

Wind's evaporation method による不飽和透水試験の検証

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫

中部大学工学部 学生員 和田 祐季 花北 誠

1. まえがき

これまで不飽和土の保水性や透水係数などの不飽和浸透特性を計測する方法には、さまざまな方法が提案されてきたが、我が国では地盤工学会基準 (JGS0151) に土の保水性試験が基準化されているだけである。特に、不飽和透水試験法においては JGS 基準も現在のところ存在しない。van Genuchten モデルを始めとして、浸透特性のモデル化や土の物理特性から間接的に推定する方法が提案されてきており、直接の計測が行われない場合が多いが、そのチェックとしての確立した試験法の必要性は実務では高く、試験法の確立が必要と思われる。ISO には Wind の蒸発法(Wind's evaporation method)があるが、国内では報告がなく、あまり知られていない。本報告では(Wind's evaporation method)の検証を行っている。

2. 実験概要

2-1 実験装置

図-1 及び図-2 に実験装置図を示す。

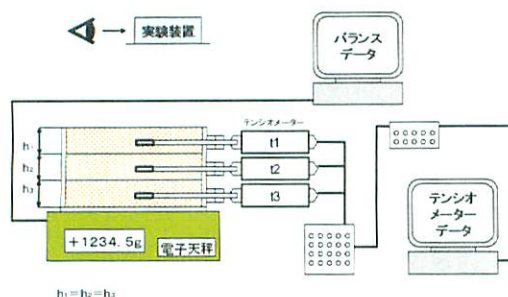


図-1 実験装置全体図

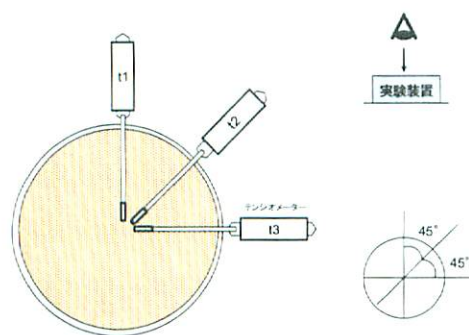


図-2 実験装置立面図

2-2 実験装置と実験試料

実験で使用する装置は、アクリルカップにテンシオメータが、各層に放射線状に角度をずらし、挿入できるように加工を施したものを使用する。ISO の規格に従い、試験装置の寸法の比率は直径：高さが 10:8(cm)かつテンシオメータが試料高さに等間隔で水平方向に挿入できるように設計した。実験に使用する不飽和土は、乾燥している豊浦標準砂に水を加え、ほぼ飽和状態にしたものを使用した。この豊浦標準砂を用いた実験をテスト実験とする。

3. 実験方法

恒温室内で時間間隔をおき、 t 時間後のテンシオメータによる圧力水頭値 $h_1(t)$, $h_2(t)$, $h_3(t)$ と全体の質量 $m(t)$ を計測する。また $t+1$ 時間後も同じく計測を行う。今回 20 分間隔で測定したが、8 時間以上越えないように規定されている。土試料によって異なるが、2 日から 2 週間の間計測を繰り返す。計測が終了したら、供試体の含水比を計り、試験終了時の平均体積含水率 $\theta(e)$ を求める。

4. 試験結果

図-3 の蒸発過程のグラフは、蒸発量(m_e)が経過時間に対し、一定の割合で蒸発しており線形性が強い。

電子天秤の蒸発過程の記録とテンシオメータの電圧推移の記録より、体積含水率と各テンシオメータでのサクシヨンの時系列を求める。供試体の質量変化から算出される体積含水率と 3 つのテンシオメータからの平均サクシヨンのデータを使い、van Genuchten 式のパラメータを同定し、「仮の水分特性曲線」を描いた。さらに、各テンシオメータ層での体積含水率は得られていないので、この「仮の水分特性曲線」を使って、サクシヨンの時系列データを h_1 , h_2 , h_3 に対する体積含水率を仮の体積含水率を求め、平均体積含水率との関係から修正して求め、得られた最終の「修正水分特性曲線」を図-4 に示す。この修正水分特性曲線より不飽和透水係数を求めていく。3 地点のサクシヨンと体積含水率の時系列データを用いて、式(1)に対する不飽和透水係数を求め

た。なお、比較のため他の試験法の結果を図-5に併せて示している。

$$K_i(\bar{h}_i(t)) = -\frac{v_i(t)}{\frac{\Delta h_p}{\Delta z} - 1} \quad (1)$$

K : 透水係数(cm/sec) $h(t)$: 平均体積含水率

$v(t)$: 流速 $\Delta h_p / \Delta z$: 動水勾配

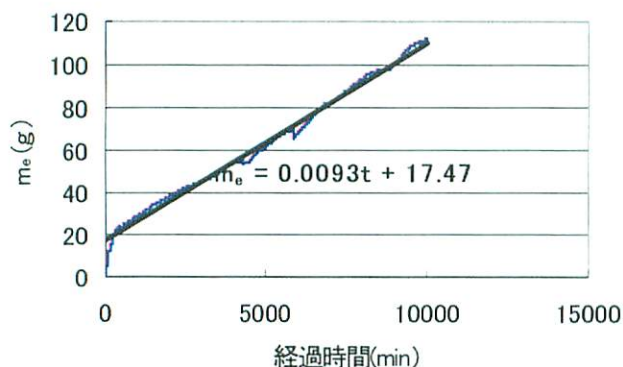


図-3 蒸発過程グラフ

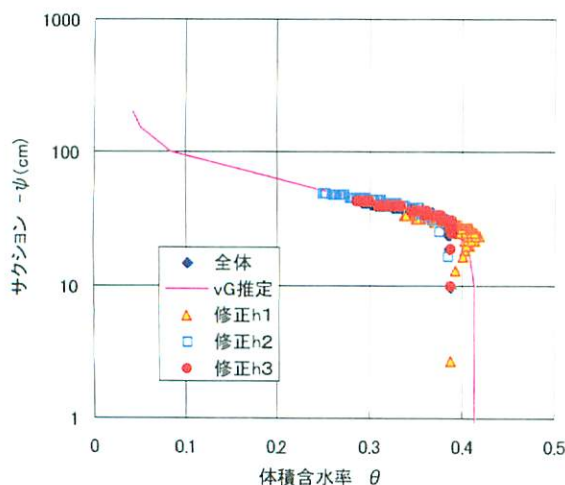


図-4 修正水分特性曲線

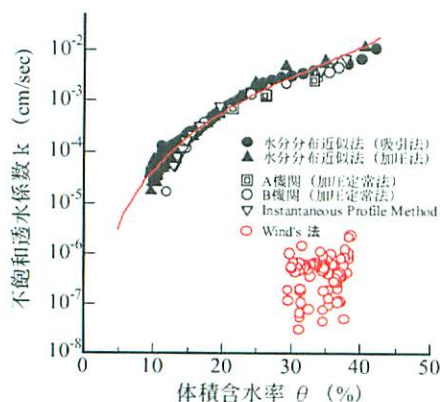


図-5 他試験法での不飽和透水係数

5. 結果の考察

今回の豊浦砂を使った Wind の蒸発法による不飽

和透水試験の結果は図-5に示すように、 10^{-4} 倍も小さく、正しい不飽和透水係数が求まらなかった。その原因について考察することとした。

①室温 20 度内での蒸発速度(図-3)から計算すると約 10^{-6} cm/s となる。これは、豊浦砂の飽和透水係数 10^{-2} cm/s とすると動水勾配は、 10^4 となる必要がある。このことから考えて砂のような透水係数の大きなものには適さないことがいえる。

②センサー間隔が 2cm 程度ということから、高い飽和度量域(飽和透水係数に付近)では、圧力差が 2cm の精度のテンシオメータが必要になるといったようなセンサーの精度が必要であることが考えられる。

6. Wind 法の改良の提案

今回、計測されたデータをもとに、一次元飽和・不飽和浸透流を水分拡散係数で示した式(2)を用いることで、水分拡散係数 D の算出を試みた。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left[D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] \quad (2)$$

3 つの点での体積含水率で式(2)を差分化して水分拡散係数 D を求めたのが図-6 である。また、別途試験法で得られた水分拡散係数を示した。これより、水分拡散係数が今回の結果から推定でき、さらに精度を上げるとともに、水分拡散係数から不飽和透水係数を推定できるように改良していく。

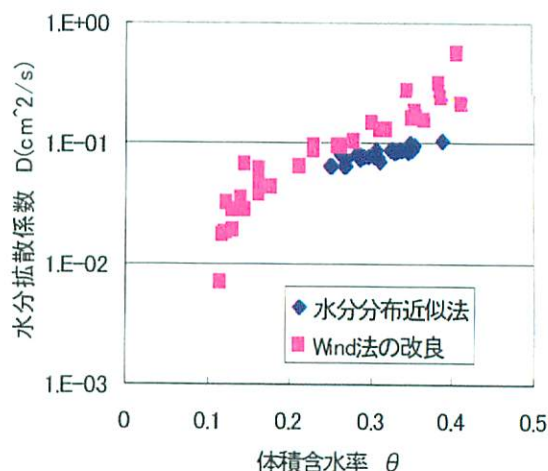


図-6 Wind 法の計測データから推定した水分拡散係数

本研究は、科研費(基盤研究 B) 代表: 岡山大学 竹下祐二准教授、の援助を受けた。ここに記して謝意を表します。

6. 参考文献

ISO 11275, Soil quality-Determination of unsaturated hydraulic conductivity and water-retention characteristic-Wind's evaporation method.