

平成 30 年 9 月 10 日現在

機関番号：82114

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18126

研究課題名（和文）流砂衝突に起因する軟岩河川の側方侵食と穿入蛇行

研究課題名（英文）Bedrock lateral erosion via particle impact abrasion in an incised meandering river

研究代表者

井上 卓也（Inoue, Takuya）

国立研究開発法人土木研究所・土木研究所（寒地土木研究所）・研究員

研究者番号：20647094

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、岩盤河川における土砂給砂と側壁侵食速度の関係を把握するために室内実験を実施した。また、側方侵食速度が側壁に向かう横断方向の流砂量に依存すると仮定し、岩盤の側方侵食を考慮した数値解析モデルを構築した。構築したモデルの計算結果と実験結果を比較検証した結果、構築したモデルによって岩盤河川の側方侵食を精度良く再現できることが確認された。さらに、構築したモデルを用いた数値実験により、給砂量が穿入蛇行する岩盤河川の側方侵食に与える影響の分析を試みた。数値実験の結果、給砂量が岩盤流路の川幅を決定する重要な要素であることが確認された。

研究成果の概要（英文）：In this study, laboratory scale experiments were conducted to understand the relationship between sediment supply and lateral erosion. We also implemented a numerical model and tested it for reproducing the experiments. The numerical model assumes that lateral erosion depends on transverse bedload transport rate per unit width. The numerical model could successfully trace lateral erosion in bedrock channels. Simulations were also performed to understand the effect of change in sediment supply on lateral erosion in an incised meandering bedrock channel. It can be seen from simulation results that sediment supply can be one of the dominating factors in determining the width of bedrock channels.

研究分野：河川工学

キーワード：岩盤河川 側方侵食 穿入蛇行 流砂衝突

1. 研究開始当初の背景

近年、河床低下（砂礫層の流出）により、基盤岩が露出する河川が増えている。露出した岩盤が未固結な軟岩の場合、流砂の衝突により河床と側岸が急激に侵食される。急激な軟岩侵食は堤防や橋梁の安定性に影響を及ぼす重要な問題である。例えば、図-1に示す然別川では、平成28年8月の北海道豪雨により、下方と側方の両方へ軟岩侵食が進行し、橋脚が沈下、橋が通行止めになった。

岩盤河川の側方侵食は穿入蛇行の研究と共に発展してきた。穿入蛇行に関する初期研究の多くは、地質の影響に着目したものであったが、20世紀後半に蛇行幅や蛇行波長が地質よりも流量に規定されることが報告されると、流水のせん断力と岩盤侵食を関連づけたモデルが数多く提案されるようになった(例えば1)。さらに2000年代に入り、流水による侵食よりも流砂衝突による侵食の方が支配的なことが明らかとなり²⁾、最近の研究では、流砂衝突を考慮した岩盤河床の鉛直方向の侵食速度式が提案され始めている²³⁾。しかし、流砂衝突に起因する側方侵食については未解明な部分が多く、これを考慮した数値解析モデルも提案されていない。このため、軟岩河川の流路変動予測や、予測結果用いた対策検討を行っていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、軟岩河川の効率的な維持管理に資するツールの開発を目的に、①実験による軟岩の側方侵食メカニズムの把握、②軟岩側方侵食を考慮した流路変動計算モデルの構築、③穿入蛇行地形の形成条件の分析を行う。



図-1 然別川における軟岩侵食

3. 研究の方法

(1) 岩盤流路の側方侵食実験

サインジェネレイティドカーブの水路を用い、流砂衝突による岩盤河道の側方侵食幅を測定した。水路幅は5cm、水路勾配は0.01、側岸の高さは10cm、蛇行波長は1mであり、図-2に示すように3つの蛇行部が含まれている。水路は岩盤を模した低強度のモルタルで構成され、モルタルの強度は流水では侵食せず流砂衝突により侵食するように設定されている。上流端から0.5l/minの水と、0.12l/minの砂(平均粒径0.74mmの珪砂)を供給した。実験時間は4時間とした。

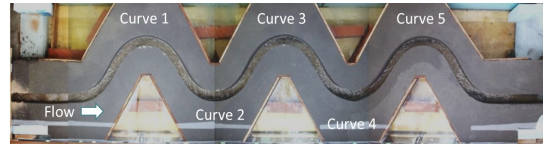


図-2 実験水路

灰色は岩盤を模したモルタルであり、流路内の茶色部分は砂礫が堆積している。

(2) 岩盤側方侵食を考慮した流路変動モデル

流路変動計算の難しい点は、時々刻々移動する流路に計算格子をフィットさせることである。本研究では、沖積河川を対象に自由蛇行の数値計算を実施した Asahi et al.⁴⁾と同じ、格子自動的生成システム(移動境界座標)を採用する。なお、Asahi et al.⁴⁾のモデルは、沖積河川を対象としているため、岩盤河床の侵食を考慮できない。本研究は、岩盤の垂直方向および水平方向の侵食を新たに組み込んだ点に新規性を有する。

流れの計算は非定常平面2次元の浅水流方程式を用いている。流れの基礎式の詳細は Asahi et al.の論文⁴⁾を参照頂くとして、ここでは新たに組み込んだ岩盤流路における河床変動と側方侵食の基礎式を説明する。

砂礫層の変動を計算するために、岩盤床上の流砂の連続式⁵⁾を用いる。この式は、Luuら⁶⁾の提案した粘着性河床上の流砂の連続式と同様に、掃流層に含まれる砂と堆積した砂の両方を考慮している。Luuらとの違いは凹凸の大きい岩盤床にも対応できるように左辺第2項に被覆率 p_c が含まれている点である。

$$\frac{\partial V_b}{\partial t} + (1-\lambda)p_c \frac{\partial \eta_a}{\partial t} + \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

ここで、 v_b は掃流砂の単位面積当たりの体積、 λ は砂礫の空隙率(0.4)、 η_a は砂礫層の層厚、 q_{bx} と q_{by} はそれぞれ x と y 方向における単位幅当たりの流砂量である。岩盤床上では流砂量と飽和流砂量(流れうる最大の流砂量)が異なる場合がある。この効果を表すために、以下の式を適用させる。

$$(q_{bx}, q_{by}) = \begin{cases} \frac{V_b}{V_{bs}} (q_{bcx}, q_{bcy}) & \text{for } 0 \leq \frac{V_b}{V_{bs}} < 1 \\ (q_{bcx}, q_{bcy}) & \text{for } \frac{V_b}{V_{bs}} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 v_{bs} は v_b の飽和量であり、 q_{bcx} と q_{bcy} はそれぞれ x と y 方向における単位幅当たりの飽和流砂量である。これらの諸量は以下の式で算出される。

$$q_{bcx} = \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} q_{bcs} - \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} q_{bcn} \quad (3a)$$

$$q_{bcy} = \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} q_{bcs} + \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} q_{bcn} \quad (3b)$$

ここで、 q_{bcs} と q_{bcn} はそれぞれ流線方向 s と横断方向 n の飽和流砂量である。流線方向 s と座標軸 x 、横断方向 n と座標軸 y は必ずしも一致しないため、式(3)で変換する必要がある。

流線方向の流砂量 q_{bcs} はMeyer-Peter and Müllerの式で求め、横断方向の流砂量 q_{bcn} は長谷川の式⁷⁾で算定する。

$$q_{bcs} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{1.5} \sqrt{s_g g d^3} \quad (4)$$

$$q_{bcn} = q_{bc} \left(\frac{u_{bn}}{u_{bs}} - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_*}} \frac{\partial \eta}{\partial n} \right) \quad (5)$$

ここで、 τ_* は無次元掃流力 ($= u_*^2 / s_g g d$)、 τ_{*c} は無次元限界掃流力、 s_g は砂礫粒子の水中比重 (1.65)、 d は粒径、 u_{bs} と u_{bn} はそれぞれ s と n 方向の河床近傍流速、 $\partial \eta / \partial n$ は横断方向の局所勾配、 μ_s は静止摩擦係数 (本研究では0.7とする)、 μ_k は動摩擦係数 (0.7)。 u_{bs} と u_{bn} の比は以下の式から算定する。

$$\frac{u_{bn}}{u_{bs}} = N_* \left(\frac{h}{r_s} \right) \quad (6)$$

ここで、 N_* は二次流強度を表すパラメータ (7)、 r_s は流線の曲率半径である。

V_{bs} は飽和流砂量を流砂の移動速度 u_s で割った以下の式から与える。

$$V_{bs} = \frac{\sqrt{q_{bcn}^2 + q_{bcs}^2}}{u_s} \quad (7)$$

無次元限界掃流力は、被覆率に応じて線形的に変化すると仮定する。

$$\tau_{*c} = p_c \tau_{*ca} + (1 - p_c) \tau_{*cb} \quad (8)$$

ここで、 τ_{*ca} は砂礫床における無次元限界掃流力であり、 τ_{*cb} は岩盤床における無次元限界掃流力である。ここでは物理式を指数近似で表した以下の簡易式⁵⁾を用いる。

$$\tau_{*cb} = 0.027 \left(\frac{k_{sb}}{d} \right)^{0.75} \quad (9)$$

岩盤河床の垂直方向の侵食は、Chatanantabet and Parker³⁾の式を用いる。

$$\frac{\partial \eta_b}{\partial t} = \beta q_b (1 - p_c) \quad (10)$$

ここで、 β は摩耗係数、 q_b は流砂量の絶対値、 p_c は砂礫による岩盤の被覆率である。

砂礫被覆の割合 p_c は、砂礫層の厚さの関数として計算される⁵⁾。

$$p_c = \begin{cases} \frac{\eta_a}{L_{mr}} & \text{for } 0 \leq \frac{\eta_a}{L_{mr}} < 1 \\ 1 & \text{for } \frac{\eta_a}{L_{mr}} \geq 1 \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 L_{mr} は岩盤の巨視的な粗度高さ (岩盤表面凹凸の標準偏差) である。

最終的に、河床表面高 η の変動は以下の式で表される。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \eta_a}{\partial t} + \frac{\partial \eta_b}{\partial t} \quad (12)$$

岩盤層の鉛直方向の侵食速度は、式(10)に示したように流砂量の絶対値に依存している。しかし、岩盤の側方侵食速度は、流砂量の絶対値に依存するとは限らない。例えば、流砂が岩盤の側壁に平行して移動する場合や、側壁から離れる方向に移動する場合、側壁に衝突する砂礫の数は理論的にはゼロである。そこで、本研究では、岩盤の側方侵食速度が側壁付近の横断方向流砂量の勾配に依存すると仮定し、以下のモデルを提案する。

$$\frac{\partial n_R^0}{\partial t} = \beta_{bank} \frac{\partial q_{bn}}{\partial n} \Big|_{n=n_R^0 + L_{bank}} \quad (13a)$$

$$\frac{\partial n_L^0}{\partial t} = -\beta_{bank} \frac{\partial q_{bn}}{\partial n} \Big|_{n=n_L^0 - L_{bank}} \quad (13b)$$

ここで、 n_L^0 と n_R^0 は左右の側壁の横断方向の座標位置、 β_{bank} は岩盤側壁の磨耗係数、 L_{bank} は側壁からの距離であり、本計算では川幅の10%とする。

(3) 螺旋流路を用いた穿入蛇行の分析

穿入蛇行部の横断形状の平衡解 (ある条件が続いたとき最終的に落ち着く地形) についての分析結果を示す。数値実験に用いる水路は、曲率・勾配が変わらずに永遠に続く螺旋水路である (一定湾曲の水路に周期境界条件を適用すると螺旋水路になる)。

長期的な岩盤侵食速度は、流砂の衝突量だけでなく、岩質、気候、風化など様々な要因に左右される。そこで、本数値実験では、岩盤側壁の侵食速度は式(13)で計算せず、一定の値を与えることとする。また、周期境界下では、土砂を上流端から供給することができないため、土砂供給量は水路内に設置した砂礫層の厚さで調整する。

数値実験の条件は、図-1に示した然別川を大まかに想定し、初期水路幅10m、初期曲率半径100m、初期勾配0.01、粒径50mm、流量は300m³/s、岩盤床の磨耗係数 β は0.025、岩盤の巨視的な粗度高 L_{mr} は1m、砂礫床の等価粗度高さ k_{sa} は粒径の2.5倍とする。一般的に、岩盤床の等価粗度高さ k_{sb} は砂礫床の粗度高

さ k_{sa} と異なる場合が多いが、本数値実験では簡易的に同じ値を用いる。岩盤側壁の横方向への侵食速度は 0.25×10^{-4} 、 0.50×10^{-4} 、 0.75×10^{-4} 、 1.00×10^{-4} m/s の 4 パターンを与え、川幅や山地斜面の勾配など地形に及ぼす影響を分析する。また、土砂供給量をコントロールする初期砂礫層厚も 0.7 m、1.3 m、1.9 m、2.5 m、3.0 m の 5 パターンを与え、地形に及ぼす影響を分析する (表-1)。

表-1 数値実験の条件

ケース名	側壁の侵食速度 n_{be} (mm/s)	初期砂礫層厚 η_{a0} (m)
1	0.05	0.7
2	0.05	1.3
3	0.05	1.9
4	0.05	2.5
5	0.05	3.0
6	0.025	1.9
7	0.075	1.9
8	0.1	1.9

4. 研究成果

(1) 側方侵食実験の結果

図-3 に実験で観測された側方侵食幅を示す。Curve 1,3 および 5 では、左岸 (外岸) が侵食されたが、右岸 (内岸) は侵食されなかった。一方、Curve 2 および 4 では、右岸 (外岸) は侵食されたが、左岸 (内岸) は侵食されなかった。このことから、流砂衝突による岩盤の側方侵食は、内岸よりも外岸で発生しやすいことが確認された。また実験の定性的な観察によって、砂は内岸近傍を移動しているものの、移動方向が内岸から外岸のため、内岸に殆ど衝突しないことが分かった。

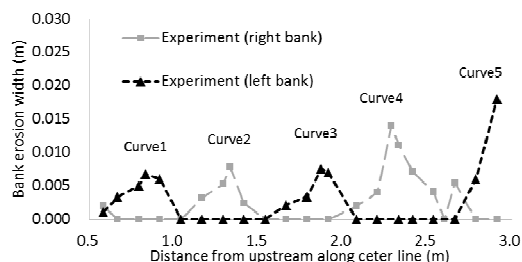


図-3 側方侵食幅の縦断分布

(2) 構築したモデルの検証

図-2 に示した実験の垂直写真を見ると、Curve1 は茶色の砂礫に殆ど被覆されているが、Curve2~5 は灰色部分が外岸付近に残っており、岩盤が部分的に露出していることが分かる。次に、計算によって得られた砂礫被覆の面積率 p_c のコンター図 (図-4) をみると、Curve1 から Curve5 に向かうにつれ、被覆率 (1

が完全被覆状態、0 が完全に露出した状態) が低下しており、実験結果と傾向が一致している。

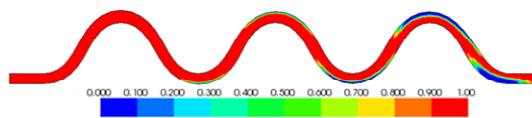


図-4 被覆率 p_c の計算結果のコンター

図-5 に示した側壁の侵食深の計算結果をみると、Curve1、Curve3、Curve5 では左岸 (外岸) が侵食しており、右岸 (内岸) が侵食していない。一方、Curve2、Curve4 では右岸 (外岸) が侵食しており、左岸 (内岸) が侵食していない。計算において、流砂が蛇行部内側から外側へ移動する過程を考慮できているため、外岸は削れるが内岸は殆ど侵食しない結果を得た。以上のことから、本研究で提案したモデルと式(13)により、岩盤河川の側方侵食を概ね再現できていると考えられる。

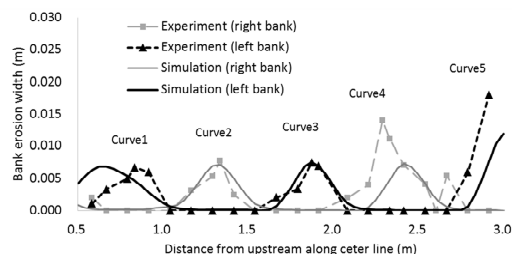


図-5 側方侵食幅の計算と実験の比較

(3) 穿入蛇行に関する分析結果

図-6 は Run 8 における計算結果の横断図である。側方侵食がある場合、川は斜め下方に穿入しながら川底の形状や川幅は一定に保たれる動的平衡状態へ近づいていく。このとき、穿入速度や穿入によって形成される山地斜面の勾配、滑走斜面と呼ばれる川底の岩盤床面と砂礫床面の勾配、被覆率の横断方向分布もほぼ一定に保たれる。側方侵食を加味している Run 1~8 の全てのケースが動的平衡へ近似する。しかし、動的平衡状態の川幅や山地斜面勾配は、初期砂礫層厚や側方侵食速度などの境界条件によって変化する。

図-7 は初期砂礫層厚 (土砂供給量) が異なる Run 1~5 の比較である。この図から、土砂供給量の増加に伴い山地斜面の勾配は緩やかになり、平衡川幅が増加することが確認できる。図-8 は側方侵食速度が異なる Run 3、6、7、8 の比較である。これによると、側方侵食速度の増加に伴い、山地斜面の勾配は緩やかになるが、川幅は大きく変化しないことが分かる。このことは、岩盤蛇行部の平衡川幅が岩盤側壁の侵食しやすさ (≒岩盤の質や強度) に大きく依存しないことを意味している。

Gilbert⁸⁾ や Fuller⁹⁾ によると、土砂供給が多い時代、下方への侵食が減少し相対的に側方への侵食が卓越するため、山地斜面の勾配はゆるくなり strath terrace と呼ばれる岩盤の台

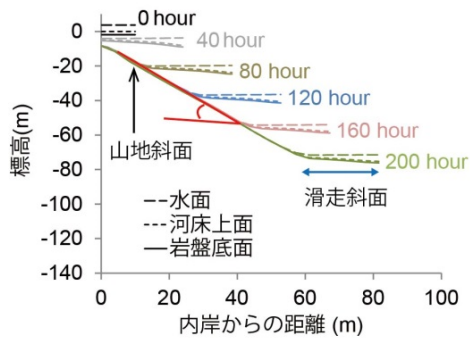


図-6 側方侵食がある場合の横断形状(Run8)

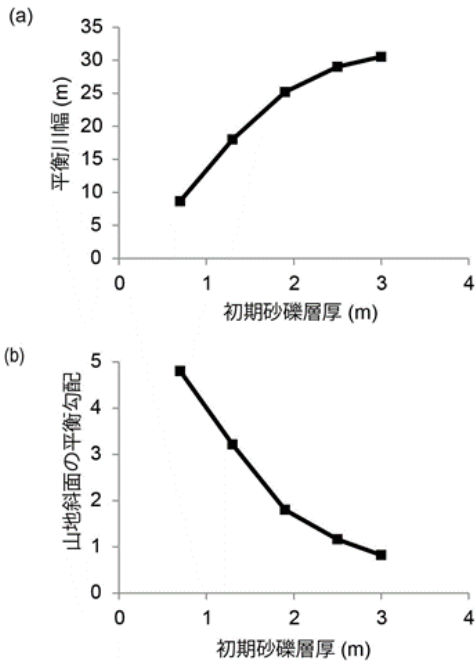


図-7 初期砂礫層厚が平衡地形に及ぼす影響

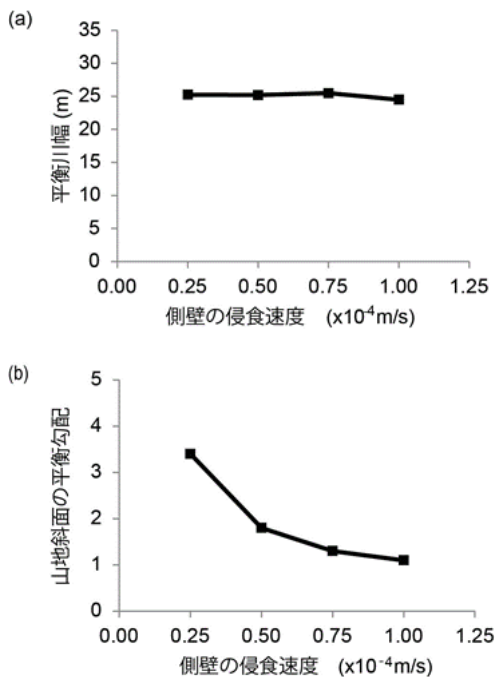


図-8 側壁侵食速度が平衡地形に及ぼす影響

地が形成され易くなる。この現地観測結果は、土砂供給が多く側方侵食速度が大きいとき、山地斜面が緩くなる本研究の数値実験結果と同じ傾向を示している。

(4) 研究成果のまとめ

本研究では、岩盤河川の側方侵食速度が流砂量の横断方向成分（側壁に衝突する流砂量）に依存すると考え、側方侵食を考慮した岩盤河川の流路変動計算モデルを構築した。構築したモデルは、岩盤を模した水路実験から得られた側方侵食幅を精度良く再現しており、軟岩河川の変動予測・被災対策の検討などに活用できる可能性が高い。

構築したモデルを用いた数値実験によると、側方侵食を有する螺旋流路の横断地形は、動的平衡状態に近似する。平衡川幅は、土砂供給量の増加に伴い増加するが、側方侵食速度が増加しても殆ど変化しない。このことは、湾曲部の平衡川幅が側壁の侵食し易さ（硬さなど）に直接的に依存しないことを意味する。

平衡状態における山地斜面勾配は、土砂供給や側方侵食速度の増加に伴い緩やかになる。この結果は、土砂供給が多い時代に、strath terrace と呼ばれる緩やかな勾配を有する岩盤の台地が形成されたというこれまでの説を物理的に裏付けるものである。

〈引用文献〉

- ① Limaye, A. B. S., and Lamb, M. P. : Numerical simulations of bedrock valley evolution by meandering rivers with variable bank material. *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 119: 927- 950, 2014.
- ② Sklar, L. S., and Dietrich, W. E. : A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load, *Water Resour. Res.*, 40, W06301, 2004.
- ③ Chatanantavet, P., and Parker, G. : Physically based modeling of bedrock incision by abrasion, plucking, and macroabrasion, *J. Geophys. Res.*, 114, F04018, 2009.
- ④ Asahi, K., Shimizu Y., Nelson J., and Parker G. : Numerical simulation of river meandering with self-evolving banks, *J. Geophys. Res.*, 118, 2208-2229, 2013.
- ⑤ Inoue, T., Izumi, N., Shimizu, Y., and Parker, G. : Interaction among alluvial cover, bed roughness and incision rate in purely bedrock and alluvial-bedrock channel, *J. Geophys. Res.*, 119, 2123-2146, 2014.
- ⑥ Luu, L. X, Egashira, S, and Takebayashi, H. : Investigation of Tan Chau reach in lower Mekong using field data and numerical simulation, *J. Hydraul. Eng., JSCE*, 48, 1057-1062, 2004.
- ⑦ Hasegawa, K. : Universal bank erosion coefficient for meandering rivers, *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 115(6), 1989.
- ⑧ Gilbert, G. K. : Report on the Geology of the Henry Mountains: Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountain

Region, 160 pp. U.S. Gov. Print. Off. Washington D. C, 1877.

- ⑨ Fuller, T. K, Perg, L. A, Willenbring, J. K, and Lepper, K. : Field evidence for climate-driven changes in sediment supply leading to strath terrace formation, *Geology* 37(5), 467-470, 2009.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

- ① T. Inoue, G. Parker, C. P. Stark, Morphodynamics of a Bedrock-Alluvial Meander Bend that Incises as it Migrates Outward: Approximate Solution of Permanent Form, 査読有、*Earth Surf. Process. Landforms*, 42, 2017, pp.1342-1354.
DOI: 10.1002/esp.4094
- ② T. Inoue, S. Yamaguchi, J. M. Nelson, The effect of wet-dry weathering on the rate of bedrock river channel erosion by saltating gravel, 査読有、*Geomorphology*, 285, 2017, pp.152-161.
DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.02.018
- ③ T. Inoue, T. Iwasaki, G. Parker, Y. Shimizu, N. Izumi, C. P. Stark, J. Funaki, Numerical Simulation of Effects of Sediment Supply on Bedrock Channel Morphology, 査読有、*Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 2016, 142(7), p.04016014.
DOI:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001124
- ④ 矢野雅昭、渡邊康玄、井上卓也、山口里実、新目竜一、覆礫厚が薄い条件における露岩部の拡大特性に関する実験的研究, 査読有、*土木学会論文集 B1*, 73(4), 2017, I_841-I_846.
DOI: 10.2208/jscejhe.73.I_841
- ⑤ サムナー圭希、井上卓也、清水康行、河床勾配変化が浸食地形に与える影響, 査読有、*土木学会論文集 B1*, 73(4), 2017, I_859-I_864.
DOI: 10.2208/jscejhe.73.I_859
- ⑥ 山口進、井上卓也、前田育彦、佐藤大介、清水康行、豊平川ニックポイントの現地調査および砂礫流入の再現実験による形状変動の考察, 査読有、*土木学会論文集 B1*, 73(4), 2017, I_913-I_918.
DOI: 10.2208/jscejhe.73.I_913
- ⑦ 井上卓也、矢部浩規、岩床上に形成される複数筋の形成過程, 査読有、*土木学会論文集 B1*, 73(4), 2017, I_823-I_828.
DOI: 10.2208/jscejhe.73.I_823
- ⑧ Jagriti Mishra, 井上卓也、清水康行、COMPARISON OF BEDROCK AND ALLUVIAL MEANDERS USING 2D MODELLING, 査読有、*土木学会論文集 B1*, 73(4), 2017, I_835-I_840.
DOI: 10.2208/jscejhe.73.I_835
- ⑨ 山口昌志、柿沼孝治、井上卓也、清家拓哉、加藤一夫、軟岩洗掘を考慮した大型模型実験を用いた河床低下対策手法の

評価について、査読有、*土木学会論文集 B1*, 73(4), 2017, I_853-I_858.

DOI: 10.2208/jscejhe.73.I_853

- ⑩ 濱木道大、戸村翔、渡邊康玄、井上卓也、安田裕一、古溝幸永、水理模型実験と現地試験施工を踏まえた軟岩露出河川に対する河床低下対策工の検討, 査読有、*河川技術論文集*, 23, 2017, pp.477-482.
- ⑪ 加藤一夫、柿沼孝治、山口昌志、井上卓也、清家拓哉、サムナー圭希、橋脚周辺の軟岩侵食対策の効果検証に関する水理模型実験による検討, 査読有、*河川技術論文集*, 23, 2017, pp. 483-488.
- ⑫ Jagriti Mishra, 井上卓也、清水康行、Simulations of Lateral Erosion in Bedrock Channels, 査読有、*土木学会論文集 A2*, 72(2), I_527-I_536, 2016.
DOI: 10.2208/jscejam.72.I_527
- ⑬ サムナー圭希、井上卓也、清水康行、岩盤床上の砂州形成に伴う侵食地形、*土木学会論文集 B1*, 査読有、72(4), 2016, I_817-I_822.
DOI: 10.2208/jscejhe.72.I_817
- ⑭ 六浦和明、井上卓也、清水康行、侵食による岩盤粗度の変化を考慮した数値解析モデルの構築, 査読有、*土木学会論文集 B1*, 72(4), 2016, I_799-I_804.
DOI: 10.2208/jscejhe.72.I_799

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① T. Inoue, J. Mishra, Y. Shimizu, Tracing Bank Erosion in a Mixed Bedrock-Alluvial Meander, RCEM2017.
- ② T. Inoue, H. Yabe, Alternate bars and multiple incisional grooves in bedrock-alluvial channel, AGU Fall Meeting 2016.

〔産業財産権〕

○取得状況 (計 1 件)

名称: 河川侵食抑制部材および河床侵食抑制工法

発明者: 井上卓也、清水康行

権利者: 寒地土木研究所、北海道大学

種類: 特許

番号: 特許第 6020946 号

取得年: 2016/10/14

国内外の別: 国内

〔その他〕

岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案)

<http://river.ceri.go.jp/contents/tool/angan1.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 卓也 (INOUE, Takuya)

国立開発研究法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム 主任研究員

研究者番号: 20647094