

イオン種および沈着時間が陽イオン交換反応を伴う土中コロイド輸送に与える影響
 Effects of ion species and flow ceasing on transport of colloidal particles
 with cation exchange 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. はじめに

土壌構成物質のうち数 nm から数 μm の物質はコロイド粒子と呼ばれ、汚染物質の輸送担体となることが知られている。土中におけるコロイド粒子の輸送特性は、間隙水に含まれるイオン種に応じて変化する。例えば、多価陽イオン存在下で負に帯電したコロイド粒子を土粒子表面に沈着させ、その後間隙水を一価陽イオン溶液に切り替える。このとき土粒子表面では陽イオン交換が生じ、さらに間隙水を純水に切り替えるとコロイド粒子が脱離・流出することが知られている^{1,2}。しかし、陽イオン交換反応中の土粒子表面からのコロイド粒子の脱離メカニズムは十分に明らかになっていない。そこで本研究では、多価陽イオンのイオン種と通水停止に伴う土壌水の停滞(沈着時間)が陽イオン反応前後のコロイド粒子の流出挙動に与える影響を明らかにすることを目的とし、カラム通水実験を行った。

2. 試料および方法

コロイド粒子として、平均粒径 500 nm のカルボキシラテックス粒子(C37486, Thermo Fisher)を用いた。これを粒子数密度 2.0×10^6 個/mL となるように 2 mM の CaBr_2 水溶液および MgBr_2 水溶液に懸濁させ、コロイド懸濁液(CL 懸濁液)を作成した。カラム充填試料として、平均粒径 200 μm の豊浦砂(豊浦珪石工業株式会社)を洗浄して用いた。

高さ 5.7 cm, 直径 4.8 cm のアクリル製円筒カラム内に充填試料を間隙率 0.37 になるように水中充填した。CL 懸濁液に加え、2 mM の CaBr_2 水溶液および MgBr_2 水溶液(BG 水溶液), 10 mM の NaBr 水溶液(Na 水溶液)を作成した。通水溶液は NaHCO_3 を用いて pH 7.8 に調整した。BG 水溶液を十分に通水した後、表 1 に示す Phase1~5 の手順で通水実験を行った。このとき、Phase1 から Phase5 の通水量は順に 8, 4, 4, 6, 4 PV とした。PV(ポアボリューム)とは、通水量の尺度で、カラム内の間隙体積と積算通水溶液の体積の比である。また、Phase2 と Phase3 の間には、沈着時間の有無を設けた。

ここで、懸濁液の粒子数密度と濁度計(HI 98703, HANNA)で測定した濁度には高い相関関係があることが実験的に確認できたため、本研究では粒子数密度について濁度を用いて評価した。

表 1 実験条件ごとの通水手順

実験条件	Phase 1	Phase 2	沈着時間	Phase 3	Phase 4	Phase 5
	CL 懸濁液	BG 水溶液		純水	Na 水溶液	純水
Ca 連続通水	CaBr ₂ 2 mM	CaCl ₂ 2 mM	0 h	純水	NaBr 10 mM	純水
Ca 通水停止			48 h			
Mg 連続通水			MgBr ₂ 2 mM			

^{*}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, 溶質輸送, 陽イオン交換

流出溶液を約 0.4 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。また採水試料の一部についてはイオン濃度を測定した。Ca 連続通水実験、Ca 通水停止実験については 3 反復、Mg 連続通水実験については 2 反復の実験を行った。

3. 結果および考察

図 1 に、各実験条件におけるコロイド粒子の流出曲線を示す。Phase1,3 では、Ca 溶液の実験よりも Mg 溶液の実験でコロイド粒子が多く流出した。Phase1~3 では疎水性表面を持つコロイド粒子が Ca^{2+} を架橋して充填試料表面に吸着し、流出が少なかったと考えられる。それに対し、Phase5 では Mg 溶液の実験よりも Ca 溶液の実験でコロイド粒子が多く流出した。いずれの実験系においても、Phase4 における陽イオン交換反応中のコロイド粒子の流出は見られなかった。また、通水停止時間の有無によるコロイド粒子の流出挙動に大きな違いは見られなかった。表 2 に、Phase 4 および 5 での Ca^{2+} および Mg^{2+} の積算流出量を示す。 Mg^{2+} は Ca^{2+} に比べてイオン半径は小さく水和が維持されやすい。したがって、 Mg^{2+} は Ca^{2+} に比べて、イオン交換に伴って親水性表面である充填試料表面から脱離しにくいと考えられる。その結果、表 2 に示す通り、陽イオン交換反応後の Phase4~5 で、 Mg^{2+} が Ca^{2+} よりも流出が少なかったと考えられる。また、また陽イオン交換反応後には、 Mg^{2+} が土粒子表面に多く存在するため、コロイド粒子は充填試料表面から脱離せず、流出量が少なかったものと考えられる (図 1)。

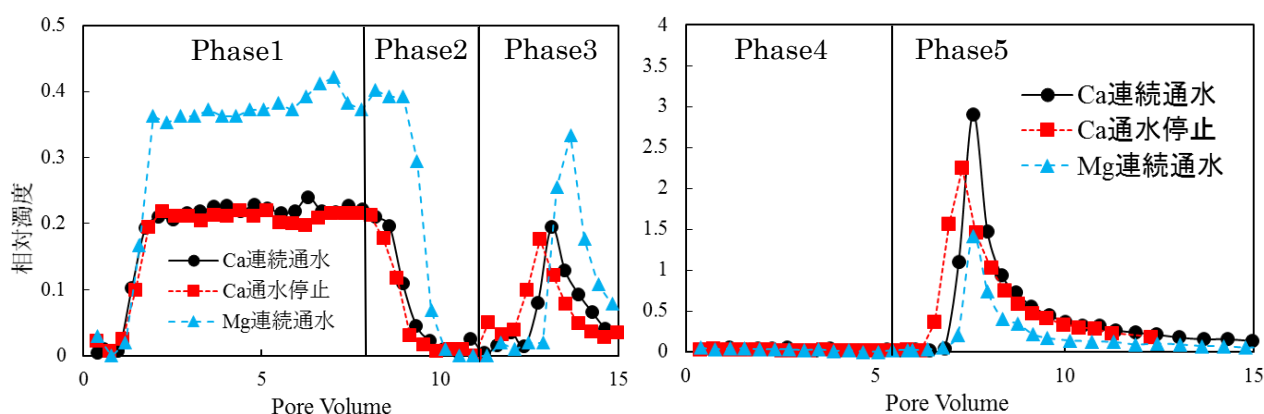


図 1 (左)Phase1~3 (右)Phase4~5 における流出液の相対濁度(流出液濁度/流入液濁度)

右図は Phase4 開始時点をも 0 PV とした

表 2 各 Phase で流出したカルシウムイオンまたはマグネシウムイオンの物質質量 (μmol)

	Ca連続通水	Ca通水停止	Mg連続通水
Phase4	106.93	84.96	81.17
Phase5	13.95	31.78	10.72
合計	120.88	116.74	92.51

参考文献

1. Torkzaban et al., Environ. Sci. technol., 47, 11528-11536, 2013
2. Bradford and Kim, Journal of environmental Quality, 39, 2040-2049, 2010

謝辞 本研究は文科省卓越研究員事業、JSPS 科研費(18H01530, 18J00823) の補助を受けた。