

まさ土の毛管上昇に対する観察と電気および質量による測定 Observations and electrical and mass measurements of capillary rise of decomposed granite soil

深田耕太郎

島根大学生物資源科学部

要旨

土壌水分量の電氣的な測定方法の多くは、土壌水分量を誘電率と関係づけるという発想からスタートしている。本研究では、土壌水分量をコンデンサーの極板面積と関係づけて静電容量の変化として取り出すシステムを作った。まさ土が毛管上昇により濡れる過程を電氣的に測定し、質量測定および観察による結果と比較した。3つの結果は大まかには同じ傾向を示したが、電氣的測定の結果は、部分的に、観察による毛管上昇高さとは異なる変化の仕方をした。

キーワード：毛細管現象，平行板コンデンサー，静電容量

Key words: capillarity, parallel-plate capacitor, capacitance

1. はじめに

土壌中における水の移動現象を理解することは土壌物理学分野の中心テーマである。そのための土壌水分センサーは、近年発展し、土壌を調べる道具として身近なものとなっている。TDR (Time Domain Reflectometry) と呼ばれる測定原理が有名である。これは、10~20cmの金属棒に沿って往復する電磁波の速度が、ロッドの周囲の誘電率に依存するという原理を利用している。静電容量式と呼ばれる土壌水分センサーもある。この方法では、センサーを土壌に挿入することで土壌を含む電気回路が作られ、その回路の静電容量を測定する。静電容量を測定する方法には、例えば、充電によってコンデンサーが所定の電圧値に上昇するまでの時間を測るといったものがある。

これらの方法は、測定原理は異なるが、いずれも土壌水分量を誘電率と関係づけるという発想からスタートしている。しかし、土壌水分量を誘電率とは異なる量と関係づけるという発想からスタートする事も可能である。例えば、平行板コンデンサーの静電容量は、誘電率と極板面積と極板間の距離で決まっている。そこで、土壌水分が増えると、極板面積が増え、その結

果として静電容量が増える、といったシステムを考えることができる。水はふつう電気を通すので、土壌水分を誘電体として扱うよりも導体として扱う方が簡単である。つまり濡れた土壌は極板として機能しうる。乾いた土壌が濡れるような現象に対して、このようなアイデアは有用だと思われる。そこで本研究では、毛管上昇を電氣的に測定するシステムを作った。電氣的な測定により得られる結果が、質量の測定や、観察から得られる結果とどのように異なるのかを調べた。

2. 試料と方法

風乾したまさ土を含水比9%に調整し、内径25.6mm、高さ10cmの亚克力円筒容器に充填した。これを75°Cのオーブンに3~4日放置し、乾燥させたのち、乾燥材を入れたデシケータの中で冷まして試験に使用した。試料の底面を水に漬けて毛管上昇させ、その様子を、以下に説明するように、質量の測定、静電容量の測定、および動画撮影により記録した。

毛管上昇によって試料に水が入っていく様子を試料の質量の変化としてとらえるために、亚克力板を組み合わせた補助台を2つ用意した。一つは試料に水を供給するための容器を

載せる台で、これ自身は質量計には載らない。もう一つは、試料の底面を水につけたまま、試料の位置を固定するための台で、これは質量計に載る。質量の値を一秒に一回の頻度でロガーに記録した。

まさ土を充填する前に、アクリル容器の内側壁面に幅 1cm の銅箔テープを、底面からの高さが 1cm の位置から上端まで貼り付けた。

次に、容器の外側壁面に幅 1.5cm のアルミ箔テープを、銅箔テープと同様に、底面から 1~10cm の位置に貼り付けた。テープは 2 枚の極板でコンデンサーを作っている。内部に水が入ると、水と銅箔テープが接触することで、容器内側の極板面積を広げる効果ができる。2 つの極板を CV コンバータ (エヌエフ回路設計ブロック, CV-242M3) につなぎ、これにより静電容量から変換された電圧値をデジタルマルチメータ (エヌエフ回路設計ブロック, DM2571) で測定した。静電容量の値を 0.416 秒間隔でパソコンに記録した。

毛管上昇の様子をビデオカメラで撮影した。実験後に動画を再生しながら、容器に書いた目盛りを画面で見て、毛管上昇の前線が高さ 1cm, 1.5cm, 2cm, ..., 10cm に到達したときの時刻を記録した。実験後に、試料を解体して、含水比と乾燥密度を測定した。

3. 結果と考察

試料の乾燥密度は 1.62~1.76 g/cm³ となった。

一つの試料に対して行った質量測定の結果、静電容量の測定結果、そして、動画から読み取った毛管上昇高さの結果の一例を Fig.1 に示す。3 つの結果はいずれも似たような傾向を示している。すなわち、各量は毛管上昇開始直後に急激に増加し、時間経過とともに徐々にゆっくりとなり、最後は最大値に到達するといった傾向が共通している。ただし、細部において異なる点もある。

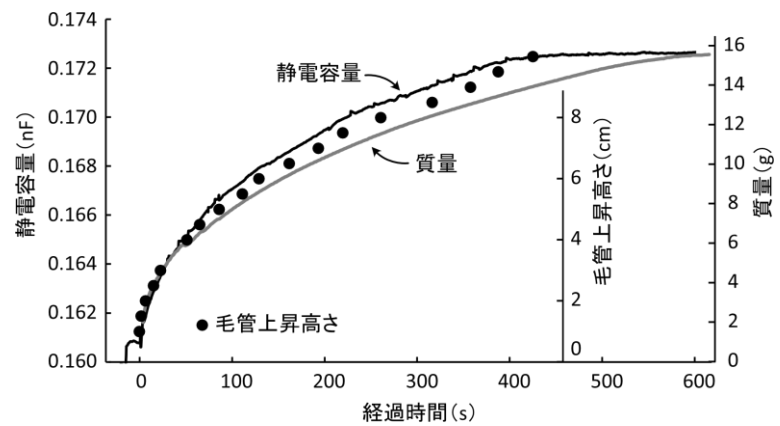


Fig.1 静電容量, 質量, 毛管上昇高さの経時変化

毛管上昇高さは 1s で 1cm, 50s で 4cm, 425s で 10cm まで増加した。静電容量は 0.1608 nF から 0.1726 nF まで増加した。質量は 15.6g 増加した。質量の増加速度は 50 秒を過ぎたあたりから、他の 2 つよりも緩やかとなり、他の 2 つに比べて 200 秒ほど遅く最大値に達した。つまり、毛管上昇の前線が試料上端に達したのちも、質量はしばらく増加し続けた。これは、濡れた範囲の内部で、さらに毛管現象による水の土壌中への侵入が続いたためと考えられる。

毛管上昇高さや静電容量は、質量よりも早く 420 秒あたりで、ほとんど同じタイミングで最大値に達したように見える。ただし、50 秒から 400 秒の範囲では異なる変化の仕方をしている。静電容量の方が 50 秒過ぎの変化率が大きい。そのため、グラフの見た目では、静電容量の曲線は毛管上昇高さの曲線の上側をカーブしている。毛管上昇高さの変化は、濡れの前線の移動を表現しているが、前線より下の範囲でもさらに細部への水の侵入が進行し、極板面積の増加に寄与する可能性がある。これにより、単純に前線の進行から推測される以上の静電容量の増加が起きると考えられる。毛管上昇が上端に近づく後半では、前線の進行がゆっくりとなり、前線より下側で生じていた極板面積の増加が徐々になくなっていくと考えれば、毛管上昇高さや静電容量がほぼ同じタイミングで最大値に達することを説明できるだろう。