

2018年7月に広島県安芸郡熊野町で発生した土石流の宅地内の氾濫特性

Inundation Characteristics of Debris Flow in Residential Area, Which Was Happened in Kumano, Hiroshima in July, 2018

竹林洋史・藤田正治

Hiroshi TAKEBAYASHI and Masaharu FUJITA

Synopsis

Field observation and numerical analysis were performed for the debris flow which was happened in Kumano, Hiroshima in July, 2018. Three debris flows were happened and the debris flow from the north valley attacked the residential area and damaged many houses. The debris flow com-poses of wide graded sediment. The results of the numerical analysis show that the debris flow approached at the residential area in 50 sec. and the average speed on the slope is 9m/s. The information of the inundation area and the debris flow depth can be used to consider the evacuation method in case which people cannot evacuate in long distance during the heavy rain.

キーワード: 土石流, 広島, 数値解析, 土砂災害, 避難

Keywords: Debris flow, Hiroshima, Numerical analysis, Sediment disaster, Evacuation

1. はじめに

2018 (平成 30) 年 7 月 6 日と 7 日に中国・四国地方を中心として、九州北部から中部地方の広い範囲

で多くの雨が降った。広島県においても広島市や呉市など県南部を中心に長時間雨が降り続けるとともに、南西から北東方向に線状降水帯が形成され、降雨強度の強い雨が観測された。その結果、非常に多

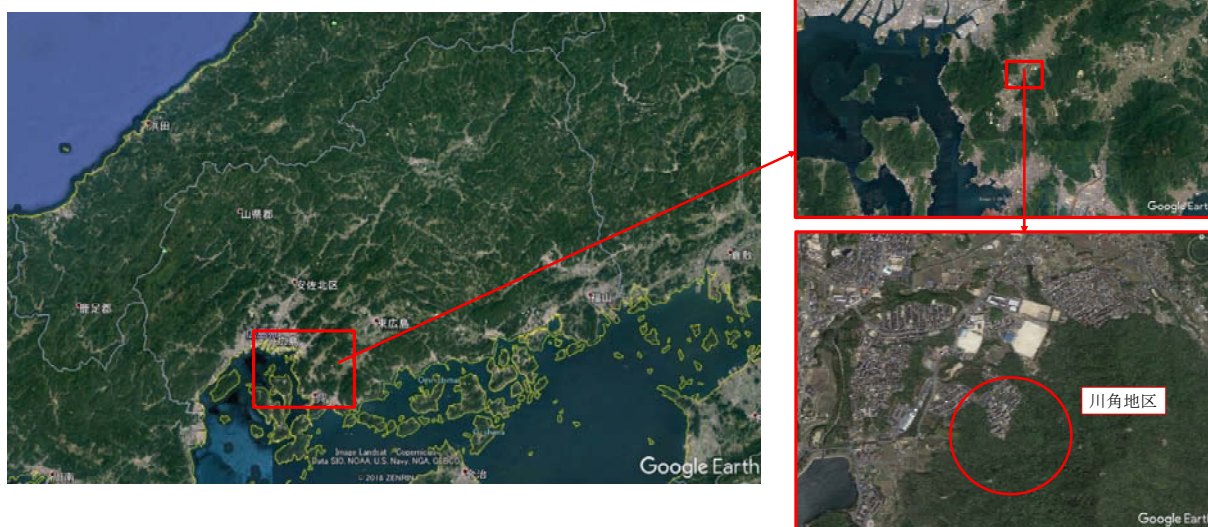
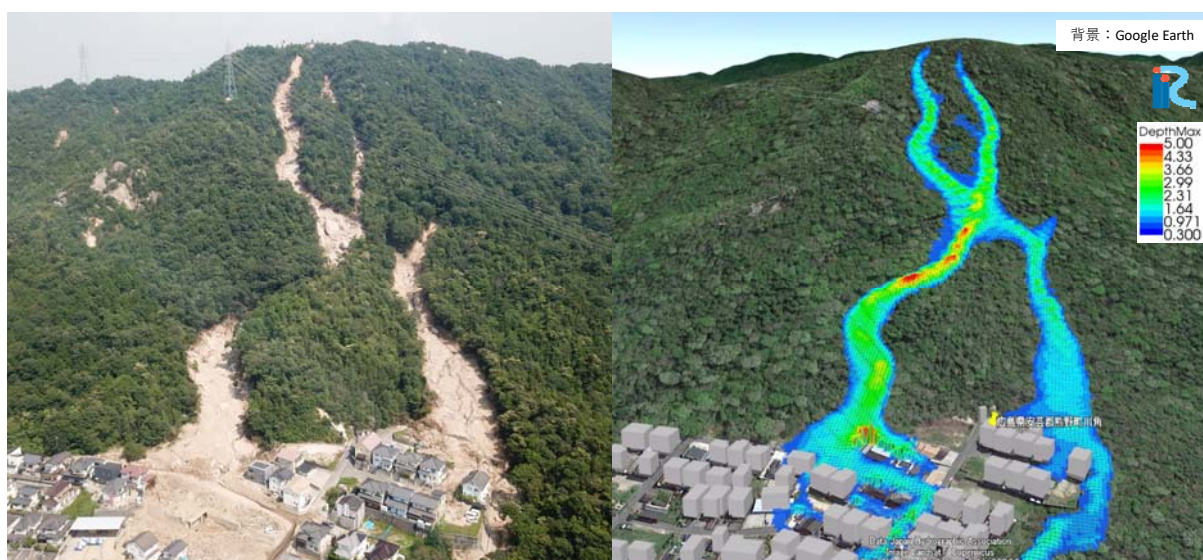


Fig. 1 Location of Kawasumi, Kumano, Aki, Hiroshima, JAPAN



(a) Debris flow erosion area on the slope

(b) Deepest flow depth of debris flow by numerical analysis

Fig. 2 Debris flow erosion area on the slope and deepest flow depth of debris flow by numerical analysis (unit:m)

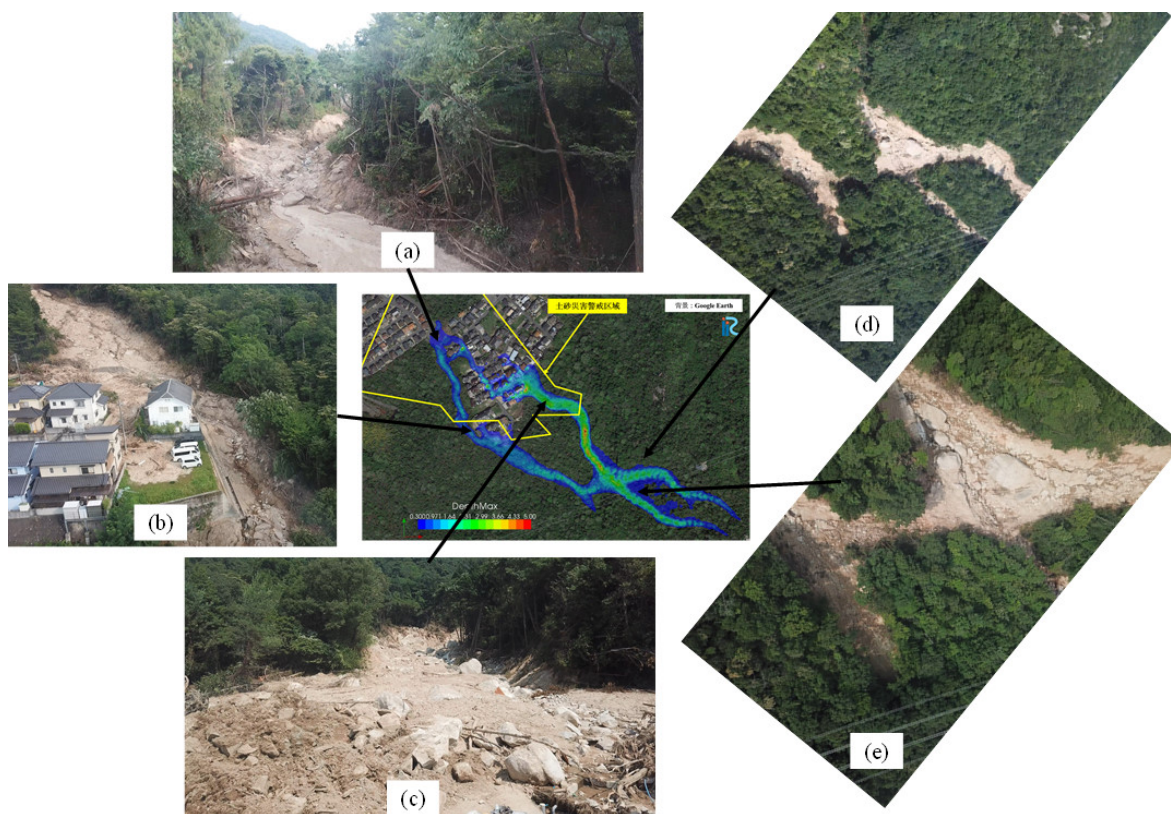


Fig. 3 Erosion and sediment deposition by debris flow

くの斜面崩壊および土石流が発生し、甚大な被害が発生した。広島市では、わずか4年前の2014年8月にも多くの斜面崩壊および土石流による土砂災害が発生している。そのため広島では、土砂災害警戒区域の指定が2014年以降に急速に進むとともに、土石流による流出土砂量の推定方法が変更されるなど、様々な対策が進められているところであった。

本報告では、広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流について実施した現地調査の結果を報告する

とともに、土石流の数値シミュレーションを実施し、宅地における土石流の氾濫特性と土砂災害警戒区域との関係を検討した結果を報告する。

2. 広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流

2.1 対象地域の概要

広島県安芸郡熊野町川角地区は、Fig. 1のように、広島市と呉市の境界付近の海から8kmほどの内陸に

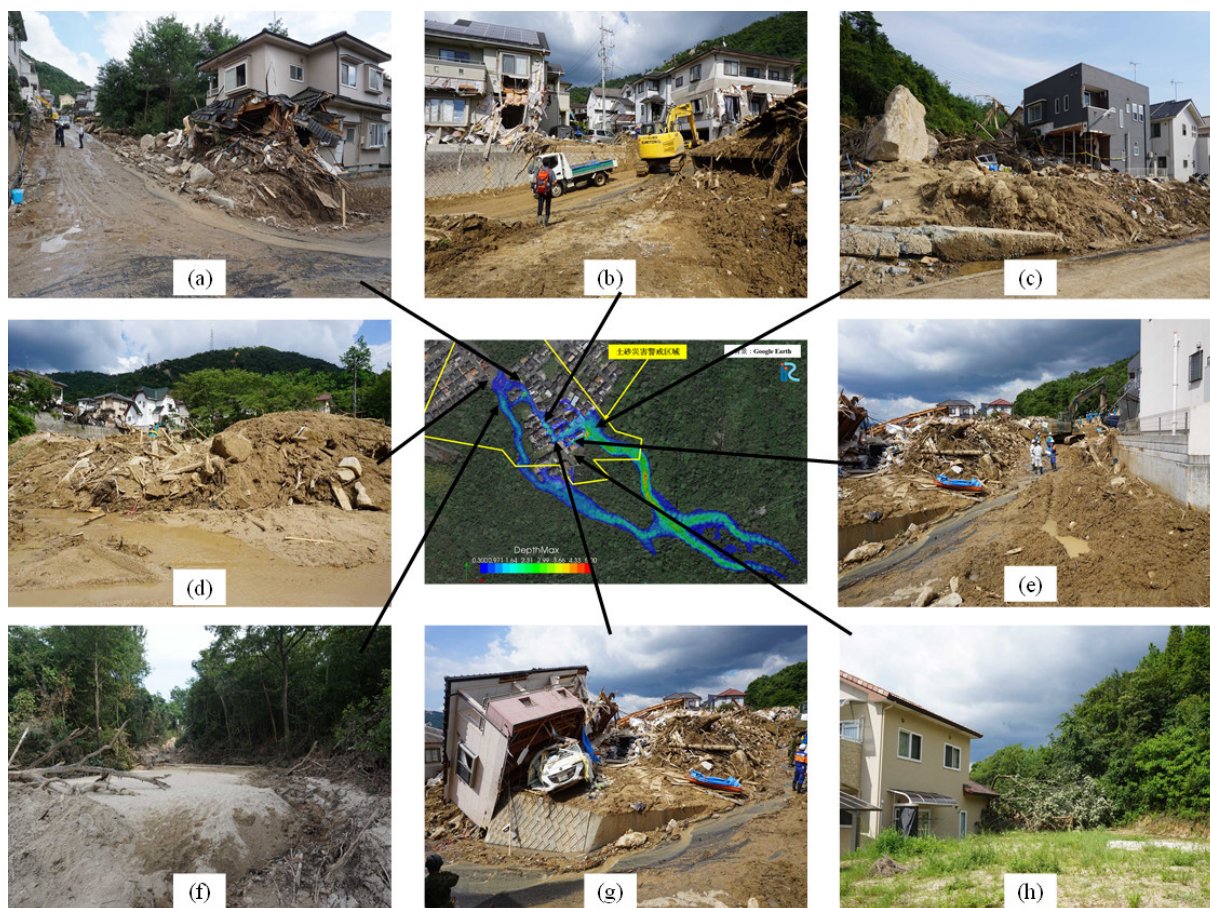


Fig. 4 Erosion and sediment deposition by debris flow in residential area

位置している三石山（みついわやま）の北西斜面の下に広がる宅地である。「三石山」と呼ばれているように、山頂付近や斜面には、球状風化した直径数mの巨礫が点在している。山頂から宅地までの斜面は25°程度の急斜面であるが、宅地内は5°程度と斜面部よりも緩やかとなっている。

2.2 現地調査

Fig. 2 (a) に被災後の斜面の様子を示す (Fig. 2 (b) は数値シミュレーションによって得られた最大流動深の分布であり、後述する)。図より、山頂付近の二カ所と中腹付近の一カ所から土石流が発生していることがわかる。山頂付近の二カ所から発生した土石流が流れた溪流は、中腹付近で合流するとともに分派し、二つの溪流に分かれてから宅地に流れ込んでいる。二つの分派している溪流の内、南側 (Fig. 2 (a) の写真では右側) の溪流では前述の中腹付近で発生した土石流も流れ込んでいる。

Fig. 3 と Fig. 4 に、現地調査時の様子を示す。Fig. 3 (d) と (e) から山頂付近の二カ所から発生した土石流が流れた溪流が中腹付近で合流・分派していることがわかる。また、二つの溪流の合流点付近には直径数mの大きい岩が存在することもわかる。Fig.

3 (c) に示すように、北側の溪流から宅地に流れ込んだ土石流は、宅地に流入し始めた地点では既に堆積傾向となっている。直径数mの大きい岩とともに、粒径の小さい真砂土が多く堆積しており、粒度が広いことがわかる。Fig. 3 (a) と (b) は南側の溪流の様子である。Fig. 3 (a) に示すように、南側の溪流を流下した土石流は、宅地の南側を流下するとともに、宅地の南端から宅地に流入している。土砂が流れ混んだ領域は既に宅地用に造成されていたが、まだ家屋が建設されていない更地が多い。そのため、敷地内に土砂が流れ混んでいる宅地もあるが、家屋の破壊などは見られない。また、溪流内に堆積している土砂は真砂土で構成されており、非常に粒径が細かい。

Fig. 4 (a) は、宅地内の地盤勾配方向に沿って建設された北西方向に伸びる道路の下端から道路の様子を撮影したものである。北側の溪流から宅地に流入した土石流の主流は、この道路を流下している。Fig. 4 (d) は、Fig. 4 (a) で示した道路から流れてきた土石流の堆積物である。直径数mの大きい岩とともに、粒径の小さい真砂土も多く含まれていることがわかる。さらに、流木も含まれている。Fig. 4 (f) は、南側の溪流の下流端付近の様子であり、Fig. 3 (a)

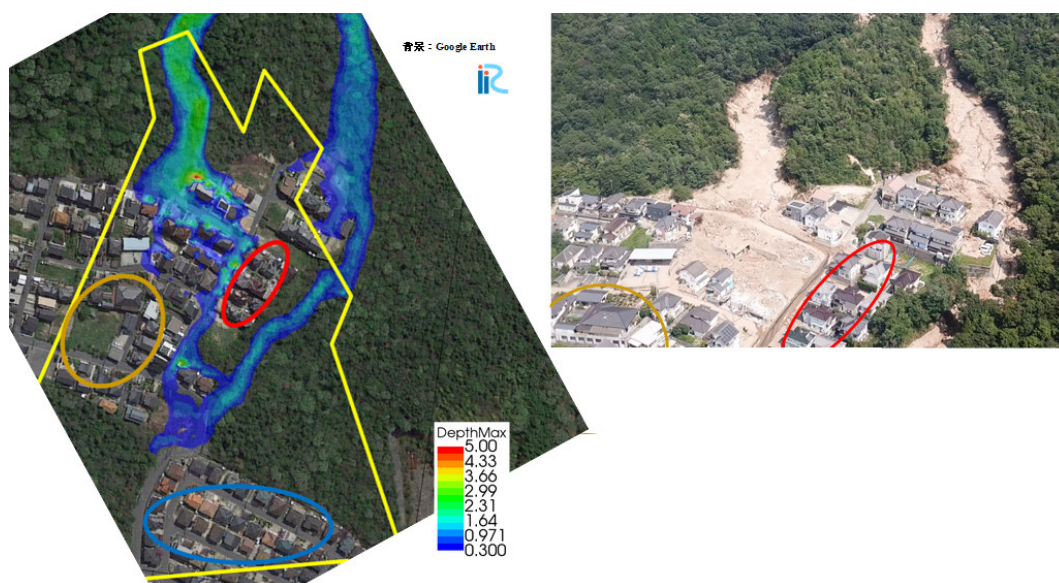


Fig. 5 Debris flow inundation area and spatial distribution of deepest flow depth in residential area by numerical analysis (unit: m)

で説明したように、溪流内に堆積している土砂は非常に細かく、真砂土で構成されている。Fig. 4 (b) は、Fig. 4 (a) で示した道路の途中の様子であり、道路沿いの家屋の一階の一部が被災していることがわかる。Fig. 4 (c) に示すように、北側の溪流から宅地に流れ込んだ土石流は、溪流出口から北西に広がる家屋を破壊するとともに、その主流は、Fig. 4 (e) で示す南東方向に伸びる道路に沿って流れている。Fig. 4 (a) で示した道路と Fig. 4 (e) で示した道路が交わる場所の様子を示したものが Fig. 4 (g) である。Fig. 4 (g) に示されている家屋は、一階は形状が全くわからないほど破壊されている。しかし、二階は転倒しているものの、それほど大きな損傷を受けていないように見える。Fig. 4 (a) と Fig. 4 (b) も同様に、一階は損傷しているが、二階の損傷は比較的軽度であることがわかる。これは、土石流の流動深が二階を直撃するほどの深さではないことを示すものである。

Fig. 4 (h) は、南北の二つの溪流に挟まれた領域であるが、Fig. 4 (e) で示す南東方向に伸びる道路よりも地盤が高い位置にある。そのため、敷地内に土石流は流れ込んで樹木は倒れているが、家屋を全壊するほどの勢いでは土石流が流れていない。

3. 数値シミュレーションの概要

3.1 モデルの概要

本解析では、粗粒土砂の構成則に江頭らのモデル（江頭・伊藤，2004）を用い、細粒土砂が水と混合することにより水と土砂の混合物として液相のように振る舞う相変化と層流域上に乱流域を考慮した平

面二次元土石流モデル（江頭ら，1994，和田ら，2008，竹林ら，2014）を用いる。従来の土石流の数値シミュレーションは、上流域は一次元モデルを用い、下流の土石流堆積域に平面二次元モデルを適用することが多い（江頭ら，2016）。しかし、このようなモデルでは支川からの土石流の扱いが別途必要となる。また、熊野町川角の中腹部で見られるような土石流の分派現象を取り扱うのが非常に困難である。さらに、土石流の流動幅の時間的な変化の評価が困難となる。そこで、本解析では全解析区間に平面二次元土石流モデルを適用した。

3.2 解析条件

地形データは国土地理院により被災前に測定されたものであり、平面的に 5m の解像度の DEM データである。解析格子は、道路上を流れる土石流を表現するとともに家屋の形状を表現するため、2m×2m の比較的細かい正方形格子を用いる。土石流は実現象に即して斜面崩壊を発端として発生するものとした。そのため、本解析の境界条件は流体化した水と土砂の混合物が初期の斜面に存在するというものであり、土石流の流量などを上流から与えていない。表層崩壊は、山頂付近に二カ所、中腹付近に一カ所の合計三カ所を考慮する。表層崩壊の場所は、被災後の調査によって判断された崩壊地とした。これら三カ所の斜面崩壊の発生時刻の関係は不明であるため、本解析ではこれら三カ所の斜面崩壊が同時に発生したと仮定している。なお、下流域での土石流の規模は土石流の流動過程で溪床や河岸などを浸食して取り込んだ土砂と水の量で決定されるため、本土石流のように土石流の流動距離が長い場合は斜面崩

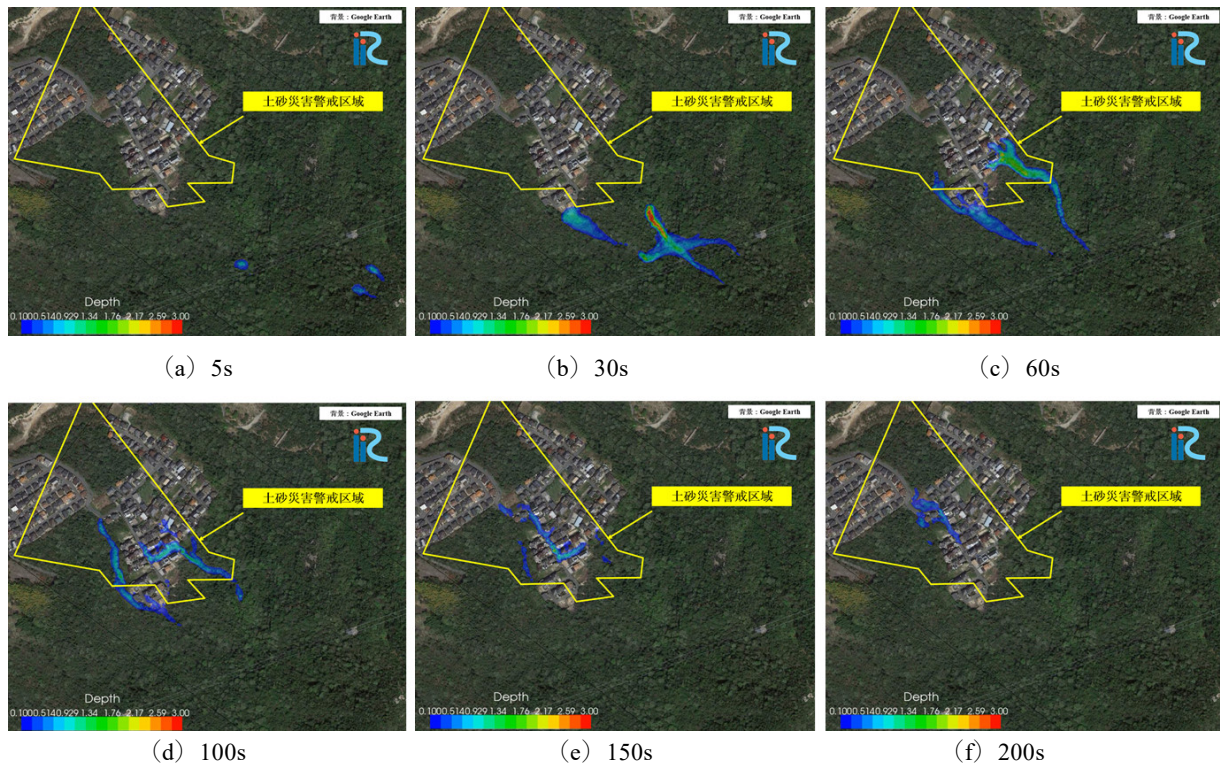


Fig. 6 Spatiotemporal change of flow depth of debris flow by numerical analysis (unit: m)

壊の大きさは土石流の規模にほとんど影響を与えない（江頭・宮本・竹林，2016）．宅地の中の家屋は，高さ 8m の非浸食域とした．現地調査により，宅地内の道路のアスファルトが大きく浸食・流出した場所は見られなかったことと，宅地内の地盤勾配が緩やかで堆積が卓越することから，宅地内の地盤は非浸食とした．

4. 結果と考察

Fig. 2 (b) に数値シミュレーションによって得られた最大流動深の空間的な分布をGoogle Earthに出力し，鳥瞰図として表示したものを示す．現地調査によって得られた被災後の斜面の様子を示すFig. 2

(a) と比較すると，土石流による斜面の浸食域と数値シミュレーションによる土石流の流動域が良く一致していることがわかる．Fig. 5に数値シミュレーションによって得られた宅地における最大流動深の空間的な分布と現地調査によって得られた被災後の宅地の土砂の氾濫の様子を比較したものを示す．北側の溪流が宅地に流れ込んだ地点の下流の宅地は，数値シミュレーションでも流動深が深くなっていることがわかる．また，現地で土砂が氾濫している範囲は，数値シミュレーションで土石流が流動した範囲とよく一致していることがわかる．さらに，Fig. 3 (b) と (g) に示す家屋の一階が被災した領域の土石流の深さは最大で2.00m ， 2.56mとそれぞれなっており，

一階のみが大きく被災していることと一致している．これらの結果より，本数値シミュレーションによる土石流の流動・氾濫特性は，現地の土石流の流動・氾濫特性をよく表現できていると考えられる．

Fig. 6に土石流の深さの時空間的な変化を示す．山頂付近から発生した二つの土石流は，別々の溪流を流下し，斜面中腹付近で合流するとともに，南と北の二つの溪流に分派して流れている．南側の溪流は，もう一つの中腹付近で発生した斜面崩壊による土石流が流下した溪流と同一である．Fig. 6に示すように，数値シミュレーションにおいても宅地に流れ込み多くの家屋を破壊した土石流は北側の溪流からの土石流であることがわかる．なお，Fig. 5とFig. 6に示す土石流警戒区域は，北側の溪流からの土石流と南北溪流に挟まれた斜面の崩壊が対象となっており，南側の溪流からの土石流は対象となっていない．

数値シミュレーションによると，山頂付近の崩壊発生から北側の溪流の出口付近の家屋に土石流が到達するまで約50秒となっており，斜面における土石流の平均的な速度は，約9m/s（時速約32km）である．山頂付近の崩壊による土石流が宅地に到達した時点の土石流の深さは約2mで，家屋に衝突した時に3m以上となっている．

宅地内には建設中の家屋も存在し，Fig. 3に示すように，新しい家屋も多く見られ，比較的新しい宅地であることがわかる．土砂災害警戒区域内の住民によると，住民の多くは自身の住居が土砂災害警戒区

域内に存在することは把握されていただろうとのことであり、土砂災害の危険性が高いことは住民にある程度認識されていたと考えられる。土砂災害警戒区域は、土石流などのような危険な状態で土砂が流出・氾濫する急傾斜地において、人家などの守るべき対象がある場所に対して設定されるものであり、土石流が氾濫を開始する点を起点として扇形の氾濫域を想定し、地盤の勾配が 2° よりも急な領域に対して設定される。このような設定方法は、地形の情報が主となって設定できるため、比較的短時間で警戒区域を決定することが可能である。そのため、土砂災害の危険性が高い地域が全国に非常に多いことを考えると、このような土砂災害警戒区域の設定方法は有効な方法と考えられる。しかし、Fig. 5とFig. 6に示すように、実際の土石流は土石流氾濫開始地点を起点にして扇形に氾濫するのではなく、地表に建設されている家屋や道路などの構造物の影響を受けて氾濫・堆積する。そのため、土砂災害警戒区域内にも土石流が危険な状態で流れてこない領域が多く存在する。Fig. 5に赤色・茶色・青色の楕円で囲まれた領域のように、熊野町川角においても、土石流がほとんど流れていない領域が存在する。一方、土石流が流出する溪流が隣接していることは非常に多い。図-8に2014年8月に大規模な土石流が複数発生した広島市安佐南区八木・緑井地区の土砂災害警戒区域（広島県砂防課，2018）を示す。図に示すように、土砂災害警戒区域が二重・三重に重なっており、土砂災害警戒区域に含まれる領域が非常に広がっている。このような状態となると、土砂災害警戒区域外への避難は移動距離が長くなり、豪雨中に避難することは困難となる。そのため、豪雨中の土砂災害からの避難や土石流発生後の避難を考えると、土砂災害警戒区域内の土石流が流れてこない領域への避難が有効となる。本数値シミュレーションによって土石流が流れてこない領域が、対象の宅地においてどのような規模の土石流が発生しても土砂が流れてこないわけではないが、セカンドチョイスの一次避難場所として非常に有効と考えることができる。また、Fig. 3に示したように、一階が被災していても二階に大きな損傷を受けていない家屋が多く見られる。Fig. 5やFig. 6に示すように、北側の溪流が宅地に流れ込んだ地点を除くと、宅地内の土石流の深さは3m以下であり、多くの場所が2階が大きく被災するほどの深さとなっていない。熊野町川角と同じ2018年7月6日に被災した広島市安佐北区口田南三丁目の家屋では、一階に居た方が亡くなっているが、同じ家で二階に居た方は助かっている。このようなことを考えると、豪雨中に遠方まで避難することが困難な場合、二階に避難することにより、生存確率が大

きく上昇することが期待される。

前述の通り、対象地域の土砂災害警戒区域の設定に南側の溪流からの土石流は対象となっていない。南側の溪流からの土石流も宅地に流れ込んでいるが、ちょうど、まだ家屋が建設されていない領域であったことと宅地の南側を流れる溪流の本川が、Fig. 3

(b)に示すように、宅地よりも数メートル低い場所を流れており、土砂の多くが宅地を逸れて流下した。さらに、Fig. 4 (f)に示す溪流の出口付近は、勾配が非常に緩やかであり、土石流として流れてきた土砂が急速に堆積し、下流の地区で広く氾濫しなかったため、被害はそれほど大きなものとならなかった。通常の土砂災害警戒区域の設定ではこのような土石流の分派現象は考慮されていないが、数値シミュレーションを実施することにより、分派現象による土石流危険箇所の抽出が可能であることがわかる。さらに、北側の溪流からの土砂の流出量については、分派によって小さくなっていると考えられる。そのため、土砂災害対策を考える上で重要な数値となる土石流の氾濫範囲、流出土砂量などの推定においても数値シミュレーションによる評価が非常に有効であることがわかる。

5. 結論

広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流について、現地調査と数値シミュレーションを実施し、宅地における土石流の氾濫特性と土砂災害警戒区域との関係を検討した。現地調査により、斜面の三カ所から土石流が発生し、合流・分派した溪流を土石流が流下し、北側の溪流から宅地に流れ込んだ土石流によって多くの被害が発生したことが明らかとなった。流出した土砂は、粒径の細かい真砂土から直径数mの花崗岩も含まれ、粒度が非常に広いことが明らかとなった。数値シミュレーションにより、山頂付近の崩壊発生から北側の溪流の出口付近の家屋に土石流が到達するまでわずか50秒程度となっており、斜面における土石流の平均的な速度は約9m/sであった。土石流は宅地内を数10cm～3m程度の深さで流下・氾濫し、多くの家屋が全壊・半壊した。土砂災害警戒区域内には土砂が流れてこない領域も多いこと、土石流の深さは多くの場所で3m以下であること、豪雨中に避難のために長い距離の移動が困難であることを考えると、土砂災害警戒区域内の土石流が流れてこない領域への避難や二階以上への鉛直避難は、土砂災害からの生存確率を大きく上昇させることが期待されることが示された。

参考文献

- 江頭進治・伊藤隆郭：土石流の数値シミュレーション，日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌，Vol. 12, No. 2, pp. 33-43, 2004.
- 江頭進治・佐藤隆宏・千代敬三：砂粒子を高濃度に含む流れに及ぼす粒子径の影響，京都大学防災研究所年報，No.37, B-2, pp.359-30, 1994.
- 江頭進治・宮本邦明・竹林洋史：崩壊に伴う土石流・泥流の形成と規模の決定機構，砂防学会誌，第 68 卷，第 5 号(通巻 322 号)，pp38-42, 2016.
- 竹林洋史：広島市で発生した土石流の数値シミュレーションの事例と対策，地盤工学会誌，Vol.64, No.4, pp12-15, 2016.
- 竹林洋史・江頭進治・藤田正治：2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析，河川技術論文集，Vol.20, pp. 391-396, 2014.
- 広島県砂防課：土砂災害ポータルひろしま，<https://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/top.aspx>.
- 和田孝志・里深好文・水山高久：土石流計算における 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.

(論文受理日：2019 年 6 月 24 日)