

降雨を考慮した広域における GIS 三次元斜面安定解析の検討

九州大学工学部 学生会員 ○堀越 顕
九州大学大学院 正会員 池見 洋明

九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩
九州大学大学院 学生会員 姜 文驍

1. はじめに

世界的にも土砂災害が頻発しているように、日本国内においても、毎年のように土砂災害の罹災者がおり、数年に一度程度の頻度でメディアに大きく取り上げられるような土砂災害が発生している。このように、土砂災害が頻発する背景としては、急峻で山がちな国土であるという地理条件の下に、温暖湿潤な気候で降雨や積雪が多いことに加え、地震多発地帯であることが土砂災害発生の可能性を高めている。さらに、近年では、短時間で局所的に非常に強く降る雨が増えていることも大きな原因としてある。

一般的な斜面安定解析では、現場でサンプリング等を行い、解析に必要な地盤物性値を定め、比較的詳細で正確な斜面安定解析が行われるが、短時間局所豪雨等は発生地域を予測することが難しく、このような状況に対応するには、多少の精度を損なっても広域を対象とする斜面安定評価が必要とされる。

そこで、本研究では、比較的広域を対象とし、降雨による影響を考慮した三次元斜面安定解析の手法を提案し、その具体的な適用を行い、危険箇所の抽出と降雨による危険箇所の時刻変化の算出を試みる。

2. 三次元斜面安定解析の手法

図1に斜面安定解析のフローを示す。解析では、広域における三次元斜面安定解析を評価するにあたり、広い範囲の斜面区域から比較的同一の地形、地質、水理条件を持つ斜面を1つの斜面ユニット(slope unit)として抽出し、抽出した斜面ユニット1つ1つに対して安定解析を行う¹⁾。さらに降雨による影響を考慮するために降雨モデルとして、含水率と浸透モデル²⁾から、各セルの飽和度を求め、降雨浸透による影響として、(1)式、(2)式で示される飽和度に応じた粘着力の変化モデルを導入する。

$$c = c' + c_{\psi} \quad (1)$$

ここで、 c' は有効粘着力、 c_{ψ} は見かけの粘着力である。

$$c_{\psi} = A \cdot S_r \cdot (1 - S_r)^{\lambda} \quad (2)$$

ここで、 S_r は飽和度、 A は土の種類に依存し、最大せ

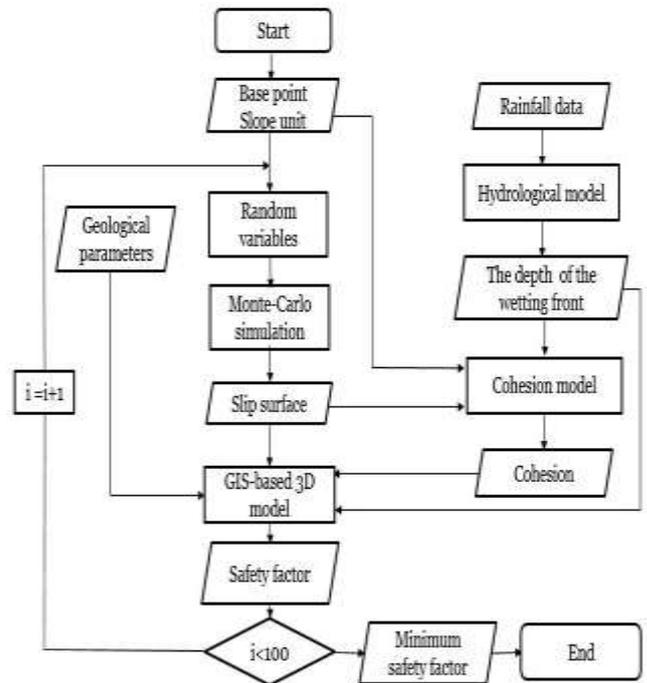


図1 GIS 三次元斜面安定解析のフロー

ん断応力に関する定数、 λ は c_{ψ} - S_r 曲線の概形を決定するための定数である³⁾。

三次元斜面安定解析において、まずは、地形、地層、地下水位、などの空間情報をGISラスタデータに変換し、各ラスタレイヤを作成する。すべり体の空間形状を楕体球と仮定し、楕体球の長さ、幅、深さをパラメータとして、実際に取り得る最大値と最小値を現場での実績から設定し、先の粘着力 c とともに、式(3)に代入することで、すべり方向に作用する各セルのすべり力と抵抗力を計算する。その後、すべてのセルのすべり力と抵抗力をそれぞれ合計し、その比率として安全率(SF_{3D})を求める。

$$SF_{3D} = \frac{\sum_j \sum_i (cA + W \cos \theta \tan \phi) c s \theta_{Avr}}{\sum_j \sum_i W \sin \theta_{Avr} \cos \theta_{Avr}} \quad (3)$$

ここに、 i, j はすべり体範囲内のセルの行と列数、 c はすべり面の粘着力、 ϕ は内部摩擦角、 A は各土柱のすべり面の面積、 θ は各土柱のすべり面の傾斜度、 θ_{Avr} はすべり体の主傾斜角度、 W は土柱の重さである⁴⁾。

次に、広域の危険箇所を評価するにあたり、各斜面ユニットにおいて、すべり安全率が最小となるすべ

り体を抽出するための空間検索計算を行う。その際、楕体球の中心位置、寸法を可能性のある範囲でモンテカルロ法により一様乱数として任意に設定し、多くの試行計算を行う。その中で最小安全率を持つすべり面を抽出する⁵⁾。

3. 対象地域

今回対象とする地域は、人吉市大塚地区および伊佐市木ノ氏地区にまたがる地域を対象とする。この地域の地質は、後期中新世から鮮新世の非アルカリ苦鉄質火山岩類であり、約700万年前～170万年前に噴火した火山の岩石で、安山岩・玄武岩類が広く分布する。安山岩が分布する地域の表層には、風化した安山岩が分布しており、斜面崩壊がたびたび発生している。

4. 解析結果

対象地域における地盤物性値が得られていないため、同等の地質と考えられる文献(6)を参考に地盤物性値を仮設定した。図2に示すように、行政によって指定された危険箇所(土石流危険渓流, 急傾斜地崩壊危険箇所, 土砂災害危険箇所)と安全率が1.0以下となる箇所が合致するように c' , ϕ の値を調整しながら、複数回の安定解析を行うことにより、最終的に以下のように、地盤物性値を定めた。

$$c' = 24 \text{ kN/m}^2, \phi = 23, \gamma = 16.19 \text{ kN/m}^3,$$

$$K_s = 3.6 \text{ cm/h}, \theta_i = 0.15, \theta_s = 0.2, A = 40, \lambda = 0.4$$

次に、20 mm/hr の降雨が24時間継続したと仮定し、三次元斜面安定解析を行った。その結果として、安全率が1.0以下となった斜面ユニットのうち、安全率が1.0以下となった時刻ごとに整理したものを図3に示す。図より、まず、桑木津留川と高仁田川の合流地点北岸(a)の斜面ユニットが危険域となり、続いて、南岸(b)の斜面ユニットも危険域となった。その後、胸川(c)に沿って危険箇所が出現する結果となった。

5. まとめ

本研究では、広域を対象として、降雨により危険箇所を含む斜面ユニットがどのように経時変化して行くかを明らかにした。その結果、想定される危険斜面が一定降雨の条件下で、時間経過により徐々に危険度が増加していく状況を把握できた。よって、本研究で用いた手法により、数ある危険斜面の中で、より危険である斜面の評価が可能であると考えられる。

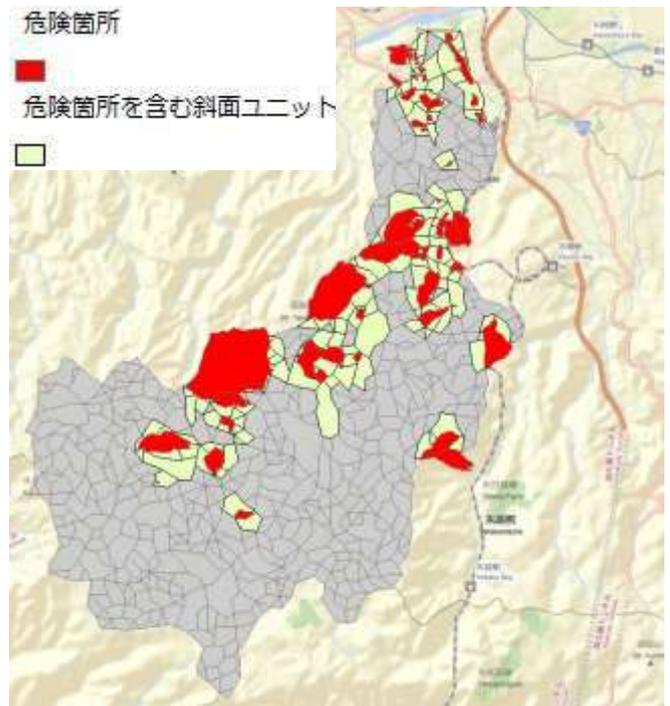


図2 危険箇所と斜面ユニット

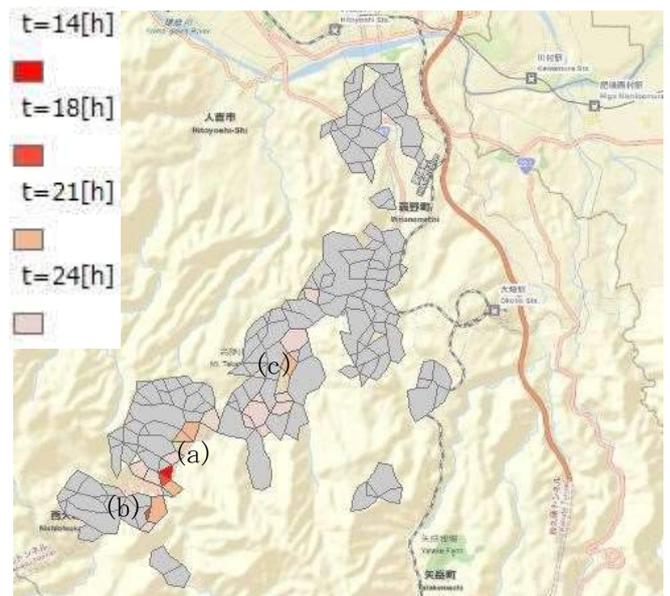


図-3 危険斜面ユニットの出現時刻

参考文献

- 1) 周国云, 江崎哲郎, 邱聘, 佐々木靖人: GISを用いた三次元斜面安定評価のための単位斜面の抽出, 土と基礎 52(4), pp.26-28, 2004.
- 2) C. Qiu, T. Esaki, M. Xie, Y. Mitani, C. Wang : Spatio-temporal estimation of shallow landslide hazard triggered by rainfall using a three-dimensional model, Environ Geol, 52, pp.1569-1579, 2007.
- 3) L. Montrasio and R. Valentino : A model for triggering mechanisms of shallow landslides, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, pp.1149-1159, 2008.
- 4) 江崎哲郎, 邱聘, 謝謨文, 三谷泰浩: 雲仙普賢岳溶岩ドームの斜面安定評価, 九州技報, 39, pp.11-17, 2006.
- 5) M. Xie, T. Esaki, G. Zhou, and Y. Mitani : Geographic Information Systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability Analysis and Landslide Hazard Assessment, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, pp. 1109-1118, 2003.
- 6) 大塚悟, 岩部司, 磯部公一, 堀越俊寛: 7・20 水俣市斜面崩壊の数値解析的考察, 第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2008.