

空気圧入法による粒状材料の間隙径分布測定

岐阜大学工学部 正会員 宇野尚雄 神谷浩二
同 上 ○大堀健一

1. はじめに 飽和土試料への空気圧入により、その圧入圧力と空気透過量の関係から間隙径分布を求める方法についての検討結果をここに報告する。

2. 間隙径分布測定装置及び方法

間隙径分布測定装置概要図を図-1に示す。測定方法は、飽和試料の透気試験結果より間隙径分布を求める空気圧入法である^{1), 2)}。乾燥試料について透気試験をおこなうと、Darcy則より、空気流量 Q_a (cm^3/s)と空気圧力水頭 h_a (cm)は、図-2の①のような直線関係となる。次に、この試料を水で飽和し透気試験をおこなうと、空気圧力水頭 h_{amin} で空気が流れ始め、徐々に空気圧力を増加させていくと、空気圧力水頭 h_{amax} で乾燥試料の直線関係に平行になる図-2の②のような曲線が得られる。ところで、飽和試料中を空気が流れるには、空気圧力が毛管圧力を超え水を押し出さなければならず、間隙部分を直径 d_e (cm)の円柱管と仮定すると、毛管則より、

$$d_e = \frac{4\sigma \cos \phi}{\rho_w g h_a} \quad (1)$$

ここに、 d_e : 間隙径 (cm), ρ_w : 水密度 (g/cm^3), σ : 水の表面張力 (dyn/cm), ϕ : 接触角 (grad), g : 重力加速度 (cm/s^2)。

L. Žagarは¹⁾, $h_{amin} \sim h_{amax}$ 間において、ある空気圧力水頭 h_{ai} のときの間隙径 d_{ei} 、固有透過度 k_i (cm^2)、流れに有効な間隙率 n_{ei} (ここでは有効間隙率と称する)の関係を次式で与え、

$$k_i \left(= \frac{Q_{ai} \eta_a L}{\rho_w g (h_{ai} - h_{a0i}) A} \right) = \frac{n_{ei}}{32} d_{ei}^2 \quad (2)$$

ここに、 η_a : 空気の粘性係数 ($\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$), L : 試料高さ (cm), A : 試料断面積 (cm^2)。

式(1)より求めた間隙径 d_{ei} に対して有効間隙率 n_{ei} をプロットすることで間隙径分布を表した。

3. 測定結果及び考察

図-3は、間隙径分布測定により得られた空気流量 Q_a と空気圧力水頭 h_a の関係を示したものである。前報において²⁾、乾燥試料についてのこの関係は図-3の点線のような曲線関係が得られていた。これは、測定装置における空気圧力水頭損失を考慮していなかったためであることが判明し、その水頭損失の補正をおこなうと、原点を通る直線関係が得られた。また、図-4は、乾燥試料の透気試験結果について、Muskatの整理と同様に³⁾、レイノルズ数 R_e ($= \rho_a v_a D / \eta_a$, ρ_a は空気密度 (g/cm^3), v_a は空気流速 (cm/s), 代表粒径 D は D_w (cm)とする)と摩擦係数(friction factor) f ($= (\rho_w g h_a D) / (2L \rho_a v_a^2)$)の関係を検討したものであるが、レイノルズ数 $R_e=1 \sim 2$ の辺りで図-4の直線からずれが生

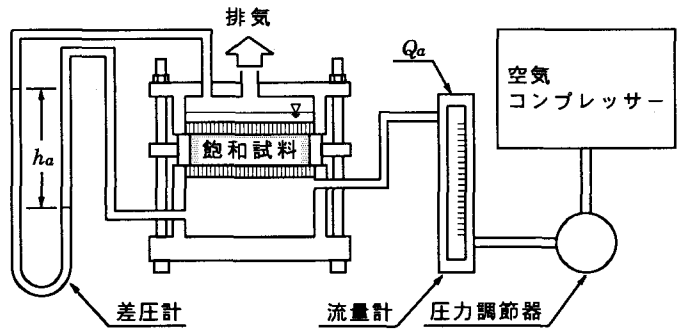


図-1 空気圧入法による間隙径分布測定装置概要図

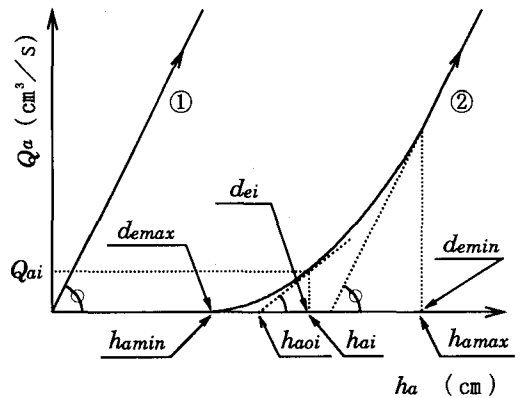


図-2 空気流量と空気圧力水頭

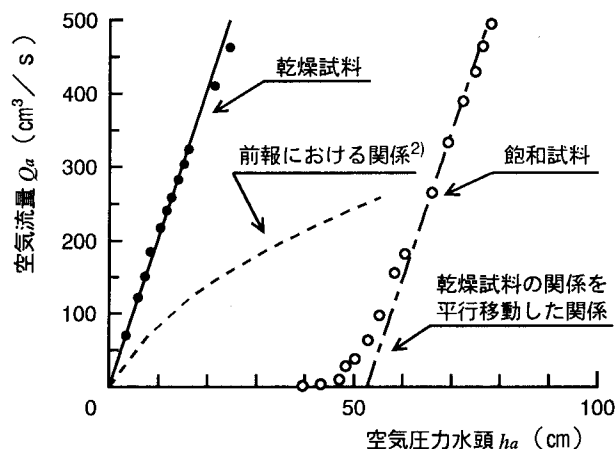


図-3 空気流量と空気圧力水頭 (GB-AC)

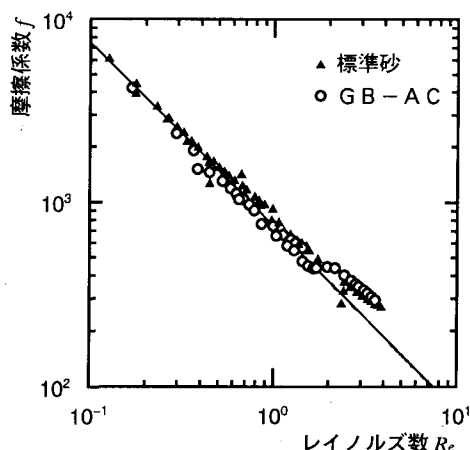


図-4 レイノルズ数と摩擦係数

じる。即ち、土の透気性についての層流・乱流の境界は、透水性と同様に、レイノルズ数にして $Re \leq 1 \sim 2$ のとき層流域であることがわかる。

次に、図-3の乾燥試料の空気流量 Q_a と空気圧力水頭 h_a の関係を横軸方向に平行移動すると、図-3の一点鎖線のように飽和試料のその関係と一致する部分が認められる。この結果より、間隙径分布を求めたものが図-5であり、式(2)より求まる有効間隙率 n_e を式(1)より求まる間隙径 d に対して示したものである。比較的均等な粒径のガラスビーズGB-AC(粒径範囲 $106 \mu\text{m} \sim 425 \mu\text{m}$)及び標準砂(粒径範囲 $425 \mu\text{m}$ 以下)では、間隙径はそれぞれ図-5の表のような範囲に位置しており比較的均等な間隙径を有している。また、空気圧入法による間隙径分布は、水銀圧入法による間隙径分布との比較により、間隙径分布として妥当なものであることが確認できている²⁾。

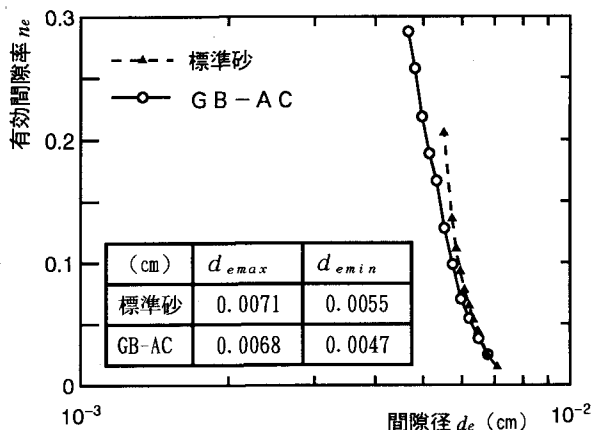


図-5 空気圧入法による間隙径分布

表-1 有効間隙率と空気間隙率

	n	n_e	n_a	n_e/n	n_e/n_a
標準砂	0.390	0.206	0.210	0.527	0.978
GB-AC	0.362	0.288	0.242	0.796	1.190

表-1は、式(2)より求まる有効間隙率 n_e と

測定後の飽和度測定より求まる空気間隙率 $n_a (=n(1-S_r))$ を対比したものである。これらはほぼ近い値を示しており、式(2)より求まる有効間隙率 n_e は、空気の流れに寄与する部分の間隙率に相当するものと考えられる。今後、データの蓄積により、有効間隙率 n_e の物理的意味をより明確にする必要がある。

4. おわりに

本報告は、空気圧入法による間隙径分布測定について検討し、①空気圧入法により妥当な間隙径分布が得られる、②有効間隙率 n_e は空気の流れに寄与する部分の間隙率であると考えられる、ことを述べた。今後、データの蓄積をおこない、飽和試料への空気圧入に伴う土構造変化などの問題について検討する必要がある。

【参考文献】 1) Ludwig Žagar: Über die Textur von feuerfesten Baustoffen, Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, pp. 264-301, 1958. 2) 宇野尚雄・杉井俊夫・神谷浩二: 飽和土への空気透過による間隙径分布測定, 第28回土質工学研究発表会講演集, pp. 2219-2220, 1993. 3) Muskat, M: The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media, pp. 69-74, 1946.