

神戸大学工学部建設学科	学生員	○岸 修士郎
神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	利上 典史
神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	前田 和裕
神戸大学大学院自然科学研究科	正会員	中山 昭彦

1. まえがき

自然環境下での流れは境界の形状が複雑であるのみならず、様々な地表状態および不確定要素のためその解析・予測は現在でも不可能に近い。実地形上気流解析においては、複雑な形状の他に植生などの影響を適切に考慮しなければならない。本研究では実地形上気流の LES シミュレーションを行うにあたり地表面の樹木など植生の影響を調べるため、植生を無視した計算(Case1)と植生の影響を流れ領域に抵抗を導入することで表した計算(Case2)を行った。それぞれを既存の実験値と比較することにより抵抗モデルの必要性を検討した。

2. 抵抗モデル

植生など間隙のある流れ領域についての LES 基礎式は、

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{p}'}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i'}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j - \bar{u}_i' \bar{u}_j')$$

である¹⁾。ここで $\bar{u}_i$ 、 $\bar{p}$ は速度、圧力の空間平均で u_i' 、 p' はそれからの変動成分である。右辺第 2 項と第 4 項は粗度による付加項で、抵抗モデルではこれら 2 つの項の和を

$$F_i = \rho C_d A U^2$$

とおき瞬時流速の反対方向に働くとする。ただし ρ は空気
の密度、 A は植生部分の面積密度、

U は風速、 C_d は抵抗係数である。本

研究では A の分布を指数関数で表し

$$F_i = -u_i C_1 \exp(-C_2 Z/k) \sqrt{u_j u_j}$$

とした。ただし、 z は地表面から

の距離で k は粗度高さ、 C_1 、 C_2

は係数である。本研究では陸上

にだけこのモデルを取り入れ、

$C_1=0.1$ 、 $C_2/k=2000$ を採用した。

3. 解析手法

計算領域および境界形状を図-1に示す。境界条件は流入に $u=1.0$ 、 $v=w=0$ の一様流、流出に放射条件、両側面すべり、上面すべり、下面すべりなしとした。SGS モデルには標準 Smagorinsky モデルを採用し、Smagorinsky 定数 $C_s=0.2$ とし、壁近傍で低レイノルズ数効果を考慮に入れるため Van-Driest 型減衰関数 $1-\exp(-Z/26)$ を用い C_s に乗じた²⁾。

境界表現法は矩形格子近似法、空間差分法には移流項に 3 次精度風上差分、粘性項に 2 次精度中心差分、その他は中心差分を用い、時間進行法は 2 次精度 Adams-Bashforth 法、圧力解法は HSMAC 法を用いた。計算格子はスタッガードメッシュ系を用いておりメッシュ数は $122 \times 33 \times 40$ とした。

4. 結果と考察

まず通常の LES 計算を行った結果(Case1)の、地表面に沿って高さ 10m 及び 50m での流速ベクトルをプロットしたものを図-2 に示す。地表面からの高さが低いところでは地形に沿った流れが再現できており、高くなるにつれて地形が流れに及ぼす影響が弱くなっていることが見てとれる。これによって矩形格子近似法により複雑境界領域を表現できていることと、流れが質量保存則を満たしていることが分かる。

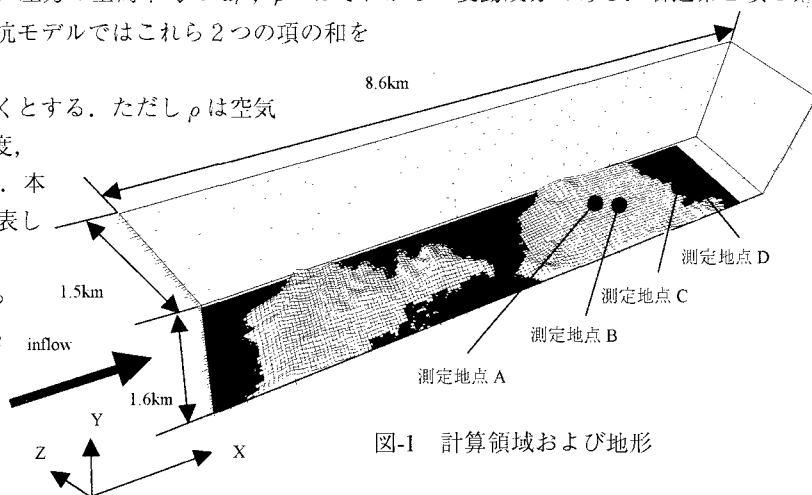
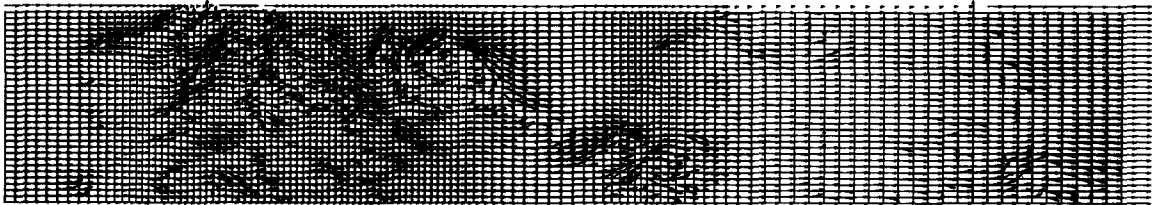


図-1 計算領域および地形

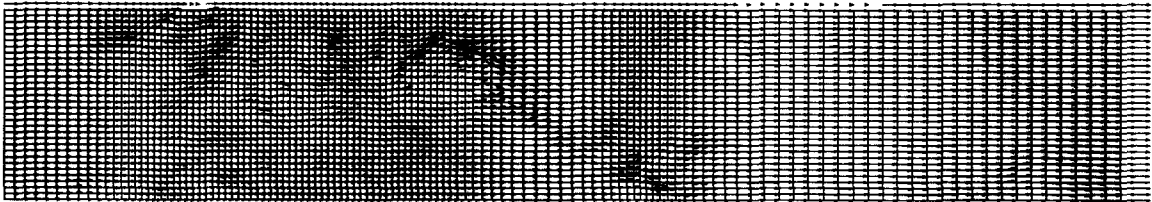
次に Case1, Case2 及び実験値との比較として測定地点 A,B,C,D での流速分布を図-3 に表した。ただし縦軸に標高 95.25m からの距離 Z , 横軸に流れ方向速度成分 u を標高 700m での速度で割った値をとった。また測定地点 A,B は陸上で C,D は海上の地点である。Case1 を見ると海上の地点 C,D は実験値に近いが、陸上の地点 A,B は粗度の影響を考慮に入れてないため誤差が大きい。そこで Case2 を見てみると良好な結果が得られているのが分かる。これによって粗度の影響を表す為の何らかのモデルの必要性及び有効性が示せた。本研究はこの抵抗モデルの模索的研究である為、今後のモデル改良によりさらにその普遍性を高めることが期待される。

参考文献

- 1) N. R. Wilson, R. H. Shaw: "A Higher Order Closure Model for Canopy Flow", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 16, pp. 1197-1205, Nov. 1977.
- 2) 吉澤徹, 三宅裕, 大宮司久明: "乱流の数値流体力学", 東京大学出版会, 1998.



(a) 高さ 10m



(b) 高さ 50m

図-2 流速ベクトル(Case1)

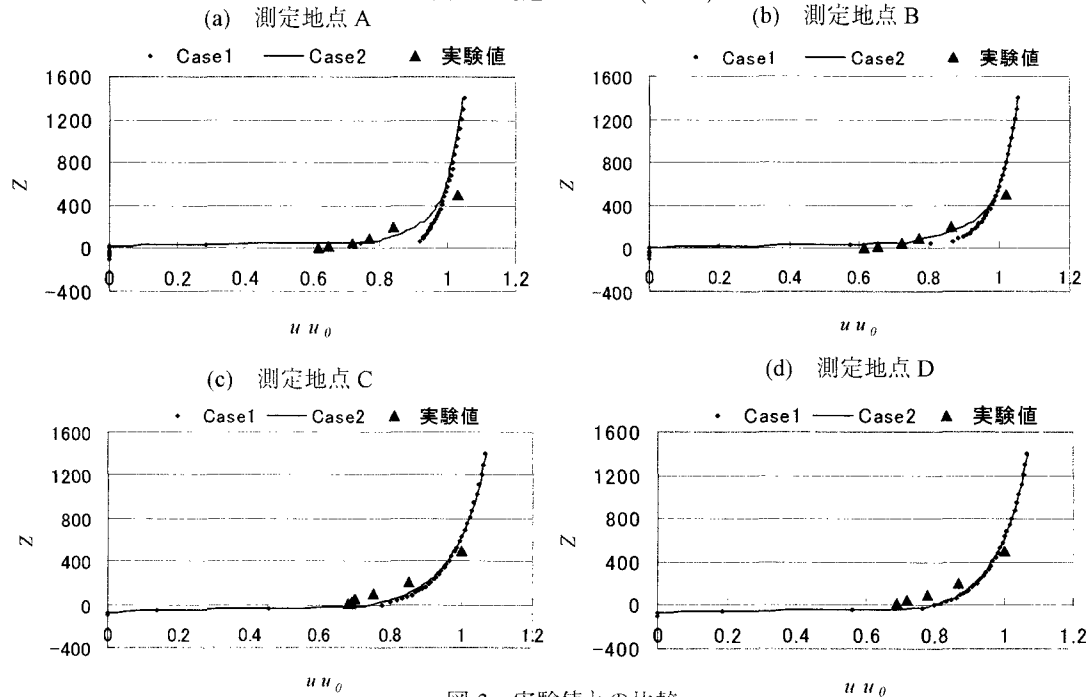


図-3 実験値との比較