

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 20 日現在

機関番号：32704

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21456

研究課題名(和文)パッシブ建築物の自然換気効果予測のための研究

研究課題名(英文)Research for prediction of natural ventilation effect of environmentally friendly buildings

研究代表者

遠藤 智行 (ENDO, Tomoyuki)

関東学院大学・建築・環境学部・准教授

研究者番号：90385534

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、省エネルギー及び良好な室内環境形成に寄与する自然換気について検討したものである。特に、近年の環境配慮建物への採用が増加しているダブルスキンについて、風力換気と併用した場合の風量変化や室内温熱環境変化の検討とウインドキャッチャーを設置した場合の室内気流分布の検討を行った。その結果、風力換気用扉を設置した場合に室内の快適性が増加することとダブルスキン内の自然換気量が増加することがわかった。また、ウインドキャッチャーを設置することで、室内気流速度が大きくなることも示した。ウインドキャッチャーを設置することで、壁面近傍の風速を風圧力に変換する効率についても示した。

研究成果の概要(英文)：We studied natural ventilation that contributes to energy saving and good indoor environment. In particular, recently, we investigated the changes of natural ventilation air volume and the indoor thermal environment for double skins, which are increasingly adopted for environmentally friendly buildings, when used in combination with wind induced ventilation. In addition, we investigated the airflow distribution in the room when the wind catcher is installed in double skin. As a result, it was found that when the wind induced ventilation door is installed in the double skin, the comfort of the room increases. Also, it was found that the natural ventilation air volume in the double skin also increased. It also showed that the indoor airflow speed increases by installing the wind catcher in the double skin. Finally, by installing the wind catcher in the double skin, the efficiency of converting the wind speed near the wall surface to the wind pressure is also shown.

研究分野：建築環境設備工学

 キーワード：自然換気 通風 グロス建蔽率 ダブルスキン ウインドキャッチャー 風圧係数 壁面接線方向風速
 変換効率

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や東日本大震災の影響により、省エネルギー志向は益々上昇傾向にあり、種々のパッシブ技術が提案されている。自立循環型住宅への設計ガイドラインでは、自然エネルギー活用技術として、太陽熱・太陽光利用と共に自然風の利用を推奨している。また、サステナブル住宅賞の受賞作品の多くも自然換気・通風計画をコンセプトの軸としている。欧州では IEA project ANNEX62venticool が NZEB への取組みの一環として 2012 年に発足し、自然換気による室内環境調整・省エネルギー効果の検証が各国で行われている。このように、自然換気(通風)が省エネルギー対策と室内温熱環境改善策として有効な事は周知の事だが、設計時には未だ個別対応でのシミュレーション等に頼るのみで、自然換気の計算法は確立されていない。応募者らは、実務者のための自然換気設計ハンドブックを非住宅向けに刊行し、自然換気設計の要点や注意点を示したが、設計過程における通風量計算に課題を残している。現状の計算方法では通風量を過大評価してしまい、それに伴い、省エネルギー効果の試算も過大評価となることから、より正確に通風量を計算する手法の確立と計算時に必要な諸データの提供・公開が必要と考えられている。

2. 研究の目的

本研究は、上記で示した背景のもと、省エネルギー試算において重要な役割を担う通風量の高精度予測を可能とする自然換気設計法について検討を行ったものである。具体的には、以下の点についての検討を行った。

- (1). 密集市街地に建つ建物の通風量算出を行う際に必要となる風圧係数に関する検討。
- (2). 環境配慮建築物への採用が増加しているダブルスキンが室内温熱環境へ及ぼす影響に関する検討。特に、風力換気との併用が可能となるダブルスキン(DS)における、自然換気扉開閉の室内温熱環境への影響について。
- (3). ダブルスキンの風力換気効果ポテンシャルの把握。特に、ダブルスキンにウインドキャッチャーを設置した際の室内気流環境の改善効果について。
- (4). ウインドキャッチャー設置による通風量増加効果に関する検討。特に、ウインドキャッチャー有無による建物風圧係数の違い及び、ウインドキャッチャーによる、建物接線方向動圧から風圧への変換効率について。

3. 研究の方法

(1). 風洞実験及び CFD 解析により、同グロス建蔽率かつ異なる建物配置での風圧係数差の検討を行った。対象とするケースを図 1 に示す。

グロス建蔽率	整列均等配置 (TypeA)	準整列 実街区 (TypeB)	非整列 実街区 (TypeC)
30%			
40%			
50%			

図 1 検討ケース

アプローチフローは 1/4 乗則に従うものとした。建物配置と密集度がもたらす壁面風圧係数の変動に主眼を置いたため、建物屋根形状は陸屋根とした。再現した街区のほぼ中央に設置した測定対象建物の壁面風圧 P_w [Pa] を多点圧力計にて測定した。また、街区再現は均等整列配置と比較するために、全ての街区において地域適正グロス建蔽率 30%, 40%, 50%相当の実街区抽出を実施した。その中でも均等整列配置に近い街区となる準整列実街区と、地形依存度が高く非計画的に形成された非整列実街区の 2 種類を検討対象として設定した。均等整列配置の 3 ケースは 3 風向とし、実街区の 6 ケースにおいては 8 風向を設定したうえで、全 57 ケースにおける風圧係数 C_p [-] の算出を行った。

(2). 風力併用可能なダブルスキンの基本的性能の把握を目的として、質点系シミュレーションによるダブルスキン通風量・室内温熱環境の検討を行った。計算には NETS を用いた。中間期におけるダブルスキン内気流の想定を図 2 に示す。計算期間は中間期である 9 月から 11 月を想定し、気象データには標準気象データ(横浜)を使用した。図 2 中のアウ

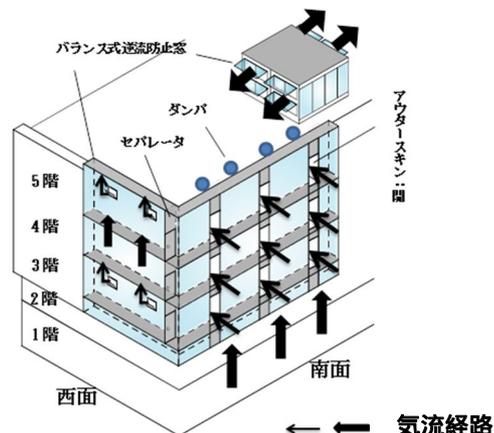


図 2 ダブルスキン内気流の想定

タースキン：開は、風力を取り込むためにアウタースキンに取り付けられている自然換気扉を開放している状態を表す。

(3) 風力換気併用可能なダブルスキンの自然換気扉にウインドキャッチャーを設置した場合の室内気流分布について、CFD 解析にて検討した。図 3 に検討ケースを示す。ウインドキャッチャーを設置していない状態を CASE1、ウインドキャッチャーを自然換気扉中央に設置したものを CASE2、自然換気扉の両側に取り付けたものを CASE3、片方の扉端部に大きく取り付けたものを CASE4 とした。なお、CASE1~3 は扉の開け方を変更することで、扉そのものをウインドキャッチャーとして利用することを想定したものである。

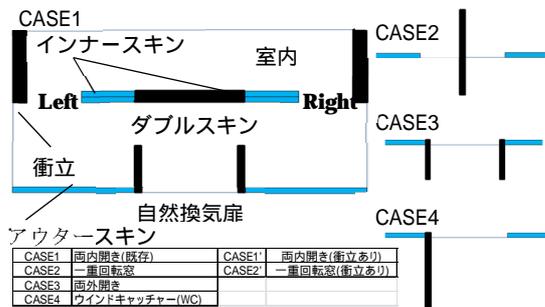


図 3 ウインドキャッチャーの検討ケース

(4) ウインドキャッチャー設置による効果算出のために、ウインドキャッチャー有無による風圧係数の違いについて、風洞実験と CFD 解析により、検討を行った。図 4 に風洞実験で用いた模型写真を示し、図 5 にウインドキャッチャーを取り付けた建物モデル (CFD 解析用) を示す。表 1 に検討を行った CASE を示す。



図 4 風洞実験模型

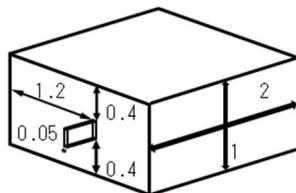


図 5 CFD 建物モデル

表 1 検討ケース

風向角 0°	風向角 45°	風向角 90°	風向角 135°	風向角 180°
風 → ■	風 → ◆	風 → ■	風 → ◆	風 → ■

4. 研究成果

(1) 街区が保持している通風性能を評価するために、各ケースにおける最大風圧係数差 $Cp[-]_{max}$ の算出結果を図 6 に示す。このとき、壁面に作用する圧力差が最大となる開口ケースを風向ごとに選択しているため、全風向に対応した通風性能とはいえないが、各街区で見込める最大の通風量の把握は可能と

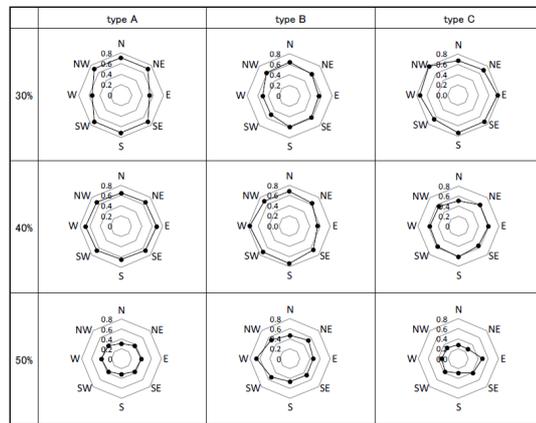


図 6 最大風圧係数差

考えられる。そして、それぞれのタイプの街区をグロス建蔽率ごとに比較すると、30%では整列均等配置の Type A は実街区と比べて風向が西、東の条件で過小評価となっているが、それ以外の風向ではおおむね対応している。40%では、Type A は準整列の Type B より過小評価となっているが、非整列の Type C に対しては過大評価となる。しかし、8 風向におけるばらつきが少なく、どの風向からも一定の通風性能を保持している様子が伺える。50%では Type A は Type B と比して過小評価の値が大きいが、Type C と比較すると風向が東の条件を除いて対応することを確認した。

(2) 南側 DS と室内の断面を図 7 に示す。図中の Q は風量と気流の正の向き、T は温度測定点を示す。中間期の 11 月 3 日における DS 内温度と南側 DS 及び室内に於ける風量の最大値・平均値・最小値を自然換気扉の開閉別に表したものを表 2、表 3、表 4、表 5 に示す。風力換気用の自然扉を開放した状態での無風時を想定した計算結果 (表 2、表 3) では、DS 下部から DS 内へ流入する平均風量 (Q11) が 4 倍以上に増加した。しかし、各室への流入量 (Q3、Q9) を見ると、自然換気扉を閉鎖した状態の方が、2~3 倍以上多い結果となっている。これは、温度差換気により、自然換気扉から DS 内空気が流出しているためである (Q2、Q6、Q8)。自然換気扉を開放することで、DS 内の換気量が増加することから、DS 内の温度は自然換気扉閉鎖時に比べて、1~2.5 程度低くなった。同じく中間期の 9 月 15 日~10 月 15 日の 10:00~18:00 における室内 PMV の累積発生頻度を自然換気扉の開閉と比較したものを図 8 に示す。5 階の居室は、自然換気扉を開放することで、快適範囲内に入る時間数の割合が 46% から 61% まで 15% も上昇し、快適性向上に繋がっていることがわかる。これは、自然換気扉開放時には室内への流入量は減少するが、DS 内温度が低下するためであると考えられる。3 階の居室は外気が DS へ流入する位置と近いため、自然換気扉の開閉では大きな差は見られなかった。

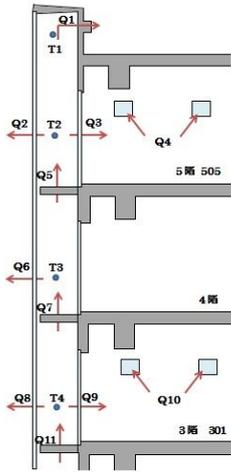


図7 南側DS周辺断面

表2 自然換気扉開放時のDS温度

	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C
max	30	21.3	19.4	18.4
ave	21	15	14	13.5
min	13.2	8	7	7

表3 自然換気扉閉鎖時のDS温度

	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C
max	30.7	26.9	25.4	21.8
ave	20.8	17.4	16.5	15.2
min	12.9	10.1	9	8

表4 自然換気扉開放時の風量

	Q1 m³/h	Q2 m³/h	Q3 m³/h	Q4 m³/h	Q5 m³/h	Q6 m³/h	Q7 m³/h	Q8 m³/h	Q9 m³/h	Q10 m³/h	Q11 m³/h
max	1355	11578	492	247	13431	17029	30447	1996	1379	874	32881
ave	821	572	318	160	6884	902	14561	902	808	585	18275
min	323	-2402	122	61	-1958	-1591	-8589	-1591	152	161	-10026

表5 自然換気扉閉鎖時の風量

	Q1 m³/h	Q2 m³/h	Q3 m³/h	Q4 m³/h	Q5 m³/h	Q6 m³/h	Q7 m³/h	Q8 m³/h	Q9 m³/h	Q10 m³/h	Q11 m³/h
max	2754		1879	944	4677		4647		2105	812	6507
ave	1531		971	488	2526		2526		1504	543	4043
min	470		243	122	718		718		406	282	1127

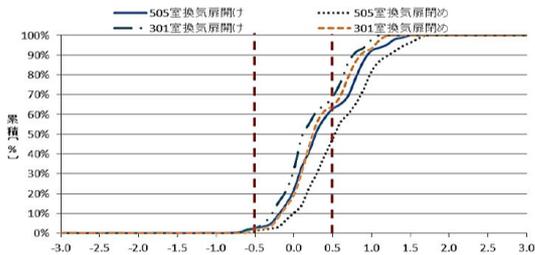


図8 PMV 累積発生頻度

(3). 自然換気扉周辺の風速コンターを図9に示す。CASE2はウインドキャッチャーの裏側で負圧となり、ダブルスキン内にいったん流入した空気が室内に流入せず、自然換気扉から流出してしまっていることがわかる。CASE3はウインドキャッチャーによるはく離が生じていることで、ダブルスキン内 Right 窓付近の気流が弱くなっている。CASE4はウインドキャッチャーに衝突して流入した気流の影響で、ダブルスキン内 Right 窓付近の気流速度に変化がみられる。図10に室内気流の平面風速コンター図の一例を示す。ウインドキャッチャーを設置することで、室内において強い気流が生じている箇所も見られるが、開口部からの直進性により、片側の壁面に沿った流れとなってしまう。室内への気流の誘導方法についての工夫が必要であると考えられる。

(4). ウインドキャッチャーは壁面近傍に流れる気流を開口部内に効率的に取り込む装置である。この効果を評価するためには、壁面近傍の接線方向風速の状況を把握する

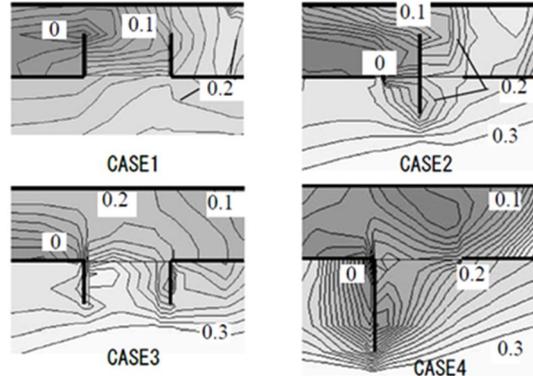


図9 自然換気扉風速コンター図

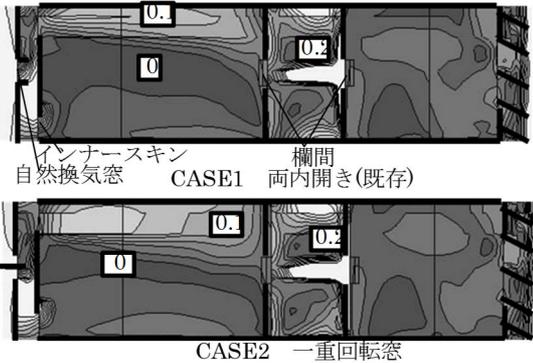


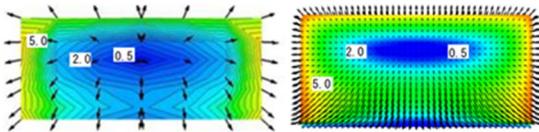
図10 室内平面風速コンター図

要がある。風洞実験結果とCFD解析結果から、壁面接線方向風速分布を取得し、図11に示している。図11は壁面から5mmの距離における風速コンターと風速ベクトルである。ここでは、一例として風向角90°の結果のみを掲載する。風向角90°では、CFDの方が風上側で風洞実験よりも値が大きくなっており、はく離による影響が見られた。続いて、ウインドキャッチャーの効果を求めるために、式(1)に示す変換効率を算出した。各風向角のウインドキャッチャー設置時の変換効率[%]を表6と表7に示した。caseは表1に示す0°~180°までを45°刻みした5caseとした。風洞値における変換効率の高かった風向角45°と変換効率の低かった風向角135°の風圧係数分布の風洞実験結果とCFD解析結果を図12,13にそれぞれ示す。風洞実験では測定点の関係上、ウインドキャッチャー設置面の中央部分のみの風圧係数分布を示す。表6に風洞値とCFD値の変換効率を示す。風向角が0°、180°の変換効率は、風洞値とCFD値を比べて見ると概ね数値が一致しており、ある程度の妥当性が見られた。風向角が90°の変換効率は、大きく数値は離れていないが、はく離による流れ場の影響を受けていると考えられる。風向角が45°の変換効率は、CFD値が約40%高くなっていた。この時の風圧係数分布を確認すると図12の風上面のはく離の影響を受ける場所での風圧係数がCFD値では大きく、 P_w' と P_w の差も風洞値に比べて大きなものとなっている。風向角が135°の変換効率は、風洞値が約3%に対し、CFD値が約-

43%と変換効率が大幅に負の値へ移行した。CFD 解析では、風圧係数がウインドキャッチャー設置後に大幅に小さくなり、流出を促進させる方向に過大評価している。これも、はく離の影響による負圧に風洞値とCFD 値で大きな違いが見られている

$$\text{変換効率}[\%] = \frac{P_w' - P_w}{P_t} \times 100 \quad (1)$$

P_w' : ウインドキャッチャー設置後壁面風圧力、
 P_w : ウインドキャッチャー設置前壁面風圧力、
 P_t : ウインドキャッチャー設置前壁面接線方向動圧



風向角 90° (左: 風洞実験、右: CFD)

図 11 壁面接線方向風速分布

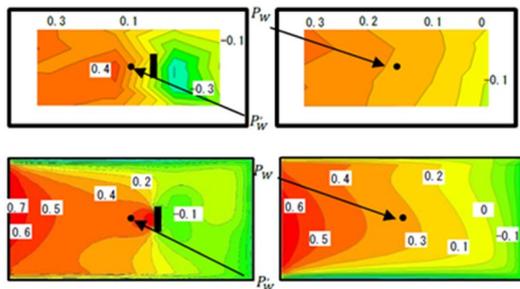


図 12 風向角 45° の風圧係数分布
 (上: 風洞実験、下: CFD 解析)

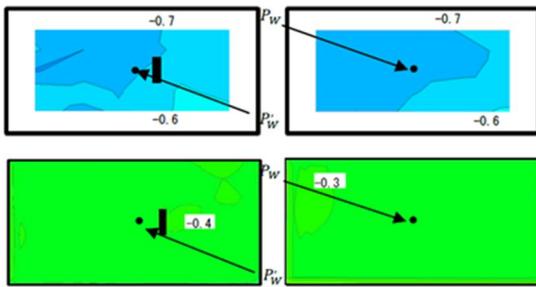


図 13 風向角 135° の風圧係数分布
 (上: 風洞実験、下: CFD 解析)

表 6 ウインドキャッチャーの変換効率
 (上: 風洞実験、下: CFD 解析)

変換効率(%)				
0°	45°	90°	135°	180°
13.74	80.99	15.26	2.50	5.70

変換効率(%)				
0°	45°	90°	135°	180°
11.74	122.91	3.38	-42.96	3.03

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 9 件)

- (1). 平本 透也、遠藤 智行、高橋 泰斗、田中英、張 偉榮、ウインドキャッチャーによる通風量増加効果の予測手法に関する研究 その 4 風洞実験と CFD 解析の風圧係数分布の比較、2018 年度日本建築学会大会(東北)学術講演会、2018 (発表決定)
- (2). 高橋 泰斗、遠藤 智行、平本 透也、田中英、張 偉榮、ウインドキャッチャーによる通風量増加効果の予測手法に関する研究 その 5 建物壁面近傍風速及びウインドキャッチャーによる変換効率 の検討、2018 年度日本建築学会大会(東北)学術講演会、2018 (発表決定)
- (3). 田中英、遠藤 智行、ダブルスキンの風力換気効果による通風量に関する基礎的検討、第 52 回空気調和・冷凍連合講演会、2018
- (4). 平本 透也、田中英、遠藤 智行、ウインドキャッチャーを用いた通風量増加手法に関する研究、第 52 回空気調和・冷凍連合講演会、2018
- (5). 高橋 泰斗、遠藤 智行、関東学院大学建築・環境棟におけるマルチモードダブルスキンの自然換気効果に関する熱・換気回路網計算による基礎的検討、2017 年度日本建築学会大会(中国)学術講演会、2017
- (6). 田中英、遠藤 智行、ダブルスキン建築における風力換気による効果に関する研究 CFD 解析によるダブルスキン内風圧係数分布、2017 年度日本建築学会大会(中国)学術講演会、2017
- (7). 田中英、遠藤 智行、ウインドキャッチャーによる通風量増加効果の予測手法に関する研究 その 4 風力換気可能ダブルスキンの通風量増加手法の検討、2016 年度日本建築学会大会(九州)学術講演会、2016
- (8). 滝澤 正玄、倉淵 隆、遠藤 智行、鳴海 大典、周辺建物の影響を考慮した通風性能評価手法に関する研究(その 2) GIS を用いた地域適正グロス建蔽率の算出および街区形状別の通風性能、2016 年度日本建築学会大会(九州)学術講演会、2016
- (9). 滝澤 正玄、倉淵 隆、遠藤 智行、鳴海 大典、周辺建物の影響を考慮した通風性能評価手法に関する研究(その 1)GIS による住宅地の地域適正グロス建蔽率算出および風洞実験による風圧係数評価、2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会、2016

6. 研究組織

(1)研究代表者

遠藤 智行 (ENDO, Tomoyuki)

関東学院大学・建築・環境学部・准教授
研究者番号：90385534

(2)研究協力者

田中 英 (TANAKA, Suguru)
高橋 泰斗 (TAKAHASHI, Taito)
平本 透也 (HIRAMOTO, Touya)