

pH および電解質濃度が多孔質体中のナノバブル挙動に与える影響 Effects of pH and ionic concentration on nano-bubble transport in porous media

○濱本 昌一郎* 竹村 貴人** 鈴木 健一郎*** 西村 拓* Per Moldrup****

Shoichiro Hamamoto*, Takato Takemura**, Kenichiro Suzuki***, Taku Nishimura*, Per Moldrup****

1. はじめに

ナノバブル（以後 NB）は、比表面積が大きく、液体中の滞留時間も長いため分散性に優れ、気液界面で高い吸着効果を有する。近年、NB 水の土壤環境への適用が注目されている。例えば、石炭系炭化水素（油分）等の有害物質による土壤汚染サイトでは、NB を含む気泡水を注入することで、NB への汚染物質の吸着作用や NB による汚染物質成分の剥離効果を利用した地盤中の汚染物質・浄化が検討されている。

NB 水を用いた土壤汚染浄化工法の効率的な実施および最適化を図る上で、土壤（多孔質体）内の NB 挙動の理解は必要不可欠である。これまで、NB の土壤（多孔質体）内での移動特性は、流速条件やガス種によって影響を受けることが知られているものの（Hamamoto et al., 2017）、NB 水の化学的特性（pH や電解質濃度）が NB 移動特性に与える影響については検討されていない。本研究では、異なる pH および電解質濃度条件に調整した NB 水を用いて、ガラスビーズ充填カラムへの NB 水注入実験を行い、NB 水の化学的特性が NB の流出特性に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 試料および実験方法

本研究では、加圧溶解法により作成した酸素 NB 水（FZ1N-10, IDEC 社）を用いたカラム実験を実施した。異なる pH（5, 8, 11）および電解質濃度（イオン強度 IS:1 または 100 mM）

表 1 NB 水の生成条件と物性

気体	酸素	酸素	酸素	酸素
設定 pH	5	8	11	8
設定電解質濃度	1 mM	1 mM	1 mM	100 mM
気泡密度 (個/mL)	3.1×10^6	3.9×10^6	5.9×10^6	3.4×10^6
ζ電位 (mv)	-21	-38	-48	-29

に調整した NB 水を注入 NB 水として用いた。表-1 に NB 水の生成条件および物性値を示す。共振式質量分析計（アルキメデス, Malvern 社）を用いて得られた酸素 NB 水の平均気泡径は約 200 nm（IS = 1 mM, pH8 条件にて）であった。カラムへの充填試料には、平均粒径 0.1 または 0.4 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）。ガラスビーズを充填したカラムに NB 水と同じ pH およびイオン強度に調整した水溶液

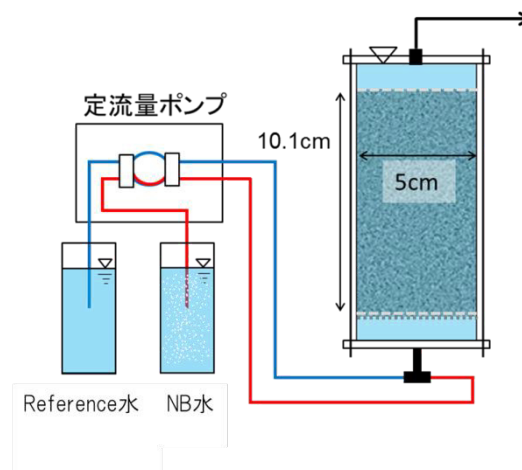


図 1 実験装置概念図

*東京大学大学院農学生命科学研究科 / Graduate School of Agric. and Life Sciences, The Univ. of Tokyo

**日本大学文理学部 / College of Humanities and Sciences, Nihon University

***大林組技術研究所 / Technical Research Institute, Obayashi Corporation

****オルボー大学土木工学科 / Department of Civil Engineering, Aalborg University

キーワード ナノバブル, 多孔質体, 物質移動

(Reference 水) を通水し、その後 NB 水、Reference 水の順で通水した。また、カラム実験終了後に純水による捕捉された NB の洗い流し実験も行った。実験は一定フラックス条件 ($5.9 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$) で実施し、通水中の流出液を一定時間ごとに採水した。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。さらに流出気泡の気泡径分布および気泡数濃度を測定した。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、異なる pH 条件で得られた流出液の相対濁度変化を示す (図中の破線が NB 水注入開始時及び終了時を示す)。全 pH 条件で、NB 水注入後、約 1PV で相対濁度は急激に増加した。その後、低 pH 条件では、緩やかな濁度の上昇がみられた。NB 水注入時の最大相対濁度は、pH11 条件では 1.0 となったものの、pH5 条件では約 0.7 であった。純水による洗い流し実験の結果、流出液の電気伝導度(EC)の低下とともに相対濁度は急激に増加し、その後低下する結果が得られた。特に pH5 条件で高い流出濁度が得られた。これらの結果から、特に低 pH 条件の方が NB の補足率は増加することがわかった。この理由として、pH の低下とともに NB の表面電位が増加し (正に近づき) (表 1)、ガラスビーズ表面との付着が促進されたことが考えられる。

図-4 に、異なる電解質濃度(IS)を有する NB 水を用いて得られた流出濁度曲線を示す。高 IS 条件では、流出濁度は低くほとんど流出されなかった。IS の増加とともに、NB 周囲のイオン雰囲気は圧縮され、ガラスビーズとの反発力が低下したためと考えられる。純水注入時は、EC の低下に伴い NB の流出がみられたものの、その最大流出濁度は NB 水の電解質濃度によって顕著な違いは見られなかった。また、純水注入

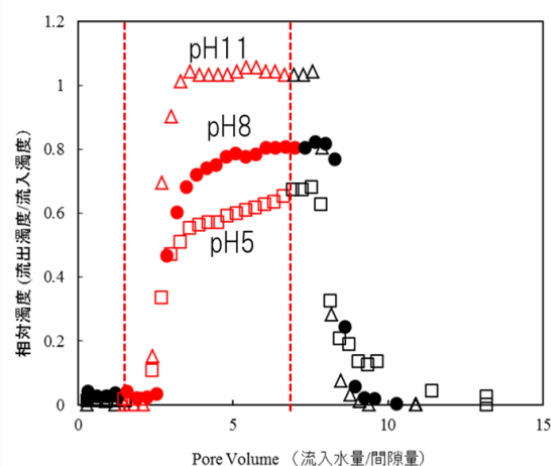


図 2 流出液の相対濁度変化(pH の影響)

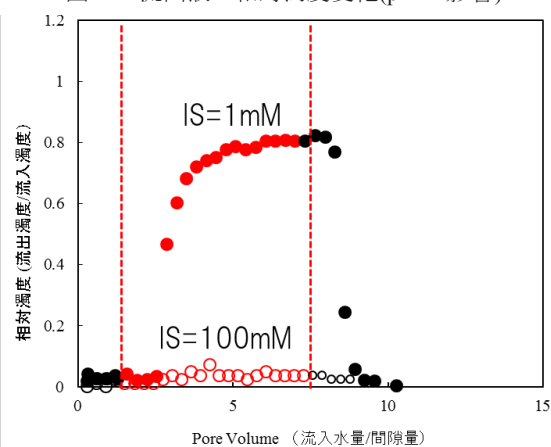


図 3 流出液の相対濁度変化(IS の影響)

時の流出を考慮しても NB の回収率 (流出 NB 数/流入 NB 数) は、20%程度にとどまった。

4. まとめ

微細気泡の流出特性は pH および電解質濃度条件に大きく影響を受け、低 pH および高電解質濃度条件で NB の捕捉率は増加した。今後さらに実験条件 (多孔質体特性、注入条件、気泡特性) を変えて、微細気泡の移動特性を詳細に把握していく予定である。

参考文献 : Hamamoto et al., 2017. J. Environmental Engineering, (in press)

謝辞 : 本研究は文科省卓越研究員事業、JSPS 科学研究費助成 (16H04411, 26709033) の補助を受けた。ここに記してお礼申し上げます。