

II-157

インピーダンス測定法による土壌カラム内水分量・
溶液濃度測定のための検量線の作成

京都大学工学部 正会員 米田 稔
 福井工業大学 正会員 井上頼輝
 大阪府 酒向 健

1. はじめに

筆者らは昨年までの研究^{1,2)}によって、土壌のインピーダンスを測定すれば、サセプタンスから水分量を、コンダクタンスから導電率そしてイオン濃度を求めるシステムを構築できることを示した。本研究ではインピーダンス測定法による土壌カラムの水分・溶液濃度測定のための簡便な検量線の作成法について検討する。また本システムを用いて水分量と溶液濃度の変化を追跡した例についても報告する。

2. 測定システム

図1に本研究で開発したリアルタイム土壌インピーダンス測定システムを示す。このシステムは、カラムやデータ収集部は前報と同じであるが、システム制御からデータ解析までを全てオンライン化したコンピューターで行っており、14個の電極におけるインピーダンスに関するパラメータの値や含水率などを、約5秒で測定し直ちにそれらのカラム深さ方向の分布を画面上に図示することができる。また本研究では、測定対象などを全て恒温条件下に置くことにより、インピーダンスに及ぼす温度影響を除去している。

3. 土壌インピーダンスの性質と検量線作成方法

測定温度20℃で、ある山砂に数種の濃度のNaCl溶液を含ませたとき、測定周波数1MHzで求められた、体積含水率とサセプタンス/角周波数の関係を図2に、体積含水率とコンダクタンスの関係を図3に示す。図2から、前報でも示したように体積含水率とサセプタンス/角周波数の間には線形関係が成り立つことが分かる。本研究では土壌を図4のようにコンデンサーと抵抗の並列等価回路でモデル化し、次式の関係を保定した。

$$\epsilon_a = \epsilon_{\text{soil}} + \epsilon_{\text{water}} \cdot (\theta / 100) \quad (1)$$

$$C_{\text{soil}} = \epsilon_a \cdot A \quad (2)$$

ただし、 C_{soil} ：土壌の静電容量 [F]、 ϵ_a ：土壌の見かけの比誘電率 [-]、 θ ：体積含水率 [%]、 ϵ_{water} ：土中水の比誘電率 [-]、 ϵ_{soil} ：土壌粒子の示す比誘電率 [-]、 A ：形状定数（電極の幾何学的関係で決まる定数と真空の誘電率の積）とする。なお図4の等価モデル下では C_{soil} =サセプタンス/角周波数となる。

形状係数Aは、カラムに純水のみを入れ、温度を変化さ

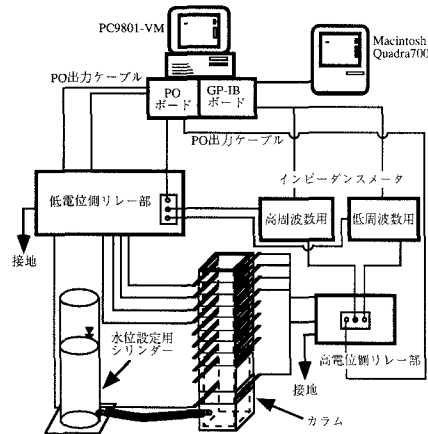


図1 土壌インピーダンス測定システム

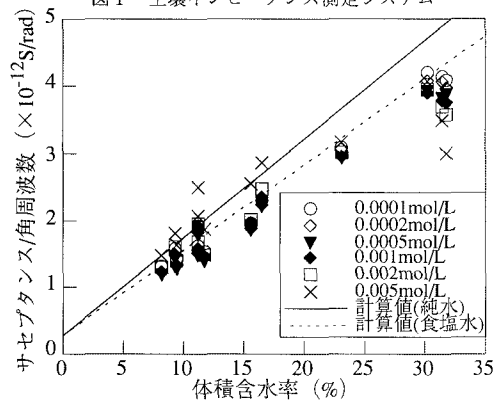


図2 体積含水率とサセプタンス/角周波数の関係

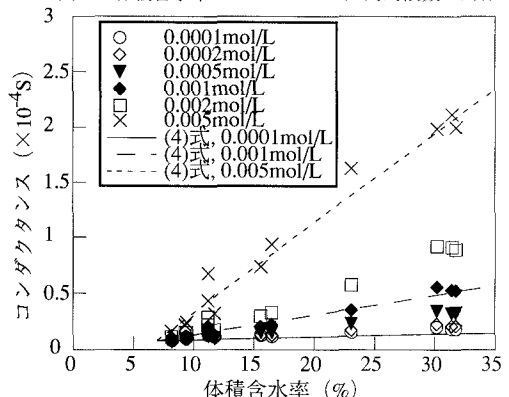


図3 体積含水率とコンダクタンスの関係

せてインピーダンスの測定を行うことにより、本研究では $A=1.83 \times 10^{-13}$ [F] と求められた。 ϵ_{water} に純水の比誘電率（80.1 at 20℃）を援用し、また ϵ_{soil} としては、砂の比誘電率が2.5程度である³⁾ことから、土壤中の空隙を0.4程度として、 $\epsilon_{\text{soil}} = (1-0.4) \times 2.5 = 1.5$ を採用すると、(1)、(2)式から図2の実線の関係が得られる。図2より、純水の誘電率を援用しても、濃度0.005mol/Lの場合を除けば(1)式を用いて2割程度の誤差で体積含水率を求めることが可能であることがわかる。また約0.001mol/LのNaCl溶液の誘電率を測定し、これを ϵ_{water} として(1)式に代入して理論的に求めた線が図2の点線である。濃度0.002mol/L以下の実測値は比較的良好にこの点線上にのっていることから、比誘電率の濃度依存性を考慮することにより、推定精度の改善が期待できる。また図2でNaCl濃度が最も高濃度の0.005mol/Lになると他のデータから大きく離れる傾向が見られるが、これもNaCl溶液の誘電率に及ぼす濃度の影響が大きくなるためと考えられる。

このように最初にカラムに純水など誘電率既知の液体を入れ形状係数を求め、土壌溶液に近い溶液の誘電率を求めておけば、(1)、(2)式を用いてサセプタンスの測定値から体積含水率を求めるための検量線を作成できる。

コンダクタンスは、図3より導電率と体積含水率の両者に依存する量であることが予想される。そこで、コンダクタンスと導電率及び体積含水率との間に線形関係を仮定することにより、次式を得た。

$$G = 1.52 \times 10^8 \times \sigma \times (\theta - 6.94) + 7.82 \times 10^6 \quad (4)$$

ただし、G：コンダクタンス [S]、 σ ：導電率 [μ S/cm]、 θ ：体積含水率 [%]。この式から求まる直線を図3に3つの濃度について示す。これらの直線は実データと非常によく一致している。

$\theta - 6.94$ は土壌空隙中における結合水などから成る残留不動水分の体積含水率6.94%を除いた、真に移動可能な水分量（有効含水率）であると解釈できる。そして、残留不動水分のコンダクタンスへの寄与は、後半の定数項に含まれると考えられる。このとき、測定対象の試料について、濃度と有効含水率既知の2組みのコンダクタンスを測定すれば、(4)式の関係式を求めることができ、サセプタンスから求めた含水率とコンダクタンスの値から、土壌溶液の導電率を求めるための検量線を作成できる。

4. 実際のカラム内水分物質移動追跡問題への適用例

本研究で求めた検量線と本研究で開発したシステムを、実際の不飽和カラム内水分物質同時移動の追跡に使用した。図5、6は初期条件として純水のみが存在した不飽和カラムに、上部から食塩水を浸透させ、飽和させたときの水分と導電率の時間変化を表したものである。導電率はほぼ土中水のNaCl濃度に比例すると考えられる。図5、6より、溶液が不飽和層に浸透する際に、溶液の浸透よりも含水率の上昇が速く移動していく現象が観測できる。このことは、浸透水の押し出し効果により、浸透水の移動よりも含水率の上昇の方が若干速く進行する現象を示していると考えられる。また、カラム全体が飽和した78秒後においては導電率の上昇は高さ13cmまでしか達していないが、含水率の上昇は高さ2cmまで達しており、これも浸透における押し出し効果の結果だと考えられる。

5. まとめ

インピーダンス測定法を用いて土壌カラムの水分量と土中水の濃度を求めるための検量線を求める方法を示した。また実際にカラム内水分物質移動の追跡にインピーダンス測定法を適用し、その有効性を示した。

参考文献

- 1) 酒向健他，土木年講Ⅱ，pp.22-23，1994
- 2) 吉川克明他，土木年講Ⅱ，pp.142-143，1995
- 3) 理科年表，国立天文台編，丸善，1996

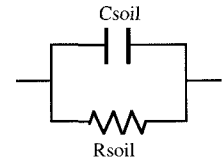


図4 土壌の電氣的等価モデル

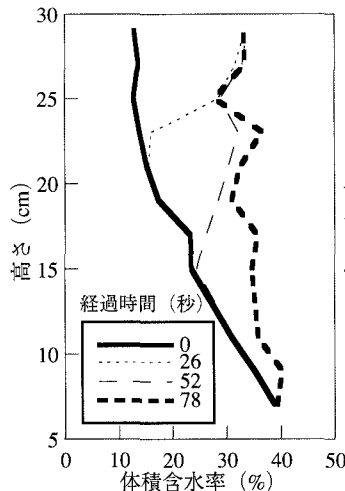


図5 体積含水率の時間変化

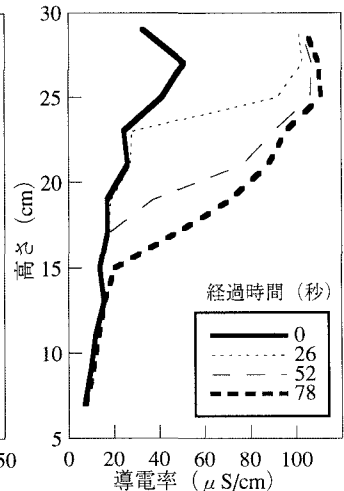


図6 導電率の時間変化