

通水停止時間が多孔質媒体中におけるコロイド粒子の輸送挙動に与える影響 Effects of flow interruption duration on transport of colloidal particles in porous media

○荻田翔, 濱本昌一郎, 杉本卓也, 西村拓

Sho OGITA, Shoichiro HAMAMOTO, Takuya SUGIMOTO, and Taku NISHIMURA

1. 背景および目的

自然土壌は大小さまざまな物質によって構成されている。土壌の構成物質のうち、粒径が数 nm から数 μm のものはコロイド粒子と呼ばれ、比表面積が大きく表面が化学的に活性であり、汚染物質を吸着しやすい。汚染物質を吸着したコロイド粒子が雨水の浸潤に伴い土壌中を下方に移動することで、コロイド粒子が汚染物質の輸送担体となり地下水を汚染する懸念がある。したがって、土壌環境中におけるコロイド粒子の輸送挙動の理解は環境工学上重要である。

土壌環境中のコロイド粒子と土粒子表面の物理化学的な相互作用は、周囲の溶液の pH や塩濃度、あるいはイオン種によって異なることが既往研究で報告されている。これらの研究は、実験開始時から終了時までコロイド粒子懸濁液の通水を止めない連続通水条件で行われてきた。自然土壌環境中において、コロイド粒子は降雨時には雨水の浸潤に伴って下方に移動する。一方、降雨がなく土中水の移動が無視できる時には、コロイド粒子は間隙中で静止、あるいは土粒子表面に沈着していると考えられる。沈着したコロイド粒子はイオン強度の低下などのバルク水のかく乱によって脱離し、土壌中を移動するが、沈着時間がコロイド粒子の脱離や輸送特性に与える影響については十分明らかになっていない。そこで本研究では、異なるイオン種を含むコロイド粒子懸濁液をガラスビーズで充填したカラムに通水し、異なる沈着時間を設けた後の流出特性を明らかにすることを目的とする。

2. 試料と実験方法

2.1 実験試料と測定方法

モデルコロイド粒子として、平均粒径 500 nm のカルボキシルラテックス粒子(C37486, Thermo Fisher)(以下, CL)を用いた。ここで Fig.1 に、濁度計(HI 98703, Hanna Instruments)で測定した濁度と、共振式質量測定装置(Archimedes, Malvern)で測定した粒子数密度の関係を示す。両者の間には高い相関が認められたことから、本研究では粒子数密度について濁度を用いて間接的に評価した。本研究に用いる CL 粒子懸濁液は、粒子数密度を 1.0×10^6 個/mL とし、pH を 7.8 にするため NaHCO_3 を 0.4 mM に調製した。さらに、CL 懸濁液にはイオン強度 6 mM になるように NaCl または CaCl_2 を添加した。

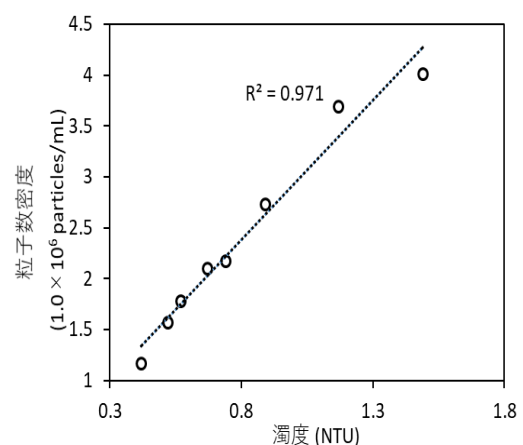


Fig.1 The relationship between turbidity (NTU) and number concentration of colloidal particles

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

キーワード コロイド粒子 沈着時間 イオン種

また、充填試料には平均粒径 0.1 mm のガラスビーズを用いた。これを硫酸と NOCHROMIX (Godax Laboratories Inc.) の混合溶液に 24 時間浸漬して脱イオン水洗浄の後、煮沸してからカラムに充填した。

2.2 カラム通水実験

直径 5.0 cm, 高さ 6.0 cm のアクリル製カラムに、乾燥密度 1.57 g/cm³, 間隙率 0.37 になるようにガラスビーズを水中充填した。Fig. 2 に実験装置の概略図を示す。通水フラックスは、 6.2×10^{-3} cm/s に設定した。まず、ガラスビーズ由来のアルカリ成分を中和するために、カラムに 1 mM の HCl 水溶液を通水した。その後通水する CL 懸濁液と同様の塩濃度に調製した水溶液 (バックグラウンド水溶液) を pH, EC が安定するまで通水した。次に CL に懸濁液を約 8 PV (PV: 流出液量/間隙体積) 通水した後、再度バックグラウンド水溶液に切り替えて約 2 PV 通水した。その後、連続した通水もしくは 16 h または 48 h の沈着時間後通水を行った。沈着時間経過後、再度通水を開始する際には、コロイド粒子の脱離を促すためにイオン交換水を約 5 PV 通水した。CaCl₂ を添加した懸濁液を通水した場合には、続けて 50 mM NaCl 水溶液を約 10 PV 通水した後、再度イオン交換水を通水した。CL 懸濁液通水開始時以降のカラムからの流出液は約 0.3 PV ごとに採水し、流出液量, 電気伝導度(EC), pH, 濁度を測定した。

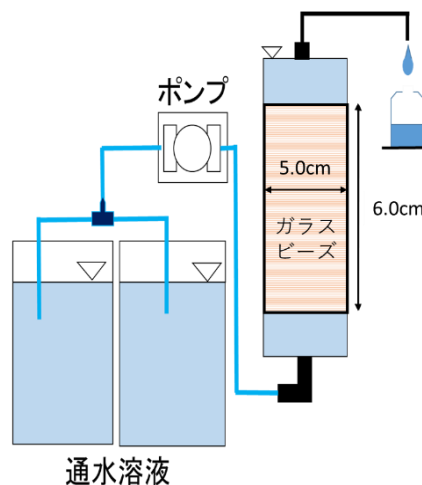


Fig.2 Schematic view of the column experiment

2.3 既往の研究から予想される結果

Torkzaban et al. (2013)は、CaCl₂ を添加した懸濁液を通水しコロイドを沈着させた場合、沈着時間が長いほど、その後の 50 mM の NaCl 水溶液通水によるコロイド粒子の流出率が低いことを報告した(Fig. 3, 枠の部分)。この結果について彼らは、2 価の陽イオン存在下で充填試料表面とコロイド粒子の間で陽イオン架橋が生じ、時間経過に伴って架橋による結合が強化されたためであると考察している。そのため本研究においても、Ca²⁺イオン存在下では流出率の減少が見られることが予想される。また今後、一価の Na⁺イオン存在下でも同様に、沈着時間が長いほどイオン交換水通水時の流出率が低下するかを検討する。

参考文献 Torkzaban et al., Environ. Sci. technol., 47, 11528-11536, 2013

謝辞 本研究は文科省卓越研究院事業, JSPS 科学研究費助成(16H04411, 18H01530, 18J00823)の補助を受けました。ここに記して謝意を表します。

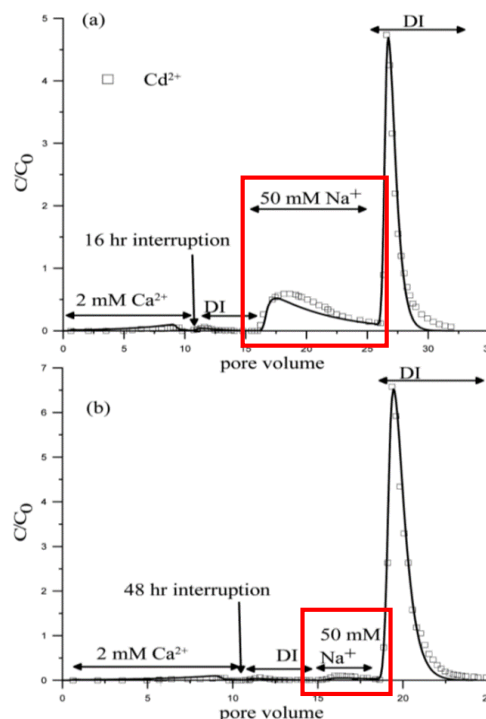


Fig.3 Effluent relative concentration of colloidal particles showing the effect of flow interruption