

1. はじめに

近年、鉄砲水と呼ばれる災害事例・災害報道が多く見られる。鉄砲水とは、学術用語ではないが、広辞苑などにも記載されており、土石流と洪水の中間に位置するような現象で、山地や中山間地の河川などで発生する非常に急激な出水・増水と考えられている¹。また、このような現象は、英語圏においては flash flood (フラッシュフラッド) と表現されている。しかし、flash flood という言葉も、鉄砲水同様に決して明確な表現とは言えない。本稿においては、これらをまとめてフラッシュフラッドと記述する。

フラッシュフラッドに関する研究は、歴史を遡ってもそう多くは存在せず、発生機構等の解明も未だ十分とは言えない。そこで、本研究では、数値解析を用いてフラッシュフラッドの発生機構について検討する。

2. 数値解析方法

解析方法としては、斜面については kinematic wave 法を適用した降雨流出解析、河道に対しては dynamic wave 法を用いた一次元不定流解析を行い、降雨の流出プロセスを解析した。

2.1 降雨流出解析

斜面部の計算では、対象斜面を単位斜面に分割した後、表面流には kinematic wave 法を、斜面における浸透流は飽和流れとし、運動方程式としてダルシー則を用いた。斜面の土層は3層（地表面から順に A 層・B 層・C 層）とし、A 層は表面流、B 層は飽和流れ、C 層では浸透流を考慮しないものとし、諸パラメータは山地流域で適合するような代表的な値を用いた²。

$$\alpha \frac{\partial h_r}{\partial t} + \frac{\partial q_r}{\partial y} = (r - f) \cos \theta \quad (2.1)$$

$$q_r = k_A h_r \sin \theta + k_B D_B \sin \theta \quad (h_r \leq D_A) \quad (2.2)$$

$$q_r = k_A D_A \sin \theta + k_B D_B \sin \theta + \frac{1}{N_m} \sqrt{\sin \theta} (h_r - D_A)^{5/3} \quad (h_r \geq D_A) \quad (2.3)$$

2.2 一次元不定流解析

河道部の計算には、TVD-MacCormack 法による一次元不定流解析を用い、斜面と各支川からの横流入を考慮している。河道の横断形状を台形と仮定した。また、斜面部の計算と同様にパラメータを決定した。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = -\frac{Q_f}{B_f} \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = -gA \frac{\partial z}{\partial x} - gAI_e + \frac{\partial}{\partial x} (A\sigma_{xx}) \quad (2.5)$$

2.3 解析条件

降雨条件による流出特性を検討するため、表 1 のような条件で解析を行った。降雨については雨域の違いと雨域の移動についてそれぞれ 2 通り、解析を行った。対象とした流域は、日本有数の山地河川であり、フラッシュフラッドと考えられる災害の多発地帯として知られている、岐阜県神通川水系双六川 (図 1) であり、国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ (標高) の情報を用いて、解析を行った。また、雨量データは当流域付近に位置する白出沢の気象庁アメダスデータを用い、降雨域が全流域と源流部の時で総降雨量が等しくなるように与えた。雨域の移動については、流域を大きく {中の俣・北の俣} 側と {小倉谷・打込谷・蓮華谷・本川} 側とに分割し、前者の雨の降り始めの時間を 10 分遅らせることによって、図 1 の右下から左上へと雨雲が移動している条件を考えたとき、下流端における流量の時間変化にどのような違いが見られるかについて、解析を行った。

表 1 解析条件

Case No.	降雨域	雨域の移動
1	全流域	なし
2	源流部	なし
3	全流域	あり
4	源流部	あり



図 1 双六川概要

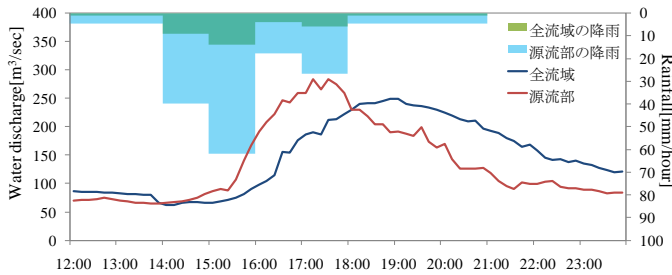


図2 流量の時間変化

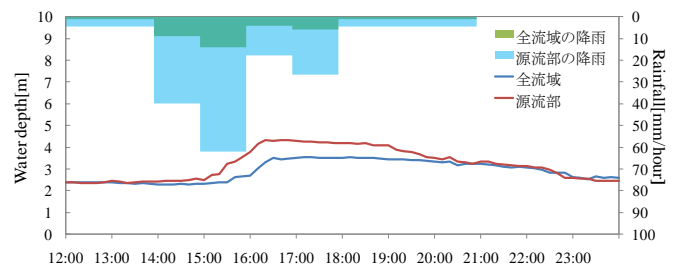


図3 水位の時間変化

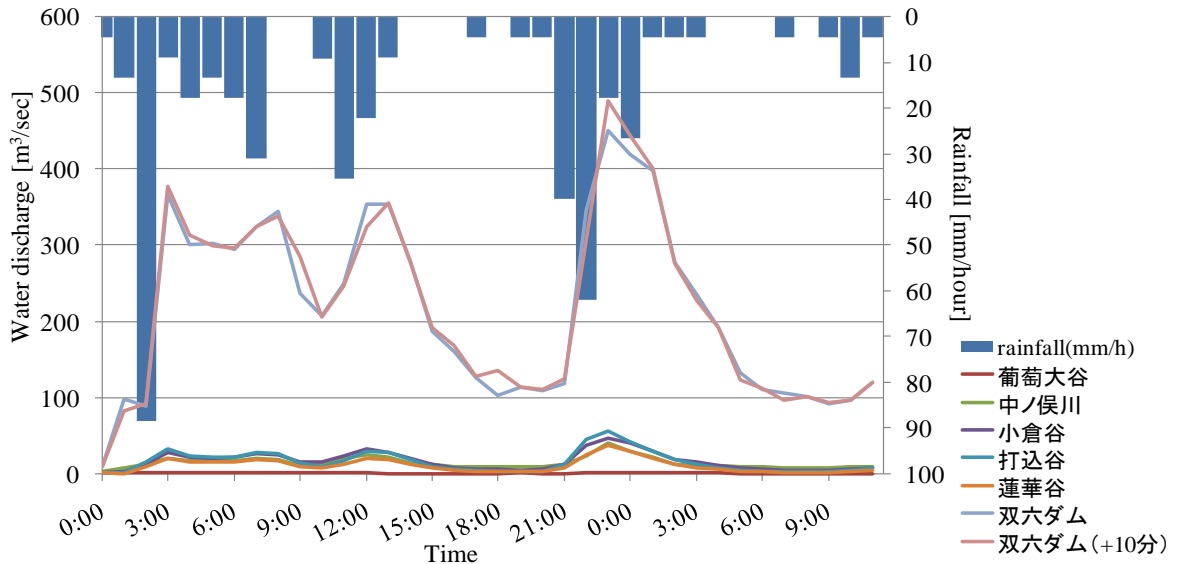


図4 雨域を移動させた時の流量の時間変化

3. 解析結果および考察

3.1 降雨域の違いが流出特性に与える影響

Case1 と Case2 から得られた雨量の時間変化と双六ダムにおける流量の時間変化、および水位の時間変化を図2と図3にそれぞれ示す。流量の時間変化に関して見ると、源流部のみに降雨を与えた場合は、全流域の場合に比べ、ピークに至るまでの時間が短く、また急激でそのピーク流量も多い。一方で、全域に降雨を与えた場合は、流量の増加は緩やかであるが、減少するまでに時間がかかっている。水深の時間変化は、源流部のみに降雨を与えた場合は、全流域の場合と比べ、流量の時間変化と同様にピークに至る時間が早く、水位の上昇の度合いも大きい。これは、斜面からの全流出量に占める表面流の割合が大きいためと考えられる。降雨強度の強い雨が局地的に降ると、土層が瞬時に浸透してしまうか、降雨量が浸透量を上まってしまうため、雨量が一塊となって流出し、フラッシュフラッドを引き起こすと考えられる。

3.2 降雨域の移動が流出特性に与える影響

Case3 から得られた雨量の時間変化と本川の各地点における流量の時間変化を図4に示す。図4より、降り始めの時間を10分ずらすことで、特に2度目の18:00において、本川下流端である双六ダムでのピーク流量が、同時に降らせた場合よりも大きくなっていることが分かる。実際の降雨においても、雨域の移動により降り始めの時

間異なることによって、複数の河川の合流点の下流側ではピーク流量がより大きくなり、フラッシュフラッド等の災害が起こる可能性が考えられる。

4. まとめ

総降雨量を一定とした条件のもとでは、源流部のみに降雨を与えた場合の方が、全流域に降雨を与えた場合よりも、流量や水位の時間変化が鋭く、そのピークも大きいと言える。また、雨域の移動に起因するフラッシュフラッドの可能性を示すこともできた。これら降雨の偏在性によってフラッシュフラッドが起こるが、河道内にいる人々にとっては気づきにくく、そのために人的被害をより大きくするものと考えられる。

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，第53巻，p.487-492，2009
- 2) Egashira, S., Ito, T., Horie, K. and Nishimoto, N: A method to predict sediment transport process in drainage basin with dams, RCEM 2007, Dohmen-Janssen & Hulscher (eds), Taylor & Francis Group, ISBN 978-0-415-45363-9, pp. 27-36, 2005.