

粒状体の流動・堆積特性

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

1. はじめに

これまでの報告では粒子個々の運動方程式を導き、簡単な弾性球の衝突問題を解くことによって粒状体の流動・堆積挙動について数値シミュレーションを行い、平行してガラスビーズを用いた実験を行い、粒状体の流動・堆積特性について定性的な考察を行ってきた^{1), 2), 3)}。

本報告では、シミュレーションプログラムをさらに進展させ、抵抗則を用いて粒子個々に抗力を与えることで、間隙流体の影響を考慮した粒状体の流動・堆積挙動のシミュレーションを試みたものである。

2. 考え方, 手順

前報告と同様な見地にたち、粒子の運動方程式(1)、(2)式、と弾性球の衝突問題を解くことにより、2次元空間での衝突運動を繰り返しながら流下していく離散的な粒状体の挙動を求めることができる。

$$m \frac{d^2(y/\cos \gamma)}{dt^2} = 0 \quad \cdots (1)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg \quad \cdots (2)$$

ここで、 γ : 斜面の傾斜角, m : 粒子の質量,
 μ : 面と粒子の摩擦係数, g : 重力。

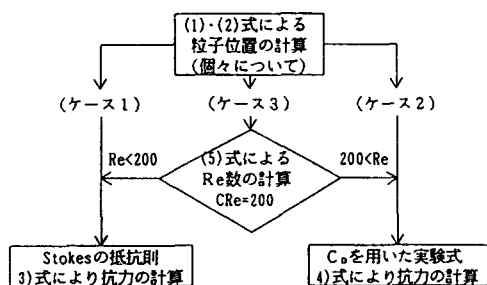


図-1: 数値シミュレーションのフローチャート

本報告では粒子が間隙流体から受ける抗力の影響をStokesの抵抗則である(3)式、および抗力係数を用いた一般的な実験式である(4)式を用いることにより、粒子が間隙流体より受ける抗力を与え、粒状体の流動・堆積挙動をシミュレーションしている。また、(5)式によりレイノルズ数を求め、限界レイノルズ数より小さい値を示した場合はStokesの抵抗則、大きい場合は実験式より抗力を与えシミュレーションも行った。

図-1はシミュレーションの手順および本報告でのシミュレーションケースについて示したものである。

$$D = 3\pi\eta d u_r, \cdots (3) \quad D' = \frac{\rho}{2} C_0 \left[\frac{\pi}{4} d^2 \right] u_r^2, \cdots (4) \quad Re = \frac{u_r d}{\nu} \quad \cdots (5)$$

ここで、 D, D' : 粒子が受ける抗力, η : 間隙流体の粘性係数, d : 粒径, u_r : 相対速度,
 C_0 : 抗力係数, ρ : 粒子の密度, Re : レイノルズ数, ν : 動粘性係数。

3. シミュレーション

表-1に示す入力値を用い各ケースについてシミュレーションを行った。図-2~4にそれぞれのケースの計算結果を示している。ケース1がStokesの抵抗則のみ、ケース2が実験式のみ用いて抗力を与えている。ケース3は各粒子についてレイノルズ数を求め、限界レイノルズ数($CRe = 200$)との比較によって用いる抵抗則を決め抵抗を与えたものである(図-1参照)。また、本報告では全てのケースにおいて大粒径の粒子(2倍の粒径)を混入した。そして各経過時間での運動エネルギーの低下で堆積の進行を表すことが可能であると考えられる。

ケース1は流下距離が最も長く、堆積の状況および形状はケース2, 3と比較すると差異がみられた。しかし、ケース2と3の運動エネルギーを比較すると若干の差異しかみられない。これは流動中、ほとんどの粒子が限界レイノルズ数を超えているためであると考えられる。また、全てのケースにおいて大粒子が、前方に突出する傾向にあるが、ケース1よりケース2, 3の方が大粒子の突出が著しかった。

4. あとがき

本報告では、間隙流体の影響を考慮した粒状体の流動・堆積挙動の新しい提案をした。しかし、間隙流体の影響を十分に考慮し得たとはいいがたく、まだ理論的検討や模型実験、現地計測との比較が必要だと考える。また、粒状体の崩壊(発生)についても検討中⁴⁾であるのでこれらを結び付け、粒状体の崩壊、流動、堆積挙動を統一的に考慮できると考える。

本研究を進めるにあたり当大学の佐藤道郎教授、ならびに浅野敏之助教授には有意義な御助言を頂き、ここに記して謝意を表します。

表 1 ノミュレーションの入力値

	ケース1	ケース2	ケース3
N (個)	354	354	354
γ (°)	10	10	10
d (m)	0.4	0.4	0.4
μ	0.2	0.2	0.2
e	0.2	0.2	0.2
ρ (g/cm ³)	2.6	2.6	2.6
ν (m ² /s)	---	---	1.0×10^{-9}
η (Pa·s)	1.0×10^{-3}	---	1.0×10^{-3}
C _D	---	0.4	0.4

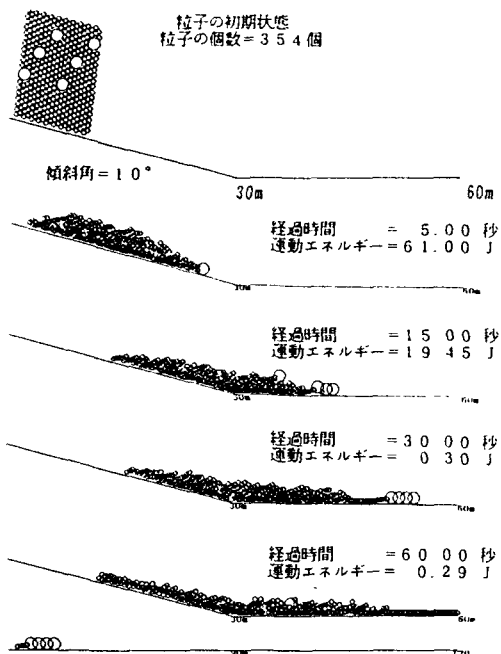


図-2 ケース1 (Stokesの抵抗則のみ導入)

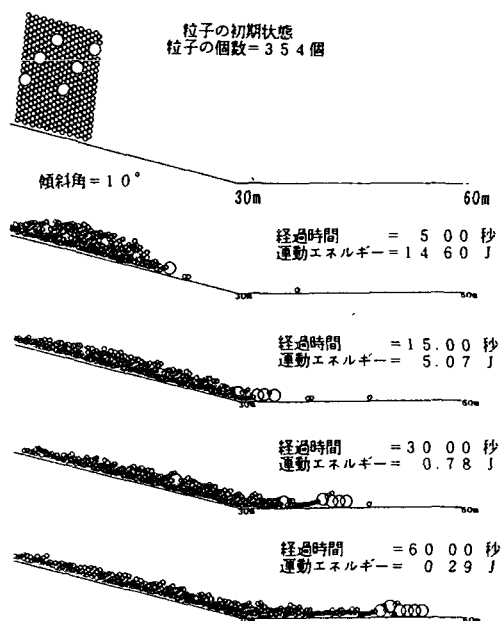


図-3: ケース2 (実験式のみ導入)

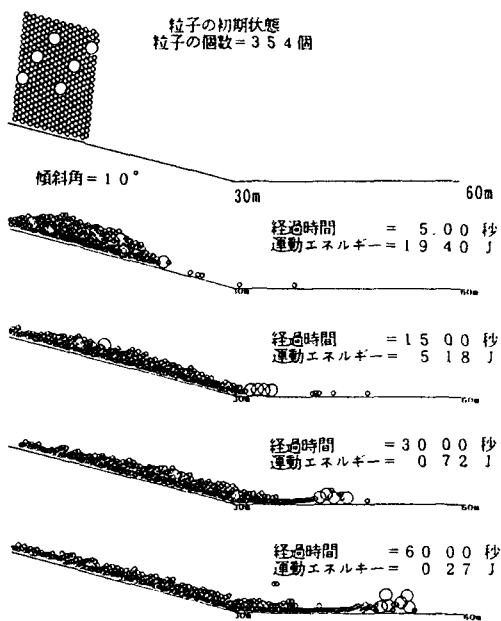


図-4: ケース3 (両方の抵抗則を導入)

～ 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. 3.
- 2) 木佐貫, 北村: 平成2年度土木学会西部支部研究発表会, pp. 210-211, 1991. 3.
- 3) R. Kitamura & G. Kisanuki: Interpraevent 1992, 1992 (投稿中).
- 4) 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, 1992. 3 (投稿中)