

離散剛要素法による斜面の 転倒・滑落についての検討

鳥取大学大学院 学生員 ○芳原 康滋
鳥取大学工学部 正会員 木山 英郎
鳥取大学工学部 正会員 藤村 尚
鳥取大学工学部 正会員 西村 強

1. はじめに

不連続性岩盤を解析するために種々の力学モデルが提案されているが、その1つにCundall, P.A. (1971)の提案した離散剛要素法 (Distinct Element Method, 以下DEMと略す) がある。本研究は岩盤斜面の転倒・滑落の発生機構を解明するために、単一ブロックの斜面上における転倒・滑落破壊のDEM解析を行う。この解析モデルに対する数値解析結果をAshby, Bray & Goodman (1981)¹⁾, およびSagasetta (1986)²⁾ の報告と比較することにより、DEM解析の妥当性を検討するものである。

2. 従来の転倒・滑落破壊の分類

図1に示すように、傾斜角 α の斜面上に高さ h 、底面の長さ b の長方形のブロックを考え、ブロックのすべり落ちる運動に抵抗する力は摩擦だけによる。すなわち粘着力 $C=0$ と仮定する。また、斜面とブロックの間の摩擦角を ϕ とすると、このブロックが、斜面上で安定な状態を保つための幾何学的条件は、

$$\tan \alpha \leq \tan \phi \quad (2-1)$$

$$\tan \alpha \leq b/h \quad (2-2)$$

の2式を満足することである。Ashbyは上式をもとに図2のような分類を行った。のちに、BrayとGoodmanが限界平衡法を用いて解析を行い、図3に示すような分類図を作成した。純粹なすべりだけの領域は広く、すべりと転倒が同時に発生する領域は狭くなった。さらに、Sagasettaは、運動方程式を解くことにより図4のような分類を行った。図中のすべりと転倒が同時に発生する領域と転倒のみ発生する領域が、摩擦角 ϕ により変化することを示した。

3. 解析モデルの設定

図1に示すような単一ブロックを斜面上に置いたモデルを考える。まず、静止状態に至るまでブロックの左側に壁を設け、計算を行う。静止状態とは、鉛直、水平方向の各変位量が、時間増分 Δt 間の自由落下距離 $g \cdot (\Delta t)^2$ の 10^{-3} 倍以下になる状態とする。静止状態に達した後、壁を取り去り、ブロックの挙動の解析を始める。図1において、摩擦角 ϕ およびブロックの面積を一定にして、斜面の傾斜角 α およびブロックの細長比 b/h を変化させて解析を行う。斜面の傾斜については、重力の作用方向を変えることにより斜面上に置かれ

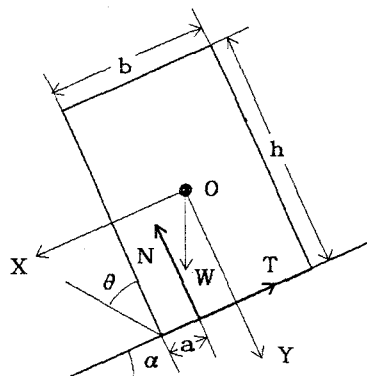


図1 解析モデル

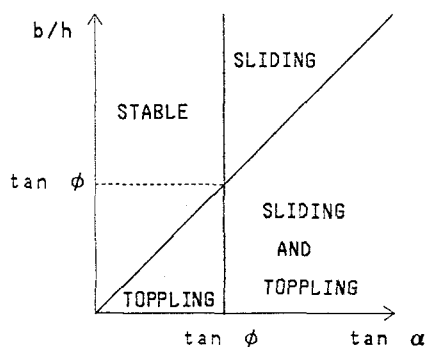


図2 Ashby の分類図

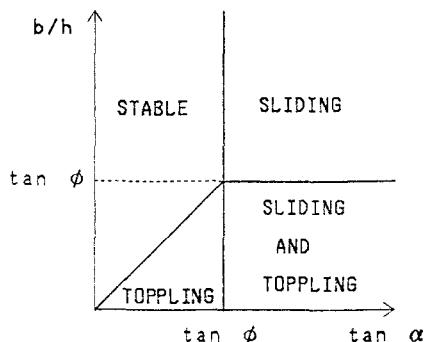


図3 Bray と Goodman の分類図

た状態を表現する。

4. 解析結果とその検討

前節で述べたモデルの設定に従って解析した結果の分類図を図5に示す。表1は、解析に用いた定数である。結果は、Sagasetaの分類にかなり近いことがわかる。これは、DEM解析は運動方程式を差分化して表現するので、当然の結果と言える。しかし、この両者の整合は、DEMの接触判定、反力の算定方法などの計算方法が妥当であることを示すものであり、解析結果の“確からしさ”を示したものととも言える。次に、転倒領域がすべりと転倒同時に発生する領域に入り込む理由について考察する。図5に示すようなブロックの運動方程式は以下の通りである。

$$X \text{ 軸方向: } \Sigma F_x = W \cdot \sin \alpha - T = \frac{W}{g} \cdot \ddot{x} \quad (4-1)$$

$$Y \text{ 軸方向: } \Sigma F_y = W \cdot \cos \alpha - N = \frac{W}{g} \cdot \ddot{y} \quad (4-2)$$

重心についてのモーメント:

$$\Sigma M_0 = T \cdot \frac{h}{2} - N \cdot \left(\frac{b}{2} - a \right) = \frac{1}{12} \cdot \frac{W}{g} \cdot (b^2 + h^2) \ddot{\theta} \quad (4-3)$$

ここで、Wはブロックの重さ、N、Tはブロックの底面の反力の斜面の垂直および水平成分、 $\ddot{x}$ 、 $\ddot{y}$ は、重心のX軸およびY軸方向の加速度、 $\ddot{\theta}$ は重心回りの角加速度とする。ブロックが、転倒する場合はY軸の負の方向に加速度 $\ddot{y}$ を生じ、X軸の正の方向に加速度 $\ddot{x}$ を生じる。これにより、ブロックの反力が式(4-1)、(4-2)、(4-3)を満たすために慣性項分だけ、Tが減少し、Nが増加する。すべりを生じるための条件は、 $T/N > \tan \phi$ であり、ブロックの b/h が等しく、斜面の傾斜が大きくなった場合でもTの減少およびNの増加のためにすべりが生じにくくなっている。従来の解析ではX軸方向の慣性項を考慮していない。そのために従来のものと比較して転倒領域が広がる結果となる。

参考文献:

- 1) Bray, J.W., Goodman, R.E.: The Theory of Base Friction Models. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 18, No. 6, pp. 453-468, 1981
- 2) C. Sagaseta.: On The Modes of Instability of a Rigid Block on an Inclined Plane. Rock Mechanics and Rock Mechanics and Rock Engineering 19, pp. 261-266, 1986.

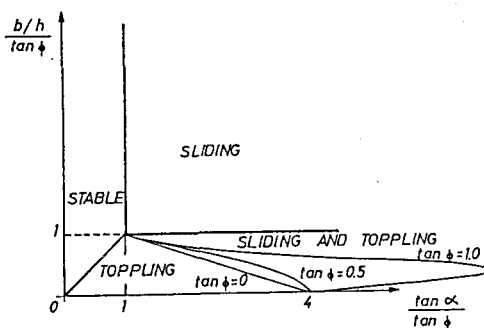


図4 Sagaseta の分類図

表 1 解析定数

$K n / \rho g = K s / \rho g =$	$3.85 \times 10^4 \text{ (cm}^2\text{)}$
$\eta n / \rho g = \eta s / \rho g =$	$1.20 \times 10 \text{ (cm}^2 \cdot \text{sec)}$
Δt	$1.0 \times 10^{-5} \text{ (sec)}$
ブロック面積 S	$2.0 \text{ (cm}^2\text{)}$
摩擦角 $\tan \phi$	0.48

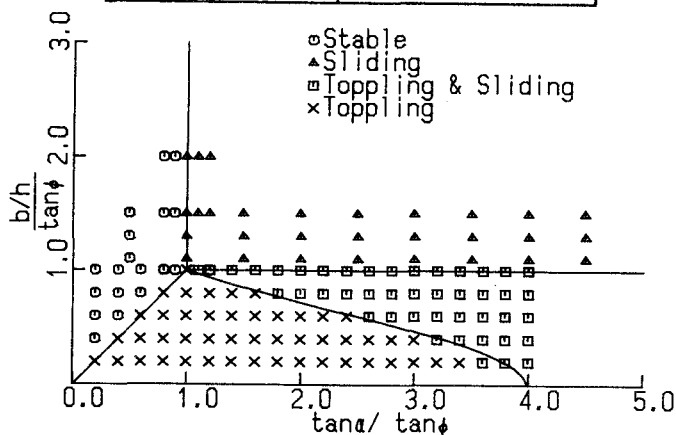


図5 DEM解析結果