

第II部門

振動流下混合粒子群の分級を伴うリップル形成機構の検討

京都大学工学部 学生員 ○武田 真明
 京都大学工学研究科 正会員 原田 英治
 京都大学工学研究科 正会員 後藤 仁志

1. はじめに

本研究では、実験との比較により妥当性を示した数値シミュレーションを用いて2粒径混合粒子群のリップル形成機構について計算力学的な観点から検討した。

2. 実験条件

実験では、図-1に示されるように水槽を乗せた振動台を加振することで振動流を再現した。また、堆積層の厚さは0.020mとし、粒径0.001mの小粒子と粒径0.002mの大粒子を体積比が小粒子：大粒子=2：1となるように混合しており、移動床表層から0.004mの交換層内のみ赤色と黒色に着色した大粒子を規則的に配置した。また、粒子には比重2.65のアルミナ球を用い、被り水深は移動床表面から0.010mとした。

3. 数値解析手法および計算条件

本計算では、液相に種々の高精度化を施したMPS法¹⁾を、固相に個別要素法(DEM)²⁾を適用する高精度3次元DEM-MPS法を用い、実験と同様に堆積層内のみ粒径0.002mのDEM粒子を規則的に配置した。一方、水面は水槽底面の壁面境界から0.030mまでMPS粒子を配置した。

4. 実験と数値シミュレーションの比較

一つ目の比較として、図-2に移動床表層粒子移動速度の比較を示す。 $x/d_s = 50$ における移動速度の波形は多少位相のずれがあるものの概ね一致しており、他の地点でも概ね一

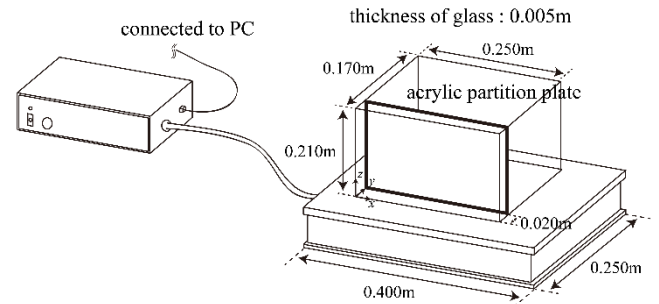


図-1 実験模式図

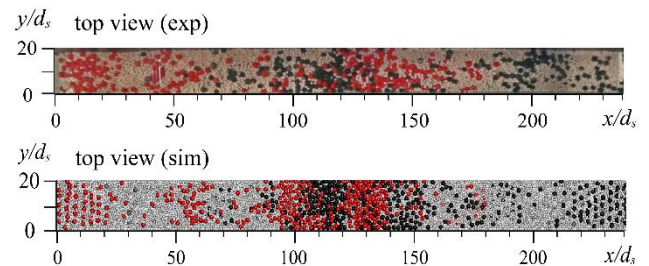


図-2 移動床表層粒度分布

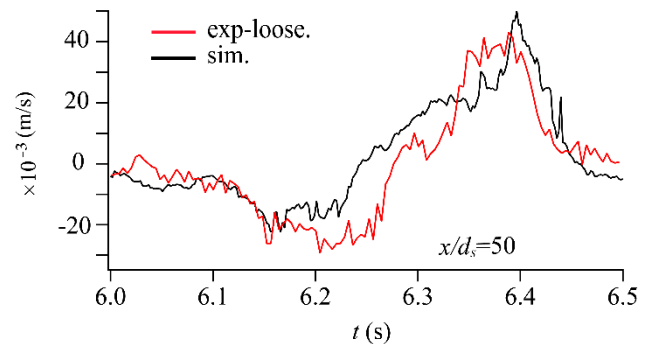


図-3 移動床表層粒子移動速度

致していた。二つ目の比較として、図-3に移動床表層粒度分布の比較を示す。 $x/d_s = 50$ 付近に赤色の粒子が集積し、堆積層中央付近に赤色と黒色の粒子が混在していることなど、粒度分布に関しても概ね一致している。

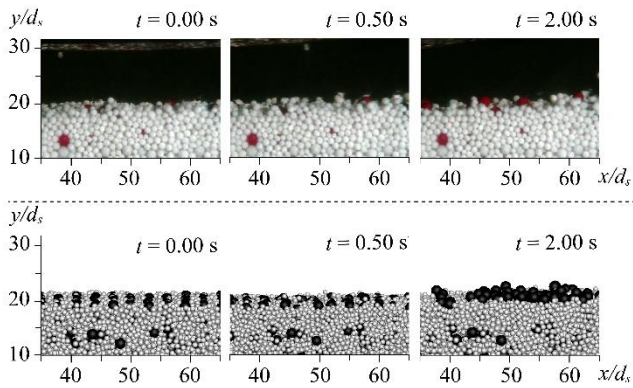


図-4 大粒子挙動：実験(上)，数値計算(下)

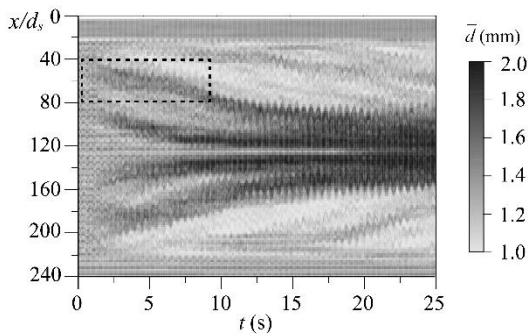
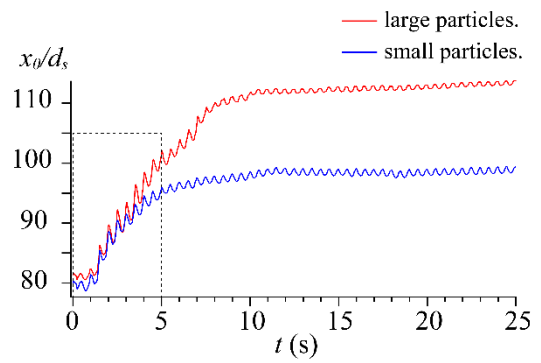
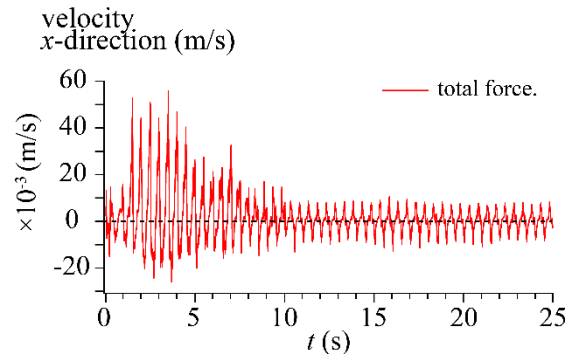
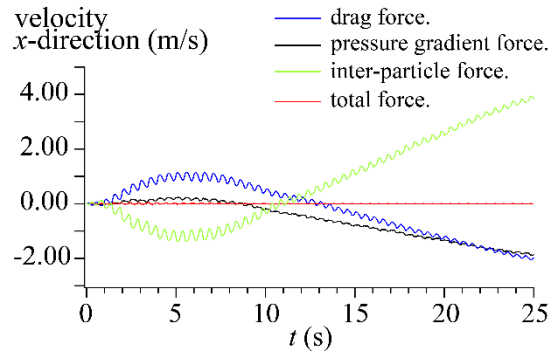


図-5 移動床表層の平均粒径の時空間分布

5. 考察

図-4 に示した $x/d_s = 50$ 付近に撮影範囲を絞った実験画像とシミュレーション画像から、振動初期は主に小粒子が移動し、その後、拘束が減少した大粒子が移動を開始することが確認でき、図-5 に示した大粒子の占有率の時空間分布から、大粒子は堆積層中央付近へと移動することが分かる。

また、 $x/d_s = 80$ 付近の大粒子群 (L2) を対象に Lagrange 観測を行った結果を図-6、図-7 に示す。図-6 から、L2 は堆積層中央へ移動することが分かる。また、図-7 から時刻 $t=10$ s 付近までは流体抗力が駆動力、粒子間作用力が抵抗力として働くが、合力は正負に振動しながらも大きく正に偏っており、大粒子は x 軸の正の方向へ移動することが分かる。一方、時刻 $t=10$ s 以降は $x/d_s = 110$ 付近で振動しつつ堆積層中央付近のリップルを形成することがうかがえる。また、 $x/d_s = 40$ 付近の大粒子群 (L1) を対象に行った Lagrange 観測に関しても、L2 と同様の時間発達過程が確認された。

図-6 L2 の濃度重心の推移 (x 方向)図-7 L2 に作用する力 (x 方向)

6. おわりに

本研究では、振動台を用いた水理実験と同条件で別途行った数値シミュレーションの両観点から、混合粒子群の分級に伴うリップル形成機構について検討し、リップルは主に大粒子の堆積層中央方向への移動により形成されることが確認された。

参考文献

- 1) 後藤仁志：粒子法 連続体・混相流・粒状体のための計算科学，森北出版，2018.
- 2) Cundall, P. A and Strack, O. D. L : A discrete numerical model for granular assemblies, *Geotechnique*, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979.