

神戸大学自然科学研究科 正会員 中山昭彦
神戸大学工学部 学生員 ○利上典史

1. はじめに

ヒートアイランド現象等の都市環境に関する問題や、人工建造物による環境変化に対するアセスメントなど、実地形上での大気乱流の解析は今後も応用の幅を広げていくものと思われる。しかし、このような実地形上の大気乱流のシミュレーションにおいては、現在でも簡単な乱流モデルを組み込んだレイノルズ平均式に基づいた方法(RANS)が主に用いられている。一方、ラージ・エディ・シミュレーション(LES)については、単純境界形状を有する場における解析で成果が出ているが、複雑境界上の流れへの応用例はいまだ数少ない。

本研究では、開発されたLES法¹⁾を用いて、隠岐空港およびその周辺地域における気流のシミュレーションを行った。計算結果は風洞実験結果と比較し、その精度等について検討を行った結果を報告する。

なお今回の解析は、複雑境界形状を有する場で解析を行うことを第一目的としているため、解析精度については今後の課題とするものである。

2. 対象地形

今回の計算の対象とした地域は島根県隠岐郡の隠岐空港およびその周辺地域で、北東から南西にかけて8.0 km、北西から南東にかけて2.3 kmの領域である。領域内は海面および海拔200 m前後の起伏を含んだ陸地からなる。図-1はこの領域の1/1000スケール風洞実験模型の写真であり、図-2は数値計算モデルであるが、いずれも今回想定する風の風上側から望んだ構図にな



図-1 風洞実験モデル

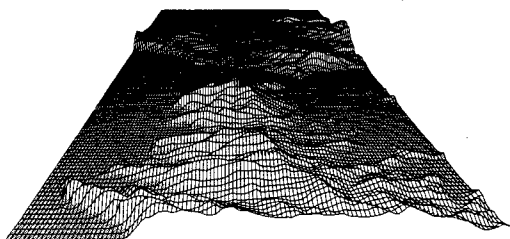


図-2 数値計算モデル

っている。なお後者は地表面の地形図より50 m～100 m間隔で数値データ化したものを3次元的に表わしたものである。

3. 解析手法

先に表わした領域上の大気乱流にLESを適用した。今3次元直交座標上で、流下方向に x_1 軸、スパン方向に x_2 軸、鉛直上方に x_3 軸をとり、それぞれに対応する速度成分を u_1 , u_2 , u_3 とすると、3次元非圧縮のLES基礎式は次のように表わせる。うち運動方程式は

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\bar{p} + \frac{2}{3} k_s \right) + (\nu + \nu_T) \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial \nu_T}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$$

連続の式は

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

である。ここに ν は動粘性係数、 p は圧力を密度で除したもの、 k_s は格子以下の乱れエネルギーであり、渦粘性係数 ν_T はSmagorinskyモデルに倣い

$$\nu_T = (C_s \Delta)^2 \sqrt{2 \left[\left(\frac{1}{2} \right)^2 \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right]^2}$$

とする。ここに Δ はフィルタ幅の代表値、 C_s はモデル定数であり今回の計算では0.13とした。

なおフィルタリング操作によって生じるLeonard項とCross項については、同時に無視することによりモデル化を省略した。

計算は、上述の基礎式を陽的に離散化し、食い違い

格子を基にした HSMAC 法を用いて行う。また時間進行に関しては Adams-Bashforth の 2 次精度の公式、粘性項および乱流応力項には 2 次精度中心差分、移流項には 3 次精度風上差分を用いて離散化した。

また複雑で不規則な境界形状は矩形近似により表現した。

3. 計算結果および実験値との比較

計算は $120 \times 46 \times 55$ の 3 次元直交座標上で行い、格子間隔については地形の状況に応じて変化させている。また Reynolds 数、流入風速分布は風洞実験に従い、温度勾配も風洞実験と等しい中立成層の条件としている。なお風下側には放射条件を採用し、地表面での境界条件としては対数則を用いている。

図-3、図-5 に風洞実験結果を示し、計算結果は図-4、図-6 に示す。また図-3、図-4 は、滑走路面を基準に高さ 20 m での平均風速を基準風速との比で表したもので、図-5、図-6 は 50 m の同様のものである。

計算結果の図を見てみると、図-4、図-6 の両方において位置 A の風下側での風速の落ち込みがみられる。これは風洞実験結果の図-3、図-5 にも顕著にみられる傾向であるが、この付近には滑走路面を基準として約 35 m の独立した小峰があり、これにより流れが妨げられた結果であると考えられる。

また平均風速の値の分布をみてみると、計算結果が風洞実験結果に比べやや大きく出ているものの、結果は良好である。このことにより今回の計算が流れを定性的には再現できていると言える。

おわりに

今回は、複雑な境界形状を有する実地形上の気流を LES を用いて解析した。しかし結果は良好とはいえるものの、複雑地形上のながれを捉えてきれているとはまだまだ言えない。複雑地形上での流れの解析に向けた、より良い近似法およびモデルの構築が望まれる。

<参考文献> Nakayama, A., Noda, H., "Physical and Numerical Modeling of Turbulent Flow Over Complex Topography", Proc. 11th Symposium on Turbulent Shear Flows, pp.19-19, 1997.



図-3 風洞実験結果 (高さ 20 m)



図-4 計算結果 (高さ 20 m)

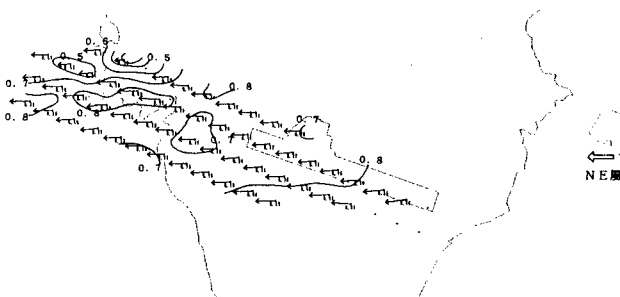


図-5 風洞実験結果 (高さ 50 m)

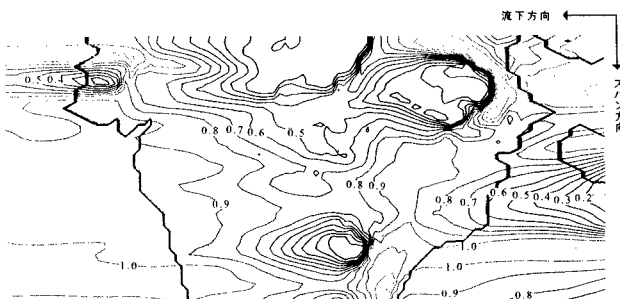


図-6 計算結果 (高さ 50 m)