

土粒子が造る間隙くびれ径分布の評価に関する研究

中部大学 学生会員 ○浅野 貴也
 中部大学 正会員 杉井 俊夫

1. はじめに

今までの土質力学では間隙を表す指標は間隙比と間隙率だけであった。これらは平均値しか表しておらず、詳しい間隙の状態を表すことはできない。しかし、細粒分流出や内部侵食現象には間隙の分布状態が大きく影響している。間隙の構造状態を評価するには、間隙径分布を求める必要があると考える。本研究では、水分特性曲線から間隙径分布を求める「水分法」をもとに検証を行った。

2. Kenney らの間隙くびれ径

Kenney らは実験により、粒状材料が形成する「間隙くびれ径(図 1)」を求め、安定指標を提案している。間隙くびれ径の中で最も大きいものを D_c と定義し、その大きさは構成する粒子径の 0.25 倍であると実験から求められている。この D_c を用い、対象とする粒径を D 、粒径 $4D \sim D$ の含有量を H 、粒径 D 以下の含有量を F とおく(図 2)と、Kenney らが提案した安定指標は「 $H/F \geq 1$ 」が安定、「 $H/F < 1$ 」が不安定となっている。しかし、この指標だと粒径が広い土ほど不安定になるため、土質工学的考え方と矛盾する。これは Kenney らの実験の試料が、均等係数 U_c が 12 以下で最も密な状態であったことが影響すると考える。そこで、粒径が広い砂を用いて検証を行った。

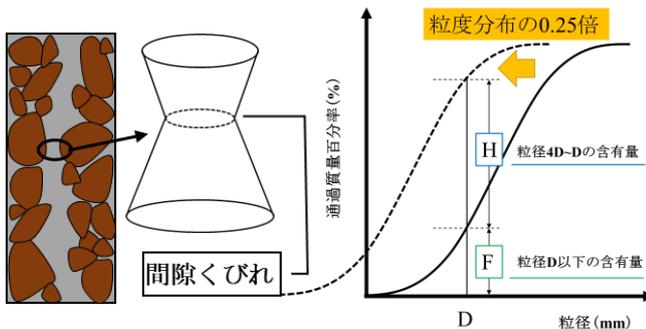


図 1 Kenney の間隙くびれ径 (繋がっている間隙の中で最も細くなっている径)¹⁾ 図 2 H と F の定義²⁾³⁾

3. 保水性試験

保水性試験とは水分特性曲線を求めるための試験である。試験装置は図 3 に示すように 2 連式で、主に供試体を格納して加圧するチャンバーの他、電子天秤、テンシオメータ、空気圧センサー、コンプレッサー、パソコン等からなる加圧型装置である。供試体用モールドは、体積変化を外から確認できるように透明の亚克力を使用している。

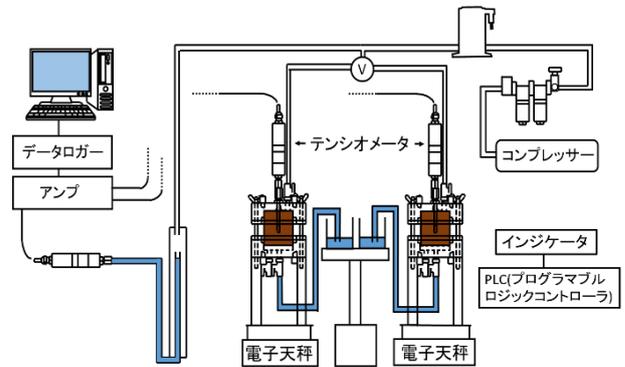


図 3 2 連式保水性試験装置全体図

4. 水分特性曲線

水分特性曲線とは、土の保水特性を示しており、横軸の体積含水率 θ は水分量、縦軸のサクシオン水頭 h_p は吸い上げる力を表す⁴⁾。図 4 に示すのが今回求めた水分特性曲線である。飽和体積含水率から、各時間の供試体内の水分量を求め、その体積を V_w 、供試体全体の体積を V として算出し、各時間における式 (1) で表される体積含水率 θ を求めた。また、空気圧センサーで求めた間隙空気圧 u_a とテンシオメータで計測された間隙水圧 u_w からサクシオン水頭 h_p を式 (2) で求めた。

$$\theta = \frac{V_w}{V} \quad (1) \quad h_p = |u_a - u_w| \quad (2)$$

ここに、 θ : 体積含水率(-)、 V_w : 供試体内の水の体積(cm^3)、 V : 供試体の体積(cm^3)、 h_p : サクシオン水頭(cm)、 u_a : 間隙空気圧(cm 水頭)、 u_w : 間隙水圧(cm 水頭) である。

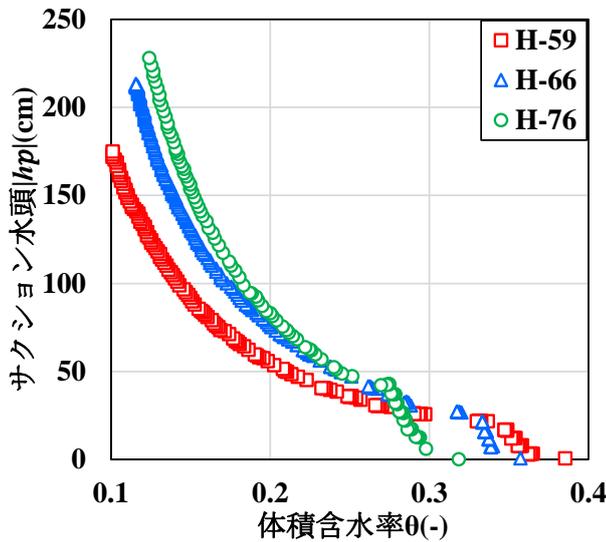


図4 水分特性曲線

表1 試験ケース

ケース	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	相対密度 D_r (%)	ケース	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	相対密度 D_r (%)
H-59	1.59	63.1	H-71	1.71	83.1
H-66	1.66	75.2	H-76	1.76	90.7
H-69	1.69	80			

使用した試料は、東野小学校のグラウンドの砂である。粒度試験の結果から均等係数 $U_c=23.3$ であったため、粒径が広い土であるといえる。試料の締めめ方として、突砂法と振動法を組み合わせ、乾燥密度 ρ_d を変え、表 1 に示す 5 ケースの試験を行った。また、ケース名の H は東野小グラウンドの砂を、ハイフン後の数字は乾燥密度の小数点以下を表している。

5. 水分特性曲線を用いた間隙径分布の推定

間隙径分布の推定には、管径が細かいほど毛管上昇が高くなることを利用している。図 5 に示す間隙径分布は、横軸にサクシヨン水頭 h_p を式(3)より変換した間隙径 d_m (mm)を、縦軸に体積含水率 θ を式(4)より変換した累積間隙体積率 V_r (%)を使用している。

$$d_m = \frac{4\sigma}{\rho_w g h_p} \quad (3) \quad V_r = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \times 100 \quad (4)$$

ここに、 d_m : 間隙径(mm)、 h_p : サクシヨン水頭(cm)、 ρ_w : 水の密度(g/cm³)、 g : 重力加速度(cm/s²)、 σ : 水の表面張力(73.46dyne/cm)、 V_r : 累積間隙体積率(%)、 θ : 体積含水率(-)、 θ_r : 残留体積含水率(-)、 θ_s : 飽和体積含水率(-) である。

図 5 より、間隙径分布と粒度分布の形状が似ていることが分かる。このことから、粒度分布の 50%粒径の大きさに対する、間隙径分布の 50%間隙径の比を間隙粒径比 ζ として定義することとした。図 6 に示すのは、東野小グラウンドの砂と豊浦砂の比較である。

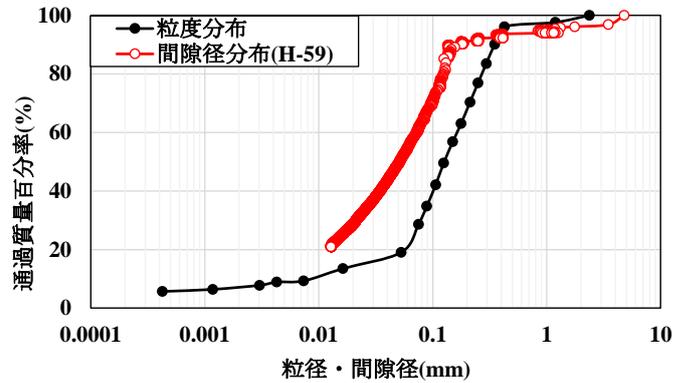


図5 粒度分布と間隙径分布(東野小)

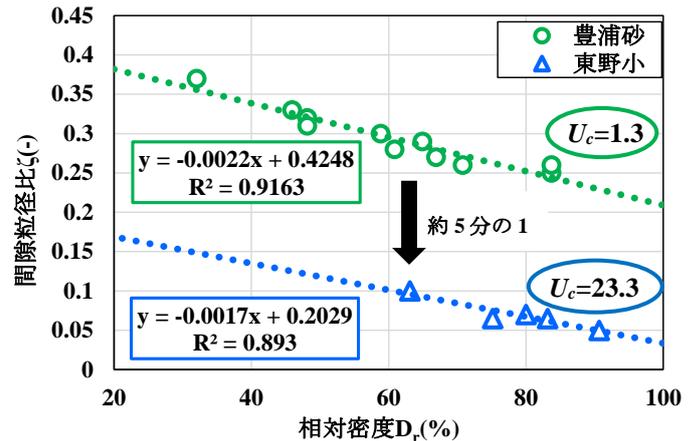


図6 間隙粒径比 ζ と相対密度 D_r の関係

6 おわりに

今回の結果から、粒径が広い砂でも水分特性曲線から間隙径分布の推定ができた。図 6 より東野小グラウンドの砂と豊浦砂の傾きがほぼ同じになることが分かった。そこから、均等係数が大きくなると間隙粒径比、間隙くびれ径が小さくなる。つまり、Kenney らが示す粒子径の 0.25 倍より小さい値になることがわかった。今後の予定としては、単粒構造と団粒構造の間隙径分布の違いを検討していく。

参考文献

- 1) 杉井俊夫・朱 発瑜・末松知奈：有効応力から「粒子有効力」へ、間隙率から「間隙径分布」へ、地盤工学会誌, Vol.66, No.7, pp14~17, 2018
- 2) 杉井俊夫・余川弘至・小竹亮太・安達 良：内部浸食を対象とした Kenney らの粒度安定指標への間隙率の導入, 中部地盤工学シンポジウム論文集, pp.97~100, 2016.
- 3) Kenney, T.C. and Lau, D : Internal Stability of Granular Filter: Reply. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22, pp.215-222, 1985.
- 4) 杉井俊夫・川部らら：水分特性曲線を用いた砂の間隙構造の評価, 地盤工学会誌, Vol.67, No.9, pp.12~15, 2019.