

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820205

研究課題名(和文)礫河川の中小出水時の土砂移動の時空間分布計測に基づく藻類の流失モデリング

研究課題名(英文) Estimation of attached-algae removal amount in gravel-river based on field observation of spatio-temporal distribution of sediment transport

研究代表者

榎 涼太 (Tsubaki, Ryota)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80432566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：平成26年3月および平成27年3月に実施されたピーク流量100m³/sのフラッシュ放流を対象として、現地計測を行った。本研究で開発したさまざまな粒径の河床礫がどこで、どれくらい移動しているかを実測する方法を利用するとともに、付着藻類の剥離状況の調査を実施した。平成27年3月については、藻類剥離の高い効率が期待できる中礫を、河道内に設置する置き土砂と、放流中に河道内に投入する土砂投入を試行した。設置した土砂の放流中の移動はきわめて限定的であり、多くの土砂が直径10cm程度の大礫の間に捕捉された状態で残存していた。したがって、対象区間での中小出水時の藻類の剥離への中礫の寄与は少ないことがわかった。

研究成果の概要(英文)：A method to monitor spatio-temporal distribution of graded sediment transport during small/medium flood events was developed. This method was utilized to understand the contribution of sediment transport on attached-algae removal in a section of gravel-bed river during flushing flow events. It was found that transport of medium-sized gravel ($d=0.5$ to 3 cm) is quite limited even if there is supply from upstream. This is because medium-sized gravel has been trapped in the dents formed between the larger gravels and cobbles. This implies that the contribution of gravel transport during small/medium floods in the focused river section on the attached-algae removal is negligible.

研究分野：河川工学

キーワード：洪水 フラッシュ放流 土砂移動 ハイドロフォン 付着藻類

1. 研究開始当初の背景

平均年最大規模の出水は、河道の形を規定する要素の一つであり、河川の物理・化学環境や生物に大きな影響を与える要素でもある。河川環境や生態系への出水に伴う土砂移動のインパクトという観点では、土砂の総通過量よりはハピタットスケールでの土砂移動の粒径、移動速度、量が重要であり、発生頻度の多い中小規模の出水が主な対象イベントとなる。

しかしながら、実際の中小出水中に、どこで・どれくらいの礫が移動しているかはほとんど把握できていない。そのことが、例えば室内実験で同定された土砂衝突による付着藻類剥離量の算定モデルを実際の河川へ適用する際の障害となっている。河川管理の一貫として、土砂移動計測が実施される場合もあるが、土砂通過総量を評価することが主目的であり、ハピタットスケールでの土砂移動を把握するには空間分解能や時間スケールが不十分である。

実際の出水中に発生する藻類の剥離プロセスや、沈水植物の流失における土砂移動の役割が定量的に評価できていないことが原因で、藻類や沈水植物の流失やバイオマス減少を現場レベルにおいてメカニズムベースでモデル化できていない。そのため、観測実績の無い出水の評価、例えばフラッシュ放流と異なる放流波形の場合にどのようなことが起きるか、河床材料の粗粒化が進行した場合どうなるか、置き土砂を実施した場合の効果など、外挿的な予測ができない状況にある。

本研究では、申請者が開発している安価で小型な土砂衝突センサーを多数河床に設置して、中小規模出水中での土砂動態を実測する。その計測結果を用いて、また室内実験も併用し、付着藻類および沈水植物の出水攪乱による流失効果を明らかにすることを狙う。本研究の前段階として、2013年3月のフラッシュ放流中に、ハイドロフォン形式の土砂移動計測を試行したところ、土砂移動を捉えることに成功した。本研究ではその実績を踏まえ、土砂移動計測技術の高度化と、現地河川に適用できる付着藻類や沈水植物の流失モデルの構築を試みることにした。

2. 研究の目的

礫河川の中小規模の出水時に、河床材料の礫がいつ・どこで・どれくらいの粒径のものが、どれくらい通過するかを実測する。計測は基本的に毎年実施が予定されているフラッシュ放流を対象とするが、2年目には自然出水についても計測を試みる。出水前後の付着藻類の剥離量と、沈水植物の流失量を計測し、土砂移動特性と、付着藻類および沈水植物の流失効果の関係を明らかにする。付着藻類の剥離、沈水植物の流失については、流量や土砂通過量をコントロールした室内実験も実施して、出水中に現地河川で起きている現象を把握する一手段とする。

現地観測結果と室内実験結果を踏まえて、出水時の付着藻類・沈水植物の流失を記述するメカニズムベースのモデルを構築することを狙う。

3. 研究の方法

開発中の土砂動態の計測方法を用い、計測手法の特性を活かして中小出水による河川生態系への主に土砂移動に伴う攪乱効果を定量的に分析し、メカニズムベースでモデル化する。研究内容は、土砂動態計測方法の高度化と、室内実験による土砂動態計測のキャリブレーションを行う。また2年目には現地河川で付着藻類および沈水植物のバイオマスを定期的に観測し、出水に伴う減少量を実測する。フラッシュ放流および自然出水について土砂動態の現地計測を実施して、土砂動態の観測結果を踏まえ、付着藻類および沈水植物のバイオマス減少量のモデル化を行う。

4. 研究成果

(a) 土砂動態計測法の高度化

土砂動態計測装置^{雑誌論文³⁾}への土砂の衝突角度や衝突位置を変化させた室内実験を行い、観測結果に及ぼすこれらの影響を分析した^{雑誌論文²⁾}。衝突する角度や衝突位置による音圧、周期に関する系統的な影響は限定的であった。

連続計測可能時間の延長については、電源容量の増加と、使用した録音機材に組み込まれた、観測された音圧レベルに応じて録音開始・録音停止する機能を組み合わせることで、6日程度のスタンバイが可能となった。ただし、録音可能時間、すなわち計測可能時間そのものはメモリ容量(SDHC規格の上限である32Gbyte)に規定され、96kHz、16bit、2Chで24時間程度である。

以上より、礫河川を対象に中小規模出水時(ピーク流量 $100\text{ m}^3/\text{s} \sim 200\text{ m}^3/\text{s}$)に、さまざまな粒径の河床礫がどこで、どれくらい移動しているかを実測する実用的方法が概ね確立されたが、自然出水を対象とすると、より長期間のスタンバイおよび計測時間を確保することは望ましい。

(b) 土砂動態計測のキャリブレーション

実験水路を用いて、一定流量を流した条件で、礫およびガラスビーズを掃流させて、検出された衝突音波形との関係を確認した。礫・ガラスビーズが装置を飛び越えて、衝突回数を過小評価する場合と、同一粒子が複数回接触して衝突回数を過大評価する場合が確認され、流量や粒子サイズによる傾向が整理された。直径3cm程度の粒子について、粒子サイズを過小評価する傾向がみとめられた。これは、現行手法では、粒子の粒径の違いによる衝突速度のバイアスの調整が不十分であることに起因すると考えており、ソフト・ハード両面での対処方法の開発を進める予定である。

(c) 現地河川での付着藻類および沈水植物のバイオマス変化の現地観測

付着藻類のバイオマス変化について、フラッシュ放流の前後で現地調査を行った。サンプルごとのばらつきはあるが、概ね半分程度にバイオマスが減少していた。

沈水植物のバイオマス変化について、フラッシュ放流の前後および放流中に現地調査を行い、フラッシュ放流によるオオカナダモの流出を定量的に評価した^{雑誌論文¹⁾}。その結果、オオカナダモ群落中には引っかかっていた切れ藻が存在しており、これが流下することがフラッシュ放流時における流出量に大きく寄与していることが示唆された。2015年のフラッシュ放流では調査地点下流断面を通過した沈水植物のバイオマスは4,773 kgと見積もられ、水位上昇期に一度ピークが見られるが、ピーク後も継続して通過していることが確認された。フラッシュ放流による繁茂面積の減少は約2%にとどまることがわかった。

(d) 中小出水中の土砂移動と付着藻類・沈水植物のバイオマス減少との関連分析

付着藻類のバイオマス変化の調査地点直上流に設置した土砂移動計測機器のデータを分析したところ、付着藻類の剥離に効果的とされる直径1 cm程度の粒径、およびそれよりも大きな粒径の土砂衝突は、フラッシュ放流中に、100回程度のオーダーで検出された。室内実験での、付着藻類の土砂衝突による剥離効果の算定結果と併せて考えると、この程度の土砂衝突回数では、付着藻類剥離への寄与は小さいものと推察される。また、土砂衝突の検出回数の大小と、バイオマスの減少量や減少率に明確な関係は認められなかった。付着藻類のバイオマス自体は明確に減少していたことと併せて考えると、このバイオマス減少には、直径1 cm程度以上の礫は寄与しておらず、土砂動態計測装置で検出できない直径0.5 cm程度の砂が寄与しているか、流水による効果が主であると推察される。

沈水植物群落中に設置した土砂動態計測装置に、フラッシュ放流中に礫(直径0.5 cm程度以上)の衝突は記録されなかった。バイオマス事態は減少していることから、群落の内部で、もともと弱っていた部分が、流水により切断されて流失するというのが主なバイオマス現象のプロセスであると判断できる。

(e) 研究の目的の達成について

礫河川の中小規模の出水時に、河床材料の礫がいつ・どこで・どれくらいの粒径のものが、どれくらい通過するかを実測する手法のキャリブレーションが進み、妥当性の検証が進んだ。また、スタンバイを含めた観測可能時間が延長できて、観測方法としての実用性が高まった。

現地での環境調査について、研究期間中に自然出水中の土砂移動観測はできておらず、フラッシュ放流を対象とした観測を実施した。出水前後の付着藻類の剥離量と、沈水植物の流失量を計測し、土砂移動特性と、付着藻類および沈水植物の流失効果の関係を分析した。当初は、少なくとも付着藻類剥離については、礫の土砂移動が制御要因になっており、礫の多寡や粒径の違いや衝突速度の大小といった要因の違いにより付着藻類の剥離量や残存量を説明することを狙っていたが、観測結果から、礫分の土砂移動は限定的であることが判明した。従って、土砂移動状況を入力変数として、出水時の付着藻類・沈水植物の流失を記述するメカニズムベースのモデルは構築できなかった。そこで、現地計測箇所において、礫の移動が限定的であった理由を分析し、また礫分の移動を活発化させる方策を検討する基礎実験として、河道内への置き土砂と土砂投入を行った。具体的には、平成27年3月に実施されたフラッシュ放流では、土砂動態の計測と付着藻類の剥離状況の調査に加え、藻類剥離の高い効率が期待できる直径1.5~3 cm程度の礫を、河道内に設置する置き土砂と、放流中に河道内に投入する土砂投入を試行した。置き土砂と土砂投入は、相対的に掃流力が大きい瀨で実施したが、礫の移動はきわめて限定的であり、多くの土砂が直径10 cm程度以上の大礫の間に捕捉された状態で残存していた。このことから、調査区間の河道で100 m³/s程度の規模の出水時には、中礫の供給があったとしても、大礫の間にストックされることが分かった。中小規模出水において、礫の移動を活発化させるためには、大礫間の空隙を充填する必要があり、観測結果から、そのために必要な供給土砂量を算定する経験的グラフを作成した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

- 1) 田中俊介, 榎涼太, 河原能久, 小手川勇太: フラッシュ放流によるダム下流区間における外来沈水植物の流出動態, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 4, pp. I_1117-I_1122, 2016.3, 査読有
- 2) 坪下健太郎, 榎涼太, 河原能久: 衝突音を利用した礫河川の掃流砂観測手法に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 71, No. 4, I_823-I_828, doi: 10.2208/jscejhe.71.I_823 2015.2, 査読有
- 3) 榎涼太, 坪下健太郎, 河原能久: 衝突音を利用した礫河川の小規模洪水時の掃流砂観測手法の開発, 土木学会河川技術論文集, Vol. 20, pp. 49-55, 2014.6, 査読有
- 4) 石尾将大, 榎涼太, 河原能久: 付着藻類の構成と衝突粒子径の効果を踏まえ

た藻類剥離モデルの開発，土木学会河川技術論文集，Vol.20, pp.109-115, 2014.6, 査読有

〔学会発表〕(計6件)

- 1) Tsubaki, R., Tanaka, S. and Kawahara, Y.: Interannual flood impact on aquatic plant cover, 11th International Symposium on Ecohydraulics 2016 (ISE2016), Melbourne, Australia, February 8, 2016
- 2) Tsubaki, R., Kawahara, Y. and Ayaka, K.: Numerical estimation of saltation gravel transport on irregular bed, Proceedings of 36th IAHR congress, ISBN: 978-90-824846-0-1, Paper number 3290, Hague, Netherlands, June 28, 2015.
- 3) 綾香建太，榎 涼太，河原能久：粒子法を用いた粗面上を流下するサルテーション砂礫の挙動の推定，平成 27 年度土木学会中国支部研究発表会，2015.5.30, 山口県宇部市.
- 4) Tsubaki, R., Kawahara, Y. and Tsuboshita, K.: Spatio-temporal distribution of bed-load transport in a gravel-bed river during flushing flow, 10th International Symposium on Ecohydraulics 2014 (ISE2014), Paper number 206 on USB memory, Trondheim, Norway, June 24, 2014.
- 5) Tsubaki, R. and Kawahara, Y.: Removal of aquatic plants in a gravel-bed river during flushing flows, 10th International Symposium on Ecohydraulics 2014 (ISE2014), Paper number 205 on USB memory, Trondheim, Norway, June 23, 2014.
- 6) 坪下健太郎，榎 涼太，河原能久：衝突音を利用した礫河川の掃流砂観測手法の開発，平成 26 年度土木学会中国支部研究発表会，2014.5.30, 島根県松江市.

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/rtsubaki/>

講演発表

- 1) Tsubaki, R.: Sediment transport measurement in field and laboratory, International symposium on regulation of water cycle in river basin and disaster prevention and academic seminar on advanced technologies research of integrated regulation of cascaded reservoirs, Chendu, China, 2015.1.7.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

榎 涼太 (TSUBAKI, Ryota)

広島大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80432566