

土の間隙構造を評価するための間隙径分布の計測

中部大学 学生会員 ○末松 知奈
中部大学 正会員 杉井 俊夫

1. はじめに

土質力学では土を連続体として考えてくることが多いことから、間隙状態を示す唯一の指標は平均値の間隙率（間隙比）であった。しかし、細粒土の流出や目詰まり、団粒化現象といった場合には、間隙径の大きさや空間の分布状態が大きく影響する¹⁾。

本報告は、従来の水分特性曲線から間隙径分布を測定する方法を用いて、間隙率が同じであっても間隙径分布によって間隙構造の違いを示した結果について言及している。

2. 間隙径分布の計測の概要

(1)試験の概要 間隙径分布を測る方法には、「水銀圧入による細孔径分布計測」(ASTM(D4404-84))があるが、土塊の間隙径を測るには細部を測りすぎる問題があった。土壌物理学において従来の水分特性曲線から推定する方法を宇野ら²⁾がまとめて「水分法」と称している。今回水分特性曲線から間隙径分布の計測を行った。排水過程を測る保水性試験装置(図-1)である。供試体は定容量 100mL 容器に締めめセルロースフィルターの上に乗せたチャンバーに格納、上部からマイクロテンシオメーターを挿入、下端部は細い管を用いて排水口をもうけ、下部には電子天秤で排水量を計測する。自由排水からフィルターの A.E.V に近い 200cm 水頭まで 20step に分けて、チャンパー上部から空気圧を負荷して排水量を計測した。排水容器の水面には乾燥を防ぐため流動性パラフィンをはかべている。長時間かかるため、2 連式保水性試験装置となっている。

得られた保水性試験結果を用いて排水過程の水分特性曲線を van Genuchten model よってパラメータを安田らの方法³⁾によって同定した。式(2)のように毛管径(間隙径)と毛管上昇高の関係から、式(1)に代入することで累積間隙体積率 V_r を求める。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(1 + |ah_p|^{n^*}\right)^{(1-n^*)/n^*} \quad (1)$$

ここに、 Se : 有効飽和度, θ : 体積含水率, θ_s : 飽和体積含水率, θ_r : 最小含水量, α , n^* : VG パラメータ である。

$$h_p = \frac{4\sigma}{\rho_w g d_m} \quad (2) \quad Vr = \left[1 + \left(\alpha \frac{4\sigma}{\rho_w g d_m} \cdot 10\right)^{n^*}\right]^{-1 + \frac{1}{n^*}} \quad (3)$$

ここに、 h_p : 負の間隙水圧, ρ_w : 水の密度(g/cm³), g : 重力加速度(cm/s²), σ : 水の表面張力(73.46 dyne/cm)である

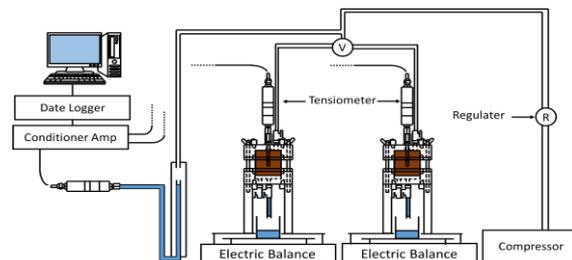


図-1 2 連式保水性試験装置

(2)「水分法」で得られる間隙径分布 水分法で得られる間隙径分布は何を示しているか。排水過程での毛管上昇高は管径に形成されるメニスカスで平衡する負の圧力水頭であり、土中の細かい間隙径部分に対する圧力水頭と考えることができる(図-2)。

図-3 には、豊浦砂(均等径試料)の粒度分布、「水分法」による間隙径分布、「水銀圧入法」による間隙径分布を示す。「水分法」の結果は、神谷らが指摘するように粒度分布と形状が類似しており、約 0.25 倍となる。また、Kenney らの粒状フィルター材の内部安定

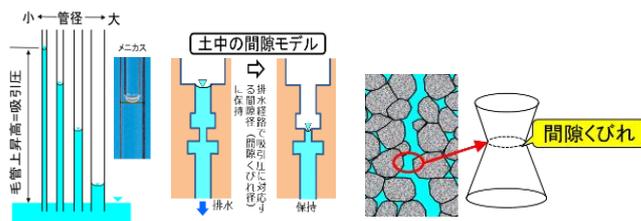


図-2 毛管上昇と間隙

図-4 間隙くびれ径

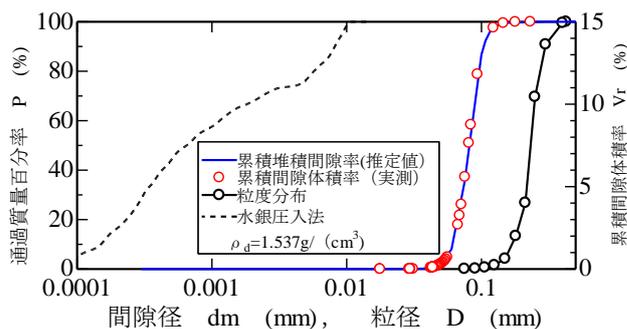


図-3 豊浦砂の粒度と間隙径分布

性指標に用いる間隙くびれ径⁴⁾(図-4)は粒径の1/4倍と「水分法」による間隙径分布は一致⁵⁾し、間隙くびれ径分布を表すものと考えることができる。

3. 間隙構造の比較

土の締固め曲線上にある同一の乾燥密度に対して、2つの透水係数や強度定数が得られることが知られている。間隙構造が土粒子の配向によるとテキストには記されているが具体的に評価された報告はない。そこで、本研究では初期含水比を変え、同一エネルギーで締固めた2試料について間隙径分布を計測した。図-5には用いた山砂の粒度分布を、図-6にはJIS A 1210のAa法と同じエネルギー550kJ/m³で得られた締固め曲線を示す。今回は、乾燥側の含水比9.4%(試料D)と湿潤側の12.6%(試料W)で締固めを行い、どちらも乾燥密度1.940g/cm³(間隙率26.7%)となった。図-6にも2つの試料の点を示す。2連式保水性試験機を用いて間隙径分布を上述したように求めた結果を図-7に示す。また、粒度分布から得られる均等係数、曲率係数を間隙径分布に対して同様に定義して、図中に記した。

$$U_{CP} = \frac{D_{60P}}{D_{10P}} \quad (4) \quad U'_{CP} = \frac{(D_{30P})^2}{D_{10P} \times D_{60P}} \quad (5)$$

$D_{10P}, D_{20P}, D_{60P}$: 累積間隙体積割合 10%, 30%, 60%相当径

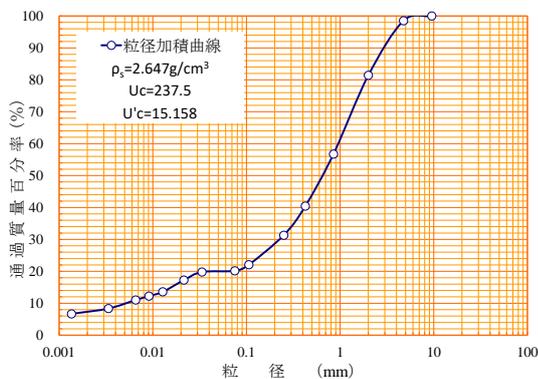


図-5 山砂試料の粒度分布

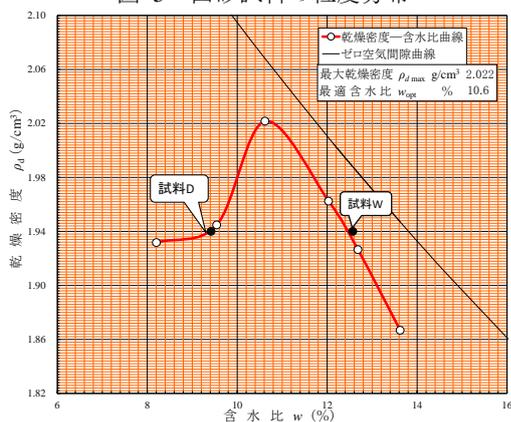


図-6 締固め曲線と試料Dと試料W

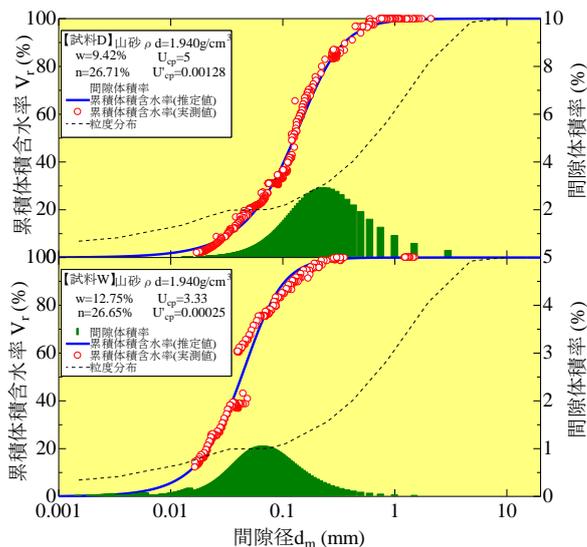


図-7 間隙率が等しい2つの間隙径分布

図-7から試料Dの間隙の均等係数 U_{cp} が大きく、間隙径分布の範囲も広いことや大きい間隙径が存在することもわかる。このことから乾燥側で締め固めた試料Dの方が同じ間隙率でも間隙径が大きく透水性が高くなることが推察できる。以上の結果から、締固め時の水分量が少ないと土粒子同士がサクションにより結合し、団粒化構造となりやすい。そのままの状態で締め固めることで大きな間隙径が残ることが推察できる。逆に、水分量が多いと飽和度が高いためサクションが小さく、団粒化せずに単粒構造のまま締め固めることで均質な間隙径が残り、均等径の砂のように粒度分布の形状と類似したものと推察された。

4. おわりに

今回山砂を使用し、同じ間隙率でも間隙構造が異なることを実験的に示した。締固め時の含水比が配向性によるものとされていたが、団粒化によるものと考えられるなど、多くの知見がえられた。今後、データの蓄積及び構造の観察を行っていく。

【参考文献】

- 1) 杉井・山田・方・馬: 団粒化した土の物性と舗装技術への適用, 総合工学, 第25巻, pp.39-46, 2012.
- 2) 宇野・神谷・田中: 「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, 35-44, 1998.
- 3) 安田ら: ゼオライト混入による砂丘砂の水分保持特性の変化, 鳥大農研報, 48, pp.28-29, 1995.
- 4) Kenney ら: Internal Stability of Granular Filters: Reply. Canadian Geotechnical Journal, 23, 1986, pp.420-423
- 5) 杉井・長瀬・末松・小竹: 浸透破壊における内部浸食の発生メカニズムと評価法, 第5回河川堤防技術シンポジウム論文集, pp.9-12, 2017.