

I - B 383

Lattice Boltzmann method による防風フェンス周りの流れの数値シミュレーション

立命館大学理工学部	正会員	Peter Schrader
立命館大学理工学部	正会員	小林 紘士
関西国際空港(株)工務部	正会員	須野原 豊
関西国際空港(株)工務部		播本 一正
関西国際空港(株)工務部	正会員	松井 光市

1. 前書き

大型飛行機ジェットによる風すなわちジェットブラストは人間に危険となることや不快感を与えることがあるが、それを充分遮るために、空港では防風フェンスが利用されている。ジェットブラストに対する防風フェンスの遮風効果に関する資料は少なく、より詳しい設計用風速データが望まれている。

実験には費用と時間がかかるので、実験手法に加えて数値シミュレーション法も望まれている。防風フェンスまわりの流れの数値シミュレーション手法を開発する一歩として、新しい手法を用い、不透過板フェンス周りの流れの2次元数値シミュレーションを行って、その結果をスケール1/6の屋外実験結果と比較した。

2. 数値シミュレーション法について

LBM¹⁾(=lattice Boltzmann method)を使用した。LBMは格子ガスに基づいている。その格子は、図1に示すようなラチス状のものが多く用いられている。タイムステップ毎に粒子が交差点から隣りの交差点に格子点上を飛ぶ。これは簡単なガスのモデルであり、ある意味では連続の方程式、Navier-Stokesの方程式を満たすこういうものもあり、流れの数値シミュレーションに利用できる。LBMは粒子の飛ぶ確率を計算に使用するものである。本研究には六角形格子より構成された格子を利用した。

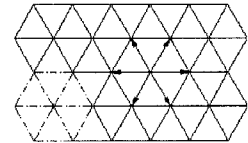


図1 格子ガス用格子構造

3. 一様層流中に設置した不透過フェンス

数値シミュレーション法の確認のため、最初は風洞におけるフェンス周りの2次元層流流速ベクトルの計算を行った。格子は129×257とした。計算域に流入する流れは流速が高さにより不変なものとした。フェンスの高さとこの流速に基づいたReは約53である。計算結果は図2、図3に示しており、文献²⁾のそれと定性的には良く似ている。その文献は不透過フェンスも含めており、指数1/7の風速プロファイルが使用されており、 $Re=4 \times 10^4$ の乱流の数値シミュレーションを行ったものである。平均流速ベクトルに基づいた結果のみ

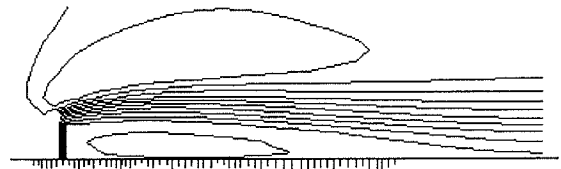


図2 フェンス上部と後部の風速コンター

考慮する場合は、定性的に良く似ている。

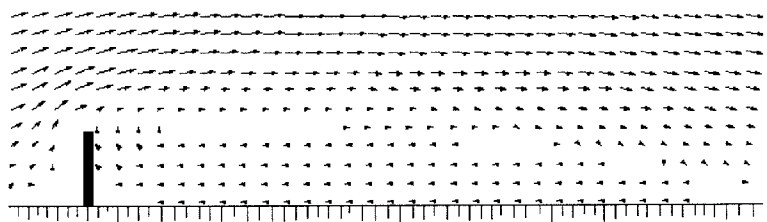


図3 フェンス上部と後部の風速ベクトル

フェンスの高さをHとすると、流れは、フェンスを超え、フェンス上部では特に速くなり、フェンス後部ではフェンスからHの数倍の距離でまた地表面に近づく。流れが地表面に近づく点とフェンスの間には、

防風フェンス、噴射、低いReynolds数、流れの数値シミュレーション、lattice Boltzmann method

〒525-8577 草津市野路東1-1-1、立命館大学土木工学科、TEL077-566-1111 内戦 8752、FAX077-561-2667

低流速域があり、長さがHの数倍ある細長い渦が現れる。

4. フェンスが噴射へ及ぼす効果の数値シミュレーション

噴射を受ける防風フェンスの遮風効果に関するスケール 1/6 の模型実験結果³⁾と比較する。図4はフェンスのないときの噴射による風速の高度分布である。ここに、X はプラストから 33m 後流側にある尾翼から計った距離、Z は地表からの高さで、実スケールである。風速は実験スケールで示されている。地表面付近に強風域がある。図5は高さ4mの不透過板フェンスを X=12.7m に置いたときの風速の高度分布である。

数値シミュレーションは次のように行った。計算域に流入する流れは、図4の位置 X=0 の風速プロファイル形状に近い高度分布とした。格子は図1と同じ形状で 129×129 の交差点を与えた。格子の上と右の境界については、粒子の流出は可能、粒子の流入は不可能とした。格子上のフェンスは図6に示している。フェンス高さと同噴射最大風速に基づいたレイノルズ数は $Re=23$ である。地表およびフェンス表面の non-slip 条件は鏡反射を用い実現した。つまり、壁、フェンスに飛ぶ粒子は光と同様に反射されている(ケースA)。

計算で求めた風速の高度分布を図7の実線で示す。計算された風

速ベクトルを図8に示す。フェンスを過ぎた流れが上方に向かい上方で高風速域が現れていることが分かる。図7の点線はもう一つのケースに対する風速の高度分布を示す。このケースは、non-slip 条件を bounce back 式¹⁾を用い実現したものであり、それに、他の境界条件も少し変更してある(ケースB)。bounce back 式とはある交差点へ飛ぶ粒子が次のタイムステップのとき逆向きに向かい飛び戻ることを意味する。ケースAに比べ、ケースBの場合はフェンスを過ぎた噴射方向が地表面と小さい

角度をなす。実験の場合はケースAとケースBの中間の角度となっている。

計算結果は実験の結果と風速プロファイルに関して、図5と図8に見られるように、傾向は定性的に一致している。本研究の2次元シミュレーションの時にモデル化していないのはフェンス正面に衝突した流れがフェンスに沿って左右に分かれる流れである。それは重要である。

5. 結論

lattice Boltzmann 式を用い、噴射を受けるフェンス周りの流れについて Reynolds 数の低い2次元数値シミュレーションを行った。フェンスの後部の風速高度分布を模型実験により得られたそれらと比較した。傾向が似ている計算結果を得たが、正確な結果を得るため、流れの3次元性もモデル化すべきである。

参考文献

- 1) Chen, S., Doolen, G.D., *Lattice Boltzmann method for fluid flows*, Annu.Rev.Fluid Mech. 30, 1998, p329
- 2) Fang, F.M., et al., *On the flow around a vertical porous fence*, J. Wind Eng.Ind.Aerodyn.68, 1997, p415
- 3) Schrader, P., et al., 防風フェンスの遮風効果に関する実験, 土木学会関西支部年次学術講演会, 1999

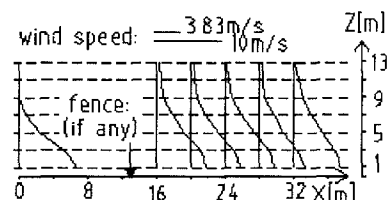


図4 噴射による風速高度分布

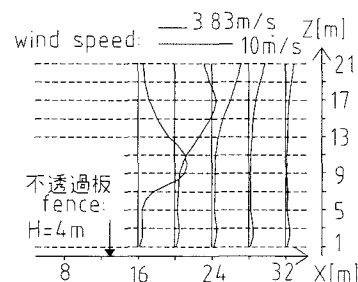


図5 フェンス後部の風速高度分布

(実験データ)

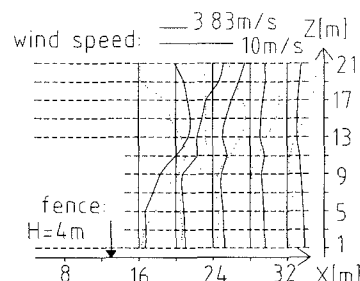


図7 フェンス後部の風速高度分布

(数値シミュレーション)

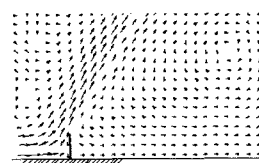


図8 風速ベクトル