

## Step-Pool の存在する溪流における土砂流下過程の検討

○松本悠花(新潟大学大学院自然科学研究科)

権田豊(新潟大学農学部)

宮田秀介・堤大三・長谷川祐治(京都大学防災研究所)

中谷加奈(京都大学農学部) 今泉文寿(静岡大学農学部)

### 1. はじめに

現在、砂防工学の分野では、河川の総合土砂管理を背景に Step-Pool が存在する溪流における流砂量の定量的な把握が重要な課題となっている。Step-Pool の存在する溪流における流砂量式は、藤田ら(2000)により次式(以下藤田式)のように提案されているものの、実河川への適用性の検証が不十分という課題を抱えている。

$$q_{so} = 2.015 \times 10^{-6} \times \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gdm^3} \times \left\{ \frac{7.207\alpha^2 q^{\frac{4}{3}}}{(\sigma/\rho - 1)gdm(0.745V_w^{\frac{1}{2}} + 0.37q^{\frac{2}{3}})} \right\}^{6.62} \quad (1)$$

ただし、 $q_{so}$ : プールから流出する単位幅流砂量 ( $m^2/s$ )、 $\sigma$ : 砂礫の密度 ( $kg/m^3$ )、 $\rho$ : 水の密度 ( $kg/m^3$ )、 $g$ : 重力加速度 ( $m/s^2$ )、 $dm$ : 砂礫の平均粒径 ( $m$ )、 $q$ : 単位幅流量 ( $m^2/s$ )、 $V_w$ : プールの単位幅未堆砂容積 ( $m^2$ )、 $\alpha$ : 係数 (=0.41) である。

そこで本研究では、京都大学防災研究所ヒル谷試験流域において、昨年に引き続き現地排砂実験を行い、藤田式の実河川への適用性を検討した。さらに、この式を用いたシミュレーションにより Step-Pool の存在する溪流における土砂流下過程を検討した。

### 2. 実験対象地及び実験方法の概要

現地排砂実験は、2016年7月3日に京大防災研穂高砂防観測所ヒル谷試験流域で行った。試験堰堤及びその周辺から溪流に土砂を供給し、試験堰堤の約40m下流の Pool を対象に未堆砂容積及び流砂量の計測を行った。Pool の未堆砂容積は、30cm 間隔で格子状に目印をつけた箇所の高さを10分間隔でレベル測量して算出した。流砂量は、流路横断方向の流砂量の違いを考慮するために、Helley-Smith Sampler(以下 HSS)を流路横断方向に一定時間間隔で移動させながら計測した。

### 3. 結果・考察

#### 3.1 藤田式の実河川への適用性の検討

式1に Pool の未堆砂容積、流量の実測値、粒径を代入して流砂量を推定し、HSS で計測した流砂量の実測値と比較した。なお流砂量の推定は、粒径を①HSS の各計測時間の平均粒径  $dms$ 、②  $dms$  の計測期間平均値  $\overline{dms}$ 、③  $dms$  の全計測期間の最小値  $dms_{min}$  の3通りに変えて行った(図1)。

粒径に  $dms$  を用いた場合、 $dms$  の時間的な変化に応じた推定値が変動し、実測値と大きく異なる時間帯があった。しかし、全計測期間中、粒径を  $\overline{dms}$  や  $dms_{min}$  で一定として推定値を求めた場合、流砂量の実測値で見られる Pool の満砂とともに流砂量が急増する時間変化が再現されていた。これらの結果は、2015年11月25日の実験(松本ら, 2016)と同様の結果であった。式1を用いて流砂量を推定する場合には、粒径の与え方が課題となるものの、流砂量と Pool の未堆砂容積との関係は良好に再現されることが再確認された。これらのことは、式1により Step-Pool が存在する溪流において、流砂が Step-Pool から Step-Pool へと伝播する過程を定性的には把握できることを示唆している。

#### 3.2 Step-Pool の存在する溪流の土砂流下過程の検討

##### 3.2.1 土砂流下過程のシミュレーション

現地排砂実験では土砂が1つ1つの Pool を埋めながら徐々に流下していく現象が観測された。式1と澤田(1985)の Pool における連続式(式2)を用いたシミュレーションによりこの現象を再現可能かどうか検証した。計算対象区間は、ヒル谷の暗渠出口から約40m下流までの16個の Step-Pool が存在する区間とし、堰堤から暗渠出口までの区間は考慮しないこととした。

$$V_{wi+1,j} = V_{wi,j} - \frac{1}{1-\lambda} (Q_{soi,j-1} - Q_{soi,j}) \Delta t \quad (2)$$

ただし、 $\lambda$ : 空隙率、 $\Delta t$ : 刻み時間、 $i$  は時間ステップ、

j は Pool の上流側からの位置を示す添え字である。

計算に使用した Pool の未堆砂容積は予備調査(2015 年 4 月 26 日)の際に計測した Pool 形状から算出し、粒径と流量は 2015 年 11 月 25 日の実験時に計測された値を使用した。上流端の流入土砂量は実験時の総土砂量を排砂時間と Pool 幅で除した値を一定値として用いた。

計算の結果、土砂が 1 つ 1 つの Pool を埋めながら徐々に流下する現象は表現できることが分かった。しかし、現地実験の際に Pool の未堆砂容積の計測を実施した、15 番目の Step-Pool に土砂が到達し満砂するまでの時間は、実際には 54 分だったが、計算結果では 15 分となり、計算値が約 40 分早い結果となった。これは、計算では、流下の過程で流砂が河道の側岸や Step-Pool と Step-Pool の間の河道に堆積する現象を考慮していないことから、流砂量が過大になり、到達時間が過小に評価されたものと推測される。

### 3.2.2 土砂流下過程に $V_w$ の総量が及ぼす影響の検証

Pool の未堆砂容積の総容積が Step-Pool の存在する溪流における土砂流下過程に及ぼす影響を検証するため、粒径、流量、上流端の流入土砂量は 3.2.1 と同一の条件で、16 個の Step-Pool における Pool の未堆砂容積の総容積(3.78 $\text{m}^3$ )は一定のまま、1 つ 1 つの Pool の未堆砂容積のみを変えて土砂の流下過程をシミュレーションした(図 2)。具体的には、Pool の未堆砂容量を、(a)現地で計測した Pool の未堆砂容積そのまま用いたケース、(b)全 Pool の未堆砂容積が、現地で計測した Pool の未堆砂容積の平均値(0.23 $\text{m}^3$ )であると仮定したケース、(c)未堆砂容積が大きい Pool(0.8 $\text{m}^3$ )を 4 個、小さい Pool(0.04 $\text{m}^3$ )を 12 個存在すると仮定したケースの 3 通り変えて計算した。

各ケースの土砂の流下過程を比較した結果、16 番目の Pool に土砂が到達し満砂するまでの時間は、いずれの場合も 16 分だった。つまり、溪流に存在する Pool の総容積が同じであれば、最下流の Pool が満砂するまでの時間は変わらないという結果になった。このことは、流砂の挙動が式 1 に従うならば、Step-Pool の存在する溪流に存在する複数の Pool をそれらの総容積と等しい 1 つの Pool に置き換えて計算を行っても、Step-Pool が土砂の流下を遅延させる効果を表現できること

を意味する。

## 4. おわりに

本研究によって、藤田式により Step-Pool の存在する溪流における土砂流下過程を、定性的に評価できることが分かった。今後は、この流砂量式を、流下過程で河道の側岸部などに堆積することにより損失する土砂の量を考慮できるように改良するとともに、溪流に存在する Pool の未堆砂容積の総容積を推定する手法の研究をする必要があるといえる。

## 引用文献

藤田ら(2000):水工学論文集,第 44 巻,1215-1220

松本ら(2016):H28 砂防学会研究発表会概要集,78-79

澤田(1985):京都大学博士論文,149p

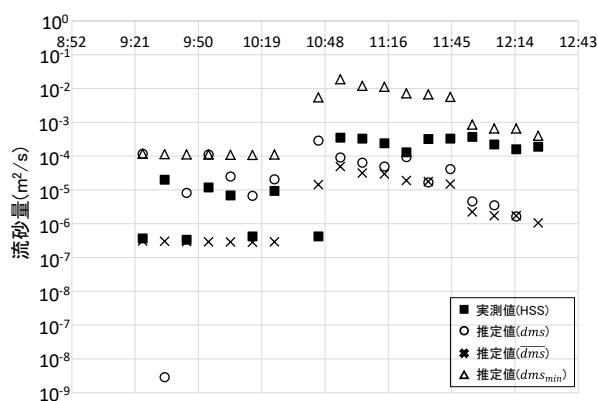


図 1 流砂量の実測値と推定値の比較

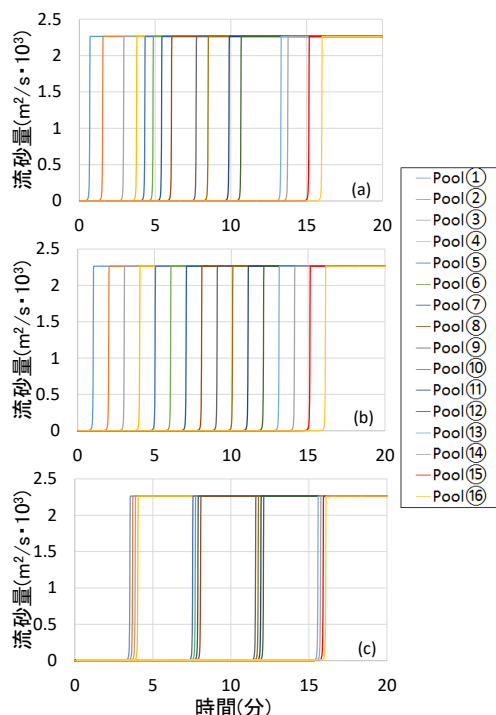


図 2 土砂流下過程の比較