

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 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：24710206

研究課題名(和文)扇状地の構造物が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響 - 効果的な整備による防災対策検討 -

研究課題名(英文) Study on debris flow behavior in alluvial fan area considering influence of structures: disaster prevention measures with effective maintenance

研究代表者

中谷 加奈 (Nakatani, Kana)

京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教

研究者番号：80613801

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)：扇状地に存在する家屋・堀・道路などの構造物が、土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響を災害事例・実験・数値シミュレーションで検討した。家屋が存在すると家屋の直上で顕著な堆積が生じることや、家屋の周りや道路沿いに流れて到達範囲が変わること、土石流発生渓流と扇状地の家屋や道路の配置で影響範囲が変わることが示された。個々の家屋だけでなく扇状地の集落全体の防災対策を検討できるシステムを提案して、構造物を考慮する手法は従来の考慮しない手法と比較して、合理的な被害状況の推定や現実的な避難の検討(垂直避難や近隣での安全な家屋への一時避難)に有効であることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted disaster verification, model experiments, and numerical simulation to determine the influence of structures on alluvial fan area; such as houses, fences, and roads. From this study, we found that when houses exist, remarkable deposition occurred in upstream of the houses, and the flow direction changed around houses and along roads. Furthermore, we found that the arrangement of the debris flow torrent and structures on alluvial fan affect the influence area. We proposed a system that can examine the disaster prevention measures of the entire village in alluvial fan, and showed that method considering the structures is effective to examine the damage area and evacuation on debris flow hazards.

研究分野：砂防学

キーワード：土石流 扇状地 構造物 影響範囲 防災

### 1. 研究開始当初の背景

土石流は谷出口から扇状地まで到達すると勾配が緩くなり、流下範囲が横断方向にも広がることで停止・堆積する。扇状地には家屋などの構造物が多く存在し、土石流の氾濫・堆積に影響すると考えられるが、既往の土石流研究では水理実験や数値シミュレーションに構造物の影響を取り入れたものは殆ど無い。一方で、実際の土石流の氾濫・流動・堆積過程では構造物の存在が影響することは、災害後の現地調査などから明らかになっている。

構造物が存在することで、構造物が存在しなかった場合には被害が小さかった領域で、被害が大きくなる場合がある。逆に、構造物が存在することで、存在しなかった場合よりも被害が小さくなる可能性もある。一つの家屋だけについて、安全・危険を判定するのではなく、扇状地における集落全体についての安全性を高める、被害を小さくするための議論が必要になる。

従来、山地溪流を対象とする砂防分野では、構造物を考慮するために必要となる高精度な地形データが整備されていなかった。数十メッシュ等の粗い平均的な地形データを元に、大まかな危険エリアの抽出を行うには、構造物の影響は検討する必要もなく、検討するための材料も揃わなかった。一方で、技術発展により Digital Elevation Model (DEM) や LP データ (Laser Profiler) の整備・活用が広まり詳細な高精度の地形データが当該分野の急勾配における山地溪流や扇状地でも取得されるようになった。数mメッシュの詳細な地形データを反映させるには、構造物の影響を無視したままでは折角得られたデータを十分に活用できない。精度の高い予測を実施して、災害の防止・軽減に繋げるには構造物の影響を把握することが重要である。

### 2. 研究の目的

土石流災害の被害を防止・軽減するにあたって、ソフト対策として危険区域の住民避難が挙げられる。一方、避難勧告や避難指示は、集落の広範囲に出されるためにより危険度の高いターゲットが判別しにくいことや、正常化の偏見が働くことから、住民は積極的な避難行動を取らないことが多い。また、構造物が存在することで、氾濫・堆積過程や被害状況が変わることも考えられ、従来の構造物を考慮しない状態で検討されたハザードマップやソフト対策の検討とは異なる現象が発生する可能性も否定できない。一方で、限られた予算の中で全ての土石流危険溪流を砂防構造物の設置等のハード対策でカバーすることは無理である。現実的なソフト対策として、住民避難を進めていく際、谷出口に当たる扇状地で、具体的により危険な領域を知って、その情報を活用することが有効であると考えられる。

例えば、土石流が発生した場合に扇状地の

出口から上流側の一列目・二列目に位置する家屋は、水・土砂に浸かる、破壊される等の被害を受ける可能性が大きく、三列目より下流側に位置する家屋は被害を受ける可能性が著しく下がって安全である場合には、そのような情報を提供することで、住民にも行政側も具体的な危険個所を知ることが出来て、現実的な避難行動を行うことが可能になると考えられる。前述の例であれば、大雨で土石流が発生する可能性がある場合には、距離のある避難指定地まで避難するのではなく、近隣の三列目より下流側の建物に、事前に移動しておく、といった行動をとれるようになる。

集落における各エリアの危険度を具体的に予測して、より現実的な対応を検討するには、扇状地における構造物の影響を把握して、効果的に考慮したシステムで検討することが必要である。

### 3. 研究の方法

#### (1) 土石流事例における被害状況の整理

平成 24 年に発生した九州北部豪雨での熊本県阿蘇市土井川、平成 25 年に発生した伊豆大島、平成 26 年に発生した広島県の土砂災害について家屋などの被害状況を整理した。

#### (2) 扇状地での家屋・道路配置の整理

土石流危険溪流の下流に位置する扇状地での家屋や道路の配置を整理した。

#### (3) 地形模型実験

地形模型実験により土石流の氾濫・堆積に家屋や塀の存在及び家屋破壊が及ぼす影響を検討した。扇状地模型の概要を図 1 に示す。扇状地と水路の河床には粒径 1.4 mm の砂を張り付けた。家屋が存在しないケース、家屋が存在するケース、家屋の周りに塀が存在するケース、破壊される家屋が存在するケースを検討した。図 2 に地形模型の概要や破壊される家屋模型を示す。

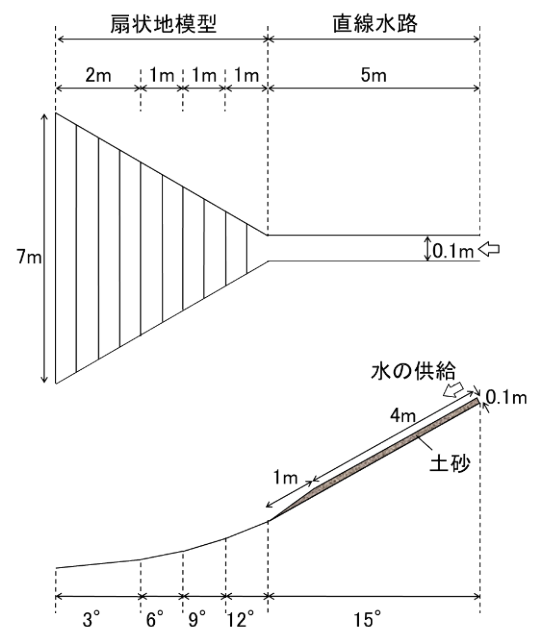


図-1 地形模型の横断面図(上)及び縦断面図(下)



図-2 模型概要（左上）破壊される家屋（右上）及び構造物を配置した扇状地模型（下）

家屋模型の高さは20cm（想定縮尺1/50で現地換算6m）で、一般的な二階建てに相当する。塀の高さは4cm（現地換算2m）で、家屋の周りに塀や生け垣が設置されることを想定した。破壊される家屋は、壁部分がモルタルで接着した木の丸棒で構成されたものである。敷き詰めた土砂量は約45L（空隙込）である。実験に使用した土砂は、粒径約3mmの一樣砂、ならびに礫（粒径約20mm）を含むケースも実施した。礫の量は体積比で全体の5%とした。上流から定常給水で土石流を発生させ、流量は2L/s及び6L/sで、通水時間はそれぞれ30秒及び20秒とした。破壊される家屋は、2L/sでは破壊が起こらず、6L/sでは破壊が発生した。通水中にビデオカメラで流況の変化を、超音波変位センサ（OMRON E4PA-LS50-M1-N）で水位変化の時系列（50Hz）を記録した。通水後には堆積厚を計測し、礫を含むケースでは礫分布についても計測した。

#### (4) 数値シミュレーションによる検討

GISと連携してLPデータを活用した土石流数値シミュレーションシステムHyper KANAKO（堀内ら、2012）を改良して家屋の地盤高を補正する手法で、災害事例や実験の検証や、家屋や道路の配置・高さ等を変えたシナリオでの検討を実施した。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）を採用している。災害事例については、災害前に取得されたLPデータを地形条件として設定し、土石流ハイドログラフや供給土砂量、粒径などのパラメータは災害後の調査・検討を元に設定した。

## 4. 研究成果

### (1) 土石流事例における被害状況の整理

いずれの事例でも家屋の直上流で顕著な堆積が見られた。熊本県阿蘇市土井川の事例

では、谷出口に近い家屋は土石流の直撃で被害が大きく、下流で被害が大きいのは地盤高が低く土石流の主流路の近くに位置する家屋であった。伊豆大島土砂災害では、上流に位置する神達地区では直撃による全壊・流出した家屋が多く見られ、下流の元町地区では流木によって閉塞した橋脚付近で大きな痕跡や顕著な被害が見られた。また、元町では閉塞した橋脚から道路沿いに水・土砂が流動したことが確認され、横断方向にも氾濫・堆積範囲が拡大した。平成26年の広島県の土砂災害では、谷出口付近や道路沿いの家屋で顕著な被害が確認され、道路沿いに水・土砂が流動したことも確認された。一方で、家屋・道路の配置によって、扇状地における氾濫・堆積範囲の広がり方には差が見られた。比較的整列して家屋や道路が存在する阿武里団地では横断方向への広がりが確認されたが（図3）扇状地に家屋が点在する緑井8丁目ではあまり広がらなかった。

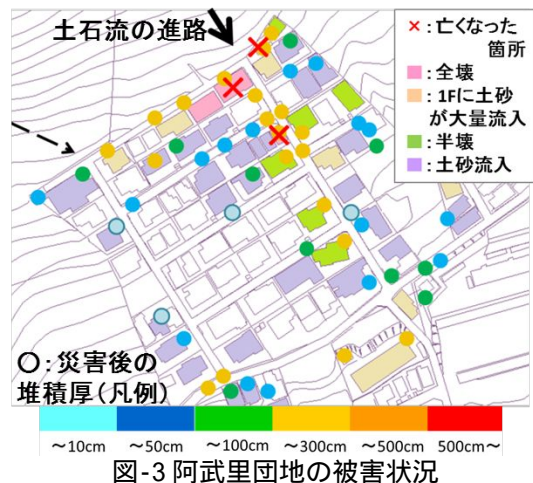


図-3 阿武里団地の被害状況

### (2) 扇状地での家屋・道路配置の整理

土石流災害警戒区域の中から古くから集落が存在したと考えられる地区と、近年開発された地区を比較検討した。古くから集落の存在した地区では、山間地区の扇状地で農業が営まれ、家屋は田畑の間に点在して道路は扇状地の裾野沿いや家屋間を繋ぐ様に曲線的に存在するケースが多く見られた。一方、近年開発された地区では、谷出口に対して延伸するものや直交するような直線的な道路が存在して、その道路沿いに住宅が密集して整列するケースが多く確認された。平成26年8月に広島県で発生した土砂災害では、安佐南区の県営緑ヶ丘住宅や阿武里団地では比較的整列して、緑井8丁目では点在するように集落の家屋・道路配置が見られた。

### (3) 地形模型実験

実験から、家屋が存在することで氾濫・堆積範囲が変わること、家屋の上流で堆積が著しいことが示された。家屋の周りに塀が存在すると、堆積はさらに顕著に見られる。家屋や塀が存在すると流れが横断方向に広がり、上流側で堆積しやすくなる。塀が存在する場合は、塀と塀の間の領域を通して水・土砂が

移動するため、流れが阻害され下流側に土砂が流下し難い。家屋が破壊されるケースは、破壊された家屋の中を通過して水・土砂が移動するために、破壊されない家屋のケースと比較すると土砂が下流に流下し堆積する。礫を含む場合は、上流で家屋が破壊されると破壊家屋の上流や家屋内に多く礫が堆積する。

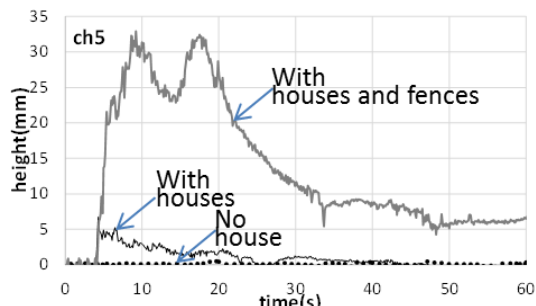


図-4 流量 6L/s 一様砂でのセンサ ch5 の結果

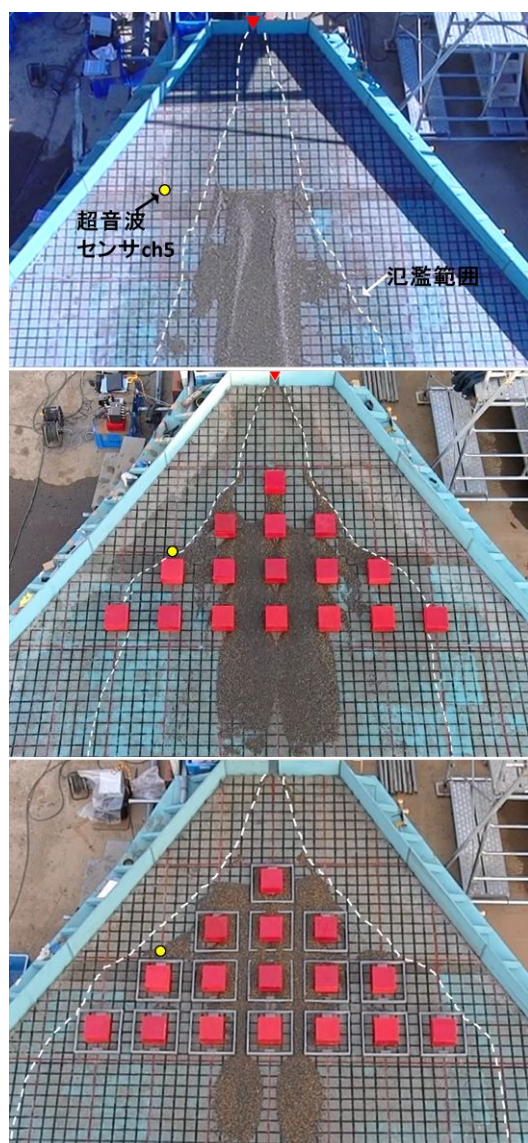


図-5 流量 6L/s 一様砂の氾濫・堆積範囲と ch5 の位置(上段: 構造物無し、中段: 家屋あり、下段: 家屋と塀あり)

時系列的な変化からは、塀が存在する場合に、流れ方向が一方向ではなく、塀と塀の間

を通ってくるような流れによって、扇状地の外側に位置する場所に二回ピークをもたらす場合があることが示された。家屋破壊がある場合に、家屋破壊の生じるタイミングによって、流下方向や横断方向への流れの移動やピークのタイミング等が、破壊されない家屋の場合と異なることが示された。

(4) 数値シミュレーションによる検討

災害事例や実験の検証を、家屋の地盤高を補正する手法で実施し、家屋考慮の有無について比較検討した。結果から、家屋を考慮する手法の方が被害状況や実験結果とよく対応して、家屋上流での顕著な堆積や水位上昇や、家屋・塀を考慮することで相対的に低い道路が表現されて道路上を水・土砂が移動する現象が確認された。高橋ら(1985)の既往検討を元に、一定の流体力(水深と流速の積)を越えた際に家屋破壊を考慮した計算結果からは、壊れない家屋の場合と比較して、水・土砂が破壊された家屋の中を通過して移動するために水・土砂が下流に流下し堆積する現象が確認されて、これは実験結果と同様であった。

平成 26 年広島土砂災害について家屋の有無を考慮した検討を実施した。家屋や道路を考慮できるよう二次元領域(住宅地である扇状地のエリア)の計算メッシュは 2m×2m とした。計算結果から、扇状地での家屋や道路の配置によって水・土砂の氾濫・堆積範囲が変わることが確認された。

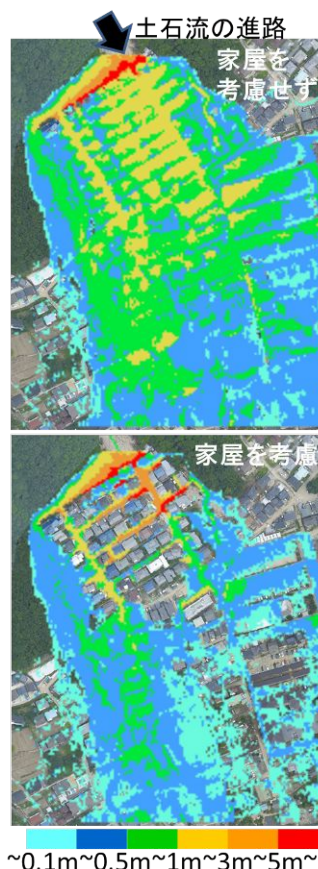


図-6 阿武里団地の計算結果、痕跡(上段: 家屋を考慮せず、下段: 家屋考慮)

特に、道路が谷出口に延伸・直交して、道路沿いに家屋が整列した阿武里団地では、延伸する道路沿いで顕著な痕跡が確認され、直交する道路沿いに横断方向へ広がる現象も確認された(図6)。

阿武里団地については、家屋高さや延伸する道路幅を拡大・縮小したシナリオについても数値計算で検討した。谷出口に高い集合住宅が存在して破壊が起きないと仮定したシナリオでは、谷出口の上流側で顕著に堆積して集落の下流側での氾濫・堆積範囲やその値が小さくなった。谷出口から延伸する道路幅を拡大するシナリオでは、氾濫・堆積が生じる範囲は拡大するが、顕著な値を示すエリアは減少して、一様に小さな値を示すエリアが広がった。谷出口から延伸する道路幅を縮小したシナリオでは、氾濫・堆積が生じる範囲は縮小するが顕著な値を示すエリアが拡大して、土石流の主流路となる道路途中での堆積によって流れ方向への流動が阻害されることで、横断方向への氾濫・堆積が一部で広がった。

本研究から、土石流時に危険となる道路や、被害が大きくなる可能性の高い家屋を提案したシステムから検討することが可能となった。今後、集落全体の防災対策を検討する際に、集落内で具体的に安全・危険なエリアを把握して、避難経路の選定や近隣での安全な住宅への一時避難などを検討する際に、有効な指標となりうる。

#### 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 7 件)

中谷加奈, 小杉恵, 長谷川祐治, 里深好文, 水山高久: 家屋が存在する扇状地における土石流の挙動に関する実験的検討, 査読有, 砂防学会誌, Vol.67, No.6, pp.22-32, 2015

中谷加奈, 小杉恵, 内田太郎, 里深好文, 水山高久: 土石流の氾濫・堆積に及ぼす家屋の影響 - 平成 24 年 7 月熊本県阿蘇市 査読有, 土井川で発生した土石流を対象として -, 第 7 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.85-90, 2014

中谷加奈, 美土路哲也, 堀内成郎, 里深好文, 水山高久: 土石流数値シミュレーションの一次元計算領域と二次元計算領域の設定方法の検討 - GIS と連携した Hyper KANAKO システムを活用して -, 査読有, 自然災害科学, Vol.33, 特別号, pp.13-26, 2014

中谷加奈, 里深好文, 藤田正治, 水山高久: 平成 24 年 7 月に京都府亀岡市南条で発生した土石流の検討—構造物の影響を考慮して—, 査読有, 自然災害科学, Vol.33, No.1, pp.17-27, 2014

Nakatani, K., Okuyama, Y., Hasegawa, Y.,

Satofuka, Y., Mizuyama, T.: Influence of housing and urban development on debris flow flooding and deposition, 査読有, Journal of Mountain Science, Volume 10, Issue 2, pp. 273-280, 2013

DOI:10.1007/s11629-013-2507-x

##### [学会発表](計 10 件)

小杉恵, 中谷加奈, 水山高久, 長谷川祐治, 里深好文: 家屋の存在が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響 2014 年 8 月広島土砂災害を対象として, 平成 27 年度(公社)砂防学会研究発表会, 栃木県総合文化センター(栃木県宇都宮市), 2015.5.21  
Nakatani, K., Hayami, S., Satofuka, Y., Mizuyama, T.: Case study of debris flow disaster scenario caused by torrential rain on Kiyomizu-dera, Kyoto, Japan; applying Hyper KANAKO system, 2014 International Debris Flow Workshop, Tainan, Taiwan, 2014.10.3

Nakatani, K., Imaizumi, F., Satofuka, Y., Mizuyama, T.: Characteristics of debris flows on volcanic island Izu Oshima, Tokyo, Japan, caused by Typhoon No. 26 in October 2013, Cities on Volcanoes 8, Yogyakarta, Indonesia, 2014.9.10

##### [その他]

##### 報道関連情報

NHK 総合「おはよう日本」, 土石流 住宅にぶつかり範囲拡大か, (広島土砂災害において土石流が家屋によって流動方向が変わった可能性を, シミュレーション結果を用いて中谷加奈が解説) 2014 年 9 月 18 日

NHK 総合テレビ「おはよう日本」, 伊豆大島 道路が土石流の通り道になり被害拡大か, (伊豆大島土砂災害で被害範囲が住宅地の橋・水路・道路によって変わった可能性を中谷加奈が解説) 2014 年 10 月 16 日

#### 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