

平成 30 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：平成 30 年度

課題番号：173005

研究課題名（和文）： ウィンドキャッチャーおよびダブルスキンの有効利用を目的とした建物近傍の通風ポテンシャル評価に関する研究

研究課題名（英文）： Evaluation of Cross Ventilation Potential Around Buildings for Efficient Using Wind Catcher and Double Skin.

研究代表者：遠藤 智行

交付決定額（当該年度）： 200000 円

1. 研究の目的

住宅における冷房負荷削減や室内の快適性向上のために通風の利用は有効な手段であると考えられる。しかし、密集した市街地に建つ住宅では通常の壁面開口では十分な通風を得ることが困難であることも少なくない。そのような場合に通風性能を向上させる手法の一つとして、隣棟間に流れる気流を活用するウィンドキャッチャー(以下 WC)の検討がなされている。通風は開口部に作用する風圧力の差が換気駆動力となる。しかし、WC を用いる場合、壁面接線方向の気流をせき止め、その動圧を静圧に変換するという力学的構造上、壁面風圧力と壁面近傍接線方向動圧(即ち壁面近傍の全圧)が WC についての換気駆動力になりうると考えられる。また、接線方向動圧の低い位置に WC を設置した場合には効力をほとんど示さず、動圧の高い位置に設置した場合には開口部に対して風上・風下のどちらに設置しても風圧力の増減に大きく寄与し、通風量増加につながる事が知られている。昨年度は、風洞実験により建物壁面近傍における換気駆動力ポテンシャルの評価手法を明らかにするため、風洞実験により風圧係数分布と壁面近傍の接線方向動圧測定を行った。測定で得た壁面接線方向動圧と WC 有無ごとの開口部風圧係数の結果から、WC によって壁面接線方向の動圧がどの程度静圧転換されているのかについて把握することができた。本年度は壁面近傍の壁面接線方向動圧分布のさらなる知見の積み重ねと、WC 設置位置・報告の違いによる風圧係数分布の違いから、建物近傍気流の動圧と WC による通風量増加効果の関係性を検討した。建物ファサードにおける自然換気利用技術の一つにダブルスキン (以下 DS) がある。DS は開口間の距離と内外温度差から生じる重力換気による効果を主に期待されて設置されているが、開口部に作用する風力により生じる風力換気の影響については、あまり知られていない。本研究では、DS に作用する風圧係数分布について検討することで、DS における風力換気の基礎的検討を実施した。WC、DS とともに、風洞実験において、建物近傍の風速測定が今後必須と考えられることから、PIV(粒子画像流速測定法：Particle Image Velocity)を用いた壁面近傍接線方向風速の測定を試み、その可能性について検討を行った。PIV は気流場に直接触れる事無く、同時刻における多点の流速測定が可能であり、近年、建築環境分野の空気流動測定において注目されている技術である。

2. 研究の方法

今年度は、引き続き WC の有効利用を目的として、WC 位置を変更したケースにおける、風圧係数分布と壁面近傍接線方向動圧測定を実施し、WC 位置の違いによる各パラメータの整理及びデータベースの構築を行った。また、DS を付属した建物モデルにおける風圧係数分布測定を実施し、昨年度に測定を行った単純形状建物モデルにおける風圧測定結果との比較検討を行い、DS の有無による風圧係数分布への影響を明らかにする。ここで得られた結果は CFD の再現精度を確認するための基本資料となり、今後実施する、風洞実験では再現できない範囲での解析や詳細なケース検討の精度を担保するものとなる。CFD を用いて更なる検討を行うことで、より精密な全圧分布等の把握が可能となる。さらに、風洞実験における PIV の精度検証のため、屋外気流を想定した一定風速値までの壁面接線方向動圧測定を実施し、風速計で測定した風速分布との相似度について比較検討した。

3. 研究成果

3-1. 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基礎的検討

3-1-1. 背景・目的

近年、地球温暖化等の環境問題から二酸化炭素排出量を削減する動きが見受けられ、省エネルギー意識が高まっている。日本の建築業界においても二酸化炭素排出量を削減する必要がある事が分かっており、建物運用時の消費エネルギーを削減する為、環境共生技術の導入が進んでいる。中でも、中間期等に室内へ積極的に自然換気を取り入れる気運が高まっている。自然換気は冷涼感を得られるほか、室内の排熱や空気質の向上効果を期待する事が出来る。しかし、風力を原動力とする自然換気は屋外風の影響を大きく受け、都市部の密集市街地では、隣棟間の建物壁面に接線方向の卓越風が吹き、壁面開口部から効率よく室内へ気流を取り入れることが困難である。その解決法の一つに、ウインドキャッチャー(以下、WC)が挙げられる。壁面近傍接線方向動圧(以下、 P_t)を WC により静圧に転換し、開口部周辺の内外圧力差を大きくすることにより、気流を流入する効果や屋外へ流出する効果がある(図 1)。既往研究より、 P_t が小さい場合には WC 効果は低減するが、大きい場合には WC を風上側・風下側のどちらに設置しても WC 効果が向上し、通風量が増加することがわかっている。しかし、WC による P_t の静圧転換および開口部へ作用する換気駆動力ポテンシャルの評価手法は未だ構築されていない。昨年度の風洞実験では、WC(5 : 40 : 20[mm])を単純形状建物(以下、221 モデル)に設置したモデル(以下、WC 付属 221 モデル)における風圧係数分布の基礎データを収集した。本年度は WC の大きさや設置方法を変化させることで、風圧係数分布や変換係数に及ぼす影響についての検討を実施した。

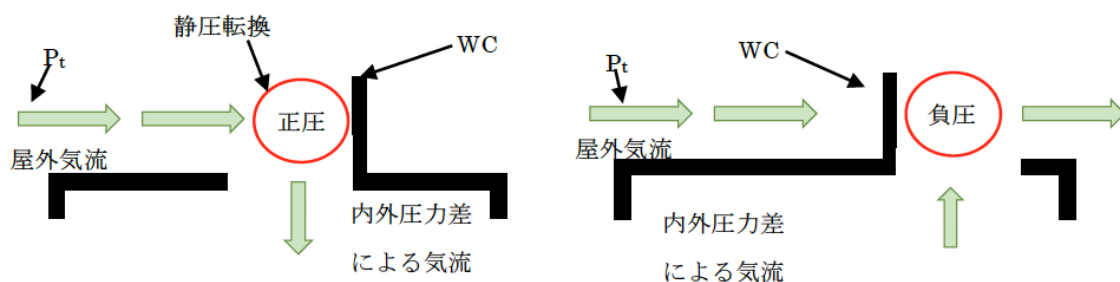


図1 ウインドキャッチャー概念図

3-1-2. 実験概要

本研究で用いた風洞実験装置の基本性能およびターンテーブル概要を表1に示す。アプローチフローは1/4乗のべき乗則に概ね従うものとし、建物軒高高さにおける風速（基準風速）を7[m/s]となるように設定した。実験対象建物は幅:奥行:高さが200 : 200 : 100[mm]の単純形状建物(221 モデル)とした。建物外壁面に作用する風圧力の測定時には、測定孔のある221 モデルを用いて測定を行った。測定は5 : 40 : 20[mm]の大きさのWCを窓面側方に設置したケース(Case1)、5:20:20[mm]の大きさのWCを窓面側方に設置したケース(Case2)、5:40:20[mm]の大きさのWCを窓面上方に設置したケース(Case3)について実施した。各ケースの条件を表2に示す。また、WCの大きさ及び設置位置と建物モデルとの関係を示した各ケースのモデル概要図を表3に示す。

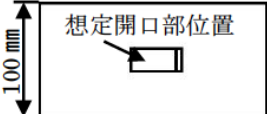
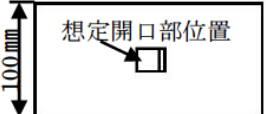
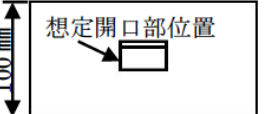
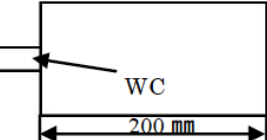
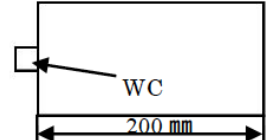
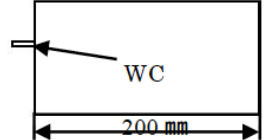
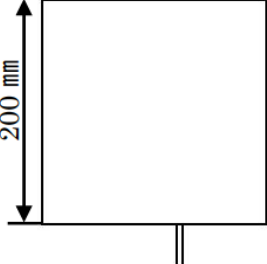
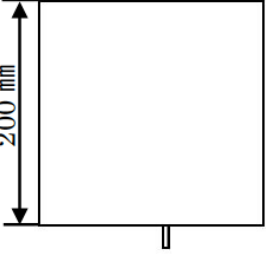
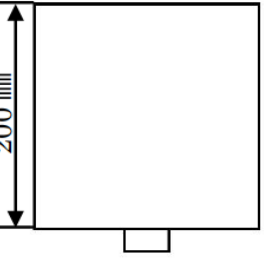
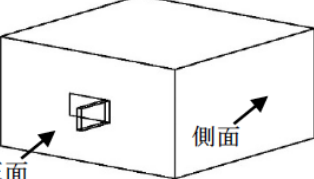
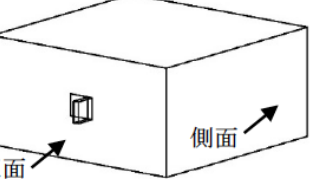
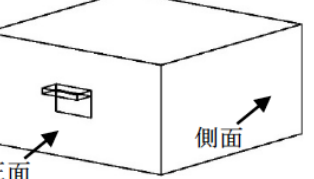
表1 風洞実験装置概要

基本性能			
風洞形式	室内回流式エッフェル型	ターンテーブル概要	
測定洞全長	14000 mm	直径	1000 mm
風洞全長	22400 mm	可動範囲	±360°
風速の範囲	0.5m/s～18m/s		

表 2 測定 Case

検討 Case 名	対象建物建物寸法	WC 寸法	WC 設置箇所
Case0 ¹⁾	200 : 200 : 100 [mm]	設置なし	
Case1 ³⁾	200 : 200 : 100 [mm]	5.0 : 40 : 20 [mm]	対象窓面側方
Case2	200 : 200 : 100 [mm]	5.0 : 20 : 20 [mm]	対象窓面側方
Case3	200 : 200 : 100 [mm]	5.0 : 40 : 20 [mm]	対象窓面上方

表 3 各ケースのモデル概要図

	Case1 ³⁾	Case2	Case3
建物 正面			
建物 側面			
建物 屋根面			
鳥瞰図			

3-1-3. 結果・考察

変換係数の算出式を式(1)に、使用した壁面近傍接線方向風速の平均値を表 4 に示す。また、風向角 90°・風向角 225°・風向角 315°の風圧係数分布を図 2 に示し、風向角の概念図を図 3 に示す。壁面近傍接線方向風速の平均値は表 3 の建物屋根面からわかるように、Case1 のみ WC 長さ 40 mm の為、壁面距離 5 mm・10 mm・17.5 mm・25 mm・32.5 mm・40 mm における壁面近傍接線方向風速の算術平均値としており、Case2・Case3 に関しては WC 長さが 20 mm の為、壁面距離 5 mm・10 mm・17.5 mm における壁面近傍接線方向風速の算術平均値としている。算出した変換係数は各ケースの風向角 0°から 45°刻みに 8 風向であり、その結果を表 5 に示す。なお、風向角 0°や風向角 180°に関しては対象の壁面に対し、正面・背面で風を受ける事により、壁面近傍接線方向風速は限りなく 0 に近い。その為、WC 設置後壁面風圧力と WC 設置前壁面風圧力の差が他の風向角より小さくても、変換係数の数値としては大きな値を示している事が確認できた。しかし、風向角 0°や風向角 180°に関しては WC を設置せずとも流入効果、流出効

果が共に期待できるため、WC を設置する必要性はない可能性がある。風向角 45°では Case2 が最も変換係数が高く、その次に Case1 に効果がある結果となった。この結果から風向角 45°では壁面近傍接線方向風速が壁面に近い部分で静圧転換に作用している可能性がある事が分かる。風向角 90°では Case2 が最も変換係数が高い結果となり、風向角 45°と同様に壁面近傍接線方向風速が建物壁面に近い部分で静圧転換に作用している可能性がある事が分かった。風向角 90°で二番目に変換係数が高い結果となったのは Case3 であり、これは建物下方から上方に流れる気流を WC がせき止め静圧転換を起こしたため、高い変換係数となった可能性があると考え。風向角 135°では Case2 のみ流出効果を得ることが表 5 よりわかる。これにより建物後方部分に当たる位置では、剥離等で気流が複雑に乱れる事から、図 1 に示すような流入に対する概念とは異なる場合があるということが分かった。Case1 と Case2 で流入効果が高い結果となった風向角 225°は風下側壁面に WC が設置されている。風下側に当たる建物後方部分では流出効果を期待する事が考えられるが、後方部分でも流入効果が期待できる可能性がある。風向角 270°では Case1・Case2 においては流出効果を得ることができると考える。風向角 315°においては Case1・Case2 で負圧となり、図 1 に示す概念と同様の気流が発生する事で効果が得られた可能性があると考え。

$$\text{変換係数}[-] = \frac{P_w' - P_w}{P_{t\text{ave}}} \quad (1)$$

P_w' : WC 設置後壁面風圧力、 P_w : WC 設置前壁面風圧力、 $P_{t\text{ave}}$: 壁面近傍接線方向動圧の平均値

表 4 壁面近傍接線方向風速の平均値

	風向角							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Case1	0.865	4.519	3.377	4.180	0.566	4.180	3.377	4.519
Case2	1.153	4.680	2.518	3.967	0.748	3.967	2.518	4.680
Case3								

表 5 変換係数

	風向角							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Case1	2.846	0.615	0.207	0.022	2.762	0.877	-0.162	-0.483
Case2	3.740	1.046	1.323	-0.094	7.242	0.648	-0.578	-0.743
Case3	2.726	0.252	0.501	0.537	9.840			

3-1-4. まとめ

風洞実験より、風圧係数分布及び変換係数の算出を行った。変換係数の結果より、Case2 では WC の長さが短い場合の方が流入・流出のどちらにおいても、WC 設置前より効果的に機能する事がわかった。また、Case1 よりも効果が高かったため、WC を使用する場合、壁面近傍接線方向風速は建物に近い部分が大きく作用していることが確認できた。また、Case3 は風向角が変わってもある程度の流入効果が期待できる結果となった。本研究では全ケース共に WC は流出効果を得ることに対しては不向きである可能性がある結果となった。今後は、建蔽率の変化に伴う各 Case の効果や、想定開口部位置が建物壁面中心ではないモデルの効果について、検討を行っていく必要がある。

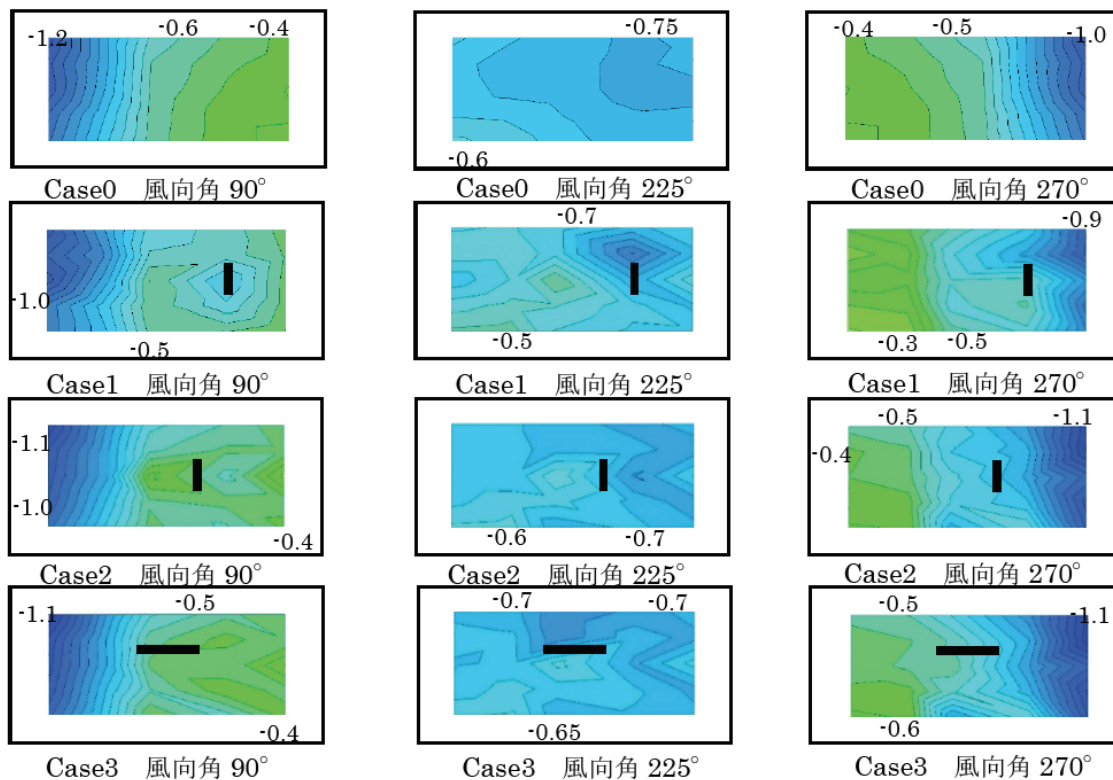


図2 風圧係数分布

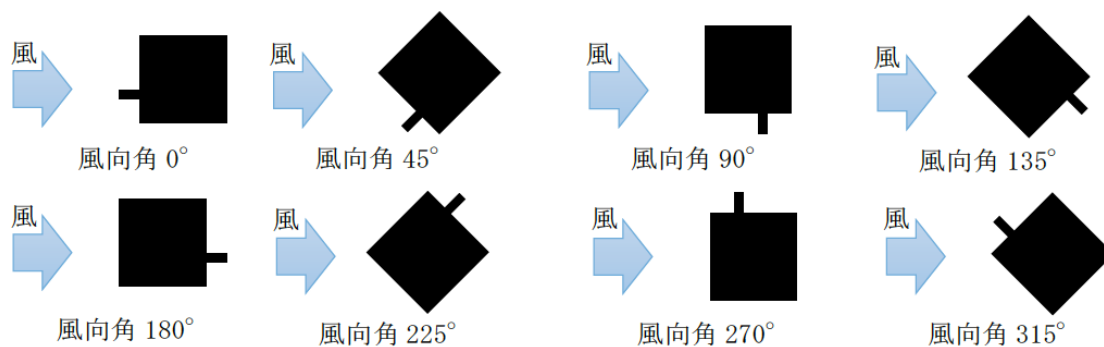


図3 風向角概念図

3-2. ダブルスキン建築の風力換気効果に関する基礎的検討

3-2-1. 背景・目的

近年、地球温暖化の進行により主に建築物の運用段階における二酸化炭素排出量を削減する動きが見受けられ、環境共生技術を取り入れた建物の事例が増加している。環境共生技術の中でも建物のペリメータゾーンにおける熱負荷削減技術としてダブルスキン（以下、DS）が注目されている。DSを採用した建物では夏季には熱負荷削減効果、冬季には断熱効果、中間期には自然換気の促進効果が期待されるが、設計段階における自然換気効果の検討は、主にDS内空気と外気もしくは、室内空気との温度差を換気駆動力とした重力換気のみを想定して実施されることが多い。屋外に風が吹いている時などは、DSの開口部に風力が作用し、風力を換気

駆動力とする風力換気が生じることが考えられるが、DS における風力換気の影響については、あまり知られていない。そこで本研究では、DS の風力換気効果についての基礎的な検討を行うために、DS に作用する風圧係数分布の取得を行った。

3-2-2. DS 建築の運用方法概要

建物のペリメータゾーンは季節の変化によって、その環境が大きく変化する。ダブルスキンはその変化に対し、運用を追従させ熱負荷削減を実現するシステムである。夏期はダブルスキン内の空気が日射により暖められることにより発生する浮力を利用した温度差換気を行い、室内への熱の侵入を防ぎ冷房負荷を低減する。冬期はダブルスキン開口部を閉鎖することにより、ダブルスキン内空気を予熱し断熱効果の向上が期待できる他、ダブルスキンで予熱した空気を空調機へ還気し暖房に利用することも可能である。中間期においては夏期と同様にダブルスキン内で温度差換気を行う。この時、DS と室間の開口部を開放することで、ダブルスキン内の上昇気流によって室内気流が誘引され、その他の開口部との組み合わせで自然換気が可能となる(図4)。

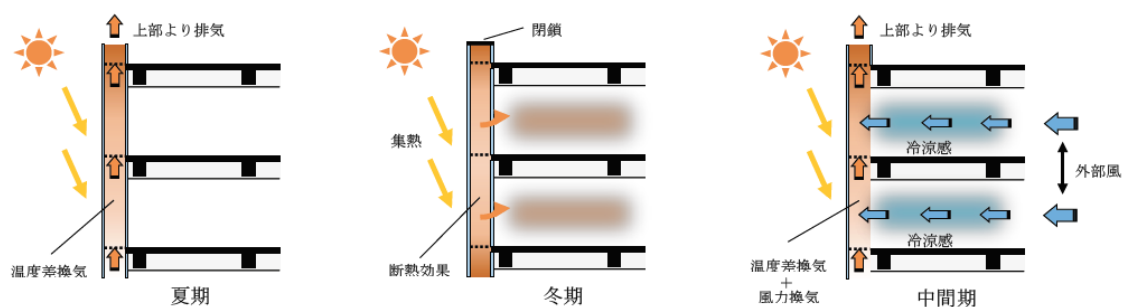


図4 DS 建築の季節ごとの運用方法

3-2-3. 実験概要

本実験は東京工芸大学所有の室内回流式エッフェル型風洞(風洞全長 22400[mm], 測定洞全長 14000[mm], 幅 1200[mm], 高さ 1000[mm])を使用し、DS を付属させた単純形状建物の壁面における風圧測定を行った。アプローチフローは都市近郊の住宅地を想定した 1/4 乗則に従うものとし、基準風速は建物軒高高さ(風洞床上 1000[mm])で 7[m/s]とした。測定対象建物模型は幅・奥行・高さ=200:200:100[mm]の単純形状建物(以下 221 モデル)に DS 模型(幅・奥行・高さ=200:20:100[mm])を風洞床面から 20[mm]の位置に付属させたものを使用した。図 5 に模型立面図及び風圧測定点を示す。風向角は $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ まで 22.5° 刻みで変化させ、一風向につき 60 秒間の風圧を収録した(図 6)。なお、DS 付属面が実験気流に正対する場合を風向角 0° とする。DS は下部と上部は開放させており、接近流がダブルスキン下部より流入、上部から流出して通風が行われることを想定した。また、想定通りの通風が行われていた場合、DS 付属面の建物壁面(インナースキン)は上昇気流により負圧となることが予想される。その場合、実建物においてインナースキンの開口部、対称壁面の開口部を開放することで室内への通風が期待できると考えられる。したがって、本実験では、DS 付属単純形状建物のインナースキンにおける風圧係数分布を取得し、その分布により DS の風力換気効果について検討を行った。

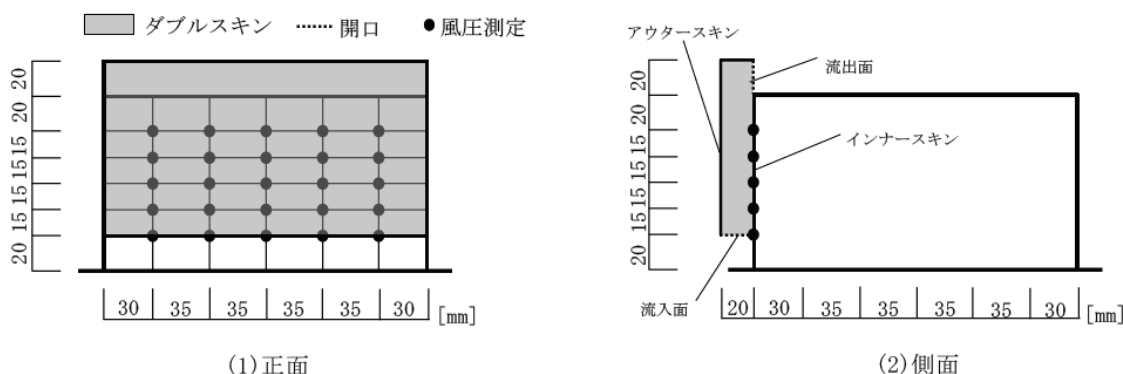


図5 測定模型詳細

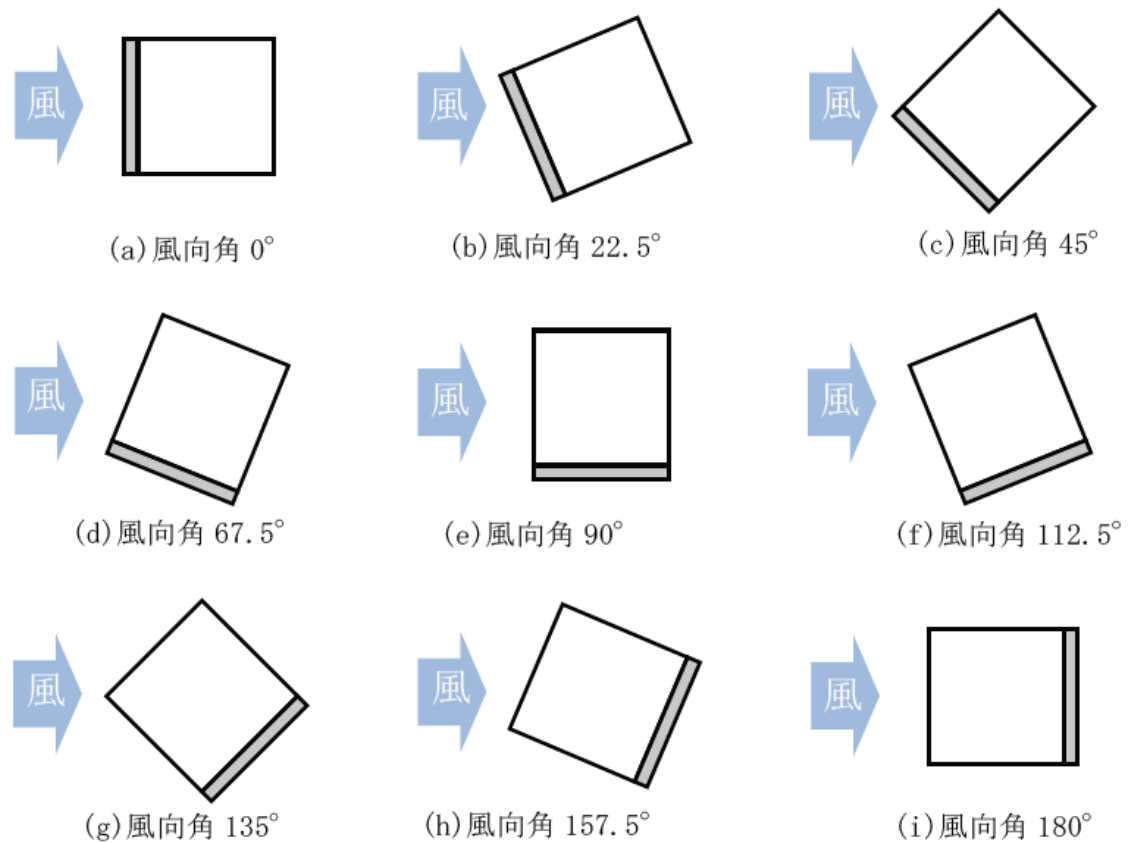


図 6 測定風向角

3-2-4. 結果・考察

DS 付属単純形状建物のインナースキンにおける風圧係数分布を図 7 に示す。分布図は測定点の内側の範囲のみを示しており、分布図外側の枠線は単純形状建物の立面全形を表しているものである。なお、数値は 1 風向 1 分間の収録で得られる 1/1000 秒ごとの数値、計 60001 個の平均値である。図 7 (a)より風向角 0° では全体的に負圧となっており、また壁面の水平方向では概ね均一な数値を示している。そのため、インナースキンとその対面の開口を開放した場合、DS 付属面全域において室内から DS 内部へ気流が誘引され、室内に自然換気をもたらすことが可能になると考えられる。図 7 (b)より風向角 22.5° では、数値は風向角 0° と概ね同様になっている。分布傾向としては DS 付属面の風上側で最も高い負圧となっており、風上側から風下側へ向けて負圧が小さくなっている。この結果より、風向角 22.5° でもダブルスキン付属面全域で風力換気効果は得られると考えられる。しかし、水平方向に均等な分布ではないため、実建物においては室ごとの換気効果に差が生じることが予想される。図 10 (c)より風向角 45° においても、水平方向に差が生じているものの全域で負圧の分布となっているため、風力換気効果が見込めると考えられる。しかし、 22.5° と同様に実使用上では室ごとに換気効果の差が生じ、その差は 22.5° の場合よりも大きいものとなると考えられる。図 10 (d)より風向角 67.5° では、全体的に負圧が発生しているが、最大負圧は 45° 以前と比較して小さくなっている。その分、水平方向における数値の差は小さくなくなり、室ごとの換気効果の差は縮まると考えられる。図 10 (e)より風向角 90° では、接近流に対し DS が平行となることから、DS 面に沿うように気流が流れる。そのため、DS 頂部におけるはく離が弱くなり、最大負圧は小さくなっている。しかし、接近流に対し正面にあたる面の頂部におけるはく離気流によりダブルスキン内の空気が誘引されることで、インナースキン全体としての負圧は大きくなっている。また、水平方向での数値の差が小さくなっているため、室ごとの換気効果の差は縮まると考えられる。全体的には比較的高い負圧域に位置しているため、風力換気効果もある程度期待できるものと

考えられる。図 10 (f)より風向角 112.5° では、DS 付属面が風下側に位置するため、DS 流出面に対して接近流が衝突し風力換気効果が低減することが予想されたが、風向角 90° と同様の傾向が表れている。そのため風向角 90° と同様、比較的換気効果の差が小さく安定した風力換気効果を期待することができると考えられる。図 10 (g)より風向角 135° では、全体的に負圧の分布を示しているが、インナースキン風下側では数値が -0.1 となっており、 112.5° 以前の分布と比較し、負圧が大幅に小さくなっている。風力換気は行われている可能性が高いが、効果的であるとは言えない。図 10 (h)より風向角 157.5° では、負圧域が大きく占めているがインナースキン風下側では僅かに正圧となっている。正圧となった箇所については、DS 流出面より流入した接近流が DS 内面に衝突したのちインナースキンに衝突したためだと考えられる。以上のように正圧域と負圧域が混在している点、負圧が小さい点から風力換気の影響は小さいと考えられる。図 10 (i)より風向角 180° では、全体的に負圧が分布しているが、その値は小さく、DS 内で僅かに上昇気流が発生していると考えられる。全体的に負圧が小さいことから、風力換気効果は小さいと考えられる。

3-2-5. まとめ

本研究では、風洞実験により DS 付属単純形状建物モデルのインナースキン風圧係数分布について、風向角 $0^\circ \sim 180^\circ$ までの 22.5° 刻み計 9 風向について検討を行い、その結果から DS の風力換気効果の検討を行った。DS による風力換気を行う場合、風上側となる面に DS を設け、DS の流出面を風下側に開放することによって風力換気の影響が大きくなる可能性があることが確認された。DS を風下側に設置し、DS 流出面が風上側となる場合には、インナースキン内の負圧は小さく 0 付近を分布していた。本研究ではインナースキンにおける風圧係数分布から、風力換気の影響について検討を行ったが、より詳細な検討を実施するために、インナースキン及びその他外壁との風圧係数差による検討及び、実際に開口部を開放した際の通風量による比較を行う必要がある。

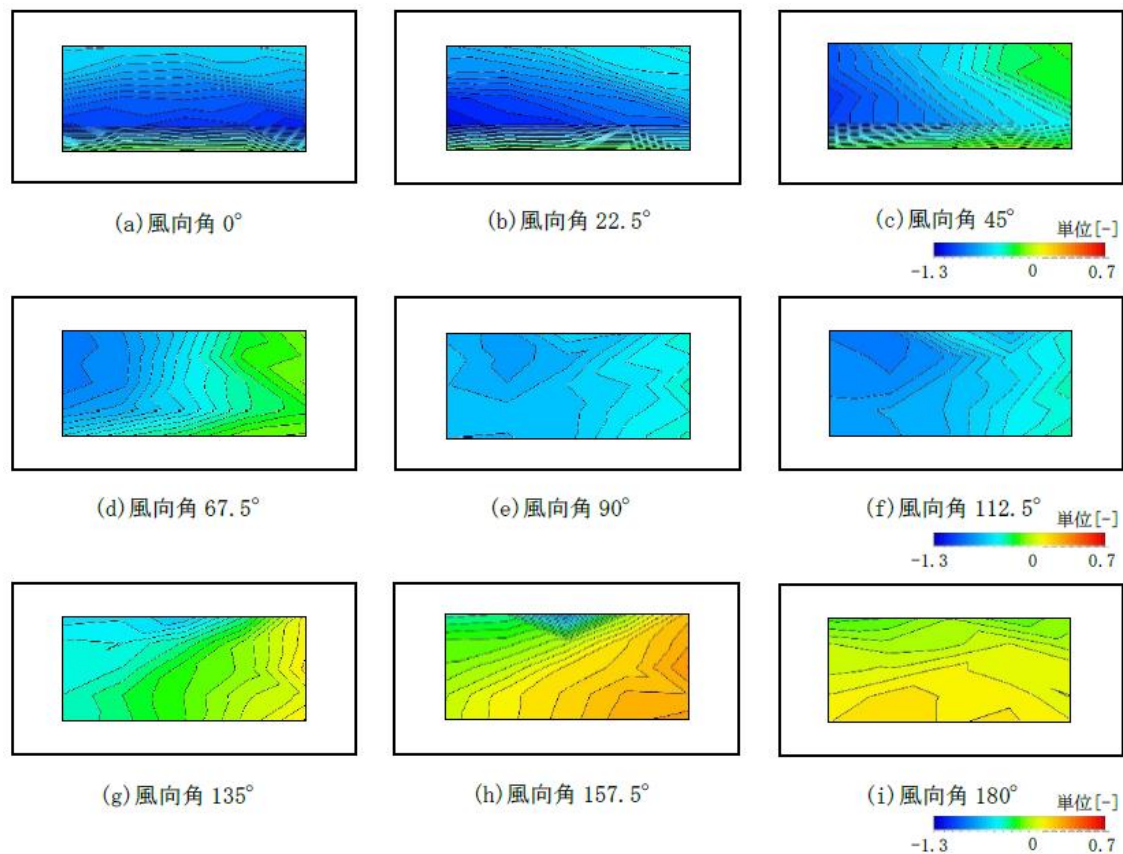


図 7 DS インナースキンの風圧係数分布測定結果

3-3. PIVによる単純形状建物の壁面接線方向気流分布測定に関する基礎的検討

3-3-1 背景・目的

これまでに延べてきたように、風力換気は屋外気流の影響を受け、都市などの密集市街地では、隣棟間の建物壁面に接線方向の卓越風が吹き、隣棟間の壁面開口部から室内へ気流を取り入れることは困難である。そのような場合に通風性能を向上させる手法の一つとして、隣棟間に流れる気流を利用するWCの活用が考えられる。WCは、開口部周辺において室内外に圧力差を発生させ、室内に気流を流入もしくは、屋外へ流出する効果がある。WCの効果を評価するには建物壁面近傍の風速分布を得ることが必要であるが、これには精度の高いスプリットファイバースonde（以下、SFP）などの風速計を使用するのが一般的である。しかし、実験や較正などにかかる時間や労力などの観点から、精度は高いが多くの測定を行うためには効率的ではないと考えられる。一方、短時間で二次元的な壁面近傍風速分布を取得できる手法としてPIVが挙げられる。気流場に触れることなく、同時刻における多点の流速測定を可能としたPIVは、他の測定法では困難であった構造物周辺や室内のような複雑な気流場において、二次元的な風速測定を行うことが可能であり、日々進化し続けている分野の一つである。しかし、PIVは技術者の経験や独自の技術が、取得した結果へ大きな影響を及ぼすことが課題である。そのため同一条件下において、各技術者による撮影・解析を試みても等しい結果を求めることは困難となる。これまでPIV解析に関する研究は数多くされてきたが、精度を有する解析手法が確立されたとは考えにくい。本研究では、PIVによる壁面近傍風速分布測定を実施し、分析方法の違いによる測定可能性・精度についての基礎的な検討を行った。

3-3-2 解析方法概要

本研究では、全画像変形法と直接相互相関法にて壁面接線方向気流分布の解析を行い、その違いについて検討した。以下に両手法の概要を記す。

1)全画像変形法

局所的な変形ではなく、画像全体を変形しながら移動量を求める方法である。第1時刻の画像を、初回に得られた変位ベクトル分布に従って局所的かつ全域的に変形して再度変位ベクトルを求める。この操作を、変形された第1時刻の画像と元のままである第2時刻の画像が同一の画像になるまで、変位ベクトルがゼロになるまで繰り返せば、画像の変形量から直接粒子の変位を求めることができる。この方法は繰り返し計算の途中で発生したエラーが伝播・増大する可能性があるため、これを避けるために、各回の変位ベクトル分布を検査領域内で平均し、収束性を高める工夫が必要となる。

2)直接相互相関法

時間差で撮影された2枚の粒子画像から計測点を中心とする小窓の画像を切り出し、その画像間の類似度が最大になるような小窓の位置関係を、その位置での粒子の平均移動量(すなわち流れの速度)とするPIV手法である。類似度の評価に相互相関関数を用いるため手法である。探查領域を自由に設定できるが、計算負荷は高くなる。第1時刻の画像中で小窓を設定し、第2時刻の画像中で、移動先を探索する際の小窓のシフト範囲を設定する。シフト範囲内で、第2時刻の小窓を縦・横に1ピクセル刻みで(場合によって1ピクセル以下の刻みで)細かくシフトさせる。その都度、小窓画像間での相互相関関数を計算する。相互相関関数の最も大きい第1小窓と第2小窓の位置関係から移動ベクトルを求める。

3-3-3 実験概要

実験は東京工芸大学内室内回流式エッフェル型風洞（測定胴全長 14[m]、幅 1.2[m]、高さ 1[m]）で行った。風洞実験概要を図 11、12 に示す。風洞床上の高さ 100[mm]で流速が 7[m/s]になるようにアプローチフローを調整し、これを基準風速として測定を行った。対象建物は幅：奥行：高さの比率を 2：2：1 (200：200：100[mm])とした単純形状建物（以下、221 モデル）とし、壁面近傍風速は SFP を用いて 1 分間の u 成分×3 回、v 成分×2 回、w 成分×2 回の合計 7 回×56 点の測定を行った。PIV 解析において粒子の追従が限界に近い 2000FPS と 3500FPS を選定した。PIV の実験概要を表 7 に示す。フレームレートの選定において追従限界に近い 2000FPS と追従が可能とされる 3500FPS を使用することで風速 7m/s 時において必要最低限のレートでの PIV 精度を検討する試みである。スモークの噴出は風洞装置風上側から行い、スモークの噴出による気流への乱れを極力抑え、スモーク粒子を測定面全体へ拡散させた。風速分布の取得を行う壁面風速は壁面から 5mm、25mm、60mm の位置で測定した。風洞実験において、上記の二つのフレームレートについて壁面風速の取得精度の検討を行い、全画像変形法と直接相互相関法による解析を行った。

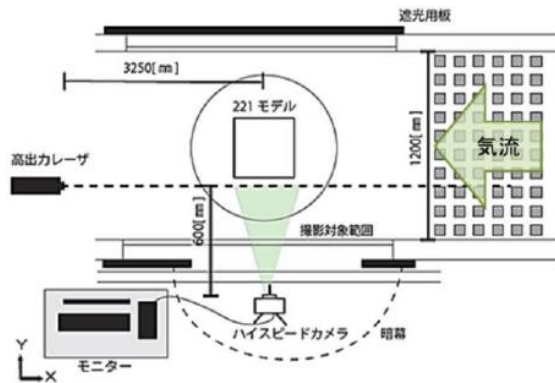


図 11 風洞実験 測定概要図

表 7 PIV 解析概要

フレームレート	2000FPS・3500FPS		
高速度カメラ	PHANTOM VEO410		
レーザー	直接シート	出力 2W	
	光学系	波長 532nm	
検査範囲	32pixel×32pixel		
探査範囲	15pixel×15pixel		
ソフトウェア	解析	Flow Expert	Ver1.2.17
	カメラ制御	PCC3.0	
撮影時間	2sec		
測定対象範囲	240mm×140mm		
画像サイズ	640pixel×420pixel		
風洞装置	風洞形式	室内回流式エッフェル型	
	測定洞断面	高さ：1000mm	
		幅：1200mm	

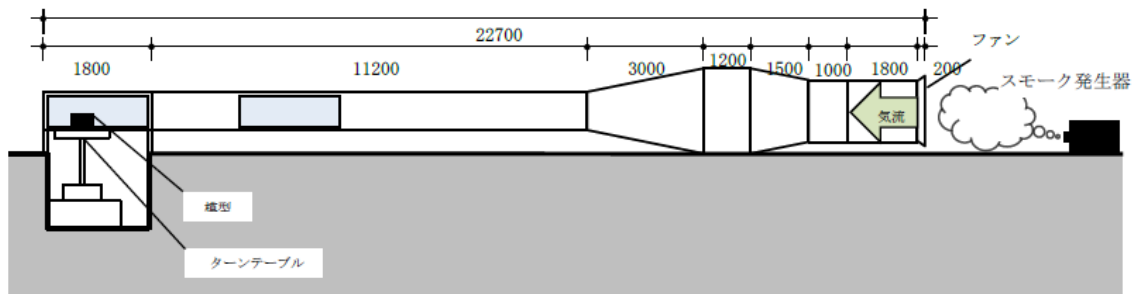


図 12 スモーク発生方法

3-3-4. 結果・考察

各分析手法による結果を以下に記す。

1) 全画像変形法について

全画像変形法で処理した風速分布図を表 8 に示す。壁面近傍 5mm の測定点における風速分布では、壁面付近のためにはく離や渦流の影響により気流場が安定していないため、高い精度での計測は難しいと考えられるが、2000FPS の結果が SFP の結果の概形を捉えられていると考えられる。壁面近傍 25mm の測定点においては、3500FPS で取得したものが 2000FPS のものよりも建物上部の速度が高い箇所における測定精度が高いと考えられる。しかし、速度の低い建物下部では 2000FPS の分布が SFP の分布と近いため、どちらのフレームレートが適しているかは断言し難い。壁面近傍 60mm の測定点では、速度の高い建物上部における測定精度が高いため、3500FPS が適していると考えられる。

2) 直接相互相関法について

直接相互相関法についての風速分布図を表 9 に示す。壁面近傍 5mm の測定点において、2000FPS では、乱れが発生し気流速度が低くなっている部分を取得することは可能であるが、風速分布の範囲が不安定で信用できる数値を取得できたとはいえない。また、3500FPS では風速分布の形状が 2000FPS と同様に、モデル上流部分の乱れ箇所の取得を行えていないと考えられる。壁面近傍 25mm の測定点においては 2000FPS では測定精度が低く、SFP との結果比較を行うことが困難と考えられる。3500FPS については 2000FPS に比べ、SFP との結果に近い風速分布を得ることができた。壁面近傍 60mm の測定点においては 2000FPS、3500FPS の両方の場合で画像全体の粒子を追従することが不可能であったため、速度分布を得られなかったと考えられる。直接相互相関法では計算格子を変形させることなく等速での追従を行うため、本実験のような比較的大きな気流速度での解析には不向きであると考えられた。

3-3-5. まとめ

風洞実験（軒高 7m/s）において SFP と PIV を用い、221 モデルの風向角 0°での壁面近傍接線方向風速分布取得について検討を行った結果、3500FPS で撮影を行い、画像解析に全画像変形法または、直接相互相関法を適用することによって SFP と PIV の傾向が概ね一致した。渦流が発生している箇所については直接相互相関法がおおまかな形状を取得することが可能であり、速度の速い箇所については 3500FPS が適しているといえる。風速が大きい場合は高いフ

レームレートにする方が適当だと考えられるが、測定対象となる風速に合わせてフレームレートを適宜、変更する必要があることがわかった。

表 8 全画像変形法

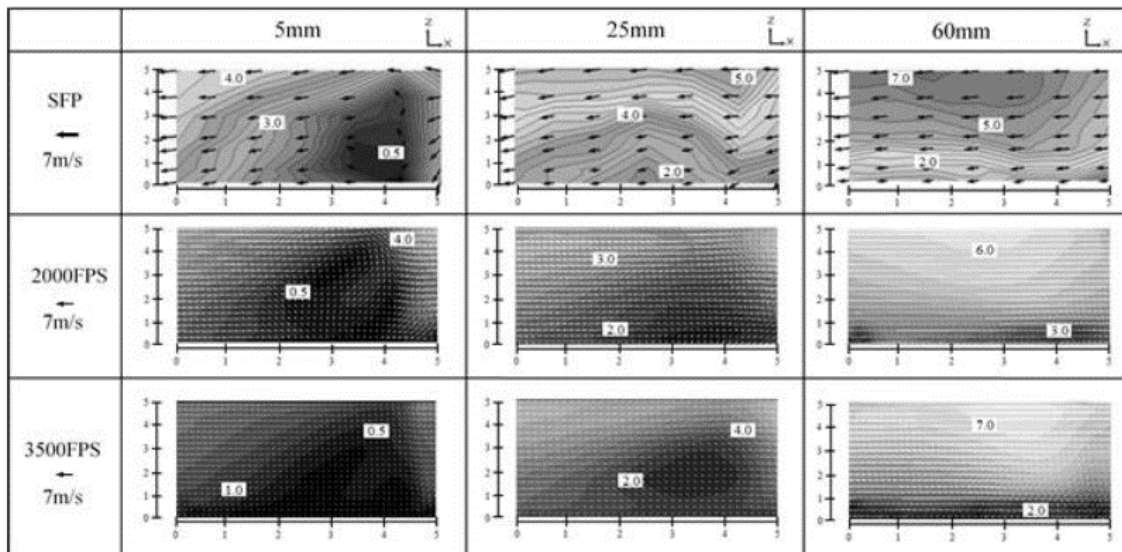
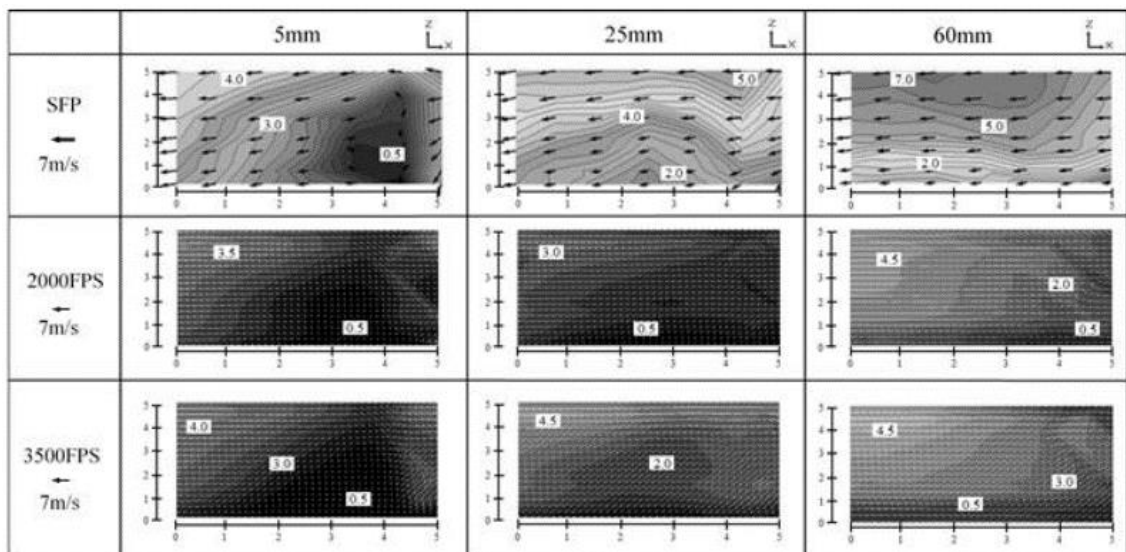


表 9 直接相互相関法



4. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計 6 件）

1. Kazuki Chiba, Tomoyuki Endo : About the acquisition of the wall surface neighborhood wind velocity by PIV International Workshop on Wind Effects on Buildings and Urban Environment, International Workshop on Wind Effects on Buildings and Urban Environment, 2019.3
2. Touya Hiramoto, Tomoyuki Endo : Study about the ventilation flow late increase technique by the wind catcher -Influence to transformation coefficient by shape change, International Workshop on Wind Effects on Buildings and Urban Environment, 2019.3

3. 平本 透也, 遠藤 智行: ウィ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基礎的検討 第 53 回空気調和・冷凍連合講演会, 2019.4
4. 山本 耕平, 遠藤智行, 高橋泰斗: 風洞実験結果を用いたダブルスキン建築の風力換気効果に関する基礎的検討 第 53 回空気調和・冷凍連合講演会, 2019.4
5. 新井 涼太, 遠藤 智行: 風洞実験において単純形状モデルでの PIV 手法を用いたウィンドキャッチャーの換気効果に関する基礎的検討 第 53 回空気調和・冷凍連合講演会, 2019.4
6. 平本 透也, 遠藤 智行: ウィ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 6 形状・位置変更に伴う効果検証 2019 年度日本建築学会大会 (北陸) (発表予定), 2019.9

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. 野中 俊宏 (株式会社 LIXIL・企画推進室・博士 (工学))
2. 塚本 健二 (佐藤工業株式会社・建築研究部・博士 (工学))
4. 水谷 国男 (東京工芸大学・工学部・教授)
5. 高橋 泰斗 (関東学院大学・工学研究科・大学院生)
6. 平本 透也 (関東学院大学・工学研究科・大学院生)
7. 千葉 和希 (関東学院大学・工学研究科・大学院生)

6. 要約(Abstract)

研究課題名: ウィンドキャッチャーおよびダブルスキンの有効利用を目的とした建物近傍の通風ポテンシャル評価に関する研究

研究代表者名 (所属): 遠藤智行 (関東学院大学)

内容・図

住宅における冷房負荷軽減や室内の快適性向上のために自然換気の利用は効果的であると考えられる。しかし、密集した市街地に建つ住宅では通常の壁面開口では十分な通風を得ることが困難であることも少なくない。そのような場合に通風性能を向上させる手法の一つとして、隣棟間に流れる気流を活用するウィンドキャッチャー(以下 WC)の検討がなされている。そこで、本研究では壁面近傍の壁面接線方向動圧の測定と WC 設置有無ごとの開口部風圧測定を行うことで、建物近傍気流の動圧と WC による通風量増加効果の関係性を検討した。また、変換係数を算出することにより、WC の有効利用を目的とした設計手法の提案を目指した。また、近年、外皮熱負荷削減のために用いることが多くなったダブルスキン (以下 DS) も、中間期には、自然換気効果が期待される。しかし、設計段階における DS の自然換気効果には、温度差による重力換気のみを検討していることが多く、実際に建築された状況とは異なることが考えられる。実際には DS の流入面・流出面に風力が作用することによる風力換気が生じることもあると考えられる。特に流出面における開口に外部風の影響を受けないような工夫を施さない場合には、流出面と考えられる開口に屋外風が直接作用することで、重力換気と風力換気が同時に発生し、それらの効果を相殺してしまう可能性が考えられる。そこで、本研究では、DS に作用する風力換気の影響について基礎的な検討を行うため、DS 付属建物モデルを用いた風洞実験を実施し、DS 内のインナースキンに作用する風圧係数について検討を行った。さらに、近年、気流場に直接接触する事無く、同時刻における多点の流速測定を可能とする粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocity : 以下、PIV)への注目が高まっており、これを用いた壁面近傍接線方向風速分布測定を実施した。これまで PIV 解析に関する研究は数多くされてきているが、実用的な精度を有する解析手法が確立されたとは言い難い。ウィンドキャッチャーによる効果を検討するためには、壁面近傍の接線報告風速分布が必要となるが、従来の測定法である風速計を持ちいた計測では、多大な時間と労力を必要としてしまう。しかし、PIV による壁面近傍の接線方向風速分布測定が可能となれば、短時間で多くの知見を得ることが可能となることから、本研究では、風洞設備による PIV の測定精度を評価すると共に、異なる分析手法による検討を実施し、本ケースのような測定に適する分析手法について、検討を行った。