

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01597

研究課題名（和文）土砂・洪水氾濫による災害を防止・軽減するための汎用シミュレータの開発

研究課題名（英文）Development of a numerical simulator to prevent and mitigate sediment and flood damage

研究代表者

里深 好文（Satofuka, Yoshifumi）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：20215875

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,300,000円

研究成果の概要（和文）：掃流状集合流動領域を対象に、特に細粒土砂の挙動に着目し、複数の数値計算モデルを作成した。生産土砂の粒径と河床材料の粒径に明確な違いがある2つの流域を対象とした再現計算を行い、生産土砂の粒径および細粒土砂の取扱いが数値計算結果に及ぼす影響を明らかにした。また、慣性土石流の統一モデルをベースとして、土石流中の細粒土砂のフェーズシフトのモデルと急勾配河川における浮遊砂モデルとを組み入れることにより、土石流から掃流砂・浮遊砂までを対象とする新たな流砂モデルを開発した。水路実験により勾配変化点における混合砂礫土砂の堆積速度を計測し、従来の数値計算で用いられている堆積速度式の適用性に関して検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土石流領域から掃流砂・浮遊砂領域までに適用可能な流砂モデルを開発し、複数の実領域への適用を通じてその妥当性を検証してきた。まだまだ未解明な点は多いものの、勾配変化点で実際には生じない顕著な土砂堆積が計算されるといった課題は解決できたと考えている。また、細粒分を用いた水路実験を行い、粒径が堆積速度に大きな影響を与えることを明確にしたことは、これまで堆積速度係数の設定に問題があった部分を解消できる可能性が高いと考えている。実験ケース数を増やし、粒径の範囲等をさらに広げていくことで、より実用性の高い流砂・河床変動モデルの確立につながるものと期待している。

研究成果の概要（英文）：Several numerical simulation models were developed for debris flow, bed load and suspended load regions, focusing on the behavior of fine sediment. Reproduction calculations were performed for two watersheds with clear differences in the grain size of produced sediment and the grain size of riverbed materials, and the effects of the grain size of produced sediment and the handling of fine sediment on the numerical calculation results were clarified. In addition, a new sediment transport model was developed that covers everything from debris flows to bed load and suspended sediment by incorporating a model of the phase shift of fine sediment in debris flows and a suspended sediment model in steeply gradient rivers based on a unified model of inertial debris flows. The deposition rate of mixed sand and gravel at gradient change points was measured in flume experiments, and the applicability of the deposition rate formula used in conventional numerical calculations was examined.

研究分野：砂防工学、河川工学

キーワード：土砂・洪水氾濫 土石流 掃流状集合流動 浮遊土砂 堆積速度 細粒土砂

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国においては気候変動が要因とされる極端な豪雨がしばしば発生するようになり、「土砂・洪水氾濫」と呼ばれるこれまではあまり注目されてこなかった現象が引き起こされるようになってきた。土砂・洪水氾濫とは豪雨時に上流域から流出した多量の土砂が谷出口より下流の河道で堆積することにより、河床上昇や河道埋塞が引き起こされ、その結果として、土砂と泥水が堤内地に大規模に氾濫する現象をいう。一般的な土石流氾濫が谷出口付近で生じるのに対し、土砂・洪水氾濫はそれよりも下流側の人間の生活圏により近い領域で、しかも大規模に発生するため、人的・物的被害はより甚大になることが多い。国土交通省はここ数年、この現象による被害を抑制することを目的として、数値シミュレーションによって被害範囲の推定を行おうとしている。その中で課題となってきたのは、急勾配の山地河道から細粒成分を多量に含む土砂が流出・堆積するプロセスを適切に表現できる流砂・河床変動モデルがそもそも存在していないことである。従来からよく用いられている、大粒径の土砂が水と混じりあって流動する石礫型土石流のモデルでは、細粒成分を流体相の一部と考え、流体密度を大きくすることにより土石流堆積範囲予測の精度を高めるような工夫が採用されてきたものの、流体相内の細粒成分がどのように堆積するのかまでは考えられてこなかった。谷出口付近の大粒子の堆積を対象とする場合にはこの手法で充分であったのだが、近年の土砂・洪水氾濫を引き起こしている材料は粒径の小さいものであり、堆積位置も谷出口よりもかなり下流の勾配が小さい領域であるため、石礫型土石流モデルをそのまま適用することは困難であった。一方で、緩勾配河川で用いられる浮遊砂モデルを土砂・洪水氾濫の被災範囲推定のための解析にそのまま用いようとすると、谷出口付近の勾配変化点周辺において河床上昇量が過大に算定されることが多く、実態を説明できない問題があった。これは、一般的な浮遊砂モデルでは河床を唯一の流砂の発生源とみているのに対し、山地河道では山地斜面や河岸の崩壊によって多量の細粒土砂が半ば強制的に流体中に供給され、大粒径粒子と混在して流下していることにより、河床と流砂の交換が制約されているからであると推察された。急勾配河川と緩勾配河川の接続する領域で発生する土砂・洪水氾濫を解析するためには、両領域の土砂の流れに適用可能なモデルが必要であると考えられたが、水路実験の事例も少なく、現地観測事例も極めて限られているため、新規データの取得も含めた新たな研究が必要であると考えられた。

2. 研究の目的

近年、豪雨時に山地から大量に流出した比較的細かい土砂が下流河道に堆積して大規模な洪水氾濫を引き起こす土砂・洪水氾濫が多発している。山腹の崩壊等によって山地河道に供給された幅広い粒度分布を持つ土砂は、流水と混じりあって土石流となり、谷を流れ下って土砂を堆積させながら浮遊砂、掃流砂へと変化して下流河道へと流下している。土砂・洪水氾濫から流域を守るためには、一連の土砂移動現象を再現できるシミュレータにより氾濫範囲を予測するとともに、遊砂地等による土砂調節を評価することが有効である。しかし、土石流から掃流砂・浮遊砂までを統一的に取り扱える流砂モデルはいまだ存在しない。そこで本研究では、急勾配から緩勾配に変化する領域に適用できる混合砂礫と水との混合物の流動に関する新たなモデルを構築し、水路実験や現地データを用いてモデルの検証を行うとともに、より汎用性の高いシミュレーションモデルを開発する。

3. 研究の方法

幅広い粒度分布を持つ土砂に対し急勾配領域から緩勾配領域まで適用できる流砂モデルを構築する。里深が開発してきた慣性土石流の統一モデルをベースとして、内田が開発してきた土石流中の細粒土砂のフェーズシフトのモデルと、権田が研究してきた急勾配河川における浮遊砂モデルとを組み合わせることによりこれを実現する。新たな流砂モデルの妥当性を検証するために、水路実験を実施してデータを収集する。大小さまざまな土砂を勾配7度～15度の実験水路に水と一緒に供給し、土石流あるいは掃流状集合流動状態で流下させる。水路下流側に緩勾配区間(3度以下)を設けて、勾配変化点周辺の流動状況を複数台の高速度ビデオカメラおよび通常のビデオカメラで記録する。記録した動画を基にPIVソフト等を利用して土砂の移動を追跡し、水流層と土砂移動層の厚さや流速、土砂濃度、境界面を通じた土砂の移動、河床堆積速度といった実験データを得る。実験には粒径0.5mm～3mmの珪砂や粒径5mm～3cmの自然砂礫を使用する。また、権田がこれまで収集してきた急勾配水路における浮遊砂に関する既存の実験データや、内田が入手可能な実河川における流砂の観測データも流砂モデルの適用性検証に使用する。土砂・洪水氾濫解析のための数値シミュレータのベースとしては、里深が開発にかかわってきたHyper

kanako を使用する。この汎用シミュレータは上流の山地河川部においては 1 次元の流砂・河床変動解析を行い、谷出口から下流のエリアにおいては 2 次元の氾濫解析を行うことができるものである。また、1 次元解析と 2 次元解析を連続的に行えることが特徴であり、GIS により簡単な操作で入出力できるため、国内外の多くのユーザーがすでに土石流の氾濫解析および災害対策法の検討に用いている。このシステムに上述の流砂モデルを導入することにより、大量の浮遊土砂を含む混合砂礫の流れを解析できるシミュレータを構築する。このシミュレータにより、非常に高い濃度でしかも短時間に大量の土砂が流出するプロセスを表現できるので、豪雨時の土砂・洪水氾濫を十分な精度で予測できるようになると考える。

4. 研究成果

2021 年度には掃流状集合流動領域を対象に、特に細粒土砂の挙動に着目し、複数の数値計算モデルを作成した。生産土砂の粒径と河床材料の粒径に明確な違いがある 2 つの流域を対象とした再現計算を行い、生産土砂の粒径および細粒土砂の取扱いが数値計算結果に及ぼす影響を明らかにした。また、細粒土砂から巨礫まで幅広い粒度分布をもつ桜島有村川流域の土石流を対象として降雨と土砂の流出シミュレーションを実施し、現地で観測されているハイドログラフの再現を試みた。そして、土石流中の細粒土砂の存在割合が土石流の到達時間やピーク流量などの計算結果に及ぼす影響について明らかにした。さらに、河床粗度が大きく、ほぼ固定床と見なせる条件でこれまでに実施された浮遊砂流の実験事例を収集し、結果をデジタル化し、今後の数値シミュレーションの検証用データを得た。

2022 年度には幅広い粒度分布を持つ土砂に対し、急勾配領域から緩勾配領域まで適用できる流砂モデルを構築するために、研究代表者が開発してきた慣性土石流の統一モデルをベースとして、研究分担者らが開発してきた土石流中の細粒土砂のフェーズシフトのモデルと、急勾配河川における浮遊砂モデルとを組み入れることにより、土石流から掃流砂・浮遊砂までを対象とする新たな流砂モデルを開発した。また、新たな流砂モデルの妥当性を検証するために、水路実験を実施してデータを収集した。掃流状集合流動は底面付近の砂礫移動層と表面付近の水流層に分類され、砂礫移動層中には乱流状に移動する細粒土砂と層流状に移動する粗粒土砂が存在し、水流層中には、乱流状に移動する細粒土砂が存在すると考えられるが、それぞれ相互作用・交換については十分に理解されていない。そこで、水路実験を通して、細粒土砂を含む掃流状集合流動の実態を明らかにした。また、勾配変化点における混合砂礫土砂の堆積に関する水路実験を様々な条件下で実施し、従来の数値計算で用いられている堆積速度式の適用性に関して検討した。急こう配の直線水路下流側に緩勾配区間（3 度以下）を設けて、勾配変化点周辺の流動況（水流層と土砂移動層の厚さや流速、土砂濃度、境界面および河床面を通じた土砂の移動）を高速度ビデオカメラおよび通常のビデオカメラで記録した。この動画を基に土砂移動過程を追跡し、実験データを得た。実験には粒径 0.1mm ~ 3mm の珪砂や粒径 5mm ~ 3cm の自然砂礫を使用した。さらに、大型のピーカーと攪拌機を用いた細粒土砂の浮遊、沈降に関する室内実験をあわせて行い、粒径の違いが堆積速度に及ぼす影響や、異なる粒径の粒子同士との河床との交換時の相互作用を調べた。

2023 年度に内田らは既存の水路実験の結果を再解析した上で、細粒土砂を含む土石流の堆積に関する再現計算を実施した。その結果、細粒分が高濃度で河床波が生じるような場合であっても、時間平均した勾配と土砂濃度の関係は、一流体モデルでも表現できることを示した。権田らは降雨流出シミュレーションにより桜島有村川流域で観測された土石流のハイドログラフを再現することで、流域の透水能の経時変化を推定した。推定された透水能は、火山灰の降灰量の厚さや粒径によって変化することがわかった。里深らは勾配変化点における土石流の堆積過程で、粒子サイズが与える影響について水路実験を行った。その結果、堆積速度は粒径に比例すること、堆積によって土砂濃度は流下方向に線形に減衰していくことを確認した。さらに、前者の結果をもとに、高橋によって提案されている土石流の堆積速度式に対して粒子サイズの影響を加味することにより、新たな堆積速度式を提案した。混合粒径土砂の堆積に関する水路実験においては、土砂の混合割合によって流動状態が変化し、堆積速度に大きな違いが生じること、堆積過程に対して支配的となる粒径が変化することがわかった。また、堆積速度式では表しきれない混合粒径特有の現象について、定性的枠組みの下で実験データを整理した。里深・内田・権田・藤本は上記の研究成果を踏まえながら、土石流から掃流砂・浮遊砂へ変化する領域を対象として、既存の掃流砂・浮遊砂モデルと土石流・掃流状集合流動モデルとを組み合わせることにより新たな河床変動モデルを構築し、富士川支川流域等への適用を通じてモデルの再現性に関する検証を行った。

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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ersoz Timur, Haneda Kyoka, Kuribayashi Anna, Gonda Yutaka	4. 巻 48
2. 論文標題 Temporal changes in lahar sediment run off characteristics and run off coefficients in the Arimura River basin of Sakurajima volcano, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth Surface Processes and Landforms	6. 最初と最後の頁 2682 ~ 2703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/esp.5654	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 Ersoz Timur, GONDA Yutaka	4. 巻 17
2. 論文標題 Investigation of different lahar types with rainfall intensity duration curves in Arimura river basin of Sakurajima volcano	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Erosion Control Engineering	6. 最初と最後の頁 1 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.13101/ijece.17.1	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 佐藤光平; 内田 太郎; 権田 豊; 里深好文	4. 巻 75
2. 論文標題 画像解析を用いた土砂濃度測定手法の基礎的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 砂防学会誌	6. 最初と最後の頁 3-13
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23件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 羽田京香・権田豊・T. ERSOZ
2. 発表標題 桜島有村川流域における土石流の流出解析モデルの改良ー表層の浸透過程の再検討ー
3. 学会等名 令和5年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. ERSOZ, Y. GONDA
2. 発表標題 Investigation of lahars with rainfall intensity duration curves in Arimura River basin
3. 学会等名 令和5年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. ERSOZ, K. HANEDA, A. KURIBAYASHI, Y. GONDA
2. 発表標題 Temporal Change of Lahar Runoff Coefficient in Arimura River Basin of Sakurajima Volcano
3. 学会等名 INTERPRAEVENT 2023 International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. ERSOZ, Y. GONDA
2. 発表標題 Investigation of different lahar types with rainfall intensity duration curves in Arimura River Basin of Sakurajima volcano
3. 学会等名 INTERPRAEVENT 2023 International Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 榊原颯輝, 里深好文, 藤本将光
2. 発表標題 細粒土砂を含む土石流・掃流状集合流動の堆積現象に関する研究
3. 学会等名 令和5年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丹羽諭、内田太郎、里深好文、権田豊、西口幸希、久保毅、赤澤史顕、野坂隆幸
2. 発表標題 生産土砂の粒度が粗い流域を対象とした河床変動計算における土砂の相変化の特徴
3. 学会等名 令和5年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤光平、内田太郎
2. 発表標題 室内水路実験における画像解析を用いた土砂濃度の空間分布の把握
3. 学会等名 令和5年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohei Sato, Taro Uchida
2. 発表標題 Testing applicability of image analysis for measurements of sediment concentration in laboratory experiments
3. 学会等名 8th International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taro Uchida, Yuki Nishiguchi, Satoshi Niwa, Takeshi Kubo, Yutaka Gonda, Yoshifumi Satofuka
2. 発表標題 How are fine sediments described in sediment sheet flow?
3. 学会等名 8th International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤光平・内田太郎
2. 発表標題 水路実験を想定した画像解析による土砂濃度測定手法の検討
3. 学会等名 令和4年度砂防学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 羽田京香, 権田豊, Timur Ersoz, 栗林杏奈
2. 発表標題 桜島有村川流域における降雨特性および降雨が土石流発生に与える影響
3. 学会等名 令和4年度砂防学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Timur Ersoz , Kyoka Haneda , Anna Kuribayashi , Yutaka Gonda
2. 発表標題 Relationship between debris flow discharge coefficient and monthly ashfall in Arimura river basin
3. 学会等名 令和4年度砂防学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Timur Ersoz , Kyoka Haneda , Anna Kuribayashi , Yutaka Gonda
2. 発表標題 Lahar Sediment Runoff Characteristics in the Arimura River Basin of Sakurajima Volcano, Japan
3. 学会等名 Multi Modal Sediment Disaster Workshop eMSD 2023, Tainan
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丹羽諭、内田太郎、里深好文、権田豊、西口幸希、久保毅、萬徳昌昭
2. 発表標題 生産土砂の粒径が大規模な土砂生産時の流出土砂量に及ぼす影響に関する数値計算
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野光康、権田豊
2. 発表標題 桜島・有村川流域における Kinematic wave 法を用いた土石流流出解析モデルパラメータの経年変化の研究
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. ERSOZ, K.HANEDA, A.KURIBAYASHI, Y. GONDA
2. 発表標題 Development of Sediment-water Runoff Model to Evaluate the Risk of Lahar Occurrence
3. 学会等名 7th International Symposium on Strategies for Sustainability in Food Production, Agriculture and the Environment 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川祐治、中谷加奈、里深好文、海堀正博
2. 発表標題 土石流規模を考慮した砂防堰堤の機能評価に関する研究
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉野弘祐、原田紹臣、中谷加奈、里深好文、水山高久、梶原あずさ、坂口宏
2. 発表標題 土砂・洪水氾濫対策における遊砂地の流木処理機能に関する高度化の提案
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡野和行、小竹利明、山田拓、木下篤彦、柴田俊、井之本信、北村一貴、水野裕斗、里深好文
2. 発表標題 流入量が時間変化する合流点の流況と河床変動に関する考察
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野裕斗、北村一貴、里深好文、小竹利明、山田拓、木下篤彦、柴田俊、岡野和行、井之本信
2. 発表標題 河川の合流点を考慮した一次元河床変動モデルの提案
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青柳昌憲、中谷加奈、小杉賢一朗、長谷川祐治、里深好文
2. 発表標題 住宅地へ流入する土石流渓流における災害リスクの評価方法の検討
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木裕里、中谷加奈、小杉賢一朗、長谷川祐治、里深好文
2. 発表標題 山地河川から流出する土石流の構成材料及び河床容積濃度に関する研究
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村一貴、水野裕斗、里深好文、小竹利明、山田拓、木下篤彦、柴田俊、岡野和行、井之本信
2. 発表標題 掃流区間の河川合流部に関する実験的研究
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021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
研究分担者	権田 豊 (Gonda Yutaka) (10303116)	新潟大学・自然科学系・教授 (13101)	
研究分担者	内田 太郎 (Uchida Taro) (60370780)	筑波大学・生命環境系・教授 (12102)	
研究分担者	藤本 将光 (Fujimoto Masamitsu) (60511508)	立命館大学・理工学部・准教授 (34315)	

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