

Ⅲ－28 Mathematicaによる三次元斜面安定解析システムの開発

東北大学 学生会員 ○山本 雄介
正会員 京谷 孝史
フェロー 岸野 佑次

1. はじめに

我が国では斜面崩壊災害が多発しているが、防災管理の財源は限られており、効率的な管理が求められている。従来、斜面安定解析は解析対象箇所を特定し、その都度安定性評価がされてきたが、防災管理においては実際のところ、どこでどのように斜面崩壊が起こるかを特定することが重要である。このような危険箇所の特定には、三次元的な安定解析が必要であり、地質、地形等の様々な空間情報を必要とする。ところが近年においては、精度のよい数値地形データ、広範囲の土質情報が容易に得られるようになってきている。そこで、本研究では数値地形データを用いて、計算機による三次元の安定解析システムを構築し、対象範囲の中から斜面崩壊危険箇所を抽出することを目的とする。このようなシステムの先駆的なものとして、GISによるデジタル地形データと Visual Basic 言語を用いたものが既に開発されている¹⁾。本研究では、データの読み込みから安定計算、グラフィックス表現までの一連の作業を、より安価な Mathematica により行う。

2. 三次元斜面安定解析システム

(1) データ整理と安全率の算出方法

Hovland²⁾の極限平衡法では、すべり範囲内のすべり体を土柱に分割し、土柱のすべろうとする力、すべりに抵抗する力をそれぞれ合計し、その合力の比で三次元の安全率を求めている。この方法は、土柱要素が直方体でなければ適用できない。本解析システムでは、数値地形データの地表面上メッシュの構成要素である4節点四角形要素を用いて、すべり体を土柱分割する。従って、四角形要素が任意の形状でも安全率を算出できるように、Hovlandの方法を改良する。改良方法として、四角形要素から1次の4節点アイソパラメトリック要素に座標変換をして、土柱の体積 V 、すべり面の面積 A 、土柱がすべろうとする方向 t 、すべり面に垂直な方向 n を各要素について求める（ t 、 n は単位ベクトル）。そして、要素毎のすべろうとする力 Q_i 、すべりに抵抗する力 S_i をすべり体範囲内の全要素について求め、合力 $Q = \sum_i Q_i$ 、 $S = \sum_i S_i$ を算出し、三

次元斜面安全率 F を求める。

$$Q_i = \{cA_i + \gamma V_i (n_i \cdot e_g) \tan \phi\} t_i \quad (1)$$

$$S_i = -\{\gamma V_i (t_i \cdot e_g)\} t_i \quad (2)$$

$$F = \frac{-Q \cdot (S / \|S\|)}{\|S\|} = \frac{Q \cdot S}{S \cdot S} \quad (3)$$

ここに、 e_g は重力方向の単位ベクトルである。式(3)は、すべりに抵抗する力 Q について、すべろうとする力 S の向きの射影をとり、実質的な抵抗力とすべり力の大きさの比を算出している。

(2) すべり面の仮定と危険箇所の抽出

過去の斜面崩壊の災害事例から、斜面崩壊の形状は表層崩壊の場合と、斜面の勾配方向に長軸を持つ楕円体の一部であることが多いと知られている。これらの事例から、本解析システムでは、すべり面形状を基本的に楕円体の下部で仮定し、崩壊の深さが表層厚を越えた場合は、基盤面上をすべり面とし、表層崩壊も模擬できるようにする。

危険箇所の抽出のためには、二次元円弧すべり搜索と同様、すべり面を多数設定し、最小安全率を示すすべり面を抽出しなければならない。そこで、すべる位置、楕円体の姿勢を効率よく多数設定するために、本解析システムでは、すべる位置の設定は地形の勾配が急な地点を優先し、楕円体の姿勢は長軸の傾斜角度を3段階、形状を球、卵形、細長い楕円の3段階設定し、同じ地点について $3 \times 3 = 9$ の楕円姿勢を設定する。

3. 本解析システムの適用例

図-1に解析対象範囲の地形図を示す。土質定数の設定、基盤面の設定は、比較のため表-1に示すような3ケースを設定する。地表面を分割する四角形要素数は2800である。本解析システムを適用した結果、3つのケースについてそれぞれ図-2、図-3、図-4に示された

表-1 土質定数の設定

ケース	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	γ (kN/m^3)	h (m)
通常時	45	30	19	6
降雨時	30	30	21	6
基盤なし	45	30	19	100

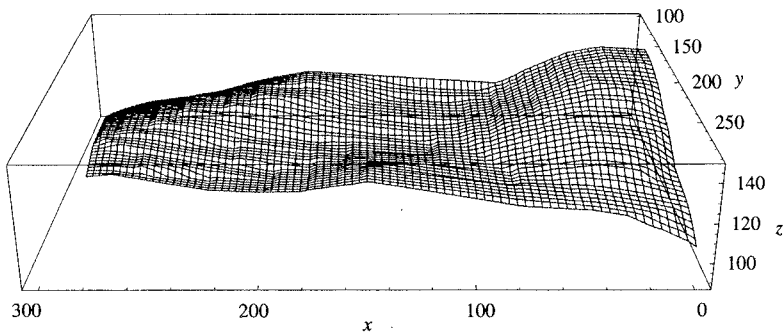


図-1 モデル地形

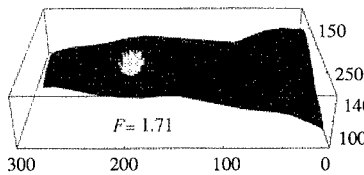


図-2 解析結果 (通常時)

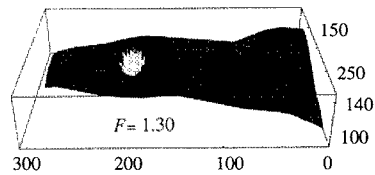


図-3 解析結果 (降雨時)

箇所が最小安全率を示した。通常時、降雨時は同じ箇所が最小安全率を示した。この2ケースでは、土質定数を低く設定した降雨時の方が低い安全率を示すが、更に土質定数を低く設定していくと、安全率が1を下回ると考えられる。土質定数が明確でなくても、安全率が1を下回る時の土質定数を算出できれば、その土質定数は斜面崩壊が起こる危険性が現れる目安となり、防災管理において意義のある安定解析となる。基盤がないケースでは、基盤のある場合と比較して、位置が多少異なる部分が抽出され、安全率はかなり低い値が算出された。図-4と同じ位置における、地下6mに基盤がある場合のすべり面の形状は図-5のようになっている。両者を比較するとすべり面の形状がかなり異なっている。楕円体のすべり面には急勾配要素が数多くあり、表層崩壊に比べてすべり力が大きくなっている様子が分かる。表層崩壊のすべり体の安全率を算出した結果、楕円体のすべり面の安全率1.02に対して高めの1.89であった。よって、楕円体のすべり面形状はすべり力が大きくなり、すべりが起きやすい幾何学形状であることがうかがえる。本解析システムでは、このような安全率の差が生まれる両ケースとも、表層厚の入力値を変えることによって解析することが可能である。

4. まとめ

地形データを用いることにより、広域範囲から斜面崩壊の危険箇所を抽出することができた。数学ソフト

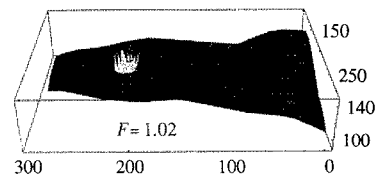


図-4 解析結果 (基盤なし)

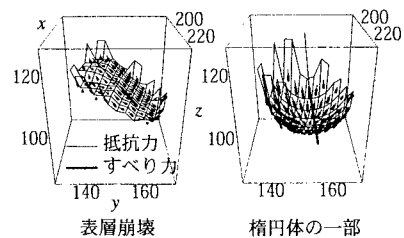


図-5 すべり面形状の比較

ウェア Mathematica を用いることにより、地形、斜面崩壊危険箇所およびすべり体の姿勢をグラフィックス表現により視覚化でき、安定解析を安価に行うことができた。このようなシステムの開発は、防災管理への一助となると考えている。

参考文献

- 1) 周 国云, 江崎哲郎, 謝 謨文, 三谷泰浩: GIS とモンテカルロ法を用いた新しい三次元空間斜面安定評価方法の提案, 土と基礎, Vol.50, No.5, pp.23~25, 2002.
- 2) Hovland, H.J.: Three-dimensional slope stability analysis method, Journal of the Geotechnical Engineering, Vol.103, No. GT9, 971~986, 1977.