

異なる地形データを用いた土石流の到達範囲の検討—扇状地の土地利用を考慮して—

中谷 加奈¹・林 聖也¹・長谷川 祐治²・小杉 賢一朗¹・里深 好文³

Study on debris flow influence area applying simulations with different resolution landform data; considering alluvial fans land-use

Kana NAKATANI¹, Seiya HAYASHI¹, Yuji HASEGAWA², Ken'ichirou KOSUGI¹ and Yoshifumi SATOFUKA³

Abstract

There are two types of alluvial fans land-use such as housing and farming in Japan. In recent studies and disaster reports, housing area have been considered and numerical analysis with detail landform describing houses and roads have seemed to explain the realistic debris flow influence area. However, farming area have not been considered. Furthermore, numerical simulation is effective for considering debris flow influence area but suitable resolution landform data for both land-use is not clear. In this study, we conducted debris flow simulation using Hyper KANAKO system in farming area and in housing area with different resolution landform data. The results showed that farming area with different landform data showed less difference for outer edge of influence area. But some field area showed large flow depth and depositions. In both land-use, 1-m mesh high resolution seemed to show realistic influence area and debris flow behavior.

キーワード：土石流，到達範囲，土地利用，地形データ，数値シミュレーション

Key words: debris flow, influence area, land-use, landform data, numerical simulation

1. はじめに

日本は山間部で広く人間活動が行われて土地利用形態も多様であり，山間部で土砂流出による被

害が発生している。土砂災害の中でも，土石流は流動性が高く勾配の緩い範囲まで到達することから，人的被害や建物破壊など被害を拡大する。

¹ 京都大学大学院農学研究科
Graduate School of Agriculture, Kyoto University

² 広島大学大学院総合科学研究科
Graduate School of Integrated Arts and Sciences,
Hiroshima University

³ 立命館大学理工学部
Department of Civil Engineering, Ritsumeikan University

土石流被害が多く発生するのは、谷出口に位置する扇状地である。近年、扇状地に存在する家などの建物や道路が土石流挙動に影響することが報告され^{例えは1-4)}、被害状況の検証⁴⁾ならびに実験⁵⁾から、谷出口に近い上流側の建物の存在により流れが阻害されて顕著な水位上昇や堆積が起こること、建物を迂回する氾濫や堆積が見られること、相対的に標高の低い道路上を流下することが確認された。さらに、建物を地盤高として考慮する数値シミュレーションも実施^{例えは2-4, 6)}され、考慮しない場合よりも実災害に近い土石流挙動を示すことが明らかとなった。

一方、建物や道路の影響に着目した既往検討は、日本の扇状地で見られる住宅地や農地などの土地利用の違いを整理して検討されておらず、住宅が多く存在する扇状地に着目したものが殆どである。例えば2014年に土砂災害の発生した広島市安佐南区の扇状地^{4, 6)}では、谷出口から直線的に延びる道路とそれに直交する道路が多く存在すること、道路沿いに整然と建物が存在して、建物密度が比較的高い特徴が見られる。以降、このような地域を「住宅地」と呼ぶ。一方で、筆者らがこれまで検討対象とした京都府亀岡市の郊外の土石流警戒区域^{8, 9)}では、扇状地で農業活動のために田畑や流路が配置され、その周辺に建物や道路が整備される。建物密度が疎で、道路も直線的ではない点が住宅地と大きく異なる。このような地域を以降、「農地」と呼ぶ。

しかし、農地と住宅地の土地利用の違いによる扇状地での土石流挙動を検討した事例は殆どない。住宅地を対象とした既往検討では、建物や道路を考慮できる詳細な解像度の地形データを用いた解析が実災害に近い土石流挙動を表現することを示し⁴⁾、最近の検討では土石流溪流から延びる流路が存在する住宅地について小・中規模の土石流では流路が表現される詳細な解像度の地形データが土石流挙動を表現するために望ましいことを示した¹⁰⁾。しかし、農地の土地利用に着目した詳細な検討はなく、土地利用を考慮した扇状地における解像度の異なる地形データを用いた総合的な土石流の影響範囲や適切な解像度の検討までは行

われていない。

本研究では、扇状地の農地と住宅地における土地利用の差、すなわち田畑の有無や建物・道路の配置などによる地形の変化に着目して、2014年広島土砂災害と同規模の土石流数値シミュレーションにより、扇状地における到達範囲や挙動を検討した。解析では解像度の異なる地形データや適切な計算格子の検討も行った。

2. 対象地と計算条件

本研究では、GISと連携した土石流シミュレーションシステム Hyper KANAKO¹¹⁾で解析を行った。このシステムは抵抗則や侵食堆積速度に高橋モデル¹²⁾を採用し、谷部の一次元領域から扇状地の二次元領域までを連続的に扱える結合モデル¹³⁾を採用している。本検討では石礫型の土石流を対象とした。

2.1 対象地の概要

(1) 農地

本研究では、農地として京都府亀岡市千歳町の土石流危険溪流の中で^{8, 9)}、山側の扇状地部に田畑が多く存在し、建物密度が比較的低な溪流を対象とした。

なお、筆者らは既往検討⁹⁾で国土地理院の公開する10 m メッシュの地形データを用いて、計算格子5 m で建物の有無ならびに隣接溪流から同時多発する土石流イベントの影響範囲やソフト対策を検討した。しかし、10 m メッシュの地形データでは田畑の位置や形状が詳細に表現されず、扇状地内の建物や細い道路が5 m の計算格子では表現されない部分があった。そこで、本検討では関係各位の協力を得て、UAVによる解像度0.5 m の地形データを取得した。建物などの地盤高を除いたDEM (Digital Elevation Model) データ並びに建物高までを考慮したDSM (Digital Surface Model) データの二種類を作成した。ただし、樹木の多い山間部上流側や下流側の一部は、国土地理院の公開する5 m メッシュの地形データを基に作成している。

Fig. 1に対象溪流ならびに計算領域を示す。

Fig. 1の背景図は、扇状地の中心部 (Fig. 1点線内部)は本研究で取得したオルソ画像で、0.5mメッシュのDEMとDSMはこの範囲の計測データから作成した。なお、Fig. 1の山間部の上流側と下流側の一部の背景は淀川河川国道事務所に提供頂いたオルソ画像で、この範囲は国土地理院の5mメッシュの地形データを採用している。Fig. 2にUAVで撮影されたデータから作成したDEMとDSMの地形モデルを示す。撮影されたFig. 1点線の外縁よりも、東西方向にやや内側までの範囲の地形モデルが作成された。

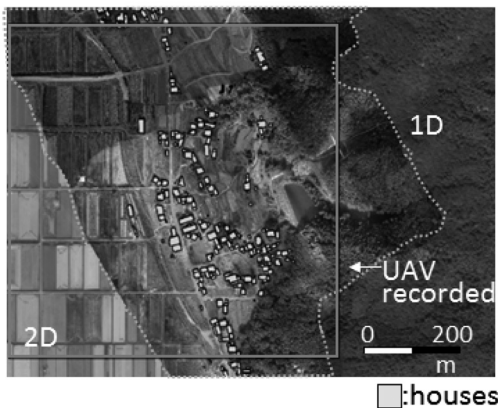


Fig. 1 Debris flow simulation target for Kameoka, farming area (dotted line shows UAV recorded outline)

谷部の一次元領域は既往検討⁹⁾とほぼ同様の範囲となるように設定し、過去に亀岡で発生した土石流や既往検討を参考に河道幅10m、移動可能土砂厚2m、計算点間隔5mで76点、移動可能土砂量は7,600 m³ (空隙込)とした。二次元領域は作成したDEMとDSMが広く含まれるように設定 (Fig. 1四角)した。住宅地と比べて建物密度は疎だが、多くの建物は道路沿いに位置する。境界部付近には砂防堰堤が存在するが、本検討では地形データの違いによる土石流の影響範囲を検討するため、堰堤下流からの地形形状のみを考慮する。

本地域では、土地利用に着目した田畑の存在による影響、田畑の周辺に位置する建物や細い道路の影響までを検討することを目的として、解析に用いる計算格子は1mと、既往検討で用いられた5mの二種類で、基とする地形データをDEMとDSMの二種類を用いた4ケースで行った。計算ケースをTable 1に示す。

(2) 住宅地

本研究では、住宅地として2014年広島土砂災害で土石流の発生した阿武里団地⁴⁾を対象とした。既往検討⁴⁾では同じ対象地で広島土砂災害前に取得された解像度1mのDEMを用いた計算格子2mの解析で、建物考慮の有無による影響範囲の違いや災害状況との比較を行い、建物を考慮し

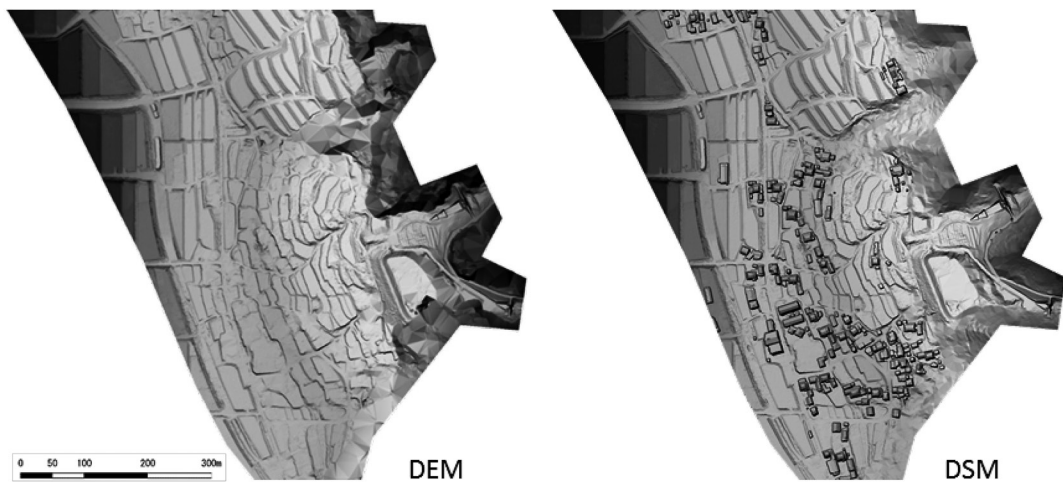


Fig. 2 DEM (left) and DSM (right) made from UAV recorded data

Table 1 Simulation cases with different landform resolution in farming area

Case	Landform data	2D simulation mesh	Note
1	DEM	1 m	Without houses
2	DSM	1 m	Consider houses
3	DEM	5 m	Without houses
4	DSM	5 m	Consider houses

たケースの方が実災害に近いことを確認している。しかし、計算格子による建物・道路などの地形表現の影響までは検討されていない。

本検討では、異なる計算格子による土石流挙動の違いを把握する。更に、土地利用の異なる農地と住宅地での比較を行うことを目的とした。

Fig. 3に対象範囲を示す。地形データは広島土砂災害前の解像度1mのDEMデータを用いた。背景画像は災害後オルソである。建物は災害後オルソや国土地理院の国土基盤情報を基に典型的な2階建てを想定して高さ6mとして地盤高から補正した。建物位置を合わせて**Fig. 3**に示す。

計算格子は農地部と同様の1mと5m、更に既往検討⁴⁾と比較できるよう2mの三種類で、建物考慮を行った地形データを用いた解析を**Table 2**のように実施した。次元領域の山地溪流や河道幅を既往検討⁴⁾と同様に災害状況¹⁾から設定し、移動可能土砂は次元領域に2m厚さで22,000 m³ (空隙込)とした。

2.2 計算条件

Hyper KANAKO の計算で用いる代表粒径と河床の容積濃度は、既往検討や災害状況を基に農地の亀岡^{2,9)}では0.1 mと0.65、住宅地の広島^{1,4)}では0.2 mと0.6を採用した。その他は**Table 3**に示す共通のパラメータを採用した。

土石流シミュレーションでは、供給ハイドログラフの設定が結果に大きく影響する要因である。流域面積10 km²以上などの広い河川流域では、流出解析や合理式によりハイドログラフを推定する

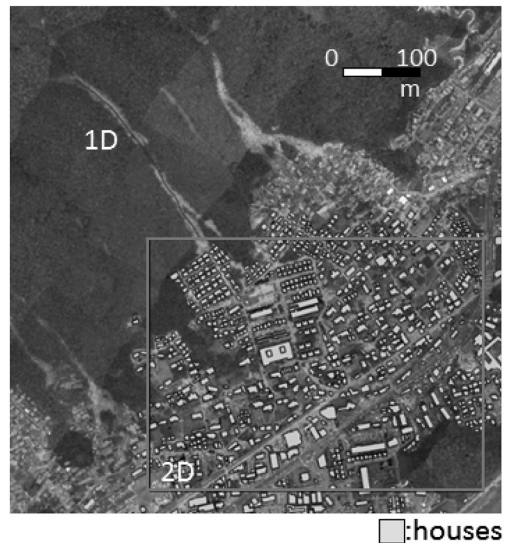


Fig. 3 Debris flow simulation target for Hiroshima, housing area

Table 2 Simulation cases with different landform resolution in housing area

Case	Landform data	2D simulation mesh	Note
5	DEM	1 m	Consider houses
6	DSM	2 m	Consider houses
7	DEM	5 m	Consider houses

Table 3 Simulation parameters

Parameters	Value	Unit
Simulation time	600	s
Time step	0.01	s
Diameter of material	0.1 (farming) 0.2 (housing)	m
Mass density of bed material	2650	kg/m ³
Mass density of fluid phase	1000	kg/m ³
Concentration of movable bed	0.65 (farming) 0.6 (housing)	
Coefficient of erosion rate	0.0007	
Coefficient of deposition rate	0.05	
Manning's roughness coefficient	0.03	s/m ^{1/3}

手法が用いられるが、それらの手法では流域の小さな山地河川で発生した土石流の流量との整合性が取れない場合があることが知られている。本検討では、雨量と流域面積から推定する手法^{4,9)}を採用し、2014年の広島土石流災害規模を想定した。広島災害の247 mm (24時間雨量)の降雨が各溪流(流域面積: 亀岡0.1 km², 阿武里0.11 km²)に流出率0.7 (山地)で流出した総流量を算出し、日本の土石流観測事例から^{例えば¹⁴⁾}、継続時間を360秒(ピーク継続時間を240秒)として供給ハイドログラフを作成した。上流からは水のみを供給して、設定した移動可能土砂が侵食されて土石流が発生・発達するシナリオを想定した。供給ハイドログラフを Fig. 4に示す。

なお、両者とも二次元領域には移動可能土砂を設定しない固定床条件とした。

3. 計算結果

計算終了時における亀岡と広島(各計算格子における水深+堆積厚の最大値)を Fig. 5, 6に示す。結果は二次元領域全体を上段に、ならびに比較が行いやすいよう上流側を拡大した結果を下段に示す。痕跡 H を前述のように定義したのは、堆積が生じると河床高が初期状態から変わることから、最大流動深だけでは実際に水・土砂が到達する影響範囲や最大水位が表現できないためである。阿武里団地は谷出口付近での災害後の堆積厚が報告されているため、計算終了時の上流側での堆積厚 (Fig. 7 上段) と災害結果 (Fig. 7 下段) を示して比較検証した。

3.1 農地での計算結果

農地の亀岡の結果 (Fig. 5 上段) から、二次元領域下流で土石流の到達範囲が南東、北西方向に直線状に分布している。これは二種類の地形データを繋げて計算した影響と考えられる。図中の写真の濃淡の違いは撮影時期の違いを示す。2.1に記載したように、データ作成範囲は撮影範囲よりも狭い。本検討で用いた2017年10月に取得した地形データでは、夏期にレーザ計測された国土地理院のデータと比較して田圃の地盤高が平均して約

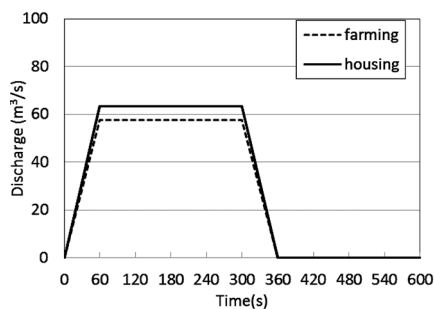


Fig. 4 Supplied hydrograph from upstream

0.3 m 低かった。一般に、レーザ計測により得られる地形データでは植生の影響は取り除かれ、田圃のエリアは稲穂や水面の影響が出ないようフィルタリングされている。この差は、取得したデータは稲穂が刈られていた収穫期のため、より正確に地上面を計測できた影響と考えられる。このため、地形データの境界を超えて西側に流れることはなく、地盤の低い DEM や DSM の北側に流れが向かったと推測される。以降では、撮影時期の差による影響は本研究の趣旨と異なるため言及しない。

二次元領域全体では、全体的な到達範囲は Case 4 で他のケースと比較してやや狭く、南側への到達が最も少ない。Case 1 と 2 は範囲や痕跡の分布が近く、下流まで局所的に数値の高い範囲、特に 20-50 cm を示す範囲が下流側や流れの横断 (南北) 方向まで多く分布する。Case 3, 4 では谷出口から接続する二次元領域の中心部が主流部となり高さが 100 cm 以上を示し、周囲よりも高くなる。Case 1 や 2 でも 100 cm 以上の主流部は見られるが、その範囲が Case 3, 4 よりも小さい。また Case 3, 4 では主流部の周囲には、主流部からの距離が遠くなるほど高さが小さくなり、下流側や横断方向での痕跡の外縁付近は 20 cm 以下が多く、Case 1 や 2 で見られた局所的に 20-50 cm が分布する傾向は見られない。なお、既往の解像度 10 m の地形データを基にした計算格子 5 m の結果では⁹⁾、供給ハイドログラフが本検討より小規模な影響や、本検討の地形データ境界付近における北方向への氾濫・堆積を除くと、谷出口付近

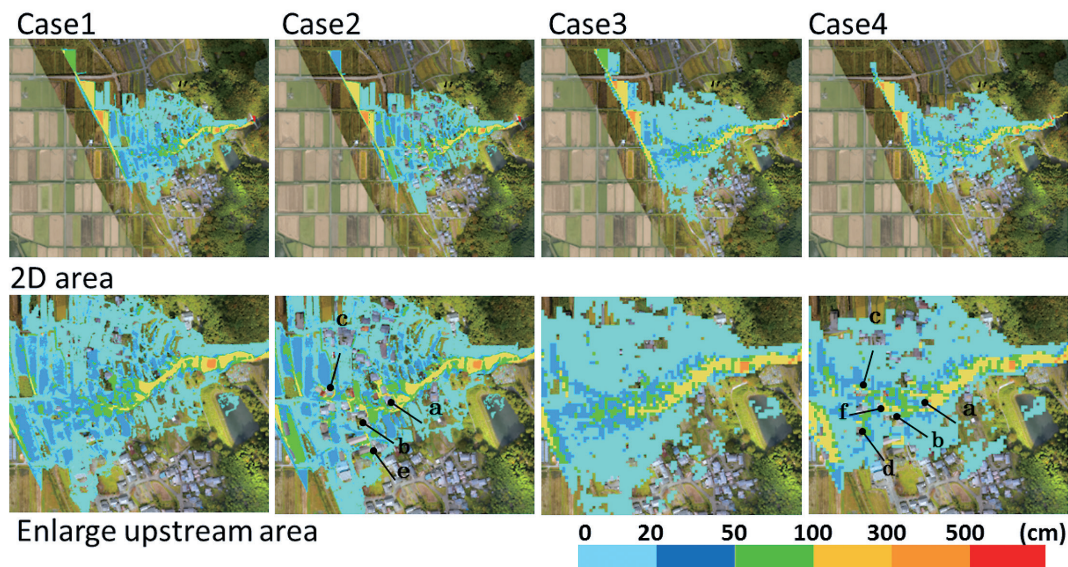


Fig. 5 Result of maximum flow depth and deposition thickness in farming area

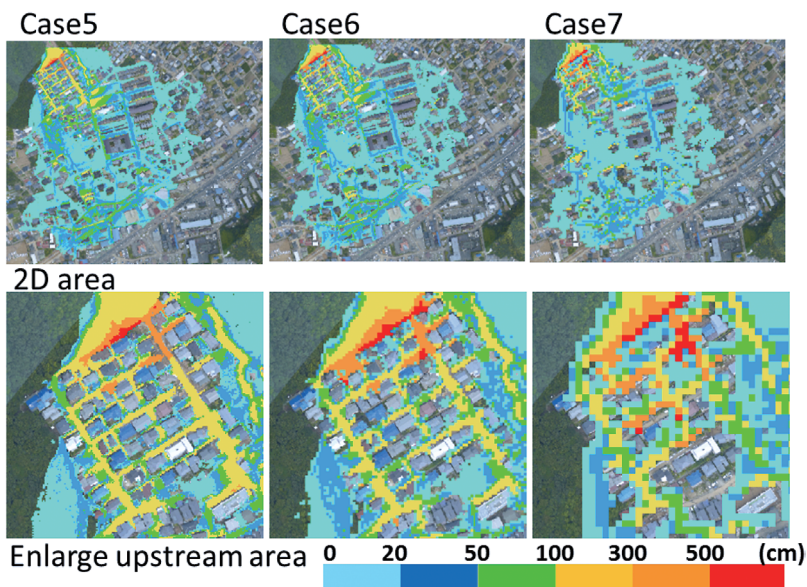


Fig. 6 Result of maximum flow depth and deposition thickness in housing area

から府道亀岡園部線までの範囲 (Fig. 5下段の拡大した下流付近まで) は Case 3, 4に近い到達範囲や痕跡の分布を示していた。このことから、農地部での到達範囲や痕跡分布は、基の地形データだけでなく計算格子の大きさが影響することがわか

る。

次に、扇状地の土地利用や地形データの差を Fig. 5下段にある谷出口付近の拡大図で考察する。建物考慮の影響を比較すると (Case 1と3が無し、Case 2と4が有り)、建物を考慮する DSM

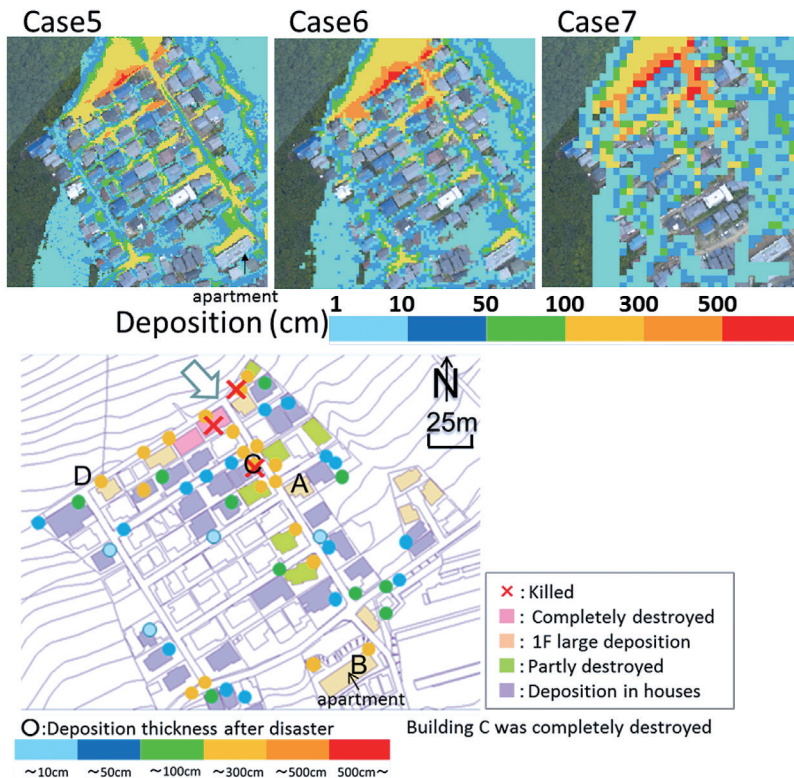


Fig. 7 Result of deposition thickness after the simulation in housing area (upper) and disaster report details (below, modified from Nakatani et al, 2017)

では建物位置まで流れが到達すると、流れが阻害されて、横断方向に流れが変化する。また、建物上流部で痕跡 H が局所的に大きく、土砂堆積も増える。この結果は、住宅地と同様の傾向である。計算格子の差を比較する (Case 1 と 2 は 1 m, Case 3 と 4 は 5 m) と、DSM で計算格子 1 m は建物間の狭い道路が表現されることから、流下経路が道路沿いに変化する (Fig. 5 下段 Case 2 の a や b 周辺, e など) 結果を得た。また、Case 1, 2 では田圃で周囲と比較して高い 20-50 cm の痕跡の範囲が表現されて、土石流が到達すると水・土砂が溜まったと推測される (Fig. 5 下段 Case 1, 2, で c より北側や西側)。

田圃は山間部で階段状地形を呈して遊砂池のように土砂を堆積させる場合があるが、土砂災害事例の報告に留まり^{例えは15)}、定量的な検討は殆どない。水田の雨水貯留を考慮した検討^{例えは16)}はある

が、土砂災害が起こる降雨規模では貯留効果は殆どないと考えられる。一方、土石流挙動には勾配変化が影響するため、平らな地形が広がる田畑では流れの抵抗が大きくなり、堆積が進むと推測され、その現象が本検討の Case 1, 2 で示されている。今後は、災害状況や実験により本検討の妥当性を検証するための知見を収集する必要がある。

また、建物を考慮した DSM による Case 2 と 4 では建物の周辺は最大 100-300 cm で殆どは 50 cm 以下を示し、既往検討で見られた局所的に顕著に高い痕跡は見られなかった。これは、対象地は建物が谷出口から距離のある、扇状地の下流側に位置するためである。また、計算格子 1 m の Case 2 や Case 1 では、100-300 cm を示す流れの主流部の位置から、上流では北方向に向かって 20-50 cm の、下流では 20-50 cm や一部では 50-100 cm の周囲と比較して痕跡の高い範囲が見られ、この

範囲は田圃に相当する。特に Case 2では上流でも田圃に土石流の水・土砂が流入することから、下流まで到達する土石流が Case 4と比較して少なくなったことも推測される。

Case 2, 4の局所的な土石流の挙動を、Fig. 5下段の図中に示した地点 a～fを用いて考察する。両者で、aの建物の上部で局所的な痕跡の上昇が確認できる。流下経路は Case 2では b→cの流下だけでなく b→e 方向の流下が確認できる。土石流は bの建物に到達すると流れが阻害されることで北側と南側へ流下したためと考えられる。Case 4は建物に沿った b→c 方向の流下も確認できるが、d 付近で高い痕跡が見られる。d への流下経路は、建物間の狭い道路が Case 4の計算格子 5 m では表現されなかったために、Case 2では経路とならない f を流下したと考えられる。また、Case 4は b→e の流下が確認できなかったのも、f を通って d へ流下した影響と推測される。

農地の検討では、建物考慮の有無が異なる DEM と DSM の地形データの差よりも、計算格子 1 m と 5 m の差が大きく現れた。1 m では田圃での停止・堆積や主流路を示す範囲が小さく示されて、全体の到達範囲や痕跡分布に違いが見られた。

また、建物を考慮した DSM では 1 m の計算格子では建物間の狭い道路を土石流が移動することが確認されたが、5 m では細い間隔が十分表現されないことにより、1 m の DSM とは異なる経路での流下が見られる場所があった。

3.2 住宅地での計算結果

建物を考慮した Case 5-7の計算格子による差を比較すると、二次元領域上流の谷出口から山に最も近い上流側の家屋群の間までは、100 cm 以上の痕跡 H を示す範囲が計算格子 1 m の Case 5 と 2 m の Case 6で広く、5 m の Case 7ではやや狭い。同じ範囲の中で 300-500 cm や 500 cm 以上の範囲は Case 5よりも Case 6でやや上流側にも横断方向にも大きい。一方、下流側で痕跡 H が 20-50 cm 及び 50-100 cm の範囲は Case 5, 6で大きく、Case 7では両者と比較して小さい。これは、計算

格子が大きいと住宅地内の建物や道路を十分に表現できず、特に住宅地内の細い道路を土石流がスムーズに通過できず、横断方向に経路を変える箇所が多いためと推測される。そのため、上流から東方向へ到達した 20 cm 以下の範囲は Case 5と比べて Case 7で広く見られ、この傾向は Case 6と 7に近い。

上流部を拡大した Fig. 6下段では、Case 5では痕跡 H が 500 cm 以上の箇所は建物より上流側のみ存在するのに対して、Case 6, 7では山裾から離れた住宅地の内部にも分布して、Case 7ではより下流側まで住宅地内で点在する。また、谷から延びる道路 (Fig. 7下段参照) では、Case 5では上流側では 300-500 cm、中流 (Fig. 7下段の C 地点) より下流から集合住宅 B まで 100-300 cm が一様に分布するのに対して、Case 6では C より上流で 300-500 cm、下流から B までの大部分は 100-300 cm が分布するものの一部で 100 cm 以下も存在する。Case 7では C より上流では 300-500 cm や一部では 500 cm 以上が分布し、その下流では Case 5, 6と比較して道路上をスムーズに移動せず、主要経路となった計算格子は主に 100 cm 以下が分布する。この道路は C 地点付近で幅が狭く、5 m の計算格子ではその間隔を表現できず、流れが停止してその影響で横断方向に到達範囲が広がり、Case 5, 6, と比較すると C から西方向への住宅内部への移動が確認できる。また、住宅内部の建物や道路も 5 m 格子の Case 7は十分に表現されないため、他のケースと比較して広い範囲に高い値 (一部は 300-500 cm や 500 cm 以上) が確認される。

計算結果を実際の災害状況 (Fig. 7下段⁴⁾に³加筆修正) と比較すると、矢印で示された谷出口から A, B へ続く道路上の両側に被害の大きい建物が集中することや、B の建物の上流で周囲と比較して大きな痕跡 H を示して顕著な被害が生じる点は、Case 5や 6の結果が対応する。計算終了時の堆積厚と災害状況の比較からも、谷出口から A, B へ続く道路で堆積厚が大きいことや B の建物の上流で 100-300 cm の堆積が見られることなど、Case 5や 6が対応している。

Fig. 7下段に示す上流の西側 D 地点より下流に

延びる道路や、その道路に面する建物被害、堆積厚の分布の比較からも、Dの下流の交差点で周囲よりも高い100-300 cmの堆積が確認できるCase 5や6が災害状況と対応する。Case 7はDから道路へのスムーズな移動も見られず、道路途中で100-300 cmの堆積が一部で見られ、交差点での局所的に高い堆積も表現されていない。

建物を考慮した計算格子1 mと2 mでは、被害の大きい箇所や局所的に異なる堆積分布、道路や細い建物間への土石流の流動・堆積も表現されて、災害状況もよく説明された。土石流が発生した際の扇状地の危険度は、地方自治体が示す警戒区域では勾配や災害履歴を基に設定され、谷に近い箇所だけが危険だと一般に認識されやすい。しかし、検討対象のように谷出口付近に建物や道路が位置する場合は、局所的に大きな流動深や堆積を示す箇所の発生や、道路上の土石流の移動が起こり得る。一方で、上流側の建物により流れが阻害されて谷から近いエリアでも二列目、三列目の建物では被害が少ないことや、谷から離れた下流でも道路を経路として大きな流動深・堆積が見られる箇所があるため、谷からの距離だけでなく建物や道路の配置などの土地利用を考慮することが求められる。今後も土石流の規模や建物・道路の配置による影響を検証する必要があるが、建物・道路が表現される1 m、2 mの計算格子が住宅地の解析に有効であることが示された。一方で、5 mの計算格子では建物を考慮しても1 mや2 mの格子と比較すると、道路での挙動などが十分に表現されない箇所があることが示された。

本検討の住宅地は、道路沿いに土石流が流下するため、道路の再現性が氾濫範囲や下流まで到達する土砂と水の量に大きく影響する。計算格子に対して道路は必ずしも平行・垂直に位置しないことから、Hyper KANAKOのような正方格子を用いる計算では、計算格子と比較して道路幅が同程度や小さい場合は適切に表現することが難しくなる。本検討でも主要な経路となった道路幅が狭くなる箇所が存在することや、設定した計算格子に対して道路が平行でなかったことから、5 mの計算格子では建物を考慮することで相対的に低い

道路は表現されたが、1 mや2 mの計算格子と比較すると十分に表現されない場所が多く挙動に違いが生じたと推測される。

4. おわりに

本検討では、扇状地の農地と住宅地の土地利用の違いによる地形変化に着目して、2014年広島土砂災害と同規模の土石流数値シミュレーションを実施して、扇状地における到達範囲や挙動を検討した。解析では異なる地形データや計算格子を用いて、適切な解像度や設定方法を検討した。

農地では土地利用として田圃が多く存在していた。詳細な計算格子で田圃が表現されると、土石流が田圃に到達すると高い痕跡となり、田圃内に水・土砂が移動したと推測された。また、地形データの計測時期が下流側の挙動に影響する結果も得た。建物を考慮した場合、建物に阻害されて横断方向に回りこむ挙動や、建物上流で周囲と比較して大きな痕跡も確認されたが、谷出口から離れた位置にあり、建物密度も疎であるため、住宅地のような著しい違いは見られなかった。また、建物間の細い経路の移動は1 m計算格子の建物を考慮したDSMで見られた一方、5 mのDSMでは細い経路が表現されないために、1 mDSMとも5 mDEMとも異なる経路を示した。田圃や主流路などを適切に表現するには1 mの計算格子がふさわしく、下流の建物や建物間の狭い経路までを表現できるのはDSMである。農地の田圃での土石流挙動は、災害事例や実地形の情報収集や実験などを行い、本検討の妥当性の検証を引き続き実施する。

住宅地では、本検討対象は土石流が建物の間の道路沿いを流下するため、道路を適切に表現できる計算格子により、到達範囲や流下経路、局所的に大きな痕跡や堆積の分布が変わることが示された。計算格子1 mや2 mでは災害状況とよく対応する結果が得られたが、計算格子5 mでは道路が狭くなる箇所与实际と異なる結果を得た。また、道路幅と計算格子の大きさの対応や、道路の延びる方向と計算格子の方向が平行や垂直でない場合に、大きな計算格子では道路が適切に表現さ

れない場合があることから、道路幅よりも小さく、向きもある程度表現出来る大きさの計算格子の設定が重要である。今回の検討では1 m, 2 mとも道路を表現して、災害状況に近い結果が得られた。

計算格子は本検討では1 mや2 mの詳細なサイズが、いずれの土地利用でも実災害に近いと推測される挙動を示した。ただし、詳細な計算格子では計算コストが大きくなるため、危険範囲の外縁を知りたいのか、詳細な危険度分布までが必要か等、目的に適した設定が必要である。更に、計算格子は土石流規模に適したサイズを設定する必要があるため、深層崩壊由来などの大規模な土石流を検討する際に、詳細な計算格子を用いるには留意が必要である。

謝辞

本研究は、一般財団法人砂防・地すべり技術センター、公益財団法人関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団の研究助成を受けたものです。京都府亀岡市ならびに千歳町の関係各位には本研究の遂行にご協力頂いた。国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所には災害前後の貴重なDEMデータを提供して頂いた。国土交通省近畿地方整備局淀川河川国道事務所には貴重なオルソ画像を提供して頂いた。また、国際航業株式会社の関係各位には詳細な地形データの取得・活用についてご協力頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 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・福塚康三郎・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.
- 2) 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.17-27，2014.
- 3) 中谷加奈・小杉恵・里深好文・水山高久：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－，自然災害科学，Vol.34，特別号，pp.77-86，2015.
- 4) 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－，砂防学会誌，Vol.69，No.5，pp.3-10，2017.
- 5) 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.
- 6) 竹林洋史・藤田正治・江頭進治：2014年8月に広島で発生した土石流の流動・氾濫特性，京都大学防災研究所年報58(A)，pp.34-39，2015.
- 7) 広島県砂防課，土砂災害ポータルひろしま <http://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/top.aspx>，2018年4月3日
- 8) 土砂災害警戒区域等情報マップ(京都府・市町村共同統合型地理情報システム) <http://g-kyoto.gis.pref.kyoto.lg.jp/g-kyoto/top/select.asp?dtp=706&pl=3>，2018年4月3日
- 9) 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，自然災害科学，Vol.35，特別号，pp.67-79，2016.
- 10) 中谷加奈・里深好文：土石流の規模と地形データの解像度が到達範囲に及ぼす影響，土木学会論文集B1(水工学)Vol.74，No.4，pp.I_1201-1206，2018.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 池田暁彦・門馬直一・堀内成郎・山田利治：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.31-38，1998.
- 15) 建設省土木研究所：昭和61年7月京都府南部土石流災害調査報告書，土木研究所資料，第2543号，1988.

- 16) 原田守博・大森美喜夫・森 富雄・藤澤 悟：
水田貯留による雨水の流出抑制効果とその強化
方策に関する現地実験，水工学論文集，Vol.52，
pp.469-474，2008.
- (投稿受理：平成30年4月6日
訂正稿受理：平成30年7月4日)

要 旨

日本の扇状地の土地利用には住宅地と農地がある。住宅地の既往検討から、土石流の到達範囲には建物や道路が影響し、それらを表現できる詳細な地形データが解析で有効と示されてきた。しかし、農地を対象とした検討は殆ど無く、土石流解析のための適切な地形データや解像度の検討も行われていない。本研究では Hyper KANAKO システムを用いて、農地と住宅地を対象に土石流解析を行い、異なる地形データによる到達範囲や挙動の違いを検討した。結果から農地では、DEM と DSM を用いることによる到達範囲の外縁に大きな差は見られなかったが、詳細メッシュでは田圃で周囲よりも高い流動深・堆積が見られた。どちらの土地利用も、詳細な 1 m メッシュを用いた結果で、実災害に対応するような土石流の到達範囲や挙動が確認された。