

団粒構造を有する土の間隙径分布の評価

中部大学 学生会員〇方 方

中部大学 正会員 杉井 俊夫

1. まえがき

近年発生している異常な猛暑、ゲリラ豪雨などによる自然災害が地球温暖化に起因するといわれ、人口および社会資本が集中する都市部の気温上昇、浸透能の低下など、我々がそうした条件を自ら作り出していることが懸念されている。これらの問題に対して地盤工学の分野として貢献できる一つとして団粒化による地盤改良の技術がある。土を団粒構造に改良することで、透水特性（保水性、透水性）を向上させることに着目した技術である。これまで、農学分野では、作物の育成を対象とした団粒化技術や石灰など混合することによる団粒化の技術は古くから行われてきた。しかし、その団粒化による物性値は明らかにされておらず、実務中心であったといえる。本研究は、団粒化の制御による透水性の制御を目的に、団粒構造を有する土の物性値を把握するため、間隙径の分布を水分保持曲線から評価を行った。

2. 単粒構造と団粒構造

自然堆積した土や発生した土は、図 1(a)のように単粒構造を有している。ここに、僅かな水分を含むとサクシオンの発生により、図 1(b)のように団粒構造となるが、水分の増加に伴い単粒構造に戻る。本研究では、比較的安定な団粒構造を作り出すために、高分子ポリマーを添加することにより、細かい粒子がまとめられ粒子群を形成する。これにより、大きな間隙（マクロポア）形成しつつ、細かな間隙（ミクロポア）を再構成することができる。

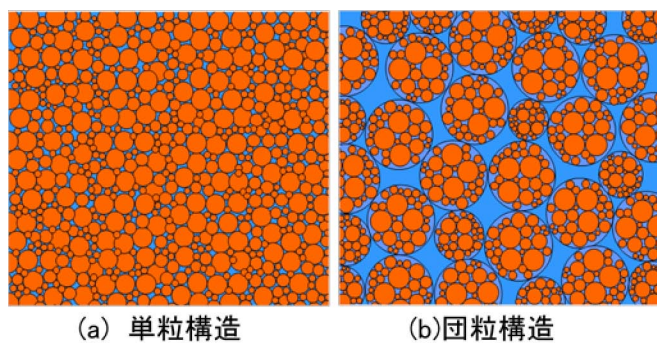


図 1 単粒構造と団粒構造

3. 団粒化された土の間隙径分布の計測

3.1 水分保持曲線から間隙径分布の算定

間隙径分布の計測法は、水銀圧入法などが一般的であるが、計測装置が高価であることや水銀を扱うこと、大きな間隙の測定の精度の問題があるため、水分保持曲線から毛管径を利用した間隙径分布の推定を行った。なお、本方法は神谷¹⁾によれば水銀圧入法の結果に近い結果を得られることが報告されている。

間隙径を一つの毛管径 d_m と考えると毛管に発生する負圧 h_p との関係は、次式のようにになる。

$$d_m = \frac{4\sigma}{\rho_w g h_p} \cdot 10 \quad (1)$$

ここに、 σ ：水の表面張力（水温 15℃で 73.48(g・cm/s²)), ρ_w ：水の密度、 g ：重力加速度である。

また、間隙径 d_m 以下に相当する累積間隙体積率 V_r は飽和度 S_r に等しいと考えることができることから間隙径分布を得ることができる。

3.2 団粒構造を有する水分保持曲線のモデル化

式(1)により間隙分布を算定することは可能であるが、負の圧力水頭（水分保持曲線）の実験データは離散的データであるために、間隙径分布を求める際に、データ間隔の違いにより結果が異なってくる。すなわち、離散的データを保管する水分保持曲線モデルが必要となる。しかし、団粒構造を有する土の水分保持曲線は図 2 に示すように通常の単粒構造の土のカーブと異なり、複数の階段状になることが得られている²⁾。そこで本研究では、一般的に用いられている van Genuchten model³⁾を改良して、団粒構造を有する水分保持曲線モデルを次式のように作成した。

$$S_r = \frac{100 - S_{r1}}{\left(1 + \alpha_2 |h_p|^{n_2}\right)^{-1/n_2}} + \frac{S_{r1} - S_{r0}}{\left(1 + \alpha_1 |h_p|^{n_1}\right)^{-1/n_1}} - S_{r1} + S_{r0} \quad (2)$$

ここに、 S_r ：飽和度、 S_{r1} ：ミクロポアによる最大飽和度、 S_{r0} ：残留飽和度、 α_1 , n_1 ：ミクロポアによる van Genuchten model のパラメーター、 α_2 , n_2 ：マクロポアによる van Genuchten model のパラメーターである。

表1 試料の諸量

	山砂のみ	セメント混合量 60kg/m ³	セメント混合 量 100kg/m ³
構造	単粒構造	団粒構造	団粒構造
間隙率 n	0.495	0.470	0.468
飽和透水係数 (cm/s)	1.08E-3	1.54E-3	3.73E-4

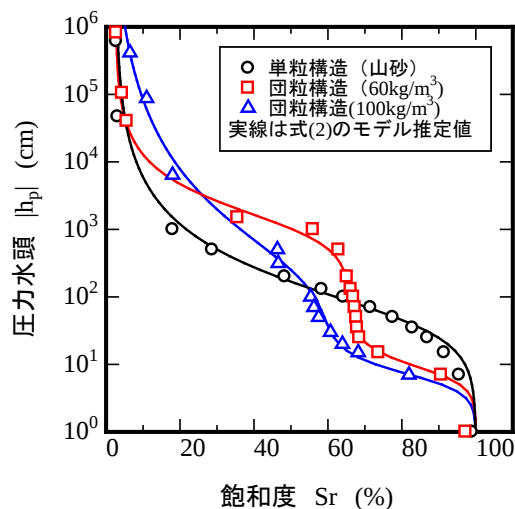


図2 単粒・団粒構造の水分保持曲線

4. 土の保水性試験

4.1 試料・試験の概要

保水性試験は表1に示す著者の杉井ら²⁾の実験結果を用いて、山砂のみ(単粒構造)、セメント固化剤60kg/m³混合と100kg/m³混合(団粒構造)の3種類とした。保水性試験には、100ml定容量モールドを用いて吸引水頭法、加圧法、サイクロメーター法の3種類で計測されている²⁾。

4.2 団粒構造を有する土の水分保持曲線

推定した結果と実験値を図2に示した。図より、今回提案した団粒構造を有する土の水分保持特性曲線をうまく表現することができることがわかる。また、60kg/m³の供試体が最も階段状の傾向が顕著に現われており、セメント混合量が増加すると間隙内に入り膨張し、間隙を塞いでしまうことが推察される。

5. 間隙径分布の推定

3つの水分保持曲線から、先の3.1に示した方法で累積間隙径分布を求めた。また、等間隔ごとの累積間隙体積率の差から間隙径体積率の分布を算出し、合わせて図3(a)-(c)に示した。

図3(a)の単粒構造の場合には間隙径0.03mm程度にピークが一つだけあるのに対して図3(b),(c)の団粒構造の場合には2つの間隙径に分かれており、マクロポ

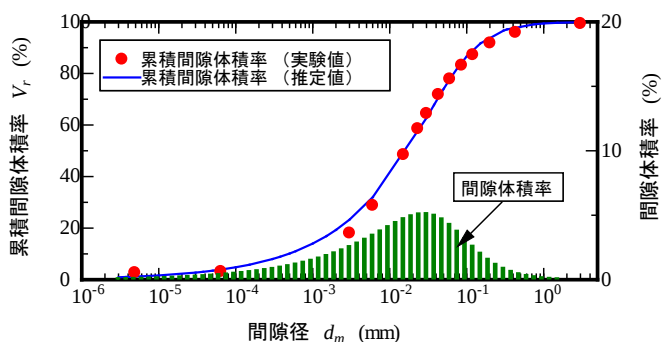
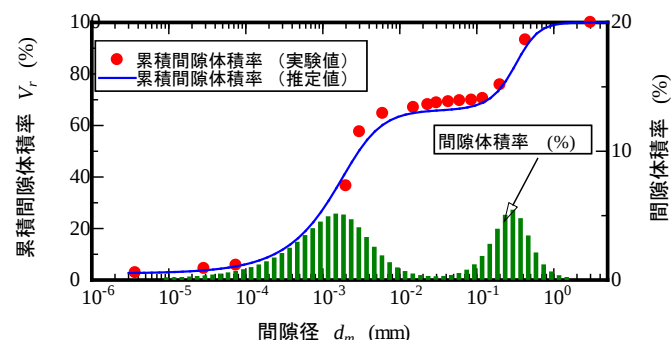
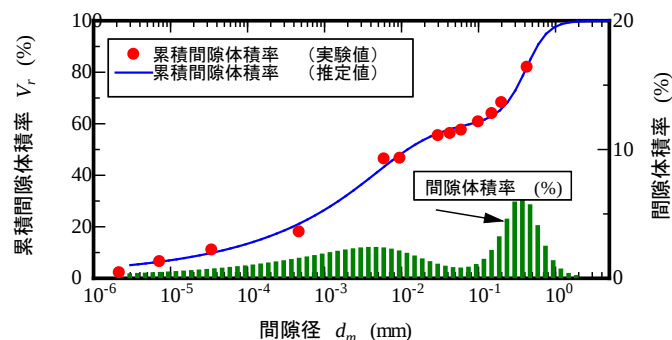


図3(a) 単粒構造(山砂のみ)の間隙径分布

図3(b) 団粒構造(60kg/m³)の間隙径分布図3(b) 団粒構造(60kg/m³)の間隙径分布

アは0.24mm程度、ミクロポアは2-5μm程度でピークが得られており、やはり、60kg/m³の供試体の方が間隙径が集中していることがわかる。

6. おわりに

団粒構造有する水分保持曲線モデル提案し、間隙径分布を評価することができた。その結果、団粒化による間隙径分布の違いが明らかとなった。なお、本研究は科学研究費(基盤B)及び中部大学特別研究費(A)の補助を受けた。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】1) 神谷浩二: 砂質土の間隙径分布の評価とその利用, 学位論文, pp.10-33, 1999. 2) 杉井俊夫・方方・鶴留修治: 団粒化構造による透水性保水型土系舗装の評価, 平成21年度土木学会中部支部研究発表会講演集, pp.241-242, 2010. 3) van Genuchten, M. Th.: A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Am. J., Vol. 44, pp.892-878, 1980