

## 審査の結果の要旨

氏名 漆 一宏

人間活動の大部分は地表面付近の大気境界層内で行われている。風災害の低減および風力エネルギーの高度利用のために、境界層内の平均風速と乱流統計量を正確に予測することは不可欠である。そのために、地物および地形を正確にモデル化する必要がある。これまでに建物や樹木をモデル化したキャノピーモデルは、 $k-\epsilon$ モデルに組み込まれ、広く使われてきた。 $k-\epsilon$ モデルは平均風速を精度よく予測できるが、乱流統計量について予測誤差が大きいことが指摘された。一方、LESモデルは、滑らかな地形上の乱流場を精度よく予測できることが最近の研究により示されたが、キャノピーモデルと一緒に使用された例がほとんどない。また実際の都市域内および複雑地形上の乱流場を予測する際には流入風、計算領域、境界条件を設定するための一般的なガイドラインがなく、試行錯誤により決めているのが現状である。

本研究は、まず都市を代表する建物群落、防風林、孤立建物をLESモデルにより解析するとともに、その結果を用いて、 $k-\epsilon$ モデルの適用範囲と使用限界を明らかにする。次に、 $k-\epsilon$ モデルとLESモデルを融合した混合モデルDDES(Delayed Detached Eddy Simulation)を用いて、異なる地表面粗度をもつ急な地形上の乱流場を予測するとともに、地形後流内の乱流運動のメカニズムを明らかにする。最後に、実際の都市域内および複雑地形上の乱流場を予測する際に必要な流入風の生成、計算領域と境界条件の決定方法を示す。

第1章は既往研究のレビューを行い、本研究の背景と目的を明らかにすると共に、本論文の概要を示した。

第2章では本研究で用いた支配方程式、乱流モデルである $k-\epsilon$ モデル、LESモデルおよびDDESモデル、そして、地物を表す地表面粗度モデルおよびキャノピーモデルを示した。

第3章では都市を代表する建物群落、防風林、孤立した建物をLESモデルにより解析し、平均風速と乱流統計量について高い精度を有することを示すとともに、防風林と孤立した建物の背後に強い組織渦が存在することを明らかにした。一方、 $k-\epsilon$ モデルは建物群落の平均風速と乱流エネルギーを精度よく予測できるが、防風林と孤立した建物の背後の乱流エネルギーを過小評価することを明らかにした。その理由は $k-\epsilon$ モデルが後流内の組織渦を再現できないことによるものである。

第4章では、滑面と粗面をもつ2次元峰と3次元丘上の乱流場をDDESモデルにより解析し、平均風速および乱流統計量を高い精度を有することを示した。一方、 $k-\epsilon$ モデルは粗面

をもつ 2 次元峰と 3 次元丘上の乱流場を精度よく予測できるが、滑面をもつ急な地形の上の平均風速および乱流統計量の予測誤差が大きいことを明らかにした。

第 5 章では、風洞と同じように流入風を数値的に作成する方法を示すとともに、計算領域と境界条件の決定方法を提案した。また地物について複数のデータベースの組合せの手順を開発した。

第 6 章は、本研究の結論を示している。

以上のように、本論文は都市を代表する 3 つの要素である建物群落、防風林、孤立建物を LES モデルにより解析し、 $k-\epsilon$  モデルの適用可能性と使用限界を明らかにした。また  $k-\epsilon$  モデルと LES モデルを融合した混合モデル DDES (Delayed Detached Eddy Simulation) を用いて、異なる地表面粗度をもつ急な地形上の乱流場を予測し、高い精度を有することを明らかにした。最後に、実際の都市域内および複雑地形上の乱流場を予測する際に必要な流入風の生成、計算領域と境界条件の決定方法を示した。よって、本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。