

間 組 正 員 ○平澤 賢治
 東北大学 正 員 佐武 正雄
 同上 正 員 中川 昌美

1. まえがき

突発的自然災害である雪崩や土石流、そして様々な粒子の輸送の際の流動機構について粒状体をモデルとした研究が土木工学を含む各分野で進められている。本研究は粒子の集合体が高速変形下において示す流動特性を考察するものであり、以下に円盤粒子集合体のクエット流のシミュレーション結果を示す。

2. 理論と解析方法

粒子はすべて同一な円盤形状で均質、粗な表面を持つ非弾性体であるとし、二体衝突が運動量伝達の主なメカニズムであるとする。境界内部にある粒子の運動エネルギーは衝突することで変化するが、その衝突の機構を次に示す。衝突直前の接触点における二体粒子の相対速度を \underline{V} 、同様に衝突直後の相対速度を \underline{V}' とし、衝突時に粒子1と粒子2の中心点を結んでできる単位ベクトルを \underline{k} とする。衝突前後の相対速度の法線方向の成分の変化は反発係数 e をもって

$$(\underline{k} \cdot \underline{V}') = -e (\underline{k} \cdot \underline{V})$$

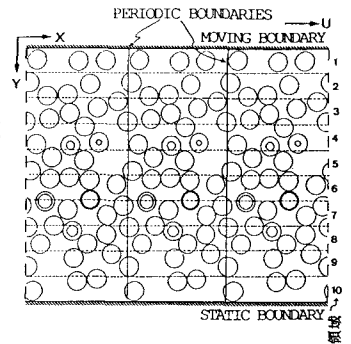
となる。同様な表現で相対速度の接線方向の速度成分を

$$(\underline{k} \times \underline{V}') = -\beta (\underline{k} \times \underline{V})$$

のように表す。 β はあらさ係数と言われ、-1から1の間の値を取る。 $\beta = -1$ の時には衝突前後の接線方向の成分は変化せず、1であるときには全く逆向きの成分となる。ここで取り扱う β は-1から0の範囲であり、これは衝突の際のすべりの度合いにより、成分は減少するが、その成分方向は変わらないことを示している。この β はCoulombの摩擦法則によって摩擦係数 η 、反発係数 e を含む式として求められ、 \underline{k} と \underline{V} のなす角度、衝突角 γ 、の関数として次のように表現される⁽¹⁾。

$$\beta = -1 + \frac{\mu(1+\kappa)(1+e)}{\kappa} |\cot \gamma|, \quad \kappa = \frac{4I}{m\sigma^2}$$

次にシミュレーションでは領域の中の粒子群が、上部境界の動きにより引き起こされたせん断変形により、図1のx方向に流動しているものとし、限られた計算時間でより現実的な流れを表現できるように左右の境界には



m : mass
 σ : disk diameter
 I : moment of inertia
 図1 PERIODIC BOUNDARIES

Campbell⁽²⁾らによって応用されたperiodic boundaries を設けている。これは一つの境界を粒子が抜けていくと反対側の境界から抜け出たときと同じ速度、同じ高さで入ってくるものであり、その境界内には常に同数の粒子があるようにする。中央の一つが解析を行なう領域であり、periodic boundariesを境界とした二つのイメージセルの様

子が図1に示されている。本解析では、40個の粒子を用い、密度は0.59である。粒子間及び粒子・壁面間の衝突ではともに反発係数 $e=0.8$ 、摩擦係数 $\mu=0.5$ で運動エネルギーが一定になった時をもって流れが定常に達したと判断し、各種のデータを集積した。

3.結果と考察

定常状態にある典型的な粒子の流れの様子を図2aに示す。図2b-c-dは無次元化された密度分布・速度分布及び粒状体温度分布を示している。ここで言う、粒状体温度は粒子のランダムな動きに関する運動エネルギーの測度であり、衝突の副産物である。下部の境界に対してスリップを生じそこでの速度が小さく、下壁面での速度は上壁面のその30%程度になっている。次に示す図3a-dは区分された領域のうち、上から1・6・9・10番目の領域における衝突角と衝突回数関係を示すグラフである。流れの中央部は密度が大きいためその部分(b)での衝突回数は両壁面近傍(a)(d)のそれに比べて多い。(3)式において $\beta=0$ となる γ は 69.7° となり、それよりも小さな角度での衝突はすべて $\beta=0$ とみなすが、壁面近傍では全衝突に対して約60%の衝突が $\beta=0$ となるような衝突角での衝突であり、(b)に於ては約90%がそうである。このことから流れの中央部においては、衝突点における相対速度の接線方向の成分による運動エネルギーの散逸の大きい衝突が卓越しているのがわかる。様々な境界条件の影響などについても検討し、さらに詳しいエネルギー散逸機構の考察を今後の課題にしたい。

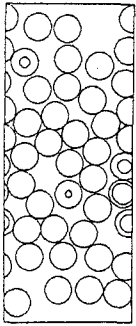


図2a-流れの様子

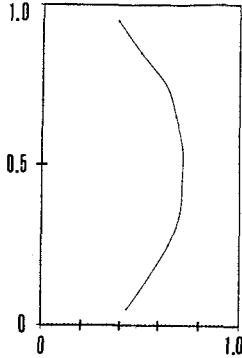


図2b-密度分布

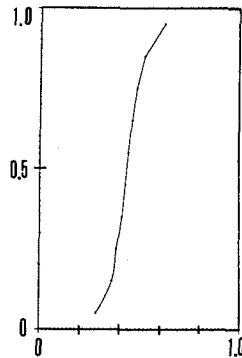


図2c-速度分布

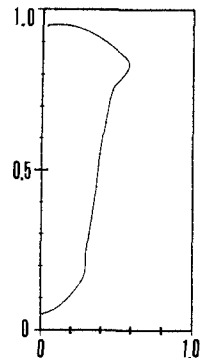


図2d-温度分布

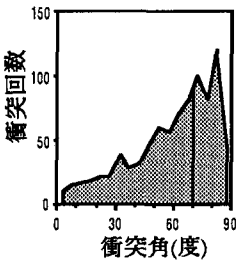


図3a

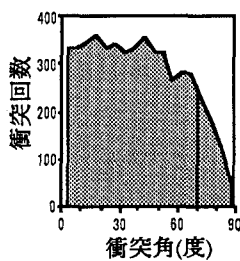


図3b

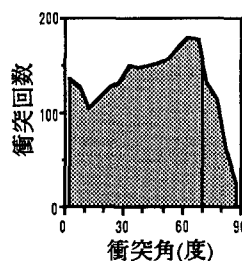


図3c

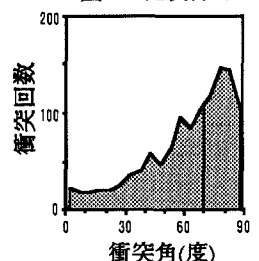


図3d

参考文献

- (1)M. Nakagawa, Kinetic theoretical analysis of a rapidly deforming disk assembly, Micromechanics of Granular Materials, Proceedings of the U.S./Japan Seminar on the Mechanics of Granular Materials, 331-338, 1988
- (2)C. Campbell and C. Brennen, Computer simulation of granular shear flows, J. Fluid Mech., vol. 151, 167-188, 1985