

不飽和カラム試験装置の改良と考察

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
大同工業大学都市環境デザイン学科

○吉沢昌隆
伊藤拓正
学生会員 工藤良介
正会員 棚橋秀行

1.はじめに 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という関係式を、これまでの空気吸引不飽和カラム試験から提案した¹⁾。この関係式を、空気吸引を行わない自然地盤に近い状態での実験結果の解析に用いた場合について検討するため、不飽和カラム試験を行った。その結果、極端な早期破過や tailing 現象など、一次元移流分散で説明のつかない破過曲線が得られた。本研究は、実験装置を改良することにより、どこまで一次元移流分散に近い不飽和の流れ場を作り出すことが可能か検討することを目的に行ったものである。

2.実験方法 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 $\phi=6\text{cm}$ と 3cm)に、試料を乾燥密度 $\rho_d=1.55(\text{g}/\text{cm}^3)$ 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。供給については、比較のため供給管路が1本、3本そして写真-1に示した降雨発生装置による各ケースを行った。定常状態になった後、流入水をNaCl溶液($0.01\text{mol}/\text{l}$)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、図-2のような飽和度分布を測定する。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。

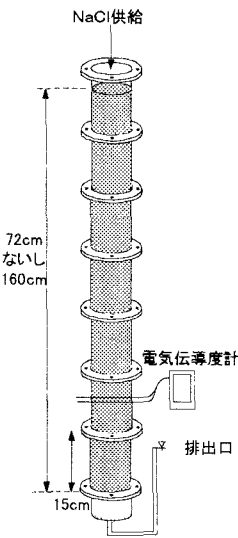


図-1 実験装置

表-1 実験条件

実験名	カラム内径 (cm)	試料名	供給条件	カラム長 (cm)	土粒子密度 (g/cm^3)	ダルシー流速 (cm/min)	充填密度 (g/cm^3)	x
EX1	6	ガラスビーズ0.2mm	1本	160	2.496	0.015	1.55	1.044
EX2	6	ガラスビーズ0.2mm	降雨発生装置	160	2.496	0.099	1.55	1.062
EX3	6	ガラスビーズ0.2mm	3本	160	2.496	0.025	1.55	1.167
EX4	6	豊浦標準砂	1本	160	2.639	0.015	1.55	1.169
EX5	6	ガラスビーズ0.2mm	降雨発生装置	160	2.496	0.052	1.55	1.199
EX6	6	豊浦標準砂	3本	160	2.639	0.015	1.55	0.712
EX7	3	ガラスビーズ3.0mm	降雨発生装置	72	2.496	0.046	1.51	0.660
EX8	3	豊浦標準砂	1本	160	2.639	0.001	1.55	0.658
EX9	3	豊浦標準砂	3本	160	2.639	0.065	1.55	1.439

3.実験結果と考察 図-3~8に得られた破過曲線を示す。◆は実測値、実線は計算破過曲線(一次元移流分散方程式のFEM解析による)である。xは、破過曲線において相対濃度0.5となる流出量を、濃度測定点までの間隙水体積で除したものである。図-3は、内径3cmのカラム、図-4は、内径6cmのカラムで実験したものである。試料は豊浦砂、供給本数は共に1本であった。両図より、内径6cmのほうが計算と実測がより近いことがわかる。図-4、5、6は、内径6cmのカラムについて実験したものであるが、図-4は供給本数1本、図-5は3本、図-6は降雨発生装置で行った。これらの図より、降雨発生装置で行った図-6が最も計算と実測に近いことがわかる。図-7、8は、センサーの形状の違いに注目し、比較したものである。図-7は前述の図-3~6と同様、カラムの中心を通るように2本のステンレス棒を幅1cmで平行に挿入した結果である。図-8はセンサーをカラムの内側を沿うようにして配置した結果である。両図より、図-7では、相対濃度が1に達した後の部分が波打った破過曲線であるのに対し、図-8では、なだらかになった(相対濃度の低下はステンレス棒の腐食と思われる)。図-7は、不飽和帯における溶質の流れが時間的・空間的に変動していることを示すもので非常に興味深い結果であるが、計算結果との比較

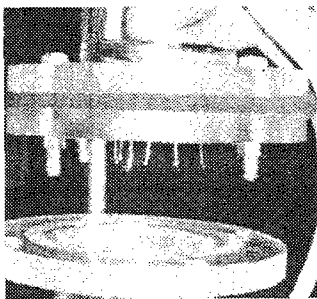


写真-1 降雨発生装置
細く突き出しているのは注射針

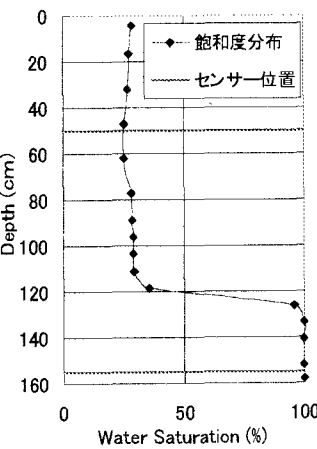


図-2 飽和度分布(EX3)

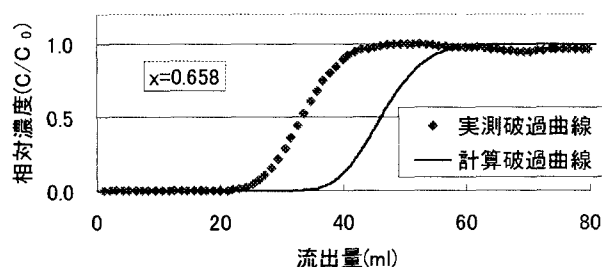


図-3 実測・計算破過曲線の比較 (EX8)

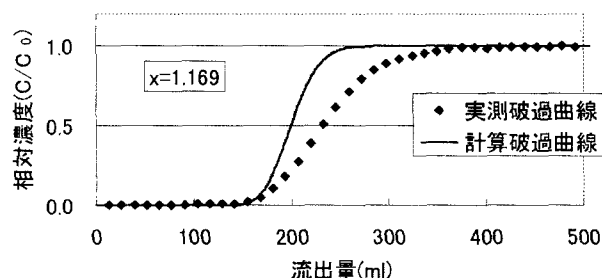


図-4 実測・計算破過曲線の比較 (EX4)

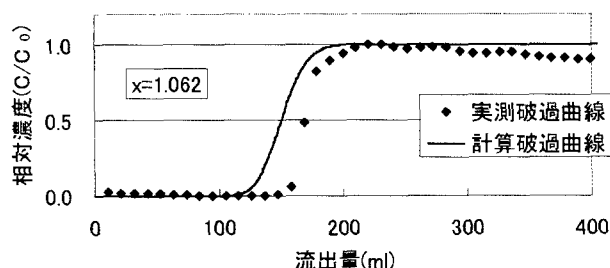


図-5 実測・計算破過曲線の比較 (EX3)

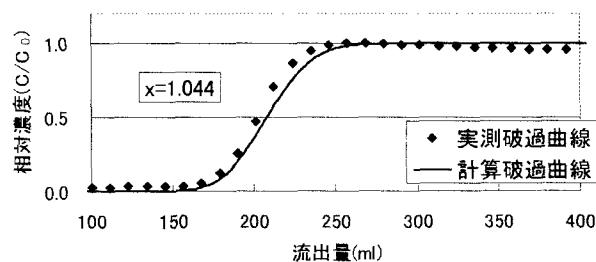


図-6 実測・計算破過曲線の比較 (EX2)

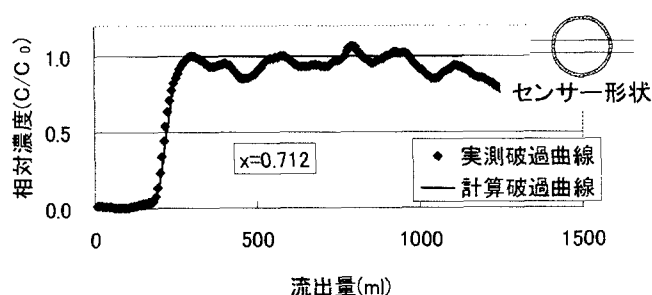


図-7 実測・計算破過曲線の比較 (EX6)

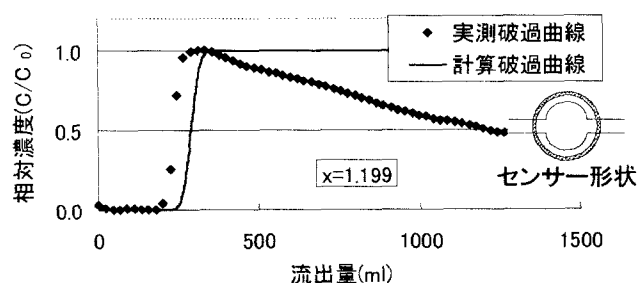
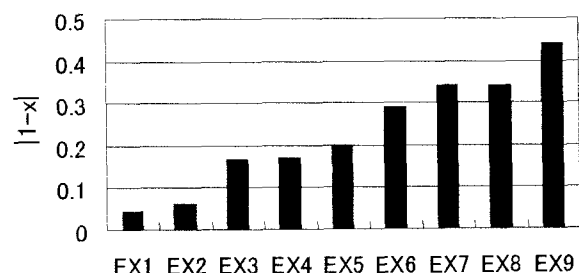


図-8 実測・計算破過曲線の比較 (EX5)

を目的とする場合には図-8 のような全断面について測定するセンサーの形状が望ましいといえる。以上の各対比を整理したものが図-9 である。縦軸に絶対値 $|1-x|$ をとり、この値の少ないものから順に、横軸に実験ケース名を並べた。

$|1-x|$ が小さいほど、破過曲線において相対濃度 0.5 となる流出量が濃度測定点までの間隙水体積に近く、一次元移流分散に近い不飽和流れ場であることを示している。図-9 の順序と実験条件の内容は必ずしも一致していないものの、全体的に見て内径 6cm・図-8 のセンサー形状・降雨発生装置による供給の場合に最も良い結果が得られる可能性が高いことがわかった。

図-9 各実験ケースにおける $|1-x|$

4.まとめ 本研究で得られた、一次元移流分散に近い不飽和流れ場を作り出すための知見を以下に示す。

- 1) 図-3 のカラム内径 3cm より、図-4~8 のカラム内径 6cm のほうが計算と実測が近くなった。
- 2) 供給は降雨発生装置で行ったほうが計算と実測が近くなった。
- 3) 2 本のステンレス棒を幅 1cm で平行に挿入したセンサー形状よりも、カラムの内側に沿った形状として全断面を測定したほうが、なだらかな破過曲線が得られた。

参考文献 1) 工藤良介・棚橋秀行：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、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集Ⅲ(CD-ROM にて概要集所有のためページ数不明)、2001。