

豪雨時における土砂動態シミュレーションの精度向上に関する試み

株式会社 建設技術研究所 ○高橋 佑弥, 五味 杏汰朗*1, 川崎 巧, 金野 崇史
 国土交通省北陸地方整備局 飯豊山系砂防事務所 梅田 ハルミ*2, 山根 恭子, 内藤 輝*3

*1: 現 株式会社 CTI リード

*2: 現 国土交通省北陸地方整備局 河川部

*3: 現 国土交通省北陸地方整備局 羽越河川国道事務所

1. はじめに

新潟県下越地方では令和4年8月3日昼過ぎから線状降水帯による非常に激しい雨が同じ場所で降り続けた。飯豊山系砂防管内では下関雨量観測所における2日間雨量で562mm、最大時間雨量149mmを記録するなど荒川本川上下流を中心に各所で大雨となった。昭和42年の羽越災害以来の降雨規模であった。荒川本川沿い新潟県関川村湯沢地先の湯蔵川では土石流や流木の流出により、複数の家屋が損壊した。湯蔵川は流域面積およそ5km²の流域であるが、レーダー雨量観測によると線状降水帯により流域内でも降雨分布があり、降雨強度の強い範囲と弱い範囲で土砂の生産状況に大きな差が確認された。また、谷出口から流出し、堆積した土砂は大部分が細粒成分であり、流下過程における施設効果や分級作用が影響しているものと考えられる。

本研究ではこのような特徴を持つ豪雨時における土砂動態シミュレーションの精度向上のため、①降雨分布を考慮した流出解析の実施、②土砂流下時の分級作用を表現するための土砂堆積モデルの改良、の2つの試みを実施した。

2. 分布型降雨流出解析の適用

2.1 令和4年8月出水の降雨状況

湯蔵川周辺で最大の降雨が観測されたのは2022年8月4日の午前2時までの1時間であった。この時のレーダー雨量観測による降雨分布と流域近傍にある地上雨量観測所(上関)の観測雨量を図-1に示す。従来の流出解析手法では地上観測雨量に基づいて実施されている事例が多いが、線状降水帯のような局所的な雨域を持つ降雨では湯蔵川程度の集水面積であっても流域内で雨量強度が異なっており、流出流量の推定精度が低下する恐れがある。

2.2 流出解析の実施

分布型の流出解析モデルとしてKinematic Wave法を採用し、従来の地上観測雨量に基づく流出解析とレーダー雨量観測に基づく流出解析を実施し、流量ハイドログラフの比較を行った。雨量を与える流域分割はレーダー雨量観測の1kmメッシュデータを解像できる程度のサイズで行った(図-2)。流出解析結果を図-3に示す。地上観測雨量に基づく流量は局地的な雨量が流域全体に影響するためピーク流量が211.6 m³/sとなったが、降雨分布を考慮すると108.1 m³/sに低減した。

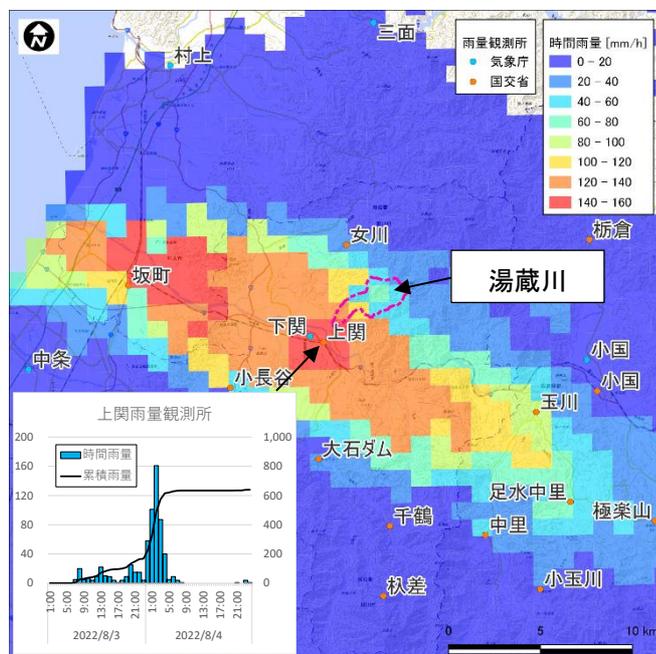


図-1 レーダー雨量観測(8月4日AM2:00)と地上観測雨量(上関)の比較

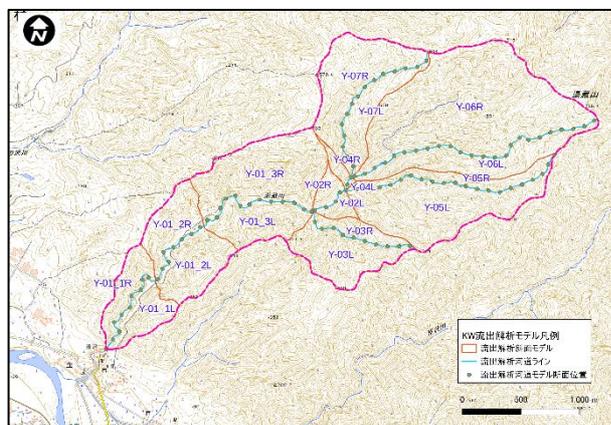


図-2 Kinematic Wave法の流域分割

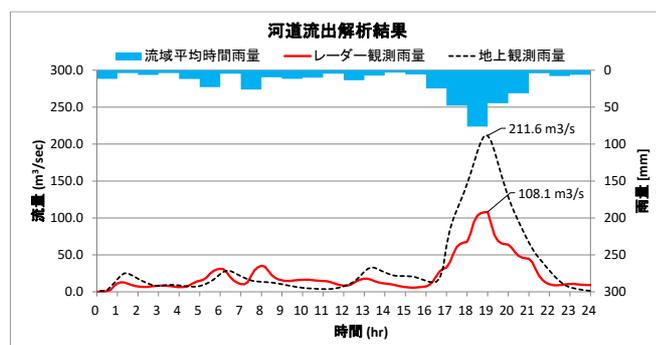


図-3 流出解析結果比較

3. 土砂堆積モデルの改良

3.1 発生した土砂の性状

湯蔵川流域内の河床の様子を撮影した写真と、谷出口から下流に堆積した土砂の様子を図-4 に示す。流域内の河床には礫が多く見られるが、出水直後に湯蔵川谷出口に堆積した土砂は細粒分が主体であった。これは斜面で発生した土砂が溪流を流下する際に治山・砂防施設の効果や分級作用により礫が流域内に残留し、細粒分が流出したものと考えられる。一方、一次元河床変動計算では流域内の河床勾配が比較的急勾配であり、粒径別に移動判定を行う掃流砂区間が少ないことから、分級作用をよく再現することができなかった。



図-4 流域内の河床状況（左）、流出土砂の状況（右）、写真提供：新潟県）

3.2 土砂堆積モデルの改良

流域内の分級効果や施設位置における礫の捕捉効果をより表現できるよう、土砂堆積モデルの改良を実施した。堆積速度 E_m 、粒径 d_k の堆積速度 E_k は、土砂濃度と平衡土砂濃度の関係から、以下のように表される。

$$E_m = \delta_d \frac{C_\infty - C_L}{C_*} \frac{q}{d_L}, \quad E_k = E_m \frac{C_k}{C_L}$$

ここに、 δ_d ：堆積速度係数、 q ：流れ全体の単位幅流量、 d_L ：流水中の粗粒土砂の平均粒径、 C_∞ ：平衡土砂濃度、 C_L ：流水中の粗粒土砂濃度、 C_* ：堆積土砂の容積濃度、 C_k ：流水中の粗粒土砂（粒径 k ）の土砂濃度である。本研究では、一次元河床変動計算の河床上昇速度を定義する堆積速度式における堆積速度係数を、通常は一定の値を用いるところ、粒径別に定義を行った。設定した粒径別の堆積速度係数を表-1 に示す。

表-1 粒径別堆積速度係数

粒径区分	粒径階 [mm]	代表粒径 [mm]	堆積速度係数
1	～ 0.25	0.130	0.0002
2	0.25 ～ 0.85	0.46	
3	0.85 ～ 2	1.30	
4	2 ～ 4.75	3.08	0.05
5	4.75 ～ 9.5	6.72	
6	9.5 ～ 19.1	13.47	
7	19.1 ～ 100	43.70	1.00
8	100 ～ 200	141.42	
9	200 ～ 400	282.84	
10	400 ～ 1000	632.46	

4. 一次元河床変動計算

湯蔵川を対象に、降雨分布を考慮した流出解析結果及び土砂堆積モデルを改良した計算モデルを用いて一次元河床変動計算を実施した。河床変動計算は、流出解析により得られた流量に加え、生産土砂の間隙に含まれる水分量も加味して実施した。一次元河床変動計算により得られた流域内の累積通過土砂量縦断面図を図-5 に示す。図中の積み上げグラフは計算により得られた粒径別の通過土砂量、赤の実線は航空レーザー測量データの差分解析より得られた推定の実績通過土砂量である。計算により得られた総通過土砂量に占める 2 mm 以下の粒径の含有率は、土砂堆積モデル改良前は 49.0%、改良後は 58.0%であり、改良により通過土砂量の細粒化が促進されることが確認できた。

5. おわりに

流出解析に降雨分布を考慮し、堆積速度係数を粒径別に定義することにより、実績の通過土砂量をよく再現することができた。流域内で降雨強度が異なる場合、土砂生産量も時空間的に分布することになる。流出解析に降雨分布を考慮することにより、精度の高い土砂動態の把握が期待できる。今後は観測データや実験等により再現性の定量的な評価や適切なパラメータの設定方法の検討を行っていく必要があると考える。

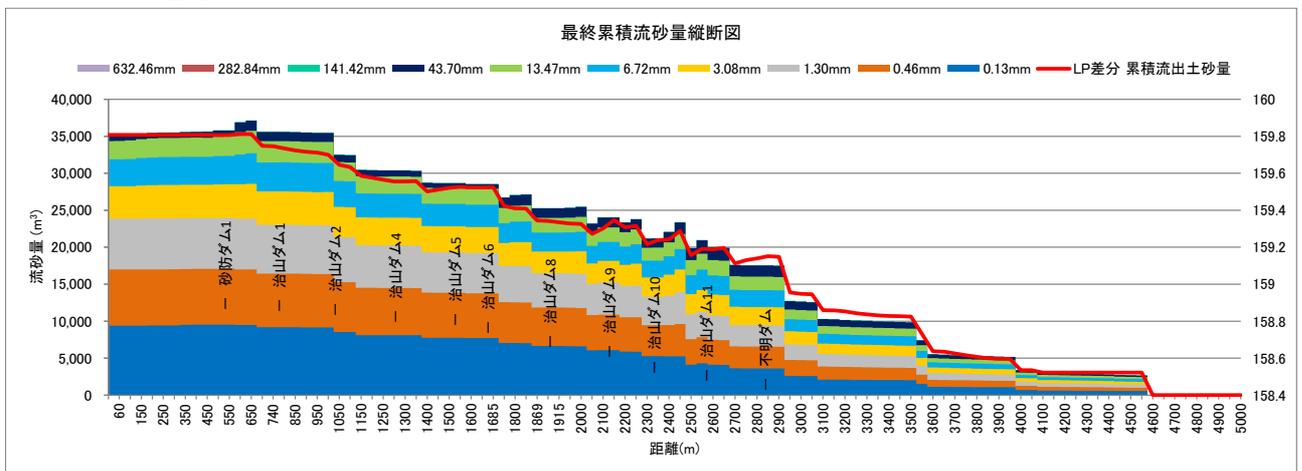


図-5 一次元河床変動計算による累積通過土砂量縦断面図と実績通過土砂量の比較