

CS 134

数値計算を用いた任意地形断面の風の特性に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○白 丙基
 京都大学工学部 正 員 松本 勝
 京都大学工学部 正 員 白石 成人

1. はじめに

構造物の軽量化、高層化及び長大化が進むにつれて各種の構造物設計において風が占める比重も次第に増しつつある。それにともなって、構造物の設計の対象となる地域の自然風の特性を検討するため、様々な分野で研究され、現地観測や風洞実験及び地形因子による統計解析に基づいた研究結果が報告されている。一方、最近では数値シミュレーションという新しい手法が加わって、数値解析を用いた研究が盛んに行われている。その数値解析によって、建物回りの風の特性並びに地上風の予測まで行い、ある程度の風の特性を定性的に把握しているのが現状である。しかし、地形はその地域の独特なものとなっており、それによって風の特性も大きく変わるので地形と風との関係を明らかにする必要があると思われる。本研究では、 $k-\epsilon$ 型2方程式モデルを用いて任意地形の気流特性の結果¹⁾に基づき、更に詳細に気流の特性について検討を試みる。

2. 数値解析の概要

本解析は、気温の分布状態は対流現象が起こらない一定温度とみなした中立安定状態の強風時の風況を対象とした。計算は $k-\epsilon$ 型2方程式モデルを用い、任意形状断面の流れ場をQM3DMGTB アルゴリズムで解いた²⁾。解析に使った基礎方程式は表-1の通りである。

3. 数値計算方法

計算の格子網は、等間隔直交座標計算格子網として $15 \times 15 \times 15$ のGridとして格子間隔は、 $\delta x = \delta y = \delta z = 0.5$ とした。計算は初期流速場を0.0、流入速度を左壁面全体から無次元高さの1/4乗則で与え、この時の流出速度は連続流出(Continuative flow)としてスタートした。計算時間は、非定常解を等間隔としては $\delta t = 0.005$ より時間ステップ1200回非定常解を進展させ(無次元時刻 $T=6$)、その時点での諸値をデータとして取ってグラフ化した。それぞれの無次元化した壁面条件は表-2のようである。流れ場のRe数は 5×10^4 とした。

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (U_i U_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] + g_i$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (k U_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \epsilon + \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\epsilon U_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} + \nu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \epsilon k^{-1} \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_2 \epsilon^2 k^{-1}$$

ここで、 U_i : 平均風速の3成分(i =主流方向, j =鉛直方向, k =横方向)
 ρ : 空気密度、 ν_t : 渦動粘性係数、 $\nu_t = k^{1/2} = C_D k^2 / \epsilon$
 k : 乱流エネルギー、 ϵ : k の散逸、 P : 圧力
 $\sigma_k = 1.0$ 、 $\sigma_\epsilon = 1.3$ 、 $C_D = 0.09$ 、 $C_1 = 1.44$ 、 $C_2 = 1.92$

表-1 基礎方程式

流入壁面	流入流速を $U_{in} = y^{1/4}$ のような分布で与える。
流出壁面	流出流速 U_{out} は規定せず、連続流出境界とした。
低壁面	底の壁面に対する流速は、 $U = (u \tau / \kappa) \ln(Ec y^+)$ と仮定した。 乱流量における壁面格子点に対しては、 $\kappa = u \tau^2 / 0.3$ 、 $\epsilon = \tau^3 / \kappa y^+$ を与えた。 ここで、 $Ec = 9.8$ 、 $\kappa =$ カルマン定数(0.4)、 $u \tau = \kappa U / \ln(Ec y^+)$ 、 $y^+ = y C_D^{1/4} Re$ である。
上空面・側面	U 、 κ 、 ϵ は、free slip とした。
モデルの壁面	低壁面と同じ条件を用いた単純なno-slip条件を与えた。

表-2 壁面条件

4. 解析結果及び考察 図-1は今回解析された地形断面モデルの空間であり、図-2にその水平断面図を示す。この地形断面モデルを用いて、平均風速のベクトル分布を調べた。図-3、図-4は、水平断面の各々の高さにおける断面を表している。この図により、地形の前方や山越え及び地形断面後流の気流などの全体的な平均風速ベクトルが高さごとにおおよそ再現されていることが分かる。図-5は、図-2の断面A-Bにおける鉛直断面の解析結果である。この図では地形断面前方の地形により、平均風速ベクトルが複雑になっているが、ある程度風の流れを把握する事が出来た。図-5のような横切る鉛直方向の分布では、孤立峰周辺の流れの場の特徴として、大気の安定度が不安定から中立な場合には、水平方向に迂回する流れよりも鉛直方向に山を越える流れが支配的であることが知られているが、本解析は孤立峰でなかったため、理論的な比較は出来ないと思われる。

5. まとめ 1) 今回の数値計算の結果では、風洞実験値等による比較・対比は行っていないが、温度成層が中立安定成層の強風時の風に対しては、ある程度この解析方法は地形における風の流れの把握が可能と考えられる。2) 地形の複雑さに比べて格子の間隔が粗いため、与えられた結果がどの程度正しいかを判断することは容易ではない。本解析は、まだ基礎的な段階であり、今後は境界条件や解析領域の設定等の検討を行い、風洞実験との比較・対比を試みたい。

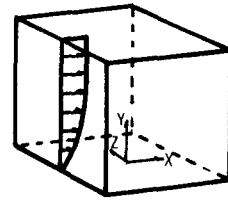


図-1 解析モデル

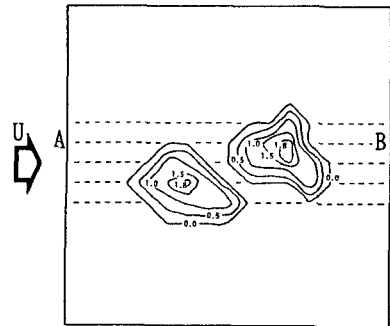
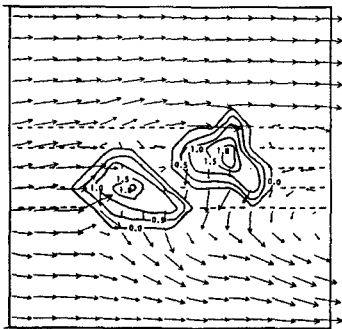
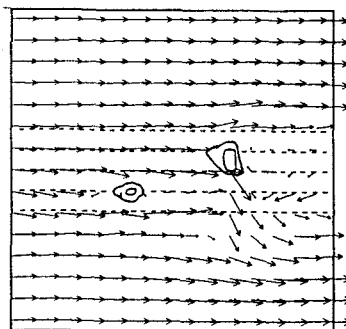
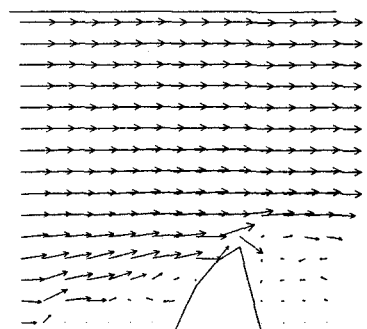


図-2 地形モデルの平面図 (X-Z軸)

(水平断面X-Z軸、高さ0.5)
図-3 平均風速ベクトル分布(水平断面X-Z軸、高さ1.5)
図-4 平均風速ベクトル分布(鉛直断面X-Y軸、断面A-B)
図-5 平均風速ベクトル分布

参考文献

- 1) 白 丙基、松本 勝、白石 成人； $\kappa-\epsilon$ 型2方程式モデルを用いた任意地形断面の気流特性に関する研究、土木学会関西支部年次講演会、1993年
- 2) 武本 行正、山辺 春雄、三次精度風上差分スキームQUICK法を用いた非圧縮粘性流解析コード、京都大学大型計算機センター広報17-6、1984