

## 山地流域における短時間豪雨に対する急激な河川水位上昇の発生要因の考察

中央大学 学生会員 ○早澤 華怜  
 中央大学 正会員 小山 直紀  
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 山田 正

### 1. 研究背景・目的

近年局地的大雨の発生回数が増加している。短時間での局所的な大雨により河川水位が急激に上昇し、その結果水難事故が発生している。将来、気候変動の影響により現象の極端化が進行する中で、中小河川における水位上昇を正確に捉えることは非常に重要な課題である。

山地流域の降雨流出過程を表現するモデルは古くから多く提案されている。例えば、吉見・山田<sup>1)</sup>は斜面の浸透機構を考慮した流出解析手法により、物理性を担保しつつ多層流れを表現する計算手法を提案した。降雨流出モデルに用いられるパラメータは過去の洪水イベントに対し、最も精度よく再現できるものを推定し決定することが一般的であるが、山地中小河川では写真-1にみられるような段波状の先端部を形成しながら流下する鉄砲水が生じる場合があり、過去の洪水イベントで推定したパラメータではこのような急激な河川の増水を適切に再現できない可能性がある。したがって短時間豪雨に伴い急激な水位上昇が生じる中小河川の防災・減災のため、本研究では急激な水位上昇が生じた過去の事例から流域特性をまとめるとともに、流出計算により急激な河川水位上昇発生要因を考察した。

### 2. 急激な河川水位上昇を生じる流域の特徴

段波状の先端部を伴う鉄砲水による急激な水位上昇が生じる要因について考察するため、国内外で発生した過去の同様の事例について、流域面積[km<sup>2</sup>]、河川延長[km]、平均河床勾配、植生を表-1にまとめた。流域面積や河川延長は流域によって大きさや長さが異なるが、河床勾配はいずれの流域でも1/140~1/18と大きく、日



写真-1 段波が流下する様子<sup>3)</sup> (佐梨川 (新潟県))

本のの上流部程度の値となっている。したがって河床勾配が大きいことが鉄砲水を生じさせる要因の一つとして考えられる。植生は落葉広葉樹や常緑針葉樹、さらには農地など様々である。

### 3. 流出計算結果と考察

様々な事例のうち、本研究では一例として2021年7月29日に新潟県で発生した短時間集中降雨を対象とし流出計算を行った。対象流域は佐梨川流域で、流域面積は89.8km<sup>2</sup>、河川延長は18.5kmである。流出計算は吉見・山田<sup>1)</sup>によって提案された斜面内多層流れを考慮した流出計算手法を用いた。これは鉛直浸透機構を考慮することにより降雨が流出に寄与するまでの遅れ時間や損失雨量を表現することができる計算手法である。基本式は次に示す通りである。

$$\frac{ds_n}{dt} = V_{n-1} - r_{nm} - V_n \quad (1)$$

$$\begin{cases} r_{nm} = 0 & (s_n \leq h_{nm}) \\ r_{nm} = a_{nm}(s_n - h_{nm}) & (s_n > h_{nm}) \end{cases} \quad (2)$$

$$V_n = b_n s_n \quad (3)$$

$$\frac{dq_{nm}}{dt} = \alpha_{nm} q_{nm}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \quad (4)$$

表-1 急激な河川水位上昇が生じた過去の事例と流域の特徴<sup>4)-11)</sup>

河川名	国名	発生日	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	河川延長 [km]	平均河床勾配	植生
佐梨川	日本	2021/7/29	89.8	18.5	1/67	落葉広葉樹 (クリ・ミズナラ群落、ブナ・ミズナラ群落、 自然低木群落、チシマザサ・ブナ群落)
千種川	日本	2020/8/11	730	68	1/43	針葉樹 (スギ・ヒノキ (人工林))
水無川	日本	2008/7/27	50.1	13	1/40	落葉広葉樹 (ブナ・ミズナラ群落、カスミザクラ・コナラ群 落、自然低木群落)
富並川	日本	2006/8/22	44.6	16	1/18	落葉広葉樹・常緑針葉樹 (ミズナラ群落・コナラ群落、スギ (植林))
パタルパニ滝 (チョーラル川)	インド	2011/7/17	601	55	約1/140	農地と他の植生の混合
ツルク川	スイス	2012/7/6	89	23	1/77	常緑針葉樹、疎林、草地等

キーワード 流出解析, 短時間豪雨, 鉄砲水

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL03-3817-1621 E-mail : a17.3h4j@g.chuo-u.ac.jp

ここに、 $n$ ：層数、 $m$ ：各層における側方流出成分の数である。また、 $r_{nm}$ ：有効降雨量 [mm/h]、 $s_n$ ：各層の土壌内水位[mm]、 $a_{nm}$ 、 $b_n$ ：流出成分、浸透成分の比例定数[1/h]、 $h_{nm}$ ：各層の流出成分発生の閾値[mm]、 $V_n$ ：鉛直浸透量[mm/h]である。 $\alpha_{nm}$ 、 $\beta_{nm}$ は流出パラメータである。対象降雨における観測水位を用いてパラメータを決定した。

図-1は、国土交通省が管理するCbandレーダで10分毎に得られた流域平均降雨強度と流出計算で得られた流量を河道横断面を用いて変換した水位(緑線)であり、黒点は観測水位である。観測水位のピーク値が94.43mであるのに対し、計算水位のピーク値は93.13mと観測値よりも1.3m低い。また、水位のピーク時刻は計算値に比べ観測値の方が1時間程度遅い。図-2は、同じく国土交通省が管理するXbandとCbandレーダデータを合成した1分毎の流域平均降雨強度と流出計算で得られた流量を河道横断面を用いて変換した水位(青線)であり、黒点が観測水位である。XbandはCbandに比べ波長が短いいため時空間的に密な観測が可能である。ピーク水位を比較すると計算水位は観測水位よりも1.31m高くなっており、Cbandレーダと比べ観測降雨強度が大きいことがXbandCband合成データを用いた場合の水位の方が大きい要因の一つであると考えられる。ピーク時刻は計算値の方が観測値より約2時間早く、Cbandレーダで観測した雨量で流出計算した場合よりも30分程早くピークを生じている。ピーク時刻や流出量が異なる原因としていくつかの可能性が考えられる。一つ目は、今までの流出メカニズムとは全く異なる流出形態をとった可能性である。二つ目は、河道計算の必要性である。90 km<sup>2</sup>程度の流域面積であるが、本計算では1分または10分毎に降雨を与えており流出までの応答時間が短く、現実では降雨が河川へ流出する時刻から下流端で水位が観測されるまでに時間遅れが生じている可能性がある。また、河道流下の際に発達した衝撃波の影響が考えられる。以上のことから、山地小流域の短時間豪雨を対象とした流出メカニズム解明の必要性と河道計算の必要性が示唆された。

#### 4. まとめと今後の展望

本研究では短時間降雨に伴い発生する急激な水位上昇について過去の事例から流域特性を整理した上で斜面内多層流れを考慮した流出解析手法により観測値と計算値を比較した。その結果、ピーク時刻もピーク水位も観測値と異なっており、その要因として流出メカニズムの違いや河道流下の際に生じる衝撃波形成の影響が考えられる。したがって河道の影響を考慮するため、今後は流域を小流域に分割し、横流入を考慮した河道計算を行い、段波発生現象を数値計算により明らかにしていきたい。

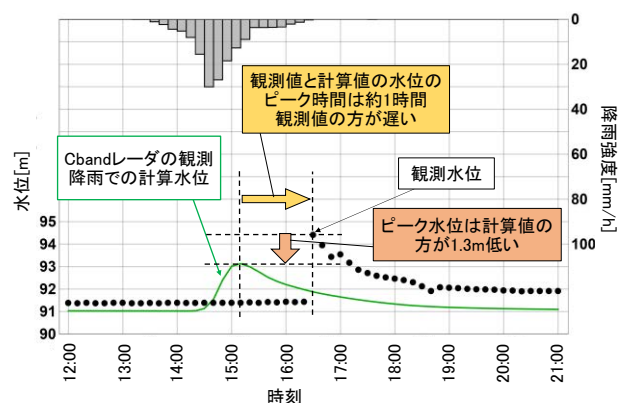


図-1 Cband レーダの観測値を用いた流出計算結果

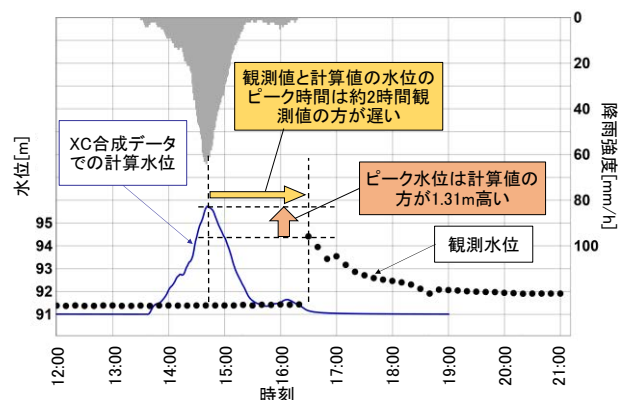


図-2 XbandCband 合成データを用いた流出計算結果

#### 参考文献

- 1) 吉見和紘, 山田正:鉛直浸透を考慮した斜面内流出計算手法の提案, 土木学会論文集G (環境), vol.69, No.5, I\_145-I\_150, 2013.
- 2) 山田正:山地の非線形性に関する研究, 水工学論文集, 第47巻, pp.259-264, 2003.
- 3) 魚沼市ホームページ (2022年3月現在)
- 4) 国土地理院:地理院地図
- 5) María Bermúdez1, Andreas Paul Zischg : Sensitivity of flood loss estimates to building representation and flow depth attribution methods in micro-scale flood modelling, Natural Hazards, 92(3), pp. 1633-1648. Springer 10.1007/s11069-018-3270-7
- 6) 兵庫県:千種川水系河川整備計画, 平成24年6月
- 7) 新潟県:信濃川水系魚野川圏域河川整備計画, 平成16年4月
- 8) 国土交通省東北地方整備局:最上川水系河川整備計画, 平成30年1月
- 9) 魚沼市:農村環境計画, 2015年
- 10) 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- 11) 環境省自然環境局生物多様性センター:5万分の1現存植生図