

CS 29 粒状体の崩壊シミュレーションモデルについて

鹿児島大学大学院 学生員 福原清作
 鹿児島大学工学部 正会員 北村良介
 鹿児島県庁土木部 正会員 木佐貫浄治

1. はじめに

北村らは、土石流等のような土砂の崩壊・流動機構を調べるため、粒状体の崩壊シミュレーションモデルおよび流動・堆積シミュレーションモデルの提案を行っている^{1)・2)}。それらの特徴は、個々の粒子のつりあい式、運動方程式を基礎としていることである。本報告では、2つのモデルを統一し、1つにまとめることをめざし、崩壊シミュレーションモデルに改良を加えている。

2. シミュレーションモデル

図-1は、Y軸に対して角度 θ だけ傾いている斜面に一樣な粒子が最緩に積み上げられた様子を示している。各粒子間に摩擦力および粘着力を与えることで、コンピュータ内で図1に示す状態を作ることが可能である。

図-2は、図-1の粒状体の右上部を抜き出したものである。各粒子をI, J, Kとし、粒子Iに注目すると、各接点において粒子Iの中心方向に粒子間力が働く。粒子Iと粒子Jの接点をC {I, J}、接点C {I, J}における粒子間力をF {I, J}、粘着力をT {I, J}、粒子の自重が寄与する粒子間力をM {I, J}とすると(1)式がなりたつ。

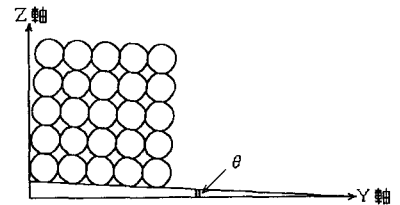


図-1 初期状態

$$F \{I, J\} = T \{I, J\} + M \{I, J\} \quad \cdots \cdots (1)$$

また、粒子Iが自重または他粒子から受ける力によってすべろうとする際には、すべり面（接平面）に沿って摩擦力が働き、接点C {I, J}における摩擦力をMF {I, J}、粒子間の摩擦係数を μ とすると(2)式がなりたつ。

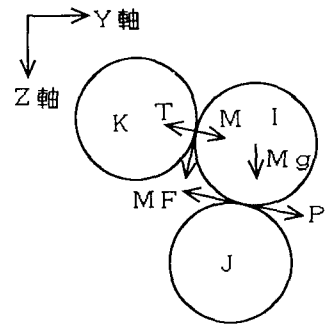


図-2 粒子に働く力

$$MF \{I, J\} = \mu \cdot F \{I, J\} \quad \cdots \cdots (2)$$

粒子Iが安定であるかという判定は、力のつりあい式およびモーメントのつりあい式によって行う。粒子Iがすべりに対して安定であるかという判定は力のつりあい式によって行い、それらはY, Z軸方向についてそれぞれ(3), (4)式のように書ける。

$$Y \text{ 軸方向: } P \{I, J\} \cos \theta = MF \{I, K\} \sin \theta + MF \{I, J\} \cos \theta \quad \cdots \cdots (3)$$

$$Z \text{ 軸方向: } P \{I, J\} \sin \theta = MF \{I, K\} \cos \theta + MF \{I, J\} \sin \theta \quad \cdots \cdots (4)$$

また、粒子Iが転がりに対して安定であるかという判定は、次式で示される接点C {I, J}のまわりのモーメントのつりあい式によって行う。

$$Mg \cdot r \sin \theta + M \{I, K\} \cdot r = T \{I, K\} \cdot r + MF \{I, K\} \cdot r \quad \cdots \cdots (5)$$

雨水の浸透により粒子間の粘着力が減少する場合を想定し、上方の粒子から徐々に粘着力Tを減少させる。力のつりあい、モーメントのつりあいが破れ、(3), (4), (5)式において左辺が右辺よりも大きくなったとき、粒子Iは不安定であると判定される。粒子が不安定になった場合、その粒子は運動方程式(6), (7)を満たす自由落下をしていき、他粒子との衝突の際には運動量保存則を満たす弾性衝突が生じるものと仮定する。

$$Y \text{ 軸方向: } m \frac{d^2 y}{dt^2} = 0 \quad \dots (6)$$

$$Z \text{ 軸方向: } m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg \quad \dots (7)$$

図-3は、以上の計算式を用いて粒状体の崩壊シミュレーションを行う際のフローチャートを示している。

3. シミュレーション結果

本報告では初期条件として、粒子数6個、斜面の傾斜角 3° 、初期粘着力 2.0 gf とし、上層より徐々に粘着力を低下した場合のシミュレーション結果を示す。図-4において、No. 1は初期状態で、No. 2, 3, 4と時間が進むごとに上層右側の粒子から不安定になり、落下していく様子が示されている。そして、No. 8で最終的な安定状態となり、それ以上の粒子の落下は起こらない。不安定粒子は斜面にそって移動していく。表-1はシミュレーションを行った粒子の諸元を示している。

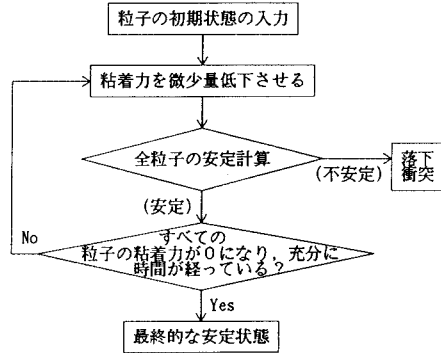


図-3 フローチャート

表-1 粒子の諸元

粒子の半径	1.00 cm
密度	1.00 g/cm ³
摩擦係数	0.55

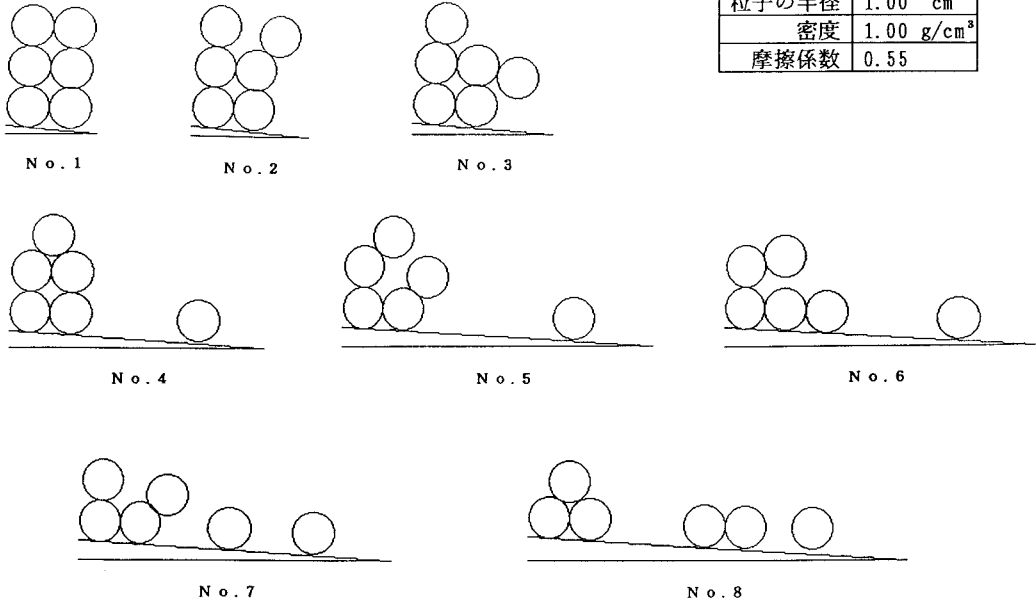


図-4 シミュレーション結果

4. あとがき

本報告では、土砂の崩壊を従来の流体力学に基礎をおいたアプローチではなく、個々の粒子の運動に着目して解こうとしている。今回の改良により、粒状体の崩壊現象を座標系を用い、時系列で表現できるようになるので、流動・堆積シミュレーションモデルと結び付けることが容易に行われると考えている。詳しい考察は発表当日に行う予定である。

～参考文献～

- 1) 福原, 北村, 木佐貫: 粒状体の崩壊シミュレーション, 平成4年度土木学会西部支部研究発表会概要集, pp. 568-569, 1993. 3.
- 2) 木佐貫, 北村: 粒状体の流動・堆積現象のモデル化に関する一考察, 土木学会第46回年次学術講演会概要集(第II部門), pp. 586-587, 1991. 9.