

(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を決定を行う。

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4年度の成果の概要：

### ・今年度の成果の概要

四国山地中央部の地震と関係する深層崩壊地およびその周辺環境の検討を行っているが、20世紀以降発生した深層崩壊地を調査したところ、本年度は特に以下が明らかになった。（1）泥質片岩または珪質片岩であること、（2）褶曲作用に伴う軸面劈開が発達している場所であること、（3）河川の攻撃斜面または谷の遷急点付近。（2）の褶曲および軸面劈開は（1）に示す泥質片岩および珪質片岩に発生しやすい。そして、深層崩壊地は例えば流れ盤の徐動性地すべりが発生する場所は、これらとは関係なく発生していることが判明した。深層崩壊地の場合、特に高角度の姿勢を持つ亀裂が重要であると考えられる。それは、亀裂が急速な岩盤内部への水の流入経路となり、地震時には、亀裂がもたらす直立板状の構造が水平動の影響を受けやすいと考えられるからである。（2）の軸面劈開は四国山地南部では鉛直姿勢であることが多く、四国山地南部では地域的に共通する性質であることを確認した。また、高密度地形データから作成した地形表現図をベースに踏査を行ったところ、

（3）の河川と関係する特徴も明らかになった。つまり、上記の地質条件を備えた場所で、河川侵食が影響すると、重力斜面変形によって、斜面が伸長し、亀裂が開く、そして深層崩壊の準備段階が完成する。そのような時に地震や豪雨があれば、崩壊が発生することが示唆された。

上記の地質的な特徴を持つ高知県大豊町のトウジ山斜面において、地震動と斜面変形、変動の関係を明らかにするため、令和2年度から地震・斜面観測をおこなっている。前年度に明らかにされた斜面における地震動の増幅特性の成因を明らかにするため、本年度は簡易貫入試験と表面波探査を実施し、過去の崩壊物の厚みと弾性波速度を推定した。その結果、崩壊物が徐動性の地すべりを呈する地点における増幅特性は崩壊物内における地震波の多重反射で説明できることが分かった。また、2年強にわたる傾斜の連続観測の結果、温度変化によるセンサーのノイズレベルとの分離がやや難しいものの、多雨期後に微小な傾斜変化があったことが認められ、重力変形が進行していることが示唆された。

また、横浜市の盛土において地震動と間隙水圧の同時観測をおこなった結果について解析したところ、以下の強震時の地盤の塑性的な変形に伴う過剰間隙水圧の上昇の特徴がわかった。過剰間隙水圧の上昇量は地震動の瞬間的な大きさよりも継続的な大きさと深い相関を持った。東京都目黒区の盛土における過剰間隙水圧の上昇時間が地震動の継続時間と同じオーダーを持つのに対して、横浜市においては1桁から2桁大きなオーダーを持った。盛土の材質などの影響が示唆され、盛土の安全率を評価するうえで盛土固有の特徴を把握する重要性が指摘された。

斜面の安全率を評価する方法として、震度法やNewmark法が広く使われているが、これらの方法では斜面を剛体として扱い、斜面内部の地震動も同様であることを仮定している。そこで、斜面内部の地震動の不均質性の有無を観測から明らかにするため、ブロック化が進行した北海道釧路町の地すべりにおいて稠密地震観測を実施した。その結果、低周波帯においては、観測点間の位相差は0に近い値を示すのに対し、高周波数帯においては位相が観測点間で大きく異なり、斜面内部の変形が示唆された。これらの特徴から斜面内部での地震波の伝播特性を抽出することで、斜面安定計算の高度化に資すると考えられる。

2016年熊本地震によって崩壊した火山研斜面において土壌水分計と傾斜計による観測を継続した。渇水時期に不飽和状態ある地盤が、大雨の時に飽和状態になり、静水圧が生じることが分かった。これにより、熊本地震発生時の有効先行降雨量および斜面崩壊への影響を解明することが期待できる。

また、1年強にわたる観測期間において傾斜が0.01度/年程度継続的に変形していることが分かった。既往研究によって、強震を受けた盛土が地震後も年単位で不安定となり変形したことが指摘されており、テフラの斜面も数年以上にわたって変形が継続している可能性が示唆された。

・「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

本年度の成果は、①地震時にどのような地質を持つ斜面が崩壊しうるか、②降雨によってどのような水文環境となるか、といった斜面崩壊の素因の評価に加え、①地盤のどのような条件によって地震動が増幅するか、②過剰間隙水圧がどのように発生するか、③斜面内部で地震波がどのように伝播するかといった地震動が入力された際の斜面の挙動についても知見を与えている。さらに、強震後の長期的な斜面の変形も提示する。これらは地震時に危険な斜面の抽出の手掛かりとなり、地震時の斜面の安定計算への必須のインプットとなるものであることから、今後の研究の発展によってより精緻なハザードマップの作成に寄与すると考えられる。また、四国地方中央部、首都圏、北海道南東部を研究対象領域としており、総合的研究の対象とする地域においてどのような斜面災害が発生しうるかの知見を提供するものである。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4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

Doi I., S. Matsuura, H. Osawa, T. Shibasaki, and S. Tosa, 2022, Effects of slope instability on coseismic landslide susceptibility during earthquakes, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81, doi: 10.1007/s10064-022-03015-0, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Yamasaki, S., 2022, Pelitic schist with epigenetic deformation, as a geological factor of deep-seated landslides, 日本地球惑星科学連合2022年大会, HDS07-05

山崎新太郎, 2022, 四国中央部における泥質片岩で発生した深層崩壊の地質学的背景, 日本応用地質学会中四国支部令和4年度研究発表会, 11

山崎新太郎, 2022, 深層崩壊の背後にある多様な地質背景, 第61回日本地すべり学会研究発表会, S-6

王功輝・劉百川・土井一生・釜井俊孝・大倉敬宏, 2022, Unraveling the role of halloysite on the initiation and movement of coseismic landslides of pyroclastic fall deposits: a case study, 日本地球惑星科学連合2022年大会, HDS07-10

土井一生・小原一成・王功輝・釜井俊孝・千木良雅弘, 2022, 愛媛県久万高原町南東部において観測される繰り返し地震波形の時間分布, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS13-05

土井一生・釜井俊孝, 2022, Observation of the pore water pressure response to strong ground motion in a filled slope in Yokohama city, 日本地球惑星科学連合2022年大会, HDS07-03

土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・柴崎達也・土佐信一, 2022, 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, 第61回日本地すべり学会研究発表会, 2-21

(10) 令和4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：その他：斜面の地震と変形の観測

概要：紀伊山地の重力変形斜面において地震動と変形の長期観測をおこなった。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：奈良県天川村栃尾地区

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形・水圧の観測

概要：地震動と変形、間隙水圧の同時観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：神奈川県横浜市三ツ沢下町

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形・水圧の観測

概要：テフラの崩壊地において、地震時の地震動、変形と水圧を計測する。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：熊本県南阿蘇村高野台地区

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：受け盤の大規模岩盤地すべりにおいて地震観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：愛媛県久万高原町川下地区

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：深層崩壊斜面において地震動の観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：奈良県五條市赤谷地区

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：強震動地震観測

概要：海岸沿いの岩盤地すべりにおいて強震観測と変位の計測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道根室市長節地区

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形・水圧の観測

概要：海岸地すべりにおいて地震動の稠密観測などをおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道釧路町仙鳳趾地区

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形の観測

概要：四国地方の深層崩壊斜面において地震動と変形の同時観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県大豊町トウジ山地区

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県美馬市曾江谷川周辺

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県三好市西祖谷山村有瀬周辺

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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察  
概要：

既存データベースとの関係：  
調査・観測地域：高知県大豊町豊永・岩原周辺  
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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察  
概要：

既存データベースとの関係：  
調査・観測地域：高知県仁淀川町国道33号周辺  
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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察  
概要：

既存データベースとの関係：  
調査・観測地域：愛媛県松山市城山・国道33号周辺  
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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震観測

概要：2018年北海道胆振東部地震時に発生した大規模岩盤地すべり地における地震動の長期観測を実施する。

既存データベースとの関係：  
調査・観測地域：北海道厚真町幌内地区  
調査・観測期間：2022/8/-次年度も継続予定  
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震観測

概要：大規模再活動地すべりにおいて地震動の稠密観測などを行う

既存データベースとの関係：  
調査・観測地域：徳島県那賀町阿津江地区  
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：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

#### (11) 令和5年度実施計画の概要：

これまでの研究で、特に鉛直方向に発生した亀裂が地震時および降雨時の深層崩壊に関係することが判明したが、亀裂は特に地殻変形のプロセスで形成されていることも明らかになった。実際に、位置が詳しく判明している活断層の周辺で深層崩壊が発生している例が複数あることを筆者は確認しており、筆者はこれを活断層の変動を模擬した砂箱実験でも確認した。次年度は、四国山地内および東海地域で知られている断層周辺の岩盤を調査し、鉛直方向の亀裂と姿勢、そしてその深層崩壊への役割を明らかにする。そしてこれにより地震時崩壊ハザードマップ作成のための指針を提案する。

また、四国、紀伊山地、北海道、首都圏、火山研斜面で稼働中の地震や斜面の観測を継続する。特に、強震時の変形や間隙水圧、地震後の長期的な斜面の変形に関するデータを収集する。さらに、斜面における稠密地震観測を進展させ、地震動の地すべり内の伝播特性について明らかにする。

#### (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