

不飽和土柱カラムを用いた水溶性物質の分散に関する室内実験

大同工業大学大学院工学研究科 学生会員 ○工藤良介
大同工業大学工学部都市環境デザイン学科 正会員 棚橋秀行

1.はじめに 近年、地下水や土壌の汚染は深刻な環境問題であり、汚染規模の算定や除洗対策のために実地盤での分散現象の解明は重要な課題である。これまでの研究結果により、低飽和度になるにしたがって分散長が増加する傾向が報告されている。棚橋¹⁾は空気吸引不飽和カラム試験の結果からこれを定量的に説明する下記の(2)式($n=2$)を提案している。本研究の目的は、空気吸引を行わない自然流下状態での不飽和カラム試験の結果によって得られる破過曲線の、計算による再現に(2)式を適用しその妥当性について検討することである。

2.実験方法 1)実験条件を表-1に、実験装置を図-1に示した。透明アクリルカラム(内径φ=6cm)に試料を乾燥

実験名	カラム長 (cm)	使用した試料		比重	ダルシー流速 (cm/min)	NaCl濃度 (mol/l)	充填密度 (g/cm ³)
		試料名	粒径(mm)				
EX.1	100	豊浦標準砂	0.0074~0.42	2.64	0.059	0.01	1.55
EX.2	100	ガラスビーズ	0.177~0.250	2.50	0.066	0.01	1.55
EX.3	100	ガラスビーズ	0.350~0.500	2.50	0.067	0.01	1.55
EX.4	160	豊浦標準砂	0.0074~0.42	2.64	0.024	0.01	1.55
EX.5	100	ガラスビーズ	0.090~0.140	2.50	0.012	0.01	1.55

密度 $\rho_d = 1.55(\text{g/cm}^3)$ となるように水による飽和状態で充填する。その後、並列ポンプで水道水を流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(濃度 0.01mol/l)に変更し、同時に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、流すのを止めてカラム内の試料を適宜分割して飽和度を測定する。相対濃度を算出してプロットし、破過曲線を描く。飽和度は一定ではないので、飽和度の変化につれて分散係数 D がどのように変化するかを決定する必要がある。 D の決定方法については 2)で説明する。

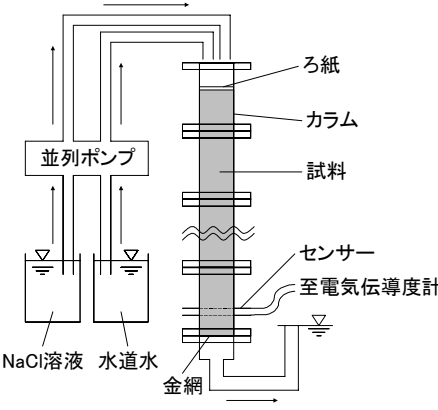


図-1 実験装置

2)解析は下記の(1)式の一次元移流分散方程式を用いて FEM によって行った。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \tag{1}$$

ここで、 c は溶質濃度、 t は時刻、 D は分散係数、 x は位置、 v は流速である。

(2)式の n が 0、1、2 の 3 つのケースで計算による試験結果の再現をした。式中の D_i/v_i が分散長にあたる。

$$\frac{D_1}{v_1} = \left(\frac{Sr_2}{Sr_1} \right)^n \frac{D_2}{v_2} \quad (n = 0,1,2) \tag{2}$$

D_1/v_1 と $Sr_1 (=100\%)$ は別途行った飽和カラム試験によって同定した。 Sr_2 はカラムを分解して飽和度を測定して決

定される。 v_2 は実験中に測定して求められる。よって n を決定すれば飽和度 Sr_2 、実流速 v_2 の際の分散係数 D_2 が決定するが、 Sr_2/Sr_1 は 1 より小さいので n が 0、1、2 と大きくなるにつれて D_2 の増大の程度が大きくなる。

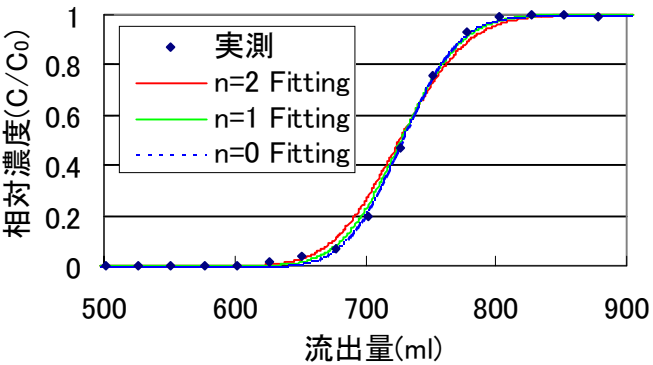


図-2 実測・計算破過曲線の比較
(EX.1 豊浦標準砂100cm)

キーワード カラム試験、不飽和帯、移流、分散、分散長

〒457-8532 名古屋市南区白水町 40 大同工業大学都市環境デザイン学科 電話 052-612-5571

3. 結果と考察 実測破過曲線と計算結果との比較を図-2 から図-6 に示した。

EX.1,2,5 で n の変動に対して計算破過曲線が余り変わらないのは、実験の際にカラム内の水分飽和度が比較的高かったためだと考えられる。EX.3 が最も破過曲線にばらつきが出のは、粒径が大きく不飽和の部分が多かったため(2)式の Sr_2/Sr_1 の変化の度合いが大きくなり、この影響が計算に反映されたものだと考えられる。

全てのケースを通じて比較的再現性が良いのは、 $n=1$ の時であった。しかし、図-2 から図-6 に示した計算曲線は、実測破過曲線に対して右側に出力されたものを左側にシフトして合わせたものである。すなわち、ポアボリューム 1 となる流量よりも早く濃度が上昇する傾向が見受けられた。この原因として考えられるのは、カラムの断面に対して NaCl 溶液の供給が部分的なので NaCl 溶液が試料全体に行き渡らなかったため、間隙に NaCl 溶液と入れ替わらずに残った水道水があり、実際に間隙に存在する水よりも少ない流出量で濃度の上昇が始まったためではないかと推測される。

4. まとめ 本研究の結果から、自然流下不飽和カラム試験では(2)式の $n=1$ の時に最も実測値に近くなるということがわかった。しかし、今回の実験ではカラムの内径が大きかったために NaCl 溶液が水みち的な流れ方をしたと推測された。一次元移流分散方程式を下敷きにして分散長の検討を正確に行うには、今後はカラムの断面積を小さくするか、土柱の断面に NaCl 溶液を均一に供給するなどして一次元流れ場となるようにする必要がある。また、実験ケースを増やし自然流下での不飽和分散現象をさらに正確に把握したいと考えている。

参考文献

1) 棚橋秀行：岐阜大学博士論文「Two-Region モデルに基づく不飽和砂層中の溶質輸送機構の研究」 1996 年

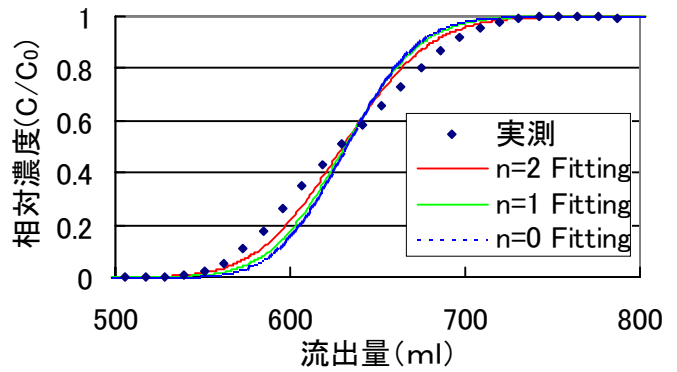


図-3 実測・計算破過曲線の比較
(EX.2 0.2mmガラスビーズ)

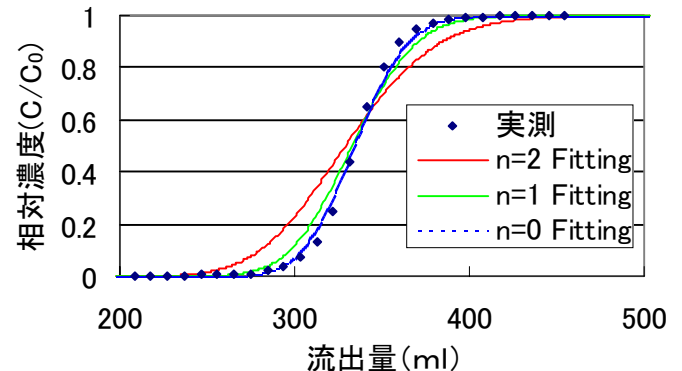


図-4 実測・計算破過曲線の比較
(EX.3 0.4mmガラスビーズ)

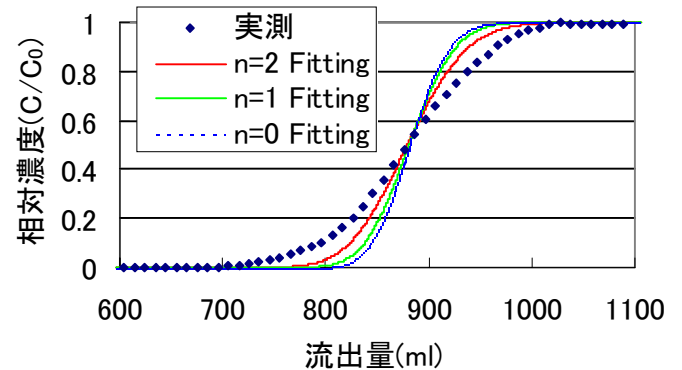


図-5 実測・計算破過曲線の比較
(EX.4 豊浦砂160cm)

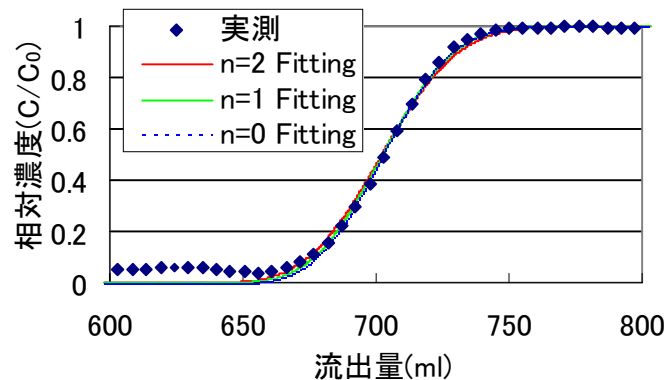


図-6 実測・計算破過曲線の比較
(EX.5 0.1mmガラスビーズ)

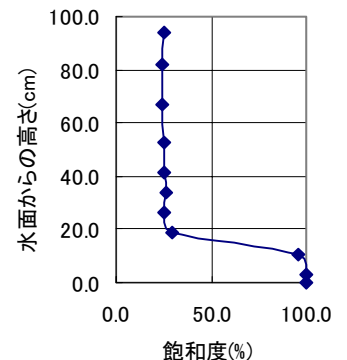


図-7 水分保持特性曲線
(EX.3 0.4mmガラスビーズ)