

準静的流れから高速流れへ移行する粒状体の微視的変形機構の研究

Micromechanics on flowing granular materials from quasi-static to rapid flow range.

岩下和義*, 小田匡寛*, 鈴木輝一*

Kazuyoshi IWASHITA, Masanobu ODA and Kichi SUZUKI

To study the micro-mechanics of rapid flow of granular material, two-dimensional flow was generated in a laboratory. As the particles disc shape particles and balls were compared. Steel ball has a merit of a small friction and small energy consumption. However, it is not mentioned that it experiments true 2D, because the movement form about steel ball is sliding and rolling. The rapid shearing test was done by using the polyethylene disk where friction was unlimitedly reduced, and the flow using the ball particle and the flow using the disc particle were compared, and considered. It can be said that it is unquestionable even if the shear flow is treated by using which particle in this experimental apparatus.

Keywords: DEM, granular flow, shear stress, micro mechanics, rapid flow, quasi-static flow

構造物は、壊れてはならないとの前提で設計される。しかし現実には、土構造物の基礎地盤の破壊は毎年繰り返され、流れる土砂は土木構造物に大きな被害を及ぼし続けている。この事実は、破壊後の土の挙動がいかに重要であるかを示している。土の破壊は、せん断帯に沿う準静的な滑りから始まり、条件によっては高速な流れへと移行する。この移行現象は、土石流の制御や被害の軽減を考えなければならない技術者にとって、きわめて緊急かつ重要な課題であると言わざるを得ない。また粒状物質の流れの問題は、粒状物質を扱う他の分野において研究されている¹⁾⁻³⁾。例えば、粉体輸送における流れの制御、流れに伴う分級・混合作用等、二相混合流体の研究がそれである。本研究の目標は、土などの粒子材料の流動則すなわち応力 - ひずみ速度の関係を、変形速度が準静的から高速までの全領域において粒子レベルでの視点を踏まえて解明することである。

1. 実験装置と評価方法

実験装置⁴⁾⁻⁵⁾ (Fig.1) は鋼鉄製底板上におかれた円盤状の内壁・外壁に囲まれた空間をせん断セルとした構造で、内壁を回転させることで、せん断流れを生じさせる装置である。内壁回転速度によって $\dot{\gamma}$ を、セル内の粒子数によって ν^* を自由に変えられる。使用したモデル粒子をFig.2に示す。

内壁の速度を U 、せん断セル幅を H とすると、せん断セル内全体には単位時間で U/H のせん断ひずみが生じていることになる。この単位時間あたりのせん断ひずみを shear rate $\dot{\gamma} = U/H$ とした。充填率に関しては、実験装置の違いや粒状体の違いによる評価を統一するため次の正規化 fraction $\nu^* = \nu/\nu_{max}$ を用いた。ただし、はせん断セル内の fraction、 ν_{max} は実験装置特有の最大 fraction とする。また、平均せん断応力は粒状体の直径 D や密度 ρ_p 、 $\dot{\gamma}$ の影響を受けるため、実験ごとのデータの比較にそのまま利用するのは不相当であるため $T^*_{XY} = T_{XY}/(\rho_p D^2 \dot{\gamma}^2)$ によって無次元化した。

2. 実験結果と考察

Fig.3(a)、(b)に球体粒子と円盤粒子の T^*_{xy} と $\dot{\gamma}$ の関係

*埼玉大学 工学部 建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering,
Faculty of Engineering, Saitama University, 255
Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, Saitama,
338-8570, Japan

を示す。球体粒子の場合、低 $\dot{\gamma}^*$ でセル内の粒子が少ないときには、 T_{xy} は $\dot{\gamma}$ のほぼ 1 乗に比例している。中程度の $\dot{\gamma}^*$ の場合には、 $\dot{\gamma}$ の 2 乗に比例して T_{xy} が発生している。一方、円盤粒子の場合、低 $\dot{\gamma}^*$ の時、 $\dot{\gamma}^* < 0.5$ は、摩擦の影響で実験を行うことが出来ない。中程度の $\dot{\gamma}^*$ の場合には、多少のばらつきはあるものの、球体粒子と同様に T_{xy} は $\dot{\gamma}$ のほぼ 2 乗に比例して発生している。高 $\dot{\gamma}^*$ では両者とも T_{xy}^* が大きく上昇し、特に $\dot{\gamma}$ が低い場合 (グラフの印) には、せん断セル幅いっぱいに粒子が連なる柱構造が形成された。柱が形成されると回転速度が不安定になり $\dot{\gamma}$ が一定の実験とはならない。そのため高 $\dot{\gamma}^*$ 、低 $\dot{\gamma}$ の場合は T_{xy} における $\dot{\gamma}$ の影響ははっきりしない。実験結果から、円盤粒子の実験可能範囲は、球体粒子に比べて実験範囲が限られる。

3. 結論

球体と円盤型の 2 つの粒子を用いたせん断試験を行った。その結果、測定された応力は定性的に同じ傾向を示した。また以下の特徴が明らかになった。球体粒子は、摩擦が小さいため広範囲の $\dot{\gamma}^*$ 、 $\dot{\gamma}$ で実験が行えるが、運動の観察が困難という問題を持つ。円盤粒子の場合、実験可能な範囲は限られるが、運動を追跡しやすく精度の高い画像解析を行えるという利点がある。今後は円盤粒子の運動を高速度ビデオカメラで追跡し粒子間の運動を解明する予定である。

参考文献

- 1) Bagnold, R.A. 1954. Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. Proc. Royal Soc. Ser. A. 225: 49-63.
- 2) Hanes, D.M. & Inman, D.L. 1985. Observations of rapidly flowing granular-fluid materials. J. Fluid Mech. 50: 357-380.
- 3) Savage, S.B. & Sayed, M. 1984. Stresses developed by dry cohesionless granular materials in an annular shear cell. J. Fluid Mech. 142: 391-430.
- 4) 岩下和義、一場勝幸、小田匡寛、高速せん断試験装置による粒状体の流動特性の研究、土木学会論文集 No. 764/III-67、pp. 147-156., 2004.
- 5) Iwashita K., Ichiba K. and Oda M., Comparison between numerical and laboratory tests of rapidly sheared granular materials, Numerical Modeling in Micromechanics via Particle Methods 2004, Shimizu, Hart & Cundall (eds.), pp. 429-434, 2004.

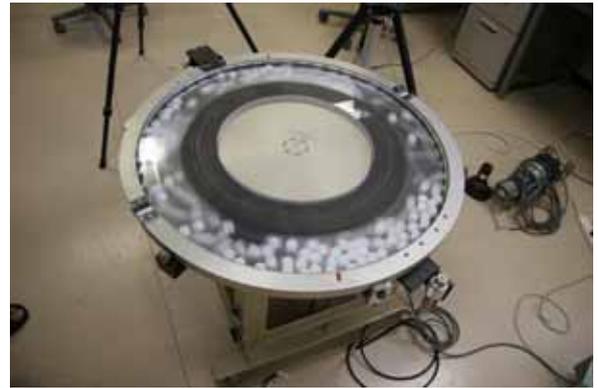
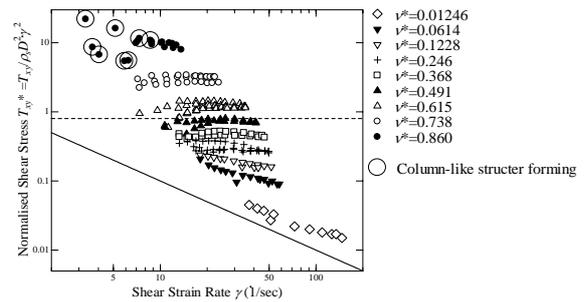


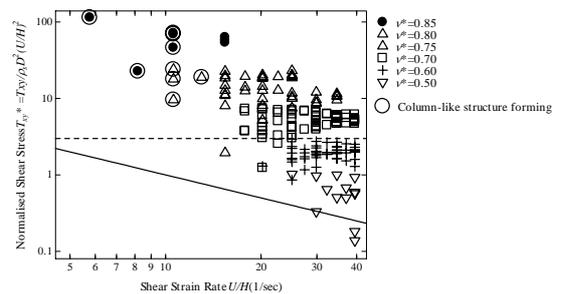
Fig.1 Rapid shear apparatus



Fig.2 Particles used in this study (Ball and Disc)



a) Ball case



b) Disc case

Fig.3 Relationship between T_{xy}^* and $\dot{\gamma}$