

粒状体の堆積挙動について

鹿児島大学大学院 学生員 福原清作
 鹿児島大学工学部 正 員 北村良介

1. はじめに

1993年鹿児島豪雨災害では記録的な豪雨と台風の来襲のため斜面崩壊が多数発生し、多くの貴重な人命が失われ、道路、鉄道、通信等の社会資本にも多大な被害をもたらした。

当研究室ではこれらの土砂崩壊のメカニズムを解明するため土塊を土粒子の集合体（粒状体）とみなし、個々の粒子に対する力のつりあい式、運動方程式、弾性衝突則、まさつ則を基礎とする粒状体の崩壊・流動・堆積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)}。

本報告では、前述のプログラムを用いた数値実験の結果の一例を示す。

2. シミュレーションモデル

実際の地盤では、地下水位よりも高い所では不飽和状態であると考えられている。このとき、土粒子間には水の表面張力による結合力（以下、粘着力という）が働き、粒子は、つりあいを保っている。降雨などにより水が地盤に浸透すると粘着力が減少し、つりあいを保てなくなるので粒子は落下する。雨水の浸透による斜面崩壊、降雨による土石流の発生は、土粒子レベルではこのように述べることができると考えてモデル化している。

図-1はY軸に対して傾斜角 θ の斜面に同一半径の粒子を積み上げた様子を示している。各粒子間で粘着力を与え、さらに摩擦力を考慮すると、コンピュータ内で図-1の状態を作ることが可能であり、この状態をシミュレーションの初期状態とする。

図-2は、図-1に示す粒子集合体の中で隣接した2球を抜き出したものである。各粒子をI、Jとし粒子Iに着目すると、粒子Jとの接点において粒子Iの中心方向に粒子間力が働き、式(1)が成り立つ。

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

ここに、 $C\{I, J\}$: 粒子Iと粒子Jの接点、

$F\{I, J\}$: $C\{I, J\}$ における粒子間力、

$T\{I, J\}$: $C\{I, J\}$ における粘着力、

$M\{I, J\}$: 粒子の自重による粒子間力。

また、粒子Jが接点 $C\{I, J\}$ において、粒子Jの自重および他粒子から受ける力の合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、式(2)が成り立つ。

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

ここに、 $MF\{I, J\}$: $C\{I, J\}$ における摩擦力、 μ : 粒子間の摩擦係数。

式(1)、式(2)により粒子Iに働く力が分かるので、粒子Iについて運動方程式を立てることができる。

雨水の浸透による粘着力の低下を再現するため、時間経過にともない上層の粒子から徐々に粘着力を低下させると(2)式による摩擦抵抗も減少し、他の粒子から受ける力

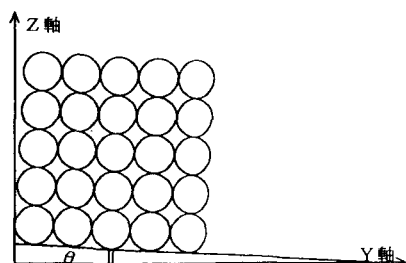


図-1 初期状態

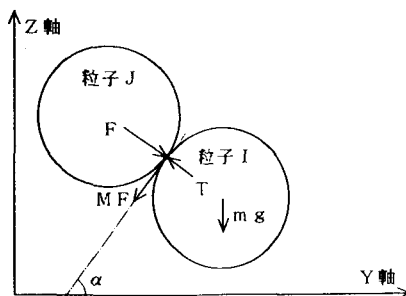


図-2 隣接する2粒子

とのつりあい破れる。この時粒子Iは自由落下し、他の粒子あるいは底面と接触する時は、運動量保存則およびニュートンの反発の法則を満足する運動（衝突）をすると仮定した。底面との衝突の際には、式（3）に示す底面との摩擦力も考慮した計算を行っている。

$$m \frac{d^2 Y}{dt^2} = -\mu m g \quad (3)$$

図-3にシミュレーションプログラムのフローチャートを示す。

3. シミュレーション結果

本報告では半径1.00cm、密度1.00g/cm³の粒子を想定し、表-1に示す数値を入力値としたシミュレーションを行った。ここで、最下層の粒子は斜面に固定している。

図-4にその結果を示す。

表-1 入力値

粒子の個数 (個)	25
斜面の傾斜角 (度)	3.00
粒子間摩擦係数	0.57
初期粘着力 (gf)	3.00
粘着力低下速度 (gf/sec)	1.50
時間増分 Δt (sec)	0.01

4. あとがき

本報告では、当研究室で開発中の粒状体の崩壊・流動・堆積挙動を解析するための数値シミュレーションプログラムを用い、5層5列に積み上げた粒子の集合体の数値実験を行い、堆積挙動についてその一例を示した。本報告の結果より提案しているシミュレーションプログラムは粒状体の崩壊・流動・堆積挙動を統一的に表現できる事が明らかにされた。今後は粒子数を数百程度まで増加させた数値実験、および模型水路、土槽でのガラスビーズ等を用いた流動実験を行っていくことを計画している。

本研究は（財）河川環境管理財団の援助をいただいたことを付記し、謝意を表します。

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，Ⅱ部，pp.586-587, 1991
- 2) 福原、北村、木佐貫：粒状体の崩壊シミュレーションについて，土木学会第48回年次学術講演会概要集，pp.24-25, 1993
- 3) 北村、福原：粒状体の崩壊・流動シミュレーション，粒状体の力学シンポジウム講演概要集，pp.53-56, 1993

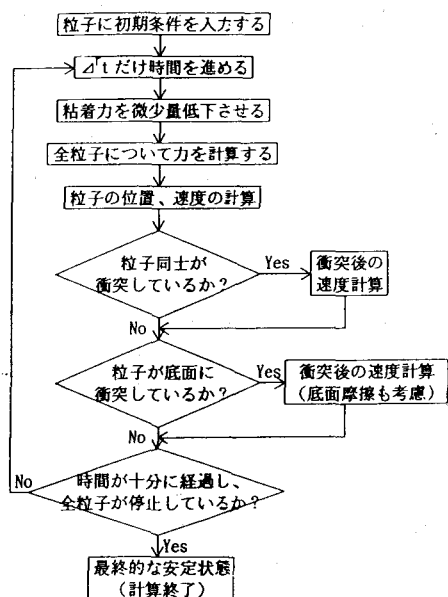


図-3 フローチャート

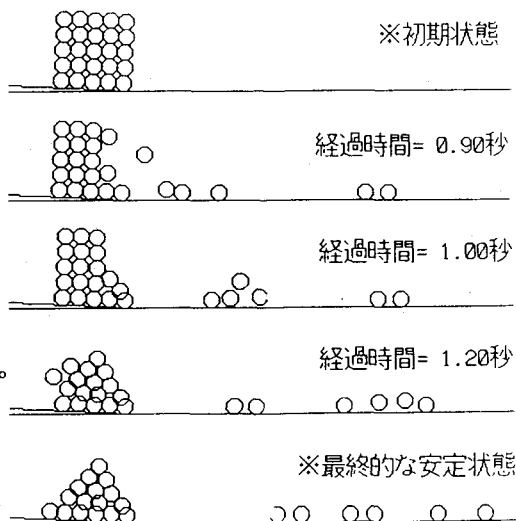


図-4 シミュレーション結果