

豊浦砂中のコロイド輸送：不飽和条件下での初期及び後期沈着挙動 Colloid transport in Toyoura sand: deposition behavior in water unsaturated condition at initial stage and late stage

○藤田洋輔*, 小林幹佳**

Yosuke Fujita, Motoyoshi Kobayashi

1. 背景

土壤中に存在する粘土鉱物や金属酸化物などのコロイド粒子が、土壤汚染の原因物質のキャリアーとなる可能性が指摘されている。このため、汚染物質の拡散予測を行う場合、コロイド粒子の挙動に対して注意を払う必要がある。

土壤中において、コロイド粒子は移流・分散の作用によって移動し、土壤基質に対して一定の割合で沈着する。沈着の初期過程では、コロイド粒子による土壤基質表面の被覆率が低く、コロイド粒子と土壤基質のみの相互作用が沈着挙動に影響を及ぼす。一方、沈着の後期過程では既に沈着したコロイド粒子と、後から流入してくるコロイド粒子との相互作用が沈着挙動に影響を及ぼす。飽和土では、初期過程と後期過程を明確に区別した実験が実施され、沈着現象の実態を反映した理論が提案されている。しかし、不飽和条件ではそのような研究例が少なく、沈着過程に対する相互作用の影響に関する議論が不十分である。そこで、本研究ではモデルカラム実験系を用い、不飽和条件下において初期過程と後期過程を明確に区別した実験を実施することを試みた。

2. 実験試料及び方法

カラム充填材(コレクター粒子)として豊浦砂(平均直径 $274 \pm 49.8 \mu\text{m}$)を、コロイド粒子として日本触媒製のシリカ粒子(KEP-50) (平均直径 $490 \pm 23 \text{ nm}$)を用いた。両者とも主成分は二酸化ケイ素であり、シラノール基の解離反応による負電荷を持つ。実験に用いたシリカ懸濁液の初期濃度 C_0 は初期過程の実験の場合 30 mg/L 、後期過程の場合は 300 mg/L とした。塩濃度は NaCl 及び NaHCO_3 を用いて、 1 mM から 500 mM に調整した。このときの懸濁液の pH は 6.8 ± 0.3 であった。高さ 3 cm 、内径 3.2 cm のカラムに、砂層の高さが 2 cm 、間隙率が 0.43 となるように水中落下で豊浦砂を充填した。間隙流速が $8.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 程度となるようにチューブポンプで流量を調整し、懸濁液をカラムに供給した。不飽和条件の実験では、カラム内の溶液条件を調整した後、供給フラックスとカラム下端に作用させるサクションを徐々に低下させ、カラム内の水分を目的とする値に調整した。このときカラム内の体積含水率 θ は 0.2 前後とした。カラム排出液は分光光度計(PD-303, APEL)内に取付けたフローセルに送液した。波長 340 nm で吸光度を測定し、検量線をもとに吸光度をカラム出口におけるシリカ粒子の濃度 C に換算した。各溶液条件について2回以上実験を行った。

3. 結果・考察

初期過程のカラム実験の結果を図1に、後期過程のカラム実験の結果を図2に示す。図1、図2

*元筑波大学大学院 生命環境科学研究科 Former Graduate School of University of Tsukuba

**筑波大学 生命環境系 University of Tsukuba コロイド輸送, 不飽和

共に、左側が飽和度 100 % の条件で、右側が飽和度約 50 % の条件である．初期過程ではシリカ懸濁液の相対濃度が、飽和・不飽和を問わず、破過後一定値で推移する．一方、後期過程では沈着の進行に伴い、相対濃度が変化する．このことから、不飽和条件においても、初期過程と後期過程を区別した実験を実施できることが確認された．

初期沈着過程では、塩濃度の増加に伴い相対濃度が減少している．これは、塩濃度の増加に伴い静電斥力が低下し沈着する粒子が増加するためである．また、不飽和条件についても同様の傾向が見られる．負に帯電している気液界面に対する沈着も、塩濃度の増加に伴う静電斥力の減少の影響を受けるためであると考えられる．

一方、沈着後期過程では塩濃度 1 mM から 100 mM の条件において、沈着したコロイド粒子とバルク中のコロイド粒子の間の静電相互作用によるブロッキングが生じ、相対濃度が緩やかに上昇する．塩濃度が 500 mM の条件では、沈着したコロイド粒子が沈着サイトとして機能するライプニングが生じ、沈着の進行に伴い相対濃度が緩やかに減少した．不飽和条件においても同様な傾向が確認された．

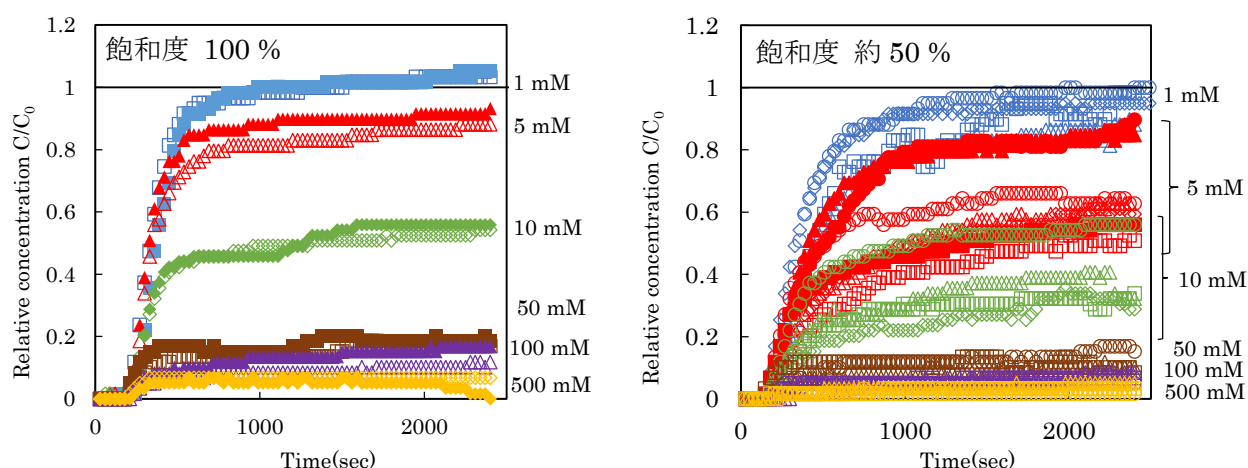


図 1 初期過程におけるシリカ懸濁液の破過曲線（左：飽和度 100 %，右：飽和度約 50 %）

Fig. 1 Breakthrough curves of colloidal silica suspension at initial stage

(Left side :saturation 100 %, right side :saturation about 50 %)

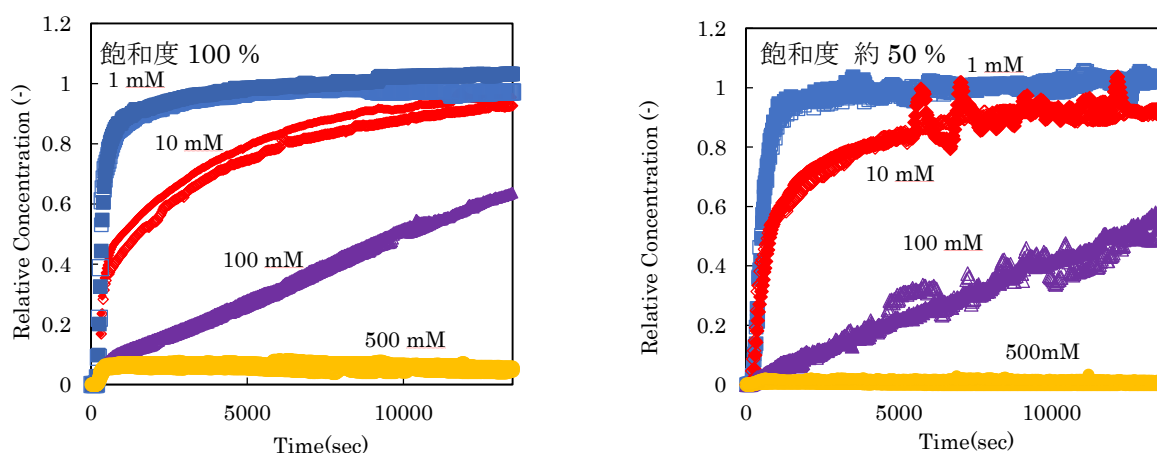


図 2 後期過程におけるシリカ懸濁液の破過曲線（左：飽和度 100 %，右：飽和度約 50 %）

Fig. 1 Breakthrough curves of colloidal silica suspension at initial stage

(Left side :saturation 100 %, right side :saturation about 50 %)