

ミニディスクインフィルトロメーターを用いた透水試験の細粒分による影響に関する研究

九州大学 学生会員 垣迫智志

九州大学大学院 正 アデル・アロウィシー, F 安福規之, 正 石藏良平

1 はじめに

近年の豪雨の頻発により様々な地盤災害が増えている。通常、地盤に関する災害時の調査に透水係数が指標の一つとして用いられている。透水試験には様々な手法があるが、災害現場での使用には携帯性など厳しいデメリットがあるものが多い。そういった中で必要水分量が少ない、軽量であるといったメリットがあるミニディスクインフィルトロメーター(METER 社、以降 MDI と称す)に本研究は着目した。MDI は通常水平地盤に設置して計測するが、地盤状態による測定結果への影響が分かっていない。このような現状から妹尾⁽²⁾は自然な土で細粒分があるまき土と細粒分がない珪砂 4 号の二つの試料に対して、初期飽和度に着目して MDI の計測を行っている。ここでは、既往の成果を踏まえ、細粒分に着目して MDI によって得られる透水係数の特性を分析し、その成果をまとめた。

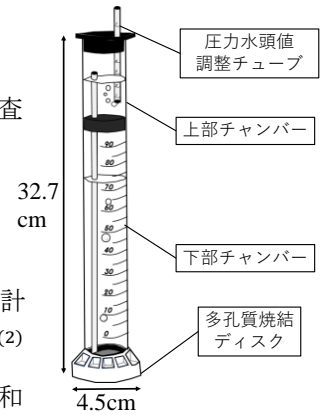


図 1 MDI の図

2 MDI の概要

MDI は水を入れ圧力水頭値調整チューブでサクシオンを調整し、水平地盤に垂直に設置してディスクから地盤表層へ水を浸透させる。そして水の浸透量と時間の関係を測定することで飽和透水係数を算出する。この透水係数の算出に使われる理論として 2 種類存在する。

①Zhang の理論 (METER 社推奨)

Zhang は 1 つのサクシオンにおけるディスクからの浸透量を以下の式で表せるとした。

$$I = C_1\sqrt{t} + C_2 t \quad k_s = \frac{C_2}{A}$$

ここで I : 累積浸透(cm) t : 時間(s)

C₁, C₂ : 吸水率、透水係数に関連するパラメータ (cm/s^{1/2}), (cm/s)

k_s : 現場飽和透水係数(cm/s)

A : 土の水分特性とディスク半径, 圧力水頭値を関連づける値

②Reynolds and Elrick の理論

Reynolds と Elrick は経験的に MDI から水が浸透する定常流量と装置で設定できるサクシオンとの関係が直線で表せるものとして以下の式で表した。

$$\ln Q_s = \alpha \Psi_0 + \ln \left[\left(\frac{a}{G_d \alpha} + \pi a^2 \right) K_{fs} \right]$$

ここで Q_s : 定常流量(ml/s) α : 土の特性に関わるパラメータ (cm⁻¹, 直線式中の傾きとなる)

a : ディスク半径(cm) G_d : ディスクに関わる定数 K_{fs} : 現場飽和透水係数(cm/s)

この直線の関係を用いて実際には異なる 2 点のサクシオン(Ψ₁, Ψ₂)と定常流量(Q₁, Q₂)を計測することで、直線の傾きと切片から飽和透水係数を算出できる。

3 試験の概要

本研究では表 1 のような特性を持つ 3 つの試料を混ぜ、細粒分の比率を 0,10,20,50%に調整した試料を用いて実験を行った。図 2 に混合土と原土の粒度分布曲線を示す。供試体は 1 辺 12.7cm の立方体の試験装置に、乾燥密度が ρ_dそれぞれ 1.469, 1.443, 1.434, 1.392g/cm³となるように 1 層 2cm(最上層のみ 2.7cm)の 6 層で締め固めを行った。

表 1 実験土の特性

	珪砂6号	珪砂8号	珪砂9号
土粒子密度 ρ _s (g/cm ³)	1.469	1.389	1.386
最大間隙比e _{max}	1.068	1.259	1.399
最小間隙比e _{min}	0.673	0.725	0.748
均等係数U _c	1.457	2.018	6.389
曲率係数U _{c'}	0.441	0.994	3.355

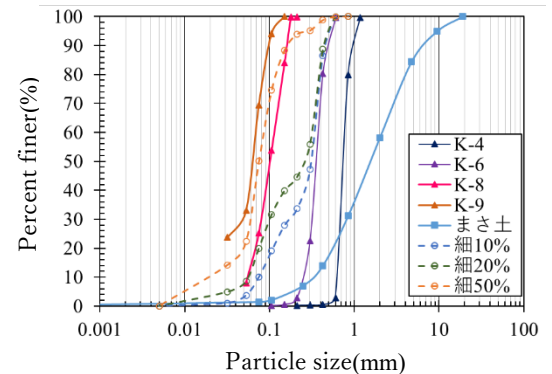


図 2 試料の粒度分布

上記の4種類の土に対し初期飽和度 Sr による影響を調べるために、初期飽和度 Sr を 0,10,40,70%の状態 で MDI の圧力水頭値 h_0 を -6,-4cm に設定し計測を行った。

4 試験結果と考察

図3は細粒分を調整した4パターンの土に対して、サクシオン-4cm と-6cm を両端に、その2つの平均値を中央の点として初期飽和度ごとに Zhang の理論を用いて計算した透水係数をプロットしたものである。細粒分の比率が0%の場合、妹尾の研究結果と同様に初期飽和度が大きくなったとしても算出される透水係数に変化が見られなかった。その一方で細粒分の比率が10~50%の場合、初期飽和度が大きくなるほど透水係数が小さく評価されていった。

また図4は各飽和度の時の透水係数 k_n を Sr=10%の時の透水係数 k_{10} で除した値 k_n/k_{10} を縦軸に取ったもので基準点からの透水係数の変化の減少率を表したものである。妹尾の研究で Sr=10~30%の時の透水係数が精度良く定水位透水試験の値と近い結果となっているため k_{10} を基準としている。細粒分が含まれている場合は初期飽和度が増加するほど減少率が大きくなっていることがわかる。

5 Zhang の方法と Reynolds and Elrick の方法との精度比較

図5は Zhang の方法、図6は Reynolds and Elrick の方法で求めた透水係数を初期飽和度ごとにプロットしたもので点線は定水位透水試験の結果、直線は Sr=10%以降の点の平均値を表している。

Reynolds and Elrick の方法は $(\Psi_1, \Psi_2) = (-6,-1), (-6,-4), (-4,-1)$ (cm) の3パターン行っている。

Reynolds and Elrick の方法でも Sr=0%の時はいずれの試料も結果のばらつきが大きく精度が悪くなった。そのため乾燥度は避け表層に水を加えてから実験をした方が良い。また (Ψ_1, Ψ_2) の取り方の3パターンで出た値でもばらついている。そのため少なくとも (Ψ_1, Ψ_2) を2パターン以上取り平均化することが望ましい。しかし Sr=10~40%の場合、Reynolds and Elrick の方法の方がより定水位透水試験の値と近く (Ψ_1, Ψ_2) の取り方によっても結果のばらつきが小さかった。

6 結論

MDI の計測において、試料に細粒分が含まれる場合に初期飽和度が大きくなるほど透水係数が小さく評価される。また細粒分の比率が大きいほどその減少率も大きくなる。

Sr=0%の場合、細粒分の比率または算出方法によらず透水係数にばらつきが生じる。また Sr が 0%より大きい場合、Zhang の方法よりも Reynolds and Elrick の方法の方が標準試験の結果と近い値が算出できる。そして Sr=10~30%においては最も標準試験の値と近く MDI の計測に適した初期飽和度であり Zhang の方法でも Reynolds and Elrick の方法でも精度よく計測することができる。

【参考文献】

- 1) Alowaisy, A., Yasufuku, N., Ishikura, R., Hatakeyama, M., Kyono, S., 2020. Continuous pressurization method for a rapid determination of the soil water characteristics curve for remolded and undisturbed cohesionless soils. Soils and Foundations, 66(3): 634-647
- (2) 妹尾俊一, アデル・アロウィシー, 安福規之, 石蔵良平: ミニディスクインフィルトメーターを用いた斜面における現場飽和透水試験の最適化に関する検討
- (3) W.D.Reynolds, D.E.Elrick, 1991. Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL, 55(3): 633-639

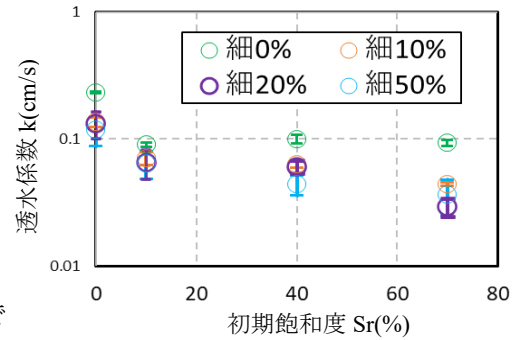


図3 細粒分調整土の初期飽和度別の透水係数

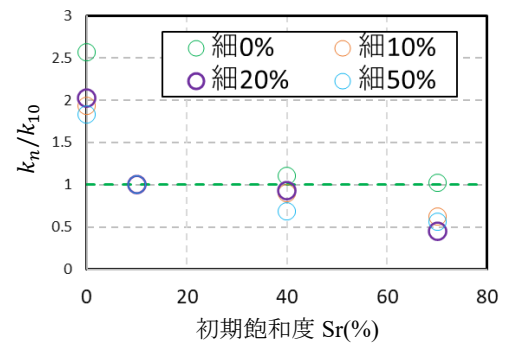


図4 細粒分調整の透水係数の減少率

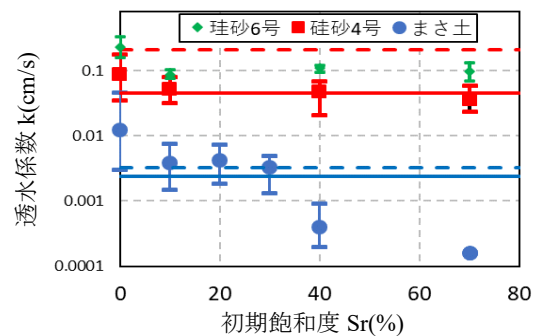


図5 初期飽和度別の透水係数(Zhang の方法)

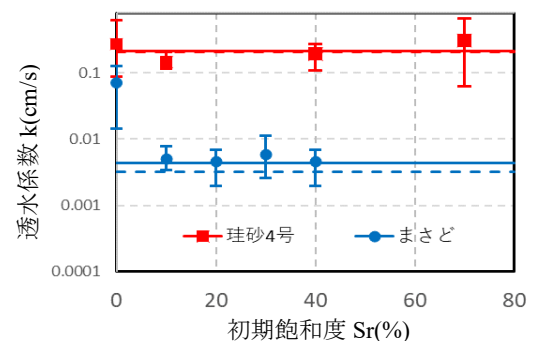


図6 初期飽和度別の透水係数(R. and E.の方法)