

II-67 土壌の透水係数と通気係数の対応について

熊本大学 学生員 ○加納 倫太郎

熊本大学 正会員 下津 昌司

熊本大学 正会員 矢北 孝一

1. はじめに

最近、揮発性物質による土壌汚染の浄化方法の一つとして、ボーリング孔による土壌ガス吸引法が行われている。その場合通気性の指標となる通気係数が重要なパラメーターとなるが、地層の揚水実験から求められる透水係数を換算して、これに代用していることがある。そこで本研究では数種類の土壌を対象として、通気係数を測定し、これと透水係数との対応を実験的に求めようとするものである。

2. 基礎式

土壌ガス吸引法では、土壌ガスの流れをスクリーンの厚さ H で水平方向のみに流れる二次元円筒流れとすると風量 Q (m^3/hr)は次のように表される。¹⁾

$$Q = H \frac{\pi k'}{\mu} \frac{P_w \{1 - (P_{atm}/P_w)^2\}}{\ln(R_w/R_i)} \quad \dots (1)$$

ここで P_w は吸引井の圧力(atm)、 P_{atm} は大気圧(atm)、 R_w は吸引井の半径、 R_i は影響半径である。また k' は自然的浸透係数(cm^2)と呼ばれるもので次のように表される。

$$k' = k \frac{\mu}{\rho g} \quad \dots (2)$$

ここで k は通気係数または透水係数(cm/s)、 μ は粘性係数、 ρ は密度、 g は重力加速度である。本実験では透水係数及び通気係数はこの自然的浸透係数で表す。

Slichterは均一な球形の粒子の場合の自然的浸透係数を次の式²⁾で表した。

$$k' = \frac{de^2}{96} \left(\frac{\sin \delta - \pi/4}{\sin \delta} \right)^2 \frac{1}{1 - \lambda} \quad \dots (3)$$

ここで de は有効径(mm)、 λ は間隙率である。

3. 実験方法

土壌ガス吸引法では真空ポンプにより負圧をかけ、吸引が行われるが、土壌の透水係数の測定は通常加圧で行われ、吸引と加圧では間隙の形態が変化することが予想されたので、通気係数の測定は真空ポンプによる吸引とコンプレッサーによる加圧の両方について行ってみることにした。

測定の対象とした土壌材料は、豊浦標準砂、菊池川産川砂、阿蘇火砕流堆積地地のボーリングコア砂質土(AS0-4)、阿蘇高森町の斜面表土(ローム)である。各試料の粒径加積曲線を図-3に示す。この図より求められた有効径は表-1の通りである。透水係数は定水位法により測定する。その際水温も測定し、粘性係数及び密度の補正を行う。また、一昼夜置いた後も同様にして測定する。通気係数の測定装置を図-2に示す。通気係数は乾燥状態と、飽和状態から徐々に水を抜いた湿潤状態について測定する。負圧をかけ吸引する場合はモールドに乾燥した土を詰め、吸引圧を0mmHgから-500mmHgまで50mmHg刻みで下げ、各吸引圧の時の風量とモールド前後の圧力差を測定する。その際気温も測定し、粘性係数及び密度の補正を行う。また、透

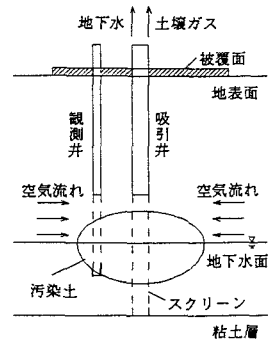


図-1 土壌ガス吸引法の概略図

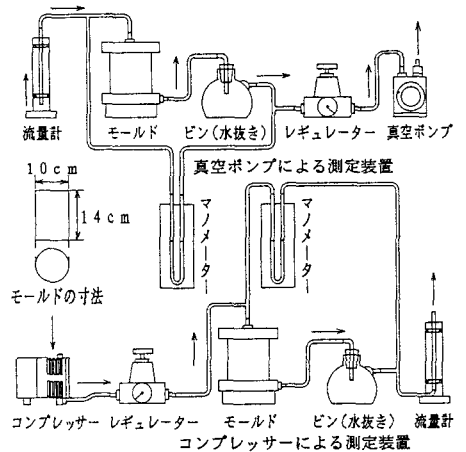


図-2 通気係数の測定装置

水係数測定後に吸引圧を-500mmHgまで下げて水を抜いた湿潤状態についても同様に測定する。一方正圧で加圧する場合は、レギュレーターの目盛りによる

表-1 実験試料の性質

	比重	含水率 (%)	間隙率 (%)	有効径(mm) (10%粒径)	透水係数(cm/s) (実測値)	透水係数(cm/s) (計算値) (*)
川 砂	2.7	14.0	43.4	0.21	1.17×10^{-2}	2.68×10^{-2}
標準砂	2.6	20.6	43.2	0.17	8.06×10^{-3}	1.18×10^{-2}
ASO-4	2.5	44.2	53.1	0.0045	1.62×10^{-4}	2.08×10^{-5}
ローム	2.2	49.6	60.5	0.018	1.49×10^{-3}	4.92×10^{-4}

(*)はSlichterの式による値

圧力の調節が出来なかったため、風量を200ml/min から2000ml/minまで200ml/min刻みで上げ、各風量の時のモールド前後の圧力差を測定する。また、湿潤状態についても同様に測定する。

4. 実験結果と考察

図-4は各試料の透水係数及び通気係数を自然的浸透係数として表したものである。通気係数の吸引と加圧との差は、やや加圧の方が大きい傾向にあるがその差は極めて小さく、本実験程度の差圧では吸引と加圧の間隙の形態の変化はほとんどなかったと考えられる。また、透水係数は川砂とロームでは湿潤状態の通気係数に近い値であり、標準砂では乾燥状態と湿潤状態のほぼ中間であったが、ASO-4（砂質土）では両方から大きくずれた値となった。図-5は圧力差と風量の関係を示したもので、理論上は風量は圧力差に比例するが、実際には風量には限界があり、圧力差が大きくなると風量は比例よりも小さくなるのが分かる。したがって風量が大きくなると通気係数はやや減少傾向にあることが分かる。各試料の性質及び透水係数を表-1に示す。この表より透水係数はSlichterの式による計算値が実測値とオーダー的にはほぼ等しくなり、本実験の試料については同式がよく対応しているといえる。

5. まとめ

本実験では透水係数は自然的浸透係数として表すと通気係数の乾燥状態と湿潤状態の間にあることが分かった。しかし本実験では通気係数は乾燥状態と湿潤状態とはオーダーが一桁異なることが確認された。したがって土壌ガス吸引法において、透水係数を通気係数の代用として用いるためには含水率と通気係数の関係等を考慮する必要があるだろう。

参考文献

1) Paul C. Johnson, Marian W. Kemblowski and James D. Colthart :Quantitative Analysis for the Cleanup of Hydrocarbon-Contaminated Soils by In-Situ Soil Venting ,GROUND WATER Vol.28, No.3 May -June 1990.

2) 本間 仁：「水理学」，1967，丸善株式会社，p.208.

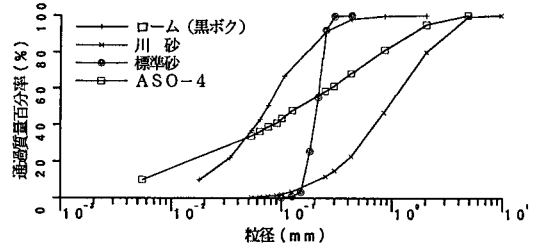


図-3 実験試料の粒径加積曲線

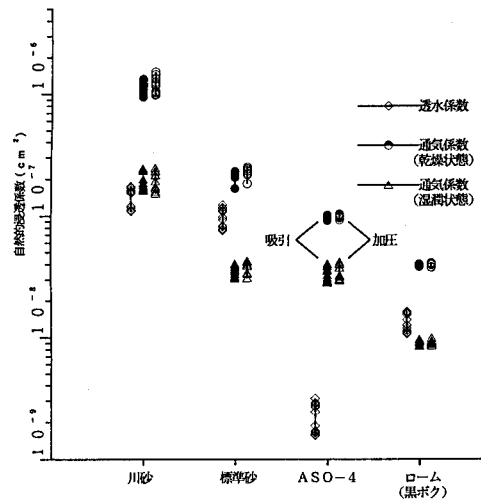


図-4 透水係数と通気係数の比較

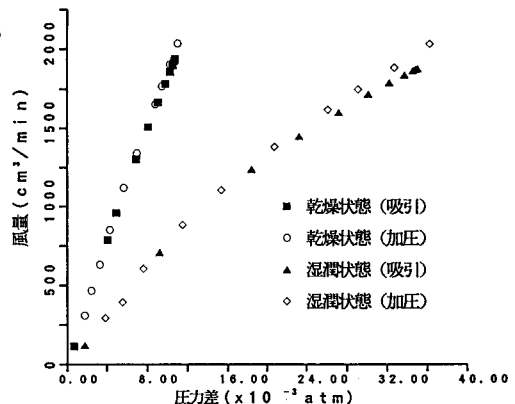


図-5 圧力差と風量の関係 (ASO-4)