

粒状体の堆積シミュレーションについて

鹿児島大学大学院 学生員 木佐貫 浄治
鹿児島大学工学部 正 員 北村 良介

1. まえがき

これまでの報告では^{1) 2)}, 2球の弾性球の衝突問題を拡張し, 傾斜した水路を無数の球が流下する様子をマイコンでシミュレートし, 粒状体の流動現象に関する考察を加えた。本報告では, これまでの報告と同じ見地に立ち, 斜面とその下方に平坦な面(以後底面と表現)をもうけ, また, 斜面および底面と粒子の間に摩擦力を与えることにより粒状体の流動, 堆積現象を大型計算機を用いた数値シミュレーションにより明らかにしようとするものである。

2. 考え方および計算手順

本報告では, 斜面に垂直な2次元平面についてのみ示す。図-1は1粒の粒子が斜面上を跳ね返りながら流下していく状態を示している。この粒子の運動方程式はY, Z軸方向の関し, それぞれ次のようになる。

$$Y \text{ 軸方向: } m \frac{d^2 y}{dt^2} = 0 \quad (1)$$

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

ここに, m : 粒子の質量, g : 重力加速度。

(1), (2)式を解くことにより, 時刻 t での粒子の位置および速度が求まり, 運動量が保存され, Newtonの反発の法則が成り立つと仮定すると次式が成り立つ。

$$m_1 v + m_2 u = m_1 v' + m_2 u' \quad (3)$$

$$e = -\frac{v' - u'}{v - u} \quad (4)$$

ここに, v, u : 衝突前の粒子速度,

v', u' : 衝突後の粒子速度, e : 反発係数。

(3), (4)式を利用することにより粒子と斜面, 底面および粒子同士の衝突問題について求めることかてきる。また, 粒子と斜面, 底面の摩擦力については, 次式を用いて計算した。

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} = -\mu mg \quad (5)$$

ここに, ξ : 斜面および底面に平行な座標系に変換した粒子の位置,

μ : 斜面および底面に平行な座標系に変換した摩擦係数。

(1)~(5)式を用い, 斜面に垂直な2次元空間において多数の粒子が流下していく過程がシミュレートできる。これらの数値シミュレーションの計算過程と用いる式をフローチャートとして示したのが図-2であり, この過程を時間増分 Δt (秒)に従い繰り返して計算を行う。

3. 数値シミュレーション

表1, 2で示す入力値に基づいて数値シミュレーションを行う。今回は, 粒子には初速を与えず行った。また, 1粒の粒子の1秒当たりの移動距離が粒径の $1/10$ 以下になったらその粒子は, 停止したとしその割合を堆積状況として%で表している。図-3, 4より流動が進むにつれて, 粒子の衝突および摩擦によって運動エネルギーが減少し堆積が進んでいる。また, 斜面から底面に変わる部分で粒子の速度が減少していることが解った。図-4は大きな粒径の粒子を混入した場合であり, 大きな粒径の粒子が小さな粒径の粒子を押し退けて前方に進もうとする傾向がある。

4. あとがき

本報告は, 土石流の発生, 流動, 堆積現象を解明するために流体力学でなく粒状体力学にのっとった手法の確立を目指した基礎的研究であるが, 検討, 改良を加えなければならない事項は山積みされている。例えば, 粒子間の摩擦, すべり, 間隙流体の粘性, 粒子の形状および大きさの不規則性などは, 早急に考慮しなければならないし, シミュレーションの3次元への拡張にも取り組まなければならない。しかし, 北村が従来から提案している粒状体力学の考え方³⁾にのっとれば, 静的変形問題(土質力学では圧縮, せん断と称する問題)と同様に, 同じ考えで統一的に現象を解析することが可能と考える。

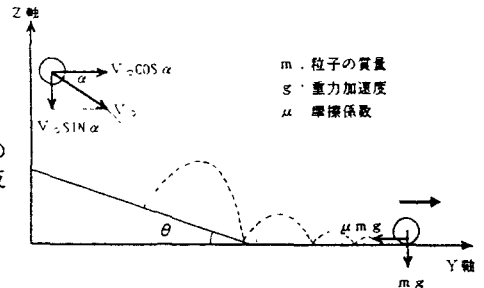


図-1 斜面を跳ね返りながら運動する粒子

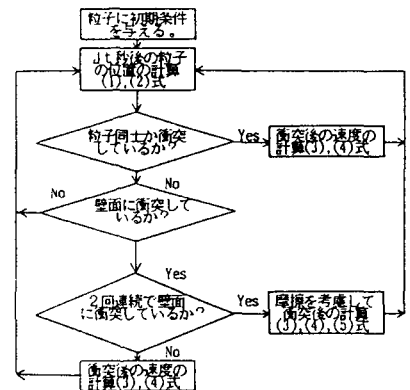


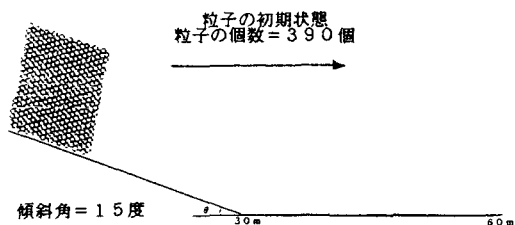
図-2 数値シミュレーションのフローチャート

表-1 数値シミュレーション入力値

粒子の個数 (個)	390
斜面の長さ (cm)	30
斜面の傾斜角 (度)	10
斜面の摩擦係数	0.2
粒子の反発係数	0.5
計算時間のビッチ (秒)	0.01

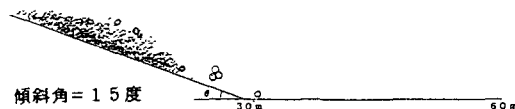
表-2 数値シミュレーション入力値

粒子の個数 (個)	354
斜面の長さ (cm)	30
斜面の傾斜角 (度)	10
斜面の摩擦係数	0.2
粒子の反発係数	0.5
計算時間のビッチ (秒)	0.01



経過時間 = 5.00 秒

現在の堆積状況 = 0 %



経過時間 = 30.00 秒

現在の堆積状況 = 9 %



経過時間 = 60.00 秒

現在の堆積状況 = 15 %

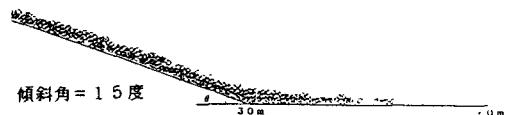
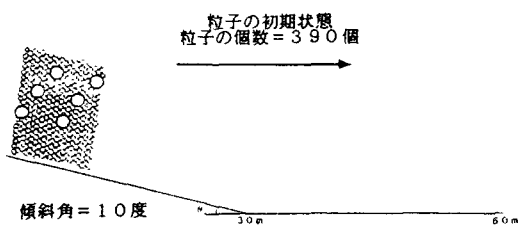
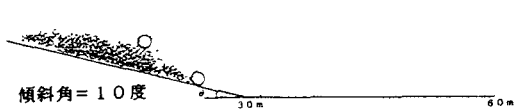


図-3 同一粒径の場合



経過時間 = 5.00 秒

現在の堆積状況 = 0 %



経過時間 = 30.00 秒

現在の堆積状況 = 8 %



経過時間 = 60.00 秒

現在の堆積状況 = 23 %

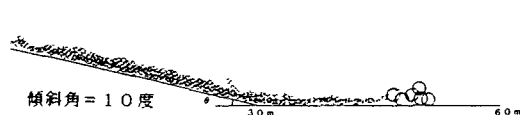


図-4 大きな粒径の粒子を混入した場合

～参考文献～

- 1) 木佐貫, 北村: 平成元年度土木学会西部支部研究発表会, pp.510-511, 1990.
- 2) 北村, 木佐貫: 自然災害科学研究西部支部地区部会報, No.10, pp.74-82, 1990.
- 3) 北村: マルコフ過程を用いた粒状体の力学モデル, 昭和61年度科研費研究成果報告書, 1987.