

III-1 粒状体の堆積のシミュレーション解析 (その2)

日立製作所(株) 正員 伊藤健太郎
東北大学工学部 正員 佐武正雄
同 上 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力学特性を把握する上で重要なことであると考えられる。本文は昨年度行なった堆積のシミュレーション解析(1)を発展させ、斜面を流下し堆積する粒状体についてシミュレーション解析を行い、実験との比較・考察を行った結果を示したものである。

2. シミュレーション解析の方法 本解析は、設定した斜面上端からの粒子の流下および堆積をシミュレートするものである。フローチャートを図-1に示す。粒子の堆積位置決定のアルゴリズムは大きく2つの過程に分けられる。先ず第1の過程は、③で定められた折れ線上の斜面を運動方程式に従って流下・停止させる過程であり、第2の過程はビット表示された粒子モデルを第1の過程の停止位置より1ビットずつ移動させ、力学的に安定した位置に落ちつかせる過程である。この過程において、粒子形状は昨年度と同様にビット表示されたものを用い、堆積形状はこれらの集合体の輪郭として表わされる。第1の過程においては、斜面を流下する粒子の運動は、図-2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(図中の番号⑥)

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

なお、反発がないと仮定した場合、次の区間の始端における速度 V_0 は次式で与えられる(⑧)。

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

第2の過程において、力学的に安定した位置まで移動・堆積させる手法は昨年度と同様である(⑨)。シミュレーション解析は堆積面積が所定の面積になるまで続けられる(⑩)。

3. シミュレーション解析の結果 以下の解析結果は、初期斜面の傾斜角を 45° 、円形大・中・小粒子のビットパターンの直径を $16 \cdot 12 \cdot 8$ ビットとしたものである。また、摩擦係数は $\times$ サライト、鉄鉱石、コークスについて、実験で求めた平均値や標準偏差を用いた。大・小粒子の混合割合はいずれも $1:1$ とした。なお、2で述べた第1の過程における水平方向の分割長は、 $\times$ サライトの場合78ビット、鉄鉱石・コークスの場合95ビットとした。 $\times$ サライト大・小粒子および中・小粒子、鉄鉱石、コークスについての解析結果を図-3および表-1に示す。図の堆積パターンの中に付した細線と数字は200個ずつの堆積形状の変化をあらわしている。また表中の $A_{max} - A_{min}$ は水平方向に等間隔

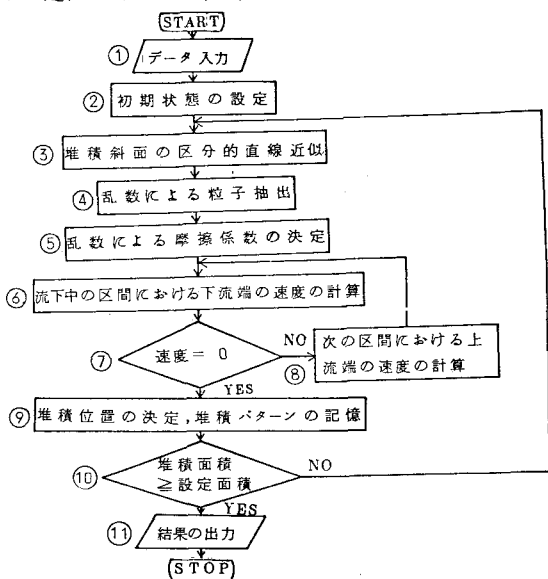


図-1 堆積のシミュレーション解析のフローチャート

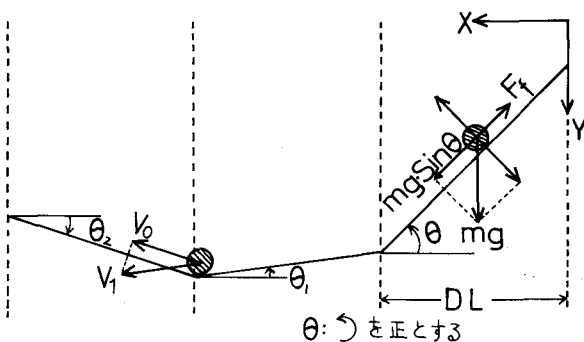


図-2 斜面上の粒子の運動

(5 cm)に区切られた小領域毎の大粒子含有率(シミュレーション解析においては面積比)の最大値より最小値を差引いたものである。実験では大粒子($\phi=8\sim10$ mm)・中粒子($\phi=6\sim8$ mm)・小粒子($\phi=4\sim5$ mm)を用い、試料重量はメサライト4 kg・鉄鉱石12 kg・コークス2.5 kgとした。写真-1～4に堆積パターンの例を示す。

4. 考察 本シミュレーション解析を行なう上で考慮した力学特性は、第1の過程における摩擦係数、第2の過程における粒子形状から定まる力学的安定条件である。このような仮定にも拘らず、シミュレーション解析と実験の結果とはある程度の一致をみている。即ち、混合粒子の粒径の差が大きなもの程偏析が大きいこと(解析No.1・2)やコークスの偏析が小さいこと(解析No.4)にそのことが示されている。シミュレーション解析と実験との差の主なものは、シミュレーション解析において安息角が大きくなる傾向にあること、粒度偏析が小さめに出ること、間隙比が小さな値になることなどである。安息角が大きくなる傾向については、第1過程において動的摩擦係数を用いている為と考えられる。粒度偏析が小さめに出る理由は、シミュレーションの第1の過程において、大・小粒子のふるい分けを考慮していないためと思われる。間隙が小さく出た理由は、シミュレーション解析において用いた形状が円形であることに起因していると思われる。

5. あとがき 本文では、粒状体の堆積の実験およびシミュレーション解析により摩擦係数の確率分布の相違を考慮すれば、粒度偏析のかんりの部分を説明し得ることを示した。最後に、本研究を行なうに当たり、川崎製鉄(株)技術研究所の協力を得たことを付記し感謝する次第である。

参考文献 1)佐武・岸野・伊藤; 土木学会年講, Ⅲ, 1980

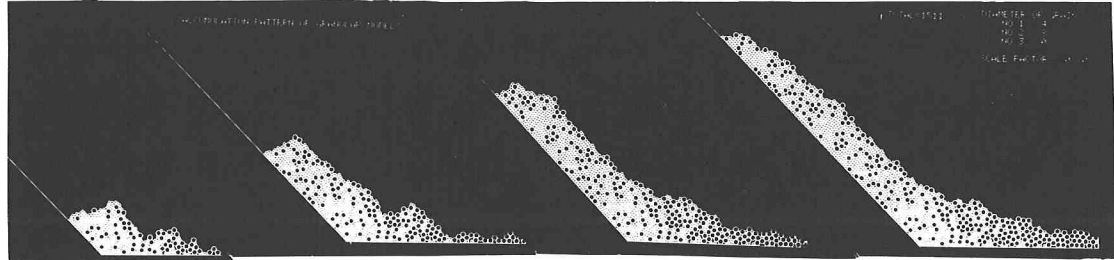


写真-1 堆積パターン(400個まで) 写真-2 (800個まで) 写真-3 (1200個まで) 写真-4 (最終)

$\mu_L=0.7, \mu_S=0.8, \sigma_L=0.2, \sigma_S=0.1$ (μ, σ は摩擦係数の平均値及び標準偏差を表わし、添字の L, S は大, 小粒子を示す)

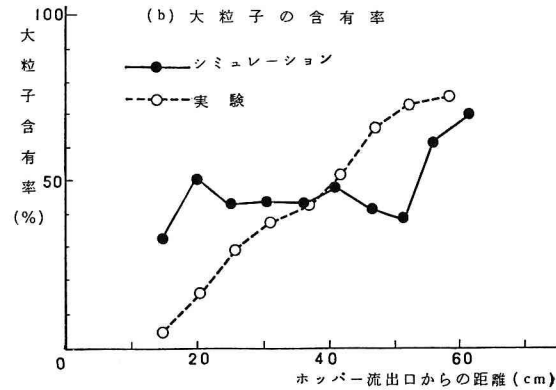
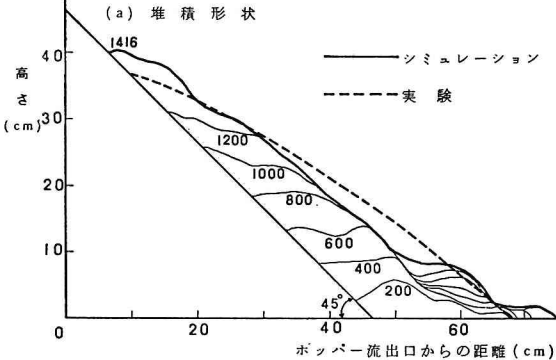


図-3. シミュレーションと実験の比較(メサライト大小粒子)

表-1. 堆積のシミュレーション解析の結果

解析 No.	試料		摩擦係数		間隙率	$\frac{A_{max}-A_{min}}{W_{max}-W_{min}}$
			平均値	標準偏差		
1	メサライト	L	0.733 (0.737)	0.112 (0.115)	17.8 % (39.7)	3.9 % (7.2)
		S	0.799 (0.826)	0.115 (0.137)		
2	メサライト	M	0.821 (0.864)	0.106 (0.138)	17.9 (40.2)	1.2 (4.0)
		S	0.801 (0.826)	0.118 (0.137)		
3	鉄 鉱 石	L	0.824 (0.865)	0.105 (0.136)	17.3 (47.0)	3.8 (7.0)
		S	0.873 (0.953)	0.091 (0.135)		
4	コークス	L	0.822 (0.844)	0.103 (0.126)	17.8 (49.9)	1.8 (5.8)
		S	0.814 (0.832)	0.100 (0.114)		

L, M, S : 大, 中, 小粒子。 () 内は実験結果。