

II-65 浸透試験による飽和及び不飽和の透水係数の推定

九州大学工学部 学生員 ○新保 弘 九州大学工学部 正会員 上田 年比古
九州大学工学部 正会員 羽井 和朗 九州大学工学部 正会員 神野 健二

1. はじめに 雨水浸透施設の設計に際しては、対象土壌の浸透能力を的確に評価することが必要となってくる。本研究では浸透試験により得られる浸透流量あるいはサクシヨンの実測値を用いて、土壌の飽和及び不飽和の透水係数を推定する方法について、室内実験により検討するものである。

2. 解析方法

2.1 方法(A):Gloverの近似解¹⁾による算定法

Gloverによれば、飽和透水係数 k_o は次式で与えられる。

$$k_o = B \cdot Q / \{ 2 \pi H^2 [1 + B/2(a/H)^2] \} \quad , \quad B = \text{arcsinh}(H/a) - \sqrt{[(a/H)^2 + 1]} + a/H \quad (1)$$

ここに、 Q :定水頭浸透試験における最終浸透流量、 a :試験孔の半径、 H :試験孔の一定湛水深である。一般に、上式が現場においてよく用いられている。

2.2 方法(B):Reynolds and Elrickの近似解²⁾による算定法

Reynolds and Elrickは不飽和領域内の流れを考慮した近似解として次式を提案している。

$$C \cdot Q = (2 \pi H^2 + C \pi a^2) k_o + 2 \pi H \phi_m \quad (2)$$

ここに、 C :比 H/a と土壌特性に依存する定数である。 ϕ_m は次の積分:

$$\phi_m = \int_{h_o}^0 k_u(h) \, dh \quad (3)$$

で与えられる。ここに、 h :サクシオン、 h_o :試験孔周辺土壌の初期のサクシオン、 $k_u(h)$:不飽和透水係数である。いま、不飽和透水係数として、次式:

$$k_u(h) = k_o \exp(\alpha h) \quad (4)$$

を仮定する。この場合、 ϕ_m は近似的に次式となる。

$$\phi_m = k_o / \alpha \quad (5)$$

この方法(B)を要約すると次のようである。まず、同一の試験孔において異なる湛水深 H_1, H_2 での定水頭浸透試験を行い、各々の最終浸透流量 Q_1, Q_2 を測定する。次にReynolds and Elrickが既に与えている比 H/a と定数 C の関係図から C の概略値を与え、式(2)から、 k_o, ϕ_m を、式(5)から α を求め、これらを式(4)に代入することにより $k_u(h)$ が求められる。

2.3 方法(C):最適化手法と不飽和浸透流の数値計算による算定法

この方法は定水頭浸透試験において、土壌の浸透流量あるいはサクシヨンの時間変化 $h(t)$ を測定し、測定値と数値解との誤差の自乗和が最小になるように、不飽和特性式中の未知パラメータおよび飽和透水係数を、非線形最小自乗法³⁾により算定するものである。ここでは、土壌の不飽和特性を表わす関係式として次式を用いることにする。

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha_o |h|)^n]^m \quad (6)$$

$$k_u(h) / k_o = \{1 + (\alpha_o |h|)^n\}^{-1} [1 + (\alpha_o |h|)^n]^{-m} / [1 + (\alpha_o |h|)^n]^{m/2} \quad (7)$$

ここに、 θ_r :残留含水率、 θ_s :飽和含水率、 $m=1-1/n$ である。上式はVan Genuchten⁴⁾が提案したもので、砂質土においては十分に妥当なものとされている。

3. 室内実験 上述の方法の妥当性、現場への適用性について、室内実験による検討を行う。図-1に実験装置と実験に用いた豊浦標準砂の土質特性を示す。実験は円筒座標系の1/4の領域で行い、給水にはマリOTT型定水頭給水装置を用いて試験孔内の水位を一定に保っている。サクシオン $h(t)$ の測定は、図-1の測定位置で直径6mmのポーラスカップでテンシオメータを作製し、これを圧力変換器に接続して行っている。

4. 結果および考察 表-1に各法による推定結果及び、実験に用いた砂をカラム内に採取し定水位透水試験（カラム試験）により求めた飽和透水係数と、粒度分布の有効径により求めた飽和透水係数の値を示す。

図-2(a) はフラックス制御定常法⁵⁾によって測定した不飽和透水係数の実測値と方法(B)と方法(C)による推定値を示す。図-2(b) は土中法による水分特性曲線の実測値と方法(C)による推定結果を示す。

飽和透水係数についてみると、方法(A) による k_o の推定値はカラム試験や粒度分布から求めた実測値に比べて過大な値を示している。方法(B) による k_o の推定値は実測値に比べやや大きく、方法(C) による k_o の推定値は実測値に比べやや小さく推定される傾向にあるが、方法(A) に比べはるかに

方法(A) に比べはるかに妥当な値と考えられよう。不飽和特性についてみると、方法(B) ではサクション0~15cmにおける不飽和透水係数を十分表現しえないが、方法(B)、方法(C) の両者とも実測値と比較して概ね妥当なものと考えられる。

5. おわりに

浸透試験による飽和透水係数の推定精度として

は、従来の方法(A)に比べ方法(B)、方法(C)がより優れているといえる。方法(C) は不飽和透水係数の微妙な変化を捕らえることができ、水分特性曲線の推定も可能である。現場への適用性からは、方法(B) は一定湛水深に対する最終浸透流量のみを測定すればよいと

いう点で、サクションあるいは浸透流量の時間的変化の測定が必要な方法(C)より簡便であると考えられる。

参考文献

- 1) Stephens, D.B. and S.P. Neuman, ASCE, HY108, pp.623-639, 1982.
- 2) Elrick, D.E. and W.D. Reynolds, Soil Science, Vol.142, No.5, pp.308-321, 1986.
- 3) Oyanagi, Y. and T. Nakagawa, SALS (version 2.5), Computer center, Tokyo, 1981.
- 4) Kool, J.B., J.C. Parker and M.Th. Van Genuchten, Soil. sci. Soc. Am. J., Vol. 49, pp.1348-1359, 1985.
- 5) 塩沢 昌, 農業土木学会誌, 第55巻, 第9号, pp.835-840, 1987.

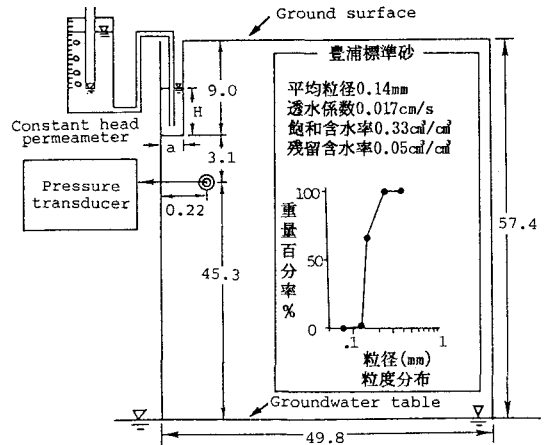


図-1 実験装置の概略図

表-1 実験結果

Expt.	a (cm)	H (cm)	Q (cc/s)	C
No.1	1.1	3.3	9.383	1.22
No.2	1.1	4.2	9.887	1.42
No.3	1.1	4.8	11.111	1.54
No.4	1.1	5.2	11.732	1.62
No.5	1.1	6.8	11.475	1.88

各方法による飽和透水係数

方法(A)	8.81×10^{-2} (cm/s)
方法(B)	2.83×10^{-2} (cm/s)
方法(C)	0.93×10^{-2} (cm/s)
カラム試験	1.70×10^{-2} (cm/s)
粒度分布	1.70×10^{-2} (cm/s)

Expt.	k_o (cm/s)	α^{-1} (cm)
1-2	-2.28×10^{-2}	-27.7
1-3	1.04×10^{-2}	49.7
1-4	1.59×10^{-2}	31.3
1-5	-1.36×10^{-2}	-43.8
2-3	5.99×10^{-2}	4.5
2-4	5.05×10^{-2}	6.1
2-5	-1.06×10^{-2}	-54.8
3-4	3.64×10^{-2}	10.6
3-5	-3.16×10^{-2}	-22.9
4-5	-4.86×10^{-2}	-17.4
平均	2.83×10^{-2}	13.5

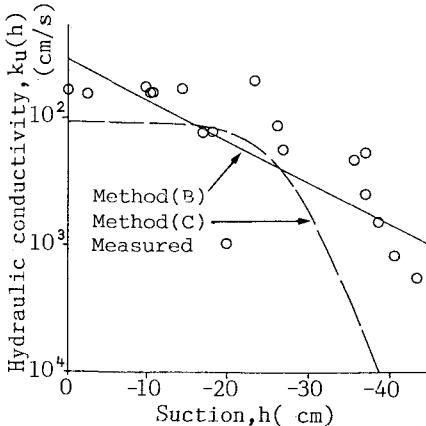


図2-(a) 不飽和透水係数

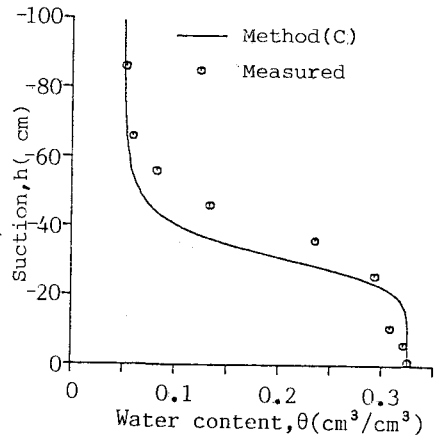


図2-(b) 水分特性曲線