

不飽和透水試験法に関する2,3の考察

岐阜大学工学部 正会員○宇野尚雄

” 佐藤 健

” 杉井俊夫

岐阜大学大学院 学生員 柘植浩史

1. まえがき

不飽和土の透水係数を求めるには、飽和土の透水試験と較べて、①土試料を不飽和状態に保ち、その飽和度または含水比を計測すること、②試料内に不飽和透水の状態を実現するために、与えるべき水頭は土の不飽和状態に呼応したサクションである必要があり、したがって試料端には不通気・透水性のフィルターをあてがう必要があること、③少量の透水量を精度よく測ること、などが特別に留意しなければならない点である。

不飽和透水係数は、不飽和土の浸透・排水の研究経過から種々議論されてきたために、非定常過程で調べられることが多く、拡散係数から推論されることも多かった。これは浸透・排水に伴う含水状態が時間的にも場所的にも漸変する場合には正しい結果が得られるが、急変する場合のTaylorの毛管透水試験では飽和透水係数が支配的になるため不飽和透水係数が測られていないという欠陥を示し易く、注意深い考察を必要とする。このため瞬時水分計測法(Instantaneous profile method)などが非定常法として工夫されているけれども、装置が高価になり易く、普及的な実験手法の開発が期されている。定常法としては、

(1)原理的方法(飽和度直接計測法:輪切り透水管を使用する土柱法など)

(2)電気的方法(飽和度間接計測法:誘電率や密度計測から飽和度を間接的に推定する方法)

(3)間隙空気圧負荷による飽和度制御法(加圧型透水試験機などがこれに属する方法)。

が考えられ、本文では普及型装置として有望な加圧型透水試験による方法について考察する。

2. 加圧型不飽和透水試験機による方法

装置は図-1に示すごとく、直径60mm、高さ40mmの土試料を充填するリングの側壁に小孔(約2mm)を穿孔し、土試料の上下面にはフィルターを埋め込んだ上蓋と底板を通じて水頭を与えて、透水させる。セル内に加える空気圧 U_a により、土試料内の間隙水圧 U_w とで発生するサクション $S = U_a - U_w$ に平衡する不飽和状態(飽和度 S_r)ができる装置である。不飽和透水では透水量が少量であるため、本研究では太管と細管を組み合わせた2対のパイプを立てた給排水装置を補助装置として併用している。以下に述べる検討は豊浦標準砂を用いて、不飽和透水試験法としての具体的な2,3の事項に対する実験に基づいている。

(1)フィルターの選択

土試料の上下に配する、このフィルターの役割は不飽和土のサクションの計測のため必要であるが、これを通した透気を生ぜしめないと同時に、十分な透水性を備えている必要がある。フィルターの透水係数 k_f が土の透水係数 k に較べて、十分大であればフィルター部での水頭損失が無視できるが、一般に誤差を免れない。土試料高 L 、フィルター厚(上下とも) d 、上下水頭差 H 、断面積 A 、透水量 Q とすると

$$k = \frac{QL}{AH} \left(1 + \frac{k}{k_f} \cdot \frac{2d}{L} \right) \quad (1) \quad \text{or} \quad k = \frac{QL}{AH} / \left[1 - \frac{Q}{A} \cdot \frac{2d}{H} \cdot \frac{1}{k_f} \right] \quad (2)$$

であるから、フィルター部の補正が必須要件となるうえに、不透気条件を満たすために k_f を過小に設定すると、式(2)の分母が計測精度の影響を受けるため、 k の精度が著しく悪化する。標準砂(飽和時の $k_{sat} = 2.01 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$)に対しては、 k_f は少なくとも約 $2 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 以上のものであることが必要であった。次に、土試料の飽和度を低くしたとき、フィルターの厚さ(6mm)の中でその透水係数が低下することが懸念されたが、検定試験の結果ではその低下は殆んど認められなかった。

(2)試料内の飽和度分布

リングの小孔から空気が不飽和試料に負荷されるため、試料内の円周方向に飽和度のバラツキが懸念される。また上下のフィルターを通じて負荷するサクシオンは差を与えて透水を惹起させるため、必然的に上下方向に飽和度の差が生ずる懸念がある。これらに対する検討結果はその懸念はわずかであって、大きな問題ではないことが判明した。しかし、後者の点は、不飽和透水試験として与えるべき動水勾配をいかに設定すべきかという問題提起と関連するので次項で再に議論する。

(3) 負荷すべき動水勾配の選択

飽和土の透水試験では、通常乱流を防ぎ層流状態での試験とするため、“土質試験法(土質工学会)”では動水勾配は0.2~0.4まで、0.3を越えないようにすることが推奨されている。しかし、透水性の低い不飽和土では透水流量の計測精度も勘案する必要があるため(透水量を多めにするためには動水勾配も大きくする必要があるので)、0.3~6.0の範囲の違いを調べてみた。実験結果の概要は図-2に示すが、それぞれは飽和度の平均値に対する不飽和透水係数としてプロットされていて、概略的に大きな差異を生じる原因とみなさなくてよさそうである。

(4) “連続試験法”の精度

試料の飽和度を負荷する空気圧によって変化させ、飽和度変化を給排水量により推定する方法(連続試験法と仮称)は土試料を逐次充填し直す手間が省ける。この検討結果も図-2に併記した(●, $H=8$ cm)。良好な結果を示している。

3. 各種の不飽和透水係数の推定式との対比

加圧型透水試験結果が正しい不飽和透水係数を与えているか否かは、別途検討の余地があるけれども、図-2には、提案されている推定式による飽和度との関係を示した。実験値もほぼ同様の傾向を示している。加圧型装置の利点は、飽和度を制御するに際して負荷空気圧により比較的短時間で変化させることができる点であり、普及できる条件を多く備えているように思われる。

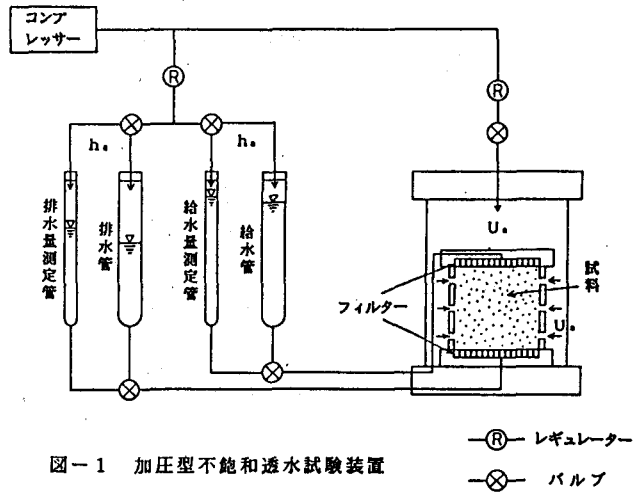


図-1 加圧型不飽和透水試験装置

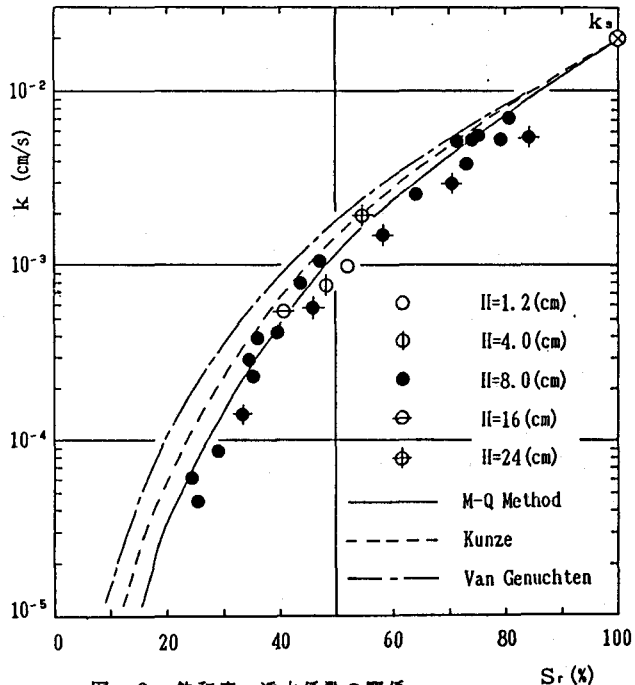


図-2 飽和度～透水係数の関係