

山地小流域における面的な土壌透水性分布の測定と解析

京都大学大学院農学研究科 ○岩尾健司 柳井鴻太郎 正岡直也 小杉賢一郎

1. 研究の背景と目的

近年、豪雨災害の激甚化に伴い、より高精度な斜面崩壊発生予測が求められている。そのためには降雨時における土層内の飽和帯形成に支配的な影響を及ぼす、土壌の透水性や保水性の分布を把握することが重要である。これらは地形との相関性があるといわれる一方で、空間的な不均質性がきわめて高く、分布特性を明らかにするには流域全体で面的かつ高密度な測定を行う必要がある。しかしながら、土壌サンプルを採取して透水性等を測定する従来の手法では、時間的・経済的コストが過大となること、斜面の攪乱・破壊によってその後の検証が不可能になることから、流域全体の測定が行われた事例はなかった。そこで本研究では、非破壊的な原位置測定法の一つであるゲルフパーミアメータ法を改良し小型化して用いることで、流域全体の基岩面上の透水性分布を明らかにし、その分布傾向や地形との関係を解明することを目的とした。

2. 調査地と手法

2.1 調査地

観測は滋賀県甲賀市の信楽水文試験地 B 流域で行った。流域の地質は丹波層群付加体堆積岩であり、年平均気温は 12.6 °C、年平均降水量は 1534.6 mm、流域面積は 2820 m² である。

2.2 透水性の測定

透水性の測定にはゲルフパーミアメータ法（GP 法）を用いた。GP 法は地中に孔を開け、孔内の水位が 5~10 cm で一定となるように注水し、土壌への浸透流量から飽和透水係数を算出する方法である[1]。本研究では土壌貫入試験の孔を利用できるように、細径(外径 18 mm)の塩ビ管を用いて装置を自作した。流域内に設けた 56 の測点のうち水浸透がみられた 55 点で基岩面上の飽和透水係数を測定した。また、基岩面が常に飽和している谷部分の土層井戸 6 地点で、ボーリング孔を利用したスラグ試験による現場透水試験によって透水性を測定した[2]。加えて、流域の航空レーザー測量データ、土壌貫入試験及び地表踏査の結果を用いて解析を行った。

2.3 数値シミュレーション

透水性分布の違いが降雨浸透過程に及ぼす影響を検討するために、三次元数値シミュレーションモデル（KENIC-3D）を用いて計算を行った。計算では土

表 1 浸透計算パラメータ

	Ks (cm/sec)	θ _s	θ _r	ψ _m (cm)	σ
表層	1.09E-01	0.7324	0.3164	-14.69	2.26894
中層	1.55E-02	0.6380	0.3330	-39.00	2.26894
下層	Case1 実測分布	Ks より算出			2.26894
	Case2 平均値一律				2.26894
	Case3 対数正規分布乱数				2.26894

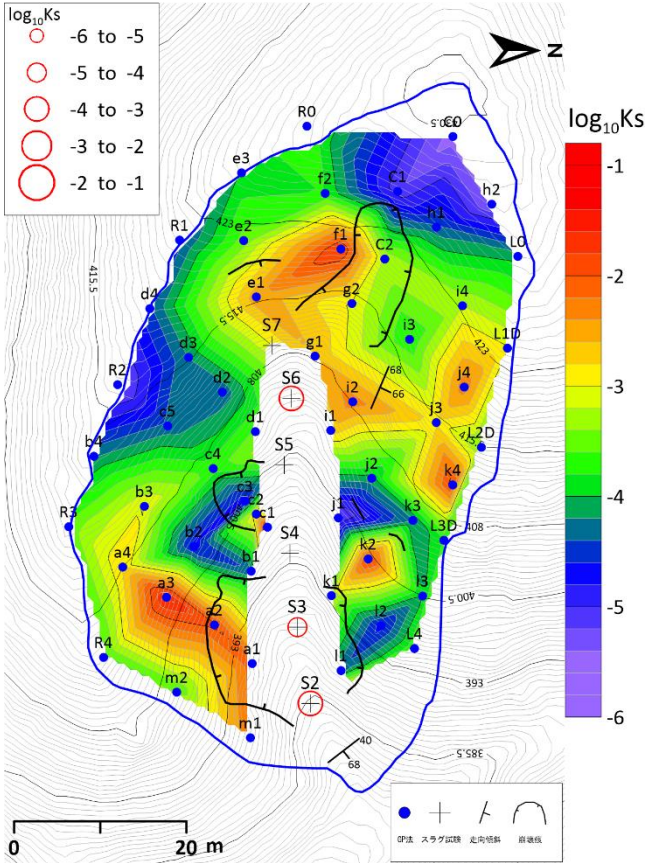


図 1 流域の地形と透水性分布

層を表層、中層、下層に分割し、表層の厚さは 5 cm、下層の厚さは 10 cm とし、中層は残りの厚さとした。ただし土層厚が 35 cm 未満の場合、表層の厚さは土層厚全体の 1/7、下層の厚さは土層厚全体の 2/7 とした。各層の土壌パラメータは表 1 のように設定した [3][4]。表層と中層は森林土壌の代表的な値を使用し、下層の透水性は以下の 3 つの場合に分けて検討した。

まず、Case1 では測定した K_s 分布を入力して計算を行った。Case2 では K_s の平均値を流域全体に一律に入力し計算を行った。また、Case3 では対数正規分布する乱数を生成し、 K_s として入力した。その他のパラメータは K_s との関係式をもとに推定した。初期圧力水頭は全節点で -30 cm とし、流域全体に時間 6 mm の降雨を与えた際の定常状態まで計算を行った。

3. 結果と考察

流域における透水性分布を図 1 に示す。透水係数は対数正規分布をとり、最大値は 5.29×10^{-2} 、最小値は 3.04×10^{-6} 、平均値は 3.45×10^{-3} (cm/sec) であった。

透水性と表面地形の関係について、右岸では尾根上の透水性が低い一方で、左岸では尾根上で透水性が比較的高い傾向にあった。a1 から a4、f1 から g1 及び k1 から k2 にかけて斜面流下方向に連続して透水性が高く、基岩面上に豪雨時の排水経路となる水みちがあることが推察された。

透水性と地形量との関係について検討した結果、図 1 の尾根部のように勾配が小さいほど透水性も低い傾向にあることが分かった。また、図 1 の斜面下部のように集水面積が大きい地点では透水性が比較的高い傾向が見られた。一方で、斜面の曲率や土壌の貫入抵抗値と透水性との間で明確な関係性は見られなかった。さらに、過去の崩壊痕周辺では透水性が高く、崩壊痕直上の未崩壊地 (a3、f1、k2) で特に透水性が高い傾向があったことから、崩壊発生等の地形発達過程が透水性分布に影響を及ぼしている可能性が推察された。

数値シミュレーションの結果を図 2 に示す。赤い矢印は基岩面上フラックスの向きと大きさを示している。Case1～Case3 において、地表面の圧力水頭及びフラックス分布に大きな違いはなく、基岩面の圧力水頭分布にも大きな違いは見られなかった。基岩面のフラックスに関して、Case1 では a3、f1、k2 周辺で斜面下方に向かう大きなフラックスが集中しており、高透水帯が降雨時の選択的な排水経路として働くことが確認された。一方で、Case2 では流域全体でほとんど均質なフラックスが発生しており、Case3 では一部のメッシュで極めて大きなフラックスが発生していたものの、Case1 で見られるようなフラク

スの局在は見られなかった。これらのことから、地表面や基岩面地形よりも透水性分布が降雨時の選択的な排水に支配的な影響を及ぼしていることが示された。

4. 結論

本研究では流域全体の基岩面上の透水性分布を測定し、その分布傾向や降雨浸透過程に及ぼす影響を検討した。その結果、流域全体において透水性は不均質に分布しており、勾配や集水面積といった地形量と一定の対応がみられることが明らかとなった。

また、数値シミュレーションにより、水みちの存在が推察される箇所におけるフラックスの局在が確認できた。今後、透水性の推定精度を向上させるために、透水性の鉛直分布の把握、過去の崩壊痕などの地形発達過程の詳細な調査や、他流域での測定と解析が必要である。

参考文献

- [1] 地盤工学会 (2013) : 地盤調査法の方法と解説, 二分冊の 1, 第 7 編地下水調査, 地盤工学会, p.471-659
- [2] Reynolds W. and Elrick D. (1985) : In Situ Measurement of Field-saturated Hydraulic Conductivity, Sorptivity, and the α -parameter Using the Guelph Permeameter, Soil Science, Vol.140, No.4, p.292-302
- [3] 柳井鴻太郎 (2023) : 森林における土壌透水性分布が斜面の水文過程に及ぼす影響, 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻修士論文 (未公開)
- [4] Kosugi K. (1997) : New diagrams to evaluate soil pore radius distribution and saturated hydraulic conductivity of forest soil, Journal of Forest Research Vol.2, p.95-101

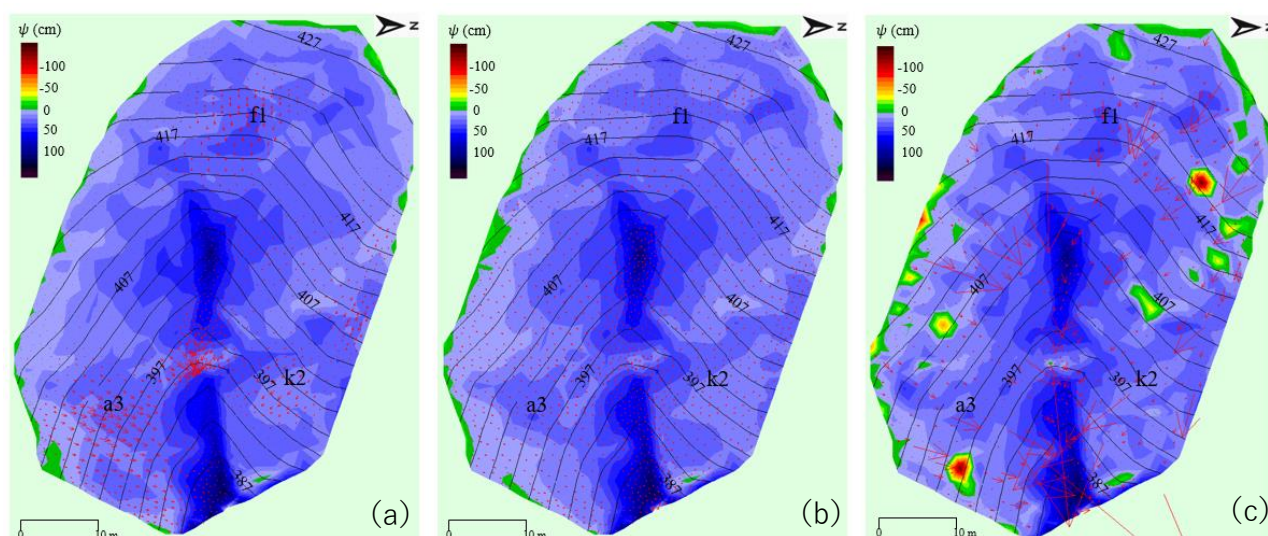


図 2 基岩面における数値シミュレーション結果 (a) Case1 (b) Case2 (c) Case3