

特集 能登の今 —令和 6 年能登半島地震による農林水産業の被害と復興への展望—
--

能登半島地震で発生した土砂災害の特徴

石川県立大学生物資源環境学部環境科学科

大丸裕武

はじめに

2024 年 1 月に発生した能登半島地震では多くの土砂災害が発生して人命や財産に甚大な被害を与えた。地すべりや崩壊、土石流の発生は奥能登のほぼ全域に及んだ。地震直後に国土地理院が空中写真判読を元に推定した斜面崩壊・堆積分布データでは、土砂災害の発生地点は 2000 か所以上を数えた。国土地理院のデータは速報性を重視したもので、被災地の緊急対策に大いに役立った。しかし、実際に現地を歩いてみると、このデータには記載されていない災害、つまり空中写真では認識できなかった土砂災害が多数発生していることに気づいた。地震で発生した緩傾斜地の地すべりの中には、明瞭な裸地が発生していないが地盤が森林や農地を載せたまま水平方向に数 m 移動したものが多数見られた。また急斜面では、完全な崩壊には至らなかったものの、クラックが発生して崩れかけた斜面も多く見られた。このような、変位が小さいが故に大きな災害に至らなかった斜面の中には 9 月の豪雨では崩壊が発生した場所も多く見られたことから、今後の土砂災害の卵とみることもできる。地震後の能登半島の防災を考えるには、このような地震によって脆弱化した斜面への対策が極めて重要と考えられる。以下では、これまでに明らかにされつつある研究成果を踏まえて、山地の地盤変動という観点から、今回の地震で発生した土砂災害の特徴を述べるとともに地震後の防災対策について考えてみたい。

隠れた地すべりをめぐって

今回の地震では能登半島の各地で、道路や上下水道の被害が発生し、このことが復旧対策の大きな足かせとなった。地震から半年も経つと、現地の復旧の遅れが報道されはじめ、行政組織の対応の遅れに言及する報道も見られるようになった。しかし、現地を歩くうちに、平野部だけでなく山地域でも地盤の変動が激しく、このことが道路や上下水道の復旧を難しくしていることに気づき始めた。図 1 は珠洲市の山地を通る切通しで見られた切土法面の変形である。地層の境界に沿って



図 1 珠洲市の切土法面に見られた地層に沿って生じた変位

すべりが発生し、上側の地層が 50 cm ほど飛び出しているのがわかる。能登半島では地層が緩やかに褶曲しており、地層の傾斜は 20 度以下の場所が多い。このため、図 1 のように地層に沿った変位が発生した場合は、地面は動いているのだが地表面に変状が現れにくく、地盤変動が起きたことに気づきにくい。地震後の能登で調査をしていると、実際には道路上に立っているのに、地図上で GPS が示す位置は道路から外れているという現象は頻繁に経験する。これは地震によって能登半島の地盤が動き、地震前に作成された地図と現実との間にズレが生じたためだと考えられる。国土地理院からは地震によって能登半島の電子基準点が西や南に移動したことが公表されているが、現地を歩くと地盤の移動量や移動方向は場所によって大きく異なり、地盤変動の実態はかなり複雑であることが実感できた。

このような地盤変動の多くは地殻変動や地すべり活動に起因すると考えられるが、その実態については、地震から 1 年以上経過した現在でも不明の点が多い。例えば、地すべりについてみても、今回の地震で発生した地すべり変動には奇妙な特徴がみられる。典型的な地すべりでは滑落崖と呼ばれる円弧状の急崖から地すべりブロックと呼ばれる凸型の地塊が分離する形の変動が見られることが多いが、今回の地震では明瞭な滑落崖が見られず、小さな山が山頂ごと、ひとまとまりの地塊として側方に移動する現象が多くみられる。輪島市真喜野地区の地すべり地では、地震によって各所で大規模な溝状の陥没地形が発生した（図 2）。図 3 は、この溝状地形が見られた場所の周辺の地形を、地震前と地震後の航空レーザー測量データから作成した CS 立体図で示したものである。CS 立体図は長野県が考案した地形表示技術で、赤色が尾根のような凸型地形を、青色が谷のような凹型地形を示す。空中写真では森林が邪魔をしてこのような森林下の地形は把握しにくいのが、航空レーザー測量による地形データでは、地震後に溝状の陥没地形が出現していることがはっきりとわかる。図 4 には、この溝状の地形を横断する 2 本の地形断面を示した。A-A' 断面では谷の右岸側斜面が地震後（赤線）には地震前（黒線）に比べて大きくえぐれており、地すべりが発生したことがわか



図 2 輪島市真木野地区の地すべりに発生した陥没地形

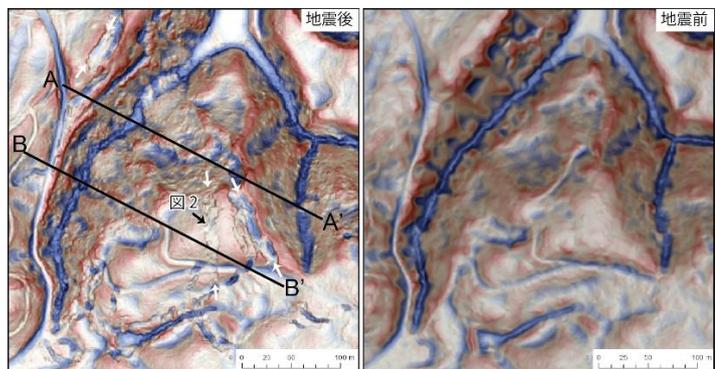


図 3 町野町真喜野地区の地すべりの地震前後の CS 立体図

白色の矢印で挟まれた場所で溝状の陥没地形が発生していることがわかる。地震前は森林総合研究所の地図タイルを、地震後は G 空間情報センターから公開された林野庁の地図タイルを使用した。

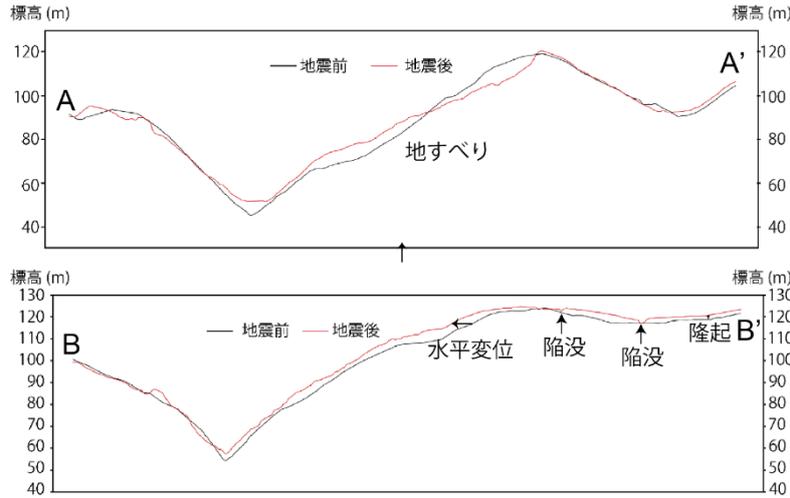


図 4 町野町真喜野地区の地すべりを横断する地震前後地形断面図

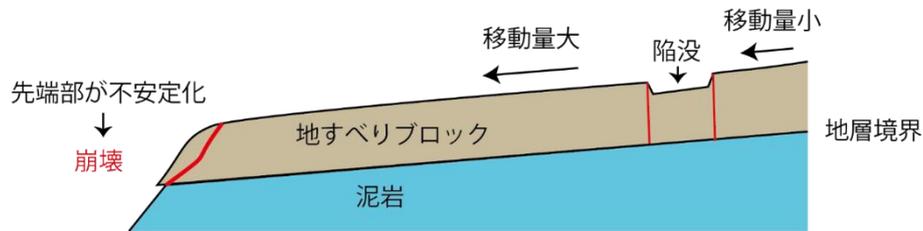


図 5 真喜野地区で発生した併進型地すべりの概念図

る。しかし、その南の B-B' 断面では谷沿いの斜面に小さな崩壊がみられものの、A-A' 断面の地すべりのような現象は見られない。その代わりに、地震後の地面（赤線）が全体的に隆起しつつ、地震前の地面（黒線）よりも 4 m 程度左側（西側）に水平移動していることが見て取れる。そして、西方向に移動した土塊の背後（東側）には、溝状に陥没した地形（図 2）が発生している。これは、溝地形を挟んで西側の土塊の動きが東側の土塊の動きよりも大きいため、両者の境界付近が落ち込んだことによる（図 5）。このように、元の地形を保持したまま水平方向に移動するタイプの地すべりは「並進型地すべり」と呼ばれ、今回の地震では能登半島北部の各地で発生したことが明らかになりつつある（向山他, 2025）。輪島市と珠洲市の境界付近にある八太郎峠では、峠付近の山体が頂上ごと 5 m 以上も移動したことが報告されている。しかも、山体の移動を引き起こした地層のずれは深さ 100 m 以上の場所で発生したと推定されている（菊池他, 2025）。このように、地震前後の地形情報を丹念に解析すると、地震による地盤変動の実態が徐々に浮かび上がってくる。石川県では、能登半島地震が起こる直前の 2020 年～2022 年にかけて、森林管理課によって山地域の航空レーザー測量が行われてインターネットで公開されていたため、日本中の研究者によって地盤変動の解析結果が明らかにされつつある。

このように、能登半島地震による地盤の変化は山体の深部にも及んでいることから、今回の地震によって能登半島北部の地盤は全体的に脆弱化が進んだと考えた方が良いかもしれない。このことを念頭に置いて、今後の能登半島の山地の変化をしっかりとモニタリングする

ことが、今後の防災対策を考えるために重要であろう。

地震による斜面変動と豪雨時の崩壊

上述したような思いで地震後の危険個所を考えようと、地盤変動の調査を進めていたところで、能登半島は 2024 年 9 月の豪雨災害に襲われた。事態は私のような研究者の想定をはるかに上回るスピードで進行したわけである。輪島市の 24 時間雨量が観測史上 1 位の 412 mm に達するなど記録的な豪雨となり、能登半島の各地で斜面崩壊や土砂流出が発生した。1 月の地震によって、谷の中には多量の倒木を含んだ土砂が堆積していたこともあって、山地流域からは多量の流木を伴う土砂が平野部に流出して、橋脚を閉塞するなどの形で洪水被害を拡大した。

私が地震直後から調査を行っていた輪島市町野町川西地区の集落もこの豪雨によって壊滅的な被害を受けた。図 6 は、地震直後（上：2024 年 2 月）と豪雨直後（下：同年 10 月）に上空のヘリから撮影した写真である。川西地区の住宅の多くは金蔵川の左岸（写真の左側）に集中している。地震直後（豪雨前）の写真では左岸斜面（写真左側）の崩壊地から土砂が流出して、金蔵川をせき止めて土砂ダムが形成されているが、この時点では、集落内の住宅の多くは土砂流出の被害を免れているのがわかる。しかし、9 月豪雨後の 10 月に撮影された写真では、集落の住宅の多くが消失しており、崩壊地から大量の土砂が流出して、多くの住宅と農地が流出した土砂に飲み込まれたことがわかる。実際に現地を歩くと地震による倒壊を免れた住宅が、流木や土砂の下敷きになっていた（図 7）。また、図 6 の豪雨後の写真の右側で



図 6 町野町川西地区の豪雨前（地震後）と豪雨後の空撮写真



図 7 金蔵川の谷底平野に崩壊地から流出した土砂



図 8 川西地区で発生した表層崩壊
図 6 に白色矢印で位置を示した。

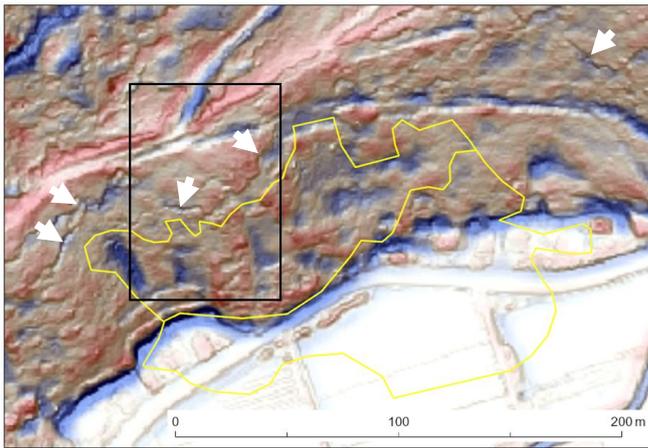


図 9 川西地区の表層崩壊発生斜面における豪雨前の CS 立体図
(2024 年 4 月に林野庁が撮影)
黄色の線は 2024 年 9 月に発生した表層崩壊の崩壊域と堆積域の範囲を、黒線枠は図 10 の範囲を白色矢印はクラックを示す。



図 10 2024 年 3 月時点での川西地区の裏山の様子
地震直後には見られなかった小崩壊が新たに発生している。
写真の位置は図 9 に示した。

は新たに表層崩壊が発生していることがわかる。図 8 には、この表層崩壊をヘリから空撮した写真（場所は図 6 に白色矢印で示した）を、図 9 には表層崩壊が発生した斜面の地震後・豪雨前（2024 年 4 月に林野庁が撮影）のデータから作成した CS 立体図を示した。これを見ると斜面の各所にひび割れのようなクラックが発生していることがわかる。また、2024 年 3 月にこの斜面の西側（左側）を撮影したドローン写真（図 10）では、斜面の一部がずり落ちて道路付近にまで押し出していることがわかる。図 10 の小崩壊は地震直後に撮影された空中写真には見られなかったもので、この斜面では地震後も斜面の重力性変形が静かに進行していたと考えられる。このように多くの亀裂が発生し、重力性変形が進行していた斜面に、9 月の豪雨によってもたらされた多量の降雨が浸透して表層崩壊が発生したと考えられる。

地震後の防災対策

上述したように、2024 年 9 月の奥能登豪雨で発生した土砂災害には明らかに地震の影響が認められる。奥能登豪雨自体が能登地域では記録的な豪雨であったが、地震で脆弱化した斜面から崩壊が多発したことをみれば、今後の豪雨においても、地震による地盤変動の影響を考慮に入れた防災対策が必要だろう。

大地震の後に豪雨による崩壊が起こりやすくなる傾向があることは、従来からも知られてきた。例えば、大正 12 年（1923 年）9 月 1 日に発生した関東大地震では、地震から 2 週間後の 9 月 14 日～15 日の台風による豪雨で丹沢山地において多数の崩壊や土石流が発生した。丹沢山地では昭和 12 年や 13 年の豪雨によっても多数の崩壊が発生しており、地震の影響は

非常に長期間に及んだと考えられている (井上, 2019)。記憶に新しいところでは、2015 年の熊本地震でも地震後の降雨によって多数の崩壊が発生したことが知られている (石川他, 2016) が、丹沢山地や今回の能登半島の事例に比べると、地震の影響は小さいように見える。このような地震の影響の仕方が異なる理由については、地震の規模や地質条件、地震直後の豪雨のタイミングなどの各種の要因が影響することが考えられるがいまだに不明の点も多い。しかし、今回の能登半島地震のマグニチュードが観測された内陸型地震としては過去最大級であることや、地震によって起きた地盤変動が非常に深い場所にまで及んでいることを考えると、今後の降雨においても、これまで予想してこなかった現象が起きる可能性がある。

しかし、関東大地震当時の丹沢山地とは違い、現在の能登半島は豊富な森林に覆われている。今回の地震においても森林が土砂災害の発生を抑制したことが明らかされつつある (谷, 2025)。長期的には、森林整備を行って森林の防災機能を高めつつ、保全対象に近い要所では防災施設を整備して災害の発生リスクを抑制していくことが重要である。しかし、森林整備やハード対策には時間を要するため、速効性の高いソフト対策も重要になる。幸い、今回の地震では、上述したような詳細な空間データが整備されており、これらを活用しながらモニタリングを行って、丹念に災害の前兆や危険地の特徴をみきわめることで、ソフト対策の実効性を高めることは可能だろう。能登半島にとっては、歴史上経験しなかった規模の災害ではあるが、私たちもかつては考えられなかった解像度で土地の変化を分析できるようになった。このような新技術を活用して、新たな地域防災のあり方を示すことができれば、今後の他の地域の防災対策にも生かす貴重な経験知が得られると信じている。

引用文献

- 井上公夫 (2019) 「歴史的な大規模土砂災害地点を歩く そのⅢ」, 丸源書店, 268 pp.
- 石川芳治・赤澤史顕・植 弘隆・大野宏之・小山内信智・海堀正博・久保田哲也・古賀省三・権田 豊・坂島俊彦・地頭菌 隆・清水 収・武士俊也・樽角 晃・鳥田英司・中濃耕司・西 真佐人・野呂智之・平川泰之・平松晋也・藤田正治・松尾新二郎・山田 孝 (2016) 平成 28 年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害. 砂防学会誌, 69(4), 25-36.
- 国土地理院 2024. 斜面崩壊・堆積分布データ.
https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html#6-1
- 国土地理院 2024. 令和 6 年能登半島地震に伴う地殻変動 (第 2 報) .
https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_20240101noto_2.html
- 菊池輝行・千田敬二・田近 淳・金山健太郎・大津滉介・秦野輝儀 (2025) 能登半島地震による八太郎峠西方地すべりの地形・地質的特徴. 「令和 6 年能登半島地震災害調査団報告書 能登半島地震がなぜ起こり故郷がどう変化したのか - 持続可能な故郷の再生に向けて -」. 78-83, (一社) 日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震災害調査団編, 334 pp.

向山 栄・井口 隆・畚野 匡・小野田敏・下河敏彦・飯田健太 (2025) 地震前後の航空レーザー測量地形データを用いた数値地形画像解析により抽出された大規模斜面変動発生域における地表面現況の現地調査. 「令和 6 年能登半島地震災害調査団報告書 能登半島地震がなぜ起こり故郷がどう変化したのか -持続可能な故郷の再生に向けて-」. 143-149, (一社) 日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震災害調査団編, 334 pp.

森林総合研究所. 森林土壌デジタルマップ.

<https://www2.ffpri.go.jp/soilmap/>

林野庁. 林野庁・CS 立体図 (能登地域 2024) .

<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/rinya-csmap-noto2024>

谷 美槻 (2025) 2024 年能登半島地震で発生した土砂災害に植生が与えた影響. 第 136 回日本森林学会大会, 北海道大学.