

審査の結果の要旨

氏名 中島 慶悟

本研究は、「PIV・LESを用いた都市気流に関する構造分析とRANSモデルの評価」と題する。様々な幾何形状、大気安定度の都市キャニオン流れを対象としてParticle image velocimetry (PIV)測定、Large-eddy simulation (LES)解析を行っている。さらに、その結果を用いて、都市気流の物理的な構造について分析するとともに、Reynolds-averaged Navier-Stokes equations (RANS)モデルにおけるレイノルズストレス、乱流熱フラックスのモデル化の妥当性評価を行っている。

本論文は全8章により構成される。第1章から第3章は序論、第4章から第7章は本論、第8章は結論である。

第1章では、本研究の研究背景、研究目的、論文構成について述べている。

第2章では、都市気流に関する風洞実験の基礎理論について説明している。特に、本研究で用いる風速測定手法であるPIVの測定原理、画像解析手法について詳細に述べている。

第3章では、都市気流に関するCFD解析の基礎理論について説明している。特に、LESのSGSモデルとして標準Smagorinskyモデル、RANSモデルの乱流モデルとして渦粘性モデル（レイノルズストレスの勾配拡散近似）、渦拡散モデル（乱流熱フラックスの勾配拡散近似）について、その導出過程とともに詳細に述べている。

第4章では、アスペクト比が1.0、大気安定度が中立の都市キャニオン流れに関するPIV測定を行っている。PIV測定結果から、都市キャニオン内には循環渦が形成され、都市キャニオン内の風下側に行くに従って乱れが大きくなることを示している。さらに、都市キャニオン内の風上側から中心、風下側の都市キャニオン上端、地表面付近においては、乱流エネルギーの生産項が負となり、逆勾配拡散現象が発生することを明らかにしている。

第5章では、アスペクト比が1.0、大気安定度が中立の都市キャニオン流れに関するLES解析、RANS解析(k-εモデル)を行っている。k-εモデルでは、LESと比較して、都市キャニオンにおける平均風速の空間分布の予測精度が低下す

ることを示している。さらに、都市キャニオンにおけるレイノルズストレスのモデル化については移流、拡散のような非局所的な効果の組み込みが重要になるため、レイノルズストレスの勾配拡散近似が妥当性を持たないことを明らかにしている。

第 6 章では、アスペクト比が 1.0、0.5、0.25 の都市キャニオン流れに関する LES 解析、RANS 解析 (k-ε モデル) を行っている。k-ε モデルでは LES と比較して、幾何形状の変化に伴う気流パターンの変化が十分に再現されず、平均風速の予測精度が低下することを示している。さらに、アスペクト比が小さくなるほど、k-ε モデルの乱流エネルギーの生産の再現精度が低下することを明らかにしている。一方、アスペクト比が大きくなるほど、k-ε モデルで用いられるレイノルズストレスの勾配拡散近似が妥当性を持たないことを明らかにしている。

第 7 章では、大気安定度が強不安定、弱不安定、弱安定、強安定の都市キャニオン流れに関する LES 解析、RANS 解析 (k-ε モデル) を行っている。k-ε モデルでは LES と比較して、大気安定度が不安定になるほど、平均風速、平均温度の予測精度が低下することを示している。さらに、都市キャニオン流れにおいては、k-ε モデルでは通常無視される乱流熱フラックスの平均風速勾配による生産、浮力生産が大きな影響を持つことを明らかにしている。

第 8 章では、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後の検討課題を示している。

本論文は、PIV 測定結果、LES 解析結果を用いることにより、都市気流の物理的な構造について考察するとともに、乱流モデルの問題点を整理している。本研究で得られた知見や、PIV、LES の結果である都市気流データベースは、都市気流における乱流モデルの高精度化に大きく貢献するものであり、工学的、社会的な有用性は極めて高い。

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。