

能登半島地震における斜面地質構造と斜面崩壊の関係

新潟大学大学院 非会員 ○小林 正典 新潟大学 正会員 大塚 悟
新潟大学 正会員 金澤 伸一 新潟大学 正会員 鈴木 聡恵

1. 研究背景・目的

令和6年能登半島地震では多数の斜面崩壊が発生した。流れ盤・受け盤などの斜面地質構造は重要な素因であるが、従来は降雨時の事例が中心で、地震時の崩壊予測や崩壊規模への寄与は十分に検討されていない。本研究では、Bandara ら[1]の手法を拡張して地層傾斜ラスタデータを構築し、LightGBMに地層傾斜を特徴量として導入した際の予測への影響と、崩壊発生率・規模との関係を考察する。

2. 対象地域とデータの整備

2.1 対象地域とデータ整理

解析対象は能登半島北東部の約21 km×18 kmの領域とした。地形量には、1 m 解像度 DEM[2]から算出した傾斜角、起伏量、開度等（標高は除く）の5 m および 11 m 移動平均を用いた。崩壊データは国土地理院の空中写真判読データ[3]、地質データは産総研のシームレス地質図 V2[4]と5万分の1地質図幅を用い、地質は岩相と形成年代で5グループに分類した。

2.2 地層傾斜ラスタデータの構築

観測点の走向・傾斜から地層傾斜を推定するため、地層を外向き単位法線ベクトルに変換し、テンションプラインで補間した。観測点密度が約0.7点/km²と疎で複雑な褶曲構造を再現できないため、褶曲軸直上で地層がほぼ水平になる制約に基づき、背斜軸・向斜軸上に(0, 0, 1)となる「補助制御点」を配置した。これにより1 m メッシュの地層傾斜データを構築し、実測傾斜角との相関係数は $r=0.78$ 、RMSE=8.5°であった。

3. 特徴量の定義と機械学習モデルの構築

3.1 地質構造の分類指標

地層傾斜を特徴量として導入するため、2つの指標を定義した。「傾斜方向差」は地形傾斜方向と地層傾斜方向の絶対方位差で、図1に示すように0°～

60°を流れ盤、120°～180°を受け盤、60°～120°を斜交とした。「傾斜角差」は地形傾斜角から地層傾斜角を減じた値で、正で大きいほど層理面が斜面に露出しやすい。傾斜方向差で提議した盤構造3分類と地形傾斜3分類（緩<10°、中10°～35°、急≥35°）を掛け合わせ、全9クラスとした。これは、連続値の指標をカテゴリとして与えるためである。崩壊規模の解析では、斜交を流れ盤側と受け盤側に細分した。

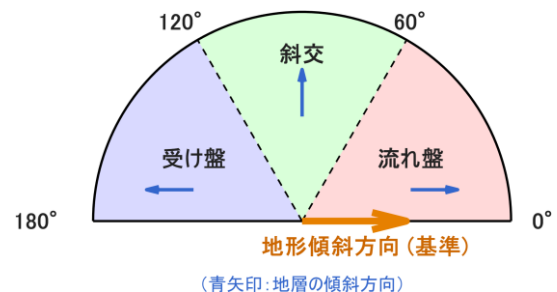


図1 傾斜方向差の模式図

3.2 予測モデルと空間交差検証

予測にはLightGBMを用い、3つのモデルを比較した。基本モデルは地形量と地質の11特徴量、地層傾斜モデルは基本モデルに傾斜方向差と傾斜角差を加えた13特徴量、9クラスモデルは基本モデルに9クラスを加えた12特徴量を用いた。崩壊と非崩壊を1:5とし、学習用に約300万、テスト用に約50万サンプルを抽出した。学習に使っていない領域への汎用性（汎化性能）を評価するため、3 km 四方のグリッドのうち分散した4つを独立テスト領域とし、残りを学習に用いた。

4. 解析結果

4.1 予測精度

予測精度の指標にAUCを用いた。表1に示す通り、地層傾斜モデルは学習領域でのAUC(CVAUC)が0.773と最高だが、独立テスト領域のAUC(Test AUC)は0.753と基本モデル(0.763)を下回り、両者の差（過学習度）は0.02と最大であった。連続値で与えた地層指標が局所的な構造に過剰適合した

ためと考えられる。9 クラスモデルの Test AUC は 0.761 で基本モデルとほぼ同等であった。以上より、地層傾斜の指標による予測精度の向上は確認できなかった。なお、地層傾斜モデルの特徴量重要度では、「傾斜角差」は上位に入ったが、傾斜角や地質区分には及ばず、それほど高くなかった。

表 1 各パターンの評価指標

パターン	CVAUC	TestAUC	過学習度
基本モデル	0.757	0.763	-0.006
地層傾斜モデル	0.773	0.753	0.02
9クラスモデル	0.762	0.761	-0.001

4.2 9 クラス別の崩壊発生率

図 2 に 9 クラス別の崩壊発生率を示す。全体平均 1.99% に対し急傾斜が 3.53~4.91% と高く、緩傾斜 (0.68~0.86%) の 5~7 倍で、傾斜角が支配的であった。同一の急傾斜内では受け盤 (4.91%) が流れ盤 (3.60%)・斜交 (3.53%) を大きく上回り、流れ盤のほうが崩壊しやすいとされる傾向とは逆であった。

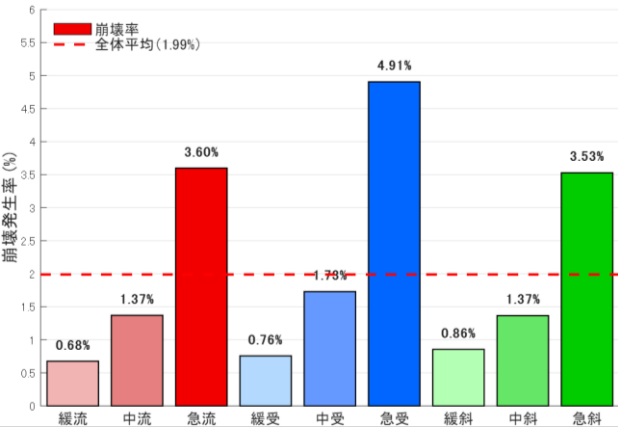


図 2 9 クラス分類崩壊発生率

4.3 盤構造と崩壊規模

崩壊 1,057 件を面積で小 (<1,000 m²), 中 (1,000 ~10,000 m²), 大 (≥10,000 m²) に区分し、流れ盤、受け盤、および斜交を 90°で流れ盤側と受け盤側に分けた計 4 区分ごとに集計した結果を図 3 に示す。受け盤は件数が最多 (432 件) だが、大規模割合は 8.3% であった。流れ盤は大規模割合が 10.1% で、大規模崩壊の平均面積は約 4.4 万 m² と最大であった。斜交では、大規模崩壊が流れ盤側で 20 件 (大規模割合 15.0%), 受け盤側で 7 件 (5.2%) であった。

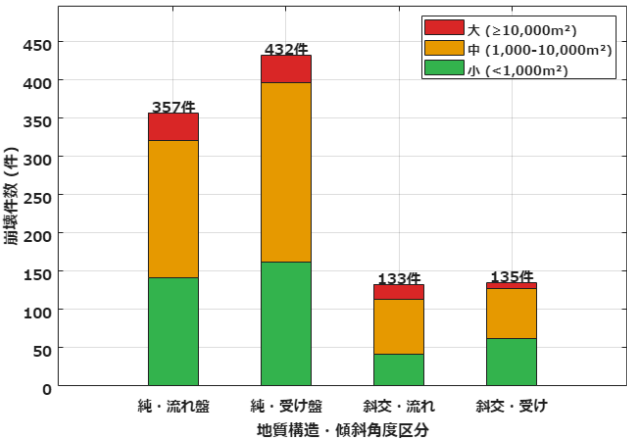


図 3 傾斜構造区別にみた崩壊規模別件数の比較

5. 結論・考察

本研究では、地層傾斜を考慮した斜面崩壊予測モデルを構築した。予測精度 (AUC) は地層傾斜の指標を加えても向上せず、連続値で加えたモデルは過学習で低下したが、9 クラスモデルは基本モデルと同程度の精度を保った。一方、急傾斜では受け盤の崩壊発生率が高いが、大規模崩壊の平均面積は流れ盤が大きい傾向が見られた。ただし、疎な観測点による地層傾斜の局所誤差や、単一地震の事例であるという制約がある。今後は、この傾向を他地域で検証するとともに、指標全体の見直しを行う。

謝辞

本研究の遂行にあたり、国土交通省北陸地方整備局様にはデータをご提供いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- Bandara, S. and Ohtsuka, S. (2017): Spatial distribution of landslides induced by the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake, Japan. Landslides, Vol.14, pp.1877-1886.
- G 空間情報センター：能登半島地震前航空レーザ測量データ。 <https://www.geospatial.jp/>
- 国土地理院 (2024): 令和 6 年能登半島地震に関する情報 斜面崩壊・堆積分布データ。 https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2023): 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2。 <https://gbank.gsj.jp/seamless/>