

## 審査の結果の要旨

氏名 張 秉超

本研究は、「Analysis of turbulent structures around building via spectral proper orthogonal decomposition and its applications to outdoor wind environment (SPODによる建物周りの乱流構造解析及び屋外風環境分析への応用)」と題する。主たる目的は、spectral proper orthogonal decomposition (SPOD)という新しい解析手法による建物周りの乱流構造を解明するとともに、その結果を屋外風環境および汚染物質の輸送に関する分析に応用することである。具体的には、まず単体角柱建物周りの流れ場および二次元都市キャニオンの流れ場という二つの典型的なケースにおける乱流構造を抽出して分析している。また、その分析結果に基づき、さらなる分析手法を開発し、乱流構造と歩行者レベルの風環境および汚染物質の除去に及ぼす影響を考察している。

本論文では下記の全8章により構成される。

第1章では、本研究の背景と目的、および本論文の構成を述べている。

第2章では、流れ場のデータを獲得するために実行したCFDシミュレーションの原理について説明している。

第3章では、本研究で利用した流れ場の解析手法SPODの基礎理論とアルゴリズムについて説明している。

第4章は、単体角柱建物周りの流れ場に関するSPOD分析を行っている。カルマン渦、バックグラウンド変動、先端渦、ベース渦、ケルビン・ヘルムホルツ渦を含む様々な三次元乱流構造を抽出して提示し、主要な周波数及び強さを定量的に示している。過去の観測結果と比較して、SPODはより具体的に流れの特徴が表現できることが分かった。

第5章は、同じ単体角柱建物周りの歩行者レベルの風速場を研究対象とし、流入変動風が乱流構造および歩行者レベルの風環境に及ぼす影響を分析している。その結果に基づき、各点の風速の変動エネルギーの分解法も開発し、乱流構造と風速の変動の強さとの関係を解明する。この手法を利用すると、瞬間的な強風の発生の主要因を定量的に分析でき、都市の設計に有用な参考データとなることが期待される。

第6章では、SPOD分析法を二次元都市キャニオンの流れ場に応用している。キャニオンの粗度による大きいスケールな乱流構造とケルビン・ヘルムホルツ不安定性による小さいスケールの乱流構造を抽出して示す。更に、新たに定義されたSPOD co-spectrumを使用し、キャニオンの上部における放出イベントと汚染物質除去のメカニ

ズムを定量的に分析し、乱流構造との関係を解明している。

第7章では、二次元フーリエ変換(2DFT)でSPODを改造し、キャニオンの流れ場における乱流構造のスパン方向の特徴を研究している。前章に定義されたSPOD co-spectrumも2DFTバージョンに変更し、乱流構造と汚染物質除去との関係を考察している。最後に、大きなスケールの乱流構造と小さなスケールの乱流構造の間の非線形相互作用を分析している。

第8章は、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後の課題について示している。

本論文では、既存の数学手法を活用して、風環境分野によくある高レイノルズ数のケースにおける乱流構造を定量的に分析することが難しい問題について、風環境評価に適用することが可能な分析手法を提案している。本研究で抽出した乱流構造は、具体的に流れの特徴を明らかにするとともに、その主要な周波数及び強さも定量的に計算できる。この結果により、乱流の主要な成分を明確に理解できるようになった。さらに、本論文で開発した手法は、瞬間的な強風の発生的主要因素や汚染物質の除去のメカニズムを定量的に提示できる。これらの手法を利用すると、複雑都市の設計に有用な参考データを得ることが期待される。

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。