

山地小流域における土砂流出に対する危険度予測のための簡易的な流量観測について

神戸市立工業高等専門学校：○鳥居宣之
(一財) 建設工学研究所：笠原拓造

1. はじめに

土砂災害警戒区域（土石流）や道路の事前通行規制区間等においては、流域面積が数ヘクタール程度の小溪流が数多く存在する。これら山地小溪流における土砂流出は、降雨期間中のある時点から突発的に流量を増すような挙動を示し、そのタイミングや流出量は、流域面性が小さいがゆえに地形や植生、地盤の状況、雨の降り方などの溪流ごとの条件の違いが大きく影響することが予測される。本報告は、タイムラプスカメラやWebカメラ等の簡易な観測装置を用いて流量観測を行った事例及びその観測成果から降雨流出モデルのパラメータを推定した検討結果について報告する。

2. タイムラプスカメラ・Webカメラを用いた流量観測

2.1. 流量観測の概要

兵庫県神戸市北区に位置する流域面積約0.045km²（4.5ha）の溪流をモデル流域として観測を実施した（図-1 参照）。設置や撤去が容易で比較的安価なWebカメラと乾電池で作動するタイムラプスカメラを用いることとした。赤外線撮影により夜間でも静止画や動画の取得が可能な機種を採用した（図-2 参照）。Webカメラは現地の流況をリアルタイムで確認する目的でzoomや首振り撮影が可能な機種を設置した。タイムラプスカメラは水位と流速の観測用に画角を固定し、静止画と10秒程度の動画を10分毎に撮影した。

2.2. 観測結果（2022年7月12日の観測事例）

取得した静止画と動画から水位と流速を計測した。水位は静止画に写りこんでいる溪岸の量水標の目盛を目測で読み取った。流速は市販のPIV（Particle Image Velocimetry）解析ソフト（Flow Expert 2D カトウ光研株式会社）を用いて動画から計測した。流量は、水位に応じた流下断面積に流速を乗じて推定した。降水量は気象庁の解析雨量（1kmメッシュ30分更新）を収集した（図-3 参照）。

2.3. $H-Q$ 曲線の作成

観測水位 H から流量 Q を推定するため、複数回の観測データから $H-Q$ 曲線を作成した（図-4 参照）。この曲線は、今回の観測成果として当該溪流の警戒避難や事前通行規制の監視、土砂移動の影響評価等に活用できるものと考えられる。ただし、観測は2021年秋から2022年夏にかけての短期間であり、その間に規模の大きな降雨を経験することはなかったため、現段階では対数近似①と線形近似②の2本を設定している。今後も観測を継続し、精度を高めてゆく必要がある。

3. 表土層中の地下水と地表水を連続的に計算する簡易的な流出モデルの検討

当該流域を含む兵庫県下の市町で既に構築され検証実績を重ねている沖村ら^{1), 2)}が開発した地下1層の地下水位の解析と無限長斜面安定解析を組合せ10mメッシュ単位で表層崩壊を予測するモデルをベ

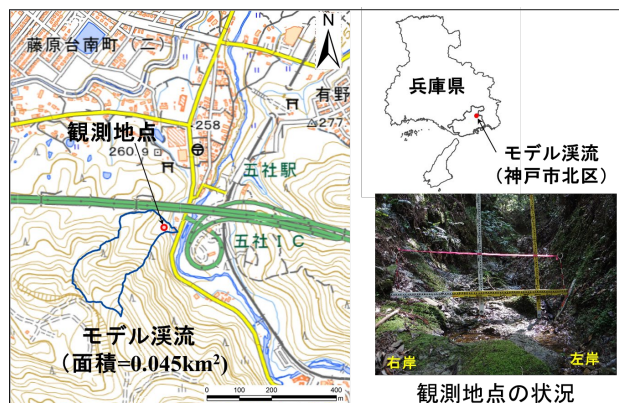
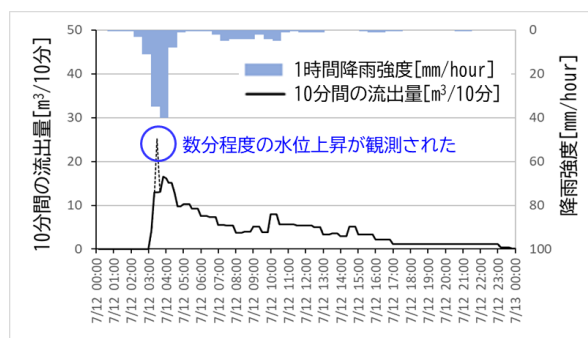


図-1 モデル溪流の位置図

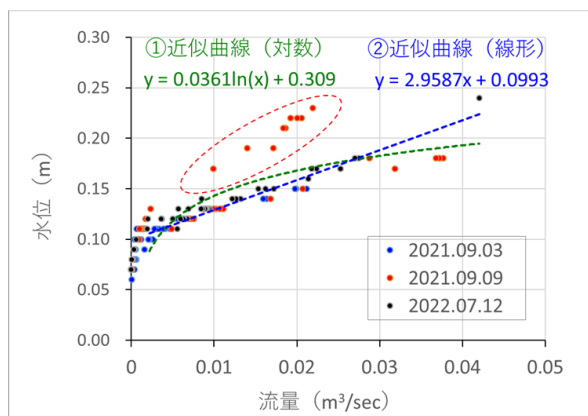


図-2 観測機器の設置状況



※10分間の流出量(m³/10分)：流速(m/s)×流下断面積(m²)×600秒

図-3 流量観測結果（2022年7月12日降雨）



※図中の赤色破線内のプロットは、深夜2時～5時の強雨時の観測データである。赤外動画には雨粒の軌道が縦筋の線として映り込んでおり、その影響でPIV解析による流速が正しく計測できていない可能性が考えられる。

図-4 今回の観測で作成した $H-Q$ 曲線

ースに下記の改造を加えた簡易な降雨流出モデルを作成した。表土層厚や地盤の物性値等についても沖村らの設定方法^{3), 4)}にならない設定した。

- ①土砂洪水氾濫や土石流の発生予測等に用いるため表流水の計算を加えた。
- ②実測の流出にみられる流出ピークの急激な立ち上がりへの追従や降雨終了後に長時間にわたって流出が継続する状況を再現するため、前者は早い地下水の流れ（パイプ流等）⁵⁾を、後者は山地斜面の保水性を高める（基岩への浸透等）⁶⁾を考慮し、地下を3層構造とした（図-5 参照）。

なお、10m メッシュの標高は、兵庫県のオープンデータ「兵庫県_全域 DEM (2010 年度～2018 年度)」の1mDEMより取得した。地下3層の透水係数と各層厚の比率の組合せについては、実測の流出波形や流出量と計算結果が近くなるよう感度分析で適値を求めた（表-1、図-6 参照）。

図-6 をみると、おおむねピーク流出量や降雨波形の再現が出来ていることから、溪流毎の流出特性に即した降雨流出量を推定する手法として、地下3層の透水係数と層厚の比率を流量観測成果に合わせて調整する今回の手法の有効性が確認できた。

作成した降雨流出モデルを用いて流出量の推定や斜面の安定性を評価した事例を図-7 に示す。これらの解析結果を土砂流出に対する危険度予測へ利用する方法については、今後、検討を進めていく予定である。

4. まとめ

Web カメラ等による比較的簡易な観測装置から得られた観測結果を降雨流出モデルのパラメータに反映させることで、山地小溪流からの流出量の推定や斜面の安定性の評価ができることを示した。今後、この手法を土砂災害警戒区域の警戒避難や道路沿いの小溪流の危険度評価等のリスク管理等へ発展させていくには、現段階においては規模の大きな降雨を経験していない短期間の観測による成果であるため、これまでの観測・検証を継続するとともに他の溪流における観測成果との比較検証を行うことで、一般化に向けた観測のノウハウや降雨流出に関する知見を蓄積していくことが必要と考えられる。

謝辞

ヒョウ工務店には、毎月のメンテナンス時の敷地内への立ち入り等、また、流量観測に際しては、（一財）建設工学研究所の令和3年度「一般研究助成」の助成金を利用した。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 沖村孝・市川龍平 (1985) : 数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法, 土木学会論文集, No. 358/III-3, p. 69-75.
- 2) 沖村孝・鳥居宣之・尾崎幸忠・南部光広・原口勝則 (2011) : 豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築, 新砂防, 63(6), pp. 4-12.

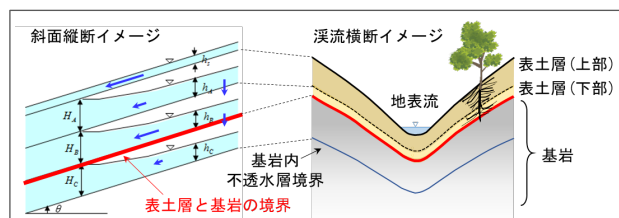


図-5 降雨流出モデルの概念図

表-1 モデルの設定条件

地層区分	表土層厚に対する割合	透水係数 (標準: $k=0.01\text{cm/s}$)		空疎率	摘 要
		水平方向	鉛直方向		
表土層	上部	0.8	1倍	-	・地表に降った雨水は直ちに表土層の基底に達し、地下水位を形成すると想定（浸透過程は考慮しない）
	下部	0.2	10倍	0.1倍	・水みちを想定 ・鉛直方向の透水係数は、表土層下部から基岩への浸透を想定
基岩層 (浸透を考慮する範囲)	1.0	0.1倍	0倍	0.1	・基岩への浸透を想定 ・基底部からさらに深部への浸透は想定しない

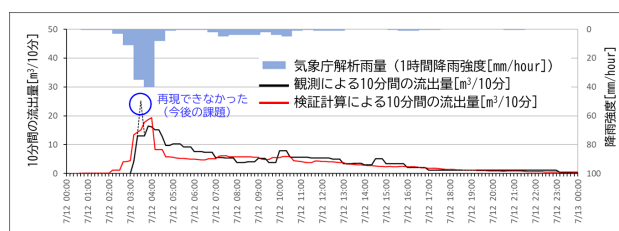


図-6 モデルによる流出量と実測の流出量の比較

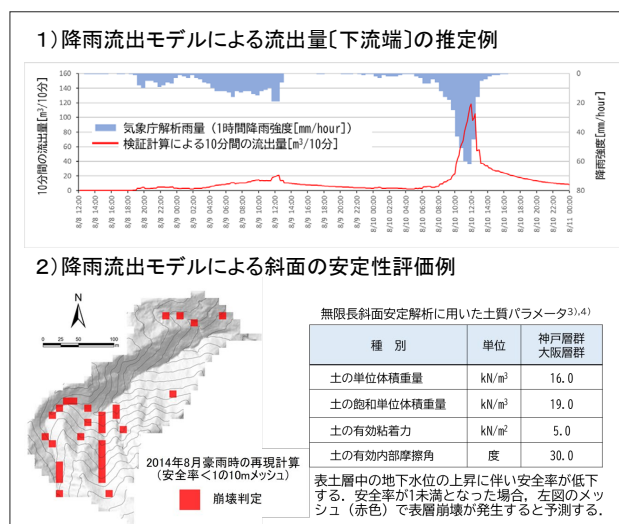


図-7 2014年8月10日豪雨の再現計算例

- 3) 沖村孝・中川渉・中尾直美・伊藤正美・嵯峨根朋子 (2017) : 兵庫県内の新生代第三紀堆積岩類における地形・地質的特徴とリアルタイム表層崩壊予測モデルへの適応と限界について, 建設工学研究所論文報告集第59号, pp. 49-71.
- 4) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則 (2015) : 表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(6), 建設工学研究所論文報告集第57号, pp. 17-57.
- 5) 内田太郎・小杉賢一朗・大手信人・水山高久 (1996) : パイプ流が斜面安定に与える影響, 水文・水資源学会誌, Vol. 9, No. 4, pp. 330-339.
- 6) 佐山敬洋・小杉賢一朗 (2014) : 山地基岩は不透水とみなせるか? - 基岩地下水の流動を再現する分布型流出モデルの開発, 水文・水資源学会研究発表会要旨集