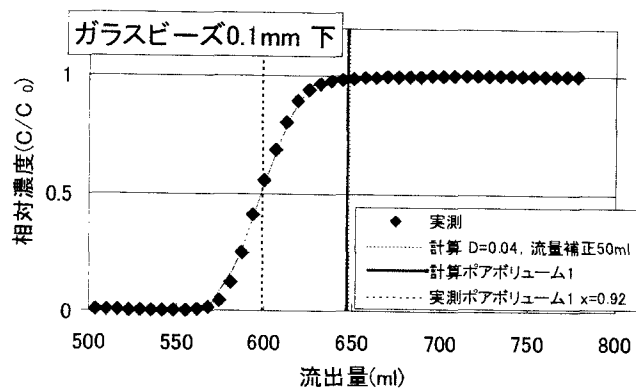
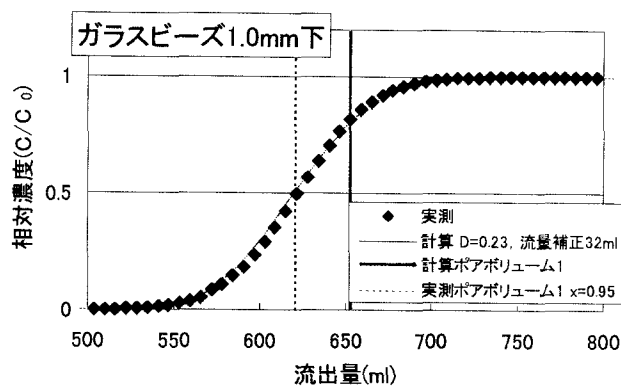
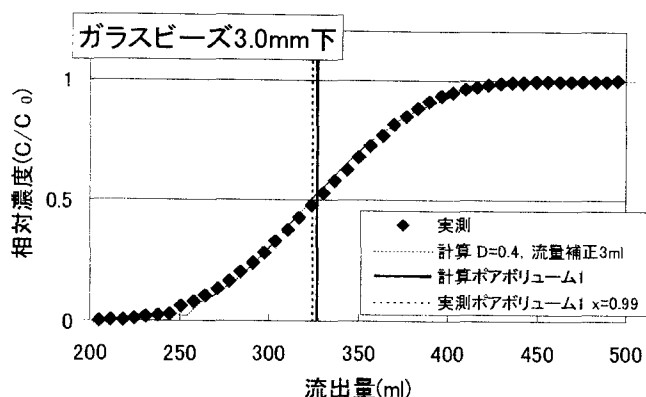
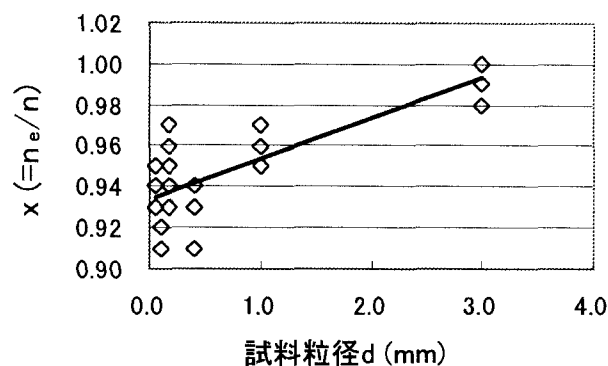
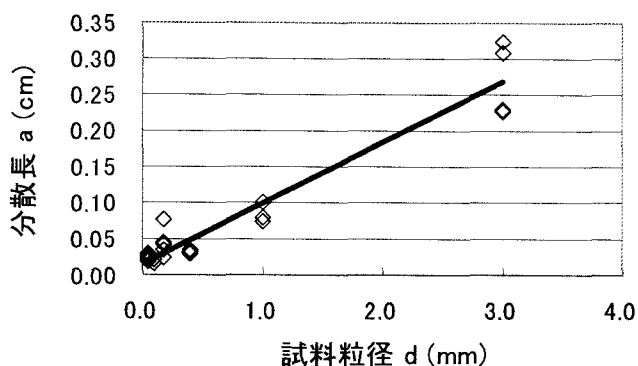


図-2 破過曲線(ダルシー流速 $q=0.43\text{cm/min}$)

図-3 破過曲線(ダルシー流速 $q=0.46\text{cm/min}$)図-4 破過曲線(ダルシー流速 $q=0.68\text{cm/min}$)図-5 破過曲線(ダルシー流速 $q=0.88\text{cm/min}$)図-6 破過曲線(ダルシー流速 $q=0.47\text{cm/min}$)図-7 粒径 $\sim x$ の関係図-8 粒径 $\sim$ 分散長の関係

が減少することは、間隙のサイズが小さくなることにより、流れない部分が多くなるためと考察される。図-8は、縦軸に分散長をとったものであり、図-7と同様に、粒径が大きいくほど分散長も大きくなる。粒径が大きくと、速く流れる部分と流れの遅い部分の差が大きくなると思われる。つまり、3.0mmのガラスビーズを例にとると、流速の差は大きいものの、すべての間隙を液体が流れ、一方0.05mmのガラスビーズでは、流速の差は小さいものの、液体が流れない間隙部分が多いということがいえる。

図-7、図-8にみられるように n_e/n 、 α には有意の傾向がみられ、とくに n_e/n が精度よく測定できたことは、本研究で行った改良の成果であるといえる。

4.まとめ

- 1) 飽和カラム試験の精度を向上したことで、有効間隙率 n_e の測定が可能となった。
- 2) 粒径が大きくなるほど有効間隙率 n_e が間隙率 n に近づくことがわかった。
- 3) 粒径が大きくなるほど分散長も大きくなり、速く流れる部分と流れにくい部分の差が広がることにより分散現象が顕著になることがわかった。