

蒸発に伴う不飽和砂層中の塩分濃縮過程の検出 -4 極法塩分濃度センサーの改良-

福井大学大学院 学生員 ○沈 飛
 同上 学生員 高野保英
 福井大学工学部 正会員 福原輝幸

1. はじめに

乾燥地および半乾燥地における塩害は、塩類を含む土壌水が蒸発に伴い上方に移動し、塩類が土壌表層に集積する現象であり、砂漠化の原因の一つでもある。このような塩類集積過程は長期間に渡って生じる現象であることから、これをモニタリングするためには、砂層を乱すことなくリアルタイムに砂層内の塩分濃度を測定することが必要となる。筆者らは、不飽和砂層中の塩分濃度測定装置として4極法塩分濃度センサー(4-EM)を採用し、砂層における塩分濃縮過程の検出を試みてきた^{1),2)}。さらに、従来から使用してきたセンサーの出力の不安定性を克服し、塩分濃度および土壌含水量の計測範囲を拡大するために、センサーの電気回路に改良を加え、その測定精度と安定性の向上に成功した。

本報では、改良した4極法塩分濃度センサーを用いて蒸発に伴う不飽和砂層中の塩分濃縮実験を行い、その有効性について検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験概要

蒸発に伴う塩分濃縮実験は、環境条件を一定(温度 25℃、相対湿度 50%)とした恒温恒湿室内において30日間行われる。実験装置の概要をFig.1に示す。実験には、直径0.1 m、高さ0.375 mの亚克力製円筒容器(以下、砂層カラムと呼称)が用いられ、豊浦標準砂が平均間隙率0.4で充填される。砂層カラムは塩分濃度0.1% NaCl 溶液を貯蔵した塩水供給タンクと接続され、所定の地下水位(地表面下0.205 m)に設定される。なお蒸発を促進させるため、送風機により砂層表面に風を送る。地下水位は実験中常に一定であり、地下水温(25℃)もまた一定に保たれる。

砂層中の電気伝導度 E_c は6本の4極法塩分濃度センサーにより(5時間毎)、蒸発量は重量計により(6時間毎)、それぞれ測定される。また、体積含水率 θ は実験終了後に試料を採取し、炉乾燥法により求められる。実験より得られた電気伝導度および体積含水率から、後述するキャリブレーション結果を用いて、最終的に塩分濃度 C が求められる。また、センサーにより測定された C の精度を検証するために、電量滴定法(ソルメイト 100(朝日ライフサイエンス製)を使用)を用いて実験終了時の塩分濃度が求められる。

3. 実験結果および考察

3.1 キャリブレーション結果

砂層中の電気伝導度は、砂層中の水分量に強く依存するため、事前のキャリブレーションが必要となる。Fig.2に任意の塩分濃度 C における体積含水率 θ と電気伝導度 E_c の関係を示す。どの塩分濃度に対しても両者の関係は、近似的に次式で表される。

$$E_c = A \theta^2 \quad (1)$$

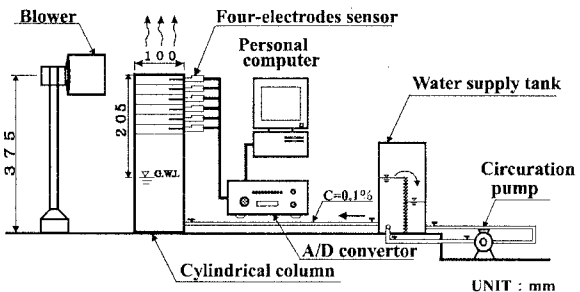


Fig.1 実験装置

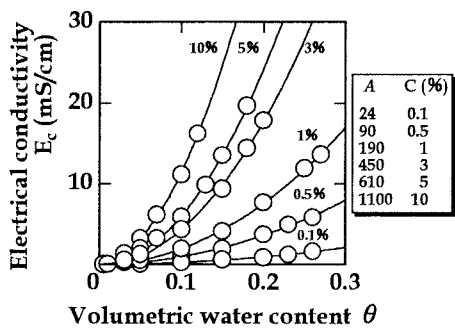


Fig.2 電気伝導度と体積含水率の関係

ここに、 A ：濃度係数である。各塩分濃度の A は、図中に併示される。

Fig.3 に、上述の結果より得られた濃度係数 $A (= E_c/\theta^2)$ と塩分濃度 C の関係を示す。塩分濃度 C は次の近似式で求められる。

$$C = \alpha \left(\frac{E_c}{\theta^2} \right)^2 + \beta \left(\frac{E_c}{\theta^2} \right) + \gamma \quad (2)$$

ここに、 $\alpha = 2.81 \times 10^{-6}$ 、 $\beta = 6.1$

9×10^{-3} 、 $\gamma = -0.114$ である。

実験から得られた E_c および θ を

用いて、式 (2) より塩分濃度 C が計算される。

3.2 実験結果および考察

Fig.4 に砂層内体積含水率 θ の鉛直 (z) 方向分布 $\theta(z)$ を示す。実験を通して地下水位は一定であるため、 θ の時間的な変化はないと思われる。また同図より砂層表面は不飽和の湿潤状態であり、蒸発は砂層表面で起こっていることが推察される³⁾。なお、蒸発フラックス密度は実験を通して一定 ($6.05 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2\text{s}$) である。

次に、式 (2) より算出された塩分濃度 C の経時変化が Fig.5 に示される。 C は、全層に渡って時間の経過とともに増加し、その増加率は砂層表面に近いほど大きくなる。例えば、30 日後の表層の C は初期のその約 5 倍となる。当然ながら、飽和域での C の増大は蒸発による水分損失を補うための供給塩水に起因する。また、供給塩水量から計算される塩分濃度 C は $z = -0.205\text{m}$ にプロットされている値に近い。さらに、実験終了時の塩分濃度分布 (∇) と電量滴定法による結果 ($\blacksquare$) を比較すると、両者の値はほぼ等しい。

Fig.6 に $z = -0.0825\text{m}$ および $z = -0.0125\text{m}$ の塩分濃度 C の経時変化を示す。 $z = -0.0125\text{m}$ の C は時間の経過と共に線形的に増大していること、および $z = -0.0825\text{m}$ では約 120 時間後より塩分濃縮が始まること判る。

4. おわりに

改良した 4 極法塩分濃度センサーにより不飽和砂層中の塩分濃度の

測定を行なった結果、その有効性が検証された。今後、不飽和砂層中の塩分散係数を求め、乾燥下の塩分濃縮計算を行う。最後に、本センサーの製作に関して山田技研(株)にお世話になった。記して謝意を表する。

参考文献：

- 1) 篠野正樹・福原輝幸・山田忠幸：不飽和砂層中の塩分濃度測定に関する 4 極法塩分濃度センサーの適用，土木学会第 50 回年次講演会講演概要集，II-A40，pp.80-81，1995。
- 2) 篠野正樹・福原輝幸・土田耕三・山田忠幸：不飽和砂層中の塩分濃度測定に対する 4 極法塩分濃度センサーの適用—第二報—，土木学会第 51 回年次講演会講演概要集，II-400，pp.800-801，1996。
- 3) 二上章司・高野保英・福原輝幸・佐藤邦明：表面層モデルによる砂層表面との間の熱・水分移動特性— $\alpha - \beta$ 法による砂層表面層厚の検討—，水工学論文集，第 41 巻，pp.37-42，1997。

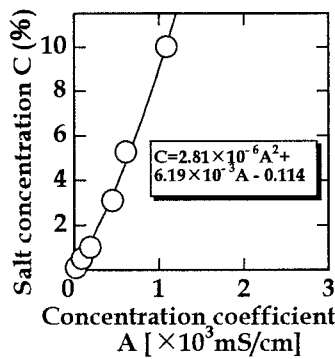


Fig.3 塩分濃度と濃度係数の関係

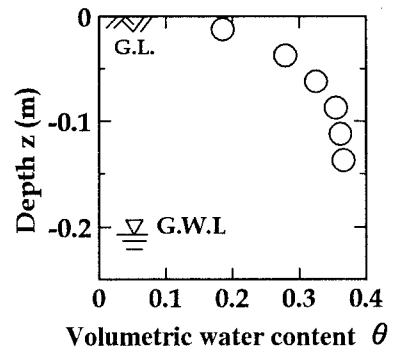


Fig.4 体積含水率の鉛直分布

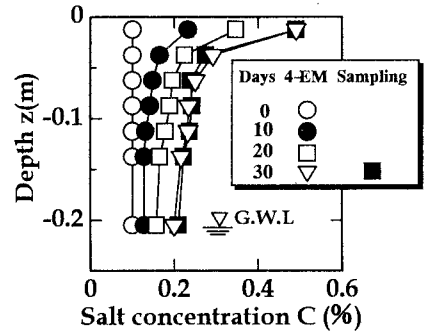


Fig.5 塩分濃度の鉛直分布の経時変化

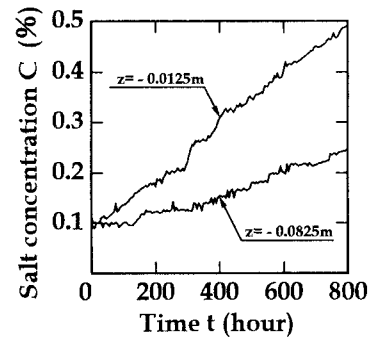


Fig.6 塩分濃度の経時変化