

# 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—

STUDY ON DEBRIS FLOW FLOODING AND DEPOSITION CONSIDERING THE  
HOUSES INFLUENCE: DEBRIS FLOW OCCURRED IN THE DOI RIVER, ASO  
CITY, KUMAMOTO PREFECTURE IN JULY 2012

中谷 加奈<sup>1</sup>・小杉 恵<sup>2</sup>・内田 太郎<sup>3</sup>・里深 好文<sup>4</sup>・水山 高久<sup>5</sup>  
Kana NAKATANI, Megumi KOSUGI, Taro UCHIDA, Yoshifumi SATOFUKA  
and Takahisa MIZUYAMA

<sup>1</sup> 京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: kana2151@kais.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup> 京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: m3k0sugi@kais.kyoto-u.ac.jp

<sup>3</sup> 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: uchida-t92rv@nilim.go.jp

<sup>4</sup> 立命館大学理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail: satofuka@se.ritsume.ac.jp

<sup>5</sup> 京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: mizuyama@kais.kyoto-u.ac.jp

**Key Words:** debris flow, houses influence, Doi River, numerical simulation, Hyper KANAKO

## 1. はじめに

土石流による災害を防止・軽減する方法には、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に分類される。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には長い時間と多額の経費を要し、土石流の危険箇所を把握して氾濫・堆積範囲を予測するソフト対策が重要となる<sup>1)</sup>。

扇状地は土石流の氾濫・堆積で形成された領域であり、家屋が存在すると氾濫・堆積過程に影響すると考えられるが、家屋の影響を考慮した検討は少ない。土石流の流下・堆積範囲を検討する際、従来のように地形データを数十 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。近年では、DEM (Digital Elevation Model) や LP (Laser Profiler) データ

の整備・活用が広まり、砂防の保全対象エリアで数 m メッシュのデータを、比較的容易に取得できるようになってきた<sup>1)</sup>。

また、最近の研究で土石流数値シミュレーションでも家屋の影響を考慮した検討が実施され始めている<sup>1)-5)</sup>。朴ら<sup>2)</sup>や永野ら<sup>3)</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た手法で実災害との比較を行っている。中谷ら<sup>1), 4)</sup>や増野ら<sup>5)</sup>は、家屋のある地点で地盤高を補正する手法を提案し、数値計算と実験<sup>1), 5)</sup>・実災害<sup>4)</sup>との比較を実施している。

本研究では、阿蘇市土井川で発生した土石流災害<sup>6)</sup>・<sup>8)</sup>を対象として、土石流の氾濫・堆積状況と家屋の被害状況の分布の対応を整理し、数値シミュレーションを実施した。数値シミュレーションには、GIS と連携した Hyper KANAKO システムを適用し<sup>9)</sup>、家屋の地盤高を補正する手法で、集落における家屋の存在による氾濫・堆積過程の違いを検証した。

## 2. 平成 24 年 7 月に熊本県阿蘇市土井川で発生した土石流

平成 24 年 7 月、九州北部豪雨により九州の各地で豪雨が発生し、阿蘇城山雨量観測所では 7 月 12 日に最大 1 時間雨量 105 mm、最大 24 時間雨量 449 mm を記録した。この観測所に近接する熊本県阿蘇市一の宮町に位置する土井川では、この豪雨によって人家裏の溪流より土石流が発生して死者 1 名、全壊 12 件(人家 9 件、非住家 2 件、公共施設 1 件)の被害が生じた<sup>6)-8)</sup>。

### (1) 流域の概要

土石流の発生した土井川は、土石流危険溪流に指定されており、流域面積は 0.3km<sup>2</sup> である。谷出口には古い粗石堰堤や谷止工が設置されていたが土石流により破壊されたことや、侵食の著しい区間では、幅 10-20m 程度、高さ 8-10m 程度の侵食が、災害後に確認されている<sup>7)</sup>。

### (2) 家屋の被害状況

被災流域の被害状況を整理し、図-1 左に土石流の氾濫範囲(但し、氾濫範囲の外縁は災害後に撮影された斜め写真より推定した、顕著な土砂堆積が見られた範

囲でもある)と家屋の破壊状況を、図-1 右に土砂の堆積厚の分布を示す。図-1 左の正方形で示された家屋及び建物(公民館や納屋等の非住居建物も含むが、以後全て家屋と呼ぶ)中に示した 1~19 の番号は、以下の考察で用いる家屋位置を示す。なお、土石流の流下範囲にあたる図中に示した家屋はほぼ全て木造(15 は鉄骨、17 は不明)であった。1-19 の家屋位置の相対標高(最も低い位置の家屋 16 を標高 0 と仮定し、家屋位置の標高はその地点の地盤高の平均値とした)と被害状況を表-1 に示す。図-2 には土石流の推定進路(実線矢印)と家屋位置の関係(破線矢印、矢印の方向に向かって標高が低くなる)を示す。

谷の出口に近い家屋(1-3)は土石流の直撃によって全壊している。家屋 4 は 3 と比較して標高が高い位置であるため、谷出口に近いが被害は一部損壊と小さい。家屋 5 も 4 より低いが高周囲と比べると比較的高い位置にあるため、半壊であったと推定される。

土石流は家屋 3 に到達した後は、標高の低い南側へ流出し家屋 9、10、11、17 を破壊した。土石流の主な進行方向は図-2 実線矢印のように、谷に流出した後は流路沿いに南方向(地図の下方向)に流出している。堆積は、流路沿い及び家屋 1、2 の上流側や家屋 3、家屋 17 の上流側で特に顕著であった。

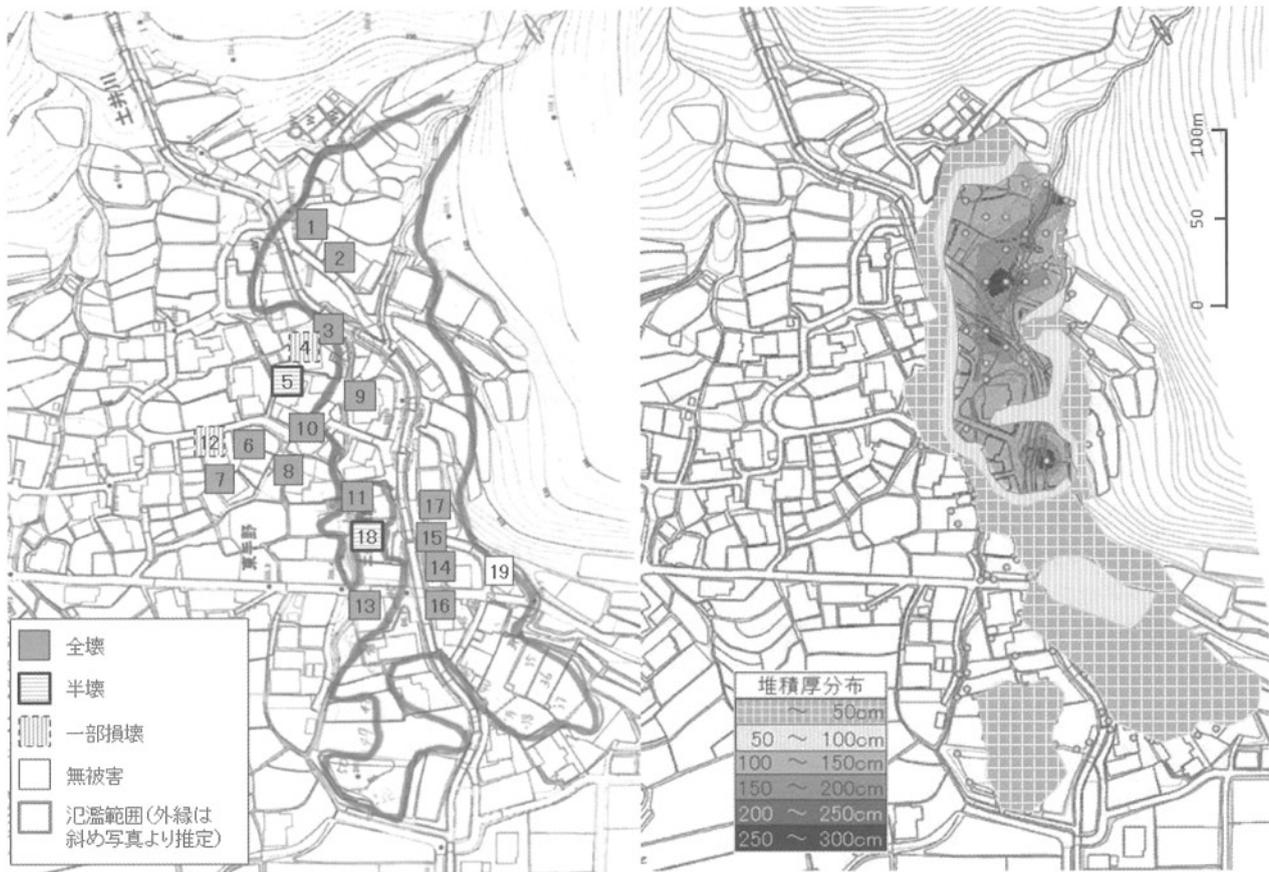


図-1 土井川の家屋の破壊状況(左図)と堆積厚分布(右図)。

表-1 家屋 1-19 の相対標高（最も低い 16 の位置を 0 とする、標高は家屋の位置の平均）と被害状況。

家屋番号	相対標高(m)	被害状況	備考 (被害原因等)
1	27.0	全壊	直撃による被害。上流側は 1F 埋没、土砂・流木 3m 堆積。柱が一部倒れる。構造は残るが左右岸、下流側の壁が抜ける。
2	25.8	全壊	直撃による被害。柱や構造が残っていない。
3	18.0	全壊	直撃による被害。柱が倒れている。(納屋)
4	18.3	一部損壊	左岸側の一部、壁が破壊。
5	14.9	半壊	浸水深 0.3m の痕跡。
6	11.1	全壊	堆積による被害、柱や壁は残っている。
7	7.7	全壊	(納屋)
8	9.0	全壊	柱・壁は残っている。
9	12.2	全壊	柱が倒れている。
10	11.4	全壊	壁は抜けているが、構造は残っている。
11	6.1	全壊	土砂堆積。上流側の壁破壊、構造は残っている。(公民館)
12	11.1	一部損壊	壁が抜けている、構造は残る。
13	1.5	全壊	流木の直撃。構造は残っている。左岸側の被害大きい。
14	1.9	全壊	流木・土砂の直撃。右岸側が被害大きい。
15	1.6	全壊	流木・土砂の直撃。(倉庫)
16	0	全壊	右岸側は壁が抜けている。
17	4.4	全壊	(納屋)
18	5.0	半壊	流木の堆積、集積。
19	0.7	無被害	



図-2 土井川の家屋位置関係と土石流の推定進路（凡例は図-1 左と同じ）。

標高がほぼ同じエリアに隣接して家屋が存在する場合には、谷出口や流れ方向に近い家の方が大きく被害を

受けている。6と12では6が全壊、12は一部損壊である。11と18では、11は全壊で18は半壊となっている。ただし、18の被害は流木が直撃したことによる。19の家屋は被害を受けていない。これは、地形的に見て19の家屋に強い流れが回り込まず、17の家屋を破壊した後は15、14、16と直進して流れが流下したためだと推察される。

図-1 左の太枠で囲まれた氾濫範囲、あるいは顕著な堆積範囲が大よそ被害の大きい(全壊)家屋位置の外縁となっている。この枠より外側で全壊となっているのは、家屋6~8、13だけであり、家屋6~8は構造や壁などは残っており上流側の1~3と比べるとそのダメージは幾分少ないようである。13は流木の直撃による被害であり、土石流本体とは異なる。

概ね、低い方に向かって流路沿いに流れているが、被害を受けた家屋の上流側で顕著な堆積が見られる点は、家屋が存在することによる影響と考えられる。また、家屋の位置は、同じ標高であれば谷や流れ方向から離れている方が、また谷側に別の家屋が存在する方が、堆積や被害度が小さい。このように家屋の位置や周囲の家屋配置が被害状況に影響すると考えられる。

### 3. 土井川を対象とした土石流数値シミュレーション

土井川を対象として、GISと連携したHyper KANAKOシステムを適用し<sup>9)</sup>、家屋の地盤高を補正する手法で、集落における家屋の存在による氾濫・堆積過程の違いを検証した。地形条件は災害前に計測されたDEMデータを利用した。また、谷出口付近に存在していた古い粗石堰堤や谷止工は、破壊されて下流へ土砂・水を通過させてしまっているため<sup>6)</sup>、本検討では考慮しない。

#### (1) 計算条件

Hyper KANAKOでは急勾配の山地河川を一次元領域として、扇状地などの緩勾配を二次元領域として計算する。土井川の計算では、図-3に示すように実線部を一次元領域、長方形で囲まれた領域を二次元領域として設定した。一次元領域の河道幅は災害後の報告を元に15mと設定した。

災害後の調査から、谷出口から住宅地に流出した土砂量は22,590 m<sup>3</sup>と報告されているため、一次元領域に移動可能土砂(空隙込)として設定した。本検討で設定した約150mの一次元領域に均等に侵食可能深(初期不安定土砂)として設定すると約10mとなり、これは災害報告で記された侵食深とも整合する。

一次元計算領域の上流端に供給するハイドログラフ

は、土石流が発生した7月12日の雨量を元に算出した。最大1時間雨量として記録された105mmの雨量が、流出係数0.7(山地)で<sup>10)</sup>流域(0.3km<sup>2</sup>)から流出したと仮定した際の総流量は、22,050m<sup>3</sup>である。過去の土石流発生事例や検討事例を参考に<sup>5)</sup>、土石流の継続時間を360秒(ピーク継続時間を240秒)として、ピーク流量73.5m<sup>3</sup>/sで図-4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。

その他のパラメータは表-2のように設定した。一様粒径で計算を実施し、礫分として集落で多く堆積した土砂の粒径は2~75mmとの報告から、粒径30mmを設定した。一方で、細粒分も多く含まれていたことから、流体相の密度は1,200kg/m<sup>3</sup>を採用した<sup>7)</sup>。侵食・堆積速度係数については、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。

家屋の高さを考慮しないCase1と、家屋の高さを考慮するCase2の2ケースで計算を実施した。Case2では図-1左に示した1~19の家屋について、家屋の地盤高を標準的な二階建てと仮定して、家屋の位置するメッシュを一律6m上げている。



図-3 土井川の計算領域(背景は災害前のオルソ画像)。

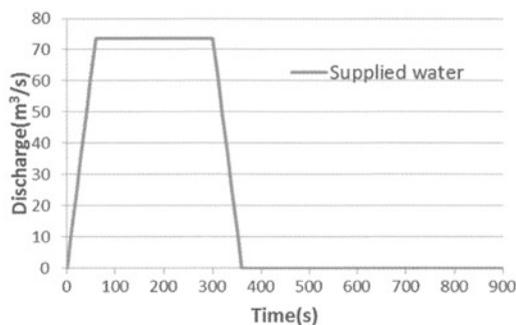


図-4 供給ハイドログラフ。

表-2 数値計算に用いた各パラメータ。

パラメータ	数値
計算時間(秒)	900
計算の時間間隔(秒)	0.01
粒径(mm)	30
砂礫の密度(kg/m <sup>3</sup> ) $\sigma$	2650
流体相の密度(kg/m <sup>3</sup> ) $\rho$	1200
河床の容積濃度	0.6
重力加速度(m/s <sup>2</sup> )	9.8
侵食速度係数	0.0007
堆積速度係数	0.05
マンニングの粗度係数(s/m <sup>1/3</sup> )	0.03
一次元領域の計算点個数	32
一次元領域の計算点間隔(m)	5
二次元領域の計算点個数(流下方向×横断方向)	141×84
二次元領域の計算点間隔(m×m)	5×5

## (2) 計算結果

(1)で示した条件で計算を実施した。計算終了時の痕跡(水深+堆積厚の最大値)を図-5に示す。

Case1(家無し)とCase2(家有り)を比較すると、痕跡について大きな違いは見られない。痕跡の大きいエリアが流路で、周辺でも局所的に大きな値が見られるところがあるが、横断方向や下流側にいくと小さな痕跡が広く見られる。下流側では田のあぜ道沿いの流れも確認される。右岸側への広がりや、痕跡の値は、若干Case1の方が大きい箇所も見られる。谷出口周辺の家屋が存在する領域(図-5右図の長方形で囲んだエリア、図-2に示した範囲)については、家屋を設定したCase2では、家屋の上流側及び下流側で家屋を回り込む大きな痕跡が見られる(A)。また、下流では家屋位置には痕跡が見られず、その周囲で高い痕跡が確認されるエリア(B)もある。また流路付近に家屋が存在することで、家屋よりも流路付近は高い痕跡を示すが離れたエリアは小さな痕跡しか示さないエリアも見られる(C)。

次に計算終了時における堆積厚変化を図-6に示す。堆積範囲はいずれのケースとも図-2で示した家屋1-19の範囲に限られていたため、計算領域全体ではなく、家屋周辺のみ(図-5右図の長方形、図-2の範囲)を示す。Case2については、家屋番号を図中に示している。

堆積厚も流路を中心として広がっているが、家屋を設置したCase2の方が若干範囲が狭く、上流側などで局所的に大きな堆積が見られる。特に家屋9の上流側(流路沿い)~家屋11, 18, 15, 17の間で3m以上や場所によっては5mを越える顕著な堆積が家屋有りのケースでは見られ、これは実際の災害後の堆積厚の傾向と対応している。また、家屋11や18よりも流路の右岸側にあまり堆積が広がらない傾向も、Case2では対応している。

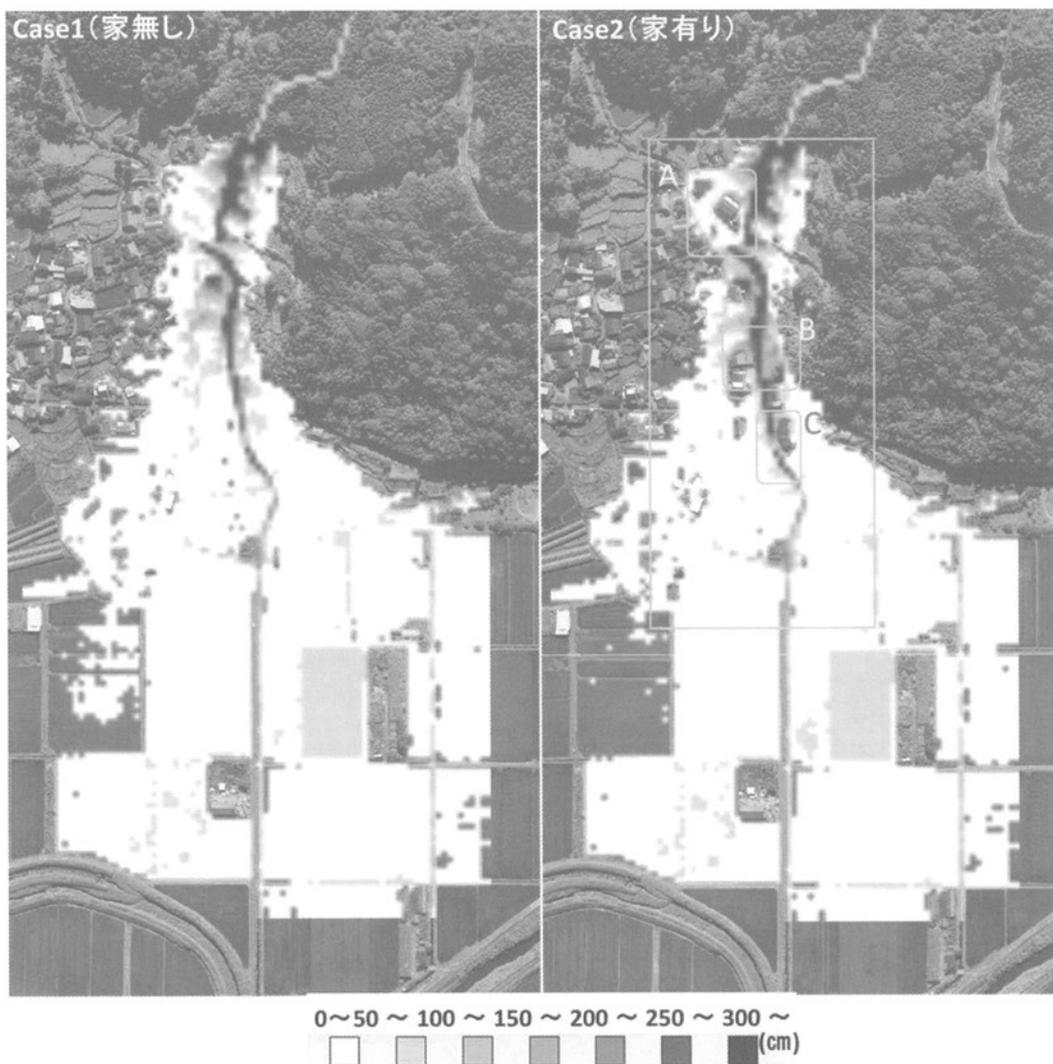


図-5 計算終了時の痕跡（水深+堆積厚の最大値）（左図：Case1 家無し，右図：Case2 家有り）

#### 4. おわりに

本研究では、平成24年7月12日に熊本県阿蘇市土井川で発生した土石流について、災害後の家屋被害の状況を整理した。また、家屋が存在する場合としない場合について、Hyper Kanako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、家屋を考慮した結果の方が、家屋周辺での顕著な堆積など実際の災害状況と近いことが示された。本検討では、家屋の地盤高を標準的な二階建てと仮定して一律6m上げて検討した結果、土石流の流れや堆積に大きく影響を及ぼすことがわかった。今後はより詳細な建物高さの情報を考慮して検証することが望ましいと考えられる。

より実現象に沿った精度の高い手法で危険範囲を抽出し、防災計画に活用することで被害を軽減するため

に、今後も家屋等の建造物の流動や堆積過程に及ぼす影響を示す情報を収集する。また、本研究では検討しなかった家屋周りの生垣や植込、塀などが存在する場合の影響や、更には家屋の破壊や部分的な（例えば一階部分だけ）破壊による土石流挙動の変化についても、考慮できるような手法を提案して、検証したい。

謝辞：国土交通省九州地方整備局にはDEMやオルソ画像を提供して頂いた。一般財団法人砂防・地すべり技術センターには土井川の土石流災害調査のデータを提供して頂いた。ここに記して感謝致します。また、本研究の一部はJSPS科研費24710206の助成を受けて実施した。

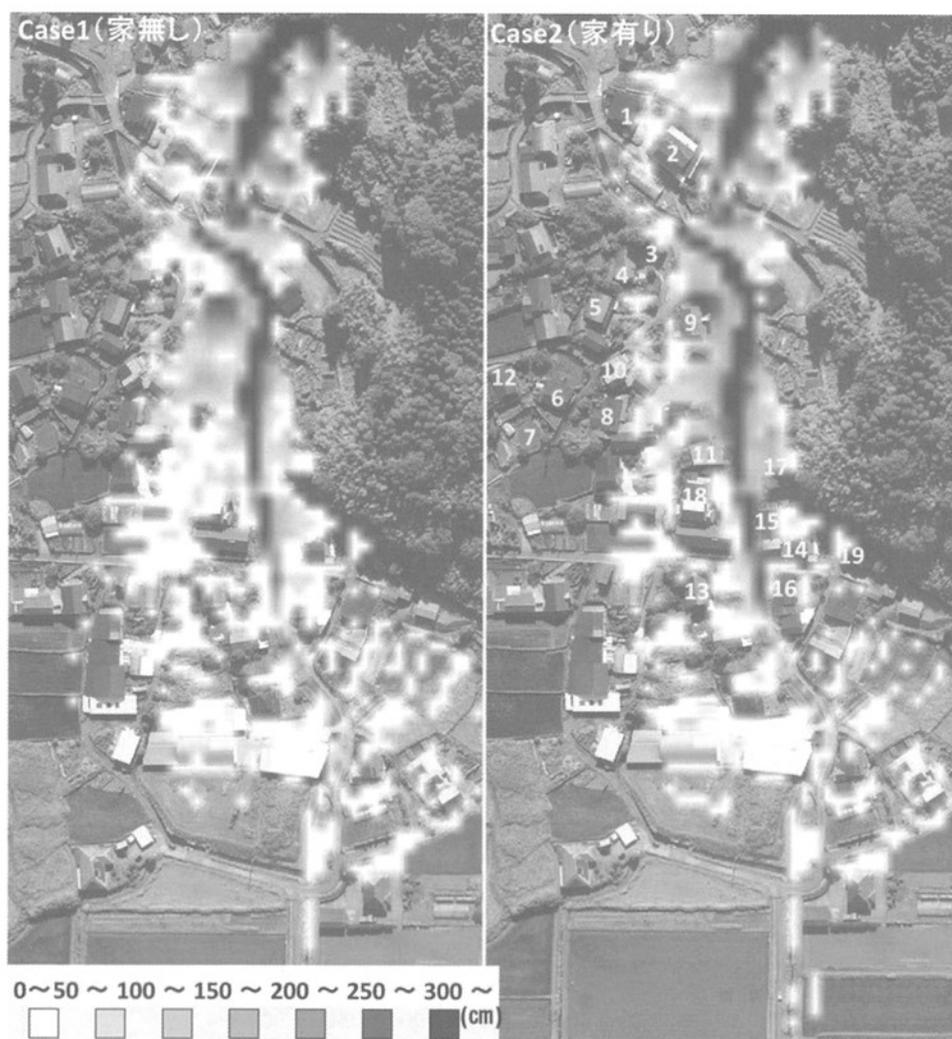


図-6 計算終了時の堆積厚（左図：Case1 家無し，右図：Case2 家有り，右図の1-19は家屋番号）

#### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 朴埼瑛・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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 増野祐一郎・中谷加奈・水山高久・長谷川祐治・里深好文：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.274-275，2013.
- 6) 久保田哲也・地頭菌隆・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.65，No.4，pp.50-61，2012.
- 7) 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 ハード対策分科会討議資料，pp.32-38，2014.
- 8) 安海高明・水野秀明：流下痕跡に基づく土石流水理量の推定，平成25年度砂防学会研究発表会概要集B，pp.272-273，2013.
- 9) 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.
- 10) 国土交通省：河川砂防技術基準調査編，2014.
- 11) 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.

(2014. 5. 9 受付)