

東京大学生産技術研究所 正員 虫明功臣

東京大学生産技術研究所 学生員 山田邦博

1. はじめに

雨水浸透施設等の浸透特性を理論的に解析する場合、まず浸透対象層の θ (含水率)- ψ (吸引圧)関係、及び K (不飽和透水係数)- ψ 関係を定めなければならない。これまで当研究室では小サンプルによる不飽和透水係数測定試験により、 K - ψ 関係を求めようとしてきたが、この試験には幾つかの困難が伴い良好な結果を得ることは難しい。そこで本報では、試験が比較的容易な θ - ψ 関係より K - ψ 関係を求めることを試み、その妥当性を検討した。

2. θ - ψ 関係に基づく K - ψ 関係の推定に関する理論

G. S. Campbell⁽¹⁾は θ - ψ 関係より K - ψ 関係を求める方法を提案している。

用いた仮定は次の4つである。①連続した2つの間隙では、水の流れは小さい方の間隙に左右される。②直接連結している間隙だけが、全体としての透水係数に関与する。③各間隙はランダムに連結している。④間隙分布関数は一様である。これらの仮定を用いて、ある水分率に対して半径0から水で飽和されている最も大きな径の間隙までの透水係数への寄与分を加え合わせれば、全体としての透水係数が次の様に定まる。

$$k = M \int_0^R \int_0^R r^2 F(r) dr F(r) dr \quad (1)$$

ここに r : 間隙径 M : 定数 R : 飽和している最大の間隙径 $F(r)$: 間隙分布関数

ここで、 θ - ψ 関係を次の様に仮定する。

$$\psi / \psi_{cr} = (\theta / \theta_0)^{-b} \quad (2)$$

ここに ψ_{cr} : エア-エントリーポテンシャル

θ_0 : 飽和含水率 b : 定数

毛管上昇の式

$$\psi = -2\gamma / r \quad (3)$$

ここに γ : 水の単位体積重量

及び

$$F(r) dr = d\theta \quad (4)$$

を考慮して、(1)式を積分すると

$$k = M' \theta^{2b+2} \quad (5)$$

ここに M' : 定数

飽和透水係数を k_0 とすると

$$k = k_0 (\theta / \theta_0)^{2b+2} \quad (6)$$

又は

$$k = k_0 (\psi_{cr} / \psi)^{2+2/b} \quad (7)$$

3. 関東ロームに対する θ - ψ 関係式の適用性

Campbellの理論を適用するためには、 θ - ψ 関係が(2)式の様に表

わされる必要がある。東京都昭島市つつじが丘イツ内と、東京大

学生産技術研究所千葉実験所内とで採取した試料(円筒100cc)について測定した ψ / ψ_{cr} と θ / θ_0 との関係を図1、

図2に示す。両試料について、(2)式は良く当てはまる様である。 ψ_{cr} の求め方については、①(2)式の関係に最

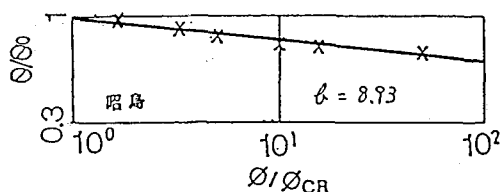


図 1.

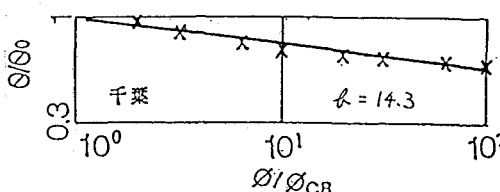


図 2.

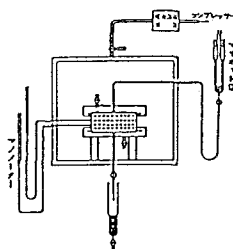


図 3.

も適合する様に統計的に定める方法と ② $\log \psi$ と θ の関係から、 ψ の増加に伴い θ が θ_0 から大きく異なり始める ψ の値を ψ_{cr} とする方法とが考えられる。本報では②の方法を用いた。

4. 加圧型不飽和透水係数測定試験の概要

実験装置の概略を図3に示す。試料(円筒314cc)を設置した槽内は一定圧力がかかり、試料内の水分は所定の吸引圧に保たれる。又試料上下面にはメンブランフィルター(細密多孔質フィルター)が密着され、所定圧力下でも試料内に水分が補給される。試料内には、位置の異なるテンシオメータが埋め込まれ、2点間のポテンシャルの差が測定される。浸透量はマリオットからの給水量および排水量の両方で測定し、不飽和透水係数の算定は、試料内の水分の移動が定常に達した時点で次式により計算する。

$$k_s = - \frac{\psi}{(\Delta h / \Delta z + 1)} \quad (8)$$

ここに Δh : Δz 隔てた2地点の間のマトリックスポテンシャルの差 ψ : 浸透量

この実験を行なっていく上での主な問題点は次の3つである。

①低サクション時、試料上下面にあるフィルターが土の浸透能力以下である場合、試料内に水分が貯留され、試料に埋め込んだ2本のテンシオメータ(マノメータ式)の読みが同一になり、勾配が計算できなくなる。②フィルターと土との接触不良により、見掛け上透水係数が小さく測定される。③給排水チューブ内に気泡が生じ、水の給排水がスムーズに行なわれなくなる。このため、所要の吸引圧の範囲にわたって連続的に良好な試験結果を得ることが難しい。

5. 実験値と理論値の比較

不飽和透水係数測定試験で良好な結果が得られた昭島の深度90cmと130cmの試料に対する $K-\psi$ 関係を図4、図5にX印で示す。又図中にはCampbellの理論より求めた $K-\psi$ 関係が実線で表わされている。なお k_0 の値については、①現場透水試験②室内試験により求める方法があるが、ここでは後者に依った。両深度とも、 $\theta-\psi$ 関係より求めた不飽和透水係数の値と加圧型不飽和透水係数測定試験より得られた値とは類似の傾向を示すと判断される。

6. 結び

以上の検討によって、実施が容易な $\theta-\psi$ 関係を求める試験による $K-\psi$ 関係の推定の可能性が示された。

今後、現場への適用を計る上で考慮すべき主な点を以下に示す。

- 1) 室内試験による k_0 の値は、実際の値よりやや小さめの値を与える様である。今後、現場試験も含めて適切な k_0 の値の推定法を検討することが必要である。
- 2) k_0 の値の決め方については、現在統一された考え方はない。しかし、 ψ_{cr} 値が $10 \text{ cm H}_2\text{O}$ 異なると k_0 の値が1オーダー異なることもあり、今後、この値の求め方を明確にしなければならない。
- 3) $\theta-\psi$ 関係が指数型でない場合についても $\theta-\psi$ 関係より $K-\psi$ 関係が得られる様にする事も重要である。
- 4) ここで提示した方法で求められた土壌特性を基にした数値シミュレーションを、浸透施設等の現地透水試験結果を対照することにより、その妥当性を検証する必要がある。

<参考文献> 1) Campbell: A SIMPLE METHOD FOR DETERMINING UNSATURATED CONDUCTIVITY FROM MOISTURE RETENTION DATA. S.SCIENCE 1974

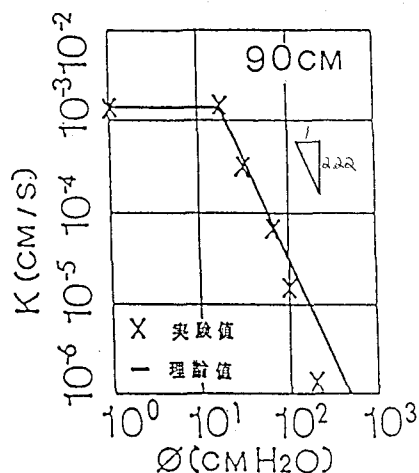


図 4.

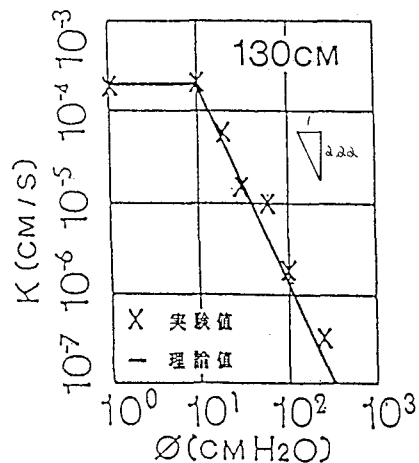


図 5.