

**令和5年度
大規模土砂災害対策研究機構年報**

大規模土砂災害対策研究機構

1. 研究機構の概要

大規模土砂災害対策研究機構は、平成 23 年紀伊半島大水害において多数発生した大規模な土砂災害を契機として、大規模土砂災害への対応技術の高度化に対して行政・大学・研究機関が連携して取り組むために平成 26 年度に設立され、様々な取り組みを進めている。

1.1 構成機関

大規模土砂災害対策研究機構は下記の 9 機関により構成される。

- ・ 国土交通省近畿地方整備局（大規模土砂災害対策技術センター）
- ・ 国土交通省国土技術政策総合研究所
- ・ 国立研究開発法人土木研究所
- ・ 和歌山県
- ・ 那智勝浦町
- ・ 北海道大学
- ・ 三重大学
- ・ 京都大学
- ・ 和歌山大学

1.2 研究機構の取り組む課題

研究機構では、主として下記の課題に対して取り組みを行う。

- ・ 大規模土砂災害に係る危険箇所の抽出・評価
- ・ 中山間地域の危機管理対策
- ・ 国土監視及び国土管理の強化
- ・ 次世代災害対応技術の開発・導入

1.3 研究機構の果たす役割

上記の取り組みに加え、地域に根ざした研究機関として、研究機構は下記の役割を果たすことを目指す。

- ・ 土砂災害防止に関わる人材育成支援
- ・ 地域防災力の充実・強化支援
- ・ 防災知識普及のための広報
- ・ 諸外国に向けての技術の発信

2. 研究課題

研究機構における研究として、大規模土砂災害対策技術センターが主体となり、構成機関の助言を受けながら実施する研究と、センターを含め構成機関相互の連携により共同で実施する研究を実施している。

令和5年度は下記のテーマについて研究を行った。

2.1 大規模土砂災害対策技術センター・国土技術政策総合研究所

- ・ Utilizing of 3D Model for emergency response to landslide disasters
- ・ 深層崩壊発生斜面における地下水位形成メカニズム検討への CIM の活用
- ・ 大規模土砂災害発生時の緊急調査に対する UAV 等の活用と計測手法の高度化
- ・ 空中電磁探査等を用いた紀伊山地における深層崩壊発生危険度評価手法の信頼性の向上に向けた検討
- ・ BIM/CIM を活用した大規模土砂災害対応の技術継承に向けた取組

2.2 和歌山県

- ・ 災害伝承碑紹介動画の制作と防災学習における活用について
- ・ 大規模土砂移動と地盤振動の生成および広域伝播の3次元数値解析
- ・ Introduction of BIM/CIM for landslide countermeasures
- ・ 斜面安定解析における土質常数の設定について
- ・ 災害伝承碑紹介動画の制作と防災学習における活用について
- ・ AR 技術を活用した土砂災害防災学習の実践
- ・ Sabo Works in Wakayama Prefecture - Challenge for Building Resilient Society
- ・ 土砂災害危険度情報のメッシュ単位におけるプッシュ型メール配信サービスについて
- ・ 防災デジタルコンテンツを活用した防災学習体制の構築について
- ・ 和歌山県内における災害伝承碑紹介動画の制作について
- ・ 侵食量に着目した土石流被害予測計算の高度化
- ・ 災害伝承碑調査と紹介動画の制作について
- ・ 侵食量に着目した土砂流動モデルによる被害範囲の予測

2.3 京都大学

- ・ 大規模崩壊跡地における二次的土砂移動に関する解析

Utilizing 3D Model for emergency response to landslide disasters

Wataru Takeshita ^{1*}, Hiroyuki Sugimoto ²

¹ Ex-Public Works Research Institute, JAPAN (National Institute for Land and Infrastructure Management, JAPAN)

² Public Works Research Institute, JAPAN

* Correspondence: takeshita-w92ta@mlit.go.jp

Keywords: landslide; emergency response; 3D model; point cloud

1. Introduction

When a landslide disaster occurs, investigations are conducted and measurements are taken to establish a warning and evacuation system and implement emergency measures. In this case, it is important to get a comprehensive understanding of the landslide by focusing on the three-dimensional location of the landslide topography and its deformation in order to develop countermeasures. There are two issues that may impede development of emergency measures: One is that it is difficult to get a comprehensive understanding about the situation due to unavailability of necessary information or lack of information available immediately after a disaster. The other is that it is difficult to impart and share important information when collaborating with a large number of related organizations in a timely manner using only topographic maps and photographs. Ability to utilize a 3D model of the disaster immediately following occurrence is required to solve these issues. This paper first describes a method to quickly create a 3D model that can be used for landslide disaster response, followed by how to utilize the 3D model created based on the method in actual disaster response.

2. Utilizing a 3D model for landslide disaster response

2.1. Outline of 3D model utilized for landslide disaster response

A colored point cloud is an effective way to quickly display the terrain and features in 3D immediately following a landslide¹⁾. The colored point cloud is displayed as a set of colored points in a three-dimensional space, making it a 3D model appearing similar to a photograph (Figure 1). The colored point cloud model therefore offers a comprehensive view of the situation. It also offers a view of the disaster situation ranging from overall to details from any viewpoint, such as broad perspective and narrow focus. The configuration of the 3D model used for landslide disaster response is therefore based on the colored point cloud combined with public data such as topography and geology around the landslide²⁾ (Figure 2).



Figure1. Virtual disaster site using point cloud

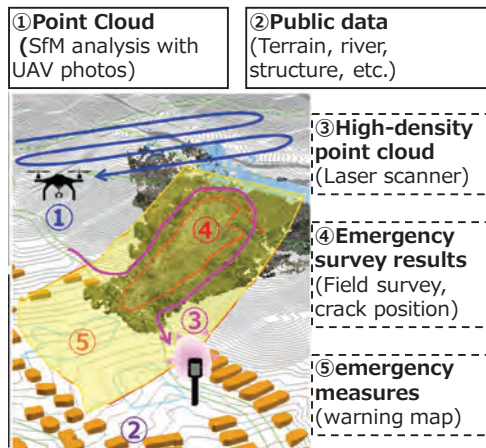


Figure2. Configuration of 3D model used for disaster response

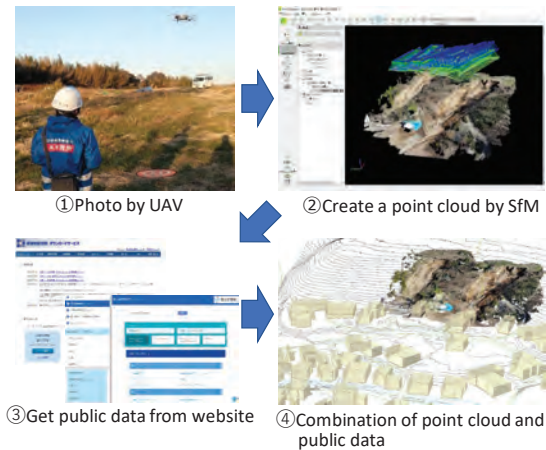


Figure3. 3D model creation procedure used for disaster response

2.2. 3D model creation procedure

A method to create a 3D model in a short time within one day²⁾ (Figure 3). First, a picture of the disaster site is taken using a UAV. A colored point cloud is then created with SfM analysis software, followed by collection public data from the website. Finally, a 3D model that combines point cloud data and public data is prepared. Since these tasks can be completed in about one day, the 3D model can be utilized immediately following the disaster.

3. Example of utilize for landslide disaster response

A landslide disaster response that occurred in the Shinonoi Komatsubara district of Nagano City, Nagano Prefecture³⁾ is provided herein as an example of landslide disaster response utilizing a 3D model.

3.1. Disasters Overview

A landslide occurred near National Highway No. 19 on July 6, 2021, and as a result, National Highway No. 19 was closed to traffic. Using a video taken with a UAV in the morning of July 6, 2021, SfM analysis was performed and a colored point cloud was prepared. A 3D model combining public data on geology and topography on point cloud was then prepared. The 3D model was used for preliminary analysis before the next day's field survey.

3.2. Utilization of 3D model

3.2.1. Understanding the disaster situation

The point cloud data enabled us to confirm that the landslide scarp and side scarp and the range of the upper part of the landslide. The landslide dam just below the slope, the runoff of tip part of the landslide and the positional relationship between the landslide and the road structure (Figure 4) however could not be confirmed. It was therefore determined that these matters should be confirmed primarily by field survey.

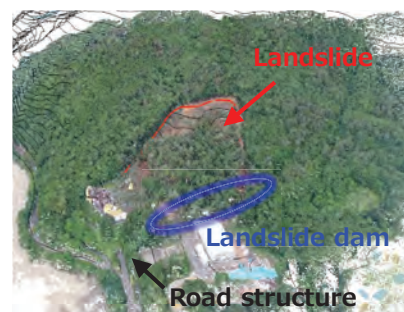


Figure4. Comprehensive understanding of a disaster

3.2.2. Analysis of the mechanism of occurrence

The characteristics of the disaster location were confirmed using the 3D model. They include the geology of tuff, the vicinity of the geological tectonic line and the terrain where water easily collects (Figure 5). Based on these analysis results, we presume that geology and groundwater are important factors for the occurrence of landslides.

3.2.3. Identifying disaster risks

Using the 3D model, the following main risks are assumed: further movement and slip of the landslide body, landslide dam just below the slope, and runoff of the tip of the landslide. It is assumed necessary to establish a monitoring system and take emergency measures for each risk.

3.2.4. Information sharing with related organizations

Results of the field survey were explained while projecting the 3D model on the screen. Since it enables easy-to-understand visual explanations, we could be used to deepen common understanding with related organizations.

4. Conclusions

This paper describes the outline and method of creating a 3D model for landslide disaster response, as well as how the model is utilized for disaster response. Utilizing the 3D model for disaster response enables reproduction of a "virtual disaster site" from any random viewpoint. We can be used to get a comprehensive understanding of a disaster, sharing information and examining countermeasure policies.

References

1. Takeshita, W.; Sugimoto, H.; Wada, Y. Use of UAV-SfM point cloud for emergency response to landslide disasters. *E-proceedings of The Fifth World Landslide Forum* **2021**, pp132-137.
2. Wada, Y.; Takeshita, W.; Sugimoto, H. Application of CIM Model created at the initial response for landslide disaster –Cases of disaster response to heavy rainfall in July 2020-. *J. of the Jpn. Landslide Soc.* **2021**, Vol.58 No.2, pp79-85
3. Public Works Research Institute. Proceedings of the PWRI Lectures 2021. *TECHNICAL NOTE of PWRI* **2021**, No.4417, pp5-10

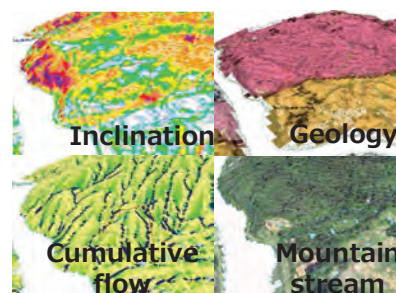


Figure5. Analysis of the



Figure6. Identifying disaster risks occurrence

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ2

深層崩壊発生斜面における地下水位形成メカニズム検討へのCIMの活用

国土交通省国土技術政策総合研究所（近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター）

○竹下航

国土交通省国土技術政策総合研究所

山越隆雄

国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

北本楽 小杉恵

応用地質株式会社

林幸一郎 小林夏子

株式会社エイト日本技術開発

中野英樹 藤原康正

1. はじめに

2011 年 9 月の台風第 12 号では、紀伊半島の広い範囲で総降水量が 1,000mm を超え、深層崩壊が 72 箇所が発生し、さらには 17 箇所で河道閉塞(天然ダム)が発生し、大きな被害が出た。地質や水文からの発生メカニズムの検討においては、近年では、深層崩壊の原因の一つとして、断層破碎帯の性状やその分布と地下水の挙動に着目する研究が行われている¹⁾。本研究では、2011 年に深層崩壊が発生した和歌山県田辺市熊野地区の斜面に隣接した斜面において実施している地下水位観測をもとに、隣接斜面が深層崩壊斜面と同様の水理地質構造を有するものと仮定して、豪雨時の地下水位の面的な形成過程について CIM を活用して検討した内容について報告する。

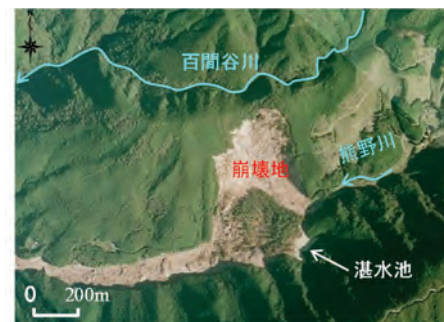
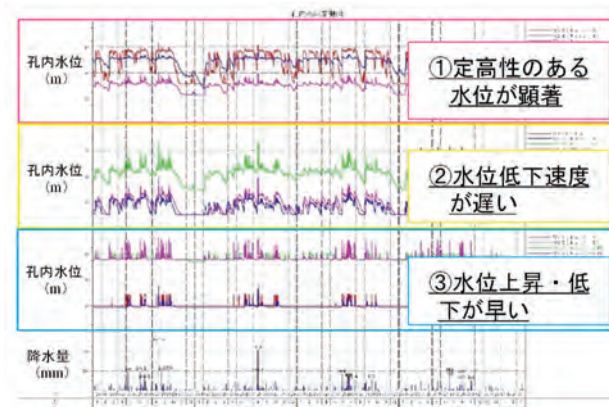


図-1 熊野地区被災状況

2. 調査地の概要

熊野地区は、日置川水系の熊野川上流域にあり、堆積岩類が広く分布している。日置川水系では、2011 年台風第 12 号では、熊野地区でのみ深層崩壊が発生している（図-1）。崩壊斜面の上部に百間谷川が流れ、百間谷川と熊野川は崩壊斜面の約 1km 下流で合流する。本地区では、崩壊斜面に隣接する斜面を中心に 13 箇所地下水位観測を通年実施している。



3. 熊野地区における地下水位変動の特徴

観測を開始した 2018 年 1 月以降の地下水位データをもとに、断層と各観測孔の位置と水位変動の特徴について検討した。水位変動の特徴は大きく 3 つ（①定高性のある水位が顕著、②水位低下速度が遅い、③水位上昇・低下が早い）に区分でき、斜面上部では「①定高性の水位が顕著な水位変動パターン」の水位変動であるのに対し、斜面中腹～下部では「③水位上昇・低下ともに早い水位変動パターン」がみられた（図-2）。この水位変動の特徴を平面図にプロットすると、斜面上部の断層に挟まれた領域で「①定高性の水位が顕著な水位変動パターン」の観測孔が集中するなど、断層の存在が水位変動の特徴に影響を及ぼすことが示唆された。

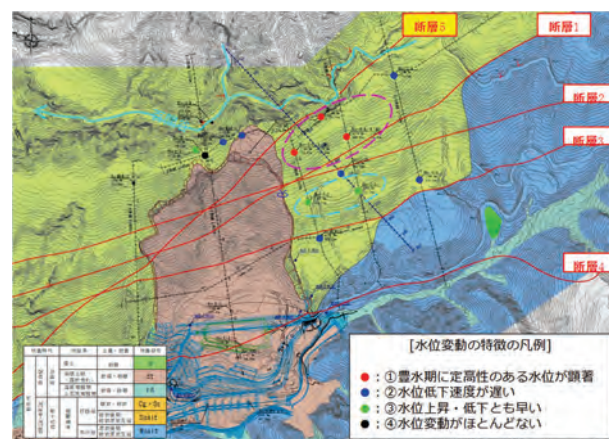


図-2 隣接斜面（未崩壊地）における地下水位変動の特徴

4. 豪雨時の地下水位形成過程の検討

豪雨時における地下水位の上昇・下降の推移を視覚的に把握するため、深層崩壊発生時のハイトグラフに形状が類似している2019年8月の台風第10号に伴う降雨を対象(図-3)として、地下水位変動の特徴的な時刻を抽出(図-4)し、表-1に示す時刻間における地下水位の変動量分布面を作成し、地形や断層等を組み合わせたCIMモデルにより、地下水位の形成過程の視覚化を行った。

まず、(a)の期間における地下水位の変動量の分布を図-5(a)に示す。この期間で

は、断層よりも上部に位置する斜面上部の観測孔から水位上昇が開始した。次に、図-5(b)に示す(b)の期間では、斜面上部の地下水位上昇よりも斜面中部の断層に挟まれた領域で地下水位の上昇量が大きく、斜面上部よりも遅れて斜面中部で地下水位の上昇が始まった。図-5(c)に示す(c)の期間では、斜面上部では降雨終了後も地下水位が高いまま継続していることや、斜面中部では(b)と比較すると、降雨期間中に水位が上昇した後、すぐに地下水位が低下していった。以上の検討結果や既報の比抵抗探査による検討²⁾より、百間谷川や斜面上部から流入した地下水が斜面上部の断層により多くが堰き止められて地下水位が上昇し、その後斜面中部から下部へと地下水が伝わっていったことや、斜面中部の断層は、上部の断層と比較して比較的地下水を通しやすいことが示唆された。

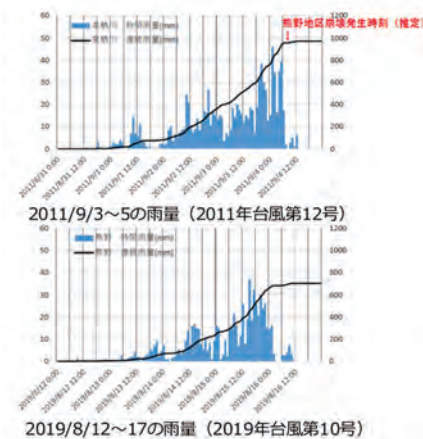


図-3 深層崩壊発生時の降雨と検討対象降雨のハイトグラフ

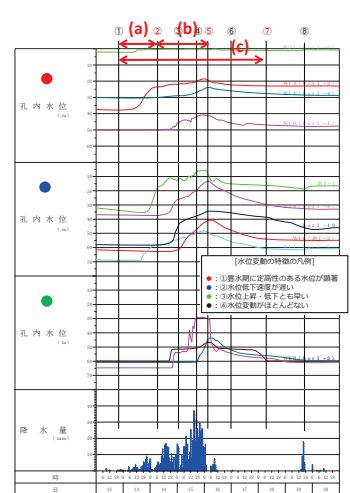


図-4 検討対象降雨の地下水位変動

表-1 作成したCIMモデルの概要

期間	地下水位の変動量を算出する時期の組み合わせ	地下水位差分分布を貼り付けるモデル
(a)	①いずれの地点も地下水位上昇が見られない ②斜面上部の一部の観測孔で地下水位上昇	②の地下水位面
(b)	②斜面上部の一部の観測孔で地下水位上昇 ⑤ほぼすべての観測孔の地下水位がピーク	⑤の地下水位面
(c)	①いずれの地点も地下水位上昇が見られない ⑦降雨終了から約2日経過し、ほとんどの観測孔で地下水位低下	⑦の地下水位面

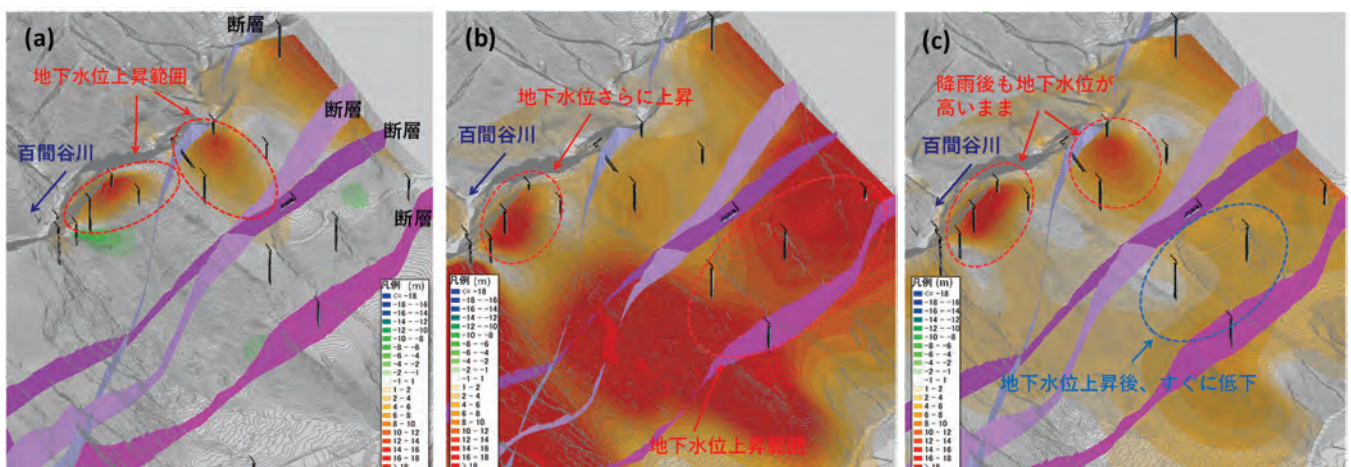


図-5 CIMモデルによる地下水位変動量と断層の位置 ((a), (b), (c)の期間は図-4, 表-1に記載)

5. おわりに

CIMを活用することにより地下水位の形成過程を視覚的に表現し、考察することが可能となった。今後、断層に影響される地下水位の変動と降雨の関係を明らかにするなどして、崩壊発生メカニズムの解明を進めて参りたい。

参考文献 1) 木下ら(2021): 2011年に深層崩壊が発生した奈良県十津川村栗平地区における比抵抗探査を用いた断層沿いの地下水流入過程の検討, 日本地すべり学会誌, Vol. 58, No.1, pp.40-47. 2) 竹下ら(2022): 2011年に深層崩壊が発生した和歌山県田辺市熊野地区における比抵抗探査を用いた水理地質構造の検討, 第61回日本地すべり学会研究発表会講演集, p.189.

大規模土砂災害発生時の緊急調査に対する UAV 等の活用と計測手法の高度化

国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター○北本楽、小杉恵、竹下航
株式会社エイト日本技術開発 海原荘一
中電技術コンサルタント株式会社 荒木義則

1.はじめに

平成 23 年に発生した紀伊半島大水害では、河道閉塞の決壊による土石流災害が生じるおそれがあることから、土砂災害防止法に基づく河道閉塞の緊急調査を実施し、土石流氾濫想定範囲の算出、土砂災害緊急情報を発表した。土石流氾濫想定範囲の算出¹⁾では、河道閉塞の高さ、比高、湛水池水位等を計測する必要があるが、従来では、現場へのアクセスが危険・困難であることから、国交省職員がヘリコプターに搭乗し、上空から手持ちレーザ距離計にて地形計測を実施することが多かった。一方で、手持ちレーザ距離計で数百メートル直下の河道閉塞形状を計測することは、計測者の技量に応じて計測誤差が生じやすいなど課題が生じていた。本稿では、①無人航空機(以下、UAV)を用いた河道閉塞計測手法について実証実験を行うとともに、②計測結果を災害対策本部に伝達する訓練を実施して、UAV を用いた緊急調査の適用性と課題を整理した。また、③現行の緊急調査手引き(国交省職員用)の改定を実施したため、これらの結果について報告する。

2.UAV による河道閉塞計測の適用性検証

2-1 実証実験の概要

本実証実験では、UAV による河道閉塞地形の計測手法として、空撮画像を用いた写真測量に基づく計測手法と、UAV 搭載レーザを用いた計測手法の2手法を用いた。対象地は紀伊半島大水害により深層崩壊が生じ、河道閉塞が形成された実績のある長殿地区(奈良県十津川村、**図 1**)と赤谷地区(奈良県五條市、**図 2**)とした。各 UAV の飛行方法は自律飛行とした。以下に、各計測手法の概要を示す。

(1) UAV 写真測量に基づく計測(対象地区;長殿地区)

使用機体:Matrice 300 RTK (DJI 社)

使用カメラ:Zenmuse P1 (DJI 社、4,500 万画素)

環境:オーバーラップ率 80%、サイドラップ率 60%、対地高度 720m(離発着地点からの高度)、撮影間隔 1 秒

解析手法:SfM 解析(Metashape、Agisoft社)、地上標定点(以下、GCP)は用いず、単独測位および PPK(Post Processing Kinematic)測位を用いてそれぞれモデル作成を作成した。

(2) UAV 搭載レーザによる計測(対象地区;赤谷地区)

使用機体 :Matrice 600 PRO (DJI 社)

使用レーザ:miniRANGER、miniRANGER2 (PHOENIX 社)

環境:対地高度 500m(離発着地点からの高度)

2-2 河道閉塞計測結果の仮想災害本部への伝達訓練

2-1 で示す UAV 機体や機材を用いた河道閉塞計測においては、災害現場近傍の現場事務所等でUAV操縦や河道閉塞の3次元モデル作成作業などの高度な技術かつ迅速性が求められる作業を実施し、適宜、必要な情報のみを災害対策本部に伝達することが想定される。本訓練は、UAV による河道閉塞計測結果から土石流氾濫想定範囲の算出に必要な座標値取得する作業をシミュレーションし、課題の整理を目的とした。

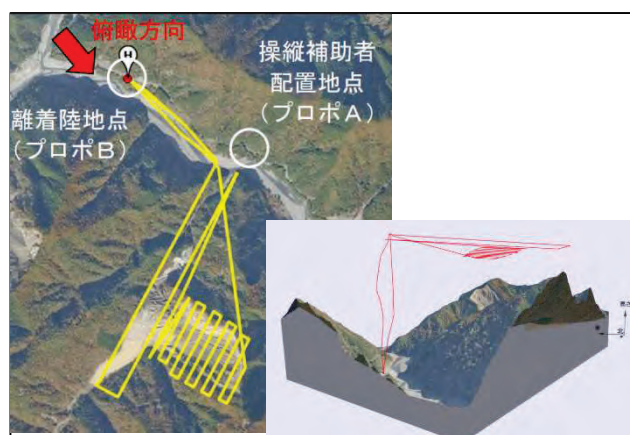


図 1 (左)長殿地区における UAV 空撮による河道閉塞地形計測の飛行ルート、(右)崩壊地と飛行ルートの関係



図 2 赤谷地区における UAV 搭載レーザによる河道閉塞地形計測範囲

3.結果および考察

3-1 実証実験

(1)長殿地区における UAV 写真測量による河道閉塞計測は、飛行時間約 22 分、撮影枚数 865 枚で崩壊地および河道閉塞全体を 3 次元モデル化するのに必要な写真を撮影できた。撮影した写真から PPK 測位、GCP なしで河道閉塞の 3 次元モデルを作成し、同時期の LP データと比較したところ、水平、垂直較差は 1m 以下であり、土石流氾濫想定範囲の算出において十分な精度を有していた。一方で、単独測位、GCP なしで作成した 3 次元モデルでは、同時期の LP データから全体的に垂直方向に-8m 程度、水平方向に 3m ほどのずれが生じていたが、近傍の道路等の不動点同士をマッチングさせることで垂直方向誤差を軽減すれば、土石流氾濫想定範囲の算出に十分な精度の地形情報となった。モデル作成は、単独測位で約 3 時間、PPK 測位では座標補正情報の受け取りに 1 時間を要し、計 4 時間を要した。既往 LP が存在する箇所においては、不動点を含む範囲を空撮することで、UAV 単独測位による写真測量でも期待する精度の河道閉塞地形の再現が可能になったことが明らかになった。

(2)赤谷地区における UAV 搭載レーザによる河道閉塞計測は、飛行時間約 45 分で崩壊地および河道閉塞全体の点群データを取得できた。PPK 測位を用いることで、土石流氾濫想定範囲の算出に十分な精度を確保でき、継続監視期における CIM を利用した災害対策検討においても活用が期待される。一方で、事前準備においてレーザ点群のオーバーラップ率を確保するために飛行ルート設定に技量と時間を要することや、作成後のグラウンドデータから植生等を除去するフィルタリングに時間を要するなど、より高精度なモデル作成には 3～5 日間程度が必要となることから、必要精度に応じた作業を事前にシミュレーションしておくことが重要である。

3-2 河道閉塞計測結果の仮想災害本部への伝達訓練

本訓練では、以下のデータを作成でき次第順次、クラウドサービスにアップロードし、仮想対策本部にてダウンロードおよび閲覧をシミュレーションした(図 3)。①UAV による静止画、②低解像度オルソ画像(単独測位)、③河道閉塞点群データ(単独測位)、④河道閉塞点群データ(PPK 測位)の順で送付を行っていくことで、国交省職員が電子国土 WEB 上で災害位置を①で確認、②で状況確認、③で第一報の土石流氾濫想定範囲の算出に必要な座標値取得、④で第二報の座標値取得と対策検討と、発災時に想定される対応フローに従って作業できるかどうか確認した。結果として、①の受領から、④の座標値取得まではデータダウンロードを含めても約 1.5 時間程度で完了できることがわかった。

4.おわりに

本稿では、UAV を用いた河道閉塞の緊急調査について実証実験を行い、調査に対する適用性と課題を整理した。ヘリコプターからの直接計測に比べて、UAV 計測ではデータ解析に多少の時間を要するが、数メートル誤差で河道閉塞形状の再現が可能であること、迅速に災害対策本部に情報伝達できることから有効な手段であることが明らかになった。河道閉塞から 1～2km まで接近できる場合は UAV 計測、数 km 以内には接近できない場合はヘリコプターによる計測を行うなどの、調査の迅速性や効率性が向上すると考える。また、現行手引き²⁾では、ヘリコプターまたは地上からのレーザ計測を基本としているため、本成果および湛水池への水位計設置や水位予測等の紀伊半島大水害の経験と知見を合わせて、改定した。

参考文献

1) 清水武志、内田太郎、山越隆雄、石塚忠範:天然ダムによる土石流想定範囲計算システム(QUAD-L)の開発と 2011 年台風 12 号災害における適用、土木技術資料、vol.54、No.10、pp14-17、2012

2) 国土交通省砂防部砂防計画課ほか: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)、平成 23 年 4 月(平成 28 年 3 月一部改訂)

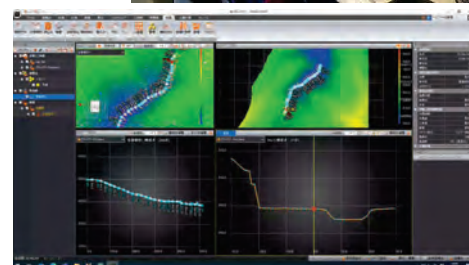


図 3 (上) UAV による河道閉塞計算結果を仮想災害対策本部で受領し、閲覧、処理の様子、(下) 点群処理ソフトによる河道閉塞横断面の作成

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ 4

日本地球惑星科学連合大会 2023 年大会 発表概要

◎セッション：

湿潤変動帯の地質災害とその前兆 (H-DS10)

◎著者：

- ・ 竹下航(NILIM)
- ・ 北本楽(MLIT)
- ・ 小杉恵(MLIT)
- ・ 山越隆雄(NILIM)
- ・ 木下篤彦(PWRI)
- ・ 馬場敬之(大日本 C)
- ・ 河戸克志(大日本 C)
- ・ 金山健太郎(大日本 C)
- ・ 奥村稔(大日本 C)
- ・ 城森明(ネオサイエンス)

◎タイトル

- ・ 和文 【(全角 60 文字(半角 120 文字)以内)

空中電磁探査等を用いた紀伊山地における深層崩壊発生危険度評価手法の信頼性の向上に向けた検討

- ・ 英文 【半角 120 文字以内】

Investigation for improvement of reliability of methods for evaluating the risk of deep-seated landslides in the Kii mountainous area using airborne electromagnetic survey

◎キーワード

- ・ 和文 【全角 30 文字(半角 60 文字)以内，6 件まで】

深層崩壊、ヘリコプター空中電磁探査、ドローン空中電磁探査、電気探査、断層、地下水

- ・ 英文 【半角 60 文字以内，6 件まで】

Deep-seated landslide、Helicopter Electromagnetics、Drone-GREATEM、Electrical prospecting、Fault、Groundwater

◎概要

- ・ 和文 【全角 2000 文字以内（空白スペースを含む）】

著者らは、2011 年台風第 12 号で深層崩壊が発生した和歌山県田辺市の熊野地区の斜面において、ヘリコプターによる空中電磁探査やドローンによる 2 時期の空中電磁探査、電気探査を行い、深層崩壊メカニズムに支配的な地盤内部状況を調査した。この結果、断層を通して周辺から地下

水が斜面に集まっていた可能性や、断層による斜面内での地下水の堰き止めが崩壊原因の一つになった可能性があることが分かった。また、今後深層崩壊が発生しそうな斜面の抽出を目的として、空中電磁探査や、電気探査等の物理探査技術を活用して、紀伊山地の広いエリアで多数存在する岩盤クリープ斜面の中から特に崩壊危険性が高い斜面の抽出手法についてこれまで検討してきた。本研究では、これまで検討してきた深層崩壊危険度評価手法の信頼性の向上を目的として、ヘリコプターによる広域の空中電磁探査、ドローンによる空中電磁探査、地上電気探査の成果から斜面内部構造の調査への適用性について検討した。

国土交通省では、2011年の災害直後から奈良県南部や和歌山県で定期的にレーザプロファイラによって詳細な斜面地形データを取得している。また、2012年～2014年にかけて、ヘリコプターによる空中電磁探査を実施している。レーザプロファイラを実施し、かつ空中電磁探査を実施した奈良県内の約 280km² の範囲において、これまで検討してきた以下の手法に基づいて深層崩壊の恐れのある斜面を抽出した。

①レーザプロファイラによる地形図と航空写真を基に、上部尾根線付近に線状凹地や二重山稜などの変形が見られる斜面を抽出した。

②変形が生じている斜面の中心付近に測線を設定し、その測線に沿ったヘリコプターによる空中電磁探査の結果を基にした比抵抗縦断面図を作成した。

③①・②の結果を基に、変形が生じている斜面をリスクレベル 1～3 に分類した。レベル 1 は、ひずみ率が 5%以上とした。レベル 2 は、レベル 1 の条件を満たし、かつ、すべり面と考えられる等比抵抗線の集中帯が斜面方向に存在していることを条件とした。レベル 3 は、レベル 2 の条件を満たし、かつ、斜面を横断する断層破碎帯と考えられる等比抵抗線集中帯が鉛直方向に存在することを条件とした。上記の手法によって検討した結果、レベル 3 の箇所は 14 斜面となった。

14 斜面のうち、地上からのアクセスを考慮し、奈良県吉野郡天川村の栃尾地区の岩盤クリープ斜面で調査を実施した。対象斜面の大きさは約 14.7ha で、ひずみ率は約 5.5%である。栃尾地区の斜面のヘリコプターによる空中電磁探査の比抵抗縦断面図からは、重力変形が見られ、かつすべり面と見られる斜面方向の等比抵抗線集中帯が存在し、斜面を横断する断層とみられる鉛直方向の等比抵抗線集中帯が 2 箇所見られた。

断層による地下水への影響を確認する目的で、栃尾地区においてドローン空中電磁探査を 2021 年 10 月期(10 月 22 日測定、28 日先行累積雨量 23.5mm 、90 日先行累積雨量 596mm)、2021 年 12 月期(12 月 9 日測定、28 日先行累積雨量 119mm 、90 日先行累積雨量 293mm)、2022 年 9 月期(9 月 7 日測定、28 日先行累積雨量 143.5mm 、90 日先行累積雨量 480.5mm)の 3 時期で実施した。3 時期のうちの 2 時期の組み合わせ毎に比抵抗変化率を算出し、斜面内部構造の調査への適用性について検証した。斜面上部の等比抵抗線集中帯には、出水期(2021 年 10 月期、2022 年 9 月期)に低比抵抗化しており、地下水が流入、もしくは溜まったと考えられる。斜面下部の等比抵抗線集中帯は、上部ほど低比抵抗化しておらず、上部ほどは地下水が流入せず、継続的にも溜まる傾向にはないエリアと考えられる。また、28 日先行累積雨量の多い 2022 年 9 月期と 2021 年 12 月期の比抵抗変化率は、2021 年 10 月期と 2021 年 12 月期の比抵抗変化率と比較して、比抵抗が低くなる箇所が表層付近まで確認でき、直近の降雨による地下水分布への影響が表現されていると考えられる。

次に、ドローンによる空中電磁探査と同じ測線において、電気探査を 2021 年 12 月期(12 月 15 日測定、28 日先行累積雨量 119mm 、90 日先行累積雨量 269.5mm)、2022 年 9 月期(9 月 13 日

測定、28 日先行累積雨量 159.5mm、90 日先行累積雨量 460mm)の 2 時期で実施した。両時期ともに斜面上部と末端に低比抵抗部分が確認された。また、2 時期の比抵抗変化について 9 月期比抵抗を 12 月期比抵抗で除した値として表したところ、斜面上部内部に出水期の比抵抗が低くなる箇所が確認でき、地下水が流入、もしくは溜まったと考えられる。

以上のように、物理探査により、断層が地下水の挙動に及ぼす影響を可視化することができるため、斜面内部の構造調査への適用性が高いことが分かった。また、出水期と非出水期において先行累積雨量の異なる 2 時期のデータを活用することにより、降雨後の斜面内部の地下水分布状況を推定できると考えられる。

・ 英文【半角 4000 文字以内（空白スペースを含む）】

We identified slopes at very high risk of deep-seated landslides in the large Kii mountainous area through geophysical techniques including Helicopter Electromagnetics (HEM), "Drone-Grounded Electrical source Airborne Transient Electromagnetics" (D-GREATEM), and electrical prospecting. After Typhoon Talas in 2011, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism regularly used LiDAR (Light Detection and Ranging) to acquire detailed topographic data. HEM was performed from 2012 to 2014 over a 280 km² area via laser profiling.

(1) Based on the topographic maps and aerial photographs taken by the LiDAR, slopes exhibiting deformations (such as linear depressions and double ridges near the upper ridge lines) were extracted.

(2) The slope survey lines were set near the centers of deformed slopes, and vertical cross-sections were obtained during the HEM.

(3) Based on the results of (1) and (2), deformed slopes were assigned a risk score of 1–3; a score of 1 was associated with a scarp ratio $\geq 5\%$ (obtained by dividing the length of the sliding cliff by the slope length). Risk level 2 is the same as level 1, except for the additional requirement that the zone of resistivity (slip surface) runs in the direction of the slope. Risk level 3 is the same as level 2, except for the additional requirement that the resistivity zone runs vertically relative to the direction of the slope (thus forming a fault fracture zone that crosses the slope). Fourteen slopes had level 3 scores, which were associated with mass rock creep. All such slopes that could be accessed were surveyed on the ground, and were all in the Tochio district of Nara Prefecture. The size of the target slope is about 14.7 ha and the strain rate is about 5.5%. The resistivity profiles obtained by helicopter-borne electromagnetic survey of the slope in the Tochio area showed gravity deformation and the existence of a slope directional isostatic concentration zone that appears to be a slip surface, and two vertical isostatic concentration zones that appear to be faults that cross the slope.

For the purpose of confirming the impact of faults on groundwater, we conducted drone aerial electromagnetic surveys in the Tochio area in three periods: October 2021, December 2021, and September 2022. Resistivity change rates were calculated for each combination of two of the three periods, and their applicability to the investigation of the internal structure of the slope was verified. The resistivity concentration zone in the upper part of the slope showed low resistivity during the outflow period (October 2021 and September 2022), suggesting that

groundwater flowed into or accumulated in this area. The iso-resistivity concentration zone in the lower part of the slope is not as low resistivity as the upper part, and is considered to be an area where groundwater does not tend to inflow or accumulate continuously as much as in the upper part. In addition, the resistivity change rates for the September 2022 and December 2021 periods, which have high 28-day prior cumulative rainfall, can be compared to the resistivity change rates for the October 2021 and December 2021 periods, and the areas of lower resistivity can be seen to the near surface, which is considered to represent the effect of recent rainfall on the groundwater distribution.

As described above, geophysical surveys can visualize the influence of faults on groundwater behavior and are highly applicable to structural investigations of the slope interior. In addition, by utilizing data from two different periods of preceding accumulated rainfall in the runoff and non-runoff periods, it is possible to estimate the distribution of groundwater in the interior of the slope after rainfall.

We identified slopes at very high risk of deep-seated landslides in the large Kii mountainous area through geophysical techniques including Helicopter Electromagnetics (HEM), "Drone-Grounded Electrical source Airborne Transient Electromagnetics" (D-GREATEM), and electrical prospecting. After Typhoon Talas in 2011, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism regularly used LiDAR(Light Detection and Ranging) to acquire detailed topographic data. HEM was performed from 2012 to 2014 over a 280 km² area via laser profiling.(1) Based on the topographic maps and aerial photographs taken by the LiDAR, slopes exhibiting deformations (such as linear depressions and double ridges near the upper ridge lines) were extracted.(2) The slope survey lines were set near the centers of deformed slopes, and vertical cross-sections were obtained during the HEM.(3) Based on the results of (1) and (2), deformed slopes were assigned a risk score of 1–3; a score of 1 was associated with a scarp ratio $\geq 5\%$ (obtained by dividing the length of the sliding cliff by the slope length). Risk level 2 is the same as level 1, except for the additional requirement that the zone of resistivity (slip surface) runs in the direction of the slope. Risk level 3 is the same as level 2, except for the additional requirement that the resistivity zone runs vertically relative to the direction of the slope (thus forming a fault fracture zone that crosses the slope). Fourteen slopes had level 3 scores, which were associated with mass rock creep. All such slopes that could be accessed were surveyed on the ground, and were all in the Tochio district of Nara Prefecture. The size of the target slope is about 14.7 ha and the strain rate is about 5.5%. The resistivity profiles obtained by helicopter-borne electromagnetic survey of the slope in the Tochio area showed gravity deformation and the existence of a slope directional isostatic concentration zone that appears to be a slip surface, and two vertical isostatic concentration zones that appear to be faults that cross the slope. For the purpose of confirming the impact of faults on groundwater, we conducted drone aerial electromagnetic surveys in the Tochio area in three periods: October 2021, December 2021, and September 2022. Resistivity change rates were calculated for each combination of two of the three periods, and their applicability to the investigation of the

internal structure of the slope was verified. The resistivity concentration zone in the upper part of the slope showed low resistivity during the outflow period, suggesting that groundwater flowed into or accumulated in this area. The iso-resistivity concentration zone in the lower part of the slope is not as low resistivity as the upper part, and is considered to be an area where groundwater does not tend to inflow or accumulate continuously as much as in the upper part. In addition, the resistivity change rates for the September 2022 and December 2021 periods, which have high 28-day prior cumulative rainfall, can be compared to the resistivity change rates for the October 2021 and December 2021 periods, and the areas of lower resistivity can be seen to the near surface, which is considered to represent the effect of recent rainfall on the groundwater distribution. As described above, geophysical surveys can visualize the influence of faults on groundwater behavior and are highly applicable to structural investigations of the slope interior. In addition, by utilizing data from two different periods of preceding accumulated rainfall in the runoff and non-runoff periods, it is possible to estimate the distribution of groundwater in the interior of the slope after rainfall.

空中電磁探査等を用いた紀伊山地における 深層崩壊発生危険度評価手法の 信頼性の向上に向けた検討

国土交通省国土技術政策総合研究所
(近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター)
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

国土交通省国土技術政策総合研究所
国土交通省日光砂防事務所
大日本コンサルタント株式会社

有限会社ネオサイエンス

○竹下航

北本楽
小杉恵
山越隆雄
木下篤彦
馬場敬之
河戸克志
金山健太郎
奥村稔
城森明

2023年5月26日 日本地球惑星科学連合2023年大会

0

研究背景 ～平成23年台風第12号により発生した深層崩壊～

- ・崩壊深は50～100m程度
- ・何百万年にも及ぶ斜面の重力変形と、豪雨による地下水位の上昇により発生
- ・河道を堰き止め、天然ダムが形成されることもある



熊野地区(崩壊1日後)

幅440m,高さ250m,長さ480mの崩壊が発生した。約526万 m^3 にのぼる崩壊土砂で河道が閉塞した。



赤谷地区(崩壊2日後)

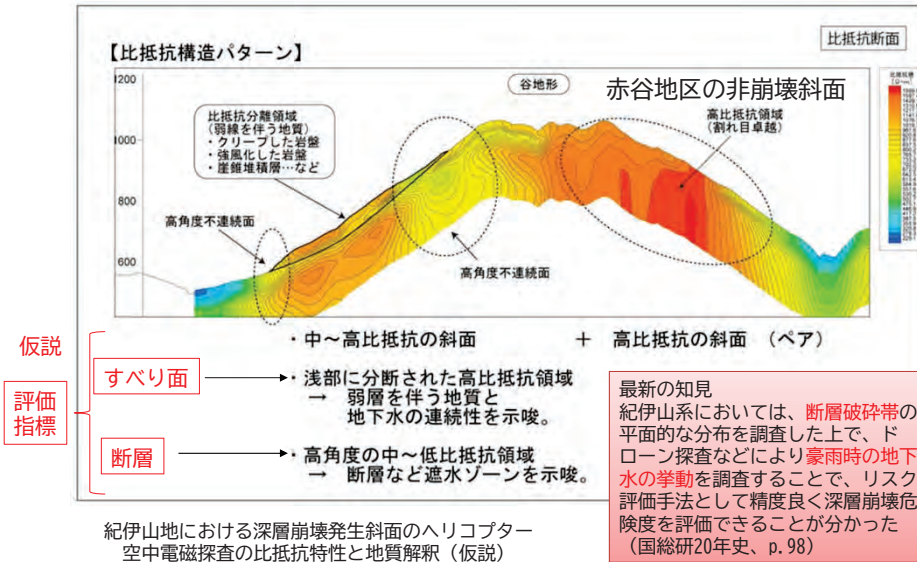
幅460m,高さ600m,長さ850mの崩壊が発生した。約1,138万 m^3 にのぼる崩壊土砂で河道が閉塞した。

1

1

研究背景 ～平成23年台風第12号により発生した深層崩壊～

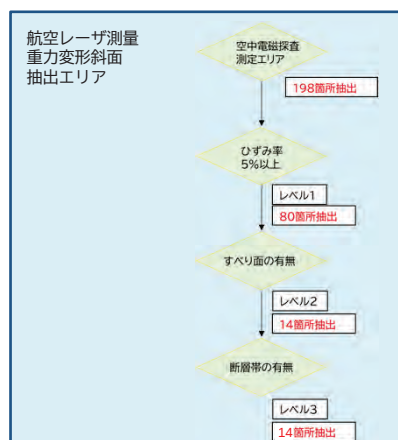
紀伊山地の深層崩壊8箇所における空中電磁探査結果からの深層崩壊の発生機構（仮説）



2

研究目的

本研究では、これまで検討してきた深層崩壊危険度評価手法の信頼性の向上を目的として、ヘリコプターによる広域の空中電磁探査、ドローンによる空中電磁探査、地上電気探査の成果から斜面内部構造の調査への適用性について検討した。



深層崩壊発生危険度評価手法（案）



ドローンによる空中電磁探査の実施状況

3

研究方法

①検討対象地区の選定

- ・ヘリコプター空中電磁探査実施範囲から抽出

②物理探査の実施

- ・UAV空中電磁探査、地上電気探査の実施
- ・降雨状況の異なる複数時期のデータ比較

③各物理探査手法による調査結果の比較

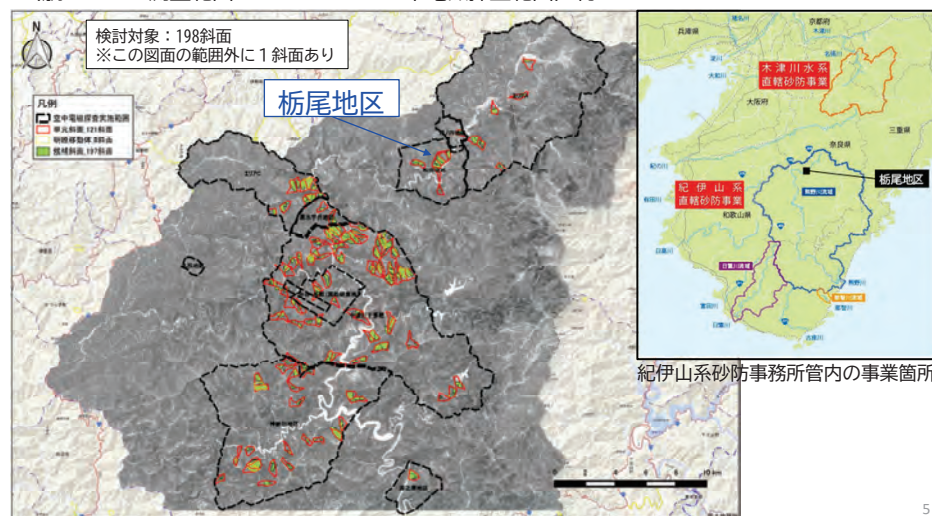
4

4

検討範囲

深層崩壊発生危険度評価手法（案）でレベル3と評価した14斜面のうち、地上からのアクセスを考慮し、奈良県吉野郡天川村の栃尾地区の岩盤クリープ斜面で調査を実施

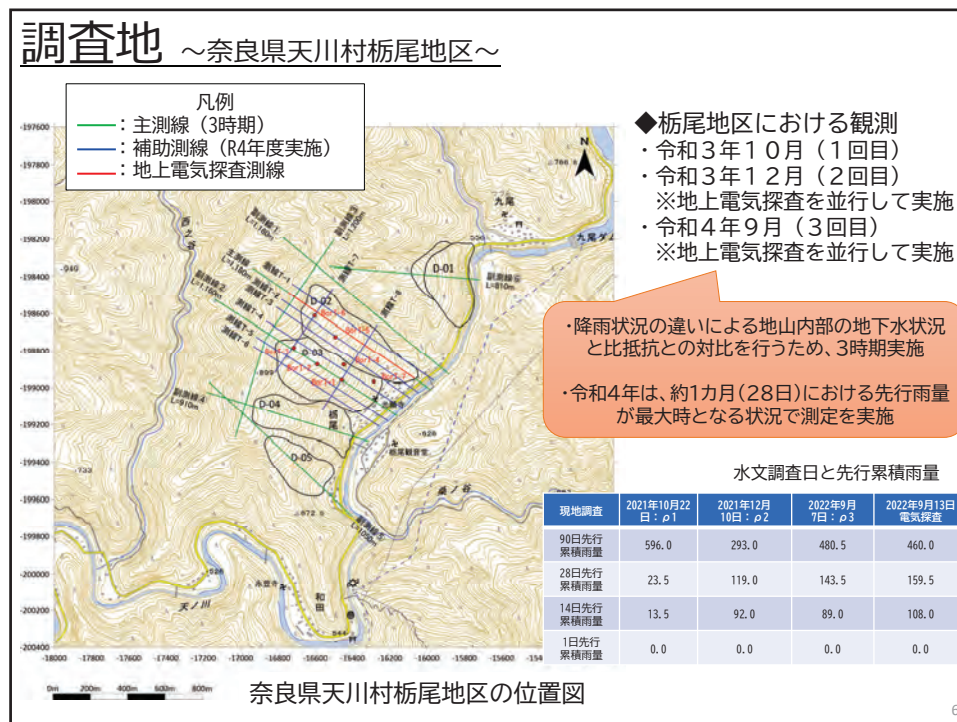
（航空レーザ測量範囲＋ヘリコプター空中電磁探査範囲）約280km²



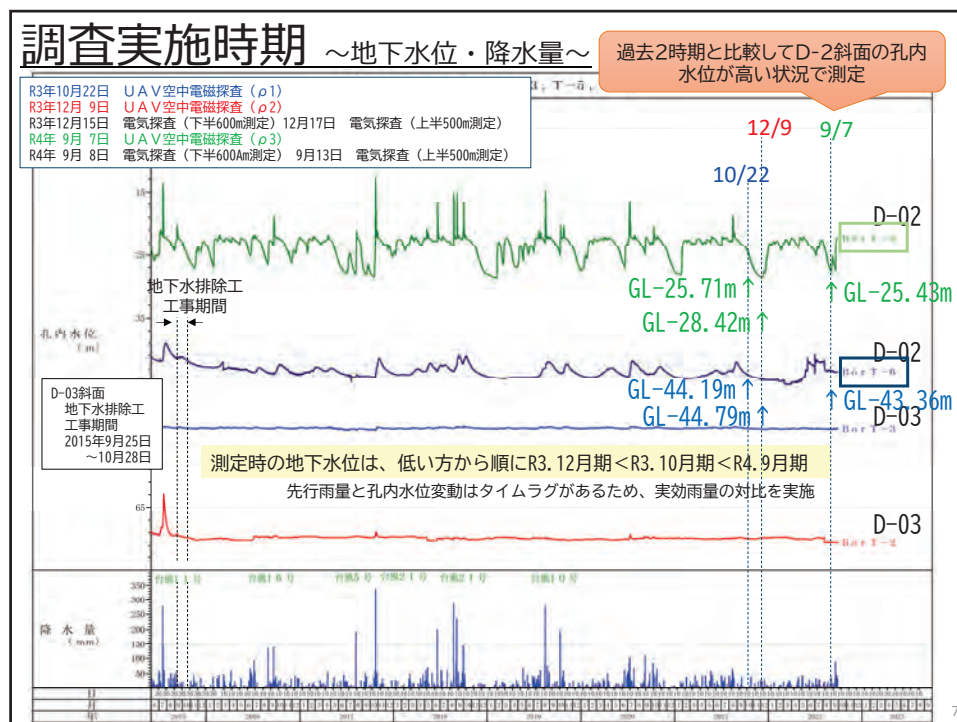
5

5

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ4

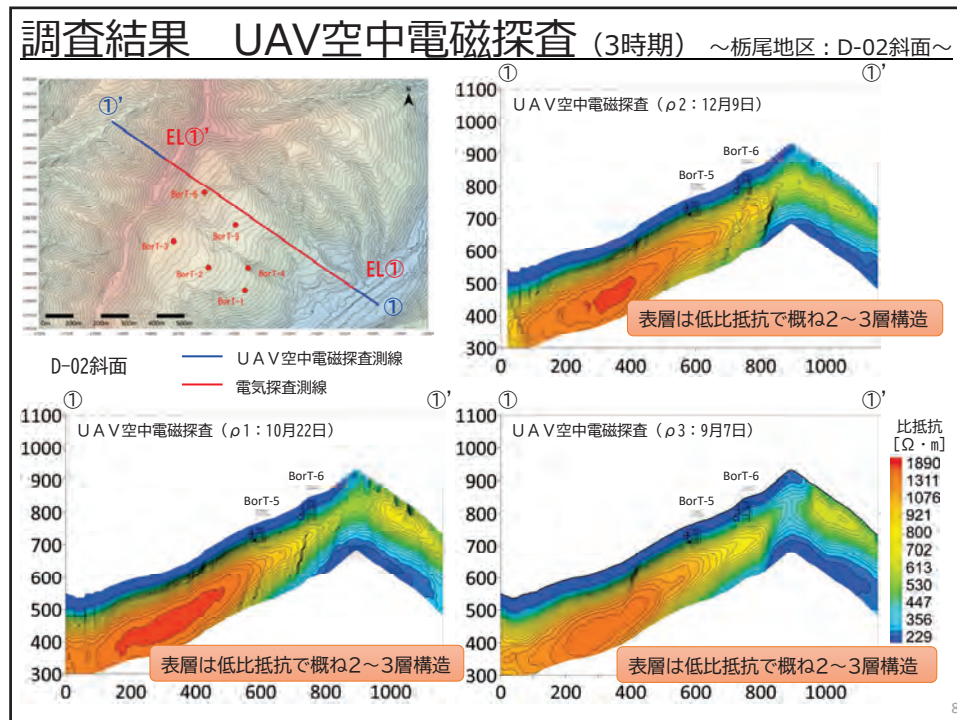


6

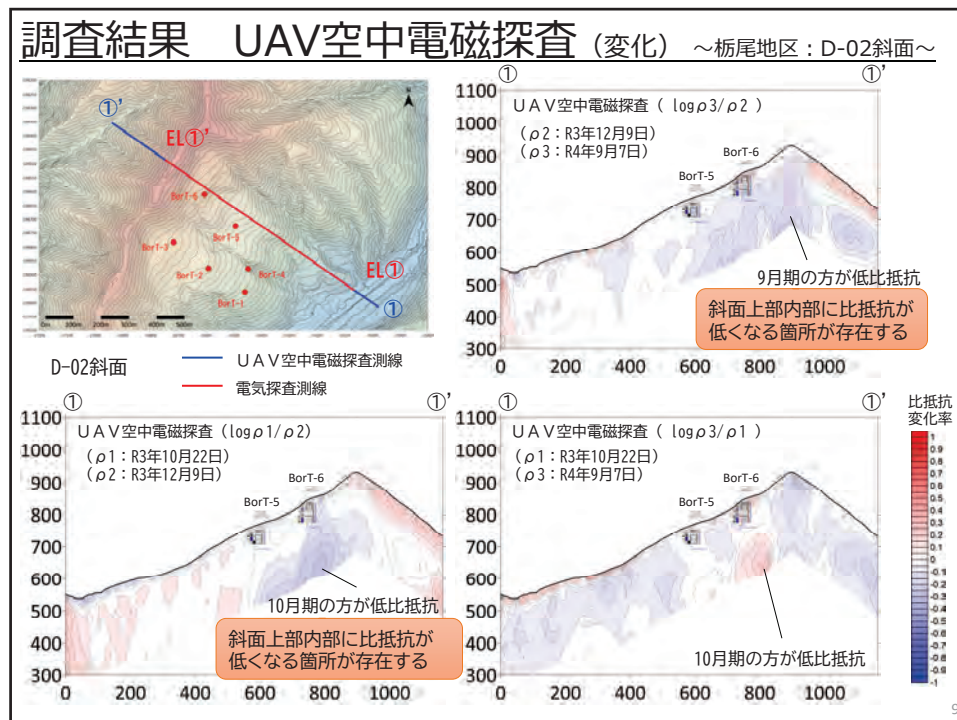


7

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ4

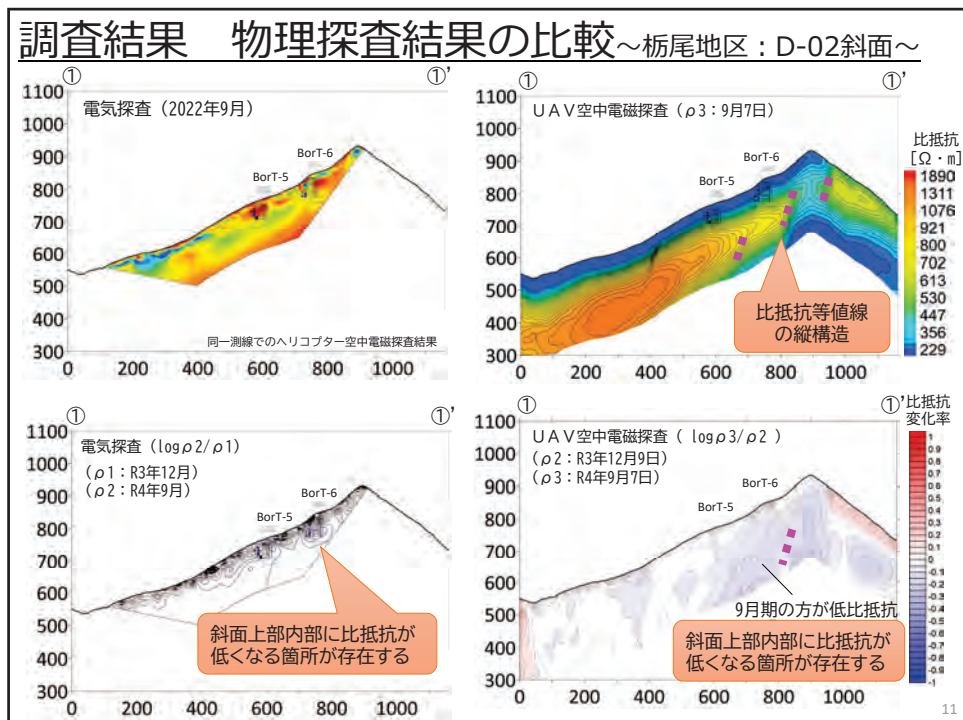
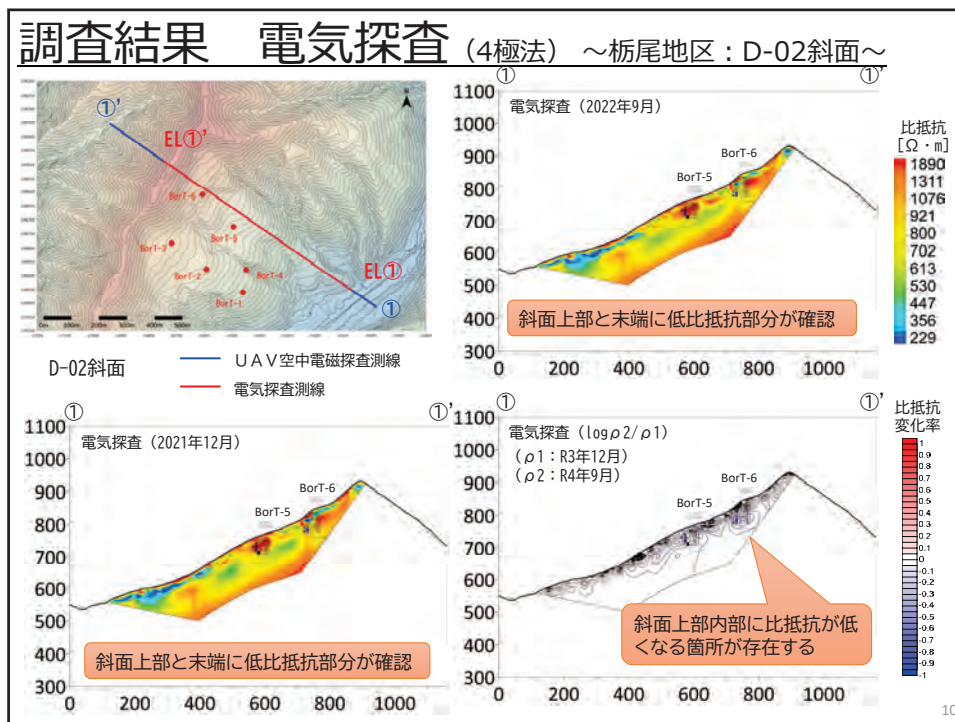


8



9

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ4



まとめ

- ・ 物理探査により、断層が地下水の挙動に及ぼす影響を可視化することができるため、斜面内部の構造調査への適用性が高い
- ・ 出水期と非出水期において先行累積雨量の異なる2時期のデータを活用することにより、降雨後の斜面内部の地下水分布状況を推定できる

今後の課題

- ・ 各物理探査手法の特徴を考慮した、深層崩壊発生危険度の高い斜面を広域から斜面単位で絞り込むための評価手法の高度化に取り組んで参りたい

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ5

BIM/CIM を活用した大規模土砂災害対応の技術継承に向けた取組

国土交通省国土技術政策総合研究所	正会員	○竹下 航
国土交通省国土技術政策総合研究所	正会員	山越 隆雄
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター		北本 楽
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター		小杉 恵
中電技術コンサルタント株式会社		荒木 義則

1. はじめに

平成 23 年紀伊半島大水害では、奈良県・和歌山県・三重県の 3 県を中心として、深層崩壊、表層崩壊、土石流が多発し、甚大な被害が発生した。奈良県・和歌山両県では、深層崩壊等による 17 箇所の河道閉塞（以下、天然ダムと呼ぶ）が確認され、そのうち 5 箇所については、越流・決壊による土石流災害の恐れが急迫していると判断され、土砂災害防止法に基づく緊急調査（以下、緊急調査と呼ぶ）が実施された¹⁾。この災害の後、天然ダムに起因する土砂災害への緊急調査の実施事例はなく、研修等を通じて緊急調査対応に関する技術を継承していくことが必要である。

国土技術政策総合研究所では、北海道開発局および地方整備局の職員を対象に、緊急調査や災害時の被災状況調査などを行うにあたって必要となる技術的、実践的な知見の習得を支援するとともに、整備局等内において土砂災害対応を行う際のリーダーとなり得る人材の育成を支援するプログラムを実施している²⁾。本稿では、大規模土砂災害対策技術センターと共同で実施した当プログラムの現地実習において、天然ダムに起因する土砂災害への緊急調査の対応訓練を BIM/CIM モデルを活用して実施した取組について報告する。

2. 緊急調査に関する訓練の概要

天然ダムに起因する土砂災害への緊急調査は、天然ダムが形成され、これが決壊し、土石流となって流下した場合に、重大な土砂災害の発生が想定されるか否かを判断するものである。このため、天然ダムの位置や比高、下流側水平長等を計測し、この計測結果をもとに氾濫解析を行って被害のおそれのある区域を想定するものである（図-1）。

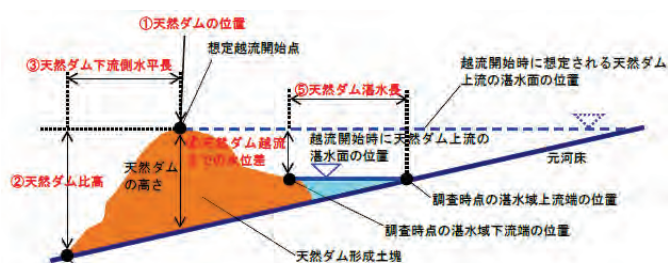


図-1 天然ダム緊急調査の概念図

本訓練では、平成 23 年紀伊半島大水害で天然ダムが発生した長殿地区（奈良県十津川村）を対象として、ヘリコプターからのレーザ距離計および UAV による計測を行い、計測結果を 3 次元モデル化するとともに、各計測手法の特徴について確認した。

3. BIM/CIM モデルを活用した訓練の実施とその効果

(1) 地形モデルの作成

天然ダムの位置等の計測結果を 3 次元モデル上にプロットするため、UAV による写真測量やレーザ計測を行い、地形モデルを作成した（図-2）。作成した地形モデルについて、令和 2 年度に測量された LP データと比較して精度について確認した。UAV による写真測量では、標定点の設置が不要とな



図-2 UAV レーザ計測の概要

キーワード BIM/CIM, 土砂災害, 緊急調査, 天然ダム, 技術継承

連絡先 〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6

国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター TEL0735-55-0820

る PPK (Post Processing Kinematic : 後処理キネマティック) を用いて撮影を行い, 3 次元点群データの精度確認を行った。崩壊斜面や河道において全体的に LP との差分は 0.5m 未満であり, 精度の高い地形モデルを作成できることを確認した (図-3)。

(2)天然ダムの計測

氾濫解析に必要となる, 天然ダムの位置, 比高, 湛水地の位置を計測するために, ヘリコプターからのレーザ距離計による計測と UAV に搭載したレーザ距離計からの計測を実施した (図-4)。

(3)BIM/CIM モデルによる計測結果のとりまとめ

天然ダムの計測結果を地形モデルにプロットして BIM/CIM モデルを作成した (図-5)。BIM/CIM モデル上で各手法により計測された結果を 3 次元的に表示することが可能となり, 想定される越流開始地点の位置を縦横断的に確認するなど, 天然ダム計測で重要となるポイントについて視覚的に確認できた。また, 長殿地区で実際の緊急調査に携わった職員から, BIM/CIM モデルを表示しながら天然ダム計測における留意点について説明を行った。このように, BIM/CIM モデルを活用することで, 災害現場が 3 次元的に視覚化され, 災害対応の技術継承にも有効であると考えられる。

4. おわりに

BIM/CIM モデルを訓練に活用することで, 天然ダムの計測結果を 3 次元的に確認することや, 緊急調査経験者の体験を視覚的にとらえることが可能となった。引き続き, 緊急調査に関する訓練に BIM/CIM モデルを活用するとともに, UAV を活用した災害直後の地形の迅速な 3 次元化や, 災害対応時の応急対策工を BIM/CIM モデルに追加するなど, 災害発生直後の緊急調査から対策工実施までの一連の災害対応を BIM/CIM モデルとして整理して 3 次元のアーカイブ資料としても活用し, 災害対応技術力の向上に貢献できるようにしてまいりたい。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局：2011 年紀伊半島大水害 国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録, 国土交通省近畿地方整備局, 199p, 2013
- 2) 山越隆雄：高度な土砂災害対策に従事する地方整備局等職員の育成支援プログラムの紹介, 河川, No.910, pp.53-55, 2023

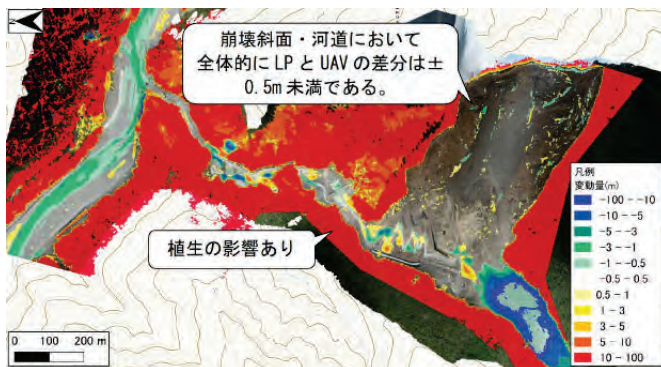


図-3 UAV 測量データと LP データの差分

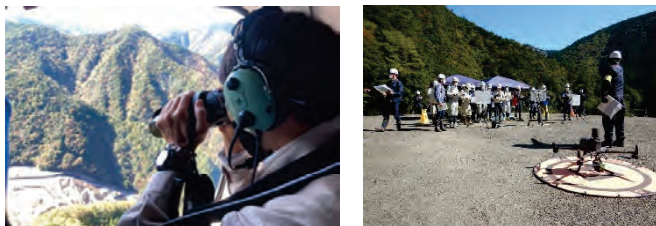


図-4 天然ダムの計測 (左：ヘリコプターからの計測, 右：UAV による計測)

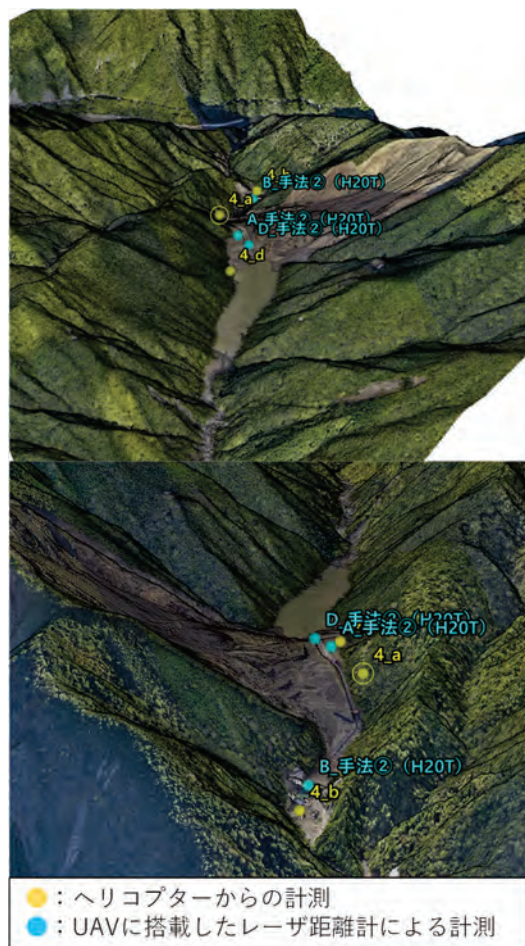


図-5 天然ダム計測結果を表示した BIM/CIM モデル

斜面安定解析における土質強度定数の設定について

和歌山県 県土整備部河川・下水道局砂防課 ○森川智 西島権^{※1}
 和歌山県 西牟婁振興局建設部 岸野孝彦
 株式会社 修成建設コンサルタント 漆谷悟 井戸幸博
 現所属 ^{※1}：和歌山県東牟婁振興局新宮建設部

1. はじめに

地すべり防止施設計画の規模は、一般に計画安全率で示され、地すべり活動ブロックごとに斜面安定解析にて定められる。このため、初期安全率と土質強度定数および間隙水圧の設定は、地すべり防止施設計画の規模と密接に関係する。和歌山県では土質強度定数の設定について、すべり面の粘着力を最大鉛直層厚によって推定し、すべり面の内部摩擦角を逆算する方法（逆解析）を一般的に採用している。

今回、2015年9月に地すべりの兆候が確認され、2017年度に新規事業化を図った田辺市長野地区の地すべり斜面安定解析において土質強度定数を設定した事例について報告する。

2. 地すべりの概要

長野地区は田辺市郊外の丘陵地に位置し、典型的な地すべり地形を呈している。地すべり頭部の緩斜面は主として梅畑として利用されるとともに人家が点在しており、また地すべり末端部は二級河川左会津川支川の曲り谷川の浸食により急勾配の斜面となっている。

2017年7月より地盤伸縮計、孔内傾斜計、自記水位計を設置し地すべり観測を実施していたところ、2017年10月の台風に伴う豪雨により地すべり活動が活発化した。この活動によりすべり面深度および地すべりブロックの範囲（図1）が確認されるとともに、主測線の設定変更が必要となった。また、4孔の孔内傾斜計が観測不能となったため、調査ボーリングと観測機器を追加した。この地すべりの原因となる素因・誘因等の機構について整理した（表1）。



図1 地すべりブロック

表1 機構解析結果

地すべりブロック	概要	規模	地質	素因	誘因
滑動ブロック	① 台風に伴い、明瞭な変位が発生 ② 冠頭部および上部の左右翼はクラックの分布範囲 ③ 左翼部下部は沢地形 ④ 末端は、すべり面深度より谷底に抜ける	幅 150m 長さ 150m 厚さ 28m	四万十帯牟婁群砂岩・泥岩互層（泥岩主体）（新生代古第三紀）	① 流れ盤の泥岩主体の地質 ② 連続した破砕帯が存在し、すべり面を形成 ③ 大きな地すべりブロックが細分化 ④ 地下水位が容易に上昇	台風による地下水位の上昇
大ブロック	① 滑動ブロックとその背後斜面を含む一連のブロック ② 冠頭部および上部の左右翼は沢地形 ③ 下部は滑動ブロックと共通	幅 230m 長さ 240m 厚さ 28m			滑動ブロックの活動が背後斜面を不安定化

台風通過後、非出水期に入ったこともあり、地すべり活動は一旦休止したが、2018年5月6日から9日にかけての降雨（連続雨量233mm）により再活動が発生し、頭部の地盤伸縮計で1mm/hr未満の断続的な動きが観測された。その後の6月の最大日雨量233mmや8月の最大日雨量273mm等の降雨により、10月1日には同

じ地盤伸縮計で 1mm/hr 以上の動きが約 20 時間にわたり観測された。その他、地すべり末端部の変状等により調査ボーリングを追加し、末端部の地すべり面形状を変更した。主測線断面図を図 2 に示す。

3. 斜面安定解析と土質強度定数

2017 年 10 月の地すべり活動に対して、技術指針¹⁾²⁾³⁾等を参考に滑動ブロックの斜面安定解析を行った。安定解析は、安全率の設定、すべり面粘着力(c)の推定、そして地下水位計の観測結果(各孔の最高水位)を用い、逆解析により内部摩擦角(ϕ)と必要抑止力を算定した(表 2)。

長野地区の地すべりの場合、計画安全率を満足させるためには非常に大きい抑止力が必要であるため、集水井による地下水位の低下を主体とした地すべり防止施設計画を策定し、2018 年 5 月の再活動以降、緊急横ボーリング(2 箇所)、横ボーリング(2 箇所)、4 基の集水井が完成している。集水井等の施工と並行して地下水位や動態等の観測を行い抑制工の効果と必要抑止力の算定を実施してきたが、2020 年までに完成した 2 基の集水井等ではあまり効果が見られず抑止工(鋼管杭工)の検討が必要な状況にあった。このような中で、2020 年 7 月に主測線上のパイプ歪計にひずみの累積(900 μs /6 日～1980 μs /6 日、1100 μs /月～2700 μs /月)が観測されたことから、2021 年にそれまでの斜面安定解析の見直し(粘着力は変更せず逆解析により内部摩擦角を算定し、鋼管杭の設計に必要な抑止力を計算)が行われた。その後 2 基の集水井が完成し、2022 年の観測では降雨量が少なかったこともあり地下水位の顕著な低下が確認された。現状の安全率の評価と今後の対策の検討を行う必要があるが、「2021 年の見直し」がそれ以前の安定解析との整合や検証が実施されていなかったため、見直した土質強度定数の妥当性等、現状安全率の評価に混乱が生じている。

このため、2017 年からの観測データを用いて土質強度定数を設定し斜面安定解析を行った。解析に際しては、2018 年 9 月 30 日の観測データでは 2017 年よりも地下水位が低いにも関わらず地盤伸縮計に顕著な引張が確認されていること、従来の安定解析には主測線上の地下水位観測孔毎の年間最高水位を使用しており、活動に影響した地下水位は使用していないことに着目し、2018 年 9 月 30 日の活動直前の地下水位(臨界水位)を用い現状安全率を 1.00 と設定し、逆解析により内部摩擦角を算定した。また、2020 年 7 月のひずみ累積時点の地下水位を複数パターン用いて安全率を算定し、土質強度定数の妥当性を検証した。結果としては、ひずみ累積時の安全率は約 1.07 となり 1.00 を超過しているが、地盤伸縮計には 0.3～0.5mm/日と明瞭な引張が発生していないことから、土質強度定数と安定解析にはそれなりの妥当性があると判断している。

4. おわりに

今回は 6 年間の観測データを用いて現状安全率の評価と今後の対策の検討のための土質強度定数の設定と斜面安定解析を行ったが、地すべり活動をより合理的に説明するためには、すべり面粘着力について最大鉛直層厚によって一律に設定するのではなく、土質試験に基づく実測値の活用等、別の設定方法が必要であると感じた。また、地すべり対策を検討するうえで、安全率の評価には観測データによる検証等が重要であることを再認識した。今後も技術の研鑽に努めてまいりたいと考えている。

【謝辞】

今回の発表を行うに際して、貴重なデータや助言等のご協力をいただきました関係者の皆様はこの場をお借りして感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省河川砂防技術基準同解説 計画編
- 2) 国土交通省河川砂防技術基準同解説 調査編
- 3) 地すべり防止技術指針及び同解説(平成 20 年 4 月)

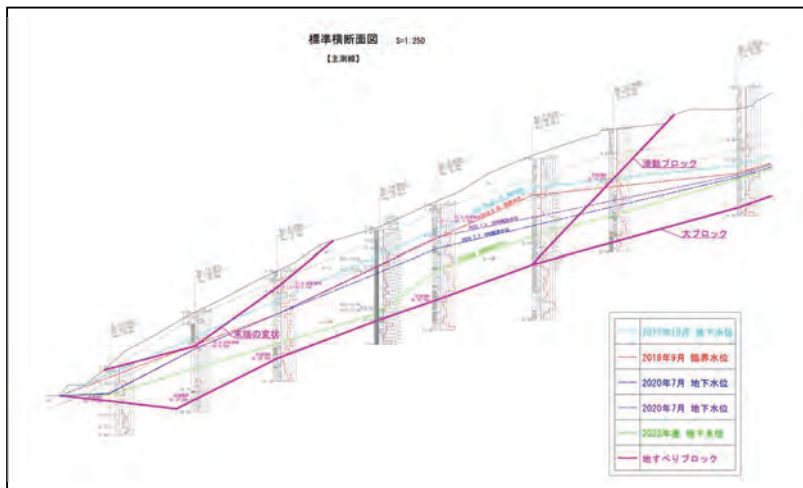


図 2 主測線断面図

表 2 斜面安定解析(2017 年)

○滑動ブロック	
・計画安全率	1.20
・現状安全率	0.98
・粘着力	$c=25\text{kN/m}^2$
・内部摩擦角	$\phi=23.7^\circ$
・必要抑止力(現状)	5111.1kN/m
・必要抑止力(集水井考慮)	1872.7kN/m

災害伝承碑紹介動画の制作と防災学習における活用について

和歌山県土砂災害啓発センター
那智勝浦町

○稲田健二・有田貴洋・岸畑明宏・筒井和男・森要
佐藤純子

1. はじめに

和歌山県では、平成 23 年の紀伊半島大水害を契機として和歌山県土砂災害啓発センター（以下、「啓発センター」）を設置し、土砂災害に関する調査研究及び紀伊半島大水害をはじめとする災害記録や教訓を後世に継承するため、土砂災害に関する啓発活動に取り組んでいる。

啓発活動では地元の小学校と連携・協働して児童たちが「自分事として考え・行動できる」ことを目標に、防災学習に取り組んでいる。将来の防災の担い手となる児童が知識を身に付けるだけでなく、児童から家庭へ、さらには地域へと防災意識が普及する効果が期待できるため、啓発センターにおける活動の柱の一つとして積極的に取り組むとともに、地域の特性を取り入れた防災学習の教材作りにも力を入れている。

和歌山県では過去に明治 22 年・昭和 28 年・昭和 33 年・平成 23 年と歴史的な大規模土砂災害があり、各地に石碑等の災害伝承碑や災害記録が残っている。

しかし、全国的に広い範囲で被害が発生した平成 30 年 7 月豪雨で多くの犠牲者を出した広島県のある地域では、100 年以上前に起きた水害を伝える石碑があったものの、関心を持って碑文を読んでいなかったという住民の声が聞かれる¹⁾など、災害伝承碑等が十分に活かされていないのが現状である。

そこで、過去に土砂災害等の被害を受けた和歌山県西牟婁地域の市町（図-1）における災害伝承碑等に関する調査結果^{2) 3)}をもとに、和歌山県 PR キャラクターである「きいちゃん」（写真-1）を用いた災害伝承碑等を紹介する動画を制作した。防災学習や講演会で用いて、地域の防災意識向上を図った事例について報告する。



図-1 西牟婁地域
調査箇所位置図



写真-1 和歌山県 PR
キャラクター
「きいちゃん」

2. 災害伝承碑紹介動画の制作

2.1 災害伝承碑紹介動画のシナリオ

教室で防災教育を受けるきいちゃんが、土砂災害の危険性はわかるが、どこか自分には無関係であると感じている。微睡むきいちゃんのもとにご先祖様が現れ、過去の災害について石碑等を作って後世に伝える努力をし

てきたが、現代を生きるきいちゃんにきちんと伝わっていないことを嘆く。それを受け、きいちゃんは過去の災害や災害伝承碑等に興味を持ち、西牟婁地域を調べ、災害伝承碑等を巡りながら過去の災害について学んでいくといったシナリオになっている（写真-2）。



写真-2 災害伝承碑を紹介するきいちゃん

2.2 撮影機材及び編集ソフト等

使用したカメラは SONY のミラーレス一眼 α7 III、レンズは崩壊跡地を明確に撮影できるよう、中距離望遠レンズである TAMURON 28-75mm F/2.8 Di III RXD を使用した。また、動画編集ソフトは Wondershare の filmora バージョン 11.3、また音声読み上げソフトとして、PIXIV FANBOX の VOICEVOX を使用し、登場するキャラクターに音声をつけることで視聴する人が見やすい動画となるものとした。表-1 に動画作成に使用した機材等の詳細を記載する。

表-1 動画作成に使用した機材等

	会社名	製品名
カメラ	ソニー株式会社	α7 III
レンズ	株式会社タムロン	28-75mm F/2.8 Di III RXD
三脚	ハクバ写真産業株式会社	HK-836B HAKUBA
編集PC	株式会社サードウェーブ	GALLERIA GCL1650TGF
動画編集ソフト	Wondershare	Filmoraバージョン11.3
音声読み上げソフト	PIXIV FANBOX	VOICEVOX

3. 災害伝承碑紹介動画の活用事例

3.1 防災学習における活用

令和 4 年 10 月に田辺市立大坊小学校において 4・5・6 年生 12 名を対象とした防災学習を実施した。実施にあたり、WEB 会議システムを用いて国土交通省国土技術政策総合研究所のご協力により、土砂災害に関する一般知識について説明してもらった。また、田辺市が甚大な被害を受けた紀伊半島大水害の説明、そして、災害伝承碑紹介動画の上映を県から行った（写真-3）。



写真-3 防災学習の様子

3.2 地域講演会における活用

令和5年2月に和歌山県情報交流センタービック・ユーにおいて、地域住民約90名を対象とした地域講演会を開催した。第7回目となる今回の講演会では「自主防災力を高めるために」と題し、2名の講師の方からご講演いただくとともに、災害伝承碑紹介動画の上映も行った。なお、講演会は地域住民が土砂災害について考え、いざという時の安全かつ迅速な避難に役立てることを目的として、平成29年より県内各地で地域講演会を開催している（写真-4）。



写真-4 地域講演会の様子

4. 災害伝承碑紹介動画の効果

大坊小学校における防災学習後、児童からの感想文では、「自分が生まれた年くらいに紀伊半島大水害という大きな災害があると知った。」「災害からどのように身を守っていけばよいか家族と話し合っていきたい。」「改めてもう一度家族と避難場所を決めようと思う。」「といった記述があった。

また、地域講演会のアンケート調査では、災害伝承碑動画について、記入いただいた79%の方が「満足」と回答があり、中には、70代以上の方から「これを機会に地域の皆さんと土砂災害について勉強する場を持ち話し合いをしていきたいと思います。」といった意見があった。

以上のことから、地域の子どもから大人へ、さらには大人から子どもへ防災意識が普及していくことが期待できる。

5. その他の活用事例

災害伝承碑紹介動画は西牟婁地域の方だけでなく、より多くの人に視聴し、防災意識を高めてもらうために、現在YouTubeの啓発センター公式チャンネルで公開している（写真-5）当チャンネルでは啓発センターの紹介動

画や、平成23年紀伊半島大水害で被災された久保榮子さんの紙芝居の動画、360°カメラで和歌山県内の土砂災害警戒区域を確認することができる動画等、土砂災害に関する動画を投稿している。



写真-5 YouTubeサムネイル「きいちゃん学ぶ 後世へ伝える災害の記憶-西牟婁編-」と二次元コード

6. おわりに

災害伝承碑紹介動画は今後も防災学習と合わせて活用する予定である。地元で発生した過去の災害を学び、先人が現代を生きる我々に残した災害の記憶を知ること、防災学習で学んだ土砂災害をより自分事として考え、ひいては地域の防災意識を高めることに期待できる。

今後は和歌山県内の他の地域の過去の災害や災害伝承碑等の調査及び動画制作を行い、地域の情報を取り入れた教材作りに取り組む予定である。

謝辞：撮影のご協力をいただきました、那智勝浦町立市野々小学校の皆様には大変お世話になりましたことを、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

1)朝日新聞デジタル

<https://www.asahi.com/articles/ASL7Z5V2BL7ZTIP E03N.html>

参照 2023-3-6

2)宮崎徳生・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦：後世に伝える過去の山地災害に関する調査と防災学習の取り組みについて、第61回治山研究発表会抄録集、p23-24、2021

3)国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター：60年毎に繰り返される紀伊半島の歴史的な大規模土砂災害、

<https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/saigaishi.pdf>,

参照 2023-3-6

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ3

AR 技術を活用した土砂災害防災学習の実践

和歌山県土砂災害啓発センター

和歌山工業高等専門学校環境都市工学科

○筒井和男・有田貴洋・岸畑明宏・稲田健二

田中勇摩・山添成毅・辻原治

1. はじめに

2011 年の東日本大震災や紀伊半島大水害を契機に防災教育の重要性が強く認識され、正しい知識と理解および避難行動に関する教育が取り込まれるようになり、小学校では、学習指導要領が改訂¹⁾され、「自然災害に関する知識を得ること」や「災害から身を守ること」、「災害から人々を守る行動」などについて指導することが追記された。和歌山県では、紀伊半島大水害で甚大な被害を受けた那智勝浦町に、土砂災害に関する研究および啓発の拠点となる施設として土砂災害啓発センターを設置し、土砂災害に関する講義やジオラマ模型を使った実験などを行うことに併せて、RPG（ロールプレイングゲーム）コンテンツなど効果的な教材の開発²⁾に取り組んでいる。

土砂災害への的確な対応には子供の頃からの教育が有効であると指摘されており、自らの確かな判断で意思決定する能力の涵養が重要となる³⁾。その際、土砂災害における重要な素因である地形を正しく認識するには、地形図を読み取る能力が必要となる。しかし、小中学生にとって地形図は日常的に扱うものでもなく、地形図から尾根や谷などの地形的特徴を把握するのは困難との指摘³⁾がある。そこで、我々は、地形と地形図（等高線）との関係性を学習するツールとして AR（拡張現実）技術を用いた防災学習砂場（AR 砂場）の開発に取り組み、併せて地形模型へのプロジェクションマッピングを用いた土砂災害に関する防災学習を実践したので、本稿にて報告する。特に防災学習砂場（AR 砂場）は、砂で作った地形とその変化に合わせて等高線などがリアルタイムで表示できる。体験型の教材として児童・生徒の知的好奇心を刺激し、その後の防災教育の動機づけの役割が期待できるものである。

2 装置概要

2.1 防災学習砂場（AR 砂場）

防災学習砂場の装置概要を図-1 に示す。設置台の天板にプロジェクターのレンズを下に向けて設置する。天板の裏側（下面）にデプスカメラ（深度センサー）を下に向けて固定する。デプスカメラで取得した深度データの受信と解析は PC で行い、等高線をプロジェクターに送る。設置台は市販のアルミパイプ製の物干し台を利用した。

砂場は大きいほど多くの人に体験してもらえるが、運搬性を考慮し幅 75 cm、奥行 60cm、高さ 12cm 程度のバットを用意した。これに砂を入れる。砂は一般的な川砂などでもよいが、適度な湿り気があるキネティックサンドを用いると、急な斜面の表現などができ、地形の再現に有効である。センサーは Intel 社製の REALSENSE DEPTH CAMERA™ D455 を用いた。解像度は最大 1280×720 ピクセル、フレームレートは最大 90fps である。データ処理はオリジナルプログラムを Python で作成した。その際、Intel 社が公開している REALSENSE SDK により深度データの取得、フィルター処理等を行い、画像処理に openCV、グラフ作成に Matplotlib 等ライブラリを利用した。

砂の動きに併せて、等高線、等高線+カラーマップ、もしくはカラーマップのみが逐次変更し、表示できる（図-2）。等高線の間隔やカラーマッピングは任意に選定ができる。砂の動きに合わせて、等高線などがリアルタイムで表示される。

同様なシステムは市販のものもあるが非常に高価である。手持ちのプロジェクターや PC を活用することで、デプスカメラ（7 万円程度）と物干し台、砂等の購入のみで、安価に抑えることができた。

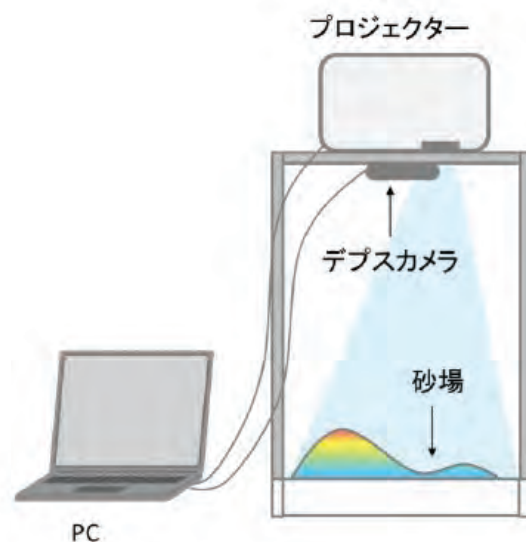


図-1 防災学習砂場（AR 砂場）の装置の構成

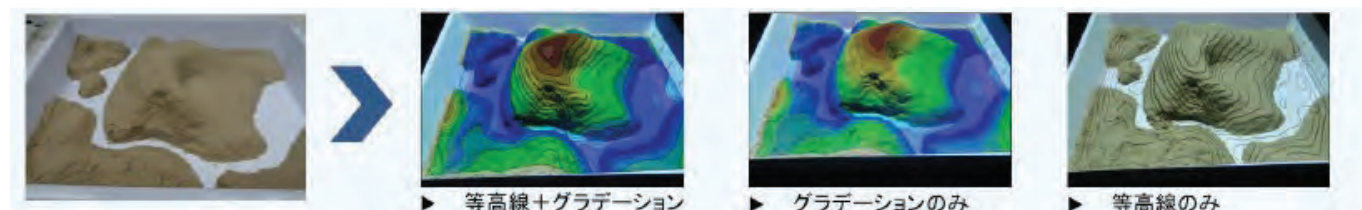


図-2 防災学習砂場の等高線等の投影の様子

2.2 地形模型プロジェクションマッピング

防災学習砂場のプロジェクターと PC を流用し防災学習の対象とする地域の地形モデルにハザードマップや衛星写真などをマッピングするようにした。地形モデルはスチレンボードを等高線に沿って切り取り、それを重ねることで地形を再現したものや、砂の上に等高線を投影し、それに合わせて砂で地形を再現するものの2種類を用いた。

またランドマークとなる学校の模型なども設置することで、対象者の興味を引くよう工夫した。これらに土砂災害警戒区域や衛星画像を投影した。また、ポジティブな情報として、ミカン畑などの位置も表示し、土砂災害におけるそのある地形は地域の資源として活用されていることも説明した。

その他の活用としては、石に模したボールを転がして土石流の簡単な実験や、そこに砂防堰堤の模型を設置して砂防堰堤の効果の説明を行う実験を行った。また、土石流の流下状況を IRIC（数値解析モデル）で計算した土石流の動画もマッピングした。これらにより、自分事としてより地域の地形と土砂災害との関係を把握できるものと考えられる（図-3）。

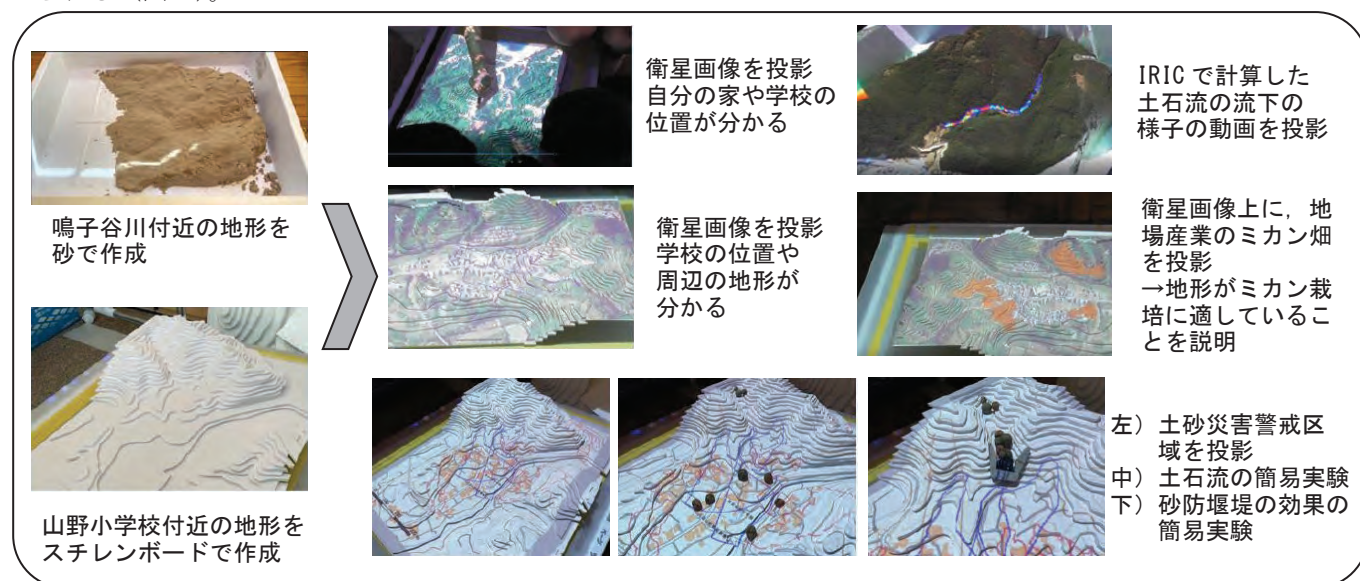


図-3 地形模型へのマッピングの様子

3. 実践と効果

令和5年1月20日と27日に、日高川町立山野小学校（5年生7名、6年生3名 計10名）と那智勝浦町立市野々小学校（5年生5名、6年生7名 計12名）で、土砂災害に関する防災授業を実施した。授業の構成は、①土砂災害の概要、②紀伊半島大水害の被害状況、③土砂災害と地形の関係、④地形と等高線の関係、⑤防災学習砂場による地形学習、⑥紀伊半島の立体地図による学習、⑦土砂災害に関する避難行動の順とした。山野小学校での授業の様子を図-4に示す。この授業は研究授業として、町内の学校の教員の視察、リモート中継が行われ、地元町会議員の視察もあった。テレビ局、新聞社からの取材があった。児童に対するアンケート結果を図-5に示す。AR技術を用いることで、等高線や土砂災害の起こりやすい場所の理解が深まった、また、ハザードマップが授業前に比べて理解が進んだなど、肯定的な回答をした児童が多かった。教材としての有効性を確認できた。

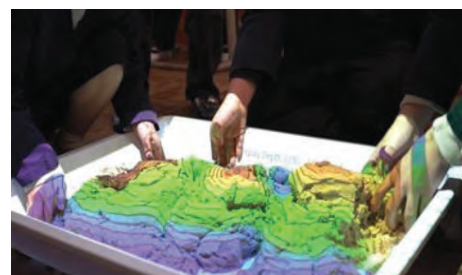


図-4 山野小学校での授業の様子

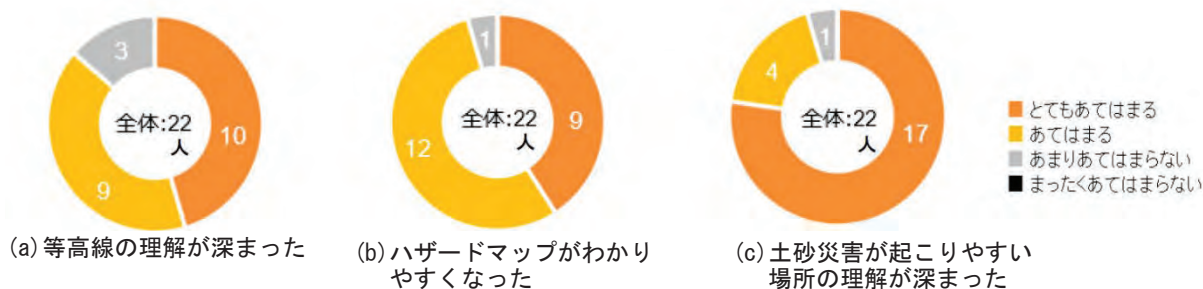


図-5 児童に対するアンケート調査結果の一部

4. おわりに

AR（拡張現実）技術を活用した防災砂場や地形モデルへのプロジェクションマッピングなどを用いた土砂災害に関する防災学習を実践した。地形の学習に効果的であることが分かった。開発したシステムでは、デブスカメラ以外は学校でも手持ちの機器で対応できることから安価に構成することができる。このため、横展開も期待できる。

参考文献

- 1) 文部科学省：小学校学習指導要領（平成29年度告示），2009
- 2) 西萩ほか：土砂災害啓発のためのRPGコンテンツの開発と評価，砂防学会誌，2021
- 3) 檜垣ほか：土砂災害と防災教育，2016

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ 4

災害伝承碑紹介動画の制作と防災学習における活用について

有田貴洋・岸畑明宏・筒井和男・稲田健二・森要・佐藤純子

目 次

- I. 和歌山県土砂災害啓発センターにおける
啓発活動と取り組み事例
 - 1. 防災 RPG を用いた防災学習
 - 2. ハザードマップアプリを用いた防災学習
- II. 災害伝承碑を用いた防災学習の検討
- III. 撮影機材及び編集ソフト等
- IV. シナリオ
- V. 特徴
- VI. 災害伝承碑を活用した田辺市立大坊小学校に
おける防災学習の取り組み事例
- VII. おわりに

(要旨)

平成 23 (2011) 年の東日本大震災や紀伊半島大水害を契機に防災教育の重要性が強く認識され、正しい知識と理解および避難行動に関する教育が始まっている。特に小学生は将来防災の担い手となるため、和歌山県土砂災害啓発センターでは防災学習に積極的に取り組み、地域の特性を取り入れた教材作りを行っている。

さて、和歌山県では過去に歴史的な大規模土砂災害が繰り返し発生し、各地には石碑等の災害伝承碑や災害記録が残っている。一方で、西日本豪雨で大きな被害を出したある地域では、関心を持って碑文を読んでいなかったという住民の声が聞かれるなど、災害伝承碑等が十分に活かされていないのが現状である。過去の災害を風化させることなく後世に伝えることで、過去の災害から学

び備え、防災学習をはじめとする地域の防災力を高めることが重要であると考ええる。

そこで、和歌山県 PR キャラクターである「きいちゃん」を用いた災害伝承碑等を紹介する動画を制作し、過去の災害を知る動機付けとすることで、防災学習をはじめとする地域の防災力を高める方法について検討したので報告する。

キーワード： 土砂災害、防災学習、動画制作、災害伝承碑、和歌山県 PR キャラクター「きいちゃん」、YouTube

I. 和歌山県土砂災害啓発センターにおける啓発活動と取り組み事例

和歌山県では、平成 23（2011）年の紀伊半島大水害を契機として和歌山県土砂災害啓発センター（以下、「啓発センター」）（写真 1）を設置し、土砂災害に関する調査研究及び紀伊半島大水害をはじめとする災害記録や教訓を後世に継承するため、土砂災害に関する啓発活動に取り組んでいる。

啓発活動では、平成 28（2016）年度～平成 30（2018）年度に国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センターが行った試行学習から防災学習のノウハウを取得し、地元の小学校と連携・協働して児童たちが「自分事として考え・行動できる」ことを目標に、防災学習に取り組んでおり、将来の防災の担い手となる児童が知識を身に付けるだけでなく、児童から家庭へ、さらには地域へと防災意識が普及する効果が期待できるため、センターにおける活動の柱の一つとして積極的に取り組むとともに、地域の特性を取り入れた防災学習の教材作りにも力を入れている（表 1）。



表 1 防災学習実績回数

	小学校	中学校	計		試行 学習
			学校数	内学習回数	
平成29年度	6	2	8	8	有
平成30年度	3	2	5	5	有
令和元年度	5	3	8	10	無
令和2年度	17	11	28	58	無
令和3年度	30	10	40	67	無

写真 1 和歌山県土砂災害啓発センター

1. 防災 RPG を用いた防災学習

和歌山工業高等専門学校（以下、「和高専」）と啓発センターが共同開発した防災 RPG（ロールプレイングゲーム）「土砂災害が発生したとき」（図 1）では、ゲームを通してプレイヤーである児童が、土砂災害の危険性や防災情報、避難の必要性、ハザードマップの確認について、自身の分身であるキャラクターを通して体験学習ができる（写真 2）。防災 RPG のシナリオは「主人公が楽しみにしていた遠足当日が大雨となり、遠足は中止となり、防災情報が発表され、ハザードマップを確認して避難する。」という内容となっている。楽しみにしている遠足の回想場面では、児童の通学する学校や、学校周辺の観光地の写真を使用することで、より自分事として考えられるようにしている。



図 1 防災 RPG「土砂災害が発生したとき」



写真 2 防災 RPG を操作する児童の様子

2. ハザードマップアプリを用いた防災学習

防災 RPG 同様、和高専と共同開発したハザードマップアプリでは、地図を読み込み、画面をタップすることで、学校等のアイコンを配置したり、撮影した写真を読み込んだり、線を描くことが可能で、児童が学校周辺の危険箇所等の調査を行い、自分だけのハザードマップを作成することで、地域のことを知り、正しい避難行動が学習できる（写真 3, 4）。

文部科学省の GIGA スクール構想により、小学校には PC やタブレットが配置されインターネット環境が整備されているため、タブレットの場合は外に持ち出し、写真を撮ることも可能である。



写真 3 学校周辺の調査の様子



写真 4 作成したハザードマップを
発表する様子

II. 災害伝承碑を用いた防災学習の検討

和歌山県では過去に明治 22 (1889) 年・昭和 28 (1953) 年・昭和 33 (1958) 年・平成 23 (2011) 年と歴史的な大規模土砂災害があり、各地には石碑等の災害伝承碑や災害記録が残っている（写真 5, 6）。過去の災害を風化させることなく後世に伝えることで、過去の災害から学び備え、防災学習をはじめとする地域の防災力を高めることが重要である。

○和歌山県で繰り返し起こる歴史的な大規模土砂災害

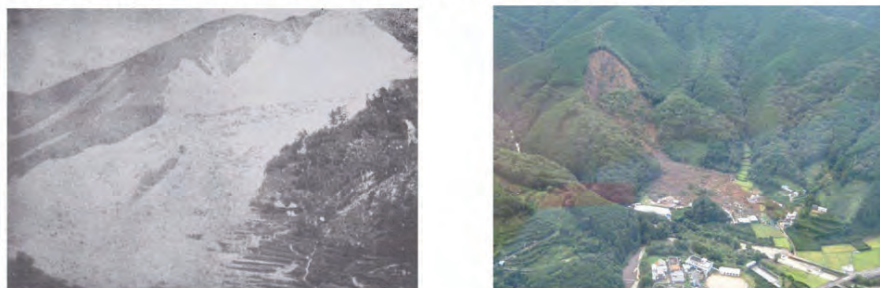


写真 5 左：明治 22 年の大水害で崩壊した田辺市の槇山の写真

右：平成 23 年紀伊半島大水害で被災した同市伏菟野の写真

○災害伝承碑



写真 6 左：田辺市龍神における明治 22 年大水害の災害伝承碑

中：白浜町市鹿野における昭和 33 年大水害の災害伝承碑

右：田辺市熊野における平成 23 年紀伊半島大水害の災害伝承碑

しかし、全国的に広い範囲で被害が発生した平成 30 年 7 月豪雨で多くの犠牲者を出した広島県坂町の小屋浦地区では、100 年以上前に起きた水害を伝える石碑があったものの、関心を持って碑文を読んでいなかったという住民の声が聞かれるなど、災害伝承碑等が十分に活かされていないのが現状である。¹⁾

また、国土地理院では、過去の自然災害に関する石碑やモニュメントなどを地形図等に掲載し、過去の自然災害の教訓を地域の方々に適切に伝えるとともに、教訓を踏まえた的確な防災行動による被害の軽減を目指す²⁾とし、令和元年には自然災害伝承碑の地図記号が新たに追加された。これらの取組みにより、災害伝承碑を活用した防災学習は一層効果的に実施できると考える。

そこで、本報告では過去に土砂災害等の被害を受けた和歌山県 西牟婁^{にしむろ}地域の市町村（図 2）における災害伝承碑等に関する調査結果²⁾³⁾⁴⁾をもとに、和歌山県 PR キャラクターである「きいちゃん」（写真 7）を用いた災害伝承碑等を紹介する動画を制作し、過去の災害を知る動機付けとすることで、防災学習をはじめとする地域の防災力を高める方法について検討したので報告する。



図 2 西牟婁地域調査箇所位置図



写真 7 和歌山県 PR キャラクター
「きいちゃん」

III. 撮影機材及び編集ソフト等

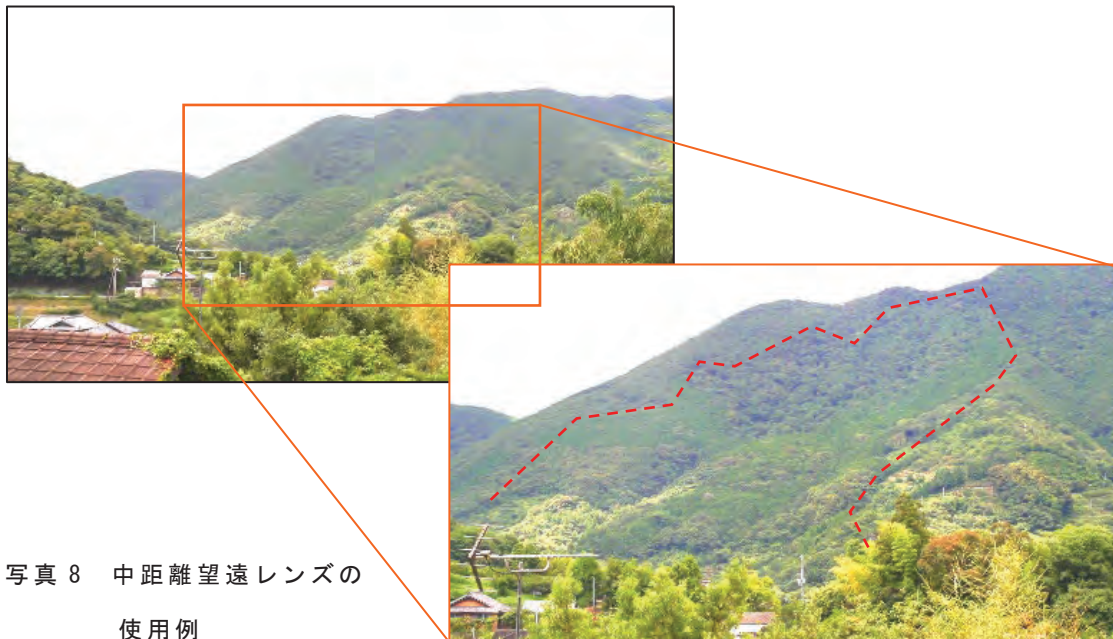
西牟婁地域の総面積は 1,460km²で和歌山県の約 31%を占めており、撮影場所までの移動時間は長く 2 日間に分けて撮影を行った。構成人数は撮影者、「きいちゃん」役、助手の計 3 人で、周りの迷惑にならないよう迅速に撮影を行った。また、那智勝浦町立市野々小学校にご協力いただき、教室で「きいちゃん」が防災学習を受ける場면을撮影した。

使用したカメラは SONY のミラーレス一眼 $\alpha 7$ III, レンズは崩壊跡地を明確に撮影できるよう、中距離望遠レンズである TAMURON 28-75mm F/2.8 Di III RXD を使用した (写真 8)。

また、動画編集ソフトは Wondershare の filmora バージョン 11.3 を使用し、シナリオ作成から動画完成まで 4 ヶ月を要した。視聴する人が見やすい動画となるために、音声読み上げソフトの PIXIV FANBOX の VOICEVOX を使用し、登場するキャラクターに音声をつけた。表 2 に動画制作に使用した機材等の詳細を記載する。

表 2 動画制作に使用した機材等

	会社名	製品名
カメラ	ソニー株式会社	$\alpha 7$ III
レンズ	株式会社タムロン	28-75mm F/2.8 Di III RXD
三脚	ハクバ写真産業株式会社	HK-836B HAKUBA
編集PC	株式会社サードウェーブ	GALLERIA GCL1650TGF
動画編集ソフト	Wondershare	Filmoraバージョン11.3
音声読み上げソフト	PIXIV FANBOX	VOICEVOX



IV. シナリオ

本動画のシナリオは、①教室で防災学習を受ける「きいちゃん」が、土砂災害の危険性はわかるが、どこか自分には無関係であると感じている。②微睡む「きいちゃん」のもとにご先祖様が現れ、過去の災害について石碑等を建てたり、後世に伝える努力をしてきたが、現代を生きる「きいちゃん」にきちんと伝わっていないことを嘆く。③それを受け、「きいちゃん」は過去の災害や災害伝承碑等に興味を持ち、西牟婁地域を調べ、災害伝承碑等を巡りながら過去の災害について学んでいく（写真 9, 10, 11, 12）といった構成となっている。



写真 9 授業に退屈する「きいちゃん」



写真 10 ご先祖様登場



写真 11 災害伝承碑に興味をもつ「きいちゃん」



写真 12 災害伝承碑を紹介する「きいちゃん」

V. 動画の特徴

動画の制作に当たっては、災害伝承碑等の紹介だけではなく、当時の被災写真と現在の映像を対比させ、当時の被災写真から読み取れる山の形状から、どこが崩壊したか「きいちゃん」に問う内容を入れることで、過去の災害をより身近に感じられるものにした（写真 13）。他にも、過去の災害の記録を石碑に限定せず、被災状況が描かれた絵図や、落橋した構造物の一部を紹介した。

また、和歌山県内各市町村の災害伝承碑の位置図を作成し、動画の最後に紹介した。作成した位置図に災害伝承碑の写真を添付することで、地元住民が興味を持ち自ら訪れた際に発見しやすくする工夫をした（写真 14）。また、災害伝承碑の凡例の色で災害伝承碑が建てられる機会となった災害の発生時期が分かる工夫をした。

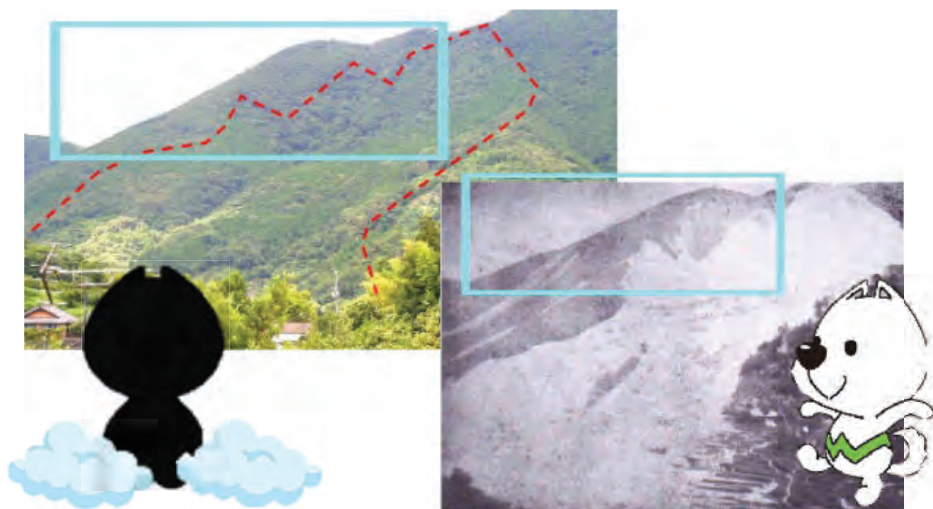


写真 13 崩壊箇所を山の形状から判読



写真 14 田辺市内の災害伝承碑位置図

VI. 災害伝承碑を活用した田辺市立大坊小学校における防災学習の取り組み事例

制作した動画を用いた防災学習を令和 4 年 10 月に田辺市立 ^{おおぼう}大坊 小学校で実施した。当小学校は吉野熊野国立公園の一つでもある「ひき岩群」の背後にそびえる山にあり、周りはみかん畑に囲まれた緑豊かな小学校である。一方、大坊小学校を含む大坊地区の多くは和歌山県が指定する土砂災害警戒区域内に含まれており、土砂災害に関する知識は必要である。

今回実施した防災学習は 1 年生～6 年生の全校児童を対象とし、土砂災害に関する一般知識、田辺市が甚大な被害を受けた紀伊半島大水害の説明、そして、過去の土砂災害や災害伝承碑について制作した動画を用いて行った。

また、防災学習を実施するにあたり、WEB 会議システムを用いて国土交通省国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」）の山越室長、西脇研究員にご協力いただき、実験装置を活用しながら、共同で防災学習を実施した。（写真 15, 16, 17, 18）

今回の防災学習の経験を活かし制作した動画の、より効果的な活用方法について、検討していきたい。



写真 15 国総研による土砂災害に関する一般知識の学習



写真 16 国総研による小型模型水路を用いた土石流発生実験



写真 17 啓発センターによる紀伊半島大水害の被災状況と復旧状況の説明



写真 18 制作した教材動画の視聴

VII. おわりに

今回制作した災害伝承碑紹介動画は、身近な場所で過去に災害があったことを、親しみのある和歌山県 PR キャラクターを用いて紹介しているため、過去の災害を知る動機付けとなり、地域住民等が過去の災害から学び防災の知識を身につけ、災害から身を守ることに繋がると考える。今後は和歌山県内の他の地域の過去の災害や災害伝承碑等の調査及び動画制作を行い、地域の情報を取り入れた教材作りに取り組む予定である。

また、制作した動画は現在 YouTube の啓発センター公式チャンネルで公開している（写真 19）。当チャンネルでは啓発センターの紹介動画や、平成 23 年紀伊半島大水害で被災された久保榮子さんの紙芝居の動画や、360° カメラで和歌山県内の土砂災害警戒区域を確認することができる動画等、土砂災害に関する動画を投稿している。



写真 19 YouTube サムネイル「きいちゃんと学ぶ後世へ伝える災害の記憶-西牟婁編-」と二次元コード

謝辞：撮影のご協力をいただきました、那智勝浦町立市野々小学校の皆様に変お世話になりましたことを、この場を借りて感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 朝日新聞デジタル

<https://www.asahi.com/articles/ASL7Z5V2BL7ZTIPE03N.html>

参照 2022-8-13

- 2) 国土交通省国土地理院：自然災害伝承碑，

<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/denshouhi.html>，参照 2022-7-11

- 3) 宮崎徳生・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦：後世に伝える過去の山地災害に関する調査と防災学習の取り組みについて，第 61 回治山研究発表会抄録集， p23-24， 2021.

- 4) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター：60 年毎に繰

り返される紀伊半島の歴史的大規模土砂災害,

<https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/saigaishi.pdf>,

参照 2022-7-11

土砂災害危険度情報のメッシュ単位における プッシュ型メール配信サービスについて

宮尾 修平¹・西岡 恒志²

¹和歌山県 県土整備部 河川・下水道局 砂防課（〒640-8585和歌山県和歌山市小松原通一丁目1番地）

²和歌山県 有田振興局 建設部 管理保全課（〒643-0004和歌山県有田郡湯浅町湯浅2355-1）

和歌山県では、住民等に土砂災害の危険度を分かりやすく伝えるために、土砂災害警戒情報を補足する情報として土砂災害危険度情報を地元放送局のデジタルデータ放送にて公開するなど取り組んできたが、行政が発表する情報が住民等の避難につながっているとは言えない状況にある。

このため、地域住民等の避難をよりきめ細かく支援するために、1kmメッシュ単位の土砂災害危険度情報をプッシュ型でメール配信するシステムの開発を行い、運用を開始したので、その取組と運用を開始してからの課題について報告する。

キーワード 土砂災害危険度情報、プッシュ型メール配信、1kmメッシュ

1. はじめに

和歌山県では、住民等に土砂災害の危険度を分かりやすく伝えるために、土砂災害警戒情報を補足する情報として土砂災害危険度情報を2012年5月から全国に先駆け、地元放送局のデジタルデータ放送にて公開するとともに、和歌山地方気象台との協働により土砂災害危険度情報の高解像度化等に取り組んできた。また、土砂災害警戒区域等の位置情報を地理情報システムとしてWebサイトに掲載し、土砂災害危険度情報と重ね合わせるなど、住民等が土砂災害が「いつ」「どこで」発生するのかを確認できるように、きめ細やかな情報発信を行ってきたところである。

しかしながら土砂災害は、河川の浸水災害が目で見ても危険性を認識できると比較して住民が危険性を認識し難いという特徴があり、廣井²⁾は住民の気象情報等の過小評価により避難行動を難しくしていることを指摘している。また、山越ら³⁾は、避難行動に結びつく情報提供のあり方として、メールアラートなど立場に応じた分かりやすい情報が適切に提供されれば住民の災害への対応行動はよりの確なものになることを述べている。さらには、土砂災害警戒情報を補足する情報等については、2020年3月に社会資本整備審議会「近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について」において、「土砂災害警戒情報等の対策としては、土砂災害警

戒区域内の住民等に確実に伝わるようプッシュ型の情報発信の積極的な導入」が答申⁴⁾されている。

このため和歌山県では、地域住民等の避難をよりきめ細かく支援するために、1kmメッシュ単位の土砂災害危険度情報をプッシュ型のメール配信で伝達するシステムを開発することとし、2021年6月より運用を開始し、約2年間の運用を行ったので、その取組と課題について報告する。

2. プッシュ型メール配信サービスについて

(1) システムの概要

和歌山県では気象情報や河川水位情報、雨量情報、避難発令情報などの情報をメールで知らせる「防災わかやまメール配信サービス」を運用している。このシステムではすでに登録者数が約12万8千人と多く、また、県の防災部局が運用・管理及び広報を行っていることから県内では一定の知名度があるため、新たにメール配信サービスを構築するよりも、このシステムに機能を追加する方が登録者数の確保に有利であると考え、これに土砂災害危険度情報メール配信機能を追加した。メール配信サービスはクラウド型メール配信サービスであるSendGrid（Twilio, Inc.）を利用した。配信対象のメッシュは和歌山県内の4,611メッシュで、1アドレスあたりにつき1度に配信可能なメッシュ数を最大8メッシュとして

携帯メールアドレスユーザー登録

詳細設定又は簡易設定で登録してください。

土砂災害危険度情報のみ登録・変更する場合は以下のボタンを押下ください。

※フィーチャーフォンをお使いの方はご利用になれません。

←こちらから登録

図-1 防災わかやまメール配信サービス登録画面

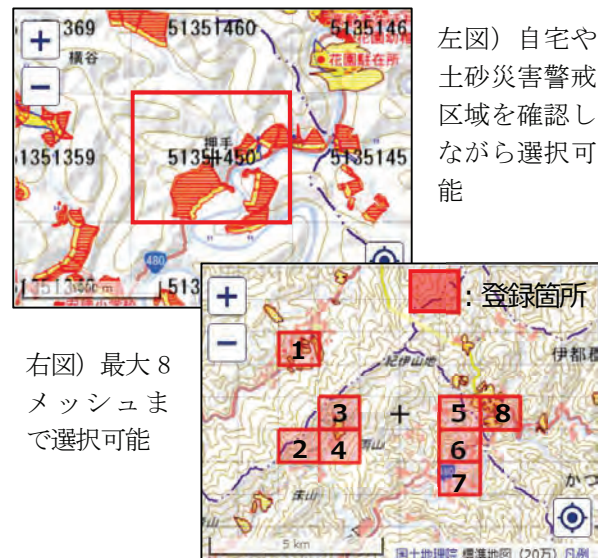


図-2 登録メッシュの選択画面



図-3 メール配信レベル（危険度）の選択

2021年6月から運用開始したなお配信メッシュを制限した理由としては、メール送信数が無制限に増加すると費用が高くなることであるが、運用状況を見ながら登録メッシュ数の増加など検討していく予定である。また、登録の際には Web 地図上で自宅の周辺などの土砂災害警戒区域等の位置を確認しながら登録する方式としたことから、登録にはスマートフォンかパソコンが必要となり、フィーチャーフォンは対象外となった。

(2) 登録方法

「防災わかやまメール配信サービス」（図-1）から登録を行う。登録したいメッシュを現在位置、住所、地図から選択可能で、土砂災害警戒区域等の位置を確認しながら登録できる（図-2）。任意の危険度（注意、警戒、非常に危険）が選択可能で、非常に危険、極めて危険は必ず配信される（図-3）。またメッシュに任意の名前（例：自宅、学校など）付けが可能で、配信時には登録した名前で確認することができる（図-4）。なお、2022

件名：土砂災害危険度情報 （配信されるメールの例）

土砂災害危険度情報
(20XX/XX/XX XX:XX)
登録地域で土砂災害の危険度が高まっています。

■[極めて危険]すでに土砂災害警戒情報の基準に到達
11223344 ××地区(↑) 登録箇所の名前で確認可能
44332211 ××高校

■[非常に危険]2時間先までに土砂災害警戒情報の基準に到達すると予想なし

■[警戒]2時間先までに大雨警戒基準に到達すると予想
11112222

■[注意]2時間先までに大雨注意報基準に到達すると予想
12345678 (↓)

図-4 メール配信内容の例

年6月30日より土砂災害危険度分布の表示が、警戒レベル5「黒」の追加や警戒レベル4「紫・薄紫」が「紫」へ統合されるなど変更となったため、それらに合わせてシステムの改修を行いました。

(3) 周知方法

県内で幅広く活用してもらうためサービス開始時に報道資料提供を行って周知したほか、県広報誌へ掲載、協力を得られた県内25市町村で広報誌への掲載や各戸への回覧を行ったほか、2021年6月の土砂災害防止月間においては県教育委員会等を通じて県内の全小中学校にパンフレットを配布した。

3. メール配信状況と登録者数

(1) メール配信状況

サービス開始の2021年6月から2023年3月末現在で危険度メールは合計7,491回配信された。配信の内訳は、

注意 5,796 回，警戒 1,336 回，非常に危険 205 回，極めて危険 154 回であり，土砂災害警戒情報が発表された日に集中して配信が行われている。

(2) 土砂災害が発生したメッシュへのメール配信

2021 年 8 月 17 日の土砂災害警戒情報発表時に和歌山市と日高川町において土砂災害が発生した（図-5）。この土砂災害についてメール配信状況の検証を行った。8 月 17 日 16:00 頃の土砂災害危険度分布と発生したメッシュ箇所（和歌山市）を図-6 に示す。土砂災害の発生時刻は不明であるが，土砂災害を確認した時刻が 5:00 頃であることから夜間に発生したと想定される。土砂災害が発生したメッシュにおける登録者数は，和歌山市で 7 名，日高川町で 1 名であった。また，メール配信の回数は，和歌山市で 4 名に対し合計 16 回，日高川町で合計 3 回であった。和歌山市で登録者数とメール配信者数が異なっているのは，当該メッシュの危険度がレベル 3 までしか上がらなかったためで，メールが配信されなかった 3 名はレベル 4 から配信を希望する登録であったためである。和歌山市の土砂災害発生前の災害のメール配信時刻は土砂災害発生時刻の約 12 時間前，日高川町のメール配信時刻は土砂災害発生時刻の 1 時間前であり，土砂災害発生前にメール配信が行われたことが確認できた（表-1）。なお土砂災害を確認したときのメッシュの危険度は，和歌山市で注意，日高川町で警戒であった。また，これらの土砂災害で人的被害は発生しなかった。また，和歌山市では高齢者等避難発令，避難所開設が行われていたことを確認したが，メール配信の登録者が，これらのメールを受信したかどうかや，避難行動をとったかどうかについては不明である。

(3) 登録者数と登録時期

登録者数は 2023 年 2 月 28 日現在で約 1,800 人となっており，和歌山県全人口の約 0.2%，土砂災害警戒区域内の全人家戸数の約 2.8% に留まっており，登録者数は少ない。登録者数の登録した時期について調査を行った（図-7）。登録時期は，まとまった降雨時や，台風接近時に顕著に増加していることが確認できた。また，県が依頼して市町村の広報誌への掲載や，住民への回覧等でメール配信サービスについて周知を行った 2021 年 12 月から 2022 年 1 月にかけても登録者数の増加が顕著であった。また，出水期（6～10 月）は非出水期に比べて登録者数が多いことが確認できた。一方，登録者数が多い「防災わかやまメール配信サービス」という既存メール配信サービスに機能を追加することで，メール配信サービスの登録者数の増加を期待したが，すでに登録している人は何かきっかけがなければ，登録済みのサービスを変更しないこ

とが原因と考えられる。既存サービス利用者は，防災情報等に関心を持っている人々と考えられるため，これらの人々に再度，このメール配信サービスを登録してもらえるような広報活動や取組を行っていく必要がある。



図-5 日高川町（左上）と和歌山市（右下）で発生した土砂災害（2021 年 8 月 17 日）

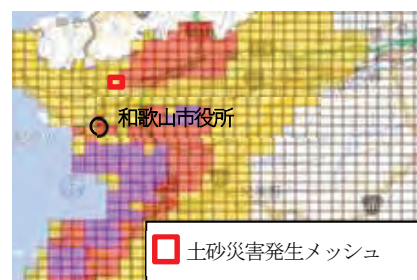


図-6 土砂災害発生メッシュ
(2021 年 8 月 17 日 16:00)

表-1 メール配信時刻と土砂災害発生時刻

和歌山市			
年月日	時刻	状況	危険度状況
2021/8/17	8:51	メール配信	注意
2021/8/17	13:21	メール配信	注意
2021/8/17	15:41	メール配信	警戒
2021/8/17	17:11	メール配信	注意
2021/8/18	5:00頃	土砂災害発生※	—
日高川町			
年月日	時刻	状況	危険度状況
2021/8/17	17:21	メール配信	注意
2021/8/17	0:11	メール配信	注意
2021/8/17	3:51	メール配信	警戒
2021/8/18	5:00頃	土砂災害発生※	—

※土砂災害を確認した時刻であり実際の発生時刻は不明

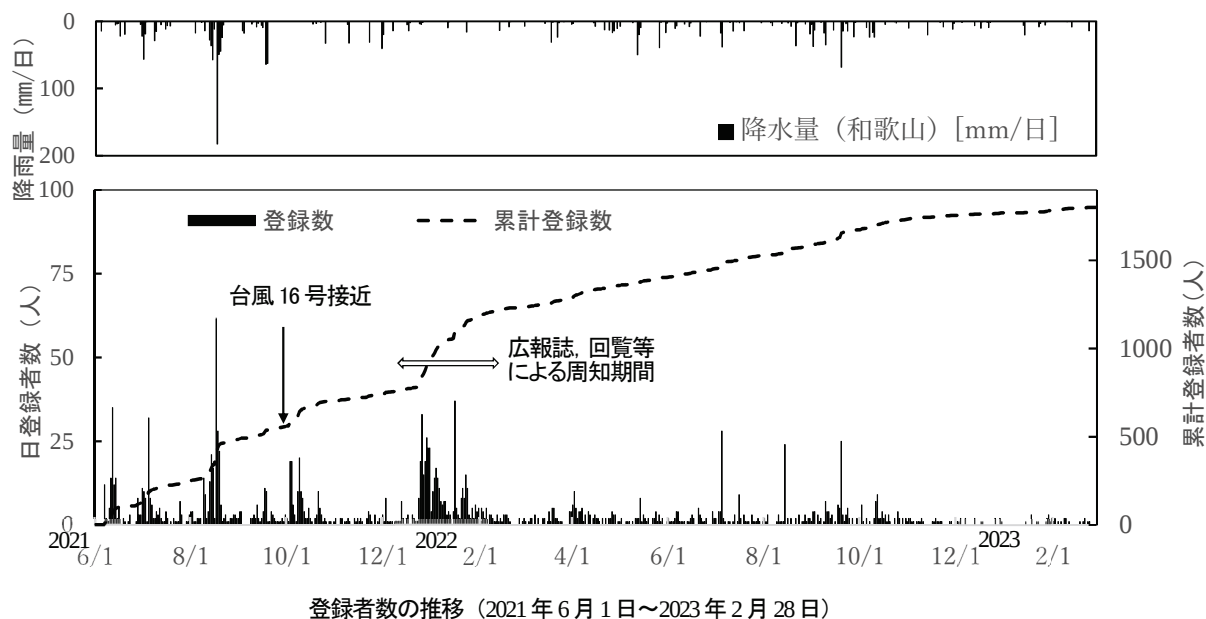


図-7 登録者数の推移と日降水量の関係

4. まとめ

本発表では、2020年4月より開発に着手し、2021年6月よりサービスを開始した情報配信システムについて、取組状況とメール配信状況について紹介した。得られた結果と確認できた課題は次のとおりである。

得られた結果

- ・配信開始後、土砂災害警戒情報の対象ではない土砂災害2件について検証を行ったが、いずれも災害発生前に該当するメッシュに注意・警戒の土砂災害危険度情報をメール配信することができた。
- ・降雨時や台風接近時等、まとまった降雨が予想される時には、登録者数が増加することから、メール配信システムについて一定の周知できているといえる。
- ・市町村の広報誌や回覧等で周知することで、登録者数の増加が確認できたため、これらの周知方法は有効である。

確認できた課題

- ・登録者数が少なく、利用している人が少ない。また、周知広報活動や降雨がなければ登録は行われない。
- ・メール配信が避難行動につながったかどうかなど、有効に活用されているか確認することができない。

配信開始に際しては、住民等に登録していただくことが必要であることから報道機関への資料提供等を行ったが、登録数は少ない状況であるため、今後は市町村広報

誌への掲載等による周知を図るとともに、土砂災害防止のための啓発活動の柱の一つとして取り組んでいる小中学校における防災教育においても教材として組み込んでいくことを考えている。また、現在登録することができるメッシュ数は最大8メッシュであるが、これを市町村単位で登録できるシステム改良を現在進めている。これは市町村単位に割り振られたメッシュの危険度に応じてメールが配信されるもので、これにより主に市町村や県の防災担当職員がメッシュの危険度に応じて土砂災害警戒情報や気象警報等の発令前に防災情報の発表の準備などに取り組めるようになることを目的としている。これは2023年6月より運用を開始する予定である。

県では今後、住民等の避難行動の実効性を確保するために、これらのシステムの情報提供のあり方についても引き続き検討するとともに、土砂災害に関心を持ってもらうための啓発活動を継続する。

参考文献

- 1) 廣井脩：土砂災害と避難行動，砂防学会誌，Vol.51, No.5, pp.64-71, 1999
- 2) 山越隆雄，栗原淳一，田村圭司，麿嶋直樹，大谷忠夫，臼杵伸浩，佐口治：砂防学会誌，Vol.60, No.6, P.20-27, 2008
- 3) 「近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について」答申，令和2年3月，社会資本整備審議会

防災デジタルコンテンツを活用した 防災学習体制の構築について

稲田 健二¹・岸畑 明宏²

¹和歌山県土砂災害啓発センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

²和歌山県県土整備部港湾漁港整備課（〒640-8585 和歌山県和歌山市小松原通一丁目1番地）

防災教育の実施については、これを実践する教職員の理解や実施するための人員的・時間的な余裕が無いという状況が全国的な課題になっている。また、土砂災害は地震や津波に対して認知度が低く、防災教育のための教材も不足している。

防災教育を継続的・計画的に進めるためには、個々の学校や教職員の取組に委ねるのではなく、自治体の教育委員会や防災部局との連携による学習体制の構築が必要不可欠であるとの考えの下、防災学習を補助するデジタル教材の開発を行うとともに、これを用いた防災教育実施を継続的に支援する学習体制を日高川町の教育委員会や日高川町と連携して構築したのでその取組を報告する。

キーワード 防災学習、教育計画、教材

1. はじめに

国土交通省水管理・国土保全局砂防部は、以前より土砂災害に係る防災学習の必要性を十分認識¹⁾し取り組んでいる。また、2011年の東日本大震災では、継続的な防災学習や防災訓練を実施してきた地域で、命が守られた事例が多数報告されている。そのようなことから2017年度には小学校の学習指導要領が改訂され、水害や土砂災害等の自然災害に関する内容が充実²⁾し、今後、今まで以上に、防災学習の取り組みが進められることが考えられる。

2. 防災学習

(1) 防災学習の課題

内閣府が設置した防災教育・周知啓発ワーキンググループ防災教育チームの提言³⁾によれば、小・中学校においては年間の授業時間が限られる中、防災教育に十分な時間を与えられないといった声や、教員の防災教育に関する資質能力等により教育内容に差が生じてしまう状況に加え、防災教育・避難訓練が個々の教員の熱意や思い、資質や理解等に委ねられてしまうと、教員の異動等により、学校として継続的な防災教育を行うことが難しくなる等の課題が挙げられている。また、防災教育のための教材の多くは、写真や映像などの講義形式で使用する

受け身型の教材であり、児童・生徒が主体的に学習できるアクティブラーニング教材が少ないという指摘もある⁴⁾。

(2) 防災学習の取組

和歌山県土砂災害啓発センター(以下、「センター」という)では、2016年度～2018年度に近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センターが行った試行学習から防災学習のノウハウを取得し、地元の小学校と連携・協働して児童たちが「自分ごととして考え・行動できる」ことを目標に、防災学習に取り組んでいる。

センターでは防災学習のあり方について、以下の3段階を各目標に設定している。

第一段階：当面の目標

行政機関が教諭と協働し、県下全小中学校において防災教育を実施すること

第二段階：中長期目標

行政機関の支援の下、教諭が主体的に防災教育を実施すること

第三段階：理想

学校教育の一環として、防災教育を教諭のみで実施すること

現在、当面の目標である第一段階の活動を進めているが、この目標を達成するためには、小・中学校における

防災教育を継続的・計画的に進める必要がある。

そのためには、防災教育を個々の学校や教職員の取組に委ねるのではなく、自治体の教育委員会や防災部局との連携による学習体制の構築を図ることや、教職員による防災教育を支援する学習教材の開発を行うことが必要と判断した。なお、学習教材の開発や普及に複数の機関が関わることで、継続的な防災教育の支援体制が構築されるという効果も期待された。

以上のことから、教職員の防災教育における負担を軽減するため、児童・生徒自ら学習が可能な防災デジタルコンテンツの開発を行うとともに、これを用いた和歌山県日高川町における防災教育の枠組みの構築を図ることとした。

(3) 防災デジタルコンテンツの検討

土砂災害の防災学習において必要となる、土砂災害の性質、土砂災害による危険がある箇所の特徴、早期避難の必要性、避難に際しての事前準備の必要性などの土砂災害から身を守るために必要な広範な知識については、児童・生徒が楽しく自発的に学習が可能なロールプレイングゲーム（RPG）としての開発を考えた。

上記の学習内容のうち、土砂災害の性質、早期避難の必要性、事前準備の必要性については、一般的な内容を教えるものであるが、土砂災害による危険がある箇所については、各学校によって箇所が異なるため、学校毎に異なるシナリオによるRPGの開発が必要である。

また、具体的な避難行動に必要な知識である、学校区内の土砂災害警戒区域や浸水想定区域などのハザードを児童・生徒に教えるため、ハザードマップを作成するコンテンツや映像コンテンツが必要と考えた。これらの複数のデジタルコンテンツを組み合わせることで、児童・生徒の土砂災害防災学習効果の向上を図ることとした。

と、ゲームのプレイヤーである児童・生徒が、ゲームのキャラクターを自ら操作して、土砂災害とその避難を体験することで、防災に関する知識を楽しく積極的に学習することができる。

また、第2作目の防災RPG「命を守るハザードマップ」（図-2）は、第1作目を実際に体験した児童のアンケート結果から、「自分の住んでいる地域で実際に避難ができるか不安」という意見が過半数を超えたことを受け、災害を自分事として捉えてもらうよう、学校周辺の危険箇所や過去の災害記録を組み入れるなど、各学校毎にカスタマイズされた内容になっている。

第3作目の「台風にそなえて、じゅんぴをしよう」（図-3）は、土砂災害時に対する避難行動を題材として、避難についての正しい理解と事前準備の必要性を学習するためのシミュレーションRPGであり、7枚の事前準備カードから、避難のために重要と考える3枚をプレイヤーが選択して避難の際に遭遇する様々なイベントに備える設定になっている。



図-1 防災RPG「土砂災害が発生したとき」

3. 防災デジタルコンテンツの内容

(1) 防災学習RPG

和歌山工業高等専門学校環境都市工学科の辻原研究室では、RPGの学習における理解の支援や知識の定着などの効果についての研究を行っており、防災教育に用いる教材不足という課題を抱えていたセンターからの働きかけにより、土砂災害について学ぶことが出来るRPGの共同研究を行うこととなった。

これまでの共同研究の結果、防災RPGについては3作品を制作しており、第1作目「土砂災害が発生したとき」

（図-1）では、防災情報が発表されている中、主人公がハザードマップを確認して避難するというシナリオのも



図-2 防災RPG「命を守るハザードマップ」



図-3 防災RPG「台風にそなえて、じゅんぴをしよう」

(2)ハザードマップ作成アプリ

ハザードマップは、各市町村が作成し紙媒体やWebGIS等で提供を行っているが、市町村内の居住地域全域が対象となるため、自宅の位置を確認することが困難な縮尺で作成されていることが多い。センターでは防災学習の効果を高めるため、自宅位置が容易に確認ができる1/4,000前後の大縮尺で各学校区を分割した紙媒体によるハザードマップ（土砂災害・洪水災害）を作成した。

児童・生徒が自宅位置や避難場所を確認し、避難経路を考えて書き込まれたハザードマップは、本人のみならず学校内や家庭内でその内容や情報が共有されることにより、学校や保護者を通じて地域の防災力の向上に向けた波及効果も期待できる。センターではこのような自分だけのハザードマップの作成をさらに容易に、楽しみながら出来るような、教材の開発が必要と考えた。

和歌山工業高等専門学校とセンターが共同開発したハザードマップ作成アプリ「マイハザードマップ」（図-4）では、防災学習で活用出来るよう、極力機能を絞って児童・生徒が扱いやすい様に仕様を工夫した。機能としては、タブレット端末で地図を読み込み、画面をタップすることで、学校や自宅、避難場所等のアイコンを配置したり、撮影した写真を読み込んだり、文字入力や線



図-4 ハザードマップ作成アプリ

を描くことなどができる。

また、ハザードマップの作成をデジタル化することで、児童・生徒が作成したハザードマップをより共有しやすくなるという効果も期待できる。

(3)空撮映像

土砂災害のおそれのある箇所は地形と密接に関連しており、地形に関する理解を深めることによって災害の危険性を学ぶことが出来る。一方で、ハザードマップは平面の地図であり、児童・生徒が地図から地形を把握するには等高線などの地図情報を正しく読み解く必要があり、難易度が高い。このため地形を容易に認識することが可能な映像を教材に用いることとし、学校周辺の地形の撮影を行った。撮影は日高川町職員が町所有のドローンを用いて、学校区周辺で土砂災害の恐れがある箇所を空撮した（写真-1）。



写真-1 ドローン空撮映像

(4)デジタルコンテンツ集

防災学習RPGの計3作品、ハザードマップ作成アプリ、学校周辺のハザードマップおよびドローン等空撮映像の合計6コンテンツを、「日高川町土砂災害防災デジタルコンテンツ集」（以下、「デジタルコンテンツ集」という）として日高川町の全14小中学校毎に1枚のディスクに保存した。また、各コンテンツの説明や操作方法等を記載した操作説明書を併せて格納した。

4. デジタルコンテンツ集を用いた防災教育の枠組み構築

(1)防災教育の枠組み構築

2022年3月28日に完成したデジタルコンテンツ集に関する説明会を日高川町防災センターにおいて開催した。なお、この内容については、日高川町教育委員会により日高川町内の全小中学校にオンライン配信された。説明会終了後に和歌山工業高等専門学校から日高川町教

育委員会にデジタルコンテンツ集を贈呈する式典を行った。（写真-2）

これに併せて、日高川町教育委員会では2022年度より町内の全小中学校でデジタルコンテンツ集を用いた防災教育を実施する方針を定め（図-5）、各学校に対して年間教育計画に防災教育を位置づけるよう指導を行った。



写真-2 デジタルコンテンツ集の贈呈式の様子

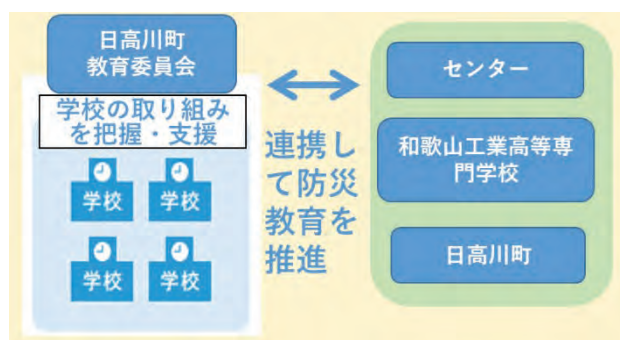


図-5 デジタルコンテンツを活用した防災教育の推進

(2) デジタルコンテンツ集を用いた防災教育の推進

説明会と操作説明書だけでは教職員自身による各コンテンツの操作が難しい場合があると想定されたため、センターでは、2022年4～5月に日高川町内の全小・中学校を訪問し、デジタルコンテンツ集に収録された各コンテンツの操作方法についての説明会を実施した。参加した教職員からは、今後、デジタルコンテンツ等を用いた防災教育を行う場合に、センター職員による防災教育の実施やその補助が必要という意見が多く、センターが防災学習の支援を行うなど、デジタルコンテンツ集を用いた防災教育を教職員と連携して実施可能な関係を構築している。

日高川町では、デジタルコンテンツ集などを用いた防災学習を2022年度は計5小中学校で実施した（写真-3）。防災RPG「命を守るハザードマップ」を用いて防災学習を受けた小学校5年生の児童たちから頂いた感想文では、ゲームについて「楽しい、分かりやすい、早め



写真-3 防災RPGを用いた防災学習の様子



図-6 児童の感想文

のひなんが大切」などとあり、土砂災害を楽しく学んでいたりと、土砂災害についての知識を理解していることが確認された（図-6）。

さらに、この取組を含むセンター設立以降の防災教育に関する内容を取りまとめ、今後、県内への防災教育の一層の普及・展開を図ることを目的として、2022年8月に日高川町防災センターにおいて防災教育セミナーを開催した。セミナーの対象者は、県内の教職員や市町村の教育委員会及び防災部局の職員で、Web参加を含め62名



写真-4 防災教育セミナーの様子

の参加があった（写真-4）．その後、御坊市など近隣市町村の小中学校から防災教育実施についての相談があり、防災学習の実施につなげることができた．

5. おわりに

防災教育を継続的・計画的に進めるためには、個々の学校や教職員の取組に委ねるのではなく、自治体の教育委員会や防災部局との連携による組織的な学習体制の構築が必要不可欠である．このため、県では、センターが主導して、関係機関とともに防災学習を実施するとともに、実施体制構築の必要性を主張している．引き続き関係機関に対し、防災教育の実施体制構築に関する働きかけを継続するとともに、防災教育に関する活動の情報発信を行っていく．

また、日高川町における今回の取組は、教育委員会が各学校に対して年間教育計画に防災学習を位置付けるように指導した事例である．防災学習が教育計画に位置付けられ、授業時間が確保されることが重要であるという考えのもと、センターでは、教育委員会や市町村防災部局に対して年間教育計画への位置付けを働きかけるとともに、出前授業等の機会をとらえて学校にも要請している．今後も、教育委員会への働きかけを継続するとともに、教育関係者の防災学習への理解が進むよう、教員を対象とした研究会等を開催していく．

次に、児童・生徒が災害リスクについて認識し、適切な避難行動を身に付けるように、デジタル技術を活用した防災教育を充実していくことが有効と考える．その内容についても、地域や学校ごとに状況が異なることから、防災学習に関する手段や仕様の標準化・マニュアル

化をただ単に進めるのではなく、地域における自然環境や災害リスク、過去の災害等を反映した教材とすることで、児童・生徒が災害を自分事として捉える効果の向上が期待できる．さらに、より効率的で継続的な防災学習の実施を可能とするために、デジタルコンテンツだけではなく、これまで実施してきた防災学習の手法や実績を整理し組み合わせて、地域毎に教材のパッケージ化を図ることも必要である．

日高川町の小中学校を対象としたデジタルコンテンツを用いた土砂災害防災教育は、現在始まったところであり、今後防災教育を通じて、デジタルコンテンツの学習効果の検証を行うとともに、児童・生徒の学習効果を検証し、それをフィードバックすることで、今後のコンテンツ更新に活用していく予定である．

謝辞：本論文の作成にあたり、デジタルコンテンツ集の開発を共同で行いました和歌山工業高等専門学校、日高川町、日高川町教育委員会にこの場を借りて感謝の意を表します．また、日高川町内の学校におかれましては、センターの防災教育にご理解・ご協力を賜り、深く感謝いたします．

参考文献

- 1)国土交通省砂防部：土砂災害防止教育支援ガイドライン（案），2009
- 2)文部科学省：小学校学習指導要領（平成29年度告示），2009.
- 3)内閣府：防災教育・周知啓発ワーキンググループ防災教育チーム提言，2021.
- 4)柴田真裕・田中綾子・船木伸江・前林清和：わが国の学校における防災教育の現状と課題—全国規模アンケート調査の結果をもとに—，防災教育学研究 1-1)，p.19-30，2020.

和歌山県内における 災害伝承碑紹介動画の制作について

有田 貴洋¹・筒井 和男²

¹和歌山県土砂災害啓発センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

²和歌山県土砂災害啓発センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

和歌山県では過去に歴史的な大規模土砂災害が繰り返し発生し、各地には石碑等の災害伝承碑や災害記録が残っている。一方で、西日本豪雨で大きな被害を出したある地域では、関心を持って碑文を読んでいなかったという住民の声が聞かれるなど、災害伝承碑等が十分に活かされていない状態である。過去の災害を風化させることなく後世に伝えることで、過去の災害から学び備え、防災学習をはじめとする地域の防災意識を高めることが重要であると考えます。

そこで、和歌山県 PR キャラクターである「きいちゃん」を用いた災害伝承碑を紹介する動画を制作し、過去の災害を知る動機付けとすることで、地域の防災意識を高める方法について検討したので報告する。

キーワード 防災学習、動画制作、災害伝承碑、YouTube

1. はじめに

平成 23 年の東日本大震災や紀伊半島大水害を契機に防災教育の重要性が強く認識され、正しい知識と理解及び避難行動に関する教育が始まっている。特に小学生は将来防災の担い手となるため、和歌山県土砂災害啓発センター（以下、「センター」という。）では防災学習に積極的に取り組み、地域の特性を取り入れた教材作りを行っている。

和歌山県では過去に明治 22 年・昭和 28 年・昭和 33 年・平成 23 年と歴史的な大規模土砂災害があり、各地には石碑等の災害伝承碑や災害記録が残っている（写真-1）。



写真-1 各地に残る災害伝承碑

過去の災害を風化させることなく後世に伝えることで、過去の災害から学び備え、防災学習をはじめとする地域の防災意識を高めることが重要である。

しかし、全国的に広い範囲で被害が発生した平成 30 年 7 月豪雨で多くの犠牲者を出した広島県坂町の小屋浦地区では、100 年以上前に起きた水害を伝える石碑があったものの、関心を持って碑文を読んでいなかったという住民の声が聞かれるなど、災害伝承碑等が十分に活かされていない状態である¹⁾。

また、国土地理院では、過去の自然災害に関する石碑やモニュメントなどを地形図等に掲載し、過去の自然災害の教訓を地域の方々に適切に伝えるとともに、教訓を踏まえた的確な防災行動による被害の軽減を目指す²⁾とし、令和元年には自然災害伝承碑の地図記号が新たに追加された。これらの取り組みにより、災害伝承碑を活用した防災学習は一層効果的に実施できると考える。

そこで、本報告では過去に土砂災害等の被害を受けた和歌山県紀南地方に位置する西牟婁・東牟婁地域の市町村（図-1）における災害伝承碑等に関する調査結果³⁾⁴⁾をもとに、和歌山県 PR キャラクターである「きいちゃん」（写真-2）を用いた災害伝承碑等を紹介する動画を制作した。過去の災害を知る動機付けとすることで、防災学習をはじめとする地域の防災意識を高める方法について検討し、その活用事例を報告する。



図-1 紀南地方に位置する
西牟婁・東牟婁地域の
市町村



写真-2 和歌山県PR
キャラクター
「きいちゃん」



写真-4 語り部の久保榮子さんと「きいちゃん」

2. 災害伝承碑紹介動画の制作

(1) シナリオ

教室で防災学習を受ける「きいちゃん」が、土砂災害の危険性はわかるが、どこか自分には無関係であると感じている。まどろむ「きいちゃん」のもとにご先祖様が現れ、過去の災害について石碑等を作って後世に伝える努力をしてきたが、現代を生きる「きいちゃん」にきちんと伝わっていないことをなげく。それを受け、「きいちゃん」は過去の災害や災害伝承碑に興味を持ち、紀南地方を調べ、災害伝承碑を巡りながら過去の災害について学んでいくといったシナリオになっている（写真-3）。



写真-3 災害伝承碑を見つける「きいちゃん」

(2) 特徴

災害伝承碑の紹介だけではなく、当時の被災状況の説明や、災害伝承碑が建てられるに至った経緯を入れた。特に那智勝浦町では、平成23年の紀伊半島大水害で甚大な被害を受け、自身の被災体験を紙芝居で伝える語り部の久保榮子さんに出演いただいた（写真-4）。その他にも、当時の被災写真と現在の映像を対比させ、当時の被災写真から読み取れる山の形状から、どこが崩壊したかきいちゃんに問う内容を入れた（写真-5）。これにより、過去の災害をより身近に感じられるものにした。さらに、過去の災害の記録を石碑に限定せず、被災状況が描かれた絵図や、落橋した構造物の一部を紹介した。

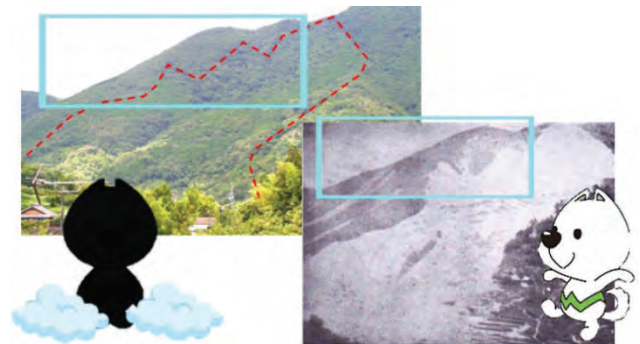


写真-5 崩壊箇所を山の形状から判読

また、各市町村の災害伝承碑位置図を作成し、動画の最後に紹介した。作成した位置図に災害伝承碑の写真を添付することで、地元住民が興味を持ち自ら訪れた際に発見しやすくする工夫をした（図-2）。加えて、災害伝承碑の凡例の色で災害伝承碑が建てられる機会となった災害の発生時期が分かる工夫をした。



図-2 東牟婁郡那智勝浦町の災害伝承碑位置図

(3) 撮影機材及び編集ソフト等

撮影には計5日間を要した。構成人数は、撮影者・「きいちゃん」役・助手の計3人で、周りの迷惑にならないよう迅速に撮影を行った。また、那智勝浦町立市野々小学校にご協力いただき、教室で「きいちゃん」が防災学習を受ける場面を撮影した。使用したカメラはSONYのミラーレス一眼 α7 III、レンズは崩壊跡地を明確に撮影できるよう、中距離望遠レンズであるTAMURON

28-75mm F/2.8 Di III RXD を使用した。

動画編集ソフトはWondershareのFilmoraバージョン12、また音声読み上げソフトとして、PIXIV FANBOXのVOICEVOXを使用し、登場するキャラクターに音声をつけることで視聴する人が見やすい動画になるものとした。

また、各地に点在する災害伝承碑の位置関係を動画で分かりやすく紹介するために、Google earth Proのパス機能を用いて表現した。表-1に動画制作に使用した機材等の詳細を記載する。なお、動画は西牟婁地域版・東牟婁地域版（那智勝浦町除く）・那智勝浦町版の計3本制作し、次項から西牟婁地域版の活用事例を紹介する。

表-1 動画制作に使用した機材・編集ソフト等

	会社名	製品名
カメラ	ソニー株式会社	α7 III
レンズ	株式会社タムロン	28-75mm F/2.8 Di III RXD
三脚	ハクバ写真産業株式会社	HK-836B HAKUBA
編集PC	株式会社サードウェーブ	GALLERIA GCL1650TGF
動画編集ソフト	Wondershare	Filmoraバージョン12
音声読み上げソフト	PIXIV FANBOX	VOICEVOX

3. 災害伝承碑紹介動画の活用事例

(1) 防災学習における活用

令和4年10月に田辺市立大坊小学校において4・5・6年生12名を対象とした防災学習を実施した。実施にあたり、Wed会議システムを用いて国土交通省国土技術政策総合研究所のご協力により、土砂災害に関する一般知識について説明していただいた。また、田辺市が甚大な被害を受けた紀伊半島大水害の説明、そして、制作した動画の上映をセンターから行った(写真-6)。



写真-6 防災学習の様子

(2) 地域講演会における活用

令和5年2月に和歌山県情報交流センタービック・ユーにおいて、地域住民約90名を対象とした地域講演会を開催した。第7回目となる今回の講演会では「自主防災力

を高めるために」と題し、2名の講師の方からご講演いただくとともに、制作した動画の上映も行った。なお、講演会は地域住民が土砂災害について考え、いざという時の安全かつ迅速な避難に役立てることを目的として、平成29年より県内各地で開催している(写真-7)。



写真-7 地域講演会の様子

4. 災害伝承碑紹介動画の効果

大坊小学校における防災学習後、児童の感想文では、「自分が生まれた年くらいに紀伊半島大水害という大きな災害があると知った。」「災害からどのように身を守っていけばよいか家族と話し合っていきたい。」「改めてもう一度家族と避難場所を決めようと思う。」「といった記述があった。

また、地域講演会のアンケート調査では、制作した動画について、記入いただいた79%の方が「満足」と回答があり、中には70代以上の方から「これを機会に地域の皆さんと土砂災害について勉強する場を持ち話し合いをしていきたいと思う。」「といった意見があった。

以上のことから、地域の子どもから大人へ、さらには大人から子どもへ防災意識が普及していくことが期待できる。

5. その他の活用事例

制作した動画はより多くの人に視聴し、防災意識を高めてもらうことを目的とし、現在YouTubeのセンター公式チャンネルで公開している。当チャンネルではセンターの紹介動画や、久保榮子さんの紙芝居の動画、360°カメラで和歌山県内の土砂災害警戒区域を確認することができる動画等、土砂災害に関するコンテンツを投稿している。

6. おわりに

災害伝承碑紹介動画は今後も防災学習と合わせて活用する予定である。地元で発生した過去の災害を学び、先人が現代を生きる我々に残した災害の記憶を知ること
で、防災学習で学んだ土砂災害をより自分事として考
え、ひいては地域の防災意識を高めることに期待でき
る。

今後は和歌山県内の他の地域の過去の災害や災害伝承
碑の調査及び動画制作を行い、地域の情報を取り入れた
教材作りに取り組む予定である。

謝辞：撮影のご協力をいただきました、那智勝浦町立市
野々小学校の皆様に変にお世話になりましたことを、こ
の場を借りて感謝の意を表します。

※本論文は令和4年度第62回治山研究発表会で投稿
した「和歌山県公式キャラクターを用いた災害伝承碑紹
介動画の作成について」の続報である。

参考文献

1)朝日新聞デジタル

[https://www.asahi.com/articles/ASL7Z5V2BL7ZTIP
E03N.html](https://www.asahi.com/articles/ASL7Z5V2BL7ZTIP
E03N.html)

参照 2023-3-6

2)国土交通省国土地理院：自然災害伝承碑，
<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/denshouhi.html>，参照
2022-7-11

3)宮崎徳生・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤
彦：後世に伝える過去の山地災害に関する調査と防災学
習の取り組みについて，第61回治山研究発表会抄録
集，p23-24，2021

4)国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術セ
ンター：60年毎に繰り返される紀伊半島の歴史的な大規
模土砂災害，[https://www.kkr.mlit.go.
jp/kiisankei/center/img/saigaishi.pdf](https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/saigaishi.pdf)，
参照 2023-3-6

Sabo Works in Wakayama Prefecture - Challenge for Building Resilient Society -

Wakayama Prefectural Government; e0806001@pref.Wakayama.lg.jp Tel.073-441-3171

Wakayama Sabo Research and Education Institute; e0806041@pref.Wakayama.lg.jp Tel.0735-29-7531

Wakayama Prefecture has very high potential risk of sediment disasters due to its natural and social condition and has suffered severe damages from **historic large-scale sediment disasters in about 60 years period**. This study introduces **approaches for reducing disaster impact**, which the Wakayama Prefectural Government has been implementing in response to the recent sediment disasters in Japan. Keywords: **"Sustainability"** and **"Collaboration"**

➤ Sabo works in the Heisei Era (1989~2018)

Structural measures

- Sabo dams against debris flow
- Control works against landslide
- Prevention works against slope failure
- Facility against complex disaster

Non- structural measures

- Public announcement of risk information on sediment disaster
- Awareness-raising activities



Sabo Dam

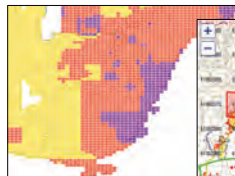


Drainage Well

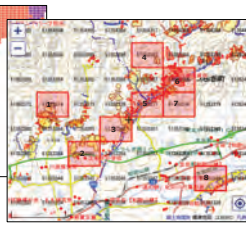
Retaining Wall



Slope protection
Evacuation space



Risk level
Information on HP



Automatic information
dispatch system

After 2017
sediment disasters

In addition to usual
countermeasures

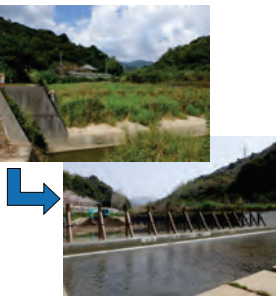
➤ Sabo works in the Reiwa Era (2019~)

Structural measures

- Construction of **driftwood** facilities
- **Improvement** of sabo dam function
- **Reinforcement** of masonry dams

Non-structural measures

- **Automatic information dispatch** system

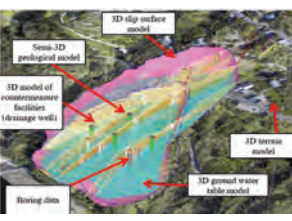


Driftwood facility

Sabo dam improvement

New technologies

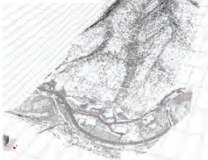
- BIM/CIM
- UAV with laser scanner



BIM/CIM



Ground data



UAV with laser scanner

Approach points

- to utilize **lessons** from disasters
- to investigate **performance** of existing facilities



Masonry dam reinforcement

Seeds for the future (experimental stage)

- Artificial satellite data
- Automatic UAV flight
- Land-use regulation, etc



Automatic UAV flight

➤ Disaster Mitigation Education (DME) conducted by Wakayama Sabo Research and Education Institute (IWSRE)

- **First stage (Goal):** The IWSRE implements the DME at all primary and secondary schools in the prefecture in cooperation with school teachers
- **Second stage (Overall Goal):** School teachers implement the DME under the support of the IWSRE
- **Third stage (Super Goal):** School teachers implement the DME by themselves



First stage DME



Second stage DME



Model experiment



DME workshop



New educational digital contents

➤ National Meeting for Reducing Sediment Disaster in Wakayama (NMRSD)

The Wakayama Prefectural Government held the **NMRSD** in Jun.1, 2022. The **task of SABO** and the **thought of SABO** have been reconfirmed in the NMRSD.



Poster Speech Contest



Keynote Lecture



Panel Discussion

➤ INTERPRAEVENT 2023 Taiwan, on Apr.17-21, (Taichung)



Oral Presentation

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ9

侵食量に着目した土石流被害予測計算の高度化

和歌山県土砂災害啓発センター（京都大学大学院農学研究科）

○筒井 和男

京都大学防災研究所

齊藤 隆志

Keywords: 土石流, 侵食量, 広島, 高度化, iRIC

1. はじめに

近年、豪雨により発生する土石流災害が増加し、発生した土石流は短時間で人家を襲うため、多くの人的被害が生じている。土石流の被害範囲予測は避難情報としてきわめて重要である。

土石流による災害情報の一つとして、土砂災害警戒区域等が指定されているが、その設定は地形の情報にのみよる簡便な方法である。一方、土石流の数値計算手法は多く提案されており^{例えば1)}、河川流況・河床変動解析ソフトである iRIC²⁾ には、土石流・泥流解析用ソルバの Morpho2DH が実装されている。これを用いることで視覚的に現象と被害範囲を理解することが可能であるが、計算に用いる条件の侵食量等の値によってその計算結果には大きな差が生じると考えられる。Morpho2DH は全解析区間で平面二次元土石流モデルを適用できることから、侵食量を一律にではなく、地形的根拠に基づく詳細な空間分布により設定することで、土石流による被害予測の高度化を図ることができると考えられる。

ここでは、2014 年の広島市安佐南区で発生した土石流の前後の変化から得られた侵食・堆積量を検討し、計算にどのように侵食量を与えるのが効果的か、侵食量の空間分布を変えたいくつの場合で計算をし、流下速度や流動中の流動深さ、標高変化の結果を比較したので報告する。

2. 土石流発生前後の地形変化

災害前後の地形変化を図-1 に示す。土石流が流下した溪流内では侵食が発生し、市街地での堆積が確認できる。市街地では勾配は大きいが侵食は発生していない。溪流内の地形変化は一律でなく大きく侵食した箇所とほとんど侵食されない箇所が分布している。また、災害前後の土砂災害予測基本図（特許第 7153330 号）の鳥観図を図-2 に示す。源頭部で複数の崩壊が発生し、谷地形がより明瞭に変化したことが分かる。

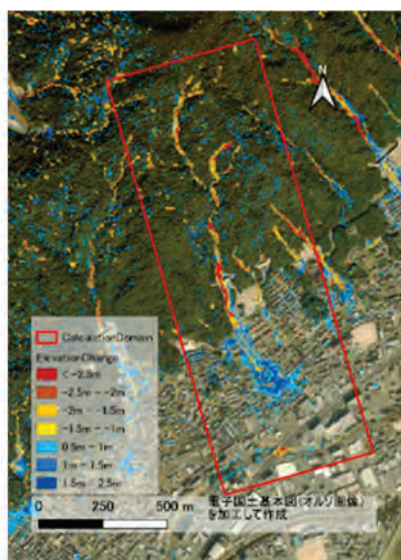


図-1 災害前後の地形変化。

赤は侵食、青は堆積。

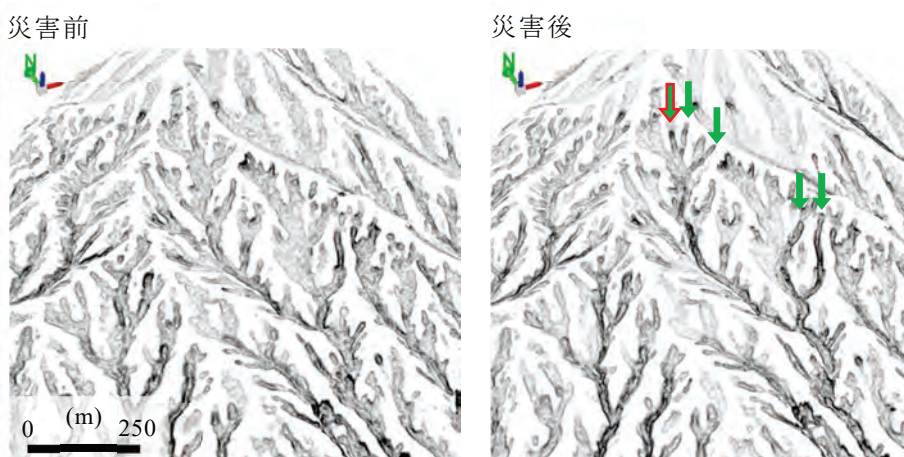


図-2 災害前後の土砂災害予測基本図（特許第 7153330 号）の鳥観図。

右図の矢印は主な崩壊発生箇所を示す。赤枠矢印は数値計算の斜面崩壊発生箇所を示す。

3. iRIC による土石流計算

土砂災害予測基本図から侵食可能な量を定量的に評価（図-3）し、iRIC での最大侵食深さとして与えて土石流の数値計算を行った（Case1）。比較として、最大侵食深さを一律 0.2m とした Case2 を行った。

Case1 では、土石流が著しく発達しながら、大きい速度で流下し 73 秒後に市街地に到達した。一方、Case2

では、土石流はやや発達しながら流下し 94 秒後に市街地に到達した。開始後 100 秒での土石流の流動深を図-4 に示す。

上記の 2 ケースでは市街地に流入後も侵食が発生する結果となったため、市街地区域（図-5）では侵食が発生しないよう設定した Case3 も試行した。Case1 と Case3 の標高変化の空間分布を図-6 に示す。市街地での侵食がなくなり、土石流が過大に発達しないことが確認できる。

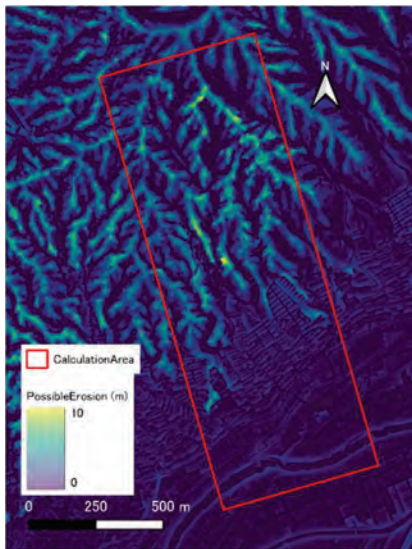


図-3 可能侵食量の空間分布。

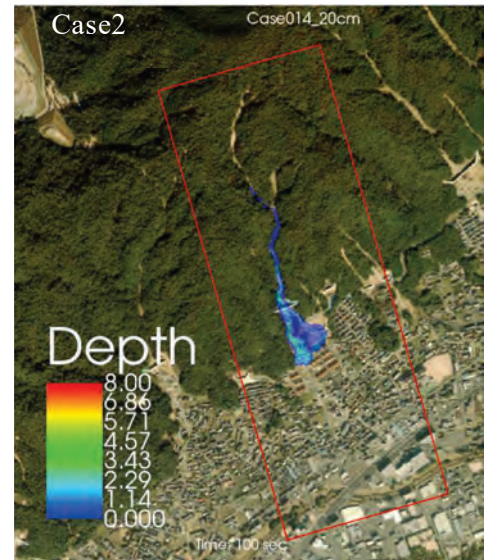
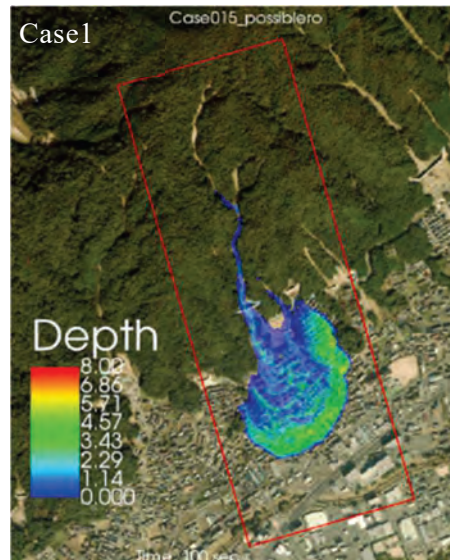


図-4 流動深の空間分布（100 秒後）。



図-5 市街地区域の空間分布。

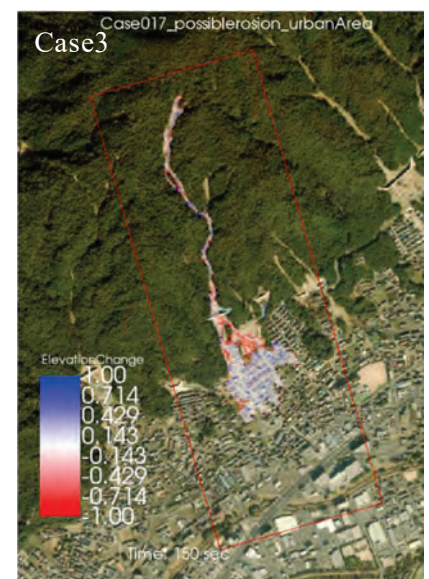
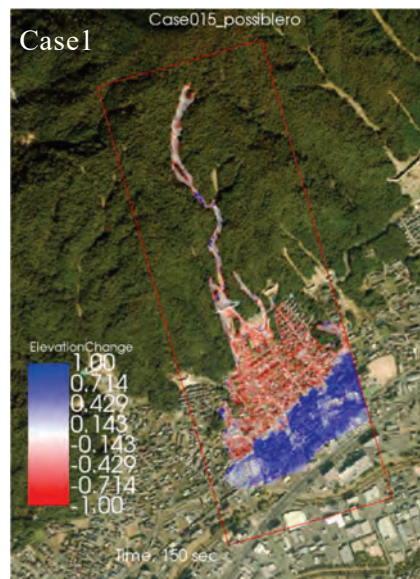


図-6 標高変化の空間分布（150 秒後）。

4. 終わりに

2014 年の広島での土石流の数値計算を iRIC にて実施した。侵食深の空間分布を定量的に評価することで、土石流の発達や流下状況をより高度に計算できることを示した。被害範囲の状況をより詳細に計算するため、家屋の影響、複数個所での崩壊発生等を考慮することは今後の課題である。

謝辞

本研究は、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所、拠点間連携共同研究 プログラムの援助を受けました。

参考文献

- 1) Takebayashi, H. and Fujita, M.: Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, Geosciences, Vol. 10, No. 2, pp. 45, 2020.
- 2) iRIC プロジェクト, <https://i-ric.org/ja/>, 2023 年 7 月 13 日.

大規模土砂移動と地盤振動の生成および広域伝播の3次元数値解析

A three-dimensional model of the generation and propagation of ground vibrations
caused by large-scale sediment movement筒井 和 男^{*1,2}

Kazuo TSUTSUI

北 本 楽^{*4}

Gaku KITAMOTO

金 澤 瑛^{*5}

Akito KANAZAWA

高 田 隆 行^{*3}

Takayuki TAKATA

小 杉 恵^{*4}

Megumi KOSUGI

中 谷 洋 明^{*5}

Hiroaki NAKAYA

海 原 荘 一^{*3}

Soichi KAIHARA

木 下 篤 彦^{*4,5}

Atsuhiko KINOSHITA

小 杉 賢 一 朗^{*6}

Ken'ichiro KOSUGI

Abstract

Deep-seated landslides generate seismic signals that can be used to determine their magnitude and location. Establishing a numerical approach for calculating the generation and propagation of ground vibrations would improve the estimation of landslide properties. In this study, a numerical model coupling 3D particle flow and the continuum model was developed to calculate the landslide movement and subsequent propagation of seismic signals over large areas. Two sediment transport scenarios were considered for the deep-seated landslide that occurred in 2011 in Akadani, Gojo City, Nara Prefecture. After the landslide in the model, a low-frequency (0.01-0.1 Hz) signal was received at a seismic station located 34.4 km apart. The simulation results adequately reproduced the signals observed when the landslide was assumed to be in two blocks rather than one. At the generation of ground vibrations caused by sediment transport, it was confirmed that the scenario of sediment transport affects the amplitude of ground vibration at low frequency in despite of the same sediment volume. Particle motion during sediment movement result of the simulation results around deep-seated landslide slope is bigger at upper points than lower ones. In particular, the direction of low-frequency horizontal displacement during sediment movement in the simulation coincided with the direction at the distant observation point, supporting that the direction of sediment movement can be estimated. On the other hand, a high-frequency (>about 1 Hz) signal was not represented on this study. More smaller mesh model or including the effect of water might be taken into account to simulate a high-frequency signal. It is an issue for the future.

Key words : deep-seated landslide, ground vibration, seismic wave, numerical calculation, non-crustal

1. はじめに

深層崩壊等の大規模な土砂移動やそれに伴う河道閉塞は、時に甚大な被害をもたらす。近年、大規模な土砂移動現象により生じた地盤振動を利用し、土砂移動発生を検知および発生位置の特定、土砂移動プロセスの解明に活用する研究が増えつつある（例えば、大角ら、2006；Morettiet *et al.*, 2012；Yamada *et al.*, 2012, 2013；Ekström and Stark, 2013；Burtin *et al.*, 2013；Feng *et al.*, 2017, 2021）。しかし、土砂移動に伴う地盤振動の特性は発生頻度の少なさから、発生時の地盤振動に関する記録が一部事象に限られており、また検知できないケースもある。数値解析を用いて大規模土砂移動時の地盤振動の推定が可能となれば、様々な大規模土砂移動のケースについて

地盤振動の特性を把握することができ、検知時の振動特性からどのような土砂移動現象が発生したのか推定できる可能性がある。

数値解析を用いた土砂移動に関する研究（例えば、吉松ら（1992））は古くから行われているが、地盤振動を同時に扱った研究事例は少ない。Favreau *et al.*（2010）は2004年にイタリアで発生した250万m³の地すべりを対象に、SHALTOPモデルで3次元の地形上の土砂移動を計算し、移動土砂の厚さの時間空間変化による荷重の変動を求め、グリーン関数法で24km、39km離れた2地点での長周期の地盤振動の再現を試みているが、地形や地盤の不均一性の影響は無視しており長周期波形（低周波）の再現に限定されている。一方、斜面崩壊とこれに伴う地盤振動を同時に数値計算した研究として、Feng *et*

*1 学生会員 京都大学大学院農学研究科 Student Member, Graduate School of Agriculture, Kyoto University *2 和歌山県土砂災害啓発センター Wakayama Prefecture Sabo Research and Education Institute (tsutsui_k 0002@pref.wakayama.lg.jp) *3 正会員 株式会社エイト日本技術開発 Member, Eight-Japan Engineering Consultants Inc. *4 正会員 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター Member, Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Regional Bureau, MLIT *5 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 Member, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism *6 正会員 京都大学大学院農学研究科 Member, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

al. (2017) は 2009 年台湾での大規模崩壊を対象に、崩壊土砂を表す個別要素法と地盤振動を求める有限差分法を弱連成させた 2 次元計算を行っている。斜面に沿った 4 点の変位、応力等を求め土砂移動プロセスと地盤振動を対応させ、低周波の地盤振動が大きな岩塊により発生する可能性を示した。水平方向に 4.8 km、鉛直方向に 5.5 km の 2 次元計算で解析対象範囲内の地盤振動を対象とした。また、Feng *et al.* (2021) は、同手法にて 1999 年台湾での地震時に発生した地すべり周辺での地盤振動を再現している。このように、土砂移動から地盤振動の発生までを 2 次元で解析する研究事例はいくつか存在するものの、崩壊斜面内での地盤振動の抽出に留まり、広域（数 10 km スケール）かつ 3 次元で地形や地盤の不均一性の影響も考慮した研究事例は見当たらない。個別要素法と連続体解析を組み合わせ、土砂移動から地盤振動の生成、広域伝播までを、地形等を考慮した 3 次元数値モデルで再現することができれば、土砂移動検知技術の向上等防災工学分野での応用性が高いと考えられる。

本研究では 2011 年に奈良県五條市の赤谷地区で発生した深層崩壊による地盤振動データから崩壊発生時刻と 2 度の崩壊土量の割合を推定した。次に①土砂移動～地盤振動の生成、②地形や地盤の不均一性の影響を考慮した振動の広域伝播を再現する 3 次元数値モデルを標準的な計算法を組み合わせることで構築し、数十 km 離れた観測局での振動の再現および土砂移動シナリオの違いによる地盤振動の変化の検討を試みた。

2. 赤谷地区深層崩壊による地盤振動

2.1 深層崩壊の概要

2011 年に奈良県五條市大塔町で発生した赤谷地区の深層崩壊位置および国立研究開発法人防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net (Okada *et al.*, 2004; NIED, 2019 a) 野上観測局 (赤谷地区より 34.4 km) の位置を図-1 に、崩壊箇所の空中写真と断面形状を図-2 に示す。

赤谷地区の深層崩壊は標高 1,050 m の尾根部を冠頭部とし、北西向きの勾配 35° の斜面 (桜井ら, 2014) で発生した。崩壊規模は斜面長約 1,030 m、最大幅約 420 m、崩壊土砂量約 940 万 m³ である。地質は白亜系四万十帯である日高川層群の砂岩頁岩互層、凝灰岩質頁岩および砂岩層で構成され、流れ盤状の斜面に平行するブロック状の岩塊が滑落して斜面下部に堆積し、天然ダムを形成するとともに河道閉塞を発生させた (木下ら, 2013; 桜井ら, 2014)。発生日時は Yamada *et al.* (2013) が振動データから 2011 年 9 月 4 日の 16 時 21 分 30 秒と推定し、台風 12 号による降雨 (気象庁風屋観測所 2011/8/31 4:00~9/4 16:00 の連続雨量 1,357 mm) が誘因となっている。

2.2 観測された地盤振動の概要

高感度地震観測網 Hi-net (汐見ら, 2009; NIED, 2019 b) で観測された地盤振動のエンベロープ波形のレコー

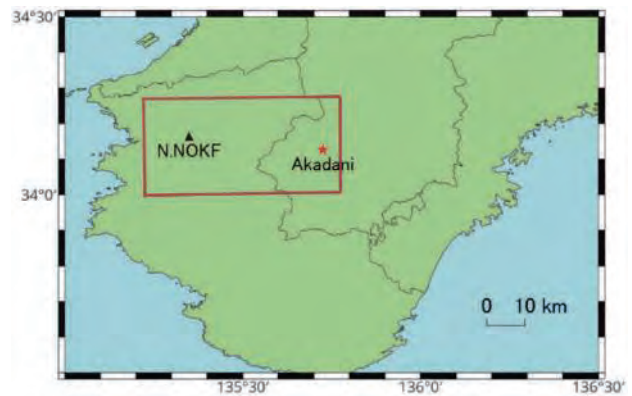


図-1 赤谷地区位置図および観測局配置図
赤枠は広域伝播モデルの範囲を表す。

Fig.1 Location of Akadani district and F-net Nokami seismic station
Red Frame shows the analysis area of propagation model.

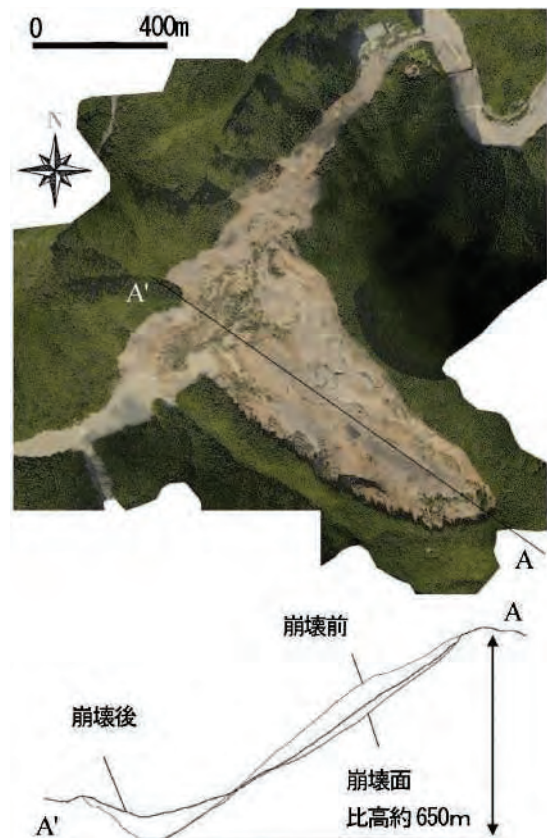


図-2 赤谷地区深層崩壊の空中写真および断面図
Fig.2 Photo and profile of Akadani deep-seated landslide

ドセクションを図-3 に示す。このエンベロープは地盤振動の速度波形の振幅を包括する曲線であり、赤谷地区からの距離に応じてプロットしたものである。赤谷地区に近い観測点ほど振幅は大きく、約 65 km 離れた地点においても振動が観測されている。また、エンベロープ波形のピークが 2 つ確認できる。なお、木下ら (2013) は現地調査によって上部ブロックと下部ブロックに大きく分かれて崩壊が生じ、立木の薙ぎ倒された痕跡から上部ブロックが先行して滑動したと推察している。

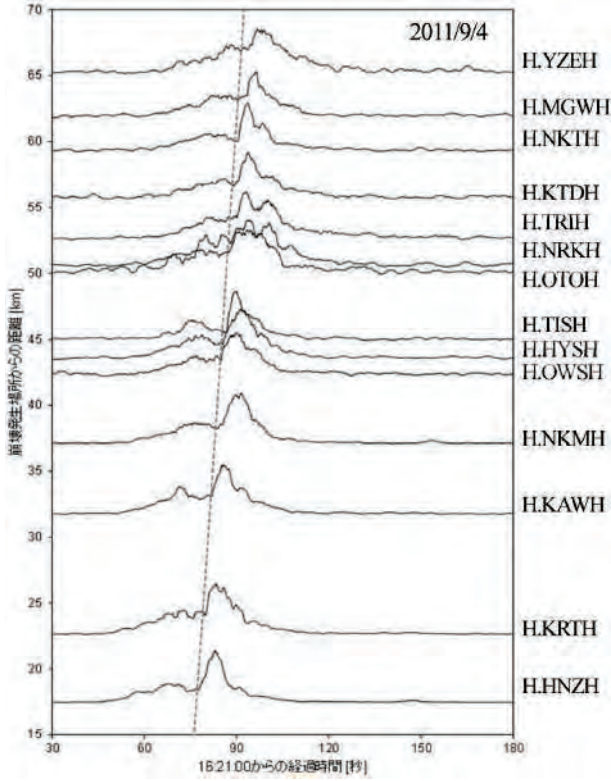


図-3 赤谷地区深層崩壊発生時のエンベロープ波形のレコードセクション 破線は前後の崩壊を分離するS波走時を表す。

Fig.3 Record section of observed wave envelope of the Akadani deep-seated landslide. The dotted line shows the travel time of S wave which separate the landslide into two parts.

我々はEnergy parameter (Yamada *et al.*, 2012) を用いて14のHi-net観測局の観測波形を2つに分けて計算し、2度の崩壊土砂量の割合は、前半30%、後半70%、併せて、振幅がノイズレベルを上回る時刻から1回目の崩壊発生時刻は16時21分44秒であり、エンベロープのピーク時刻の差の平均は26秒であったことから、1回目の崩壊から26秒後に2回目の崩壊が発生したと推定し、本研究の計算条件とした。

3. 赤谷地区深層崩壊時の地盤振動の再現計算

3.1 基本理論

本研究では①土砂移動～地盤振動の生成として崩壊斜面周辺のみを扱った3次元モデル、②周辺観測局への振動伝播を計算する3次元モデルの2つを作成し、2段階の計算とした。以降、①を赤谷崩壊モデル、②を広域伝播モデルと称する。

赤谷崩壊モデルの崩壊土砂の移動の計算は、個別要素法 (DEM) を用いた数値解析で行った。崩壊土砂を剛体粒子の集合体と考え、運動方程式を立てて挙動を追跡、解析する。崩壊土砂と地盤との境界をそれぞれ表す粒子要素と壁要素を用いて計算する。粒子要素の並進運動と回転運動の運動方程式は以下のように表される。

$$\vec{F}_c = m_p \vec{a}_p \dots\dots\dots(1)$$

$$\vec{M} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

ここで $\vec{F}_c$ は要素にかかる接触力ベクトル[N]、 m_p は要素の質量[kg]、 $\vec{a}_p$ は要素の加速度ベクトル[m/s²]、 $\vec{M}$ は接触力のモーメントベクトル[N・m]、 I は慣性テンソル[kg・m²]、 $\vec{\omega}$ は角速度ベクトル[rad/s]、 t は時間[s]である。

解析にあたっての離散化は微小時間 Δt によって以下のように行う。並進運動は、ある時刻 t での粒子と粒子、粒子と壁要素との位置関係から、後述する接触モデルより接触力ベクトル $\vec{F}_c(t)$ を求め、式(1)より加速度ベクトル $\vec{a}_p$ を得る。次いで $1/2\Delta t$ 秒後の速度ベクトル[m/s]

$$\vec{v}_p\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) = \vec{v}_p(t) + \frac{1}{2}\vec{a}_p(t)\Delta t \dots\dots\dots(3)$$

を計算する。この速度を用いて、時刻 $t + \Delta t$ における位置ベクトル[m]

$$\vec{x}_p(t + \Delta t) = \vec{x}_p(t) + \vec{v}_p\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right)\Delta t \dots\dots\dots(4)$$

を更新する。新しい位置関係から新しい接触力ベクトル $\vec{F}_c(t + \Delta t)$ を求め、同時刻における加速度ベクトル $\vec{a}_p(t + \Delta t)$ を得て、速度ベクトル $\vec{v}_p(t + \Delta t)$ も更新する。回転運動も同様に、接触力のモーメントベクトルを求めて順次角速度を更新する。

要素間の位置と接触力の関係を表す接触モデルとして、パラレルボンド (Potyondy and Cundall, 2004; 図-4) を採用した。これは要素間固結を表現できる。接触力 $\vec{F}_c$ は弾性力ベクトル $\vec{F}^l$ 、減衰力ベクトル $\vec{F}^d$ 、パラレルボンドの力ベクトル $\vec{F}$ の合力として

$$\vec{F}_c = \vec{F}^l + \vec{F}^d + \vec{F} \dots\dots\dots(5)$$

で求められる。弾性力ベクトルは

$$\vec{F}^l = -F_n^l \vec{n} + \vec{F}_s^l \dots\dots\dots(6)$$

である。ここで、 F_n^l は法線方向の弾性力[N]、 $\vec{n}$ は法線方向単位ベクトル、 $\vec{F}_s^l$ は接線方向の弾性力ベクトル[N]であり、

$$F_n^l = \begin{cases} k_n g_s & \text{if } g_s < 0, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots(7)$$

$$\vec{F}_s^l = \begin{cases} \vec{F}_s^* & (|\vec{F}_s^*| \leq -\mu F_n^l) \\ -\mu F_n^l (\vec{F}_s^* / |\vec{F}_s^*|) & (\text{otherwise}) \end{cases} \dots\dots\dots(8)$$

$$\vec{F}_s^* = (\vec{F}_s)_0 - k_s \Delta \vec{\theta}_s \dots\dots\dots(9)$$

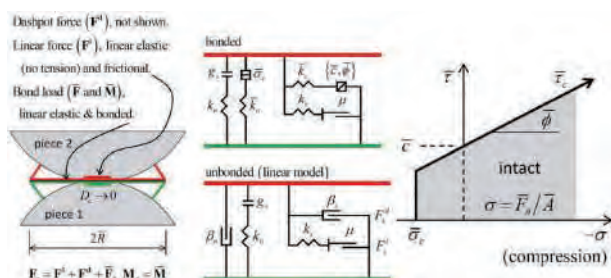


図-4 線形並列結合モデルの概念図 (ITASCA, 2019)
Fig.4 Concept of linear parallel bond model (ITASCA, 2019)

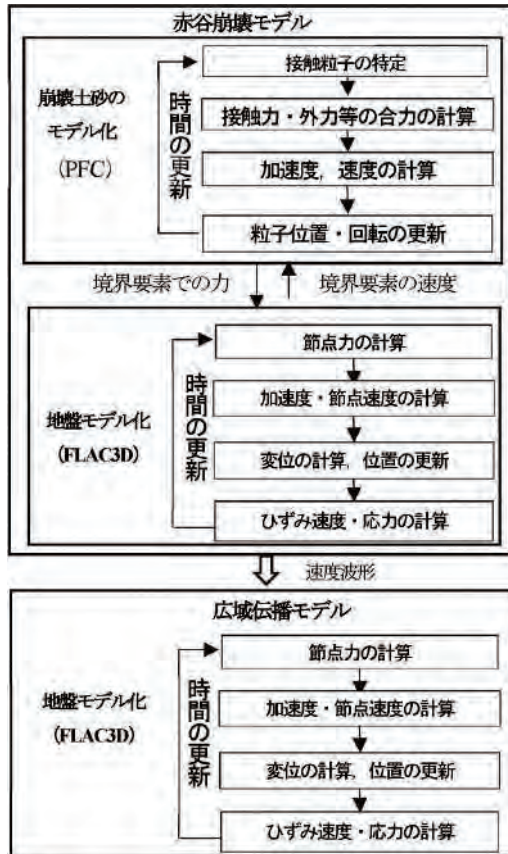


図-5 数値モデルの概念図
Fig.5 Concept of the simulation model

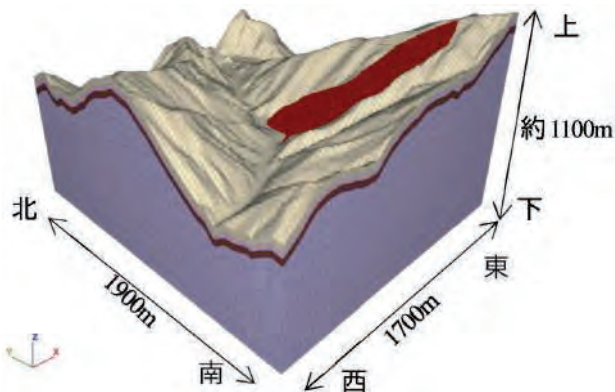


図-6 赤谷崩壊モデルのメッシュ (斜面の赤い粒子はDEM粒子を表す)

Fig.6 Mesh of the Akadani landslide model (Red particles on the slope show DEM particles)

点 l での変数, 表記 $[[\]]^{<l>}$ は節点 l で接する全ての4面体からの寄与の総和を表す。この節点力から新しい節点の速度を中心差分近似により時間方向に離散化した

$$v_i^{<l>}\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)=v_i^{<l>}\left(t-\frac{\Delta t}{2}\right)+\frac{\Delta t}{[[m]]^{<l>}}F_i^{<l>}\cdots\cdots(24)$$

を用いて接点力から新しい速度を求める。ここで, m は節点質量[kg]である。

最後に, この速度から新しい位置

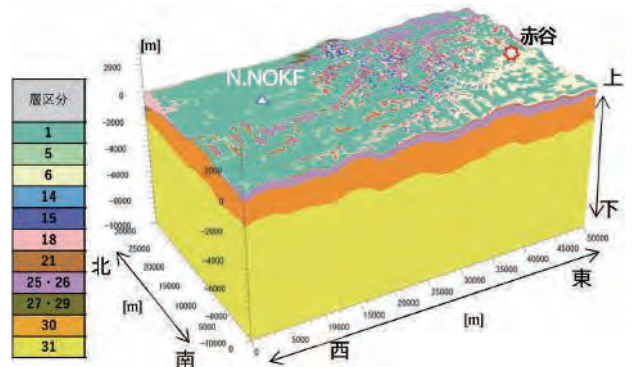


図-7 広域伝播モデルのメッシュ
近隣の地震観測所の位置を三角で示す。
Fig.7 Mesh of the wide region propagation model
Triangles show the location of seismic station.

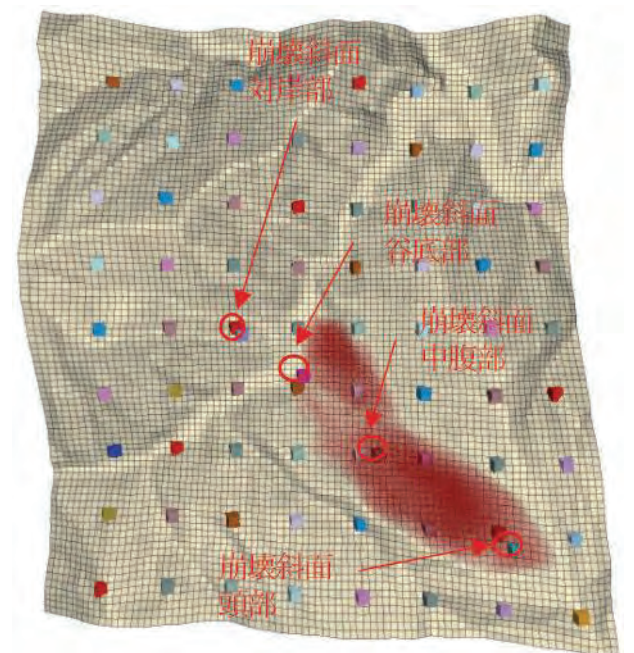


図-8 赤谷崩壊モデルの速度波形抽出位置
(矢印は図-12に示すパーティクルモーションの位置)
Fig.8 Velocity wave extraction location of the Akadani landslide model
(Arrows indicate the position of the particle motion shown in Fig.12)

$$x_i^{<l>}(t+\Delta t)=x_i^{<l>}(t)+v_i^{<l>}\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)\Delta t\cdots\cdots(25)$$

を計算し, これを崩壊土砂の計算へ返して1ステップが終了する (ITASCA, 2019)。

広域伝播モデルは赤谷崩壊モデルの地盤部分と同様の連続体解析コードにより計算した。赤谷崩壊モデルの計算後, 地表部で得られた速度波形を広域伝播モデルに境界条件として与える。なお, 計算には, 米国 ITASCA 社製の PFC と FLAC 3D を用いた。赤谷崩壊モデルと広域伝播モデルの概念図を図-5 に示す。

表一 赤谷崩壊モデルの個別要素法パラメータ
Table 1 DEM parameters of the Akadani landslide model

パラメータ	単位	値	設定根拠
粒径(R)	m	6.0 (崩土の薄い箇所は 2.0)	崩壊形状の表現性と計算時間から決定
密度(ρ)	kg/m ³	3862.2	崩土総質量/全粒子体積
法線方向ばね定数(k_n)	N/m	2.5×10^9 (河道部下流側は粒子間のみ 2.5×10^7)	三次元解析で最も粒径に近い大槻ら (2008) を参照。河道部はパラメトリックスタディにより決定
接線方向ばね定数(k_s)	N/m	1.0×10^9 (河道部下流側は粒子間のみ 1.0×10^7)	
摩擦係数(μ)	—	礫, 斜面: 0.0875	既往研究 (Feng <i>et al.</i> , 2017; 武蔵ら, 2011; 森口ら, 2016; 大槻ら, 2008) を参照し, パラメトリックスタディにより決定 ($0.0875: \phi = 5^\circ$)
法線方向減衰定数(β_n) 接線方向減衰定数(β_s)	—	粒子-粒子間: 0.59 粒子-崩壊面: 0.4 粒子-河道下流側: 0.01	既往研究 (Feng <i>et al.</i> , 2017; 表ら, 2008; 栃木, 2009; 武蔵ら, 2011; 森口ら, 2016; 大槻ら, 2008) を参照し, パラメトリックスタディにより決定
パラレルボンドの法線方向引張強度($\overline{\sigma}_c$)	Pa	1.0×10^5	岩盤内の亀裂を考慮し, 既往研究 (Feng <i>et al.</i> , 2017; 表ら, 2008) よりも低減した値に設定
パラレルボンドの接線方向粘着力($\overline{\tau}_c$)	Pa	1.0×10^5	
パラレルボンドの法線方向剛性(k_n)	Pa/m	2.5×10^9	既往研究 (Feng <i>et al.</i> , 2017) の値の範囲内で低めの値を設定
パラレルボンドの接線方向剛性(k_s)	Pa/m	1.0×10^9	

表二 赤谷崩壊モデルの基盤パラメータ
Table 2 Bedrock parameters of the Akadani landslide model

層区分	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	ポアソン比	弾性係数 (N/m ²)	Q 値 ※
6	2000	600	1900	0.45	1.984×10^9	100
18	3000	1400	2250	0.36	1.200×10^{10}	150
21	3500	1700	2300	0.35	1.789×10^{10}	150
25 26	4000	2100	2400	0.31	2.772×10^{10}	200

※1 Hz での振動の減衰を表す値

表三 広域伝播モデルの基盤パラメータ
Table 3 Bedrock parameters of the propagation model

層区分	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	ポアソン比	弾性係数 (N/m ²)	Q 値 ※
1	1600	350	1850	0.47	6.685×10^8	60
5	1800	550	1900	0.45	1.665×10^9	60
6	2000	600	1900	0.45	1.984×10^9	100
14	2500	1000	2100	0.40	5.900×10^9	150
15	2500	1100	2150	0.38	7.180×10^9	150
18	3000	1400	2250	0.36	1.200×10^{10}	150
21	3500	1700	2300	0.35	1.789×10^{10}	150
25 26	4000	2100	2400	0.31	2.772×10^{10}	200
27 29	5000	2700	2500	0.29	4.717×10^{10}	200
30	5500	3100	2600	0.27	6.332×10^{10}	300
31	5500	3200	2650	0.24	6.752×10^{10}	300

※1 Hz での振動の減衰を表す値

3.2 解析モデル

3.2.1 メッシュサイズ

赤谷崩壊モデルの地形は崩壊発生前後の LP データを



図一9 土砂移動シナリオ (ケース 1)
Fig.9 Landslide scenario (Case 1)

利用した (図-6)。解析領域は東西に 1,700 m, 南北に 1,900 m, 鉛直方向は T. P.-100 m までとした。地形モデルの上に崩壊前の地形を復元するよう崩壊土砂を表現する個別要素法の粒子を配置した。パラメトリックスタディの計算負荷から, 直径 6 m を基本とし層厚が薄い部分は十分小さい直径として 2 m とした。

地盤の速度構造は地震ハザードステーション (J-SHIS) の深部地盤構造モデル V 3.2 (NIED, 2019c) を参考に区分した。精度の良い解析を目的に, メッシュサイズは波長の 1/5 を目安とした。本研究では水平 20 m, 鉛直方向は 20~60 m でメッシュサイズを使用した。

図-7 に示すように広域伝播モデルの解析領域は東西

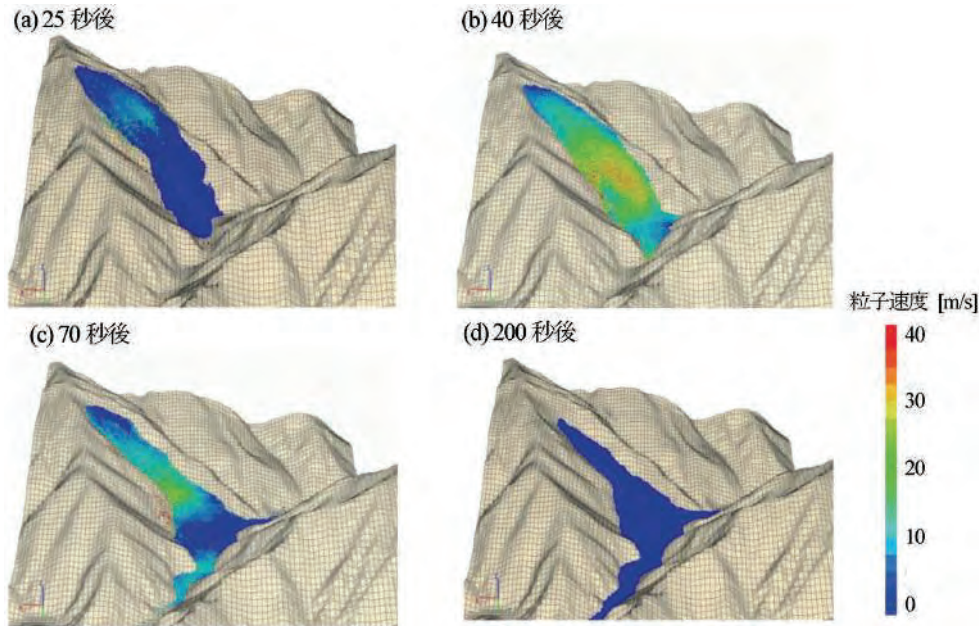


図-10 土砂移動の計算結果（ケース1）（a）25秒後、（b）40秒後、（c）70秒後、（d）200秒後。粒子の色は速度を表す。
 Fig. 10 Calculated sediment velocity (Case 1) (a) 25 seconds, (b) 40 seconds, (c) 70 seconds, (d) 200 seconds after the start of the calculation. Color of the particles shows the velocity.

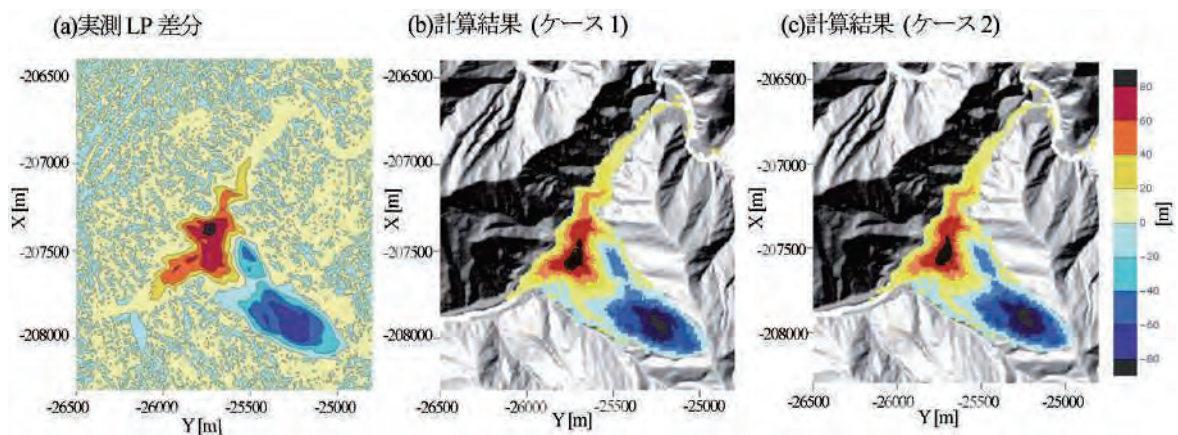


図-11 赤谷崩壊モデル再現計算と実測 LP との比較 縦軸横軸は平面直角座標系（6系）を表す。（a）実測 LP 標高差分（2011 - 2009）、（b, c）計算結果
 Fig. 11 Comparison of the change of topography The vertical and horizontal axes represent the plane rectangular coordinate system 6. (a) Observed LP elevation difference (2011 - 2009), (b, c) The calculated result

50 km, 南北 30 km, 鉛直 T. P.-10 km までとした。水平 200 m, 鉛直最大 200 m（地表から T. P.-10 km まで 56 分割）のメッシュとした。速度構造は赤谷崩壊モデルと同様に J-SHIS の V 3.2 を参考に区分した。試算で高周波の卓越が見られたため、高周波を抑える目的で薄層や局所的な分布を示す速度層もモデル化し、メッシュの中心に位置する速度層を当該メッシュの値とした。

3.2.2 境界条件

両側面と底面の境界条件を初期定常時の自重解析ではローラー境界とし、崩壊土砂落下時や伝播時の動的解析では吸収境界とした。先に赤谷崩壊モデルを計算し、そこで得られた地表面の速度波形を広域伝播モデルの地表面節点と一致する箇所（200 m 間隔、図-8）にて多点入力し、境界条件として与えた。

3.2.3 解析パラメータ

解析パラメータは既往研究（Feng *et al.*, 2017；表ら, 2008, 2009；栃木, 2009；武蔵ら, 2011；森口ら, 2016；大概ら, 2008）を参考にパラメトリックスタディにより設定した。同定後のパラメータを表-1～3 に示す。また、崩壊土砂の粒子密度は、粒子の総質量が崩壊土砂の総質量に一致するように設定した。具体的には崩壊土砂の体積 963.2 万 m^3 に赤谷地区のボーリング調査等で求めた土砂の密度 2,469 kg/m^3 を乗じ、粒子の総体積 615.75 万 m^3 で除して求めた。なお、粒子の総体積はプログラム上での総和計算により求めた。このように粒子密度を設定した理由は崩土全体の重心移動が低周波に影響を与えている可能性を重視したためである。

構築した数値計算モデルは、地形や地下の速度構造に

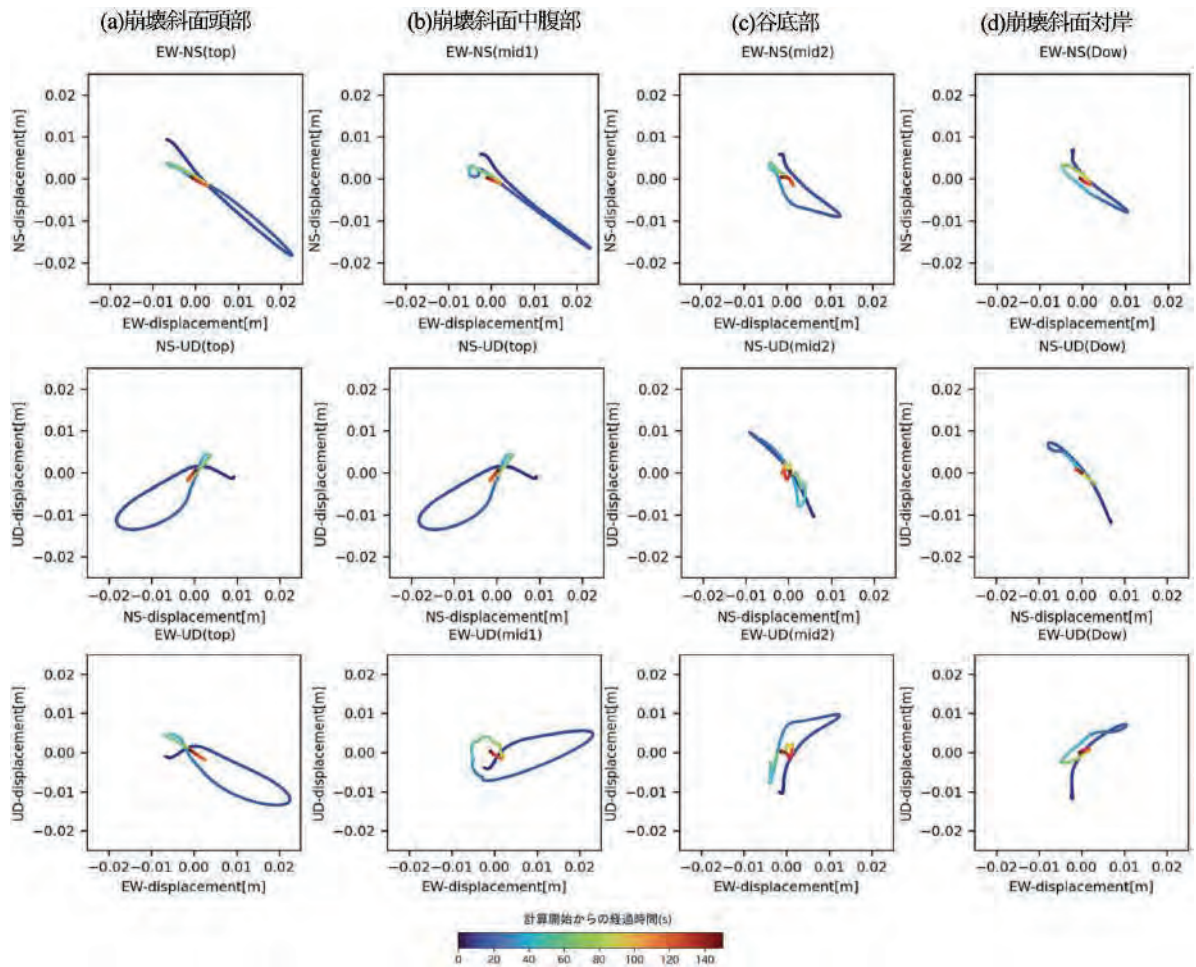


図-12 ケース1の赤谷崩壊斜面内4地点のパーティクルモーション (a)崩壊斜面頭部, (b)崩壊斜面中腹部, (c)谷底部, (d)崩壊斜面对岸 (a~dの位置は図-8を参照)

Fig. 12 Particle motions of case 1 at 4 points on Akadani deep-seated landslide (a) head of the slope, (b) middle of the slope, (c) bottom of the slope, (d) opposite side of the slope (See Fig. 8 for locations a-d.)

よる影響をより現実に近い形で表現し、数十 km スケールの広域の地盤振動の伝播を再現することを目指した。崩壊土砂の移動を表現する粒子は、初期状態で斜面内に壁要素を置いて崩れないように保持し、計算開始時に壁要素を消去することで移動を開始させた。

3.3 計算ケース

前述のとおり、赤谷地区の深層崩壊は少なくとも2回に分かれて発生したと推測されている。まず上部の30%の土砂が崩れ、26秒後に残りの土砂が崩れるものとして計算を行った(ケース1, 図-9)。また、比較対象として1回で全て崩壊したと仮定したケース2も計算した。

3.4 計算結果

赤谷崩壊モデルによるケース1の土砂崩壊状況を図-10に示す。計算開始より25, 40, 70, 200秒後の状況で粒子の速度に応じて着色している。30秒後に谷底に到達し40秒後に対岸に乗り上げ始め、60~80秒の間に谷底に大きく堆積する様子が見られた。ケース2では10秒後に土砂が谷底に到達し45秒後に谷底に大きく堆積する様子が見られた。全体的な土砂の移動はケース1では200秒間、ケース2では140秒間継続した。両ケー

スの土砂移動終了後の地形変化の状況を図-11に示す。併せて2011年と2009年に測定されたレーザープロファイルによる実測地形の差分を示す。計算結果と実測データを比較すると、対岸への乗り上げは実測データに比べてやや小さいものの、斜面下部の河床に最大80m以上の土砂が堆積した状況が概ね再現できたことがわかる。土砂崩壊シナリオの違いによる堆積状況に大きな差は見られなかった。

図-12に崩壊斜面の頭部、中腹部、谷底部、対岸部の4地点でのケース1のパーティクルモーション(2回の崩壊を含む150秒間)を示す。このパーティクルモーションは解析で得られた速度を積分して変位とし、バンドパスフィルター(0.01~0.1 Hz)を通して発振側の低周波成分を抽出したものである。着色は計算開始からの経過時間を表し、ある一点が移動する様子を表現している。上段のEW-NSの変位では、斜面頭部と中腹は土砂流下方向(北西-南東方向)と平行に最初に尾根側(南東方向)へ、約30秒後に谷側へ大きく方向を変え、上部の土砂が通過した約60秒後に元に戻る様子が見られる。変位の周期は概ね60秒である。谷底や崩壊斜面の

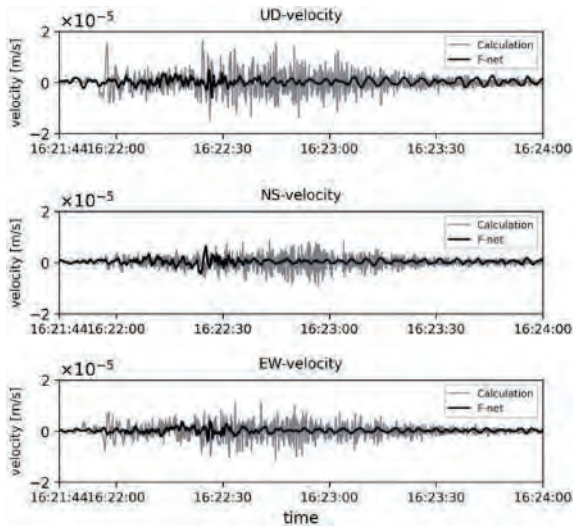


図-13 F-net 野上観測局での速度波形の計算結果(ケース1)と実測

上段は上下成分, 中段は南北成分, 下段は東西成分。

Fig. 13 Calculated (Case 1) and observed velocity wave form at F-net Nokami

Upper: Up and Down components, Middle: North and South components, Lower: East and West components.

対岸も同様の挙動を示すが、変位量は崩壊斜面に比べ小さい。NS-UD および EW-UD の変位では、谷底部と斜面对岸は初めに上方向に変位する傾向や変位量は同程度であったが、斜面中腹は上下方向の変位が小さく、頭部は下方に大きく変位した。河床への堆積が進んだ90秒後以降の変位は小さかった。このように崩壊斜面内の位置によって変位の方向や量が異なる結果が得られた。

次に広域伝播モデルにより求めた地盤振動のケース1の計算結果を図-13に示す。2011年赤谷地区崩壊時の地盤振動が観測されたF-net 野上観測局(赤谷より34.4 km)の観測データと計算した速度波形を示している。実測波形に比べて振幅が大きく、そのスペクトル(図-14)からも高周波成分において計算値が観測値よりも大きい結果となった。地盤振動の高周波成分は、粒子の衝突による作用が大きく影響する可能性と広域伝播モデルの地盤モデルの固有周期による影響が考えられ、高周波の再現は今後の課題である。スペクトルにおける上下・東西成分は0.1 Hz以下の低周波部分はおおむね一致する結果となった。南北成分は計算値が小さい結果となった。

地盤振動の速度・変位波形の低周波成分の再現性を確認するため、バンドパスフィルター(0.01~0.1 Hz)を通したケース1の地盤振動の速度と変位の波形を図-15に示す。上下成分(UD)と東西成分(EW)において、16:22:20前後に約 3×10^{-6} mの変位が観測されている。計算結果においても同程度の振幅が再現されている。また16:21:50, 16:21:20前後に観測された2つのピークが計算結果においても同様に再現されている。一方、南北成分(NS)では、16:22:15秒頃に観測されたピー

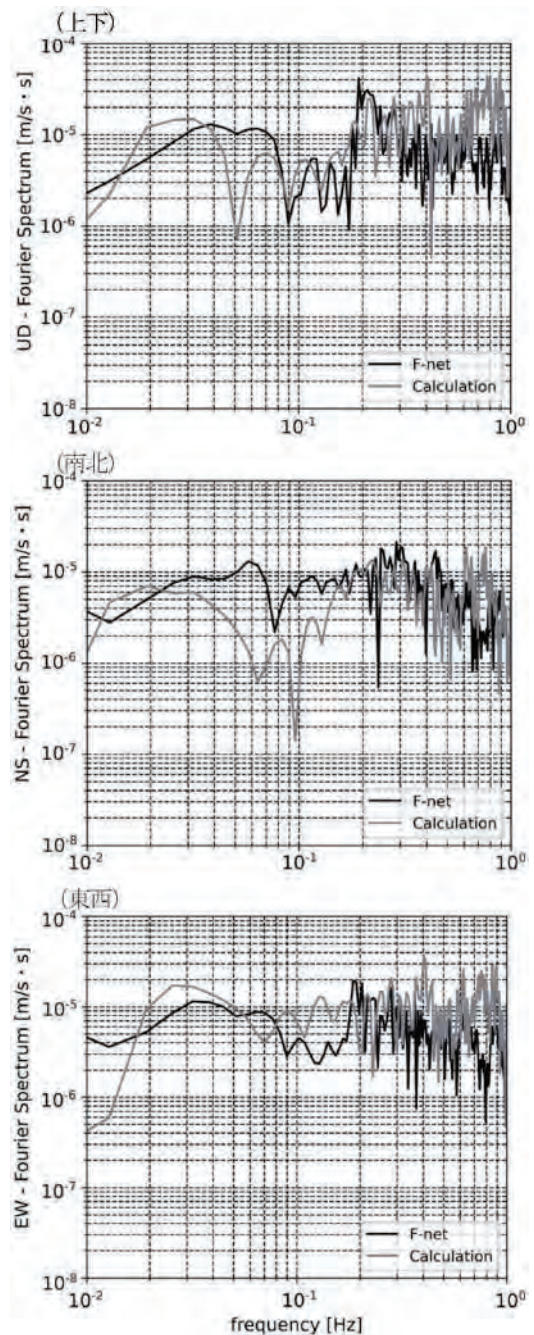


図-14 F-net 野上観測局での速度スペクトルの計算結果(ケース1)と実測

上段は上下成分, 中段は南北成分, 下段は東西成分。

Fig. 14 Calculated (Case 1) and observed velocity spectrum at F-net Nokami

Upper: Up and Down components, Middle: North and South components, Lower: East and West components.

クに対応する計算結果が得られたものの、振幅はやや弱く表現された。図-14のスペクトルで南北成分が小さかった結果と整合している。

比較として1回で崩壊したと仮定した場合(ケース2)の低周波速度波形を図-16に示す。上下・東西成分では、16:21:50~16:22:00ごろに出現する前半のピークの振幅は表現できているものの位相のずれがあった。

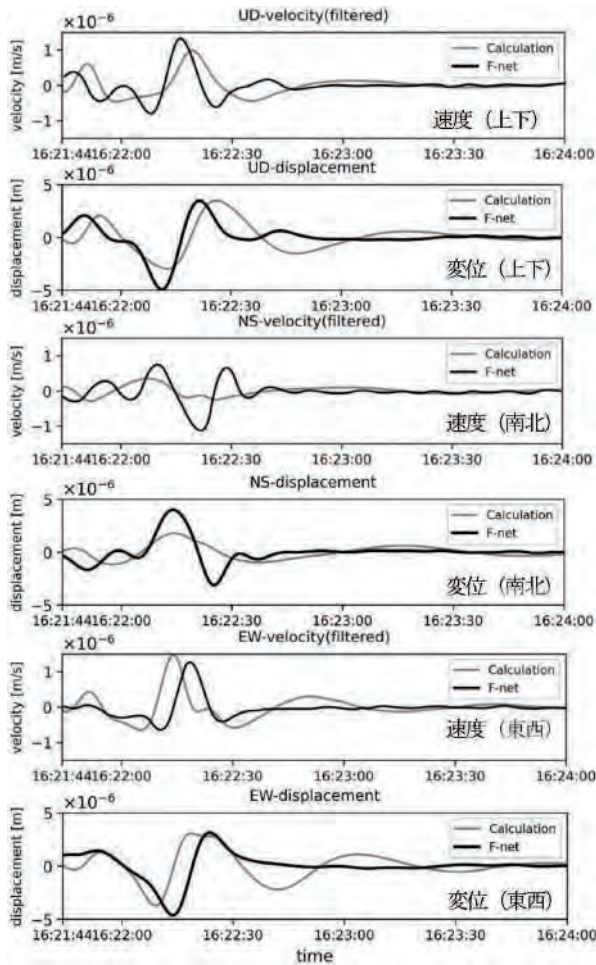


図-15 F-net 野上観測局での速度・変位波形の計算結果(ケース1)と実測

上段は上下成分, 中段は南北成分, 下段は東西成分。0.01~0.1 Hz のバンドパスフィルターを通した低周波成分。

Fig. 15 Calculated (Case 1) and observed velocity, displacement wave form at F-net Nokami

Upper: Up and Down components, Middle: North and South components, Lower: East and West components. Low frequencies components filtered by 0.01~0.1 Hz.

また, 3成分のいずれも後半のピークが現れず, 観測波形を再現できない結果となった。この結果は, 崩壊を少なくとも2回に分割するケース1の方が実際の崩壊回数に近いこと, 崩壊土量が同じでも崩壊が1度に起こり土砂移動の継続時間が短い場合, 低周波の振幅が小さくなる可能性があるといった2点を示唆している。

地盤の変位を表すパーティクルモーションについて, F-net 野上観測局での観測結果と計算結果を図-17に示す。16:21:44からの経過時間で着色を変え, ある一点が移動する様子を示している。計算値のNS成分がやや弱いため, 水平変位の方向が実測に比べ東西方向に向いているものの, 全体的には概ね同方向の変位を表現しているといえる。なお, 変位量は観測値および計算結果ともに 5×10^{-6} m 程である。

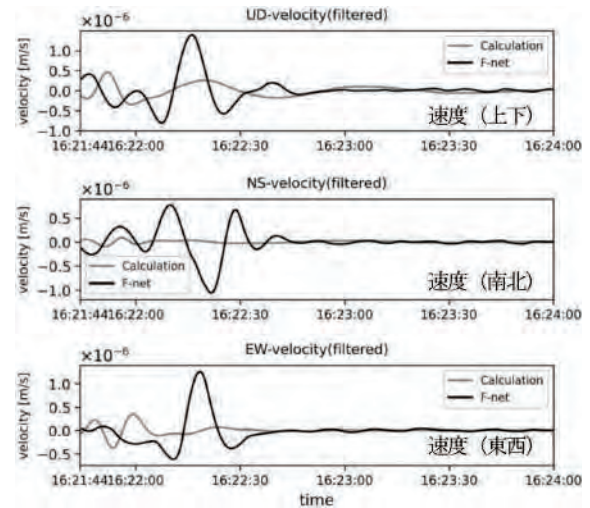


図-16 F-net 野上観測局での速度波形の計算結果(ケース2)と実測

上段は上下成分, 中段は南北成分, 下段は東西成分。0.01~0.1 Hz のバンドパスフィルターを通した低周波成分。

Fig. 16 Calculated (Case 2) and observed displacement wave form at F-net Nokami

Upper: Up and Down components, Middle: North and South components, Lower: East and West components. Low frequencies components filtered by 0.01~0.1 Hz.

4. 考察

本研究で構築した数値計算モデルでは, 2回の崩壊(ケース1)で, 個別粒子法を用いた土砂移動および, それに伴う地盤振動の低周波成分の振幅とピーク出現時刻を概ね再現できた。一方, 1回の崩壊(ケース2)ではそれらを再現できなかった。

土砂移動シナリオの違いが低周波の発生に影響することが示唆される。Kanamori and Given (1982) は土砂移動に伴う地盤振動の低周波成分は土砂全体のゆっくりとした加速・減速により生じると分析した。本研究の数値計算モデルは, 崩壊土砂を表す個別要素法の粒子の運動が境界要素を通じて地盤を表す連続体モデルへ外力として加えられ(式(23)), それによって生じた歪みが地盤を構成するメッシュでの応力を式(21)より発生させ, さらに隣接する連続体内の要素に伝播し, 広域に地盤振動が伝播する計算を行う。0.01~0.1 Hz の地盤振動の低周波成分の周期は, 10~100 秒であり, 図-12で示した崩壊斜面内の変位の周期が60秒程度であったことから, この周期帯の地盤振動がよく励起されたことが推測される。ケース1の方が土砂移動の継続時間が長かったことから, よりゆっくりとした土砂移動が低周波成分の発振に寄与したと考えられる。しかし, 土砂移動による地盤振動の生成には, 崩壊土砂量, 移動速度, 移動土砂と地盤と間の摩擦係数や斜面勾配等他にも考慮すべき要素がある。本研究では同じ崩壊土砂量でも土砂移動シナリオの違いによる低周波振幅の違いの要因の1つとして示すことが

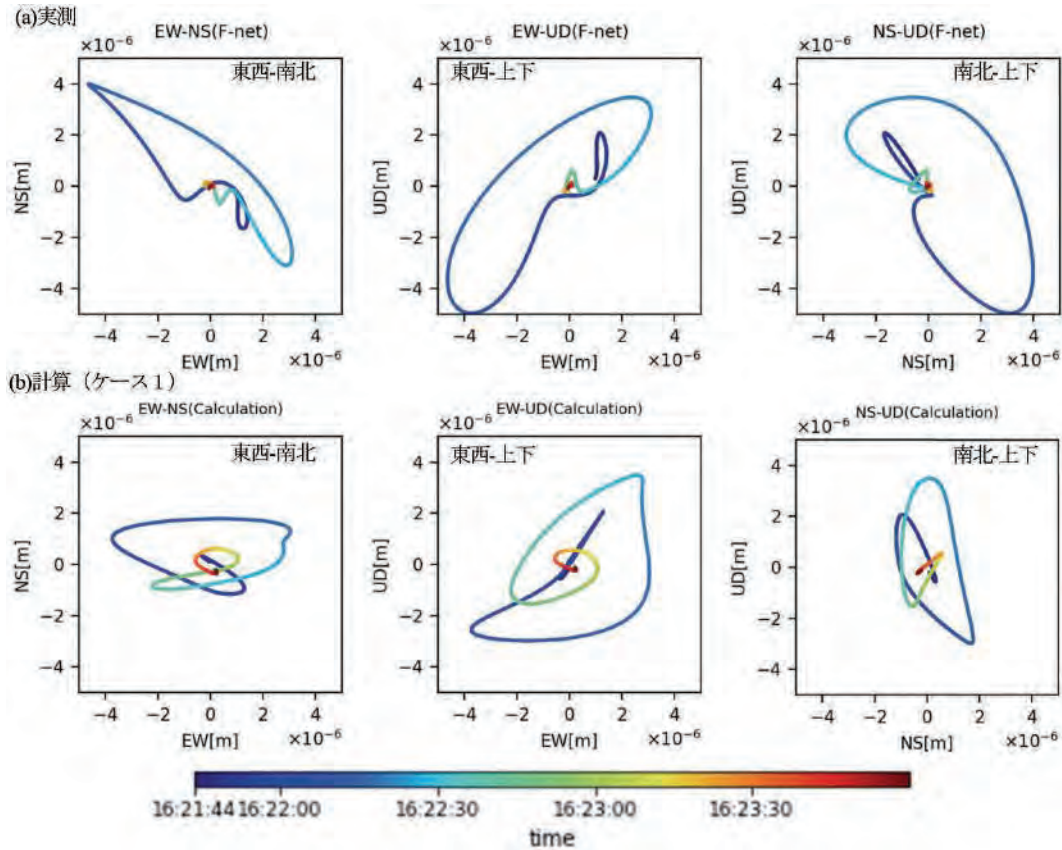


図-17 F-net 野上観測局でのパーティクルモーションの計算結果（ケース1）と実測（a）実測，（b）計算結果。0.01～0.1 Hz のバンドパスフィルターを通した低周波成分。

Fig. 17 Calculated (Case 1) and observed particle motions at F-net Nokami (a) Observed, (b) Calculated. Low frequencies components filtered by 0.01–0.1 Hz.

できたものの、そのメカニズムの解明のため、今後も本研究で構築したモデルにより検討を進めることが有効である。また、崩壊斜面内で得られた発振時の低周波のパーティクルモーション（図-12）においても崩壊土砂の斜面流下時に大きく変位することが確認できた。崩壊斜面頭部～中腹部の変位がより大きく、低周波の主な発振源とも考えられる。それらの水平方向の変位は斜面の走向と直交する土砂の流下方向と一致した。発振地点の地盤振動の低周波成分の水平変位方向と遠く離れた観測点で観測された変位方向が一致することから、後者から土砂流下方向を推定できることが示唆される。

一方、本研究では変位波形や速度波形の低周波数の波形は概ね再現できた（図-15）が、破碎された土砂と地表面との衝突により生じる（Chao *et al.* (2016)）とされる1 Hz以上の高周波数波形については計算値の振幅が観測値のものより（図-13）も大きく表現された。赤谷崩壊モデルに用いた個別要素法の個々の粒子の離散的挙動の影響が反映されている可能性がある。岩盤や土塊が一体として移動する、あるいは地下水の影響を考慮し連続体を交えたモデル化などで低減できる可能性があると考えられる。また、広域伝播モデルでは、高周波成分を抑えるため薄層や局所的な分布の速度層のモデル化も行ったが、表層（第1・5・6層）での地盤振動を評価する

場合、メッシュサイズから0.3～0.6 Hz程度が上限の目安となる。高周波成分は低周波成分に比べ地形や地盤の不均一性により影響を受けるが、本研究で用いたモデルは、3次元で地形の表現が可能で地盤の不均一性をメッシュごとに設定することで取り入れやすいことから、将来的にメッシュサイズの改善等により地盤振動の高周波成分の再現精度向上に貢献できる手法と考えられる。

5. おわりに

本研究では、2011年に発生した赤谷地区深層崩壊を対象に、大規模土砂移動が発生した際の地盤振動の生成とその広域伝播を再現する3次元の数値計算モデルを構築した。Hi-net観測局による地盤振動エンベロープから土砂崩壊発生時刻と2回の崩壊が起こったと仮定し、その崩壊土砂量の割合を推定した上で、広域を伝播する地盤振動の計算を行った。赤谷地区より34.4 km離れたF-net野上観測局で計測された地盤振動において、0.01～0.1 Hzの低周波数の速度・変位波形について、振幅、ピークの出現時刻ともに概ね再現することができた。一方で1回の崩壊が起こったと仮定した計算では再現することができなかった。複数の土砂移動シナリオを検討し、斜面内の地盤振動の計算値と観測値を比較することで、発生した土砂移動形態（土砂移動シナリオや移動方向）

を推定できる可能性を示すことができた。

本研究で提案した手法は、標準的な計算法を組み合わせることで実現象との整合性を持つ数値モデルを構築できることを示した。一方で、より高周波 (>1 Hz) に当該解析手法の適用においては今後の課題である。これらの手法を改良することで、地盤振動発生～伝播メカニズムの解明を目指したい。そして本研究のような解析事例を通して知見を積み重ねることで、地盤振動による深層崩壊発生位置の検知精度の向上に努めたい。それにより、適切な避難情報の発信や災害後の迅速な対応、被害の軽減を実現したいと考える。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、国立研究開発法人防災科学技術研究所の高感度地震観測網 (Hi-net) および広帯域地震観測網 (F-net) の地震観測データを利用させていただいた。2 人の匿名査読者からは建設的なご意見をいただいた。心より感謝申し上げます。

引用文献

- Burtin, A., Hovius, N., Milodowski, D. T., Chen, Y. G., Wu, Y. M., Lin, C. W., Chen, H. and Leu, P. L. (2013) : Continuous Catchment-Scale Monitoring of Geomorphic Processes with a 2-D Seismological Array, *Journal of Geophysical Research : Earth Surface*, Vol.118, p.1956–1974
- Chao, W.-A., Zhao, L., Chen, S.-C., Wu, Y.-M., Chen, C.-H. and Huang, H.-H. (2016) : Seismology-based early identification of dam-formation landslide events. *Scientific Reports*, 6, 19259
- Ekström, G. and Stark, C. P. (2013) : Simple Scaling of Catastrophic Landslide Dynamics, *Science*, Vol.339, No.6126, p.1416–1419
- Favreau, P., Mangeney, A., Lucas, A., Crosta, G., and Bouchut, F. (2010) : Numerical modeling of landslides, *Geophysical Research Letters*, Vol.37, L 15305
- Feng, Z., Lo, C. and Lin, Q. (2017) : The characteristics of the seismic signals induced by landslides using a coupling of discrete element and finite difference methods, *Landslides*, Vol. 14, p.661–674
- Feng, Z., Lu, Y. and Shen, Z. (2021) : A numerical simulation of seismic signals of coseismic landslides, *Engineering Geology*, Vol.289, No.106191, p.1–12
- ITASCA (2019) : SOFTWARE DOCUMENTATION, <http://docs.itascacg.com/>, 参照 2022.04.15
- Kanamori, H. and Given, J. W. (1982) : Analysis of long-period seismic waves excited by the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens-A terrestrial monopole?, *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, Vol.87, No.B 7, p.5422–5432
- 木下篤彦・小川内良人・眞弓孝之・柴崎達也 (2013) : 平成 23 年台風 12 号で発生した深層崩壊の地質的素因と崩壊面の土質特性, *砂防学会誌*, Vol. 66, No. 3, p. 3–12
- Moretti, L., Mangeney, A., Capdeville, Y., Stutzmann, E., Huggel, C., Schneider, D. and Bouchut, F. (2012) : Numerical modeling of the Mount Steller landslide flow history and of the generated long period seismic waves, *Geophysical Research Letters*, Vol.39, L 16402, doi : 10.1029/2012 GL 052511
- 武蔵由育・山崎美穂・水山高久・小杉賢一朗 (2011) : 崩壊土砂の運動のシミュレーション手法に関する研究, *砂防学会誌*, Vol. 64, No. 3, p. 37–45
- 森口周二・太田勇真・高瀬慎介・寺田賢二郎・阿部慶太・青木尊之 (2016) : 個別要素法を用いた大規模土砂流動実験の再現解析, *応用力学論文集*, Vol. 72, No. 2, p.I_449–I_457
- National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019 a) : NIED F-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi : 10.17598/NIED.0005, 参照 2022–06–18
- National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019 b) : NIED Hi-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi : 10.17598/NIED.0003, 参照 2022–06–18
- National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019 c) : J-SHIS, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, <https://doi.org/10.17598/nied.0012>, 参照 2022–07–02
- 表真也・岡田慎哉・日下部祐基 (2008) : 2 次元および 3 次元 DEM を用いた落石シミュレーションに関する検討, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集
- 表真也・岡田慎哉・日下部祐基 (2009) : 落石シミュレーションの定数設定法に関する検討, 第 52 回 (平成 20 年度) 北海道開発局技術研究発表会発表論文集 (CD-ROM)
- 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎 (2006) : 2005 年長野県白馬岳落石・崩壊の高感度地震観測網波形を用いた震源推定, *日本地すべり学会誌*, Vol. 43, No. 1, p. 27–32
- Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H. and Yamamoto, A. (2004) : Recent progress of seismic observation networks in Japan-Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net, *Earth, Planets and Space*, Vol.56, No.xv-xxviii, doi : 10.1186/BF 03353076
- 大概敏・楠見晴重・松岡俊文 (2008) : 3 次元個別要素法による岩盤斜面の崩壊挙動及び亀裂進展シミュレーション, *土木学会論文集 C*, Vol. 64, No. 3, p. 607–615
- Potyondy, D. O. and Cundall, P. A. (2004) : A bonded-particle model for rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.41, No.8, p.1329–1364
- 桜井亘・後藤彦幸・大山誠・小川内良人・眞弓孝之・海原荘一・只熊典子 (2014) : 土砂流出が頻発する深層崩壊斜面に近接した河道閉塞対策のあり方についてー平成 23 年台風 12 号で発生した赤谷地区の河道閉塞対策事例よりー, *砂防学会誌*, Vol. 66, No. 6, p. 31–39
- 汐見勝彦・小原一成・針生義勝・松村稔 (2009) : 防災科研 Hi-net の構築とその成果, *地震 第 2 輯*, Vol. 61 Supplement 号, p. S 1–S 7, doi : 10.4294/zisin.61.1
- 栃木均 (2009) : 岩塊の衝突時における衝撃力特性と個別要素法によるモデル化手法の提案, *電力中央研究所報告書*, No. N 08082
- Yamada, M., Matsushi, Y., Chigira, M. and Mori, J. (2012) : Seismic recordings of landslides caused by Typhoon Talas (2011), *Geophysical Research Letters*, Vol.39, L 13301, doi : 10.1029/2012 GL 052174
- Yamada, M., Kumagai, H., Matsushi, Y. and Matsuzawa, T. (2013) : Dynamic Landslide Processes Revealed by Broadband Seismic Records, *Geophysical Research Letters*, Vol. 40, No.12, p.2998–3002
- 吉松弘行・近藤観慈・石濱茂・綱木亮介・小嶋伸一・中村浩之 (1992) : 準三次元地すべり運動解析プログラムによる地すべり性崩壊の被害範囲の予測, *土木研究所資料*, Vol. 3057, 107 pp.

(Received 22 July 2022 ; Accepted 24 July 2023)

災害伝承碑調査と紹介動画の制作について

和歌山県土砂災害啓発センター
那智勝浦町

1. はじめに

和歌山県では過去に明治 22 年・昭和 28 年・昭和 33 年・平成 23 年と歴史的な大規模土砂災害があり、各地には石碑等の災害伝承碑や災害記録が残っている（写真-1）。過去の災害を風化させることなく後世に伝えることで、過去の災害から学び備えることが重要である。

一方、平成 30 年 7 月豪雨で多くの犠牲者を出した広島県坂町の小屋浦地区では、100 年以上前に起きた水害を伝える石碑があったものの、関心を持って碑文を読んでいなかったという住民の声が聞かれるなど、地元であっても災害伝承碑が十分に認知されていない状態である¹⁾。

そこで、本研究では和歌山県全域に残る災害伝承碑の位置図及び紹介動画を制作することを目標に、現時点で調査が終了している範囲までを報告する。また、防災教育・研修を通じて地元の災害伝承碑を伝達した事例についても報告する。



写真-1 各地に残る災害伝承碑。

2. 位置図の制作

災害伝承碑の位置を把握するため、和歌山県立博物館が公開している石に刻まれた災害の記憶²⁾、大規模土砂災害対策技術センターが公開している「60 年毎（1889 年、1953 年、2011 年）に繰り返される紀伊半島の歴史的な大規模土砂災害」³⁾、その他郷土誌や災害誌をもとに現地調査を行

○有田貴洋・岐山雄亮・筒井和男・稲田健二
佐藤純子

った。本研究では和歌山県紀中に位置する日高川流域（御坊市・日高郡）と紀南に位置する西牟婁地域（田辺市・西牟婁郡）・東牟婁地域（新宮市・東牟婁郡）における調査結果を報告する。

3. 動画の制作

現地調査で使用したカメラは SONY のミラーレス一眼 α7III、レンズは崩壊跡地を明確に撮影できるよう、中距離望遠レンズである TAMURON 28-75mm F/2.8 Di III RXD を使用した。また、動画編集ソフトは Wondershare の filmora バージョン 12.3、音声読み上げソフトとして、PIXIV FANBOX の VOICEVOX を使用し、登場するキャラクターに音声をつけることで視聴する人が見やすい動画となるものとした。また、動画は和歌山県 PR キャラクターである「きいちゃん」が災害伝承碑に興味を持ち、視聴者が「きいちゃん」と一緒に学んでいくシナリオとした。

4. 制作した災害伝承碑位置図・動画

4-1. 位置図

調査結果を図-1 に示す。位置図は災害発生時期を色別で表示することや、地図の縮尺を大きくすることで、位置を特定できるものとした。

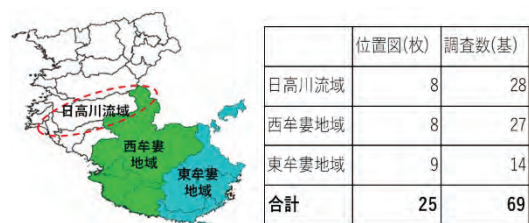


図-1 現地調査箇所と制作した位置図。

4-2. 動画

災害伝承碑の紹介だけではなく、過去に発生した災害や崩壊跡地の説明を加えることで、災害をより自分事として捉えるようにした。特に東牟婁郡那智勝浦町編では、紀伊半島大水害の被災経験を紙芝居で伝える久保榮子さんに出演いただき、当時の状況を説明していただいた（写真-2）。



写真-2 語り部の久保榮子さんと「きいちゃん」

5. 災害伝承碑を活用した防災教育・研修

防災教育・研修を通じて地元の災害伝承碑を伝達した事例一覧を以下に示す（表-1）。

表-1 事例一覧表

実施日	対象者	人数
令和4年10月6日	田辺市立中山路小学校5・6年	11
令和4年10月21日	田辺市立大坊小学校4・5・6年	12
令和5年2月25日	地域講演会 Vol.7 in 田辺市	90
令和5年5月23日	上富田町連合婦人会	43
令和5年6月1日	田辺市立龍神中学校1年	22
令和5年7月12日	那智勝浦町立市野々小学校3・4年生	5
令和5年7月18日	日高川町立江川小学校5・6年生	13
計 7回		196

田辺市立大坊小学校における防災学習では、児童の感想文で「自分が生まれた年くらいに紀伊半島大水害という大きな災害があると知った。」「災害からどのように身を守っていけばよいか家族と話し合っていきたい。」「改めてもう一度家族と避難場所を決めようと思う。」「といった記述があった。また、地域講演会のアンケート調査では、制作した西牟婁地域編の動画について、記入いただいた79%の方が「満足」と回答があり、中には70代以上の方から「これを機会に地域の皆さんと土砂災害につい

て勉強する場を持ち話し合いをしていきたいと思う。」といった意見があった。以上のことから、地域の子どもから大人へ、さらには大人から子どもへ防災意識が普及していくことが期待できる。

6. おわりに

現地調査を行うにあたって、災害伝承碑に刻まれた文字が風化の進行により、判読が困難であるものがいくつかあった。さらに、草木をかき分けなければ発見できないものもあった。過去の災害の記憶を後世に伝えるためには、手入れをする人や伝承する人の存在が必要であるが、石碑自体の意味を把握していない場合が多くあるように感じた。今後も和歌山県全域に残る災害伝承碑の位置図及び紹介動画を制作することを目標に、調査を続行する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：自然災害伝承碑，<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/denshouhi.html>，参照 2023-8-4
- 2) 和歌山県立博物館：石に刻まれた災害の記憶災害記念碑一覧，<https://www.hakubutu.wakayama-c.ed.jp/saigai/kouzui-list.pdf>，参照 2023-8-4
- 3) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター：60年毎に繰り返される紀伊半島の歴史的な大規模土砂災害，<https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/saigaishi.pdf>，参照 2023-8-4

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ12

侵食量に着目した土砂流動モデルによる被害範囲の予測

Prediction of the extent of damage using a sediment flow model focused on the amount of erosion

○筒井和男・齊藤隆志

○Kazuo TSUTSUI, Takashi SAITO

Predicting the extent of damage is important for mitigating damage caused by debris flow disasters. We have used iRIC software, which can calculate debris flows in two dimensions, by adding topographically-based erosion quantities to improve damage prediction. Compared to the case where the maximum erosion depth was uniformly given, there was a significant difference in the development and velocity of debris flow when the possible erosion amount was distributed in space. We also tested the case of erosion control in urban areas and obtained good results. In addition, we quantitatively evaluated the changes in channel geometry and the occurrence of erosion along the stream with the topographic data before and after the occurrence of debris flow. It shows that these may be important factors in influencing the development and velocity of debris flow.

1. はじめに

近年、豪雨により発生する土石流災害が増加し、発生した土石流は短時間で人家を襲うため、多くの人的被害が生じている。土石流の被害範囲予測は避難情報としてきわめて重要である。

土石流による災害情報の一つとして、土砂災害警戒区域等が指定されているが、その設定は地形の情報にのみよる簡便な方法である。一方、土石流の数値計算手法は多く提案されており^{例えば1)}、河川流況・河床変動解析ソフトである iRIC²⁾には、土石流・泥流解析用ソルバの Morpho2DH が実装されている。これを用いることで視覚的に現象と被害範囲を理解することが可能であるが、計算に用いる条件として侵食量等の値によってその計算結果には大きな差が生じると考えられる。Morpho2DH は全解析区間で平面二次元土石流モデルを適用できることから、侵食量を一律にではなく、地形的根拠に基づく詳細な空間分布により設定することで、土石流による被害予測の高度化を図ることができると考えられる。

ここでは、2014 年の広島市安佐南区で発生した土石流を対象に、侵食量の空間分布を変えたいくつかの土石流計算、土石流発生前後の地形変化から得られた侵食・堆積量について検討を行った。

2. 侵食量分布を変化させた土石流計算

土石流発生前の土砂災害予測基本図（特許第 7153330 号）から侵食可能な量を定量的に評価（図

-1）し、iRIC での最大侵食深さとして与えて土石流の数値計算を行った（Case1）。比較として、最大侵食深さを一律 0.2m とした Case2 を行った。

Case1 では、土石流が著しく発達しながら、大きい速度で流下し 73 秒後に市街地に到達した。一方、Case2 では、土石流はやや発達しながら流下し 94 秒後に市街地に到達した。Case1 の開始後 100 秒での土石流の流動深を図-2 に示す。

上記の 2 ケースでは市街地に流入後も侵食が発生する結果となったため、市街地では侵食が発生しないよう設定した Case3 も試行した。Case3 の標高変化の空間分布を図-3 に示す。市街地での侵食がなくなり、土石流が過大に発達しないことが確認できる。

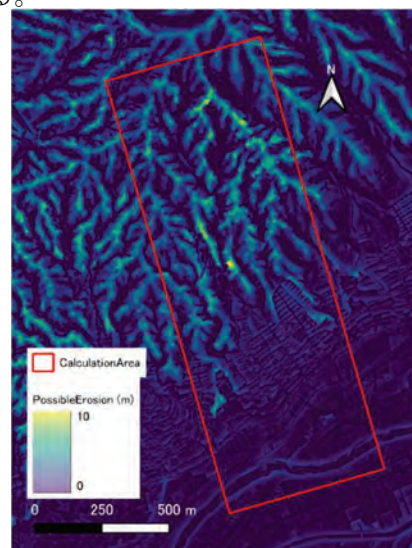


図-1 可能侵食量の空間分布
赤枠は計算範囲を示す。

3. 土石流発生前後の地形変化

侵食量の与え方により、土石流の発達に大きな影響を与えることを前章で示した。2014年の土石流発生前後の地形データより、河道形状の変化を求めた。発生前の蛇行部で、発生後に直線的な河道形状に変化したことが確認できた。源頭部でそのような変化がみられる箇所が多い。河床を侵食し土砂を取り込みながら、直線的に高速度で流動することで土石流が発達しつつ溪流を流下したことが推測される。

さらに、発生後の河道上での、災害前後の地形データから侵食量を求め、定量的に評価した(図-4)。傾斜の変化点で侵食が大きくなり、特に堆積に入る部分で侵食量が大きくなることが確認できる。ここでは、河床や側壁から土砂を取り込むことで土石流が発達する。堆積域は下流部に存在することから、市街地付近で土石流が発達し、被害の拡大につながった可能性が示唆される。

以上から、適切な侵食量の評価が土石流の流下予測において重要なことが示された。

4. 終わりに

2014年の広島での土石流の数値計算をiRICにて実施した。侵食深の空間分布を定量的に評価することで、土石流の発達や流下状況をより高度に計算できることを示した。また、発生前後の地形を比較し、侵食量を定量的に評価した。河道の形状変化や勾配変化点での河床、側壁からの土砂の取り込みが土石流の発達に大きな影響を与えることが示唆された。

謝辞

本研究は、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所、拠点間連携共同研究プログラムの援助を受けました。

参考文献

- 1) Takebayashi, H. and Fujita, M.: Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, Geosciences, Vol. 10, No. 2, pp. 45, 2020.
- 2) iRIC プロジェクト, <https://i-ric.org/ja/>, 2024年1月20日.

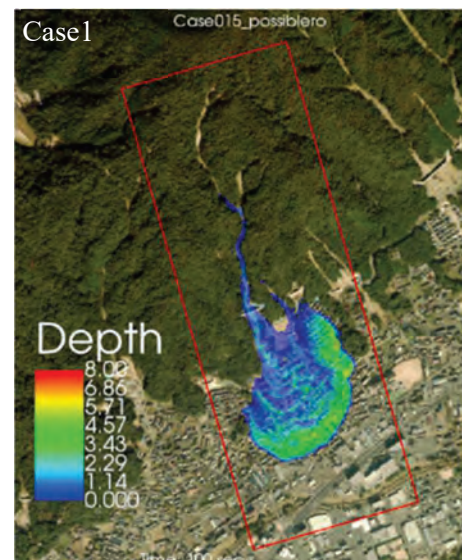


図-2 Case1 の流動深の空間分布 (100 秒後)

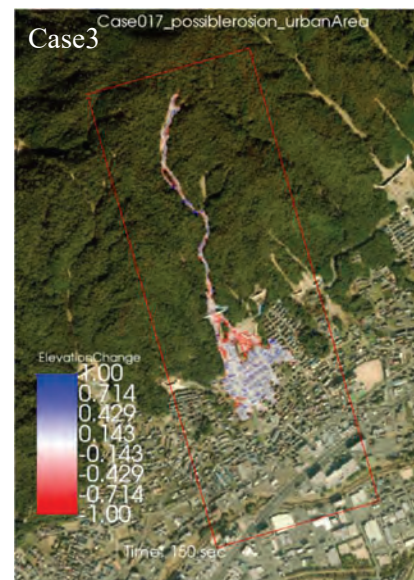


図-3 Case3 の標高変化の空間分布 (150 秒後)

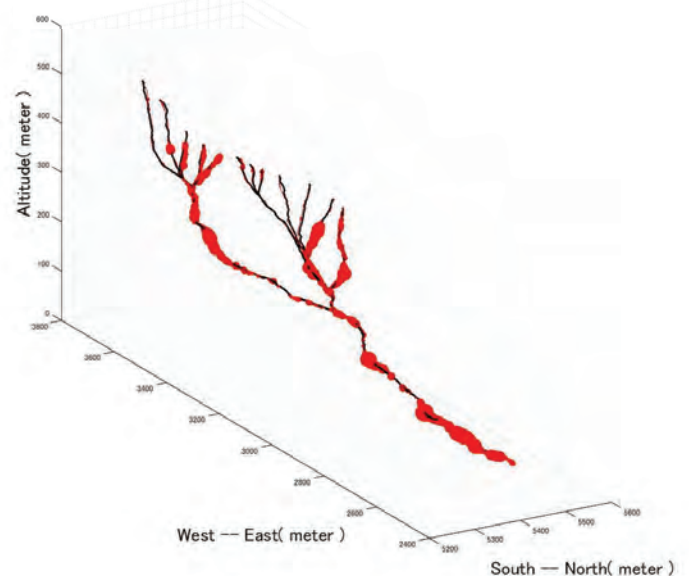


図-4 土石流発生後谷線での侵食量
赤丸の大きさが侵食量を示す。

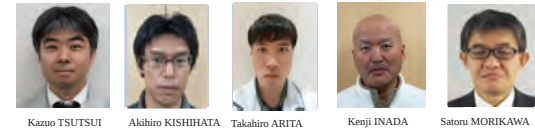
Introduction of BIM/CIM for landslide countermeasures

Kazuo TSUTSUI^{1*}, Akihiro KISHIHATA¹, Takahiro ARITA¹, Kenji INADA¹, and Satoru MORIKAWA²

¹ Wakayama Sabo Research and Education Institute; e0806041@pref.wakayama.lg.jp

² Wakayama Prefectural Government; morikawa_s0003@pref.wakayama.lg.jp.

*Correspondence: tsutsui_k0002@pref.wakayama.lg.jp; Tel.: +81-735-29-7531



1. Introduction

The Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism (MLIT) introduces Information Communication Technology (ICT) widely for improving productivity in the field of the construction industry as a method of i-Construction. Especially, Building / Construction Information Modeling, Management (BIM/CIM) is promoted not only at the construction stage but also at the design stage. It is expected that the MLIT will utilize the BIM/CIM in most of its business until 2023.

Under this circumstance, the Wakayama Prefectural Government has decided to introduce the BIM/CIM in order to implement landslide countermeasures.

This study reports how the prefectural government utilized the BIM/CIM, what the government studied through introduction of the BIM/CIM, and how the government will develop this technology in the future.

2. Summary of the landslide in Nagano area

Nagano locates in mountainous area whose elevation is about 200m~300m above sea level at northeast of Tanabe City. Here, a legal area for landslide prevention is appointed. In this area, the Shimanto・Muro formation of the Paleogene is distributed at north of Tanabe City, and main geographical contents is the conglomerate of sandstone and mudstone and both.



Fig.1 The location of Nagano area

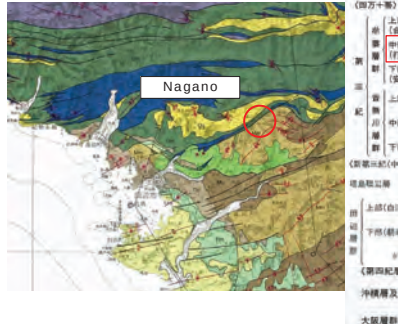


Fig.2 The geography of Nagano area

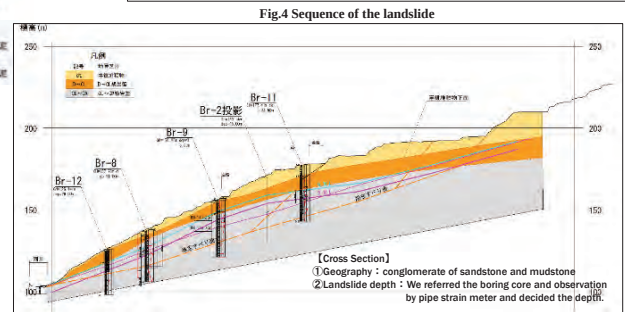
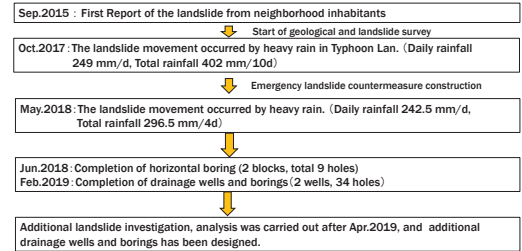


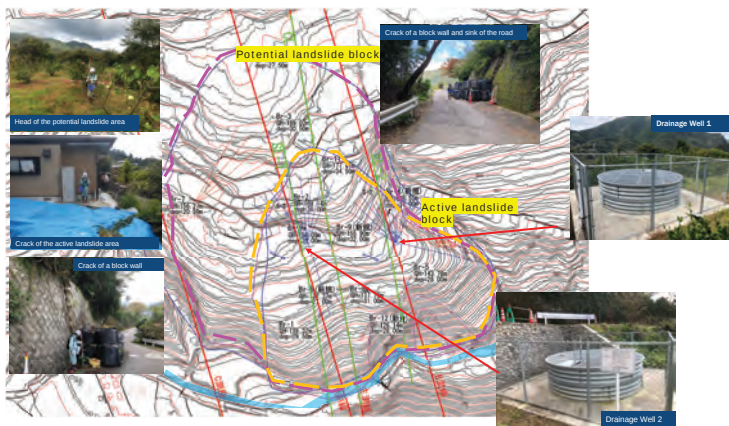
Fig.5 Cross section of the landslide

Table.1 Level of detail in 3D modeling of landslide mechanism analysis

Level of Detail	Contents of 3D Modeling, Typical Use	Image of 3D Modeling
100	○Modeling about Geological and Hydrological Investigation on multi Traverse Lines and Landslide Mechanism Analysis	
300	○For use of landslide mechanism analysis on multi traverse lines and precision improvement in the design	

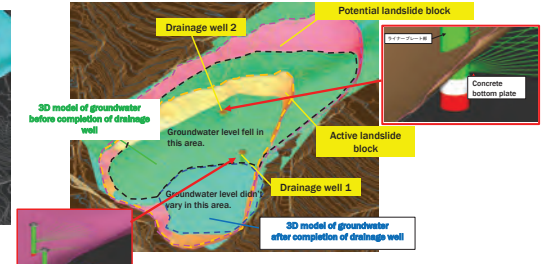
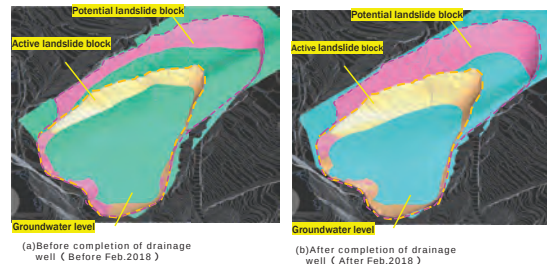
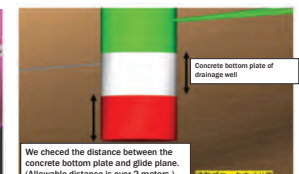
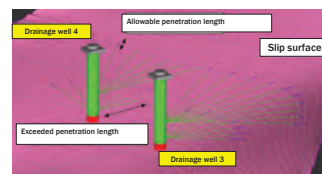
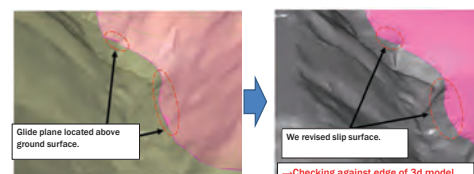
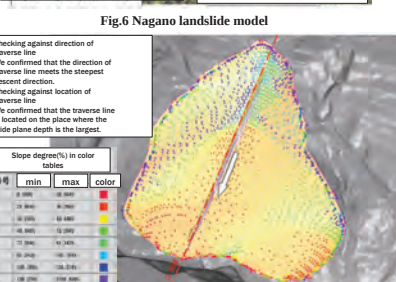
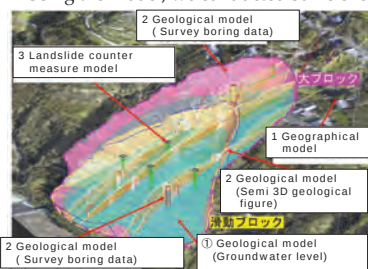
Table.2 Level of detail in 3D modeling of landslide countermeasures

Level of Detail	Contents of 3D Modeling	Image of 3D Modeling
100	○Modeling about placement of landslide facility	
200	○Modeling about placement of landslide facility ○Modeling about glide plane and groundwater level ○Simple Modeling of landslide countermeasure	



3. Building the Nagano model and the effect evaluation

Nagano landslide model is composed with 1. Geographical model, 2. Geological model and 3. Landslide countermeasure model (Fig.1). The level of detail of the model is shown in Table 1 and 2. Using the model, we conducted some checks.



4. Conclusions

- We made the landslide CIM of Nagano and implemented landslide mechanism analysis and evaluated effect of landslide countermeasure with CIM.
- Landslide caused by heavy rain needs quick construction of countermeasures. In this case, we will use BIM/CIM of landslide to design correct and economical countermeasures at an early stage. But we don't have enough hardware, software and staffs for use of BIM/CIM now, so it may not be practicable that we use BIM/CIM in emergencies.
- It is necessary that We will train staffs and deploy equipment for immediate use of BIM/CIM.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2021); Draft of guideline for introduction of BIM/CIM, chapter No.3 Sabo and Landslide (in Japanese).
2. MLIT (2021); Draft of implementation procedures of BIM/CIM for orderers (in Japanese).
3. WATANABE Y., HATAKEDA K., KAMEDA H., IZUKA T., YOKOGAWA K., and MIYAMOTO K. (2021); Landslide BIM/CIM Initiatives in Wakayama Prefecture, taking the Nagano area as an example Proceedings of Annual meeting of the Japan Landslide Society (in Japanese).
4. MORIKAWA S., KISHIHATA A., and KAMEDA H. (2022); Building / Construction Information Modeling, Management (BIM/CIM) for landslide countermeasure facilities, The 3rd International Symposium on Risk Assessment and Suitable Design of Slopes 18 March, 2022.

大規模崩壊跡地における二次的土砂移動に関する解析

京都大学大学院 農学研究科 ○加地慧一 小杉賢一朗

1. 背景と目的

斜面崩壊が発生すると、それによる直接的な土砂移動に加えて、崩壊後も継続的に、崩壊裸地や堆積した崩壊土砂の侵食、崩落崖の後退等による土砂移動が起こることが知られており、特に規模の大きな崩壊では河道閉塞や高濃度の濁水が発生するなど影響も大きい。しかしながら、崩壊に伴う周辺地形の変化について詳しく検討した事例は限られている。本研究では大規模崩壊跡地とその周辺の地形変化を解析し、大規模崩壊発生後の二次的な土砂移動現象を定量的に明らかにすることを目的とした。

2. 調査地と方法

調査地は、石川県の手取川上流約 60 km、大汝国有林中ノ川右岸に位置する大規模崩壊跡地に設定した。この崩壊は 2015 年 5 月上旬に雪解け水等により引き起こされたもので、1955 年時点で既に存在する地すべり地形の内側で発生した(柳井, 2017)。解析には 2014 年 11 月、2015 年 12 月、2016 年 12 月、2017 年 6 月、2018 年 6 月、2019 年 8 月、2022 年 8 月に行われた航空レーザー測量の結果から作成された 0.5m グリッド(2014 年のみ 1m グリッド)の DEM (Digital Elevation Model) と 2015 年 10 月、2016 年 5 月、2017 年 10 月、2021 年 11 月に撮影された航空写真を用いた。地形解析ソフト Surfer を用いて年ごとの DEM の Z 座標の差を標高の変化量として求めた。特に変化量の大きかった崩壊地とその直上部においては断面図を作成しより詳しく解析した。加えて、場所ごとの土砂移動速度の時系列変化を明らかにするために 5 地点を選び、その点周辺の 10 点における標高の累積変化量を平均して算出、比較した。

3. 結果と考察

大規模崩壊発生後、崩壊地内部だけでなくその周辺でも二次的な土砂移動が発生した。図 1 に 2015 年(大規模崩壊発生直後)から 2022 年までの標高の変化量を示す。黒実線が 2015 年に発生した大規模崩壊の輪郭、黒点線が既存の地すべりの輪郭を表す。崩壊地内部では、図 1 中 A で生成された崩壊土砂が図 1 中 B に堆積し、のちに侵食されたとされる変化があった。地すべり地形の内側では全体的に変動が見られ、特に変動の大きい崩壊地直上部(図 1 中 C)では最大で 10m 以上の沈下が見られた。直上部(図 2 中 a-a')で作成した 2015 年と 2022 年時点での断面図を図 3 に示す。この結果と、航空写真より直上部は森林に覆われていることから、崩壊地直上部の土砂が崩壊部方向へ地すべり運動していることが推察された。崩壊によって直上部を支える土砂が大量に消失したことで重力による地すべりが発生したと考えられる。さらに崩壊地を

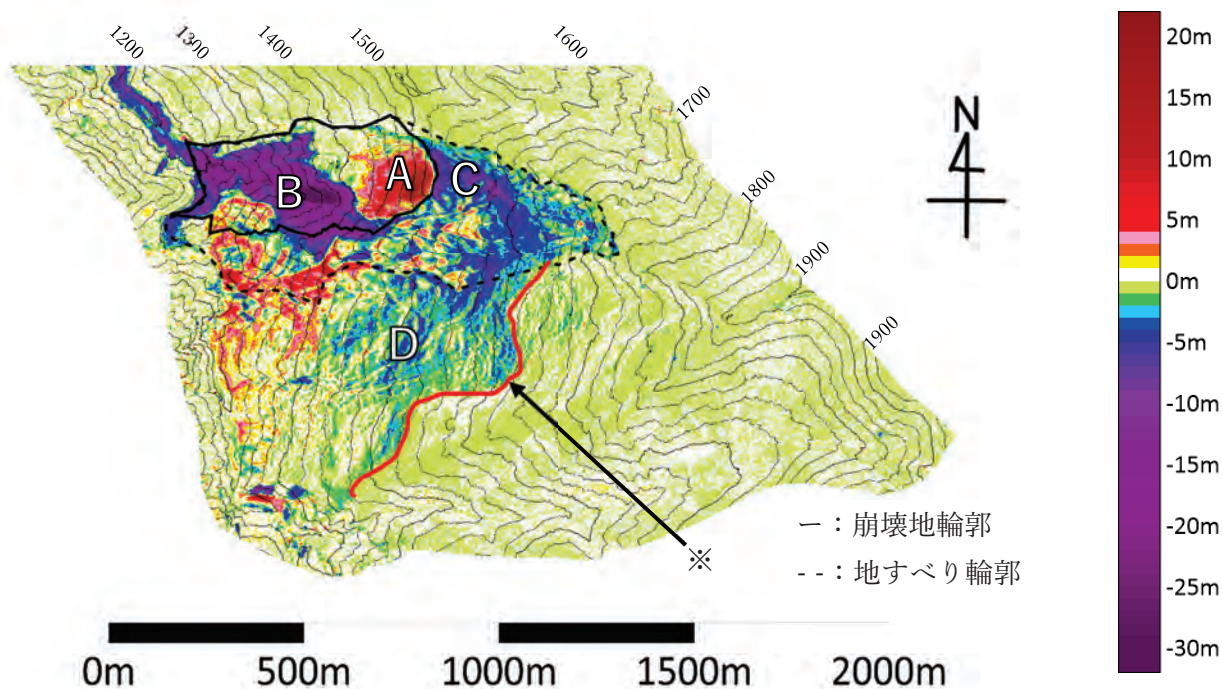


図1 2015年～2022年での標高の変化量

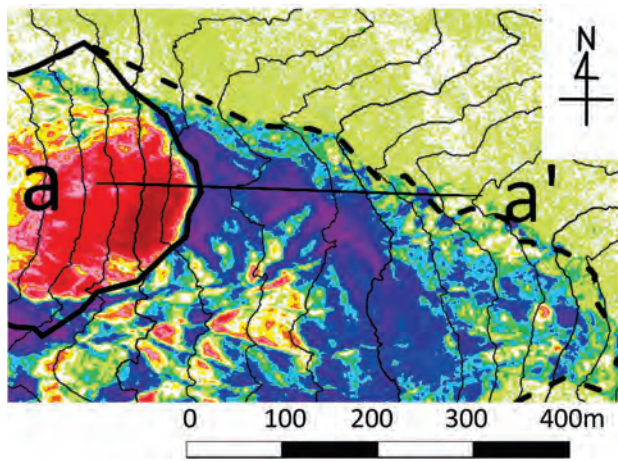


図2 断面位置

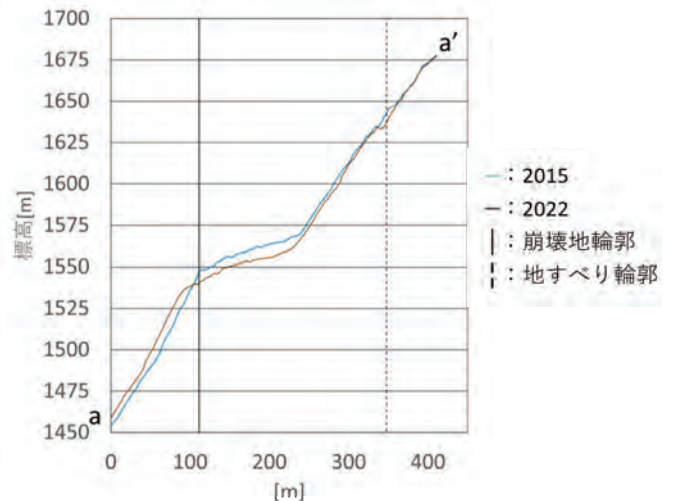


図3 2015年、2022年での断面図

有する斜面全体で崩壊地の南側（図1中D）でも全体的な沈下が見られ、図1の赤線部分（※）を境界として変化量に明確な差があった。この境界と直行する断面図の分析により、この境界を端とした地すべり運動が起こっていることが推察された。この境界と崩壊地直上部の標高がほぼ同じであることから、直上部の土砂移動に連動して斜面全体で地すべりが発生したと考えられる。

次に標高の累計変化量を算出した5点の位置を図4に、結果を図5に示す。崩壊地内部の点①においては、崩壊直後2年はほぼ変化が見られないが、その後は約2m/年で隆起を続けていた。崩壊直後の変化が少ない理由としては、崩壊地内に残存した崩壊土砂の流出に伴う下降と地すべりに伴う隆起が打ち消しあったことが考えられる。崩壊地外部の点②③④⑤においては崩壊直後から2022年まで継続的に沈下を続けており、速度は点②では約-1m/年、点③④⑤では約-0.5m/年であった。5点すべてにおいて変化速度が大きく変化する傾向が見られないことから、今後も継続して土砂移動が発生すると予想される。

謝辞 DEMデータおよび航空写真を提供いただいた林野庁近畿中国森林管理局ならびに国交省金沢河川国道事務所に謝意を表す。

参考文献 柳井清治（2017）：2015年5月に白山源流で発生した地すべりと濁水の発生，水利科学，No. 355，pp. 74-91.

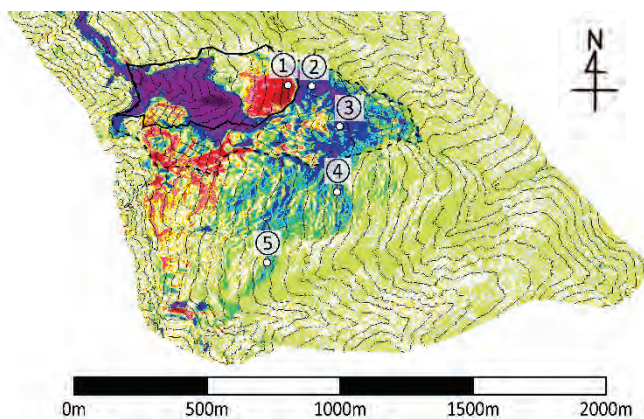


図4 累積変化量算出点位置

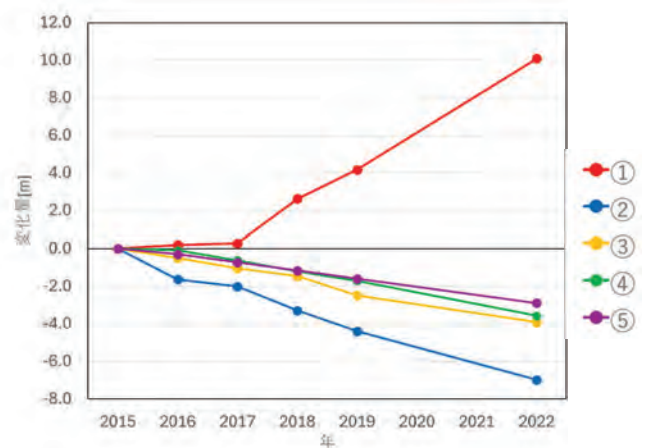


図5 累積変化量

本稿は、令和6年度砂防学会研究発表会概要集（JSECE Publication No.91, ISSN 2433-0477）に掲載された内容（加地慧一・小杉賢一郎，P-141，pp. 617-618）を再録したものである。

3. 学会活動

3.1 学会誌掲載

タイトル	執筆者（連名含む）	雑誌名	巻号	論文種別	発行年月
災害伝承碑紹介動画の制作と防災学習における活用について	有田貴洋・岸畑明宏・ 筒井和男・稲田健二・ 森要・佐藤純子	水利科学	No.391 第67巻 第2号	一般論文	2023.6
大規模土砂移動と地盤振動の生成および 広域伝播の3次元数値解析	筒井和男・高田隆行・ 海原荘一・北本楽・小 杉恵・木下篤彦・金澤 瑛・中谷洋明・小杉賢 一朗	砂防学会誌	Vol.76 No.3	論文	2023.9

3.2 学会発表

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
1	Introduction of BIM/CIM for landslide countermeasures	Kazuo TSUTSUI, Akihiro KISHIHATA, Takahiro ARITA, Kenji INADA, Satoru MORIKAWA	INTERPRAEVENT 2023 International Symposium	2023.4
2	Utilizing of 3D Model for emergency response to landslide disasters	Wataru Takeshita, Hiroyuki Sugimoto	INTERPRAEVENT 2023 International Symposium	2023.4
3	斜面安定解析における土質常数の設定について	森川智, 西島権, 岸野孝彦, 漆谷悟, 井戸幸博	2023年度砂防学会研究発表会概要集	2023.5
4	災害伝承碑紹介動画の制作と防災学習における活用について	稲田健二, 有田貴洋, 岸畑明宏, 筒井和男, 森要, 佐藤純子	2023年度砂防学会研究発表会概要集	2023.5
5	AR技術を活用した土砂災害防災学習の実践	筒井和男, 有田貴洋, 岸畑明宏, 稲田健二, 田中勇摩, 山添成毅, 辻原治	2023年度砂防学会研究発表会概要集	2023.5
6	大規模崩壊跡地における二次的土砂移動に関する解析	加地慧一, 小杉賢一朗	2023年度砂防学会研究発表会概要集	2023.5
7	深層崩壊発生斜面における地下水位形成メカニズム検討へのCIMの活用	竹下航, 山越隆雄, 北本楽, 小杉恵, 林幸一郎, 小林夏子, 中野英樹, 藤原康正	2023年度砂防学会研究発表会概要集	2023.5
8	大規模土砂災害発生時の緊急調査に対するUAV等の活用と計測手法の高度化	北本楽, 小杉恵, 竹下航, 海原荘一, 荒木義則	2023年度砂防学会研究発表会概要集	2023.5
9	空中電磁探査等を用いた紀伊山地における深層崩壊発生危険度評価手法の信頼性の向上に向けた検討	竹下航, 北本楽, 小杉恵, 山越隆雄, 木下篤彦, 馬場敬之, 河戸克志, 金山健太郎, 奥村稔, 城森明	日本地球惑星科学連合大会2023年大会	2023.5
10	Sabo Works in Wakayama Prefecture - Challenge for Building Resilient Society -	Wakayama Prefectural Government, Wakayama Sabo Research and Education Institute	土砂災害防止「全国の集い」	2023.6
11	土砂災害危険度情報のメッシュ単位におけるプッシュ型メール配信サービスについて	宮尾修平, 西岡恒志	近畿地方整備局研究発表会	2023.6
12	防災デジタルコンテンツを活用した防災学習体制の構築について	稲田健二, 岸畑明宏	近畿地方整備局研究発表会	2023.6

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
13	和歌山県内における災害伝承碑紹介動画の制作について	有田貴洋, 筒井和男	近畿地方整備局研究発表会	2023.6
14	侵食量に着目した土石流被害予測計算の高度化	筒井和男, 齊藤隆志	日本自然災害学会学術講演会	2023.9
15	BIM/CIMを活用した大規模土砂災害対応の技術継承に向けた取組	竹下 航, 山越 隆雄, 北本 楽, 小杉 恵, 荒木 義則	土木学会第78回年次学術講演会	2023.9
16	災害伝承碑調査と紹介動画の制作について	有田貴洋, 岐山雄亮, 筒井和男, 稲田健二, 佐藤純子	治山研究発表会	2023.10
17	侵食量に着目した土砂流動モデルによる被害範囲の予測	筒井和男, 齊藤隆志	京都大学防災研究所研究発表講演会	2024.2

(1) 砂防学会研究発表会

現地開催とオンラインのハイブリッドで開催された【砂防学会研究発表会】に参加し、研究発表を行った。

期 間：令和 5 年 5 月 9 日（火）～12 日（金）

(2) 令和 5 年度 第 41 回土砂災害防止「全国の集い」

現地開催で開催された【第 41 回土砂災害防止「全国の集い」】に参加した。

期 間：令和 5 年 6 月 1 日（木）～2 日（金）

4. 研修活動等

(1) 日本地すべり学会関西支部 現地討論会

【平成 23 年度紀伊半島大水害の復旧・復興状況について】と題し、紀伊半島大水害における土砂災害やその対応について考える機会として、現地開催で現地見学会と討論会が開催され、話題提供を行った。

開催日：令和 5 年 10 月 20 日（金）～21 日（土）

会場：奈良県五條市大塔町赤谷地区・吉野郡天川村冷水地区・橿原市商工会議所

参加者：30 名

(2) 砂防学会関西支部 砂防オープンゼミ

砂防に携わる技術者、研究者、実務者が一堂に会して研究発表や意見交換、討論を行うことで、今後の砂防技術の向上に資することを目的とした、研究集会と現地見学会が開催され、話題提供を行った。

開催日：令和 5 年 11 月 25 日（土）～26 日（日）

会場：和歌山県土砂災害啓発センター

参加者：20 名

令和 5 年度 大規模土砂災害対策研究機構年報

発 行	令和 6 年 1 2 月
編集・発行	国土交通省 近畿地方整備局
住 所	大阪府中央区大手前3-1-41 大手前合同庁舎
連絡先	河川部 河川計画課 TEL 06-6942-1141 (代表)
機構HP	http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisanchi/kikou/