

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760394

研究課題名(和文) 一流体モデルによる掃流砂・浮遊砂・土石流の遷移域の評価と河床変動解析への適用

研究課題名(英文) Development of one phase flow model to reproduce the transition phenomena among different sediment transport types and application of the model to bed deformation analysis

研究代表者

竹林 洋史 (Takebayashi, Hiroshi)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：70325249

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：河床近傍に層流域，その上に乱流域を有する二層流による土石流・泥流（および掃流砂・浮遊砂）の流動形態を考え，泥流の抵抗則と泥流を伴う土石流（および浮遊砂を伴う掃流砂）の流動層厚の式を提案し，一般座標系による平面二次元の河床変動解析モデルに提案した式を導入した．さらに，開発した河床変動解析モデルを伊豆大島で発生した泥流現象及び広島市安佐南区八木三丁目で発生した土石流現象の数値シミュレーションを実施した．

研究成果の概要(英文)：Two layer model which has laminar debris flow near bed surface and turbulent mud flow on the laminar flow (and laminar bed load near bed surface and turbulent suspended flow on the laminar flow) is developed and derived a formula of the layer thickness of the laminar debris flow. These models are introduced the general coordinate horizontal two dimensional bed deformation model. The bed deformation model is applied to the mud flow phenomena which was occurred in Izuoshima Island and debris flow phenomena which was occurred in Yagi 3 chome, Asa Minamiku, Hiroshima.

研究分野：河川工学

キーワード：土砂災害 流砂形態 河床変動解析 土石流 泥流 数値解析 掃流砂 浮遊砂

1. 研究開始当初の背景

河道内の流砂量、地形及び河床材料の粒度の時空間的な変動特性を把握・予測することは、河川の整備計画を考える上で不可欠なものである。特に、河川周辺の生態システムの保存・創生を考える場合、河道内の流砂量、地形及び河床材料の粒度は、動植物のハビタットの評価を行う上で必要不可欠な情報となる。しかしながら、河道内の地形及び河床材料の粒度の予測に不可欠な流砂の質と量の予測方法には多くの問題点が残されている。流域から生産された土砂が河道を通過して河口まで流出するプロセスを予測するとき、土砂の輸送形態として、掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロード、土石流、泥流等の異なる輸送形態として取り扱われている。これは、それぞれの流砂形態に卓越する物理量が異なるため、異なる輸送形態として取り扱う方がそれぞれの流砂量の予測式を定式化しやすかったためと考えられる。しかし、このような流砂形態による場合分けは、流砂の計算が煩雑になるとともに、各流砂形態の共存場や遷移領域の取り扱いに問題が生じてくる。たとえば、天然ダムの決壊等によって土石流が発生し、下流へ流動するとともに河床勾配が緩やかとなり、掃流砂へ流動形態が遷移するような場合、土石流と掃流砂では流砂量式が異なるため、山地域から平野域への連続した土砂輸送プロセスを取り扱うことができない。また、現在の掃流砂・浮遊砂理論では、両流砂形態の遷移領域に関する知見が不足しているため、両流砂形態が共存する場の河床変動特性を合理的に説明できる状態にない。さらに、浮遊砂については流砂の量の予測すら十分でなく、実測値と1オーダー以上異なる水力条件も多い。

そこで、本研究では、土砂と水の混合物の流れを一流体モデルとして扱った構成則を用いて、掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロード、土石流、泥流からなる流砂現象を一つの力学モデルで扱い、流砂形態による流砂の取り扱いの場合分けを行わない流砂量の予測方法を提案する。さらに、開発された流砂モデルをベースに河床変動解析モデルを構築し、一流体モデルの視点から、複数の流砂形態が混在した場の河床変動特性を明らかにする。

2. 研究の目的

本研究は、土砂と水の混合物の流れを一流体モデルとして扱った構成則を用いて、掃流砂、浮遊砂、土石流、泥流等からなる流砂現象を一つの力学モデルで扱い、流砂形態による流砂の取り扱いの場合分けを行わない流砂量の予測法を提案する。さらに、開発された流砂モデルを河床変動解析モデルに導入し、複数の流砂形態が混在した場の河床変動特性を明らかにする。本研究は、多くの土砂水理学研究者が、問題があると感じていながら手つかずの状態となつて数十年経過した流砂量の評価について、力学をベースにして

流砂問題を解決することにより、土砂災害現象の予測、河道内の物理環境の評価のための流砂・河床変動現象に関する全く新しい知見を提供する事を目的とする。

3. 研究の方法

移動床状態で土砂が流れる場合、河床近傍の土砂濃度は静止堆積濃度程度に高濃度となるため、土石流や掃流砂は層流状態で流れることが知られている。一方、層流層の上には泥流層や浮遊砂層または清水層が形成され、乱流が卓越した場となる。本研究では、このような層流、乱流の二層状態をモデル化し、土石流と泥流を個別の解析するのではなく、土石流から泥流への遷移現象を扱えるモデルとする。また、斜面崩壊発生後に粗い土砂の間隙に存在する粒径の細かい土砂が流体のように振る舞うフェイズシフト現象を考慮した扱いにより、斜面崩壊から土石流化・泥流化する現象を連続的に評価できるモデルを構築する。

また、構築した流砂モデルをベースに平面二次元の河床変動解析モデルを構築し、急傾斜地で発生した斜面崩壊土砂が流動化し、土石流や泥流として下流に流下するとともに、地盤勾配の緩くなった領域で土砂が堆積するプロセスにおける流砂および河床変動の時空間的な変化を数値シミュレーションで再現し、複数の流砂形態が混在した場の河床変動特性を一流体モデルの視点で説明できるようにする。実河川としては、粒径の細かい火山灰地質で雨により泥流が発生しやすい伊豆大島の大金沢周辺と花崗岩地質で真砂土が生産されて土石流が発生しやすい広島市安佐南区を対象とした。

4. 研究成果

図1に示すように、河床近傍に層流域、その上に乱流域を有する二層流によるどせk

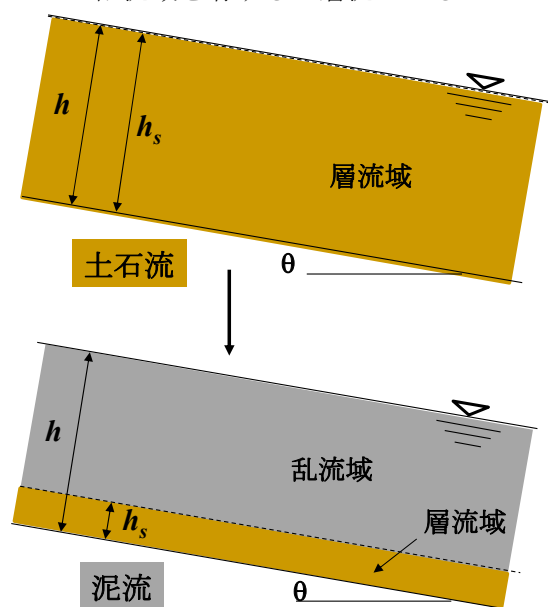
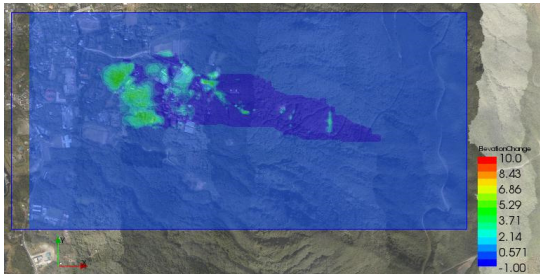
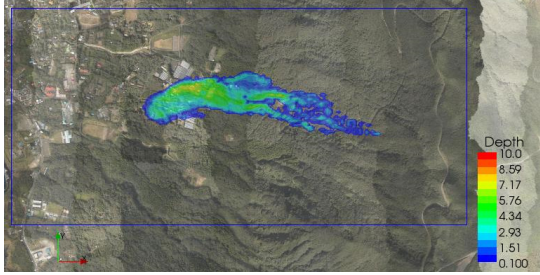


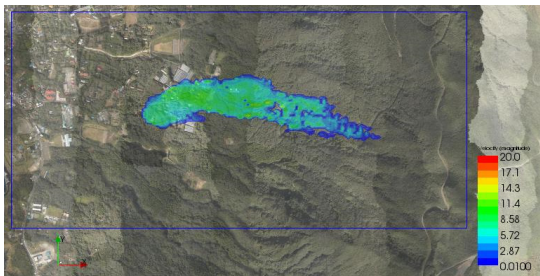
図1 土石流と泥流の流れの状態



(a) 180秒後の浸食・堆積厚の平面分布



(b) 80秒後の流動深の平面分布



(c) 80秒後の流速の平面分布

図2 伊豆大島で発生した土石流の数値シミュレーション

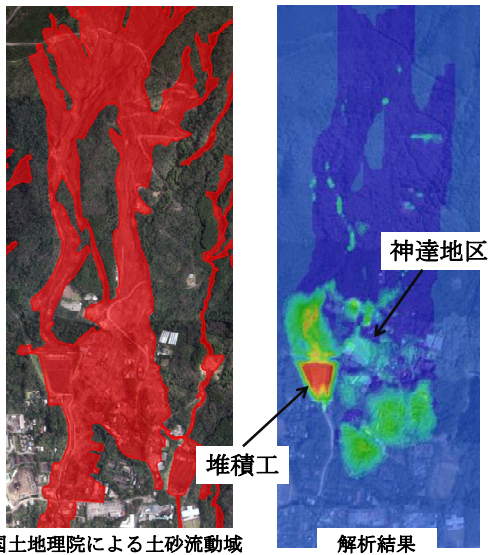


図3 国土地理院による土砂流動域の平面分布と解析結果の土砂浸食・堆積厚の平面分布の比較

移流・泥流（および掃流砂・浮遊砂）の流動形態を考え、泥流の抵抗則と泥流を伴う土石流（および浮遊砂を伴う掃流砂）の流動層厚の式を提案し、一般座標系による平面二次元の河床変動解析モデルに提案した式を導入した。さらに、図2に示すように、開発した

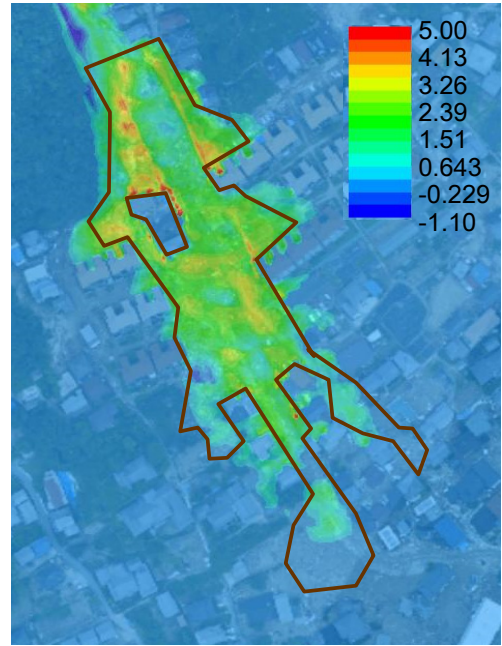
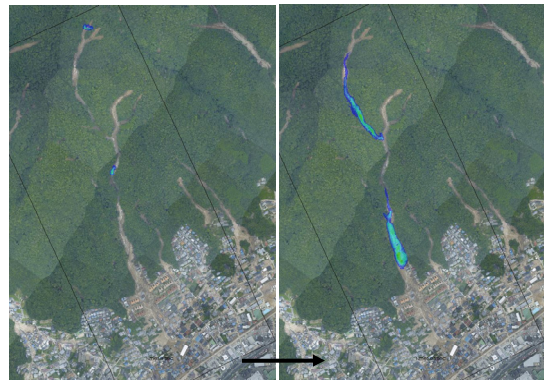
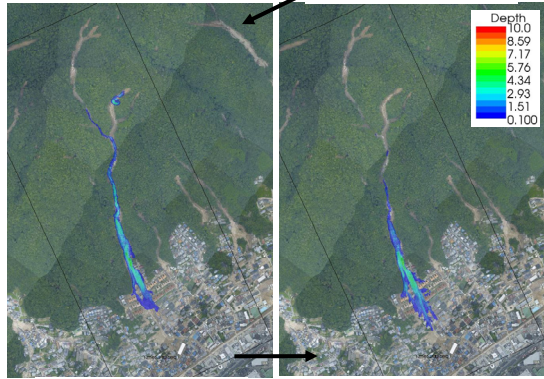


図4 数値解析による地盤の変化の平面分布（コンター）と現地での粒径の大きい岩石の平面分布（実線枠）



(a) 5秒後

(b) 43秒後



(c) 105秒後

(d) 200秒後

図5 広島市安佐南区八木三丁目で発生した土石流の数値シミュレーション

一般座標系による平面二次元の河床変動解析モデルを伊豆大島で発生した泥流現象の数値シミュレーションを行った。泥流の流動経路、浸食・堆積域の平面分布は、図3に示すように、泥流が堆積した直後の状態を良好に再現していると考えられた。

さらに、開発したモデルを一部改良し、広

島市安佐南区八木三丁目で発生した土石流の数値シミュレーションを実施した。図4に示すように、解析で得られた土石流の堆積域の平面分布は、土石流発生後に大粒径の砂礫が堆積している領域の平面分布とほぼ一致していることを確認できた。また、土石流発生時点では土石流全体が層流として流れているが、流下するにつれて、下流域では層流層厚が薄くなり、表層に乱流域が形成されていることも確認できた。つまり、土石流から泥流への遷移プロセスが再現されていることが確認できた。このような遷移により、土石流が下流域で比較的速くまで到達する現象を評価できた。さらに、斜面崩壊発生後に粗い土砂の間隙に存在する粒径の細かい土砂が流体のように振る舞うフェイズシフト現象を考慮したため、図5に示すように、土砂堆積域の平面分布の再現性が高まった。つまり、これまで現象の再現が非常に困難であった土砂と水の混合物の流動現象に対して、土石流から泥流（および掃流砂から浮遊砂）に及ぶ広い範囲の物理条件における現象を同一の支配方程式で表現可能となった。その結果、土石流現象、泥流現象、掃流砂現象、浮遊砂現象、土石流と泥流が共存している現象、掃流砂と浮遊砂が共存している現象、斜面勾配の変化による泥流から土石流への遷移現象を評価できるようになった。

#### 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5件)

Hiroshi Takebayashi Shinji Egashira and Masaharu Fujita, Numerical analysis of mud flow on volcanic island, Proceedings of 2014 International Debris-Flow Workshop, IDFW, Tainan, 10.2014

Shinji Egashira, Hiroshi Takebayashi, Masato Sekine and Nobutomo Osanai, Issues of sediment control structures and hazardous areas learnt from 2013 sediment induced disaster in Izu-Oshima, Proceedings of 2014 International Debris Flow Workshop, IDFW, Tainan, 10.2014.

Hiroshi Takebayashi, Masaharu Fujita, Tetsuro Kajihara, Propagation characteristics of surge produced by landslides, Proceedings of INTERPRAEVENT International Symposium 2014, INTERPRAEVENT, Nara, 11.2014.

竹林洋史・江頭進治・藤田正治, 2013年10月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析, 河川技術論文集, Vol.20, 土木学会, 東京, 6.2014.

Hiroshi Takebayashi, Nguyen Manh Minh Toan and Masaharu Fujita, Bed deformation characteristics at confluence of rivers which have different sediment

characteristics, Proceedings of The 5th International Conference on Water and Flood Management, IWFM, Dhaka, 3.2015.

[学会発表] (計3件)

Hiroshi Takebayashi, Basic equations of horizontal two dimensional debris flow analysis in general coordinate system, EGU General Assembly, EGU, Wien, 5.2014

竹林洋史・藤田正治・江頭進治, 2013年10月に伊豆大島で発生した泥流の流動特性, 平成26年度砂防学会研究発表会, 砂防学会, 新潟, 5.2014.

伊藤英恵・富田邦裕・井内拓馬・竹林洋史, 置土土砂の輸送特性に関する一考察, 平成26年度砂防学会研究発表会, 砂防学会, 新潟, 5.2014.

[図書] (計1件)

竹林洋史, 河川工学, コロナ社, 1.2013

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

竹林洋史 (TAKEBAYASHI, Hiroshi)

京都大学防災研究所・准教授

研究者番号: 70325249