那智川流域における斜面の水分動態に対する考察

国際航業株式会社　　○島田　徹・江川真史・山田真悟・孝子綸図
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター　　吉村元吾・木下篤彦・菅原寛明・田中健貴

1. はじめに

和歌山県那智勝浦町に位置する那智川流域(図-1)では，平成 23 年 9 月の台風第 12 号に伴い多数の表層崩壊が発生し，甚大な被害が発生した．

那智川流域では，表層崩壊の発生機構解明を主目的にボーリング調査及び，ボーリング孔を利用した地下水の観測が継続的に実施されている．また，表層崩壊の発生場となる浅い深度(森林土壌～GL-5m 程度のコアストーンを含む強風化層)の水分動態を把握するために，テンシオメータによる観測が平成 28 年 2 月より実施されている．これに関連する既往研究では，斜面内の雨水の浸透過程や地下水面の形成メカニズムの説明がされており，斜面内に不均一な流れの存在することが報告 [1)2)]されている．このような表層の水分動態は，表層崩壊のメカニズムを解明する上できわめて重要である．

本報告は，コアストーンを含む花崗岩地帯における表層の水分動態について，パターンの異なる降雨に対しての応答を整理したものである．

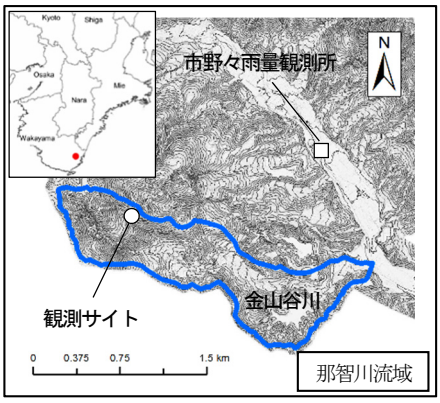

図-1 那智川流域位置図

2. 対象斜面の概要及び観測体制の概要

対象とする斜面は，紀伊半島大水害において発生した崩壊地(幅約 120m，長さ約 100m（図-2)の周辺斜面である．植生はスギの人工林であり，崩壊が発生した斜面と地形・植生条件が近い自然斜面となっている．

観測体制(図-2)は，「浅層の水分動態(T-1～T-3)」「強風化層の地下水位(KB-2')」「岩盤内の地下水位(KB-2)」となっている．水分動態を計測するテンシオメータは斜面方向に 3 地点 3 深度(0.55m～4.40m)の計 9 箇所で地中の縦断的なサクションの変化を計測する配置としている．

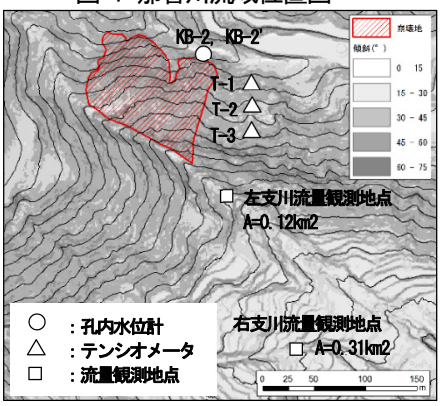

図-2 観測体制

3. 観測結果

3. 1 降雨状況

●平成 29 年 6 月 21 日の豪雨(前期降雨なし)：「以下，降雨 A」

6 月 20 日 23 時より降り始めた雨は，翌 21 日 17 時まで続き，降り始めからの雨量は 19 時間で総雨量 410.0mm の豪雨となった．最大時間雨量 51.0mm，最大 10 分間雨量 11.0mm であった．

●平成 29 年 8 月台風第 5 号の豪雨(前期降雨 130mm)：「以下，降雨 B」

8 月 6 日 21 時より降り始めた雨は，翌 7 日 18 時まで続き，降り始めからの雨量は 22 時間で総雨量 212.0mm の豪雨となった．最大時間雨量 31.0mm，最大 10 分間雨量 11.0mm であった．

3. 2 斜面の水分動態観測結果

●観測値から推定できる水分動態の傾向

降雨中のフラックス(図-3 上図)に着目すると，浸潤線が下層に向かうフラックスが発生しており，雨水の降下浸透のプロセスが表現されている．基底部に到達後は，斜面方向へとフラックスが向きを変えていく様子が確認でき(図-3 下図)，基底部付近で発生した飽和側方流を示すものと考えられる．

圧力水頭の時間変化(図-4 中①)より推定した浸潤線の下降速度は 10^{-4}～10^{-5}m/s オーダーであり，表層～中層に比べ中層～深層の下降速度の方が早い傾向が確認できた．

表層の飽和状況(地下水面形成)は，斜面下部の T-3 が最も早く飽和し(図-4 中②)，降雨中は全層飽和状態となっている（図-4 中③)．斜面上・中部に設置された T-1・T-2 では降水量に応じて全層が飽和する場合としない場合(図-4 中④)が確認された．形成された飽和層は，降雨終了後，斜面上部表層より徐々に下がってゆく傾向が確認できた．

降雨の流出過程に着目すると，斜面上部ほど飽和時間が短いことおよび深層の飽和時間が短いことから，斜面上部では，比較的早く雨水が側方へ流出し斜面下部で飽和している可能性が考えられる．このことから比較的地表面付近で斜面方向の「飽和側方流が発生」－「斜面下方へ流下」－「斜面下部に飽和帯を形成」といったプロセスが推定される．

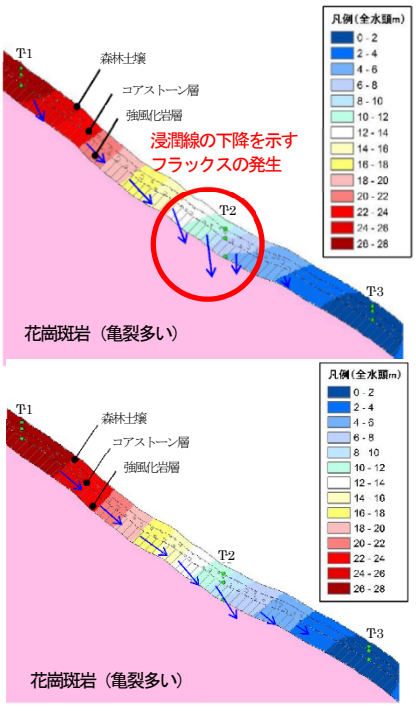

図-3　降雨中のフラックス図

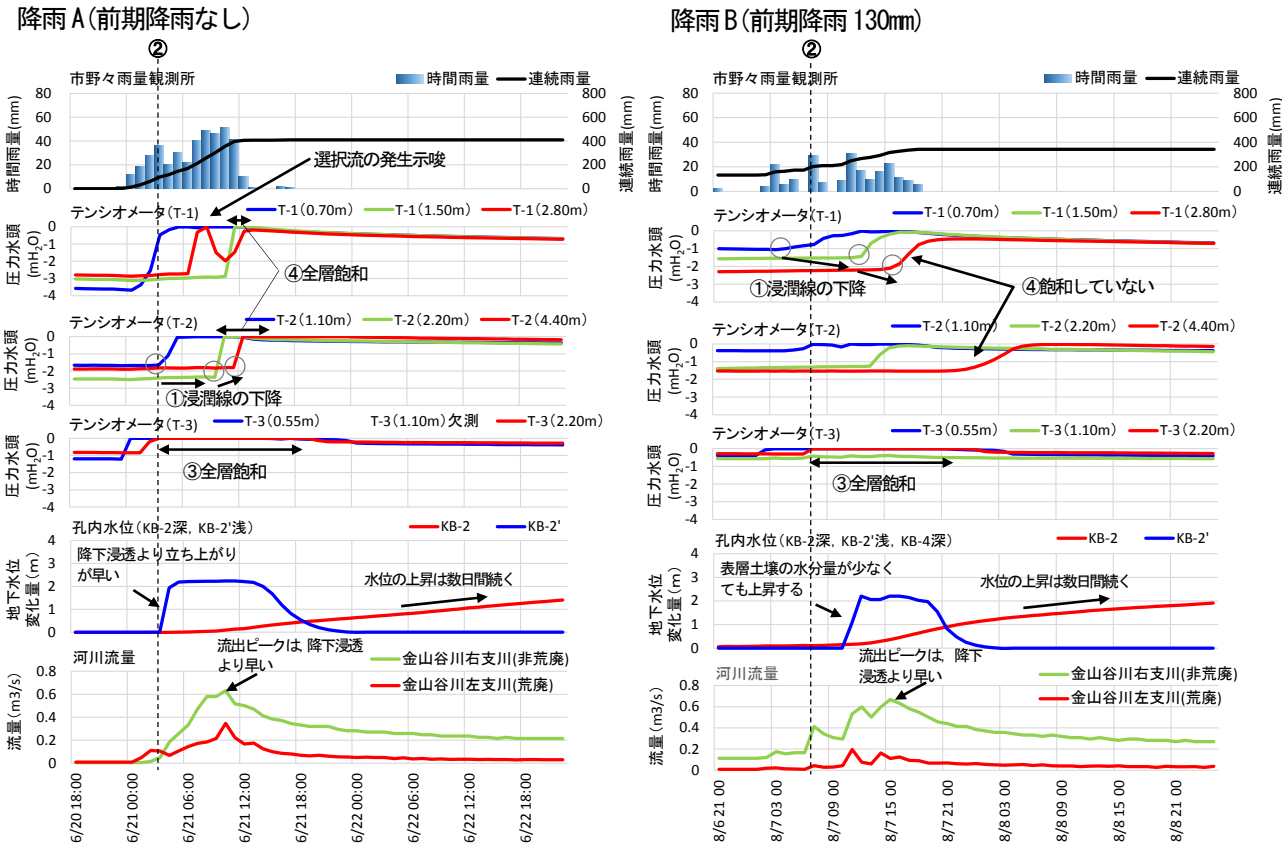

図-4　観測データの時系列変化

4. 表層の水分動態と地下水位，表層の水分動態と流出の関係

強風化層の地下水位を観測する KB-2'(GL-14.5m)と岩盤内の地下水を観測している KB-2(GL-130.0m)の水位上昇のタイミングと雨水の降下浸透の関係をみると，T-1・T-2 において降下浸透が基底部に到達する前に地下水の上昇が始まっている．このことから，降下浸透とは別に岩盤内に流れ込む早い流れ(選択流)の存在が推察される．この時，近傍の崩壊地では，コアストーン層などから多数の湧水の発生(図-5)を確認しており，観測データが示唆する選択流の発生と整合的である．

河川の流量と比較すると，斜面上・中部の観測地点において降下浸透が基底部に到達する以前に流出のピークが確認できる．これから，金山谷川の流出に寄与している成分は，基底部付近の飽和側方流ではなく，表層付近の側方流(表面流含む)または降雨に対して応答の早い地下水(強風化岩層を選択的に流れる地下水)である可能性が示唆される．

また，KB-2 の水位変化に着目すると，変化が緩やかかつ降雨ピークや流出ピークに比べずいぶんと遅れている．このことから，洪水流出の成分でなく，基底流出を涵養する成分であると考えられる．

図-5　近傍の崩壊地で観測された湧水
降雨 A の事例

5. まとめ

本観測では，「雨水の降下浸透」「降下浸透よりも早い地下水の上昇」「崩壊地での湧水の噴出(選択流の発生)」「斜面上部での不飽和帯の発生」「斜面下部の飽和帯の発生」「降下浸透よりも早い流出」を確認した．これらの現象を整理すると対象斜面では図-6 に示すような降雨流出過程が想定される．

本研究では，定性的ではあるが斜面内の水分動態を推察できる成果が得られた．今後は，斜面崩壊等の予測を目的とした定量なモデル化を進めていきたい．この目的を達成するために，さらなるデータの蓄積や水分動態を定量的に整理できる観測体制の充実化に努めていく予定である．ただし，他の地質帯への展開など大きな課題もあるため，他地域の観測成果や地盤物性等の調査成果等を踏まえ検討を進めていきたい．

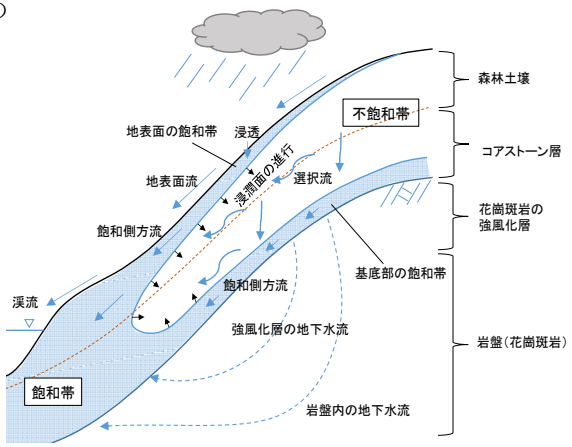

図-6　観測により推定された降雨流出過程
の概念図

【参考文献】
1) 丸井敦尚(1991)　層状に堆積した斜面における降雨流出とプロセスと地中水の貯留機能：地理学評論 64 巻 3 号
2) 太田ら(1992)　森林斜面における雨水移動の実態：塚本良則編”森林水文学”