

課題番号	Q19E-02
課題名 (和文)	屋外屋内境界環境に対する数値流体解析値と実測値の評価に関する研究
課題名 (英文)	A Study on CFD Analysis Values and Measured Values for Outdoor and Indoor Boundary Environments
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学部 建築学科 准教授 氏名 小笠原 正豊
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学研究科 建築学専攻 修士課程 氏名 池田 開
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学部 建築学科 学部生 氏名 三部 玲子
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名

研究成果の概要 (和文)

当初の計画では、屋外屋内境界環境を対象に実測値と CFD 解析値の評価を行う予定であったが、コロナ禍により実測が進まなかったため、深層学習を用いた風予測手法の評価を行うことにした。まず、屋外屋内境界環境を対象に実測値と CFD 解析値の比較検討を行い、CFD 解析で付与する解析条件を抽出し、約 1,600 枚の画像を作成した。さらに、CFD 解析の結果と深層学習の予測結果の比較を行う事で、深層学習を用いた風予測手法を考案した。GAN の一種である pix2pix を学習モデルとして選定した。開口部の幅と位置の変化、開口部の数の変化、部屋の寸法の変化に対しては、ある程度気流の動きを再現できたものの、部屋の位置の変化に対しては再現することができなかった。

研究成果の概要 (英文)

In this study, we measured the outdoor and indoor boundary environments, extracted the conditions to be given in the CFD analysis, and created about 1,600 images. Furthermore, by comparing the results of CFD analysis with the prediction results of deep learning, we devised a wind prediction method using deep learning. We were able to reproduce the airflow motion to some extent for changes in the width and position of openings, the number of openings, and the room's dimensions, but not for changes in the position of the room.

1. 研究開始当初の背景

近年、環境問題に伴い省エネルギーに対する意識が高まり、自然風や太陽光などパッシブなエネルギーを利用が強く推奨されている。風環境に関する予測手法としては、これまで風洞実験や CFD 解析が用いられてきている。風洞実験による風環境の評価方法については、精度の高い結果を得ることが可能であるが、時間やコスト、および高い専門性の必要となる。一方、CFD 解析は、風洞実験より費用や時間をかけずに簡易的な数値解析の結果を出すことが可能であるが、CFD 解析に習熟し、実際の風環境についても専門的な知識を持つものによって評価が行われる必要がある。

BIM の急速な発展により、意匠設計者が自らコンピュータの 3D モデリングを用いて設計初期段階や途中段階において環境分野のシミュレーションを行う事が可能になりつつある中で、風洞実験や CFD 解析に対する費用や時間、専門的知識といった問題を解決しつつ、ある程度の精度を保ちつつ瞬時的な解析結果の表示による設計補助の役割を果たしていく事が重要であると考えられる。

これらの解決手法として、近年では風洞実験や CFD 解析の様な細かな設定を行うことなく、作成した図面や 3D モデルを入力することで予測結果が出力される深層学習を使用した風環境予測手法が着目されつつある。しかしながら、深層学習を用いた風予測の研究は試行され始めた段階であり先行研究では上位階層のアルゴリズムを用いた予測手法しか示されていない。深層学習が得意とする分野の一つである画像処理技術について、どの様なアルゴリズムが予測手法として適しているかなどより深い階層における検討を行う事でより風予測に適した予測手法を探る必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、必ずしも高い専門性を有しない意匠設計者によっても風環境の予測を短時間で出

すことを目標にした上で、屋外屋内境界環境を対象に、実測値と CFD 解析値の比較検討を行う。さらに、CFD 解析の結果と深層学習の予測結果の比較を行う事で、深層学習を用いた風予測手法を考案することを目的とする。

3. 研究の方法

初めに、東京都足立区に所在する東京電機大学千住東書庫棟の一室である実験管理室を対象として卓越風の測定と各開口部における部屋内部への流出入に関して行う。次に、実測による気流の把握にもとづき CFD 解析の条件の検討を行う。

深層学習による学習データの作成にあたり多量の解析画像が必要となる。そこで、解析にかかる時間を抑え込みつつもある程度の解析精度を保つことの出来る解析条件を作成する。次に、作成した解析条件を用いてデータセットを作成し、予測手法に用いる為の学習モデルについての検討を行う。最後に、学習データによる画像生成としての推論結果と CFD 解析の結果の比較検討を行う。

4. 研究成果

実測において、風速 3.1m/s(地点 a) に対する実測値と CFD 解析値との比較結果より、風速の誤差は最大 0.5m/s であり概ね等しい値を取ることを確認した。

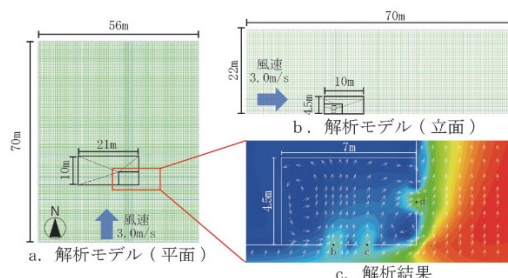


Fig.1 解析モデル

Table1 比較結果 (単位:m/s)

	地点 b	地点 c	地点 d
実測	0.8	1.4	1.9
CFD	0.9	0.9	1.6

データセット作成のためにある程度簡略化さ

せた解析モデルを用いた場合でも、メッシュ数や解析範囲等の解析条件に対し妥当であると仮定し、これらの解析条件を用いてデータセットの作成を行った。

深層学習の中でも画像処理や言語処理、音声認識など活用したい分野によって用いる技術が異なる。本研究では画像処理に優れた性能を持つアルゴリズムの中から、VAE(Variational Autoencoder)のNN(Neural Network)を用いた予測手法とGANの一種であるpix2pixのCNN(Convolution Neural Network)を用いた予測手法を比較し、学習進度の検討を行い、pix2pixを学習モデルとして選定した。

次に、室内空間における気流予測として、開口部の幅と位置の変更に対応することの出来る学習データを作成する。データセットでは、開口部の幅と位置を可変パラメータとし設定する。開口は外壁に対し1つずつ幅と位置をずらしながら与えた。また固定パラメータには、開口部の数や部屋の寸法、角部屋という部屋の位置を設定する。さらに、その他解析範囲や風速風向等については、Table1に示したCFD解析で付与する解析条件を用いる。学習用データセットは約800枚用意し、反転による水増しを行い約1600枚のペア画像を用いた。

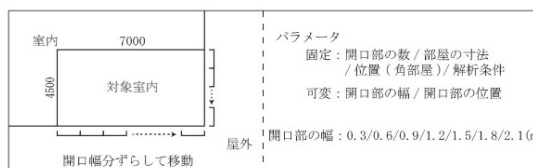


Fig.2 パラメータの設定

次に、学習済み画像を用いた結果と未学習画像を用いた結果の比較を行った。学習済み画像を用いた結果では、1epochの時点で、壁及び開口位置に対する形が再現され、20epoch程度学習させた時点で、開口部の位置に対する風速の分布が再現され、50epoch程度まで学習させると、流入口からの分布において室内に向かうにつれ濃淡が鮮明に再現された。未学習画像を用いた結果においても、学習済み画像による結果と同じく

Ground truthの結果により近づくことが確認されたが53epoch以降正解率が低下していることから、過学習を起こしており学習モデルとして不適切と判断し48epoch時の学習データを採用した。

データセット作成時のパラメータとして用いた開口部の幅と位置に対して、未知のデータによる予測結果とGround truthとしてCFD解析の結果を比較した。採択した学習深度では詳細な色の濃淡についての表現には至らなかったものの、流入口から流出口までの気流の動きについて再現出来る事を確認した。

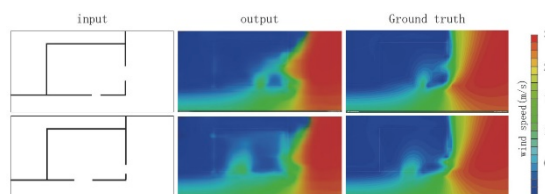


Fig.3 開口部の幅と位置の変化に対する対応さらにデータセット作成時に固定させていたパラメータを用いて未学習画像の予測を試みることで、この学習データに対する汎用的な利用の可能性について探った。

まず初めに開口部の数の制限について、作成時のパラメータでは外壁に対し、1つずつ設けていたものを2つまで増やし予測を行った。予測結果では、可変パラメータの予測時と同様に気流の動きを予測出来る事を確認した。

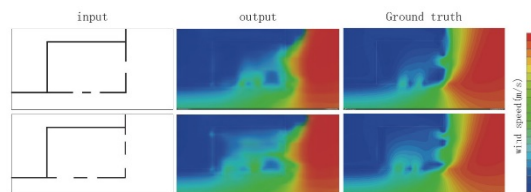


Fig.4 開口部の数の変化に対する対応

次に、部屋に関するパラメータについて寸法を変化させ予測を行った。予測結果では、開口部の位置に対して気流予測の対応が出来ているが、対象室内が小さいほど建物内の静穏な特徴が捉えにくくなり、データセットより大きい室寸法に対しては支障なく予測が行えることを確認した。

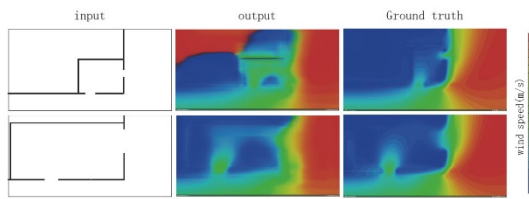


Fig.5 部屋の寸法の変化に対する対応

最後に、部屋の位置を変化させ予測を行った。予測結果では、流入位置に対する予測を再現することは出来たが、流出入を繋ぐような気流の動きは再現できなかった。

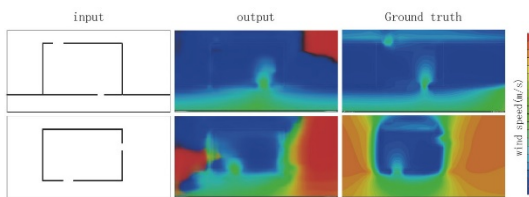


Fig.6 部屋の位置の変化に対する対応

本研究では、想定した対象への予測に加えその他のパラメータに対する予測と可能性も見せた。

Table2 学習結果の精度比較

パラメータ			壁位置の再現	気流予測の再現		
開口部	可変	幅位置		流入	流出	屋内外
開口部	可変	幅位置	○	○	○	○
		数	○	○	○	○
部屋	固定	大きさ	○	○	△	△
		位置	○	○	×	×

-謝辞-

東京理科大学高瀬幸造講師より実測方法やCFD解析への助言を、株式会社フォトラクションより、深層学習に関する助言を賜った。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① 池田開, 小笠原正豊, 深層学習を用いた建物通風の気流予測に関する研究: 東京電機大学千住キャンパス千住東書庫棟を例として, 日本建築学会, 第43回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (オンライン), 2020/12/10
- ② 三部玲子, 小笠原正豊, 市街地の風環境におけるネスティング領域に関する研究: CFD解

析と実測の比較を通して, 日本建築学会, 第43回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (オンライン), 2020/12/11