

動力学モデルを用いた吹雪の数値解析における メッシュアスペクト比の精度検証

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 ○高橋 朋世
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

吹雪は冬季積雪地帯における視程障害や吹きだまりによる交通障害を引き起こし、その対策には、道路防雪林や防雪柵などの整備が行われている。これには吹雪の流動特性を把握することが重要であり、流動特性を適切に評価し、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3次元流動解析ツールとして OpenFOAM がある。OpenFOAM は、オープンソースの数値流体力学ツールボックスであり、オブジェクト指向プログラミング言語 C++ で開発された微分方程式ソルバ開発用のクラスライブラリである。非圧縮流れ、圧縮流れ、乱流モデル、混相流などの流体解析ソルバが多数組み込まれ、固気二相流を含む様々な混相流の流動現象に対応できるソルバを有しており、改良を加えることができる。

そこで、本研究では、OpenFOAM を基に吹雪の流動現象に対応できるようにモデルを改良し、既往の解析結果および実験結果と比較し、モデルの妥当性を評価する。その中で数値解析をする際に重要となるメッシュアスペクト比に注目し、メッシュアスペクト比が解析結果に与える影響について検証することを目的とする。

2. 数値解析モデル

本研究では吹雪の解析に対して、OpenFOAM のソルバの中から、twoPhaseEulerFoam を吹雪の流動解析に適した解析モデルへと発展させ解析を行った。具体的にはオイラー・グラニュラー（流体－固体粒子）モデルを採用した。気相では標準 k-ε 乱流モデルを粒子相では B.G.M. Van Wachem¹⁾ による動力学モデルを取り入

れた。固気混相流の支配方程式である連続の式と運動方程式を有限体積法 (fvSchemes) に基づき離散化した。

3. 解析対象実験

吹雪の数値解析との比較には、国立研究開発法人防災科学技術研究所新庄雪氷環境実験所の低温風洞装置において、福島ら²⁾によって観測された実験データ、菊地ら³⁾によって求められた解析結果を用いた。実験は、底部に厚さ 20mm の雪を敷き詰めた幅 1.0m、高さ 1.0m、長さ 14m の低温風洞装置を用いて行われた。室温 -15℃ の下で、測定位置から 10m 上流より毎秒 67cm³ の割合で雪を供給している。

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。メッシュ間隔はメッシュアスペクト比を考慮し、表-1 に示すような 3 ケースについて解析を行い、解析精度の検証を行った。また、底面部には厚さ 20mm の積雪を設け、上流より雪を供給した。表-2 に解析に用いたパラメータを示す。これらは、菊地³⁾の解析データを基に与えている。また、計算の時間間隔を表-3 に示す。

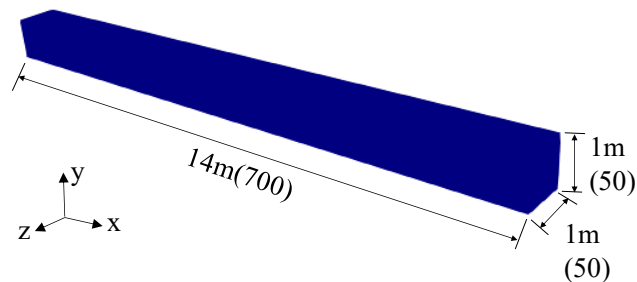


図-1 解析モデル(case2)

Keywords：吹雪，数値解析，動力学モデル，メッシュアスペクト比

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 TEL0246-46-0834

表-1 メッシュ間隔と総メッシュ数

	case1	case2	case3
流下方向x (cm)	10	2	5
高さ方向y (cm)	1	2	5
奥行き方向z (cm)	20	2	5
総メッシュ数	70000	1750000	112000

表-2 解析パラメータ

風速u(m/s)	10
乱流運動エネルギーk(m ² /s ²)	2.69
分子粘性散逸率ε(m ² /s ³)	5.70
雪の密度ρ _s (kg/m ³)	301.0
空気の密度ρ _a (kg/m ³)	1.293
雪の粒径d(mm)	0.148
体積率(平面部)α(%)	0.050
体積率(流入口)α(%)	0.00426
温度T(K)	258

表-3 計算時間間隔

TotalT(s)	5
ΔT(s)	0.001
WriteInterval(s)	0.01

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、実際の観測地点である流下方向10m地点での風洞中心部の風速分布と吹雪量分布により比較を行う。また、既往の拡散方程式を用いた菊地ら³⁾の解析値との比較も行った。上端は低温風洞実験において測定範囲の上限値である300mmとしている。

図2に風速分布、図3に吹雪量分布を示す。case1では、風速分布の結果は上部では過小に下部では過大に評価する結果となった。吹雪量分布は分布形が全体的に実験値と比べて上向きとなった。case2では、メッシュ間隔をそれぞれ2cmとし、メッシュアスペクト比を1:1:1と設定することで、解析結果の分布形が改善され、風速分布、吹雪量分布ともに実験値との良好な一致を得ることができた。case3ではcase2と同様にメッシュアスペクト比を1:1:1としたが、メッシュの間隔を大きくとったケースである。このケースでは風速分布、吹雪量分布ともに実験値との大きな差がみられた。

以上のように、メッシュアスペクト比とメッシュ間隔を適切に設定することによって、吹雪の流動現象を精度良く再現できることが確認できた。

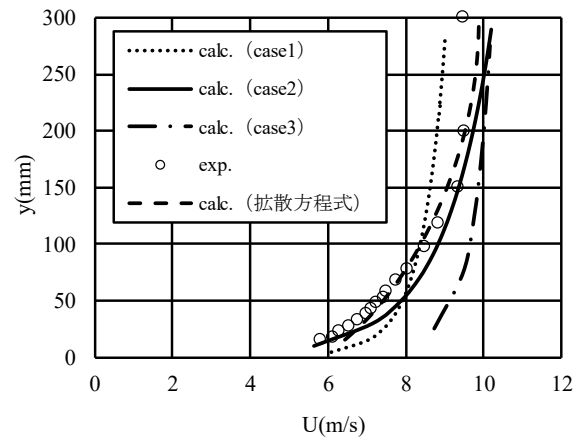


図-2 風速分布

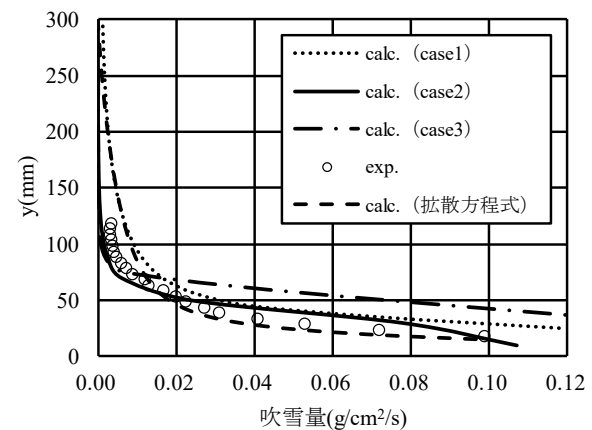


図-3 吹雪量分布

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吹雪の流動解析を行った。風洞実験結果との比較を行うことでOpenFOAMを用いた本モデルが固気二相流の代表的な例である吹雪に対して、風速分布、吹雪量分布ともに精度良く再現できることが確認できた。

また、メッシュアスペクト比とメッシュ間隔が解析精度に与える影響についての評価を行い、適切な比と間隔を与えることで精度が向上することがわかった。

参考文献

- 1) B.G.M. van Wachem: Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Amsterdam, 2000.
- 2) 福嶋祐介, 藤田和成, 鈴木健史, 小杉健二, 佐藤威: 低温風洞での吹雪実験に対する非ブーシネスクk-ε乱流モデルによる検討, 土木学会論文集, No.656/II-52, 113-120, 2000.
- 3) 菊地卓郎, 福嶋祐介: 乱流拡散方程式を用いた固体粒子浮遊流の底面条件に関する検討, 混相流 21 巻 2号 177-184, 2007.