

# 十分に発達した都市境界層を再現する数値流体解析 手法と乱流性状に関する研究

真光, 俊樹

<https://hdl.handle.net/2324/7363866>

---

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :



氏名	真光 俊樹		
論文名	十分に発達した都市境界層を再現する数値流体解析手法と乱流性状に関する研究		
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

都市域の風とそれに伴う運動量・熱・物質拡散プロセスは、都市を構成する建物群による形状抵抗とそれに伴う大きな速度シアーにより形成される複雑な乱流場の影響を受ける。そのため、建物群を単純ブロックで模擬した単純都市乱流境界層の乱流輸送特性を分析し、都市建物群の幾何形状の影響を定量化し、乱流生成メカニズムを解明することが試みられてきた。このような単純街区を対象とした研究では、解析対象となる都市境界層の一部を取り出して、擬似的に十分に発達した境界層を再現する方法が用いられてきた。しかしながら、この擬似的手法が風洞模型実験のように極めて緩やかでありながらも徐々に主流方向に発達する境界層の特性やその結果として生じる乱流構造や強風、弱風を正確に再現できるかが分かっていなかった。

以上の背景に基づき、本論文は、主として風洞実験により模擬される十分に発達した都市乱流境界層を正確に再現する数値解析手法を提案し、都市乱流境界層における運動量供給メカニズムを数理的に分析するものである。加えて、提案する計算手法による都市乱流境界層の乱流性状や歩行者空間風速場への影響を分析し、稀に発生する強風や弱風の再現性を検討している。

本論文では、既往研究において一般的に用いられてきた代替法を取り入れた都市乱流境界層の数値流体解析を行い、従来法における統計量分布や乱流生成メカニズムを分析することから始めている。参照とする風洞模型実験における境界層の運動量収支との比較を行うことで、従来法の問題点を明快に説明している。それを受け、境界層理論をもとに、都市乱流境界層方程式を考察することで、従来手法に変わる新しい解析手法を提案している。流れの支配方程式に基づき、風洞実験に代表される十分に発達した境界層においては、主流方向のわずかな境界層発達の影響を考慮する必要性をオーダー評価により理論的に示すとともに、実験を再現するためには、圧力勾配と気流場の主流方向変化がバランスする形を数値解析においても再現する必要性を示している。

以上の理論的分析をもとに、著者は提案手法を数値流体解析に実装し、従来手法と提案手法により得られる単純建物群周辺速度の乱流統計量や乱流特性を緻密に分析している。乱流統計量の収支分析を行うことにより、従来手法と提案手法におけるエネルギー生成の差異とエネルギー平衡に至るプロセスの差異を説明している。加えて、両手法による単純キャノピー内の歩行者高さにおける風環境に対する影響を分析し、突風現象への影響を精査している。

更に、得られた流れ場に対して、特異値分解を適用することで、都市キャノピー流れに対する空間・時間基底を同定し、歩行者空間の乱流場の特徴量を分析している。提案手法における特異モードの分析から、駆動力の影響がほとんどないことを示すことにより、精緻に運動量収支を再現した手法ではない従来法の知見が定性的には適用できることを示している。その一方で、乱流エネルギー分布に対する低次基底の影響に差異が見られることを明らかにしており、単純キャノピーを

対象とした風環境評価に対して、提案手法を一例として流れ場の付与条件を正確に再現する必要性を示している。

以上要するに、本論文は、屋外歩行者空間の風環境の評価に対する数値流解析における都市乱流境界層を正確に再現する手法を提案し、乱流生成メカニズムと強風の発生に対する影響を解明し、歩行者風環境予測における数値解析の発展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（工学）の学位論文に値するものと認められる。