

山地河川におけるフラッシュフラッドの特性に寄与する要因

○宮田秀介（京都大学防災研）・小林弘尚（電源開発）・竹林洋史（京都大学防災研）

里深好文（立命館大学理工学部）・藤田正治（京都大学防災研）

辻本浩史（日本気象協会）・竹下航（国土交通省）

1. はじめに

山地流域においてフラッシュフラッド（鉄砲水）と呼ばれる土砂濃度の比較的低い急激な出水による災害事例がしばしば報告されている。想定される発生要因として、源流部での集中豪雨、流域の土層厚といった降雨の直接流出によるものや、河道の小規模河道閉塞による土砂流出を伴うものがある¹⁾²⁾。しかし、これらを個別に検討し比較した研究は少ない。そこで本研究では、急激な出水であるフラッシュフラッドの流出特性に影響を及ぼす要因について、数値解析を用いて検討する。

2. 対象流域

岐阜県神通川水系金木戸川を対象流域とした（図1）。金木戸川は神通川水系高原川の右支川であり、登山者や現地住民の間ではフラッシュフラッドの頻発地帯として知られる。2005年8月にはフラッシュフラッドとみられる出水で人的災害が発生した。本研究では災害発生地点を含み、河川構造物のない広河原地点より上流を解析対象とした。流域面積が60.9 km²、河道長が12.3 km、平均河床勾配が0.09であり、標高が1207～2897 mで分布する山岳流域である。

3. 解析方法

3.1 斜面部・河道部の流出解析

流域を斜面部と河道部に分割し、流出解析を行った。斜面部は、2層（A層、B層）の土層で構成される矩形斜面に仮定した。降雨は不飽和土層内ではwetting frontの降下によって飽和層まで浸透し、側方浸透流はダルシー則に、表面流はマニング則に従うものとして計算した。河道部に

ついては、斜面部からの流出を側方流入として kinematic wave 法を用いて計算した。諸パラメータは山地域において一般的な値を参考に、実測値に適合するように試行錯誤により決定した。解析期間は災害の発生したイベントである2005年8月11日16:00～13日7:00とした。

3.2 河道閉塞の解析

河道閉塞による流出への寄与を検討するため、流域内の任意の河道閉塞区間を設定し、二次元河床変動計算により閉塞部の侵食過程と流出ハイドログラフを求めた。流出解析から求めた河道部ハイドログラフを流入量として二次元河床変動解析を行った。

4. 解析条件

4.1 降雨条件

解析入力条件としての降雨の時間分解能と空間分布に着目して解析を行った。降雨データは、広河原地点における地上雨量計およびCバンドレーダー解析雨量（2.5 kmメッシュ）を用いた。解析期間における広河原地点でのレーダー雨量（10分間隔）と地上雨量（1時間間隔）を比較すると、レーダー雨量は時間分解能が高いため、より大きな極値を捉えた。また、各メッシュのレーダー雨量は、上流域では広河原地点に比べて十～数十分遅れており、流域内での降雨が分布していた。そこで本解析では、入力降雨条件として、Case 1) 広河原地上雨量を全流域に適用、Case 2) 流域平均のレーダー雨量を全流域に適用、Case 3) 各斜面に該当するメッシュのレーダー雨量を適用の3条件で解析を行った。ただしレーダーデータは、広河原地点を含むメッシュの解析雨量と地上雨量の総降雨量が一致するように補正した。

4.2 土層厚の空間分布

土層厚は流出に大きな影響を与えるが、その分布を推定する手法は確立されていない。本研究では自然環境保全基礎調査³⁾の植生調査結果を用いて土層厚分布を推定した。対象流域の標高約2500m以上では主にハイマツで被覆されていた。ハイマツの根系深さは30～40cmであることから、標高2500m以上の表土層厚は40cmで与え、標高2500m以下でも同様に植生から80cmと表土層厚を推定した（Case 4）。なお、入力降雨はレーダー解析雨量を用いた。

4.3 小規模河道閉塞

河道部において土石流等による小規模河道閉塞が発生したと仮定し、その影響を検討した。発生箇所は、Case 5) 本流上流部（8月12日4:40発生）、Case 6) 広河原直上

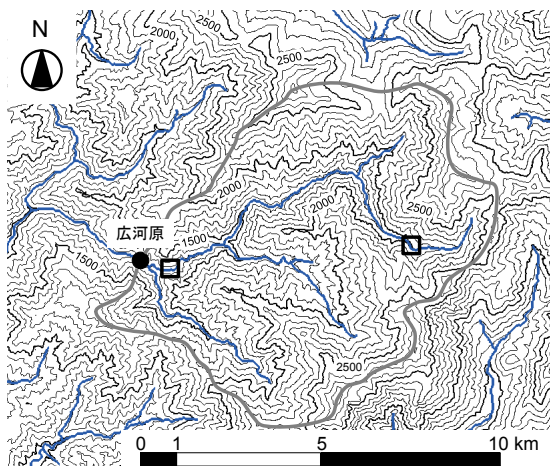


図-1 対象流域および河道閉塞発生位置(□)

流部（8月12日4:30発生）の2地点とし（図1），発生時間はそれぞれに該当するレーダー雨量が最大降雨強度をとった時間とした。河道閉塞縦断面形状は三角形とし，高さを10m，下流のり面勾配を約20°とした。入力降雨はレーダー解析雨量を用いた。

5. 結果と考察

5.1 降雨条件の影響

各降雨条件における広河原地点の解析流量を図2に示す。広河原の地上雨量計のデータを全域に適用すると，1回目の立ち上がりこそ大きい，2回目のピークは小さかった。Cバンドレーダー解析雨量を用いると，広河原地点ではイベント初期には緩やかに流量が増加し，12日4:00~9:00の立ち上がりも急になり，ピーク流量も大きくなる。また，レーダー雨量を流域で平均した場合と解析雨量を用いた場合でも差が見られ，空間分布を考慮したものでは初期の流出は遅くなるものの，12日4:00~9:00の流量増加は急激になり，ピーク流量も大きくなった。これは，上流域では下流域に比べ降雨の遅れが生じるが高強度であるためであった。

5.2 土層厚分布の影響

図3に，植生分布から推定した土層厚を与えた場合の広河原地点での流量を示す。植生分布から土層厚を与えた条件では，全域で80cmとした条件よりも初期の流出もその後の流出もわずかながら大きくなった。これは，高標高域の土層が薄いために，土層の貯留可能雨量が小さくなり，表面流としての流出が増加したためと考えられる。

5.3 小規模河道閉塞の影響

河道閉塞は，本流上流部，広河原直上流部でそれぞれ約25分，8分の短い時間で越流侵食により決壊した。小規模河道閉塞が発生した場合の広河原地点での流量を図4に示す。広河原地点に近い箇所での閉塞では，一旦流量が減少した後に急激に上昇するが，上流部で発生した場合では，顕著な流量の減少が起こらず急に流量が増加した。上流の離れた場所で河道閉塞とその決壊が発生した場合には，現場では前兆現象なしに急激な流量増加がおこる可能性があり，被害に繋がりがやすいと考えられる。

5.4 各要因が水位上昇に及ぼす影響

以上のフラッシュフラッド発生に及ぼすと考えられる各要因について，広河原地点での30分あたりの流量増加率の最大値を図5に示す。小規模河道閉塞は，他の場の条件および降雨入力条件に比べ，より急な出水となることが示された。

6. おわりに

数値解析により，さまざまな条件によるフラッシュフラッド流出特性への影響を検討した。その結果，小規模河道閉塞，土層厚の空間分布，降雨の空間分布の順に水位上昇率が大きく，フラッシュフラッドによる被害が起こりやすいと考えられた。河道閉塞をもたらす崩壊や土石流の発生しやすさや，流域地形による流出への影響を合わせて検討

することで，フラッシュフラッドの発生危険渓流の抽出につながると考えられる。

参考文献

- 1) 松田如水・山越隆雄・田村圭司：鉄砲水の流出特性に関する研究，水工学論文集，53，487-492，2009.
- 2) 小田晃・水山高久・宮本邦明：短時間溪流閉塞時の堆積形状と決壊時のハイドログラフに関する実験的研究，砂防学会誌，63(3)，3-10，2010.
- 3) 環境省：第5回・第6回自然環境保全基礎調査植生調査

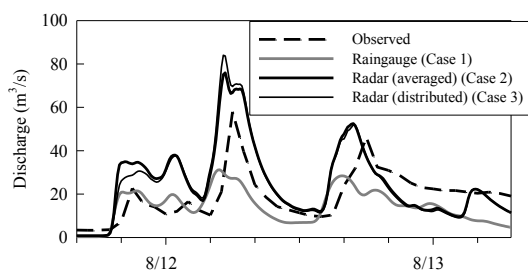


図2 異なる降雨条件により計算された広河原における流出量

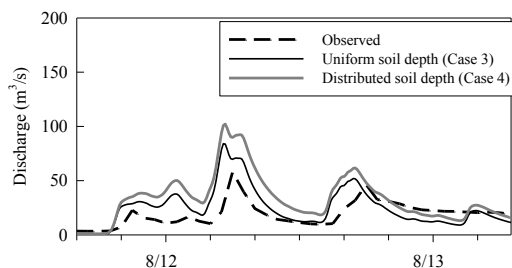


図3 植生分布から推定した土層厚分布を用いて計算された広河原における流出量

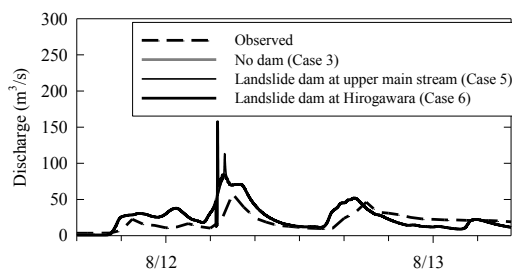


図4 小規模河道閉塞が広河原直上流部およびを考慮した場合の広河原における流出量

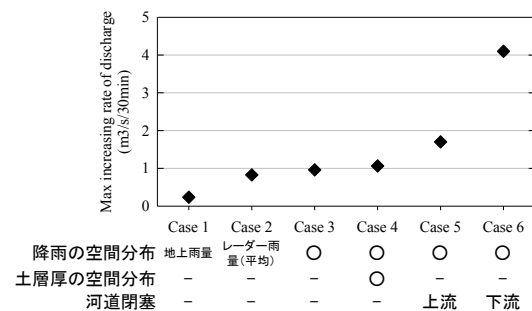


図5 各要因が流量増加率に及ぼす影響