

地震による斜面崩壊の危険度判定手法の検討

国土技術政策総合研究所 寺田秀樹、片岡正次郎、内田太郎、松尾修、杉浦信男
アジア航測株式会社 小野田敏、高山陶子、○戸村健太郎

1 はじめに

中央防災会議において切迫性の高い東海地震発生時の斜面崩壊による被害予測が行われるなど、地震時の山腹斜面を対象とした精度の良い崩壊危険度評価手法が必要とされている。これまで提案されてきた地震時の斜面崩壊予測手法は以下の2つに大別される。

- ① 有限要素法などを用いて3次元動的振動解析を基本とする方法(Ashford, et al. 1997 など)
- ② 既往地震時の崩壊実績から、地形、地質の要素と崩壊地分布の関係に基づく経験的手法(松岡・翠川、1995; Caplongo, et al., 2002 など)

①の手法は、物理的な解析手法に準拠しているため、地震による被災事例がない地域や異なる特徴を有する地震動波形による斜面の危険度評価に用いることできる可能性が高いが、計算時間の問題や地下情報が十分に得られないことなど、実務面では依然として課題がある。一方、②の手法は、GISの技術の進歩などにより、実用可能性は高いと考えられる。しかし、既存の崩壊分布実績を基に作成された手法が、他地域、または異なる特徴を有する地震動波形に有効であるかという手法の汎用性を検討する必要があるがこれまで行われてきていない。

そこで、本研究では、地形など一般的に入手可能なデータを用い、山腹斜面の地震時崩壊危険度を評価する実務的な手法を開発することを目的とし、地形、地震動特性を説明変数とし、崩壊の発生、非発生を目的変数とした判別分析を用いて、地震時崩壊危険度を評価する式を構築し、その汎用性を確認することを目的とした。

2 検討方法

2.1 六甲山系における斜面危険度判定手法の作成

崩壊地データは、六甲砂防事務所により調査され、データベース化されたものを使用した。地形データは六甲砂防事務所の砂防GIS上のデジタルマッピングデータ(2m間隔の等高線)から作成した10mメッシュごとの標高値を用いた。

素因としての地形要素は、既往の研究から斜面勾配と斜面の凹凸が地震時の崩壊に影響を及ぼすことが明らかにされてきている(西田ら、1997)。そこで、本研究では、斜面の凹凸を表現する指標として、地上開度、地下開度、平均曲率、最大傾斜方向の曲率、最大傾斜方向に直交する方向の曲率、尾根谷度(影響範囲はそれぞれ20及び50mとした)及びラプランシアンについて検討した。

また、誘因としての地震動データは、距離減衰式に破壊伝播の効果を加味した手法を用いて推定した。推定断層からの距離と1995年兵庫県南部地震のマグニチュードから最大加速度を算出するものと最大速度を算出するもの、それぞれを算出する際に破壊伝搬効果を加味するものとし、計4種類の算出方法で地震動データを作成した。

2.2 過去の他地震事例への適用

検討対象は、1997年以降で崩壊分布が面的に把握されている①1997年3月の鹿児島県北西部地震、②2000年7月神津島地震の2地域とした。それぞれの地震事例に対し、六甲山系で作成した線形判別式を適用し、その有効性を検討した。また、それぞれ事例についても崩壊分布データを基に線形判別式を作成し適用した。なお、線形判別関数の説明変数については、2.1の六甲山系の検討により、最適と判断されたものを用いることとした。

対象範囲は①では、 $5 \times 6 \text{ km}^2$ (うち 17 km^2)、②では、 $5 \times 7.5 \text{ km}^2$ (37.5 km^2)とした。それぞれ、対象範囲に、144、1526箇所の崩壊が発生している。また、地質は①は花崗岩、砂岩・泥岩の堆積岩が分布しているのに対し、②は火山性の堆積物が主である。DEMは、①は北海道地図社の10mメッシュDEMを、②はレーザー計測による1mメッシュDEM((株)朝日航洋作成;独立行政法人土木研究所より貸与)を10mメッシュに調整し使用した。誘因としての地震動データの作成手法は、六甲山系において用いた手法と同様とした。

3. 検討結果

3.1 六甲山系における斜面危険度判定手法の作成

斜面の凹凸を表す指標、地震動を表す指標のいずれも、用いる指標の違いが判別結果に及ぼす影響は小さかった。本研究では、わずかの差ではあったが最も有効であった勾配、平均曲率(影響範囲20m)、破壊伝搬効果を考慮した最大加速度を説明変数とした線形判別式(以下、六甲式)を提案した(式1)。六甲全山に適用した結果を図1に示す。判別得点 $-0.5 \sim 0.5$ の斜面の崩壊確率は0.05%であるのに対して、判別得点3以上の斜面では約2%以上であった。このことから、判別得点が0と比べて、3以上の斜面では地震時崩壊の確率が40倍以上高い結果を得た。

3.2 鹿児島県北西部地震、神津島地震への適用

1997年3月の鹿児島県北西部地震では、六甲式を用いた場合、判別得点-崩壊発生確率に正の関係を得た。ただし判別得点が0より小さい場合の領域でも崩壊発生率が高く、誤判別が大きい結果となった(図2)。

さらに、鹿児島県北西部地震時の崩壊分布データを基に作成した線形判別式(鹿児島県式)を適用したが、六甲式とほぼ同じ関係が得られた。この原因として、①崩壊地数が少ないこと、②六甲と鹿児島で崩壊地の地形特性が類似していたことなどの理由が考えられる。

一方、2000年7月の神津島地震においても、判別得点-崩壊発生確率に正の関係を得た。ただし、神津島地震時の崩壊分布データから作成した線形判別式(神津島式)を用いた場合に比べて、六甲式を用いた場合は、判別得点の増加による崩壊発生率増加の程度は小さかった。

4. 結論

兵庫県南部地震を対象に、山腹斜面の地震時崩壊危険度を評価する実務的な手法として、勾配、平均曲率、最大加速度を説明変数とした線形判別式を作成した。線形判別式を鹿児島県北西部地震、神津島地震に適用した結果、地質、地震により判別得点-崩壊発生確率の関係は異なるものの、判別得点の増大にともない崩壊発生確率が増加する傾向は見られた。

すなわち、相対的な斜面の危険度を評価する上で提案した手法は汎用性が高いと考えられる。ただし、多くの崩壊が発生した場合には、既往の崩壊分布データを基に線形判別式を作成した方が、評価手法の精度の点でより一層向上することが神津島の事例からは指摘できる。

参考文献 Ashford, S.A et al. (1997) Topographic effects on the seismic response of steep slopes, Bulletin of the Seismological Society of America, 87(3), 701-70 / 松岡昌志・翠川三郎(1995)国土数値情報を利用した地震時斜面崩壊危険度予測、日本建築学会構造系論文報告集 474, 59-66 / Caplongo D, et al. (2002) Evaluating earthquake-triggered landslide hazards at basin scale. The example of the upper Sele river valley. Survey in Geophysics 23, 595-625 / 西田顕郎ほか(1997)数値地形モデルに基づく地震時山腹崩壊斜面の地形解析、砂防学会誌 Vol.49, No.6, 9-16. / 国土技術政策総合研究所(2003) 地震動による斜面崩壊危険度評価手法検討業務報告書

$$F(\text{判別得点}) = 0.075 \times (\text{勾配}) - 8.9 \times (\text{平均曲率}) + 0.0056 \times (\text{最大加速度}) - 3.2 \dots \text{式1}$$

式1 兵庫県南部地震による六甲山系の崩壊実績データに基づく線形判別式(六甲式)

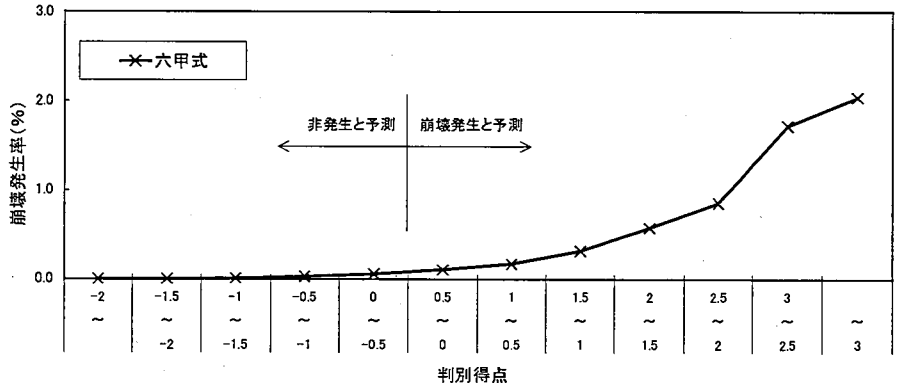


図1 兵庫県南部地震による六甲山系の崩壊実績データに基づく判別分析による判別得点と崩壊発生率の関係

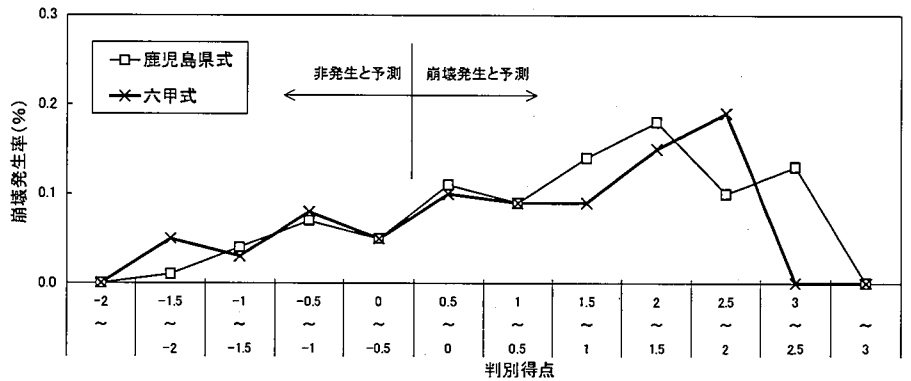


図2 六甲式の鹿児島県北西部地震への適用と鹿児島県北西部地震の崩壊実績データに基づく判別分析による判別得点と崩壊発生率の関係

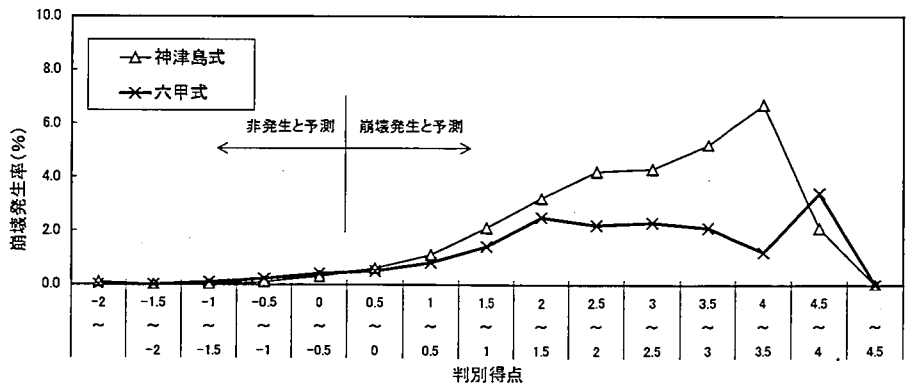


図3 六甲式の神津島地震への適用と神津島地震の崩壊実績データに基づく判別分析による判別得点と崩壊発生率の関係