

Ⅲ－5 粒状体のせん断流動における遷移現象の解析

東北大学大学院 学生会員 ○山本 雄介
 東北大学大学院 フェロー 岸野 佑次
 東北大学大学院 正会員 京谷 孝史

1. はじめに

粒状体力学の分野において流れの現象に関する問題が注目されている。この問題について従来より様々な議論がなされており、せん断速度が粒状体の物性に大きく影響するという統一的な見解がなされている¹⁾。しかし、このような見解は定体積試験により定常状態の特性として得られたものである。土石流のような実現象の流れ場は定体積の状態にあることは少なく、より一般的な条件下での検証が必要である。

そこで、本研究では3次元動的粒状要素法²⁾を用いて、体積変化の生じる粒状体せん断流れの解析を行う(図-1)。遷移現象の要因として特に供試体の拘束圧とせん断速度に着目し、微視的変形挙動、力学的特性を考察する。

2. 粒子集合体のせん断流動数値試験

本解析で用いる供試体モデルはTsaiのせん断試験装置³⁾をモデル化したものを用いる。図-1に示すように x 方向に周期境界制御、 y 方向に平板の制御を行い、 z 方向には天板に拘束圧を与えた状態でせん断速度を与える。

図-2に載荷前の供試体を示す。せん断ひずみを視覚化するため、供試体の右半分は黒、左半分には白に着色している。供試体には表-1に示すように3段階の拘束圧、5段階のせん断速度を与え、計15ケースの試験を行った。

3. 解析結果とその考察

本解析では定常状態において図-3、図-4の様な流れが観察された。本解析において期待される内部粒子の速度分布は、流体のクエット流れに見られる様な直線分布である。図-3の拘束圧が低いケースA-1では、供試体内の粒子は理想に近い直線分布を示している。一方、図-4の拘束圧が弱いケースC-1においては、底板より5mm付近を境界に上下で速度分布特性の異なる挙動を呈している。すなわち、下側の供試体においては非常に速度勾配の大きい速度分布を示すのに対して、上側の供試体の運動は天板に追随し、一体となって並進運動をしていることが分かる。

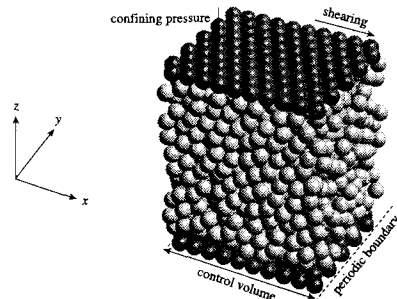


図-1 供試体モデル

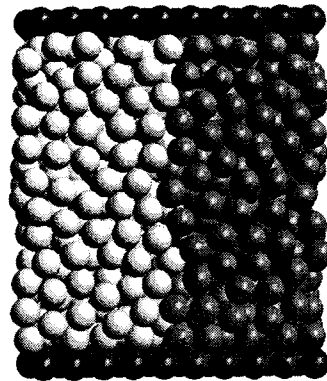


図-2 載荷前の供試体

表-1 解析ケース

拘束圧 (kPa)	せん断速度 (mm/s)				
	0.2	2	20	200	2000
0.1	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
1	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
10	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5

図-5、図-6に流れの異なる2ケースの載荷後の供試体の状況を示す。拘束圧の弱いケースA-1においては、せん断ひずみが供試体内に様に分布していることが分かる。拘束圧の強いケースC-1においては、載荷初期で全体に様にひずみが生じ始めたが、その後底板より2層目付近で上下の領域の間にすべりが生じた。上側の領域は変形が固定され、下側の領域でのみ変形が生じた。これより図-6の供試体はひずみの局所化が生じていると考えられる。

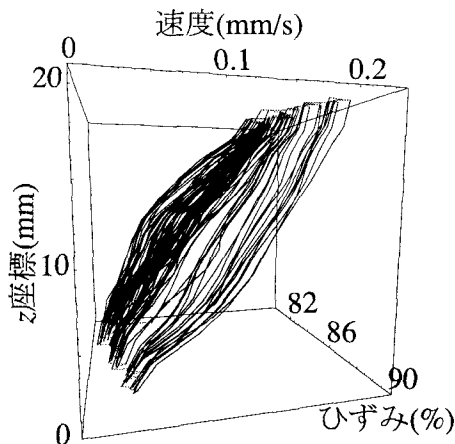


図-3 供試体内の速度分布 (例: ケース A-1)

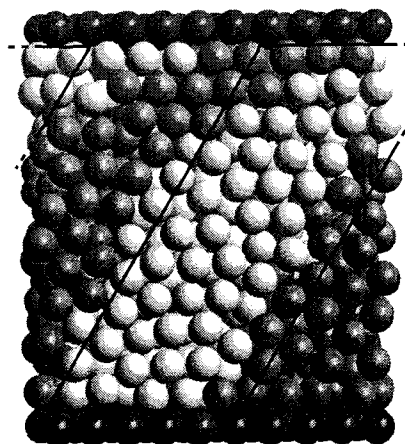


図-5 局所化の起こらない流れ (例: ケース A-1)

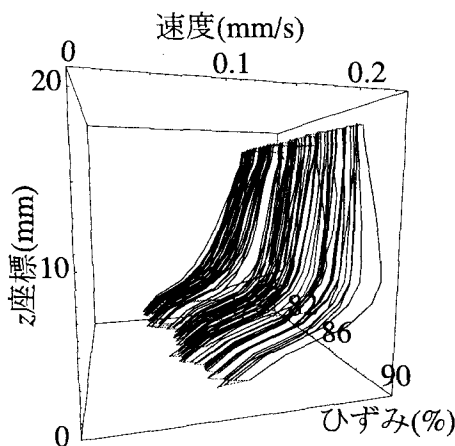


図-4 供試体内の速度分布 (例: ケース C-1)

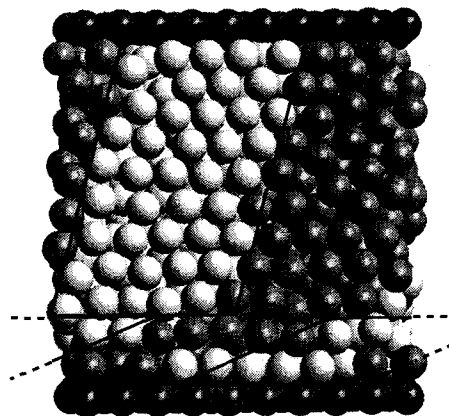


図-6 局所化の生じた流れ (例: ケース C-1)

表-2 に全解析ケースにおける供試体のひずみの局所化の有無を示す。ひずみの局所化の有無は、載荷後の供試体状況を観察し、供試体内にすべりが生じ分割された状態を確認できるものを○とした。拘束圧の高いケースにおいて、主にひずみの局所化が起こっていることが分かる。通常分割された供試体のうち底板側に大きなひずみが観測されるが、ケース B-2, B-3 に関しては主に天板側の供試体に大きなひずみが観測された。これらより、ひずみの局所化に拘束圧が大きく影響していることが分かる。

4. おわりに

本解析によってひずみの局所化現象がせん断速度だけでなく拘束圧に大きく影響されることが分かった。微視的変形特性の相違は、粒状体のせん断流動特性を大きく支配すると考えられる。

表-2 ひずみの局所化の有無

拘束圧 (kPa)	せん断速度 (mm/s)				
	0.2	2	20	200	2000
0.1	×	×	×	×	×
1	×	○	○	×	×
10	○	○	○	○	×

参考文献

- 1) Bagnold, R. A.: Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear, Proc. Royal Soc. Lond., Ser. A 225, pp.49-63, 1954.
- 2) Kishino, Y.: Granular flow simulation by granular element method, Slow Dynamics in Complex Systems (Eds. M. Tokuyama & I. Oppenheim), American Institute of Physics, pp.466-467, 2004.
- 3) Tsai, J.-C. and Gollub, J. P.: Slowly sheared dense granular flows: Crystallization and nonunique final states, Phys. Rev. E 70, 031303, 2004.