

Ⅲ-A288

原位置でのサクション計測による不飽和透水試験方法の検討

東洋大学大学院 学生員 谷中 仁志
東洋大学工学部 正会員 石田 哲朗

1 まえがき

原位置における不飽和浸透特性の測定方法については、現状ではそれほど多くの研究がなされておらず、試験方法も確立されていない。また、提案されている数種類の試験方法についてもその適用範囲や計測機器の測定精度などの問題を残しており、その重要性が挙げられる割りに試験方法に関する立ち遅れが目立つ。そこで本報では、原位置での飽和透水試験方法としてE-19法を行い、試験終了後のほぼ飽和状態にある試験孔付近にテンシオメータを埋設し、再度飽和状態に戻した後の排水過程における圧力水頭の経時変化を計測することで不飽和透水係数を算出する方法を行い、van Genuchten の不飽和浸透特性モデルとの比較から、試験結果の妥当性について検討を行ってみた。

2 飽和透水試験方法

原位置での飽和透水係数を測定する方法として、本報ではまず図1に示すような、施工中の盛土の品質管理に頻繁に利用されているE-19法¹⁾試験装置を用いて自然地盤への適用を試みた。試験場所は埼玉県川越市にある東洋大学工学部グラウンドである。表1に採取した試料の物理試験結果を示す。このような地盤に対し、初期注水に要する時間や試験孔の形状を変化させ試験を行った。表2の結果から、試験孔深さが増すにつれ、小さめの透水係数が得られる傾向にあるものの、いずれの条件でも 10^{-3} オーダーの値を示すことがわかる。室内において同じ密度、含水状態になるよう締固め、定水位透水試験を行ったところ、 $4.364 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ の値が得られ、E-19法の平均値 $3.886 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ と比べると比較的近い値が得られたことがわかる。

3 不飽和透水係数の測定方法

従来の試験方法では、上述した方法を行うと飽和状態の透水係数しか得られない。そこで、本報ではE-19法の試験孔付近に図2と図3に示す2パターンで予めテンシオメータを埋設しておき、試験終了後の排水過程でのサクションの経時変化を計測した。テンシオメータは、受感部は $\phi 34 \times L120 \text{ mm}$ のもので、 1 kgf/cm^2 までの計測が可能である。これを、地表面付近に埋設するパターン①（地表面～G.L.-40cm）と、試験孔底面以下に埋設するパターン②（G.L.-50cm～G.L.-80cm）のいずれのケースも深さ方向に約10cm間隔で4ヶ所埋設した。その際、埋設孔はテンシオメータとほぼ同じ直径であるハンドオーガを用いて削削し、埋設時に生じる空隙部分には、難透水性の油性粘土をほぐし

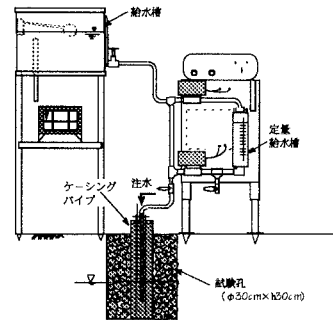


図1 E-19法試験装置

表1 物理試験結果

ps(g/cm ³)	2.652
w _n (%)	95.0
砂分(%)	46.0
シルト分(%)	24.0
粘土(%)	30.0
Ip	10.9
分類名	火山灰質粘性土
Li(%)	20.408

表2 E-19法試験結果

測定No.	初期注水時間 t (hr)	孔内半径 r ₀ (cm)	試験孔深さ Z (cm)	孔内水深 h (cm)	透水係数 k _s (cm/s)
1回目	7.0	15.0	40.0	8.0	3.196×10^{-3}
2回目	10.0	8.0	30.0	16.0	7.244×10^{-3}
3回目	21.0	9.0	45.0	20.0	2.765×10^{-3}
4回目	22.0	9.0	30.0	12.0	5.118×10^{-3}
5回目	43.0	20.0	50.0	5.0	1.117×10^{-3}

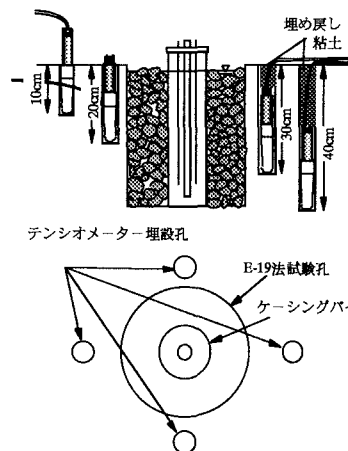


図2 テンシオメータの埋設位置①

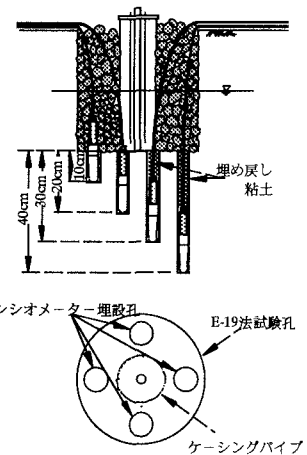


図3 テンシオメータの埋設位置②

Key Words : 原位置試験、不飽和浸透特性、サクション計測、比透水係数

〒350-8585 埼玉県川越市鯉井2100 東洋大学工学部環境建設学科 Telephone/Telefax : 0492-39-1409

て埋め戻してある。試験直後にパターン①の場合には地表面から2ヶ所目までの埋設位置で飽和ではないため、ケーシングパイプからホースを取り外し、礫の上から水量を十分に調節して再度注水を行い飽和状態を確認して計測を行っている。このようにして、飽和状態から排水過程における圧力水頭の経時変化を約半日程度計測した結果を図4と図5に示す。いずれも、サクシオン-1からサクシオン-4の順で計測位置が深くなることを示す。

結果から、計測を開始してすぐ、すなわち注水終了直後に圧力水頭が急激に減少している。地表面から深くなるに伴いサクシオンが小さくなっていることがわかる。

4 結果および考察

圧力水頭の計測結果と、原位置から採取した不攪乱試料を用いたときの既報²⁾に示すpF試験結果と相関させて水分量を推定し、不飽和透水係数を算出した。それらの値と乾燥密度が 0.55g/cm^3 、 0.61g/cm^3 の不攪乱試料および室内で締固めた試料でのpF値とvan Genuchtenの不飽和浸透特性モデル（以下、VGモデルと記す）の同定結果について整理したものを図6と図7に示す。ここで、飽和透水係数にはE-19法の値を代表して $k_s=2.755 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ を用いた。原位置で得られた不飽和透水係数の値について、2種類の埋設パターンのいずれの場合にも、VG

モデルから得られたMualemの曲線と比較的近似している。特に、乾燥密度 0.55g/cm^3 の場合には、地表面付近での計測であるパターン①の値と同定結果が一致している。これは、地表面から30cm程度までの平均乾燥密度が 0.55g/cm^3 であり、ほぼ同じ密度状態にあったためだと思われる。両者を比較した場合、パターン①での値がパターン②に比べ、同じ体積含水率で大きな値を示している。これは、計測位置が深くなることで地盤中の間隙の割合が減少し、透水性が幾分低下したためだと考えられる。

次に、室内で締固めた試料を用いた結果と比較すると、実測値、同定結果ともに大きく異なっている。水分特性曲線の比較から、同じ圧力状態を受けた場合に、不攪乱試料の水分量が小さくなる傾向にある。また、透水係数についても、締固めた試料を用いた値に比べ、不攪乱試料での透水係数が大きくなる傾向にある。これらは、試料の間隙状態が異なっていることに起因しているためだと考えられる。

5 あとがき

今回、E-19法終了後に行ったサクシオン計測による試験方法が原位置での不飽和浸透特性の計測手法として有効な方法であることを確認した。しかしながら、やはり地表面から1m程度までの計測手法であり、今後は工学的な課題に対処できる、より深部での試験方法について検討する必要があると思われる。最後に、本報のデータは卒業研究として実験を担当してくれた東洋大学の芝原直輝、桜井龍樹両君に負う処が多い。彼等の熱意に対し、心から感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 地盤工学会編：「土質調査法」、地盤工学会、pp.305-311、1983
- 2) 谷中仁志ほか：室内試験による不飽和浸透特性の検討、土木学会第53回年次学術講演概要集、Ⅲ-A327、pp.650-651、1998

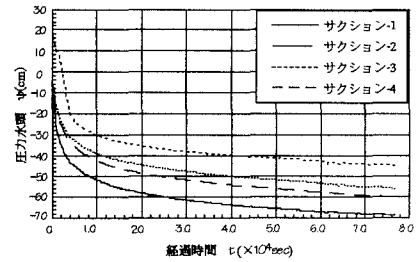


図4 圧力水頭の経時変化（パターン①）

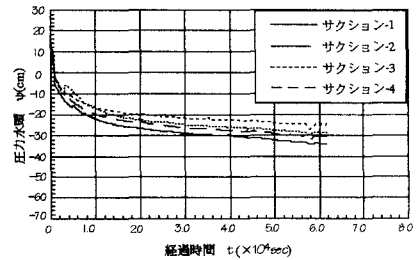


図5 圧力水頭の経時変化（パターン②）

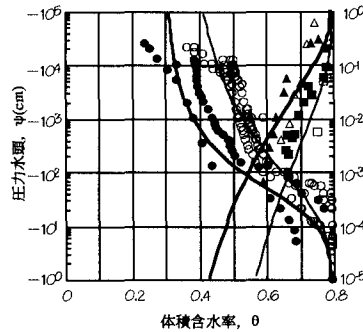


図6 不飽和浸透特性
（関東ローム： $\rho_d=0.55\text{g/cm}^3$ ）

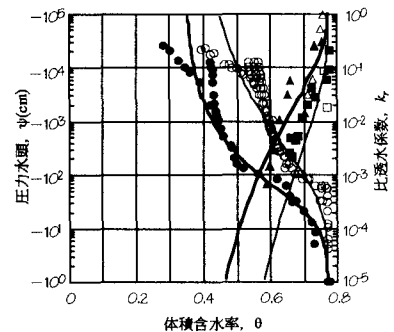


図7 不飽和浸透特性
（関東ローム： $\rho_d=0.61\text{g/cm}^3$ ）

凡例

不攪乱試料	VGモデルの同定結果
● pF値	
○ 締固めた試料	VGモデルの同定結果
▲ 原位置試験結果 (地表面下4.0mまで)	○ pF値
■ 原位置試験結果 (地表面下8.0mまで)	
△ 定常法	
□ 非常定常法	