

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山地域を含む地震地すべり発生場の評価と斜面における強震動及び不安定化の事前予測手法の展開

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震動に伴って発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法のさらなる高度化を進めるため、次の5ヶ年においては、以下の事柄を明らかにする。本研究では、地域的多様性を考慮した災害素因に関する研究（サブテーマ1）、観測による災害誘因メカニズムの検討（サブテーマ2）、阿蘇地域に特化した研究（サブテーマ3）の3つのサブテーマをセットとして推進する。

1) 重力変形斜面において、地震によって崩壊しうる斜面に特徴的な地形と地質構造を現地踏査によって明らかにする。また、既往災害を例とした複数のモデル化を行い、それらを標本として「危険な斜面」をあらためて再定義し、危険箇所の抽出を行う。特に南海トラフ巨大地震時の事例を対象とする。

2) すべり面となりうる降下火砕物の特徴をもとに、地震時に崩壊する危険性の高い降下火砕物の空間分布を、噴火史や給源の位置から推定する。

3) すべり面と想定される層準や移動土塊から試料を採取し、物理特性や動的なせん断挙動を計測する。さらに、崩土の移動特性を把握するため、流動特性をリングせん断試験機によって調べる。

4) 斜面における地震観測について、多点稠密な地震観測・微動観測へと拡張し、地下水圧や傾斜・ひずみ等の斜面の変形に関する観測も新たに実施することで、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを

評価するとともに、揺れの特徴や大きさと、地下水の変動量、斜面の永久変形量の関係を明らかにする。

5) 過去の多数の災害事例についてまとめた啓蒙書を出版する。災害が発生していない（未災の）段階で、住民に読んでもらい、将来被りうる災害について身近に考える具体的な材料とすることで、大都市域の盛土斜面をフィールドとして、社会学的な見地から住民が自らのリスクを認識する手法を開発する。

6) 特に、阿蘇地域において、熊本地震時の未崩壊斜面においてボーリング調査、ボーリング試料の土質試験、ボーリング坑内での物理観測を実施して、強震動による地すべり現象発生のポテンシャルを評価する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度（令和1年度）においては、南海トラフ巨大地震をターゲットとし、主に四国山地および沿岸部の急峻斜面において、過去に発生した地震時の重力変形斜面での崩壊事例を収集し、周辺の非崩壊斜面と対比しつつ、崩壊した斜面の地質構造の特徴を抽出する。大規模崩壊の痕跡、重力変形斜面、堰止め湖などの痕跡をGIS上で抽出し、地質・地形調査を行うとともに重点調査箇所の設定を行う。

降下火砕物が厚く覆う東北地方や関東地方を広く調査対象地域として、下記の検討を進める。現地踏査や既存のボーリングデータの解析により、すべり面となる層準を探る。

重力変形斜面や海岸地すべり、盛土斜面などいくつかのタイプの斜面における地震観測網を拡充し、多点稠密な地震観測を展開する（令和5年度まで）。

火山研究センター斜面（高野尾羽溶岩ドーム）のボアホールにおいて傾斜計を設置し観測を開始する。また、GPS観測を継続する。また、高野台地すべりにおけるすべり面近傍のテフラや風化軽石層をサンプリングし、リングせん断実験をおこなうことにより、地震時のせん断挙動を明らかにする。

令和2年度においては、前年までに抽出した斜面について地質構造データを取得すると共にこれらの崩壊について前兆となる地形が存在していたかどうかを議論する。さらに崩壊が繰り返し発生している地域の岩盤劣化プロセスを、必要に応じて実施する地質調査、微地形調査、物理探査、掘削調査などから得られる試料の分析からモデル化し、予想される劣化プロセスとその周辺地形から崩壊危険場および危険範囲の分析を行う（令和4年度まで）。また、降下火砕物の空間分布を推定する方法を模索する。

適宜、地質調査結果に基づいて土質試験を実施し、すべり面の物理特性や動的なせん断挙動、流動特性を調べる（令和4年度まで）。

引き続き多点稠密な地震観測を展開する。また、地下水圧や傾斜・ひずみ等の斜面の変形に関する観測も新たに実施する。さらに、観測記録を解析し、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを評価する（令和4年度まで）。

住民との協働イベントの準備を開始する。

火山研究センター斜面では、傾斜観測、および、GPS観測を継続する。また、京都大学火山研究センター斜面、烏帽子岳や長野地区周辺における、2016年熊本地震時に崩壊しなかった斜面でボーリング候補地を選定する。

令和3年度においては、重力変形斜面で地質調査を継続する。また、降下火砕物の層準の空間分布を推定する方法を模索し、噴火史や給源の位置からその分布が推定可能か議論する。適宜、土質試験を実施する。

引き続き地震等の観測と解析をおこない、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを評価する。

住民との協働イベントを実施する。

火山研究センター斜面では、傾斜観測、および、GPS観測を継続する。ボーリング掘削を実施し、地質層序を明らかにするとともに、ボーリング坑内での地震動や水圧などの連続観測を実施する。ここで採取されるコアに対しても土質試験を行う。

令和4年度においては、重力変形斜面で地質調査、降下火砕物の分布推定、土質試験を継続する。

地震等の観測を継続する。地下水の変動や斜面の永久変形を引き起こしたイベントについて、その時の地震動記録とともに整理する。

必要に応じて、住民との協働イベントを再度実施する。

火山研究センター斜面では、ボーリング坑内での地震動や水圧、傾斜の観測、および、GPS観測を継続する。また、コアに対して土質試験を行う。

令和5年度においては、四国地域の調査においては、これまでに得られたデータの統合を行い、より有用なハザードマップの作成を行う。火山地域においては、降下火砕物の層準の空間分布から地震動によって崩壊しうる斜面のマッピングが可能か議論する。その際、土質試験の結果を解釈にフィードバックする。

変形と地震動を比較することで、斜面変状にどのような地震動が影響を与えるかの評価をおこない、どのような地盤／斜面がどのような揺れでどの程度塑性化するか、斜面が不安定化した際にどの程度の永久的な変形が残るかを、観測から明らかにした斜面内の地震動のばらつきを参照しながら検討する。

協働イベントの結果を検討する。

火山研究センター斜面では、土質試験結果や、ボアホール坑内観測結果に基づき、すべり面の地震動応答特性（間隙水圧変化や斜面の変形）を明らかにする。そして、南海トラフ巨大地震により誘発される地すべりのポテンシャルを評価する。

(8) 令和5年度及び計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要：

・今年度の成果の概要

崩壊発生場の抽出に関する研究として下記の2点を実施した。まず、四国・九州内における過去の災害履歴を検討した結果、付加体域内に分布する砂岩領域において地すべり・深層崩壊が多発していることが判明した。砂岩が顕著に崩壊を発生させることはこれまで知られていなかったが、特に砂岩地域の中でもメランジュと呼ばれる変形帯の砂岩は深部まで亀裂が形成されており、さらには断層破碎作用によって中小角礫化している場所も分布していることが明らかになった。また、東京都目黒区の谷埋め盛土において、盛土の安定性評価の基本情報を非破壊で抽出できるか検討するため、谷埋め盛土を横切る2測線において約10 m 間隔の稠密微動観測を実施した。その結果、旧谷筋と地山でH/Vスペクトル比の卓越周波数および形状に違いがあることが分かった。一方、卓越周波数から推定されたS波の多重反射が起こっている深度は盛土の層厚よりも数 m 程度大きくなり、旧河川の沖積層の影響も含んでH/Vスペクトル比の卓越周波数が形成されていることが示唆された。

さらに、崩壊発生メカニズムに関する研究として下記の2点を実施した。2022年12月31日に融雪による間隙水圧の上昇で発生したと考えられる山形県鶴岡市の斜面崩壊について、2019年6月18日の山形県沖の地震時に崩壊しなかった理由について現場で採取した試料に対してリングせん断試験を実施することで明らかにした。また、高知県大豊町と北海道釧路町においてそれぞれ5-20 m間隔で複数の地震計を設置する超稠密地震計アレイを構築し、地すべり内での地震動の多様性の特徴を観測から明らかにした。同じ地すべり内であってもある閾値を超えた高周波数帯では観測点固有の増幅を示すことがわかり、従来の地震地すべりの安定計算について高度化できる可能性が示唆された。令和3年度に設営した火山地域の斜面における傾斜計・間隙水圧計・インターバルカメラの観測を継続し、地震から7-8年経過した斜面の変形、および、降雨イベントに対する斜面の水文応答について事例を収集した。

2023年トルコ・シリア地震、2023年5月石川県能登地方の地震、令和6年能登半島地震の現地調査を実施した。2023年トルコ・シリア地震においては再活動型地すべりの拡大などいくつかの型に斜面崩壊が分類できることが分かった。令和5年5月に発生した能登半島地震においては、国土地理院の干渉SAR観測・解析の結果を元に現地調査を実施し、2箇所で低角度で小変位の地すべりが発生していることを確認した。令和6年能登半島地震においては、地すべり地形が同定される斜面や谷埋め盛土の谷頭で大規模崩壊が発生していることが分かった。また、大規模崩壊を起した自然斜面では、崩壊物の流動性が非常に高く、長距離流走していることが見られた。

・計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要

研究はおおむね計画通りに進行した。

崩壊発生場の抽出に関する成果として、主として南海トラフ巨大地震時の深層崩壊を念頭に置き、過去の斜面崩壊に共通する地質的特徴の洗い出し、高密度航空レーザーデータや国土地理院による干渉SAR解析画像を用いた危険斜面の抽出、地震時に斜面崩壊を発生しうるテフラの分布図（東日本版）の作成をおこなった。

また、崩壊発生メカニズムに関する成果として、地すべり地の空間的に多様な地震動特性の抽出、地すべり変位の地震直前の安全率依存性、盛土材質による間隙水圧応答特性の違い、粘土鉱物ハロイサイトの構造の違いとせん断特性などについて明らかにした。これらのことから、現場安全率や現場地震動を考慮した斜面安定計算手法や地震時の斜面変位の見積もり手法について高度化を進める見通

しを得た。

さらに、地震地すべりの先行降雨の影響を見積もるため、および、強震後の長期的な斜面の変形を明らかにするため、傾斜計・間隙水圧計・インターバルカメラを2016年熊本地震で崩壊した熊本県南阿蘇村のテフラ斜面上方に設置し、令和3年度から観測を継続した。その結果、年間0.005度程度の傾斜変化を伴う定常的な変形が現在も進行していることを確認し、さまざまな降水イベントに対する土壌水分の時間変化を観測できた。地震後の長期的な斜面変形についての知見や先行降雨が地震時地すべりに与える影響を見積もるための基礎情報を得た。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題は地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法について高度化を目指すものであるが、斜面崩壊が発生しうる危険斜面の特徴を新たに抽出することによってハザードマップの高精度化に寄与し、地震時の斜面の挙動について地震観測、土質実験などから明らかにすることで、斜面の安定計算に対して新たな視点を提示した。今後、この知見を活用し、具体的なマップの作成や高度化された安定計算手法の開発を進めていくことが必要である。また、火山噴出物による災害誘因の事前評価手法に対しても、本課題で得たテフラの地すべりに関する知見を活用することで、地震時崩壊の事前予測に貢献できる。さらに、本課題では、総合的研究が扱う南海トラフ沿いの巨大地震、首都直下地震、千島海溝沿いの巨大地震で被害が想定されるいずれの地域においても調査を実施し、知見を得ている。

(9) 令和5年度の成果に関連の深いもので、令和5年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

山崎新太郎,2024,国土地理院・干渉SAR時系列解析結果を用いた四国山地の斜面変動推定領域の抽出,日本地すべり学会誌,査読有,謝辞有

山崎新太郎・渡邊達也,2023,砂岩の風化した断層破碎帯を素因とする破壊的流動性崩壊,日本地すべり学会誌,60,6,doi:10.3313/jls.60.274,査読有,謝辞有

永田秀尚・山崎新太郎,2023,付加体に発達するスラストをすべり面とする熊本県宮目木谷地すべりと2020年7月豪雨による崩壊,日本地すべり学会誌,60,6,doi:10.3313/jls.60.259,査読有,謝辞無

荒井紀之・山崎新太郎・土井一生,2023,三波川帯における深層崩壊斜面の地震動計測－高知県大豊町トウジ山の地すべりを事例として－,日本地すべり学会誌,60,6,doi:10.3313/jls.60.265,査読有,謝辞有

土井一生・釜井俊孝,2023,谷埋め盛土における地震時の過剰間隙水圧の振る舞い－横浜市内における観測データからの結果－,日本地すべり学会誌,60,2,doi:10.3313/jls.60.72,査読有,謝辞有

大澤光・土佐信一・松浦純生・柴崎達也・土井一生・岡本隆,2024,大変位高速地すべりのための高分解観測システムの開発とその観測事例,日本地すべり学会誌,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

山崎新太郎,2023,特徴的な変形作用を受けた結晶片岩で発生する四国山地の深層崩壊,日本地球惑星科学連合2023年大会,HDS10-03

山崎新太郎,2023,砂岩の変形と風化がもたらした深層崩壊の集中的発生場,日本地質学会第130年学術大会,G3-O-1

山崎新太郎,2023,四国山地の斜面災害発生場の特徴と徳島県・有瀬地すべりに関して,砂防学会中四国支部2023年シンポジウム

山崎新太郎,2023,付加体メランジュの砂岩地域における深層崩壊の多発,日本地すべり学会第62回研究発表会,2-5

土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・柴崎達也・土佐信一,2023,稠密地震観測から推定される地すべり内の地震波伝播の不均質性(その2),Japan Geoscience Union Meeting 2023,SSS07-P02

王功輝・巫昇山・土井一生・古谷元・渡部直喜,2023,On the initiation and movement of a deep-seated bedrock landslide triggered by the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake,Japan Geoscience Union Meeting 2023,HDS05-P19

大澤光・土井一生・荒井紀之・東良慶・渡壁卓磨・山川陽祐,2023,線状凹地を有する地すべり地における地盤構造の推定,Japan Geoscience Union Meeting 2023,HDS10-02

土井一生・釜井俊孝,2023,谷埋め盛土における稠密常時微動観測,(公社)日本地すべり学会第62回

(2023年度) 研究発表会,2-8

G. Wang, S. Wu, I. Doi, G. Furuya, N. Watanabe,2023,A translational deep-seated bedrock landslide triggered by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake,XIV IAEG Congress 2023,B621

(10) 令和5年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地盤：微動探査・弾性波探査・速度検層
概要：谷埋め盛土において稠密常時微動探査をおこなった
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：東京都目黒区
調査・観測期間：2023/3/24-2023/3/24
公開状況：

項目：地震：地震：短周期地震観測
概要：斜面の地震動と変形を計測する
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：高知県大豊町
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：

項目：地震：地震：短周期地震観測
概要：斜面の地震動を計測する
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：奈良県五條市
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：

項目：地震：地震：短周期地震観測
概要：斜面の地震動や傾斜、変形を計測する
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：北海道釧路町
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：

項目：地震：地震：強震動地震観測
概要：斜面の地震動を計測する
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：北海道根室市
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：

項目：地震：地震：短周期地震観測
概要：斜面の地震動を計測する
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：愛媛県久万高原町
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：

項目：：斜面の総合計測
概要：斜面の傾斜、水分量、水圧を計測する。
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：熊本県南阿蘇村
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：

(11) 次期計画における課題名：

地震時地すべりの準備過程から発生後の災害に至るまでの総合的な事前評価手法の高度化

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

土井一生（京都大学防災研究所 ※総括、サブテーマ2（主査）、サブテーマ3）、王功輝（京都大学防災研究所 ※サブテーマ1、サブテーマ3、サブテーマ2）、山崎新太郎（京都大学防災研究所 ※サブテーマ1）、松四雄騎（京都大学防災研究所 ※サブテーマ1）

他機関との共同研究の有無：有

千木良雅弘（深田地質研究所 ※サブテーマ1（主査））、大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科 ※サブテーマ3（主査））、西山賢一（徳島大学 ※サブテーマ1）、釜井俊孝（所属無 ※サブテーマ2）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4113

e-mail：doi.issei.5e@kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：土井一生

所属：京都大学防災研究所