

岩盤侵食による滝や滝群の発生機構

The mechanisms of generation of waterfalls by bedrock incision

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生会員 小峰秋房 (Komine Akifusa)
北海道大学教授大学院工学研究院 フェロー 泉 典洋 (Izumi Norihiro)
土木研究所 寒地土木研究所 正会員 井上卓也 (Inoue Takuya)

1. はじめに

河川は基盤岩上に砂や礫があり、それを河床としているものが一般的である。しかし、ダムの建造により砂礫の供給量が減少したり、蛇行河川の直線化により河川勾配が急になり砂礫の流出量が増加したりすると基岩盤上の砂礫が流出し、岩盤が露出されることがある。また、人為的な要因を持たなくても基岩盤が露出している河川も存在する。このような岩盤が露出した河川では、岩盤の侵食が発生する。

1990年代までは岩盤を侵食するのは主に流水の作用だと考えられていたが、2000年代に入ってから流水による侵食より、流送される砂礫が岩盤に衝突し岩盤を摩耗する作用の方が岩盤侵食により大きな影響を与えていることが分かった^{1),2),3)}。

河床岩盤が流送される砂礫の衝突により侵食を受けると、滝や滝群が形成されることがある。流砂の衝突による河床岩盤の侵食では、砂礫の供給量が少ないと河床岩盤はそれほど侵食を受けない。しかし、砂礫の供給量が多いと河床岩盤は砂礫に覆われ、流れる砂礫の衝突を受けづらくなりそれほど侵食されない。すなわち供給される砂礫の量が多くても少なくても河床岩盤の侵食は起こりづらくなる。滝や滝群が形成されるには、河床岩盤を侵食しやすい砂礫の供給量が必要だと考えられるが、その詳細は明らかになっていない。

そして岩盤侵食により発生した滝の中には、断層等によって発生した単独のステップ状地形が河床岩盤の侵食により上流側に移動していく場合や、連続した滝群が一定の間隔で形成される場合がある^{4),5)}。これまで滝が上流に移動していくのは、滝が流れ落ち滝壺ができるが、その滝壺が侵食を受け続けることでオーバーハングが発生し、侵食が大きくなるとそのオーバーハングが崩落することを繰り返すことにより起こる現象だと考えられていた。しかし近年の Scheingross et al.^{6),7)}および山口ら⁸⁾の実験では、滝壺は砂が堆積することで一定の大きさより大きくなることはなく、滝壺が大きくなることによるオーバーハングの発生は見られなかった。

本研究では、岩盤侵食により滝や滝群が発生する条件、滝が上流に移動していくメカニズムを明らかにすることを目的として実験を行う。

2. 実験の概要

実験は図-1 に示したような水路を用いて行う。水路は長さ 300 cm、水路幅 1 cm、水路勾配 1/10 とし、水路



図-1 実験水路

全体に河床岩盤を模したポリウレタンフォーム（商品名 OASIS）を設置する。水路の下流端から 90~95 cm の区間と 180~185 cm の区間に高低差 5 cm、勾配角 45 度のステップを 1 か所ずつの合計 2 か所にあらかじめ作った状態から実験を行う。

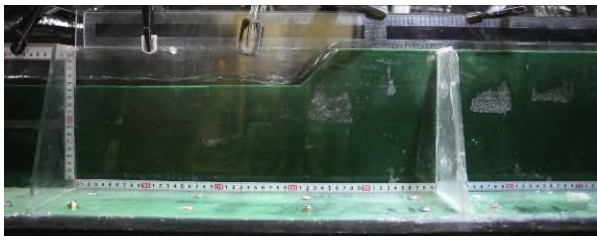
上流端から一定の流量で水を流し、手動で一定量の給砂を行う。給砂用に用いたのは鹿島珪砂二号である。水路の上流端は、給砂による衝撃で河床が不自然に掘られてしまうのを防ぐため、上流端から 20cm の区間は硬いモルタルを打設する。流量は $1.1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ とし、給砂量は実験開始から 25 分まで 100 g/m、25 分から 720 分まで 200 g/m とした。給砂量を変更した理由は、最初の給砂量では侵食速度が遅く実験時間が長くなりすぎると判断したためである。

通水中の水位や河床高、河床の状態を把握するために、上方から白色の LED ライトを照らしながら、デジタルカメラを 2 台用いて定期的に撮影を行う。撮影範囲は、2 つのステップの前後 40cm ほどである。

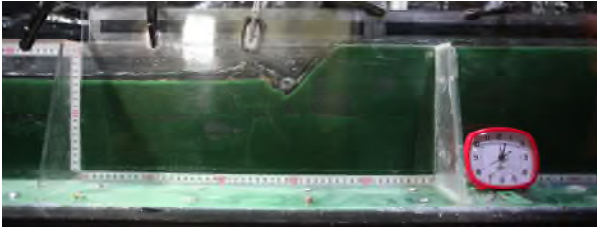
3. 実験結果

2 つのステップ周辺の河床形状の時間変化を図-2,3 に示す。上流側のステップでは時間の経過と共にステップの下部分が大きく侵食を受け滝壺が形成される様子が観察された。ステップの上流には浅いくぼみが観察されたが、120 分の時点ではくぼみが大きくなっていく様子はなかった。その後、徐々にくぼみは拡大したが（560、720 分）、後述する下流側のステップに比べると、その発達は遅かった。

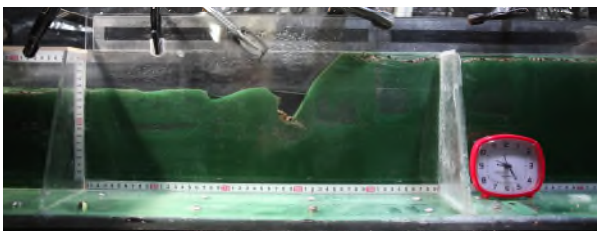
下流側のステップでも時間の経過と共にステップの下部分が大きく侵食を受け滝壺が形成される様子が観察された。ステップ上流では浅いくぼみが観察された。このくぼみは時間の経過と共に大きくなっていき、滝が更新されるような地形変化が観測された（560、720 分）。



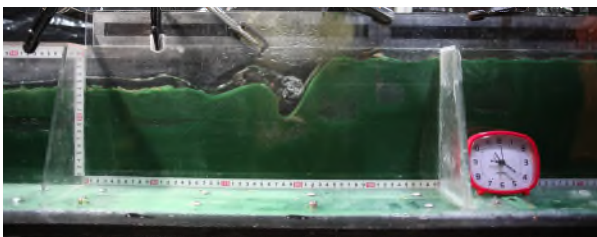
(a) 0 mins



(b) 120 mins



(c) 560 mins

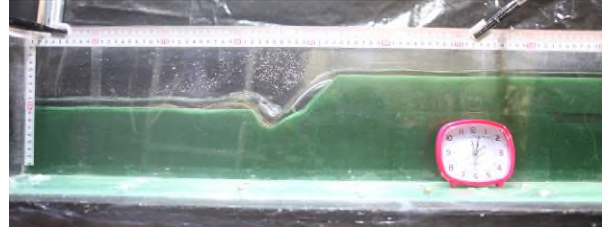


(d) 720 mins

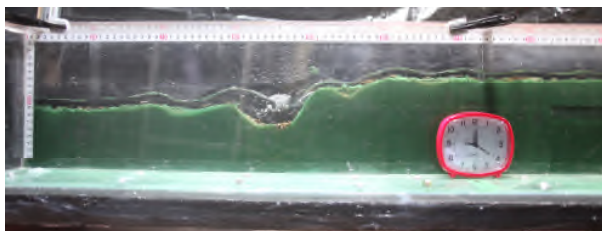
図-2 上流側ステップ周辺で観察された河床変化



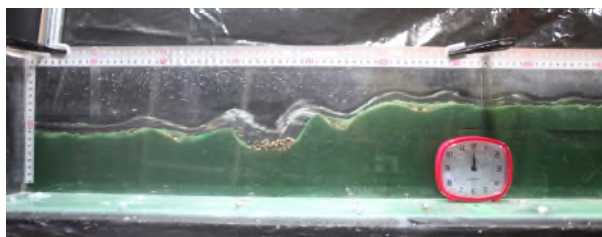
(a) 0 mins



(b) 120 mins



(c) 560 mins



(d) 720 mins

図-3 下流側ステップ周辺で観察された河床変化

4. まとめ

本研究実験の工夫として、ポリウレタンフォームを用いたことが挙げられる。定性的な観測ではあるが、これまでの滝の侵食実験⁸⁾と類似した地形変化を示しており、ポリウレタンフォームの有用性が確認された。モルタルと比べると、強度の品質管理が簡単であり、かつ養生時間が必要ないのが利点である。今後は、ポリウレタンフォームを用いて滝の形成・移動条件を実験的に明らかにする予定である。

参考文献

- 1) Sklar, L. S., and Dietrich, W. E.: A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load, *Water Resour. Res.*, 40(6), doi: 10.1029/2003WR002469, 2004.
- 2) Chatanantavet, P. and Parker, G.: Physically based modeling of bedrock incision by abrasion, plucking, and macroabrasion *J. Geophys. Res., Earth Surf.*, 114, F04018, doi:10.1029/2008JF001044, 2009.
- 3) Zhang, L., Parker, G., Stark, C. P., Inoue, T., Viparelli, E., Fu, X., and Izumi, N.: Macro-roughness model of

bedrock-alluvial river morphodynamics, *Earth Surf. Dynam.*, 3, 113138, doi:10.5194/esurf-3-113-2015, 2015

- 4) 泉典洋, 横川美和, パーカー ゲイリー: 基盤岩上に形成される周期的ステップ地形, *土木学会論文集 B1(水工学)*, 68(4), I_955-I_960, 2012.
- 5) Izumi, N., Yokokawa, M. and Parker, G.: Incisional cyclic steps of permanent form in mixed bedrock-alluvial rivers, *J. Geophys. Res., Earth Surf.*, 122, 130-152, doi:10.1002/2016JF003847, 2017.
- 6) Scheingross, J. S., and Lamb, M. P.: Self-formed waterfall plunge pools in homogenous rock, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 200-208, 2017.
- 7) Scheingross, J. S., and Lamb, M. P.: A mechanistic model of water plunge pools erosion into bedrock, *J. Geophys. Res., Earth Surf.*, 122, 2017.
- 8) 山口進, 井上卓也, 赤堀良介, 佐藤大介, 清水康行, 泉典洋: ニックポイント近傍における流砂衝突速度の PTV 解析, *土木学会論文集 B1(水工学)*, 74(4), I_1153-I_1158, 2018.