

砂丘地湖沼の水質改善のための溶質移動に関する基礎的研究

Fundamental studies on solute movement to improve water quality at sand dune marches

○栗生田忠雄・藤江孝太郎
AODA Tadao and FUJIE Kotaro

1. はじめに

砂丘砂のような粗粒土壌の不飽和領域は毛管領域 (capillary zone) および funicular zone) と懸垂領域 (pendular zone) に分類できる。作物根圏は気相と液相が共存することが多い。不飽和毛管領域の液状水の運動はDarcy則

$$q = -ki \quad (1)$$

によって説明される。ここに、 q : フラックス (cm/s), k : 透水係数 (cm/s), i : 動水勾配である。この(1)式は不飽和浸透にも適応できる。しかし、不飽和領域の懸垂水動態については、未解明な点が残されている。

懸垂水は吸着水とリング水という形態で空隙に存在している。現在、吸着水とリング水はポテンシャルの連続性から粗粒土壌に対しても飽和から絶乾まで水理学的に連続して取扱うことが一般的である。しかし、この取扱いは実験的な裏づけがない。このため乾いた砂への浸潤問題などの数値シミュレーションには困難を伴っている。

本研究は、砂丘地湖沼の水質保全の目的で、粗粒土壌を用いた定常浸透実験を行い、不飽和領域における体積含水率 θ 、圧力水頭 ψ 、電気伝導度 EC の実測から、懸垂水帯の水分・溶質の動態を解明することを目的とする。

2. 実験の材料と方法

供試材料は平均1.0mm径のガラスビーズである。これを幅25cm、高さ22cm、奥行9cmの亚克力水槽に乾燥密度1.418g/cm³で充填した (Fig.1参照)。浸透装置上面は、蒸発防止のためポリエチレンラップで覆い、微小な穴を穿って大気圧とした。側面は上・下流水位を一定し脱塩脱気水、および0.5%濃度NaCl溶液を浸透させた。なお θ 、ECはデカゴン社5TE、およびECHO-TE、圧力水頭 ψ は先端部に注射針(内径0.17mm)マノメータでそれぞれ測定した。各センサーの配置は毛管領域と懸垂領域の水・溶質移動の相違を明確化しやすいような配置とした。

水分・EC・温度センサーは、装置下端を基

Table 1. Controlled water level (cm)

| No. | Time (h) | Upper | Lower |
|----------|----------|-------|-------|
| α | 0~28 | 13.2 | 11.9 |
| β | 28~58 | 8.2 | 6.9 |
| γ | 58~155 | 3.2 | 1.9 |

準に 20.0cmの高さに測点1, 2, 3を、13.5cm高さに測点4を、8.5cm高さに測点5をそれぞれ設置した。マノメータは下端から20.3cmの高さに測点1, 2, 3, 4を、15.8cmの高さに測点5, 6を、10.8cmの高さに測点7, 8をそれぞれ設置した。

2-1. 実験 I

実験装置全体を脱塩脱気水で飽和した後、定常浸透させ圧力水頭 ψ 、水分 θ 、ECをそれぞれ連続測定した。浸透強度は、上・下流の水位差を1.9cmに保ち、 α 、 β 、 γ の3段階に制御した (Table 1)。

2-2. 実験 II

脱塩脱気水を排水した後、0.5%濃度のNaCl溶液を水位 γ に固定して定常浸透させた。この時の、圧力水頭 ψ 、水分 θ およびECをそれぞれ連続測定した。

3. 実験結果

3-1. 実験 I (段階的水位低下過程の θ 、 ψ 変動)

(1) 水分 θ 変動

各測点の水分変動をFig. 2に示す。初期飽和から上・下流水位を α にセットすると、水分 θ

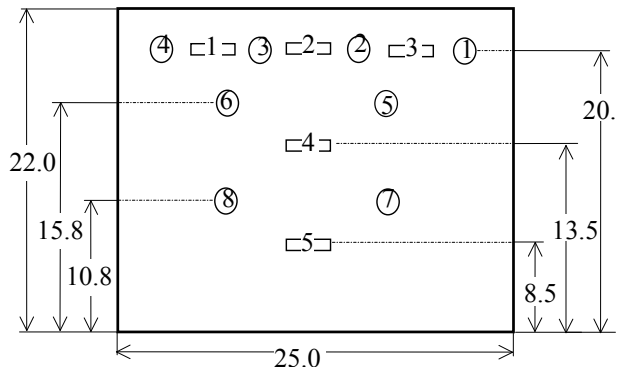


Fig. 1 Saturated-unsaturated flow model (cm)

The test material is 1.0mm glass beads

○: measured points of pressure head

□: measured points of water content and EC

は測点1, 2, 3で約40%から約10%まで急激に低下した。測点4, 5では飽和水分のまま大きく変化しなかった。その後上・下流水位を β にセットすると、水分 θ は測点1, 2, 3で約1%, 測点4で約35%まで低下した。この時、測点5では水分が増加した。

上・下流水位を γ にすると、測点1, 2, 3の θ は約1%のまま変化しなかった。測点4では約5%まで、測点5では約40%までそれぞれ低下した。

(2) 圧力水頭 ψ 変動

Fig. 3は圧力水頭 ψ の鉛直分布である。なお、各測点の自由水面からの高さはマノメータの実測値から規定した。

上・下流水位を α , β にした時、圧力水頭 ψ はほぼ静水圧分布となった。実験IIで水位を γ にすると、自由水面からの高さ8.0cmの測点でのみ圧力水頭が静水圧となった。

3-2. 実験II (水位 γ のNaCl溶液の定常浸透)

(1) 電気伝導度EC変動

Fig. 4より、測点1~4は自由水面から8.0cm以上の高さとなり、ECの反応がなかった。一方、自由水面からの高さが6.0cmである測点5ではECに大きな変動がみられた。測点5のECは、実験開始から3時間で約0.5mS/mに急上昇した。その後、10時間後に低下し、再び22時間後に上昇し始めた。

4. 考察・まとめ

上・下流水位を γ にセットした定常浸透では、測点1~7における圧力水頭は静水圧分布よりも小さな値を示した。

NaClを水位 γ で定常浸透させる実験IIでは、測点1~4ではECの反応がなかった。一方、測点5では急激にECの値が上昇した。測点5では、溶媒である液状水の圧力伝達が行われ溶質が移動したためと考えられる。水位 γ における定常浸透条件下では、圧力水頭 ψ の測点1~7、および5TEの測点1~4では圧力伝達がなく、5TEの測点5のみで水圧の伝達を確認できる。この結果より、液状水の移動に伴う溶質の拡散が可能な毛管領域は、自由水面から約8cmの高さまでである。懸垂水帯では溶媒である液状水の移動がないため、溶質も移動せず電気伝導度に変化がない。

懸垂水帯でも液状水が相互に連続しており、圧力を伝達しようと仮定すると、不飽和領域の全域でECの応答がみられるはずである。本研究の実験結果は、溶媒としての液状水が水圧を伝達しない懸垂状態となりうることを示した。

懸垂水は、温度や湿度の勾配のない条件下に

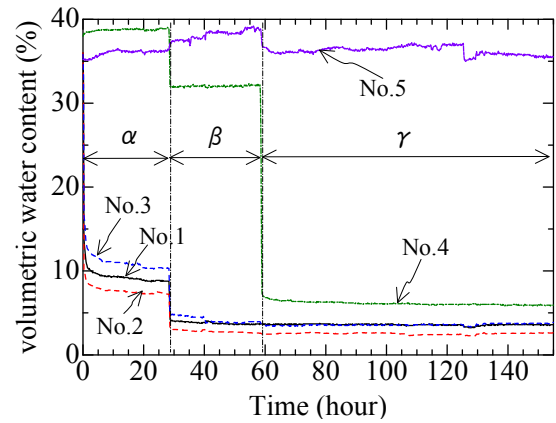


Fig. 2 Change of water content during steady flow with de-aired water without solute in Experiment I

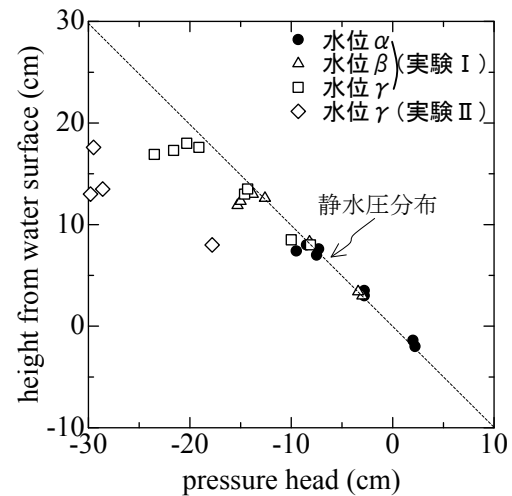


Fig. 3 Vertical pressure head profile in Experiment I

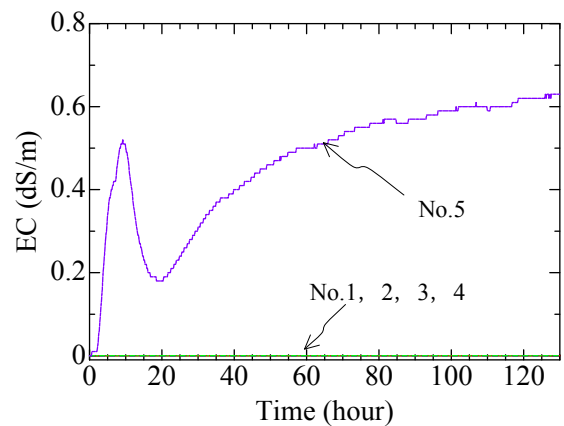


Fig. 4 Change of Electric conductivity in Experiment II.

において、重力によってこれ以上減少しない最小水分と考える。このため、懸垂水帯における溶質移動に移流・分散方程式を無条件に適用することは困難である。

溶媒としての液状水の圧力伝達や運動特性を再現する、飽和-不飽和浸透流の数値解析は今後の課題である。