

# 河道閉塞（天然ダム）及び火山の噴火を原因とする土石流による被害範囲を速やかに推定する手法

内田太郎\* 山越隆雄\*\* 清水武志\*\*\* 吉野弘祐\*\*\*\* 木佐洋志\*\*\*\*\* 石塚忠範\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

地震や豪雨により生じた大規模な河道閉塞（天然ダム）（以下、「河道閉塞（天然ダム）」を単に「天然ダム」とする。）は、天然ダム上流に溜まった水が越流することにより土石流（以下、「天然ダムを原因とする土石流」という。）を発生させ、天然ダム下流に甚大な被害を及ぼすことがある<sup>1)</sup>。また、噴火により、火山灰等が堆積した後に、降雨に伴い発生する土石流（以下、「火山の噴火を原因とする土石流」という。）は、火山灰等の堆積した溪流の下流に甚大な被害を及ぼすことがある<sup>2)</sup>。このような天然ダムや火山の噴火を原因とする土石流による被害を軽減するためには、被害の生じるおそれのある範囲及び時期を速やかに推定することが重要となる。

平成23年5月1日に土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（以下、「土砂災害防止法」）の一部を改正する法律（以下、「改正土砂災害防止法」）が施行された。同法の施行により、今後は天然ダムの形成や火山の噴火に伴う降灰が確認され、要件を満たした場合には、緊急調査を行い、土砂災害緊急情報が発表されることとなった。これにあわせて、国土交通省砂防部砂防計画課、国土技術政策総合研究所砂防研究室、土木研究所土砂管理研究グループでは、「土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編）及び同（噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編）（以下、「手引き」と呼ぶ。）」をとりまとめた。

手引きでは、改正土砂災害防止法の趣旨に従い、天然ダムを原因とする土石流および火山の噴火を原因とする土石流による被害が想定される土地の区域を国土交通省による調査によって示すための手法を示した。天然ダムが形成される等土石流に

よる被害が生じる急迫性が高まった状況においては、住民の避難行動に資するため、被害のおそれのある区域等の情報を速やかに提供する必要がある。そのため、手引きでは、情報として一定程度の精度を確保した上で、時間をかけずに結果を出すことを主眼とし、区域や時期等の情報を提供するために最低限実施すべき緊急調査の内容について整理した。本報告では、手引きに示されている調査・解析のうち、天然ダムを原因とする土石流および火山の噴火を原因とする土石流による被害のおよぶ区域の推定に関する初動期の調査・解析



写真-1 平成20年6月岩手・宮城内陸地震によって形成された天然ダム（平成20年6月28日撮影）



写真-2 平成23年1月霧島山（新燃岳）噴火（平成23年1月27日撮影）

方法を紹介する。

## 2. 手法の概要

### 2.1 対象とする現象

#### (1)天然ダムを原因とする土石流

手引きでは、天然ダム形成後、徐々に上流側湛水位が上昇し、越流の開始等によって、河道を閉塞した土砂が急速に侵食されて土石流化し、下流の土地において氾濫することを想定している。

なお、豪雨中に天然ダムが生じ豪雨の期間中に天然ダムで越流侵食のおそれがある場合には、調査・解析を行う時間的猶予がなく、緊急調査の対象とはしがたい。そこで、手引きでは、天然ダムを原因とする土石流により被害が想定される土地の区域の設定に際して、豪雨による天然ダムの湛水域への流入流量の増大の影響は考慮せず、天然ダム上流の湛水位が上昇し、平常時の流量で天然ダムの侵食が開始する場合を想定して行うことを基本とした。

#### (2)火山の噴火を原因とする土石流

手引きでは、火山灰等の堆積により、斜面の浸透能が著しく低下し、降雨時に雨水のほとんどが表面流として流出することにより土石流が発生し、下流の土地において氾濫することを想定している。

なお、過去に氾濫被害が広域にわたって生じた火山の噴火を原因とする土石流を発生させた降雨は、降雨強度が大きいばかりでなく総雨量としても大きかった。そこで、後述するハイドログラフの想定にあたっては、対象とする地域の24時間の実績ハイドログラフを想定することとした。

### 2.2 検討手法

土石流など土砂災害が想定される土地の区域を推定する手法として、用いられている手法は以下の2つに大別される。

- ① 過去の土砂災害事例を分析し、土石流等の影響が及んだ範囲の地形的特徴を明らかにし、その地形的特徴を有する範囲を土砂災害が想定される土地の区域として推定する手法
- ② 土石流等の影響が及ぶ範囲を支配する物理過程を取り入れた数値シミュレーションにより区域を推定する方法

これまで土砂災害対策において用いられてきた手法の大半は①に分類される手法である。例えば、現在、都道府県で進められている土砂災害防止法

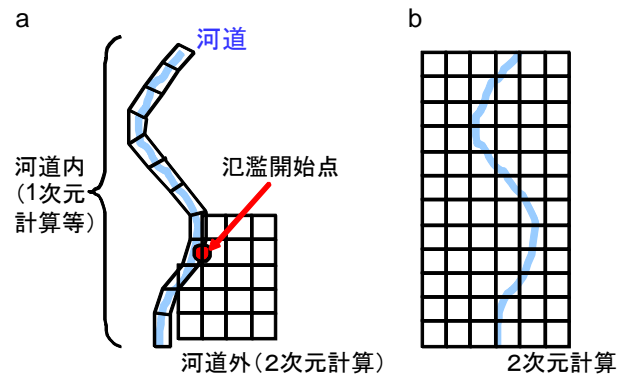


図-1 氾濫計算の領域分割の概念図

に基づく土砂災害警戒区域の設定は①に分類される手法によって行われている。一方、②に分類される手法は、不確定要素を多く含む稀にしか発生しない大規模な土砂移動現象を対象に用いられてきた。

この手引きで対象とする天然ダムを原因とする土石流や、火山の噴火を原因とする土石流の災害は発生事例が必ずしも多くなく、また、天然ダムが生じる場所、上下流の地形、天然ダムの規模や形状、火山灰の堆積範囲等に、被害が生じる範囲は強く影響を受けると考えられる。このため、①のような手法で、災害が想定される土地の区域の推定を行うことは困難と考え、②の数値シミュレーションによる手法を用いることとした。

### 2.3 数値シミュレーション手法

数値シミュレーション手法は領域の取扱いの観点から、以下の2つに大別される(図-1)。

- a. 河道内を、河川の流下方向に水位、河床位等の変動を計算(以下、1次元計算という。)した上で、氾濫開始点を探索し、河道

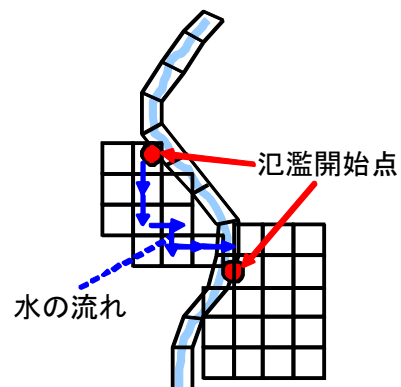


図-2 複数の氾濫開始点がある場合の概念図

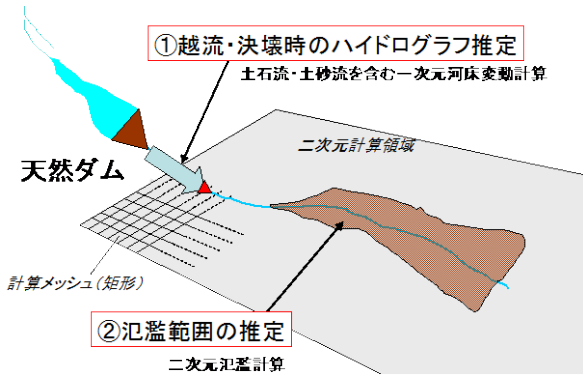


図-3 天然ダムを原因とする土石流により被害が想定される土地の区域の想定手法

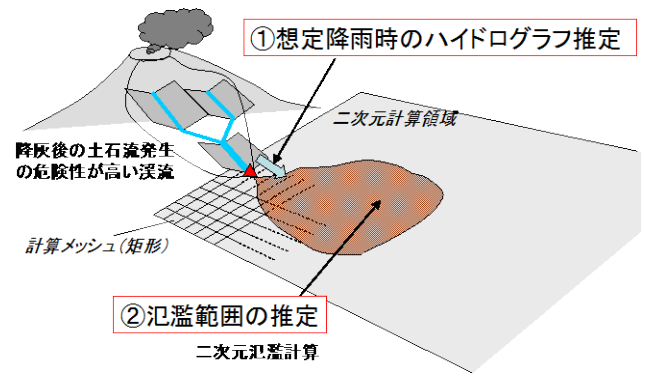


図-5 火山の噴火を原因とする土石流により被害が想定される土地の区域の想定手法

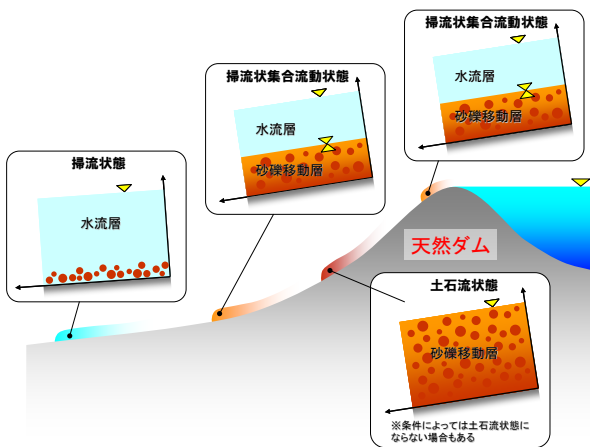


図-4 天然ダム部の1次元計算手法の概念図

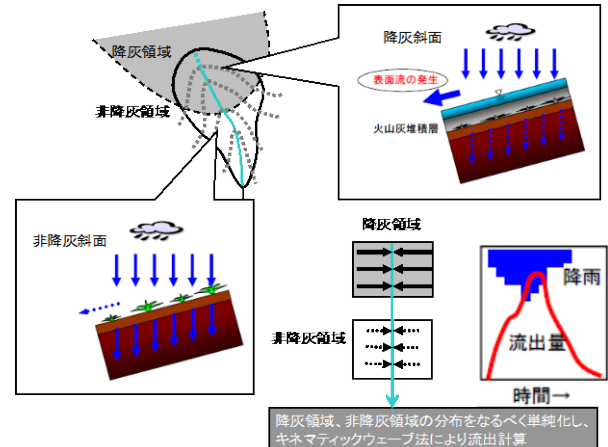


図-6 降灰流域の分布型流出計算の概念図

外については、2次元的に水位等の変動を計算（以下、2次元計算という。）をする手法

**b. 河道内外を一括して2次元計算する手法**

aの手法は、bの手法に比べて河道地形を精度良く表現することができ、氾濫の有無のみを表現する場合に優れている。しかし、aの手法で精度良く河道地形を表現するためには、事前の準備（詳細な測量および地形データの作成）が重要であり、事前に準備できていない場合には、測量から行う必要が生じる可能性がある。さらに、図-2に示すように、河道内の計算で複数の氾濫開始点が生じた場合、下流の氾濫開始点からの氾濫範囲を推定するには、上流の氾濫開始点における氾濫の影響を評価する必要がある。さらに山間部では、いったん氾濫した水や土砂が再び河道内に戻る場合も考えられる（図-2）。aの河道内と河道外を独立して計算を行う方法では、これらを十分に表現できない。そのため、河道内の1次元計算と河道外の2次元計算を連動して実施できるように地形データを作り込んでおく必要がある。

一方、bの手法の場合、河道地形を精度良く表現できない可能性があるものの、国土院が10mメッシュの標高データを整備・公開しており、全国どこでも速やかに地形データを作成することができる。そこで、「一定程度の精度を確保した上で、時間をかけずに結果を出すこと」とした手引きの基本的な考え方に従いbの手法を用いることとした。

**(1)天然ダムを原因とする土石流**

前述のとおり、氾濫計算は、河道内外を一括して2次元計算を用いることとしているが、天然ダム部分の越流侵食過程の数値計算については、近年2次元計算手法が提案されてきてはいるものの、実現象に対する検証が不十分である。一方、天然ダムを1次元に取り扱うモデルは実現象にも適用され再現性が高いことが確認されてきた<sup>3),5)</sup>。そこで、手引きでは、

- ①天然ダム下流末端より上流域の1次元河床変動計算
- ②天然ダム下流末端より下流域における2次元

氾濫計算

を組み合わせた手法を用いることを基本とした(図-3)。特に、①については、土石流から掃流砂まで連続的に扱え、実際の天然ダムで再現性が確認されてきた里深ら(2010)の手法<sup>3)</sup>を用いることとした(図-4)。

(2)火山の噴火を原因とする土石流

火山の噴火を原因とする土石流のハイドログラフ推定は、火山灰等の堆積範囲と浸透能等を考慮して有効降雨を設定し、表面流流下計算が可能な分布型流出計算を行うこととした。そこで、手引きでは、

- ① 想定氾濫開始点より上流域の分布型流出計算
  - ② 想定氾濫開始点より下流の二次元氾濫計算
- を組み合わせた手法により行うことを基本とした(図-5)。火山噴火時には降灰範囲が広範囲に亘ることが想定され、多くの溪流における土石流流下氾濫計算を行い、その結果を早急に示すことが求められることから、①については、「一定程度の精度を確保した上で、時間をかけずに結果を出すこと」とした手引きの基本的な考え方に従い、図-6に示すようになるべく簡易に流域を表現し、水の流下計算は、キネマティックウェーブ法による計算を用いることとした(図-6)。

2.4 2次元氾濫計算

2次元氾濫計算では、水および土砂の流れはxy方向の流れで表現される。しかし、図-7に例を示したように、山間部では河道がメッシュの斜め方向(図中のAのメッシュからDのメッシュの方

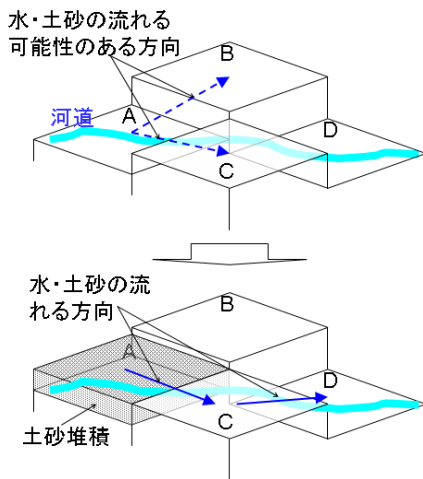
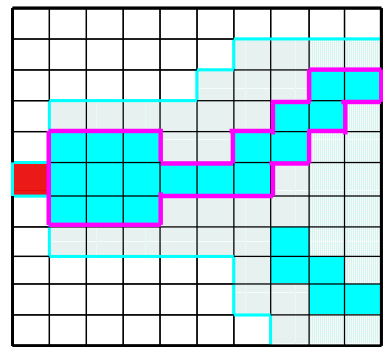


図-7 河道が斜め方向に流れる場合の課題の概念図



- : 流入点メッシュ
- : (掃流力の最大値) > (限界掃流力)となるメッシュ
- : 水が流れる範囲
- : 土砂が到達しうる範囲

図-8 土砂が到達しうる範囲の概念図

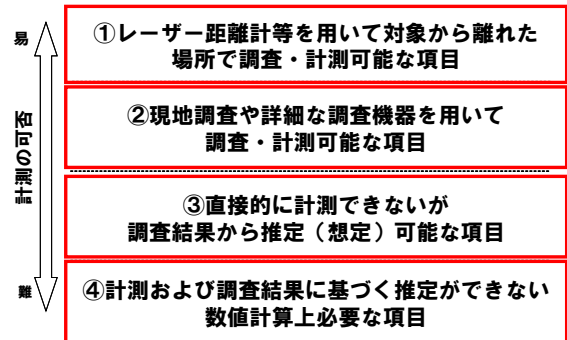


図-9 被害が生じるおそれのある区域の想定計算手法における入力項目設定方法の考え方

向)に繋がっていることがある。このとき、2次元氾濫計算では水や土砂はメッシュAからDへ直接は流れず、A→B(ないしはC)→Dの経路を流下すると想定し、水及び土砂の流下量を算出する。

しかし、BおよびCのメッシュの元の標高はAより高く、図-7に示したように、2次元氾濫計算では、メッシュAの標高がBの標高以上になるようにAにおいて土砂が堆積した後にはじめて土砂がAからBおよびDに流下する。すなわち、本来は谷筋や河道が連続しているにもかかわらず、計算上、実際にはない見かけ上の壁のような地形が存在していることとなる。そのため、多くの土砂が堆積することとなり、土砂の氾濫範囲は実際より小さくなる可能性が考えられる。

このような問題をある程度解決するためには、①メッシュサイズを小さくする、②河道が連続するようにDEMを補正する等が考えられる。しかし、①は計算に要する時間が、②はDEMを作成する時間が長くなることになる。そこで、解析に

要する時間を長くすることなく、図-7に示したDEMが氾濫計算に及ぼす影響を小さくするために、「土砂の到達しうる範囲」を解析で求めることによりこれを土砂の氾濫範囲とすることとした。ここでは、計算で求まる各メッシュ最大の掃流力が、限界掃流力を上回るメッシュのうち、天然ダム下流端から空間的に連続しているメッシュを「土砂の到達しうる範囲」とした(図-8)。

### 3. 調査方法

#### 3.1 調査項目の分類の考え方

図-3および図-5に示した計算を行うにあたっては、非常に多くの入力条件を設定する必要がある。しかし、全ての入力条件を精度良く設定することは多大な労力と時間を要する。そこで、「一定程度の精度を確保した上で、時間をかけずに結果を出すこと」とした手引きの基本的な考え方に照らして、「計測の可否」と「計算結果に及ぼす影響度」の観点から入力条件を整理した。計測の可否については、まず、計測可能な項目(図-9の①及び②)、直接的な計測が困難な項目(図-9の③)、間接的な計測も困難であるが数値計算上必要な項目(図-9の④)に分類した。さらに、地震、火山噴火時など地上からのアクセスが困難な場合があることから、計測可能な項目を、①離れたところ(上空など)からでも計測可能な項目と②現地でない計測できない項目に分類した(図-9)。その上で、既往の研究成果<sup>9)</sup>を参照し、感度分析を行い、計算結果に及ぼす影響を大中小の3段階に分類した。このように、被害の範囲を推定する上で緊急時に最低限計測しなければならない入力条件を予め決めておくことにより、限られた時間内で実施可能な調査結果に基づき最も良い精度の結果を得ることができると考えた。

#### 3.2 調査項目の分類結果

天然ダム下流末端より上流域の1次元河床変動計算、火山の噴火を原因とする土石流の氾濫開始点から上流域の分布型流出計算、そして、天然ダムおよび火山の噴火を原因とする土石流の2次元氾濫計算におけるパラメータの分類結果を図-10、図-11および図-12に示した。その上で、図-10～図-12の分類に従い、図-13に示すように、調査方法を3つに分類し、手引きにまとめた。たとえば、図-10によれば、天然ダム比高、天然ダム下流の

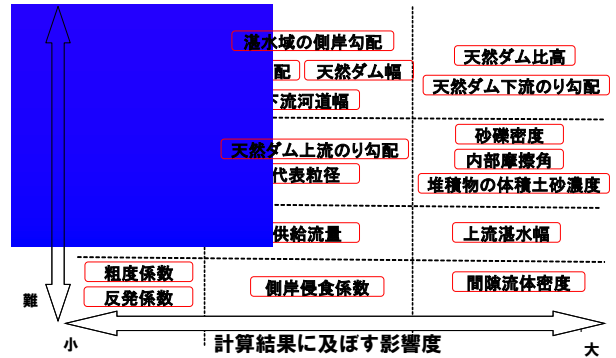


図-10 天然ダム下流末端より上流域の1次元河床変動計算に用いるパラメータの分類

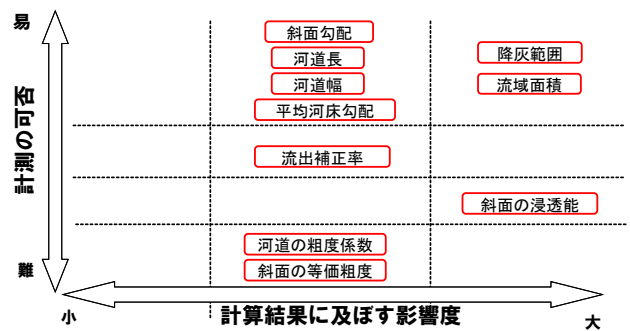


図-11 火山の噴火を原因とした土石流の氾濫開始点より上流域の分布型流出計算に用いるパラメータの分類

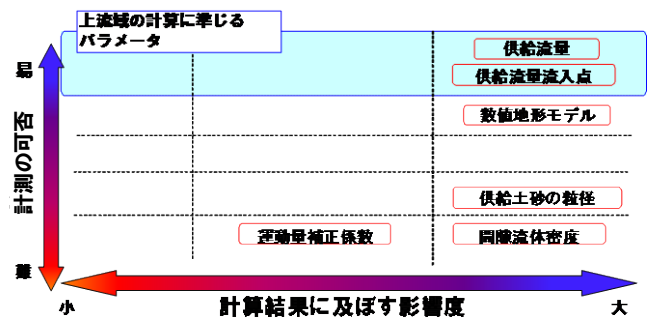


図-12 2次元氾濫計算に用いるパラメータの分類

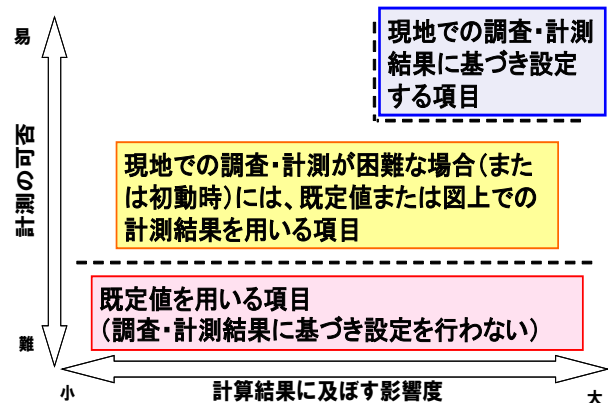


図-13 パラメータの設定手法の分類

り勾配は、計算結果に及ぼす影響が大きく、かつ、計測も容易であることから、現地での計測が必要である。初動時においては、時間をかけずに結果を得るため、ヘリコプター等から長距離レーザー距離計を用いて天然ダムの形状を計測<sup>6)</sup>するよう、手引きには定められている。

#### 4. おわりに

本稿では、手引きとしてとりまとめた天然ダムおよび火山の噴火を原因とする土石流により被害が想定される土地の区域を解析により速やかに求める手法について概説した。しかし、今後も解析手法の検討をさらに進め、改良を加えていくとともに調査方法や事前の準備についても検討・技術開発を進めていく必要がある。

#### 謝 辞

本手法をとりまとめるにあたっては、京都大学水山高久教授、立命館大学里深好文教授、京都府立大学高濱淳一郎准教授、財団法人砂防フロンティア整備推進機構森俊勇理事長、財団法人砂

防・地すべり技術センター松井宗広理事から有益な助言を頂いた。記して謝意を表したい。

#### 参考文献

- 1) 田畑茂清・水山高久・井上公夫：天然ダムと災害、古今書院、2002
- 2) 池谷浩・石川芳治：平成3年雲仙岳噴火に伴う火砕流、土石流災害、土木技術資料、第33巻、第11号、pp.52～60、1991
- 3) 里深好文・吉野弘祐・水山高久・小川紀一朗・内川龍男・森俊勇：天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究、水工学論文集、Vol.51、pp.901～906、2010。
- 4) 田村圭司・内田太郎・吉野弘祐・森 俊勇・里深好文：岩手宮城内陸地震で発生した天然ダムの越流侵食状況の数値シミュレーション、土木技術資料、第52巻、第2号、pp.6～9、2010
- 5) 千葉 幹・森 俊勇・内川龍男・水山高久・里深好文：平成18年台風14号により宮崎県耳川で発生した天然ダムの決壊過程と天然ダムに対する警戒避難のあり方に関する提案：砂防学会誌、 Vol.60、No.1、pp.43～47、2006。
- 6) 内田太郎・吉野弘祐・清水武志・石塚忠範・小竹利明：長距離レーザー距離計を用いた天然ダム形状の計測、土木技術資料、第53号、第5号、pp.22～25、2011

内田太郎\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室 主任研究官  
Taro UCHIDA

山越隆雄\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員  
Takao YAMAKOSHI

清水武志\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員  
Takeshi SHIMIZU

吉野弘祐\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員  
Kosuke YOSHINO

木佐洋志\*\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員  
Hiroshi KISA

石塚忠範\*\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員  
Tadanori ISHIDUKA