

粒状体の崩壊シミュレーション

鹿児島大学工学部 学生員 ○福原 清作
 同上 正員 北村 良介
 鹿児島県庁土木部 正員 木佐貫 浄治

1. まえがき

土石流、火砕流などの土砂の流動機構を調べるため、粒状体の崩壊・流動・堆積シミュレーションモデルの提案を行ってきた^{1), 2)}。本モデル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点の特徴である。参考文献1), 2)で行った研究では、流動・堆積シミュレーションモデルと崩壊シミュレーションモデルが独立していた。本報告では、それらをまとめたモデルの確立をめざし、崩壊モデルに改良を加えている。

2. シミュレーションモデル

2. 1 粒子間力

図1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。それぞれの粒子間に粘着力および摩擦力を与える事により図1のような状態を想定し、シミュレーションを行っている。図2は、図1の中の任意の粒子を取り出したものである。粒子Iは隣接する4つの粒子と接しており、それらの接点をC {I, H}, C {I, J}, C {I, K}, C {I, L}とする。接点C {I, J}での粒子間力をF {I, J}とすると、F {I, J}は粒子Iの中心方向に働くことになる。したがって、接点での粘着力を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)式が成り立つ。

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

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MFが働き、(2)式のように求められる。

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

ここに、 μ : 粒子間摩擦係数

2. 2 安定・不安定の判定

粒子Iが不安定になるのは、各接点に働く力のつりあいが破れた場合と、粒子中心を通る水平線以下の接点でのモーメントのつりあいが破れた場合である。

図2は、粒子Iが粒子中心を通る水平線以下に接点を2つ持っている場合を示している。粒子Iの自重と粒子K, Hより受ける力は、すべて粒子J, Lの中心方向に伝わるので、モーメントは考慮しなくてもよい。この考えは、接点が3点以上になった場合にも適用できる。

図3は、粒子中心を通る水平線以下に接点を1つしか持たない場合を示している。この場合、次式のような力のつりあい式、モーメントのつりあい式によって判定を行わなければならない。

M {I, K}と粒子Iの自重のC {I, J}における接線方向の力をP {I, J}, 粒子半径をrとすると、力のつりあい式は次のようになる。

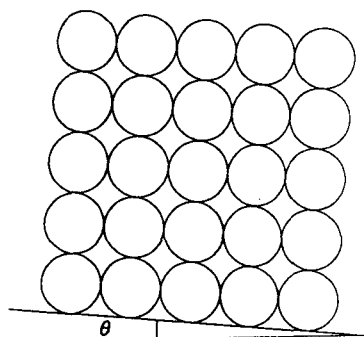


図1 粒子の初期状態

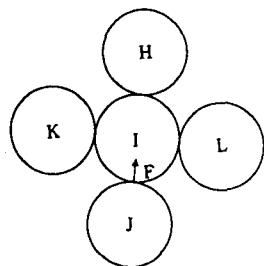


図2 シミュレーションモデル

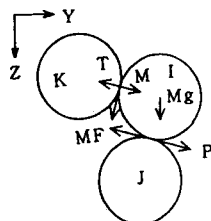


図3 粒子Iに働く力

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

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

(左辺<右辺の時安定)

また、 $C(I, J)$ でのモーメントのつりあい式は次のようになる。

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

(左辺<右辺の時安定)

各粒子について上のいずれかの式において不安定と判定された粒子は自由落下を生ずるとしている。

3. シミュレーションの一例

ここでは、(3)、(4)式、すなわちすべりのみを考慮した安定・不安定の判断による数値シミュレーション結果の一例を示すことにする。粒子数25個、初期の粘着力を18.0gf、下層になるほど粘着力が大きくなるように設定し、斜面の傾斜角を 3° とした。その結果、図4にした通り、上層から徐々に崩壊していく様子が示された。

表1 粒子(モデル)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	0.05
粘着力の減少量	0.10 gf

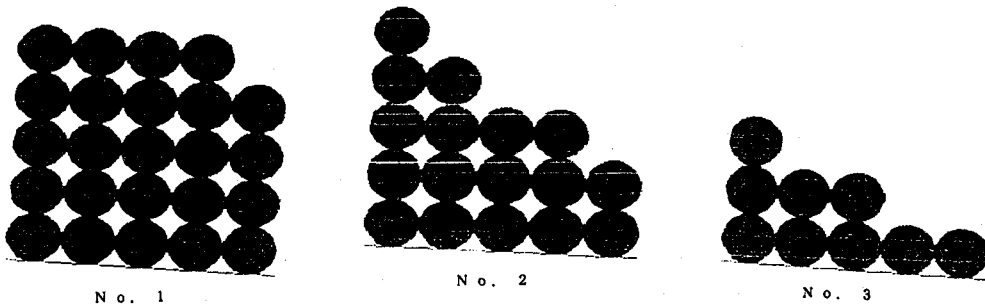


図4 シミュレーション結果

4. あとがき

今回、数値運動力学の立場から土中の粘着力の低下により粒状体が崩壊する様子をシミュレートしようと試みているが、現在、モーメントのつりあいおよび粒子の落下を考慮できていない。今後はそれらの問題の解決をめざすと共に、それらの適合性についても研究していかなければならない。

最後に、本研究に対し(財)地球環境財団より研究奨励金をいただいた事を付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 木佐貫、北村:平成3年度土木学会西部支部研究発表会
II-57(pp.268-269), 1992.
- 2) 中村、木佐貫、北村:平成3年度土木学会西部支部研究発表会
III-93(pp.662-663), 1992.