

Title	屋上面気流場を対象とした非定常流体解析における計算格子幅の影響特性に関する研究
Author(s)	山田, 慎一
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/72416
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (山田 慎一)

論文題名

屋上面気流場を対象とした非定常流体解析における
計算格子幅の影響特性に関する研究

論文内容の要旨

建物屋上空間は空調室外機等の設置に適する建築設備上重要な空間であると同時に休憩等の短時間の滞在にも適した空間である。建築設備の最適配置、及び滞在に適した空間環境を屋上空間で同時に実現するには、数値流体力学(CFD)による事前環境評価が有効である。屋上面では剥離流により小スケールの流速変動が多く存在する非定常性の強い気流場が形成されるため、高計算負荷だが非定常性の強い気流場の予測に適した非定常解析を用いることが望ましい。計算機性能の向上を受けて非定常解析の適用範囲は拡大しているが、屋上面気流場予測を対象とした非定常解析に関してはガイドライン未整備のため実用は進んでいない。ガイドライン整備に向けた課題は種々あるが、目標とする乱流統計量と流体方程式を同時に満足する流入変動風の生成手法については未確立であること、また適用する格子幅により期待できる計算精度を推定することが困難であること、この2点が大きな課題となっている。非定常解析では格子幅以下の流速は空間平均化されるため、各評価値に対して格子幅以下のスケールの流速変動が支配的な影響を与えていれば、仮に全時刻・全格子で真値に近い空間平均された流速値が得られたとしても、それから求めた各評価値の予測精度は極端に低下する可能性がある。この非定常解析特有の問題が、格子幅が計算精度に与える影響を推定することをさらに困難としている。以上を踏まえて本研究では、屋上面気流場を対象とした非定常流体解析のガイドラインが整備され、広く実務で適用されるための基礎的知見を得ること及びそのための資料整備を目的として、計算格子幅が非定常流体解析結果に及ぼす影響に関して検討を行った。本論文は以下の通り、全6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた。

第2章では、PIV(Particle Image Velocimetry)により取得した流速測定値に対して大きさの異なる空間フィルタを適用した際に生じる平均流速・風速変動の標準偏差(以下標準偏差)・パワースペクトル密度(以下PSD)等の評価値へ与える影響、即ち小スケールの変動が各評価値に与える影響を明らかにした。その結果、標準偏差・PSDと比べて平均流速が受ける影響は小さいこと、また流速変動の強い箇所ほど標準偏差・PSDは大きく減少することがわかり、小スケールの流速変動が与える影響の強弱、即ち求められる格子幅の大小が評価値ごと・箇所ごとで異なることを明らかにした。

第3章では屋上面気流場を対象として格子幅が異なる条件での非定常解析を行い、各評価値に対して格子幅が与える影響を示した。第2章の検討で空間フィルタの大小により各評価値に現れた傾向と、格子幅の大小によって現れた傾向に多くの類似点があることを確認し、第2章で確認された小スケール変動を除去したことによる影響が非定常解析でも生じること、また第2章で用いた手法によりPIV測定値から小スケール変動の影響を強く受ける評価値・箇所の推定が可能であることを明らかにした。また、PIVケースと最小格子幅設定ケースとの比較から、格子幅以外の乱流モデル・壁面条件・離散化スキーム・流入変動風等の計算条件が予測精度に与える影響についても考察した。なお第3章では別途実施したラフネスを再現した非定常解析(以降ラフネスケースと表記)の計算結果を流入変動風として与えた。

第4章では流入変動風生成手法を提案するとともに、測定結果との比較により、主流方向成分の平均値、標準偏差及びPSDについては提案手法で高い再現精度を実現できることを示した。流体方程式を満足しない流入変動風を適用した際に変動成分は顕著に減衰するとされるが、流体方程式を満足すると考えられるラフネスケースとの比較を行い、提案手法ではそのような顕著な減衰が生じない、即ち流体方程式を妥当に満足していることを確認した。

第5章では実在建物を対象として第4章で提案した手法により生成した流入変動風を適用した非定常流体解析を実施し、格子幅が計算結果に与える影響を明らかにした。第3章での傾向と同様に、標準偏差・PSDと比べて平均値は影響は小さく、また変動の強い箇所ほど標準偏差・PSDは大幅となった。またこの結果から、平均値で格子幅の妥当性が確認できたとしても、変動成分の再現精度は大きく劣る可能性があることが明らかとなった。

最後に第6章では本論文で得た知見を総括すると共に、屋上面気流場予測を対象とした非定常解析に関するガイドラインの整備を進める上で残された課題について述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山 田 慎 一)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	山中 俊夫
	副 査	教授	梶島 岳夫
	副 査	准教授	小林 知広

論文審査の結果の要旨

建物屋上空間は空調室外機等の設置に適する建築設備上重要な空間であると同時に、人の休憩等の短時間の滞在にも使用されることの多い多目的な空間である。しかし、建築設備の性能を確保するための最適配置と、人の滞在に適した空間設計を建物屋上で同時に実現するためには、屋上の風環境を正しく予測し、気流場や温度・汚染物の分布など、様々な環境要素の予測を行うことが必要となる。なかでも、上空の自然風によって形成される気流場は屋上環境にとって最も重要で支配的な環境特性であることから、その精度の高い予測は屋上の空間設計において不可欠である。現在、気流場の予測には、様々な方法が用いられるが、数値流体力学 (CFD) に基づく解析が実用的な設計ツールとして活用できると考えられる。その場合、屋上面では建物端等での剥離流により、建物より小さなスケールの様々な渦が生成されることから、レイノルズ平均を施したナビエ・ストークス方程式 (RANS) に基づく解析では、屋上の風環境を十分に再現できない懸念がある。非定常性の強い気流場の解析に対して、格子幅程度の空間フィルターを施した方程式に基づくラージ・エディ・シミュレーション (LES) は RANS より様々な渦の再現が可能である点で優れていると言えるが、計算負荷が大きいことから、できるだけ計算格子を大きくし、計算時間を短縮することが求められる。しかしながら、屋上風の解析において最低限必要な計算格子幅に関する知見は不十分であり、LES 解析のためのガイドラインの作成が求められている。

屋上の気流場予測のための LES 解析のガイドラインとしては、設定した格子幅によって得られる計算精度を推定できる手法やデータの提示がされていることが必要である。また一方で、LES の場合、時間変動するアプローチフローの風速データが必要であることから、乱流エネルギーや乱れのスケール等の乱流統計量の鉛直分布から、流体方程式を満足する流入変動風の自動生成手法が提示されていることが望ましい。本論文では、屋上面気流場の予測のための LES 解析において、格子幅を基にした計算精度の推定と流入変動風の自動作成手法の提案という大きく 2 つの課題を研究の目的として掲げ、建物屋上風の風洞実験において Particle Image Velocimetry (PIV) により測定した気流場と LES による屋上気流場を対象とした空間解像度の解析及び、風速変動のパワースペクトルを再現できる流入変動風の生成手法の開発を行い、実建物への適用も行った上で、ガイドライン作成のための提言を行っている。

本論文は全 6 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景と目的について述べている。

第 2 章では、PIV により求めた流速測定値に対して、様々な大きさの空間フィルタを施した際に生じる平均流速・標準偏差・パワースペクトル密度 (PSD) 等の特性値へ与える影響、即ち LES では直接とらえられずモデル化される小スケールの変動が各特性値に与える影響を明らかにしている。その結果、標準偏差・PSD と比較すると、平均流速が受ける影響は小さく、また流速変動の大きい領域ほど標準偏差・PSD は大きく減少することがわかり、LES 解析の場合に求められる格子幅の大小は空間内の領域で異なることを明らかにしている。

第 3 章では、屋上面気流場を対象として、別途実施したラフネスを再現した非定常解析 (以降ラフネスケース) の計算結果を流入変動風として与え、格子幅の異なる条件で LES 解析を行い、気流場の特性値に対して格子幅が与える影響を検討している。その結果、第 2 章で示した空間フィルタの大きさが各特性値に及ぼす影響傾向と、LES 解析での格

格子幅の大きさが各特性値に及ぼした影響傾向に多くの類似性があることを明らかにするとともに、第 2 章で確認された小スケール変動を除去したことによる影響が LES 解析でも生じること、また第 2 章で用いた手法により PIV 測定値から小スケール変動の影響を強く受ける特性値とその空間領域の推定が可能であることを明らかにしている。さらに、格子幅以外の乱流モデル、壁面条件、離散化スキーム、流入変動風等の計算条件が予測精度に与える影響についても言及している。

第 4 章では、平均風速・風速変動の標準偏差・PSD を再現する新たな流入変動風生成手法を提案し、測定結果との比較検討を行っており、その結果、主流方向成分の平均値、標準偏差及び PSD については同提案手法で高い再現精度を実現できることを示している。一般に流体方程式を満足しない流入変動風を適用した際には変動成分が顕著に減衰するとされるが、ラフネスケースとの比較から、提案手法ではそのような顕著な減衰が生じていないことを確認している。しかしながら、同手法には流れと垂直方向の空間相関の再現性について改善の余地があることを示している。

第 5 章では実在建物を対象として、第 4 章で提案した手法により生成した流入変動風を用いた LES 解析を実施し、格子幅が解析結果に与える影響が検討され、第 3 章で見られた傾向が多く確認されている。具体的には、格子幅が与える影響としては、風速の平均値に比較して、標準偏差・PSD への影響は大きく、また風速変動の大きな領域ほど標準偏差・PSD は大幅な減少傾向を示すことが明らかにされている。またこれらの結果から、風速の平均値だけでなく、変動強度に対しても、格子を細かくするときの収束性に十分な注意を払う必要があることを指摘している。

最後に、第 6 章では本論文で得た知見を総括すると共に、屋上面気流場予測を対象とした LES 解析のガイドラインの整備を進める上で残された課題が述べられている。

以上のように、本論文は屋上面気流場を対象とした LES に基づく非定常流体解析における計算格子幅が解析結果に及ぼす影響について詳細に検討したものであり、LES 解析を用いた屋上面気流場予測のガイドライン整備のために極めて有用な知見を得ている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。