

2 粒度粒状体のせん断時に生じる粒子回転と連続体回転の比較

筑波大学大学院 学生会員 ○上田高生
 筑波大学 正会員 松島亘志
 筑波大学 正会員 山田恭央

1. はじめに

粒状体を連続的に捉える上で、各粒子の回転をどう扱うかは重要なテーマである。粒径幅の広い粒状体の連続体回転量と各粒子の平均回転量がほぼ一致することは実験及び DEM シミュレーションによって確かめられている^[1-4]。本研究では、せん断時に生じる2粒度粒状体の連続体回転と大・小粒子それぞれの回転の関係を DEM シミュレーションにより調べてみた。

2. 連続体回転

粒状体のマクロなせん断は、以下の2ステップで捉えることができる^[4] (図1)。(1) 粒状体に R のマクロの回転量が与えられ、(2) V の力で伸張圧縮される。その際、粒子回転に注目すると、(1)の過程では全粒子が R 回転し、(2)の過程では粒子がランダムに回転するため回転量がバラつくが、平均回転量は R のままである。ただし、大粒子と小粒子が接触して回転する場合、小粒子の回転量は大粒子の回転量の粒径比(大粒子の粒径/小粒子の粒径)倍になるため (図1(d))、小粒子回転量の偏差は大粒子回転量の偏差の粒径比倍になると考えられる。

割合(W_s)が 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50%になるように発生させ、粒子間摩擦角をゼロにして等方圧縮した。その後、上・下端の粒子を固定し、左・右端を周期境界として、右方向及び左方向にせん断した。せん断に当たって、粒状体を 10 層に区分し、各層の連続体回転と各層に含まれている粒子の粒子回転を計測した (図2)。せん断シミュレーションには2次元 DEM 公開プログラム「DEMseg」^[5]を用いた。

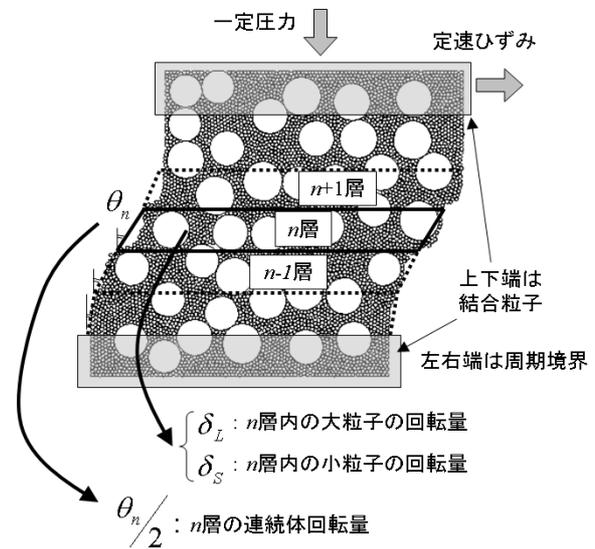


図2 せん断シミュレーション

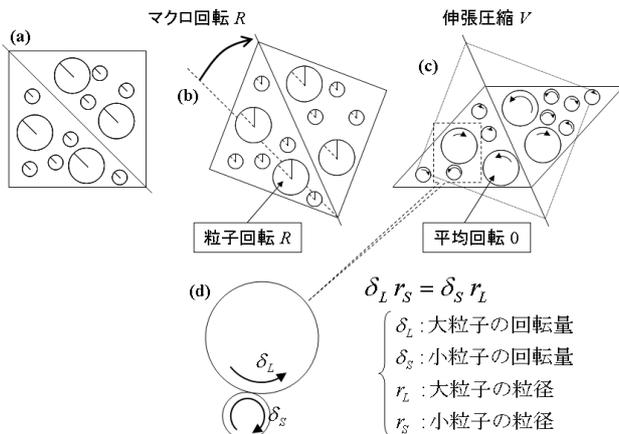


図1 粒状体せん断時の回転

3. DEM シミュレーション

粒径比約 10:1 の大・小の円形要素を小粒子の重量混

4. シミュレーション結果

図3.1は、2粒度粒状体のうち W_s が小さいケースの例として $W_s = 15\%$ における変形状況を示したものである。図3.2にこのケースでの大・小粒子の粒子回転量を連続体回転量に対してプロットしている。この図で線形近似の傾きが1であった場合、粒子回転量と連続体回転量が等しいが、小粒子の線形近似の傾きは2.58であり、大粒子の傾き0.787より大きくなっていて、連続体回転と比較して小粒子の回転量が大きく、大粒子の回転量が小さいことが分かる。これは、 W_s が小さいケースでは、大粒子が変位するに当たって、大粒子の隙間に詰まった小粒子がコロの役割を果たし

キーワード：2 粒度，粒子回転，DEM

連絡先：茨城県つくば市天王台 1-1-1, tel : 029-853-5138

ていることを示唆している. 図4は回転する粒子(コロ)と連続体変形の最も単純な関係を表しており, この場合には粒子回転量(δ)は連続体回転量(γ)の4倍になる.

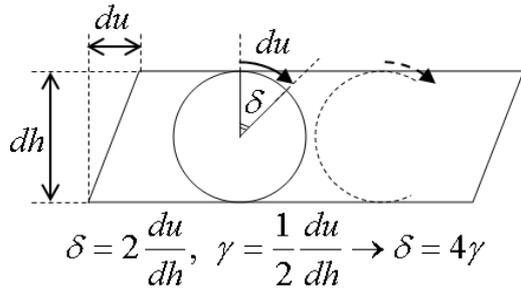


図4 回転粒子(コロ)と連続体変形

図3.3は $W_s = 15\%$ のケースでの大・小粒子回転量の標準偏差を示したものである. 小粒子の標準偏差は大粒子の約10倍 (=粒径比倍) となっており, 小粒子の偏差が大粒子の偏差の粒径比倍になるという図1(d)における考察と整合している. 図5.1は W_s が大きいケースの一例として $W_s = 50\%$ における変形状況を示しており, 図5.2はこのケースでの粒子回転量を連続体回転量に対してプロットしている. 大・小粒子回転量の線形近似の傾きはそれぞれ1.57, 1.11であり, どちらも粒子回転量が連続体回転量に近い値であることが分かる. 図5.3は大・小粒子回転量の標準偏差を示しており, 小粒子の標準偏差(傾き10.6)は大粒子の標準偏差(傾き2.26)の約4.7倍であり, 粒径比倍(10倍)より小

さい値となった. $W_s = 50\%$ では, 大粒子に接触してない小粒子数が多く, 図1(d)のモデルを適用できる小粒子が限られていたためだと考えられる.

5. まとめ

2 粒度粒状体のせん断時に生じる連続体回転と大・小粒子それぞれの粒子回転を DEM シミュレーションにより比較した結果, (1) 小粒子混合割合(W_s)が大きいケースでは連続体回転量と大・小粒子の平均回転量は一致すること, 及び (2) W_s が小さいケースでのせん断変形に当たって, 小粒子の粒子回転が連続体回転量より大きくなることから, 小粒子がコロの役割を果たしている可能性があることが分かった.

参考文献

[1] Bardet, J. P. and Proubet, J., Geotechnique, 41(4), 1991
 [2] Choi, S., K. and Muhlhau, H. B., Computer Methods and Advances in Geomechanics, 1991
 [3] Calvetti, F., Combe, G. and Lanier, J., Mech. Cohesive Frictional Materials, 2, 1997
 [4] Matsushima, T., Saomoto, H., Tsubokawa, Y. and Yamada, Y., Soils and Foundations, 43(4), 2003
 [5] Matsushima, T. and Saomoto, H., Proc. NUMGE2002, 2002

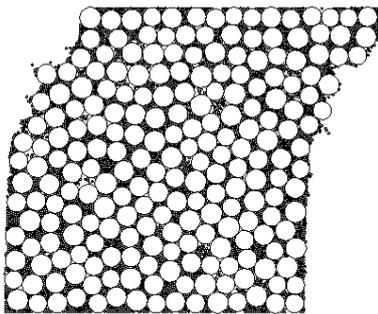


図 3.1 $W_s = 15\%$ のサンプル

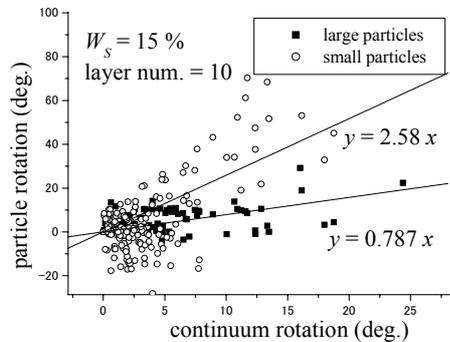


図 3.2 粒子回転と連続体回転

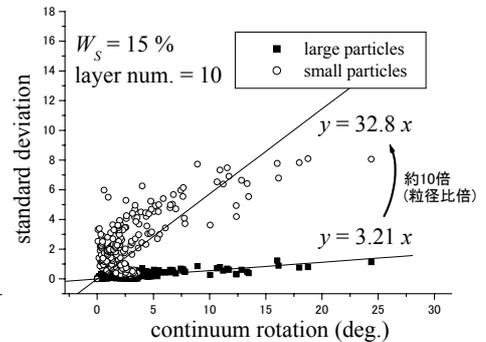


図 3.3 粒子回転の標準偏差

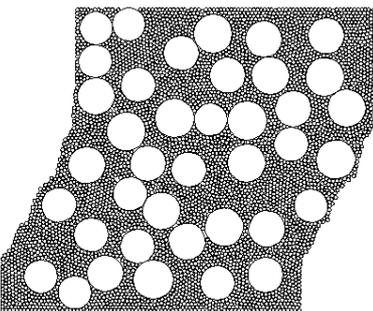


図 5.1 $W_s = 50\%$ のサンプル

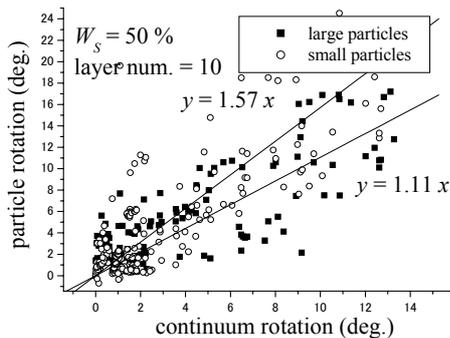


図 5.2 粒子回転と連続体回転

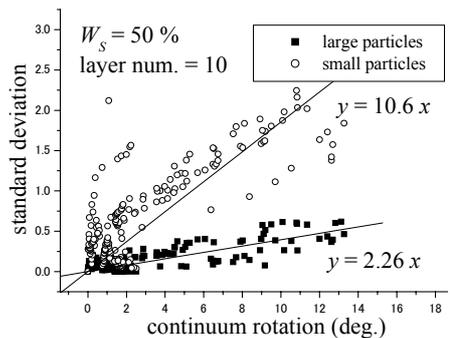


図 5.3 粒子回転の標準偏差