CCTV 等の映像データおよびLP データからみた山地豪雨時の流出現象

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　桜井亘、内田太郎、松本直樹

1. はじめに

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特性を把握することは、砂防計画の立案、総合土砂管理、天然ダム等の危機管理などの上できわめて重要である（千葉・水山、2013)。著者らは、全国の山地流域の雨量・流量データを用いた流出特性と地形・地質・降雨特性等の流域特性との関係の分析に加え、タンクモデルや貯留関数法、分布型流出モデルによる流出解析を行ってきた（内田ら、2013、2014；友村ら、2015)。さらに、近年直轄砂防事務所において取得が進んでいる CCTV 等の映像データを用いて、流量の大きい場合の水位データ及び流量データを取得し、豪雨時の山地洪水の実態を把握するとともに、タンクモデルによる流出解析を行うことで、山地流域の流出特性把握に CCTV 等映像データが有効であることを示した（友村ら、2016)。

また近年、災害前後の航空レーザープロファイラによる地形測量データ（以下、「LP データ」という）の取得が進んでいる。LP データは、土石流流下後の渓流・砂防堰堤周辺の土砂移動の形状を空間的に精緻に計測でき、流域内の複数の地点のピーク流量の推定が可能である。

しかし、土石流に関しては、発生時のハイドログラフの想定手法は十分確立されていないのが現状である。そこで本研究では、近年、取得が進んだ CCTV 等の映像データ及び LP データをもとに、土石流時とその他出水時の流出特性の違いを整理した上で、山地洪水・土石流のピーク流量の算出手法の検討を行った。

2. データと方法

2,1 CCTV 映像データ等を用いたハイドログラフの推定

出水時における、24 流域 32 出水事例の CCTV 等映像データを収集した。24 流域の流域面積は 1.26～193.1km²、地質は火山岩がほとんどで堆積岩・深成岩がそれぞれ 6 流域であった。

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 分間間隔）を行った。水位データへの変換は、友村ら（2016）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、映像から流出現象は、土石流、泥流、それ以外の通常の出水に分類した。

2.2 LP データを用いたピーク流量の推定

LP データで計測された、19 の流域・事例のデータを収集した。19 流域の流域面積は 0.03～5.34km² であり、地質は深成岩が 11 流域、火山岩が 5 流域、堆積岩が 3 流域であった。

各流域について、5 地点を抽出し、LP データから流下断面、勾配から流速を推定し、ピーク流量・ピーク比流量を推定した。なお、選定地点は堆積、流下、発生区間から少なくとも 1 点が代表断面になるようにした。

2.3 雨量データの収集

雨量データは、気象庁の解析雨量（1km×1km)、降水ナウキャスト（1km×1km)、高解像度ナウキャスト（250m×250m）のうち、事例毎に取得可能な最も高時空間分解能のデータを用いた。降雨特性や流出解析に用いた流域平均雨量は、流域内に入る降雨メッシュの単純平均で求めた。

2.4 流出解析

流出解析は CCTV 等映像データから流量に変換した 32 事例および友村ら（2016）における約 100 事例から、同一流域で土石流とその他の出水データが得られている各流域で出水規模が大きい 3 出水を抽出した。その上で、大沢川、春木川、常願寺川の 3 流域の 5 出水（大沢川、春木川では、通常出水と土石流の 2 出水を対象）について、以下の方法で流出解析を行い、土石流とその他の出水のパラメータおよび同一降雨によるハイドログラフを比較することによって土石流の影響評価を試みた。なお、土石流事例では、映像から推定した流量は土石分も含まれていると仮定し、土石流濃度（0.3～0.9C*、C*：渓床堆積土砂の容積濃度=0.6）を考慮した水のみの流量を推定し、水のみの流量を対象とした流出解析を行った。

①タンクモデルによる流出解析：内田ら（2014）・友村ら（2016）と同様の 4 段タンクモデルを用い、SCE-UA 法で二乗平均平方根誤差（RMSE）を評価関数にして同定した。

②貯留関数法：マニング型の表面流を想定した時の関係式で初期値を設定し、タンクモデルと同様に SCE-UA 法で最適化した。

2.5 流出解析結果と LP データを用いたピーク流量の比較

LP データでの 19 流域の降雨事例に関して、2.4 で同定した流出モデル・パラメータを用いて流出解析を行い、ピーク流量を推定した。流出解析に用いた流出モデル・パラメータは、最も大きいピーク流量を算出する大沢川で求めた土石流タンクモデルである。これらのピーク流量と LP データで求めたピーク流量の最大値・最小値と比較した。

3. 結果と考察

3.1 降雨指標と流出特性の関係

関係が明瞭な例として、図-1 にピーク雨量強度とピーク流出高の関係を示す。土石流では降雨強度では考えられない非常に大きな流出高を示す事例があり、他の出水は降雨強度レベルの流出高であった。

ピーク雨量強度とピークの遅れ時間の関係では、土石流や泥流ではピークの遅れ時間が短い傾向にあった。また、ピーク雨量強度とピーク流出率の関係では、土石流や泥流では 10～10000 程度の非常に大きなピーク流出であった。

なお、流域面積と流出特性の関係では、流域面積が大きいとピークの遅れ時間も大きい傾向にあった。逆に、ピーク流出高やピーク流出率は小さくなる傾向にあった。

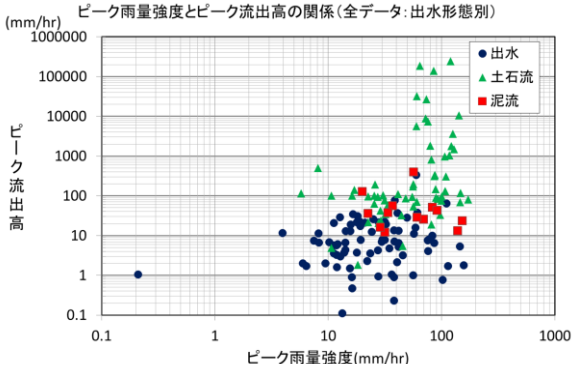

図-1 ピーク雨量強度とピーク流出高の関係

3.2 流出解析結果

図-2 に同一降雨における同定したパラメータを用いた流出解析結果の例を示す。流出形態別の各手法のパラメータ間で比較すると、タンクモデル・貯留関数ともに大沢川の土石流モデルが、通常の出水を対象としたモデルに比べて、1.7～6.5 倍ピーク流量が大きかった。また、通常出水を対象とした 3 モデルの差は 1.6～2.4 倍程度、土石流を対象とした 2 モデルの差は 1.3～1.5 倍程度であった。

土石流モデルのように高いピークが出るモデルは、前段の降雨でも流出が生じている。実際の流域では、こうした前段の流出が土層や堆積物に保留され、土石流となって一気にあるいは何波かになって流下するといった現象が起こっている可能性がある。

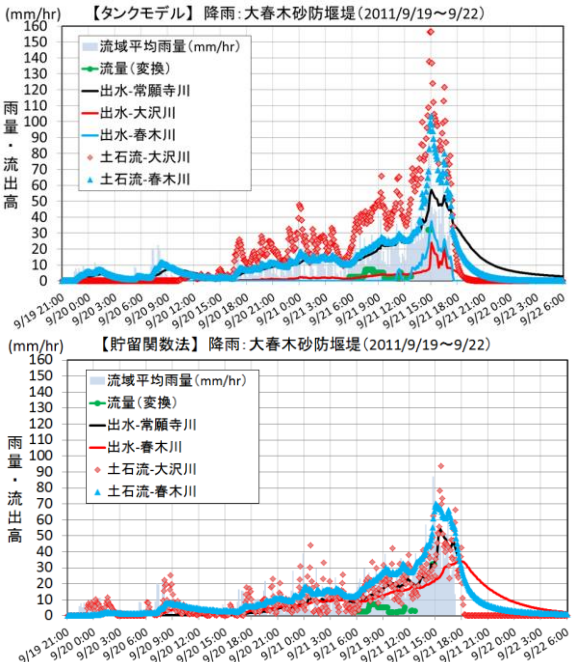

図-2 同一降雨による流出形態別流出モデルの比較（上：タンクモデル、下：貯留関数法）

3.3 LP データによるピーク流量検証

図-3 に LP データによる土石流のピーク比流量とタンクモデルによるピーク比流量の関係を示す。両者の間には明瞭な相関は見られず、LP データから推定したピーク流量はタンクモデルで算出したピーク流量の 1700～5000 倍程度で、タンクモデルで 1 時間かかって流出する量が、約 2 秒～1 秒程度で一気に流出するオーダーとなっていた。

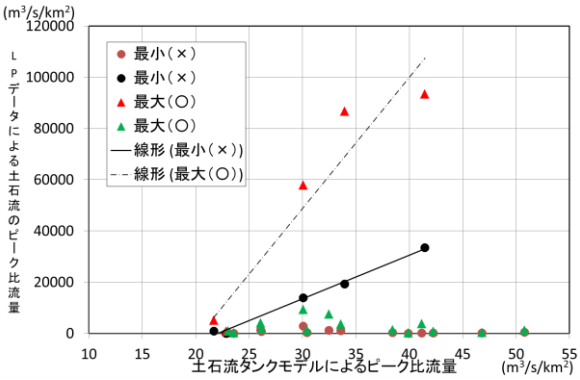

図-3 LP データによる土石流ピーク比流量とタンクモデルによるピーク比流量の比較

4. まとめと今後の課題

本研究で得られた成果は以下の通りである。

①CCTV 等画像データ・LP データによる約 160 事例の流量から、流出特性と降雨指標との関係を分析した。土石流・泥流とそれ以外で関係の明確な違いが見られる結果があった。

②流出解析をタンクモデルと貯留関数法で行った。再現性の良いパラメータを土石流、その他の出水別に流域の代表モデルとして設定したところ、土石流では、タンクモデルが貯留関数法よりも大きな流出高を示した。出水では、同程度の流出高であった。

③LP データによる土石流のピーク比流量がタンクモデルでの値と高相関の事例が数例あった。

今後は、土石流と通常出水の違いを水量の観点から連続的に説明することを試みる。すなわち、①土石流になった土中に貯留されていた水量分が増加（a.前期降雨が流出、b.ピーク前の降雨がピーク付近に流出）②土石流によって、土石分の量が増加③土石流の流下過程においてピーク流量が増加（総量は同じ）といった観点である。そのため、ピーク付近だけでなく出水を通したデータの蓄積を行った上で、現場の状況を把握し、降雨や不安定土砂量、地形・地質等の条件により統一的に土石流の発生・流動を説明できるようにすることが課題である。

【参考文献】1)千葉・水山(2013)：砂防学会誌、Vol.65、No.5、p.50-55、2)内田ら(2013)：平成 25 年度砂防学会概要集、3)内田ら(2014)：平成 26 年度砂防学会概要集、4)友村ら(2015)：平成 27 年度砂防学会概要集、5)友村ら(2016)：平成 28 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