

CS-55

地形まわり流れ解析における地表面粗度モデルの検討

串岡清則(三菱重工業), 齊藤通(三菱重工業), 本田明弘(三菱重工業)

1. 序論

構造物の耐風設計を行う上で、架設地点の風環境を推定することは重要であるが丘や谷などの局所地形に影響を受けるためこの影響の推定が必要である。これを推定する手法として風洞実験^[1]、流動解析^[2]、因子解析^[3]などが考えられるが流動解析は空間的な風速分布をある程度手軽に推定できると考えられる。本報告では、前報告^[2]に地表面粗度モデルを導入した結果について報告を行う。

2. 解析方法

解析は空気が粘性・非圧縮の仮定の元に行った。この時、基礎方程式は、下記に示す連続の式及びNavier-Stokesの式である。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + (v + v_i) \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i^2} - F_i \quad (2)$$

ここで u_i : 風速、 p : 圧力、 v : 動粘性係数、 v_i : 乱流粘性係数、 x_i : 座標である。また、乱流モデルとして下記に示す標準 $k - \varepsilon$ モデルを採用した。

$$v_i = \frac{C_k k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = D + P - \varepsilon + F_k \quad (4) \quad D = (v + v_i) \frac{\partial^2 k}{\partial x_i^2} \quad P = v_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = D_\varepsilon + P_\varepsilon - \varepsilon_i + F_\varepsilon \quad (5) \quad D_\varepsilon = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(v + \frac{v_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right\} \quad P_\varepsilon - \varepsilon_i = (C_{\varepsilon 1} P - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k}$$

ここで、 k : 乱流エネルギー、 ε : 乱流消散率であり定数は標準 $k - \varepsilon$ モデル^[4]の値 $C_k = 0.09$ 、 $\sigma_k = 1.0$ 、 $\sigma_\varepsilon = 1.3$ 、 $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ 、 $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ を採用した。式(2)、(4)、(5)式の F_i 、 F_k 、 F_ε は地表面粗度モデルであり、ここでは丸山らのモデル^[5]を採用した。すなわち、 F_i は地表面粗度による抵抗を粗度形状に対応した抵抗係数の形で与え、圧損として扱う。

$$F_i = \frac{1}{2} C_D \rho^2 A \quad F_k = u_i F_i \quad F_\varepsilon = C_\rho \frac{k^{\frac{3}{2}}}{L}$$

ここで、 A は抵抗体の代表面積/計算セルの投影面積、 L は乱れの代表スケール長、 C_ρ は粗度要素の抵抗係数である。

3. 解析結果

解析は、平地上に達成する大気境界層を想定して行った。解析対象を図1に示す。解析対象は水平方向200km×高さ方向5kmの矩形領域で下面は地表面である。また、解析メッシュ数は64×32であり、メッシュ間隔は水平方向には等分割、高さ方向は一番地表面に近いメッシュの高さが5mである。解析領域入口の高さ方向流速分布は $u/u_0 = (z/z_0)^n$ として与えた。ここでは地表面粗度が非常に小さい場所を通った風が解析領域に流れ込む状態を想定し $n = 0.1$ とした。地表面粗度は $x = 0 \sim 25\text{km}$ の区間にあるとした。この部分に表1に示した定数で粗度モデルを設定した。

図2～図5に $x = 6.3\text{km}$ 、 25km 、 100km 、 150km における風速分布を示す。まず、地表面上に対数境界条件のみを与えているCASE 1では、地表面付近で入口流速が若干増速している。これは、入口流速分布をべき乗則により与えていることに主に起因するものと思われる。しかし、ほぼ入口流速分布を再現しており、 $x = 100\text{km}$

と $x=150\text{km}$ では流速分布に余り変化は見られない。また、 $x=0\text{km}\sim x=25\text{km}$ の区間に粗度を与えたCASE 2とCASE 3では粗度区間を通り過ぎた直後の $x=25\text{km}$ で地表面付近の流速分布が小さくなっている。また、対数境界条件を与えた区間である $x=100\text{km}$ と $x=150\text{km}$ では粘性と乱れにより運動エネルギーが拡散して風速の分布形状が滑らかになり、べき乗則を適用した入口流速分布に戻っていることがわかる。図6に風速分布のべき乗の指数変化を示す。これを見ると粗度内でべき指数が大きくなっていることがわかる。

4. まとめ

平板上の大気境界層へ地表面粗度モデルを適用した。その結果定性的にはほぼ妥当な結果を得られた。また、対数境界条件によりほぼべき乗則に基づいた流速分布が再現可能であることがわかった。

今後、実地形へ本モデルを適用し妥当性の検討を行っていく予定である。

5. 参考文献

- [1] 平井、大橋、楠原、本田、"多島海における風の特性について—来島海峡に関する実験的研究"、第12回風工学シンポジウム論文集、1992
- [2] 串岡、斉藤、本田、"複雑地形周り流れへの流動解析の適用"、第13回風工学シンポジウム論文集、pp. 579-584, 1994
- [3] 平井、中村、斉藤、本田、"地形の起伏の影響を受けた気流の乱れ特性"、平成5年度土木学会年次学術講演会発表論文集、pp. 802-803, 1993
- [4] Launder,B.E.,Lindley,D., "A Wind-tunnel Investigation of the wind speed and turbulence characteristics close to the ground over various escarpment shapes", Boundary Layer Meteorology, Vol.12, pp.259-271, 1977
- [5] 村上、加藤、ロンダー、鈴木、"層流型クリーンルーム内の気流性状汚染質拡散性状に関する研究（その6）"、生産研究、Vol. 40, No. 1 pp. 67-70, 1988

表1 粗度パラメーター

	粗度高さ	C_D	C_{pe}
CASE1	0.0	0.0	0.0
CASE2	26m	1.0	1.0
CASE3	76m	2.5	2.5

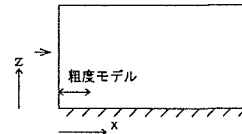


図1 解析対象

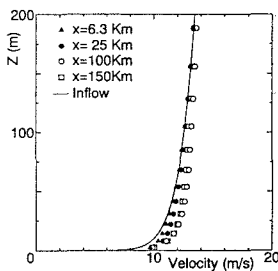


図2 流速分布 (CASE 1)

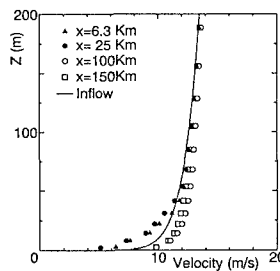


図3 流速分布 (CASE 2)

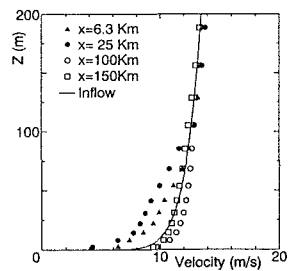


図4 流速分布 (CASE 3)

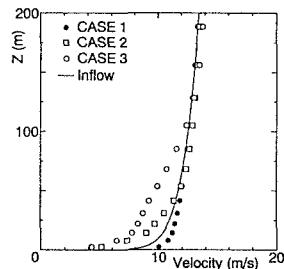


図5 流速分布の比較 ($x=25\text{Km}$)

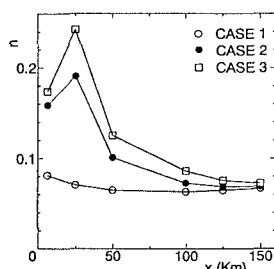


図6 べき指数の変化