

III-82

数式処理言語の岩盤斜面安定性評価システムへの適用

内田工務店 正員 内田真一  
 東海大学 正員 Ömer Aydan  
 名古屋大学 正員 市川康明  
 同上 正員 川本暁万

1. はじめに 数値計算はそのデータ構造が比較的簡単なために FORTRAN 等で容易に記述することができるが、それに対して、問題を数値的に解くのではなく、代数式のまま、あるいは厳密な形の有理数のままで解く方法は数式処理と呼ばれ、記号処理が得意な計算機言語が使われる。この数式処理の強みは、数学的知識がアルゴリズムの形で蓄えられているために、微分・積分、因数分解、マトリックス演算等を計算するのに公式集を持ち出し手計算するよりも遙かに便利に、より確実に結果が得られるところにある。したがって、数値計算とは有効な適用分野が異なったものとなる。本報告は、数式処理システム Mathematica を岩盤斜面安定性評価システムに適用し、Mathematica のこの問題への適用に対する評価、検討を行うものである。

2. 安定性評価のシステムとその手順 岩盤斜面安定性評価システムは、図-1 の様な流れである。以下、各ステップの説明を行う。

STEP.1(調査結果の整理) 調査・実験などから得られたデータから岩石と不連続面の力学特性、不連続面の幾何学的特性を決定して、解析に必要なデータ形式にする。また、不連続面の幾何学的特性決定のため、不連続の方向と間隔を求める。幾何学的特性を求める方法として、直接計測による方法、写真による方法を選択した。

STEP.2(岩盤構造の分類) STEP.1 で得られた不連続面の幾何学特性のデータと岩盤の種類などの地質学的情報を基に、岩盤の構造を連続体、層状体、ブロック体の何れかに分類する。

STEP.3(破壊様式の決定) STEP.2 で分類した岩盤の構造の種類別に、岩盤の力学特性と斜面の形状から破壊様式を決定する。(破壊様式は斜面の傾斜角  $i$ 、岩盤の内部摩擦角  $\phi$ 、不連続面の内部摩擦角  $\phi_d$ 、不連続面の傾斜角  $\alpha$  の値の組合せにより決定される)

STEP.4(安定解析) STEP.3 で分類した破壊様式に対応した極限平衡の理論に基づく安定解析を実行する。

STEP.5(総合評価) それぞれの STEP で得られた結果を総合的に判断し、斜面の安定性の評価を行う。

3. Mathematica の使用方法 Mathematica の使用言語は、Object 型 C 言語である。Mathematica によって岩盤斜面安定性評価プログラムを作成する。本研究では極限平衡状態における様々な釣合方程式を解く方法を採用した。この解法はマトリックス演算に外ならず、Mathematica 使用の上での強力な武器となる。層状体岩盤斜面に対するプログラム例を図-2 に示す。ここで、現れる ≪ComShearSlip1.m 等は、パッケージと言い、FORTRAN などのサブルーチンに類するものである。

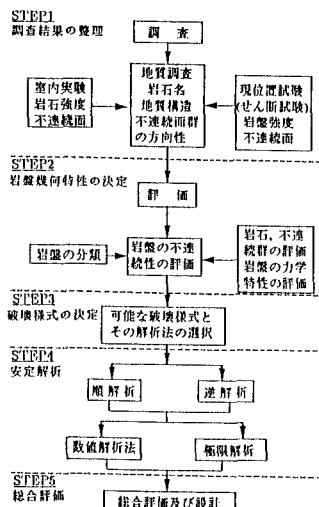


図-1 岩盤斜面安定性評価システムの流れ

岩盤斜面  
安定性評価  
プログラム

```
Block[{}];
(*----- Input Data -----*)
DR=PI/180;
DH=10; (* Slope Height *)
TH=10; (* Slope Angle (Lower) *)
U=1-MTH/DR;
THU=20; (* Slope Angle (Upper) *)
U=2-MTH/DR;
FI=30; (* Friction Angle of Intact Rock *)
phi=MTH/DR;
c=100.0; (* Cohesion of Intact Rock *)
eta=2; (* Seismic Coefficient *)
sigma=1; (* Stress Concentration Factor *)
R=1; (* Seismic Angle *)
beta=DEF DR; (* Scavation Factor *)
THUD=40; (* Discontinuity Angle *)
U=2-MTH/DR;
DU=2; (* Spacing *)
FIHD=33; (* Friction Angle of Discontinuity *)
phiH=FIHD/DR;
sigmaH=30; (* Tensile Strength of Rock *)
(*----- Computation Package -----*)
MTH=DR TH; MTHUD=FIHD; fall=1; fall=2];
MTH=1-MTH; MTHUD=90-MTH;
MTH=1-MTH; MTHUD=90-MTH; fall=4];
H[fall=1, << ComShearSlip1.m : SlipShear[1] ]];
H[fall=2, << Slip.m : PieceSlip[1] ]];
H[fall=3, << ComShearSlip2.m : SlipShear[2] ]];
H[fall=4, << Piece.m : PieceSlip[1] ]];
(*-----*)
```

結果

```
..... Sliding Failure .....
.....
..... Failure Angle -> 49 (Slip)
..... Safety Factor -> 1.53(9)
.....
..... Slope Geometry & Rock properties .....
--- Slope Geometry & Rock properties
--- Height -> 10m; Theta1 -> 10; Theta2 -> 10
--- Discontinuity Angle -> 40
--- Spacing -> 3m
--- Friction Angle of Rock -> 30
--- Friction Angle of Discontinuity -> 33
--- Cohesion of Rock -> 100.0(m^2)
--- Cohesion of Discontinuity -> 3.0(m^2)
--- Unit Weight -> 2.5(mw^3)
--- Seismic Coef -> 0
--- Seismic Coefficient -> 0
--- Seismic Angle -> 0
.....
```

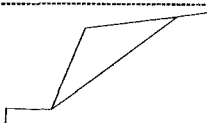


図-2 層状体岩盤の安定解析プログラム

また、Mathematica によってデモ的に解析を行った斜面を図-3 に示す。

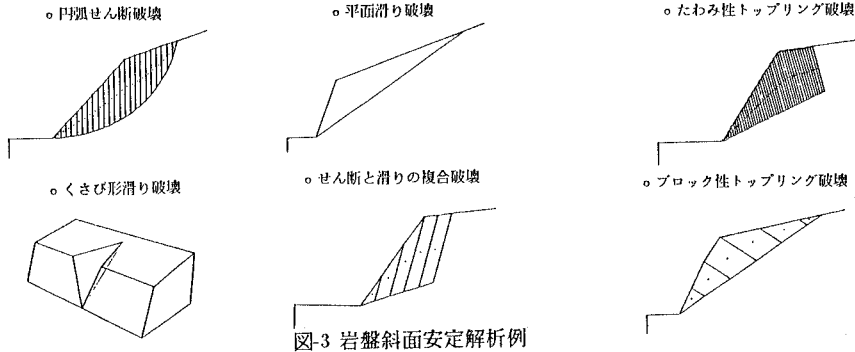


図-3 岩盤斜面安定解析例

4. 不連続性岩盤斜面への適用 岩盤斜面安定性評価システムを切り取り岩盤斜面に適用した。以下、安定性評価システムの手順にしたがって、この斜面の安定性の評価を行った。

STEP.1 (調査結果の整理) 対象岩盤はチャートと頁岩層が見られた。現地調査による岩盤斜面の力学特性は表-1 に示す通りである。

表-1 対象岩盤力学特性

Rock class	Block size	Unit gravity	Interraction angle	Cohesion
Intercalated chart and shale	15×25×25 (cm)	2.5 (ton/m <sup>3</sup> )	32 (degrees)	3.5 (ton/m <sup>2</sup> )

STEP.2 (岩盤構造の分類) 不連続面の反転がみられた地点を境界として、斜面を section1、section2 に分割した。直接計測による方法および写真情報による方法によって、決定された不連続面の傾斜方向を表-2 に示す。また、Mathematica を用いた不連続面群の3次元表示を図-4 に示す。

表-1 不連続面の傾斜方位/傾斜角

不連続面、斜面	section1	section2
斜面走向・傾斜	NE60/70	NE32/68
不連続面 No.1	NE85/60	NE38/60
不連続面 No.2	NE28/45	SW82/64
不連続面 No.3	SW60/50	SE3/85

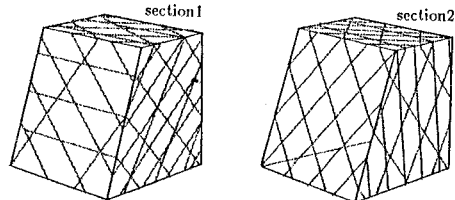


図-4 対象岩盤斜面の不連続面群3次元表示

STEP.3 (破壊様式の決定) 図-4 により、section1 においては平面滑り破壊、せん断と滑りの複合破壊が予測され、section2 においては平面滑り破壊、せん断と滑りの複合破壊、ブロック性トップリング破壊が予測された。

STEP.4 (安定解析) 破壊可能性の高い破壊様式を選び出した結果、section1、2 について両斜面とも平面滑り破壊が予測された。その安全係数は表-2 に示す通りである。

表-2 安全係数

section1	section2
1.62	2.31

STEP.5 (総合評価) section2 は、破壊可能性は低いといえるが、section1 においては、降雨の後や地震時には注意を要する必要があるといえる。

5. システムの予測に対する妥当性の検討および Mathematica の検討 現地調査の結果、対象岩盤斜面付近において、滑り破壊が過去に起こったと思われる崩落箇所が発見され、本システムの妥当性の傍記とすることができた。また、本システムに対する Mathematica の適用については Mathematica の持つマトリックス演算能力および3次元グラフィック機能を活用することによって、快適な処理環境が得られた。

6. 結論 数式処理システム Mathematica を岩盤斜面安定性評価システムに適用した結果、Mathematica のこの問題に対する有効性（マトリックス演算、3次元グラフィック等）が確認された。

参考文献 1) Stephen Wolfram : Mathematica<sup>TM</sup>、Addison-Wesley Publishing Company (1988)、2) Ömer Aydan : The Stabilisation of Rock Engineering Structures by Rockbolts、Doctorate Thesis Nagoya University (1989)