

III-A 267

砂質土の粒径と間隙径の実験的關係

岐阜大学大学院 学生会員 今枝真澄
 岐阜大学工学部 フェロー 宇野尚雄
 岐阜大学工学部 正会員 神谷浩二

1. はじめに 本報告は、「空気圧入法」により計測した砂の間隙径と粒径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、複雑な間隙構造をまっすぐに連続した円形毛管の集合体とする毛管モデルの仮定に基づいており、飽和砂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. 間隙径分布の計測試料および結果 間隙径分布計測に用いた試料は表-1のようであり、それら試料の粒度を図-1に示す(表および図中のGBは「ガラス」を表す)。なお、表中には、粒子密度 ρ_s (g/cm³)、次式(1)により粒度から算出する平均粒径 D_w (mm)および空気透過法により測定した比表面積 S_v (cm²/cm³)を用いて次式(2)により算出する平均粒径 D_m (mm)をそれぞれ併記した³⁾。

$$D_w = \frac{1}{\sum(P_i/D_i)} \quad (1)$$

ここに、 P_i ：各ふるい間の中間径 D_i (mm)の試料(ふるい残留試料)の質量 m_i (g)が全試料の質量 $\sum m_i$ に対して占める含有率である。なお、粒度試験に用いたふるい目の大きさは、0.850, 0.710, 0.600, 0.500, 0.425, 0.355, 0.300, 0.250, 0.212, 0.180, 0.150, 0.125, 0.106, 0.090, 0.075, 0.063, 0.053, 0.045, 0.038, 0.032(いずれも単位はmm)である。

$$D_m = \frac{6}{S_v} \cdot 10 \quad (2)$$

表-1や図-1によれば、球形粒子のGB-C、GB-AC、混合GB①、混合GB②では $D_m \approx D_w \approx D_{50}$ (50%粒径)であるが、粒子形状の角張っている粗砂、標準砂では $D_m < D_{20}$ (20%粒径) $< D_w \approx D_{50}$ である。粒子形状が球形からずれるほど比表面積が大きくなり D_m が小さくなることを考えると、粗砂、標準砂での D_m と D_w のずれは粒子形状による影響である³⁾。

図-2は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)の一例であり、粒度も併記している。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になる傾向にある。ところで、空気圧入法では、飽和試料へ空気を一次元方向に圧入し、毛管モデルの仮定に基づいて間隙径を求めていることから、複雑な間隙構造を二次元断面的に評価した間隙径分布を求めていることが考えられる。

表-1 間隙径分布計測試料

試料名称	粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	平均粒径 D_w (mm)	平均粒径 D_m (mm)
粗砂	2.676	0.567	0.378
GB-C	2.489	0.359	0.377
標準砂	2.643	0.188	0.160
GB-AC	2.496	0.178	0.186
混合GB①	2.482	0.121	0.155
混合GB②	2.480	0.0792	0.0872

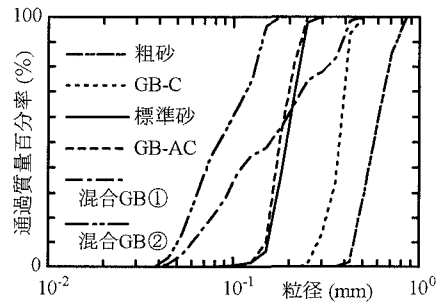


図-1 計測試料の粒度

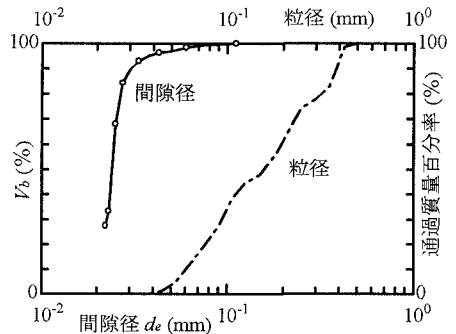


図-2 間隙径分布(混合GB①, 間隙率 $n=0.295$)

3. 粒径と間隙径の関係

(1) Kozeny-Carmanモデルによる関係

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、間隙の形状やねじれの影響を含んでいると考えられる平均間隙径 d (mm)は、比表面積 S_v と間隙比 e を用いて次の式(3)のように表され、また、式(2)と式(3)より平均粒径 D_m との関係を次式(4)（図-3の点線）のように表される³⁾。

$$d = \frac{4}{S_v} e \quad (3), \quad \frac{d}{D_m} = \frac{2}{3} e \quad (4)$$

(2) Slichter模型に基づく関係

図-4は均一球粒子が規則的に配列しているときに、相隣り合う八つの粒子の中心を通る平面で切つてつくられる菱面体であるSlichter模型を示したものである⁴⁾。この菱面体の一つの角度 α が 60° から 90° まで変化するときの間隙比 e 及び間隙径を間隙断面の最大内接円で定義した場合の粒径 D_s (mm)と間隙径 d_s (mm)の関係は、それぞれ次のように表され、

$$e = \frac{6}{\pi} (1 - \cos \alpha) \sqrt{1 + 2 \cos \alpha} - 1 \quad (5a), \quad \frac{d_s}{D_s} = \sec \left(\frac{\alpha}{2} \right) - 1 \quad (5b)$$

e と d_s/D_s の関係を示したのが図-3の一点鎖線である。

(3) 実験的關係

図-3の式(4)の関係に対して、間隙径 d を計測した間隙径分布の平均間隙径 d_e^* に置き換えてプロットして、次の実験的關係が認められた。

$$\frac{d_e^*}{D_m} = \frac{1}{2} e \quad (6)$$

式(4)と式(6)のずれは、 d_e^* と d の間隙構造(特に実際のねじれ、三次元的枝分かれ構造)の評価の違いから生じるものであると考えられる。一方、式(5)と式(6)のずれは、式(5)で内接円を間隙径として定義したことによって d_s が d_e^* より小さくなるためであると考えられる。しかしながら、 d_e^*/D_m の値は、 d/D_m と d_s/D_s の値の間に位置し、これは、式(6)の実験的關係があり得るということを主張している。

最後に、粒度から求まる平均粒径 D_w を用いて、 e と d_e^*/D_w の関係を示したのが図-5である。 d_e^*/D_w と d_e^*/D_m は、球形粒子では一致し、角張った粒子の砂ではずれが生じている。

4. おわりに

本報告では、空気圧入法により計測した砂質土の間隙径と粒径の関係について検討した結果、理論的な関係(式(4)、(5))と対比しても平均間隙径 d_e^* は平均粒径 D_m 、間隙比 e により良好な関係(式(6))で表現されることを示した。

[参考文献] 1)宇野・神谷・今枝：「空気圧入法」により計測した砂の間隙径と粒径の関係，第31回地盤工学研究発表会平成8年度講演概要集，1996(掲載予定)。 2)Uno, T. and 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。 4)最上武雄編著：土質力学，技報堂，pp913-914, 1969。

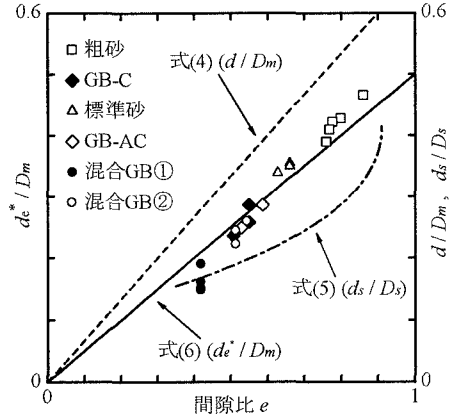


図-3 平均間隙径 d_e^* と平均粒径 D_m

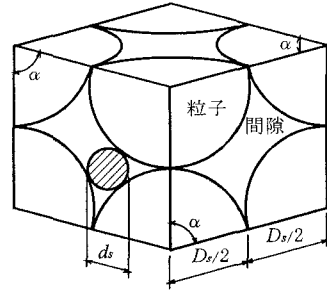


図-4 Slichter模型

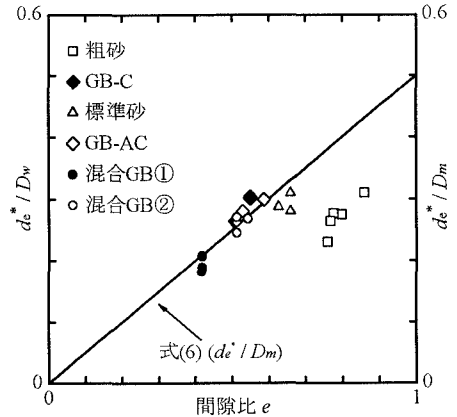


図-5 平均間隙径 d_e^* と平均粒径 D_w