

密度不安定性による間隙水流動と溶質移動の発生条件

Condition of appearing seepage flow and solute transport caused by instability of density

木原 康孝*

Yasutaka KIHARA

1. はじめに

表層に塩類が集積すると下部より上部の溶液密度が高くなる。溶質輸送の問題において、この密度不安定性による溶質の移動については考慮されないことがほとんどであるが、筆者¹⁾は、この密度不安定性によって実際に間隙水が下方に移動すること、溶液がある濃度以下ではこの移動が生じない限界濃度があることを実験によって示した。本研究では、この現象がどのような場合に発生するのか。具体的には、土性、溶液濃度、カラム直径がどのような組み合わせの時に、密度不安定性による間隙水の流動が始まり、物質が輸送されるのかを、様々な条件で実験を行い、検討した。

2. 実験概要

Fig.1 に実験装置を示す。 NaCl 溶液で飽和したカラムが上段に、イオン交換水で飽和したカラムが下段になるように接触させ、静置する。所定日数が経過した時点で解体し、各深さの電気伝導度を測定する。実験には鳥取砂丘砂、豊浦砂を用いた。乾燥密度は両者ともに 1.55g/cm^3 である。この実験を土性、溶液濃度、カラム径を変えて、行った。なお、実験はすべて 25℃ の恒温室で行った。

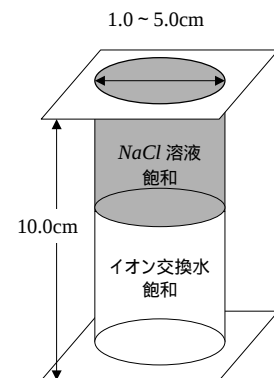


Fig.1 実験装置

3. 結果と考察

Fig.2 にカラム径が 5.0cm で土性が異なる場合の各濃度での分布を示す。鳥取砂丘砂では 0.03M までは線が重なっている。これは溶質が拡散現象のみで移動していることを示している。0.04M でズレていることから、拡散以外の効果によって塩が移動したことがわかり、密度不安定性によって間隙水が流動し始める限界濃度は 0.03 ~ 0.04M であると考えられる。また、豊浦砂の場合、0.05M までは線が重なっており、0.07M でズレていることから、限界濃度は 0.05 ~ 0.07M であることがわかる。つまり、豊浦砂の場合、鳥取砂丘砂に比べてより高い濃度でないと密度不安定性による流動が始まらないことになる。これは豊浦砂が鳥取砂丘砂に比べて粒径が細かいためであると考えられる。

Fig.3 に鳥取砂丘砂において同一濃度でカラム径を変えた場合の濃度分布を示す。鳥取砂丘砂で溶液濃度が 0.05M の場合、カラム直径が 2.0, 3.0, 4.0cm では、線が重なっている。拡散による移動はカラム径と関係ないことから、カラム直径が 2.0, 3.0, 4.0cm では、溶質は拡散のみで移動していると考えられる。0.05M で線がズレていることから、限界カラム径は 4.0 ~ 5.0cm であると考えら

* 島根大学生物資源科学部 ; Faculty of Life and Environmental Science, Shimane Univ

れる。次に、濃度が 0.10M の場合、2.0cm で密度不安定による流動が始まっていることがわかる。すなわち、濃度が高くなるほど、小さいカラム径で密度不安定による流れが発生するということである。

流体力学では、このような密度成層の安定性問題はレイリー・テイラーの安定性問題と呼ばれている。土層の場合の密度不安定に関する既往の研究²⁾によれば、安定性の判定条件として次式の無次元数が与えられている。

$$Ra = \frac{d\rho}{dz} \frac{gkb^2}{\mu D}$$

ここで、 ρ ：密度、 z ：鉛直軸、 g ：重力加速度、 k ：固有透水係数（次元 L^2 ）、 b ：円筒容器半径、 μ ：粘性係数、 D ：溶質拡散係数である。ここで得られた実験結果は、この式と定性的に合うものであった。

このように小さいカラム径、あるいは低い濃度では密度不安定性によって間隙水流動は始まらない、また、カラムが大きいくほど動きが速いことなどから、カラム内の塩分の動きは Fig.4 の様ではないかと推測しているが、更なる実験が必要であると考えている。

4. おわりに

密度不安定による間隙水の流動が始まる条件について検討した。土性、溶液濃度、容器の大きさ（カラム径）などによって間隙水流動・物質輸送が影響されることが明らかになった。今後は、この密度不安定によって間隙水・物質がどのように流れているのか、流れの可視化、センサによるリアルタイム・モニタリング等によって検討を進める予定である。

引用参考文献

- 1) 木原・森・石井（2001）：農土学会講演要旨集、pp.230-231
- 2) Scheidegger（1972）：The Physics of flow through porous media (3rd Ed.),pp239-240

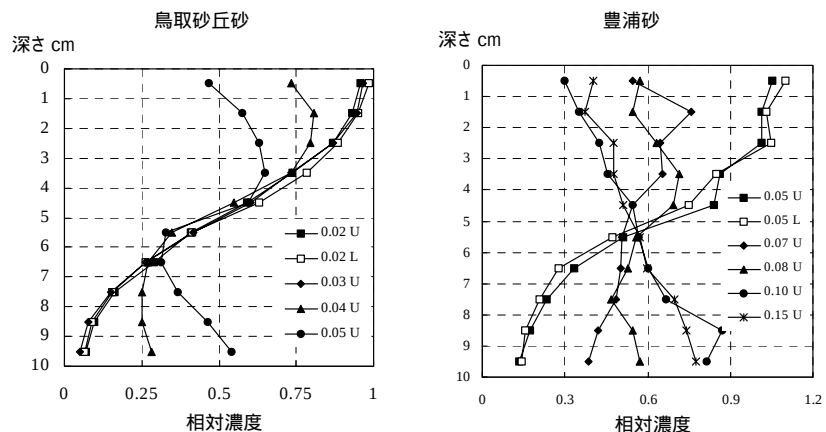


Fig.2 土性による限界濃度の違い

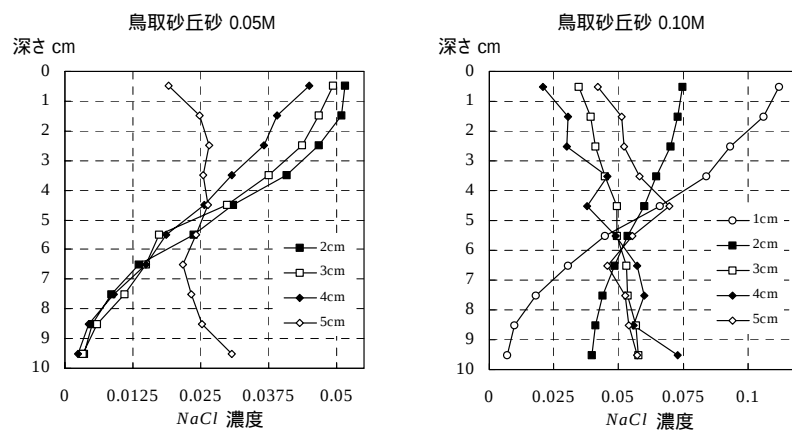


Fig.3 濃度による限界カラム径の違い

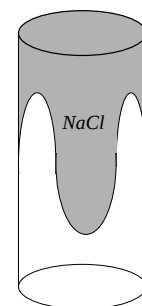


Fig.4 移動形態