

III-427

比表面積測定に基づく土の透水性

岐阜大学工学部 正会員 宇野尚雄
 岐阜大学工学部 正会員 杉井俊夫
 岐阜大学大学院 学生会員 ○神谷浩二

1. 研究目的

本研究は、土粒子の形状と比表面積との関係を考慮しながら、比表面積の観点から土の物性のうちの透水性、透気性について考察するものである。

2. 測定試料

Table.1 測定試料

測定試料には、Table.1に示す ガラスビーズGB-AC、豊浦標準砂、長良川シルトの3種類を用いた。

試料名	比重	粒径範囲
ガラスビーズ GB-AC	2.498	105μm ~420μm
豊浦標準砂	2.645	420μm以下
長良川シルト	2.653	75μm以下

3. 比表面積測定(島津製作所の FlowSorbII 2300 と SS-100)

3-1 FlowSorbII 2300

測定方法は、気体吸着法-流動法である。窒素ガスとヘリウムガスの混合ガス(N₂:He=3:7)を試料部に流動させ、試料部を液体窒素により冷却することで窒素ガス分子を試料に物理吸着させる。この吸着量をTCD(熱伝導度検出器)により検知し、BET一点法にしたがって比表面積S_wを求めるものである。

3-2 SS-100

測定方法は、空気透過法である。土粒子が球形の均一粒子であるという仮定のもとで成り立つPoiseuilleの粘性流の理論を発展させたKozeny-Carman式が基礎となっており、比表面積を求める式は次式である。

$$S_w = \frac{1}{\rho_s} \sqrt{\frac{g \cdot \Delta P \cdot A \cdot t}{K \cdot \eta_a \cdot L \cdot Q}} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (1)$$

S_w: 比表面積(cm²/g) ρ_s: 土粒子の密度(g/cm³) K: Kozeny定数(一般に0.5)
 η_a: 空気の粘性係数(g/(cm·s)) L: 試料層厚さ(cm) Q: 試料層透過空気量(cm³)
 g: 重力加速度(cm/s²) ΔP: 試料層両端の圧力差(g/cm²) A: 試料層の断面積(cm²)
 n: 試料層の間隙率 t: Q cm³の空気が試料層を透過するに要する時間(s)

また、SS-100の結果を利用して、平均粒子径、平均間隙径、透気係数を次式により求めることができる。

$$\text{平均粒子径 } d_m = \frac{6}{S_w \cdot \gamma_s} \quad (\text{土粒子を球形, 均一粒子と仮定して誘導}) \quad (2)$$

$$\text{平均間隙径 } R = \frac{4 \cdot e}{S_w \cdot \gamma_s} \quad (\text{間隙部分を円柱の管と仮定して誘導}) \quad (3)$$

$$\text{透気係数 } k_a = \frac{\rho_w \cdot Q \cdot L}{\Delta P \cdot A \cdot t} \quad (\text{ダルシー則にしたがうと仮定して誘導}) \quad (4)$$

4. 土粒子の形状

$$\text{Taylorの式: 透水係数 } k_w = D_s^2 \cdot \frac{\gamma_w}{\eta_w} \cdot \frac{e^3}{1+e} \cdot C \quad (5)$$

$$\gamma_w \rightarrow \gamma_a, \eta_w \rightarrow \eta_a: \text{透気係数 } k_a = D_s^2 \cdot \frac{\gamma_a}{\eta_a} \cdot \frac{e^3}{1+e} \cdot C \quad (6)$$

透水係数k_w及び透気係数k_aとe³/(1+e)との関係は、ほぼ原点を通る直線関係にあり、その傾きを用いて、D_s=D₁₀, D_s=D_w(≒D₂₀)の場合について形状係数Cを求める。¹⁾求めた結果をTable.2に示す。

Table.2 形状係数C

試料名	透水係数 (X10 ⁻³)		透気係数	
	D ₁₀	D _w	D ₁₀	D _w
ガラスビーズ GB-AC	8.56	7.06	6.37	5.25
豊浦標準砂	6.50	5.25	5.28	4.27
長良川シルト	—	—	15.1	1.58

また、走査型顕微鏡写真により土粒子の形状を観察する。

5. 考察

各試料について、FlowSorb II 2300及びSS-100により測定された比表面積 S_w の平均値をTable. 3に示す。

	ガラスビーズGB-AC	豊浦標準砂	長良川シルト
SS-100	129	153	4638
FlowSorb II 2300	735	7392	74100

FlowSorb II 2300による比表面積とSS-100による比表面積の大きさにはかなりの差がみられる。これは、FlowSorb II 2300においては、土粒子の外周に相当する部分と亀裂や細孔といった内部の比表面積が測定されるのに対し、SS-100においては、空気の流れに影響しない亀裂や凹凸の比表面積が測定されないという測定原理の違いによるものである。

次に、比表面積 $S_v' (= S_w \cdot \gamma_s)$ と粒子径 D_w の関係をFig. 1に示す。

直線①は、土粒子の形についての直線であり、SS-100による比表面積の値がこの直線に近づくほど球形に近づくと思われる。直線②は、土粒子表面の粗さについての直線であり、FlowSorb II 2300による比表面積の値がこの直線に近づくほど土粒子表面は滑らかに、即ち、細孔や亀裂が少なくなると思われる(粒子径 D_{10} に対しても同様の傾向がみられる)。この関係と走査型顕微鏡写真と比較してもほぼ間違いないといえ、FlowSorb II 2300とSS-100による比表面積により土粒子の形状が推測できると思われる。

先に、透水係数 k_w 及び透気係数 k_a と $e^3 / (1 + e)$ との関係は、ほぼ原点を通る直線関係にあると述べたが、これらの関係よりもFig. 2(ここでは、ガラスビーズGB-AC, 豊浦標準砂についての透水係数 $k_w \sim R^2$ を示すが、他試料、透気係数についても同様の傾向がみられる)に示すように、透水係数 k_w 及び透気係数 k_a と平均間隙径 R の2乗との関係がかなり原点を通る直線関係に近いことがわかる。このことより、平均間隙径を用いた透水係数を求める式として次式が提案される。

$$k_w = T \cdot \frac{\gamma_w}{\eta_w} \cdot R^2 \tag{7}$$

k_w : 透水係数(cm/s) T : 定数($=5.4 \times 10^{-3}$) η_w : 水の粘性係数($\text{gf} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)
 R : 平均間隙径(cm) γ_w : 水の単位体積重量(gf/cm^3)

また、透水係数、透気係数の式(5)、(6)における形状係数 C はおもに土粒子の形に起因していると思われ、SS-100による比表面積と等価なものであると解釈されることがわかった。また、形状係数 C はTable. 2に示したように粒子径をどれにとるかにによりばらつきがみられるが、式(7)を用いることにより、形状係数 C は無関係となり透水係数を求めることができる。

【参考文献】 1) 宇野・杉井・稲垣: 透水係数に及ぼす諸要因との関係, 第24回土質工学研究発表会講演集, 2の2, pp.1655~pp.1656, 1989.

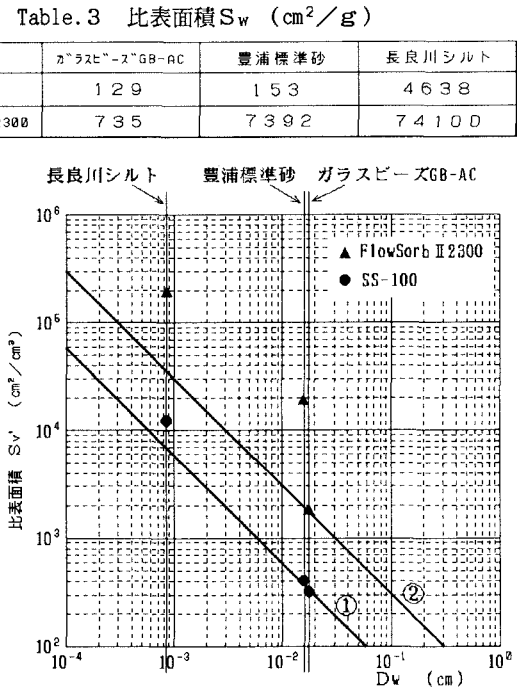


Fig. 1 比表面積 S_v' ~ 粒子径 D_w

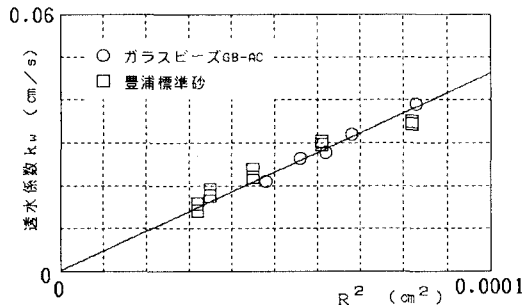


Fig. 2 透水係数 $k_w \sim R^2$