

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Validation and application of unsteady-RANS simulations with a modified $\epsilon$ -equation for three-dimensional urban air pollutant dispersion predictions
著者(和文)	LiXinyi
Author(English)	Xinyi Li
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第21号, 授与年月日:2024年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:大風 翼,鍵 直樹,大西 領,湯浅 和博,浅輪 貴史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第21号, Conferred date:2024/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Li Xinyi		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	大風 翼	准教授	審査員	浅輪 貴史	准教授
	審査員	鍵 直樹	教授			
		大西 領	教授			
湯淺 和博		准教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Validation and application of unsteady-RANS simulations with a modified  $\epsilon$ -equation for three-dimensional urban air pollutant dispersion predictions」と題し、以下の8章から構成されている。

第1章「Introduction」では、大気汚染や温熱環境などの観点から、都市建築空間における移流拡散現象の重要性に触れ、現状の数値流体力学による予測手法の精度やその適用範囲について、建築学、都市環境学、風工学等の研究分野を概観しつつ、論じている。乱流の影響をレイノルズ平均により分離しモデル化した Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations (RANS) モデルを用いた定常 RANS (Steady-RANS: SRANS) 解析が工学的に広く用いられているが、都市建築空間では、建物などによって形成される乱流変動よりも大きな時間スケールの周期的変動の影響を捉えることが難しく予測精度の低下が指摘されている。そのため、計算格子以上の乱流変動を非定常に捉えられる Large-Eddy Simulation (LES) による予測の研究が、近年、実施されるようになってきているが、計算負荷や非定常な変動を考慮した流入境界条件の考慮の難しさがある点を述べている。これらの背景を鑑み、建物などによって形成される乱流変動よりも大きな時間スケールの変動の影響を考慮した非定常 RANS (Unsteady-RANS: URANS) 解析を、都市建築空間における汚染物質の移流拡散を伴う流れに適用し、その予測精度の系統的な知見を得ることを、本研究の目的として述べている。

第2章「Mathematical Formulations」では、乱流変動とは異なる大きな時間スケールでの変動の影響を考慮可能な改良  $\epsilon$  方程式を含む  $k$ - $\epsilon$  型の乱流モデルについて、原典をレビューし、乱流変動による時間スケールと大きな時間スケールの調和平均として、時間スケールを取り込むモデリングのコンセプトや  $\epsilon$  方程式内における定式化等を詳説するとともに、LES、SRANS で用いる乱流モデルについても概説している。

第3章「Numerical Method」では、本研究で一連の解析を実施するための支配方程式の離散化手法について、スカラーの移流拡散方程式における移流項の取り扱いや数値粘性の影響を中心に説明している。

第4章「Verification on 2D Model」では、本研究で用いる流体解析プログラムをカスタマイズし、大きな時間スケールの変動の影響を考慮した  $\epsilon$  方程式を含む乱流モデルの組み込みを行うとともに、2章で示した原典で検討されている2次元角柱周りの流れ場を対象に URANS による解析を行い、その原典に示されている解析結果と比較することで、以降の章で、3次元の屋外空間流れに適用

するプログラムが適切に機能していることを検証している。

第5章「3D Isolated building」では、第4章で検証した乱流モデルを用いた URANS により、3次元単体建物モデル後方からのスカラー放出を伴う流れの解析を行い、LES、SRANS による解析結果と比較を行っている。URANS の結果が、単体角柱後方に形成されるカルマン渦列にともなう周期的変動を再現し、この変動に対応する速度変動のパワースペクトル密度の周波数のピーク値が、概ね LES の結果と一致することを示している。また、SRANS による解析では再現できなかった濃度の主流直交方向の拡散が観察され、風下側壁面近傍の鉛直方向の濃度予測においても、SRANS による解析と比較し、URANS を用いることで予測精度の改善が見られることを示している。更に、URANS による解析は、SRANS によるものと同様、LES に比べ、計算格子解像度に対する感度が低く、計算格子数を削減しつつ、大規模な変動のみを再現することで計算時間を短縮し、計算機リソースを大幅に削減できると述べている。

第6章「Simplified Building Array」では、第5章の単体建物モデル周りの解析で得た知見を、パッシブスカラーの拡散を伴う立方体建物群モデル内の3次元流れ場に適用し、大きな時間スケールの変動の影響を考慮した修正項においては、時間微分項に加え、第2章で示した原典では簡略化のため省略されていた移流項の影響が大きい可能性を指摘している。

第7章「Real Urban District」では、スカラーの放出を伴う実市街地空間流れを対象とした風洞実験を行うとともに、これまでの章で得られた数値モデルに関する知見を、実市街地空間流れに適用し、風洞実験結果や SRANS による結果との比較から、大きな時間スケールの変動の影響を考慮した乱流モデルによる URANS の有用性について議論している。URANS による結果は、低層街区内で建物による変動の再現には、大きな時間スケールに掛かるモデル係数について更なる検討が必要であるが、SRANS と比べ、高層建物の周辺での濃度分布は風洞実験と一致しており、予測精度が向上することを明らかにしている。

第8章「Conclusions」では、研究の総括と今後の課題を述べている。

以上要するに、本論文は、都市・建築空間の汚染物質の移流拡散現象を URANS により適切に予測するための知見を系統的にとりまとめたものであり、建築学、都市環境学、および風工学への発展に貢献するところが大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。