

流速およびガス種の違いが多孔質媒体内の微細気泡挙動に与える影響

Effects of water velocities and gas species on transport of fine bubbles in porous media

濱本昌一郎¹・二瓶直人¹・上田義勝²・西村拓¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科・² 京都大学生存圏研究所

要旨(Abstract)

本研究では、流速条件や生成ガス種の違いが微細気泡 (FB) の土壌内移動特性に与える影響を調べることを目的とし、ガラスビーズ充填カラムへの FB 水注入試験を行った。結果、FB は通水中にカラム内に捕捉され、捕捉率は低流速条件で大きいことが分かった。また、初期気泡密度が高く電位の低い酸素 FB の方が空気 FB よりもカラム内に捕捉されにくい結果が得られた。FB のガラスビーズへの吸着・脱離・捕捉を考慮した移動モデルで実験結果を再現することができた。

キーワード：微細気泡，移動メカニズム，吸着・脱離・捕捉

Key words: Fine bubbles, Transport mechanism, Attachment/detachment/straining

1. はじめに

近年、微細気泡 (ファインバブル, FB) の地盤環境工学分野における利用が注目されている。FB は気泡径がおおよそ数十 nm 以上数十 μm 以下の微細気泡で、比表面積が大きく、液体中の滞留時間も長くなるため分散性に優れ、気液界面での高い物理・化学的吸着効果を有する。これら FB の有する理化学性を活用した土壌浄化や CO_2 地中中和処理が検討されている。

FB 水を用いた土壌汚染浄化工法の効率的な実施および最適化を図る上で、土壌内の FB 挙動の理解は必要不可欠である。しかし FB の地盤内の移動メカニズムに関しては研究例が少なく、学術的に十分理解されていない点が多いのが現状である。本研究では、FB の流出特性および挙動メカニズムを調べることを目的とし、ガラスビーズを充填したカラムに FB 水を注入する実験を行った。流速および気泡の生成ガス種の違いが FB の移動特性に与える影響を調べた。

2. 方法

本研究では、商業用の空気および酸素微細気

泡水を用いたカラム実験を実施した。FB 水に NaHCO_3 を加え、pH を 8 付近に調整したものを注入 FB 水として用いた。表-1 に FB 水の物性値を示す。ナノ粒子径分布測定装置 SALD-7500nano (島津製作所) を用いて得られた空気 FB および酸素 FB 水の平均気泡径はともに約 300 nm であった。カラムへの充填試料には、平均粒径 0.1 mm のガラスビーズを用いた。直径 5 cm、高さ 10.1 cm のアクリル製カラムに所定の乾燥密度 (間隙率 34%) で試料を充填した。図-1 に実験装置概念図を示す。ガラスビーズを充填したカラムに pH 3 に調整した HCl 溶液を通水し、その後、1 mM NaHCO_3 をカラム下端から上端へと十分通水させた後、FB 水に切り替え約 5 PV 通水した。

表 1 本研究で用いた FB 水の基本物性

ガス種	空気	酸素
気泡密度 (個/mL)	4.44×10^6	1.21×10^7
初期溶存酸素量 (mg/L)	7.37	40.4
初期濁度 (NTU)	0.8	1.2
ζ 電位 (mv)	-44	-55

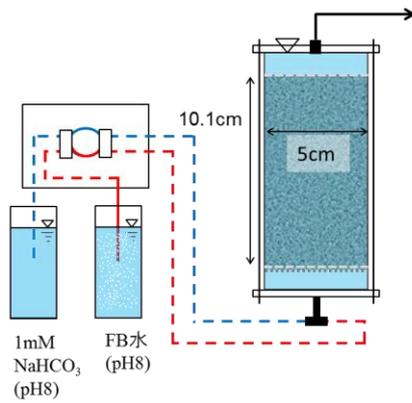


図 1 実験装置概念図

FB 水通水後、再度 1 mM NaHCO₃ 水溶液に切り替え、約 5 PV 通水した。実験は一定流量条件で実施し、通水中の流出液を一定時間ごとに採水した。流量は、 5.9×10^{-3} (高流速) および 2.9×10^{-3} (低流速) cm/s の二条件で実施した。採水後すぐに、採水液の pH、電気伝導度、溶存酸素濃度 (DO)、濁度を測定した。さらに SALD-7500nano を用いて、流出気泡の気泡径分布および個数濃度を測定した。なお、予備試験結果から、濁度と気泡濃度には明瞭な線形関係が得られたことから、本研究では濁度を気泡濃度の間接的な指標として用いた。

3. 結果および考察

図-2 に、空気 FB を用いた際の流出液の相対濁度変化を示す。高流速条件では、濁度の立ち上がり後、相対濁度 0.6 付近ではほぼ一定の濁度を示したものの、低流量条件では、相対濁度 0.4 から 0.5 までだだらかに増加した。この結果から、流速条件は微細気泡のカラム内における補足に大きく影響を与え、特に低速条件の方が投入 FB の補足割合が増加することがわかった。また、流出液の溶存酸素 (DO) 濃度の経時変化は、濁度変化と同様な傾向を示した。

図-3 に、高流速条件における空気 FB と酸素 FB の相対濁度変化を示す。酸素 FB の方が空気 FB に比べてより流出する結果が得られた。この原因として初期気泡密度が高いことや酸素 FB の方が電位が低いことが考えられる。

カラム実験から得られた流出濁度曲線に対

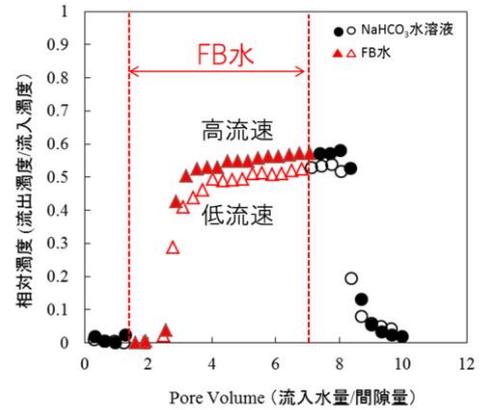


図 2 空気FBの流出濁度曲線

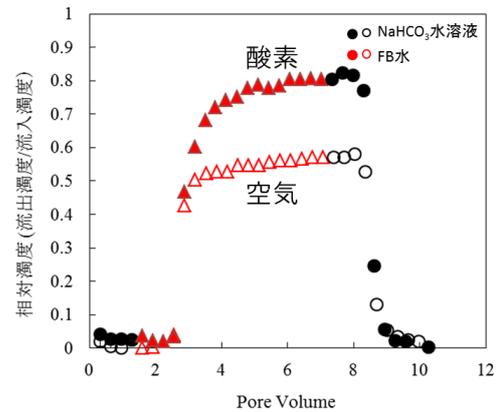


図 3 高流速条件での流出濁度曲線

して、FB のガラスビーズへの可逆的な吸着・脱離および非可逆的な物理的捕捉を考慮した移動モデルを適用した結果、実験結果を概ね再現することができた (非掲載)。今後、実験条件 (試料、バブルの種類等) を変えて、バブルの移動特性を詳細に把握し、移動モデルのパラメータとバブル・試料特性との関係を把握していく。

4. 結論

カラム試験結果から、低流速より高流速条件の方が、空気 FB よりも酸素 FB の方が FB の移動性が高いことが分かった。FB の移動モデルについて検討した結果、移流・分散に加え、FB の吸着・脱離・捕捉を考慮した移動モデルを用いて実験結果を再現することができた。

謝辞：本研究は文部科学省科学研究費(No.26709033)と京大大学生存圏科学萌芽研究の補助を受けました。ここに記して熱くお礼申し上げます。