

株式会社気象工学研究所 ○坂井大作、友村光秀
国土技術政策総合研究所 内田太郎、松本直樹

1. はじめに

山地流域での土砂災害対策を行うためには、山地流域の土砂移動現象を規定する山地流域の洪水流出に関する実態把握、および機構解明が必要不可欠である。しかし、現時点では、山地流域の洪水流出に関するハイドログラフの想定手法の確立がなされたとはいえない。その理由の一つとして、山地流域において豪雨時の観測はしばしば土砂移動をとまなうため、観測機器の破損などにより観測困難となることがあげられる。

そこで著者らは、直轄砂防事務所において取得が進んでいる CCTV 等の映像データ（以降、「映像データ」と表記）を用いることにより、山地流域の豪雨時の流出特性の把握について研究を行ってきた（友村ら、2016；坂井ら、2017；桜井ら、2018）。

一方、内田ら（2016）は全国 164 流域の山地流域の水文観測データに対してタンクモデルによる流出解析（SCE-UA 法によるパラメータ最適化）を行い、同定されたパラメータと場の条件の関係を統計解析し、タンクモデルの係数に関する重回帰式を提案した。しかし、この重回帰式の作成に用いた降雨イベントは、総雨量が 200mm 以下の降雨が大半であることから、短時間の豪雨を多く含んでいるとは言えず、豪雨時の流出特性の分析に適用するには不十分であると考えられる。

そこで、本研究では、桜井ら（2018）の検討にデータを追加し映像データに基づき土石流および山地洪水のピーク流量等を推定した上で、内田ら（2016）のタンクモデルの適用性について検討した。

2. 解析手法

2.1 CCTV 映像データを用いたハイドログラフの推定

出水時における、2015 年～2018 年の 32 地点 58 出水事例の映像データを用いた。これらの事例において、映像データから水位を読み取り、流量変換

（10 分間隔）を行った。水位データへの変換は、友村ら（2016）・坂井ら（2017）・桜井ら（2018）と同様に、キャプチャ画像から目視により水位のピクセル位置を読み取ることで行った。流量への変換は、床固工の設計に用いられる式を用いた。また、映像から流出現象を、土石流、泥流、それ以外の通常の出水に分類した。その上で、該地点の最寄の雨量観測所（アメダス）の雨量（10 分間隔）を収集するとともに、高解像度降水ナウキャスト（250m×250m メッシュ）の流域平均雨量（5 分間隔）を算出し、ハイドロ・ハイエトグラフを作成した。図-1 にハイドロ・ハイエトグラフの一例を示す。

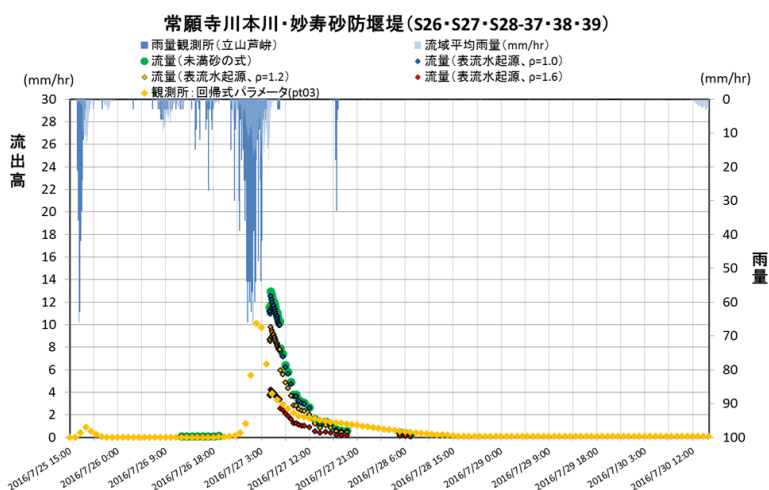


図-1 ハイドロ・ハイエトグラフの例
(妙寿砂防堰堤・土石流事例)

2.2 流域における場の条件の整理・抽出

流量は、該当流域の地形や地質など、様々な場の条件の影響を受けると考えられる（内田ら、2016）。そこで、2.1 で対象とした流域のうち 17 流域（比較的ピークを含む流出波形がある流域、土石流の場合はピークがある流域）を抽出し、抽出した流域に関して、内田ら（2016）で示したタンクモデルの係数決定に用いる重回帰式の説明変数である以下の諸元を整理・算出した。

(1) 地質等基礎情報

流域ごとに、観測地点の流域面積、勾配、地質を整理した。地質の整理にあたっては、国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センターの 20 万分の 1 の日本シームレス地質図を用いて、内田ら（2016）と同様に、流域の岩種（堆積岩、火山岩、深成岩）、地質年代（第四紀、第三紀、中生代）についてそれぞれ 3 区分した。

さらに、第四紀の隆起沈降量、百年レベルの隆起沈降量、気候区分も併せて整理した。

(2) 地形量

国土地理院 50m メッシュデータから流下経路を算出し、以下の 4 種類の地形量を求めた。

①流域内の各地点から流量計測地点までの流出経路の平均長

- ②流域内の各地点から流量計測地点までの流出経路長の変動係数
- ③流域内の各地点から流量計測地点までの流出経路の平均勾配
- ④流域内の各地点から流量計測地点までの流出経路の勾配の標準偏差

(3) 気候値

流量算出地点に最も近い気象庁観測データ（アメダス）を用いて、以下の気候値を流域ごとに算出した。

- ①既往最大時間雨量 ②既往最大日雨量 ③平均年最大時間雨量 ④平均年最大日雨量
- ⑤平均年最大 10 分雨量 ⑥平均年最大 30 分雨量

なお、既往最大値は観測開始から事象発生までの期間、平均年最大値は 1 月から観測されている最初の年から 2018 年までの各年の最大の平均とした。ただし、10 分雨量は、1994 年 4 月より観測開始のため、⑤⑥については 1995 年以降を計算した。

2.3 タンクモデルを用いた流出解析

2.2 で整理した (1) ～ (3) の場の条件から、重回帰式により、17 流域のタンクモデルの係数を決定した。なお、タンクモデルは、4 段タンクとし、2.1 での雨量データを入力して各時刻の流量を計算した。計算結果は、映像データから求めた流量と比較し、整合性を検証した。

また、土石流の事例（10 事例）での流量については、桜井ら（2018）と同様の手法により、表流水起源の水のピーク流量（ Q_{wsp} ）の推定を行った。間隙流体の密度（ ρ ）は、1000、1200、1600kg/m³ の 3 通りとし、それぞれにおいての Q_{wsp} を求めた。その上で、 Q_{wsp} とタンクモデルによる流出解析結果との比較も行った。

3. 結果と考察

図-2(a)(b)に、映像データから算出した 17 流域での事例のピーク流量と、タンクモデルを用いて算出したピーク流量の比較結果を示す。出水（図-2(a)(b)の●）については、タンクモデルでの再現性が比較的良好であることがわかる。このことは、地形などの地域特性を用いた回帰式でのタンクモデルの係数設定が、一般的な山地洪水にはかなり有効であることを示唆している。

一方、土石流については、表流水起源の水の分離前の段階では、実際に生じた流量はタンクモデルでの計算値よりもはるかに大きい（図-2(a)の◆）。しかし、流量のうち、表流水起源の水（ Q_{wsp} ）を分離すれば、 Q_{wsp} は出水の場合と同程度の再現性を示した（図-2(b)の◆・◇・◇）。分離において、タンクモデルの計算値に最も近くなる間隙流体の密度（ ρ ）は、1200、1600kg/m³ となる事例が大部分を占めていた。

なお、山地流域では、高解像度降水ナウキャストのデータよりも、雨量計で観測した雨量の方が、流出量の再現性が良い流域も少なからず存在した。高解像度降水ナウキャストは気象レーダーを基に計算されているが、レーダーの電波が山地により遮られることで、実際の雨量との誤差が生じる影響が考えられる。

4. 今後の課題

今後は、出水の映像データの蓄積・および流量変換により、解析の事例数を増やすことで、タンクモデルの回帰式の適用条件の整理をさらに進めることが必要である。このことにより、ハイドログラフの想定手法をより適切に確立することができると考えられる。

【参考文献】

- 1) 友村ら(2016)：平成 28 年度砂防学会概要集
- 2) 坂井ら(2017)：平成 29 年度砂防学会概要集
- 3) 桜井ら(2018)：平成 30 年度砂防学会概要集
- 4) 内田ら(2016)：地形、Vol.37、No.4、p.579-595

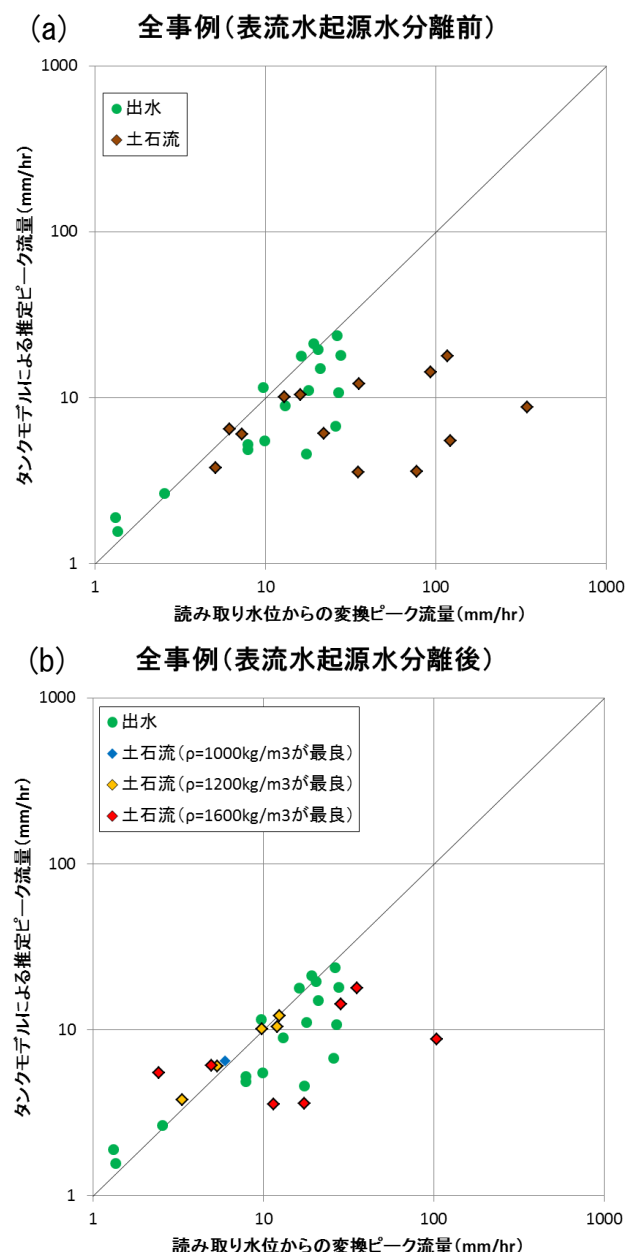


図-2 タンクモデルと CCTV 等映像データから算出したピーク流量の比較結果
 ((a)：表流水起源水分離前、(b)：分離後)