

Ⅲ-A323

粒度と間隙径分布に基づく砂の間隙構造の考察

岐阜大学工学部 正会員 神谷 浩二
 岐阜大学工学部 フェロー 宇野 尚雄
 愛知県庁 正会員 今枝 真澄

1. はじめに 本報告は、地盤注入材の挙動に影響する複雑な間隙構造の機構解明に関する指針を見いだすために、筆者らが提案した「空気圧入法」(以下、圧入法と呼ぶ)による間隙径分布に対して¹⁾、従来の水分特性曲線から推定する「水分法」によるものを比較するとともに²⁾、粒度との関係を考察するものである。

2. 圧入法と水分法 圧入法は¹⁾、飽和土試料への空気圧入により得られる圧入圧力と試料層を通過する空気の流量の関係をを用いて、土の間隙部分を種々の直径の毛管の集合体とみなす「毛管モデル」の仮定のもとで、間隙径 d_e (mm)を圧入空気圧から、間隙体積を表す累積間隙体積百分率 V_b (%)を d_e と試料層の透気性からそれぞれ求め、 $d_e \sim V_b$ 関係で間隙径分布を表すものである。一方、水分法は²⁾、毛管モデルの仮定に基づき、土の水分特性曲線と毛管モデル中を毛管上昇しているときの含水状態が等しいとして、間隙径 d_m (mm)をサクシオンから、累積間隙体積百分率 V_r (%)を含水量からそれぞれ求め、 $d_m \sim V_r$ 関係で間隙径分布を表すものである。

図-1には圧入法と水分法による間隙径分布(水分法の一点鎖線、二点鎖線及び破線は van Genuchten の水分特性曲線推定式に基づく関係³⁾)の例を示し、質量基準の粒度(粒径 D (mm)~通過質量百分率 P_m (%)関係)と後述で質量粒度から換算する個数基準の粒度(D ~通過個数百分率 P_n (%)関係)を併せて示す。なお、水分法では水分特性曲線の排水と浸透過程でのヒステシスのため2つの間隙径分布が得られるが、空気圧入に伴う間隙水の排水現象で得られる圧入法による分布と対比するために、その類似現象である排水過程でのものを用いる。

圧入法による間隙径分布は、水分法による分布と同じ範囲内にあるものの分布範囲が狭く、また、質量粒度を粒径軸方向に平行移動したような分布型を示す水分法のものより均等な分布型となる。圧入法と水分法による間隙径 d_e と d_m は同程度のもので評価されることが判明している⁴⁾、両手法による間隙径分布のずれは、間隙体積を表現する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。

圧入法では飽和土試料への空気圧入によって空気の流れる道が形成された間隙部分を毛管モデル表現するのに対し、水分法では間隙内に三次元的に形成される水-空気界面構造を毛管表現するという原理的相違性がある。即ち、圧入法の間隙体積の評価は空気流に寄与する間隙径部分に相当し、水分法の評価は間隙の三次元的空間からの排水量に相当する。また、圧入法による分布計測値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⁾、圧入法からの水分法による分布のずれは、一次元的な毛管モデルからのずれとして「間隙がインクピン状に広くなったり狭くなったりする」毛管モデルとみなせない三次元的な間隙構造の影響による結果と判断される。

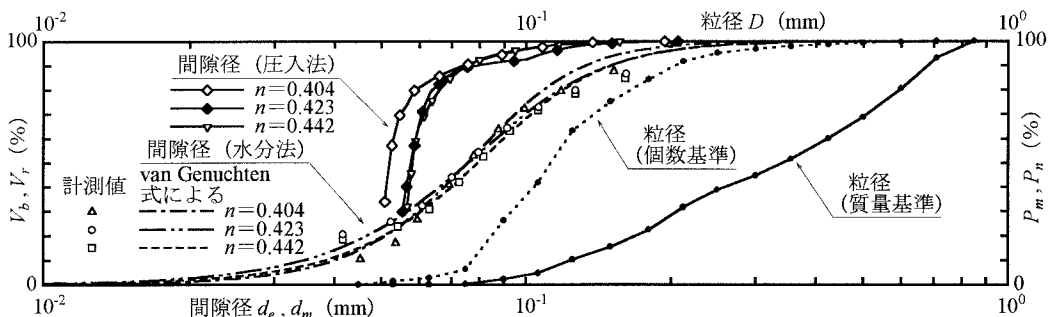


図-1 圧入法と水分法による間隙径分布、質量及び個数基準による粒度(混合砂)

間隙径分布、毛管モデル、粒度、砂質土

〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 TEL: 058-293-2421 FAX: 058-230-1891

3. 両手法の分布の関係付け Kenney らは⁵⁾、図-2

のように、フィルタ層は、間隙径 $d_p(\text{mm}) \sim p(\%)$ 関係で表す間隙径分布を有する微小厚さの多孔板が m^* 枚から成るとする仮定で、ある間隙径に等しい粒径 $D_p(\text{mm})$ を有する土粒子がフィルタ層を通過しない確率 $P(\%) = \{1 - (1 - p/10)^{m^*}\} \cdot 10^2$ を与えた。これは、間隙がインクビン状に変化するために、粒子通過は小さめの間隙径部分に依存することを表し、即ち、大きめの間隙径部分がある多孔板の間隙径分布 $d_p \sim p$ を粒子通過に支配的な小さめの間隙径部分の分布 $d_p \sim P$ に表現し直すことができる。

上記の「粒子通過」を圧入法の「空気通過」に置き換えて、 p を水分法の V_r 、 P を圧入法の V_b とみなし、「大きい間隙径部分がある水分法の分布」から「毛管で表現した圧入法の分布」に修正を試みた例を図-3 に示す。この修正により、水分法による分布は大きめの間隙径部分が現れ難くなり、 $m^*=3$ のとき圧入法による均等な分布に近づく傾向にある。

4. 粒度と間隙径分布

図-1 の個数基準の粒度は、粒度試験に用いた各ふるいの残留試料質量 $m_i(\text{g})$ と各ふるい間の中間径 $D_i(\text{mm})$ から、 D_i を有する試料の粒子数 $N_i = m_i / \{\pi/6 \rho_s (D_i/10)^3\}$ ($\rho_s(\text{g/cm}^3)$ は粒子密度) の全試料の粒子数 $\sum N_i$ に対する割合 $\Delta P_{n,i}(\%)$ を求め、その累計 P_n を求めて、 $D \sim P_n$ 関係を表したものである。なお、用いたふるいの目開きは、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(mm)である。

図-1 によれば、先述のように水分法による間隙径分布は質量粒度を平行移動したような分布型を示すのに対し、均等な分布型の圧入法によるものは小さめの粒径部分の頻度が高く均等な分布型の個数粒度との対応が良いようにみえる。個数粒度からみると、質量粒度で頻度が高くない細粒分粒径の占める割合が大きいため、その粒径を有する粒子で囲まれた間隙部分、即ち、小さめの間隙径部分が個数的には多く存在することが推測される。そのため、圧入法の空気通過には小さめの間隙径部分の体積量よりも個数的な量が影響すると考えられ、このことが、図-3 の圧入法による分布が水分法による修正分布よりも更に小さめの間隙径部分の分布頻度が高い均等な分布型を示す結果になると考えられる。

5. おわりに

本報告では、圧入法と水分法による砂の間隙径分布を対比し、粒度との関係に基づいて間隙径分布について考察した結果、個数基準粒度を平行移動したような均等な分布型の圧入法による分布と質量粒度を平行移動したような水分法の分布との関係が、三次元的な間隙構造の表現法への指針になることを得た。

【参考文献】 1) 神谷, 宇野, 松島:「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) 土壌物理研究会編: 土の物理学-土質工学の基礎-, 森北出版, pp. 199-238, 1979. 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, 宇野, 田中:「空気圧入法」と水分特性曲線手法による間隙径分布, 土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集, 第 3 部(A), pp. 474-475, 1997. 5) Kenney, T.C., Chahal, R., Chiu, E., Ofoegbu, G.I., Omange, G.N. and Ume, C.A.: Controlling Constriction Sizes of Granular Filters, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.22, pp.32-43, 1985.

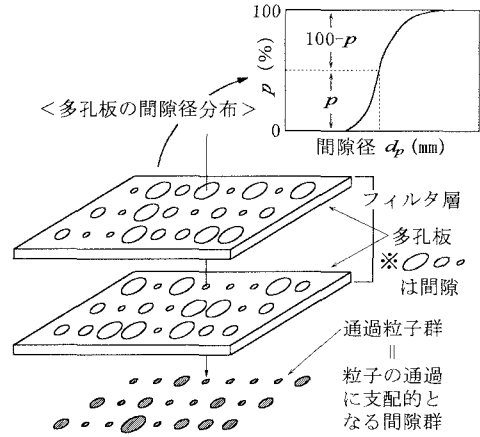


図-2 フィルタ層の粒子通過の概念⁵⁾

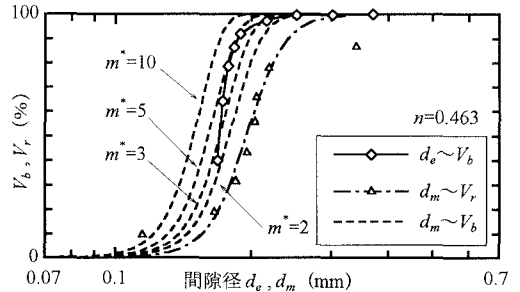


図-3(a) 水分法による間隙径分布の修正(粗砂)

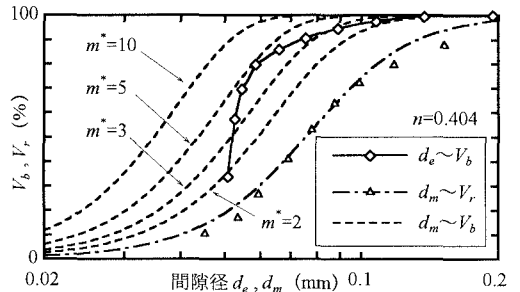


図-3(b) 水分法による間隙径分布の修正(混合砂)