

## II-161

## 変水位ポアホール試験による現地地盤の浸透特性の推定

三井共同建設コンサルタント(株) 正員 井上 昇  
法政大学工学部 正員 岡 泰道

**1. はじめに** 浸透型流出抑制施設の計画などに際しては、対象地盤の保水透水性の把握が不可欠であり、これらを定量化するための現地試験法のひとつにポアホール試験法がある。この手法には定水位法と変水位法があり、後者による試験では、計測される値が土壌の透水特性を表現する物理量と直接対応していないために、これのみを用いて浸透特性を評価する手法が確立されていないのが現状である。本研究では、有限要素法を用いた数値実験により、初期条件及び土壌特性パラメータが変水位試験結果に及ぼす影響を示し、現地定水位試験後に実施した変水位試験結果の解析方法についての検討を行った。さらに、テンシオメータ記録より不飽和帯の乾燥過程の定式化を試み、この推定式を初期条件を決定する際に用い、乾燥した土壌について実施した変水位試験の解析結果についても議論を行った。

**2. 解析方法** 基礎方程式にはRichards式を用い、2次元の浸透現象を再現した。円筒形の全面浸透タイプのポアホール(深さ80cm, 直径21cm)に対して計算領域を168cm×400cmとし、下部境界には地下水面を与えた。また、水分保持特性( $\theta-\phi$ 関係)、水分伝達特性( $K-\phi$ 関係)にはいずれもCampbell式をあてはめて用いた。初期条件としては吸引圧 $\phi_{ini}$ を与える。また、土壌パラメータには飽和透水係数 $K_0$ 、空気侵入値 $\phi_{cr}$ 、飽和体積含水率 $\theta_s$ 、Campbell係数 $b$ がある。 $\theta_s$ は変水位試験結果にあまり影響を与えないため、ここでは関東ロームの平均的な値である $\theta_s=70\%$ とした。

**3. 土壌特性値が変水位試験結果に与える影響について** 土壌の初期条件(吸引圧) $\phi_{ini}$ を全層について、 $-100\text{cmH}_2\text{O}$ から $-15\text{cmH}_2\text{O}$ まで与え、それぞれについて孔内水位の経時変化を計算した結果を図1に示す。下限値として与えている $-100\text{cmH}_2\text{O}$ はやや乾燥した状態に対応している。一方、 $\phi_{cr}$ を $-10\text{cmH}_2\text{O}$ として与えているために初期に $-20\text{cmH}_2\text{O}$ より湿潤している場合は定水位後とほぼ同じ状態であると考えることができる。また、空気侵入値 $\phi_{cr}$ は深度により変化することが一般に知られており、関東ロームでは地表面から深度1m付近までの土壌では約 $-5\text{cmH}_2\text{O}$ から $-50\text{cmH}_2\text{O}$ 程度の値をとる。また、この値が浸透に及ぼす影響力は非常に大きいことが数値実験より確認され、変水位試験結果から飽和透水係数を求める際の大きな障害となりうると判断された。Campbell式中の定数 $b$ は、土壌が緻密になると大きくなる傾向にある。しかし、数値解析結果からは孔内水位の時間的な変化に及ぼす影響が比較的小さいことが確認された。現地地盤ではこの2つの土壌特性値は深度により変化するものであるが、ここでは初期条件と同様、全領域同じ値を用いた。

**4. 飽和透水係数の算定手法の提案(定水位後の変水位試験について)** 変水位試験結果を解析する場合には土壌特性値を定量化する必要があるため、求めるべき未知量以外については、適当な仮定を用いるか、室内試験などにより決定する方法を採らなければならない。まず、定水位の後に行った変水位結果の解析手法について述べる。初期条件については、定水位後のポアホール付近の土壌状態はほぼ飽和していると考えられるので、 $\phi_{cr}$ が決定されればその値に近い $\phi_{ini}$ を与えればよい。 $b$ は、表層付近における関東ロームの平均的な値 $b=10$ とした。飽和透水係数 $K_0$ を推定するにあたり、 $\phi_{cr}$ を決定しておく必要がある。ここでは定水位試験により求めた $K_0$ の値 $1.154 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ を用いて、様々な $\phi_{cr}$ による変水位結果をシミュレートし、全試験期間にわたり実測値と最もよく符合している $\phi_{cr}=-50\text{cmH}_2\text{O}$ を採用した(図2)。この値については、ポアホール深などの試験条件がほぼ等しいことから、試験位置周辺の土壌については一様に近似できるという仮定が成り立つと考えられる。次に、この土壌条件に対して、様々な $K_0$ を与えてシミュレートした結果を図3に示す。図中には、 $\phi_{cr}$ を決定したものとは別の現地試験結果を併記しているが、この例では $K_0$ が $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ の範囲にあると推定される。一方、定水位試験結果より求めた $K_0$ は、 $1.29 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ であり、上記の推定結果とほぼ符合している。

**5. 現地土壌の初期条件の推定** 自然林地（長池）における埋設深度5cm, 100cmのテンシオメータ記録（1980～83）によれば，重力排水後の吸引圧の常用対数と降雨終了からの経過時間の平方根との間には直線関係が認められた（図4）．すなわち， $\log(\psi/\psi_0) = a \cdot \sqrt{t}$ ．ここで， $a$  は定数であり，季節的要因に支配されると考えられ， $\psi_0$ は最小含水量に関係していると推測される．そこで，季節別に近似式を分類し定数を求めた． $a$  がほぼ一様な値として得られたのに対して， $\psi_0$ は多少ばらついたが，一般に最小含水量は $pF=1.7 \sim 2.0$ であり，ほぼこの範囲内であったことから，季節別にこれらの値を平均化し定めることにした．

**6. 飽和透水係数の算定手法の提案（乾燥土壌における変水位試験について）** 乾燥土壌に対する変水位試験結果により，飽和透水係数を算定する手法を次に述べる．入力する初期条件は，前節で定めた推定式により決定した．また，土壌特性値は， $\psi_{cr}=-50\text{cmH}_2\text{O}$ ， $b=10$ ， $\theta_s=70\%$ とした．以上の条件を用い， $K_0$ を推定するためのフィッティングカーブを作成し，その上に実測値をプロットする．その結果， $K_0=1.5 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ と推定され（図5），定水位試験により得た $K_0=1.3 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ とほぼ一致した．

**7. まとめ** 本研究では，様々な初期条件における変水位試験の結果を用いて飽和透水係数を求める手法について考察した．試験の簡易化を確立するためには，ここで提案したような初期条件推定式の妥当性を様々な土壌に対してさらに検証する必要がある．

**【謝辞】** 都立小金井公園管理事務所の方々には，現地試験の実施に対しご理解ご協力戴いたことを深く感謝いたします．

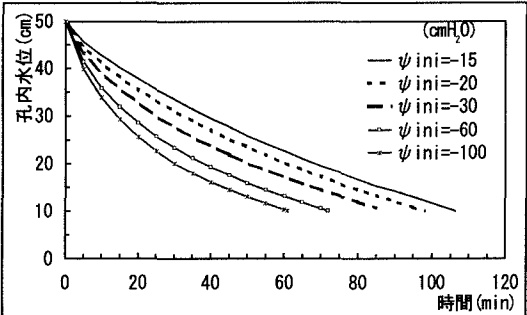


図1 初期条件( $\psi_{ini}$ )が変水位試験に及ぼす影響  
[ $d=21\text{cm}$ ,  $\psi_{cr}=-10\text{cmH}_2\text{O}$ ,  $b=10$ ,  $K_0=1.155 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ ]

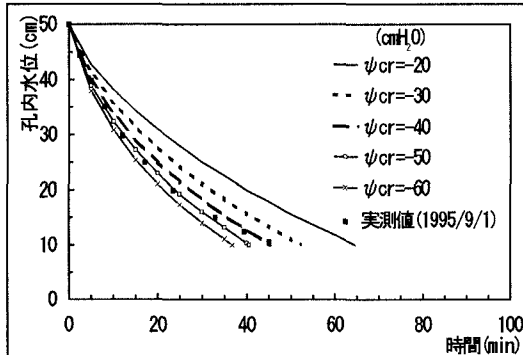


図2 空気侵入値( $\psi_{cr}$ )を決定したフィッティングカーブ  
[ $d=21\text{cm}$ ,  $b=10$ ,  $K_0=1.155 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ ]

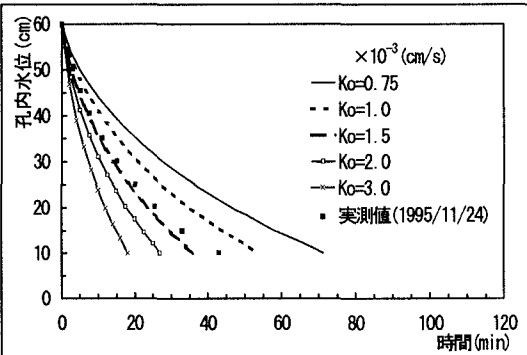


図3 飽和透水係数( $K_0$ )を推定したフィッティングカーブ  
(定水位後の土壌) [ $d=21\text{cm}$ ,  $\psi_{ini}=60\text{cmH}_2\text{O}$ ,  $\psi_{cr}=-50\text{cmH}_2\text{O}$ ,  $b=10$ ]

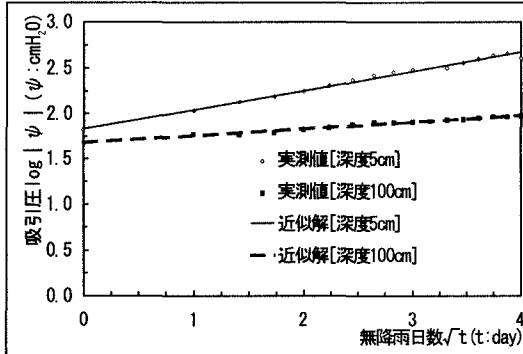


図4 降雨後の吸引圧変化(1982/10/20～11/5)

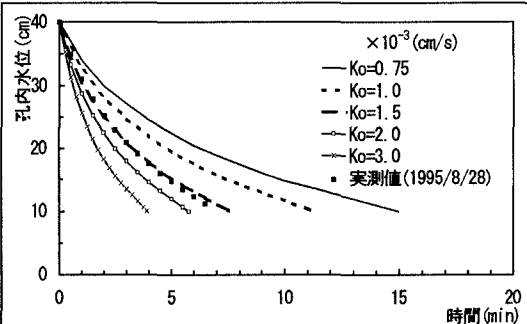


図5 飽和透水係数( $K_0$ )を推定したフィッティングカーブ  
(乾燥土壌) [ $d=21\text{cm}$ ,  $\psi_{cr}=-50\text{cmH}_2\text{O}$ ,  $b=10$ ]