

ロジスティック回帰モデルの広域的斜面災害危険度予測への適用

九州大学工学部 学生会員 ○寺尾 昂 九州大学大学院 フェロー 善 功企
九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う集中豪雨の増加により斜面災害が増加している。斜面災害による被害を低減するためには対策を講じる必要があるが、そのさい、事前の危険度予測が不可欠となる。これまでの危険度予測の手法には大きく力学的手法と統計学的手法の2つがあり、両手法はそれぞれ、異なる特徴がある。力学的手法は、地形や地質といった素因と、降雨などの誘因を理論的に評価できる一方、広域的に評価するには、多くのデータを必要とし、データ取得のための地盤調査には莫大なコストがかかる。統計学的手法は、過去の崩壊データや植生等の質的なデータをパラメータとして取り入れることや、時間の概念を結果に取り込むこともできるなどの特徴を有する。本文では、それぞれの手法の長所を活かし、統計学的手法としてロジスティック回帰分析に着目し、力学的手法および統計学的手法を組み合わせた新たな広域的な斜面災害の危険度評価手法を構築し、その有用性を検討した。

2. 解析データ

本文の解析対象は、崩壊危険箇所が多く存在し、崩壊履歴が豊富な北九州市門司区とした。広域的な斜面災害危険度予測を行うために、対象地区を正方形のメッシュ状に分割し、各メッシュの危険度を評価した。本文では、メッシュサイズは100m×100mとした。過去の崩壊履歴には1989年から2005年の17年間の斜面崩壊データを用いた。

3. 力学安定解析モデル

3.1 解析手法

これまでに表層崩壊を仮定し、以下に示す部分浸水時における無限斜面の安全率を用いた斜面安定解析が行われた¹⁾。

$$F_s = \frac{c + \{(1-m)\gamma + m\gamma'\}H \cos \theta \tan \phi}{\{(1-m)\gamma + m\gamma_{sat}\}H \sin \theta} \quad \dots (1)$$

ここに、 c ：粘着力、 ϕ ：内部摩擦角、 θ ：メッシュの斜面平均勾配、 γ ：単位体積重量、 γ' ：水中単位体積重量、 γ_w ：飽和単位体積重量、 H ：崩壊深(= $H \cos \theta$)、 H_w ：地下水位深さ、 m ：浸水割合である。

今回、各メッシュの浸水割合 m は、リチャーズの式による浸透解析²⁾により計算した。安全率の計算では、 c 、 ϕ 、 θ 、 γ 、 H のばらつきを考慮し、モンテカルロ法により崩壊確率を算出した。ここで、10年間の最大降雨量を入力し、安定解析から算出した崩壊確率を空間崩壊確率と定義する。

3.2 解析結果および考察

北九州市門司区を対象とした斜面安定解析により得られたハザードマップに、過去17年間の斜面崩壊発生箇所を重ねたものを図-1に示す。また、崩壊確率0.5を斜面崩壊の有無のしきい値として崩壊予測を行い、精度評価を行った結果を表-1に示す。図-1では、実際に崩壊が発生したにもかかわらず崩壊確率が低い箇所が多くみられる。表-1から、非崩壊予測的中率は非常に高い値となるが、崩壊予測的中率は極端に低い値となった。この結果は、力学安定解析により算出された崩壊確率が全体的に低い値をとり、斜面の危険度に対して過小評価したことを意味する。

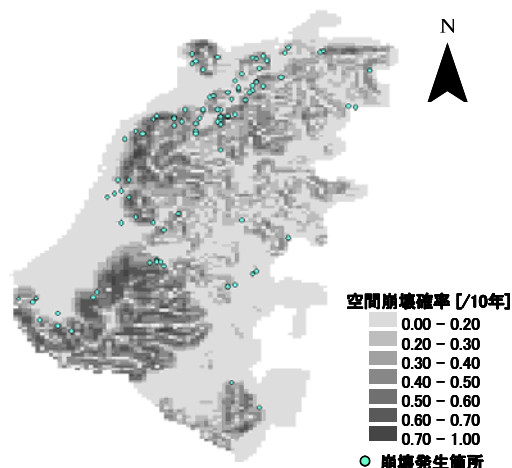


図-1 北九州市門司区のハザードマップ
(力学安定解析)

表-1 力学安定解析の精度評価
(崩壊確率50%で判別)

		予測	
		非崩壊	崩壊
実際	非崩壊	6135	718
	崩壊	88	13
非崩壊的中率		89.52%	
崩壊的中率		12.87%	

4. 新たな危険度予測モデル

4.1 ロジスティック回帰分析の概要

ロジスティック回帰分析を行う場合、モデル関数 $P(x_1, x_2, \dots, x_r)$ を以下のような関数で定義し、崩壊確率 $P(Z)$ を算出する。

$$P(Z) = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} \cdots (2)$$

ここに、 $Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n$ 、 β_i : 回帰係数、 x_i : 説明変数である。回帰係数 β は、最尤法により求める。

4.2 解析条件

解析パラメータに 3. で算出した空間崩壊確率を説明変数 x として、17年間の崩壊履歴を従属変数として入力し、ロジスティック回帰分析を行った。ここで、算出される崩壊確率を、時間崩壊確率と定義する。今回は、全崩壊データ数(101個)と同数の非崩壊データをランダムサンプリングで抽出し、解析を行った。ただし、空間崩壊確率が 0.6615 以上の非崩壊データは、サンプリング対象から除外した。その理由は、その多くが山間部に集中しており、実際には崩壊が発生したが、民家が近くに存在しないため、報告や調査が行われていない可能性があり、不確定なデータと判断したためである。また、ランダムサンプリング回数の違いによる、結果のばらつきを検討するために、各ランダムサンプリング回数における、崩壊・非崩壊の的中率の変動係数 COV (=標準偏差/平均値 μ)を算出した。その結果を図-2に示す。ランダムサンプリング回数が15回を境に、崩壊と非崩壊の的中率は、ともにばらつきが収束したため、15回の崩壊確率の平均値を時間崩壊確率とした。

4.3 解析結果および考察

図-3に得られたロジスティック曲線の一例を示す。また、新たに作成したハザードマップを図-4に示す。図-1に比べて、実際に崩壊が起こった箇所において、高い崩壊確率を示すことが分かる。3.2同様、崩壊確率0.5で判別を行い、精度評価を行うと、崩壊的中率が72.34%、非崩壊的中率が63.02%となった。このことから、崩壊予測の精度向上が見てとれ、崩壊的中率は力学的安定計算と比べると約6倍となった。その一方、非崩壊予測的中率は新手法の方が低い結果となった。ただ、安全側に考えれば、このモデルは十分斜面崩壊の危険度を評価できると言える。

5. まとめ

本文で得られた結論は、次のとおりである。(1) 北九州市門司区を対象に、力学的手法と統計学的手法を組み合わせ、新たな斜面崩壊危険度予測手法の構築・適用を行った。(2) 力学的手法と統計学的手法を組み合わせることで、危険度予測精度が向上された。これらを踏まえて、今後は新たな説明変数を加え、更なる精度向上を図る必要がある。

〈参考文献〉1) 三角真貴子：地理情報システムを導入した斜面崩壊リスクマップの信頼性評価，九州大学卒業論文，2008 2) 川越清樹・風間聡：数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築，自然災害科学 JJSNDS20-4, pp1-12, 2006.

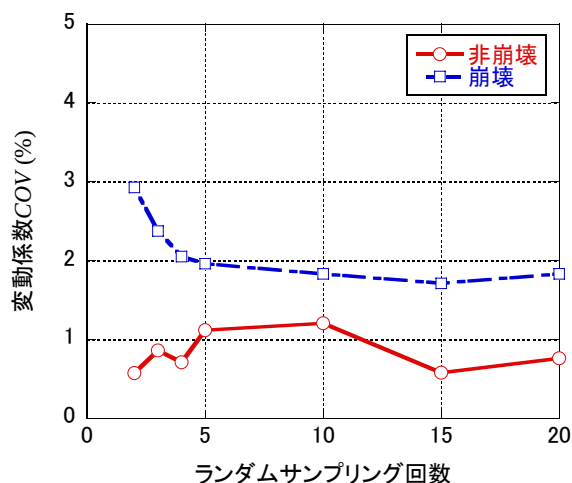


図-2 ランダムサンプリング回数と変動係数の関係

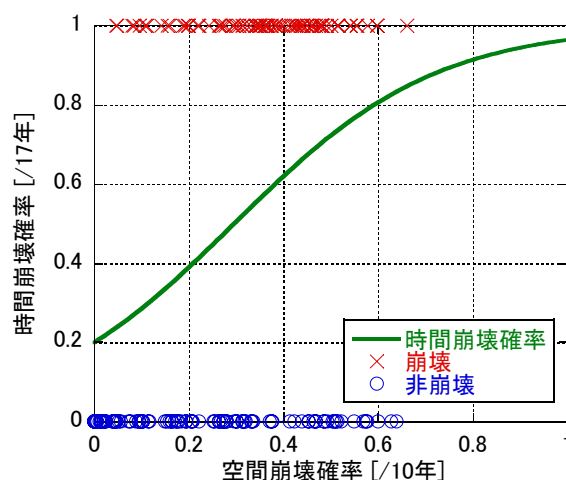


図-3 解析結果により得られたロジスティック曲線の一例

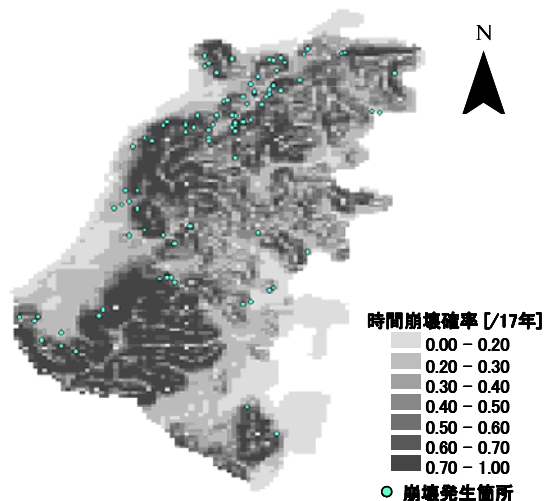


図-4 北九州市門司区のハザードマップ (新手法)