

種々の防雪柵まわりの流れ

高橋 里奈 (指導教員: 河村 哲也)

1 はじめに

北海道や東北地方などでは、冬になると雪が生活に大きな影響を及ぼす。中でも地面に吹きだまりができると、道路が凍ったり視界が遮られるなどして交通事故の大きな原因となっている。北海道など気温が低い場所では特に比較的軽い雪が降るため、風が弱くても吹雪が発生しやすい。このような地域には防雪柵を設置しているところが多い。

そこで本研究では風が吹いたときの雪の動きや、防雪柵によってどのような効果があるのかを数値シミュレーションによって解析する。

2 モデル化・格子生成

xz 平面を地表面、y 方向を高さとする 3 次元空間を考えた。格子数は、x 方向に 80、y 方向に 80、z 方向に 30 とし、柵に近ければ近いほど格子が細くなる 3 次元不等間隔格子とする。また、本研究では、まっすぐな柵 (Case1)、上部が風上側に斜めになっている柵 (Case2)、上部が風下側に斜めになっている柵 (Case3)、下部に隙間のある柵 (Case4)、下部に隙間があり上部が斜めになっている柵 (Case5) の 5 種類を考えた。

図 1 に Case2 の xy 面内での格子および柵を示す。なお計算領域の広さは Case1 の場合、柵の高さを 1 とすると x 方向は 7、y 方向は 4、z 方向は 5 である。

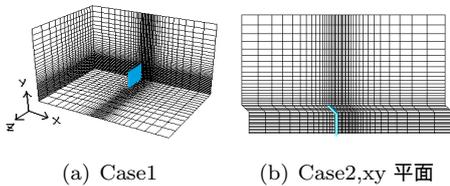


図 1: 格子モデル

3 計算方法

3.1 基本方程式

大気中の流れは非圧縮性流体として扱うことができる。そこで、連続の式 (1) と非圧縮性 Navier-Stokes 方程式 (2) を支配方程式として解くことができる。また、雪の密度に関する移流拡散方程式 (3) も使用する。これらの方程式は無次元化されている。この 3 式を一般座標に変換した上でフラクショナル・ステップ法を用いて計算する。

$$\nabla \cdot v = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 v \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + ((v - vs) \cdot \nabla)C = \alpha \nabla^2 C \quad (3)$$

ただし、 v は速度ベクトル、 t は時間、 p は圧力、 α は雪の無次元化した拡散係数、 Re はレイノルズ数、 vs は雪の落下速度、 C は雪の密度とする。

3.2 計算条件

時間間隔は、 $t=0.01$ で 10000 ステップで計算した。風速および柵の高さに基づくレイノルズ数は 80 である。図 1 の左側 (流入側) では x 方向に 1 の一様な風が吹いているとし、雪の落下速度は y 方向に 0.25 とした。また雪の濃度を図の流入側と上空側で 1 とした。

4 計算結果と考察

計算の結果、特徴的なものを代表して示す。

4.1 風速場

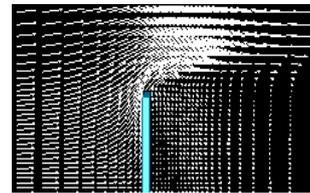


図 2: $t=100$ での Case1

4.2 雪の濃度 (shading)



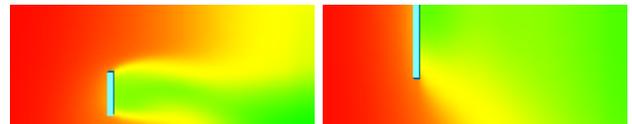
(a) Case1



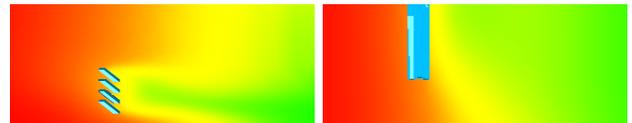
(b) Case2



(c) Case3



(d) Case4



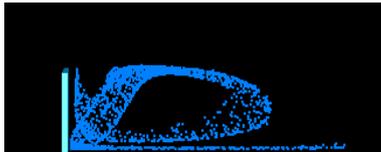
(e) Case5

図 3: 左図は z 方向に柵の長さの 0.6 の位置での xy 断面、右図は地上から柵の高さの 0.5 の位置の xz 断面。

図3より Case1、Case2、Case3 を比較すると Case2 で緑色の部分が最も少なく、雪の濃度が高いことが見てとれる。つまり Case1,3 に比べ、雪が柵に対してまわり込みやすいといえる。Case4、Case5 では Case1,2,3 と比べて柵の下部だけでなく上部でも雪の濃度が高くなっているのが見てとれる。

4.3 雪の動き (particle path)

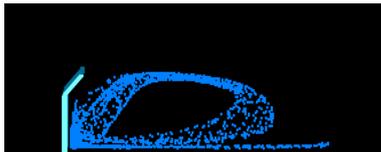
流入側から雪に見立てた粒子を入れてその動きを追跡した。図4は無次元時間50のとき、図5は100のときの粒子の位置を示す。



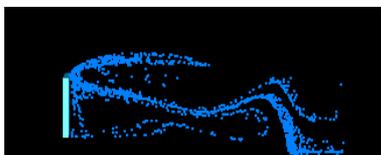
(a) Case1



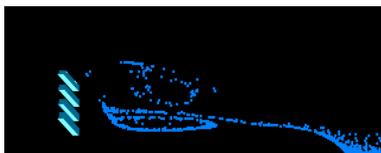
(b) Case2



(c) Case3



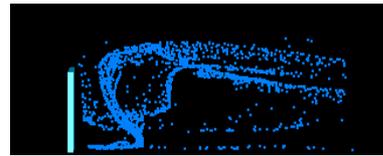
(d) Case4



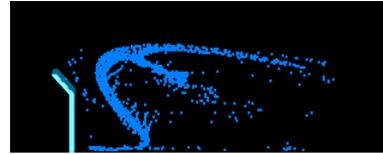
(e) Case5

図4: t=50での Case1 ~ Case5

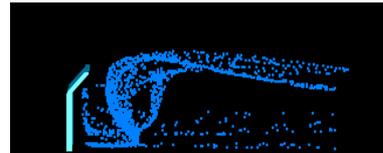
図4図5より、Case1、Case2、Case3、Case5では柵の近くで渦が存在していることが確認された。Case2ではCase1,3と比べ全体的に柵に近いところで回転していることが見てとれる。これはCase2で風が柵に対してまわり込みやすく、よって雪も柵の近くに堆積しやすくなるからだと考えられる。Case4では、柵の下部に開いた隙間に風が通ることで雪が全体的に流される様子が確認された。また、Case5では発生した渦が徐々に上に移動していく様子が見てとれる。これは上部の板が傾いていることにより、下部を通る風が加速して風が上に向かい、それにとまって雪も上に振り



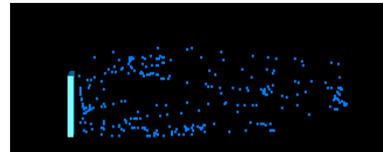
(a) Case1



(b) Case2



(c) Case3



(d) Case4



(e) Case5

図5: t=100での Case1 ~ Case5

払われていると推測できる。

5 まとめと今後の課題

本研究では、種々の防雪柵まわりの雪の流れをシミュレーションし、防雪柵の形状によってどのように雪の流れが変化するかを調べることができた。今回の研究により、柵の形状は上部を斜めにしたものが柵の風下側に雪が堆積しやすく一般的な防雪柵としては一番効果的であるといえる。また、上部を斜めにし下部に隙間を設けた柵は、雪が堆積する場所のないような道路、例えば道路と設置位置との距離に余裕のない場合や山道などで適していると考えられる。

今後はより複雑な形状のものを考え、風向や風速の数値を変えて計算したり、大気の状態をより現実に近いものとしたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、数多くの貴重なご助言を賜りました河村哲也先生に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 河村哲也, "数値シミュレーション入門", ISBN4-7819-1134-X, サイエンス社, 2006.