

新潟大学大学院自然科学研究科 ○岡崎達也
新潟大学農学部 榎田 豊、川邊 洋

1. はじめに

砂礫を河床材料とする山地河川では、落差のある Step と平坦な Pool からなる Step-Pool と呼ばれる階段状の河床形態がしばしば観察される。Step-Pool はその形成や発達、破壊、Pool 部における土砂の貯留現象を通して、土砂の移動現象を支配していると考えられている。また、Step-Pool は、山地河川に生息する生物に様々な生息空間を提供しており、河川生態系における重要な物理的環境となっている。現在、砂防工学の分野では、河川の総合土砂管理や砂防事業における自然環境への配慮が社会的に求められている。そのため、土砂の移動現象や河川生態系のメカニズムの解明が必要であり、両者と密接に関わっている Step-Pool についての知見が重要であるといえる。

本研究では、山地河川の重要な環境構成要素である Step-Pool の形状及び分布特性を把握することを目的に、流域特性の異なる複数の山地河川で調査を実施した。本稿は、現地調査より得られた 926units の Step-Pool の形状や河道条件のデータを用いて、実河川における Step-Pool の形状及び分布特性や Step の形成・変形・破壊条件について考察し、最終に流域特性（流域面積や河床勾配）と Step-Pool の関係式を提案するものである。

2. 調査地・調査方法

2004年、2006年に新潟県新発田市の加治川水系姫田川支流灯明沢川で、2005年11月に、三重県津市の三重大学紀伊・黒潮生命地域 FSC 附帯施設演習林内を流れる西俣谷（雲出川上流域）で調査を実施した。Step-Pool が発達している区間に調査プロット（プロットの長さ、平均勾配はそれぞれ 100~530m, 0.05~0.16）を設け、Step-Pool の形状及び河道条件（河床勾配、低水路幅、Step 構成礫の粒径など）の計測を行った。これらを、西井ら(2003)による、新潟県内の6河川（佐渡市の古川・五十浦川、新潟市の乙尻沢、新発田市の大沢・板山川・灯明沢川、五泉市の大蔵川）の計測成果と併せて検討した。

さらに、年最大日雨量データ（相川・二王子岳・巻・村松の AmeDAS データ：1961-2005年、三重大学演習林報告：1961-1995年）から確率降雨量を推定し、古川を除く7河川の各プロットについて、確率降雨量から 2・5・20・50・100・200年確率洪水の流量を推測した。

3. 結果および考察

3. 1 河道条件と Step-Pool の関係

新潟県と三重県の8河川で河床勾配や粒径、低水路幅といった河道条件と Step-Pool の各部位の形状との関係を検討した結果、実際河川における河道条件と Step-Pool の関係について全体的な傾向を把握することができた。両者の関係をまとめると、図1のようになる。

3. 2 Step の形成・破壊流量

Step の間隔が Kennedy¹⁾の式から求められる反砂堆の波長 λ と等しいものと見なせると仮定し、Step 間隔の実測値と 2~200年確率洪水に対応する水理量から各プロットの無次元化波数 k^* ($=2\pi h/L$, h :水深, L : Step 間隔) とフルード数 Fr を求め、Kennedy の式と比較した(図2)。

各河川の Step 間隔のプロット平均値は、2, 5年確率洪水に対する λ とほぼ一致していた。

次に、Step の変形条件および破壊条件について藤田ら²⁾による報告に基づいて検討した。藤田らによると、河床材料の平均粒径が移動すると Step-Pool が変形し、最大粒径程度の礫が移動すると破壊されると考えられる。この考えに Egiazaroff³⁾の混合砂礫の移動限界の理論(表1)を用いて検討した。

各河川で破壊流量の確率年は、形成流量のそれよりも大きく、上流のプロットほど安定した領域にある傾向がみられた(図3)。また、同じプロット内で 200年確率洪水でも破壊されないものから、2~5年確率の小出水でも破壊されてしまうようなものまで、多様なスケールの Step が存在していた。

3. 3 流域特性と Step-Pool の関係式

1, 2より、Step-Pool は、それぞれの山地河川に対応したものであり、洪水による攪乱を繰り返し経験して、動的に維持されていると考えられる。また、粒径、低水路幅は Step-Pool のスケールを決定する重要な要因であり(図1)、これらは流域面積や河床勾配の河川縦断方向の変化に伴って変化していくと推察される。

そこで、流域面積 A 、プロット勾配 S 、低水路幅 B 、ステップ構成礫の粒径 D と Step-Pool の各形状(例えば、Step 差高 Δ 、Step 間隔 L) との関係に注目した。各成分のプロット平均値を用い、成分間における相関係

数をみたところ、比較的高い相関係数を示す成分は、A-S, A-L, A-B, B-L, S-(Δ/L)であった。これらの近似式から、Step-Poolの縦断形を特徴付ける2つの要素、Step間隔L, Step差高Δを表す次式を得た。

$$L = 3.87A^{0.27} \quad (3)$$

$$\Delta = 4.5SA^{0.27} \quad (4)$$

地形図などから容易に調べることが可能な流域面積や河床勾配を用いて、流域特性の異なる河川においてもStep-Poolの平均的な形状特性値をある程度予測できることが示唆された。ただし、この式は本研究の対象河川における調査に基づくものであり、どの程度の一般性があるのかが不明であるため、今後この式の適用度をみることが必要である。

4. おわりに

本研究では、Step-Poolの幾何学的構造や水理学的要因について着目したが、この研究をさらに進め

ていく上で、河川生態学的な視点からの検討を加えていく必要があるだろう。

今後さらに研究を続け、得られた知見をもとに、さらに環境構成要素間の関係を定量化することが出来れば、河川管理や人工的なStep-Pool構造を造成する際の一つの設計指針を与えることができるのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) Kennedy, J.F.: The mechanics of dunes and antidunes in erodible bed channels, J. fluid Mech., Vol.16, Part4, p521-544, 1963
- 2) 藤田正治・道上正規・澤田豊明: 階段状河床の洪水による変形に関する現地調査, 水工学論文集, 第43巻, p725-731, 1999
- 3) Egiazaroff, I.V.: Calculation of nonuniform sediment concentrations, Proc. ASCE, Vol.91, No. Hy-4, 1965

表1 数式一覧

変形条件: $1 \leq \Psi \leq \Psi_d$ (1)

破壊条件: $\Psi_d \leq \Psi$ (2)

ただし、 $\Psi_d = \left(\frac{d_{max}}{d_m} \right) \left(\frac{\log_{10} 19}{\log_{10} \left(19 \frac{d_{max}}{d_m} \right)} \right)^2$

ここに、 $\Psi = \tau_{*m} / \tau_{*cm}$

τ_{*m} : 平均粒径の砂礫に対する無次元掃流力

τ_{*cm} : 平均粒径の砂礫に対する無次元限界掃流力

d_m : 平均粒径, d_{max} : 最大粒径程度の砂礫の粒径

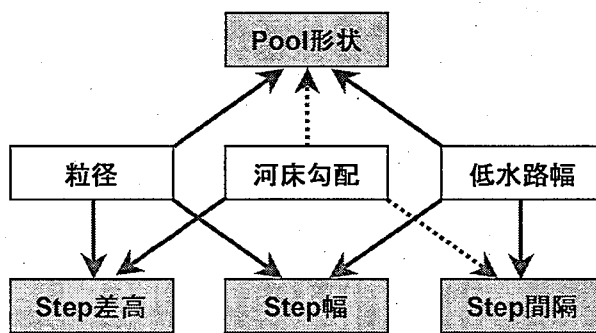


図1 河道条件とStep-Pool形状の関係
矢印が関係を示し、実線・点線はそれぞれ、正の相関・負の相関を示す。

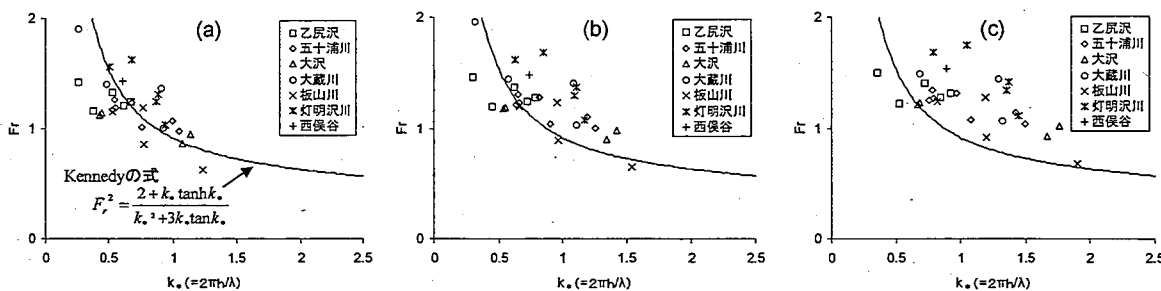


図2 確率洪水によるk*とFrの関係の違い。(a)2年確率洪水, (b)5年確率洪水, (c)20年確率洪水

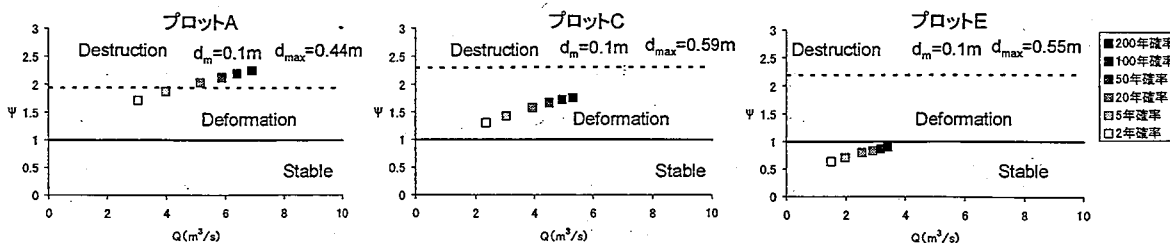


図3 調査区間のStep-Poolの変形, 破壊条件(乙尻沢, 下流よりプロットA, C, E)