

# 2021 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境

研究期間：2021 年度

課題番号：21213005

研究課題名（和文）：自然換気設計における風圧係数及び流量係数の予測手法に関する研究

研究課題名（英文）：Prediction method of wind pressure coefficient and discharge coefficient in natural ventilation design

研究代表者：遠藤 智行

交付決定額（当該年度）：250,000 円

## 1. 研究の目的

地球温暖化への建築環境・設備分野の対応策として、自然換気の有効利用が挙げられる。また、近年のコロナ禍における換気への注目度の上昇によって、機械換気設備が設置されている室においても窓開けによる自然換気を併用するケースが増加している。自然換気は省エネではあるが、外気による影響を大きく受け、確実に効果を得ることが難しい。また、設計段階においてもその効果を精度良く予測する手法が確立しているとは言い難いのが現状である。自然換気の中でも特に風力による自然換気量を予測するためには、外部気流の風速に加え、風圧係数と流量係数が必要となるが、これらは風向角によって変化することが知られている。風圧係数は建物形状によっても変化するため、設計対象となる個々の建物について、風洞実験やコンピュータシミュレーション（CFD）を実施することで取得することが可能であるが、大きなコストや労力を必要とし、現実的ではない。開口部の流量係数は、開口部形状によって異なり、かつ、風向角によっても変化する。代表的な開口部別の流量係数は専門書などでも紹介されているが、風向角による変化量については、あまり知られていない。このような背景のもと、本研究では自然換気設計において重要な要素となる風圧係数と流量係数の予測手法に関する検討を行う。

風圧係数に関しては、前述の通り風洞実験・CFDによって取得することが可能であるが、模型作成に係る費用、特殊な風洞施設の準備、実験遂行に必要な人員と経験、コンピュータ上でのモデル化、各種境界条件等の設定、結果の妥当性検証等々、様々な要素を必要とする。これに対し、研究代表者らはニューラルネットワーク（以下、NN）を用いて建物壁面風圧係数を予測する手法を提案している<sup>1,2)</sup>。先行研究では、建物形状の2次元的な変化による予測精度検証までを行っているが、いずれの検討も対象建物の周辺に建物等が無い状態での検討となっている。そこで、本研究では、先行研究で培ってきたNNの予測手法を基として、対象建物の周辺に建物がある状態での風圧係数予測を実施し、その精度について検討する。

流量係数については、研究代表者らが開口部周辺の力学的性状に基づく局所相似モデルを提案し<sup>3)</sup>、風向角によって変化する流量係数のメカニズムを説明している。本研究では、ウインドキャッチャー（以下、WC）を設置した開口部に同モデルの概念を適用し、WCの位置を変更した際の流量係数変化について検討する。

## 2. 研究の方法

まず、NNによる風圧係数分布の予測を実施するにあたり、NNの学習データ取得を目的とした風洞実験を行った。実験は東京工芸大学の環境系境界層風洞を用い、建物軒高において7m/sとなるアプローチフロー（ベキ指数：約0.25）を図1に示す建物に暴露することで行った。実験を行った周辺建物の密集度は、特定の敷地面積における建物面積の比率を示したグロス建蔽率が0%、10%、20%、30%、40%となる5ケースとした（図2）。なお、周辺建物の配置方法については文献<sup>4)</sup>を参考にした。この5ケースのうち、任意の4ケースにおける対象建物壁面風圧係数分布を学習させ、残りの1ケースでの風圧係数の予測を行う。NNの学習項目は表1に示すように、壁面における風圧係数測定点の位置情報・風圧係数値・風向角・グロス建蔽率とした。NNの中間層数は10とし、活性化関数にはswishを用いた（表2）。

WCの通気特性評価を行うにあたり、研究代表者が既往研究で提案している通気特性評価法<sup>5)</sup>をCFD上で再現した。なお、今回実施するCFDは計算負荷や研究成果の汎用性を考慮して、

RANS モデルにて実施し、乱流モデルには SST  $k-\omega$  モデルを用いた。図 3 に示すように、風洞部には壁面接線気流を想定した一様流を図の左側から流入させ、右側から流出させる。風洞部中間の床下に設置したチャンバー部下方に下方向に気流を 8 段階設定することで、チャンバー内の室圧変化を再現した。チャンバー上部に設置された開口部では、アプローチフローの接線方向動圧  $P_t$  に対し、開口部における風圧  $P_w$  とチャンバー内室圧  $P_R$  の差である無次元室内圧  $P_R^*$  が作用することで、開口部通過風量  $Q$  が決まる。 $P_t$  と  $P_w$  は固定し、 $P_R$  のみを変えることで流入風量  $Q$  を変化させた。風量  $Q$  を開口部面積  $A$  で除した流量係数  $\alpha$  を無次元室内圧  $P_R^*$  ( $=P_R/P_t$ ) で表す近似式を導き、通気特性の検討を行った。WC の設置位置は図 3 の通りとした。

表 1 学習及び予測項目

学習項目	
①	壁面水平方向距離 (左端から)
②	壁面水平方向距離 (右端から)
③	壁面水平方向距離 (上端から)
④	壁面水平方向距離 (下端から)
⑤	風向角
⑥	グロス建蔽率
⑦	風圧係数値

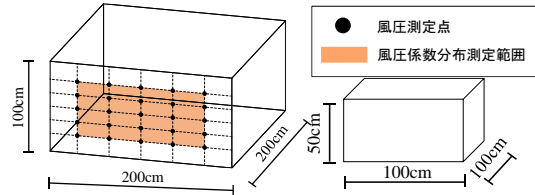


図 1 風洞実験及び NN による予測対象建物と周辺建物の概要

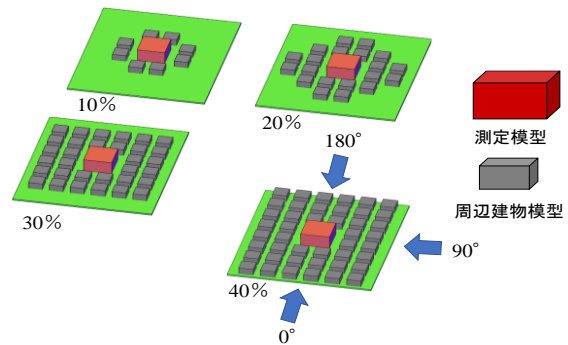


図 2 各グロス建蔽率と風向

表 2 NN 構造概要

ネットワーク構造	
中間層数	10
中間層の活性化関数	swish

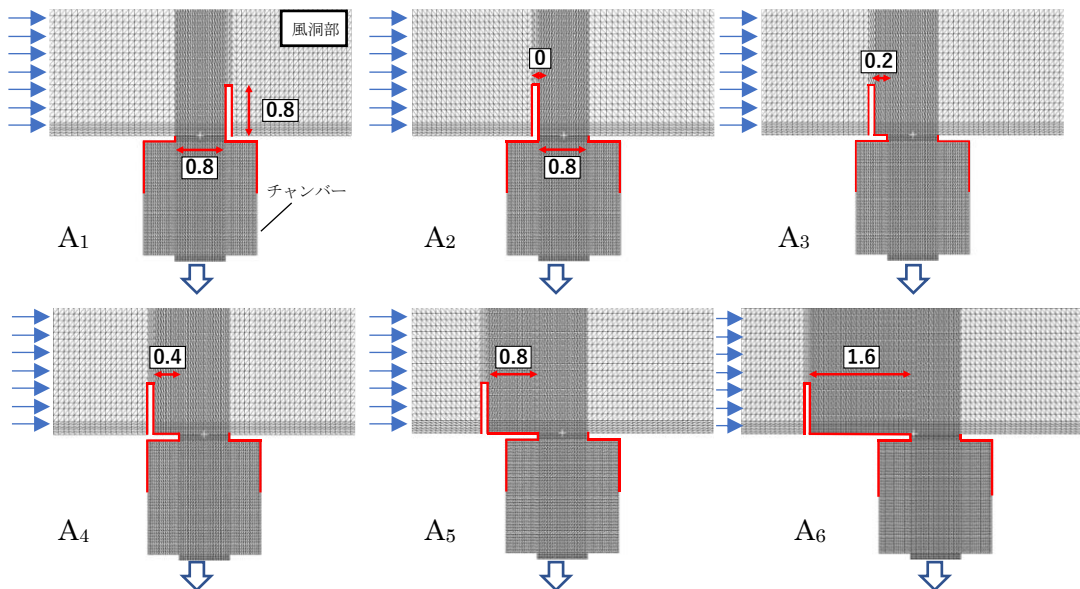


図 3 検討モデル

### 3. 研究成果

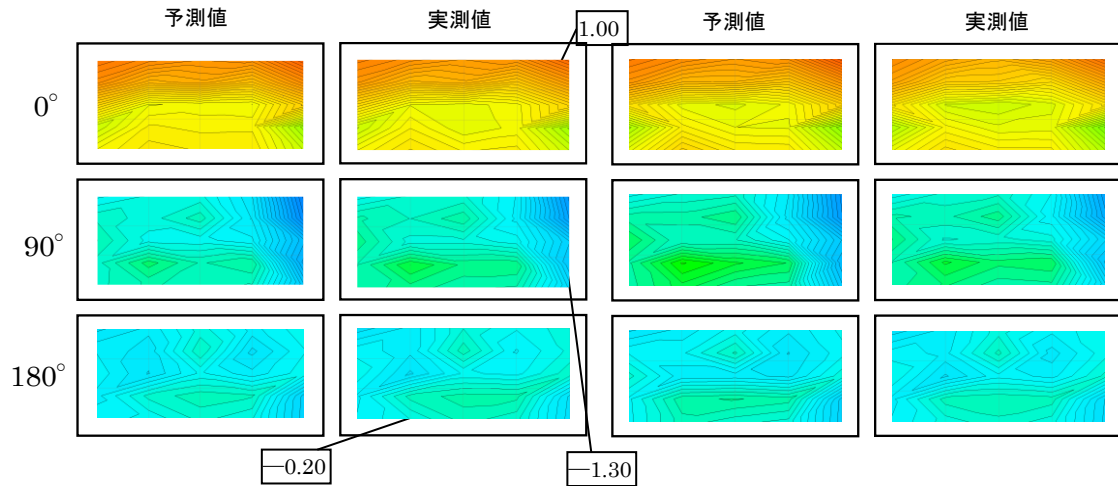


図 4 グロス建蔽率 0% 風圧係数分布 図 6 グロス建蔽率 20% 風圧係数分布

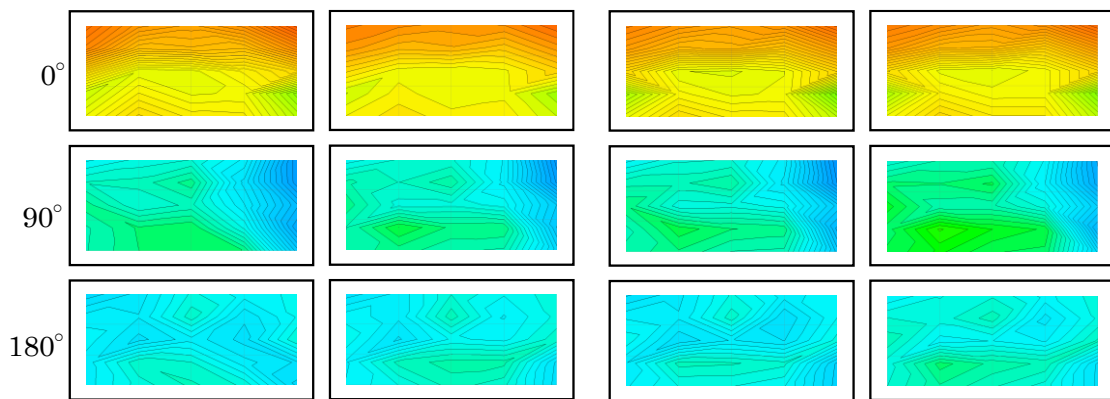


図 5 グロス建蔽率 10% 風圧係数分布 図 7 グロス建蔽率 30% 風圧係数分布

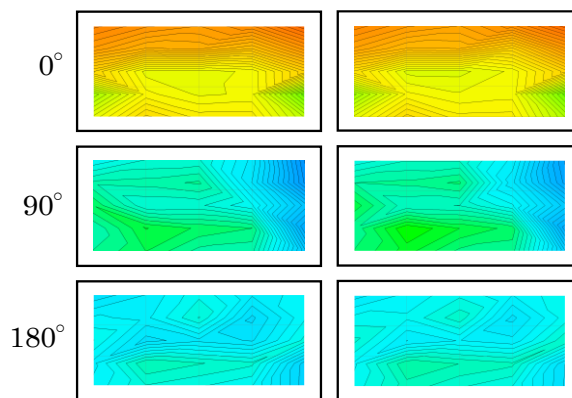


図 8 グロス建蔽率 40% 風圧係数分布

図 4 から図 8 に風洞実験による j 実測値と NN による予測結果の風圧係数分布を示す。両者の対応はどのグロス建蔽率においても概ね良好であり、風向角による風圧係数分布変化の特徴を捉えていることが確認できた。予測精度が高かった要因として、学習データに用いた各々の実測値に明確な特徴があったことが考えられる。

CFDによる通気特性評価法でWCを評価した際の風速ベクトル図を図9に示す。図中には風上WCによる剥離気流の風洞部床面への付着点を開口部風上端部からの距離で示す。開口部サイズが0.8であるため、A2~A5のケースでは、開口部後方に付着点が存在、開口部は剥離気流の渦の中にあることが分かる。このようなケースでは開口部に剥離による負圧が作用することが考えられるが、今回はチャンバ下方から強制的に気流を排出しているため、室内の負圧の方が剥離による負圧よりも大きくなり、気流が流入していると考えられる。なお、A6は開口部よりも前方に付着点が存在することを示している。

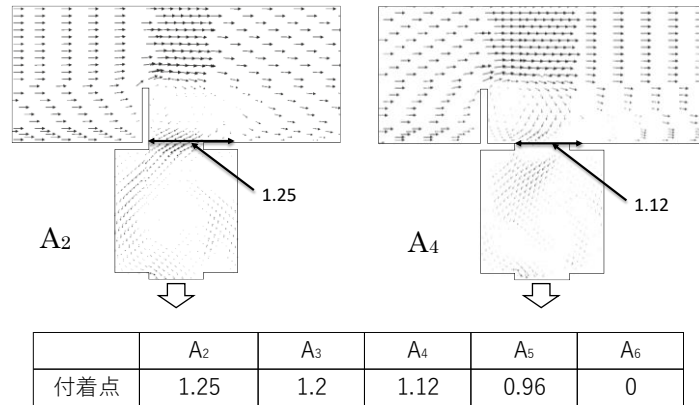


図9 風速ベクトル分布と剥離気流の付着点

無次元室内圧  $P_R^*$  と流量係数  $\alpha$  の関係を図10に示す。 $P_R^*$  が0に近いほど、換気駆動力  $P_r$  (分子) より、開口部接線方向動圧  $P_t$  (分母) の影響が強くなり、気流が流入しにくい状況を示している。WCを風上側に設置したA2からA5までは  $P_R^*$  に応じて流量係数が変化しているが、ケースによって、その様子が異なることが分かる。WCを風下側に設置したA1では  $P_R^*$  が0付近で流量係数の数値が大きくなっていることがわかる。今回の検討では、 $P_w$  と  $P_t$  はWCを設置していない場合における開口部に作用する値を用いているため、WCに気流が衝突することで  $P_t$  が  $P_w$  に転換し、換気駆動力 ( $P_w - P_R = P_r$ ) が大きくなっている影響を全て流量係数の変化の中に組み込んでいる。そのため、流量係数が1付近となったり、時には1を超える場合が生じることとなる。流量係数と通風量は比例の関係にあるため、流量係数の増加分、通風量が増加することを示す。風下側にWCを設置することで、密集市街地のような  $P_t$  が支配的になるような開口部においても、図10のように通風量が約1.5倍となることがわかる。本手法により、WCの効果を定量的に評価することが出来れば、設計時における通風量予測の精度向上に寄与できると考える。

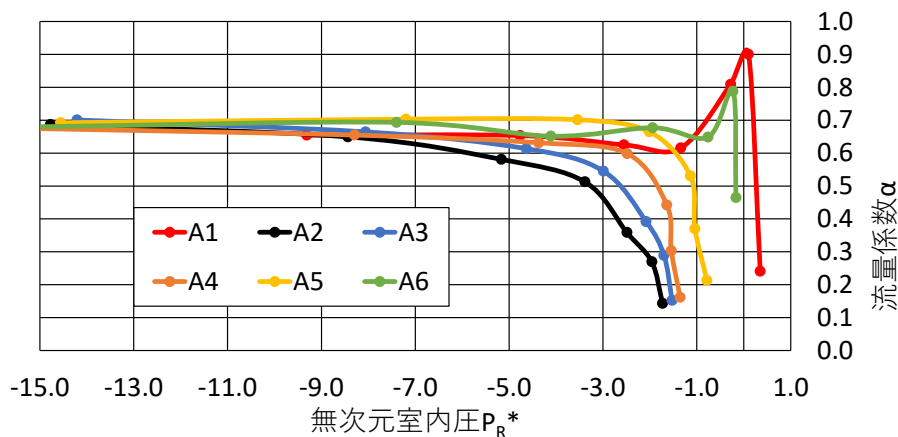


図10 無次元室内圧  $P_R^*$  と流量係数  $\alpha$  の関係

## 参考文献

1. 山本耕平、遠藤智行：単純形状建物における風圧係数分布予測へのニューラルネットワークの有用性に関する基礎的検討、日本建築学会学術講演梗概集（情報システム技術）、pp.165-166、2019.7
2. 山本耕平、遠藤智行：深層学習による建物壁面の風圧係数分布予測に関する基礎的検討 未学習の建物形状における予測精度の検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第4巻、pp.49-52、2020.9
3. 倉渕 隆、大場正昭、遠藤智行、赤嶺嘉彦：局所相似モデルの概念と風洞実験による検証通風時の換気量予測法に関する研究（第1報）、日本建築学会環境系論文集、第71巻、第607号、pp.37-41.2006.9
4. 日本建築学会：都市の風環境予測のためのCFDガイドブック、丸善出版.2020
5. 遠藤智行、倉渕 隆、赤嶺嘉彦、大場正昭、鎌田元康：流入開口部通気特性評価法の開発及び通気特性データベースの構築、日本建築学会環境系論文集、第74巻、第646号、pp.1315-1320.2009.12

## 4. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者には下線）

〔雑誌論文〕（計0件）

- 1.
- 2.

〔学会発表〕（計3件）

1. 菊地 拓、遠藤智行：深層学習による周辺建物がある場合の建物風圧係数の予測、2022年度日本建築学会大会（北海道）にて発表予定
2. 武田将成、遠藤智行：形状と設置位置がウインドキャッチャーの通気特性に及ぼす影響、2022年度日本建築学会大会（北海道）にて発表予定
3. 武田将成、遠藤智行：設置位置の違いによるウインドキャッチャーの通気特性評価、第55回空気調和・冷凍連合講演会、PDF、2022.4

〔図書〕（計0件）

- 1.
- 2.

〔その他、産業財産権、ホームページ等〕

- 1.
- 2.

## 5. 研究組織

### (1)研究代表者

遠藤 智行（関東学院大学建築・環境学部 教授）

### (2)研究分担者

1. 菊地 拓（関東学院大学大学院工学研究科建築学専攻 博士前期課程1年）
2. 武田 将成（関東学院大学大学院工学研究科建築学専攻 博士前期課程1年）



6. 要約(Abstract, 英文)

Prediction method of wind pressure coefficient and discharge coefficient in natural ventilation design  
Tomoyuki Endo (Kanto Gakuin University)

In this study, in order to improve the prediction accuracy of the natural ventilation flowrate, we examined the prediction method of the wind pressure coefficient and the discharge coefficient required for the calculation. We used a Neural Network to verify the accuracy of wind pressure coefficient prediction when the building density is different. As a result, good results were obtained as shown in Fig. 1. In the future, we plan to change the shape of the building and study forecasts in the face of more complicated conditions.

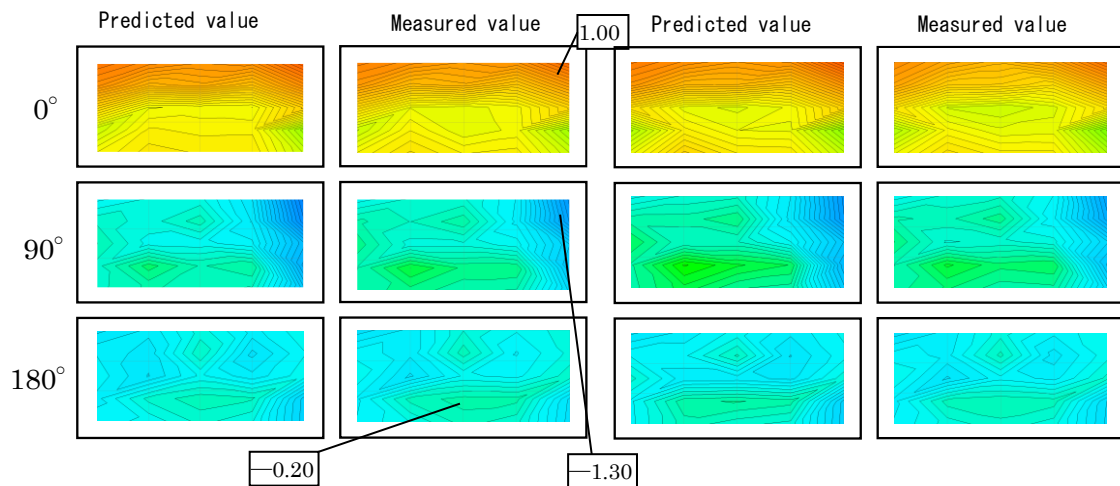


Fig. 1 Wind pressure coefficient distribution (Gross building coverage: 0%(Left), 10%(Right))

In the examination of the change in the discharge coefficient  $C_d$ , the relationship between the  $C_d$  and the mechanical properties around the opening was examined by Local Dynamic Similarity Model on the CFD.  $C_d$  is known to change depending on the wind direction angle, and this model is the only model that explains the mechanism of the change of  $C_d$  depending on the wind direction angle. In this study, we investigated the case where a wind catcher was provided around the opening. The result is shown in Fig. 2. The  $P_R^*$  on the horizontal axis indicates that the larger the negative side, the closer the wind direction is to the front of the opening. It also shows that the closer the  $P_R^*$  is to 0, the larger the wind direction angle. A1 to A5 are the results when the wind catcher is installed on the windward side of the opening, and A6 is the result when it is installed on the leeward side. It can be seen that when the WC is installed on the leeward side, the dynamic pressure in the tangential direction of the opening can be converted into wind pressure, and the amount of ventilation increases. In Fig. 2, the increase in wind pressure is included in the increase in flow coefficient.

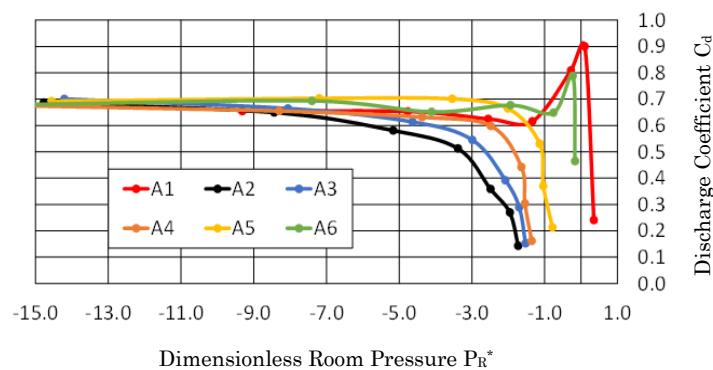


Fig. 2 Relationship between  $P_R^*$  and discharge coefficient  $C_d$