

扇状地における家屋の存在が土石流 の氾濫・堆積に及ぼす影響 —2013年10月伊豆大島土砂災害を 対象として—

中谷 加奈*・小杉 恵**・里深 好文***・水山 高久****

Influence of houses constructed in alluvial fan on debris flow
flooding and deposition: debris flows occurred in Izu Oshima,
Tokyo, Japan in October 2013

Kana NAKATANI*, Megumi KOSUGI**,
Yoshifumi SATOFUKA*** and Takahisa MIZUYAMA****

Abstract

In Japan, urban development has led to houses commonly being built in alluvial fan areas, and in the event of a debris flow, the presence of houses seems to affect flooding and deposition. In this study, we first conducted disaster verification on recent debris flow disasters that occurred in Izu Oshima in October 2013. Houses located upstream, in lower areas, and those facing small bridges and crossroads suffered greater damage than those located in other areas. Secondly, we performed debris flow numerical simulations using Hyper KANAKO system to determine the influence of the houses. The results considering houses explained the disaster well. When considering houses, the flooding and deposition area changed from cases without houses in both large and small scale debris flow scenarios.

キーワード：土石流，家屋の影響，伊豆大島，数値シミュレーション，Hyper KANAKO

Key words：debris flow, houses influence, Izu Oshima, simulation, Hyper KANAKO

* 京都大学大学院農学研究科

Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** 国土交通省中部地方整備局天竜川上流河川事務所

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Chubu
Regional Bureau, Tenryugawa Upstream River Office

*** 立命館大学理工学部

Department of Civil Engineering, Ritsumeikan
University

**** 政策研究大学院大学

National Graduate Institute for Policy Studies

1. はじめに

土石流による災害の防止・軽減には、砂防堰堤など構造物を用いて土砂移動を抑制するハード対策と、ハザードマップに基づき警戒・避難や宅地規制などを行うソフト対策が挙げられる。全国に十数万存在する土石流危険渓流の全てにハード対策を施すことは難しく、土石流の氾濫・堆積範囲を予測して危険箇所を把握するソフト対策が重要となる。

扇状地は土石流が発生・流下した際にその氾濫・堆積が発生しやすい領域である。土石流は谷出口から扇状地まで到達すると、勾配が緩く谷地形による拘束を受けなくなることから流下範囲が横断方向に広がり停止・堆積することが知られている。日本では、扇状地に住宅地が造られている場所が多く、下流にまで流下した土石流の氾濫・堆積には家屋が影響すると考えられる^{1),2)}。例えば、2012年に発生した京都府亀岡市の土石流では、土石流による家屋被害（半壊1軒、一部損壊2軒）が発生し、下流への土石流の流動や家屋が存在したことで氾濫・堆積範囲が広がったことが確認されている³⁾。2012年の九州北部豪雨による熊本県阿蘇市の土石流では、下流に位置した家屋により堆積範囲が狭まったことが確認されて^{4),5)}おり、家屋の存在によって土石流の氾濫・堆積範囲が変わることが示されている。

ハザードマップを検討するには土石流数値シミュレーションが有効なツールになると考えられ、最近では家屋等の土石流の挙動への影響を検討した既往研究^{例えば6)~8)}が報告されている。一方で、計算の妥当性を示す情報は、災害事例から得られたデータは少なく、存在する一部のデータも災害後の水深・堆積などの痕跡や家屋の被災状況等に留まり^{例えば4),9)}、家屋に着目した知見や考察は十分でない。その反面、実災害事例では家屋の有無について両者の情報を得ることはできない。入手できるのは、災害時に存在した家屋や土石流規模等の他の条件が合わさった結果としての被害状況や痕跡等の情報に限られる。家屋の有無について両者を比較検討するには、数値シミュレーションや水理実験等のツールが必要となる。

本検討では、扇状地における家屋の存在が土石流災害に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、2013年10月に伊豆大島で発生した土石流災害⁹⁾⁻¹¹⁾について家屋の存在に着目して被害状況を検証した。次に、伊豆大島で発生した土石流について、GISと連携したHyper KANAKOシステム¹²⁾を適用して、家屋の有無を考慮した土石流数値シミュレーションを実施して災害状況との検証を実施した。また、実際に発生した大規模な土石流だけでなく、比較的発生しやすい規模の小さな土石流の場合についても検討した。なお、家屋の被害状況への影響は、家屋の構造、流れに対しての向き、破壊された家屋の流出等による影響も挙げられるが、本検討では家屋の存在が及ぼす影響に着目した。

2. 伊豆大島土砂災害の被害状況の検証

2.1 災害の概要

2013年10月に台風26号によって伊豆大島では24時間雨量が800mmを越える豪雨が記録され、16日未明に大金沢で大規模な土石流が発生し、死者・行方不明者39名、全壊家屋73戸等の甚大な被害をもたらした⁹⁾。

土石流は、崩壊土砂が多量の水を含んで流動化して発生し、規模も極めて大きく、崩壊地以外の支溪からも多量の水が流下して本川の土石流に合わさったため下流の被害が拡大した。火山地域特有の緩い尾根や起伏の小さな地形条件や、細粒分を多く含む高い流動性から、流れが複数の方向に流下し、低い尾根を乗り越え、渓流からオーバーフローし、分流・合流を繰り返した。崩壊に伴い流木化した立木とともに、土石流の流下で巻き込まれた立木も流木となって多量に流下して、家屋等への被害が甚大となるとともに、流木が暗渠や橋を閉塞して、流下方向を変えて氾濫範囲を拡大させ被害を大きくした。

現地調査や検討⁹⁾から、大金沢本川における流動深は上流の標高200mの区間で約4~7m、大金沢堆積工付近で5m程度で、標高100~130mより上流では侵食が卓越し、それより下流では流下・堆積区間であった。また、石川らは⁹⁾土石流主流

部の本川や左支川の流下断面積と流速からピーク流量を試算しており、マンニングの流速公式（粗度係数は自然河道での土石流フロントを想定して0.1を設定）から流速が7.9～11.1m/s、ピーク流量は800～1200m³/s程度が算出され、土石流の規模が極めて大きかったことが示されている。

2.2 下流での被害状況

大金沢本川下流の神達・元町地区について、全壊（及び流出）家屋と半壊（及び一部損壊）家屋の分布、(公社)砂防学会災害報告による土砂流出範囲、秋山ら¹¹⁾が災害後に調査範囲を徒歩で移動して記録した流下痕跡、流木による橋の閉塞箇所、流木の停止位置をFig.1上段に整理した。流下痕跡は災害発生前の河床や道路からの高さで、(流動深+堆積厚)の最大値となる。家屋位置はゼンリ

ン住宅地図を元に作成し、コンターは災害前の地形で2m間隔の等高線である。Fig.1下段には災害直後の10月16日に撮影された大金沢堆積工下流の斜め写真から作成した3Dビューア画像（提供：株式会社パスコ）を示す。また、10月16日に撮影された神達地区をPhoto1に、元町地区で流木により橋が閉塞した箇所をPhoto2に示す。以下、被害状況を考察する。

多量の流木が土石に合わさったことで被害が甚大となるとともに、流木が暗渠や橋を閉塞して、流下方向を変えて氾濫範囲を拡大させた。神達は、本川を直進してオーバーフローした土石流と、左支川を流下した土石流とが合流したエリアだったことも被害拡大の一因である。

家屋被害状況を見ると、上流の神達では流出した家屋が多いが、下流の元町では一階は被害を受

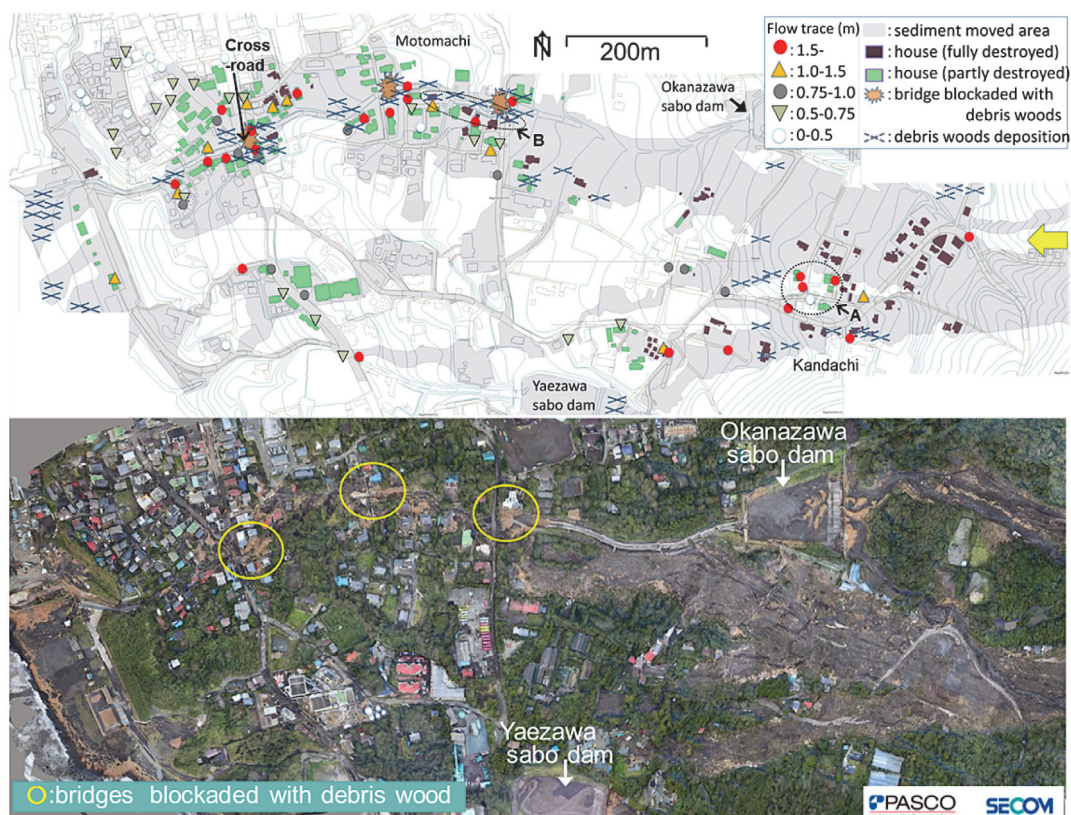


Fig.1 Downstream area of Okanazawa, Izu Oshima (upper: maximum flow trace and sediment movement area, damage to houses, blocked bridges and debris wood deposition, lower: photo taken on Oct 16, 2013 by PASCO CO. & SECOM CO. LTD)



Photo1 Kandachi area after disaster (photo taken on Oct 16, 2013 by PASCO CO. & SECOM CO. LTD)



Photo2 Motomachi area after disaster (photo taken on Oct 16, 2013 by PASCO CO. & SECOM CO. LTD)

けても二階は被害が殆ど見受けられない家が多く見られる等、家屋の被害状況が地区によって異なる。また、神達では全壊・流出した家が多かったが、被害の小さい家屋 (Fig.1 上段中の A) も存在した。被害が小さい家は、周囲と比較して地盤が高かったことや、周辺に樹林帯が存在したことで流れの直撃を受けず被害が小さかったと推測される。元町で被害が大きかったのは、流路沿いで閉塞した橋付近に位置する家屋 (Fig.1 上段中の B) であった。流路沿いは周囲と比較して地盤高が低かった。閉塞した橋から溢れた水・土砂は、特に元町の下流では流路の横断方向に道路に沿って移動した。流木は横断方向には移動せず、流路沿いで停止していることが確認された。

全壊・流出した家屋は、流下痕跡 1.0m 以上、神達では 1.5m 以上の場所であった。神達では被害の多かった上流で痕跡はほとんど 1.5m 以上であ

り、周辺で大きな違いは見られなかったが、下流の元町では狭い範囲で流下痕跡が大きく変化した。Fig.1 に示す最下流の流木により閉塞した橋の付近では、1.5m 以上の痕跡が周囲で見られる一方で、1.0-1.5m の地点や、0.75-1.0m の痕跡も見られ、隣接する家屋でもわずかな場所の違いで被害状況が異なる。橋が流木によって閉塞した地点の周囲では流木堆積も多く、周辺に被害にあった家屋が多くみられる。特に、橋に隣接する家はかなり下流に位置するのにも関わらず、全壊・流出した家屋が数軒確認される。元町地区の下流の被害状況から、上流の家屋や道路の存在により流れが変化して、被害が拡大・抑制されたと推測される箇所が確認された。

大金沢本川について、元町では土砂流出範囲の外縁にまで半壊や一部損壊等の被害家屋が分布した。神達の下流から右岸側の大金沢本川堆積工の方向と、左岸側の方向に流れは分かれた。左岸側の下流では道路沿いに被害にあった家屋は存在するが、全壊・流出した家屋は見られない。これは、流れの本体は本川沿いに向かったためと考えられる。

3. 家屋の影響を考慮した伊豆大島災害を対象とした土石流数値シミュレーション

本章では、家屋の影響を考慮して伊豆大島災害を対象とした土石流数値シミュレーションを Hyper KANAKO で実施した。Hyper KANAKO は GIS と連携したシステムで、Digital Elevation Model (DEM) や国土地理院の数値標高データから詳細な地形データを入力条件として、土石流の発生から流動 (一次元領域)、氾濫・堆積まで (二次元領域) を一つのシステム上で解析できる。一方、対象とする溪流は一溪流であることや、代表粒径を採用するなどの制約もある。神達に甚大な被害を与えた左支川の土石流では、多くの家屋が流出したことから家屋の存在 (高さ) がどれほど影響したかが不明である。大金沢本川から流出した土石流による被害を受けた元町では、被災家屋の多くが残存したことから、本検討では家屋の存在による影響を検討するために、大金沢本川のみ

を計算対象とした。

3.1 計算方法 (領域の設定, 家屋の考慮)

一般的な土石流計算では, 土石流の発生・流動領域である急勾配領域を一次元計算で, 谷出口や氾濫開始点を境界として, 氾濫・堆積の起こる扇状地などの緩勾配領域を二次元計算で検討する手法が採用される (例えば 3), 5), 13) - 16)。しかし, 伊豆大島災害では上流の急勾配領域から流れが横断方向に広がることから, 境界の設定方法を変えて上流から二次元領域を設定すると現象をよく説明できることを, 中谷ら¹⁰⁾は報告している。本検討では二次元領域を上流から設定する手法を採用して, 家屋の有無による影響を考慮した。

1章に先述したように最近では家屋を考慮した土石流数値シミュレーションが行われている (例えば 6) - 8)。朴ら⁶⁾や永野ら⁷⁾は, 連続式中で流量フラックスの補正や, 家屋群の形状抵抗を考慮して構造物の影響を取り入れた土石流氾濫解析と実災害事例を検証し, 構造物を考慮した方が実災害の結果と近い結果が得られている。中谷ら^{3), 5), 8)}は, 家屋の地盤高を補正する方法で解析を実施して, 構造物が存在する場合に流れ方向が横断的に広がることや構造物の直上流で堆積が集中的に生じること, 家屋や塀の間を流路のように土石流が流下することを, 災害事例との検証^{3), 5)}だけでなく実験でも確認⁸⁾している。本検討でもこの地盤高を補正する手法を採用して, 家屋の有無による違いを検討した。

3.2 計算条件

既往検討と同様に¹⁰⁾, 本計算では災害後の調査から大金沢本川堆積工上流の鋼製スリット堰堤で堆積した土砂の平均粒径から代表粒径を 0.2m として設定し, 細粒分が多く含まれたことから流体相の密度は 1,200kg/m³を採用した。計算に用いたパラメータを Table 1 に示す。地形データは国土地理院が災害前に取得した数値データを利用した。

最上流の一部 (約 250m) のみを一次元領域, 流動が始まった領域から河口までを全て二次元領域

として計算領域を設定した (Fig.2)。背景は災害後のオルソ画像で, 土木研究所の報告で示された流下範囲を白線で示す。一次元領域, 二次元領域とも移動可能土砂を設定しない固定床とした。

Table 1 Simulation parameters

Parameters/Variables	Value	Unit
Simulation time	1200	s
Time step	0.01	s
Diameter of material	0.2	m
Mass density of bed material	2650	kg/m ³
Mass density of fluid (water and mud, silt) phase	1200	kg/m ³
Concentration of movable bed	0.6	
Internal friction angle	35	deg.
Acceleration of gravity	9.8	m/s ²
Coefficient of erosion rate	0.0007	
Coefficient of deposition rate	0.05	
Manning's roughness coefficient	0.03	s/m ^{1/3}
1D area interval	5	m
1D area simulation points	51	
1D area river width	10	m
2D area interval (flow direction × cross direction)	10 × 10	m × m
2D area simulation points	202 × 104	

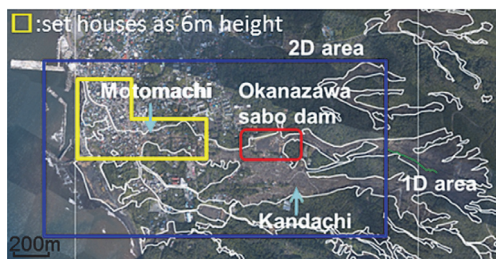


Fig.2 Landform settings for the Izu Oshima simulation; white framed area shows the sediment movement area during the disaster

家屋を考慮するケースでは, 元町における下流側の家屋を (Fig.2 の太線六角形の範囲内) 考慮した。神達の家屋を考慮しなかったのは, 全壊や流出したものが多く, 家屋の存在による影響に不明な点が残るためである。家屋を考慮するケースは, 家屋高は地盤から典型的な二階建てを想定して 6m 上げた。また, 二次元計算領域の計算メッシュは 10m 四方で設定したため, このメッシュで

表現できるよう家屋位置は微調整している。なお、10m メッシュは、家屋の影響を検討するには大きいですが、入力条件として採用した国土地理院のデータが10m メッシュであったことや、このメッシュを用いて家屋群を設定すると、家屋や相対的に地盤高の低い道路、交差点が表現されたため10m メッシュを採用した。

供給ハイドログラフは、大規模な土石流が発生した伊豆大島災害を想定したピーク流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ 、ピーク継続時間 600 秒、土砂濃度 30% を hydro1 とした (Fig.3 上段)。また、発生頻度が高い小規模な土石流として、ピーク流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 、ピーク継続時間 300 秒の hydro2 についても検討した (Fig.3 下段)。hydro2 の総流量及び総土砂量は hydro1 の 1/10 で、土砂濃度は hydro1 と同じ 30% とした。

家屋の考慮の有無、並びに 2 つの供給ハイドログラフの設定方法で、Table 2 に示す 4 ケースを計算した。

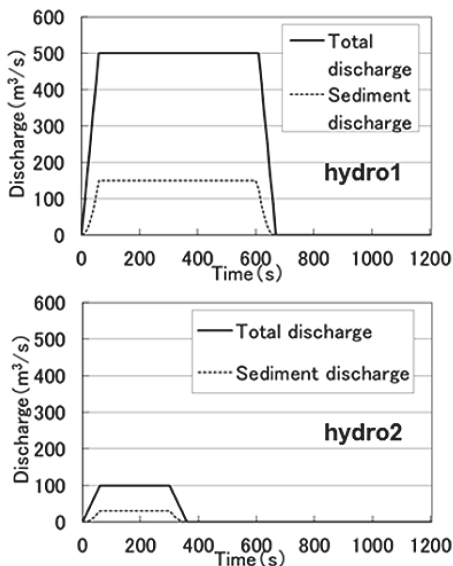


Fig.3 Supplied hydrograph (upper: hydro1, lower: hydro2)

Table 2 Simulation cases

Case	Houses condition	Supplied hydrograph
Case1	Without houses	hydro1 (large)
Case2	With houses	hydro1
Case3	Without houses	hydro2 (small)
Case4	With houses	hydro2

3.2 計算結果

計算期間に現れた最大痕跡（流動深+堆積厚の最大値）を Fig.4 に示す。前述のように最大痕跡を定義したのは、堆積が生じると地形が変化して河床高が初期状態から変わることから、流動深を示すだけでは氾濫等の痕跡がうまく表現できないためである。堆積が発生しない箇所では痕跡は最大流動深となる。計算結果での痕跡は、2章の流下痕跡と対応する。また、土木研究所の報告で示された流下範囲を白線で併せて示す。

災害と同様の大規模なハイドログラフを設定した Case1 および Case2 では、どちらの結果も下流の元町では実際の流下範囲の外縁と対応するが、Case1 では元町の下流側で右岸方向に広がっているのに対して、Case2 では左岸方向に広がり、その範囲は異なる。大金沢堆積工に位置する箇所の痕跡が顕著に大きいことや、土石流が流路に沿って一方向で流下するのではなく、上流から横断方向に分流して、大金沢本川堆積工で合流する点も実災害と対応している。神達は災害状況があまり再現されていないが、これは実災害では左支川からの土石流が神達地区の被災に大きく影響したためである。一方、神達にも本川からの土石流が影響した点は表現されている。小規模なハイドログラフを設定した Case3 および Case4 では、大部分が堆積工で捕捉されて流路沿いに流れたため下流での広がりはあまり見られず、規模が小さかった場合には被害状況が小さくなったことが推測される。

家屋の考慮の有無について、家屋を考慮しなかった Case1 では、元町地区に 0.5-1.0m 程度の痕跡がほぼ一様に広がるのに対して、家屋を考慮した Case2 では一様に広がるのではなく、3.0m を超える顕著に大きな痕跡が局所的にみられた。局所

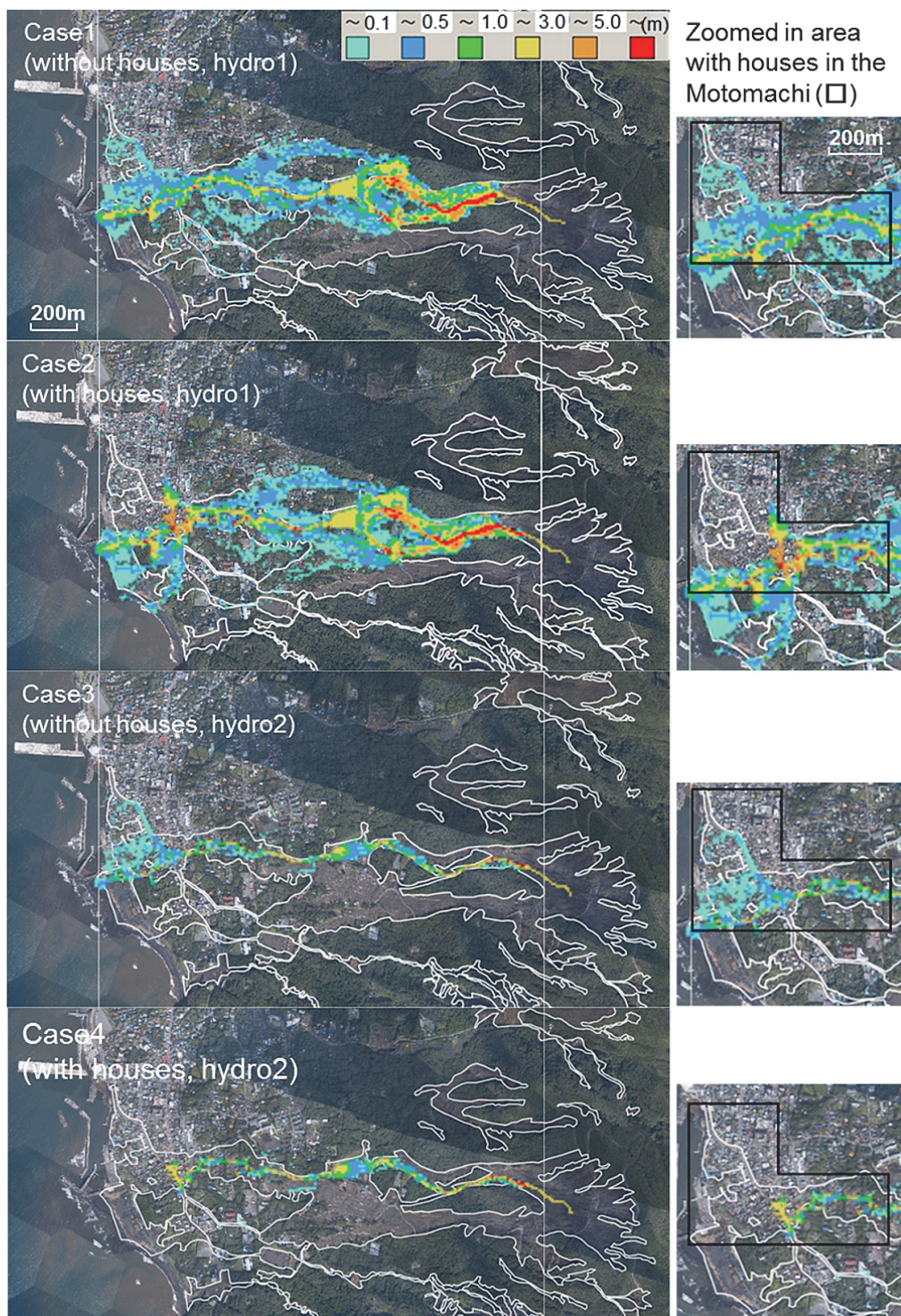


Fig.4 Result of maximum flow depth and deposition thickness in Case1-4; figures on the right show a zoomed-in area with houses in the Motomachi area

的に顕著な痕跡がみられた箇所は家屋が並んで存在した交差点 (Fig.1 に示された最下流の閉塞した橋や Photo2 に示された橋) 付近や、交差点の下流側の家屋周辺に該当する。本検討では流木による橋の閉塞は考慮していないが、家屋を考慮したことで家屋群や道路が表現され、特に交差点付近に多く存在した家屋などの建物が流れを阻害したことで、考慮しないケースと比較して大きな値の痕跡が現れたと推測される。実際の被害状況でもこのエリアで一様な痕跡ではなく、局所的に大きな痕跡を示しており、Case2 がより現象を表現している。

供給流量の少ない Case3 と Case4 では、家屋を考慮した Case4 の方が考慮しない Case3 と比較して、痕跡を示す範囲が小さい。家屋を考慮した Case4 では元町地区の上流で土石流が停止するが、Case3 では停止しないためである。また、家屋を考慮しない Case3 では 0.1-1.0m の痕跡を示す範囲で、家屋を考慮した Case4 では 1.0m を超える痕跡がみられた。これらは家屋が存在したことにより家屋上流側で局所的に大きな水位上昇や堆積が起こり、土石流が停止したと考えられる。

3.3 考察

3.2 から大規模な土石流の場合は、家屋の有無で土石流の到達範囲が変わることが示された。また、下流側で一様な痕跡が広がるのではなく、2章の災害事例で交差点付近で大きい所では 1.5m 以上を示す一方で小さい所では 0-0.5m の流下痕跡を



Photo3 Deposition on upstream of houses: debris flow occurred in Hiroshima, August, 2014

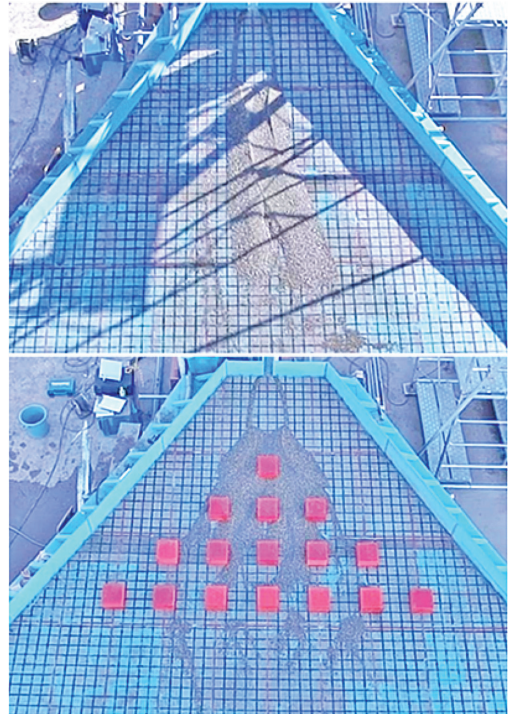


Photo4 Deposition on upstream of houses in experiment results (upper: without houses, lower: with houses)

示すように、狭い範囲で異なる痕跡が分布する現象が表現される点について、家屋を考慮したケースの方が実災害とよく対応することが示された。小規模な土石流の場合には、家屋を考慮することで土石流の到達範囲が異なること、家屋の存在によってその上流で大きな痕跡を示して停止し、到達範囲が狭まる可能性があることが示唆された。

谷出口に存在する家屋の上流で顕著に堆積する現象は、2014年8月に発生した広島土石流¹⁷⁾や (Photo3) 実験による検討¹⁸⁾からも (Photo4) 確認されており、土石流の規模や家屋配置による影響はあるものの、実際に起こりうる現象だと考えられる。

4. おわりに

本研究では、2013年10月に伊豆大島で発生した土石流災害について家屋の存在に着目して被害状況を検証した。上流の神達では全壊・流出した

家屋が多く、被害の大きかった場所ではほぼ一様に高い痕跡が示され、これは土石流による直撃を受けたためと考えられる。下流の元町では、被害が大きかったのは流路沿いで閉塞した橋の周辺に位置する家屋であった。閉塞した橋から溢れた水・土砂は、流路の横断方向へ道路に沿って移動した。流木は、あまり横断方向へは移動せず、流路沿いで停止していた。また、元町では狭い範囲で流下痕跡が大きく変化し、特に閉塞した橋の近くでは全壊・流出した家屋が見られ、隣接する家でもわずかな場所の違いで被害状況が異なった。

次に、伊豆大島で発生した土石流について家屋の有無を考慮した土石流数値シミュレーションをHyper KANAKOシステムで実施した。土石流の規模は、実際に発生した大規模な土石流と、発生頻度が高い小規模な土石流の場合の影響を検討した。大規模な土石流では、家屋の有無で到達範囲が変わること、家屋を考慮した場合は一様でない局所的な違いの大きい痕跡が見られ、これは実際の被害状況とも対応した。小規模な土石流の場合は、家屋の有無により土石流の到達範囲が変わり、家屋を考慮する方が下流で大きな痕跡を示して到達範囲が狭まった。伊豆大島災害の小規模な土石流事例の検証材料は無いが、広島県の災害事例や実験結果から、扇状地の谷出口付近に存在する家屋の上流で顕著に堆積が発生することは確認されており、実際にも家屋の有無によって範囲が変わると推測される。

土石流の到達範囲が変わると、危険エリアの把握や避難ルートの検討などのソフト対策を考慮する際に影響する。効果的な対策を検討するにあたり、家屋の有無を考慮した検討が重要だと考えられる。また、本検討では10mメッシュを採用したが、数mメッシュ等の細かいメッシュを採用すると、より詳細な家屋位置や細い道路等を表現した検討や、家屋の向きの違いによる検討等も可能となると考えられる。本検討では痕跡について比較検証を行ったが、今後は構造種別による家屋の被害程度の違いについて流体力を指標として行うことを検討している。さらに、扇状地における家屋の配置や家屋破壊による影響についても情報を収集

して検討を進めたい。

謝辞

本研究はJSPS科研費24710206、平成26年度河川砂防技術研究開発(砂防技術分野)「火山地域における水文・土砂流出メカニズムの解明と土砂災害防止事業支援のための数値シミュレーション法の開発」の助成を受けて実施した。伊豆大島災害の土石流の流下範囲や流下痕跡については独立行政法人土木研究所 火山・土石流チームから貴重なデータを提供頂いた。伊豆大島災害直後に撮影された貴重な斜め写真を株式会社パスコに提供頂いた。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 水山高久・石川芳治：土石流による家屋の被災度，砂防学会誌，Vol.42, No.1, pp.22-25, 1989.
- 2) 石川芳治・草野慎一・福澤誠：熊本県一の宮町における泥流・流木の氾濫・堆積特性と家屋の被害，土木技術資料，Vol.34, No.6, pp.40-45, 1992.
- 3) 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—，自然災害科学，Vol.33, No.1, pp.17-27, 2014a.
- 4) 久保田哲也・地頭蘭隆・清水収・平川泰之・本田健・飯島康夫・泉山寛明・海堀正博・北原哲郎・小林浩・松本俊雄・松尾新二郎・松澤真・宮縁育夫・長野英次・中濃耕司・奥山悠木・島田徹・篠原慶規・杉原成満・武澤永純・田中信・内田太郎：平成24年7月九州北部豪雨による阿蘇地域の土砂災害，砂防学会誌，Vol.6, No.4, pp.50-61, 2012.
- 5) 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, 2014b.
- 6) 朴埼璣・橋本晴行・高岡広樹・山崎一彦：1993年8月島原市街地に流出した土石流の氾濫解析，第2回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.139-144, 2004.
- 7) 永野博之・羽田野袈裟義・朝位孝二・赤松良久・岡本拓也：住宅地への土石流氾濫による家屋被害評価に関する研究，平成24年度砂防学会研究発表会概要集，pp.92-93, 2012.

- 8) 中谷加奈・奥山悠木・長谷川祐治・里深好文・水山高久：扇状地における家屋が土石流の氾濫・堆積に与える影響, 砂防学会誌, Vol.65, No.4, pp.15-23, 2012.
- 9) 石川芳治・池田暁彦・柏原佳明・牛山素行・林真一郎・森田耕司・飛岡啓之・小野寺智久・宮田直樹・西尾陽介・小川洋・鈴木崇・岩佐直人・青木規・池田武穂：2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害, 砂防学会誌, Vol.66, No.5, pp.61-72, 2014.
- 10) 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－, 自然災害科学, Vol.33, 特別号, pp.13-26, 2014c.
- 11) 秋山怜子・石塚忠範・吉永子規・水谷佑・森田耕司：平成25年10月伊豆大島豪雨災害における土砂流下範囲と被害発生時刻, 砂防学会誌, Vol.67, No.4, pp.3-12, 2014.
- 12) 堀内成郎・岩浪英二・中谷加奈・里深好文・水山高久：LPデータを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発, 砂防学会誌, Vol.64, No.6, pp.25-31, 2012.
- 13) 高橋保・中川一：豪雨時に発生する石礫型土石流の予測, 砂防学会誌, Vol.44, No.3, pp.12-19, 1991.
- 14) 和田孝志・里深好文・水山高久：土石流の1次元・2次元シミュレーションモデルの結合, 砂防学会誌, Vol.61, No.2, pp.36-40, 2008.
- 15) 国土交通省：河川砂防技術基準 調査編 第17章砂防調査, 2012.
- 16) 国土交通省水管理国土保全局砂防部：土砂災害対策の強化に向けた検討会 ハード対策分科会（第2回）討議資料, 2014.
- 17) 海堀正博・石川芳治・里深好文・松村和樹・中谷加奈・長谷川祐治・松本直樹・高原晃宙・塚康三郎・吉野弘祐・長野英次・福田真・中野陽子・島田徹・堀大一郎・西川友章：2014年8月20日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害, 砂防学会誌, Vol.67, No.3, pp. 49-59, 2014.
- 18) 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, 砂防学会誌, Vol.67, No.6, pp.22-32, 2015.

(投稿受理：平成27年4月10日)