

Ⅱ-40 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

福井大学工学部	学生員	篠野 正樹
福井大学工学部	正 員	福原 輝幸
(株) 山田技研	正 員	山田 忠幸

1. はじめに

砂層からの蒸発に伴う塩分集積過程を定量的に評価するためには、砂層中の塩分移動メカニズムや分散係数を正確に把握することが重要となる。現在、サンプリングすることなくリアルタイムに砂層中の塩分濃度を測定する装置として、多孔体を用いた塩分濃度センサーや電導度計が挙げられる。これらのセンサーは含水率の高い所での塩分濃度は比較的容易に測定することができるが、含水率の低い所では測定が困難となる。しかしながら、塩分集積が地表面や毛管帯と乾燥帯の境界（界面）で起こる^{1),2)}ことを考慮すれば、低含水域での塩分濃度測定が重要となる。

そこで本研究では、不飽和砂層中の塩分濃度をリアルタイムに測定するセンサーとして提案されている 4 極法塩分濃度センサー³⁾を独自に改良・製作し、本センサーの実用性について検討を行ったので、ここにその成果を報告する。

2. 実験概要

本研究で使用した 4 極法塩分濃度センサーの概要が Fig. 1 に示される。平行に接続された 4 本の電極は、外側 2 本および内側 2 本の棒がそれぞれ電流供給電極および電圧測定電極となる。塩分による腐食の影響を極力抑えるために各電極ともにチタンが使用される。また、局所的な水みちの影響をさけるために電極は長いほど良いが、電極支持部分からノイズが入る可能性が大きくなる。そこで、電極長さの違う数種類のセンサーを用いて予備実験を行った。その結果、Fig. 1 に示すように電流供給電極長さ 12mm が決定される。なお、他の部分は絶縁処理が施される。

本研究は温度 25°C、相対湿度 50% の恒温恒湿室において、塩分濃度 $C = 1, 5, 10, 15$ および 20 % NaCl 溶液を含んだ標準砂により行われる。また、キャリブレーションの精度を上げるために、各濃度について体積含水率 θ の異なる 20 ~ 30 の試料が使用される。塩分濃度および体積含水率を調整した標準砂は直径 0.06m、高さ 0.06m のポリエチレン製円筒容器（以下、円筒容器と呼称）に均一に充填され、4 極法塩分濃度センサーにより電気伝導度が測定される。その後、試料をサンプリングし、炉乾燥法により体積含水率が求められる。

また、容器の大きさ・材質などによる電気伝導度の違いを調べるために $0.1 \times 0.1 \times 0.1m$ のアクリル製角柱容器（以下、角柱容器と呼称）が使用され、塩分濃度 $C = 1\%$ についてのみ体積含水率を数種変化させて上述の実験が行われる。

3. 実験結果および考察

4 極法塩分濃度センサーの応答性を調べるため、Fig. 2 には計測された電気伝導度 E_c の経時変化 ($C = 20\%$, $\theta = 0.011$) が示される。測定開始直後は電気伝導度は増加するが、約 5 分ではほぼ一定の値を示している。サンプルによって一定になるまでの時間には若干の違いが見られるが、Fig. 2 で示したのとほぼ同程度の時間で出力値は一定となる。これより、4 極法塩分濃度センサーは砂層中の塩分移流拡散現象を忠実にとらえることができると思われる。

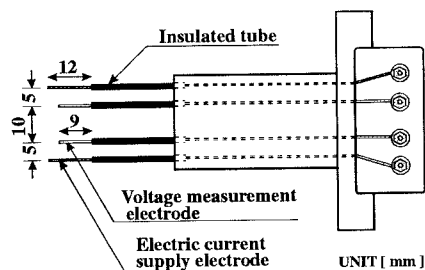


Fig. 1 4 極法塩分濃度センサー概要

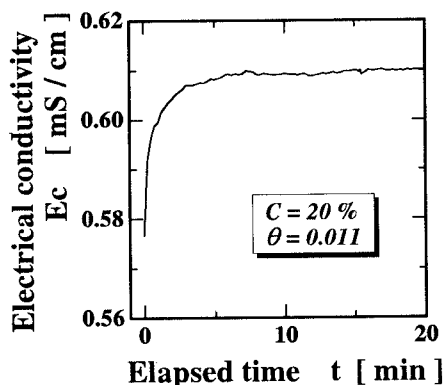


Fig. 2 4 極法塩分濃度センサーの応答性

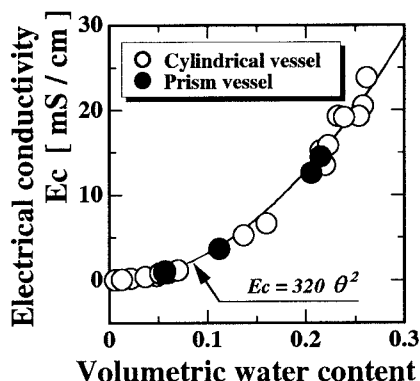


Fig. 3 体積含水率と電気伝導度の関係 (C=1%)

Fig. 3 には塩分濃度 $C = 1\%$ における体積含水率 θ と電気伝導度 E_c の関係が示される。図中の黒丸 (●) および白丸 (○) は角柱容器および円筒容器の値である。両容器とも体積含水率に対する E_c の値はほとんど変わらず、今回使用した容器の材質や大きさでの違いは見られなかった。また、 θ と E_c の関係は Fig. 4 に示すように式 (1) で近似され、実験値との相関は高い。すなわち、

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

ここで、 A ：濃度に関する係数（以下、濃度係数と呼称）である。次に、濃度係数 A と塩分濃度 $C[\%]$ の関係を Fig. 5 に示す。濃度の増大に伴い濃度係数 A も増大することが知れる。また、 A と C の関係は図中に示すように式 (2) で近似される。

$$A = B_1 C^2 + B_2 \quad (2)$$

ここに、 $B_1 = 14$ 、 $B_2 = 100$ である。式 (1) に式 (2) を代入し、塩分濃度 C について解くと

$$C = \sqrt{\frac{1}{B_1} \left(\frac{E_c}{\theta^2} - B_2 \right)} \quad (3)$$

となり、 C は E_c と θ の関数として表すことができる。本センサーを用いた場合、式 (3) を使うことにより不飽和砂層中の塩分濃度を容易に求めることが可能となる。

4. おわりに

不飽和砂層中の塩分濃度を測定するために4極法塩分濃度センサーを製作し、その有効性を検討した結果、4極法塩分濃度センサーの応答性および安定性は高含水域のみならず低含水域でも極めて良好であり、比較的容易に不飽和砂層中の塩分濃度を測定できることが示された。

最後に、本研究の遂行に当たって鳥取大学乾燥地研究センターの井上光弘助教授にお世話になった。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 福原輝幸・佐藤邦明：砂層表面蒸発に伴う塩分集積に関する基礎的研究、水工学論文集第38巻、pp.241 - 246, 1993.
- 2) 高野保英・福原輝幸・黒川和夫：吸水性繊維布設法による砂層塩分濃縮・塩類集積抑制実験、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、CS-121, pp 248 - 249, 1994.
- 3) 例えば、井上光弘・塩沢昌：4極法による土壌カラム内の電気伝導度測定とその応用、土壌の物理性第70号、pp.23 - 28, 1994.

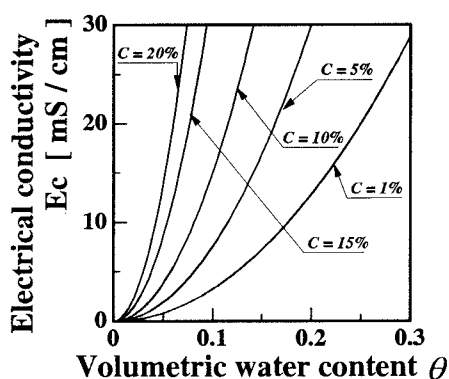


Fig. 4 各濃度における校正曲線

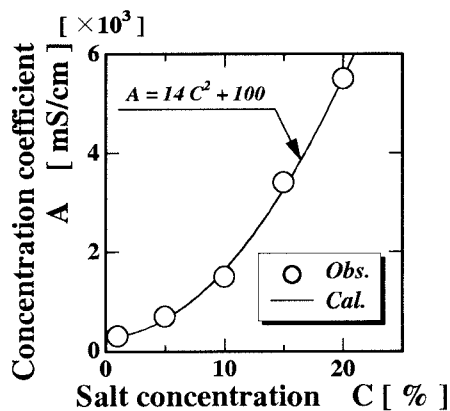


Fig. 5 塩分濃度と濃度係数の関係