

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06574

研究課題名(和文)礫河川の土砂移動・河床近傍流れ・水温の通年・多地点モニタリング技術開発と現地計測

研究課題名(英文) Development of multi-point monitoring technology and field measurements of sediment movement, near-bed flow, and water temperature in gravel rivers

研究代表者

椿 涼太 (Tsubaki, Ryota)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80432566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：河川環境調査に利用するための新たな圧力変動計測システムが開発された。その圧力変動計測システムと、既往研究で開発された土砂移動計測システムを用いて、フラッシュ放流に合わせた河道掘削・土砂還元について現地調査を行った。現地調査結果で確認された圧力変動データのノイズについて、室内実験を行って、土砂移動にともなって生じた可能性が高く、低周波通過フィルターの使用により、ノイズを除去できることを確認した。河床近傍流れ・水温を通年・多地点でモニタリングできる技術が確立できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

礫河川が抱える河床環境上の課題がある河川において、地点毎に異なる土砂移動や河床近傍の乱流を、素過程から定量的かつ緻密に把握できれば、その課題の要因を分析することができる。要因が解明できれば、具象的かつ効率的な対応策を検討・確率することに役立つ。このことにより、より自然環境が豊かで、洪水氾濫の危険性の少ない河川管理を行う上で、有益な情報を取得・提供できる手段となる。

研究成果の概要(英文)：A new pressure fluctuation measurement system has been developed for use in riverine environmental surveys. In this study, we carried out a field survey for a flushing discharge event accompanied with channel excavation. The bed-load measurement system developed in a previous study had also used during the survey. The noise in the pressure fluctuation data had recorded during the field survey, and it was likely to be caused by sediment movement. The noise could be removed by using a low-pass filter. A technique for monitoring the flow and water temperature in the vicinity of the riverbed at multiple locations throughout the year had established.

研究分野：土木工学・水工学

キーワード：礫河川 粗面乱流 圧力変動 掃流砂

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

礫河川での土砂移動を実測する観測技術開発や数値的に予測するモデル化は、あまり進んでいない。その背景として、山地崩壊などで大量の土砂が河道に供給された場合を除くと、河道が比較的安定しており、また人口密度も比較的小さいため治水上の社会的要請が少なかったことがあげられる。

現在は、環境と共生した社会を実現することの重要性が、持続的社会的実現という文脈のなかで再認識されつつある。生物にとって不可欠な水の通路であり、また水だけでなく、土砂や栄養塩等の通り道でもある河道の環境管理は、環境共生社会の実現のための重要な技術であり、特に河道延長の大半を占める礫河川を対象とし、より効果的な河川環境の管理技術の確立できれば、持続的社会的実現への貢献が期待できる。

2. 研究の目的

礫河川の環境管理を考える上で、礫の移動が重要な要素となる。特に人為的影響下にある河川では、礫が移動しづらくなることや、礫間に砂などが詰まることが、環境上の問題を引き起こす場合がある。どのような条件で、どの程度の分量の礫が移動するかを把握し、場合によってはその土砂移動量を制御することができれば、礫河川の環境管理上の非常に有力な技術となる。そのためには、まずはどのような条件でどの程度の礫が移動するかを把握することがポイントとなるが、中小洪水時の礫の移動の予測は技術的に難易度が高い。本研究では、礫移動と、その礫の移動をもたらす河川流を同時に計測することで、その地点・その瞬間に生じた礫移動現象を解き明かし、土砂移動の発生条件や土砂移動量の予測モデルとして整理することを狙う。中小洪水時の土砂移動を高精度に予測できるモデルが構築できれば、そのモデルを用いて、礫河川の地形や環境がどのように変化していくか予測することが可能となり、河川環境管理の方法検討に役立つ。

礫を移動させるのは、その礫の周りの水流により生じる流体力である。従って、礫の移動条件や、土砂移動量を評価するためには、礫の周りの流れと、礫に作用する流体力を把握することが本質的である。物体に作用する流体力は、形状抵抗と摩擦抵抗にわけられるが、礫に作用する流体力は、礫の形の特徴から、形状抵抗が主であり、形状抵抗は物体まわりの圧力分布の不均衡により生じる。本研究ではこの点に着目し、礫に作用する圧力分布とその変動を実測する。

河床材料周りの圧力分布の実測は基礎研究として古いテーマであり、いくつかの重要な基礎研究がなされている。ところが、現地河川での河床近傍での圧力計測事例は、適切な既存の計測機器がないこともあり、ほとんど実施されておらず、現象の一般性と特異性などが検討できていないため、本研究にて土砂移動を組み合わせて検討することとした。

3. 研究の方法

3.1. 水圧計測センサの開発

研究協力者 Dr. J.A. Tuhtan (Tallinn University of Technology), Dr. J. F. Fuentes-Pérez (Universidad de Valladolid) と、計測機器 Sphera を開発した。この機器により、3点の絶対圧を 20 Hz で同期して記録でき、また、平水時にはスタンバイすることでバッテリー消費を抑えることができる。この機器を埋め込んだ水圧計測粗度を河床に設置し、出水中に、この水圧計測粗度に作用する3点の圧力を記録することができるようになった(図-1を参照)。

3.2. 水中音計測用粗度

水圧計測用粗度(図-1)と同様の形状をもつが、半球を金属殻に置き換えて、そこに総流砂が衝突した際に生じる水中音を、金属殻内部に収納した音声レコーダーにて記録する方法が開発されており(Tsubaki et al. 2017 Water Res. Res.)、その装置を利用して出水中の掃流砂の移動量および粒径を算定する。

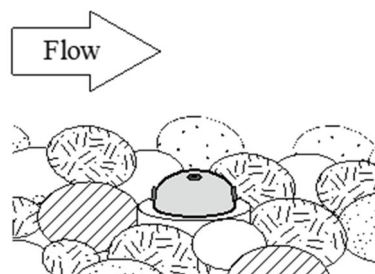


図-1 水圧計測粗度^{業績 11} (グレーの半球が計測用粗度で、三カ所の色濃い部分の絶対圧を出水中に記録する)

3.3. 現地調査

北海道を流れる S 川にて 2019 年 6 月に実施されたフラッシュ放流に合わせて、水圧計測粗度・水中音計測粗度を、一基ずつペアとして、河道内の河床が平坦になっている二カ所に設置し、放流終了後に機器・データを回収した。二カ所のうち、一カ所で記録された水圧データに、特徴的な圧力変動が確認された。これは、20 Hz で記録された圧力データの瞬間値が、まれに大きく変動するという現象であり、以下ではノイズと称することとする。

3.4. 室内実験によるノイズの発生要因分析

現地調査にて確認されたノイズの発生要因を分析するために室内実験を実施した。記録波形の特徴からノイズは高周期で散発的な圧力変動であることが示唆されたため、可聴域程度の音波（水中音）が圧力変動の計測データにどのように記録されるかを確認した。また、圧力センサ近傍で土砂衝突を発生させ、記録されて圧力変動データの検討も行った。

4. 研究成果

4.1. 室内実験

土砂移動にともなって圧力変動データにノイズが生じること、高周波の圧力変動や、土砂衝突が、記録される圧力データにどのように表れるかが確認された。低周波通過フィルターの使用により、ノイズを除去できることを確認し、ノイズを除去することで、乱流により生じた圧力変動の統計量を算出することができた。

4.2. 現地調査

図-2 に、現地調査結果を示す。本研究では上流側・下流側の二カ所の計測地点にて、水圧計測粗度と水中音計測粗度を 0.5 m の距離で流れに垂直に配置して計測を行っている。粗面開水路流れでの大規模乱流構造の空間スケールは水深に対応することが報告されており（Roy et al. 2004 J. Fluid M.），計測地点のフラッシュ放流時の水深は 0.6 m 程度であり、かならずしも同一の大規模乱流構造の中に二つの計測粗度がいつも含まれとは限らないが、河床が平坦な箇所計測していることから、マクロ的にみれば、統計的に見れば同様の大規模乱流の条件下に二つの計測粗度が設置されていると見なしてよいだろう。

二つの計測地点の結果を図-2 にて比較すると、左半分に示した上流計測地点と、右半分に示した下流計測地点で、放流の影響がみられる 6 月 25 日の 12:00 ごろから 15:00 ごろにかけて、水位が上昇することより水圧が上昇し、その後は水圧が漸減していることが確認できる（図-2 の上段）。図の中段に示す圧力変動を確認すると、上流側（図の左側）では、P1（粗度の上流側）

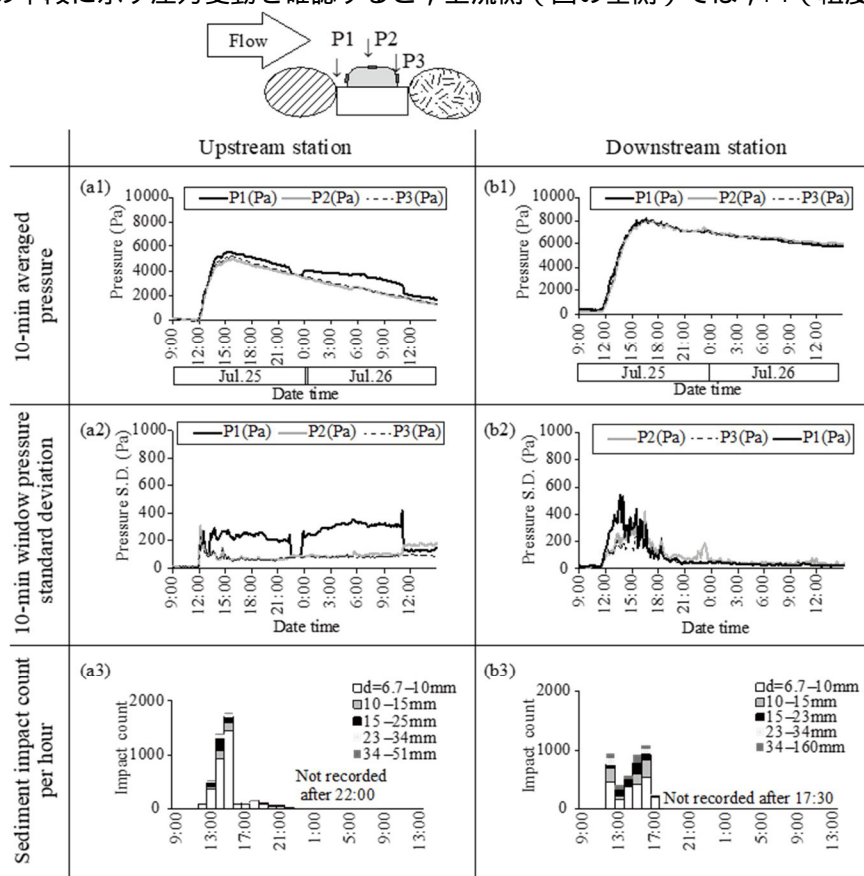


図-2 現地調査結果業績 11（上段が移動平均した水圧，中段が圧力変動の標準偏差，下段が粒径別の掃流砂量の時系列を示す。左半分は上流側の計測地点，右半分は下流側の計測地点の結果を示す。）

の圧力変動強度が強くなったり弱くなったりしていることが確認できる。P1 の圧力変動が弱くなった時にも、P2、P3 の圧力変動と同程度の値は維持している。下流側の圧力変動（図-2b2）を確認すると、6月25日の12:00から15:00にかけて、上昇したあと、21:00まで減少しており、そのあとは、ほぼ変動がみられなくなっている。機器回収時に、この地点では計測粗度が河床に埋まっていたため、図-2b2の6月25日の15:00以降にみられる圧力変動強度の減少は、計測粗度が河床に埋没したことによるものと考えられる。また、図-2a2と図-2b2をみくらべると、図-2b2では圧力変動強度が時間変化していることが確認できる。

図-2の下段では、掃流砂量を比較している。上流側では、16:00に入ると土砂移動量が急減しており、水位上昇期のみで土砂移動が生じたものと考えられる。下流側では記録が17:30に停止しているが、その前から土砂移動量が急減していることから、下流地点においても、水位上昇が終わると土砂移動は不活発になったと考えられる。

4.3.まとめ

河川環境調査に利用する新たな水圧変動計測手法が開発された。開発された水圧計測粗度と、既往研究で開発された土砂移動計測粗度を組み合わせ、フラッシュ放流に合わせて実施された河原の掘削・河道への土砂還元の効果について現地調査を行った。調査を行った二カ所でのフラッシュ放流中の河床近傍の圧力変動と土砂移動を合わせて計測することができ、同程度の水深・河床材料となっている二カ所で、圧力変動や土砂移動の特性が大きく異なることが確認された。このような違いは従来の水面勾配の観測などで把握することができないものであり、礫河川での土砂移動予測モデルの高度化に役立つものと考えられる。引き続き、図-3に示すような大規模乱流構造の挙動の圧力変動データから検出し、また、土砂移動の変動との関連について検討を進める予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tsubaki Ryota, Baranya Sandor, Muste Marian, Toda Yuji	4. 巻 59
2. 論文標題 Spatio-temporal patterns of sediment particle movement on 2D and 3D bedforms	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Experiments in Fluids	6. 最初と最後の頁 93_1 -93_14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00348-018-2551-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 北村 旭, 椿 涼太, 河原 能久, 内田 龍彦	4. 巻 74
2. 論文標題 砂堆形状の変遷過程における砂粒子の移動と河床近傍流速の特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_973 -I_978,
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryota Tsubaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-camera large-scale particle image velocimetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6501/ab85d5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 宮本雅也, 椿涼太, 田代喬, 戸田祐嗣
2. 発表標題 河床付着苔の出水攪乱に対する応答
3. 学会等名 陸水学会東海支部第21回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎 涼太, 飯嶋洋樹, 金田一清香
2. 発表標題 河川河床近傍の多地点・連続モニタリング技術開発の為の基礎的研究
3. 学会等名 土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubaki, R., Miyamoto, M., Toda, Y. and Tashiro, T.
2. 発表標題 Aquatic Mosses on Cobble in Riffles and Those Resistance to Disturbances due to High Flow and Sediment Implement
3. 学会等名 Proceedings of 38th IAHR congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎 涼太
2. 発表標題 洪水中の河床付近の水圧変動の計測
3. 学会等名 陸水学会東海支部第22回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsubaki, R., Toda, Y. and Miyamoto, M.
2. 発表標題 Field measurements of the absolute pressure distribution acting on bed material
3. 学会等名 37th IAHR congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsubaki, R.
2. 発表標題 In-situ measurement of gravel transport and near-bed pressure changes in a river during small floods
3. 学会等名 Malaysia-Korea-Japan Mini Symposium on Modeling and Measurement in Hydraulics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsubaki, R., Fuentes-Perez, J. F., Kawamura, S., Tuhtan, J. A.
2. 発表標題 Bedload transport measurement in a Japanese gravel river using synchronized hydrodynamic and hydroacoustic pressure sensing
3. 学会等名 Riverflow2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsubaki, R. and Miyamoto, M.
2. 発表標題 Measurement of pressure fluctuation on bed cobbles during small floods
3. 学会等名 International Symposium on Ecohydraulics, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

個人ホームページ https://sites.google.com/site/rsubaki/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	戸田 祐嗣 (Toda Yuji) (60301173)	名古屋大学・工学研究科・教授 (13901)	
研究 分 担 者	尾花 まき子 (Obana Makiko) (10447831)	名古屋大学・工学研究科・助教 (13901)	