

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16312

研究課題名(和文)土石流による氾濫・堆積被害が拡大する複合要因 材料・地形・構造物を対象として

研究課題名(英文) Study on debris flow influence area considering material, landform and structures in residential area

研究代表者

中谷 加奈 (Nakatani, Kana)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：80613801

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、土石流の被害拡大に対して構成材料や地形、人工構造物の影響を明らかにし、統合的な解析システムの提案を目的として調査、実験、解析により検討した。細粒土砂が多く含まれる土石流は、液相密度や代表粒径を適切に設定する手法を示した。橋への流木閉塞を検討し、閉塞頻度や統計的手法から閉塞の境界条件を導出した。不明瞭な谷地形や建物・道路・流路の影響を情報収集、実験、解析から検討した。地形や人工構造物の影響を考慮する解析には高解像度DEMが適することを確認した。提案システムをGISと連携し、各要因を表現する解析モデルや入出力設定UIを実装してモデル統合を行うことで、防災対策の検討に効果的なツールとした。

研究成果の概要(英文)：We focused on factors which may change debris flow influence area; composing material, landform data and artificial structures. We found that debris flow composing fine sediment behavior can be described setting larger fluid phase density and suitable diameter. We proposed method to estimate boundary of bridges blocking due to debris wood with experiment and statistical analysis. We considered effect of unclear valley landform, buildings, roads, channel from data reduction, experiments, and simulations. For considering landform and artificial structures effect in simulations, applying high resolution DEM was useful. We proposed simulation system from integrating and improving models to describe the previous factors influencing debris flow behavior. The system was related with GIS, and we also applied user interface to set suitable models and factors. We found that proposed system can express the realistic debris flow behavior and can be useful tool for disaster prevention.

研究分野：砂防学

キーワード：土石流 防災 シミュレーション 構成材料 地形 構造物

1. 研究開始当初の背景

近年、台風や局地的豪雨によって土石流が多発する。土石流災害の防止・軽減には砂防堰堤などで土砂移動を抑制するハード対策は有効な手段である一方、日本に十数万渓流存在する土石流危険渓流に全てに実施するのは時間・コストの面から現実的ではなく、ハザードマップによる宅地規制や避難などのソフト対策が重要となる。ソフト対策の計画には、事前に数値シミュレーションなどで予測を行うが、既存の解析モデルでは全ての現象を再現できないことが近年明らかとなった。これは土石流による被害拡大の要因が、土石流の規模だけでなく、構成材料や地形、家屋・道路・橋・流路などの構造物によって影響することが理由に挙げられる。

土石流挙動に関する既往検討は、多数実施されている。しかし、地形や構成材料は限られた領域を個別に対象としたものが多く、流木や細粒土砂の影響、構造物を考慮していない検討が殆どである。また、複数の要因を相互的に扱った解析に至っては、ほぼ実施されていない。土石流により氾濫・堆積の生じる影響範囲を正確に予測する手法の提案が、被害軽減のための防災対策を検討するために求められていた。

2. 研究の目的

本研究では、土石流被害の拡大要因や各要因の相互の影響までを明らかにするとともに、これらの要因を総合的に解析できるシステムの提案を目的とする。

土石流の被害が拡大する要因として構成材料・地形・構造物を対象として、その要因が氾濫・堆積被害の拡大に及ぼす影響を整理する。個別の要因だけでなく、流木の橋への閉塞など、被害拡大に繋がる相互要因の影響までを明らかにする。さらに、それらの要因を総合的に解析できるシステムの提案を目指した。

3. 研究の方法

近年、発生した土石流災害について、災害前後の航空写真や氾濫・堆積データを収集し、構成材料・地形・人工構造物についての情報と被害状況を整理した。個別の要因だけでなく、複数の要因による相互の影響までを解明して、既存のモデルで検討できる要因と新たに検証が必要な要因を分類した。

個々の要因について、既存モデルによる検討を災害事例について実施して比較検証を行い、入力条件やパラメータの調整で検討可能な場合は適切な設定方法を検討した。新たに検証が必要な要因は、水路実験や地形模型実験による検討から知見を得て、適切な解析方法の提案を行った。土石流の数値シミュレーションにおいて構成則や侵食・堆積速度式には高橋モデル(高橋・中川, 1991)を採用した。また、解析システムは代表者が開発した Hyper KANAKO システム(堀内ら, 2012)

を基に、新たな解析モデル部や入出力部、ユーザーインターフェース(UI)部の提案や改良・統合を実施した。

土石流の被害拡大に寄与する現象に着目して、その本質が表現されることを到達点として個々の要因や複合的な要因を解析できるようモデルの改良・提案・統合を実施した。例えば、流木は橋の閉塞の発生の有無にのみ着目して、閉塞メカニズムは考慮しなかった。複合的な検討が可能な解析システムを目指すため、影響する現象を全て物理現象として扱うと、モデルが複雑化して計算コスト増大や複数モデルの結合部の妥当性の精度等が懸念されるためである。

得られた知見を元に、要因を複合的に解析できる GIS と連携した汎用システムを提案して、既往モデルと新たに提案したシステムとの比較検証を行った。

4. 研究成果

(1) 要因の整理

近年の土石流発生事例について、災害前後の航空写真や氾濫・堆積データを収集して、構成材料・地形・人工構造物の情報と被害状況を整理した。主な対象は 2017 年九州北部豪雨、2016 年熊本地震、2014 年長野県南木曾、広島県広島市、2013 年伊豆大島、2012 年九州北部豪雨で発生した土石流としたが、他にも災害報告や既往検討から情報収集・データ整理を行った。

災害事例からは構成土砂(細粒土砂、巨礫、代表粒径)、流木、屈曲、合流、流路工、道路、建物、橋による閉塞が要因として挙げられた。流木と橋の閉塞、流路工と屈曲や合流は相互の影響が大きかった。また、地形要因には隣接する渓流からの連続的な土石流発生による影響も確認された。

(2) 構成材料(土砂)による影響の検討

構成材料の土砂について、火山地域で見られる細粒土砂を多く含む土石流は液相密度を上げると流動性が高くなり到達範囲が広がることが災害事例の検証や既往検討のレビュー、ならびに試行計算で示された。

2016 年熊本で発生した山王谷川の土石流は、細粒が多く含まれるだけでなく、数 m の巨礫や流木の下流域への移動、橋での閉塞も確認された。この土石流を対象に、数値シミュレーションを実施した。解析では細粒土砂の液相化に伴う液相密度 ρ_m (g/cm^3) の設定だけでなく、適切に代表粒径 d (m) を設定しないと、実災害で発生した橋の閉塞や流路からの緩やかな氾濫・堆積が表現されなかった。



図-1 山王谷川の被害状況と計算領域

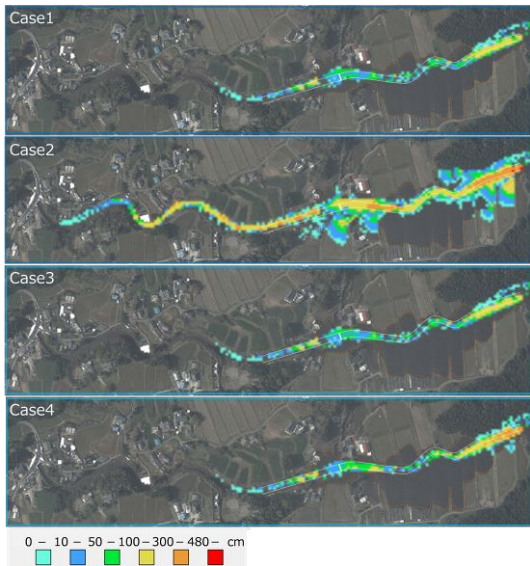


図-2 山王谷川のシミュレーション結果

計算は4ケース実施し、液相密度 ρ_m (g/cm^3)と代表粒径 d (m)は、Case1: $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 、 1.0m 、Case2: $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 、 0.3m 、Case3: $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、 1.0m 、Case4: $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、 0.3m とした。結果から $\rho=1.4\text{g}/\text{cm}^3$ が比較的良好に再現し、且つ巨礫や流木も多く含まれた影響を考慮して代表粒径を 0.3m としたCase2で、 1.0m を設定したケースや試行計算で 0.03m を設定したケースと比較して最もよく現象を再現した。

しかし、液相密度の設定方法は十分な知見が無かったため粒径の異なる二種類の土砂(細粒と粗粒)を用いて水理実験を行い土砂の液相化を検討した。水理条件や勾配、水・土砂の供給条件を変えて行った。

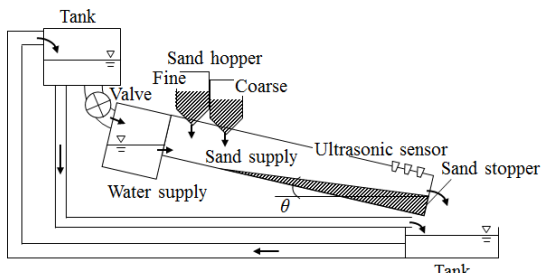


図-3 細粒土砂の液相化の実験概要

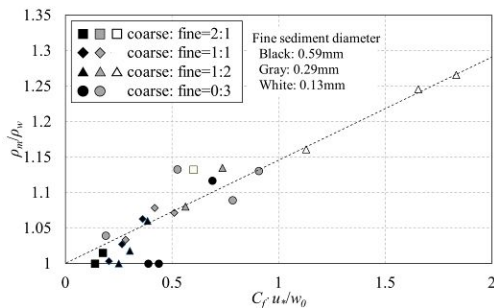


図-4 実験結果から推定した液相密度(摩擦速度/沈降速度と細粒土砂濃度)

土石流中の乱れによって、細粒土砂の一部が固相から液相に相変化すると想定して、既往の平衡濃度理論を基にして土砂濃度と勾配の関係から検討を進めた。実験から細粒土砂の粒径 d_f と細粒土砂濃度 C_f 、摩擦速度/沈降速度(u^*/w_0)から細粒土砂の液相化を考慮した液相密度(ρ_m/ρ_w)の推定式を示した。

$$\rho_m/\rho_w = 0.1453 C_f \cdot u^*/w_0 + 1$$

液相化する細粒土砂の粒径は引き続き検討が必要だが、液相化する粒径を境界として混合土砂を細粒土砂と粗粒土砂に分ければ細粒土砂の粒径 d_f が設定できる。解析対象となる場の u^*/w_0 は現地調査から求められる。細粒土砂の濃度は観測などによる情報収集が必要だが、平衡濃度式や現場の移動可能土砂量、流量を基に設定できれば、近似直線の関係から液相密度 ρ_m を求めることが出来る。

ただし、実際に液相密度の増加に寄与できる土砂量は物理的に上限があると考えられる。本研究からはその傾向までは明らかにされなかったが、ある程度増加すると傾きが小さく、頭打ちになることが予想され、上限値の検討は今後必要である。

(3) 流木による橋の閉塞の検討

水路実験を実施し、山間部の橋脚0本の形状ならびに橋脚2本の形状の橋について流木の閉塞を検討した。流木は枝葉や根の無い幹のみの形状として、長さを3種類変えて検討した。同じ実験では一つの長さの流木モデルを使用した。橋の余裕高や橋脚間距離を変えて、複数の水理条件で実験を行った。流木は流下中に拡散・集積が起るため、同じ条件で供給しても橋に到達する際の流木流量(cm^3/s)、流木濃度は異なる。そこで、橋上流に到達する流木について、流木流量を求め、水の流量と合わせて流木濃度を算出し、閉塞を検討する際の指標とした。実験結果から、橋の上流に到達する際の流木濃度と、橋脚0本では「流木長/余裕高」が、橋脚2本では「流木長/橋脚間距離」が、すなわち流木長と橋の形状に関する比が閉塞条件に影響することを確認した。実験結果を基に閉塞頻度や統計的手法により閉塞の境界条件を導出した。得られた橋の閉塞条件は、統合システムで橋の形状に応じて流木濃度と「流木長/(余裕高あるいは橋脚間距離)」を用いて閉塞の有無を判定する指標として利用した。

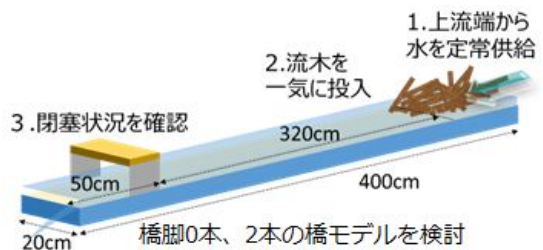


図-5 橋による流木閉塞の実験概要

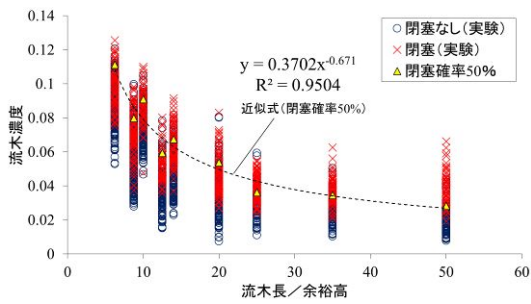


図-6 橋脚 0 本の流木実験の結果と閉塞境界の推定式

(4)隣接渓流から連続発生する土石流、渓流と道路の関係の検討

地形模型実験ならびに数値シミュレーションから、土石流が連続的に発生する場合の堆積による地形変化の影響、扇状地に存在する建物や道路幅、谷と道路の接続状況による影響を確認した。堆積による影響は、先に小規模な土石流が起こる方が、先に大規模な土石流が起こるよりも範囲や値に差が生じることを確認したが、全体的な氾濫・堆積範囲に大きな違いは確認されなかった。

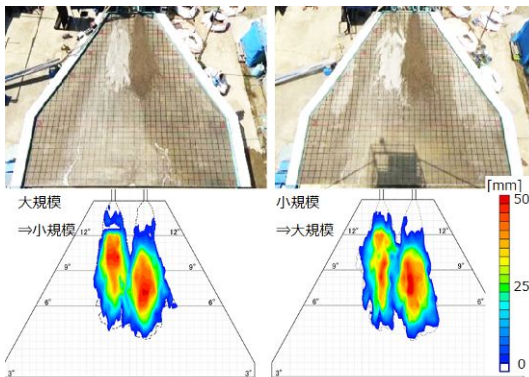


図-7 地形模型実験による隣接渓流から連続発生する土石流の影響

道路幅は小さい方が下流の堆積深が大きく、谷から真っ直ぐ道路が接続すると土石流は道路上を流れて下流へ流出する水・土砂が多くなることや、谷と道路軸がずれる場合には上流側での堆積が多くなり道路を伝った縦断方向への到達は少なくなることを確認した。

連続発生する土石流による地形変化は到達範囲に大きな差がないが、土石流渓流から延びる道路は、幅の違いや谷との接続状況で流下堆積過程が変化して到達範囲や危険箇所が変わることを示した。

(5)各要素を統合したシミュレーション手法の検討

災害事例や土石流危険渓流を対象に典型的な土石流シナリオを想定したシミュレ

ーションを実施して、土砂の構成材料、地形的要因、構造物を相互的に検討した。GIS と連携したシステムを採用して、地形データは国土地理院の公開する情報や DEM を用いた。

橋地点の計算点では、計算前に入力部ユーザーインターフェースから、流木濃度と流木長 / (余裕高あるいは橋脚間距離) を設定して閉塞の有無を判定し、橋地点の扱いを決定した。閉塞の場合は、橋地点の高さを両岸に合わせる手法で閉塞を表現した。閉塞の考慮により、橋地点での水位・河床上昇による氾濫・堆積が確認され、考慮しない場合に比べてより現実的な影響範囲や水位・堆積厚などの危険度分布の検討が可能になった。国内外の火山地域で多く見られる不明瞭な谷地形の土石流は、解析において地形の設定方法を変える、すなわち急勾配の土石流の発生・流動域から流動・横断方向の二方向を考慮する二次元計算を採用する必要があることを示した。

人工構造物を考慮し、且つそれらが表現される数 m の計算格子を採用すると、土石流が建物に阻害されて周囲を回り込む現象や、土石流規模に対して流路工が小さいと溢れる様子が確認された。流路は土石流規模や材料に影響を受けることや湾曲・縮小箇所から氾濫堆積が確認出来ることも示した。流路の段落ちによる水位・堆積厚や、流動中の最大水位(痕跡)の影響範囲や危険度分布が変わることも確認できた。道路の影響は、粗度係数の調整よりも、建物を地盤高で補正する手法を用いると相対的に低い道路が表現されて道路上を流下する現象が確認された。地形や人工構造物を考慮する解析には高解像度 DEM が適することを確認した。

提案システムを GIS と連携し、各要因が表現される解析モデルや入出力設定を改良した UI を実装してモデル統合を実施した。既往モデルとの比較検証を行い、提案システムでは各要因を表現する結果が得られ、防災対策を検討する効果的なツールになりうる。

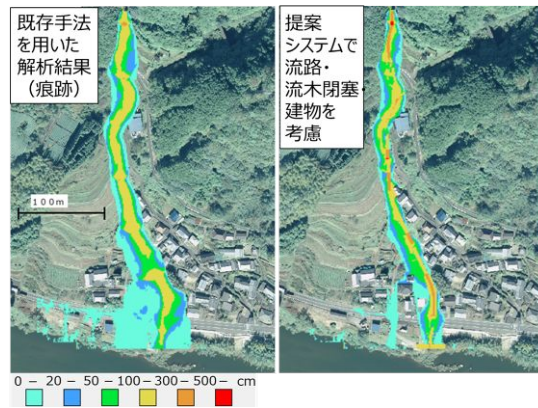


図-8 既存手法(左)と提案システム(右)による土石流シミュレーション結果

本研究から、土石流の氾濫・堆積被害の拡大に影響する要因について、これまで明らかでなかった要因の影響だけでなく、複合的な影響までを明らかとした。また、これらを複合的に検討できるシステムを提案することで、より実態に近い土石流の氾濫・堆積といった被害状況を予測することができ、避難などのソフト対策を検討する際の危険箇所の抽出に有益な情報になると考えられる。

一方、細粒土砂を含む土石流については、当初の想定とは異なり細粒土砂だけでなく粗粒土砂の一部も液相化すると考えられる結果が得られた。混合による乱れの影響などが要因と考えられるため、引き続き検討を進める。また、流木による橋の閉塞について、本検討では幹のみの一種類の流木で検討したが、実際に発生する土石流では根が付いた形状や異なる長さの流木が混在する事例も見られることから、検討を進めて、より実現象に近い閉塞境界を検証していく。

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6件)

中谷加奈, 古谷智彦, 長谷川祐治, 小杉賢一朗, 里深好文: 細粒土砂の液相化が土石流挙動に及ぼす影響とその要因に関する検討, 査読有, 砂防学会誌, Vol.70, No.6, pp.3-11, 2018

Nakatani, K., Hiura, M., Hasegawa, Y., Kosugi, K., Satofuka, Y.: Experimental study on bridges over mountainous streams with blocked piers due to debris wood, 査読有, 自然災害科学, Vol.36, 特別号, pp.15-24, 2017

中谷加奈, 小杉恵, 里深好文, 水山高久: 家屋や道路が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響-2014年8月に発生した広島土砂災害を対象として-, 査読有, 砂防学会誌, Vol.69, No.5, pp.3-10, 2017

中谷加奈, 天羽勝巳, 藤本祥之, 里深好文, 藤田正治: 京都府亀岡市千歳町を対象とした土石流による影響範囲とソフト対策の検討, 査読有, 自然災害科学, Vol.35, 特別号, pp.67-79, 2016

中谷加奈, 柳崎剛, 長井斎, 里深好文, 藤田正治, 水山高久: 隣接溪流から連続して発生する土石流の影響範囲, 査読有, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.205-210, 2016

[学会発表](計10件)

麻野佑介, 中谷加奈, 長谷川祐治, 小杉賢一朗, 里深好文: 細粒土砂を含む土石流の相変化が流動・堆積に及ぼす影響, 平成30年度(公社)砂防学会研究発表会, 2018

日浦幹, 中谷加奈, 小杉賢一朗, 長谷川

祐治, 里深好文: 土石流溪流において流木の流下が構造物への閉塞に及ぼす影響, 平成29年度(公社)砂防学会研究発表会, 2017

Nakatani, K., Hiura, M., Hasegawa, Y., Satofuka, Y., Mizuyama, T.: Experimental study on bridges blocked with debris wood in mountainous streams, Joint Workshop of 2016 International Debris-Flow Workshop and 6th International Workshop of Multimodal Sediment Disasters, 2016

Nakatani, K., Arakawa, S., Satofuka, Y., Fujita, M.: Study on debris flow influence area considering material and structures in residential area, Joint Workshop of 2016 International Debris-Flow Workshop and 6th International Workshop of Multimodal Sediment Disasters, 2016

[その他]

京都大学アカデミックデイ 2017「土石流が発生した時に危険な場所は？」

http://research.kyoto-u.ac.jp/academic-day/2017/kana_nakatani/

6. 研究組織

(1)研究代表者

中谷加奈 (NAKATANI, Kana)

京都大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号: 80613801