

# 研 究 報 告

令和 7 年 4 月 15 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 山口大学大学院創成科学研究科

氏 名 : 太田 岳洋

研究課題名 : 火山岩地域における地震動に起因した斜面崩壊発生に関わる地形地質的  
効果の基礎研究

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 6 年 4 月 1 日 ～ 至 令和 7 年 3 月 31 日

## 令和6年能登半島地震で発生した大規模地すべりの発生機構の解明

Mechanism of the Large-Scale Landslides Triggered by the 2024 Noto Peninsula Earthquake

山口大学大学院創成科学研究科 教授 太田 岳洋

### （研究計画ないし研究手法の概略）

令和6年能登半島地震により、石川県能登半島北東部にあたる輪島東～珠洲地区で斜面崩壊が多発し、複数箇所において大規模な地すべりが発生した。近年地震性斜面崩壊の研究は素因である地形と地質、及び誘因である地震動の観点から進められている。しかし、現在もこれらの結果に基づいた自然斜面における地震性斜面崩壊の対策はほとんど行われず、実務的な普及が課題である。また、地形・地質的特徴を反映した斜面モデルを用いた地震応答解析に関する研究は少なく、地質・地形・地震動を複合的に考慮した斜面崩壊の評価が必要である。そこで、本研究では令和6年能登半島地震で発生した大規模地すべりについて、①大規模地すべり地における素因（地形・地質）の解明、②大規模地すべり地の地形・地質的特徴を反映した斜面モデルの地震応答特性に関する解析的な検証、を目的とする。

本研究では、主に珠洲市若山町吉ヶ池で発生した大規模地すべりを調査対象とした。当該地域は新第三紀法住寺層（珪質シルト岩）と栗蔵層（流紋岩質凝灰岩）の境界にあたり、栗蔵層は法住寺層を整合に覆うとされる（吉川ほか，2002）。発災前後に取得されたDEMデータを利用し、当該斜面の発災前の微地形・不安定地形及び発災後の滑落崖・崩積土の分布の判読を行った。現地調査を行い、滑落崖周辺の地質構造を把握し、室内試験に供する岩石試料を採取し、それら岩石試料について密度試験、弾性波速度試験、一面せん断試験を実施した。岩石試料は当該地域だけでなく、当該地域と同様の地質条件である輪島市大久保～珠洲市北山の大規模地すべりにおいても採取し、試験を実施した。地形・地質的特徴及び岩石物性値を反映させた斜面モデルを作成し、実際の地震波形を斜面に作用させ地震応答解析を行った。本研究では、①単純な2層の地質分布、②①のモデルに想定層理面構造を追加、の2パターンの解析を行い、斜面の加速度・相対変位・せん断応力・せん断ひずみの応答特性について評価した。

### （実験調査によって得られた新しい知見）

#### 1. 地形・地質に基づく崩壊形態の推定

今回の地すべりは旧地すべり移動体を越え尾根部から発生しており（図1）、崩積土塊は構造を保持したまま滑動したと考えられる。発災前の斜面には層理面の明瞭な珪質シルト岩の上位に流紋岩質凝灰岩が分布し流れ盤構造を呈する。すべり面は珪質シルト岩の層理面にあたり、破碎により強度の低下した旧地すべり移動体が再滑動し、更にすべり面が旧滑落崖の後方に拡大したことで尾根部から初生的な地すべりが発生したと考えられる（図2）。

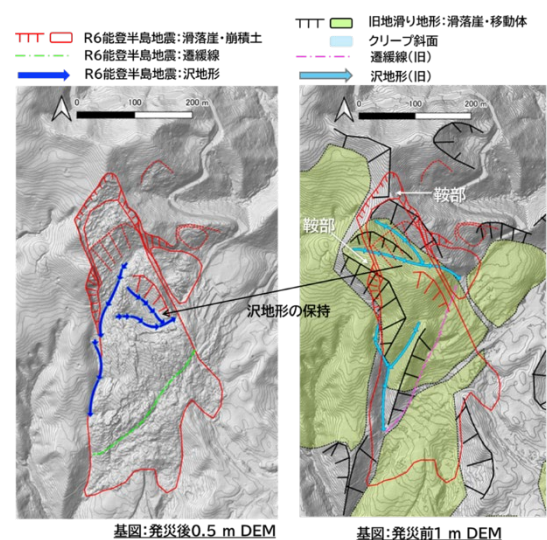


図1 発災前後の地形変化

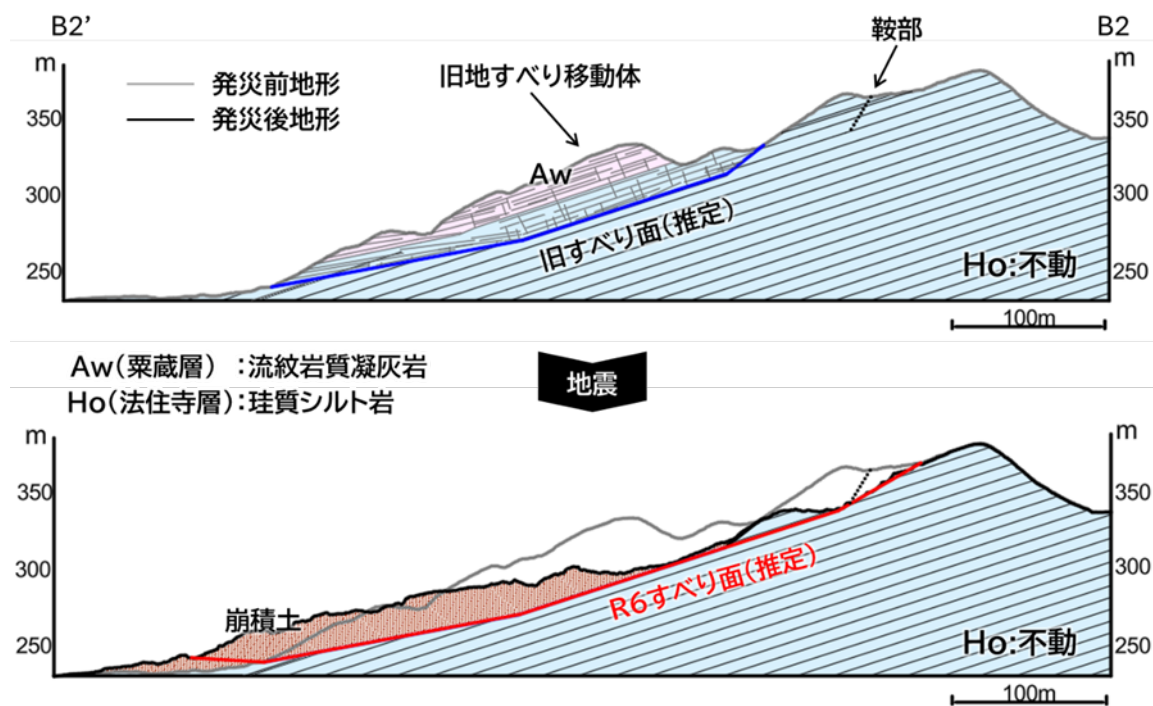


図 2 吉ヶ池の推定崩壊断面図

## 2. 大規模地すべり地岩盤の物性特性

大規模地すべりが生じた地質の物性特性の把握と地震応答解析モデルへの入力値の取得を目的として、密度試験、弾性波速度試験、一面せん断試験を実施した。その結果は以下の通りである。

### 1) 密度及び単位体積重量

法住寺層珪質シルト岩は、絶乾状態で  $1.21 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$ ,  $11.84 \sim 12.29 \text{ kN/m}^3$ , 自然状態（飽和度 18～35%）で  $1.34 \sim 1.37 \text{ g/cm}^3$ ,  $13.39 \sim 16.64 \text{ kN/m}^3$ , 飽和状態で  $1.66 \sim 1.70 \text{ g/cm}^3$ ,  $16.30 \sim 16.64 \text{ kN/m}^3$  であった。一方、栗蔵層流紋岩質凝灰岩は絶乾状態で  $0.82 \text{ g/cm}^3$ ,  $8.04 \text{ kN/m}^3$ , 自然状態（飽和度 14%）で  $0.91 \text{ g/cm}^3$ ,  $8.94 \text{ kN/m}^3$ , 飽和状態で  $1.48 \text{ g/cm}^3$ ,  $14.47 \text{ kN/m}^3$  であった。

### 2) 弾性波速度

珪質シルト岩では、絶乾状態の層理面直交方向の  $V_p$  が  $1538 \sim 1640 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  が  $609 \sim 1014 \text{ m/s}$ , 層理面平行方向の  $V_p$  が  $1819 \sim 2009 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  が  $1004 \sim 1093 \text{ m/s}$  であった。自然状態では、直交方向での  $V_p$  は  $1265 \sim 1322 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  は  $488 \sim 829 \text{ m/s}$  で、平行方向の  $V_p$  は  $1372 \sim 1546 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  は  $794 \sim 893 \text{ m/s}$  であった。流紋岩の弾性波速度は、絶乾状態で層理面直交方向の  $V_p$  が  $1295 \sim 1300 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  が  $807 \sim 812 \text{ m/s}$ , 平行方向の  $V_p$  が  $1441 \sim 1524 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  が  $750 \sim 883 \text{ m/s}$  であった。自然状態では、層理面直交方向の  $V_p$  が  $1022 \sim 1050 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  が  $652 \sim 691 \text{ m/s}$  で、水平方向の  $V_p$  が  $1127 \sim 1172 \text{ m/s}$ ,  $V_s$  が  $664 \sim 777 \text{ m/s}$  であった。

これらの弾性波速度の値から求められた自然状態における動ポアソン比、動せん断弾性係数は、珪質シルト岩でそれぞれ、 $0.21 \sim 0.41$ ,  $367 \sim 967 \text{ MPa}$ , 流紋岩質凝灰岩ではそれぞれ、 $0.22$ ,  $440 \text{ MPa}$  となった。

### 3) 粘着力とせん断抵抗角

流紋岩質凝灰岩 2 試料（2025050401, 2025050404）に対して一面せん断試験を行った結果を図 3 に示す。この結果から得られた 2 試料の粘着力とせん断抵抗角は、試料 20250401 ではそれぞれ  $31.3^\circ$ ,  $349 \text{ kPa}$ , 試料 2025050404 では  $27.0^\circ$ ,  $278 \text{ kPa}$  であった。

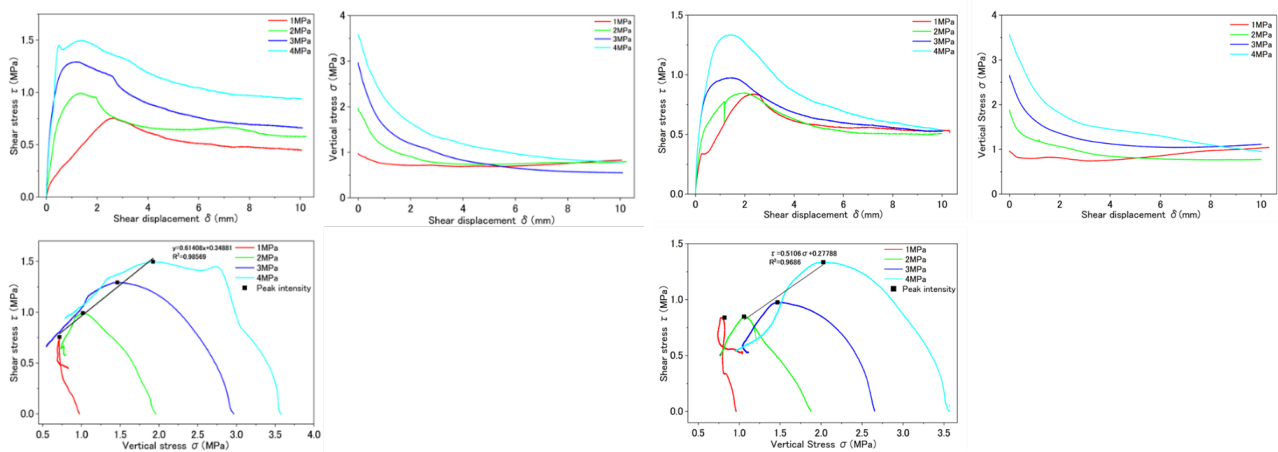


図3 流紋岩質凝灰岩の一面せん断試験結果（左：試料 2025050401，右：試料 2025050404）

また、珪質シルト岩の一面せん断試験結果を図4に示す。試料調整が困難であり、初期応力1 MPaの試験のみが実施できた。その時のピークせん断応力は、流紋岩質凝灰岩に比べて3倍以上大きな値を示した。

### 3. 地震応答解析による崩壊機構の推定

上記の地形・地質構造・岩石物性を反映させた斜面モデルを対象とした地震応答解析により以下の斜面応答特性が得られた。解析パターンは、栗蔵層と法住寺層の2層の地質分布を設定したパターン①とそれぞれの層内に層理面を設定したパターン②とした。パターン①，②共に斜面の高標高部かつ尾根部において南方向への応答加速度，相対変位の増幅が顕著に認められ，斜面地形による慣性力の増加が示唆された。これは浅野ほか（2006）で指摘される斜面地形がもたらす慣性力の増幅特性を支持する結果である。

また斜面の遷緩点を起点として最大せん断応力，せん断ひずみが連続的に分布し，想定地すべり発生域に広がる結果となった。2層の地質分布を設定した場合（パターン①）には，25.8sec後に地質境界の下位にそれに沿って直線的なせん断応力が生じた（図5）。このせん断応力の集中帯は地形解析や地質調査から推定された今回の地震によるすべり面とほぼ一致すると考えられる。また，層理面を設定した場合（パターン②）では，セ

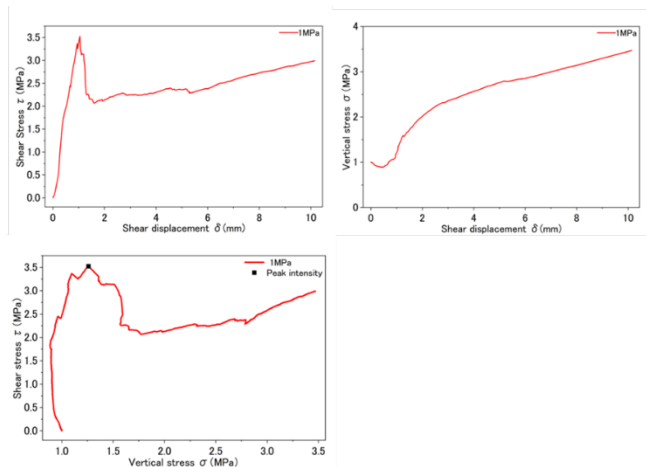


図4 珪質シルト岩の一面せん断試験結果

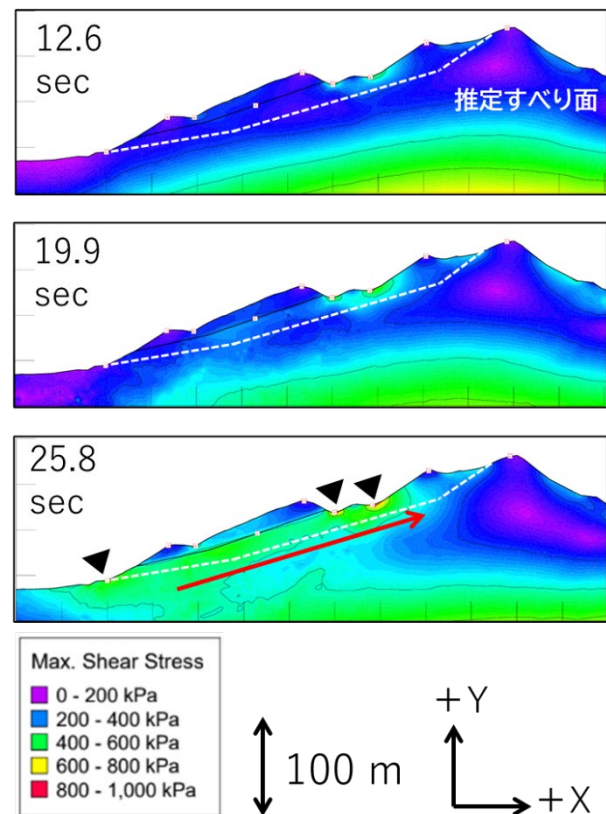


図5 パターン①でのせん断応力分布

せん断応力・ひずみが複数の層理面に沿って階段状に発生することが確認された（図 6）。なお、これらの結果を予備的に実施した地質を法住寺層珪質シルト岩単一層とした場合の結果と比較すると、斜面の遷緩点を起点としたせん断応力、ひずみの発生は同様であるが、直線的なせん断応力の集中は 2 層の地質分布を設定した場合のほうが顕著である。

以上の結果より、吉ヶ池における発災前の斜面地形は地すべりの破壊領域となり得るせん断応力、ひずみが発生しやすいといえる。また、物性の異なる地層が分布することにより、すべり面となり得る直線的なせん断応力の集中帯が発生することが明らかとなった。さらに、明瞭な層理面を有する斜面では、地震時に単一の層理面ではなく複数の層理面に階段状に破壊面が進行すると考えられる。

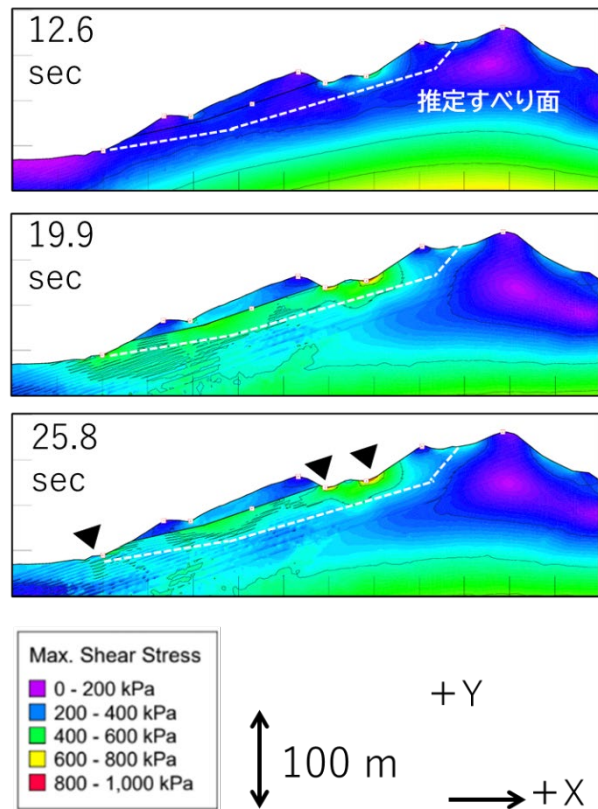


図 6 パターン②でのせん断応力分布

#### 4. 考察

素因に基づく崩壊形態の推定では、旧すべり面の再滑動および旧滑落崖後方へのすべり面拡大による初生地すべりの発生と推定した。旧地すべりが発生した際、すべり面は一枚の層理面のみを利用したのか、複数の層理面を階段状に利用したのかは不明であり、岩盤の破碎程度の評価ができていないため、弱面である旧地すべり面の再滑動に関する地震応答特性の議論は難しい。しかし、旧すべり面の拡大により尾根部から発生した初生すべりに関しては、すべり面は遷緩点を起点として複数の層理面を使用し階段状に形成された可能性が高いと考えられる。

#### 引用文献

- 浅野志穂（2004）：地すべり防止地区において地震力の影響を考慮した検討事例．地すべり学会シンポジウム「地震と地すべり」講演要旨集，pp. 46-49.
- 吉川敏之・鹿野和彦・柳沢幸夫・駒澤正夫・上嶋正人・木川栄一（2002）：珠洲岬，能登飯田及び宝立山地域の地質．地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅．

#### （発表論文）

- 黒木貴一，太田岳洋，瀧本真理（2026）：空中写真判読で推定された大規模な斜面崩壊過程，応用地質，Vo. 66，No. 6，pp. 262-268.
- 瀧本真理，太田岳洋（2025）：令和 6 年能登半島地震による栗蔵層の大規模斜面崩壊，防災科学技術研究所研究資料，No. 522，pp. 59-65.
- 瀧本真理，太田岳洋，黒木貴一（2025）：令和 6 年能登半島地震で発生した大規模地すべりの発生機構の解明，日本応用地質学会令和 7 年度研究発表会講演論文集，pp. 139-140.