

花崗岩山地における基岩地下水の流動特性が降雨流出に及ぼす影響

京都大学大学院農学研究科 ○杉本康平 小杉賢一朗 正岡直也 糸数哲 水山高久
立命館大学理工学部 藤本将光

1. はじめに

これまで、山地河川の降雨流出に対しては面積や勾配といった地形条件が重要視されてきた。その一方で深層崩壊の直接的な誘因や、無降雨時の河川の基底流の主要な涵養源として、近年では基岩地下水の役割が注目されている。しかしながら、急峻な地形を有する山地源流域で、基岩地下水の降雨流出に対する影響について、直接的な観測を行った例は極めて少ない。以上から、本研究では花崗岩を基岩とする山地源流域において、対象流域の詳細な地下水構造の解明、降雨流出（基底流・洪水流）に対する地形と基岩地下水の影響に関する検討を行った。

2. 研究概要

2.1 対象流域

滋賀県大津市の南部の田上山地に位置する不動寺試験地を対象流域とした。流域面積 2.3ha の山地源流域であり、平均勾配は 23° である。基岩地質は後期白亜紀にマグマが地下深くにおいて冷却され凝固した花崗岩（新期領家花崗岩類）である。

2.2 観測方法

流域全体の出口（F0 地点）、流域内部の小流域出口（F1～F6）に量水堰を、流域内 74 地点（基岩内：66 本、土層内：8 本）にボーリング孔を設置し（図 1）、それぞれの地点の流量及び基岩地下水位を観測した。また、常時地下水が確認されたボーリング孔 67 地点（基岩内：66 本、土層内：1 本）に関して、孔内に貯留されている地下水の一部をベレーで汲み上げ、地下水位回復過程を水位計で測定、その地下水位の回復スピードから透水係数を算出した。

3. 観測結果・考察

3.1 基底流

図 2 に 2012/11/1～2013/1/7 の F2～F4 の流量ハイドログラフを示す。常に F3 の基底流が多く、積算流量でも F3 と比較すると F2 は 17%、F4 は 42% であり F3 と接している F2、F4 の流量が明らかに少なかった。また、図 3 に示した地下水コンターにおいて、F2 左岸側斜面中腹に地下水面の尾根が、F4 では上流域の右岸側に尾根が確認された。従って F2、F4 から F3 へ向かう地下水流動が推測される。そこで地下水形状に基づいた集水面積を持つ新たな流域として F2'～F4' を設けた。図 4 に F2'～F4' の流域面積あたり流量ハイドログラフを示す。図 2 と比較すると明らかに基底流が各流域で近い値になった。従って、山地河川の降雨流出に関して地形の影響が重要視されてきたが、降雨流出の成分の中でも基底流については地形よりも基岩地下水の流動を考慮すべきであるといえる。

3.2 洪水流

図 5 にイベント雨量と洪水量の関係を示す。F2 はどの強度の降雨であっても僅かに F3 よりも洪水流が少なかった。F4 は概ね 100mm 以下の降雨イベント時は F3 よりも洪水流が少なかった。しかし、F4 は 150mm 以上の大雨時に洪水流が F3 よりも大きくなる特徴が見られた。図 6 に降雨規模の違いによる洪水流及び表面地形面積の比を示す。F3 を基準として考えると、F2 は降雨量が増加しても洪水流は一定で表面地形面積と同じような比をとった。F4 は降雨量が小さいと洪水流の比も小さいが、降水量の増加と連動して洪水流が増加し、F3 と F4 の表面地形面積比に近づいた。以上より、F4 の洪水流は降雨規模によって傾向が変わり、小雨では直前流量の、大雨では表面地形面積の影響が大きくなるといえる。

また、ボーリングコアサンプルから得られたデータから F4 は土層が他流域より薄く、基岩層が地表浅くまで分布していることが明白であった。ここで、単純に地層を土層・強風化基岩層（D 層）・弱風化基岩層（C 層）の 3 層の構成であるものと見なす。小雨時は土層・D 層の境界面に飽和側方流が発生、D 層への浸透は僅かだが、大雨時では D 層・C 層の境界面まで達する雨水成分の鉛直浸透が発生すると考えられる。F4 は土層+強風化基岩層が短いため、他流域と比較して間隙内の貯留量が小さく、弱風化基岩に達する鉛直浸透成分が他流域に比べて多くなると考えられる。そのため F4 は基岩への浸透の限界が訪れるタイミングが早く、行き場を失った雨水の鉛直浸透成分が飽和側方流として卓越し、結果的に F4 堰の洪水流が顕著に見られると推測される。

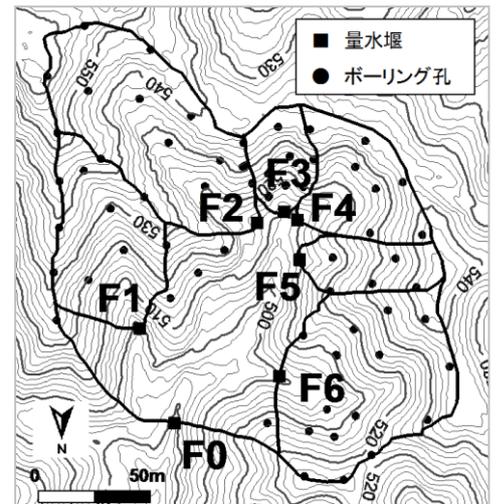


図 1 不動寺試験地の地形図

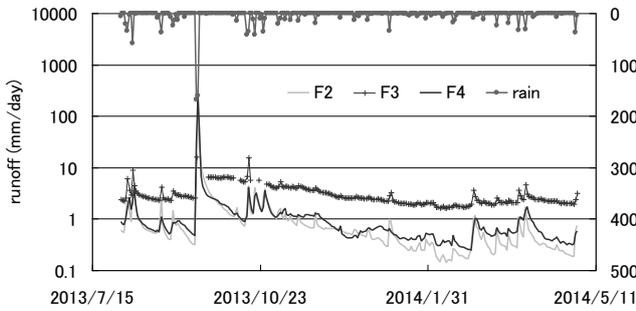


図2 比流量

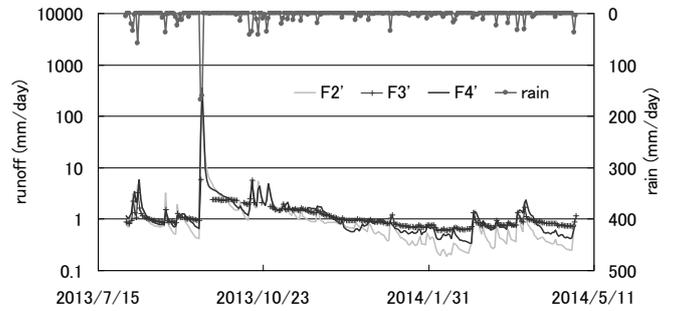


図4 比流量 (地下水面形状に基づく新たな流域)

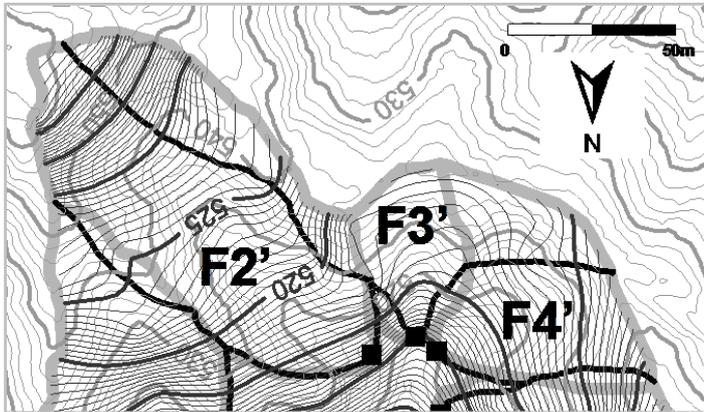


図3 F2~F4を中心とした地下水コンター図

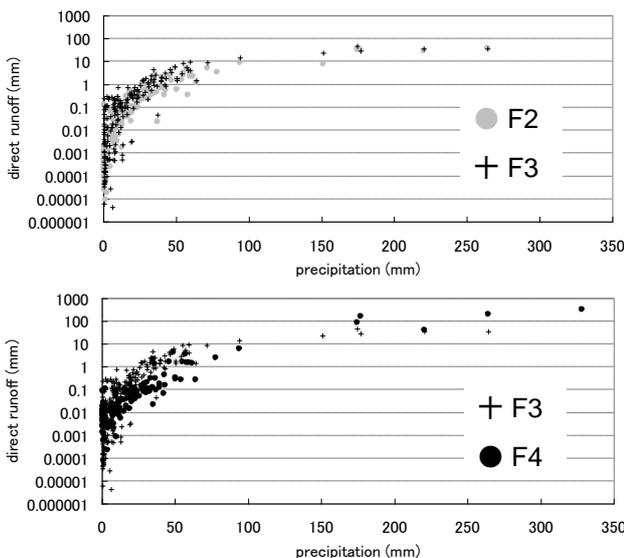


図5 イベント雨量と洪水流の関係

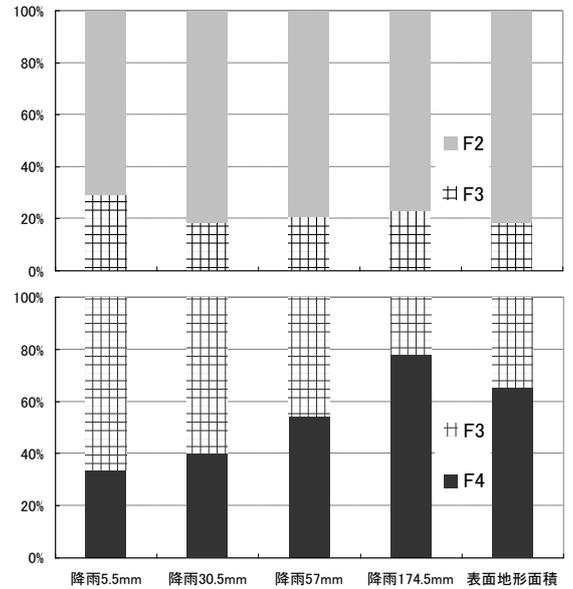


図6 降雨規模の違いによる洪水流の比

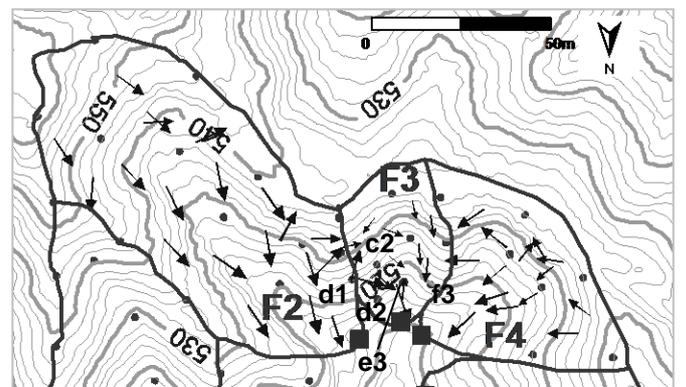


図7 F2~F4を中心とした地下水フラックス

3.3 地下水構造

現場透水試験によって得られた透水係数の値と地下水位データを用いて地下水フラックスを計算した(図7)。前節で示した地下水コンター(図3)よりF2とF4の一部からF3への地下水流動が示された。本節では地下水フラックスを用いて、さらに詳細なF3への地下水集水構造を考察する。まずF2からの流れについて、F2左岸側全域というよりも、下流域からの地下水流動が目立った。特に尾根境界上に位置するc2孔へ、またd1孔からの地下水フラックスが大きな値を示した。次にF4からの流れについて、中・上流域からF3へ向かう地下水流動が見られた。

さらに、F3堰、e3孔(F3下流域谷部)、d2孔(F2との境界上)、f3孔(F4との境界上)の4地点で水質の比較を行った。そのうちF3堰、d2孔、f3孔の値が類似しており、特にEC、K、Caにおいて比が同程度であった。つまり、F3堰で流出に寄与する地下水は、F3流域谷筋に位置するe3孔よりも、d2孔、f3孔を通過する成分による影響が大きいといえる。d2孔がF2流域との尾根境界上に、f3孔がF4流域との尾根境界上に位置するため、水質の観点からもF2、F4からF3への地下水集水構造が立証された。