

II-212

土壤非接触型電極とインピーダンスメーターを用いた 土壤カラム内水分量・溶液濃度測定

京都大学工学研究科 学生会員 龍井智彦
 京都大学工学研究科 正会員 米田 稔
 京都大学工学研究科 フェロー 森澤真輔

1 はじめに

従来のインピーダンス測定法¹⁾では土壤と電極が直接接触する装置を使用していたため、カラムの作成が困難である、電極の破損の恐れがあるなどの問題があった。そこで本研究では土壤と電極が接触しない測定システムを構築して単純モデル化を行い、インピーダンス測定値から求めた土壤の見かけの比誘電率が測定周波数、含水率、土壤溶液濃度の関数となることを利用して含水率・イオン濃度を求めるための検量線の作成を試みた。

2 測定システム

図1に本研究で用いた土壤インピーダンス測定システムを示す。このシステムでは、設定した時間間隔で連続的に測定周波数を変えながらインピーダンスメーター（高周波用：Hewlett Packard 社、HP4285A，低周波用：NF回路設計ブロック社、2322 LCZメーター）に測定を行わせ、測定値を制御用コンピュータのハードディスクに連続的に保存する。本研究で使用したカラムは厚さ5mmの亚克力製で、水平断面の内辺が一辺5cmの正方形、接続したときの内側の高さが2cmである。また、最下段には水平断面の形状が同じで、接続したときの内側の高さが4cmの亚克力製カラムを用いた。この最下段用カラムにはゴムホースがついてあり、これを水位設定用シリンダーに接続して、カラムへの給水及びカラムからの排水を行う。本研究では、最下段用カラムの上に、測定端子接続用に14段、湛水用に1段の計15段カラムを組み上げたものを多段カラムとして用いた。測定電極は1cm×5cmのステンレス板にケーブルをハンダ付けしたものを亚克力板に接着し、カラム外側側面に向かい合わせて押しつけてひもで固定した。また本研究では、測定対象をすべて恒温条件下に置くことにより、温度がインピーダンスに及ぼす影響を除去している。

3 土壤のモデル化

本研究で用いたカラムでは水分子やイオンと電極が接触しないため、実数成分の電流が虚数成分の電流に対して非常に小さいと考えて、土壤カラム部をコンデンサーのみの等価回路でモデル化した。また、カラム部以外で測定装置の表示値に影響を与える成分としては、装置やカラムをつなぐケーブルのインダクタンスや漂遊容量が考えられるが、回路全体の容量成分について、カラムの内容物を変化させて以下のように回路及び形状係数に関する補正を行った。

$$C = \alpha_i \epsilon + C_i'' \quad (1)$$

$$C_w = \alpha_i \epsilon_w + C_i'' \quad (2)$$

$$C_o = \alpha_i \epsilon_o + C_i'' \quad (3)$$

ただし、 C ：カラム内に測定対象土壤がある時の回路全体の静電容量、 C_w ：カラムが脱イオン水で満たされている時の回路全体の静電容量、 C_o ：カラムが空のときの回路全体の静電容量、 α_i ：カラム i の形状係数、 C_i'' ：カラム i に接続したときの漂遊容量、 ϵ ：測定対象土壤の見かけの誘電率、 ϵ_w ：脱イオン水の誘電率、 ϵ_o ：空気の誘電率である。この3式を ϵ について解くと、

$$\epsilon = \epsilon_o + (\epsilon_w - \epsilon_o) \cdot \frac{C - C_o}{C_w - C_o} \quad (4)$$

となる。 ϵ_o と ϵ_w は既知なので、(4)式から C_i'' に影響されない ϵ の値を求めることができる。

4 実験方法と検量線の作成

実験は温度を20℃に保った状態で行った。カラムに山砂を詰め、十分な量のNaCl溶液を飽和状態で通水した後、最下段カラム近くに水面を設定して排水し、3時間後に複数の周波数でインピーダンスを測定した。この操作を数回

キーワード：土壤カラム、含水率、溶液濃度、インピーダンス、非接触型電極
 京都市左京区吉田本町 TEL:075-753-5156 FAX:075-753-5066

類の濃度の NaCl 溶液で行った後、カラムを分解して各段の含水率を重量法により測定した。

土壌の比誘電率は、周波数 f [Hz]、体積含水率 θ [-]、NaCl 溶液の濃度 η [mol/L] の3変数についての関数 $\epsilon = \epsilon(f, \theta, \eta)$ とおくことができる。本研究では周波数 f をあらかじめ設定している、 f は既知の値である。そこで、周波数を2箇所設定して比誘電率の測定を行うと、2元の連立方程式ができ、これを解くことで未知数である体積含水率 θ 、溶液の濃度 η の値を求めることができる。

そこで、本研究では 200kHz 及び 1MHz を測定周波数として選び、以下に示す方法で検量線を作成した。

- (1) 比誘電率は体積含水率 θ に対してほぼ直線的に変化しているので、直線近似を行う。
- (2) 求められた切片及び傾きの値が溶液濃度 η の関数として表されるとき、近似曲線を求める。

数種類の関数を仮定して回帰を行った結果、

$$200\text{kHz} : \epsilon_r = 74.447 - 10.922e^{-2147.2\eta} + (54.906 + 11.797e^{-2016.7\eta})\theta \quad (5)$$

$$1\text{MHz} : \epsilon_r = 71.189 - 45.106e^{-188.36\eta} + (159.89 - 25.571e^{-2786.6\eta})\theta \quad (6)$$

という関数で最も良い相関を示したので、これを 200kHz 及び 1MHz における検量線とした。

例として 200kHz における検量線と実測値の対応を、体積含水率について図2に、NaCl 濃度について図3に示す。含水率が10%から25%の範囲では検量線と実測値が比較的良好に一致したが、低含水率及び水飽和状態に近い高含水率ではあまり一致しなかった。また、NaCl 溶液濃度が大きくなるにつれて検量線と実測値との誤差が大きくなる傾向も見受けられた。誤差の原因としては、土壌が低含水率と高含水率で電気的に特異な挙動をする、あるいは低含水率と高含水率の時、含水率の測定誤差が大きい、などの理由が考えられる。

5 まとめ

電極非接触型装置を用いて土壌の見かけの誘電率を測定することにより、土壌カラムの水分量と土中水のイオン濃度を求めるための検量線作成を試みた。土壌カラムを電気的に単純なモデルで近似し、200kHz、1MHz の2つの周波数で比誘電率を測定することにより、含水率が10%から25%程度の範囲に適用可能と考えられる検量線を作成することができた。より広範囲に適用可能な、より高精度の検量線を作成するためには、さらに実験を重ねる必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会論文集 No.579 / II-41, 1-14, 1997

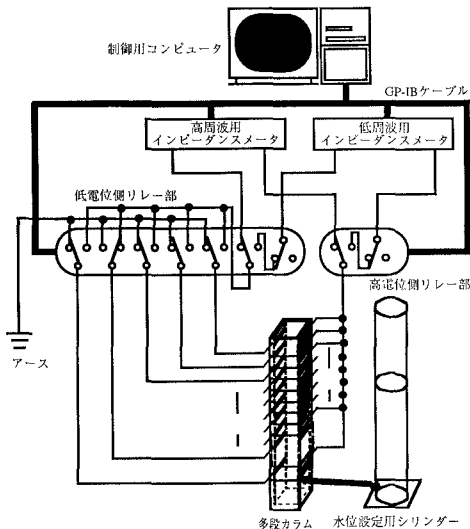


図1. 土壌インピーダンス測定システム

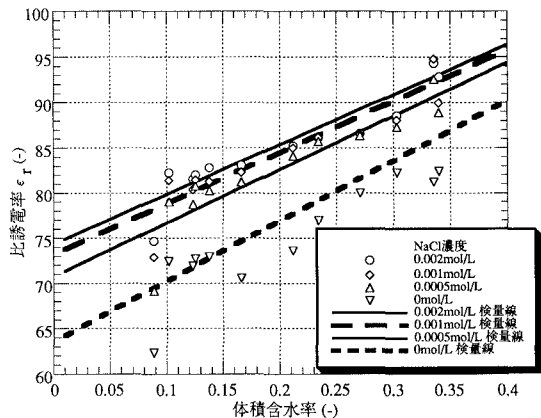


図2. 200kHzにおける体積含水率と比誘電率の関係

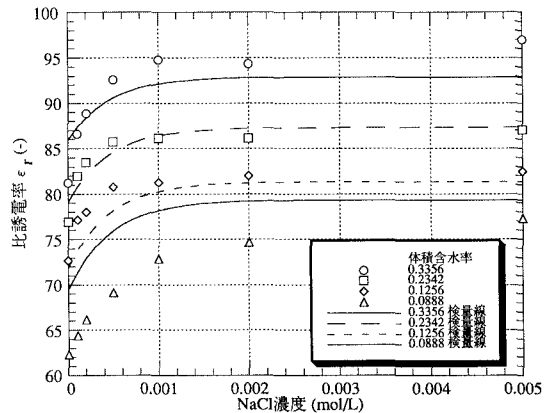


図3. 200kHzにおけるNaCl濃度と比誘電率の関係