

I - 3 粒状体クウェット流の応力分布のシミュレーション

東北大学工学部 学生員 ○今泉 武司
 東北大学工学部 正 員 佐武 正雄
 東北大学工学部 正 員 中川 昌美

1. まえがき

近年、粒状体の流動機構についての関心が、力学・化学物理学・天文物理学などの分野で高まっており、輸送管を流れるスラリー流・雪崩・土石流・石炭粒子の流動層燃焼・惑星の輪の動力学など、様々な粒子の輸送に関する研究が行なわれている。本研究は同粒径の粒子の集合体が輸送される際に、粒子間の衝突が運動量伝達の重要なメカニズムとなる流れを想定しシミュレーションしたものである。

2. 衝突のモデルと解析手法

粒子は円盤形状で、粗な表面を持つ非弾性体であるとし、運動量の伝達は二体衝突のみによって行なわれると仮定する。図1にあるように、衝突直前の接触点における粒子1に対する粒子2の相対速度ベクトルを $\underline{V}$ 、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2の中心を結んでできる単位ベクトルを $\underline{k}$ とすると、衝突前後の接触点における相対速度の法線方向および接線方向の成分の変化は、反発係数 e とあらさ係数 β を用いて式（1）、（2）のように関係づけられる。

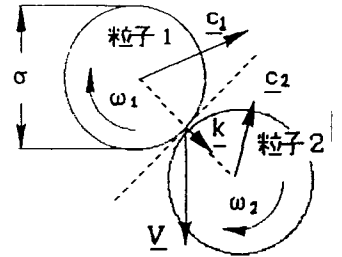


図1 衝突モデル

$$k_{\alpha} V_{\alpha}' = -e (k_{\alpha} V_{\alpha}) \quad (1)$$

$$\epsilon_{\alpha\beta} (k_{\alpha} V_{\beta}') = -\beta (k_{\alpha} V_{\beta}) \quad (2)$$

ここで、 $\epsilon_{\alpha\beta}$ はエディントンのイプシロン ϵ_{ijk} を二次元化したものであり、 $\epsilon_{11}=\epsilon_{22}=0$ 及び $\epsilon_{12}=\epsilon_{21}=1$ である。尚、 β の解釈についての詳細は文献1に記してある。

次にシミュレーション手法について説明する。図2のような基本セルの上壁が速度 U で動くことにより、せん断を受けた粒子は流動化する。一方の周期境界から抜け出した粒子は反対側の周期境界から同じ速度、相対的な位置関係で入ってくることにより、領域の内部には常に同数の粒子が存在することになる。本解析では同粒径の粒子40個を用い、密度は0.58、0.43とした。また、反発係数、摩擦係数は、それぞれ0.8、0.5とした。

3. 結果と考察

定常状態における諸物理量は長時間平均によりえられ、図2に示したように、基本セルを流動方向に垂直に10等分し、その各々の領域における時間平均をとったものを流れの深さ方向に関する物理量とする。

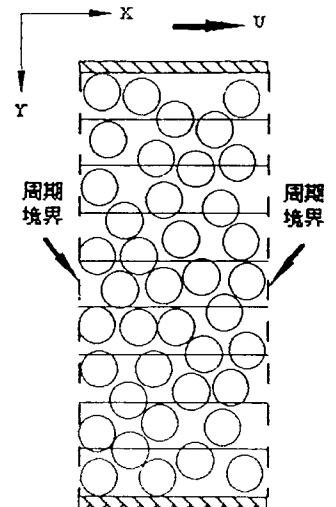


図2 基本セル

ここでは応力を粒子が持つ運動量の輸送に伴う Streaming Stress (τ_s) と、衝突時に撃力を介して輸送される運動量に伴う Collisional Stress (τ_c) からなるとする。図3から密度 (v) が大きいほど τ_c が大きい事が分かる。図3、図4それぞれの (a) を比べると τ_c は密度が大きいときには τ_s に比べて10倍くらい大きく、密度の大きな流れでは τ_c が卓越することが分かる。 τ_c が中央付近で大きいのは中央で衝突が頻繁に行なわれていることを示している。また、 τ_s は壁近傍でその値が大きく、中央付近では平均速度に近い速度で運動しているのに対し壁近傍では平均からのずれが大きい事を示唆している。図5はDynamic Friction Coefficient (τ_{xy}/τ_{yy}) の分布で、密度の大きいほうがDynamic Friction Coefficientは小さいのがわかる。

4. あとがき

今後は、Streaming Stressが卓越するような密度の流れにおいてもDynamic Friction Coefficientの分布を考察するとともに、反発係数や摩擦係数が応力分布にどのような影響を与えるかも検討したい。

参考文献

1. M.Nakagawa, Kinetic theoretical analysis of rapidly deforming disk assembly, Micromechanics of Granular Materials, Proceedings of the U.S./Japan Seminar on the Mechanics of Granular Materials, 331-338, 1998

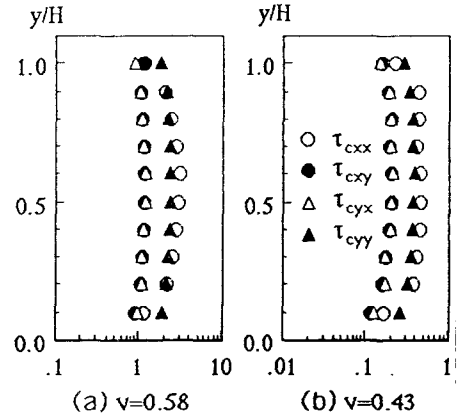


図3 Collisional Stress (τ_c)

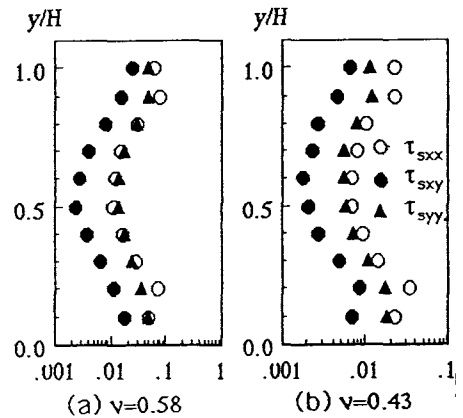


図4 Streaming Stress (τ_s)

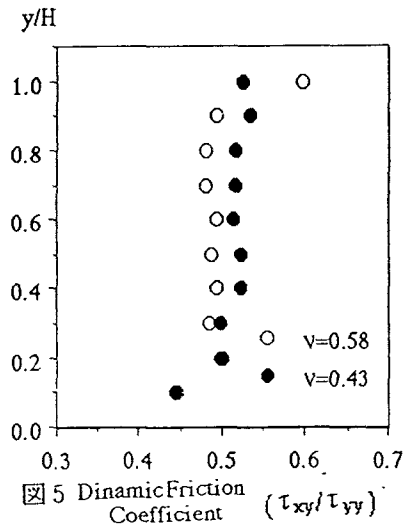


図5 Dynamic Friction Coefficient (τ_{xy}/τ_{yy})