

(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：

（和文）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
（英文）Sophistication on evaluation method of coseismic landslides from preparation to disaster stages

(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) 地震の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 地震動に起因する斜面変動・地盤変状の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(1) 南海トラフ沿いの巨大地震

(2) 首都直下地震

(5) 本課題の5か年の到達目標：

地震時地すべりは大地震のたびに発生し、地震による最も大きな災害要因の一つとなっている。近い将来、大規模な地震が予測される南海トラフ巨大地震や首都直下地震などにおいても、膨大な数の地震時地すべりが発生し、広域かつ甚大な被害に至ると考えられる。これまでの研究によって、地震時地すべりの地質・地形的な発生条件、特定の斜面における地震動増幅特性、強震時の斜面の変位特性や地下水挙動などが明らかになってきた。しかしながら、観測を未実施の斜面も含めた広域における斜面での地震波挙動や、地下水位の変化や末端侵食などによって時間変化する斜面の安定性の評価が十分ではなく、地震時地すべりのリスクを時空間的に広く把握するには至っていない。また、崩壊した土砂の流動性も災害を拡大する大きな要因であり、さらに、地震動で不安定化した斜面においてもその後の降雨によって災害が発生しており、地震時地すべりの発生場だけではなく発生後のリスクについても把握することが必須である。このようなギャップを埋めるべく本課題では、①地質・地形的な発生条件のさらなる体系化、②地質・地形と結びついた地震波挙動の解明、③時間変化する斜面の安全率を考慮した地震時地すべりリスクの把握、④崩壊土砂の移動機構の解明、⑤強震を受けた後の斜面の長期的挙動の把握などを視野に入れ、地質・地形的な調査、物理探査、長期的な観測を実施し、地震時地すべりの事前予測手法の高度化やハザードマップ作成に向けてどのようなアプローチが可能かについて、地震時地すべりの発生メカニズムに基づいて明らかにすることを目的とする。準備過程から発生時のメカニズム、発生後の影響に至るまで、地震時地すべりが関わる一連の現象を本課題では扱う。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

・地震時地すべりに特徴的な地質構造の抽出： これまでに付加体の大規模山地において得た重力変形斜面内部の地質構造など崩壊斜面に共通する地質構造以外にも、過去の地震時に局所的に崩壊箇所が集中する場所について地質構造の抽出を進める。R6-8年度には硬岩地域の中でも中央構造線など大変形を受けた地質帯に着目しフィールドでの地質調査やDEMなどを用いた地形解析をおこなう。R9-10年度には、このような変形を受けた地質帯がどのように重力変形において再利用され、地震時地すべりの発生ポテンシャルに影響を与えるかについて検討する。

- ・より危険な斜面の特定手法の開発： 地質や地形をもとに抽出された危険斜面の数は膨大であり、それらの間でも、内部における風化や変形の進行度によって、地震時の崩壊リスクは異なる。そこで、物理探査によって斜面内部構造を明らかにし、危険な斜面の特徴を抽出する方法を開発する。R6-8年度に調査地の選定や観測を実施、R9-10年度にハザードマップの高度化に向けた手法開発を進める。
- ・斜面内外における地震波挙動の解明： 上記に関連し、地質調査、物理探査、常時微動観測を観測地すべり内外において多点かつ稠密に実施し、観測斜面内および周辺の斜面において、地震動の不均質性が地形や地質などのどのような要因に支配されているかについて議論する。これまで地震観測を実施してきた四国山地、北海道南東部などをフィールドとし、R6-9年度に観測・調査の実施、R7-10年度に解析および地震波挙動との関係についての考察を予定する。
- ・斜面の安全率の変化と強震時の斜面の変位、変形の関係の把握： 特に不安定な斜面においては、（降水や融雪による）地下水圧の変化や末端侵食などによって斜面の安定性が大きく時間変化する。このような斜面において強震動と斜面の変位・変形を同時観測することで、斜面の安全率に応じて時間変化する地震時地すべりリスクの把握手法を模索する。これまで地震・斜面観測をおこなってきた北海道南東部および阿蘇地域の地すべりにおいて実施する。観測はこれまでのものを継続、拡充しながらR6-10年度に実施し、R9-10年度にリスクの把握手法の検討をおこなう。
- ・崩壊土砂の移動挙動の把握： 崩壊土砂の移動挙動によって、災害の範囲や被害が大きく変化する。しかし、これまでのハザードマップ作成には崩壊発生場所のみが記述され、どの領域まで崩壊物質が流出するか組み込まれていない。そこで、R6-8年度にはこれまでに崩壊した斜面から崩壊物質を採取し、リングせん断試験をおこなうことによって流走距離の見積もりの高精度化を目指す。また、R9-10年度には数値シミュレーションも活用し、ハザードマップにどのようにして組み込むことが可能かについての示唆を得る。
- ・強震を受けた斜面の長期的な挙動の解明： 強震を受けた宅地盛土斜面はその後も不安定となり、年単位で変形が継続することが指摘されている。このような現象を多様な斜面で明らかにするため、熊本地震時に崩壊したテフラ斜面におけるこれまでの観測をR6-10年度にわたって継続し、観測データに基づいてR9-10年度に長期的な影響を明らかにする。さらに、強震後の斜面の長期的な安定性の評価には地震後にどのようなモニタリングが必要となるか提案する。
- ・総合討論： 斜面のスケールや崩壊に至るタイムスパンが斜面によって大きく異なるため、上記の研究はそれぞれの目的に応じて適切な調査地の選定をおこなったうえで実施するが、地震時地すべりが関わる一連の現象として捉えた時に上記の研究がどのように結びつくかについての総合討論をR10年度に実施する。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本年度は、第2次からの斜面での観測を継続するとともに、令和6年能登半島地震についての災害調査を集中的に実施した。

地震時地すべりに特徴的な地質構造の抽出としては、下記の項目を実施した。四国地域の地震によって崩壊したと考えられている深層崩壊地の調査と令和6年能登半島地震で発生した地すべり地の地質構造、地形を重点的に調査し、国土地理院が公表している干渉SAR時系列解析結果において移動速度を持つ四国地方の斜面は仁淀川および吉野川の中流域・変成付加体地域に集中していることがわかった。また、令和6年能登半島地震で発生した崩壊地の地形・地質特性について現地踏査を行った。その結果、表層崩壊の崩壊深は、風化帯や熱水変質により形成された脆弱な土層の厚さと関係があることを指摘した。また、最大の崩壊である大久保崩壊地は、流れ盤構造をもつ珪質シルト岩が分布し、その下部に実質不透水層かつ膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトを含む凝灰岩が分布することが崩壊の素因であることを明らかにした。斜面内部の地下水環境を明らかにするために、これまで被災した谷埋め盛土において屈折波探査を実施し、2018年北海道胆振東部地震や2018年大阪府北部の地震などで被災したいくつかの谷埋め盛土で深さ数 m に地下水位が形成されていることを見出した。

さらに、地形や地質から推定される危険斜面の中で、より切迫性が高い斜面を抽出するために、地すべりなどの斜面において表面波探査や微動アレイ探査、三成分常時微動測定を行い、これらの手法により斜面の概略のS波速度構造を推定できることを確認した。機械学習により地質や微地形などを併せて物理探査結果を補間することにより、広域の三次元地盤構造を推定する手法を開発した。時間的に変化する斜面の安全率を評価するためのモニタリングにおいては、米国および日本国内において、微動アレイ探査を用いて浅部地盤のS波速度構造を連続測定し降雨に伴う明瞭なS波速度の変化を観測

した。

また、強震を受けた斜面のその後の影響についても令和6年能登半島地震の被害調査や第2次計画から継続する観測によって明らかにした。2023年5月5日の能登地方の地震において変状が認められた斜面のうち、珪藻質シルト岩の岩盤崩壊（珠洲市正院町）、再活動型地すべり（珠洲市馬繰町）、流紋岩海岸斜面の崩落（珠洲市真浦町）においては、令和6年能登半島地震において崩壊体積が拡大したり、変位量が大きくなる形で再度変状を呈したことが現地調査の結果から明らかとなった。熊本県南阿蘇村の火山研斜面においては、震度4程度の揺れによって、地震時に水圧（負圧）の変化が認められ、さらに、傾斜変化が地震後に観測された。震度4程度でも条件によっては土粒子の配置が変化したり、斜面が変形が進行することがわかった。

・「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

今年度明らかとなった地震時地すべりの素因に関する成果は、地震動に起因する斜面変動・地盤変状を事前評価することに直接寄与し、探査などのアプローチも他の場所に応用可能である。地形・地質的な特徴によって抽出した危険斜面のリスクの大小をどのように評価するかについても、まずは事例研究をスタートさせ、将来的に精度の良いハザードマップの実現に向けた手法開発を進めている。

また、研究対象地には南海トラフ沿いの巨大地震によって被害を受けうる範囲が含まれており、令和6年能登半島地震で被害を受けた斜面などで開発を進めている危険斜面・箇所の抽出方法に関しては、南海トラフ沿いの巨大地震や首都直下地震によって被害を受けうる斜面にも適用可能である。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6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

松澤 真, 下村 博之, 花川 和宏, 末武 晋一, 木村 一成, 渡壁 卓磨, 佐藤 昌人 (2025) : 令和6年能登半島地震により発生した崩壊の地質的特徴, 令和6年度能登半島地震災害調査団報告書, 37-44., 査読無, 謝辞無

松澤 真, 渡壁 卓磨, 佐藤 昌人, 下村 博之, 花川 和宏 (2025) : 令和6年能登半島地震により発生した大久保崩壊の地形・地質的特徴, 令和6年度能登半島地震災害調査団報告書, 71-77., 査読無, 謝辞無

花川 和宏, 末武 晋一, 松澤 真, 木村 一成, 下村 博之 (2025) : 令和6年度能登半島地震における安山岩質火山岩類分布域で発生した斜面崩壊の地形・地質的特徴, 令和6年度能登半島地震災害調査団報告書, 66-70., 査読無, 謝辞無

林宏一 (2024) : 表面波を用いる探査法の原理とその応用, 基礎工, 2024-3, 18-24., 査読無, 謝辞無

林宏一 (2024) : 地盤工学と物理探査の架け橋 - 空間的な補間と時間的な補間 -, 地盤工学会誌, 72, 6, 7-12., 査読無, 謝辞無

荻野将樹, 山中稔, 林宏一, 中田卓, 嘉村哲也 (2024) : 常時微動探査による地層区分と熊本城三次元地盤図を援用した石垣被災要因の検討, 地盤工学ジャーナル, 19, 143-156, <https://doi.org/10.3208/jgs.19.143>., 査読有, 謝辞無

中島康介, 藤岡一頼, 上野慎也, 八嶋厚, 山崎充, 沢田和秀, 村田芳信, 小西千里, 林宏一, 町島祐一 (2024) : 交通規制を伴わない高速道路土工構造物ヘルスマニタリングへの挑戦, 土木学会論文集, 80, 5, <https://doi.org/10.2208/jscejj.23-00249>. 荻野将樹, 山中稔, 林宏一, 中田卓, 嘉村哲也 (2024) : 常時微動探査による地層区分と熊本城三次元地盤図を援用した石垣被災要因の検討, 地盤工学ジャーナル, 19, 143-156, <https://doi.org/10.3208/jgs.19.143>., 査読無, 謝辞無

Hayashi, K., Suzuki, T., Inazaki, T., Konishi, C., Suzuki, H., and Matsuyama, H., (2024) : Estimating S-wave velocity profiles from horizontal-to-vertical spectral ratios based on deep learning, Soils and Foundations, 64, 6, 101525, ISSN 0038-0806, <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101525>., 査読有, 謝辞無

山崎新太郎, 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, 62 巻 1 号 p. 20-25, DOI <https://doi.org/10.3313/jls.62.20>, 査読有, 謝辞有

山崎新太郎・渡邊達也, 令和5年および令和6年能登半島地震前後の干渉SAR解析と現地調査で確認された斜面変動事例, 日本応用地質学会, 令和6年能登半島地震災害調査団報告書, III-8., 査読無, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

山崎新太郎, 斜面災害場所評価のための地域地質特性の把握の重要性, 2024年日本地すべり学会研究発表会(仙台), 4-16

山崎新太郎, 地質構造に起因する崩壊が多発する付加体砂岩地域, 日本応用地質学会令和6年度研究発表会(高松), 84

山崎新太郎, 四国山地の深層崩壊と地すべり, 2024年日本応用地質学会中四国支部総会(招待講演)

岡庭信幸・土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・土佐信一・柴崎達也・大石怜生・澤田麻沙代(2025): 地すべり内部構造と地震動の特徴との関係性把握に向けての試みー北海道釧路町仙鳳趾地すべりを例としてー, 日本地すべり学会第63回研究発表会, 1-14.

大澤光・土井一生・松浦純生・土佐信一・柴崎達也・岡本隆(2025): 急崖裸地斜面の土砂侵食量を観測する試み, 日本地すべり学会第63回研究発表会, 2-33.

Yamasaki, S. Mineralogy of Pelitic schist relating to Landslide and Weathering, XIVth International Symposium on Landslides (France, Chambéry), A10397SY

Yamasaki, S. Wide-Area Landslide Observation Monitoring Using JAXA/GSI Interferometric SAR Analysis and Distribution Characteristics of Active Landslides in Shikoku Mountains, Japan, 2024 American Geophysical Union, Annual Meeting, 1541737

Hayashi, K., Matsuzawa, M., Kikuchi, T., and Sakaki, S. (2024): Seismic response at a gravitational slope deformation based on geophysical measurements and numerical simulation, American Geophysical Union 2024 annual meeting.

Hayashi, K., Suzuki, T., Inazaki, T., Mima, K., Konishi, C., and Suzuki, H. (2024): Estimating regional 3D S-wave velocity model from active/passive surface wave methods and horizontal-to-vertical spectral ratios based on deep learning, 3rd Edition Workshop on Geophysical Aspects of Smart Cities.

林宏一, 鈴木徹, 横澤航生, 坂西啓一郎, 稲崎富士, 美馬健二, 小西千里, 鈴木晴彦(2024): 京都盆地における表面波探査・微動アレイ探査および単点三成分常時微動の測定, 物理探査学会第150回学術講演会.

土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・土佐信一・柴崎達也・澤田麻沙代(2024): Ultra-dense seismic observation in and around a seashore landslide, 2024 Japan Geoscience Union Meeting, HDS08-P19.

Hayashi, K., Suzuki, T., Inazaki, T., Mima, K., Konishi, C., and Suzuki, H. (2024): Estimating shallow S-wave velocity structure at the Kyoto Basin by deep learning, 64th symposium on geotechnical engineering.

Hayashi, K., Matsuzawa, M., Kikuchi, T., and Sakaki, S.(2024): S-wave velocity profiles obtained from active and passive surface wave methods at gravitational slope deformation and their effect on surface ground motion from earthquakes, The Japan Landslide Society 63rd annual meeting.

Hayashi, K., Suzuki, T., Konishi, C., Suzuki, H., and Matsuyama, H.(2024): Predicting Vs profile from horizontal-to-vertical spectral ratio by supervised machine learning, 18th World

Conference on Earthquake Engineering.

Hayashi, K., Suzuki, T., Inazaki, T., Konishi, C., Suzuki, H., and Matsuyama, H., (2024) : Estimating S-wave velocity profile from horizontal-to-vertical spectral ratio based on supervised machine learning, 6th Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering.

Hayashi, K. (2024) : S-wave velocity changes associated with rainfall observed by continuous seismic ambient noise measurements, Society of Exploration Geophysicists of Japan 150th annual meeting.

Hayashi, K. (2024) : Near-surface shear-wave velocity monitoring using seismic ambient noise, 2024 Japan Geoscience Union Meeting.

松澤 真, 菊地輝行 (2024) : 表層傾斜計による重力変形斜面の観測～長野県辰野町的美濃帯分布域の例～, 令和6年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集

松澤 真 (2024) : 重力変形斜面の素因となる美濃帯の断層破碎帯の比較, 日本地すべり学会 第63回 (2024年度) 研究発表会講演要旨集

Makoto Matsuzawa, Effects of Fault Fracture Zones on the Formation of Gravity-Deformed Slopes ~A case study of Jurassic accretionary complexes~, American Geophysical Union 2024 annual meeting.

(9) 令和6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：その他：斜面の総合観測

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：

(10) 令和7年度実施計画の概要：

斜面崩壊の素因を明らかにする研究として、能登半島、四国山地の断層、それに関連する褶曲の存

在状態から周辺岩盤のテクトニックな損傷を評価することが地震性の斜面変動発生場の様式（拡散程度、危険性評価）に重要であることが判明したため、次年度計画ではこの視点を中心に現地調査を実施する。また、地すべりなどの斜面に物理探査手法を適用しその適用性を評価する。機械学習によりボーリングや物理探査結果などを併せて広域の三次元地盤構造を推定する手法を開発する。谷埋め盛土での調査も進め、滑動した盛土と安定な盛土の違いについて明らかにする。

さらに、地震前の斜面の安全率の変化を把握するため、微動アレイ探査を用いた浅部地盤のS波速度モニタリングを斜面に適用し、降雨時などの地盤物性の変化をリアルタイムで把握する。また、深層崩壊の恐れの高い重力変形斜面での表層傾斜計の観測を継続し、重力変形斜面の崩壊発生危険度の評価手法を検討予定である。

地震時の斜面の振る舞いについては、斜面での密な地震観測を継続し、観測点間の揺れ方の違いや地震波伝播の特徴について情報を抽出する。阿蘇の火山研斜面においては、熊本地震後8年経過しても変形が継続している様子が観測されたが、令和6年度途中で計器が故障してしまったため、新たにボーリング掘削し、観測の継続性を担保する。

(11) 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）,王功輝（京都大学防災研究所）,林宏一（京都大学防災研究所）,山崎新太郎（京都大学防災研究所）,松澤真（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,西山賢一（徳島大学大学院社会産業理工学研究部）

(12) 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：

(13) 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