

河道特性や洪水波形の違いによる鉄砲水ハイドログラフの発生要因の考察

中央大学大学院 学生会員 ○早澤 華怜

中央大学研究開発機構 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

鉄砲水は気象科学事典¹⁾によれば「短時間に強い雨が降って、谷川などの水位が急激に上昇し、堰を切ったように押し寄せる水。」である。山地中小河川では写真-1²⁾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る。前触れなく押し寄せる鉄砲水は予測が困難であり、川沿いで遊ぶ子供や作業員が逃げ遅れる水難事故^{例えば3)}が発生する。このため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。

栗原ら⁴⁾は、鉄砲水の発生要因について、天然ダムの形成・決壊によるものと、天然ダムが形成されず、局所的な降雨や降雨が流出しやすい地形による可能性があることを明らかにしている。天然ダムの形成・決壊が鉄砲水の発生要因でない場合、降雨や降雨流出のメカニズムの違いの他に、洪水の波形や河道特性により河道内において鉄砲水が生じた可能性も考えられる。そこで、鉄砲水に対する山地流域の中小河川の防災・減災のため、本研究では河道流下の際における鉄砲水発生の可能性に着目し、山地中小河川を対象として次元不定流の計算を行い、河道流下の際に鉄砲水が生じる要因について考察した。

2. 基本式と数値計算条件

次元不定流の基本式は、連続式及び運動方程式である。河道断面は矩形断面とし、時間差分間隔 $\Delta t=0.05s$ 、空間差分間隔 $\Delta x=10m$ として計算した。離散化には有限差分法を用い、時間差分は前進差分、空間差分は中心差分を用いた。ただし、移流項に関しては風上差分を用いた。初期水深は等流水深とし、上流端流量には下記の式で表される流量ハイドログラフを与えた。

$$Q(t) = Q_b + (Q_p - Q_b) \left(\frac{t}{t_p} \exp \left(1 - \frac{t}{t_p} \right) \right)^c$$

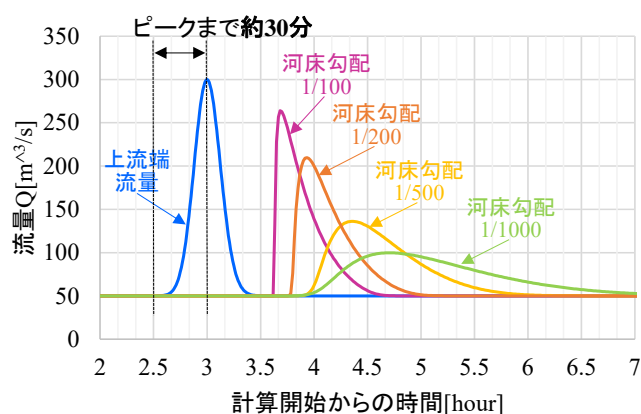
写真-1 段波が流下する様子²⁾ (佐梨川 (新潟県))

図-1 河床勾配が異なる場合の下流での流量ハイドログラフの違い
 [河床勾配が大きい方が下流でのハイドログラフの立ち上がりが早い]

ここに、 t :時刻であり、基底流量 $Q_b=50m^3/s$ 、ピーク流量 $Q_p=300m^3/s$ 、ピーク時刻 $t_p=3$ 時間（計算開始からの時刻）、ハイドログラフのピーク指数はハイドログラフの立ち上がりからピークまでの時間が1時間、45分、30分となるように与えた。数値計算の条件は、川幅は30mで一定とし、粗度係数は0.04、計算延長距離は15kmとした。

3. 結果と考察

河床勾配の大きさの違いによる鉄砲水の発生可能性を分析するために、河床勾配を1/100, 1/200, 1/500, 1/1000として計算を行った。(図-1) 青線は上流端に与えた流量ハイドログラフであり、紫、橙、黄、黄緑の各線はそれぞれ河床勾配が1/100, 1/200, 1/500, 1/1000の場合の下流での流量ハイドログラフである。

キーワード 不定流, 鉄砲水

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL : 03-3817-1621 E-mail : a17.3h4j@g.chuo-u.ac.jp

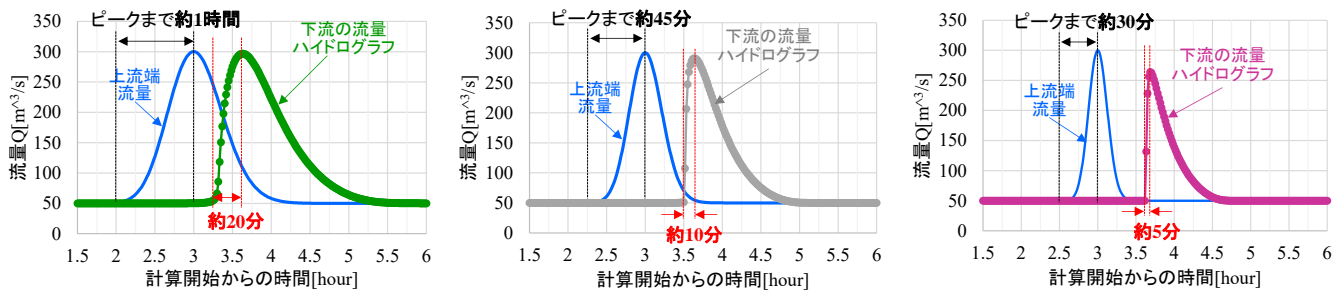


図-2 流量ヒドログラフの立ち上がりからピークまでの時間が異なる場合の
下流での流量ヒドログラフの違い

〔 立ち上がりからピークまでの時間が短い流量ヒドログラフが
上流端に与えられた場合、鉄砲水が発生しやすい 〕

河川の中流域の平野部でみられるような河床勾配が比較的緩やかな $1/1000$ 程度⁵⁾の場合には、下流での流量ヒドログラフの立ち上がりからピークまでの時間が30分程度であり、上流端に与えた流量ヒドログラフと同程度である。一方で、河川上流の山間部を流れるような河床勾配の急峻な $1/100$ 程度⁵⁾の場合、下流のヒドログラフは数分程度でピークに達する。したがって鉄砲水は河床勾配の大きな河川で発生する可能性が高いことが分かる。

図-2は、日本の山間部を流れる急峻な河川を参考に河床勾配 $1/100$ ⁵⁾とし、上流端に与える流量ヒドログラフの立ち上がりからピークまでの時間を変えた場合の下流における流量ヒドログラフの比較である。青線は上流端に与えた流量ヒドログラフ、緑、灰色、紫は下流の流量ヒドログラフであり、それぞれヒドログラフの立ち上がりからピークまでの時間を1時間、45分、30分とした場合である。上流端に与える流量ヒドログラフのピークまでの時間が短いほど、下流での流量ヒドログラフは短い時間で流量が増加し、数分間で急激に立ち上がる鉄砲水のようなヒドログラフとなっている。河床勾配の大きな河川では、運動方程式の非定常項、移流項、圧力項の値は重力項と摩擦項の値と比較して小さいため、等流近似ができる。したがって、準線形の移流方程式となり、水深が深い所ほど移流速度が大きくなるため、ヒドログラフのピーク付近の移流速度が大きくなり、鉄砲水のような立ち上がりの早い切り立ったヒドログラフが形成されたと考えられる。

4. まとめと今後の展望

本論文では、河道流下時における鉄砲水の発生要因について、河床勾配や上流端流量ヒドログラフが異なる場合の下流での流量ヒドログラフの違いを数値計算により分析した。数値計算の結果、鉄砲水の発生要因には等流近似を行えるような山地の河床勾配の大きい急峻な河川であること、また、上流端に与える流量ヒドログラフの立ち上がりからピークまでの時間が短いことがあることを示した。本計算では川幅が一定の条件で計算を行ったが、山間部を流れる河川は山間狭窄や、橋脚による断面積の縮小があり、そのような狭窄部で鉄砲水が発生すると狭窄部で急激な水位上昇が生じる可能性がある。そのため、今後はこのような急流河川で生じた鉄砲水が狭窄部に侵入した場合の水位縦断形の分析を行ってきたい。

参考文献

- 1) 日本気象学会：気象科学事典，pp.379，東京書籍株式会社，1998.10.2.
- 2) 魚沼市ホームページ：「水の事故にご注意ください」<https://www.city.uonuma.niigata.jp/docs/2021070100016/>（2022年3月閲覧）
- 3) 国土交通省：群馬県谷川岳付近における災害の概要（第1報）
- 4) 栗原純一，桜井亘，武澤永純，田方智，鈴木隆司，盛伸行：2006年に発生した鉄砲水災害の発生要因について—佐賀県伊万里市，山形県富並川の事例—，砂防学会誌，Vol.60，No.2，p.39-44，2007.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所：河川用語集～川のことば～（2023年1月閲覧）