

MPPIC 法を用いた飛砂の数値シミュレーションにおける パーセル近似が与える影響

福島工業高等専門学校 産業技術システム工学専攻 社会環境システム工学コース 学生会員 ○田中 陸

福島工業高等専門学校 都市システム工学科 正会員 菊地 卓郎

長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 正会員 衛藤 俊彦

東京建設コンサルタント 河川計画部 正会員 大澤 範一

1. はじめに

自然界では固体粒子が周囲流体によって輸送される固体粒子浮遊流と呼ばれる現象がたびたび観測される。周囲流体が気体である空気に着目すれば、代表例として海岸における飛砂が挙げられる。飛砂においては近隣住宅地への侵入や道路の埋没による走行障害、沿岸部における耕地の塩害等の被害がある。そのため、飛砂による被害を抑える対策として防砂林、防風垣などの防止工法が検討されている。これらの防止工法の検討および交通障害解消、環境保全の観点から流動特性を知ることは重要である。その流動特性を知る手法として、実験で様々な条件を加味するには膨大なコストがかかるため、3次元数値シミュレーションを行うことで流動特性を把握することは有用である。より詳細な流動特性の把握には Lagrange 的に流動現象を評価することが求められるが、一般的な処理能力を持つコンピュータで流体・粒子連成解析の膨大な数の粒子を追跡するのは計算負荷の問題が生じ、困難である。そのため、すべての粒子を追跡するのではなく代表粒子を設ける方法であるパーセル近似が有効であると考えられるが、近似による解析結果に与える影響を正しく把握する必要がある。

そこで本研究では、オープンソースの3次元流体解析ツール OpenFOAM¹⁾内に実装されている MPPIC 法を用いて砂粒子の軌跡のシミュレーションを行い、飛砂の運動にパーセル近似が及ぼす影響について検討を行うことを目的とする。

2. MPPIC 法

MPPIC (Multi-Phase Particle In Cell) 法は、粒子追跡法の1つであり、非定常での粒子体積率の効果を考慮した連続相内での1つの運動パーセルの連成された輸送を粒子間に働く相互作用を計算せずに衝突を表現するためにセル内多相粒子を使用する簡易的な手法である。

3. 解析条件

OpenFOAM ソルバである MPPICFoam をベースにモデルの改良を行った。計算領域は、保坂ら²⁾の風洞実験スケールを幅 $x=1.0\text{m}$ 、流下方向 $y=10\text{m}$ 、高さ $z=0.6\text{m}$ と改良した。底面から高さ 0.01m 地点に幅 0.05m ずつ 0.95m 地点まで、流下方向に 0.08m ずつ 9.9m 地点まで粒径 0.25mm の粒子を敷き詰めた(計 9347 個)。配置図を図-1(流下方向 1/10 スケールに縮小)に示す。格子サイズは全方向 0.02m となるように設定した。気相には様々な変動流れ場に対応することができる LES を採用し、SGS 応力項は Smagorinsky モデル($C_s=0.1$)を用いた。粒子相には MPPIC 法を適用した。流れの支配方程式である連続の式および Navier-Stokes 式を有限体積法に基づいて離散化した。気相境界条件については、non-slip 条件を底面お

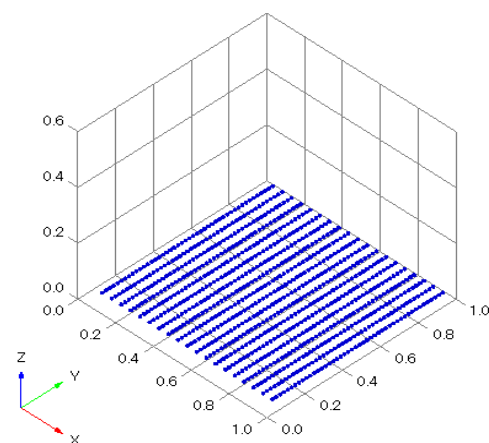


図-1 砂粒子配置図

Keywords : 飛砂, 数値シミュレーション, MPPIC 法, パーセル近似

連絡先:〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校 都市システム工学科 TEL:0246-46-8034

よび上面に適用し，壁面については symmetry(3次元対称)条件とした．粒子境界条件は，流出口 outlet から粒子が通過するように escape(通過)を適用し，その他については rebound(反射)とした．解析ケースは，風速 10m/s，粒子密度 2650kg/m³，計算時間間隔 0.002 秒，計算時間 3 秒とした．また，パーセル近似が砂粒子の運動に及ぼす影響を検討するためにパーセル量 2，4，10，20，40 の 5 ケースで解析を行った．

4. 解析結果

砂粒子の運動にパーセル近似がどのように影響を与えているかを検討するために横軸に流下方向位置を縦軸に粒子速度および粒子高さを取り，5 ケースのパーセル量で計算した結果の比較を行った．比較結果を図-2，図-3 に示す．解析結果は計算時間 1.8s(大半の粒子が流下方向 5m～終端に分布)時に奥行き 0.39m<x>0.61m の範囲内にある粒子のみ取り出している．図-2 が示す粒子速度はパーセル量に関わらず終端に向かって行くにつれ低速となる粒子が多い傾向がみてとれる．しかし，パーセル量が多いほど速度の変動幅が大きく，粒子速度にばらつきが出る傾向にある．図-3 が示す粒子運動はパーセル量に関わらず運動傾向は類似しているが，粒子速度と同じようにパーセル量が多いほど運動高さの幅が大きく運動傾向にばらつきが出る．その影響からパーセル量が多いほど若干上部まで浮遊する傾向にある．これらは伊藤ら³⁾の噴霧解析の研究結果と同様な傾向を示しており，本研究においてもパーセル近似の特徴を捉えているといえる．よってパーセル量に関わらずパーセル近似は粒子速度や運動に直接起因する大きな影響を与えているとはいえないが，値のばらつきを把握し，適切なしきい値を検討して使用することが必要であると考えられる．

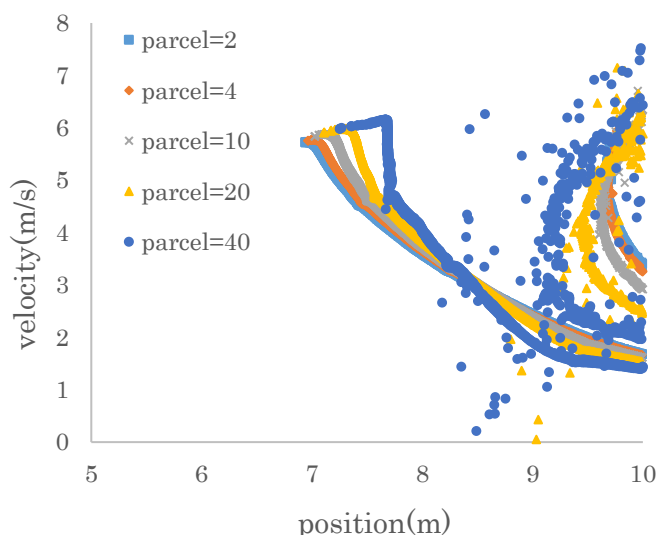


図-2 パーセル量による粒子速度比較 (1.8s)

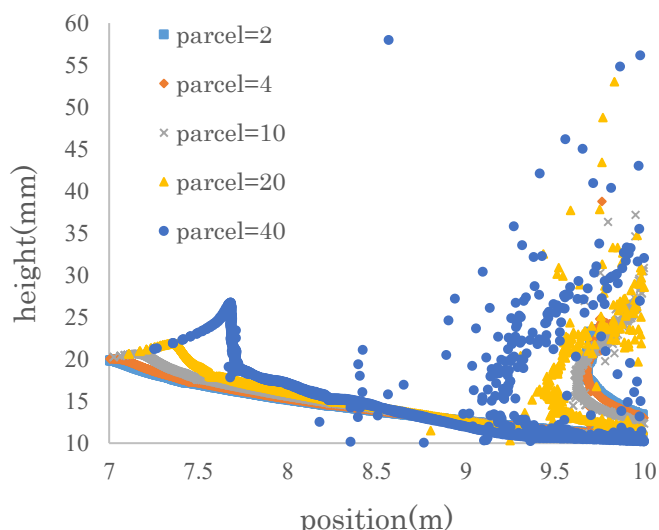


図-3 パーセル量による粒子運動比較 (1.8s)

5. 今後の展望

より 1 つ 1 つの粒子の運動や位置，速度等を捉えていくために粒子配置の検討や粒子数の検討を行い，経時変化する運動の可視化も視野に改良を進めていく．また，本研究によって示されたパーセル近似の特徴を鑑みて，セル内に存在する粒子数を考慮しながらパーセル量のしきい値の検討を行い，今後のモデル向上に繋げる．

参考文献

- 1) 春日悠, 今野雅: OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析, pp1-2, 2016.
- 2) 保坂幸一, 香取完和, 西受由裕, 久保田進: 砂面上および砂面終端風下の飛砂量に関する風洞実験, 土木学会海岸工学論文集 Vol.69, No.2, pp536-540, 2013.
- 3) 伊藤裕一, 王宏, 谷口伸行: 非構造格子において効率的な粒子追跡法を用いたパーセル近似の影響の調査, 日本機械学会流体工学部門講演会講演概要集, No.328, 2004.