

間隙径分布からみた砂質土の間隙評価

岐阜大学工学部 正会員 神谷 浩二

同 上 フェロー 宇野 尚雄

1. はじめに 本研究は、筆者らが提案した「空気圧入法」（以下、圧入法と呼ぶ）と従来の水分特性曲線から推定する「水分法」による間隙径分布の対比に基づいて^{1), 2)}、砂質土の複雑な間隙構造の評価・表現法を究明することが目的である。いずれの手法も砂質土の間隙部分をまっすぐに連続した種々の直径の円形毛管の集合体とみなす毛管モデルの仮定に基づくが、後述するように、圧入法では均等な分布になり易いのに対し、水分法ではより広い範囲の分布が得られる²⁾。本報告では、その分布差の意味を手法の原理的相違性の観点から検討し、両者の関係付けを試みるとともに、粒度分布との関係を考察する。

2. 圧入法と水分法による間隙径分布 圧入法は、水で飽和した土試料層への空気圧入により得られる圧入空気圧 h_a (cm) と試料層を通過する空気の流量 Q_a (cm³/s) の関係を用いて間隙径分布を求める方法である¹⁾。毛管モデルの仮定の基で、毛管直径としての間隙径 d_e (mm) は圧入空気圧 h_a から算出され、空気流に寄与する間隙径部分の体積量に相当する累積間隙体積百分率 V_b (%) は h_a と Q_a の関係から得られる試料層の固有透過度 k (cm²) と d_e を用いて算出され¹⁾、 d_e と V_b の関係で間隙径分布を表すことができる。

一方、水分法は、毛管モデル中を水が毛管上昇しているときの含水状態は体積含水率 θ とサクション h_p (cm) の関係で表す土の水分特性曲線に等しいとして、求められる毛管束の管径分布を土の間隙径分布とみなす方法である²⁾。間隙径 d_m (mm) はサクション h_p から算出され、間隙水を保持している間隙径部分の体積量に相当する累積間隙体積百分率 V_r (%) は $V_r = \theta / n \cdot 10^2$ (n は間隙率) で算出され²⁾、 d_m と V_r の関係で間隙径分布を表すことができる。なお、水分法では排水と浸透過程での水分特性曲線に対して2つの間隙径分布が得られるが、本報では排水過程での分布を用いる。

図-1は、圧入法と水分法による間隙径分布を対比した例を示したものであり、質量基準による粒度及び均等係数 U_c 、個数基準による粒度(質量粒度から粒子数を求めて換算したもの)をそれぞれ併せて示した。なお、図中に示した水分法による分布の一点鎖線、二点鎖線及び破線は van-Genuchten の水分特性曲線推定式に基づいた関係を示したものである^{2), 3)}。圧入法では、小さめの間隙径の部分が計測され難く、狭い間隙径範囲で頻度が高い均等な分布が得られるのに対し、水分法では、質量粒度を粒径軸方向に平行移動したような分布型のものが得られる。

圧入法と水分法による間隙径 d_e と d_m は等大であることが判明している²⁾、両手法による間隙径分布の相違は、間隙体積を表す累積間隙体積百分率としての V_b と V_r の差によるものである。先述のように、圧入法で評価する間隙体積は空気流に寄与する間隙径部分に、水分法の同じ間隙径に対する体積は三次元的空間での含水量にそれぞれ相

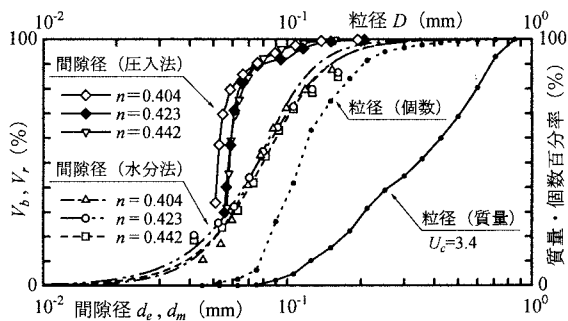


図-1(a) 間隙径分布及び粒度(混合砂B)

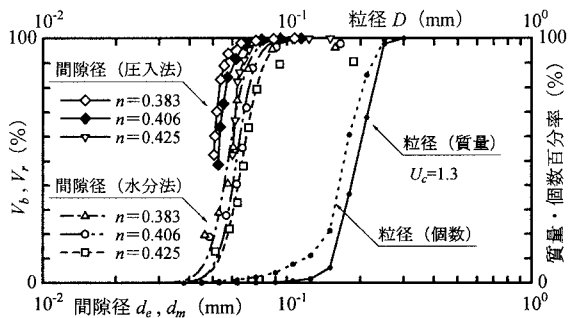


図-1(b) 間隙径分布及び粒度(標準砂)

当する。また、圧入法の妥当性は毛管モデルそのものである「毛管模型」の計測によって確認している¹⁾、両手法による分布差は、間隙が「瘤状に広がる」ことによる結果²⁾、換言すると、圧入法では、図-2のタイプ①の斜線部分のように、瘤状に広がる間隙径部分の瘤の部分が空気流に寄与し難いため計測されないことによる結果と考えられる。

3. 両手法による分布の関係付け 空気流が生じるある大きさの間隙径部分において瘤の部分を含むか否かは、その間隙径部分の周囲で隣り合う間隙径部分の大きさによって決定されると考えられる。即ち、図-2に示すようなタイプ①では、直径 d_m で微小長さ z の間隙径部分の空気流の入口側、出口側の少なくとも一方でそれ自身より小さな間隙径部分が連結するため、その間隙径部分は空気の流れに寄与し難い瘤の部分(斜線部分)を含み、タイプ②では両方で大きな間隙径部分が連結するため瘤を含まないことになる⁴⁾。

水分法による分布から図-2の瘤の部分に対する評価部分を取り除き、白抜き部分で表す間隙径部分のみの分布に修正した例を示したのが図-3であり(紙枚の都合で詳細な修正方法は省略する)⁴⁾、圧入法と水分法による分布を対比して示した。なお、水分法による分布の修正は、van-Genuchten 式に基づく分布に対して、また、圧入法で計測される間隙径範囲と同じ範囲に限って行った。圧入法による分布と修正分布は比較的合致し、その結果、先述のように、瘤状間隙が圧入法と水分法による分布差の原因の一つであることが確認される。

4. 間隙径分布と粒度 図-1によれば、質量粒度と同様な分布型をもつ水分法の分布に対して、圧入法の分布は均等な個数粒度との対応が良いようにみえる。従って、水分法の分布には質量粒度が、圧入法の分布には個数粒度がそれぞれ影響を及ぼし易いことが想像される。

一方、水分法による分布と質量粒度はほぼ同じ分布型をもつため、水分法による間隙径 d_m と質量粒度の粒径 D の間には $d_m = \beta_r D$ (β_r : 土試料による定数)の関係が成立する⁵⁾。図-4は、図-1から調べた β_r 値を均等係数 U_c に対して示したものであるが、 U_c の増加に伴い β_r 値は減少し粒径からの間隙径の差が大きくなる傾向にある。このことと、図-1の U_c が増加するほど質量粒度からの個数粒度の差が大きくなることには関係があるようにみられ、等大である両手法の間隙径の大きさには、粒径とその個数分布が大きく影響すると考えられる。

5. おわりに 本報告では、原理的に相違する圧入法と水分法による砂質土の間隙径分布を対比した結果、(1)両手法の分布差は間隙が瘤状に広がる構造的な影響を受けていること、(2)圧入法の分布は個数粒度、水分法は質量粒度とそれぞれ対応が良い特徴が両手法の分布差の解明への要因となることを得た。

【参考文献】1) 神谷ら: 「空気圧入法」による砂質土の間隙径分布の計測, 土木学会論文集, No. 541/III-35, pp. 189-198, 1996. 2) 宇野ら: 「空気圧入法」と「水分法」による砂の間隙径分布, 土木学会論文集, No. 603/III-44, pp. 35-44, 1998. 3) van-Genuchten, M. Th.: A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, *Soil Science Society of America Journal*, Vol.44, pp.892-898, 1980. 4) 神谷ら: 計測・推定に基づく砂の間隙径分布の評価, 地下水技術, Vol. 40, No. 11, pp. 43-53, 1998. 5) Haverkamp, R. et al.: Predicting the Water-Retention Curve from Particle-Size Distribution: 1. Sandy Soils without Organic Matter, *Soil Science*, Vol.142, No.6, pp.325-339, 1986.

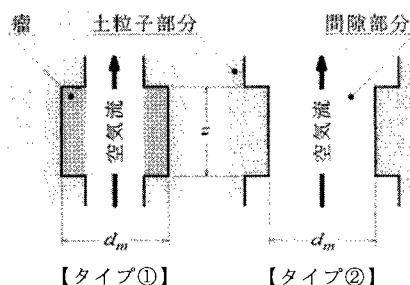


図-2 “瘤”に関する間隙モデル

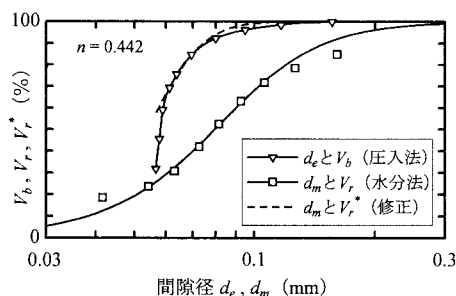


図-3 圧入法による分布と修正分布(混合砂B)

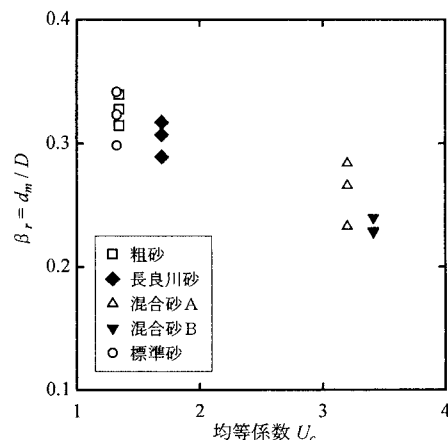


図-4 均等係数と粒径に対する間隙径の比の関係