

能登半島地震時の加速度が崩壊場に及ぼす影響の評価

信州大学大学院 ○河合建祐, 堤大三, 福山泰治郎

1, はじめに

2024年1月1日に石川県奥能登地方を震源とした令和6年能登半島地震が発生した。この地震によって多数の斜面崩壊が発生し、広範囲に被害をもたらした。このような地震を誘因とする斜面崩壊の発生場所に関する研究は降雨を誘因とする斜面崩壊に比べて未だに発展途上である。本研究ではまず、地震によって発生した斜面崩壊の方向依存性をGISで解析し、次に極限平衡法によって地震時の斜面の安全率を求め、GISを用いてマップに示した。そして実際の崩壊位置と解析結果の比較を行い、地震加速度と地形条件が斜面崩壊の発生に与える影響を検討した。

2, 令和6年能登半島地震における斜面崩壊

GISを用いて斜面崩壊箇所を解析した結果（（公社）砂防学会の能登半島地震調査団が斜面崩壊場所を写真判読）、いくつか特徴的な点が見られた。1つ目は実際に崩壊した斜面の方位に異方性があることである。

図-1は解析対象範囲の全斜面と崩壊斜面の方位別面積割合を示している。全斜面では斜面方位ごとの面積に大きな違いはないが、崩壊斜面は北西-南東向きに偏在していることが分かる。2つ目は崩壊が集中する地域があることである。一般に地震を誘因とした斜面崩壊では震源断層から近いほど崩壊が発生しやすいとされている。しかし能登半島地震では断層から離れたところでも崩壊が集中している地域がある。これには地形・地質的な要因があると考えられる。

3, 解析手法

解析には斜面崩壊が多数発生した地域に最も近い地方公共団体「柳田」の3次元地震加速度波形データを使用した（https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/2401011610_noto/index.html）。地震加速度の3次元成分はそれぞれ東西方向の加速度 a_{EW} [m/s²]、南北方向の加速度 a_{NS} [m/s²]、上下方向の加速度 a_{UD} [m/s²]で表す。また、任意の方向の水平加速度 a_H [m/s²]は式(1)により斜面方位 θ [°]を用い合成して求めた。鉛直加速度 a_V [m/s²]には a_{UD} をそのまま用いた。

$$a_H = a_{EW} \cos \theta + a_{NS} \sin \theta \quad \dots (1)$$

解析対象範囲をメッシュ（10 m × 10 m）に分割し、そのメッシュごとに無限長斜面を仮定して、簡便な極限平衡法である修正 Fellenius 法に地震力を慣性力として考慮した式(2)を用いて斜面安定解析を行った。

$$F_S = \frac{cl / \cos \alpha + \{(1 + k_V)W \cos \alpha - k_H W \sin \alpha - ul \cos \alpha\} \tan \phi}{(1 + k_V)W \tan \alpha + k_H W} \quad \dots (2)$$

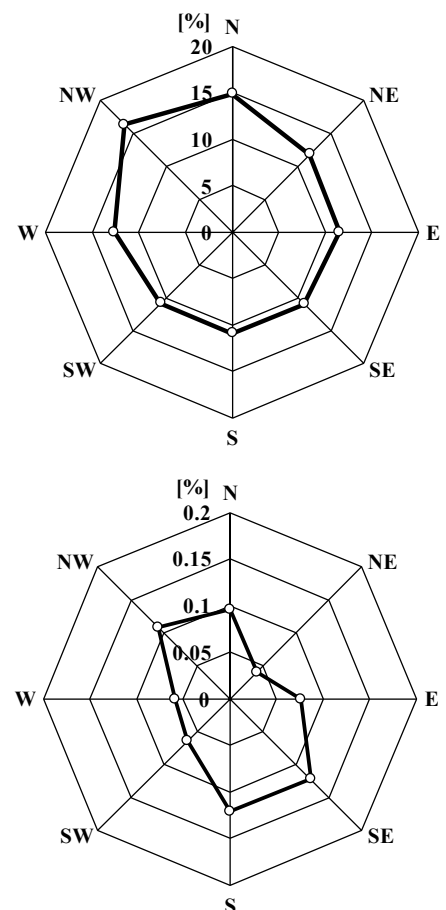


図-1 全斜面の方位別面積率（上図）と崩壊斜面の方位別面積率（下図）

ここに、 F_s : 安全率, c [N/m²] : 粘着力, l [m] : すべり面長さ, α [°] : 斜面傾斜角, W [N] : 土塊の重量, u [Pa] : 間隙水圧, ϕ [°] : 内部摩擦角, k_H : 水平震度, k_V : 鉛直震度である。

なお、粘着力ならびに内部摩擦角、間隙水圧は一般値を使用した。斜面方位と斜面傾斜は能登半島の DEM データを用いて GIS によりメッシュごとに計算した。地震加速度は 3 軸合成加速度分布図を用いてメッシュごとに補正した。

4, 解析結果

斜面安定解析で求めた各メッシュの安全率の経時変化から、最小値を求め図-2 にその分布を示す。安全率分布と実際の崩壊場所を比較した結果、実際に崩壊が発生しているメッシュの安全率が低くなる傾向がみられた。また、断層から離れたところで崩壊が集中している地域や尾根部では特に安全率が低い場所が多く、今回の地震で発生した斜面崩壊の地形的な特徴と一致した。さらに、ROC 曲線安全率が実際の崩壊をある程度再現していることが定量的にも示された (図-3)。

図-4 は実際と解析結果の崩壊斜面のレーダーチャートに崩壊を発生させた水平方向の地震加速度を重ねた図である。地震加速度は慣性力を考慮するため、NS,EW 軸を入れ替えて安全率ワースト 3 まで示した。斜面安定解析により崩壊と判定された斜面は北西-南東方向の斜面に偏在しており、実際の崩壊斜面の傾向と一致している。これは、安全率を低下させた加速度は北西-南東方向に偏っていることとも一致しており、崩壊斜面の異方性に地震加速度の方向が影響していることを示している。

5, おわりに

本研究では地震加速度波形と簡便な斜面安定解析手法を用いることで、令和 6 年能登半島地震によって発生した斜面崩壊の発生場を一定の精度で再現できた。今後は室内実験などを通して、崩壊場における地震加速度の影響をより正確に検討する予定である。

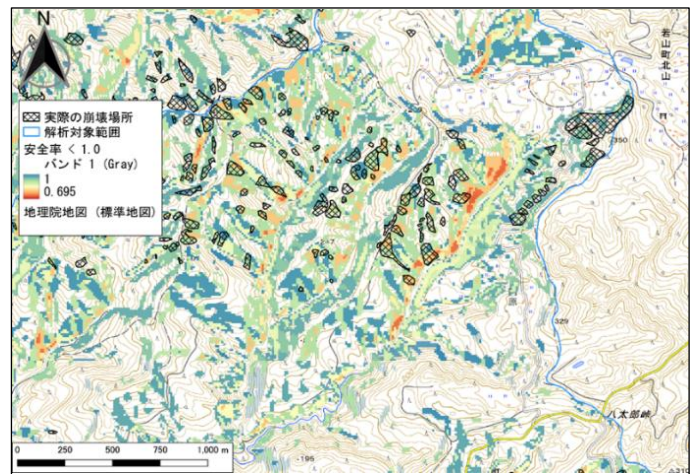


図-2 大久保地区周辺の崩壊場所と安全率分布
(地理院タイルに追記して使用)

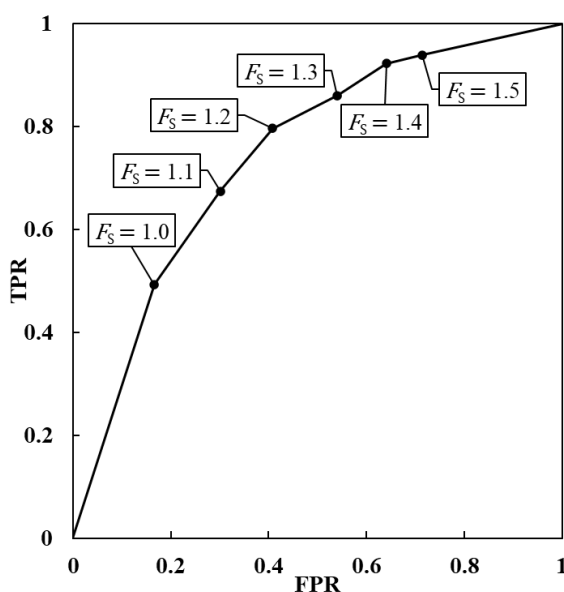


図-3 安全率と実際の崩壊の ROC 曲線

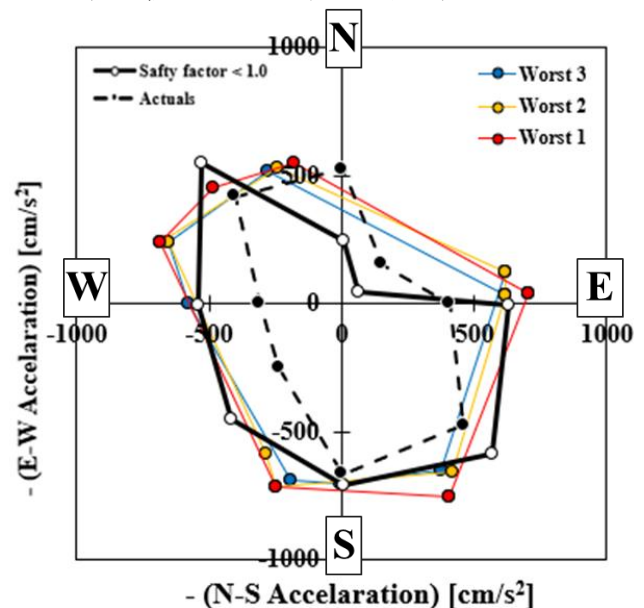


図-4 安全率ワースト 3 をとるとき地震加速度と
実際の崩壊場所、解析結果のレーダーチャート