

令和 3 年 4 月 30 日現在

機関番号：82114

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13842

研究課題名（和文）中山間地河川における流砂・流木及び洪水流に関する研究

研究課題名（英文）Flood flow characteristics with sediment and driftwood in the mountainous stream

研究代表者

原田 大輔（Harada, Daisuke）

国立研究開発法人土木研究所・土木研究所（水災害・リスクマネジメント国際センター）・研究員

研究者番号：30795802

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）：本研究では移流拡散方程式を用いた流木の解析法と、連行の概念を用いた微細土砂の解析法を新たに提案し、提案する手法の妥当性を水理実験によって検討しつつ、解析法を平面二次元流れの解析に導入した。この解析法を2017年の九州北部豪雨における赤谷川、2018年の西日本豪雨災害における総頭川、2019年の東日本豪雨における五福谷川といった中山間地河川で生じた災害事例に適用した。流砂、流木それぞれの挙動が洪水流に伴う河床変動、河床材料の変化を引き起こし、そのことがまた洪水流の変化を引き起こすという一連の現象の取り扱いを可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2017年の九州北部豪雨における赤谷川、2018年の西日本豪雨災害における総頭川、2019年の東日本豪雨における五福谷川といった、中山間地河川において近年頻発する所謂「土砂・洪水氾濫」では、上流から多量の微細土砂や流木が供給された結果、下流域に甚大な被害をもたらしている。本研究の成果によって、これらの現象を数値シミュレーションで解析することが可能になり、今後の中山間地河川河道計画や避難計画、災害の復旧等に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：The present study developed methods to analyze the behavior of driftwood in terms of the convection-diffusion equation, and methods to evaluate the erosion rate of bed sediment composed of fine sediment by means of entrainment velocity. The proposed methods were tested by a series of flume experiments, and they were introduced in the depth-integrated 2-D flow model. The methods were applied to analyze the three flood disasters that happened in mountainous rivers in Japan from 2017 to 2019. As a result, we proposed methods to analyze flood flow with a huge amount of sediment and driftwood, where the sediment and driftwood cause the bed deformation and that also affects the characteristics of flood flow.

研究分野：水工学、河川工学、流路・河床変動

キーワード：中山間地河川 流路・河床変動 流木 微細土砂 平面二次元洪水流解析

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

2017年の九州北部豪雨災害、2016年の台風10号に伴う豪雨災害など、近年中山間地河川における洪水災害が顕在化している。これらの災害では、崩壊・土石流によって大量の土砂や流木が中下流域の河道に供給され、激しい流路変動を伴って、水、土砂、流木の氾濫が引き起こされ、深刻な被害をもたらされている。しかし、多様な粒径をもつ大量の土砂や、大量の流木が供給された場合の洪水流を解析する手法は、十分に確立されていなかった。例えば赤谷川の災害では、上流から下流にかけて勾配が大きく変化するために、上流と下流とで土砂の粒径が大きく異なる分級現象が生じている。また、流木の解析法については、粒子法に基づく後藤ら(2001)の研究や、流木を剛体として水流との相互作用を考慮して解析する中川ら(1994)の研究が存在しているものの、赤谷川の災害のように数千 m³ に及ぶ大量の流木が供給される場合、個々の流木をモデル化して取り扱うことは非常に困難であり、既存の方法とは異なる解析手法が必要とされていた。

2. 研究の目的

本研究は、出水時に多量の土砂・流木が供給される中山間地河川における、平面二次元流路・河床変動及び洪水流の解析手法を確立しようとするものである。本研究では、多量の流砂・流木の流入という中山間地河川に特有の現象を扱うために、以下の要素について新しい解析手法の確立を目指した。まず、流砂の計算法では、巨礫から極微細砂まで多様な粒度を有する流砂現象を扱うために、ウォッシュロードとして流下する極微細土砂の計算法を提案することで、平面二次元解析における浮遊砂とウォッシュロードの一般的な取り扱いを可能にする。

次に、平面二次元解析において流砂及び河床変動を適切に評価するために、交換層厚を江頭らの式(1997)に基づいて動的に解析することで、細粒土砂が供給された際の急激な河床材料の変化を解析できるようにする。

さらに、流木の解析について、従来のように個々の流木に着目した手法では、多量に供給される流木を解析的に扱うことは非常に困難である。そこで本研究では、平面二次元解析で容易に解析を行うために、移流拡散方程式を用いた流木解析モデルを新たに構築する。その際に、流木が解析区間に堆積、もしくは解析区間から流出することで、流木の挙動がどのように洪水流に影響を及ぼすかが極めて重要である。流木の河床への堆積及び河床からの離脱については、河床変動に応じたモデル化を提案する。また、橋梁等の障害物への捕捉についてもモデル化し、洪水流及び河床変動に流木がどのような役割を果たしているかについて明らかにする。

3. 研究の方法

流砂、流木それぞれの挙動が洪水流に伴う河床変動、河床材料の変化を引き起こし、そのことがまた洪水流の変化を引き起こすという一連の現象について取り扱うことのできる解析法を構築する。個々の要素については、水理実験と数値解析によって検証を行う。構築したモデルを用いて平面二次元解析を行い、その妥当性及び実河川への適用性について、中山間地河川において生じた洪水を対象として検証を行う。

4. 研究成果

(1) 移流拡散方程式による流木の解析法

取り扱いの容易な水深平均の移流拡散方程式を用いて河道における流木の挙動を表現するモデルを提案した。具体的には、河道における流木の侵食および堆積は、土砂の侵食及び堆積に対応して起こるとしてモデル化し、移流拡散方程式に対してこれらを導入すると共に、流木の橋梁への捕捉項を導入することによって、流木の挙動を記述する方法を提案した。このモデルを用いることで、平面二次元流れ場において容易に流木の挙動を表現することを可能にした。なお、橋梁等では上流から流下した流木の一部が集積し、その分流水平面二次元流れにおける流水断面積を減少させるため、橋梁を洪水流が迂回する状況を表現することが可能である。(原田ら, 2018, 2019)

(2) 連行の概念を用いた極微細土砂の解析法

中山間地河川で近年頻発する所謂「土砂・洪水氾濫」では、上流域の土砂生産に伴い、極微細土砂が供給される。例えば2019年10月に発生した東日本豪雨災害では、宮城県の丸森町を流れる五福谷川において、極微細土砂が氾濫原に厚く堆積したが、その粒径は主に10 μm~100 μmと極微細であり、ウォッシュロードとして供給されたものと考えられる。このような粒径の土砂の挙動を解析するために、連行の概念を用いた極微細土砂の解析法を提案した。水理実験によって、この方法は5 μm~100 μmの極微細土砂を含む幅広い粒度分布のウォッシュロード・浮遊砂の解析に適用可能であることが示された。(原田ら, 2020)

(3) 本研究で提案する新たな解析法を用いた洪水流の解析

上記(1)、(2)の手法を用いて、中山間地河川の洪水災害の解析を行い、その適用性について検討を行った。2017年の九州北部豪雨における赤谷川(原田ら, 2018)、2018年の西日本豪雨災害における総頭川(Harada et al., 2019)、2019年の東日本大震災における五福谷川(原田ら, 2020)等において適用し、それぞれの災害において流砂・流木を含む洪水流の特徴を明らかにした。こ

ここでは、赤谷川及び五福谷川の事例について詳述する。

赤谷川は約 20km² の流域面積を持ち、筑後川との合流点から 3.5km ほど上流の地点において乙石川が合流している。この約 3.5km の区間を対象として、平面二次元流れの解析を行った。図-1 に示すように、赤谷川の洪水前の川幅は 10m 程度だが、災害後の空中写真によれば、多量の土砂・流木を含む洪水流が谷幅一杯に流下したことが分かる。図-1 には、ピーク流量時の水深コンター図について、流れのみを計算する場合 (Case1) と、土砂・流木の流入を考慮した場合 (Case2) とを比較している。なお、上流端境界における土砂の境界条件として、崩壊・土石流による輸送土砂が本川沿いに堆積していることに着目し、堆積土砂の侵食に伴い微細砂が流出するものと考えて設定している。また、流木の境界条件として、計算区間上流端において常に体積濃度が 0.1 になるように供給をしており、これは計算格子 (x, y 方向に各々 10m) 1 つにつき 1 本 (長さ 30m、直径 40cm 程度とした) が含まれる程度の量に相当する。ピーク流量時の水深について比較すると、Case1 では元の河道の部分が深い水深となっており、明確に判別することができるが、Case2 では白丸点線で囲んだ部分などで元の河道が埋没しており、河道に多量の土砂が堆積した結果、氾濫の範囲が広くなり、流路が分岐しながら流下していることが分かる。また、図-1 において白点線で示す部分は橋梁がある場所だが、橋梁の部分では流木が堆積することで流水断面積が減少しているため、Case2 ではより浸水範囲が広がっていることが分かる。図-2 には、流木の堆積分布について、空中写真から読み取った実際の分布と計算結果とを比較しており、両者が概ね対応していることが確認できる。

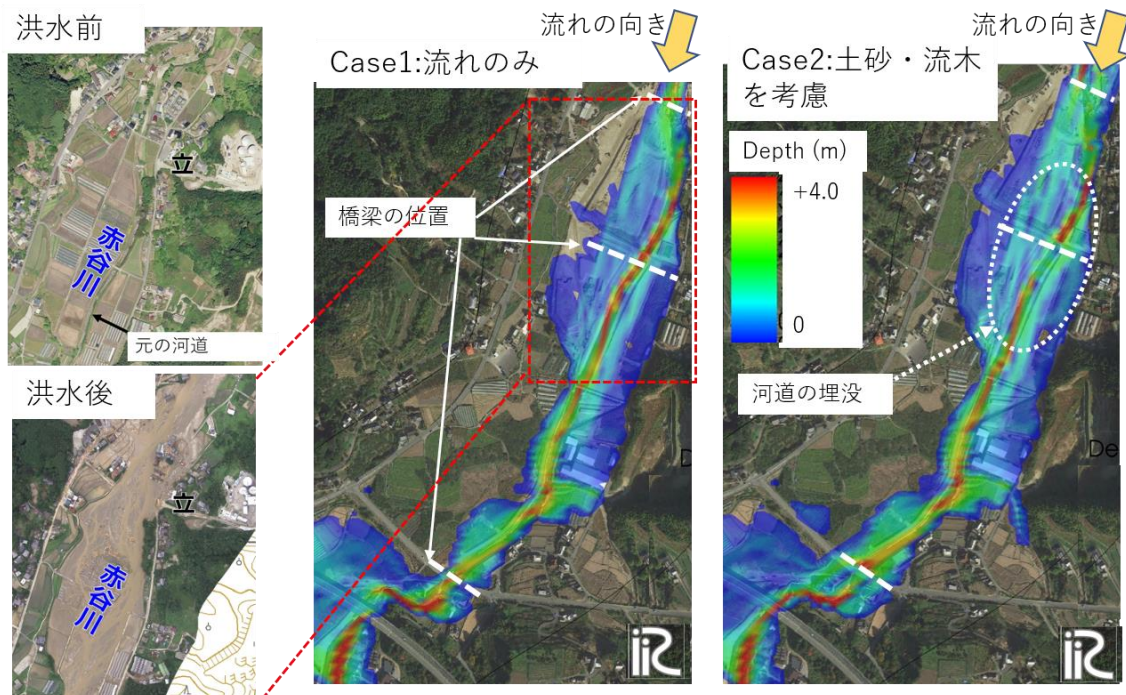


図-1：赤谷川の災害前後の空中写真の比較 (左上：災害前，左下：災害後)，解析結果について、ピーク流量時の水深コンター図 (中央：流れのみを計算する場合，右：流れと同時に土砂・流木の計算を行う場合.)

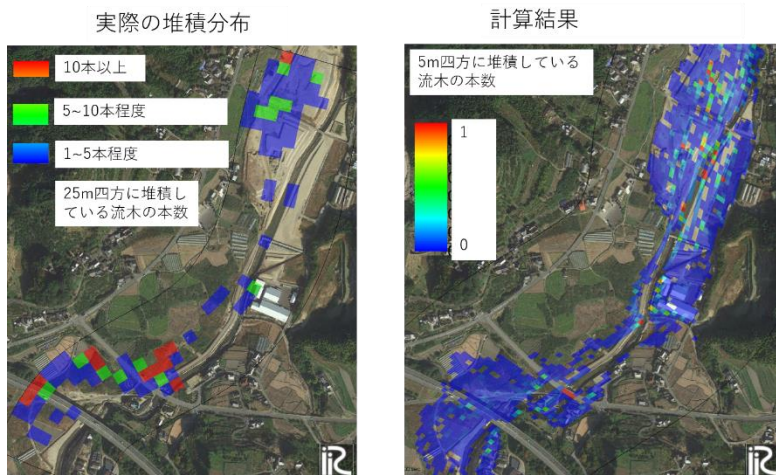


図-2：流木の堆積分布について、実際と計算結果との比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Harada Daisuke, Nagumo Naoko, Nakamura Yousuke, Egashira Shinji	4. 巻 14
2. 論文標題 Characteristics of Flood Flow with Active Sediment Transport in the Sozu River Flood Hazards at the Severe Rainfall Event in July 2018	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 886 ~ 893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2019.p0886	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 原田大輔、江頭進治、Tanjir Saif Ahmed、片山直哉	4. 巻 64
2. 論文標題 連行の概念を用いた河床の侵食率に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 水工学論文集	6. 最初と最後の頁 I_967-I_972
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 原田大輔、江頭進治	4. 巻 75
2. 論文標題 流砂機構に着目した流砂の縦断分級現象の評価法	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_907-I_912
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 オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 原田大輔、江頭進治	4. 巻 24
2. 論文標題 移流拡散方程式に基づく流木の解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 197-202
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 原田大輔、江頭進治、柿沼太貴、南雲直子、伊藤弘之	4. 巻 26
2. 論文標題 2019年台風19号による阿武隈川水系五福谷川における多量の土砂を含む洪水流の特徴	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 609-614
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 原田大輔、江頭進治	4. 巻 76
2. 論文標題 運行速度を用いた浮遊砂の解析法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 1111-1116
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 -

[学会発表] 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Daisuke Harada
2. 発表標題 Evaluation of driftwood behaviour in terms of convection-diffusion equation -In the Akatani reach at the flood disaster in July, 2017-
3. 学会等名 11th River, Coastal & Morphodynamics Symposium, IAHR (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田大輔、江頭進治
2. 発表標題 ダム流域における流砂・河床変動の評価法に関する研究
3. 学会等名 河川技術に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Harada
2. 発表標題 Method to evaluate longitudinal sediment sorting processes
3. 学会等名 The 9th International Conference on Scour and Erosion (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Harada
2. 発表標題 Behavior of driftwood in terms of convection diffusion equation
3. 学会等名 21st IAHR-APD Congress 2018, Yogyakarta, Indonesia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Harada
2. 発表標題 Numerical simulation model of driftwood in flood flows with sediment erosion and deposition
3. 学会等名 Global Conference on the International Network of Disaster Studies in Iwate, Japan "Iwate Conference" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Harada Daisuke
2. 発表標題 Characteristics of active sediment transport processes in extreme flood hazards
3. 学会等名 River Flow 2020 (Online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Harada Daisuke
2. 発表標題 Erosion rate of bed sediment in terms of entrainment concept
3. 学会等名 22nd IAHR-APD CONGRESS 2020 IN SAPPORO (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------