

CCTV 等映像データ及び流出解析による山地流域での流量推定精度の検討

株式会社気象工学研究所 ○坂井大作、友村光秀、高田望、櫻井佳世
国土技術政策総合研究所 山越隆雄、泉山寛明

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。著者らはこれまで、直轄砂防事務所において CCTV により取得された映像データ（以降、「映像データ」と表記）を用いて、山地流域の洪水流出に関する実態把握・機構解明の研究を行ってきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。しかし、例えば表流水起源の流出量を映像データから推定する⁴⁾としても、その推定値の確からしさが不明なためにその妥当性の確認が困難である。また分布型流出モデルによる流出解析結果⁵⁾と比較する場合でも、計算結果と映像データからの推定結果に違いがあったとしても要因の特定は困難である。そこで本研究では、過去に土石流もしくは山地洪水が発生した溪流のうち、水位データが整理された流域を対象に、流量の推定精度について定量的評価を行った。

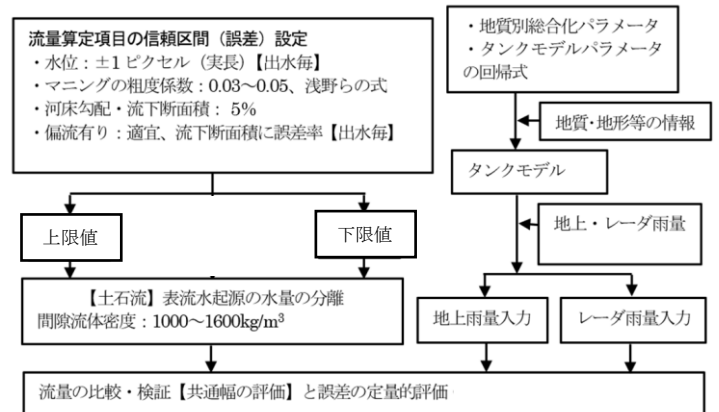


図-1 水位・流量データの誤差評価の実施フロー

2. 解析方法

坂井ら⁴⁾において検討対象とした42事例（17地点）について映像データから推定した水位・流量（以下、変換値）を対象に、図-1に示したフローにより誤差の定量的評価を行った。マンニングの粗度係数は2パターン設定した。具体的にはまず下限を0.03とした。上限は基本的に0.05とし、もし浅野ら(2015)⁶⁾の回帰式（粗度係数=1.0499×河床勾配+0.0481）で0.05以上となった場合は、上限値の浅野らの式で得られる値とした。対象42事例のうち土石流事例では、間隙流体密度を1,000あるいは1,600kg/m³に設定し、表流水起源の水を桜井ら（2018）と同様の手法³⁾で分離した。その他、変換値については画像の読み取り誤差、河床勾配と流下断面積の計算誤差、偏流による読み取り誤差を評価した。

変換値の妥当性を評価するために別途、タンクモデルによる流量推定を行った。タンクモデルのパラメータは2パターン設定し、多数の流域に対して同定したタンクモデルパラメータと地質等、地形量、気候値との関係を解析した回帰式によるパラメータを1パターン、また、小葉竹・石原(1983)⁷⁾の地質別総合化パラメータを2パターン目として計算を行った。さらに、入力する雨量データも2パターン設定しており、レーダ雨量（流域内メッシュ平均）と地上雨量（ティーセン法）それぞれを入力して計算した。タンクモデルで計算される流量は4パターンあることになり、この中から上限値、下限値を抽出した。

以上、変換値に含まれる誤差によるばらつきとタンクモデルの計算値に含まれる誤差によるばらつきを踏まえ、流量の比較検証を行った（図-2）。映像データからの変換値に含まれる各誤差要因の幅によって決まる水位・流量変換時の流量幅（図-2の①②と③④）、およびタンクモデルのパラメータや雨量の違いによって決まる流量幅（図-2の⑤と⑥）を求めた。これら2種類の流量幅を重ね合わせ、共通部分のデータ幅を評価した。共通部分の重心を仮の真値として、【（共通部分のデータ幅）/2/仮の真値】を誤差率として算出した。共通部分がない場合は、誤差率算出不能とした。

以上、仮の真値と計算値（変換値およびタンクモデルによる流量計算値のバラツキの上限値、下限値）について、流量変換比、誤差率、相関係数比等を求めた。

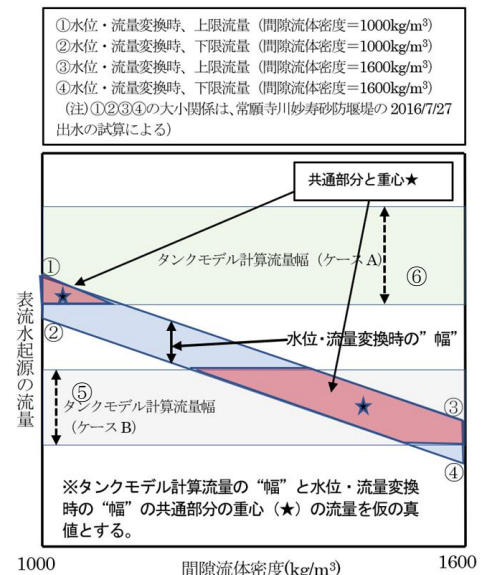


図-2 流量の比較検証のイメージ図

$$\text{相関係数} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}} \quad x: \text{仮の真値}, y: \text{計算値}$$

(\bar{x}, \bar{y} : それぞれ $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ の相加平均)

3. 評価結果

3.1 流量変換時の精度評価

図-3は、変換値に含まれる様々な誤差要因を考慮した、観測データによる流量変換最大値と最小値を示したものである。精度は観測値を仮の真値として流量変換比(= (Σ(最大値 or 最小値-観測値) / 観測値) / データ値×100。単位：%)により求めた。流量変換比は、最小値は既往の変換流量に対し-50%~-100%の範囲にあるが、最大値は100%~250%の流域も見られた。

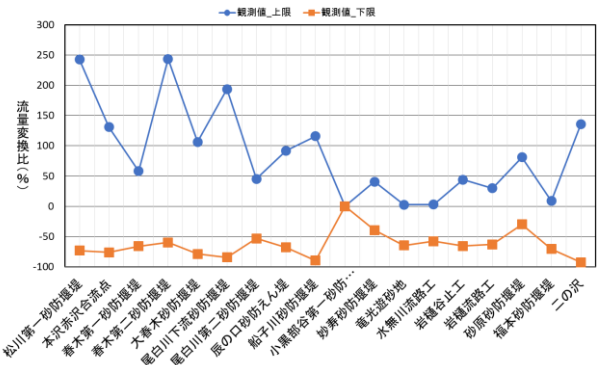


図-3 流量変換時の誤差を考慮した流量変換の最大値と最小値

3.2 タンクモデルの違いによる流出計算の精度評価

2.解析方法で求めた2種類の流域平均雨量により、雨量の上限値と下限値を設定し、それぞれの値を用いての流出計算を行った。

観測値を仮の真値として、誤差率(= (Σ|(上限値 or 下限値) / 観測値| / データ数×100。単位：%)を求めた。雨量上限での誤差率(図-4)は、松川第一砂防堰堤を除いて、タンクモデル間の差は大きくない。松川第一堰堤については、回帰式タンクモデルの計算値が小葉竹らのタンクモデルの計算よりもかなり大きい事例が多く、特に小葉竹らのタンクモデルの立ち上がりが遅いことが影響している。雨量下限での誤差率(図は略)でも、多くの流域ではタンクモデル間の差は小さい。観測値に対して計算値が上下する事例で、タンクモデル間の差が大きい、大小関係は事例により異なる。

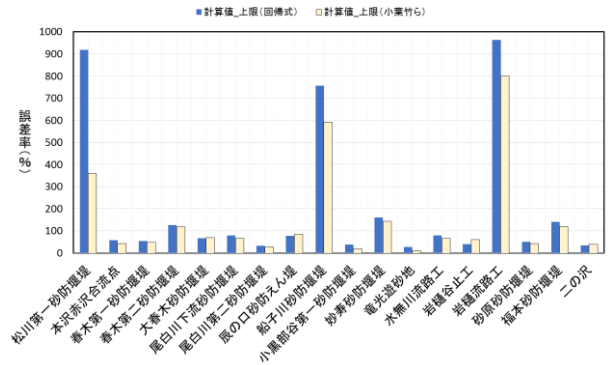


図-4 タンクモデル別の流出計算誤差率(雨量上限の場合)

3.3 雨量データの違いによる流出計算の精度評価

3.2と同様に誤差率を求めた。回帰式タンクモデル(図-5)では、上限値の誤差が大きい傾向があるものの、上下限とも100%以内に入っている流域が多い。誤差が大きい松川第一砂防堰堤、船子川砂防堰堤、岩樋流路工は、ピーク時の誤差の影響が大きい。

小葉竹らのタンクモデル(図は略)でも、上下限とも100%以内に入っている流域が多いが、上限と下限の誤差の大小関係はまちまちであった。

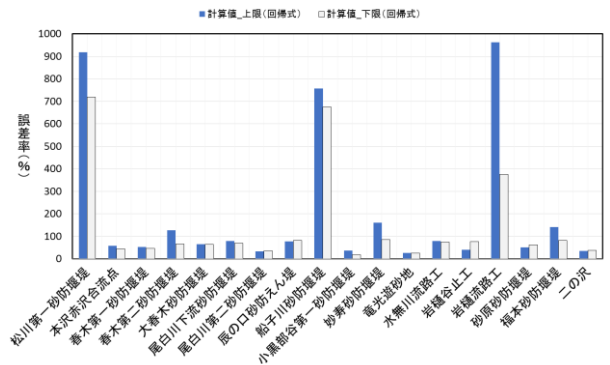


図-5 雨量データの違いによる流出計算誤差率(回帰式タンクモデル)

3.4 流量の比較検証

図-6に相関係数の結果を示す。通常の出水では0.6~1.0と高い相関を示すが、土石流事例では観測データが少ないこともあるが0.3~0.6と低い相関となっており、変換値とタンクモデルの流量波形に違いが生じている。

4. 今後の課題

本研究では、時間解像度1時間における評価を行ったが、流量変動の激しい山地流域では10分間のような、より細かい時間解像度での評価も必要である。

また、流量の推定誤差の評価では、流量規模によりその絶対値に影響が出る(特にRMSEや相対比)ため、流量規模別の評価が望ましいと考えられる。また、流量規模間、流域間で比較を行うには、各条件での資料数を確保することも不可欠である。

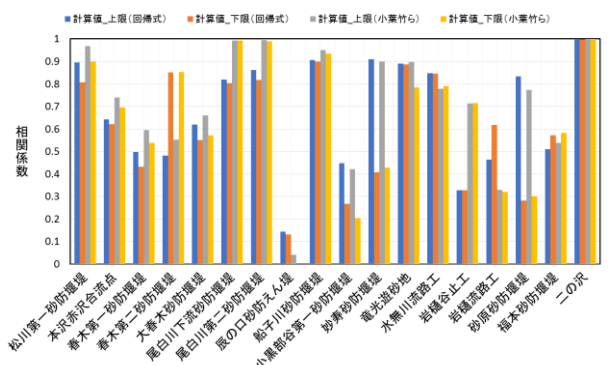


図-6 相関係数

- 【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) 坂井ら(2019)：令和元年度砂防学会概要集
 5) 坂井ら(2020)：令和2年度砂防学会概要集、6) 浅野ら(2015)：平成27年度砂防学会概要集
 7) 小葉竹・石原(1983)：土木学会論文報告集、第337号、pp.7-12