

## 道路沿い自然斜面の GIS 三次元斜面安定評価

九州大学工学部 学生会員 ○田中大輝 九州大学大学院 正会員 江崎哲郎  
九州大学大学院 正会員 三谷泰浩 九州大学大学院 非会員 邱 騁

### 1. はじめに

道路沿いの自然斜面では、異常気象等の影響により崩壊・落石などが生じることが多々あり、道路防災上、道路沿い自然斜面の安定評価は非常に重要となる。道路防災点検では、地形図、空中写真等をもとに災害地形を経験的に読み取り、過去の崩壊箇所や崩壊した場合に道路へ影響を及ぼす可能性のある箇所を対象として、安定度調査表を用いた定性的な方法により斜面安定評価が行われている。

しかしながら、現在行われている道路防災点検では、工学的な定量的評価が取り入れられていないため、点検対象を事前に抽出する際の意思決定の判断が困難であることに加え、点検対象とならない斜面や現地調査を行うことができない斜面に関して安定評価を行うことが困難である。

本研究では、道路防災点検が実施された道路沿い斜面に対して、GIS 三次元斜面安定評価手法を適用して崩壊の可能性のある箇所の予測を行う。

### 2. 対象区域の概要

本研究の対象区域は岐阜県北部の飛騨市神岡町東漆山地区に位置し、国道 41 号の南東側斜面にあたる。神岡地区は急斜面が多く存在しており、斜面崩壊や落石の危険性が高く、異常気象時は通行規制が余儀なくされている。

対象区域の地質は飛騨変成岩類からなる。全域に花崗岩質片麻岩が分布し、遷急線が不明瞭で、斜面下部に崩積土、土石流堆積物が分布する区間もある。片麻岩は風化に伴い節理が発達し、岩塊、礫、砂へと風化するため、風化が進んだ片麻岩斜面は表層崩壊の発生が予想される。現地調査により、崩積土や崖錐堆積物の土層深さは、薄く堆積している箇所では 0～1 m、厚く堆積している箇所では 2 m 程度である。

対象区域では、現地調査に先駆けて地形図等より経験的に抽出された災害地形のうち、道路災害に結びつくことが想定される箇所を点検対象として、安定度調査表に基づいた安定評価が行われ、未踏査区域に関しては既往資料に基づいて災害危険箇所を抽出し評価された。

### 3. GIS 三次元斜面安定評価システム

GIS を用いた三次元斜面安定評価システム<sup>1)</sup>は、広範囲の自然斜面を斜面ユニット(Slope unit)に分割し、膨大な地形・地質等に関する空間情報を GIS を用いて効率良く

管理し、極限平衡法に基づく三次元斜面安定解析手法により斜面ユニットにおける危険すべり面の位置、形状、最小安全率を求めるものである。

広域の自然斜面に対して安定評価を行うに際して、力学定数等の不確実要素のために各斜面で正確な安全率を計算し安定評価を行うことは非現実的である。したがって以下の計算式に基づく信頼性指標(Reliability Index)を用いて、確率的手法により安定評価を行う。

$$Pf = \frac{|\ln(SF_c) - \mu_N|}{\sigma_N}$$

$Pf$ :信頼性指標,  $SF_c$ :危険安全率,  $\mu_N$ :対数正規分布に従う安全率分布の平均,  $\sigma_N$ :対数正規分布に従う安全率分布の標準偏差, である。

### 4. 神岡地区の斜面安定評価

今回、道路防災点検が実施された神岡地区の斜面に対して、以下の手順に沿って GIS 三次元安定評価手法を適用して斜面の安定評価を行う。

#### 4.1 デジタルデータの準備

まず、航空レーザー計測データから対象区域の地形の DEM(Digital Elevation Model)を作成する。このデータのメッシュサイズは 1 m で、範囲は約 1.4km<sup>2</sup>である。次に、作成した DEM から、地形の傾斜方向、傾斜角の分布を求め、さらにこれらのラスターデータを統合したポイントデータを作成する。地質は、基盤層の片麻岩と、その残積土である風化土、崩積土、崖錐から構成される層の 2 層に区分する。表層崩壊のすべり面は、片麻岩の風化部と未風化部との境界面、あるいは風化土層の中で発生すると考えられる。崩積土の土層深さは、現地調査から 0～1 m とされた箇所を 1 m、1～2 m 程度である箇所を 2 m とし水系境界を参考に Fig.1 のように設定する。

#### 4.2 地盤定数の推定

斜面崩壊予測には、地盤定数が不可欠である。しかしながら、対象区域には全域に硬質な片麻岩が分布するため、採取対象となる風化部や崖錐の分布域・層厚とも限られており、現地では地盤定数を設定するための試験は行われていない。本研究では、Hovland の理論解析方法(極限平衡法)を基本とした三次元安定解析モデルを用いて崩壊箇所を再現し、片麻岩斜面上の土層を対象として現場試験により得られた値<sup>2)</sup>の平均値を基準として逆算に

より必要な地盤定数を求める。その際、礫質土の単位重量  $\gamma$  は  $18\text{t/m}^3$  と仮定する<sup>3)</sup>。その結果、 $c=7.2\text{kg/m}^2$ 、 $\phi=26^\circ$  が得られた。

**4.3 斜面安定性の三次元評価と結果**

対象区域のすべての斜面を尾根線と谷線によって 206 個の斜面ユニット (Slope unit) に分割し、三次元斜面安定評価システムを適用し、各斜面ユニットに対して 500 回の安全率の試行計算を行う。斜面ユニットに対して算出された安全率の分布は対数正規分布に従っており、不安定となる安全率  $SF_c$  を 1.0 と仮定して信頼性指標を計算した結果を Fig.2 に示す。また、各斜面ユニットに対して試行計算を行うことにより、すべての試行すべり面の位置と形状が保存される。そのうちから安全率が 1.0 以下となるすべり面を崩壊の可能性があるすべり面として抽出することで、不安定箇所的位置と規模を特定することができる。Fig.3 に示すように、抽出された不安定すべり面のほとんどは、地形図と現地調査により確認された崖錐堆積物区域の上部斜面、または堆積物区域内に位置することがわかる。堆積物の上部斜面は  $30^\circ \sim 45^\circ$  と傾斜角が大きく、風化した岩屑が降雨などの誘因で崩壊する可能性が高い。さらに、崩積物区域内で二次崩壊が発生する可能性もあると判断できる。また、抽出したすべての不安定すべり面は、土層深さが 2m となる斜面ユニットに含まれることから、風化層および堆積物が厚く溜まっている斜面に崩壊が発生しやすいと考えられる。この解析結果から、防災点検を行う際、堆積物区域およびその上部斜面を重点的に調査する必要があることがわかる。

また、Fig.3 に示すように、抽出された不安定すべり面の 9 割は、信頼性指標が 1 以下の斜面ユニットに、残りの 1 割は信頼性指標が 2 以下の斜面ユニットに含まれる。このことから、信頼性指標が低くなっている斜面ユニットにおいては不安定すべり面を有する傾向があることがわかる。したがって、信頼性指標が低い値を取る斜面ユニットを防災点検対象として重点的に調べることにより、崩壊の可能性がある箇所を効率的に特定することができる。

**5. おわりに**

神岡地区の道路斜面に対して、すべり面を仮定することにより代表的な地盤定数を与え GIS 三次元安定評価システムを適用して崩壊の可能性がある箇所の予測を行った。その結果以下のことが明らかとなった。

(1) 不明な地盤定数に対して逆解析を用いて代表的な一律の地盤定数を与えることにより、相対的に不安定な斜面を抽出した。

- (2) 本手法のようにマクロな視点で解析を行うことで、現場調査に先駆けて崩壊の可能性がある箇所を定量的に予測した。
- (3) 現地調査が困難な斜面や点検対象外とされた斜面のように現地調査が行われない領域を定量的に評価した。

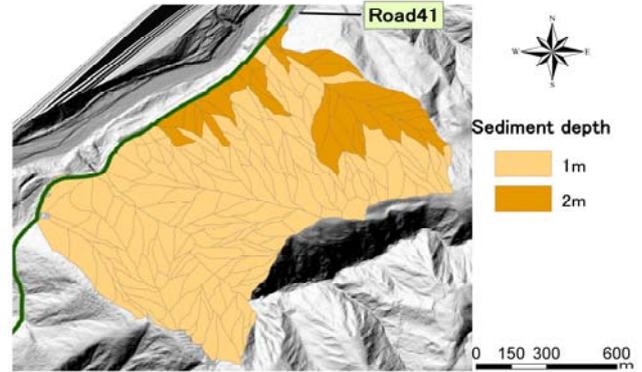


Fig.1 Distribution of sediment depth

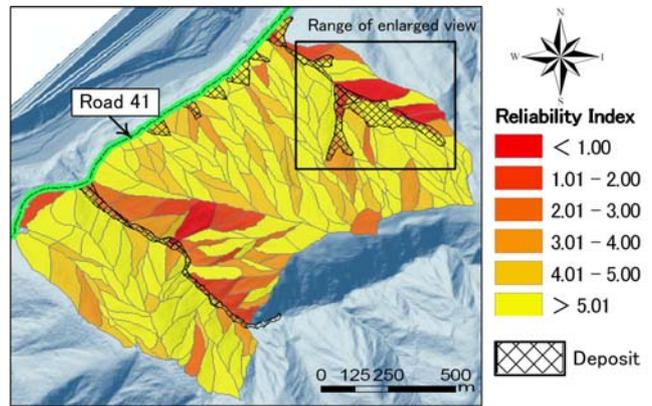


Fig.2 Landslide hazard zonation map

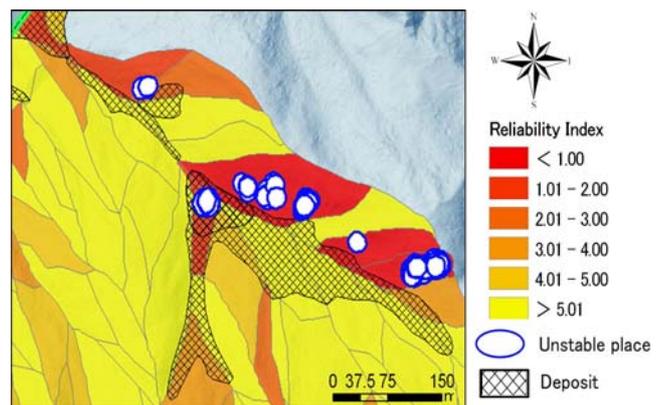


Fig.3 Enlarged view of Fig.2: distribution of unstable places

**<参考文献>**

- 1) Cheng QIU *et al.*: Slope unit based probabilistic analysis of slope stability along highway routes in Japan, *Rock and Soil Mechanics*, Vol.26, pp.1731-1736, 2005.
- 2) 松倉公憲他: 韓国ソウル郊外の花崗岩と片麻岩山地における土層構造と表層崩壊に与える基盤岩質の影響, *地学雑誌*, 111(3), pp.416-425, 2002.
- 3) 日本道路公団: 設計要領第一集, pp.148-149, 1994.