

簡便な原位置浸潤試験装置による地盤の不飽和浸透特性の推定

東洋大 ○石田 哲朗 東洋大(院) 肥田野 正秀 東洋大 加藤 千恵子

日大生産工 大木 宜章 日大生産工(PD) 高橋 岩仁

1. はじめに

最近では異常気象の影響が記録的な降水量が各地で計測されている。河川堤防はこの降雨や河川水位の影響を受けて、しばしば危険な状態に陥る。例えば、2004年7月の新潟・福島豪雨や福井豪雨災害では、数日間に280～420 mmの集中豪雨により、堤防が決壊し多くの住民の生活基盤と尊い命が奪われた。河川堤防のような土構造物内の湿潤状況は時間の経過とともに、刻々と変化するもので、飽和領域と不飽和領域との境界には複雑な水分挙動が生じている。これらの挙動を予測、再現する方法として飽和・不飽和浸透流解析が用いられる。この解析手法の要となる土中水の浸透定数は、水分特性曲線のパラメータ θ_s , θ_r , α と n と透水係数 $k(\theta)$ であるが、計測方法は煩雑で時間もかかる。

国土交通省でも堤防破壊が相次いだことから、直轄河川でボーリングなどによる堤防内の土質材料の調査に着手したが、このような調査方法では全体を把握するまでに大変な時間と労力を要し、補強工事が完了するまでにはほど遠い。

そこで、Gribb¹⁾やKodešováら²⁾の研究に基づいた、測定が簡単で、装置構造もシンプルな地盤の原位置浸潤試験装置を試作してみた。これにより地盤の不飽和水分特性を容易に推定できれば、上記のような広範囲の大掛かり調査は簡便化できる。本報では、この試験法を説明し、その実務性を調べた結果から今後の展開方向を述べる。

2. 試験装置と試験方法

図1に試験装置の概略図を示す。コーンパーミアメータ(Cone Permeameter)は直径30 mmの中空円筒で、長さは115 cmである。最も質量のある給水タンクの容量は10 lで、大人二人いれば簡単に移動でき、一人でも搬入は可能である。なお、計測箇所への搬入を容易

にするために、計測機器を配置する架台は分解できる。

図2には地盤中に挿入するコーンパーミアメータの構造図を示す。上部、下部の受感部のセラミックリングには、それぞれ二本のフレキシブルチューブが埋め込まれて圧力センサとつながっているだけの簡単な装置である。先端付近の流出部には孔が開けてあり、ここから地盤内に給水される。

試験方法は、必要な深度までオーガで削孔し、コーンパーミアメータを挿入する。給水用チューブとファイバーチューブをコーンパーミアメータの上部の中空部分に入れる。給水を開始すると、コーンパーミアメータに水位が形成されていき、水面がファイバーチューブに触れると給水が停止するので、一定の水位が保たれ浸潤していく。このときの浸透水量と2カ所の圧力センサの値の変化を所定の時間間隔で記録する。地盤の透水性にもよるが、一カ所当たり20～30分程度で計測は終了する。

3. 地盤の不飽和浸透特性の求め方

Šimůnekら³⁾による地盤内の不飽和浸透流の解析プログラム(Hydrus-2D)が安価で汎用性もあると思われる

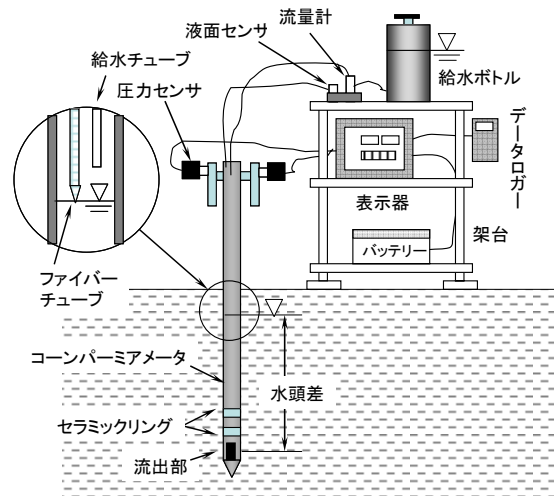


図1 試験装置の概略図

Estimating Hydraulic Properties in Unsaturated Soil from Cone Permeameter Test

Tetsuro ISHIDA, Masahide HIDANO, Chieko KATO, Takaaki OHKI and Iwahito TAKAHASHI

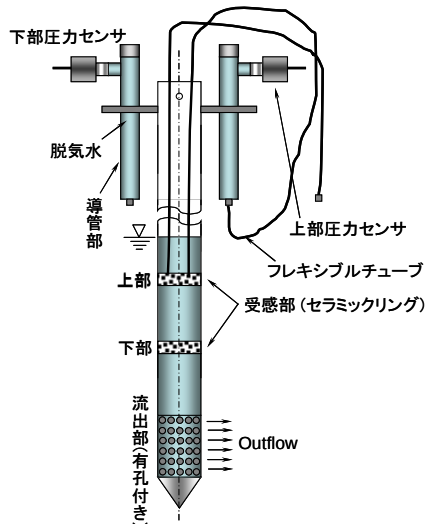


図2 コーンパーミエータの構造

るので使用した。このプログラムの軸対称問題の基本的な支配方程式は Richards による次式であり、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[rk \frac{\partial h}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

ここに、 r, z はそれぞれ半径、鉛直方向の座標、 t は時間、 h は圧力水頭、 k は透水係数、 θ は体積含水率である。また、計測した浸潤水量と地盤の圧力水頭との関係を近似するために用いる水分特性曲線は、式(2)の van Genuchtenモデルを採用し、飽和透水係数 k_s と水分特性曲線のパラメータ $\theta_s, \theta_r, \alpha$ と n を初期推定値として導入し、反復計算させて逆解析する。

$$S_e = \left(1 + |\alpha h|^n \right)^{-m} \quad (2)$$

ここで、 S_e は有効体積含水率で、 n は先のパラメータと異なり、 m とともに次の関係式で表されるフィティングパラメータである($m=1-n^{-1}$)。

4. 実務的検証結果と考察

原位置浸潤試験は埼玉県川越市にある東洋大学工学部校内で行った。調査地点は地表から 6.0 m まで関東ロームで覆われており、その下に凝灰質粘土の薄層が存在する。地下水面は地表から 4.8 m のところにあり、 N 値 4 程度の地盤である。オーガによる削孔は 40 cm とした。図 3 と図 4 に実測値と逆解析値の一例を示した。実測値の圧力水頭の変化を精確に再現することはできなかったが、浸潤水量の変化と合わせて、計測地点の不飽和土の浸透特性を近似した結果と判断する。このときの水分特性パラメータは、 $\theta_s = 0.75, \theta_r = 0.50,$

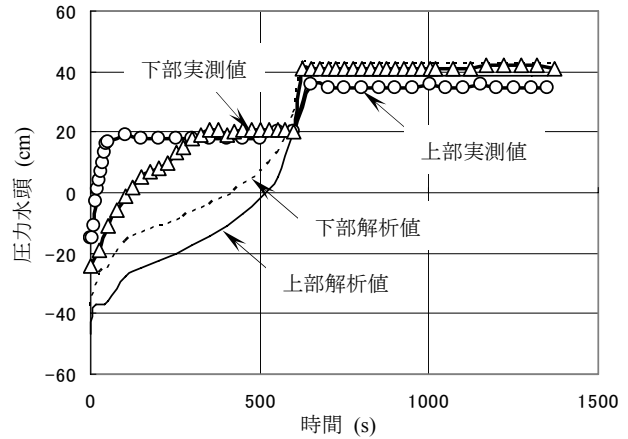


図3 圧力水頭の変化に対する実測値と解析値の比較

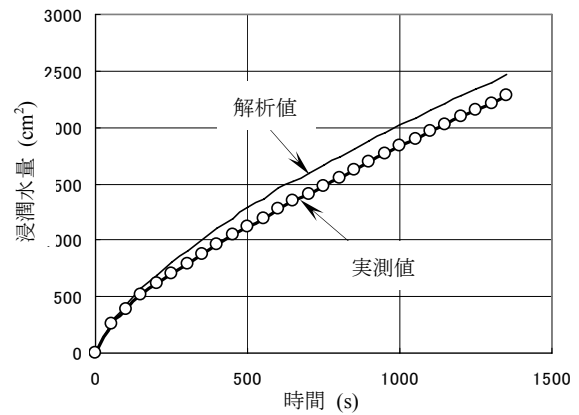


図4 浸潤水量に対する実測値と解析値の比較

$\alpha=0.030, n=2.01, k_s=1.6 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ であった。また、室内実験から得られた同地点のサンプリング試料の水分特性パラメータは、 $\theta_s=0.77, \theta_r=0.42, \alpha=0.034, n=1.75, k_s=2.8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ であり、短時間の計測時間で推定された値としては十分に実用性のある結果と思われる。なお、よい解析結果を得るために解析上の熟練度が必要なので、解析は一計測に対して数回に止めた。この点を踏まえて各種の土質材料に対して検証を進めたい。

5. 参考文献

- 1) Gribb, M.M., Parameter estimation for determining hydraulic properties of a fine sand from transient flow measurements, *Water Resour. Res.*, 32 (7), (1996), pp. 1965-1974.
- 2) Kodešová, R., Gribb, M.M., and Šimůnek, J., A new CPT method for estimating soil hydraulic properties, *Geotechnical Site Characterization*, Balkema, (1998), pp.1421-1425.
- 3) Šimůnek, J., Sejna, M. and van Genuchten, M. Th., *HYDRUS-2D, Simulation Water Flow and Solute Transport in Two-Dimensional Variably Saturated Media*, IGMCO, Colorado School of Mines, (1996). [March 9th, '07, NU BIOTECH.RC.]