

# 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—

中谷 加奈\*・里深 好文\*\*・藤田 正治\*\*\*・水山 高久\*

## Study on Debris Flow Occurred in Nanjo, Kameoka City, Kyoto Prefecture on July 2012 Considering Houses Influence

Kana NAKATANI\*, Yoshifumi SATOFUKA\*\*,  
Masaharu FUJITA\*\*\* and Takahisa MIZUYAMA\*

### Abstract

On July 15, 2012, debris flow occurred in Nanjo, Kameoka City, Kyoto Prefecture due to heavy rain. There were some small landslides, and deposit on riverbed was eroded by the additional water created debris flow. In the Nanjo area, debris flow traveled for about 0.5 km, destroying houses and flowed down along the road. One house located downstream of the torrent, was hit by debris flow directly and caused huge damage. This paper describes the outline of debris flow disaster based on field survey. This study also conducted numerical simulations using the Kanako2D debris flow simulator to determine the influence of houses on debris flow flooding and deposition in Nanjo area.

キーワード：土石流, 亀岡, 現地調査, 数値シミュレーション, 構造物の影響

Key words : debris flow, Kameoka, field survey, numerical simulation, houses influence

### 1. はじめに

日本では地形が急峻であり地質も脆弱であることから、一度豪雨が発生すると土石流が発生しやすく、毎年のように土石流が各地で発生する。土

石流災害は土砂災害の中でも発生件数に対して被害の甚大度が高く、被害の防止・軽減のために効果的な対策の整備が不可欠である。

平成24年7月15日に、京都府では多い所で1時

\* 京都大学大学院農学研究科  
Graduate School of Agriculture, Kyoto University

\*\* 立命館大学理工学部  
Department of Civil Engineering, Ritsumeikan University

\*\*\* 京都大学防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本報告に対する討論は平成26年11月末日まで受け付ける。

間に90mmの豪雨が記録され<sup>1)</sup>、亀岡市曾我部南条大谷では、この豪雨によって人家裏の溪流より土石流が発生して3件の家屋被害が生じた<sup>2)</sup>。

本研究では、亀岡市南条で発生した土石流災害を対象として、現地調査及び数値シミュレーションを実施した。シミュレーションでは、集落の家屋などの構造物の存在による氾濫・堆積過程の違いを検証した。

## 2. 平成24年7月に京都府亀岡市南条で発生した土石流

平成24年7月15日未明から朝にかけて、京都府では「記録的短時間大雨情報」が発表され、亀岡市では時間85mmの集中豪雨が記録された。京都府亀岡市曾我部南条大谷では、この豪雨によって人家裏の溪流より土石流が発生した。土石流は流木を伴い下流の人家へ流下し、家屋1軒を半壊、2軒を一部損壊させた。土砂及び流木は下方の京都学園大学との市道に堆積した。

### 2.1 溪流の概要

この溪流は、京都府の土砂災害警戒区域指定箇所であるが、治山や砂防の堰堤は存在しなかった。土石流発生溪流の最下流には、堰堤形状をした構造物が存在したが、これは人家裏の森林内のため池に付随する施設と見られており、砂防や治山の堰堤ではない。住人によると、森林内には伐採木が残置されており、今回の豪雨で流下したとの報告がある。調査から、源頭や溪流内で小規模な崩壊も見られるが、豪雨によって山地溪流の堆積土砂が侵食され、伐採木及び立木とともに土石流が発生・流動して、下流のため池を満砂し、オーバーフローした大量の土砂と流木が下流の人家に流下し、被害が発生したと推測される。

### 2.2 土石流の移動実態

南条地区の地図を Fig. 1に示す。図中に①～⑧で示す番号は、以下に示す写真の場所を表す(Photo 1-Photo 8)。

Fig. 1で実線部分が土石流が発生・流動した溪流であり、次章の数値シミュレーションにおいて

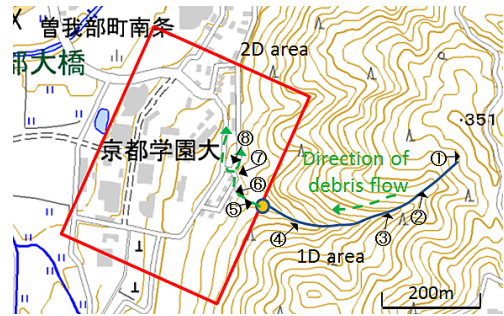


Fig. 1 Map of Nanjo area and photo taken point, dash line shows the debris flow direction (This background map data is distributed from Digital Japan Web System)



Photo 1 Nanjo No.1 area photo (Landslide)



Photo 2 Nanjo No.2 area photo (Bed erosion)



Photo 3 Nanjo No.3 area photo (Bed erosion)



Photo 6 Nanjo No.6 area photo (Damaged house directly)



Photo 4 Nanjo No.4 area photo (Bed erosion)



Photo 7 Nanjo No.7 area photo (Damaged house)



Photo 5 Nanjo No.5 area photo (Reservoir construction)



Photo 8 Nanjo No.8 area photo (Downstream road)

一次元計算領域と設定した領域である。一方で、Fig. 1で長方形で囲まれた領域は、氾濫・堆積が発生した領域であり、数値シミュレーションでは二次元領域として設定している。境界部の丸の位置は、土砂災害警戒区域図<sup>3)</sup>に示されている砂防基準点である。今回の災害では、基準点の下流に位置するため池を越流した後、住宅地への土石流の流出・氾濫が発生していたため、基準点下流を二次元領域として計算を実施した。Fig. 1内に破線矢印で示したのは、土石流の流下方向である。一次元領域では実線に沿って流動しており、二次元領域では丸の砂防基準点から少し下流までは直進して、最も被害を受けた家屋に直撃した地点からは、右岸方向に流動方向を変え、更に下流では道路沿いに2つに分かれて流動・堆積した。

土石流の源頭部を表す① (Photo 1) から、谷出口までを踏査して、流動幅や最大流動痕跡高(災害後の河床標高から流動痕跡の最大標高までの差)を調べた。縦断面図と川幅を Fig. 2に示す。最大流動痕跡高は、概ね上流では約3mであり中下流も流動幅の狭いところでは同じであった。一方、中下流で流動幅が大きくなる箇所では、最大流動痕跡高は2m前後であった。

粒径は源頭①付近では数mm程度の細かなものが多く、②から④までの渓床では細かな材料だけでなく0.3m程度の大きなサイズのものも存在している。⑤に示した構造物の下流においても⑦で示す下流側の被災家屋の周辺にまで0.3m程度の礫は流下しているが、⑧の地点での堆積土砂は大きくて0.1m程度であった。

流木は、ため池の構造物にも見られたが、被災家屋⑥⑦や、下流の道路まで流下して停止しており、⑧では道路の道幅をいっぱい集積して停止しているのが確認された。

踏査からは、源頭部の崩壊は比較的規模の小さなものであり (Photo 1)、下流に進むに従って渓床侵食が1-3m程度で起こった痕跡が見られた (Photo 2-Photo 4)。溪流の出口にため池が存在し、その下流に Photo 5のような構造物が存在した。構造物の直下に Photo 6に示す土石流の直撃を受けた家屋が存在する。更に道路沿いに流下し

た先には、もう一件被災した家屋が見られる (Photo 7)。その下流の道路にまで広く、土砂や流木が堆積したのが Photo 8から明らかである。この結果を元に、次章で土石流数値シミュレーションを実施する。

### 3. 南条地区を対象とした土石流数値シミュレーション～構造物を考慮して～

南条地区を対象として、汎用土石流シミュレータ Kanako2D<sup>4)</sup>を用いて数値シミュレーションを実施した。Kanako2DはGUIを実装した汎用土石流シミュレータで、急勾配域の一次元計算から、扇状地などの緩勾配までの二次元計算を統合的に計算することや、砂防堰堤を設置した計算を実施することができる。今回の検討では、溪流下流に位置していた堰堤形状の構造物は、土砂・水を下流へと流出させてしまっているため、考慮しない。

#### 3.1 構造物の影響

今回の災害では、調査によって家屋の存在や区画整理された住宅地の道路沿いに土砂・流木・水が流動したことが確認されている。これまでは、土石流の氾濫・堆積過程を検討する際に、家屋などの扇状地における構造物を考慮することはほとんど無かった。なぜなら、土石流の流下・堆積範囲を検討する際、地形データを数十mメッシュ等で作成する場合は一メッシュに複数の家屋が含まれること等もあり、家屋の影響を取り込むことが出来なかったためである。

しかし、最近の研究において土石流の氾濫解析でも家屋の影響を考慮した検討が行われている<sup>5-8)</sup>。朴ら<sup>5)</sup>や永野ら<sup>6)</sup>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の検証を実施して、構造物を考慮した方が実災害の結果と近いという結果が得られているが、実験での確認はされていない。一方、中谷ら<sup>7)</sup>や増野ら<sup>8)</sup>は、家屋などの構造物の地盤高を補正する方法で解析を実施しており、構造物が存在する場合には流れ方向が横断的に広がることや構造物の直上流において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場合があることを報告し、実験でも確認している。

海外でも、近年は土石流数値シミュレーションを実施する際に、家屋などの集落での構造物の影響を考慮した事例が報告されている<sup>9,10)</sup>が、日本の扇状地と比較して非常に緩勾配（数°以下、堆積域）を氾濫・堆積過程を計算する領域としている点が、扇状地の集落においても流動域等の急勾配領域を含むことの多い日本と、状況が異なっている。

本検討では、土石流の谷出口に家屋が存在しない場合と、家屋が存在する場合の2ケースについて、構造物の地盤高を補正する方法<sup>7,8)</sup>で数値シミュレーションを実施して、比較検討を行った。

### 3.2 計算条件

南条地区の地形条件はNo.1 (Photo 1) 位置を計算開始点として、現地調査時に測量した標高並びに川幅や (Fig. 2)、亀岡市並びに京都府から提供されたデータを元に作成した。Fig. 1に実線で示した土石流の発生・流動区間（約0.5km）を一次元計算領域として、また長方形で囲まれた領域を二次元計算領域とした。

粒径は数 mm から0.3m 程度まで広い分布を持って存在するが、Kanako2Dでは一様粒径を対象とするので、今回の検討では比較的下流まで移

動した0.1m を代表粒径として採用した。

計算に用いたパラメータは Table 1に示す。現地の状況から推定したパラメータ以外は (Ex. 侵食・堆積速度係数) 土石流計算で一般的に用いられることが多い値<sup>11)</sup>を設定した。なお、本検討で用いた供給ハイドログラフ、河床材料特性は、災害後の調査や既往研究を参照して仮定したシナリオの一つであり、この検討結果が今回の災害の全てを説明するものではないと考えている。

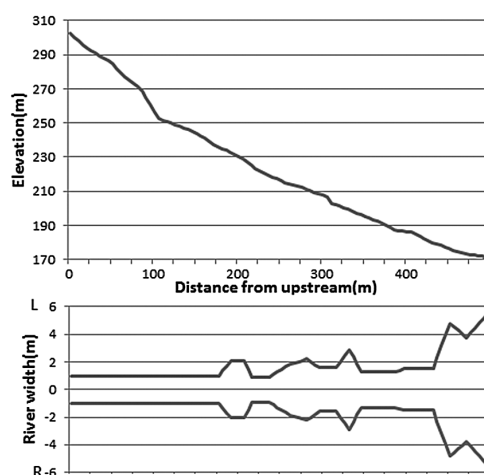


Fig. 2 Longitudinal profile and river width of the torrent

Table 1 Simulation parameters

Parameters/Variables	Value	Unit
Simulation time	900	s
Time step	0.01	s
Diameter of material	0.1	m
Mass density of bed material $\sigma$	2650	kg/m <sup>3</sup>
Mass density of fluid (water and mud, silt) phase $\rho$	1180	kg/m <sup>3</sup>
Concentration of movable bed $C_*$	0.6	
Internal friction angle $\tan \phi$	0.7	
Acceleration of gravity	9.8	m/s <sup>2</sup>
Coefficient of erosion rate	0.0007	
Coefficient of accumulation rate	0.05	
Manning's roughness coefficient	0.03	s/m <sup>1/3</sup>
Number of calculation points	89	
Interval of 1-D calculation points	5	m
Number of 2-D calculation points	113 x 145	
Interval of 2-D calculation points	5 x 5	m x m

### (1) 供給ハイドログラフ

供給ハイドログラフは土石流が発生した7月15日の雨量を元に算出した。最大時間雨量として記録された7月15日4時の85mmの雨量が、全て南条の流域(砂防基準点より上で、 $0.17\text{km}^2$ )に流出したと仮定した際の総流量は、 $14,450\text{m}^3$ である。過去の土石流発生事例を参考に<sup>12-14)</sup>、土石流の継続時間を400秒(ピーク継続時間を200秒)として、ピーク流量 $48.2\text{m}^3/\text{s}$ でFig. 3のように流出したと仮定した。

上流端からは水のみを供給して、土石流は河道上の土砂を侵食して発達・流動したものとする。災害後の現地調査から、一次元渓流での侵食深は概ね1-3mと推測されたため、本検討では一次元領域全体で均等に2.0mの侵食可能深(初期不安定土砂)を渓流に設定した。なお、二次元領域には初期不安定土砂は設定しなかった。

### (2) 家屋(構造物)の有無

家屋を考慮しない場合(Case1)と、家屋を考慮した場合(Case2)の2ケースについて、計算を実施した。家屋を考慮するCase2についても、二次元領域に存在する全ての家屋を設置するのではなく、谷出口(砂防基準点、Fig. 1内の丸)から流下方向に200mまでの位置に存在する家屋についてのみ、考慮するものとした。これは、200mよりも更に下流側については、災害後の状況から土石流の氾濫・堆積がほとんど見られなかったためである。

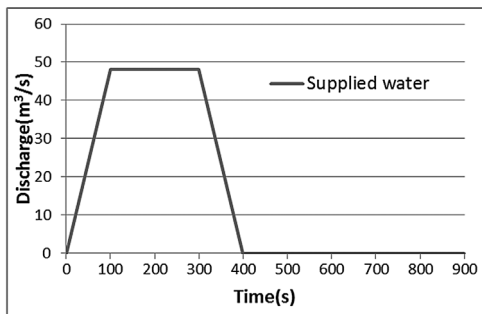


Fig. 3 Supplied hydrograph for simulation

設定する家屋高さは、典型的な2階建てを想定して6mを地盤高から上げている。また、二次元計算領域の計算メッシュは5m四方で設定しているため、このメッシュで表現できるように家屋位置は微調整している。

### 3.3 計算結果

3.2に示した条件で計算を実施した。Fig. 4は一次元領域の最下流端から1点上流での総流量(水+土砂)と土砂濃度、上流端から供給したハイドログラフ(水のみ)を示している。一次元領域の条件は、Case1, Case2で共通となる。結果からは、一次元領域を流下する際に河道上の土砂が侵食されることによって総流量は $70\text{m}^3/\text{s}$ まで大きくなっており、土砂濃度も最大で25%にまで達していることがわかる。しかし、総流量は550秒付近まで示されるのに対して、土砂濃度は250秒付近ではほぼ0%となっている。これは、一次元領域内の侵食可能土砂が無くなったことによるものである。

今回の検討では土砂量に対して供給した水の量が多かったため、出水の後半では水だけが下流に流出している。

次に、二次元領域における90秒、145秒、340秒での流動深ならびに堆積厚を示す(Fig. 5-Fig. 10)。

Fig. 5に示す90秒での流動深の結果には、一次元領域からの土石流の流入点を左図Case1(家屋無し)に黄色矢印で示している。また、Fig. 5右

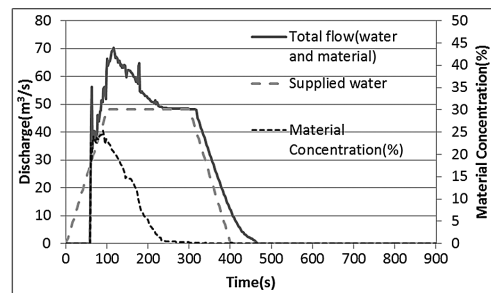


Fig. 4 Discharge and material concentration at downstream of 1D simulation area

図に示す Case2 (家屋有り) には、二次元領域の地形で考慮した家屋の位置を黒矢印で示している。Case1 (家屋無し) の結果からは、土石流が二次元領域へ流入した後、そのまま直進して流動・氾濫していることが判る。一方で、Case2 (家屋有り) では谷出口直下の家屋によって、流

動方向が右岸側に変化して、二次元領域の中流までは右岸側に偏って流動・氾濫している。

90秒での堆積厚の結果を示した Fig. 6 では、上流側に堆積が集中しており、二次元領域全体を示した図からは詳細な検討が行いにくい (Fig. 6 上段)。従って、Fig. 6 下段に、上段でオレンジ色

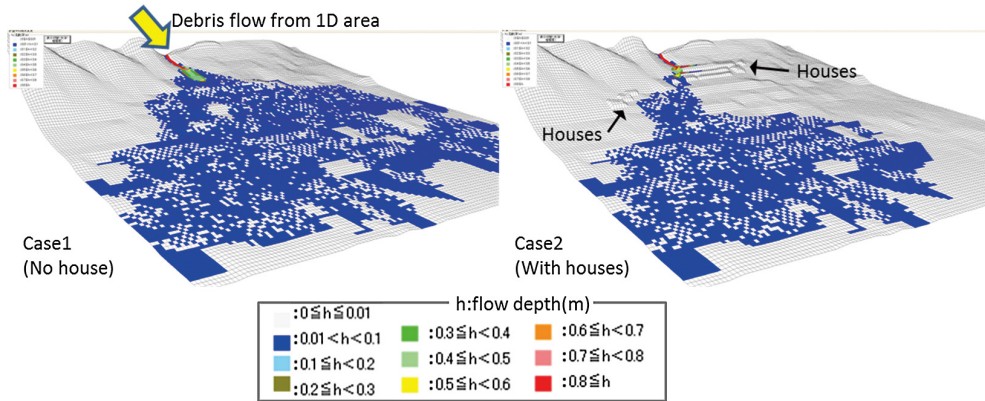


Fig. 5 Result of flow depth in 2D area at 90s (left: no house, right: with houses)

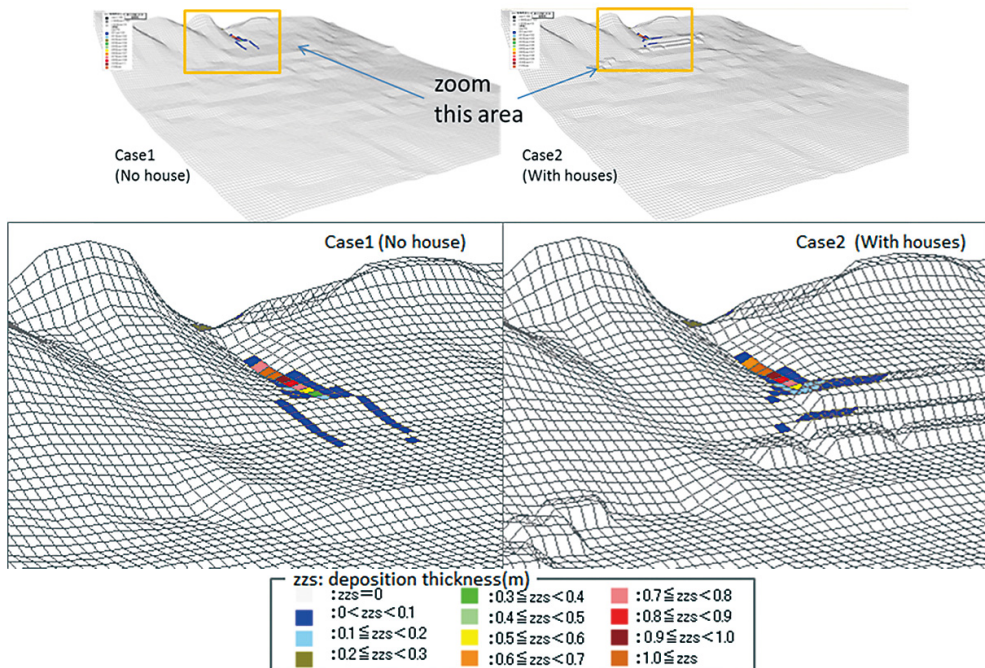


Fig. 6 Result of deposition thickness in 2D area at 90s (top left: no house, top right: with houses, below left: no house in zoomed figure, below right: with houses in zoomed figure)

の長方形で囲んだ領域を拡大表示している。左列が Case1 の家屋無し、右列が Case2 の家屋有りである。

Case1 では、流動深と同様に土石流の流入点から直進方向で堆積が発生している。一方で、Case2 では、谷出口の家屋の直上流で堆積が発生しており、家屋が存在することによって、堆積過程が変化したことを示している。

Fig. 7 に示す 145 秒での流動深の結果からも、家屋ありと家屋無しで流動・氾濫方向が異なることが示されている。家屋なしの Case1 は、主流部である流動深の高い領域は、二次元領域の中央部を直進している。

一方で、家屋のある Case2 では、主流部は谷出口上流の家屋によって、右岸方向に流動方向が変化しており、また流れの一部は家屋で囲まれた道路上を流動して、左岸側にも一部示されている。

Fig. 8 の堆積厚の結果も、90 秒の Fig. 6 と同様に、上段に全体の結果を示し、下段に上段のオレンジ色の長方形で囲まれた主な堆積範囲の拡大図を示す。左列が Case1 の家屋無し、右列が Case2 の家屋有りである。

結果からは、90 秒の結果と同様に、Case1 では土石流の流入点から直進した方向で堆積が発生し、145 秒では 90 秒よりも下流まで堆積が進んでいる。一方 Case2 では、谷出口の家屋の直上だけ

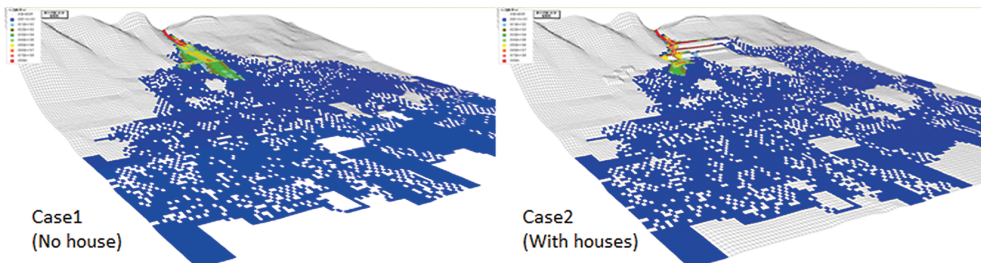


Fig. 7 Result of flow depth in 2D area at 145s (left: no house, right: with houses)

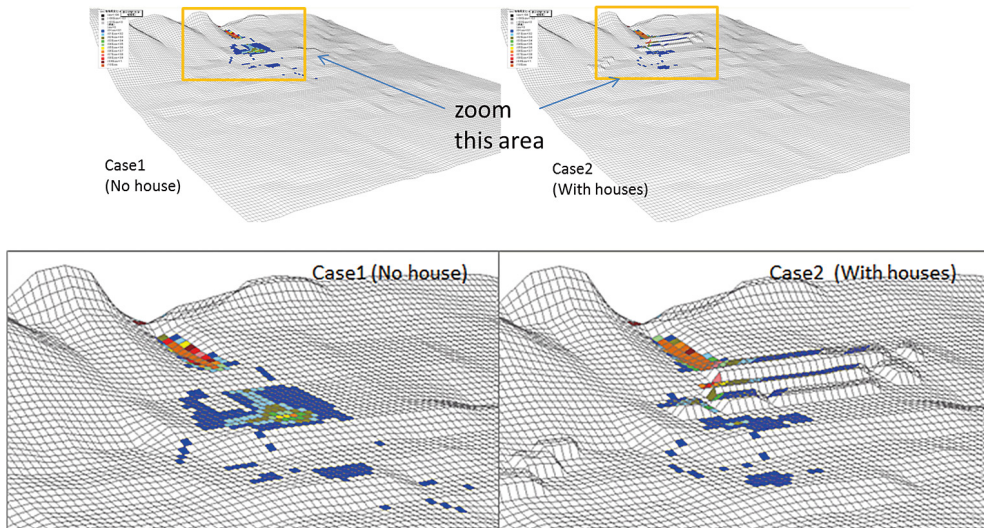


Fig. 8 Result of deposition thickness in 2D area at 145s (top left: no house, top right: with houses, below left: no house in zoomed figure, below right: with houses in zoomed figure)



でなく、上流から二列目や三列目に位置する家屋の上流でも堆積が見られる。

最上流の右岸側に位置する土石流の直撃を受けた家屋周辺では、1.0m以上の大きな堆積厚が見られるが、二列目の右岸側の家屋の上流でも0.7m以上の大きな堆積がこの位置に集中して起こっている。

340秒での流動深については、Fig. 9に示すようにCase1の家屋無しの結果では、二次元領域の中流や下流にまで土石流の主流部が到達し、領域の中央より少し上流からは地形に規制されて流れが大きく2つの方向に分かれて流下していることがわかる。家屋有りのCase2では、谷出口付近に存在した家屋の影響によって、流れの主流方向は右岸側に集中している。

一方、家屋の存在によって、家屋の上流の道路を流路として流れた一部については、家屋の左岸側を回りこんで下流側に流動している。このように、家屋が存在すること、ひいては家屋が存在して道路等が存在することで、家屋や道路などの構造物が無い状態での流動・氾濫方向と、存在する

場合の流動・氾濫方向が変化することが確認された。

Fig. 10の340秒後の堆積厚からは、家屋が無いCase1では、大きな堆積は中央部に位置しており、中流や下流まで流動して堆積する土砂は少ない。

一方、家屋が存在するCase2では、谷出口に位置する家屋の上流側に堆積が集中している。また、家屋の上流で多くの土砂が堆積するため、家屋から下流側へ流動・堆積する土砂はCase1に比べて領域が狭く、厚さも小さい。

実際の災害後の被害状況は、家屋に土石流が到達した後は、流れ方向は右岸側に変化して、道路を流下して土砂・流木・水が移動したことから、本検討のCase2の家屋を考慮した検討結果に近い。家屋を回り込んで左岸側からも水・土砂が流動したことは、確認されていないが、一部の水・土砂が家屋の間の道路に沿って流動したことは、災害後の写真等から明らかである。

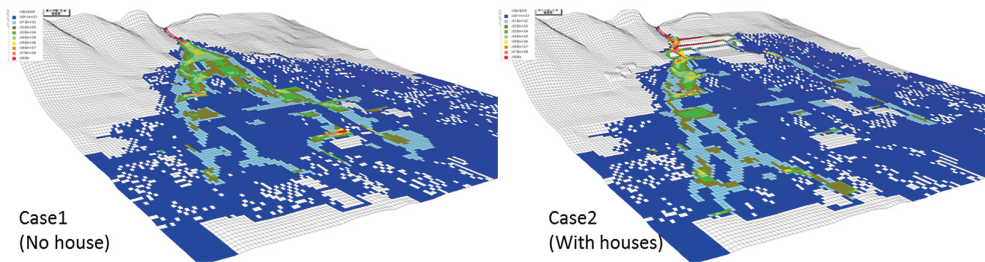


Fig. 9 Result of flow depth in 2D area at 340s (left: no house, right: with houses)

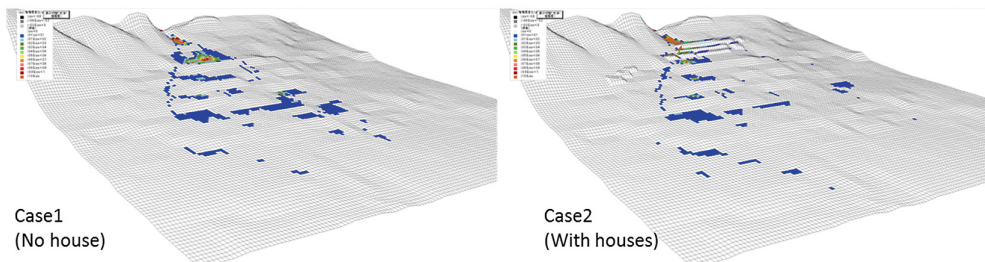


Fig. 10 Result of deposition thickness in 2D area at 340s (left: no house, right: with houses)

#### 4. おわりに

本研究においては、平成24年7月15日に京都府亀岡市南条で発生した土石流について、災害の概要を報告した。また、家屋が存在する場合としない場合について、Kanako2Dを適用して数値シミュレーションを実施した。計算結果からは、家屋を考慮した場合の結果の方が、実際の災害状況と近い氾濫・堆積状況が示された。

これまでの研究や計画において、家屋を考慮した事例は少なかったが、今回の災害や計算結果からも、家屋の存在や、家屋を設定することで相対的に地盤高が低い家屋周辺のメッシュが道路と同様の役割を果たして、土石流の流動・堆積過程に影響を及ぼすことが確認された。日本には十数万カ所の土石流危険渓流があり、全ての渓流に砂防堰堤等のハード対策を実施することは難しく、今後はハザードマップの作成や宅地規制・警戒避難などのソフト対策を中心とした防災・減災が求められると考えられる。砂防LPデータの整備<sup>15)</sup>や、GISとの数値シミュレーションの連携が進んできたことから<sup>16)</sup>、数mメッシュでの高精度な地形を考慮した検討が今後は比較的容易に実施されるようになるかと推測される。

より精度の高い危険範囲を抽出し、防災計画に活用することで被害を軽減するために、今後も家屋等の構造物の流動や堆積過程に及ぼす影響を示す情報を収集し、更には家屋の破壊による土石流挙動の変化までを考慮できるような手法を提案したい。

#### 謝 辞

本稿では、京都府南丹広域振興局農林商工部森づくり推進室から、貴重な災害状況のデータをご提供頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。また、本研究の一部はJSPS科研費24710206、並びに平成24年度京都大学防災研究所萌芽的共同研究の助成を受けて実施した。

#### 参考文献

- 1) 京都府地方気象台 (2012)：平成24年7月15日の京都市、亀岡市の大雨について。
- 2) 京都府災害警戒本部 (2012)：平成24年7月15日の大雨における被害等の概要について (第4報)。
- 3) 京都府 (2011)：土砂災害計画区域・土砂災害特別警戒区域図 (京都府亀岡市曾我部町6 (に032), 土石流)。
- 4) 中谷加奈・和田孝志・里深好文・水山高久 (2008)：GUIを実装した汎用土石流シミュレータ開発, 第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.149-154.
- 5) 朴 埶璿・橋本晴行・高岡広樹・山崎一彦 (2004)：1993年8月島原市街地に流出した土石流の濫解析, 第2回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.139-144.
- 6) 永野博之・羽田野袈裟義・朝位孝二・赤松良久・岡本拓也 (2012)：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.
- 7) 中谷加奈・奥山悠木・長谷川祐治・里深好文・水山高久 (2012)：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.
- 8) 増野祐一郎・中谷加奈・水山高久・長谷川祐治・里深好文 (2013)：扇状地における構造物が土石流挙動に及ぼす影響, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集B, pp.274-275.
- 9) Lin JY, Yang MD, Lin BR and Lin PS. (2011) Risk assessments of debris flows in Songhe Stream, Taiwan, Engineering Geology (123), 100-112
- 10) Loup B, Egli T, Stucki M, Bartelt P, B W.McArdell and Baumann R. (2012) Impact pressures of hillslope debris flows. In: Proceedings of 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, pp.225-236.
- 11) 高橋 保・中川 一 (1991)：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.
- 12) Suwa, H. (1989) Field Observation of Debris Flow, Proc. Japan-China (Taipei) Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, Kyoto, pp.343-352.
- 13) Suwa, H., Okumishi, K. and Sakai, M. (1993) Motion, debris size and scale of debris flows in a valley on Mount Yakedake, Japan, IAHS Publ. no.217, pp.239-248.
- 14) 池田暁彦・門馬直一・堀内成郎・山田利治 (1998)：

- 滑川北股沢で発生する土石流について, 砂防学会誌, Vol.51, No.2, pp.31-38.
- 15) 堀内成郎・岩浪英二 (2010) : 「SABO D-MaC 3 D 解析システム」による LP データの管理・活用について, 砂防学会研究発表会概要集, No.57, pp.66-67.
  - 16) 堀内成郎・岩浪英二・中谷加奈・里深好文・水山高久 (2012) : 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.

(投稿受理:平成25年10月22日  
訂正稿受理:平成26年1月28日)