

気流性状解析のための樹木空力パラメータ最適化手法の提案
Optimization of aerodynamic parameters of tree for wind flow analysis

○井上龍一・西嶋一欽

○Ryuichi INOUE, Kazuyoshi NISHIJIMA

The objective of this study is to develop a CFD model that can reproduce the wind flow around tree. By applying a spatial filter to the equation of the motion of fluid, the effects of tree on the wind flow are found to be characterized by two parameters; i.e., projected surface area of objects per unit volume and drag parameter¹⁾. This study proposes that these parameters are reformulated and the reformulated parameters are estimated by image analysis and optimization to match the wind speed distributions obtained by wind tunnel experiment and CFD simulation. The parameters are estimated considering wind-speed dependency. It is demonstrated that CFD simulation with the estimated parameters can reproduce the wind flow behind modeled tree in wind tunnel experiment.

1. はじめに

防風林や街路樹は、これまでも防災や風環境向上のために用いられてきたが、その効果の定量的検証は限定的である。また、効果を予測するための数値流体解析手法も確立されているとは言えない。一方、樹木が建築物周辺の気流に及ぼす影響は、広域の強風リスク評価（例えば保険ポートフォリオ解析）においては地表面粗度といった平均的な指標によってモデル化されることが多い。しかし、建築物の強風による被害は局所的な強風によって引き起こされることが多々あるため、樹木がもたらす周辺気流への影響を無視できない可能性がある。樹木周辺の気流性状を小さいスケールで見ることを考えた場合、風によって樹冠部の形状が変化することを考慮する必要があるが、これを考慮した研究は少ない。

本研究では、建築物の強風影響評価の高度化に貢献することを目的として、風速による樹木の形状の変化を考慮し樹木周辺の気流性状を数値的に解析するための手法を構築することを目標とする。

2. 空力パラメータ最適化手法

流れの中に物体が数多く存在するときのLESによる解析において、粗視化された流体の運動方程式のうち物体の影響を表す項は、流体単位体積あたりの物体の表面積 a_{xi} (x_i 軸方向の有効見付面積)、 x_i 軸方向の抵抗係数 C_{fi} および流体体積の単位体積に対する割合 G を用いて以下のようにモデル化される¹⁾。

$$-GF_{,xi} = -G \left(\frac{1}{2} a_{xi} C_{fi} |\bar{u}| \bar{u}_i \right) \quad (1)$$

ここで、 $|\bar{u}| = \sqrt{\bar{u}_1^2 + \bar{u}_2^2 + \bar{u}_3^2}$ 、 \bar{u}_i は x_i 軸方向の平均風速である。このモデルを用いて樹木周辺の気流性状を数値計算によって再現することを考える。 a_{xi} は樹木の場合、樹冠部が風によって変形するため、風速に依存することが予想される。また、抵抗係数 C_{fi} は既往の研究²⁾によって風速に依存することが確認されている（以降、これら空力パラメータの添え字 x_i は省略する）。本研究では、パラメータ a と C_f の積を「単位体積に存在する風速によって変形した後の葉の総片側表面」（以降、変形葉面積密度とする） a' を用いて次のように変形する。

$$aC_f = a' \left(\frac{a}{a'} C_f \right) \quad (2)$$

以降、 $a/a' C_f$ を C_f' と書き、換算抗力係数と呼ぶ。(2)式のように変形することで、最適化する空力パラメータを C_f' に集約できる。

本研究では模型樹木に対して、以下の手順で空力パラメータの最適化を行った。すなわち、(i)風洞実験で模型樹木の後流の風速分布を測定する、(ii)風洞実験中の樹木模型の画像解析により変形葉面積密度 a' を算定する、(iii)風洞実験で得られた風速分布に数値計算の結果が合うように換算抗力係数 C_f' を最適化する。

3. 模型樹木を用いた風洞実験

実験の流入風速を $U_i=2.0, 4.0, 8.0$ [m/s] の一様流とし、図 1 に示す測定点 (小さな○印) で 30 秒間風速を測定し、測定点ごとに平均風速を計算した。模型樹木は空力天秤に設置し模型樹木の受ける 30 秒間の平均抗力を測定した。この結果、抗力係数の風速依存性が確認できた。また、ビデオカメラを上、横、後ろの 3 方向に設置し、風が吹いているときの樹冠部の形状変化を記録した。実験結果の例として、風速 8m/s, $x=1000$ mm, $z=300$ mm での水平風速の y 方向分布を図 2 のグラフ中に○で示す。模型樹木がある中心付近において最も風速が減少することが分かる。

4. 数値計算のための抵抗のモデル化

模型樹木の樹冠部の形状をモデル化し、数値計算に抵抗を与える手順を以下に示す。

樹冠部の形状を記録した映像を用いて風速毎に画像解析を行った。図 3 に模型樹木を後ろから撮影した画像の解析結果を示す。画像解析は、(i)二値化する、(ii)画像を計算格子に合わせて分割する、(iii)それぞれの格子ごとに、葉の総面積が格子のそれぞれの方向からの見付面積の 50%以上であればその方向からは葉があると判定する、(iv)3 方向すべてから葉があると判定された場合のみ葉があると判定するという手順で行った。ただし、この方法で葉の位置の特定を行うと、樹冠部の中は葉がなくても葉があると判定してしまう場合がある。この方法で特定した格子の位置に、葉の総片側面積を葉があると判定された格子の体積で除した値を変形葉面積密度 a' として与える。

5. 空力パラメータの最適化

風洞実験で得られた風速分布に合うように試行錯誤的に換算抗力係数 C_f' を最適化した。図 2 に画像解析によって特定された葉がある格子に変形葉

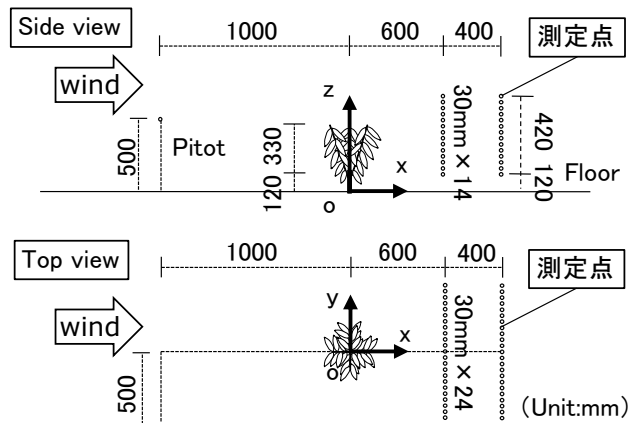


図 1 風速測定点の詳細

面積密度 a' と最適化された換算抗力係数 C_f' を与えて行った数値計算と風洞実験結果との比較を示す。このグラフを見ると、数値計算の結果は、全体的な傾向は再現されていることが分かる。しかしながら、局所的な風速の値をみると再現されていない測定点もみられる ($y=-180\sim 0$ mm 付近)。

6. まとめと今後の課題

空力パラメータの風速依存性を考慮して樹木周辺の気流性状への樹木の影響をモデル化するために、空力パラメータを、新たに定義した変形葉面積密度 a' と換算抗力係数 C_f' を用いて表現し、その値を風洞実験と数値計算に基づき与える方法を提案した。変形葉面積密度 a' は風洞実験において風が吹いているときの樹冠部の形状変化を記録した映像をもとに画像解析を行って与えた。換算抗力係数 C_f' は風洞実験と数値計算で模型樹木後流の風速分布が合うように最適化した値を与えた。

上記の方法で空力パラメータを与えて数値計算を行った結果、風洞実験で計測した模型樹木後流の風速分布がおおむねよく再現された。

今後の課題として、変形葉面積密度 a' 及び換算抗力係数 C_f' と実際の樹木の構成要素の力学的および幾何学的な対応を解明する。

参考文献

- 1) 平岡久司, 丸山敬, 中村泰人, 桂順治. 植物群落内および都市キャノピー内の乱流モデルに関する研究:(その 1) 乱流モデルの作成. 日本建築学会計画系論文報告集, 1989, 406: 1-9.
- 2) MAYHEAD, G. J. Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies. Agricultural Meteorology, 1973, 12: 123-130.

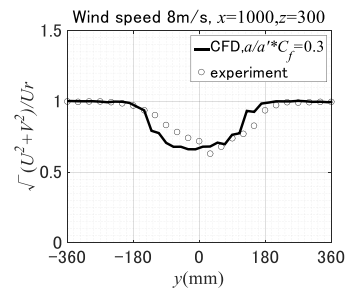


図 2 風洞実験結果と数値計算結果の比較

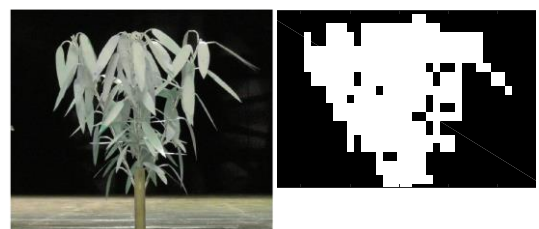


図 3 模型樹木の後ろからの画像解析結果