

インフィルトロメータによる斜面上での透水試験の最適化に関する検討

九州大学 学 ○妹尾俊一

九州大学大学院 正 アデル・アロウイシー F 安福規之 正 石藏良平

1. はじめに

近年気候変動の影響により大雨の発生回数が増加しており、それに伴って表層崩壊などの災害が発生している。そういった災害現場等では透水係数の測定が行われているが、試験孔や使用水分量の多さから、費用が高額になることや測定時間が長くなること、さらに現場によっては測定が困難な状況も考えられる。そこで本研究では現場をほとんど攪乱せず、従来の装置に比べて軽量、必要な水分量も少ない(135ml)という特徴があるミニディスクインフィルトロメータ(METER社、以降インフィルトロメータと称す)に着目する。しかし、インフィルトロメータは水平面に対しての利用が想定されているのに対し、多くの現場は傾斜しているという課題がある。また天候等による対象地盤の初期条件の影響も十分に明らかにされていない。そこで本研究では、インフィルトロメータでの測定結果に与える 1)圧力水頭値の影響、2)地表面の測定時における初期飽和度の影響、3)斜面傾斜の影響を明らかにし、算出式の修正の提案を目指す。

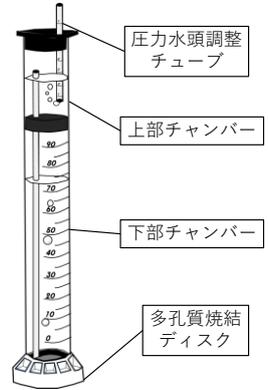


図1 インフィルトロメータ

2. インフィルトロメータによる現場飽和透水係数の測定

インフィルトロメータは図1に示す上下のチャンバーに水を入れ、圧力水頭調整チューブで負圧の調整を行う。例えば、水平面に対して垂直に置くことで下部にある多孔質焼結ディスクから水分が地盤に浸透していく仕組みになっており、その時間と地盤に浸透した水分量を測定する。METER社のマニュアルには、これらの関係から透水係数を求める理論として Zhang(1997)によって考案された方法が用いられており、時間と累積浸透の関係、さらに現場飽和透水係数を次式で示すことができると提案されている。

$$I = C_1\sqrt{t} + C_2t \quad (1) \quad k_{fs} = \frac{C_2}{A} \quad (2)$$

ここに I : 累積浸透(cm), t : 時間(s),

C_1, C_2 : 吸水率、透水係数に関連するパラメータ($cm/s^{1/2}$), (cm/s)

k_{fs} : 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

$$\text{ただし } A = \frac{11.65(n^{0.1}-1)\exp[2.92(n-1.9)ah_0]}{(ar_0)^{0.91}} \quad (n \geq 1.9) \quad A = \frac{11.65(n^{0.1}-1)\exp[7.5(n-1.9)ah_0]}{(ar_0)^{0.91}} \quad (n < 1.9) \quad (3)$$

ここに n, α : van Genuchten パラメータ(n : 細孔径分布, α : AEV の逆数), h_0 : 圧力水頭値, r_0 : ディスク半径

3. 試験の概要

3-1 供試体の作成条件

本研究では、試料としてまさ土と硅砂4号を利用した。まさ土と硅砂4号の特性に関しては事前の試験により表1のような結果を得ている。透水係数は定水位透水試験、van Genuchten パラメータは連続加圧式保水性試験^{1),2)}から得ている。供試体はまさ土が $\rho_d=1.515(g/cm^3)$ 、硅砂4号が $\rho_d=1.544(g/cm^3)$ として、地盤工学会の透水試験における規定に従い直径、高さが最大粒径の10倍以上になるように設計された試験装置(図2)を用いて直径18(cm)、高さ10(cm)で5層の締め固めを行った。飽和度の調整は、乾燥土に対して水を加えることで含水比を調整した土を締め固めることで行う。

表1 実験土の特性

		まさ土	硅砂4号
土粒子密度 $\rho_s(g/cm^3)$		2.642	2.651
透水係数 $k_s(cm/s)$		3.20×10^{-3}	1.18×10^{-1}
排水過程	細孔径分布 n	1.745	
	AEVの逆数 $\alpha(cm^{-1})$	0.045	
吸水過程	細孔径分布 n	1.616	
	AEVの逆数 $\alpha(cm^{-1})$	0.054	

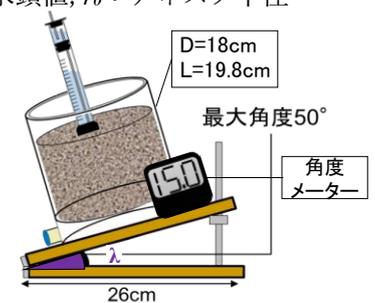


図2 試験装置の概略

3-2 試験条件

まず天候等による初期条件の試験結果への影響を調べるために圧力水頭値、初期飽和度が試験結果に与える影響を検討する。まさ土の場合は、圧力水頭値を $h_0 = -1, -4, -6(\text{cmH}_2\text{O})$ に設定し、それぞれ初期飽和度 $S_r = 0, 10, 20, 30, 40, 70(\%)$ での現場飽和透水係数を測定する。また珪砂 4 号の場合は、初期飽和度 $S_r = 0, 10, 40, 70(\%)$ での現場飽和透水係数を測定する。

次に斜面での試験として、供試体を傾斜させ、表層に垂直にインフィルトロメータを置くことで試験結果に与える影響を調べ、その後式の修正を行う。角度 λ に関してはまさ土の場合は $\lambda = 0, 15, 20, 30, 45(^{\circ})$ 、珪砂 4 号の場合は $\lambda = 0, 15, 20, 30(^{\circ})$ とした。

4. 試験の結果と考察

図 3, 4 に初期条件ごとの透水係数の結果を示す。まさ土の場合、初期飽和度 0% の場合はばらつきが大きくなり、特に小さい圧力水頭値をかけた場合には定水位透水試験の結果から大きく離れている。また初期飽和度が 10~30% の範囲では圧力水頭値に関わらず、ある程度の精度で透水係数を測定できているが、40% を超えると透水係数の結果が定水位透水試験の結果から大きく離れていることが分かる。それに対し、珪砂 4 号の場合は初期飽和度による試験結果の変化が小さかった。さらに、表 2 は同一圧力水頭値における試験時間を表しており、まさ土の場合は初期飽和度 40% を超えると測定時間が非常に長期化しているが、珪砂 4 号の場合はほとんど変化がないことが分かる。これらの結果から、現場でインフィルトロメータを用いるときは、特に透水性が低い地盤であると考えられる場合、現場が乾燥状態であれば高い圧力水頭値での測定、または適度に地盤を湿潤させることで精度の良い測定を行うことができる。また降雨直後の測定には向かず、一定の時間を置く必要があるということが出来る。

次に図 5, 6 には角度ごとの透水係数の結果を示す。初期条件は上記の試験より初期飽和度 10% とした。まさ土、珪砂 4 号ともに角度が大きくなるにつれて透水係数の値は小さく評価されていることが分かる。式の修正に関しては、 $A' = A(1 - \sin\lambda)$ と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 A を修正することを検討している。修正により図 7 のように角度に関係なくほとんど一定の値を示すことができていると考える。

5. まとめ

本研究を通じて、透水性が低い地盤では、初期飽和度が結果に影響を与えることが分かった。さらにそういった場合の測定方法について提案を行った。また角度に応じて透水係数が過小に評価されていることを確認し、式の修正による斜面での利用を検討した。今後は試料の種類を増やすことによる妥当性の検証を行っていきたい。

【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) 畠山正則・京野修・川原孝洋：連続加圧方式による保水性試験装置の開発，応用地質技術年報 No.34, pp.23~54, 2015

【謝辞】

本研究は九州大学地盤工学研究室技術協力スタッフの中島通夫氏より装置作成を賜り、実施された。

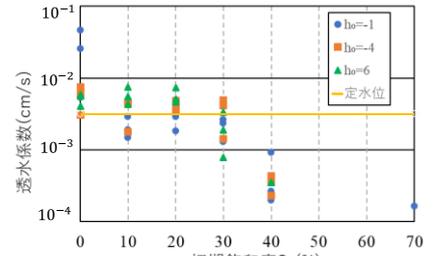


図 3 初期条件ごとの透水係数(まさ土)

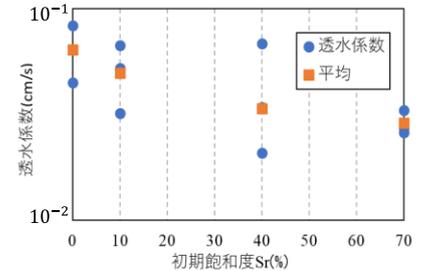


図 4 初期飽和度ごとの透水係数(K4)

表 2 初期飽和度ごとの測定時間

初期飽和度 $S_r(\%)$		0	10	20	30	40	70
平均測定時間(分)	まさ土	0.8	2.5	2.8	3.9	13.5	151.4
	珪砂 4 号	0.5	0.6	/	/	0.8	1.1

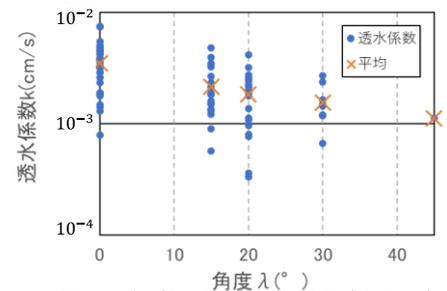


図 5 角度ごとの透水係数(まさ土)

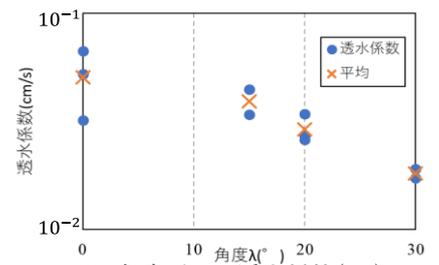


図 6 角度ごとの透水係数(K4)

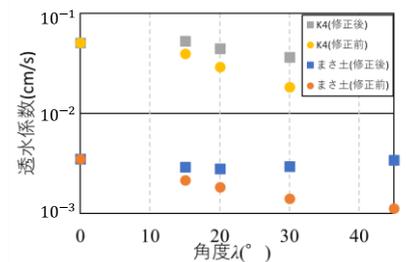


図 7 式の修正前後の平均透水係数