

動力学モデルを用いた飛砂の数値解析における乱流モデルの比較検討

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 ○尾崎 貴英
 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

沿岸で発生する飛砂は、港湾の埋設や道路での堆砂など、人々の生活環境・経済活動に多大な被害を及ぼしている。これらの被害を最小限に食い止めるための防止策を検討する上で飛砂量の定量的な把握は重要である。また、飛砂の流動特性を適切に評価し、海岸砂防構造物の設計指針などに資するためには、3次元解析が必要不可欠である。

流体の流動解析ツールとして OpenFOAM がある。OpenFOAM は固気二相流を含む様々な流動現象に対応できるソルバを有している。また、OpenFOAM はオープンソースであるためカスタマイズが容易である。OpenFOAM は主に機械工学の分野で発展しており、土木工学の分野では近年、海岸・海洋工学の諸問題に適用され始めている。

そこで本研究では OpenFOAM が有する B.G.M.Van Wachem¹⁾による動力学モデルを基として、飛砂の流動現象に対応できるようにモデルの改良を行った。その際に標準 $k-\varepsilon$ モデルと SST $k-\omega$ モデルの2つの乱流モデルを用いて数値解析を行い、両者を風洞実験の結果と比較することによって、気相における乱流モデルの違いによる計算精度の比較検討を行った。

2. 数値解析モデル

飛砂の流動解析に対し、OpenFOAM のソルバの中から multiphase(多相流体)/twoPhaseEulerFoam(圧縮性二相流体)/RAS(レイノルズ平均乱流モデル)を採用した。このモデルはオイラー・グラニューラーモデル(流体-固体粒子)であり、流れを担う主要な相である連続相と連続相内に分散している分散相をどちらもオイラー法により解くオイラー・オイラー法を用いている。気相における乱流モデルには標準 $k-\varepsilon$ モデル及び SST $k-\omega$ モデル

を取り入れ、粒子相では B.G.M.Van Wachem による動力学モデルを取り入れた。また、固気二相流の支配方程式である連続の式と運動方程式は有限体積法(fvSchemes)に基づき離散化し、SIMPLE 法と PISO 法を組み合わせた PIMPLE 法を用いた。

3. 解析対象実験

本解析モデルの妥当性の検証のために、久保田ら²⁾が行った飛砂の風洞実験データを用いた。この実験では底部に厚さ 10cm の実験層を有する幅 1.0m、高さ 1.1m、長さ 20.0m の吹出型風洞を用いて、風速分布と飛砂量鉛直分布が測定されている。また、実験に用いられている砂はふるい分けにより粒度が揃えられた砂粒子である。今回の解析では粒径が 0.15mm(case1)と 0.25mm(case2)の実験データを用いた。

4. 解析条件

3で述べた風洞装置をモデル化したものを図-1に示す。解析領域の格子間隔は流下方向(X)を 5cm、高さ(Y)を 1cm、奥行き方向(Z)を 5cm とした。また、底面部には厚さ 10cm の砂層を設けた。

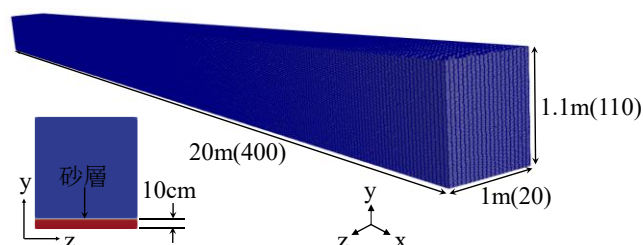


図-1 解析モデル

表-1 に解析条件を示す。これらは久保田ら²⁾の実験データと佐藤ら³⁾の数値解析データを基に与えている。

keywords：飛砂，数値解析，動力学モデル，乱流モデル

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：0246-46-0834

表-1 解析条件

case	1	2
風速 u (m/s)	10.99	9.00
乱流運動エネルギー k (m^2/s^2)	3.33	3.33
分子粘性散逸率 ϵ (m^2/s^3)	50	50
分子粘性比散逸率 ω (1/s)	15.02	15.02
体積率 α (%)	0.0024	0.0023

5. 数値解析結果

今回の解析は3次元で行っているが、モデルの検証のため、風洞実験の観測地点である風上から15m地点における風洞中心部での比較を行った。縦軸が300mmまでの表示としている理由はそれより上側の値は変化がないからである。

図-2、図-3に各caseの10秒後の風速分布 $u(\text{m/s})$ を示す。標準 $k-\epsilon$ モデルによる解析結果と比較して $\text{SST}k-\omega$ モデルによる解析結果は底面における分布形が実験結果と良好に一致し、平板上の乱流境界層の特徴をよく表す結果となった。

図-4、図-5に各caseの飛砂量分布 $q(\text{g}/\text{cm}^2/\text{s})$ を示す。標準 $k-\epsilon$ モデル及び $\text{SST}k-\omega$ モデルにおける飛砂量分布の実験値との一致は良好であり、周囲流体の密度に比べて固体粒子の密度が大きいこと、飛砂量が底面から急激に減少する特徴を捉えている。

6. まとめ

本研究では、OpenFOAMをベースとして、動力学モデルを用いた飛砂の流動解析を行った。風洞実験による結果と比較をすることで気相における乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデルより $\text{SST}k-\omega$ モデルの方が固気二相流の代表的な例である飛砂の流動特性を再現していることが確認できた。

参考文献

- 1) B.G.M. van Wachem: Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Amsterdam, 2000
- 2) 久保田ら：平成18年度土木学会海岸工学論文集 No.53, pp.431-435, 2006
- 3) 佐藤ら：固体粒子浮遊流における周囲流体の違いが乱流構造に与える影響，平成29年度土木学会東北支部技術研究発表会公演概要，II-84, 2018

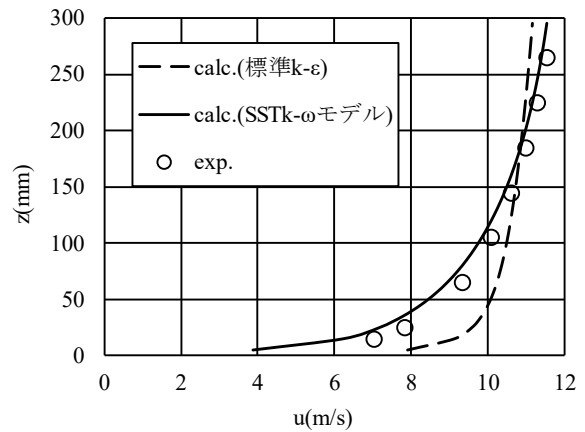


図-2 風速分布(case1)

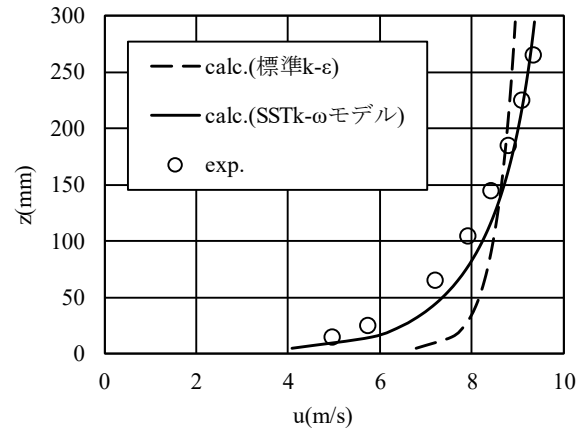


図-3 風速分布(case2)

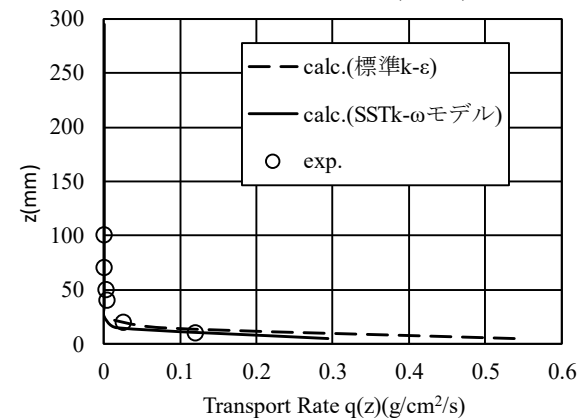


図-4 飛砂量分布(case1)

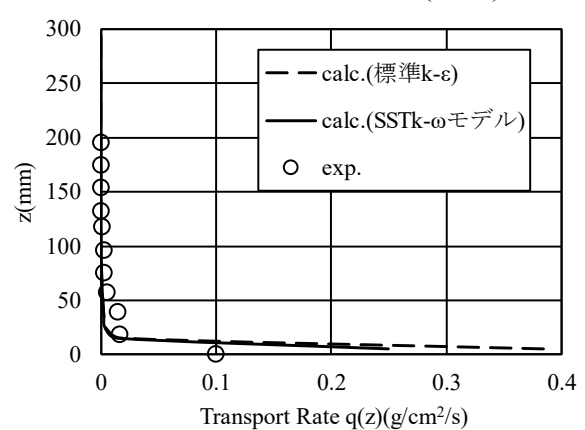


図-5 飛砂量分布(case2)