

長期高密度観測による斜面水文過程の時間的変化の解明

京都大学大学院農学研究科 ○正岡直也・小杉賢一朗（兼 JST）・山川陽祐・水山高久
京都大学防災研究所 堤大三

1. 研究背景と目的

山地斜面内部の水文過程は長期的な地形発達とともに変化するが、外的要因により比較的短期間で劇的な変化が起こる場合があり、予測困難な崩壊発生の要因の一つと考えられている。比較的短期間に水文過程が変化する要因として、水流によるパイプの発達や閉塞、斜面変形による基岩の亀裂発達などが指摘されている。しかし、局所的に起こる水文現象の変化を把握できるほど高密度に水流観測をした例は少なく、実斜面で起こる時間変化の詳細な観測例は無い。本研究では山地斜面に高密度かつ広域にテンシオメータを設置し、土層内の水流挙動を集中的に観測した。さらに同様の観測を複数年継続することで水文過程が時間的変化の様子を詳細に把握し、知見を得ることを目的とした。

2. 調査地と調査方法

観測は、京都大学防災研究所穂高砂防観測所ヒル谷試験流域内の南南東向き谷壁斜面末端（傾斜約 40 度）で行った（図 1）。基岩地質は風化花崗斑岩である。調査斜面上において等高線に沿う方向の 6 本の測線（A～F）上で、斜距離約 1 m 間隔でテンシオメータを基岩面上及び土層中に合計 118 本埋設し、土壌間隙水圧(ψ)を継続的に計測した。観測は 2008 年度から 2011 年度まで 4 年間、積雪期（12～4 月）を除き継続して行った。

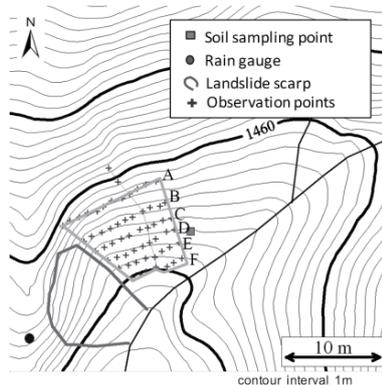


図 1 観測斜面付近の地形図

3. 結果と考察

2009 年度と 2011 年度のほぼ同規模の降雨イベントにおける ψ 値変化を比較する。2009/7/16-18 (total: 102mm) と 2011/6/22-24 (total: 100mm) の 2 降雨

イベントのハイトグラフを図 2 (a), (c) に、代表的な点 D-4, E-5 の ψ 値波形を図 2 (b), (d) に示す。図 2 中に示した時間ステップ T1-T4 における基岩面 ψ 分布およびフラックスベクトル分布を図 3 (a)～(d) に示す。また、斜面縦断方向のライン V（図 3 中の破線）に沿った鉛直断面の時間ステップ T1-T4 における ψ 分布およびフラックスベクトル分布を図 4 (a)～(d) に示す。

3-1. 無降雨時の水文過程

T1 時点 (2009, 無降雨時) の基岩面 ψ 分布 (図 3 (a)) を見ると、飽和帯は主に斜面右上部と斜面末端に分布していた。特に右上部の局所的な高 ψ 帯を起点に、飽和帯中を大きなフラックスを伴う水流が斜面末端へ流下していく様子が見られた。この高 ψ 帯では恒常的な基岩湧水の発生が確認されている (Masaoka et al., 2012)。ライン V 断面 (図 4 (a)) では、斜面中央部 (点 C-7, D-3 付近) で基岩面が不飽和にも関わらず中層に飽和帯水層が存在し、その中を水流が大きな側方フラックスを伴い流下する様子が見られた。このように、無降雨時に基岩湧水や飽和帯水層のような不均質な水文現象が存在していることが確認された。また、T3 時点 (2011, 無降雨時) の基岩面 (図 3 (c)) 及びライン V 断面 (図 4 (c)) の飽和帯やフラックスの分布傾向は T1 時点とほぼ同様であり、無降雨時の水文過程は 2009, 2011 の両年度で顕著な違いは見られないことがわかった。

3-2. 降雨ピーク時の水文過程

T2 時点 (2009, 降雨ピーク) の基岩面 ψ 分布 (図 3 (b)) を見ると、降雨浸透により斜面の広域に飽和帯が広がっていた。特徴的な反応として、斜面中央付近の数点で ψ が +50cmH₂O 以上大きく上昇する反応が見られた。結果として斜面右側では縦断方向に連続的な高 ψ 帯が、斜面左側では独立した高 ψ 帯が発生していた。一方、T4 時点 (2011, 降雨ピーク; 図 3 (d)) では反応点数が増加し、連続的な高 ψ 帯が斜面左右で発生し、斜面末端で合流していた。図 2 (b), (d) に示し

た ψ 波形を見ると、点 E-5 では降雨に対し 2009 年度は反応を示さないが、2011 年度は+100cmH₂O 以上急激かつ大きく上昇していることがわかる。また、点 D-4 のように逆に反応が消滅する点も存在した。

T4時点 (2011,降雨ピーク) のライン V 断面 (図 4 (d)) を見ると、斜面上流部から下端まで基岩面上に高 ψ 帯が連続しており、水は大きな上向きフラックスを伴って流下していた。これらの特徴から、降雨ピーク時にのみ雨水が集中する選択流路が存在し、流路のキャパシティを超えた水が流入した結果被圧状態となり、上向きフラックスが発生したと考えられる。一方、T2時点 (2009,降雨ピーク) のライン V 断面 (図 4 (b)) では、点 C-7 付近の基岩面上で ψ は大きく上昇し上向きフラックスが発生していたが、下流側に隣接する点 D-6 は不飽和を保っていた。

これらの結果から、ライン V の水文過程変化について以下のように解釈できる。2009 年度は点 C-7 の基岩面上に降雨時のみ水が集中する選択流路が存在したが、点 D-6 で途切れ、基岩面上の水流は中層に乗り上げて流下した (図 4 (b))。2011 年度は点 D-6 の基岩面上にも選択流路が発達し、斜面末端まで連続した (図 4 (d))。図 3 (b)から(d)にかけての基岩面上の急激反応点数の増加は、2009~2011 年度間の流路の発達を示していると考えられる。

4. まとめと今後の課題

このように、高密度水流観測により基岩湧水、飽和帯水層、降雨時の選択流といった不均質水流を直接観測できた。さらに複数年にわたる長期観測により、降雨時の選択流路が年経過により発達・拡大し、斜面の水文過程が経年変化する様子を詳細に把握できた。時間的変化の要因として、水流による土壌侵食や基岩風化が考えられるが、明確な結論には至っていない。また本要旨では触れていないが、冬季の観測中断の前後で顕著な反応変化が見られることから、凍結融解作用や積雪による斜面変形作用が働いている可能性が考えられる。今後は冬季 (積雪期) の水文観測を行うことで、時間的変化の要因を明らかにしていく予定である。

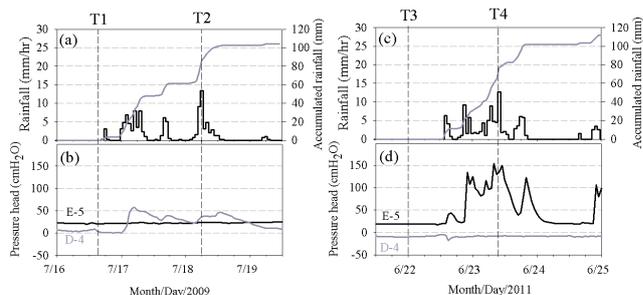


図 2 2009/7/16-19, 2011/6/22-25 のハイトグラフ(a, c)及び点 D-4, E-5 の ψ 波形(b, d)

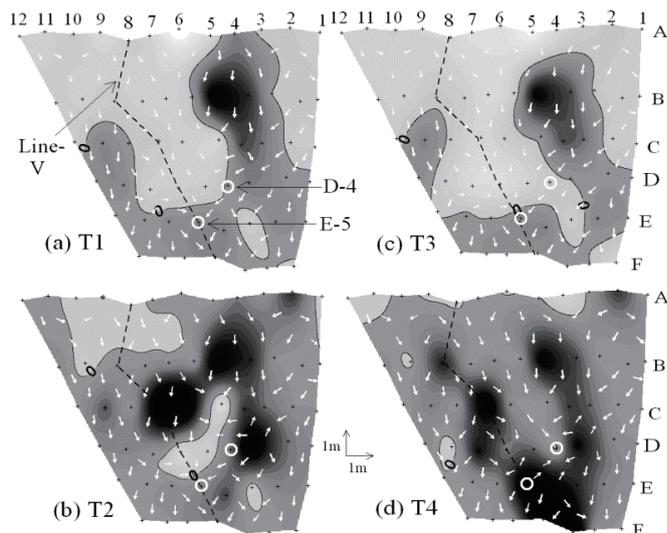


図 3 時間ステップ T1-T4 における基岩面 ψ 分布及びフラックスベクトル分布(a-d)

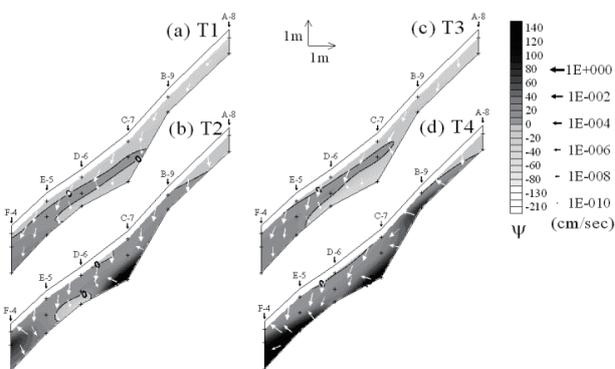


図 4 時間ステップ T1-T4 におけるライン V 断面 ψ 分布及びフラックスベクトル分布(a-d)

参考文献 : Masaoka et al., (2012) Application of a combined penetrometer-moisture probe for investigating heterogeneous hydrological properties of a foot slope area, Vadose Zone Journal, doi:10.2136/vzj2011.0064

(E-mail: hatimon@kais.kyoto-u.ac.jp)