

砂質土の粒径と間隙径の関係に関する一考察

岐阜大学工学部 正会員 宇野尚雄 神谷浩二
同 上 学生会員 ○今枝真澄

1. まえがき 本報告は、砂質土の粒度と「空気圧入法」により計測した間隙径分布との実験的な関係について考察した続報である¹⁾。空気圧入法は、間隙部分はまっすぐに連続した円形毛管の集合体であるとする毛管モデルの仮定に基づいており、飽和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である²⁾。

2. 間隙径分布の計測結果 図-1は、標準砂と混合GB①(ガラス・ス)の2試料について、計測した間隙径分布(間隙径 d_e (mm))と累積間隙体積百分率 V_b (%)の関係を粒度と対比して示したものである。図-1によれば、計測した試料の均等係数が大きくなるにつれて、間隙径の分布範囲は広がる傾向にはあるが、いずれの試料についても間隙径は粒度に関係なく比較的均等な分布となる。また、間隙径は粒度の3割程度以下の範囲に分布する傾向にある。

3. 空気圧入法による間隙径 空気透過法により比表面積を求めるために用いるKozeny-Carman式を誘導する過程において、平均間隙径 d (mm)(水銀圧入法により計測した間隙径分布の平均値に相当する)と乾燥試料層の空气の透過性を表す固有透過度 k (cm^2)の関係、 d と平均粒径 D_m (mm)の関係はそれぞれ次式によって表される³⁾。

$$k = \frac{n}{80} (d/10)^2 \quad (1), \quad \frac{d}{D_m} = \frac{2}{3} e \quad (2)$$

ここに、 n ：間隙率、 e ：間隙比。

式(1)中の係数80は、 $80 = 16K = 16K_0(L_e/L)^2$ (K ：Kozeny定数(=5)、 K_0 ：間隙形状を表す係数(円形で $K_0=2$ 、正方形で $K_0=1.78$)、 L_e ：実流路長さ、 L ：試料層長さ)と書き改められ、間隙の形状やねじれを考慮した係数となる³⁾。また、式(2)のように、理論的には、平均間隙径の平均粒径に対する比と間隙比は原点を通る直線関係となる。

次に、計測した間隙径分布の平均間隙径 d_e^* (mm)及び粒度の平均粒径 D_w (mm)を次式によりそれぞれ定義する。

$$d_e^* = \frac{\sum \Delta n_{b,i}}{\sum (\Delta n_{b,i}/d_{e,i})} \quad (3), \quad D_w = \frac{\sum m_i}{\sum (m_i/D_i)} \quad (4)$$

ここに、 $\Delta n_{b,i}$ ：ある大きさの間隙径 $d_{e,i}$ (mm)を有する間隙部分の間隙率、 m_i ：ある粒径範囲を代表する平均粒径 D_i (mm)の試料質量(g)。

さて、空気圧入法により評価される間隙部分の間隙率である最大累積間隙率 $n_{b,max}$ ($=\sum \Delta n_{b,i}$)と d_e^* を用いると²⁾、固有透過度 k は実験的に次式によって表される。

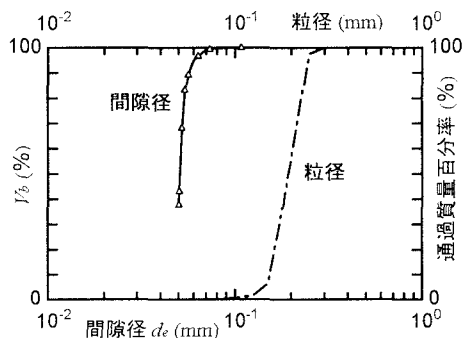


図-1(a) 粒度と間隙径分布(標準砂)

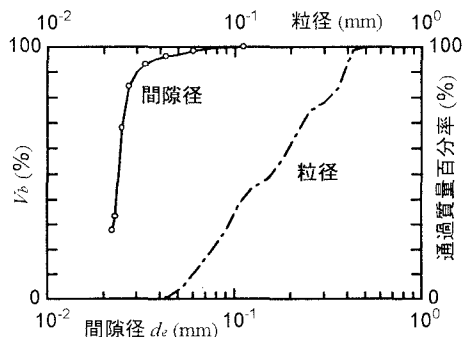


図-1(b) 粒度と間隙径分布(混合GB①)

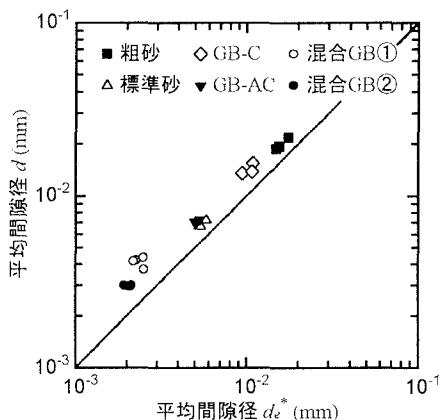


図-2 平均間隙径 d_e^* と d

$$k = \frac{n_{b,max}}{32} (d_e^*/10)^2 \quad (5)$$

式(1)と式(5)より、 d と d_e^* の関係は次のようになる。

$$d = \sqrt{\frac{80}{32} \frac{n_{b,max}}{n}} d_e^* = \sqrt{\frac{K_0}{2} \frac{L_c}{L}} \sqrt{\frac{n_{b,max}}{n}} d_e^* \quad (6)$$

図-2は d_e^* と透気試験より求めた d を、図-3は $n_{b,max}$ と n をそれぞれ比較したものであり、 d_e^* は d の7~8割程度、 $n_{b,max}$ は n の6~9割程度と小さくなる。空気圧入法では、1次元方向に空気を圧入して間隙径を求めるため、 $n_{b,max}$ と n が異なるのは、 $n_{b,max}$ が面積的な間隙率を意味しているためではないかと考えられる。また、この方法は、 $K_0=2$ 、 $L_c=L$ とする毛管モデルの仮定に基づいて間隙径を求める。故に、式(6)の関係も考慮すると、空気圧入法による d_e^* は、間隙構造を2次元的に評価しているのに対し、 d は間隙の形状やねじれなどを加味して3次元的に評価していることが考えられる。

4. 粒径と間隙径 図-4は、 d_e^*/D_m と間隙比 e の関係を示したものであり、図中の点線は、式(2)の関係を示したものである。 d_e^*/D_m の値は、間隙比の増加に伴いほぼ一定値に近づき、また、 d/D_m の値よりかなり小さくなる。 d_e^*/D_m の値と d/D_m の値のずれは、前述の3.のように、 d_e^* と d の評価の違いによるものと考えられる。しかしながら、式(2)のように、 d_e^*/D_m と e は原点を通る直線関係になるとは言い難い。図-5は、図-4の D_m を D_{20} (20%粒径)に置き換えて示したものであるが、試料及び間隙比に関係なく d_e^*/D_{20} の値はほぼ一定になり、 d_e^* と D_{20} は相関が高い。図-4において、間隙比の変化に対して d_e^*/D_m の変化は小さいこと、図示してはいないが、同一試料に対しての間隙径分布は間隙比によりほとんど差異が生じないことなどを考慮すると、間隙径は間隙比よりも D_{20} などの細粒分の粒径により左右されることが考えられる。よって、先述の図-1のように、いずれの試料についても小さな間隙径を多く有して、間隙径分布が均等になるのは、間隙比が小さいために間隙径が小さくなると解釈するのではなく、小さな粒子の存在により小さな間隙が多く形成されるためであると推察される。

5. あとがき 本報告では、砂質土の粒度と空気圧入法により計測した間隙径分布との実験的關係に基づいて、①間隙径は粒度の3割程度以下の範囲に粒度に関係なく均等に分布すること、②平均間隙径 d_e^* は、間隙の形状やねじれの影響を含み3次元的に間隙構造を評価していると考えられる平均間隙径 d より小さくなること、③間隙径は間隙比よりも D_{20} などの細粒分の粒径に影響されることを述べた。

- 【参考文献】1)宇野・神谷・松島:砂の粒度と間隙径分布の關係,平成6年度土木学会中部支部研究発表会講演集,pp.339-340,1995.
2)Uno, T., Kamiya, K.:Air Intrusion Method to Measure Sand Void Diameter, Proc. of the 10th ARC on SMFE, pp.99-102, 1995.
3)宇野・杉井・神谷:比表面積測定に基づく土粒子物性と透気性・透水性の考察,土木学会論文集, No.469, III-23, pp.25-34, 1993.

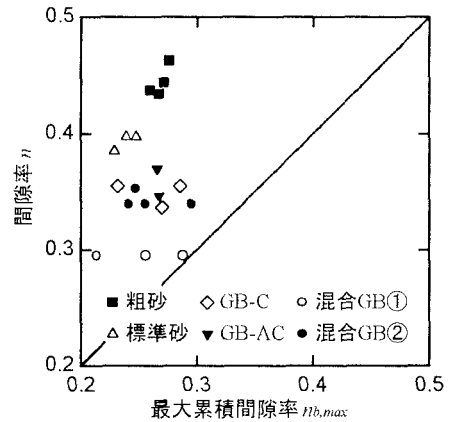


図-3 最大累積間隙率 $n_{b,max}$ と間隙率 n

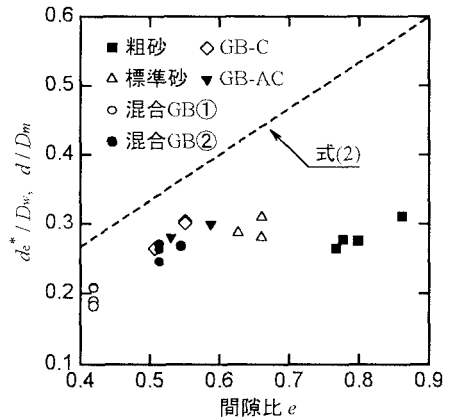


図-4 平均粒径・平均間隙径と間隙比

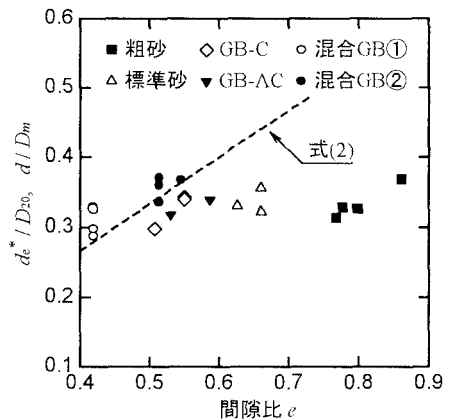


図-5 間隙径と細粒分の粒径