

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月27日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01326

研究課題名（和文）連続流砂観測データに基づいた土砂の流下特性の解明

研究課題名（英文）Study on mountainous torrent sediment transportation characteristics based on continuous sediment observation data

研究代表者

長谷川 祐治（HASEGAWA, Yuji）

広島大学・総合科学研究科・准教授

研究者番号：60342664

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：小規模な山地河川で土砂流出実験を行い、ハイドロフォンによる結果と直接採取した流砂量と比較して、流砂量が多い状態にも適用できる解析手法を提案した。提案手法と観測データを用いて数値シミュレーションを実施して、高精度の計算に必要となる観測データの優先順位を整理した。さらに、ICレコーダーや肉厚の異なる金属管を用いて、様々な規格のハイドロフォンの適用性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土砂輸送の場の時間的・空間的な変化に着目した流量と流砂量の関係を把握することで、河道内の土砂の流れ易さ、流れの抵抗についての研究が大きく進む。本研究期間に計測した観測データ、既存の観測データと本研究で提案した解析手法を用いて得られる流量と流砂量の関係を基に、洪水時の土砂移動量や平時からの変化を予測できれば防災上で有益なツールとなる。更に流砂観測においては、仕様の異なるハイドロフォンを提案することに成功し、流域特性の異なる河道での観測によって、洪水の規模に応じて適切に計測できる仕様を確立する点は独創的である。

研究成果の概要（英文）：We conducted sediment runoff experiments in small mountainous torrent site. From the results, we compared the amount of sediment collected directly and data obtained with hydrophone, and proposed an analysis method that can be applied for large sediment discharge condition. Using the proposed method and observed data, we conducted numerical simulations and indicated the priority ranking of the observation data required for accurate simulations. Furthermore, we proposed hydrophones such as using IC recorders and with different thick ness pipes, and demonstrated the hydrophone devices various possibility of application.

研究分野：複合領域・社会・安全システム科学 自然災害科学・防災学

キーワード：山地河川 ハイドロフォン 掃流砂 数値シミュレーション 実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では毎年千件近くの土砂災害が発生しており、近年の地球温暖化に伴う極端な気象条件の増加によって、土砂災害の規模や発生頻度も増加することが懸念される。土砂災害を正確に予測するには、土砂生産の量や質、位置の特定や、土砂輸送の場の把握が重要である。現在の計測技術から地形データを容易に取得することは可能だが、河床のアーミング（河床表層が粗い土砂のみで構成されて河床が侵食し難い状態）、樹木・植生の繁茂（根系により河床が侵食し難い状態）、ステップ・プール（階段状の河床地形で土砂が堆積しやすい状態）などの微地形に関する情報は過小評価される傾向にある。これらの情報は出水規模によって流砂量に大きく影響することが知られているが、連続計測が難しく、計測が行われても時間的・空間的に変化する情報が更新されない点が課題である。既往の研究から、表層崩壊や凍結融解等による土砂生産についてはある程度解明されつつあるが、一方では、土砂輸送の場に関する情報は時間的・空間的な変化の把握が困難であり、既往の検討だけでは十分ではない。土砂輸送の場は、川幅や勾配、砂礫の分級状態など、時間的・空間的に変化して土砂移動のしやすさに大きく影響するにも関わらず、限られた場所ですら計測されていない。コストや時間を費やせば計測は可能だが、全区間で実施するのは現実的に難しく、また観測データはある時刻での情報に過ぎない。1990年代後半から、山地河川においてハイドロフォンにより流砂観測が進められている。ハイドロフォンは、コスト面やメカニズムが容易な点から幅広く用いられ、2010年頃からは全国的に観測が進んでいる。一方で既往理論から流砂量は土砂の粒径、勾配、水深（流量、川幅）から求められるが、土砂輸送の場が異なると実測値と予測（計算）値の流砂量は大きく異なることが予想される。これらを正確に把握するには、土砂の量や質の時系列的な情報から土砂輸送の場の時間的・空間的な変化を知ることが必要不可欠である。本研究ではこれまでに蓄積されたハイドロフォンの情報を入力条件として平常時の土砂輸送の場を把握する。また、下流への影響を適切に評価するために解析結果の流砂量と観測データの比較検証を行い、解析手法フェードバックを行い、既存の土砂動態モデルに土砂輸送の場の影響を加えた理論を構築する。

2. 研究の目的

大規模な土砂生産による災害を予測するには、流域からの流砂量を予測する必要がある。山地河川ではハイドロフォンにより連続計測が実施され、観測データと流域土砂動態モデルを用いて流砂量の予測が行われている。しかし、流域毎に計測機器の仕様が定められておらず、現状では同じ規格のハイドロフォンが用いられる。また、観測データを合理的に解析する手法が提案されておらず、さらに、流砂量の予測に大きく影響を及ぼす土砂輸送の場が考慮されていないため、土砂の流下特性のメカニズムの把握が進んでいない。本研究は、ハイドロフォンを対象として、流砂観測に必要な連続計測が可能で、信頼性の高い解析手法で、流水に破壊されない観測手法の確立を目指す。また、流砂観測データと既往理論（流砂量式）から求められる流砂量の違いが土砂輸送の場の時間的・空間的な変化にあることに着目し、観測データから土砂の流下特性を解明する。

3. 研究の方法

掃流砂計測に用いられるハイドロフォンの検討を行った。パイプの肉厚が異なるハイドロフォンを実験水路で検討する。実験結果を基に流域毎に仕様の異なるハイドロフォンの提案が可能となる。金属管の肉厚を厚く強い材質を採用できれば流水に破壊され難い機器となる。流砂量解析は、申請者らが提案した流砂の運動形態を考慮した手法の他に、流砂がハイドロフォンに衝突する割合を検討した結果を考慮した手法を提案する。また、現地ではより安価なICレコーダーを導入して現地試験を実施し、複数断面での計測を実施するための観測手法を提案する。設置箇所は京都大学防災研究所穂高砂防観測所の足洗谷とする。観測データおよび提案した解析手法により流砂量を推定し、既往の理論から求められる流砂量と比較を行い、土砂生産の量や質、位置や土砂輸送の場との関係について考察し、土砂の流下特性を明きからにして洪水時の流砂量の予測を行う土砂動態モデルに土砂輸送の場を加えた理論を構築する。

4. 研究成果

2016年度は、全国の流砂観測の実態並びにデータの収集、並びに既存データを用いた流砂量の解析手法の検討であった。検討から、流砂量が多い状態では既存の解析手法で流砂量の推定が難しいことが明らかとなった。そこで、現地で土砂流出実験を実施してハイドロフォンによる結果と直接採取した流砂量と比較して、流砂量が多い状態でも適用できる解析手法を提案した。提案した手法と観測データを用いて数値シミュレーションを実施して、観測と計算を連携させるために必要な情報を整理した。ハイドロフォンによる流砂量解析には、流砂の衝突回数（パルス数）を記録する方法が用いられる。パルス数の記録には音響信号のような連続量に対して閾値を設けて離散化処理を行う。既存の解析では、全ての閾値でパルス数を記録して、最も多く記録される閾値で評価する。しかし、現地で運用されるハイドロフォンシステムは、ある時間毎（ほとんどが1分以上）にパルス数が出力されるため、その時間内で最大値以外のパルス数を評価しない方法は、流砂量が多い状態では過小評価される場合がある。一方、最大閾値のみでパルス数を記録すると、出力時間に関係なく各閾値のパルス数を評価するため、流砂量が多い状態でもパルス数で評価ができることを確認した。そこで、以降は提案した手法を用

いて流砂量解析を行う。現地の土砂流出実験を京都大学防災研究所穂高砂防観測所神通川水系足洗谷試験流域内のヒル谷で実施した。ヒル谷には排砂ゲートを備えた試験堰堤があり、堰堤上流の沈砂池に堆積した土砂を排出して、給砂を行った。現地観測データと数値シミュレーション結果の比較から、地形条件や流量の他に、上流端からの流砂量の供給条件、粒径、河床条件が必要であるが、本計算では、供給流砂量が最も影響することを示した。

2017年度は、様々な規格のハイドロフォンについて検討した。一般にハイドロフォンは構造物の水通し部に固定して計測することが殆どである。土砂移動現象の把握には、溪流の複数箇所での連続観測が求められるが、ハイドロフォンは機器の設置と電気系統を必要とすることや、大規模出水までを対象とするには構造物以外への設置が難しいため、そのような事例が少なかった。一方で、山地河川でよく確認される階段状の地形を呈した河道では、土砂移動に不明な点が多く残されている。小流域で多地点を観測するには従来のハイドロフォンでは困難であり、設置や計測が簡便なシステムの方が適用しやすいと考えた。そこで、音を記録する機器として入手が容易な IC レコーダーを導入し、従来ハイドロフォンと同様に金属管に流砂が衝突して得られる音響信号と直接採取した土砂量の比較を行い、IC レコーダーを利用した流砂観測の妥当性を検証した。岐阜県高山市の京都大学防災研究所にある足洗谷流域ヒル谷に IC レコーダーを搭載したハイドロフォンを7基設置して、連続的に観測を行うことにより流砂の伝播過程を捉えることができた。定量的な観測には更なる検討が必要だが、河床変動計算で得られる流砂量等と比較し易い形のデータを得た。また、本観測手法と、レーザースキャナ等による2次元地形測量の差分を併用すれば、期間内通過土砂量を求めることで、より高精度かつ低コストな土砂移動解析手法に繋がる可能性があることを示した。

2018度は、ハイドロフォンのセンサ部となる金属管の肉厚や露出率について検討した。現地では肉厚や露出率などは全て同じ規格が用いられる。しかし、実際は流域によって地形、材料や水理条件などが異なるため、同じ規格が用いられることに課題が残されている。また、従来の水路実験による検討では、現地と同じ規格のハイドロフォンを用いているが、両者のスケールの違いからそれぞれで金属管の固定方法が異なる。しかし、ハイドロフォンの応答性に関して比較検証が行われておらず、適用性についても課題が残されている。本研究では、現地スケールに近い条件で水路実験を実施した。肉厚と応答性については反比例の関係を示し、本実験条件下では最も小さい感度で計測範囲を超えないことを確認した。これは、金属管の持つ固有振動特性とマイクロフォンのダイナミックレンジから、さらに大きな運動量を持つ流砂が衝突しても計測可能であることを示す。また、流砂衝突後の応答時間は肉厚が大きくなると短くなるが、比例関係を示さない。これは、金属管の持つ固有振動が影響していると考えられる。露出率が高いと、流砂が金属管に衝突する割合は増大するが、単位時間あたりに金属管に衝突する粒子数も増えるため、露出率を高くしても流砂量と良い相関に繋がるわけではない。本検討によりハイドロフォンの金属管の肉厚や露出率が異なると、流砂が金属管に衝突する割合や応答性が異なる結果を得た。これらの結果は、現地の条件に応じて、規格の異なるハイドロフォンが適用可能であることを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. T. T. Htwe, H. Takebayashi, M. Fujita and Y. Hasegawa: Navigable braided channel characteristics with the effects of narrow pass, Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 1129-1134, 2018
2. S. Karuki, H. Nakagawa, K. Kawaike, M. Hashimoto and Y. Hasegawa: Morphological variations with sinuosity in sine-generated meandering channels with and without groynes, Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 967-972, 2018
3. 長谷川祐治、宮田秀介、今泉文寿、中谷加奈、堤大三：流砂の衝突回数を考慮したハイドロフォンデータによる解析手法の提案と現地への適用 土木学会論文集B1(水工学) Vol.73, No.4, p. 1_523-1_528, 2017

〔学会発表〕(計11件)

1. 長谷川祐治、対修一、橋崎卓、三浦勉、川池健司、中川一：バンダル型水制群による浮遊砂の堆積機能促進のための形状に関する実験的研究、平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2018
2. 中村隆志、長谷川祐治、橋本雅和、中川一、川池健司：河岸侵食を抑制するための水制工の設置角に関する実験的研究、平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2018
3. SHAMPA, Y. HASEGAWA, H. NAKAGAWA, H. TAKEBAYASHI, K. KAWAIKE: Defining Appropriate Boundary Conditions of Hydrodynamic Model from Time Series Data, 京都大学防災研年報, 647-654, 2018
4. 権田豊、宮田秀介、長谷川祐治、堤大三、中谷加奈、今泉文寿：Step-Poolの存在する溪流における流砂量式の検討、平成30年度砂防学会研究発表会概要集, p.37-38, 2018
5. 長谷川祐治、宮田秀介、山野井一輝、今泉文寿、権田豊、中谷加奈、堤大三：ICレコーダーを利用した流砂観測の試み、平成30年度砂防学会研究発表会概要集, p.35-36, 2018

6. 長谷川祐治、宮田秀介・今泉文寿・権田豊・山野井一輝・堤大三：ハイドロフォンを用いた流砂量計測と現地への適用，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，p.732-733，2017
7. 長谷川祐治、Tin Tin Htwe、竹林洋史、藤田正治：狭窄部を有する網状流路の流砂・河床変動特性に関する実験，平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 B，p.66-67，2016
8. 松本悠花、権田豊、宮田秀介、堤大三、長谷川祐治、中谷加奈、今泉文寿：Step-Pool の存在する溪流における土砂流下過程の検討，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，p.476-477，2017
9. 松本悠花、権田豊、長谷川祐治、宮田秀介、堤大三、今泉文寿：Step-Pool の存在する山地溪流における流砂量の実測値と流砂量式による推定値の比較，平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 A，p.78-79，2016
10. 宮田秀介、長谷川祐治、堤大三、今泉文寿、権田豊、三浦直子、浅野友子、山野井一輝：山地溪流における河川地形変動・流砂観測手法の比較検討に向けて - 現地給砂実験での同時計測 - ，平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 A，p.76-77，2016
11. 富田邦裕、叶正興、重村一馬、藤田正治、長谷川祐治：プレート型ハイドロフォンとパイプ型ハイドロフォンの特性比較とハイドロフォンの活用方法について，平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 B，p.504-505，2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。