

携帯型ミニディスクインフィルトロメーターを用いた崩壊地周辺の現地透水係数の把握事例

株式会社ダイヤコンサルタント ○高橋 良輔
 兵庫県森林林業技術センター 藤堂 千景
 株式会社ダイヤコンサルタント 鏡原 聖史・岡崎 敬佑
 伊東 陽希・日比野 共希

1. はじめに

近年増加している降雨に起因する斜面崩壊は、降雨による土壌内の飽和度上昇が誘因となっている。地盤内の経時的な飽和度変化を把握するためには透水係数の把握が不可欠である。透水試験は一般的に原位置試験もしくは室内試験によって求められる。しかしこれらの方法は、場所によっては計測装置が大きい、試料採取が困難などのデメリットがある。そこで、より簡易的に現地で透水係数が測定可能な携帯型ミニディスクインフィルトロメーター (METER 社製) を用いて現地における現場飽和と透水係数を把握した。

2. 調査概要

調査地は兵庫県神戸市北区有野町唐櫃にある崩壊地である。調査地の地質は六甲花崗岩で表層部分はマサ化している。崩壊地は幅 8m、深さ 1.0m 程度、H26 年豪雨時に崩れた崩壊地で、崩壊面はブルーシートで保護を行っている。周辺には複数崩壊地が確認できており、植生はアカマツが主体の林分である。崩壊地内および周辺では、簡易動的コーン貫入試験、室内土質試験 (物理、透水、強度) ①、植生調査、トレンチ調査等を実施している。

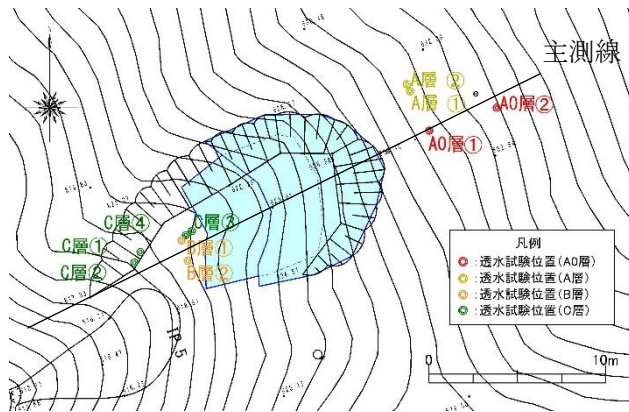


図 1 調査箇所位置図

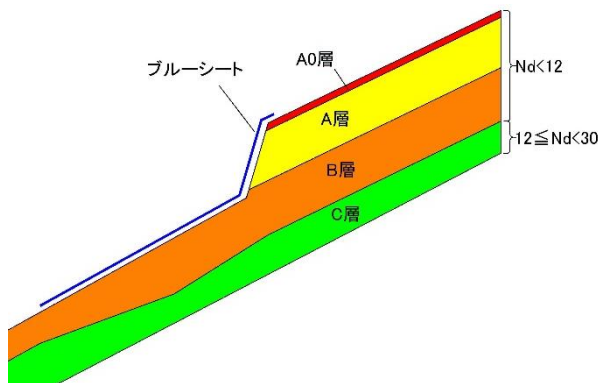


図 2 主測線モデル模式図

この調査地で、携帯型ミニディスクインフィルトロ

メーターによる簡易的な原位置透水試験の有用性を検証し、現場飽和と透水係数を把握する目的で、原位置透水試験を実施した。原位置透水試験は、A0層 (腐植土層)、A層 (根系侵入層)、B層 (根系未侵入の崩壊土層)、C層 (簡易動的コーン貫入試験で $12 \leq Nd < 30$ の層) の 4層で実施した。図 2 に主測線モデル模式図を示す。

3. ミニディスクインフィルトロメーター概要

図 3 にミニディスクインフィルトロメーターの概要を示す。これは、全長 32.7cm、直径 3.1cm の円筒型の透水試験機で、一回の計測で使用する水量が 135mL と少量で従来の現場透水試験に比べコンパクトな試験機となっている。

この試験機は圧力水頭を制御する上部チャンバーと、地表面に浸透する水が入っている下部チャンバーの二層で構成されている。上部チャンバーで圧力水頭を調整し、下部チャンバー内の水が土壌内に浸透する速度を計測することで土壌の透水性を評価するものである。

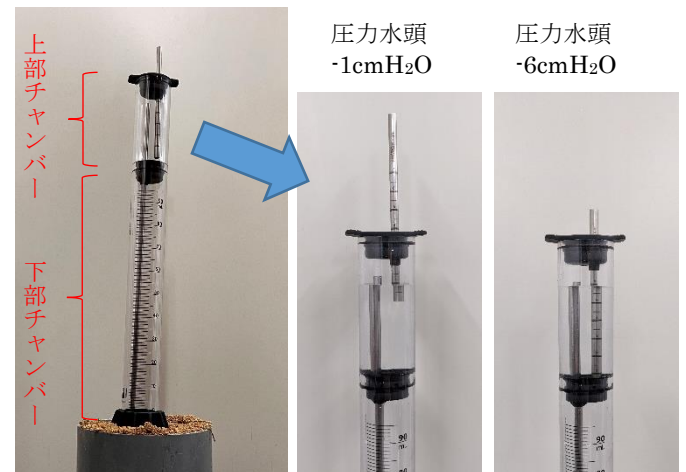


図 3 ミニディスクインフィルトロメーター

透水係数の評価手法はいくつか提案されているが、今回は小川ら ②を参考に Reynolds and Elrick の提案した方法 ③で現場飽和と透水係数を計算した。この方法は、現場飽和と透水係数と流量には以下の関係式が成り立つとしている。

$$\log_e \left(\frac{Q}{t} \right) = ah + \log_e \left\{ \left(\pi R^2 + \frac{4R}{a} \right) \cdot k_{fs} \right\} \quad (1)$$

ここに、 Q : 定常流量 [cm³/s]、 a : パラメータ係数、 h : 圧力水頭 [cmH₂O]、 R : ディスク半径、 k_{fs} : 現場飽和透水係数 [cm/s]

ここで、(1)式は図 4 に示す圧力水頭 h と $\log_e(Q/t)$ の一次式として表すことができる。また、 $h=0$ とすると、現場飽和と透水係数 k_{fs} は(2)式で表すことができる。

$$k_{fs} = \frac{\exp\{\log_e(Q/t)\}}{\pi R^2 + 4R/a} \quad (2)$$

このため、圧力水頭 h を変えて Q - t 関係を把握できれば現場飽和透水係数 k_{fs} を得られる。小川ら²⁾は、インフィルトロメーターの圧力水頭値を最低 3 回変えて計測する必要がある、としている。

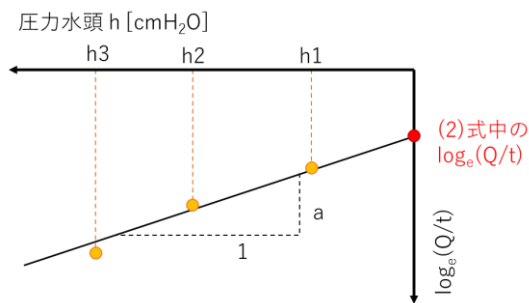


図 4 h - $\log_e(Q/t)$ 関係図

ここで得られる透水係数は現場飽和透水係数とよばれる。これは、不飽和地盤を降雨等により湿潤させた場合、浸透過程では完全な飽和状態にはならないことから、高飽和度領域における透水係数を示す。現場飽和透水係数は一般的な透水係数よりも低い値をとり²⁾、実斜面での降雨時の浸透挙動を考慮すると、現場飽和透水係数の方が現実に即した透水性を表していると考えられる。

4. 試験結果および考察

原位置透水試験で得られた現場飽和透水係数を表 1 に示す。なお試験は 2022 年 2 月に実施した。試験は、層ごとに最低 2 箇所以上実施した。透水係数は腐植土層と根系侵入層が 10^{-6} ~ 10^{-5} m/s 程度、崩壊土層および C 層は 10^{-5} m/s、層ごとの平均的な現場飽和透水係数はいずれも 10^{-5} m/s 程度のオーダーという結果となった。

表 1 原位置透水試験結果

番号	試験位置	位置区分	a	$\log_e(Q/t)$	現場飽和透水係数 (m/s)	土層ごと平均透水係数 (m/s)
1	腐植土層①	A0	0.852	-4.481	4.28E-06	1.85E-05
2	腐植土層③	A0	0.417	-2.099	3.27E-05	
3	根系進入層①	A	1.475	-2.845	2.64E-05	1.65E-05
4	根系進入層②	A	1.201	-4.165	6.64E-06	
5	崩壊土層①	B	0.912	-2.933	2.06E-05	2.77E-05
6	崩壊土層②	B	0.501	-2.147	3.48E-05	
7	強風化岩層①	C	0.374	-1.939	3.60E-05	4.35E-05
8	強風化岩層②	C	0.407	-1.921	3.85E-05	
9	強風化岩層③	C	0.950	-1.944	5.64E-05	
10	強風化岩層④	C	1.470	-2.356	4.30E-05	

また、崩壊地滑落崖および近隣の崩壊地で行った室内土質試験の結果を表 2 に示す。本調査地の地盤材料の分類は粘性土混じり礫質砂 (SG-Cs) で、周辺の崩壊地も基質は砂で粘性土や礫が混じっている。また、室内透水試験では、透水係数が 10^{-5} ~ 10^{-4} m/s 程度のオーダーを示している。

原位置透水試験、室内透水試験の結果を比較すると、原位置試験による透水係数の方が低い結果となった。これは、前述した一般的な飽和透水係数と現場飽和透水係数の関係を表していると考えられる。

図 5 に一般的な材料別の透水係数⁴⁾を示す。室内試験から得られた透水係数は砂および礫に分類される範

囲、原位置試験から得られた透水係数はシルト~砂および礫の範囲を示す。地盤材料の分類と一般的な透水係数から、原位置試験の計測結果は整合的といえる。

表 2 室内土質試験結果

場所	崩壊地滑落崖	近隣崩壊地①	近隣崩壊地②	近隣崩壊地③	
一般	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.414	1.426	1.705	1.593
	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.266	1.273	1.494	1.438
	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.616	2.612	2.616	2.632
	自然含水比 w(%)	11.7	12	14.1	10.8
	間隙比 e(%)	1.066	0.98	0.763	0.833
	飽和度 Sr(%)	28.7	21.6	50.7	34.1
	最大粒径 mm	26.5	9.5	19	9.5
	D50 mm	1.7	1.5	0.73	1.4
D20 mm	0.51	0.55	0.022	0.6	
分類	地盤材料の分類名	粘性土まじり礫質砂	分級された礫質砂	粘性土質礫質砂	粘性土まじり礫質砂
	分類記号	SG-Cs	SPG	SCsG	SG-Cs
透水係数	k_{15} (m/s)	1.01X10⁻⁴	2.57X10⁻⁴	1.68X10⁻⁵	9.9×10⁻⁵

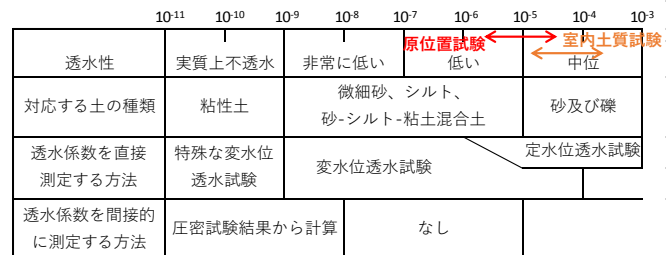


図 5 材料別の一般的な透水係数

5. おわりに

小型現場透水試験機のミニディスクインフィルトロメーターを用いて、簡易的な原位置透水試験を実施した。その結果から現場飽和透水係数を求め、室内試験結果と同程度~やや低い透水係数が得られた。これは、現場飽和状態における透水係数を示している可能性があり、室内透水試験に比べ、より現実的な降雨時の透水係数を表している可能性が示唆される。

今後、試験データをさらに蓄積し、現場飽和透水係数の精度向上、室内透水試験との関係性の把握をしたい。

謝辞: 本報告をまとめるに当たり、神戸市有野厚生農協組合、兵庫県森林林業技術センターの関係各位にご協力いただいた。ここに記して、厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 鏡原ら: 崩壊地に設置した被覆工の雨水浸透防止効果、Kansai Geo-Symposium2020、pp.221-226、2020
- 2) 小川ら: 携帯型ミニディスクインフィルトロメータによる現場透水係数の推定に関する一考察、第 10 回土砂災害に関するシンポジウム論文集、pp.97-102、2020
- 3) Reynolds, W.D. and Elrick, D.E.: Determination of Hydraulic Conductivity from the Disk Infiltrometer, Soil Sci. Soc. Am. j. Vol55, pp.633~639, 1991
- 4) 地盤材料試験の方法と解説、社団法人地盤工学会、2009、p.450