

京都大学農学研究科 ○内田太郎、浅野友子、川崎雅俊、水山高久

## 1. はじめに

近年、岩盤中の水流が山地斜面の雨水流出機構に重要な役割を果すことが強調されてきた。Onda *et al.* (2001)は、花崗岩山地では降雨ピーク時刻と流出ピーク時刻はほぼ一致するのに対し、堆積岩山地では流出のピークが降雨に対して数時間以上遅れることがあることを示した。さらに、遅れて生じるピークには岩盤中を経由してきた水の寄与が大きいとした。また、Montgomery *et al.* (2002)は堆積岩山地において発生した崩壊に関する事例を報告し、降雨ピークから約 6.5 時間、流出ピークからは 2~3.5 時間遅れて発生したことを示した。さらに、隣接する斜面における水文観測結果から、岩盤から土層への上向きの水フラックスが生じた時刻と、崩壊発生時刻はほぼ一致していたことを示し、岩盤から土層への水流が崩壊発生に重要な役割を果すことを示した。これは、Onda *et al.* (2001)が堆積岩山地で岩盤中の流れの寄与が大きいとした結果と一致する。さらに、Onda *et al.* (2001)は花崗岩地域において降雨のピーク時に流出のピークを迎えるという水文観測結果と多くの崩壊が降雨のピークと同時に発生する事実は矛盾しないとした。

しかし一方、花崗岩山地においても、近年、岩盤地下水が山地斜面の雨水流出機構や山地渓流の水質形成に対して重要な役割を果していることが明らかにされてきた(宮田ら, 2003)。そこで、これまで観測を行ってきた花崗岩斜面を対象に①降雨ピーク時刻から岩盤からの湧水量のピーク時刻までの遅れ時間、②岩盤湧水量変動と土壤-岩盤境界面の間隙水圧変動の関係、の 2 点に着目し、岩盤からの湧出量の降雨に対する応答について検討する。その結果に基づき、花崗岩山地の崩壊発生に対する岩盤からの地下水流出の影響を検討することを目的とする。

## 2. 観測流域と観測手法

観測は滋賀県田上山地に位置する不動寺試験流域において行った(内田ら, 2002)。基岩地質は花崗岩で、土層厚は 60~120cm であり、谷筋の平均勾配は 37 度の 0 次谷である。斜面末端には 2 つの恒常的な湧水が観察でき、1 つは土壤層から、もう 1 つは岩盤の割れ目からの湧出である。前者を‘湧水’、後者を‘岩盤湧水’と呼ぶこととする。

本斜面では、降雨量、斜面から総流出量、岩盤湧水量の観測に加え、谷筋の土壤-岩盤境界面における土壤水ポテンシャルを 1.5~4 m おきに 5 地点で測定した(Uchida *et al.*, 2003)。

## 3. 観測結果

### 3.1 岩盤湧水の流出特性

2000 年 4 月から 12 月までの生じた 39 降雨(総降雨量 5mm 以上、連続無降雨期間 12 時間以上で独立する降雨とした)のうち 17 降雨でピーク時の岩盤湧水量が降雨開始時と比べて、10%以上増加した(図-1)。さらに、2 降雨において 2 倍以上に達し、最大時間雨量 25mm の降雨で岩盤湧水は降雨開始時の 2.8 倍に達した。これに対して、斜面からの総流出量は約 70 倍変動した。

### 3.2 降雨時の観測例

深度 10 cm の土壤間隙水圧は降雨の開始とほぼ時間遅れなく上昇した(図-2)。深度 40 cm の間隙水圧は降雨開始から約 3 時間遅れて顕著な変化が見られた。さらに、土壤-岩盤境界面である深度 112cm の間隙水圧は降雨開始から約 6 時間遅れて上昇し始めた。一方、岩盤湧水量は降雨開始後 6 時間まではほぼ一定であるのに対し、土壤-岩盤境界面の間隙水圧の変動開始とほぼ同時に変動し始めた(図-2)。その後の岩盤湧水の変動は土壤-岩盤境界面の間隙水圧の変動波形とよく一致していた。また、このときいずれの波形も降雨波形に敏感に応答していた。

### 3.3 岩盤湧水の遅れ時間

次に、3.2 で見られた傾向が他の降雨でも共通に見られる傾向かを検討する。図-3a に示すように、岩盤湧水のピーク時刻は岩盤湧水点から 11 m 斜面上方に離れた地点における土壤-岩盤境界面の土壤間隙水圧のピーク時刻とほぼ一致し、3.2 で見られた傾向は他の降雨でも見られることが分かった。さらに、図-3b に示したように岩盤湧水ピーク時刻の降雨ピーク時刻に対する遅れ時間は、ピーク流量が初期流量の 2 倍以上となるような流量の変動が大きい降雨では 2 時間以内と極めて小さかった。

## 4 考察と結論

本観測から、不飽和土壤層内の浸透過程により土壤-岩盤境界面の間隙水圧の応答は降雨に対して遅れるものの、浸潤前線が土壤-岩盤境界面に達した後は極めて敏感に岩盤湧水量の変動が生じることがわかった。その結果、大きな降雨では、降雨波形に対して岩盤湧水量は敏感に応答し、降雨ピークに対する流出ピークの遅れ時間は 2 時

間以内だった。また、岐阜県揖斐川源流域の花崗岩山地において行なった岩盤への塩水注入実験においても、降雨時に極めて早いトレーサーの動きが確認されている(桂ら、2003)。以上の結果から、花崗岩山地では岩盤を経由した水の流出は降雨に対して遅れないことが多いといえる。

さらに、岩盤湧水の流出量のピーク時刻には土壤-岩盤境界面の土壤間隙水圧も最大に達していた。このことから、花崗岩山地では、降雨のピーク時に発生する表層崩壊に対しても、岩盤から土層への水の流れが寄与している可能性が指摘できる。ただし、3.1でも示したように岩盤湧水の変動量は小さく、崩壊への寄与は小さい可能性も考えられ、今後更なる検討が必要であろう。

【参考文献】宮田秀介ら、2003、砂防学会誌、印刷中;Montgomery D. R. et al., 2002. Water Resour. Res., 38(12), 10.1029/2002WR001429;Onda, Y. et al., 2001. Hydrol. Proc., 15, 1693-1706;Uchida T. et al., 2003 Water Resour. Res., 37(1), 10.1029/2002WR001298 ;内田ら、2002 平成14年度砂防学会概要集;桂ら、2003、平成15年度砂防学会概要集

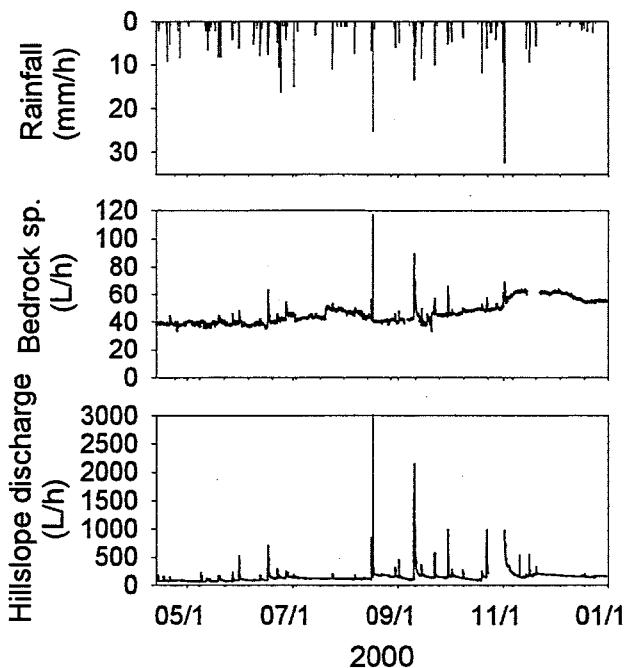


図-1 降雨強度、岩盤湧水量、斜面からの流出量の変動

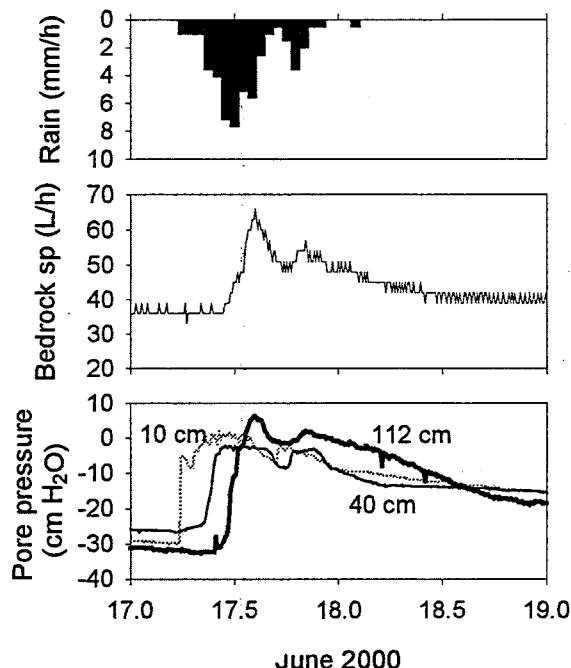


図-2 降雨時の土壤間隙水圧、岩盤湧水量の変動

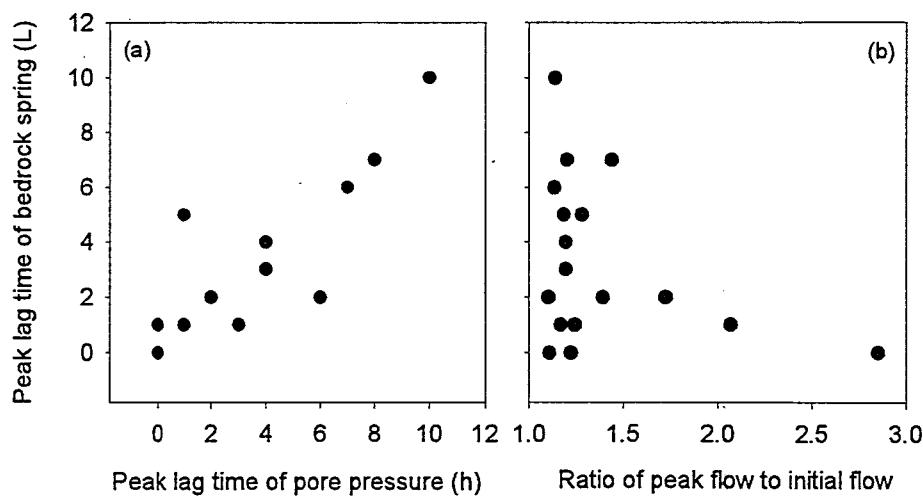


図-3 (a)降雨強度のピーク時刻に対する土壤-岩盤境界面の間隙水圧ピーカーまでの遅れ時間と岩盤湧水量のピーク時刻の遅れ時間の関係。(b)初期岩盤湧水量に対するピーク岩盤湧水量の比と降雨強度のピーク時刻に対する岩盤湧水量のピーク時刻の遅れ時間の関係