

II-82

インピーダンスの測定によるカラム内水分及び
物質移動追跡の可能性について

京都大学大学院 学生員 新井孝幸

京都大学工学部 正員 井上頼輝 米田稔

大本組

高橋英徳

1.はじめに

カラム内での水分移動を追跡するため、非破壊でカラム内土壌の含水率測定をするには、中性子水分計を用いる方法や、ポーラスカップを用いる方法等があるが、放射性物質を使う、センサー部がカラムには大きすぎる等の問題がある。本研究では非破壊でカラム内の水、物質移動の追跡を可能にする一つの方法として、カラム内の交流電流に対するインピーダンスを測定する方法を提案し、この方法の有効性について検討する。

インピーダンスの測定によって水分量を測定できるということについては岡本¹⁾によって示された誘電率探査法に拠っている。

2.定常水分分布状態における含水率とインピーダンスの関係

2.1 実験装置及び実験方法

実験には図1のようなカラムを用いた。このカラムに土を詰めて、同じ高さの電極間のインピーダンスを測定した。このカラムは電極のある段ごとに分解が可能で、各段ごとの含水率を分解して測定することができる。電極には直径1mmのステンレス線を用いた。実験に用いた土の粒径分布を図2に示す。また、実験には電導度 $217\mu\text{S}/\text{cm}$ の水道水を用いた。インピーダンスの測定はエヌエフ回路設計ブロック社の2322LCZメータで行い、測定周波数は100kHzであった。このLCZメータはつないだ試料のインピーダンスの絶対値と位相角を表示し、ここからインピーダンスの実数部、虚数部、アドミタンスの値が計算される。

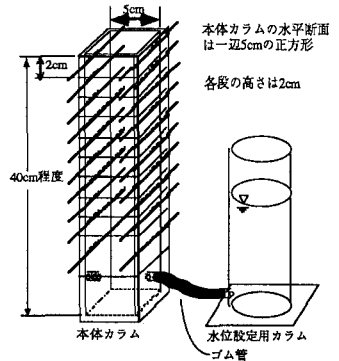


図1 実験装置図

図1のように水位設定用カラムで作った水面から水を毛管上昇させ、カラムの各段でのインピーダンスと含水率を測定した。この実験を毛管実験と呼ぶ。この実験での土の間隙率は0.362であった。

2.2 実験結果

毛管実験の結果、含水率の変化に対してよい反応を示したのは位相角であり、以後、位相角を用いて含水率の推定を行うことにした。図3は毛管実験の結果で、横軸に位相角、縦軸にはカラムを分解して実測した含水率をとってある。図3から含水率が高くなると、位相角が大きくなる(絶対値は小さくなる)ことが分かる。

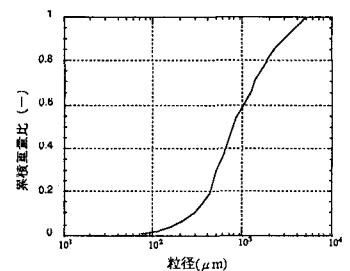


図2 実験に用いた土の粒径分布

3.インピーダンス測定による不飽和水分移動の追跡

3.1 実験方法

ここではインピーダンスの測定によるカラム内の水分移動の追跡を試みた。実験装置は毛管実験と同じものを用いた。実験は乾燥した土にカラムの上部から水を流入させる方法とカラムを全て飽和させ、水抜きから水を流出させる方法の二つの方法で行い、インピーダンスの時間変化を測定した。ここで前者の実験を給水実験、後者を流出実験とする。この二つの実験では、ともに最後にカラムへの水の出入りを止め、水分の

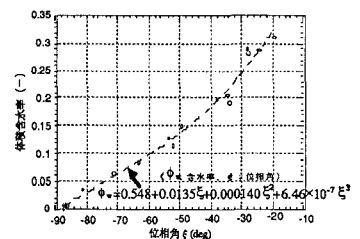


図3 位相角と含水率の関係(毛管実験)

移動がほぼ止まったところでインピーダンスを測定した後にカラムを分解して、各段ごとに含水率を実測した。なお、給水実験、流出実験での土の間隙率はそれぞれ0.361、0.356であった。

3.2 実験結果を用いた不飽和水分移動の追跡

図4は毛管実験から得た式に給水実験における分解時の位相角を代入して含水率を推定し、実測の含水率と比較したものである。この図から実測の含水率と推定した含水率の間に大きな差があり、毛管実験によって得られた式はここでは使えないことが分かる。流出実験についても同様であった。このように、毛管実験の結果が給水、流出実験には使えないため給水、流出の両実験には改めて、両実験の終了時の位相角と実測の含水率を用いて、位相角から含水率への変換式を求めることにした。

図5は給水、流出の両実験における位相角と含水率の関係である。二つの実験結果は同じ曲線上にのっていると判断して、二つの実験結果には同一の式で位相角から含水率を推定することにした。そして、パラメータフィッティングによって図の曲線を求めた。こうして得られた式から給水実験での含水率分布を推定し、その時間変化を表したのが図6である。この図では時間が経過するにつれて、乾いた土に水が浸透していく様子がよく表れている。

4.インピーダンス測定によるカラム内物質移動の追跡

4.1 実験方法

物質移動の追跡としては食塩水の移動を追跡する実験を行った。これを食塩水実験とする。実験に用いた食塩水は1g/lで電導度は1.83mS/cmであった。また、土の間隙率は0.362であった。食塩水実験は水道水のカラムへの流入とカラムからの流出を平衡状態にし、その後、流入水を食塩水に換え、インピーダンスの値が安定したら再び食塩水を水道水に戻すと言う方法をとった。そして、その間のインピーダンスの変化を測定した。

4.2 物質移動の追跡結果

図7は食塩水実験において実験開始165分後に流入水を食塩水に換えた時の位相角の分布の時間変化である。食塩水が入ると位相角が0に近づくので右へ行くほど食塩水の量が多いことになる。時間の経過とともに、線が右へ動いていき食塩水が浸入していく様子が分かる。

5.まとめ

本研究ではインピーダンスの測定によってカラム内の水分及び物質移動の追跡のための実験を行い含水率の変化はインピーダンスの変化に表れ、位相角の値が含水率推定に適していると判断した。そして、位相角の値から含水率を推定する式を得て水分移動の追跡を行い、インピーダンスの測定による水分移動の追跡が可能であることを示した。さらに、定常流れ場での食塩水の浸透はインピーダンスの変化によりおおよそ推定でき、インピーダンスの測定による物質移動追跡の可能性を示した。参考文献 1) 岡本敬一：誘電率探査法(その1)－地下水調査に対する有効性について－,物理探査,第33巻,第4号(1980)

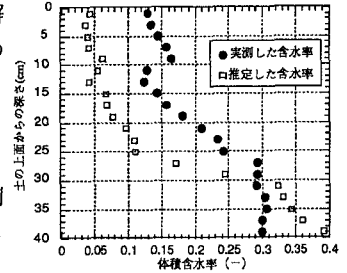


図4 含水率の推定値と実測値の比較(給水実験、87分後)
毛管実験の結果から導いた式を使用

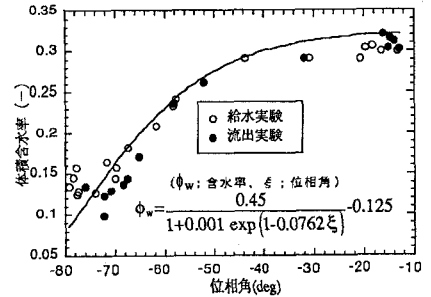


図5 給水、流出両実験データを用いた
位相角と含水率の関係

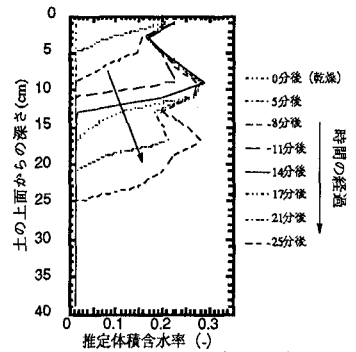
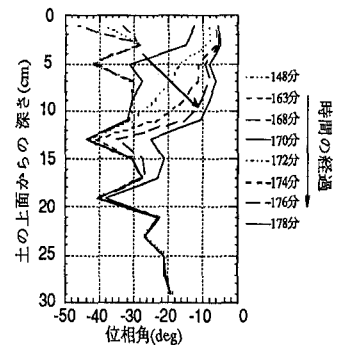


図6 推定含水率の時間変化(給水実験)



148～165分：水道水の流入・流出が平衡
165分～：流入水は食塩水

図7 位相角の時間変化(食塩水実験)