

III-190 不飽和透水試験法の一提案

電力中央研究所 正会員 中川加明一郎

住商コンピュータサービス

黒金信博

1. まえがき

地盤内の浸透流問題のうち、特に自由水面の出現する場合の解析には、飽和・不飽和浸透流の概念がよく適用される。ただし、解析に際して、入力物性値のうち、不飽和浸透流特性に関して実際に試験より決定されたものを採用している例は少ない。実測データの蓄積が望まれるところである。以上のことを鑑み、本報告は、不飽和浸透流特性のうち、特に、不飽和透水係数を求める方法の一つについて述べるものである。

2. 試験方法の概要

これまでの不飽和透水係数を求める方法としては、加圧型透水試験法[1]あるいは土柱内の水分移動を計測する方法が主なものである。前者は、供試体内のサクシオンを一定に保持した状態で定常流れを出現させ、直接透水係数を求めようとするものであるが、流れが定常状態になるまでに長時間を要するなど必ずしも簡便ではないところがある。一方、後者は、水を浸潤させるか、あるいは、排水することにより生じる、土柱内の非定常な水分移動を計測し、この結果より解析的に求めようとするものである。水分量の計測法としては、γ線密度計や中性子水分計によるもの[2, 3]、あるいは、直接土柱を切り取って測定する方法[4]がある。いずれにしても、土柱の長さとして50cm~100cm程度の試料を必要とするので、未攪乱試料を用意することは容易でなく、また、試験装置が大型化することは避けられない。今回提案する方法では、供試体の大きさを直径50mm、高さ100mmとすることで未攪乱試料を比較的容易に得やすくし、また、非定常の試験とすることで、所要時間を短縮しようとするものである。

試験装置としては、不飽和材料用の三軸試験装置を使用した(装置の概略を図1に示す)。

試験は次のように行う。まず三軸室内にセットした供試体の上端より back air pressure を負荷する。なお、拘束圧を back air pressure より少し大きくしておくことで、資料を自立させておく。つぎに下端のセラミックディスクを通じて吸水または排水させる。そして、このときの吸(排)水量および体積変化量の経時変化を計測する。なお、適宜吸(排)水経路のバルブを閉めることにより、供試体の飽和度に対応したサクシオンを計測する。

このようにして不飽和の供試体に関して得られた吸(排)水量・体積変化量、下端の水圧変化の計測結果および飽和度・サクシオン関係より、不飽和透水係数を推定しようとするのがここで提案する試験法である。

3. 不飽和透水係数の推定法

今回行なった不飽和透水係数の推定法の概略を表わすと以下ようになる。

供試体内の水の流れを鉛直方向の一次元流とみなすと、この流れの基本式は次式のようにになる。

$$\frac{\partial(n \cdot S_r)}{\partial h} \cdot h - \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

ただし、 z : 鉛直方向の座標、 h : 全水頭、 k : 透水係数、 n : 間隙率、 S_r : 飽和度である。なお、 $(\cdot)$

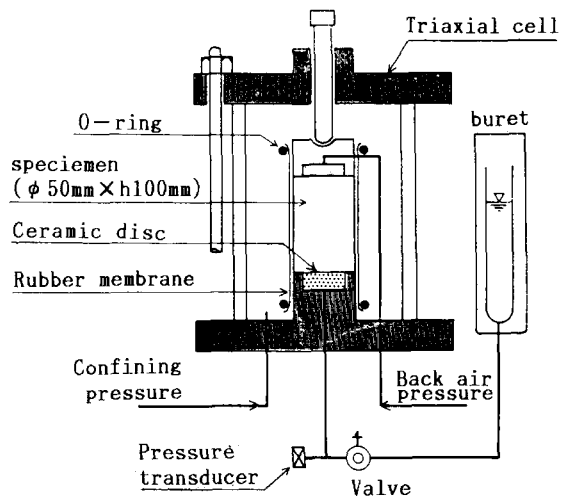


Fig.1 Triaxial apparatus

は時間に関する微分を表わす。この基本式に、一次元有限要素法を適用し、また、供試体を1つの要素とみなすことにより、得られた試験データをもとに、不飽和透水係数を逆算できる。

供試体内の流れに関する近似式は次式のようになる。

$$k \cdot \frac{h_1 - h_2}{L} + \frac{L}{6} \cdot \frac{\partial(n \cdot Sr)}{\partial h} \cdot \frac{1}{\Delta t} (2 \Delta h_1 + \Delta h_2) = v_1 \quad (2)$$

$$-k \cdot \frac{h_1 - h_2}{L} + \frac{L}{6} \cdot \frac{\partial(n \cdot Sr)}{\partial h} \cdot \frac{1}{\Delta t} (\Delta h_1 + 2 \Delta h_2) = v_2 \quad (3)$$

ただし、 h_1 、 h_2 は供試体の下端および上端の全水頭、 L は供試体の長さ、 v_1 、 v_2 は供試体の下端および上端における単位断面積当りの水の流入量、 t は時間、 Δ は増分を表わす。試験結果をもとに式(2)、(3)を解くことにより、不飽和透水係数 k を求めることができる。

4. 試験結果

豊浦標準砂を供試体(初期間隙比 $e_0=0.784$)として行なった実験結果として、飽和度とサクシヨンの関係を図2に示す。また、上記の推定法より得られた飽和度と不飽和透水係数を図3に示す。試験結果の精度等について今後検討する必要があると思われるが、不飽和透水係数を比較的簡便に求める方法であると考えられる。特に、今回の試験法は、原理的には供試体内のサクシヨンの大きさに制限はなく、したがって、水分移動計測による方法では困難であった[3]、サクシヨンが $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上となるような試料の場合にも非定常試験法として適用可能として十分有効な方法であると考えられる。今後これらの試料についても適用を図りたいと考えている。

なお、実験結果の整理および計算には建設企画コンサルタントの鈴木淳一氏および住商コンピュータサービスの山崎淳一氏にご協力いただいた。感謝する次第です。

5. 参考文献

- [1] 土壌物理性測定法, 養賢堂, 1982, pp. 191-197
- [2] 河野, 西垣: 不飽和砂質土の浸透特性に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第307号, 1981, pp. 59-69
- [3] 西垣, 他: 瞬時水分計測法の適用限界と泥岩の保水特性について, 第16回土質工学研究発表会, 1982, pp. 2385-2388
- [4] 河西, 他: 不飽和土中の水分移動特性に関する実験的考察, 第30回水理講演会論文集, 1986, pp. 385-390

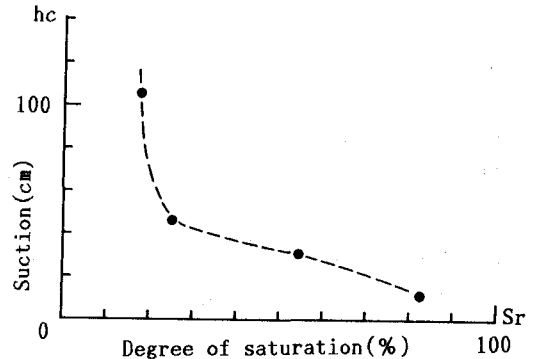


Fig.2 Soil Moisture Characteristics

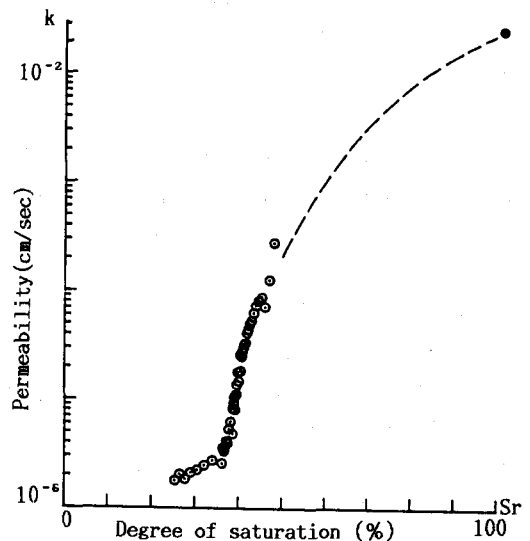


Fig.3 Unsaturated Permeability