

# 理工学的視点に基づく住民参加型の土砂災害ハザードマップの作成と検証 —長野県諏訪市有賀区の事例—

松澤真<sup>1</sup>・南智好<sup>2</sup>・蔭山星<sup>2</sup>・斉藤泰久<sup>2</sup>・山寺喜成<sup>3</sup>

## Creation and Validation of Landslide Hazard Map with the Participation of Local Residents Based on Scientific and Engineering Perspectives: Case of Aruga District, Suwa City, Nagano Prefecture

Makoto MATSUZAWA<sup>1</sup>, Chiyoshi MINAMI<sup>2</sup>, Sei KAGEYAMA<sup>2</sup>,  
Yasuhisa SAITO<sup>2</sup> and Yoshinari YAMADERA<sup>3</sup>

### Abstract

In this study, we created a hazard map of landslides in Aruga, Suwa City, Nagano Prefecture, based on scientific and engineering perspectives. We examined the effects and issues of this approach from a questionnaire survey data. Landslide hazard slopes were identified by topographical analysis, and landslide range was then estimated from soil layer structure survey data in a representative stream. Subsequently, a debris flow simulation was conducted based on the scale of the landslide. Based on the above information, a landslide hazard map was created that can indicate the risk of landslides. Our study found that this map can contribute to the landslide hazard awareness among the residents and can be useful during actual heavy rainfall.

キーワード：土砂災害ハザードマップ, 住民参加型, 土層調査, 土石流シミュレーション, アンケート

Key words: Landslide hazard map, resident participation, soil layer structure survey, debris flow simulation, questionnaire survey

### 1. はじめに

地域住民が自発的に防災計画を作成する活動を支援する「地区防災計画制度」が2013年に創設さ

れて以降、全国で地区防災計画が作成され、地域防災力の向上に貢献している（国土交通省、2019；田中・他、2020など）。土砂災害を対象と

<sup>1</sup> パシフィックコンサルタンツ株式会社（現 公益財団法人深田地質研究所）  
PACIFIC CONSULTANTS Co., Ltd. (Current FUKADA GEOLOGICAL INSTITUTE)

<sup>2</sup> パシフィックコンサルタンツ株式会社  
PACIFIC CONSULTANTS Co., Ltd.

<sup>3</sup> 元信州大学農学部教授  
Former Professor, Faculty of Agriculture, Shinshu University

本稿に対する討議は2024年8月末日まで受け付ける。

した地区防災計画は、土砂災害特別警戒区域、土砂災害警戒区域を基準に土砂災害の危険性を検討していることが多い。しかし、土砂災害警戒区域は、地域性をあまり考慮せず全国统一の基準で早期に危険区域を設定することを目的としているため、松澤・他(2021)は、土砂災害警戒区域のみに基づき避難計画を検討する際に次の3つの問題があることを指摘している。①保全対象が無い斜面は検討の対象外のため、土砂災害の危険箇所を見落としている可能性がある。②避難計画を検討するためには、崩壊が発生しやすい斜面をピンポイントで把握する必要があるが、崩壊発生源の記載がない。③発生すると甚大な被害が発生する深層崩壊は、現状、抽出手法が確立されていないため、対象外となっている。また、全国の地区防災計画について調査した田中・他(2020)は、土砂災害は、崩壊斜面の隣の斜面は無傷というように局所性が強く、地域としての危機感を共有しづらいため、地震や津波など広域災害の防災計画の代替品の踏襲では土砂災害に備えることは難しいことを指摘している。そのため、既存の地域割りに囚われない柔軟な空間単位で防災に取り組むこと、つまり、「斜面毎・谷毎の個別対応性」が必要であることを指摘している。

斜面崩壊の危険性を正確に把握するためには、個別斜面での地形判読、地表踏査、ボーリング、水位計測、動態観測などの詳細調査および、調査結果に基づく安定解析を行う必要がある。しかし、防災マップの作成を担う市町村が限られた予算から莫大な調査・解析費用を捻出することは難しいのが現状である。そこで筆者らは、市町村で実施することを念頭に低予算で調査可能な手法を目指し、全国で公開されている国土院のDEMを用いて表層崩壊危険箇所を抽出する手法(齊藤・他, 2011)、崩壊から土石流の流下までを一連で計算する土石流シミュレーション手法(藍山・他, 2018)を開発した。さらに、土砂災害の危険性を分かりやすく表現する土砂災害ハザードマップ、住民が避難時に活用することを念頭にした防災マップを住民参加型で作成した(松澤, 2019; 松澤・他, 2021)。一連の取組により作成した土砂

災害ハザードマップおよび防災マップは、従来のハザードマップより活用できるなどの住民意見は聞かれたが、アンケート調査などによる具体的な効果検証は出来ていない。

以上の背景のもと、筆者らは松澤・他(2021)の手法に基づき作成した土砂災害ハザードマップの効果検証および課題を把握するために長野県諏訪市有賀区で住民参加型の土砂災害ハザードマップの作成およびアンケート調査を実施したため報告する。アンケートは、土砂災害ハザードマップの報告会后に実施し、本取組による土砂災害に関する理解促進の効果検証、土砂災害ハザードマップの有効性などについて確認した。

## 2. 調査地域の概要

### 2.1 地形・地質

調査地域は、諏訪湖南西の丘陵地の裾部に位置する集落である。本地域では、諏訪湖に沿って北西から南東に標高1,120 m~1,282 mの主尾根がのび、この主尾根を境界として流域は、北西部と南西部に分けられる(図1)。調査地の北西では、2006年の豪雨で崩壊起因の土石流が多数発生しており、調査地の北西2 kmに位置する小田井沢川では、死者7名の人的被害が発生している(戸田,

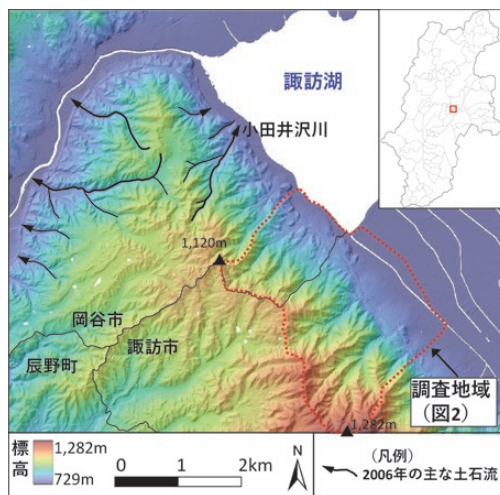


図1 調査地域  
2006年の主な土石流の分布は、戸田(2009)より。



図2 調査地域の地形  
 基盤図には、国土地理院の5m間隔のDEMから作成した等高線図と、国土地理院の基盤地図情報を  
 使用した。

2009)。調査地域の地質は、鮮新世から更新世初期の塩嶺累層を基盤とする(窪田, 1999)。塩嶺累層は、主に安山岩質溶岩および火砕岩からなり、一部に礫質～泥質碎屑物をともなう。表層には御岳・乗鞍岳を起源とする伊那谷型信州ローム層と呼ばれる火山灰質土が分布している(諏訪教育会, 1975; 戸田, 2009)。2006年に土石流被害が発生した地域と調査地は同様な地質構成をしていることから、調査地は土石流の危険性が高いと考えられる。

調査対象の集落は、扇状地上に位置しており、地下水が豊富なため、田畑、果樹園なども分布する(図2)。調査対象とした溪流は、北西から折

久保沢、安沢、方久保沢、神子沢、中沢川、町屋沢、小場沢、中ノ沢川、程沢の9溪流である。9溪流は、全て土砂災害防止法に基づき、土石流の土砂災害警戒区域および特別警戒区域に指定されている。また、対象溪流の折久保沢では2006年、程沢では1983年の豪雨により崩壊が複数発生している。

## 2.2 調査地の地域特性

調査依頼があった諏訪市豊田地区の有賀区は、世帯数594、人口1,453人(男723人、女730人)の集落である(2022年10月1日現在(諏訪市HP))。有賀区は、防災活動など地域の取組に特に熱心な

地域であり、地区住民により自主的に住宅が位置する扇状地上の異常出水地点、湧水地点、井戸水地点などの調査が実施されている。このように、有賀区は、もともと防災に熱心な地域であったが、地域住民が筆者らの実施した長野県辰野町の防災マップの取組(松澤・他, 2021)に興味をもち、筆者の一人である元信州大学教授の山寺に土砂災害の危険性の問合せがきたことをきっかけに、防災マップの元となる土砂災害ハザードマップの作成を支援した。

### 3. 研究手法

#### 3.1 地形解析による表層崩壊危険箇所の抽出

表層崩壊危険箇所を松澤・他(2021)による地形解析(図3)により抽出した。地形解析は、国土地理院の5m間隔の標高データを用いてArcGIS10(ESRI社)により行った。まず、傾斜図から遷急線を判読し、尾根平坦面の抽出を行った。次に、GISの地形解析により斜面の傾斜が $30^{\circ}$ 以上かつ曲率が $-1.5$ 以下のグリッドを「急傾斜で周囲よりも凹んだ斜面」とした。そして、尾根部緩傾斜地と急傾斜で周囲よりも凹んだ斜面に挟まれた範囲を次に表層崩壊が発生する可能性が高い斜面(表層崩壊危険箇所)として抽出した。

#### 3.2 神子沢での詳細調査

詳細は4章で述べるが、住民の要望が高く、崩壊起因の土石流により集落に甚大な被害がでる恐れがある神子沢を対象に詳細調査を実施した。通

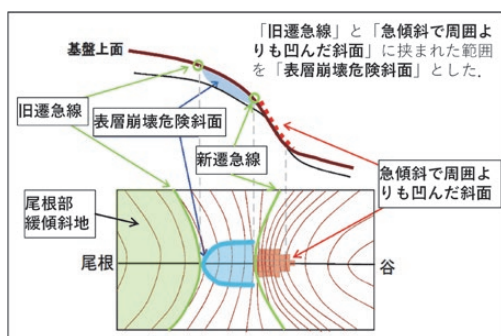
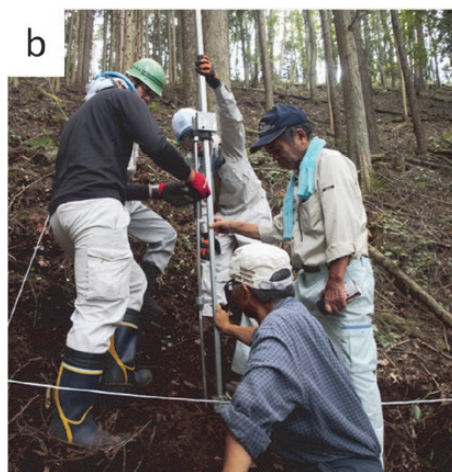


図3 表層崩壊危険斜面の抽出手法の概念図(松澤・他(2021)に一部加筆)

常時、中央道より上流の神子沢では沢水が流れておらず、中央道の下流の幅50cmの水路では0.5~1cm程度の水深の沢水が流れているが、これは基本的に安沢からの流入水である。詳細調査では、崩壊の危険性が高いと想定された表層崩壊危険箇所(図2のa地点)において、地域住民5人も参加して土層強度検査棒による土層厚の測定、SH型貫入試験機による土層構造調査を行った(図4)。土層強度検査棒は、最大測定深度は5mであり、人力で貫入できる最大深度を定性的に土層深とする簡易法(佐々木, 2010)により、土層深



a: 土層強度検査棒



b: SH型貫入試験

図4 地域住民の方との土層厚調査の状況(2018年8月30日)

を測定した。測定は、まず、縦断方向に95 mの測線を設定し、斜面長4 m 間隔で土層厚を測定した(図5のL測線)。つぎに、縦断方向の測定で土層が厚い箇所に横断測線を4本設定し(図5のC1~C4測線、合計105 m)、斜面長4 m または2 m 間隔で土層厚を測定した。土層強度検査棒の調査箇所は、合計70地点である。SH型貫入試験は、表土層調査技術研究会(2015)に基づき、合計4地点(図5のSH1~4)で調査し、Nd/drop値の波形から土層構造を推定した。以上の土層調査から崩壊危険斜面を推定し、発生頻度が高いと想定された斜面において崩壊起因の土石流シミュレーションを実施した。

現在、実用可能な土石流シミュレーションは幾つかの手法(例えば、高橋・中川, 1991; 江頭・伊藤, 2004; 堀内・他, 2012; 竹林・他, 2014)があるが、本研究では、斜面崩壊を初期条件とし

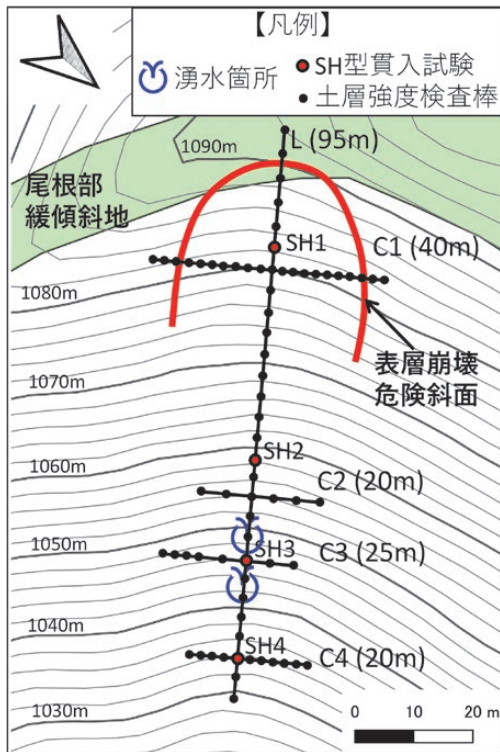
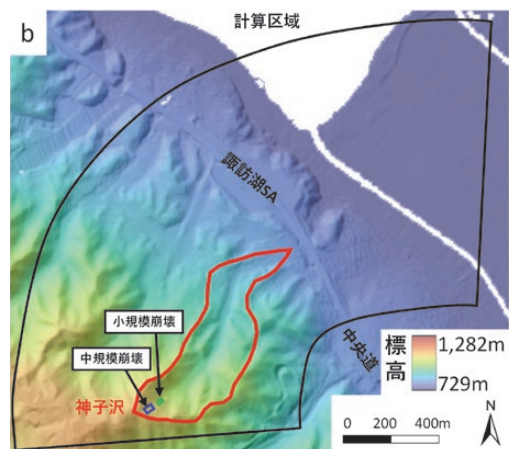


図5 神子沢での詳細調査箇所の位置図  
SH型貫入試験箇所では土層強度検査棒の調査も行った。

た土石流・泥流の流動および堆積過程を表現できるモデルである iRIC (International River Interface Cooperative) の Morpho2DH (一般社団法人 iRIC-UC) を用いた。なお、使用した iRIC の数値シミュレーションは、外部からの水の流入は考慮せず、崩壊の発生場に設定した範囲から飽和状態の水と土砂の混合物が流下することにより土石流が発生すると仮定したモデルである。そのため、降雨条件による崩壊規模という概念はなく、設定した崩壊範囲の崩土のすべてが土石流化すると仮定している。また、iRIC は、土石流シミュレーションの動画を作成することが出来るため、住民説明



a: 国土地理院地図



b: 標高図(国土地理院の5mDEMを使用)

図6 土石流シミュレーションの計算対象地域の地形条件

表1 土石流シミュレーションの主要緒言の一覧

対象地域	長野県諏訪市神子沢			
計算ソフト	iRIC の Morpho2DH (一般社団法人 iRIC-UC)			
計算メッシュ	メッシュサイズ: 5 m を基準			
地形データ	国土地理院の 5 m メッシュ DEM			
斜面崩壊場所	神子沢の詳細調査地点 (図 2 の a, 図 5)			
斜面崩壊規模	土層構造調査から推定した以下の 2 種類で実施 ・中規模崩壊 (長さ 35 m, 幅 25 m, 平均崩壊深 4 m) ・小規模崩壊 (長さ 20 m, 幅 15 m, 平均崩壊深 2 m)			
渓床の侵食深さ	1.0 m (神子沢の土石流危険渓流カルテの渓床堆積物の厚さから推定)			
計算時間	400 秒			
植生・構造物	考慮しない			
掃流砂・浮遊砂	浸透係数	0.0001 m/s	平均粒径	1 cm
	流砂形態	掃流砂	静止堆積濃度	0.6
	浮遊砂量式	Lane-Kalinske 式	土砂内部摩擦角	34°
	固定床高さ	使用しない	土砂濃度	一定
	上流端の河床勾配	平均勾配	土砂濃度の値	0.4
	平衡流量に対する上流端の給砂量の比	1	液体として振る舞う土砂の割合	0.2
	流れの DT に対する河床変動の DT の比	1	最小流動深	0.01 m
河床材料	河床材料の種類	一般礫	層流層の厚さ	一定
	平均粒径	1 cm	層流層厚さの比	0.6

本研究では、掃流砂・浮遊砂、河床材料、土石流・泥流のデータを取得していないため、これらには iRIC の Morpho2DH での一般的な値を使用した。

会でアニメーションを流し、住民の土石流に対する理解・促進に役立つことができるという利点がある。計算区域は、神子沢および土石流が流下すると想定される下流の住宅地を含む範囲とした (図 6 a)。地形データには国土地理院の 5 m DEM を用い、計算メッシュサイズは 5 m とした。土石流の流下が想定される範囲には中央高速道路などが位置しており、5 m DEM の標高図にも中央高速道路の盛土の形状が表現されている (図 6 b)。なお、今回の解析では、家屋などの地上の構造物、植生は考慮しない条件とした。詳細は 4 章で述べるが、土石流シミュレーションの起点となる斜面崩壊規模は、土層構造調査から崩壊の危険性が高いと推定した小規模崩壊 (長さ 20 m, 幅 15 m, 平均崩壊深 2.0 m) と、中規模崩壊 (長さ 35 m, 幅 25 m, 平均崩壊深 4.0 m) の 2 種類とした (図 6 a)。土石流による渓床の侵食深さは、長野県諏訪建設事務所が調査した土石流危険渓流カルテの値 (諏訪建設事務所, 2000) を参考に設定した。神子沢では、3 地点で渓床堆積物の横断調査が実施され

ており、いずれの箇所も最大 2.0 m とされていたことから、半分の 1 m を渓床の侵食深さとした。また、平均粒径、静止堆積濃度、土砂内部摩擦角などの土石流性質に関するパラメータは本検討では取得していないため、iRIC で一般的に用いられている値 (蔭山・他, 2018) を用いた。以上より設定した解析に用いたパラメータの一覧を表 1 に示す。

### 3.3 土砂災害ハザードマップの作成と検証

以上の調査から得られた土砂災害の危険性に関する情報を図示することにより土砂災害ハザードマップを作成した。土砂災害ハザードマップの作成後、調査結果および地域の土砂災害の危険性を報告するために、有賀公民館 (図 2) にて住民説明会を実施した (2018 年 10 月 8 日, 図 7)。説明会では、3 ~ 4 章の内容を 30 分で説明し、土石流シミュレーション結果は動画で報告した。なお、土石流シミュレーション結果は、今回の調査から推定された崩壊規模に基づくものであり、神子沢



図7 土砂災害ハザードマップの報告会状況 (2018年10月8日)

表2 アンケート内容の一覧

質問	内容	解答方式
1	あなたの年齢は？	選択式
2	あなたの性別は？	選択式
3	今回の住民説明会に参加し、お住まいの地区の斜面災害に関する理解は深まりましたか？	選択式
4	神子沢で実施した土層調査、土石流シミュレーション結果を聞いて神子沢の土砂災害特性に関する理解は深まりましたか？	選択式
5	今回の土砂災害危険度マップは従来のハザードマップに比べ分かりやすかったですか？	選択式
6	今回の土砂災害危険度マップは、実際の豪雨時に役立つと思いますか？	選択式
7	今回の住民説明会を聞いて、災害が起こりそうとき、うまく避難ができると感じますか？	選択式
8	最近災害が起こりそうだと感じたことはありますか？	選択式
9	本日の住民説明会に参加し、避難方法について気になることはありますか？	記述式
10	土石流シミュレーションの内容、従来のハザードマップなどについて気になることはありますか？	記述式
11	本日の住民説明会の感想、その他、ご意見等がありましたらお書き下さい。	記述式

の他の箇所でも崩壊が発生した場合などは土石流規模が増減する恐れがあることなどの不確実性についても説明した。説明会の参加者は21人であった。説明会では、表2に示す土砂災害に関する内容のアンケート用紙を配り、説明会後に回収した。アンケート結果を分析することから、本取組の効果および改善点などを分析した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 地形解析

地形判読および表層崩壊危険箇所の抽出結果を

図8に示す。調査地の尾根部緩傾斜地は、中ノ沢川の東側の上流部に広く分布することが特徴的である。他の尾根はやせ尾根が多いが、神子沢の右岸側の尾根、大久保沢～栃久保沢の上流部の尾根に若干広く分布する。

表層崩壊危険箇所は、栃久保沢で29、安沢で18、方久保沢で9、神子沢で6、中沢川で37、町屋沢で6、小場沢で2、中ノ沢川で84、程沢で14の合計205箇所抽出された。神子沢の北西部の斜面には、土砂災害警戒区域に指定されていない箇所新たに表層崩壊危険箇所が確認された(図8のa)。

### 4.2 神子沢での詳細調査

#### (1) 表層土層構造の調査

神子沢の上流部(図5)で実施した土層構造の調査結果を図9に示す。縦断測線では、尾根から30mの範囲は土層が非常に厚く部分的には5mを超えていた。30m～75mでは下部が若干薄い傾向があるが2m～3.5m程度の土層が分布する。75mより谷側は、1地点で2.25mであったが、それ以外は2m以下と土層が薄くなる。また、現地では、65mより谷側は、表層を掘ると湧水が確認できる箇所もあるなど水分が多い状態で下草が繁茂していた。

C1測線の土層は、縦断測線との交差点付近では5m程度と厚いが、左右に向かうにつれて徐々に薄くなり、谷を埋めるように凹型に分布していることが分かった。C2、C3測線の土層も縦断測線との交差点で最も厚く、交差点から左右に向かうにつれて土層が薄くなる凹型の分布であった。C4測線は、縦断測線との交差点から6m右側の土層が2.72mと最も厚く、ここを中心に凹型に土層が分布していた。

SH型貫入試験結果をみるとSH1は、礫当たりが少なく、表層から深部に向けて徐々にNd/drop値が大きくなるのが特徴である。Nd/drop値の波形、試験実施時の打撃の感触、ロッドを引き抜いたあとにロッドに付着した土の様子からローム層と想定した。SH2は、表層から200cmまではNd/drop値が5以下と緩く、200～267cmまでは礫当たりが多くなる。SH3は、表層から225cm

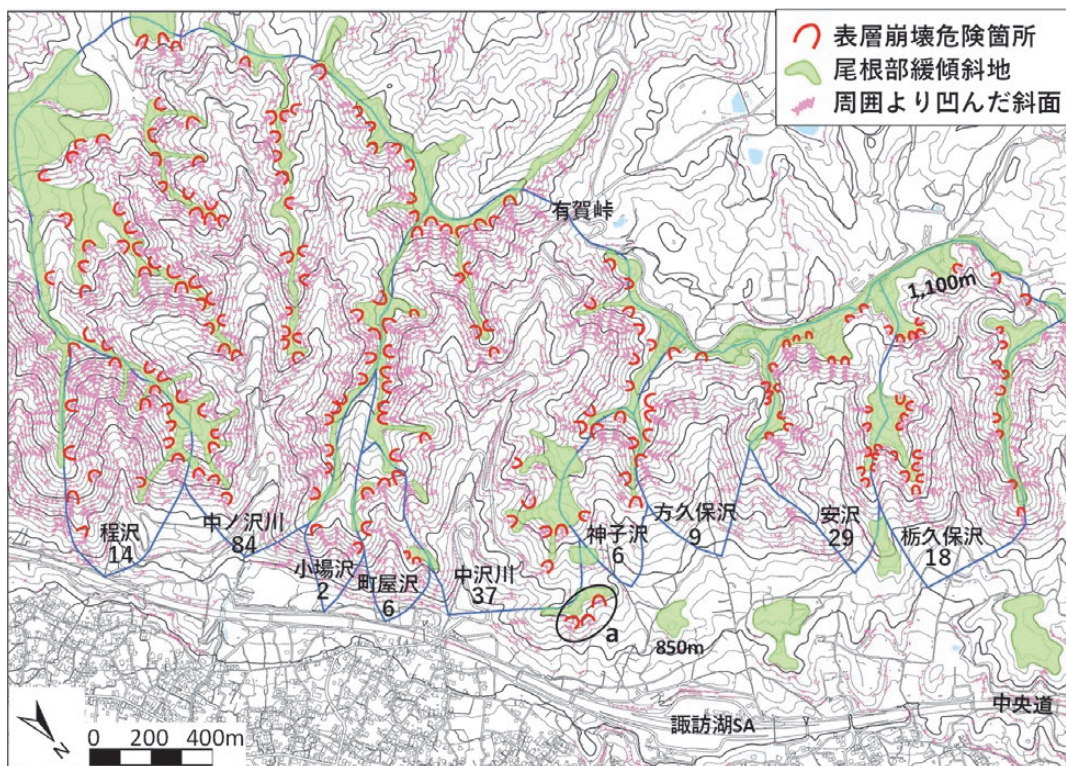


図8 表層崩壊危険箇所の抽出結果

溪流名下の数字は、流域内の表層崩壊危険箇所の合計数を示す。周囲より凹んだ斜面は、5 m メッシュのポリゴンである。a は、土砂災害警戒区域に指定されていない箇所に新たに抽出された表層崩壊危険箇所である。

までは  $Nd/drop$  値が5以下と緩く、225 cm で急に貫入不能となる。以上より、SH2 と SH3 は、礫混じりの緩い崩積土が分布すると想定した。SH4 は、他の土層に比較して礫当たりが多く、60 cm から  $Nd/drop$  値の下限が5程度となることから、礫混じりの崩積土と想定した。SH4 が SH3 に比べて土層が薄い理由は、SH4 では、既に崩壊などにより土層が除去されたためと推定される。

## (2) 崩壊範囲の推定

表層土層構造調査から崩壊の危険性が高い箇所は、尾根付近の埋没谷に堆積するローム層と斜面中腹の凹部に堆積する礫混じりの緩い土層の2箇所と推定した(図10)。崩壊範囲は、安定計算により求めることが望ましいが、本検討では、土層構造調査から発生しうる最大規模の崩壊を想定し

た。土層分布からローム層の崩壊は、崩壊長35 m、崩壊幅25 m、平均崩壊深は5 m が貫入限界のためさらに深い可能性があるが4.0 m とし、崩壊土砂量は約3,500  $m^3$  と想定した。埋没谷に堆積する厚いローム層の崩壊(図11)は、2008年の豪雨時に調査地の北西部の崩壊地を調査した千木良・松澤(2008)、片倉他(2009)により報告されており、本調査地でも同様な崩壊が発生する可能性が高いことが分かった。礫混じりの緩い土層の崩壊は、湧水地点付近で崩壊が発生する可能性が高いと考え、崩壊長20 m、崩壊幅15 m、平均崩壊深2.0 m、崩壊土砂量は約600  $m^3$  と想定した。なお、C2、C4の横断測線も凹地に土砂が堆積しており、崩壊の危険性が高いが、湧水の状況からC3測線付近が最も危険と判断した。以下、崩壊範囲を推定したローム層の崩壊を中規模崩壊、礫



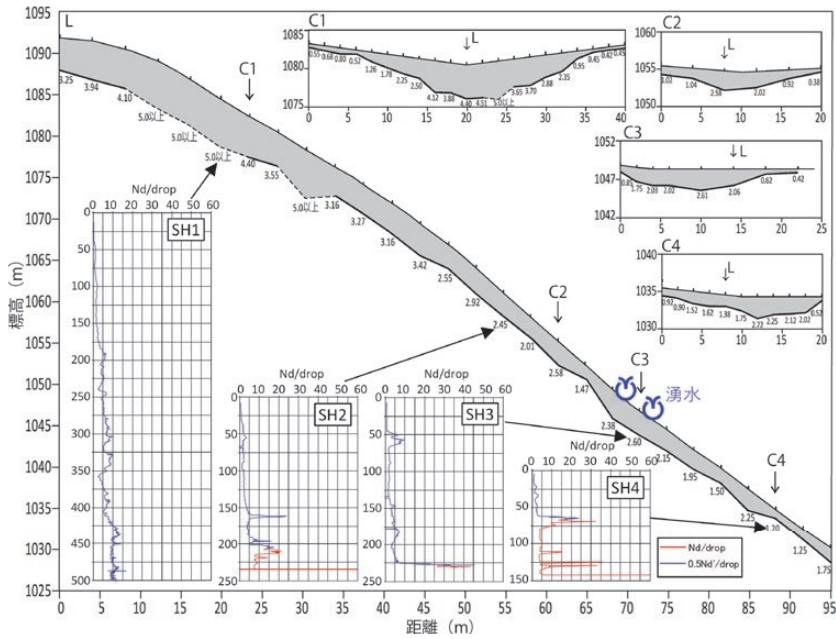


図9 表層土層構造の調査結果  
右上の図は、土層強度検査棒による調査結果である。土層深を数字で示し、土層分布範囲を灰色で塗りつぶしている。左下のグラフはSH型貫入試験結果である。

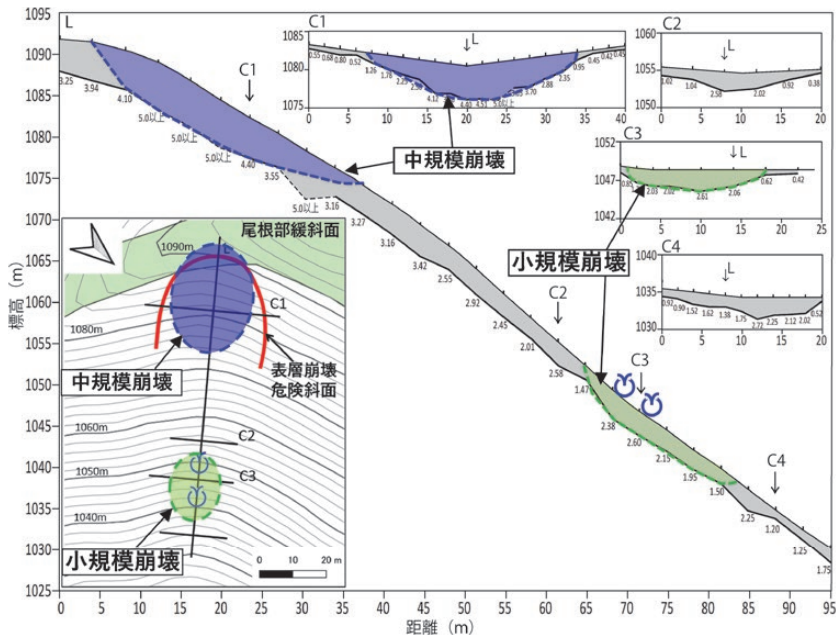


図10 崩壊範囲の推定結果  
中規模崩壊はローム層の崩壊、小規模崩壊は礫混じり土砂の崩壊と想定される。

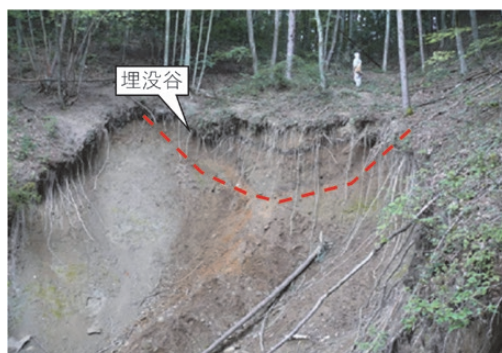


図11 2006年に岡谷で発生した埋没谷の崩壊（千木良・松澤（2008）に一部加筆）赤破線は、埋没谷と基盤岩との境界を示している。図10の中規模崩壊は、図11に類似した形態と想定される。

混じりの緩い土層の崩壊を小規模崩壊と述べる。

4.1章の地形解析による表層崩壊危険箇所の抽出（図8）では、中規模崩壊を特定することが出来たが、地形に明瞭な特徴がない小規模崩壊は特定することが出来なかった。これより、地形解析だけでは崩壊危険箇所の抽出漏れが発生するため、現地踏査（湧水箇所、段差地形の確認など）、および土層構造調査を行うことが望ましいことが明らかとなった。

### (3) 土石流シミュレーション

小規模崩壊と中規模崩壊の土石流シミュレーションによる流動深（土石流の深さ）の時間変化を図12に示す。小規模崩壊による土石流は、発生から25秒後に200 m程度流下し、100秒後には中央道の手前に達する（図12a）。中央道を超えてからは標高804 mの丘にぶつかり2方向に分岐する。114秒後に分岐した北側の土石流が集落に到達し、徐々に土石流が集落に広がる（125秒後）。土石流は、150秒後には土砂災害警戒区域（土石流）の最大到達点に達し、その後、扇状に若干拡散して収束した。

中規模崩壊による土石流は、発生から25秒後の時点では小規模崩壊による土石流と同程度の位置であったが、その後追い抜き、100秒後には土石流が集落の中ほどに到達し、徐々に土石流が集落に広がる（図12b）。家屋に土石流が到達する時間

は、中規模崩壊の発生源が100 mほど離れているにも拘わらず、小規模崩壊より35秒ほど早かった。土石流速度は地形勾配に最も依存するため、崩壊範囲と設定した範囲の急勾配な斜面が長い中規模崩壊の土石流速度が速くなった可能性があるが詳細は不明である。125秒後には土砂災害警戒区域（土石流）の最大到達点に達し、150秒後には扇状に若干拡散し、その後、水路の位置で収束した。土石流の流動深は、小規模崩壊、中規模崩壊で大差はなく最大5 m程度であった。

小規模崩壊と中規模崩壊の土石流シミュレーションによる土石流の最大到達範囲を比較すると、両者の差はほとんどないことが分かった（図13）。実際に発生した土石流と土石流シミュレーションによる規模を検証した江川・他（2016）、竹林・他（2018, 2019）によると下流域の土石流の規模は、土石流の流下過程で溪床や河岸などを浸食して取り組んだ土砂と水の量で決定されるため、土石流の流下距離が長い場合は斜面崩壊の大きさは土石流の規模にほとんど影響を与えないと考えられている。そのため、神子沢のように、崩壊地と谷出口が500 m以上離れている場合は、斜面崩壊の規模が大きくなっても土石流の最大到達範囲はほとんど変わらなかったと想定される。

土石流シミュレーションによる土石流の最大到達範囲と土砂災害警戒区域（土石流）を比較すると、中央道より上流の流下域では土石流シミュレーションの方が左岸側に膨らんで流下していることが分かる（図13）。これは、屈曲部に位置するため攻撃斜面側に土石流が膨らんだためと想定される。中央道より下流では、土石流の到達幅はほぼ一致しているが、末端部の最大到達範囲は、土石流シミュレーションの方が最大100 m程度広いことが分かった。ただし、土砂災害警戒区域のイエローゾーンと本研究の土石流シミュレーションの範囲は、設定方法が異なるため、厳密に比較することはできないことに留意が必要である。土砂災害警戒区域のイエローゾーンは、「土砂災害が発生した場合に、住民の生命または身体に危害が生ずるおそれがあると認められる区域」である。土石流の場合は、「扇頂部から下流で勾配が2度

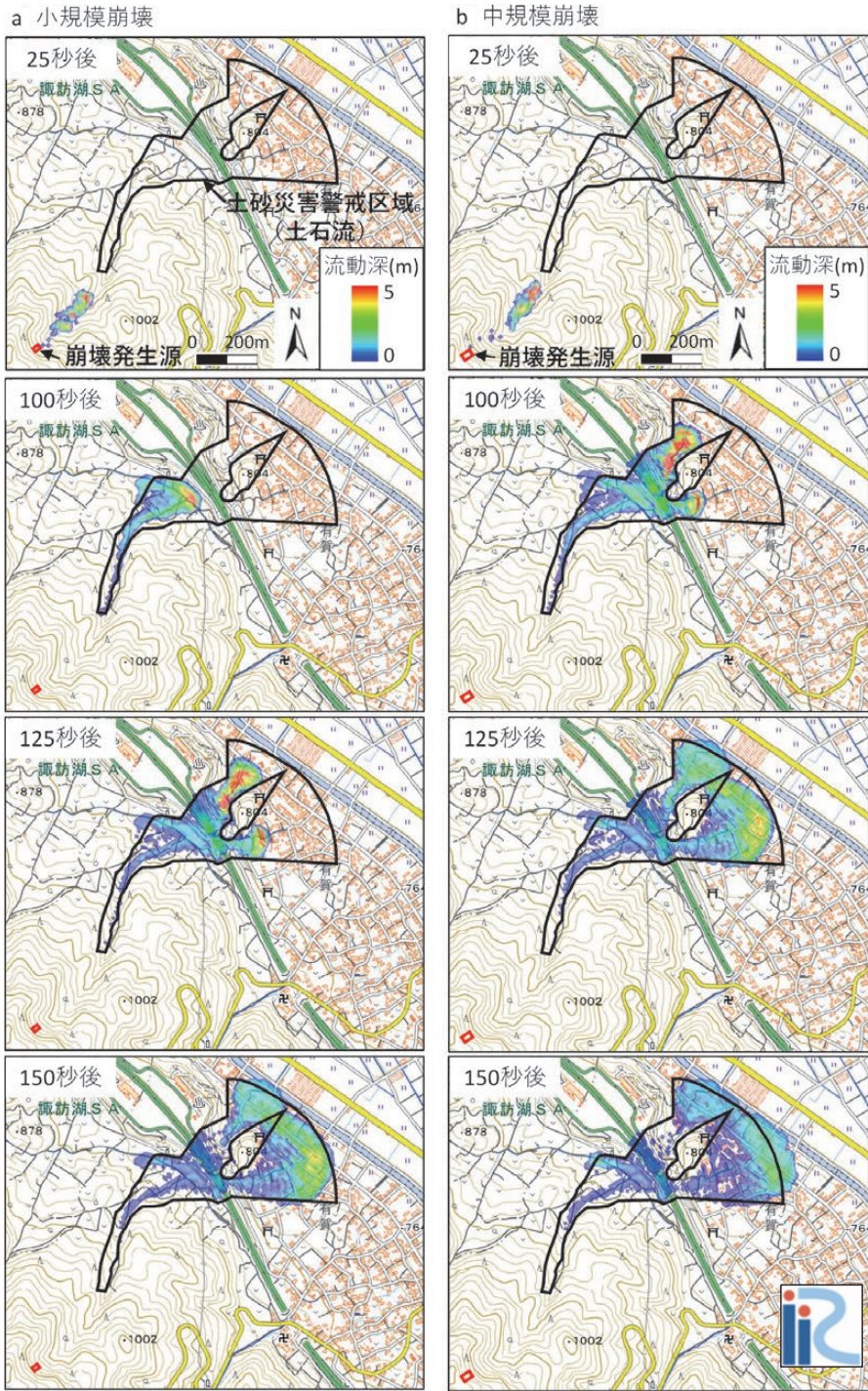


図12 土石流シミュレーション結果  
崩壊発生から25, 100, 125, 150秒後の土石流の流動深 (m) を示す。基図は、国土  
地理院地図を用いた。

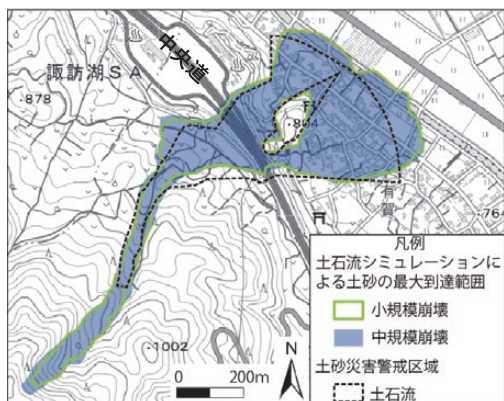


図13 土石流シミュレーションによる土砂の最大到達範囲の比較

以上の区域」とされており、大きな破壊を伴う土石流が到達する範囲となる。一方、本研究の土石流シミュレーションによる土砂の到達範囲は、大きな破壊を伴わない単なる土砂の到達範囲も含んでいるため、土石流より流下範囲が広がった可能性がある。

### 4.3 土砂災害ハザードマップの作成と検証

#### (1) 土砂災害ハザードマップの作成

前章までの調査結果から得られた土砂災害に関する情報をとりまとめた土砂災害ハザードマップを作成した(図14)。諏訪市がHPで公開しているハザードマップに比較して追加した情報を以下に示す。

【追加した土砂災害に関する情報】

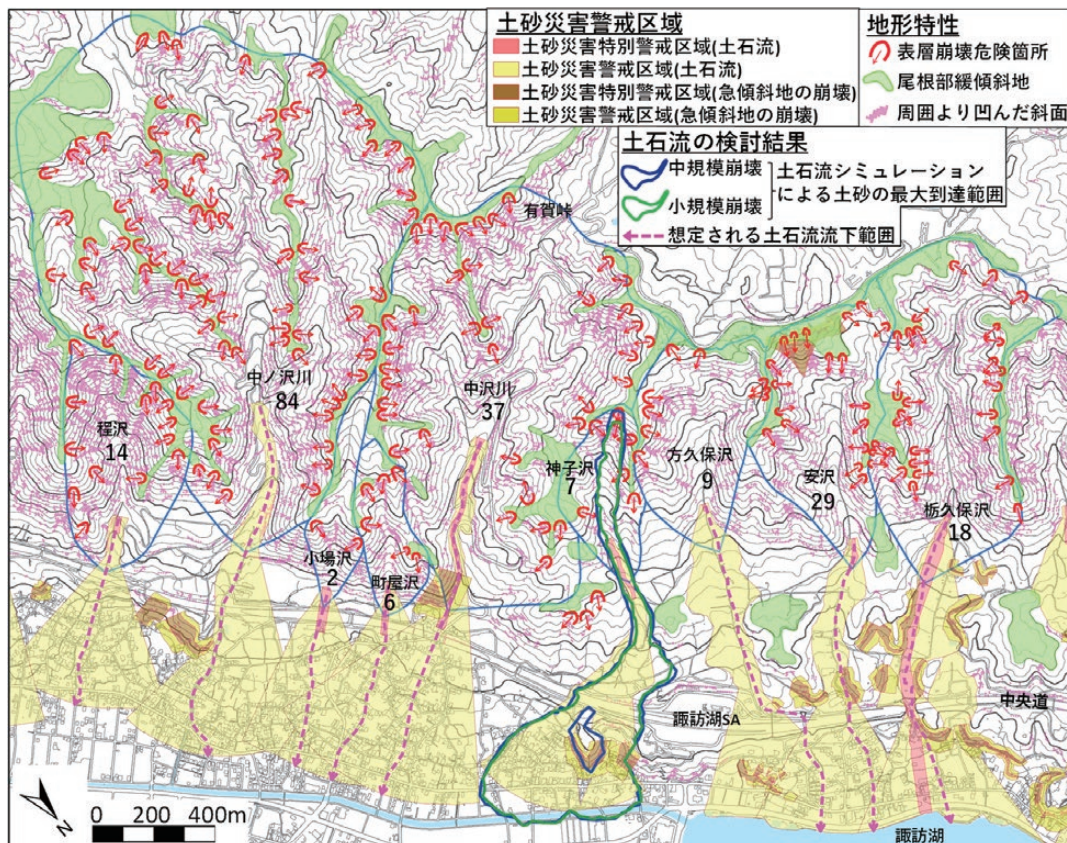


図14 作成した土砂災害ハザードマップ  
 溪流名下の数字は、流域内の表層崩壊危険箇所の合計数を示す。

### ① 地形解析結果

地形解析から作成した地形情報(尾根部緩斜面、周囲より凹んだ斜面)と、表層崩壊危険箇所を追加した。神子沢の北西部の斜面では、土砂災害警戒区域に指定されていない箇所に表層崩壊危険箇所が分布しており、崩壊危険斜面の抽出漏れを改善することができた。これらの情報を追加することにより、崩壊が発生しやすい斜面をピンポイントで把握することが出来るため、避難計画に反映することができる。

### ② 表層土層構造調査で抽出した表層崩壊危険箇所

神子沢での表層土層構造調査により、地形解析では抽出されなかった崩壊危険斜面(図8の小規模崩壊)が明らかとなったため、表層崩壊危険箇所に追加した。地形解析だけでは、危険斜面の抽出漏れがあるため、現地にて表層土層の詳細調査を行うことが望ましい。

### ③ 土石流の検討結果

神子沢では、小規模崩壊、中規模崩壊起因の土石流シミュレーション結果に基づく土石流の流下範囲を示した。神子沢以外の8溪流は、住民要望を踏まえ土石流の流下方向を示した。流下方向は、地形判読から沢部を判読して記載した。これらの情報を加えることにより、土砂災害警戒区域の中でも土石流の流下の恐れが高い箇所が分かるため、避難ルートを検討に役立てることができる。

## (2) 土砂災害ハザードマップの検証

土砂災害ハザードマップの住民説明会後に実施したアンケート結果を図15および表3に、アンケートから見える特徴及び今後の課題などを以下に示す。なお、住民説明会には21名が参加し、アンケートの回収率は100%であった。

### ① 参加者の属性(図15質問1, 2)

参加者の年齢は、60代が34%と最も多く、次に50代と40代が19%, 30代, 20代は14%であった。20代未満, 20代, 80代以上の参加者はなかった。年齢構成をみると30代~70代の方が満遍なく参加されたことが分かる。30~40代の参加者は合計7人であるが、参加者は全員、地元の消防団に参加していた。参加者の男女比率は、男性が95%, 女

性が5%と女性の参加者が少なかった。なお、同一世帯からの参加者はおらず、有賀区の世帯数は582であるため、世帯での参加率は3.6%であった。

### ② 土砂災害に関する理解度(図15質問3, 4)

「(3) 今回の住民説明会に参加し、お住まいの地区の斜面災害に関する理解は深まりましたか?」および、「(4) 神子沢で実施した土層調査、土石流シミュレーション結果を聞いて神子沢の土砂災害特性に関する理解は深まりましたか?」の質問は、両者とも、「非常に深まった」が67%, 「やや深まった」が33%であり、「深まらなかった」、「あまり深まらなかった」は0%であった。これより、本取組で作成した土砂災害ハザードマップおよび住民説明会は、住民の土砂災害の理解促進に貢献できたと言える。

### ③ 作成した土砂災害ハザードマップの評価(図15質問5, 6, 表3質問9)

「(5) 今回の土砂災害ハザードマップは従来のハザードマップに比べ分かりやすかったですか?」の質問は、「分かりやすかった」が71%, 「どちらかというと分かりやすかった」が29%であり、「分かりにくかった」、「どちらかというと分かりにくかった」は0%であった。これより、本取組で作成した土砂災害ハザードマップは、従来のハザードマップに比較して分かりやすくなっていると言える。

「(6) 今回の土砂災害ハザードマップは、実際の豪雨時に役立つと思いますか?」の質問は、「非常に思う」が57%, 「やや思う」が43%であり、「思わない」、「あまり思わない」は0%であった。質問3~5に比較し最も高評価の割合が低下したものの、実際の豪雨時に活用できるとの意見が多かった。

「(9) 本日の住民説明会に参加し、避難方法について気になることはありますか?」では、「土砂災害ハザードマップが大変分かりやすかった」、「長期的に見て安全な場所はないことが良く理解できた」など地域の土砂災害の理解促進に貢献できたことが分かった。一方、「土石流は建建物・構造物で変わってしまうのでさらにピンポイントでの流れを示せないか」、「各沢の危険度やシミュ

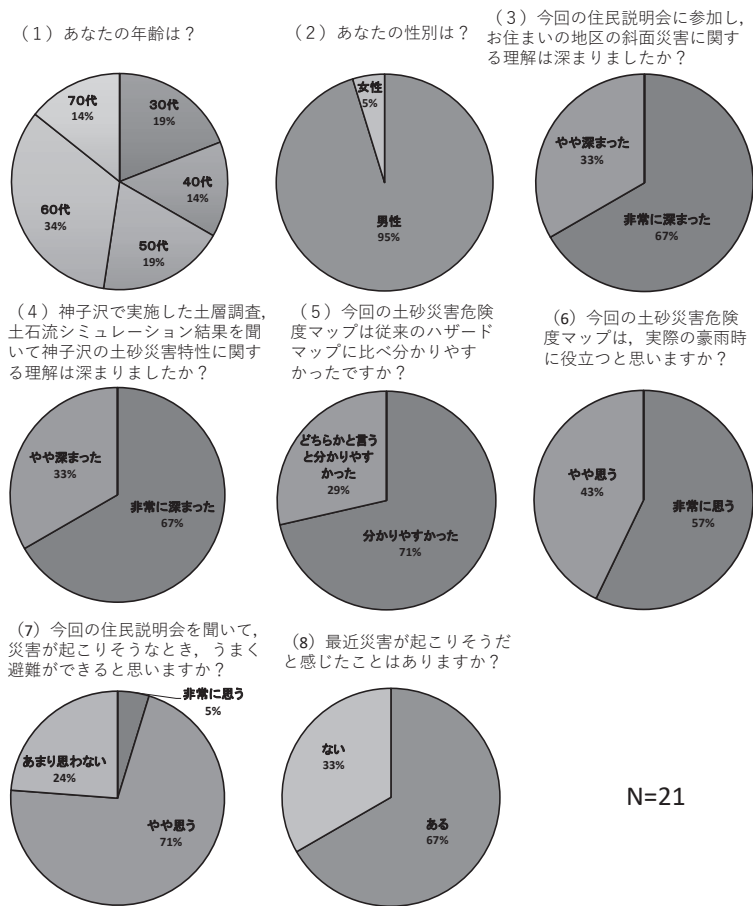


図15 本研究の取組に対するアンケート結果  
2018年10月8日の土砂災害ハザードマップの住民説明会後にアンケートを実施した。

レーションが必要と感じた」など、今後、さらに詳細な調査を望む意見もあった。

#### ④ 災害時の避難方法(図15質問7, 8, 表3質問10)

「(7) 今回の住民説明会を聞いて、災害が起こりそうなとき、うまく避難ができますか？」では、「非常に思う」が5%、「やや思う」が71%、「あまり思わない」が24%、「思わない」は0%であった。他の項目では、平均より低い項目を選択した人はいなかったが、この質問では、「非常に思う」の割合が低く、「あまり思わない」を選択した人が24%と多いことが特徴であった。うまく避難が出来そうだと解答した人の割合が少

ないのは、土砂災害は個別要素が強く、今回示した情報だけでは、十分な避難が出来ないと考えた人が多いためと想定される。

「(8) 最近災害が起こりそうだと感じたことはありますか？」では、最近災害が起こりそうだと感じた方が67%いることから、有賀区の住民の方は、土砂災害の危険性が高い地域に住んでいると認識している人が多いことが分かった。

「(10) 土石流シミュレーションの内容、従来のハザードマップなどについて気になることはありますか？」では、「個々の家からの安全な避難経路を示した図が欲しい」、「土石流シミュレーション結果を避難経路にどのように結びつけるかが課

表3 自由記述のアンケート結果

質問内容	回答者	解答内容
(9) 本日の住民説明会に参加し、避難方法について気になることはありますか？	40代男性	避難のタイミング(雨量など)をどうするか。
	60代男性	上からの流れで災害になることはわかるので個々の家から安全な方向(避難経路)を示さなければ急な場合の安全が図れない。横道をどの方向(ルート)に行けばいいか示した図が欲しい。
	60代男性	神子沢の土石流の下流へのシミュレーションはイメージとして分かりやすかった。避難訓練にどう結びつけていくかが課題。
(10) 土石流シミュレーションの内容、従来のハザードマップなどについて気になることはありますか？	40代男性	各沢の危険度やシミュレーションが必要と感じました。
	50代男性	長期的に見て安全な場所はないことが良く理解できました。
	60代男性	土石流は建物物・構造物で変わってしまうのでさらにピンポイントでの流れを示せないか。従来のマップよりは役に立つと思いますが。
	60代男性	土石流シミュレーションは衝撃的であった。
	60代男性	防災マップは、大変分かりやすかった。下流住民はどう受け止めるか、どう避難するかへの課題をどう取り組むかが大きな課題。
(11) 本日の住民説明会の感想、その他、ご意見等がありましたらお書き下さい。	70代男性	土砂災害の根本的対策の必要性を強く感じた。
	60代男性	説明された内容は専門的なものを含み良かったのですが一般住民には分かりづらいと思われるがほとんど参加してはなく、これでとりあえず良かったのではないかな。
	60代男性	もう少し住民が災害に対して意識をもつべきだと思う。
	60代男性	災害に関する意識を常に持つ事は大変重要と思います。もっと多くの住民が今回の報告会に参加して欲しかった。
	60代男性	具体的な説明で役に立った。
	70代男性	一般住民の参加が少ない。今後PRに工夫が必要。

題]、「避難のタイミングをどうするか」など、個別の事情を踏まえて検証する必要があることが課題としてあがった。これらの要望に応えることは、本取組で作成した土砂災害ハザードマップでは答えることが難しいため、有賀区および個人々が継続して防災活動に取り組み、マイ・タイムライン(国土交通, 2020など)、わが家の防災マップ(豊中市, 2021など)などを作成し、防災訓練を実施することが望ましいと言える。

⑤ 住民説明会の感想、その他意見(表3 質問11)

「専門的なものを含み良かったが、一般住民には分かりづらいと思われる」、「一般住民の参加が少ない。今後PRに工夫が必要」、「もう少し住民が災害に対して意識をもつべきだと思う」などの意見が出た。住民説明会では、土層構造調査や土石流シミュレーションなど専門的な内容の説明をしたが、一般の方に土砂災害を理解して頂くためには、正確な情報だけでなく、分かりやすく伝

える必要があることが分かった。また、専門家の伝える努力だけではなく、住民側の聞く力を向上するために防災リテラシーを高める取り組みも並行して行うことも重要と感じた。現地での土層構造調査に参加した5名の住民からは、「神子沢に、こんなに厚いローム層があるとは知らなかった」、「土層構造調査から崩壊規模が推定できることが良く分かった」、「他の箇所でも土層厚の測定を実施したい」などの意見が出た。現地を見ることに地域の理解がより深まるため、多くの方に現地調査に参加して頂くことも防災リテラシーの向上に役立つと考えられる。住民説明会は、地区の回覧版のみで宣伝を行ったが、若い世代の参加を促すためには、SNSなどの活用も今後必要と考えられる。

5. おわりに

本取組では、長野県諏訪市豊田地区有賀区にて、理工学的視点に基づく住民参加型の土砂災害ハ

ザードマップを作成し、アンケート調査から本取組の効果と課題について検討した。まず、地形解析により崩壊危険斜面を抽出し、次に代表溪流での土層構造調査から崩壊規模を推定し、崩壊規模に基づく土石流シミュレーションを実施した。調査の結果、崩壊危険斜面は、対象の9溪流で合計205箇所抽出された。このうち、神子沢を対象に詳細調査を実施した結果、比較的規模の大きなローム層主体の崩壊（中規模崩壊）と、小規模な礫混じりの緩い土層の崩壊（小規模崩壊）の2つが発生する可能性が高いことが分かった。地形解析による崩壊危険斜面の抽出では、地形に明瞭な特徴がない小規模崩壊箇所は特定することが出来なかったため、抽出漏れを防ぐために現地踏査、および土層構造調査を行うことが望ましいことが分かった。

中規模崩壊と小規模崩壊が発生した場合の土石流シミュレーションを実施した結果、土石流の到達範囲はほとんど差がなかった。土石流シミュレーションの土砂の最大到達範囲は、土砂災害警戒区域より100 mほど広がる事が分かった。以上の土砂災害の危険性に関する情報を従来のハザードマップに追加することにより土砂災害ハザードマップを作成した。

1章のはじめにて、土砂災害警戒区域のみに基づき避難計画を検討する際の問題点として3点を挙げたが、今回作成した土砂災害ハザードマップでは次のように改善できた。①保全対象がない斜面も対象に表層崩壊危険箇所を地形解析により抽出したため、調査地全域の表層崩壊の危険性を把握することができた。実際に神子沢の北西部の斜面には、土砂災害警戒区域に指定されていない箇所に新たに表層崩壊危険箇所が確認された（図8のa）②住民要望が高く、崩壊起因の土石流により集落に甚大な被害がでる恐れがある神子沢では、現地踏査、土層構造調査を行うことによりピンポイントで崩壊の可能性が高い斜面を抽出できた。さらに、抽出した斜面で崩壊が発生した場合を想定した土石流シミュレーションを行い、シミュレーション結果に基づく土石流の流下範囲を示した。③今回の調査地域には、深層崩壊の恐れがあ

る斜面は確認されなかった。しかし、神子沢での土層構造調査により、埋没谷に5 m程度と厚いロームが堆積しており、ここが崩壊した場合、一般的な表層崩壊より大規模な崩壊が発生すると想定された。

土砂災害ハザードマップ作成後に行った住民説明会のアンケート結果より、本取組で作成した土砂災害ハザードマップおよび住民説明会は、住民の土砂災害の理解促進に貢献できたこと、従来のハザードマップより分かりやすいことが確認された。一方、家屋などの構造物を考慮した土石流シミュレーションや個別の避難を考えるためにマイ・タイムライン、我が家の防災マップなどの作成が今後、必要であることが分かった。専門家以外の一般の方に土砂災害を理解して頂くためには、科学的根拠に基づいた正確な情報の発信だけではなく、分かりやすく伝える工夫や、住民側の聞く力を向上するために防災リテラシーを高めることも今後の課題であるといえる。また、今回土石流シミュレーションに用いたiRICは、想定した崩壊範囲から飽和状態の水と土砂の混合物が流下することにより、流下部に堆積する溪床堆積物を巻き込みながら土石流が発生すると設定した一つのケースでしかないことに注意が必要である。実際には、降雨条件によって斜面崩壊の発生場所・規模、それに起因する土石流の到達範囲などは変化するため、複数の条件でシミュレーションを行い、土石流の到達範囲などの不確実性を検証することが望ましい。

本取組で作成した土砂災害ハザードマップは、A0判に拡大印刷されて有賀区内の6つの公民館に常時提示しており、地区での説明会や会合のたびに土砂災害の危険性を確認するなど、地域の防災活動に活用されている。また、諏訪湖SAのスマートインター計画に伴い有賀区が諏訪市に提出した「土石流対策」の要望書は、土砂災害ハザードマップを基にした住民議論がまとめられており、その内容が工事に反映されるなど、ハード対策にも活用されている。本取組が一つのモデルとなり、科学的根拠に基づいた土砂災害ハザードマップの地域の防災活動への反映、そして地元要望に基づ



く土砂災害対策が進むことを願っている。

今後、引き続き、安定計算による崩壊危険範囲の推定、土石流シミュレーションの精度向上（現地調査に基づくパラメータの設定、家屋などの構造物を考慮など）により、災害予測精度を向上する予定である。また、崩壊危険箇所の住民参加型の見学会、土砂災害に関する講演会などにより住民側の土砂災害に対する防災リテラシーを向上する取組も実施することから、土砂災害の被害軽減につなげる予定である。

## 謝辞

諏訪市有賀区にお住いの小泉悦夫氏をはじめ有賀区の皆様には、現地調査への同行、住民説明会の開催に便宜を図って頂いた。パシフィックコンサルタンツ株式会社の江良太我氏、稲毛孝章氏には土層の調査を手伝って頂いた。本研究は、パシフィックコンサルタンツ株式会社の研究開発費を使用した。ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 千木良雅弘・松澤真：2006年長野県岡谷豪雨による斜面崩壊の発生場と広域的崩壊危険度評価，平成19年度京都大学防災研究所研究発表会，E07，2008。
- 江頭進治・伊藤隆郭：土石流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・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，Vol. 68, No. 5, pp. 38-42, 2016。
- 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。
- 表土層調査技術研究会：SH 型貫入試験 技術・調査基準 同解説，表土層調査技術研究会，15p., 2015。
- 蔭山星・飛岡啓之・平川了治・竹林洋史：表層崩壊から土石流までを一連で予測する数値解析手法の検討，平成30年度砂防学会研究発表会講演集，pp. 431-432, 2018。
- 片倉正行・小山泰弘・山内仁人：平成18年7月豪雨により岡谷市等で発生した土石流の発生状況と自然環境要因，長野県林業総合センター研究報告，Vol. 23, pp. 37-49, 2009。
- 国土交通省：実効性のある避難を確保するための土砂災害対策のあり方について 報告書，2019，[https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee\\_jikkousei](https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_jikkousei)，2022年9月5日閲覧。
- 国土交通省：マイ・タイムラインガイド【Ver.10】，2020，<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/main/saigai/tisiki/syozaiti/mytimeline/pdf/guide.pdf>，2022年10月11日閲覧。
- 窪田安：長野県諏訪湖南西方における塩嶺累層の火山層序と地質構造，島弧会合部における後期鮮新世～前期更新世の火山活動史，地質学雑誌，Vol. 105, No. 1, pp. 25-44, 1999。
- 松澤真：ハザードマップの作り方と減災のためのアウトリーチ，応用地質，Vol. 60, No. 5, pp. 235-238, 2019。
- 松澤真・斉藤泰久・南智好・伊藤達哉・新貝文昭・山寺喜成：土砂災害から命を守るための予防防災の取組 (I)，長野県辰野町の土砂災害ハザードマップと住民参加型防災マップの作成，水利科学，Vol. 65, No. 5, pp. 40-65, 2021。
- 斉藤泰久・新貝文昭・鈴木仁・皆川淳・上野紗綾子：DEM データを用いた斜面安定評価と森林再生方法の検討（その1），平成21年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 286-287, 2011。
- 佐々木靖人：土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル（案），土木研究所資料，Vol. 4176, 40p., 2010。
- 諏訪教育会：諏訪の自然史 地質編，信教印刷，531p., 1975。
- 諏訪建設事務所：土石流危険溪流カルテ，2000，<http://scr.wagmap.jp/pref-nagano/pdf/files/kikenkasho/doseki/04/20611036.pdf>，2022年10月10日閲覧。
- 諏訪市：諏訪市町内会別登録人口及び世帯数，2022，<https://www.city.suwa.lg.jp/uploaded/attachment/38713.pdf>，2022年10月10日閲覧。
- 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。
- 田中隆文・石垣勝之・磯打千雅子・井良沢道也・小穴久仁・大槻聡志・大村さつき・蟹井進・酒井千富・霜田宜久・鈴木清敬・中村清美・西山幸治・坊農豊彦・町田尚久：砂防学会公募研究会「土砂災害に備える地区防災計画研究会」活動報告，砂防学会誌，Vol. 73, No. 4, pp. 64-71, 2020。

- 竹林洋史・江頭進治・藤田正治：伊豆大島で発生した泥流の平面に次元解析，河川技術論文集，Vol. 20, pp. 391-396, 2014.
- 竹林洋史・藤田正治：2016年4月熊本地震時に発生した山王谷川の土石流の流動特性，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol. 74, No. 5, pp. 1093-1098, 2018.
- 竹林洋史・藤田正治：2018年7月に広島市安芸区矢野東で発生した土石流の流動特性，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol. 75, No. 2, pp. 859-964, 2019.
- 戸田堅一郎：シリーズ「近年の土砂災害」2006年長野県岡谷市で発生した土砂災害，水利科学，Vol. 53, No. 5, pp. 12-23, 2009.
- 豊中市：わが家の防災マップ，2021，[https://www.city.toyonaka.osaka.jp/kurashi/bosai/bousai\\_info/hazardmap/saigainisonaete/index.html](https://www.city.toyonaka.osaka.jp/kurashi/bosai/bousai_info/hazardmap/saigainisonaete/index.html)，2022年10月11日閲覧。
- (投稿受理：2022年10月31日  
訂正稿受理：2023年4月20日)

## 要 旨

長野県諏訪市有賀区にて，理学的視点に基づく住民参加型の土砂災害ハザードマップを作成し，アンケート調査から本取組の効果と課題について検討した。まず，地形解析により崩壊危険斜面を抽出し，次に代表溪流での土層構造調査から崩壊範囲を推定し，崩壊規模に基づく土石流シミュレーションを実施した。以上の土砂災害の危険性を示す情報から土砂災害ハザードマップを作成した。作成した土砂災害ハザードマップは，住民の土砂災害の理解促進に貢献できたこと，実際の豪雨時に役に立つと認識されたことが分かった。