

水分法を用いた土の間隙構造の評価

(一財)ベターリビング 正会員 ○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 今回、水分特性曲線から間隙径分布を求める「水分法」で間隙構造の情報を得るために保水性試験を行った。そのために使用した装置は排水過程を測る保水性試験装置（図-1）である。水分特性曲線とは、土の保水特性を示しており、体積含水率は水分量、サクションは吸い上げる力を表している。間隙くびれ³⁾にある水を吸い上げるときに吸引圧が同じとき、くびれが細いほど上の方まで水があがり、その原理を生かして水分特性曲線を求めている。

供試体は直径 5cm 高さ 5cm の円筒の容器に締固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全体の重さの減少量から排水量を計算する。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、チャンバー上部から空気圧を負荷して排水量を計測した。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⁴⁾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。

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

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。

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

ここに、 h_p ：負の間隙水圧、 ρ_w ：水の密度(g/cm^3)、 g ：重力加速度(cm/s^2)、 σ ：水の表面張力($73.46 \text{ dyne}/\text{cm}$)である。

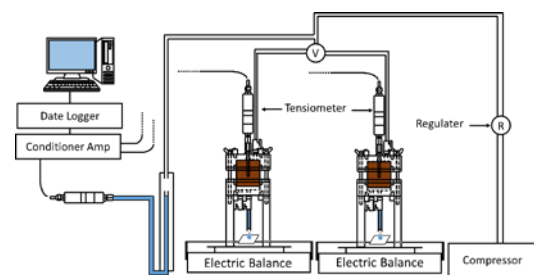


図-1 2連式保水性試験装置

(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）。

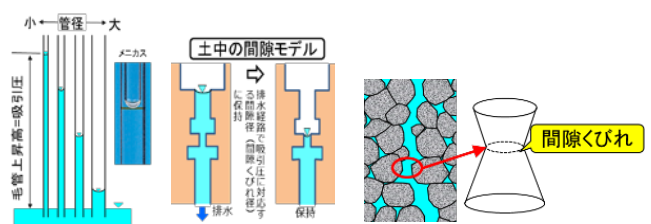


図-2 毛管上昇と間隙

図-3 間隙くびれ³⁾

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試料について保水性試験を

行い、間隙径分布を計測した。最大粒径 50mm の山砂を使用した。図-4 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。

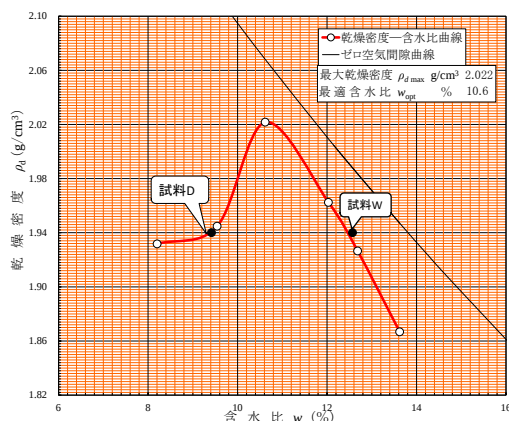


図-4 締固め曲線と試料 D と試料 W

(1)保水性 前に述べた試料を用いて保水性試験を行った結果を図-5 に示す。サクシオンが 10cm までは、試料 D 試料 W 共に直線であるが、10cm を過ぎたあたりから、試料 D が左に緩やかにカーブしていることがわかる。これは、強い圧力をかけた際に、多くの水が一気に排水されているためであると考えられ、試料 D の方が大きい間隙が存在していると考えられる。

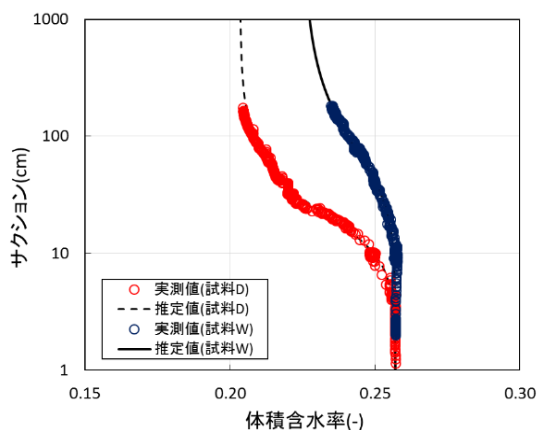


図-5 水分特性曲線

(2)構造 図-4 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-6 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

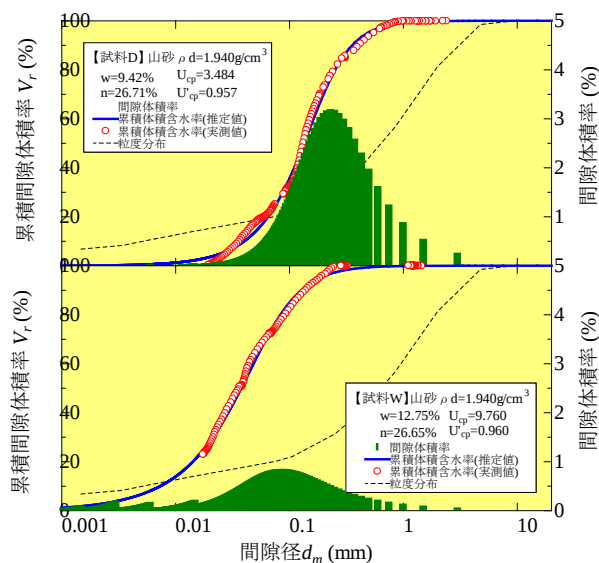


図-6 間隙率が等しい 2 つの間隙径分布

図-6 から試料 W より試料 D の方が間隙の均等係数 U_{CP} 、曲率係数 U'_{CP} 共に小さく、間隙径分布の範囲も狭いことがわかる。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数は少なくとも大きい間隙径が分布しているため、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オンにより結合し、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オンが小さく、締固め時に液状化に近い現象により、均質な間隙径が残ると考えられる。

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が明らかになった。今まで間隙状態を示す指標は間隙率のみであったが、今後は間隙構造も考慮していくべきであると考えられる。また、これらの結果は細粒土の流出や目詰まりなどの研究に役立っていくと推測される。

【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，pp39-46，2012。
- 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) Kenney ら：Internal Stability of Granular Filters: Reply. Canadian Geotechnical Journal, 23, 1986, pp. 420-423
- 4) 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，pp28-29，1995。