

非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその応用

石原 孟* ishihara@bridge.t.u-tokyo.ac.jp
 山口 敦* atsushi@bridge.t.u-tokyo.ac.jp
 藤野 陽三* fujino@bridge.t.u-tokyo.ac.jp
 日比 一喜** hibi@sit.shimzu.co.jp

* 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 ** 清水建設(株)技術研究所

本研究の目的は、従来の線形風況予測モデルに代わり、日本に多い急峻で複雑な地形に適用可能な非線形風況予測モデル(MASCOT)を開発することである。そのために、まず単純地形を超える流れについて風洞実験との比較により予測精度を検証した。次に連綿と連なる地形の一部を取り出して計算する際の境界処理手法を提案した。最後に実地形上の風況予測への適用として、竜飛ウィンドパークでの年平均風速を予測し、従来の線形モデルによる予測との比較を行った。本研究により得られた結論は以下の通りである。

- 急峻な丘を越える流れに対し、MASCOTにより予測された平均風速場と乱れは風洞実験結果とよく一致した。
- 実地形上の流れの解析に対し、本研究で提案した新たな境界処理手法は従来の手法に比べよい結果を与えた。
- MASCOTは竜飛ウィンドパーク内の年平均風速を平均誤差4.9%で予測でき、従来の線形モデルより高い予測精度を実現した。

数値モデル

複雑地形上の局所風況の予測のための数値モデル MASCOT (Microclimate Analysis System for COmplex Terrain) を開発した。

支配方程式

$$\frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0$$

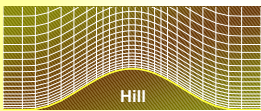
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \rho \overline{u_j' u_j' k} - C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \rho \overline{u_i' u_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} - C_{\epsilon 2} \frac{\rho \epsilon^2}{k}$$

$$\rho \overline{u_i' u_j'} = \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} - 2 C_{\mu} \rho \frac{k^2}{\epsilon} S_{ij} + 2 C_2 \frac{k^3}{\epsilon^2} (-S_{ik} \Omega_{kj} + \Omega_{ik} S_{kj})$$

(Shih's non-linear $k-\epsilon$ model)

数値解法



地表面の形状に沿った一般座標系

保存性のよい有限体積法を用いて離散化

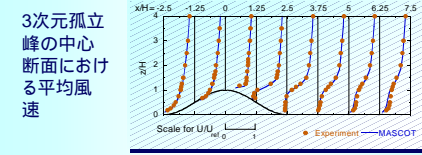
離散化された方程式の解法としては高速で安定なSIMPLE解法を採用

高速に連立方程式を解く残差切除法を採用

検証

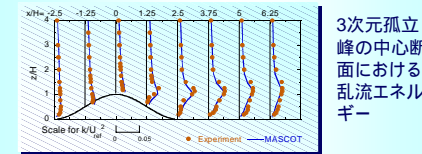
非線形モデルの予測精度を検証するために、3次元孤立峰を越える流れの解析を行い、平均風速と乱れの比較を行った。

平均風速



- MASCOT により予測された平均風速は風洞実験結果と一致する。

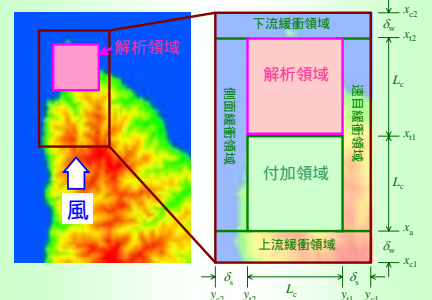
乱流エネルギー



- MASCOT は乱流エネルギーも高精度に予測可能

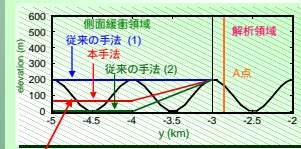
境界処理

計算領域



- 緩衝領域と付加領域を含む新たな境界処理手法を提案。

側面緩衝領域

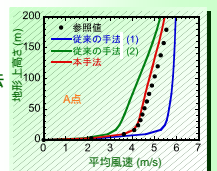


- 側面緩衝領域においては地形の体積を保存するような手法を提案。

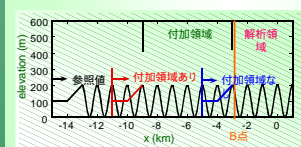
$$\hat{h}(x, y) = \begin{cases} H_b(x) & (y_{c1} \leq y < y_{c2}) \\ H_b(x) + \frac{2(y - y_{c1})}{\delta_x} [h(x, y_{c1}) - H_b(x)] & (y_{c1} \leq y < y_{c2}) \end{cases}$$

$$H_b(x) = \frac{1}{3} \left[\frac{4}{\delta_x} \int_{y_{c1}}^{y_{c2}} h(x, y) dy - h(x, y_{c1}) \right]$$

- 提案した手法は従来の手法による風速の過大あるいは過小評価を改善。

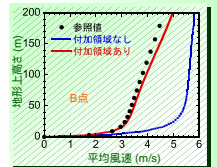


付加領域



- 上流の地形の影響を考慮に入れるために付加領域を設けることを提案。

- 付加領域を設けなかった場合には風速を大幅に過大評価するのに対し、付加領域を設けた場合には参照値により近い値を示す。



竜飛ウィンドパークへの適用

概要

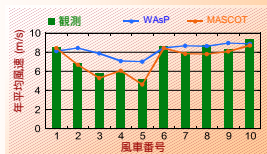
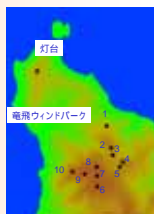
東北電力(株)の集約型風力発電基地「竜飛ウィンドパーク」は複雑地形上に建設されており、11台の風車が設置されている。



- 風車設置地点での風速や風向は局所的な地形によって大きく影響を受けている。

年平均風速の予測

本研究で開発した非線形風況予測モデルMASCOTと従来の線形モデルWAsPを用い、灯台での観測データを参照値として、全風車設置地点における年平均風速を予測した。



- WAsPによる予測は2号機から5号機で平均風速を過大評価しているのに対し、MASCOTによる予測は観測値とよく一致している。