崩壊履歴を考慮した斜面崩壊危険度評価へのロジスティック回帰モデルの導入

九州大学大学院　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．その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，事前の危険度評価が不可欠となる．危険度評価の手法は大きく力学的手法と統計学的手法の 2 つに分けられる．これまで，力学的手法による危険度評価が多く行われており，この手法は素因と誘因を理論的に評価できるが，崩壊履歴が考慮されていないこと等の課題がある．統計学的手法は，崩壊履歴を考慮し，確率的な危険度評価が可能であり，力学的手法では考慮されていない斜面災害の要因を取り込むことも可能である．そこで本文では，両手法を組み合わせることで，崩壊履歴を考慮し，統計的かつ新たな広域的な危険度評価手法を提案する．

2. 解析手法

2.1 解析対象

本文では，斜面災害の多い福岡県北九州市を解析対象とした．広域的な斜面災害危険度評価を行うため，対象地区を 100m×100m の正方形メッシュに分割し，各メッシュの危険度を評価した．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．

2.2 解析手法

① 力学的手法

本研究グループでは，標高，地質データおよび *N* 値をもとに *GIS* を用いて，表層崩壊を仮定した斜面安定解析により，各メッシュの崩壊確率を算出し，ハザードマップを作成した [1]．ここで，斜面安定解析で算出した崩壊確率を空間崩壊確率 P_{fz} と定義した．**図-1** に作成したハザードマップと，17 年間の崩壊発生箇所の位置を示す．実際の斜面災害の発生箇所は，崩壊確率が高いと計算された山間部では少なく，崩壊確率が低い住宅地等に多く存在し，崩壊発生箇所と崩壊確率の関係が一致しなかった．

② 説明変数に空間崩壊確率を与えたロジスティック回帰分析

統計学的手法としてロジスティック回帰分析を用いた．ロジスティック回帰分析では，モデル関数 $P(x_1, x_2,\ldots,x_r)$を以下のような関数で定義し，崩壊確率 $P(Z)$を算出した．

$$P(Z)=\frac{1}{1+\exp(-Z)}=\frac{\exp(Z)}{1+\exp(Z)} \qquad \textbf{(1)}$$

ここで，$Z=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\ldots+\beta_nx_n$，$\beta_i$：回帰係数，$x_i$：説明変数である．回帰係数$\beta i$は，最尤法により求める．

本文では，崩壊確率 $P(Z)$として崩壊履歴を，説明変数として空間崩壊確率を与えた．ここで，ロジスティック回帰分析で算出した崩壊確率を時間崩壊確率 P_{ft} と定義した．

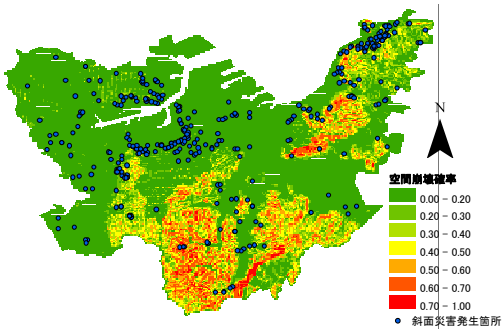

図-1 力学安定計算により作成されたハザードマップ

表-1 サンプリングデータを対象とした崩壊予測結果(手法②)

		予測		計
		非崩壊	崩壊	
実際	非崩壊	52	31	83
	崩壊	24	59	83
計		75	91	
空振り率		39.8%		
漏れ率		30.1%		
的中率		65.1%		

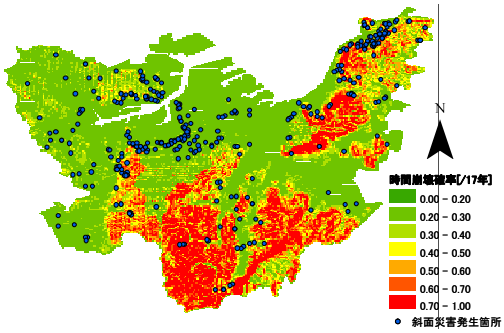

図-2 時間崩壊確率のハザードマップ

統計的解析，斜面，斜面安定

〒819-0395　福岡県福岡市西区元岡 744 番地 防災地盤工学研究室　TEL 092-802-3384

③ 説明変数に累積流量を加えたロジスティック回帰分析

新たに地形の集水性を示す累積流量を説明変数に加えた解析を行った．

2.4 サンプリング方法

山間部での崩壊に関するデータが十分でないため，門司区，八幡西区および小倉北区の崩壊が集中する斜面を 3km 四方でサンプリングすることとした．解析には，サンプリング地区の全崩壊データ(83 メッシュ)と，同数の無作為抽出した非崩壊データを使用した．ただし，非崩壊データの内，空間崩壊確率が 0.625 以上のデータはサンプリング対象から除外した．今回，非崩壊データを無作為抽出したため，15 回サンプリングした，その平均値を時間崩壊確率とした．

3. 解析結果

手法②のサンプリングデータを対象とした崩壊予測結果を**表-1** に示す．的中率，空振り率および漏れ率は，崩壊確率 0.5 を斜面崩壊の有無のしきい値として判別を行った．作成したハザードマップを**図-2** に示す．サンプリングデータの的中率は比較的高かったが，**図-2** に示すハザードマップでは依然として，崩壊履歴と崩壊確率の関係が一致しない結果となった．

手法③の崩壊予測結果を**表-2** に，ハザードマップを**図-3** に示す．累積流量を考慮しない場合と比較すると，サンプル内での的中率，空振り率および漏れ率はいずれも改善した．崩壊発生箇所と崩壊確率の関係も一致する箇所が増加した．

力学的手法および，新手法で得られた式を北九州市全域に適用した結果の比較を**図-4** に示す．力学的手法は，的中率および空振り率の精度が最も高いが，漏れ率の精度は非常に低い結果となった．力学的手法は，斜面の危険度を過小評価したと言える．一方，手法②と手法③はどちらも，的中率が約 70%，空振り率が約 30%と精度が下がる結果となったが，漏れ率が大きく改善した．特に，累積流量を考慮した場合の改善は著しかった．

崩壊位置の予測精度を評価するために，**図-5** に急傾斜地危険度ランキングと算出した崩壊確率に基づく危険度ランキングの相関係数と的中範囲の割合を示す．手法①と②に比べて，手法③では予測精度が大きく改善した．

4. 結論

1)崩壊履歴を考慮し，時間の要素を取り込んだ新たなハザードマップを作成した．2)地形の集水性を示す累積流量を説明変数に加えることで，危険度評価の精度が向上した．3)力学的手法および新手法の計算結果を比較した結果，安全側に考えると，新手法が危険度評価において有利であると考えられるが，更なる精度向上が必要である．

表-2 サンプリングデータを対象とした崩壊予測結果(手法③)

		予測		
		非崩壊	崩壊	計
実際	非崩壊	56	27	83
	崩壊	18	65	83
計		74	92	
空振り率		32.5%		
漏れ率		21.7%		
的中率		72.9%		

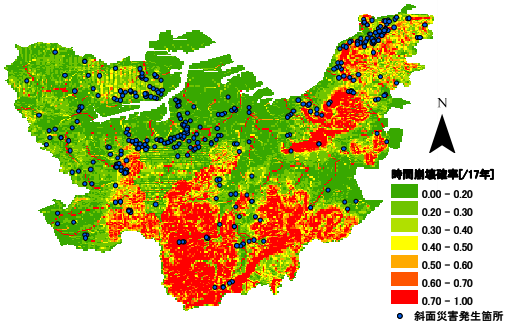

図-3 時間崩壊確率のハザードマップ(手法③)

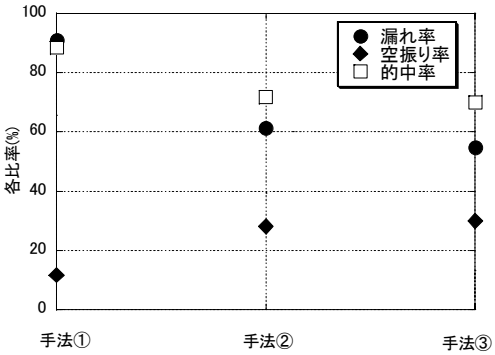

図-4 各手法の漏れ率，空振り率および的中率の比較(北九州市全域)

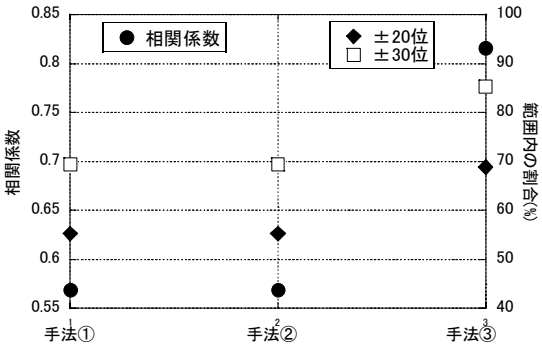

図-5 各手法の急傾斜地危険度ランキングとの比較結果(北九州市全域)

＜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) SPSS 株式会社：ロジスティック回帰分析入門