

## 流出土砂量予測に関する一考察 -既存手法とシミュレーションとの比較-

復建調査設計(株) ○中瀬 有祐  
 復建調査設計(株) 藤本 睦  
 立命館大学理工学部 江頭 進治  
 立命館大学理工学部 伊藤 隆郭

### 1. はじめに

砂防事業の目的は、国民の生命・資産を土砂災害から守るために、山地流域からの土砂の流出を人為的にコントロールすることにある。その中で最も重要かつ労力を費やすのが計画流出土砂量の設定である。計画流出土砂量の設定を行うには、対象とする流域の状況を正確に把握した上で、どれだけ土砂が流出するかを的確に予測する必要がある。

現在までに流出土砂量に関する予測手法は、様々な手法が提案されているが、砂防事業において使用されている予測手法はおおよそ2つに限られている。これらの手法は現在、オーソライズされているが、使用にあたっては、それぞれの予測手法の特徴を把握した上で用いることが重要である。

本考察の目的は、既存手法と江頭ら<sup>1)2)</sup>が構築した土石流1次元シミュレーションを流出土砂量の観点から比較し、各手法の特徴を把握することにある。比較は、各手法による予測値と実際の流出土砂量を比べた。対象溪流は、土石流発生履歴のある広島県内の3溪流とした。

### 2. 流出土砂量予測手法

#### 2.1 経験的手法

本手法は、浸食が予想される溪床・溪岸の不安定土砂の断面積に、その延長を掛けることにより算出する方法である。なお、不安定土砂の把握には、現地調査及び土石流が発生した履歴のある近傍溪流等を参考とする。しかし、不安定土砂の範囲を把握するには相当の経験が必要であり、現地調査を実施したにもかかわらず、推定の域を超えない場合も多い。経験的手法による流出土砂量の算出式を、式-1に示す。本手法で算出される流出土砂の状態は、土砂及び空気を含んだものであり、水は入っていない。

$$V1 = A \times L \quad (\text{式-1})$$

ここに、A: 浸食が予想される溪床堆積物の平均断面積(mm<sup>2</sup>)、L: 不安定土砂の存在する延長(m)

#### 2.2 簡便法

本手法は、対象とする降雨量R<sub>T</sub>に流域面積Aを掛

けて総水量を求め、これに流動中の土石流の容積土砂濃度C<sub>d</sub>を乗じて算出する方法である。その際、流出補正率f<sub>r</sub>を考慮する。本手法による流出土砂の状態は土砂、空気を含んだものであり、水は入っていない(式-2)。

$$V2 = \frac{10^3 \cdot R_T \cdot A}{1 - \lambda} \left[ \frac{C_d}{1 - C_d} \right] f_r \quad (\text{式-2})$$

ここに、R<sub>T</sub>: 降雨量(mm) T=24(hr)、A: 流域面積(m<sup>2</sup>)、C<sub>d</sub>: 土石流の容積土砂濃度、λ: 空隙率、f<sub>r</sub>: 流出補正率

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (\text{式-3})$$

ここに、ρ: 水の密度(t/m<sup>3</sup>)、σ: 礫の密度(t/m<sup>3</sup>)、φ: 堆積土の内部摩擦角、θ: 計算地点から概ね上流200mの平均溪床勾配(°)、

$$f_r = 0.05(\text{Log} A - 2.0)^2 + 0.05$$

#### 2.3 1次元シミュレーション

本手法は、江頭らが提案した土石流の発生から浸食を伴う流動を経て堆積する過程までを追跡することができる方法である。支配方程式を基にした差分モデルを用い、支配方程式は、質量保存則、運動量保存則及び河床位方程式から構成される。入力条件は、初期縦断形状、土石流の流下幅、浸食可能堆積深、源頭部からの供給水量が必要となる。シミュレーションによる流出土砂量は、谷出口の計算地点において計算時間中に流下する積算土砂量Q<sub>s</sub>と積算流量Q<sub>m</sub>から算定する(式-4)。本手法では、流出土砂の状態を選択して求めることが可能であるが、ここでは他2手法の対象土砂の状態を考慮し、土砂、空気を考慮した。

$$V3 = \frac{Q_s + C_m \times (Q_m - Q_s)}{1 - \lambda} \quad (\text{式-4})$$

ここに、C<sub>m</sub>: 微細砂の濃度、λ: 空隙率

### 3. 予測手法の適用

上述の3手法を実際土石流の発生した溪流に適用する。対象とした溪流は、広島県加計町で昭和63年に土石流が発生した江内谷、平成11年に発生した広島市の安川左支川及び中倉川とした。各溪流の諸

元を表-1に示す。

表-1 流域諸元

	江河内谷	中倉川	安川左支川
流域面積(km <sup>2</sup> )	0.697	0.195	0.045
流路長(m)	6,055	1,230	365
平均溪床勾配	14°	18°	15°

経験的手法による流出土砂量の算出に必要な浸食が予想される平均断面積は、広島県の過去の災害実績を基に把握した。簡便法では、表-2の上流200m勾配、土砂濃度、流出補正率を用い、3溪流共通の計算条件として、 $\lambda=0.4$ 、 $\rho=1.2$ 、 $\sigma=2.6$ 、 $\phi=35$ 、 $C_*=0.6$ として算出した。シミュレーションでは、流下幅及び浸食可能堆積深は経験的手法と同じとし、 $\lambda$ 、 $\rho$ 、 $\sigma$ 、 $\phi$ 、 $C_*$ は簡便法と同じ値とした。計算単位は、 $dx=5(m)$ 、 $dt=0.01(s)$ 、総計算時間=1000(s)として計算を行った。なお、簡便法とシミュレーションで扱う降雨量は、災害時の降雨量を用いた。

以上の条件で算出した各手法の流出土砂量と災害記録とを表-3にまとめた。

表-2 計算条件

条件項目	江河内谷	中倉川	安川左支川
災害時の降雨量(mm)	264	177	181
上流200m勾配	3.89°	10.66°	9.52°
土砂濃度 Cd	0.09	0.32	0.27
流出補正率 fr	0.28	0.42	0.50
供給水量	10.82	2.28	0.75

表-3 流出土砂量(m<sup>3</sup>)

手法	江河内谷	中倉川	安川左支川
経験的手法 V1	52,360	20,684	4,665
簡便法 V2	8,801	11,043	2,510
シミュレーション V3	46,168	15,988	2,972
災害記録	40,300	15,074	2,162

#### 4. 考察

表-3より、3溪流いずれにおいても経験的手法による流出土砂量が最も大きく、続いてシミュレーション、簡便法の順に小さくなる。災害記録と比較すると、江河内谷と中倉川ではシミュレーションが、安川左支川では簡便法が最も近い値となった。簡便法では流域面積が最大である江河内谷が中倉川より小さい値となっている。また、江河内谷の他手法及び災害記録と比較しても1オーダーの違いが生じている。これは、簡便法が流域面積だけでなく土砂濃

度つまり、溪床勾配に依存するため、計算地点での溪床勾配が小さいことが大きく影響していると考えられる。

経験的手法では、浸食が予想される不安定土砂が全て流出するという考え方であるため、実際発生した土石流の流出土砂量よりも大きくなる。このため、砂防事業で扱う場合、安全側で予防することに繋がる。しかし、不安定土砂の把握においては、経験的要素が大きく個人差もあるため、バラツキの原因となる。また、地形条件に規制され、土石流の水理量に対応していないことも特徴としてあげられる。

簡便法は、溪流が流し得る土石流が、計算地点でどれだけの土砂濃度で到達するかという考え方であり、流下過程の浸食・堆積を考慮している手法である。しかし、江河内谷のように流域面積が比較的大きくても計算地点の溪床勾配により流出土砂量を小さく算出する場合があります。また逆の場合も考えられる。また、経験的手法とは逆に、土石流の水理量を基本としており、地形条件に対応していないことも特徴としてあげられる。

一方、シミュレーションでは、入力条件で浸食可能堆積深及び流下幅を考慮し、計算を水理学に基づいて行っているため、経験的手法と簡便法の特徴を合わせ持った手法と言える。しかし、経験的手法と同様に浸食可能堆積深の把握には経験が要求される上、計算結果はこれに強く依存することが知られている。一方、流域内の勾配変化や流路幅変化を入力することにより、狭窄部等の微地形を考慮することが可能であるうえに、土石流が流下する過程での浸食・堆積を経た流出土砂量を得ることができる。また、経時変化を追跡できるため、土石流の段波を想定することも可能である。

流出土砂量の予測に当たっては、以上のような各手法の特徴を踏まえて、使用目的に応じて適切な予測を行うことが重要である。今後は、これらの手法の具体的な適用条件についても検討したい。

#### (参考文献)

- 1)江頭進治:土石流の流動機構と氾濫・堆積域の解析-基礎理論からハザードマップまで-, 1999年度(第35回)水工学に関する夏期研修会講義集(Aコース), pp.A-6-1-A-6-18, 1999.7
- 2)江頭進治, 本田尚正, 高濱淳一郎, 伊藤隆郭:土石流の再現および構造物による土石流調節について, 1999年6月西日本の梅雨前線豪雨による災害に関する調査研究, pp83-102, 2000.3