

令和6年9月能登半島豪雨における斜面崩壊に関する検討 ～令和6年能登半島地震の影響について～

エイト日本技術開発 ○種平一成, 山口綺斗
国土交通省国土技術政策総合研究所 鈴木啓介, 田中健貴

1. はじめに

令和6年1月に発生した能登半島地震と、9月の記録的豪雨により、能登半島は未曾有の複合災害に見舞われ、多数の土砂移動現象が発生した。これほど甚大な被害は前例がないものの、一般に地震後は地盤の緩みなどにより土砂災害のリスクが高まることが知られている。令和6年能登半島地震においても、斜面上に多数の亀裂が確認され(国土地理院, 2025)、亀裂の発生箇所やその周辺で斜面崩壊が発生した。地震後の降雨による二次被害の防止・軽減を検討するうえで、被害の実態を把握することは重要である。本稿では、令和6年能登半島地震で発生した亀裂と、令和6年9月能登半島豪雨で発生した斜面崩壊(以下、豪雨時崩壊と呼ぶ)の関係を整理し、地震の影響を定量的に評価することを試みた。

2. データの準備

対象範囲は、豪雨後のLPデータが入手できた珠洲市～輪島市及び門前町の一部にあたる約185km²の範囲である(図-1)。地震時に発生した亀裂及び崩壊地は、林野庁(2025)により作成されたGISデータを用いた。豪雨時崩壊は、地震後及び豪雨後に計測されたLPデータを基に標高差分を求め、差分がマイナスとなる範囲を抽出し、オルソ画像を判読の上、崩壊域のポリゴンを作成した。地形量は、地震後(豪雨前)のLPデータを基に10m、30m、50mのDEMを作成し、ArcGISのサーフェス解析ツールにより傾斜角、傾斜方向、曲率、起伏量を算出した。

3. 検討項目と方法

3.1 豪雨時崩壊の区分と区分毎の傾向

地震時崩壊の判読結果(林野庁, 2025)で設定された土砂移動形態と領域の区分(崩壊主部、地すべり、堆積域、流下域)と豪雨時崩壊の重複状況を基に、次のように区分した。林野庁(2025)で作成されたポリゴンのいずれにも重ならない崩壊は「新規崩壊」、崩壊主部や地すべりに一部でも重なるものは「拡大崩壊」、堆積域及び流下域に一部でも重なるものは「再移動」とした。そして、区分毎にポリゴン数や崩壊面積を求めた。複数の区分に該当するポリゴンは、最も重なりが大きい区分を採用した。

3.2 亀裂からの距離と崩壊数・崩壊面積の関係

地震で発生した亀裂と豪雨時崩壊(ポリゴン)の最短距離を求め、亀裂からの距離を1m間隔の階級に分けて階級毎の崩壊ポリゴン数及び階級に属するポリゴンの平均崩壊面積を求めた。

3.3 亀裂からの距離と豪雨時崩壊の発生率

対象範囲に10m四方のメッシュを設定し、豪雨時崩壊のポリゴンに重心が重なるメッシュを崩壊メッシュとして設定した。そして、10mメッシュ毎に亀裂からの距離を求め、5m間隔の階級に分けて崩壊発生率(崩壊メッシュ数/全メッシュ数)を算出した。

3.4 豪雨時に崩壊した亀裂の地形的特徴

豪雨時に崩壊に至った亀裂とそうでない亀裂の地形的特徴の違いを把握するため、亀裂に1mのバッファゾーンを設け、バッファゾーンに該当する地形条件を抽出した。複数の値が該当する場合は、バッファゾーン内の平均値を与えた。

3.5 豪雨時崩壊の地形(凹凸)と亀裂からの距離の関係

亀裂からの距離によって崩壊地の地形(凹凸)に違いがある

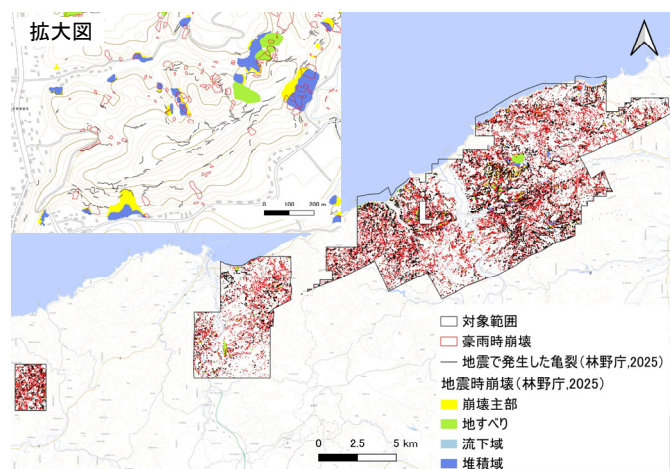


図-1 検討範囲と崩壊地及び亀裂の分布図

■新規崩壊 ■拡大崩壊 ■再移動

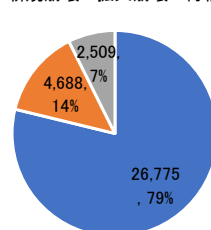


図-2 豪雨時崩壊数の割合

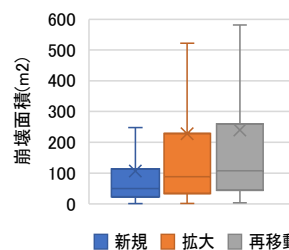


図-3 豪雨時崩壊の面積の比較

かを確認するため、豪雨時の新規崩壊を対象に、以下の分析を行った。まず、豪雨前の50mDEMで算出した平均曲率を基に、平均曲率が $-0.5(\text{cm}^{-1})$ 未満を凹型、 $-0.5 \sim 0.5(\text{cm}^{-1})$ を平坦、 $0.5(\text{cm}^{-1})$ 以上を凸型に区分した。次に、亀裂からの距離の階級(20m間隔)毎に凹型、平坦、凸型の割合を求めた。1つの崩壊ポリゴンに複数の平均曲率が該当する場合は、重複する面積で加重平均した値を用いた。

4. 結果と考察

4.1 豪雨時崩壊の区分毎の傾向

豪雨時崩壊の崩壊ポリゴン数は、図-2のように、新規崩壊が約80%と最も多く、拡大崩壊、再移動と続く。一方、崩壊面積は、新規崩壊が最も小さく、100m²以下が主体となっている。拡大崩壊と再移動では、再移動のほうが若干大きく、堆積から間もない崩土が豪雨によって大規模に流出したためと考えられる。

4.2 亀裂からの距離と崩壊数・崩壊面積の関係

図-4より、亀裂付近では拡大崩壊の累積相対度数が他の区分の約2倍高く、拡大崩壊は亀裂の影響を特に強く受けたと考えられる。拡大崩壊に接する亀裂は、地震時の崩壊面に近い場合が多いため、応力開放により地盤の緩みがさらに進行していた可能性がある。また、崩壊面積(亀裂からの距離の階級に属する崩壊ポリゴンの平均値)は、図-5のようにばらつきが大きいものの、亀裂から近距離で大きくなる傾向が認められる。

4.3 亀裂からの距離と豪雨時崩壊の発生率

図-6より、亀裂との距離が近いほど新規崩壊の発生率が高

く、亀裂付近は崩壊危険性が相対的に高いことを示している。そして、崩壊発生率のグラフは亀裂から25m以内で急激な上昇を示しており、25m超の平均崩壊発生率と比較して約2～4倍高く、亀裂が新規崩壊の発生に影響したと考えられる。

4.4 豪雨時に崩壊した亀裂の地形的特徴

地形条件のうち、50mDEMで計算した平均曲率と亀裂の分布を図-7に示す。また、図-8には平均曲率の階級毎に、崩壊した亀裂の割合を示す。これらの図に示す平均曲率は、プラスが凸側、マイナスが凹側を表している。図-7より、亀裂は尾根上やそのやや下方に位置するものが多く、尾根沿いに密集している。また、図-8より平均曲率0～2の範囲の亀裂数が全体の約80%を占め、先述の地形状況と整合的である。また、崩壊の割合は凹地形が顕著になるほど高くなっており、集水効果が高いという点で豪雨時崩壊の特徴を反映した結果と考えられる。

4.5 豪雨時崩壊の地形(凹凸)と亀裂からの距離の関係

図-9に亀裂からの距離と崩壊地の凹凸の割合を示す。当図より、亀裂からの距離が40mまでは、距離が離れると凸型が減少し、凹型が増加する傾向が見られる。一般的に、豪雨時の崩壊は凹型(集水地形)で発生しやすいが、亀裂の効果(地震の影響)によって凸型でも崩壊が多発したと考えられる。

5. まとめ

本検討で得られた主な知見を以下に列挙する。

- ・豪雨時の崩壊は、新規崩壊が約80%と最も多く、崩壊面積は、100m²以下の小規模なものが主体であった。
- ・拡大崩壊は新規崩壊よりも亀裂から近距離で発生し、規模が大きい傾向が見られた。
- ・新規崩壊は、亀裂から25m以内で急激に発生率が高くなり、25m超の平均崩壊発生率と比較して約2～4倍高い。
- ・豪雨時に崩壊に至った亀裂は、尾根沿いに多く、発生率は集水効果が高い凹地形で高くなった。
- ・亀裂付近の豪雨時崩壊は、凸型地形の割合が高く、亀裂の効果(地震の影響)があったと考えられる。

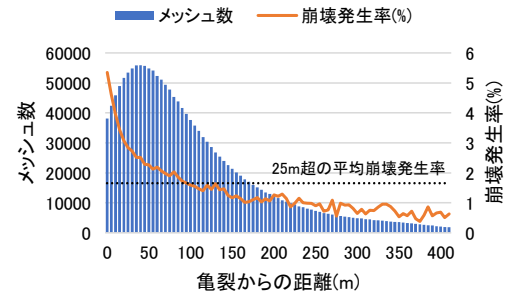
以上より、亀裂からの距離を指標とすることで、地震後の降雨による崩壊の範囲や規模を推定できる可能性が示された。これにより、二次被害の防止・軽減に寄与することが期待される。

謝辞

本稿の執筆にあたり、林野庁の崩壊箇所等判読結果を利用させて頂きました。また、豪雨後の航空レーザ測量結果と空中写真は、国土交通省北陸地方整備局より貸与頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 国土地理院(2024):令和6年能登半島地震に伴い生じた地表の亀裂分布, <https://www.gsi.go.jp/cais/geoinfo-index.html#saigai>(参照日2024/11/20)
- 林野庁(2025):林野庁・崩壊箇所等判読結果(能登地域2024), <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/rinya-noto-portal>(参照日2025/3/19)



※横軸は5m間隔の階級で、ラベルは下限値を表示
※相対度数が0.1%未満の階級は表示を省略
図-6 亀裂からの距離と新規崩壊の発生率

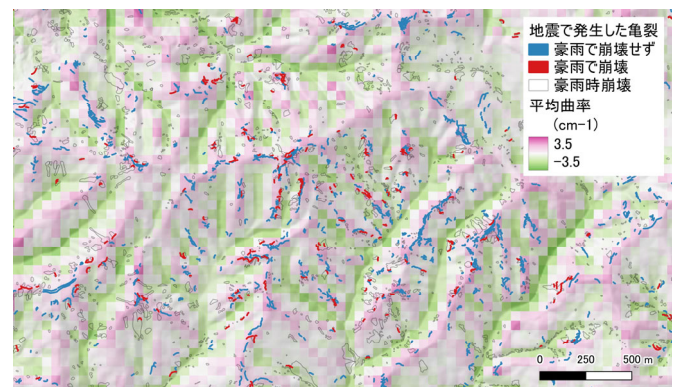
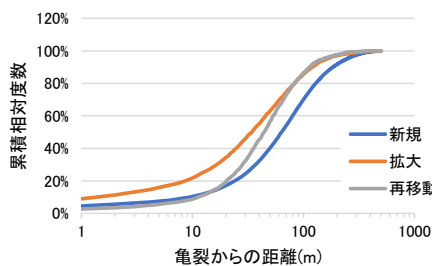


図-7 亀裂と曲率の分布 (一部抜粋)



※横軸は1m間隔の階級を対数目盛で表示
図-4 亀裂からの距離と豪雨時崩壊の累積相対度数

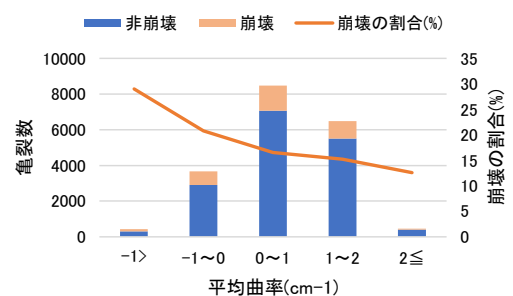
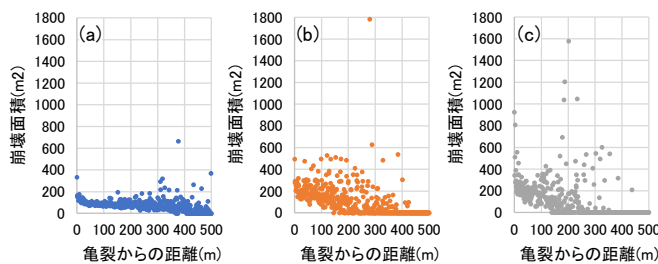


図-8 亀裂の崩壊状況と曲率の関係



(a):新規 (b):拡大 (c):再移動
※横軸は1m間隔の階級で、ラベルは下限値を表示
図-5 亀裂からの距離と平均崩壊面積

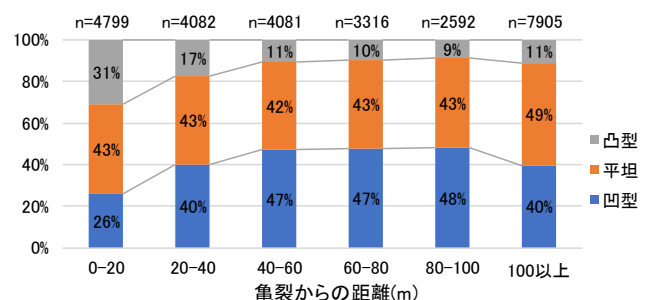


図-9 亀裂からの距離と崩壊地の凹凸の割合