

水俣市宝川内集地区の斜面崩壊分析とハザードマップ

九州大学工学部 学生会員 ○清武 厚子 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 謝 謨文

1. はじめに

2003年7月、梅雨前線によってもたらされた集中豪雨により、九州各地で斜面崩壊や土石流等の土砂災害が発生し、安全の確保や経済的損失が大きな問題となった。

本研究では、特に甚大な被害を受けた水俣市宝川内集地区の斜面崩壊の分析を行うとともに、周辺地域の斜面について、三次元斜面崩壊の危険予測システムを適用し、斜面崩壊のハザードマップを作成する。

2. 水俣市宝川内集地区の斜面崩壊

水俣市宝川内集地区は水俣市役所の南東6.5kmの山間に位置し、宝川内川の谷筋の最も下流部にある集落で、標高は80~100m前後であり、集落の中を集川が横切り宝川内川に合流している。この集地区において、2003年7月20日未明、斜面崩壊による土石流が発生した。この斜面崩壊は、崩壊地域の地質や降雨が大きく関係していると考えられている。崩壊地付近の地質は、四万十層群の砂岩・頁岩互層を基盤とし、凝灰角礫岩(An-5)および安山岩溶岩(An-7)からなる。現場の観察から安山岩溶岩は風化が進み、透水性がよいと判断された。また崩壊部では、崩積土と凝灰角礫岩の境界から湧水が確認された。このため凝灰角礫岩は不透水層であり、この境界面をすべり面として安山岩溶岩が崩壊したと推定される(Fig.1)。

3. ハザードマップの作成

3.1 三次元斜面崩壊の危険予測システム²⁾

斜面の危険性を示すには、どの場所で、どのような規模と形態で崩壊が発生するかを評価することが基本であり、地形・地質等様々な空間情報の定量把握が不可欠である。そこで、地理情報システム(GIS)を用いた三次元斜面崩壊の危険予測システムを適用する。三次元斜面安定解析の理論解析方法の1つである、Hovlandが提案した極限平衡法³⁾は、Fig.2に示すようにすべり範囲内のすべり体に対して、四角形のメッシュ(柱状体)を分割し、すべり力と抵抗力をそれぞれ合計し、その比で三次元すべり安全率を求めるものである。

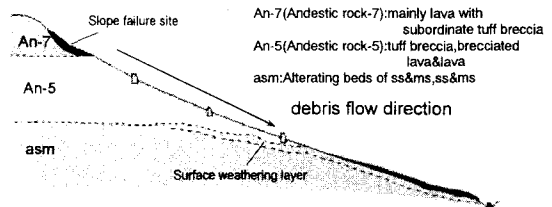
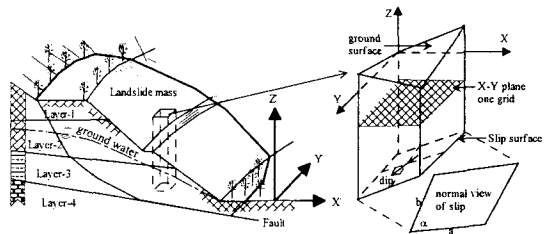
Fig.1 Geology of slope failure site¹⁾

Fig.2 3D view of one grid-column for deriving 3D factor of safety equation.

これには、三次元的な土柱の分割やその幾何データの整理・入力がかかなり複雑で、すべり面の空間形状、すべり体の規模と空間姿勢をどのように設定するか、といった問題点がある。過去多くの斜面崩壊事例からすべり面の三次元形状は楕球体の一部分に相当するケースが多いので、楕球体の形状を変えることによって、楕球体の下部と地盤の交差する面により、すべり面の形状を模擬する。その際、GISで作成したデジタル地形データを用い、楕球体範囲内の地形の平均標高、主傾斜角度、主傾斜方向により楕球体の空間姿勢を決定する。また、楕球体の中心位置、短軸の長さ、短軸と長軸の比を可能性のある一定の範囲でモンテカルロ法により一様乱数を発生させ、楕球体の空間姿勢と幾何形状を変えることでケースを自動的に設定する。その各ケースで、地表面下の楕球体の曲面をすべり面とした場合の安全率が最小となるすべり面を、以下に示すHovland 三次元斜面すべり安全率の計算式により抽出する。Fig.3にそのフローチャートを示す。

$$F_{3D} = \frac{\sum_j \sum_i (cA + [(Z_{ji} - z_{ji})\gamma' \cos \theta - u_{ji}] \tan(\phi)) \cos \theta_{Avr}}{\sum_j \sum_i (Z_{ji} - z_{ji}) \gamma' \sin \theta_{Avr} \cos(\theta_{Avr})} \quad (1)$$

ここで、 Z_{ji}, z_{ji} : 地表およびすべり面の標高、 u_{ji} : すべり面での間隙水圧、 γ' : 土塊の単位体積重量、 θ : 柱状体の傾斜角、 θ_{Avr} : すべり面の主傾斜方向の傾斜角度、 c : 粘着力、 ϕ : 内部摩擦角、 A : すべり面の面積である。

3. 2 システムの適用手順と結果

斜面崩壊の危険予測システムを以下の手順にそって適用し、ハザードマップを作成する。

- ①この地域の縮尺 2500 分の 1 地形図(5 km×4 km の領域)の地形等高線を線のデータ(Polyline)として GIS に入力し、GIS の空間内挿機能を用い、連続的に分布する標高のラスタデータを得る。このデータをベースとして空間解析から、各セルでの傾斜角度、傾斜方向の分布を計算する。
- ②対象領域のすべての斜面を各斜面ユニットに分割する。この斜面ユニットは、尾根線と谷線によって分割される斜面を 1 つのユニットと定義するもので、これは GIS の水理解析機能を用いて集水域を抽出し、集水域の境界と尾根線によって各斜面ユニットを面のデータ(Polygon dataset)として分割する。
- ③崩壊地での地盤定数を崩壊箇所の逆解析結果から粘着力 $c=20\text{kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=21^\circ$ と設定する。
- ④三次元斜面危険予測システムを適用し、各斜面ユニットについて安全率を計算する。この適用範囲は崩壊地と同じ表層地質である安山岩溶岩の区域である。これにより、各斜面ユニットでの最小となる安全率とそのすべり体の位置と形状を決定することができ、これを斜面崩壊のハザードマップとして Fig.4 に示す。

4. まとめ

水俣市の斜面崩壊について解析を行った。主な結果は以下のとおりである。

- 1)水俣市宝川内集地区の斜面崩壊は、安山岩溶岩中で生じており、この分布領域の中から崩壊箇所と同じ地盤強度を仮定し、最も崩壊しやすいすべり体の位置と形状を解析した。
- 2) 2500 分の 1 地形図および 5 万分の 1 地質図のデジタルデータを作成し、三次元斜面崩壊予測システムに用いる地質、地形の空間情報の主題図を作成した。
- 3)三次元斜面崩壊予測システムを用いることで対象領域内の安山岩溶岩からなる各斜面において、最もすべり安全率の小さいすべり体を検出した。

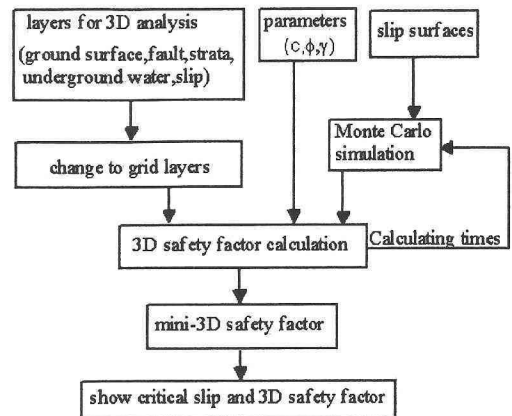


Fig.3 Flow chart for minimum 3D safety factor.

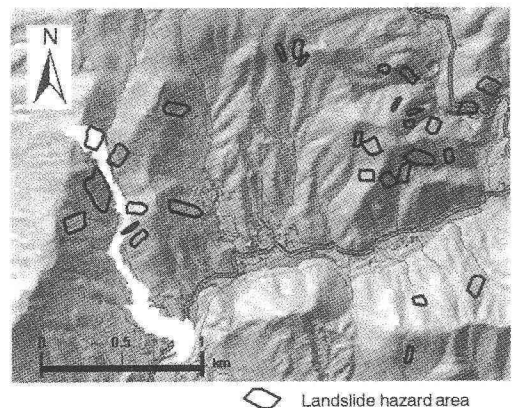


Fig.4 3D landslide hazard map(1/2500).

- 4)崩壊の可能性のあるすべり体の位置と形状を示す新しい考えに基づくハザードマップを作成した。これは今後の土砂災害対策の防災支援に役立つと考えられる。

参考文献

- 1)(社)日本地すべり学会：熊本県水俣市宝川内・深川で発生した斜面災害緊急調査速報，2003。
- 2)Mowen Xie *et al*: Geographic Information Systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability Analysis and Landslide Hazard Assessment, ASCE, Vol.129, pp.1109-1118, 2003.
- 3)Hovland, H.J.: Three-dimensional slope stability analysis method, Journal of the Geotechnical Engineering, Vol.103, No.GT9, pp.971-986, 1977.
- 4)(社)土木学会, (社)地盤工学会 九州地方豪雨災害合同調査団：2003年7月梅雨前線による九州地方の豪雨災害調査報告書，2003。