

III-403

粒状体の崩壊シミュレーションについて

鹿児島県庁土木部 正員 木佐貫 浄治
鹿児島大学工学部 正員 北村 良介

1. まえがき

北村&木佐貫は粒状体の流動・崩壊挙動のコンピュータによる数値シミュレーションプログラムの開発を行っている^{(1),(2),(3)}。そこでは、粒子1つの運動方程式、および、2球の弾性衝突に関する式のみが用いられており、そのような簡単な式のみでもかなりの精度で粒状体の流動・堆積挙動を表現できることを明らかにした。また、雨水等の浸透による土粒子間のサクシジョンの低下を粒子群の自重応力場における粒子間の粘着力の低下とみなし、崩壊のシミュレーションプログラムを開発を試みを行った⁽⁴⁾。

本報では前報⁽⁴⁾を発展させ、2つの傾斜角を有する数値実験を行い、若干の考察を加えている。

2. シミュレーションモデル

図-1(a)は、一様な粒子が最緩に積み上げられた状態を示している。底面から順に第1層…第m層とすれば、粒子間、および粒子と底面の間にいくらかの摩擦力和粘着力を与えることにより、図-1(a)に示すような状態をコンピュータの中で作り出し、ディスプレイ上に表示することが可能である。今、粒子の質量をM、半径をr、重力をg、粒子間の摩擦係数を μ 、また、第m層の左からn番目の粒子を $P_a(m,n)$ 粒子iと粒子jの接点を P_{ij} と表示することにする。図-1(b)は、図-1(a)に示した粒状体の右上部の粒子 $P_a(m,n)$ を取り出したものである。この粒子には図に示すように、粒子接点 P_{ij} には、粒子i, j間に働く荷重 M_{ij} と粘着力 T_{ij} が働いている。また、 P_{ik} にも同様に M_{ik} および T_{ik} が働いている。粒子がすべろうとする時、各接点では接平面に平行な方向に摩擦力 μF_{ij} および μF_{ik} が働く。

粒子自身の自重による粒子間力を M_{ij} 、粘着力を T_{ij} 、正味の粒子間力を F_{ij} とすると次式が成り立つ。

$$F_{ij} = T_{ij} + M_{ij} \quad \dots (1)$$

Y, Z軸方向の力のつり合いは次のようになる。

$$Y \text{ 軸方向 : } F_{ik} + F_{ij} \sin \theta = \mu F_{ij} \cos \theta \quad \dots (2)$$

$$Z \text{ 軸方向 : } Mg = F_{ij} \cos \theta + \mu F_{ij} \sin \theta + \mu F_{ik} \quad \dots (3)$$

(左辺<右辺の時安定)

点 P_{ij} でのモーメントのつり合いは次のように考える。

$$Mg \cdot r \cdot \sin \theta = F_{ik} \cdot r \cdot \cos \theta \quad \dots (4)$$

(左辺<右辺の時安定)

点 P_{ik} に関しては、それ以下の接点が存在するので、モーメントのつり合いを考える必要はない。

上式中の粘着力 T_{ij} ($i, j=1, 2, \dots$)を変化させ、力の釣り合い、モーメントのつり合いが破れると粒子が動き出すことになる。図-2は上式を用いた、シミュレーションプログラム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

ここでは、表-1に示すような粒子を想定し、5層5列に図-1(a)のように積み上げ、傾斜角とケース1が1°、ケース2が2°とし粒子の崩壊をシミュレートした。それぞれ結果を図-3, 4に各計算ステップにおける粒子群の様子と各層の粘着力を示している。また、粘着力は上層より順次減少しさせ、最下層の粒子は固定としている。

粘着力の低下とともに上層から粒子が、移動、落下(落下した粒子は図面上から消滅させている)している。そして、最終的な安定状態に達している様子がわかる。最終的な安定状態とは粘着力を減少させても、粒子の移動、落下がなくなる状態を言う。

傾斜角が大きいと安定に必要な粘着力も大きくなることがうまく表現できている(各図のNo.1参照)。また、最終的な安定状態での形状が、ケース1, 2で差異がみられた。

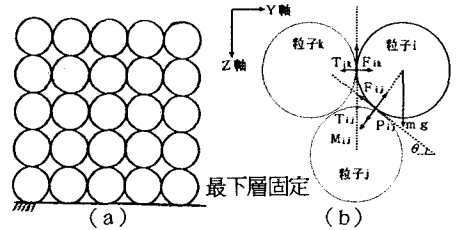


図-1: 粒子の初期状態と粒子に働く力

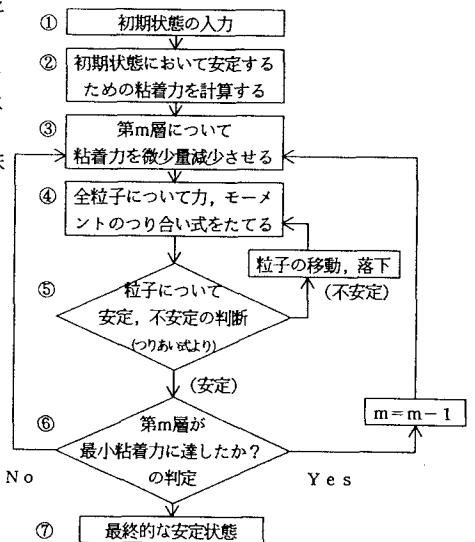


図-2: シミュレーションのフローチャート

表-1:モデル(粒子)の諸元

粒子の半径	1.00 (cm)
粒子の密度	1.00 (g/cm ³)
摩擦係数	0.10
粘着力の減少量	0.01 (gf)

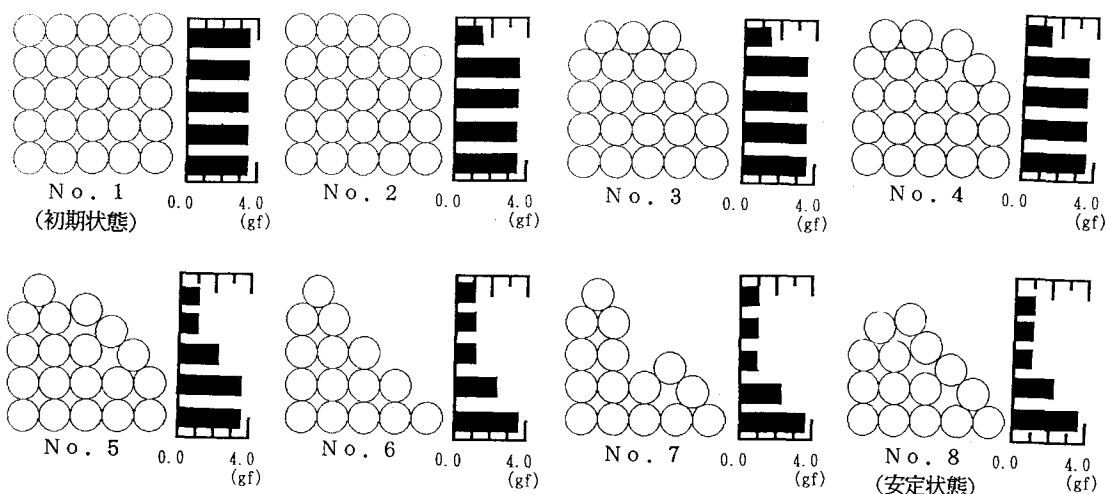


図-3:シミュレーション結果と各層の粘着力(ケース1)

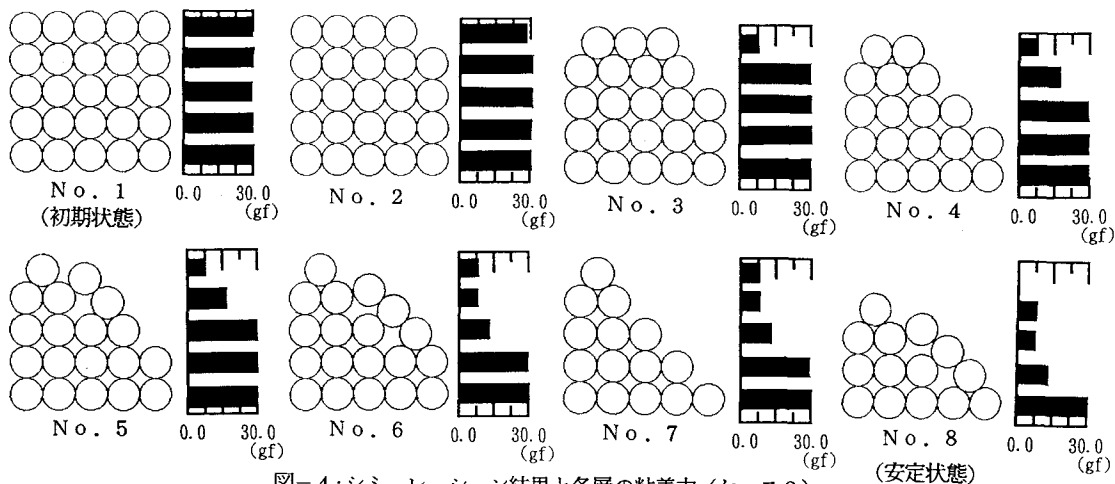


図-4:シミュレーション結果と各層の粘着力(ケース2)

4. あとがき

本報では数値運動力学の立場に立ち、粒状体の崩壊現象をシミュレートした。しかし、まだ本研究は緒についたばかりで、解決しなければならない事項は山積みされている。今後は、複雑な土粒子構造を考慮し、現象を時系列で表現し、我々が行っている、浸透、流動・堆積の研究^{1), 2), 3), 5)}と有機的に結び付け統一的に斜面崩壊を考察していきたい。

～参考文献～

- 1) 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.
- 2) 木佐貫, 北村: 粒状体の流動・堆積特性, 平成3年度西部支部研究発表会概要集, pp. 268-269, 1992. 3.
- 3) R. Kitamura & G. Kisanuki: SIMULATION MODEL FOR FLOWAGE AND SEDIMENT OF PARTICULATE MATERIAL INTERPREVENT-1992, 1992. (投稿中).
- 4) 中村, 木佐貫, 北村: 斜面崩壊発生機構に関する一考察, 平成3年度西部支部研究発表会概要集, pp. 662-663, 1992. 3.
- 5) 藤安, 北村: 間隙モデルに関する一考察, 平成3年度西部支部研究発表会概要集, pp. 590-591, 1992. 3.