

Statistical Analysis and Proper Orthogonal Decomposition of Urban Turbulent Flow in a Cubical Block Array

ハイサム アハメド モハメド オスマン

<https://hdl.handle.net/2324/7396278>

出版情報 : Kyushu University, 2025, 博士 (学術), 課程博士
バージョン :
権利関係 : やむを得ない事由により本文ファイル非公開 (2)



氏 名	Haitham Ahmed Mohamed Osman			
論 文 名	Statistical Analysis and Proper Orthogonal Decomposition of Urban Turbulent Flow in a Cubical Block Array (立方体ブロック群周辺の都市乱流場を対象とした統計解析と固有直交分解)			
論文調査委員	主査	九州大学	教授	池谷 直樹
	副査	九州大学	教授	萩島 理
	副査	九州大学	教授	杉原 裕司

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

都市域建物周辺の歩行者空間における安全性確保や快適性向上を目的として、屋外風環境の評価と予測は、屋外空気環境分野の主たる研究課題とされてきた。数値流体解析の発展に伴い、風環境評価のための数値解析ガイドラインが策定されるなど、風環境評価の方法として数値流体解析を導入することが進められている。しかしながら、こうした数値流体解析には、**Reynolds-Averaged Navier-Stokes** シミュレーションモデルによる定常解析が用いられることが一般的であり、都市建物群周辺の乱流場の非定常解析による瞬間風速の再現性の検証と強風の評価は十分に行われていない。以上のような背景から、本論文は、単純建物群からなる都市キャノピー歩行者空間の気流に対して、**Large-eddy simulation (LES)** による非定常解析を適用し、統計解析と固有直交分解を用いることにより、数値流体解析における計算条件が気流場に及ぼす影響を系統的に分析するものである。加えて、得られた気流場を決定付ける特異モードを直交分解により抽出し、歩行者空間の強風発生のメカニズムの解明を試みたものである。

第 2 章においては、先行研究を包括的に整理し、建物に遮蔽された歩行者空間における **LES** の再現性について、強風を決定づける速度成分や風速の高次モーメントと確率密度関数を用いた検証が不十分であること指摘し、本研究の課題に関する研究意義を明確に述べている。

第 3 章では、数値解析における格子解像度と数値解析領域を系統的に変化させた数値解析を行い、その結果を既往研究による可視化粒子画像流速測定法により得られた実験データと詳細に比較している。それにより、既往の風環境評価のための数値流体解析のガイドライン等で推奨されている程度の格子解像度を用いれば、速度成分の平均値と標準偏差の精度を確保しながら、計算負荷が過大にならないことを示している。その一方で、歪度や尖度など、稀に発生する強風の大きさと頻度に影響する統計値を再現するには、より高い格子解像度が必要であることを明らかにしている。また、数値計算領域を系統的に変化させた流れ場について、基本統計量、積分時間スケール、二点相関、低速ストリークの長さなどの乱流場を特徴付ける物理量を比較することで、流れ方向の計算領域の大きさだけではなく、主流直交方向の計算領域も横方向の乱流構造を制限することを示している。これらの基礎的な検討により、歩行者空間気流の統計量を再現するために必要な **LES** の計算条件を提示している。

これらの結果を受け、第 4 章では、計算条件が稀な強風の予測精度に与える影響を検討すること

を目的とし、速度成分や風速の確率密度とパーセンタイル風速を用いた評価を導入している。都市キャノピー内の異なる二つの高さにおける強風の予測精度を比較し、床面近傍ではガイドラインで推奨されているよりも高い格子解像度が必要である一方、床面から離れた位置では、最も粗い格子解像度でも、確率密度、パーセンタイル風速、高次統計量が精度良く再現されることを示し、評価対象に応じた適切な計算条件が必要であることを明らかにしている。

これらの数値実験的な研究に基づいて得られた最適な計算条件を用いた数値解析結果を基に、第5章では、固有直交分解を適用したデータ分析手法により、支配的な乱流構造の抽出を試みている。分析の結果、風速と速度成分の主要基底を比較し、風速に対する各速度成分の影響を定性的に説明している。また、低ランク近似により流れを再現し、再構成するモード数を変化させた際の歪度、尖度、99.9パーセンタイル値に対する再現性を分析し、強風の再現に対しては、エネルギー寄与の小さい基底の寄与も重要であると結論づけている。

以上の通り、本論文は、単純建物群周辺の流れ場に対し、LESを適用し、非定常数値流体解析における計算条件が気流場に及ぼす影響を系統的に分析したものである。歩行者風環境の予測と評価に対して、非定常解析の活用促進に資する研究成果を報告するものである。環境工学分野に寄与するところが大きく、価値ある業績であると認められる。よって、本論文は博士（学術）の学位論文に値するものと認める。