

不飽和土の電気特性

関西大学工学部 正会員 西田一彦
 関西大学工学部 正会員 青山千彰
 関西大学大学院 学生員 〇加藤 淳

1. はじめに

不飽和地盤内の浸透状況は、水分特性曲線や不飽和透水係数に関する計測技術と不飽和浸透解析法の日ごまいの発達により、ある程度まで正確に把握できるようになってきた。しかし、一方では、地盤内の全域での浸透状態を測定する方法がないため、実際の地中流出状態を完全に把握することは困難である。

そこで、測定地盤を乱すことなく、広範囲に浸透状態を把握する手法として地下水探査に用いられる電気探査法に注目し、さらに、地盤より採取した不攪乱試料の比抵抗の変化から水分量の変化への定量化を試み、それらの不飽和地盤内への適用の可能性について検討した。以下、その結果を報告する。

2. 実験および計測の方法

電気探査法によって計測した比抵抗と水分の関係を把握するために以下のような現地計測および室内実験を行った。現地計測については、降雨強度が150mm/hrの人工降雨を受ける砂質土地盤($G_s=2.72, e=0.614$)における見掛け比抵抗を測定した。電極の設置は測線沿いに20cm間隔とし、現場での探査にはコンピュータと連動した自動電気探査装置を用い、送受信電極を併用する2極法を採用した。室内実験では、現場近傍のビットより乱さない状態で採取したものと、締固めた標準砂($G_s=2.65, e=1.000$)を準備し、これらの試料の、吸排水過程における比抵抗とサクシヨンの変化を測定した。比抵抗の測定には、日本鉄道施設協会の地質調査標準準方書(12-1-12)を基に、試料側面よりサクシヨンが測定でき、吸排水が容易となるように電極に74 μ mの銅網を用いるように改良した測定装置を用いた。サクシヨンの測定には防水加工したヒズミゲージ型圧力センサー(1kgf/cm²、感度5mm水頭)にAEV=0.8 kgf/cm²の素焼円筒を取り付けたものを使用した。現地計測および室内実験での比抵抗の変化は、室内実験で得られた比抵抗値 ρ_s はそのまま用いるが、野外での探査による値は、見掛け比抵抗 ρ_a から佐々木¹⁾の2次元インバージョンにより求めた比抵抗 ρ を用いた。また、 ρ_s 、 ρ の両者の比較が難しいので、サクシヨンの値が最小(ほぼ"ゼロ")となる地点での比抵抗 ρ_{i0} と任意での比抵抗 ρ_i より比抵抗変化率 c_i を求めた。

$$c_i = (\rho_i - \rho_{i0}) / \rho_{i0} \quad i=s, a \quad (1)$$

3. 室内実験結果の現場計測への適用

同一の密度に締固めた複数の標準砂($G_s=2.65, e=1.000$)の吸水過程における比抵抗の変化を図-1に表した。一般的に水分量の増加にともない比抵抗は減少するとされているが、このグラフからもそのような現象がみられる。また、実験結果の再現性も高い。これらの結果から、本研究で用いた改良型比抵抗測定装置が一連の測定において十分な性能を持つことがわかる。現地測定を行った場所より釘打ち込み法で採取した不攪乱試料の吸排水過程での水分特性曲線を図-2に、吸水過程での比抵抗の変化を図-3(プロット)に示す。室内実験における比抵抗と水分量の関係を示す実験式としてArchieの式が有名である。 $\rho / \rho_0 = S_r^{-n} \quad (2)$ ここで $\rho_0 = \rho_{i0}$ と仮定すると、比抵抗変化率 C_s と体積含水率 θ との関係は、(1)、(2)より以下のような式で表される。

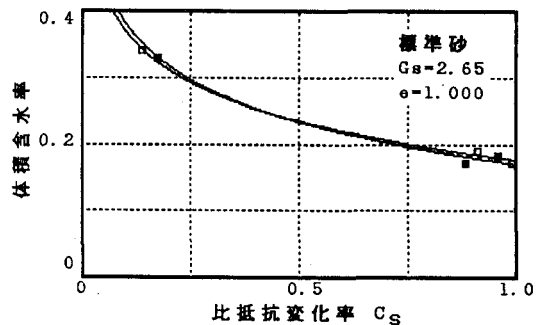


図-1 吸水過程における標準砂の $C_s - \theta$ 関係

Kazuhiko NISHIDA, Chiaki AOYAMA, Jun KATO

$$C_s = \{ \theta (1+e) / e \}^{-2} - 1 \quad (3)$$

式を図-3に示された砂質土試料の比抵抗変化に適用した結果を図-3に重ねる。(3)式は、 C_s と θ の関係が間隙比 e によって一義的に表すことができるということを示しているが、試料の種類などの因子を考慮していないせいか実験結果を十分に表現しないこともある。。そこで C_s と θ の関係を実験の結果を生かしながら定式化するために、指数、対数、双曲線等で回帰したところ、次式のような対数式によって、実験結果を最もよく表現できた。

$$\theta = a + b \cdot \log (C_s) \quad a, b \text{ は実験定数}$$

-(4) この関係はまさ土、粘性土においても十分に適用可能であった。したがって、室内実験においての $C_s-\theta$ 関係を表現する方法としては対数による回帰が有効であるといえる。

(4)式の現地計測への適用を以下に検討した。

図-4に降雨強度150mm/hr人工降雨を約5時間にわたって降らせた砂質土地盤の地面に対し垂直方向の比抵抗変化率 C を示す。時間経緯に伴い水分が地盤に浸透するにつれて、比抵抗が低下していく様子が明確に表現されている。ここで比抵抗の変化を表す比抵抗変化率 C を(3),(4)式によって体積含水率 θ に変換し、水分の深度変化として表したものが図-5である。変換の方法の違いがそのまま θ の値に反映している。また、比較のために、測線付近で、併せて比抵抗値に影響のでない2カ所を選び、降雨前の深度方向の含水比を実測した。若干のパラッキが見られるものの対数回帰式による θ の初期値に、近似した値を示す。以上のような結果と水分特性曲線において θ の取りうる範囲より判断して、現地計測から得た比抵抗変化について、室内実験から得た対数回帰式の適用が十分に可能であるといえる。

以上、室内実験から得られた $C_s-\theta$ 関係を現地計測によって得た C に適用して、不飽和地盤内の浸透状況を比較的簡便に把握する可能性を示した。

参考文献 1) 佐々木裕：比抵抗垂直探査における2次元構造の自動解析 (I)，物理探査，Vol. 34，

No. 5，pp. 15-24, 1981

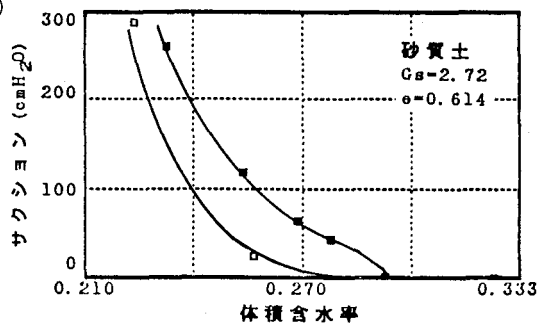


図-2 現場採取試料の水分特性曲線

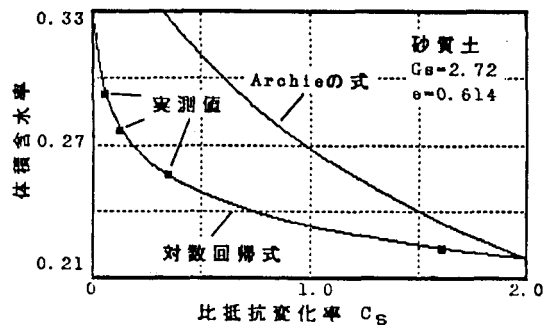


図-3 現場採取試料の $C_s-\theta$ 関係

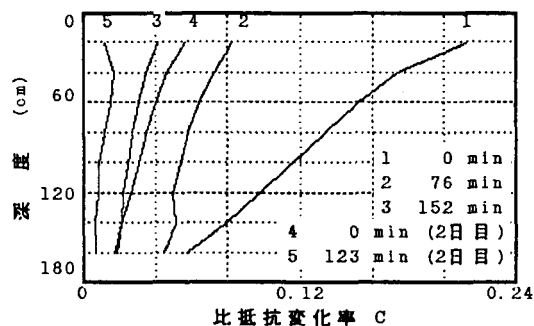


図-4 比抵抗変化率 C の深度分布

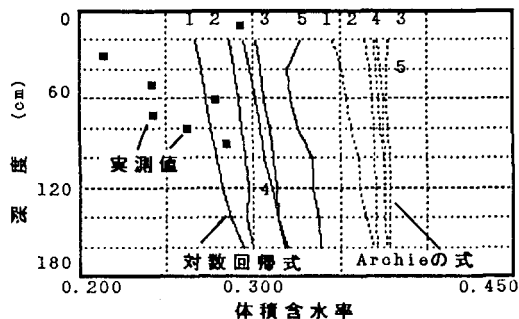


図-5 砂質地盤における C から θ への変換