

## 統計学的手法とシミュレーションモデルを用いた 崩壊発生危険度の定量的評価

株式会社興和 調査部 高澤忠司  
新潟大学農学部 権田 豊  
宇都宮大学農学部 執印康裕  
新潟大学農学部 川邊 洋

### 1 はじめに

日本の国土の7割は山地で占められているため、地震や豪雨時には斜面崩壊が頻発する。例えば、2004年の新潟豪雨では、山地・丘陵地域において多くの斜面崩壊が発生し、住宅の損壊や河川の閉塞等、多大な被害をもたらした(丸井ら,2004)。

崩壊による被害を未然に防ぐためには、崩壊発生の危険度を定量的に評価し、崩壊に対する警戒避難を事前に呼びかける必要がある。

豪雨による崩壊発生危険度を定量的に評価する方法として、従来統計的手法が多く用いられてきた。中でも数量化理論 類は、傾斜や曲率などの数的データをカテゴリ分類し質的なデータに変換することで、地質や土地利用といった質的なデータと組合せて、崩壊発生危険度を分析することを可能とした。

しかし、この方法では数的データをカテゴリに分類する際の基準には客観性が乏しいことが指摘されている(大石ら,2006)。また、豪雨によって発生する崩壊は、降雨強度に伴う地下水位の動態が大きく影響を及ぼしているため、崩壊の危険性を評価するには地形の集水性を考慮する必要がある。数量化理論 類では、解析に用いる際のサンプルがそれぞれ空間的に独立したものとして抽出されるため、数的データの持つ空間的な連続性を解析に組み込むことが難しく、地形の集水性を十分に考慮できない。

この課題を考慮し、近年力学モデルをベースとしたシミュレーションにより崩壊発生危険度を定量的に評価する方法が検討されている。この方法では、降雨流出過程を連続式と運動方程式を組み合わせで解き、崩壊の発生危険性を評価するため、傾斜や曲率といった数的データの空間的な連続性が考慮されるだけでなく、崩壊発生危険度の経時変化を表現することもできる。しかし、このモデルに用いるパラメータは、土壌の物理性が空間的に大きなばらつきがあるため、計測・観測による評価が極めて困難とされている(内田ら,2009)。

そこで本研究では、2004年新潟豪雨災害により崩壊が多発した出雲崎・栃尾地域を対象とし、統計的手法と力

学モデルをベースとしたシミュレーションにより崩壊発生の危険度を定量的に評価し、両手法を比較検討した。また、解析にはデータの重ね合わせや集計などを効率的に行うことが可能であるGISを用いた。

### 2 研究対象地区概要

2004年新潟豪雨災害時に崩壊が多発した出雲崎町周辺の丘陵と旧栃尾市の山地から、それぞれ2.5km四方の解析対象エリアを選定した(以後、各エリアを「出雲崎」と「栃尾」とする)。両エリアの殆どが第三紀から第四紀の比較的地質年代が新しい堆積岩類で構成されている。また、両エリアとも新潟豪雨時には、最大時間雨量50mm前後の降雨が観測され、降雨強度に殆ど差がない。しかし、「出雲崎」の平均傾斜は17.2°、崩壊件数は131件、崩壊総面積は12.6ha、「栃尾」の平均傾斜は20.5°、崩壊件数は64件、崩壊総面積は4.5haと両エリアで異なっている。

### 3 使用データ

解析には(株)アジア航測提供の2004年新潟豪雨時に発生した崩壊ポリゴンデータ、伊豫部ら(2005)の研究資料の降雨データ、国土地理院よりダウンロードした10mメッシュの数値標高データ(以下、DEM)を使用した。

### 4 解析方法

#### 4.1 数量化理論 類

統計的手法として本研究では数量化理論 類により解析を行った。解析を行うために、DEMより作成した各種環境因子(標高・傾斜角度・平面曲率・断面曲率)をカテゴリ分類した。

複数のレイヤに含まれるデータを重ね合わせて比較するために、約20m間隔の格子点において各環境因子の情報を取得した。格子点における崩壊の発生・非発生の状態を目的変数とし、各環境因子を説明変数として、数量化理論により解析し、カテゴリスコアを得た。格子点ごとに各環境因子のカテゴリスコアを加算し、統計的に得られた中央値を境とし、崩壊の発生・非発生を推定した。

## 4.2 シミュレーションモデル

解析には執印ら(2009)による力学モデルを用いた。このモデルは、約10m間隔の計算メッシュ(以後メッシュ)における標高、土層の厚さ、粘着力、内部摩擦角、降雨のハイトグラフを条件として与え、地下水の連続式および運動方程式を解き、1時間毎に地下水位を算出し、各メッシュにおいて斜面安定解析を行うものである。

本解析では、降雨の条件として新潟豪雨時のハイトグラフを用いた。表層土層厚については実測データがないため、各メッシュで一律に1.2mと与え、無降雨時の安全率が1.2を下回る場合には、安全率が1.2となるように土層厚を調整した。粘着力は、シミュレーションにより算出された安全率が1未満となるメッシュの数(以下、潜在表層崩壊斜面数とする)と実崩壊発生斜面数が一致するように与えた。

## 5 解析結果及び考察

### 5.1 数量化理論 類

各環境因子の崩壊への寄与度を表すレンジ(=カテゴリスコアの最大値と最小値の差)から判断すると、出雲崎においては、傾斜角度(レンジ2.1)、平面曲率(レンジ1.3)が崩壊発生の重要な因子であった(図1)。これに対し栃尾においては、標高(レンジ1.6)、断面曲率(レンジ1.4)が崩壊発生の重要な因子であり(図2)、両地域で崩壊発生に寄与度の高い環境因子が異なる結果となった。これらの結果の分析精度を示す判別の中率は、出雲崎で68%、栃尾で67%であり概ね予測ができたと言える。

### 5.2 シミュレーションモデル

潜在表層崩壊斜面数と実崩壊発生斜面数が一致するみかけの粘着力は、出雲崎では4kPa、栃尾は6kPaとなった。これは両地域で、土層の粘着力や土層厚さといった土層の物理性が異なることを示唆している。これらの粘着力の値を用いて推定した潜在表層崩壊斜面が、実崩壊発生斜面と隣接するケースが少なからず見られたが、両者が一

致するケースは少なかった。本シミュレーションでは、本来は空間的にばらつきを持つ土層のパラメータを、空間的に一様に与えたため、実際の崩壊発生場を適切に評価できなかったと推測される。

## 6 おわりに

本研究により、統計的な手法とシミュレーションモデルによる2つの解析方法を用いて崩壊発生危険度を定量的に評価した。この結果、統計的な手法を用いることで概ね崩壊発生場を予測できることが示された。しかし、この手法は実際に発生した崩壊のデータをもとに統計解析を行っているため、崩壊のデータが存在しない地域では、崩壊発生の危険性を十分な精度で評価することができない。また、この手法は、崩壊の発生時間や発生規模を予測できるものではなく、降雨の状況に応じた崩壊発生危険性の変化を評価する手法としては利用できない。

一方、シミュレーションモデルによる手法は、降雨の経時変化に応じた危険域の分布の変化を表現できるというメリットを持っている。一流域という小さな対象域で、十分な現地調査を行えば、シミュレーションモデルが簡易であってもかなり高い精度で崩壊危険箇所を抽出できる(内田ら, 2009)とされるが、広域にわたって正確な土質パラメータの取得は困難であるため、広域を対象とした場合、予測の空間的な精度は低くなってしまふ。広域かつ正確な土質パラメータの測定方法が確立されることが今後の課題であると考えられる。

一方、シミュレーションモデルによる手法は、降雨の経時変化に応じた危険域の分布の変化を表現できるというメリットを持っている。一流域という小さな対象域で、十分な現地調査を行えば、シミュレーションモデルが簡易であってもかなり高い精度で崩壊危険箇所を抽出できる(内田ら, 2009)とされるが、広域にわたって正確な土質パラメータの取得は困難であるため、広域を対象とした場合、予測の空間的な精度は低くなってしまふ。広域かつ正確な土質パラメータの測定方法が確立されることが今後の課題であると考えられる。

## 参考文献

- 伊豫部ら(2005):平成16年7月新潟・福島豪雨雨量データベース
- 丸井ら(2004):砂防学会誌,vol157,No3,pp53-59
- 大石ら(2006):砂防学会誌,Vol.58,No.6,pp3-10
- 執印ら(2009):砂防学会誌,vol162,No3,pp39-46
- 内田ら(2009):砂防学会誌,vol162,No.1,pp23-31

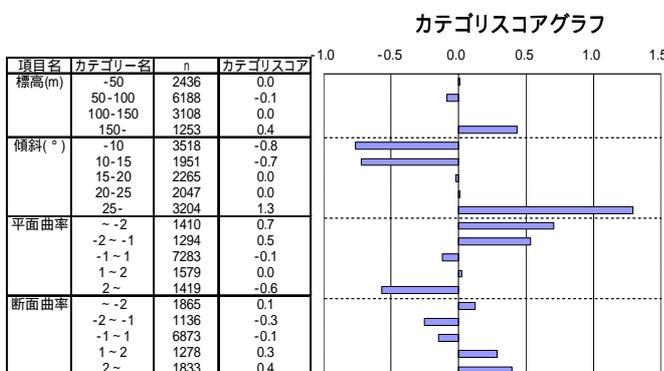


図1 出雲崎の崩壊と各環境因子との関係

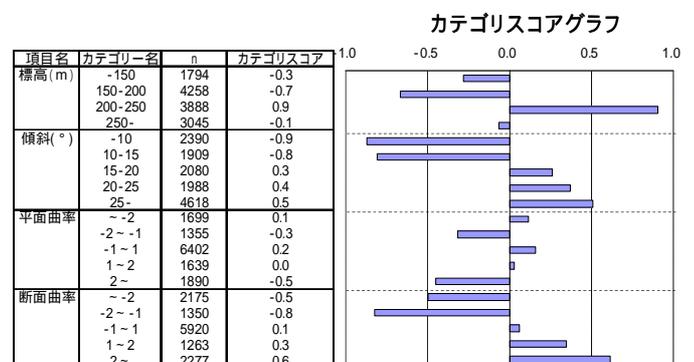


図2 栃尾の崩壊と各環境因子との関係