

Ⅲ - A238

粘性土の不飽和浸透特性の計測法に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
岡山大学大学院 学生会員 小松 満
東急建設 非会員 片山一洋

1. はじめに

飽和-不飽和浸透流解析において、より現実問題を取り扱う場合、粘性土を対象とした浸透特性を求めることが重要である。しかし、粘性土試料の浸透に関する物理特性を室内試験において計測する際、浸透による試料の変形やヒステリシスの取り扱い等、種々の問題点が生ずる。特に、不飽和領域においては間隙の変化により保水のメカニズムが大きく異なり、また、実際の現象で工学的に問題となるのは浸潤側の浸透が多い。したがって、粘性土試料に対して、浸透による変形を考慮するためには、サクションを体積含水率のみならず、間隙比の関数として規定しなければならない。つまり、図-1に示すように水分特性曲線を間隙比を含めた3要素の関係として評価する必要がある。そこで、本報では、膨潤性粘土を対象とした不飽和浸透特性のうち、従来、測定困難とされてきた浸潤過程の水分特性曲線に注目し、その計測手法及び推定法を提案する。

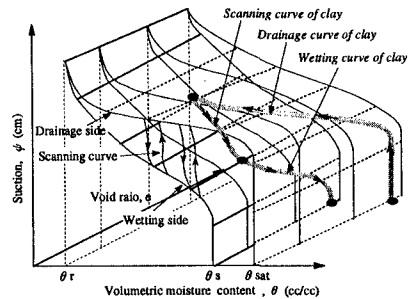


図-1 変形・ヒステリシス考慮の水分特性曲線の概略図

2. 鉛直一次元浸潤実験

自由水面上に肉厚5mm、内径5cm、高さ3cmの亚克力製カラムを高さ約2.5mまで積み上げ、絶乾状態のベントナイト・砂混合土（ベントナイト配合率15%：重量比，比重2.66）を乾燥密度が約1.75g/cm³になるように充填し、浸潤させた。図-2に24ヶ月（370日）経過後の体積含水率-高さ-間隙比の分布を示す。高さ約20cmあたりまで浸潤が進んでいる。また、特に乾燥側で間隙比が小さくなっており、下部の膨張によりこの部分が圧縮されたものと思われる。次に、図-2の間隙比を固定した断面に対して、Boltzmann transform methods¹⁾を用いて水分拡散係数の算定を行った。図-3に得られた水分拡散係数-体積含水率-間隙比の関係を示す。水分拡散係数の値は、体積含水率に依存して変化し、ある点で最小値をもつ谷型の分布を示している。また、体積含水率のみならず、間隙比にも依存しており、間隙比の値が小さくなるにつれてわずかに増加している。

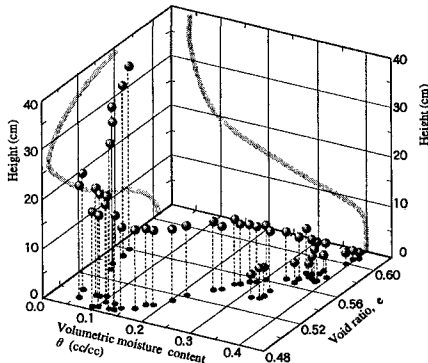


図-2 水分分布曲線（ θ - e - z 関係）

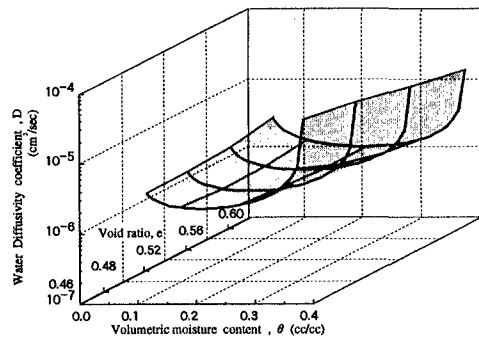


図-3 水分拡散係数の算定結果（ D - θ - e 関係）

keyword: 不飽和浸透，膨潤性粘土，変形，ヒステリシス，ベントナイト

連絡先：〒700 岡山市津島中2-1-1 TEL 086-251-8167 FAX 086-253-2993

3. 改良型加圧板法pF試験

図-4に従来の加圧板法を改良した装置の概略図を示す。上皿電子天秤上に排水口と直結したオーバーフロータンクを設け、系全体の重量の経時変化から排水量を求める。また、試料の鉛直一次元収縮・膨潤量を非接触式レーザー変位計（測定範囲45mm～55mm、読み取り精度0.001mm）を用いて測定し、試料の体積変化を求める。尚、多孔質板には厚さ4mm、空気浸入圧値2.6kgf/cm²のセラミックディスクを用いた。試料は鉛直一次元浸潤実験と同様のものを用い、初期乾燥密度が約1.40g/cm³となるように水中脱気及び圧密を行い、飽和試料を作成した。図-5に、サクシオン体積含水率-間隙比の3要素の関係を示す。間隙比の変化が排水側で0.9→0.6、浸潤側で0.6→1.0まで連続的に変化している。得られた結果が少ないため、試験法の妥当性等の検討は難しいが、遠心法では測定が困難である低pF値の測定が、今回提案した試験法により測定可能であり、排水側に対しては2つのpF試験法の併用が有効であると言える。また一方で、この方法は従来まで測定が非常に困難であった浸潤側の水分特性曲線を間隙比の変化と併せて測定可能であることがわかる。

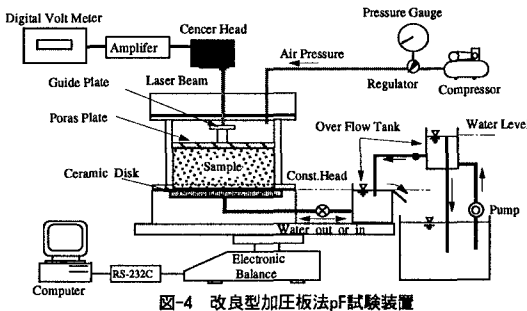


図-4 改良型加圧板法pF試験装置

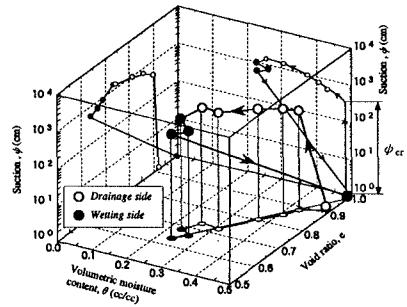


図-5 改良型加圧板法pF試験結果

4. 浸潤過程の水分特性曲線の評価法

透水係数にヒステリシスが存在しない²⁾と仮定すると、鉛直一次元浸潤実験から得られた水分拡散係数と排水側の不飽和透水係数を用いて、式(1)により比水分容量が求まる。ここで、比水分容量は水分特性曲線の勾配を表す関数であるため、浸潤過程の水分特性曲線が推定できる。

$$D(\theta, e) = k(\theta, e) / C(\theta, e) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $D(\theta, e)$ ：浸潤側の水分拡散係数(cm²/sec)，
 $k(\theta, e)$ ：排水側の不飽和透水係数(cm/sec)， $C(\theta, e) = d\theta / d\psi$ ：比水分容量(cm⁻¹)。そこで、実際に文献³⁾の排水側の水分特性曲線から推定した不飽和透水係数を用いて式(1)により算定した結果と加圧板pF試験結果の比較図を図-7に示す。 $\theta = 0.25$ 付近の3点の測定値は走査曲線上にあり、飽和側の1点は推定した面の上に乗っているものと推測される。

5. おわりに

粘性土の浸潤側の水分特性曲線を鉛直一次元浸潤実験結果からの推定法と改良型加圧板法pF試験により測定する方法を提案した。浸透流解析にこれを適用するには、間隙比を固定した断面に対して水分特性曲線を表現する関数モデルによって定式化を行うことで表現できる。そして、最終的には、間隙比及び体積含水率が既知である試料や実地盤に対して、粘性土の浸透特性をより正確に把握することが可能である。

【参考文献】

- 1) A.Klute : The Determination of the Hydraulic Conductivity and Diffusivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc., Vol.113, No.4, pp.264-276, 1972.
- 2) G.Vachaud, J.L.Thony : Hysteresis during Infiltration and Redistribution in a Soil Column at Different Water Contents, Water Reso. Res., Vol.7, No.1, pp.111-127, 1971.
- 3) 西垣他：粘性土の浸透特性に関する研究, 第46回土木学会中国四国学術講演会, Ⅲ-58, pp.452-453, 1994.

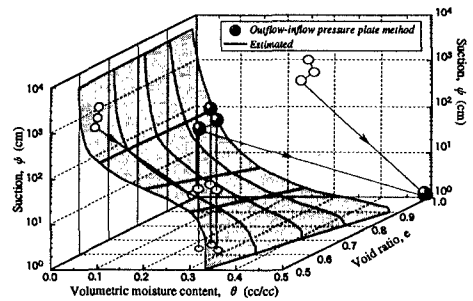


図-6 浸潤過程のpF曲線（推定曲線・pF試験結果）