

山地斜面における不均質な土壤透水性分布が排水能力に及ぼす影響

京都大学大学院農学研究科 ○柳井鴻太郎・正岡直也・小杉賢一朗
立命館大学大学院理工学研究科 藤本将光

1. はじめに

従来の山地斜面における水文過程では、降雨浸透によって斜面土層内に一時的な飽和帯が形成され、降雨に伴って飽和帯の水位が上昇し、斜面の不安定化や飽和地表流による土壤侵食が起るとされてきた。この過程では均質な土壤が想定されているが、実際の山地斜面には様々な不均質性が存在している。例えば湧水点の存在¹⁾や、基岩面と地表面の地形²⁾による水文過程への影響が報告されている。また近年、基岩面上に存在する透水性の高い空間（水みち）から素早い排水が起り、飽和帯の形成が抑制される機構の存在が報告された³⁾。崩壊危険度予測等においても不均質性を考慮すべきであるが、紹介した不均質性の中でも、特に水みちに関する知見は不足している。そこで本研究では、山地斜面において3次元的に高密度な圧力水頭・地温・飽和透水係数の計測を行い、透水性分布と排水能力の関係を検討した。

2. 方法

2.1 調査地の概要・観測項目

観測は滋賀県大津市不動寺水文試験地内の下層植生の少ない照葉樹林斜面末端部で行った。この斜面では2008年から2012年にかけて熱電対とテンシオメータを用いた地温と圧力水頭の測定が行われており⁴⁾、本研究では2009/7/5～2009/7/28の期間における観測データを用いて解析を行った。また熱電対とテンシオメータの設置時に貫入試験で測定された土層厚データを用いて、基岩面の地形図を作成した。土壤の飽和透水係数はゲルフパーミアメータ法⁵⁾を用いて現地で測定した。

2.2 解析方法

まず、不飽和帯における降雨時の圧力水頭上昇による飽和維持の様子の違いを解析した。また2009/7/22の降雨イベント時の、各地点の基岩面上における飽和維持時間を計算した。ただし降雨終了時刻を一律に開始時間とし、初めて圧力水頭が0を下回るまでの時間を飽和維持時間とした。次に、飽和維持の様子の違いと不均質性の関係を①基岩面の地形による集水能の違い、②湧水点の有無、③飽和透水係数分布による排水性の違い、の3つの水文特性について解析した。①については Topographic index $\kappa = \ln(a/\tan\beta)$ (a :集水面積、 β :斜面勾配)を用いて解析を行い、②については、降雨イベント時の地温変化と全水頭分布変化の解析を行った。

3 結果と考察

2009/7/19の総雨量83.5mmの降雨における圧力水頭変化の解析結果を示す。降雨前、斜面下部では飽和し、斜面上部では不飽和であった。降雨が始まると次第に斜面上部にも飽和域が広がり、ピーク時には斜面のほぼ全域が飽和した。その後ピークを過ぎると次第に飽和域は解消されていったが、図1に示すように降雨終了から20時間後の斜

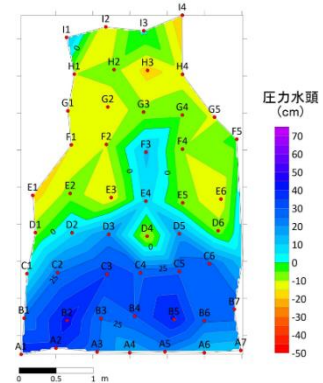


図1 基岩面の
圧力水頭分布
2009/7/20 20:00

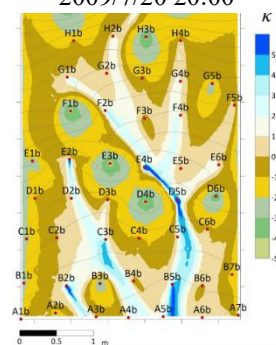


図2 基岩面のκ分布

面上部では F3 でのみ飽和が維持されていた。一方、隣接する F2, G2, F4, G4 では素早く不飽和に戻っていた。次に 2 章 2.2 節で述べた①~③の水文特性に関する解析結果を示す。①図 2 に基岩面の κ 分布を示す。飽和維持時間の長かった F3 よりも隣接する F2, G2, F4, G4 で κ 値が大きく基岩面地形による集水性が高いことを示しており、飽和維持時間の長短とは逆の傾向であった。②全水頭・地温変化ともに湧水点の存在を示す挙動は F2~4, G2~4 のいずれにも見られなかった。よってこの 6 地点に湧水点は存在しないと考えられる。③図 3 に各地点の深度 100cm における飽和透水係数と 2009/7/22 の降雨イベントにおける飽和維持時間の関係を示す。また、図 4 に基岩面の κ 分布と深度 100cm における飽和透水係数の関係を示す。G ラインの飽和維持時間は、F ラインよりも短くなる傾向があった。これは G ラインの方が斜面上部に位置し、排水が起りやすいためだと考えられる。そこでライン内で比較すると、著しく透水性の低かった G2 を除いて、F, G ライン共に飽和維持時間の短い地点で飽和透水係数が大きくなる傾向があった。以上から、基岩面付近の透水性は空間的に不均質であり、連続的に透水性の高い部分が排水能力の高い水みちとなっていると考えられる。G2 に関しては深度 75cm における飽和透水係数が $1.8E-3\text{cm/sec}$ と高かったため、基岩面より浅い部分に存在する水みちから斜面下部への排水が促されたと考えられる。また①と③の結果より、図 4 に示すように水の集まりやすい地形をしている地点で飽和透水係数が高くなっていることが分かる。このことから、長期間選択的に水が集まることによって細かい土壌の洗脱が起こり、水みちが形成された可能性がある。今後は更に多くの斜面で観測を行い地形と透水性の関係を検証する必要がある。

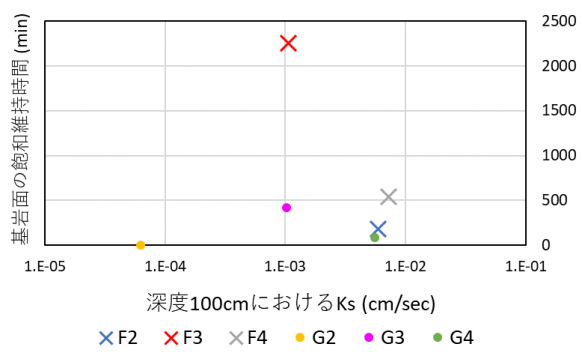


図 3 基岩面の飽和維持時間と深度 100cm における飽和透水係数の関係

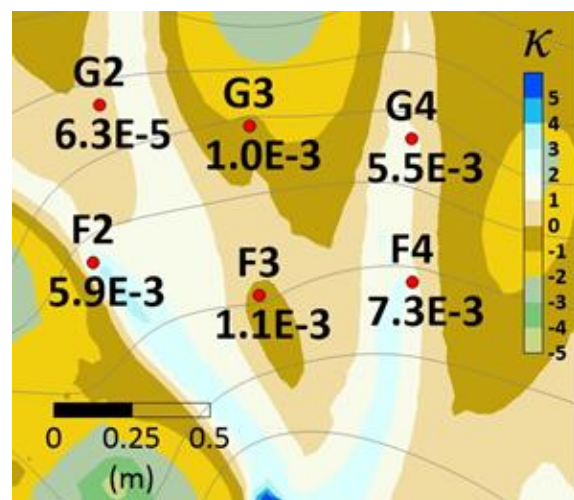


図 4 κ 分布と深度 100cm における飽和透水係数

4 参考文献

- 1) Masaoka, N. et al., Journal of Hydrology, Vol. 535, p. 160-172, 2016
- 2) Freer, J. et al., Water Resources Research, Vol. 38, No. 12, doi: 10.1029/2001WR000872, 2002
- 3) 石岡武, 京都大学農学研究科修士論文, 2011
- 4) van Verseveld, W. J. et al., Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 21, p. 5891-5910, 2017
- 5) Reynolds, W. D. et al., Soil Science, Vol. 136, No. 4, p. 250-268, 1983