

○大橋征幹（建研），神山健二（飛島建設技研），成田健一（日工大）

Masamiki OHASHI*, Kenji KAMIYAMA** and Ken-ichi NARITA***

*Building Research Institute, Ministry of Construction, Ibaraki 305-0802, Japan

**Research Institute of Technology, Tobishima Corporation, Chiba 270-0222, Japan

***Nippon Institute of Technology, Saitama 345-8501, Japan

It is important to clear the effect of the tree around the building on the wind environment evaluation. In order to analyze the air flow around buildings and trees, the modelling of trees is required. Many plant turbulence models have been developed in the past study. Although, almost plant turbulence models were examined under the horizontally nonhomogeneous condition and one or two dimensional analysis. In this study, the application of the plant turbulence model to the individual tree is evaluated. And the results of the three-dimensional calculation are compared with the result of the wind-tunnel experiment, and the verification of the plant turbulence models are discussed.

1. はじめに

4つの植物乱流モデルによる単独樹木周辺気流の予測精度について比較を行った。ここで用いる乱流モデルは、いずれもキャノピー層を対象に検討されてきたものであるが、これを単独樹木に対しても適用可能かどうか実物の樹木を用いた風洞実験データとの比較から検証した。

2. 実験データ

数値シミュレーションとの比較を行うために、風洞実験により単独樹木周辺の風速分布を測定した。対象樹種はサザンカ（樹高：H=1m）とした。葉面積密度は、計算セルに合わせて10cmのボクセルメッシュごとの分布を測定した。抵抗係数 C_f は、天秤で直接測定した抗力と15個のサーミスタ風速計により測定した樹冠内風速（Fig.1）から求め、数値計算によって調整し、 $C_f = 0.3$ とした。

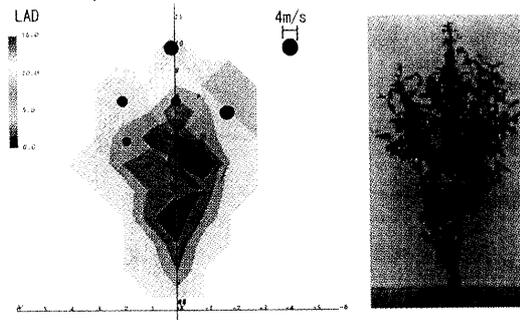


Fig.1 Distribution of leaf area density and velocity

3. 計算ケースとモデルの概要

それぞれの植物乱流モデルについて $k-\epsilon$ モデルをベースに以下の5つのケースに設定した。

case1は、標準 $k-\epsilon$ モデルの平均流の式にのみ抗力項を与えたもの。

case2は、Yamada (1982)¹⁾の $k-k1$ モデルをもとにそのモデル化手法に従い、Uno (1989)²⁾らが作成した $k-\epsilon$ モデル。

case3は、Green (1992)³⁾のモデル。

case4は、Greenのモデル係数を補正したLiuら (1996)⁴⁾のモデル。

case5は、平岡ら (1989)^{5) 6)}による $k-\epsilon$ モデル。（ただ日本流体力学会年会 2000 講演論文集 (2000-7)

し、有効体積率は考慮せず、 k の式の乱流拡散項の補正係数 C_{rr} も平均流への影響が小さいと判断して省く。）

これらの基礎式を以下に示す。

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

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{P}{\rho} + \frac{2}{3} k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v_i \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right) - F_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_i}{\sigma_i} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + S - \epsilon + F_k - L_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_i}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\epsilon}{k} (C_{1\epsilon} \cdot S - C_{2\epsilon} \cdot \epsilon + C_{p\epsilon} \cdot F_\epsilon) - L_\epsilon \quad (4)$$

$$S = v_i \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (5)$$

$$v_i = C_D \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$F_i = C_f \cdot a \cdot U_i \cdot \sqrt{U_j^2} \quad (7)$$

$$C_D = 0.09, \sigma_i = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92$$

Table 1 Calculation cases

	F_k	L_k	F_ϵ	L_ϵ	$C_{p\epsilon}$
case1	—	—	—	—	—
case2	$U_j \cdot F_j$	—	$U_j \cdot F_j$	—	1.5
case3	$U_j \cdot F_j$	$4 \cdot C_f \cdot a \cdot \sqrt{U_j^2} \cdot k$	$U_j \cdot F_j$	$6 \cdot C_f \cdot a \cdot \sqrt{U_j^2} \cdot \epsilon$	1.5
case4	$U_j \cdot F_j$	$4 \cdot C_f \cdot a \cdot \sqrt{U_j^2} \cdot k$	$U_j \cdot F_j$	$2.4 \cdot C_f \cdot a \cdot \sqrt{U_j^2} \cdot \epsilon$	1.5
case5	$U_j \cdot F_j$	—	$a \cdot k^{1/2}$	—	2.0

各モデルの大きな違いは ϵ の方程式にある。UnoはYamadaのモデルを次の関係式を用いて $k-\epsilon$ モデルに変換した。

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} = \frac{3}{2} \frac{\epsilon}{k} \frac{\partial k}{\partial t} - \frac{\epsilon}{l} \frac{\partial l}{\partial t} \quad (8)$$

において、

$$\frac{\partial l}{\partial t} \approx 0 \quad (9)$$

と仮定して、 ϵ の方程式を導出している。この仮定により $C_{p\epsilon}$ は1.5とされる。model2については、Svenssonら (1990)⁷⁾も同様なモデルを提案している。

Greenは、葉による乱流エネルギーの損失をkの式に加えた。それに対応した項がε式にも追加される。

Liuらは、実験データとの比較からGreenがε式に追加した項の係数をfactorで補正した。Liuらは、factor=0.4としている。

平岡らは、村上、加藤^{8,9)}に従い抵抗物体によるεの生成項を次式でモデル化した。

$$F_\epsilon = \frac{k^{3/2}}{L} \quad (10)$$

ここでLは抵抗物体(葉)による乱れの特徴長さスケールで、平岡らは葉面積密度の逆数で与えている。係数C_pは、抵抗物体の特性により決定される。平岡ら⁶⁾の検証ではC_p=0.8~1.2程度とされているが、今回はC_p=2.0とした。

4. 計算の概要

数値計算は、ABMAC法、Quickスキームにより行った。計算領域(Fig.2)は樹木中心から主流方向(X軸)にX=-1.0HからX=5.0Hの範囲までをとり、Y,Z方向は風洞内の壁、床、天井までとした。流入条件はX=-1.0Hに実験からの測定値を与えた。壁面の境界条件は、樹木を置かない状態で風洞内の気流分布を測定した結果から判断して、壁、床、天井とも1/10乗のべき法則で与えた。

5. 計算結果

計算結果をFig.3に示す。風洞実験では樹冠直後で風速が大きく減少し、X=3.0H付近ではほぼ回復した。計算ではどのケースでも回復がやや遅れる傾向がみられた。case1の結果から、平均流の式に抗力項を与えただけでは十分な効果が得ら

れない事が示された。case3もcase1と同様の結果となり実験データと一致しなかった。case4では、風速の回復が大きく遅れる結果となった。case2,5は比較的实验データに近い結果が得られた。

6. まとめ

今回の検討ではcase2のYamada(Uno)、case5の平岡らのモデルとも、単独樹木の影響をよく表現できることが確認された。case2については、今回はC_p=1.5のままで実験と一致したが、同様なモデルを提案するSvenssonらの検討では、C_p=1.95が最適とされている。また、平岡¹⁰⁾はYamada(Uno)のモデルがC_pに過度に反応し、実験データに一致させる事が困難であることを指摘している。

今回とり上げたモデルのうちcase3,4のモデルはcase2のモデルの改良型と見ることができる。今回の比較では実験データとの対応はとれなかったが、これらについても、係数を調整することによって実験データに一致させる事が出来ると思われる。

今後、樹種や条件を変えた種々の実験データとの比較からそれぞれのモデルを評価し、汎用性のあるモデルを提案する。

引用文献

- 1) Yamada, T. : *J. Meteorol. Soc. Japan* 60(1982)439.
- 2) Uno, I., Ueda, H. and Wakamatsu, S. : *Boundary-Layer Meteorol.* 49(1989)77.
- 3) Green, S. R. : *PHOENICS J. Comp. Fluid Dyn. and Applic.* 5(1992)294.
- 4) Liu, J., Chen, J. M., Black, T. A. and Novak, D. : *Boundary-Layer Meteorol.* 77(1996)21
- 5) 平岡、丸山、中村、桂: 建築学会計画系論文報告集406(1989)1.
- 6) 平岡、丸山、中村、桂: 建築学会計画系論文報告集416(1990)1.
- 7) Svensson, U. and Haggkvist, K. : *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 35(1990)201.
- 8) 村上、加藤、Launder, B. E., 鈴木: 生産研究 40 (1988)67.
- 9) 村上、加藤、Launder, B. E., 鈴木: 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 (1988)717.
- 10) 平岡: 植物群落内の放射伝達と運動量輸送のモデル化に関する研究(学位論文, 1993)178.

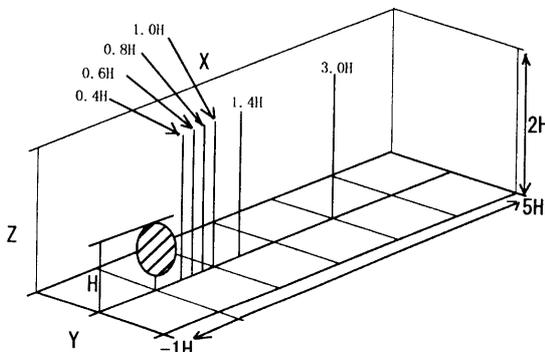


Fig.2 Calculation region and coordinate systems

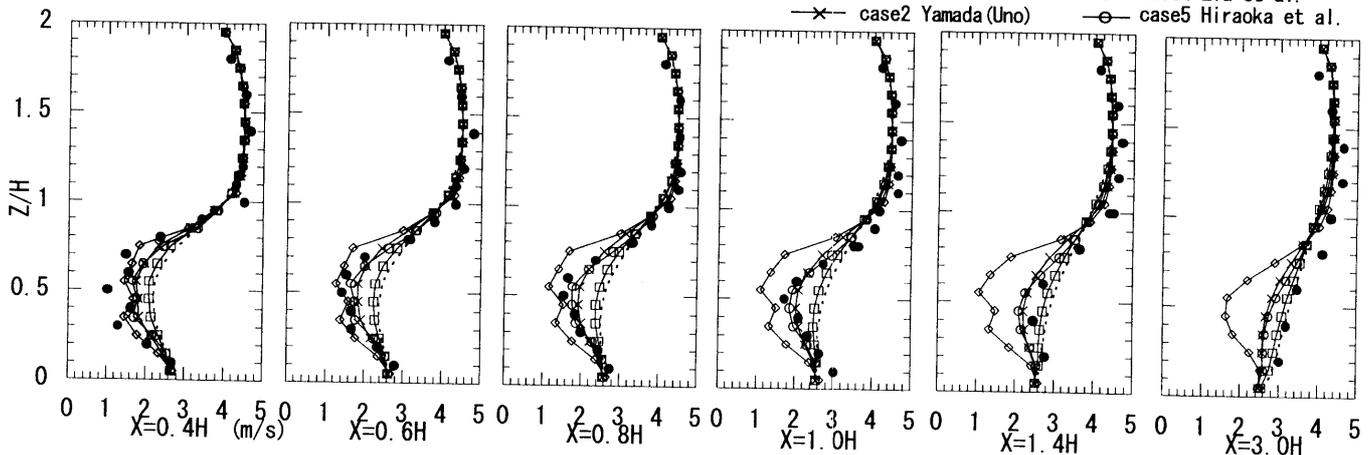


Fig.3 Comparison of velocity profiles