

II-11

インピーダンスの測定による土壌カラム内水分量及び保水形態の推定

京都大学工学部 学生員 酒向 健
京都大学工学部 正 員 米田 稔
京都大学工学部 正 員 井上頼輝

1. はじめに

土壌中の水分量を測定する電気的手法としては、土壌の示す比抵抗から土壌水分の測定を行う比抵抗法や土壌中の水分による誘電率の変化を利用するTDR法などがある。また、岡本¹⁾により誘電率を用いた方法の有効性が示され、新井²⁾によりカラム内土壌の示すインピーダンスと土壌水分量との対応が確認されている。本研究では新井と同様のインピーダンスの測定をより精度を上げ、測定周波数をより広範囲に行う。ところで岡本によればインピーダンスの逆数の実数成分であるコンダクタンスは主として比抵抗で、虚数成分であるサセプタンスを測定周波数で除した値は主として誘電率で決定される。比抵抗は保水形態の違いに大きく影響されるためヒステリシスを示すことが確かめられている³⁾が、岡本によれば誘電率は主として水分量のみ依存する。従って、比抵抗と誘電率を同時に測定することで水分量以外の情報が得られると考えられる。そこで本研究ではインピーダンスからコンダクタンス及びサセプタンスを求め、両者の分離による土壌水分の形態などの性質の把握の可能性について検討する。

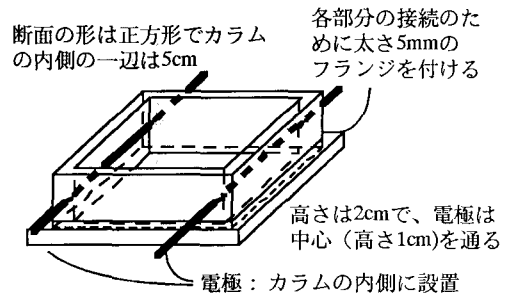


図1 カラムの構造

2. 水分量とコンダクタンス及びサセプタンスの関係を調べる実験

2.1 実験装置及び実験方法

実験に用いたカラムの形状を図1に示す。電極には直径1mmのステンレス線を用い、これらの電極間のインピーダンスをエヌエフ回路設計ブロック社の2322LCZメーターで測定した。試料として導電率 $162\mu\text{S}/\text{cm}$ の水道水を用いた。実験では、乾燥した土壌に試料水を3g滴下し、以後はインピーダンスが安定したところでさらに3gずつ滴下するという方法で水分量を増して行った。測定周波数は、10kHz、20kHz、50kHz、100kHzの4種類である。

2.2 実験結果

図2、図3にコンダクタンス及びサセプタンスの絶対値/周波数と水分量の関係を示す。両図から、コンダクタンス、サセプタンスの絶対値/周波数ともに水分量とともに増大して行く様子がみられる。従って、コンダクタンス、サセプタンスの絶対値/周波数のいずれによっても水分量の測定は可能であると考えられる。

3. 保水形態の違いについての実験

3.1 実験方法

土壌中で保水形態の違いがインピーダンスに与える影響を見るための2種類の実験を行った。図1のカラムを多段に組み、この多段カラム内で毛管上昇させる実験と、一旦多段カラム内を飽和させてから排水を行わせる実験である。前者を毛管実験、後者を排水実験と呼ぶことにする。いずれの実験も水の供給は、多段カラムとは別に設けた水

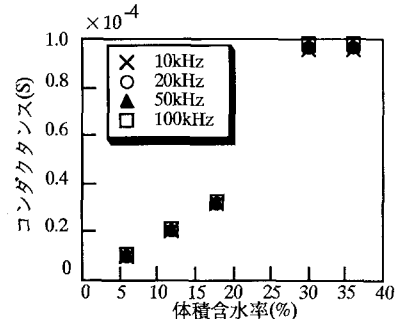


図2 コンダクタンスの体積含水率による変化

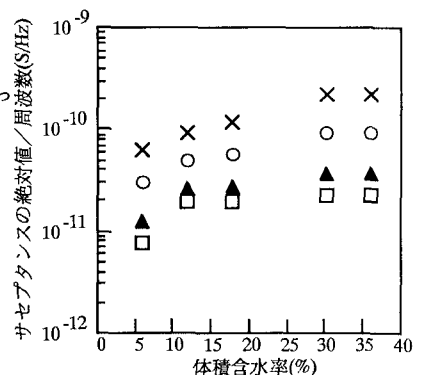


図3 サセプタンスの絶対値/周波数の体積含水率による変化

位設定用カラムから多段カラム下部を通じて行い、10cm 程度の水位を保たせた。インピーダンスの測定が終わったら直ちに多段カラムを分解し、各段毎の含水率を測定した。測定周波数は100Hz, 500Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz, 50kHz, 100kHz の8種類である。測定データの読み出しや測定周波数及び測定するカラム電極の切り替えはコンピュータ制御で行った。

3.2 実験結果

図4に毛管実験、排水実験における多段カラム内での高さ方向の水分分布を示す。また、図5にコンダクタンスと含水率の関係を100kHz の場合の毛管実験、排水実験について同時にプロットしたものを、図6、図7に、サセプタンスの絶対値/周波数と含水率の100Hzと100kHzの場合のそれを示す。図5、図6、図7からはコンダクタンス、サセプタンスの絶対値/周波数のいずれもヒステリシスを示すことが分かる。

コンダクタンスは周波数に関わらずほぼ一定だが、サセプタンスの絶対値/周波数は周波数の変化に伴い異なった様相を呈したので、測定周波数の影響を調べることにした。各測定周波数におけるコンダクタンス及びサセプタンスの絶対値/周波数について、体積含水率20%での毛管、排水両実験の値の比を取りプロットしたものが図8である。コンダクタンスは周波数に関わらず両実験の値の比はほぼ一定であるのに対し、サセプタンスの絶対値/周波数は周波数が高くなるにつれ、比が1に近づいている。このことから、さらに高い周波数で測定を行えば、サセプタンスの絶対値/周波数はヒステリシスを示さなくなると予想される。そうならば、コンダクタンスとサセプタンスの絶対値/周波数の分離により、水分量と保水形態を別々に認識できると期待できる。

4. まとめ

本研究ではカラム内土壌の示すインピーダンスをコンダクタンス、サセプタンスに分離し、水分量の測定と保水形態の把握を試みた。水分量の測定はコンダクタンス、サセプタンスの絶対値/周波数のいずれでも可能であることが

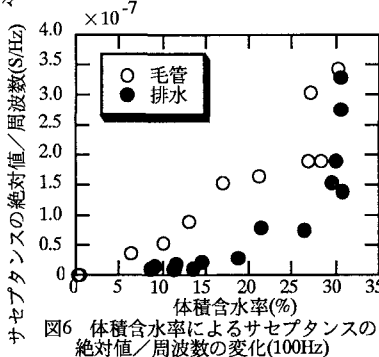


図6 体積含水率によるサセプタンスの絶対値/周波数の変化(100Hz)

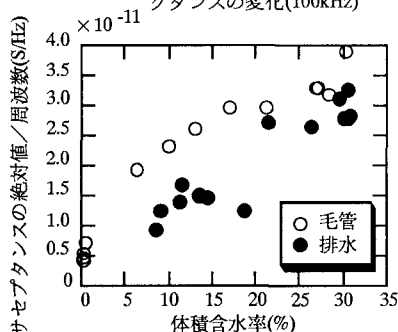


図7 体積含水率によるサセプタンスの絶対値/周波数の変化(100kHz)

分かった。また保水形態の違いについては、本研究で用いた測定周波数の範囲では完全には把握できなかったが、より高い周波数での識別の可能性は示すことができた。

- 1) 新井孝幸:「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」、土木学会年講、II-81, pp262-263 (1993)
- 2) 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)
- 3) 西田一彦・青山千彰:「不飽和土の電気比抵抗特性と不飽和浸透計測への電気探査法の適用」、土木学会論文集、No.475/III-24, pp1-9 (1993)

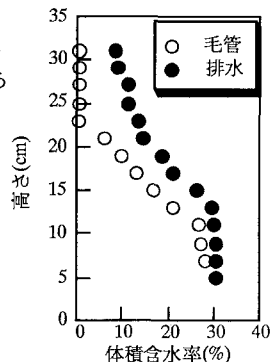


図4 体積含水率の高さ方向の分布

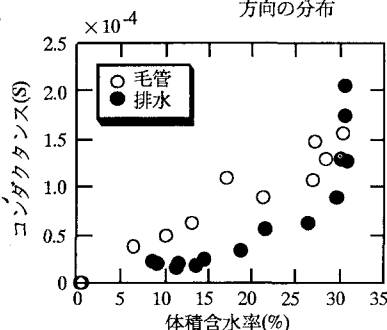


図5 体積含水率によるコンダクタンスの変化(100kHz)

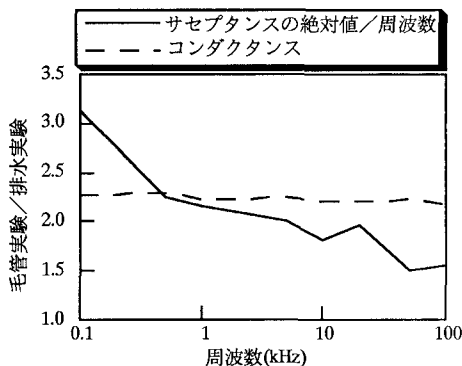


図8 コンダクタンス及びサセプタンスの絶対値/周波数の毛管実験/排水実験の比