

シミュレーションによる粒状体の堆積の形成機構に関する研究

東北大学大学院 学生員・伊藤健太郎
 東北大学工学部 正 員 佐武正雄
 同 上 正 員 岸野佑次

1. まえがき

粒状体の堆積機構を明らかにすることは、安息角や粒度偏析などの粒状体固有の力学特性などを把握する上で重要なことであると考えられる。ここでは特に、斜面を流下し堆積形状を形成する粒状体について、2次元円形粒子を用いたシミュレーション解析を行い、実験結果との比較を行った。

2. シミュレーション解析の方法

文献1)の手法を参考にし、次のようなアルゴリズムによりシミュレーション解析プログラムを作成した。フローチャートを図-2に示す。①粒子は数種の径をもつ2次元円形粒子とし、その形状は図-1に示すように方眼紙に描いた際の名メッシュの重心座標の集合としてデジタル的に表現する。②指定した堆積領域と初期斜面領域に対応した記憶領域を2進法⁽²⁾により設定する。③各粒子の組成割合に応じた確率により粒子を選出すために乱数をプログラムに組み込む。④図-3のように斜面をx方向に区間DLで等区間に分割しその区間の斜面を線形斜面で近似する。⑤抽出粒子の摩擦係数は、実験を行って求めた摩擦係数の分布を正規分布で近似し、それに従うように乱数を発生させて決める。⑥各区間の線形斜面上の粒子の運動は、図-3に示すように粒子と斜面との摩擦力を F_f 、粒子重量を m 、速度を V として次式で解析した。

$$m(dV/dt) = mg \sin\theta - F_f \quad - (1)$$

なお、初速度 V_0 は1つ前の区間の終速度を V_1 として次式で求めた。

$$V_0 = V_1 \cdot \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad - (2)$$

⑦堆積のさせ方は次のようにするものとする。まず、線形斜面上で停止した粒子は、底面あるいは堆積の斜面に当たるまで鉛直落下する。そして粒子が堆積斜面に当たった場合には、他の2粒子あるいは初期斜面により安定な形で支持されるまで移動を継続し、安定な形が得られたならばその位置で堆積する。

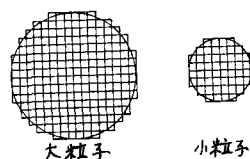


図-1 粒子のモデル化

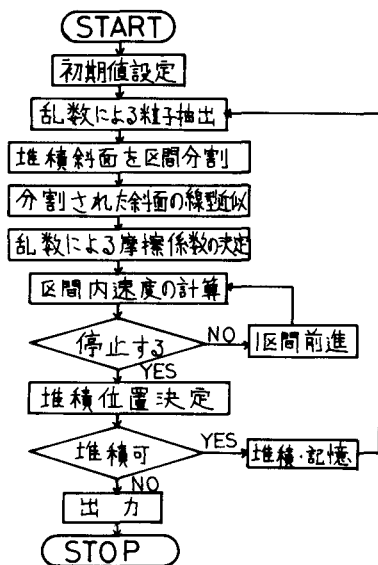


図-2 フローチャート

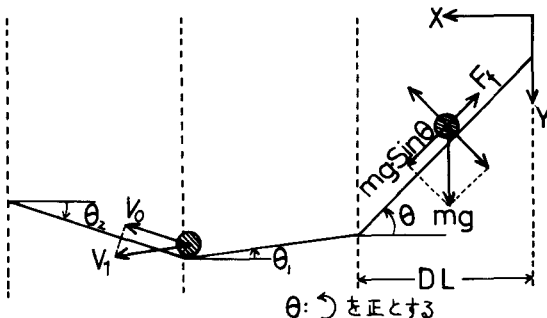


図-3 斜面上の粒子の運動

3. シミュレーション解析の結果

シミュレーション解析の結果を写真-1と図-4に示す。シミュレーション解析は、図-1に示すような2種類の粒子モデルを用いて行い、粒子数は後で述べる実験における堆積側面の面積に合うように小粒子1139個、大粒子278個の計1417個とした。図-4の堆積層中の曲線は堆積粒子数200個ごとの堆積形状を示している。シミュレーション解析に用いた摩擦係数の値は粒径4~5mmおよび8~10mmの人工軽量骨材メサライト (roundness 6.0~7.5) についての実験より得られた正規分布曲線を用い、小粒子、大粒子の平均値は0.826, 0.737 標準偏差は0.137, 0.115とした。図-4に示した点線は、上記のメサライト4_{k₂}を小粒子と大粒子の重量比で1:1に混合して、斜面の角度45°、斜面の長さ65cmの矢印の位置のホッパーから流出させた実験結果である。図-4の下の方の図の縦軸は、水平方向5.25cm毎に分割されたブロックにおける大粒子の占める面積百分率(実験に関しては重量百分率)を示す。

4. 考察

実験結果、シミュレーション結果ともにホッパーから遠い堆積先端部では、大粒子の占める面積割合(実験に関しては重量割合)が大きくなっていることが認められる。これは、大粒子は摩擦係数が小さいために堆積先端部に達し、小粒子は摩擦係数が大きいために途中の斜面で堆積してしまうためである。このことから、堆積機構を解明する上で先ずオノに粒子のもつ摩擦係数を統計的に把握しておくことが是非とも必要であると考えられる。本文におけるシミュレーション解析においては大小粒子の偏析をこのような摩擦係数の差異により促えた。図-4においてシミュレーション解析の偏析の程度が実験の場合に比べて小さ目に出ている理由は、上述のような摩擦係数の差異の他に実際には堆積に至る以前の流れにおいてふり分け作用があるためと考えられる。

5. あとがき 本文においては大小粒子に対して異った摩擦係数の分布が存在することを考慮することにより、粒度偏析の現象をシミュレートする解析の方法並びに結果について述べた。本文で用いた解析方法は堆積の形状や粒度偏析を調べる上でかなり有効であると思われるが、更に数多くの条件下において適合性を検討する余地もあるものと考えられる。

最後に本研究の実験部門は、本学学生、萩原祐輔君の努力に負う所が大きかったことをここに記し感謝する次第である。また本研究の一部は昭和55年度文部省科学研究費(課題番号565157)の補助を受けて行われたものであることを付記す。

参考文献 1) 佐武正雄・岸野佑次・村井貞規: 電子計算機によるパッキングシミュレーションについて、東北支部講演集, 1971

2) 佐武正雄・岸野佑次・伊藤健太郎: 粒状体のシミュレーション解析, 第35回年講第3部 P39~40, 1980

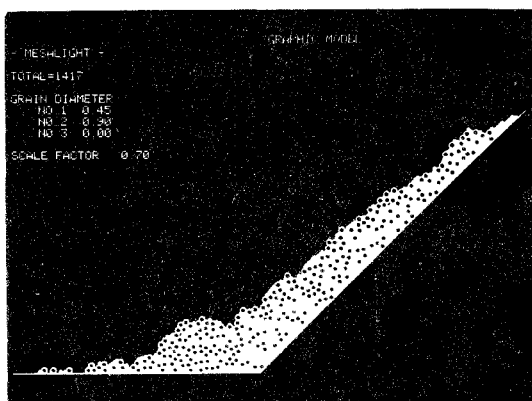


写真-1 グラフィックディスプレイ装置に描いた堆積状況

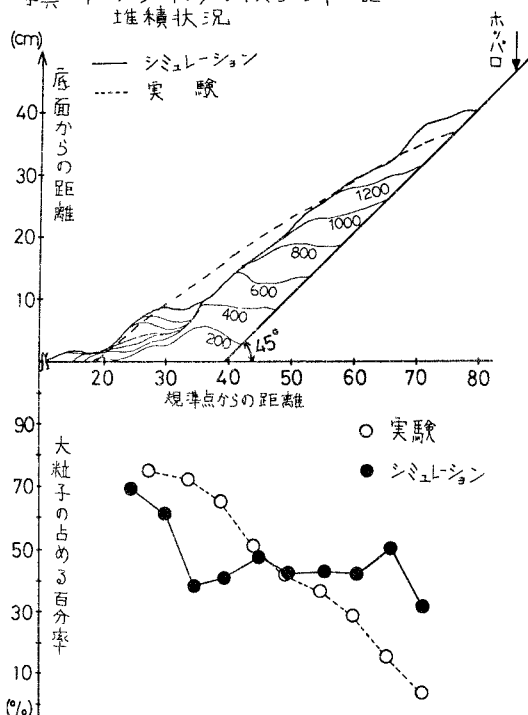


図-4 実験とシミュレーションの比較