

III-437 不飽和浸透計測への電気探査法の適用

関西大学工学部 正員 ○青山千彰
 関西大学工学部 正員 西田一彦
 関西大学大学院 学生員 堀川昌裕
 関西大学大学院 学生員 西 宏之

1. はじめに

地盤内の不飽和浸透を計測する手法は、地盤内ポテンシャル分布をサクシオン計で計測する、斜面に設けた側溝より側方浸透流を計測する等、労力を要する手法に限定され、かつ非常に狭い領域の情報しか得られない。今回報告する、電気探査法は地下水探査に用いられてきた実績を持ち、広域計測ができる利点を持つが、比抵抗から水分量への変換法が難しく、不飽和浸透問題への適用例がない。そこで、室内で比抵抗と水分量との関係について検討した後、野外の実験土層を用いて不飽和浸透問題へ電気探査法の適用上の問題点について検討した。

2. 試料および実験方法

実験土層は、遠く離れた無限遠電極から通電するように、図-1のようなピットを掘り、実験毎にピット内の土を入れ替え使用した。入れ替え土はシルト混じり砂である。初期含水比は約5%に調整し、締固め密度は 1.5gf/cm^3 とした。含水比は計測結果の検定用として、各深度毎に実験前後で測定した。締固めは、図中の電極並びにサクシオン計に圧力が掛からないように静的に締めた。電極(炭素棒)は間隔30cmで8対、サクシオン計も同一深度に8個、ピット底面に間隙水圧計2個とし、底面には礫を敷き詰めた状態で2本のパイプ(給水、排気兼用)を埋設した。各電極は電探装置を通じてコンピュータに連結、サクシオン計はデータロガーに連結した。実験中におけるデータのサンプリング速度は、電気探査で1-8ch(1cycle/40sec)、また、サクシオンの場合1min間隔で1-8ch(1cycle/8sec)である。水位上昇は土層底面に設置した間隙水圧計をモニターしながら給水パイプを用い給水した。ここで、比抵抗値の取扱であるが、通常、トモグラフィ的計測時の見掛けの比抵抗は水平探査のように位置決定することができない。しかし、今回の場合電極間隔も狭く、電流、電位電極間では図のように水平方向にのみ計測したため、その深度での見かけの比抵抗値とした。

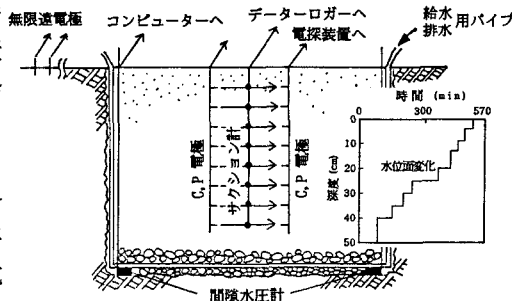


図-1 実験土層の概略図

次に、比抵抗と水分量との関係を求めるため、実験土層と同一密度の供試体で水分特性曲線を求め、比抵抗変化率と体積含水率との関係を求めたのが図-2である。両者の関係は他の土においても類似した傾向を示し、回帰分析すると対数あるいは指数関数を用いた場合、高い相関係数が得られる。しかし、試料が代わるたびに、校正実験することは難しいため、変換式として、飽和時の比抵抗と密度に支配されるArchie式に注目した。図中、実線はArchie式であるが、シルト混じり砂の場合には吸水過程で、実験値にかなりよく一致する。ただし、比較のため併記したまさ土ではかなり差異が生じるように、簡便な手法であるが、精度は期待できない。

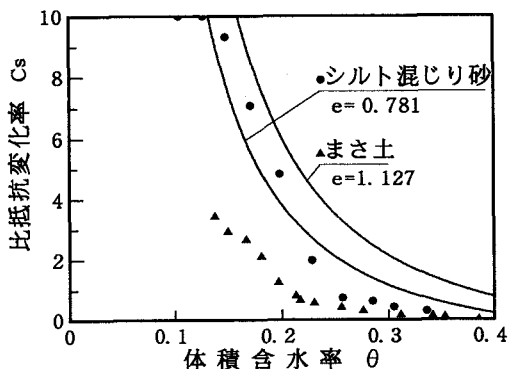


図-2 比抵抗変化率と θ の関係

3. 水位上昇実験の結果と考察

水位上昇実験は図-1のように段階的に水面上昇させる実験で、各段階での水面位置は間隙水圧を基に給水量を調整して一定水深を保った。図-3に見掛け比抵抗 ρ_a の経時変化を深度別に表す。水面が下部から地表に向かうにつれ、 ρ_a は水面位置を反映した低下を示している。いずれの曲線も急激に低下後、漸次減少する傾向を示す。図中、各曲線での水面の通過位置は特定の ρ_a とはならず、急激な ρ_a の低下後、現れるトリガー一点に一致する。このような特異な曲線は他の浸透実験でも観察されるため、特異挙動点と呼称している¹⁾。

サクシヨンの経時変化(図-4)は水面通過にともない急激に低下する曲線を描く。水面からの毛管上昇速度より水位の上昇速度が早かったことがこのように急激な低下曲線を描いた最大の理由であるが、降雨浸透実験¹⁾も類似した結果が得られる。この原因が土質にあるのか吸水過程での計測、あるいはテンションメーターによるものか現段階では明確にできない。しかし、現場での不飽和浸透計測では室内試験あるいは不飽和浸透解析のようになだらかなサクシヨン低下曲線を取らないことが多く、降雨の不飽和浸透機構を検討する必要がある。なお、サクシヨンの曲率変化点と特異挙動点は非常に良く一致し、いずれも水面位置を正確に表現している。

本実験の主目的は ρ_a を体積含水率 θ に変換することにあるが、現場での飽和時の比抵抗 ρ_0 が得にくいいため、一部変形して $\theta = \alpha \cdot \theta_a$ ただし、 $\alpha = \sqrt{\rho_0}$ 、

$$\text{また } \theta_a = \frac{e}{1+e} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho_a}} \text{ である。}$$

なお、本来、この式には真の比抵抗を用いるべきであるが、今回のように、電極間隔が短い場合に限って、Archie式が見掛け比抵抗にも適用できると仮定した。

この θ の相対的な変化率を表す θ_a を算出し、深度軸に対し表したのが図-5である。図は、水面上昇に伴う、水分量の増加過程が明確に表現されている。

一方、図-6は室内試験で得た ρ_0 を基に換算した θ と、現場で実測した水分量との比較である。図より明らかにあまり精度は良くない。この原因が、Archie式を用いたことに起因するのか、今後の検討課題であるが、電気探査法の精度から考え、 θ_a のような相対値で取り扱うのが実用的と考えられる。

1) 青山・西田・堀川：電気探査法を用いた不飽和浸透計測，第26回土質工学研究発表会講演概要集。

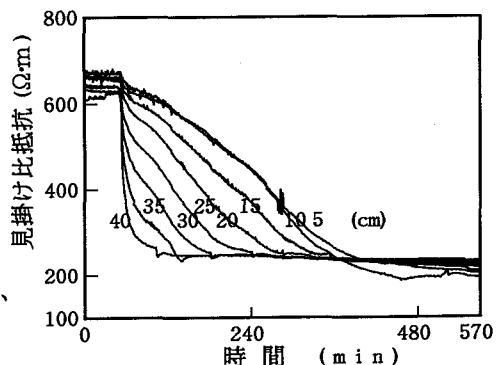


図-3 見掛け比抵抗の経時変化

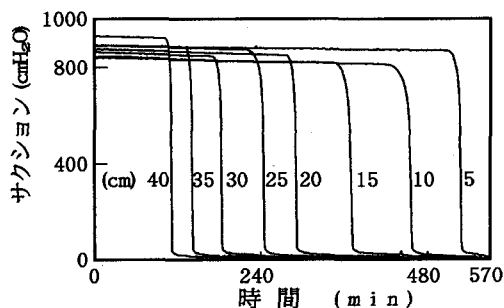


図-4 サクシヨンの経時変化

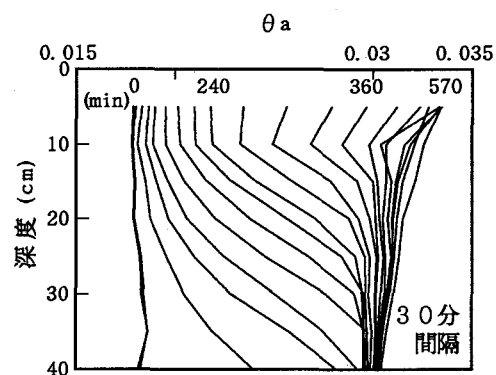


図-5 各深度における ρ_a 変化
体積含水率 θ

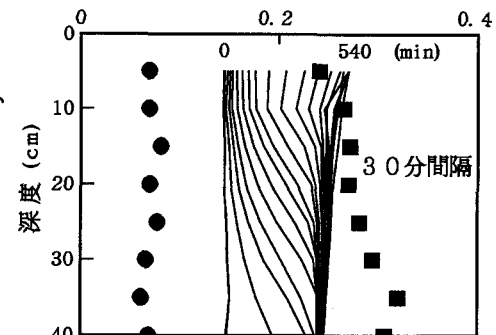


図-6 定量化の問題