

国土技術政策総合研究所 中野泰雄、松尾修、○寺田秀樹
片岡正次郎、岩男忠明
アジア航測株式会社 小野田敏

1. はじめに

既往の研究では、地震時の斜面崩壊危険度に係る要因として主に地形要因に関する検証がなされている（例えば 中筋, 1997）。一方、地形要因に加え地震動の強さを要因とした危険度評価手法も検討されている（片岡ほか, 1995）。本報告では、1995年兵庫県南部地震の際の六甲山系全域の崩壊発生・非発生事例を対象に、従来、説明変数として多く用いられている地形要因に加え、誘因としての地震動を加味した斜面崩壊危険度評価手法についての検討を行った。

2. 検討に用いたデータ

検討に用いた斜面崩壊発生・非発生事例データは、国土交通省六甲砂防事務所所有の「六甲砂防 GIS」データベースにより作成した。六甲砂防 GIS では、平成7年度以降に六甲砂防事務所で実施した崩壊地調査結果に基づき、崩壊地の位置及び形状の情報を崩壊地ポリゴンデータ（多角形の面データ）としてデータベース化している。本検討では、六甲山系全域の10m メッシュ標高データに、崩壊発生・非発生を付加したデータを作成した。崩壊発生メッシュは、地震発生直後に撮影された空中写真並びに平成7年度の現地調査により確認された、地震発生後約1年間の崩壊発生メッシュとした。また、それ以外のメッシュを非発生メッシュとした。なお、崩壊発生メッシュは、崩壊地ポリゴンデータのうち崩壊頭部が含まれるメッシュと定義した。検討の対象としたメッシュ数は1,749,480、そのうち崩壊発生メッシュ数は2,351である。

3. 地震動データの作成

地震動による崩壊発生・非発生の関係を明らかにするためには、対象とする地域の各場所について地震動の強さを示すデータの作成を行う必要がある。地震動強さを簡便に評価する手法として距離減衰式が提案されている。距離減衰式は、強震記録を回帰分析することできめられ、距離、マグニチュードなど簡単なパラメータにより地震動強さを予測する手法である。距離については、震央からの距離、エネルギー等価距離、震源断層からの最短距離などが提案されているが、ここでは断層近傍の比較的強い地震動についての再現性が高いと考えられる震源断層からの最短距離をパラメータとした手法（福島, 2002）により検討を行った。検討に用いた震源断層の位置は Fukushima et al (1997) による。地震動強さを表す指標としては最大速度 (Fukushima et al, 2000)、最大加速度（片岡ほか, 1992、福島, 2002）があるため、それぞれの手法により求められた地震動強さについて崩壊発生率による単相関分析を行い比較検討した。また、六甲山系のうち北東側の地域に比較的崩壊地が集中していることから、破壊伝播効果を最大速度、最大加速度のそれぞれに加味した方法（司ほか, 2001）についても比較検討した。なお、いずれの手法においても地盤の增幅効果を考慮し補正を行っている（Midorikawa, 1993）。

単相関分析の結果は、いずれの手法においても最大速度あるいは加速度と崩壊率の関係は明瞭でないが、最大加速度に破壊伝播効果を加味した手法では、勾配条件を揃えた場合、勾配40°以上のメッシュ

では最大加速度が大きくなるにつれて崩壊発生率も一様に増加する傾向がみられた。（図1）また、別途行った地形要因の単相関分析からは明瞭な方位依存性がみられなかったことから、比較的方位依存性の少ないと考えられている最大加速度に、破壊伝播効果を加味した手法を地震動強さ算出の手法として選定した。図2に今回の手法で算出された六甲山系全域の最大加速度分布を示す。

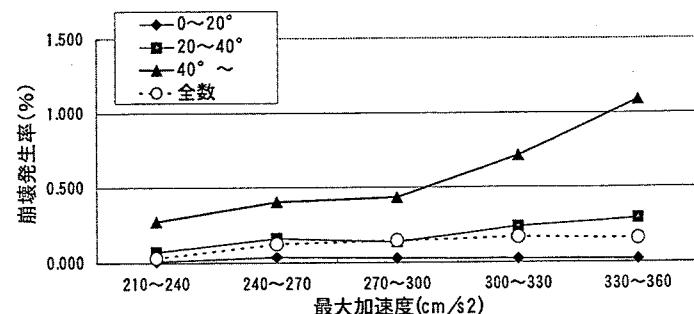


図1 勾配条件で区分した崩壊発生率と最大加速度の関係

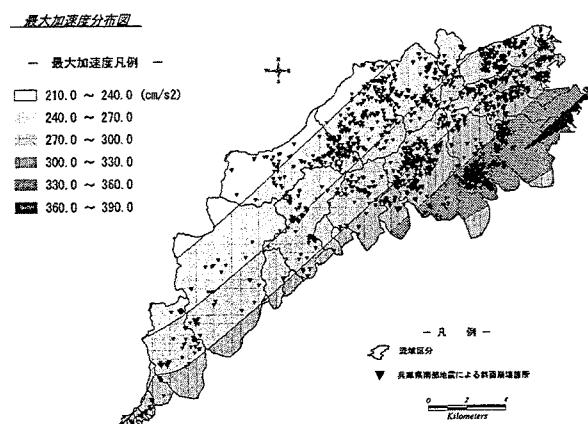


図2 六甲山系全域における最大加速度分布（破壊伝播効果加味）

4. 判別分析による崩壊発生危険度評価

3. の検討により比較的適用性が高いと考えられた最大加速度に破壊伝播効果を加味した手法により算出された地震動強さと、地形要因を表す指標として既往研究等から有効であるとされ、今回の研究でも崩壊発生率との単相関分析等でその有効性が確認された勾配と平均曲率（西田ほか, 1996）を説明変数として、崩壊発生・非発生を目的変数とした判別分析によるモデル式を構築した。線形判別分析によるモデル式では、崩壊発生・非発生の境界を直線で分離することが可能となる。平均曲率は地形の凹凸を表す指標で、曲面上のある点を通る全ての測地線（曲面上で2点間を結ぶ最短距離の曲線）の曲率の最大値と最小値の平均として定義される量である。表1に住吉川地域を対象に判別分析により求められた判別限界係数と崩壊発生メッシュの分類正誤率を示す。なお崩壊発生メッシュの分類正誤率とは、モデル式から崩壊と判定されたメッシュのうち、実際に斜面崩壊が発生したメッシュの割合を率で示したもの（正答率）である。

表1 半別誤数係数および分類正誤率(住吉川地域)

ケース	標準化された正準半別誤数係数			崩壊発生メッシュの分類正誤率(%)
	勾配	平均曲率	地震動(最大加速度)	
地形要因のみ	0.970	-0.244	—	70.7
地震動考慮	0.833	-0.217	0.489	75.0

(注:標準化された正準半別誤数係数:データを標準化してから半別分析を行い、各説明変数の相間係数が最大となるように半別誤数係数を算出したもの。説明変数の単位の影響を受けずに崩壊発生の寄与率を把握できる。)

表1から地形要因のみで半別分析を行うよりも地震動を加味した場合の方が、分類正誤率が若干向上する結果となった。そこで六甲山系全域についてモデル式を構築し(式1)、半別得点を基に六甲山系全域を評価した結果を図3に示す。実際の斜面崩壊箇所と比較的よく一致していることがわかるが、六甲山系中央部南側の都賀川流域や西郷川流域付近では、半別得点が高く崩壊が起こりやすいとされているにもかかわらず実際の斜面崩壊箇所は他の半別得点が高い地域と比較して少ない結果となった。

5. おわりに

本研究では、六甲山系全域を対象に、誘因としての地震動を考慮した斜面崩壊危険度評価手法の適用性の検討を行った。住吉川流域では、地震動を考慮した場合、地形要因のみを評価した手法に比べて分類正誤率が向上した。一方、六甲山系全域では一部地域で適合性が悪く、分類正誤率が向上しなかった(表2)。原因としては、他の地域と比較して地盤の風化の度合いが異なることなどが考えられるが推測の域をでない。今後はその原因について検討を行い、六甲山系以外の地域で適用可能な手法に拡張していく。

最後に、データを提供いただいた国土交通省六甲砂防事務所の方々にこの場を借りてお礼申し上げる。

・線形半別解析による危険度半別式

$$F \text{ (判別得点)} = 0.075 * \text{(勾配)} - 8.759 * \text{(平均曲率)} + 0.006 * \text{(最大加速度)} - 3.222 \quad \dots \quad (\text{式 } 1)$$

※半別得点がプラスの時は崩壊、マイナスの時は非崩壊を示す。

危険度評価図(勾配+平均曲率20m+地震動考慮)

ー 危険度評価凡例 ー

- 崩壊が起こりにくい
- △ 崩壊がやや起こりにくい
- 崩壊
- ▲ 崩壊がやや起こりやすい
- 崩壊が起こりやすい

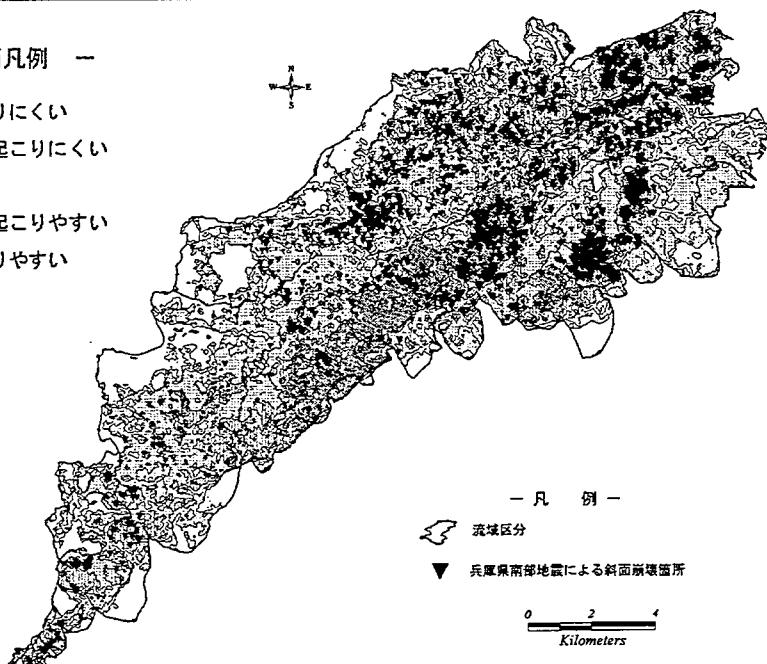


図3 地震動による斜面崩壊危険度評価図

表2 半別誤数係数および分類正誤率(六甲山系全域)

ケース	標準化された正準半別誤数係数			崩壊発生メッシュの分類正誤率(%)
	勾配	平均曲率	地震動(最大加速度)	
地形要因のみ	0.991	-0.119	—	79.0
地震動考慮	0.976	-0.115	0.188	78.2

(引用文献)

司宏俊・翠川三郎(2001):統計的グリーン関数法に基づく地震動最大振幅に関する破壊云橋効果による方位依存性の評価 日本建築学会構造系論文集第546号,pp.47-53.

西田勝朗・小橋登台・水山高久(1996):土砂災害用データベースを活用した、兵庫県南部地震による山腹崩壊分布の解析 砂防学会誌Vol.49 No.1,pp.19-24

福島美光・田中貞二(1992):新しいデータベースを用いた最大加速度の相間減衰式の改訂 地震学会予稿集2,p.116.

Fukushima, Y., Irikura, K., Uetake, T., Matsumoto, H. (2000):

Characteristics of observed peak amplitude for strong ground motion from the 1995 Hyogoken Nanbu (Kobe) Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 90, 3, pp. 545-565.

福島美光(2002):距離減衰式の再構築と地盤増幅のモデル化 地球, 号外 No.37, pp.80-89.

(参考文献)

中筋章人(1997):地震で発生した崩壊の要因分析について、日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.109-112.

Fukushima, Y., Irikura, K. (1997): Attenuation characteristics of peak ground motions in the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, J. Phys. Earth, 45, pp.135-146.

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集第474号, pp.59-66.

Midorikawa, S. (1993): Preliminary analysis for attenuation of peak ground velocity on stiff site, Proc. of the International Workshop on Strong Motion Data, 2, pp.39-48.