

(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、地下水圧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り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7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

昨年度に引き続き令和6年能登半島地震時の斜面崩壊について集中的に調査を実施した。斜面崩壊の素因について、表層崩壊の発生場や崩壊深さを予測するうえで重要な風化帯構造に着目して調査した。この地域の地質は多様であるため、地質ごとに風化帯構造を比較して、風化帯構造の形成過程と表層崩壊の発生場についての関係を明らかにした。また、現地調査と地理情報システムを用いた分析の結果、流紋岩火砕岩からなる海岸線沿いの比高が大きく急傾斜の斜面において、割れ目沿いの岩盤崩壊、風化・変質火砕岩中の大規模な流れ盤地すべり、崩積土中のスランプ型地すべりといった多様な地震地すべりが発生したことが分かった。珪質シルト岩からなる山地では、珪質シルト岩の層理面がゆるい流れ盤を形成し地震地すべりのすべり面となった。層理面と他の地質分離面の組み合わせによるくさび体が流れ盤を構成する場合も含まれる。町野町の東西走向の尾根を持つ大規模崩壊斜面では、表面波探査の結果、崩壊斜面の滑落崖上方にすべり面の延長部を底面に持つS波の低速度領域が検出され、重力変形による緩み域が地震によって崩壊したことが示唆された。さらに、この斜面に置いて誘因となる地震動の特性を調べるため、余震観測を実施し増幅特性について調べたところ、H/Vスペクトル比が2Hzで3.6倍、4Hzで3倍となるピークを持った。また、多くの余震で2Hzの地震動の卓越方向は南北方向を持ち、地形効果により尾根と直交する方向に地震動が増幅されたことが示唆された。

また、主に南海トラフ地震などによって発生しうることが想定される西南日本における大規模岩盤崩壊については、大規模斜面災害の予測精度向上を目指し、四国山地をフィールドとして実施した基礎研究を実施している。今年度は地質構造上の弱面となる「急傾斜劈開構造」に着目した。その結果、四国山地内において不安定な構造を内包する複数の斜面を特定し、その運動特性や地質学的要因を明らかにした。また、これまで地震や降雨に伴って繰り返し崩壊が発生してきた四国の三波川帯南部に

位置するトウジ山では地表傾斜計による変形計測を2020年から行っている。2023年に追加した観測点の長期間の変形をまとめた結果、5月から10月にかけて、ほぼ斜面傾斜方向である北北西へ傾斜角が累積する傾向が認められた。累積傾斜角は2025年末時点で北方向に0.47°、西方向に0.25°である。

さらに、宅地盛土について、1995年兵庫県南部地震の際に多数の谷埋め盛土の変動が生じたことが報告されている西宮市を対象に、既往研究による谷埋め盛土の地形的な分析を発展させ、変動盛土の特徴を新たな見出した。具体的には、数十枚の空中写真を用い、SfM (Structure from Motion)-MVS(Multi-View Stereo) 技術を活用することにより、造成前後の地表表層モデルを作成し、その差分から盛土を抽出することで詳細な盛土の形状を明らかにした。その結果、地震時に変動した盛土は変動しなかった盛土に比べ、旧河川が蛇行したところに造成されていたことが分かった。

阿蘇地域における2016年熊本地震によって崩壊した斜面上方では2021年から連続して変形と水文の観測を実施し、長期的な変形を観測してきたが、落雷により多くの観測システムが被害を受け観測が中断していた。このシステムの回復と、さらなる水文状態の把握のための観測網の拡充を目的として、これまでと同じ地点および斜面上方に 25 m 上がった地点にボーリングを掘削し、傾斜計と土壌水分計、間隙水圧計を埋設し2026年2月10日より観測を開始した。

・「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

本課題は地震時地すべりについて、その発生の場合から発生後の長期的な影響まで総合的に扱い、地すべりの発生メカニズムの解明を通じて、事前予測手法の高度化を図るものである。今年度は主に発生の場合（素因）を解明することに主眼が置かれたが、日本国内のあらゆる地質に対応するべく、複数のフィールドにおいて調査を実施し、従来の地形的な特徴から推定されてきた危険度マップよりも詳細な地形・地質的特徴を明らかにし、マップの高度化へ向けた現象の解明が進んだと考えられる。調査地域には南海トラフ巨大地震の発生によって斜面災害の発生が予想される地域や宅地盛土が含まれており、「その他関連する建議の項目」にあげた「南海トラフ沿いの巨大地震」「首都直下地震」の災害軽減にも資するものである。今後は、誘因である地震動とこのような地質・地形的な特徴を関係づけて議論することで、事前予測手法のさらなる高度化を進め、高度化したハザードマップの作成への道順を提案したい。

(8) 令和7年度の成果に関連の深いもので、令和7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、渡壁卓磨、佐藤正人（2026）：地震時に発生した表層崩壊と風化帯構造の関係に関する一考察～令和6年能登半島地震の例～、応用地質、Vol.66、No.6、pp.1-12., 査読有, 謝辞無

S,Yamasaki (2026): High-density fold-cleavage structures as a controlling factor of landslides: A case study in the southern Oboke area of the Shikoku Mountains, Japan, *Geomorphology*, 495, 110137., 査読有, 謝辞有

林宏一、鈴木徹、稲崎富士、小西千里、鈴木晴彦、松山尚典、(2025)：深層ニューラルネットワークを用いた物理探査結果の空間的補間, *物理探査*, 78, 16-32., 査読有, 謝辞無

Pananont, P., Naksawee, A., Hayashi, K., Furlong, K., Pornsopin, P., and Muangnoi, S. (2025). Shear-Wave Velocity Structure and Site Response Analysis of the Bangkok Basin for Seismic Hazard Assessment, *Seismol. Res. Lett.* 96 (6): 3409–3420, doi: 10.1785/0220250142., 査読有, 謝辞無

Kongming Yan, Gonghui Wang, Nikolaos Nikitas, Ning Bao, Issei Doi, Zhigang Tao (2025): Time-frequency analysis on seismic response and pre-toppling damage evolution of anti-dip rock slope under earthquake sequences by shaking table tests, *Engineering Geology*, 108220., 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

- 松澤 真、渡壁 卓磨、佐藤 昌人 (2025) :令和6 年能登半島地震で発生した表層崩壊と風化帯との関係、令和7 年度 日本応用地質学会 研究発表会 講演論文集、pp.231-232
- 田近 淳、松澤 真、佐藤 昌人、渡壁 卓磨、千田 敬二、金山 健太郎、大津 洸介 (2025) : 微地形・表層地質から見た輪島市市ノ瀬地すべりの運動過程、2025年度 公益社団法人日本地すべり学会 第64 回研究発表会 講演要旨集、pp.270-271
- Makoto Matsuzawa, Takuma Watakabe, Masato Sato (2025) : Investigation of Weathered Zone Related to Shallow Landslides Triggered by the 2024 Noto Peninsula Earthquake in Oku-Noto, Japan , American Geophysical Union 2025 NH33C-0472
- 荒井紀之(2025) : 2024年能登半島地震により発生した地震地すべりの地質要因の究明-主に崩壊深度5m以上の深い地震地すべりを対象として-, 第62回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, pp.26-36.
- 荒井紀之・中山雅之・土井一生(2026) : 2024年能登半島地震により地震地すべりが群発した山地斜面の地震観測-輪島市町野町鈴屋の事例-, 令和7年度京都大学防災研究所研究発表講演会,D205.
- 林宏一, 野中隼人, ハバードピーター, 横田泰宏, 伊達健介, 升元一彦, 平貴昭, 曾我健一 (2025) : 分布型音響計測 (DAS) と三成分速度型地震計により得られた表面波探査および微動アレイ探査のデータの定量的な比較, 第73回光波センシング技術研究会.
- Hayashi, K., Martin, A. and Matsuzawa, M. (2025) : S-wave velocity profiles obtained by active and passive surface wave methods at the Portuguese Bend Landslide, 2025 Japan Geoscience Union Meeting.
- Hayashi, K., Matsuzawa, M. and Kikuchi, T. (2025) : P-SV and SH two-dimensional viscoelastic finite-difference modeling including surface topography, 7th Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering.
- 山田健太郎, 古谷元, 林宏一, 土井一生, 王功輝 (2025) : 輪島市町野町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153回学術講演会.
- 上野慎也, 藤岡一頼, 沢田秀和, 村田芳信, 八嶋厚, 山崎充, 井上雅王, 林宏一 (2025): 分布型音響センシングによる高速道路盛土のひずみ速度波形の評価, 土木学会第80回年次学術講演会.
- 上野慎也, 藤岡一頼, 沢田秀和, 村田芳信, 八嶋厚, 山崎充, 井上雅王, 林宏一 (2025): 分散型音響センシングにより確認された低速度帯の要因推定, 土木学会第80回年次学術講演会.
- Ueno,S., Murata, Y., Yamazaki, M., Fujioka, K., Yashima, A., Hayashi, K., and Ohno, Y. (2025): Expressway embankment health monitoring by DAS measurement, 29th International Conference On Optical Fiber Sensors, OFS100-71.
- Lorenzo, J. M., Zanetti, M. R., Haviland, H. F., Bremner, P. M., Tsoflias, G. P., Hayashi, K., and Karunatilake, S.(2025): Evaluation of Mobile Seismic Platform in Heterogeneous Regolith Simulant, Lunar and planetary science conference 2025.
- 山田健太郎, 古谷元, 土井一生, 林宏一, 王功輝, 山崎新太郎 (2025): 常時微動計測による輪島市町野町周辺の地盤構造, 日本応用地質学会北陸支部令和6年度研究発表会.
- Jiangkun He, Gonghui Wang, Gen Furuya, Issei Doi, Koichi Hayashi, Yasuhiko OKADA (2025): On the complex landsliding phenomena on Ichinose area triggered by the 2024 Noto Peninsula Earthquake, 日本地球惑星科学連合2025年大会, HDS07-06.
- 王功輝、古谷元、林宏一、土井一生、松澤真、孔明 (2025): 令和6 年能登半島地震時に発生した内灘町の液状化と地すべり現象について、日本地球惑星科学連合2025年大会, HDS07-P07.
- 土井 一生、王功輝、山崎新太郎、大澤光、古谷元、大石怜生 (2025): Landslides damaged by repeated earthquakes - in the case of the slopes in Noto Peninsula -, 日本地球惑星科学連

合2025年大会, HDS07-P10.

大石怜生、土井一生(2025): 地震時の盛土変動に影響する要因の検討、日本地球惑星科学連合2025年大会, HDS11-04.

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(2025): 稠密地震観測による地すべり地の地盤特性の把握に向けた試みー北海道釧路町仙鳳趾地すべりを例としてー、(公社)日本地すべり学会第64回研究発表会、2-29.

大石怜生、土井一生(2025): 常時微動観測と地形解析に基づく地震時の盛土変動に関する検討、(公社)日本地すべり学会第64回研究発表会、3-28.

大澤光、渡壁卓磨、土井一生、荒井紀之、東良慶、山川陽佑(2025): 線状凹地を伴う地すべりにおける地下構造の推定、(公社)日本地すべり学会第64回研究発表会、P-45.

(9) 令和7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: 斜面観測

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:

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:

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: 石川県輪島市

調査・観測期間: 2025/8/4-次年度も継続予定

公開状況:

項目: 地震: 地盤: 微動探査・弾性波探査・速度検層

概要: 盛土の内部構造と震動特性を把握する

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 兵庫県西宮市

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：

(10) 令和8年度実施計画の概要：

素因に関する研究として、以下のことがらを実施予定である。まず、令和6年能登半島地震により表層崩壊が群発した地域は、風化帯構造が素因となっていることが明らかとなったため、風化帯構造の形成メカニズムを解析する。また、令和6年能登半島地震により発生した最大の崩壊である大久保崩壊が起因する地質構造について詳細な調査を行う。続いて、主に南海トラフ地震などによって発生しうることが想定される西南日本における大規模岩盤崩壊については、本年度までの成果を基に、次年度は紀伊半島や静岡県東部等の深層崩壊発生地域へと調査範囲を拡大する。具体的には、これらの地域において急傾斜劈開構造の詳細な地質調査を実施するとともに、InSARデータを用いた広域的な斜面変動モニタリングを継続的に遂行する。四国山地で得られた知見を他地域で検証・適用することで、広域的な大規模斜面災害予測手法の高度化と、その知見の普遍性の立証を目指す。さらに、光ファイバを用いた振動計測（DAS）による浅部地盤のS波速度モニタリングを実用化し、地下の空洞やゆるみ領域の拡大をリアルタイムで把握する。手法の適用性を検討するために、数値シミュレーション、土槽実験、実大盛土実験を実施するとともに、空洞やゆるみ領域による変状が見られる地盤においてDASを用いた計測を行う。

誘因に関する研究として、北海道東部の地すべりで展開している多点地震観測網における観測記録の解析を進め、地すべり内外での地震波の詳細な伝播過程を把握し、地震時の地すべりの変位や内部変形に関する知見を抽出する。また、地すべりの変位量がどのように決まるかについて、強震時の地震動、地すべりの変位、間隙水圧の記録の収集を継続する。

阿蘇地域においては、今年度インストールしたセンサーも含め、変形と水文の観測を継続し、強震を受けた斜面の10年を超える時間スケールでの変形についてのデータ収集を目指す。また、これまでの強震時に得られた変形や水文変化の特徴を検討し、テフラ斜面特有の地震時の斜面変形・変動について解明を試みる。

(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