

パッシブ換気機能を有する建築部材の非定常状態における空気挙動に関する実験的研究

—外部風圧変動の換気性能への影響—

Experimental Study on Air Movement in the Architectural Member having Passive Ventilation Functions in an unsteady state

— Effect of Wind Pressure Fluctuation on the Property of Ventilation —

尹 聖 皖 *¹
Seonghwan YOON

梅 干 野 晃 *²
Akira HOYANO

Abstract

This paper describes the experimental visualization airflow in the "Breathing Architectural Member" which was developed by the author, et al. The research employs this member as a test specimen by installing it on the horizontal surface, with two wind tunnels placed over and under the specimens. Using this integrated device, an experiment was conducted to view the air movement inside the member and in the vicinity of the surface. It was confirmed that the air was ventilated even when maximum frequency wind speed was observed in Tokyo and the wind pressure showed positive and negative fluctuation over a short period of time. Moreover, according to visual observation of air movement in the multi-layered air space, it was found that the air was exchanged by the "Breathing Architectural Member" installed on the ceiling when the outdoor wind was weak, a minimum period of 10 seconds was necessary.

キーワード：パッシブ、建築部材、透気、自然換気、断熱、可視化

Key Words: Passive, Architectural Member, Air Infiltration, Natural Ventilation, Thermal Insulation, Visibilization

1. はじめに

我が国の関東以西のような温暖地域^{注1)}では、住宅に必要な断熱性能を満たしていれば、建物外皮のできる限りの面に透気・透湿性を持たせ、部材内部に湿気を溜めずに建物として常に換気をはかれるパッシブ手法が有効である^{注2)}と考える。このような考えを基に、筆者ら^{注1) 注2)}は、外壁や天井などの部材の面が室内と屋外の間で透気機能を持ち、熱・空気・湿気の流れをコントロールできる、「息をする建築部材」と称するパッシブ換気機能を有する建築部材（以下、「息をする建築部材」）を提案した。

この部材では、孔あきアルミシートを用いた多層空気層によるコア部と、コア部と比べて充分透気抵抗が小さい内装・外装を基本構造とする（図1）。この部材では、適用地域に必要な断熱性能を満たしながら、室内外の温度差や外部風圧により、部材の面全体を通じて室内と屋外の間で空気が出入りする。また、部材内部に流入した湿気は速やか

に放出し、内部結露による実害が生じないことを目標としている^{注2)}。

既往研究では、孔あきアルミシートの孔径と孔間隔及び空気層厚さと、透気量との関係に基づいて作成した室内～屋外における1次元の空気・熱・湿気透過量の予測手法^{注2)}を用いて温暖地における部材設計を行った^{注4)}。その試験体を試作し、環境制御室内で東京の冬季の最頻度温湿度条件^{注3)}下における実験を行い、一定透気量の定常状態では目標とした透気・断熱・透湿性能^{注4)}が得られることを確認

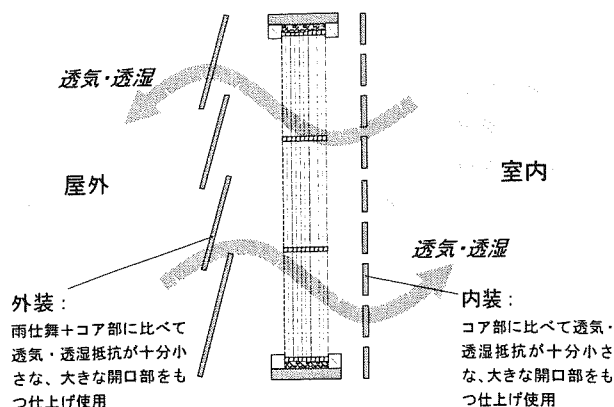


図1. 「息をする建築部材」の基本構造（外壁）

*¹ 独立行政法人 建築研究所環境研究グループ 科学技術特別研究員（〒305-0802 つくば市立原1）

E-mail: yoon@kenken.go.jp

*² 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授・工博（原稿受付：2003年12月8日）

した⁵⁾。部材設計アルゴリズムに定常の換気量予測手法を組み合わせ、東京を事例としたケーススタディーを行い、年間を通して得られる換気量や冬季の暖房負荷^{注5)}の観点から効果的な適用位置や取り付け面積の組み合わせを明らかにした⁶⁾。これらの研究^{2) 4) 5) 6)}によって、定常状態では部材が温暖地に必要な換気、断熱、透湿性能を有することを明らかにした。

さらに、非定常状態における部材性能の検討のために、コア部試験体を外壁2面に取り付けた実物大家屋を環境制御室内に建設し、モデル化された風圧条件下^{注6)}で実験を行った⁷⁾。また内装・外装も含めた外壁の設計を行い、屋外でも実物大実験を行った⁸⁾。その結果、断熱性能と内部結露防止性能の観点からは、冬季の屋外から室内側への一方向で透気が行われる定常状態と比べ、風圧変動により透気方向の変動がある場合、より性能が向上することを明らかにした^{注7)}。

2. 研究の目的及び方法

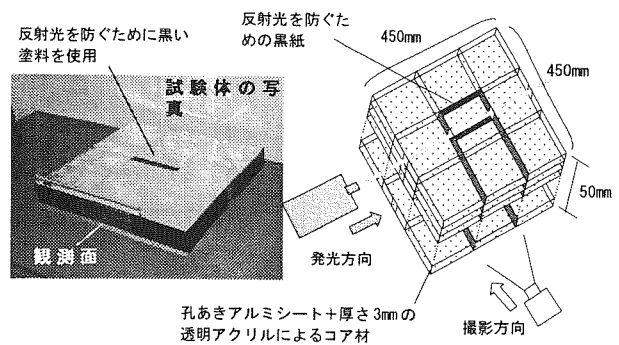
自然風圧変動条件下で、息をするように空気の出入りが発生し、部材の断熱・内部結露防止性能が向上に方向に働くことは、この部材の重要なコンセプトである。そのコンセプトが断熱・透湿性能に関しては有効であることが既往研究^{7) 8)}より確認されたことになる。しかしながら、換気性能に関しては、温度差換気が卓越した時には定常設計時と同様な換気量が得られるものの、中間期の屋外の弱風条件下で風圧換気が卓越した場合には、定常の平均風圧で考えたときの計算値と比べ3割程度減少することが分かっている⁸⁾。これは、適用部位にかかる風圧が比較的短い周期で正負に変動する場合、実際には室内外で空気が入りしなことが原因と推察されるが、より具体的な検討が求められる課題と言える。

風圧変動による換気量減少問題に対応するためには、部材内部の空気挙動についての可視化情報を得ることが重要と考えられる。可視化情報を得る方法としては、数値力学的な方法や実験による方法があるが、径1mm以下の微細孔を通る空気挙動を数値力学的に解析することは非実用的であるため、実験による方法が有効と考えられる。

換気量減少問題が生じやすい条件は、風圧換気が卓越する中間期、外部風圧が比較的弱く、かつ、その風圧の変動周期が短い場合になる⁸⁾。この問題が生じやすいのは、風圧係数が比較的小さい天井面に取り付ける場合となる。また外壁に取り付ける場合、窓等の開口部により取り付け面積に制約が生じるため、建物外皮で最も積極的に適用できるのは天井面と言える。

以上より本研究では、試験体を水平面に設置した状態で部材内部及び表面近傍における空気挙動について可視化実験を行い、風圧変動が部材の換気性能に与える影響を調べることを目的とする。まず外部風圧を周期性があるものと仮定し、①モデル化された風圧変動条件下における部材内

(a) 試験体写真と概要図



(b) 試験体断面詳細図

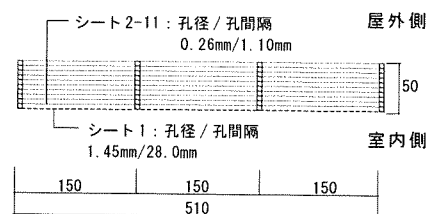


図2. 可視化実験のための試験体

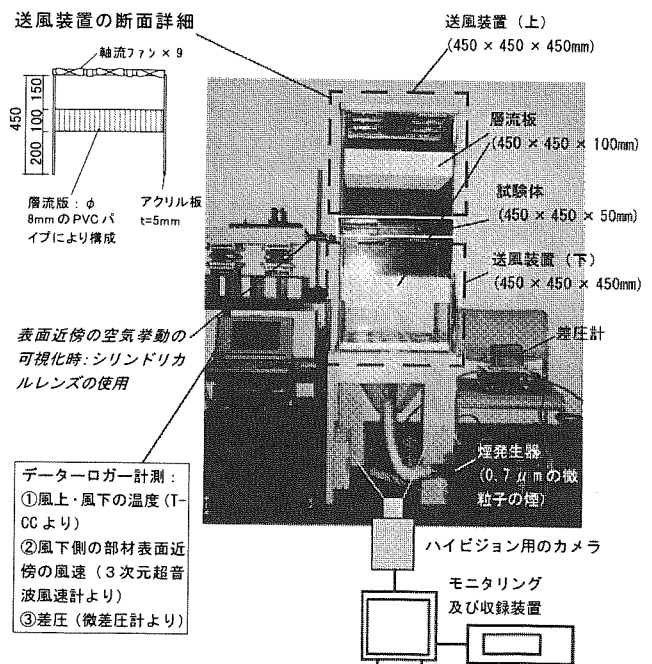


図3. 風洞装置及び可視化装置の概要

の空気挙動を可視化する。さらに、②空気挙動の目視観察より、外気と室内空気の入れ換えが行われるために必要な最小周期を検討する。

3. 可視化実験の概要

3.1 試験体

試験体の写真及び概要を図2に示す。試験体(450×450×50mm)は、既報^{5) 7) 8)}と同様の温暖地仕様^{注8)}である。なお、今回は孔あきアルミシートによるコア部における空

気挙動を把握することが目的であるため、試験体に外装・内装は含まない。

多層空気層の空気挙動を可視化するために、 $5 \times 2\text{mm}$ の透明アクリルを用いて温暖地仕様の 5mm 厚さの空気層10層を作成した。撮影の際にトレーサの背景になる中央部のコア材には黒色の紙を貼り、シート表面の光線が通る部位にも黒色の油性インクを塗ることで、可視化のときにできるだけ良いコントラストが得られるようにした。

3.2 実験装置

1) 風洞装置 試験体に風圧を与えるために図3のような風洞 ($450 \times 450 \times 450\text{mm}$) を用いた。試験体にかかる正負の風圧の変動は、試験体の上下に設置された送風装置により制御できる。上下の送風装置は、それぞれ2台のダイヤル式変圧器により、手で設定風圧変動条件を与えることができる。風洞内では、風圧をかけたときに試験体の面に生じる圧力分布及び、風洞内に生じる乱れをできるだけ防ぐため、9個の小型軸流ファンを設け、内径 8mm のPVCパイプによる層流板 ($450 \times 450 \times 100\text{mm}$) を設置した^{注9)}。

2) 可視化装置 孔あきアルミシートの微細孔を通る空気挙動を可視化するためには、コントラストをできるだけ良くする必要がある。そこで、光源としては比較的強い緑色の固体レーザー^{注10)}を用いた。トレーサ発生にはスモークゼネレータを用いた。トレーサとしては、孔あきアルミシートの孔径が $0.2 \sim 1.5\text{mm}$ 程度であることから、 $0.7 \mu\text{m}$ 程度の微粒子の煙を使用し、影響がないようにした。

3) 収録装置 孔あきアルミシートの $0.2 \sim 1.5\text{mm}$ の微細孔から流出される空気挙動を捉えるために、CCDカメラの4倍の走査線のハイビジョン用カメラを利用した。可視化実験中には、ビデオ撮影と同時にデジタルデータロガーを用い、主に部材にかかる差圧、試験体上部の気流速度等を 10Hz で測定した。

3.3 実験条件

定常の平均風圧で考えたときの設計値と比べ、自然風圧条件下で換気量が減少するのは、部材にかかる外部風圧が比較的短い周期で正負に変動する場合である。そのため、一定周期をもって正負で変動する模擬風圧条件を作成した。まず外部風速条件としては、部材設計時と同様に東京の最大頻度風速である 3m/s を採用した。天井にかかる風圧を圧力仮定法より算出し、 $\pm 1\text{Pa}$ を風圧の最大・最小値にした。 1Pa の風圧では透気量 $6.5\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ が得られ、建物外皮の一面に設置した場合、必要換気量 0.5回/h が得られる値となる。さらに、風圧変動周期設定にあたっては、自然風のパワースペクトルが 0.05Hz 以上で減衰し、 $1 \sim 10\text{Hz}$ 以上の周波数でスペクトルは変動が少ない状態になる⁹⁾ことから、風圧の変動数は 0.05Hz にした。この変動周期を自然風の最も短い周期としてとらえ、以下の考察ではこの風圧変動条件下で一番屋外側シートの孔から空気の流れが

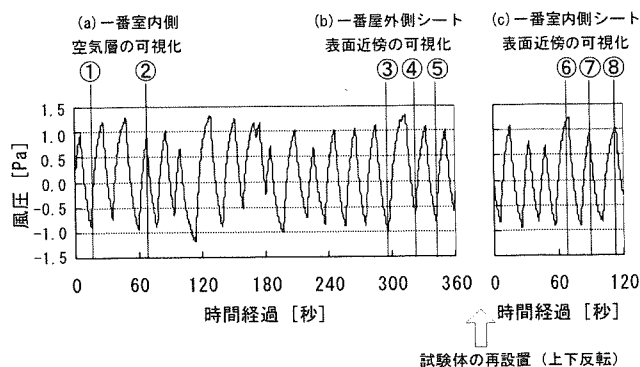
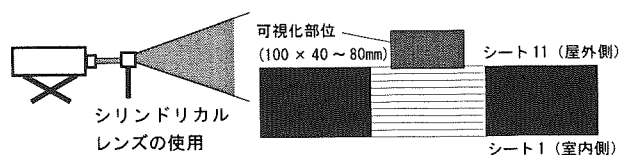


図4. 可視化実験時与えた風圧条件
(弱風(3m/s)条件の 0.05Hz の風圧変動)

(a) 表面近傍の空気挙動の可視化



(b) 多層空気層の空気挙動の可視化

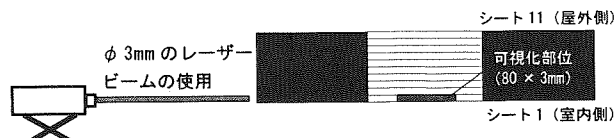


図5. 表面近傍と空気層の空気挙動の可視化方法

るのかを調べることで、風圧変動時の部材の換気性能の有効性を確認する。

図4に可視化実験時に与えた風圧変動の実効値を示す。手で減圧加圧制御を行ったため、風圧の絶対値が $-1.1 \sim +1.3\text{Pa}$ で変動しているものの、可視化結果には影響を及ぼすものではないと考えられる。

今回は、風圧換気時に主眼をおき、風圧変動(動圧)によって生ずる空気挙動の特徴を明らかにすることが目的であるため、部材上下に温度差はつけていない。試験体と実験装置は温度制御が可能な環境制御室内に設置され、実験チャンバ内外の温度を $25^\circ\text{C} (\pm 0.3^\circ\text{C})$ に維持した状態で実験を行った。

3.4 実験方法

図5は表面近傍と多層空気層の空気挙動を可視化するためのそれぞれの方法を示している。まず表面近傍の空気挙動を可視化するためには、シリンドリカルレンズを用いたレーザーシート法を用いた(図5(a))。また孔あきアルミシートにより構成される 5mm の空気層における空気挙動を可視化するためには、光学系を用いず $\phi 3\text{mm}$ のレーザービームを利用した(図5(b))。ビームをそのまま利用することにより、可視化写真に奥行き方向の空気挙動が合成され写ることになるが、部材断面方向の空気挙動が支配的であるため、その影響は無視できる程度のものと考えられる。

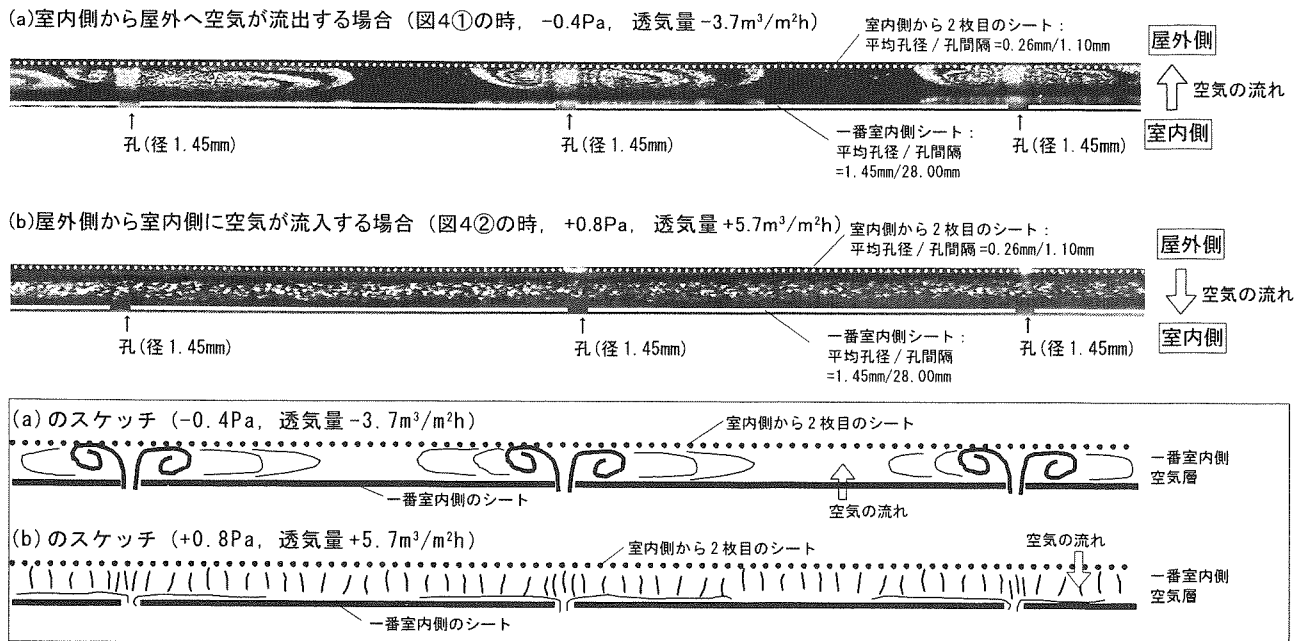


図8. 透気方向による一番室内側空気層における空気挙動変化

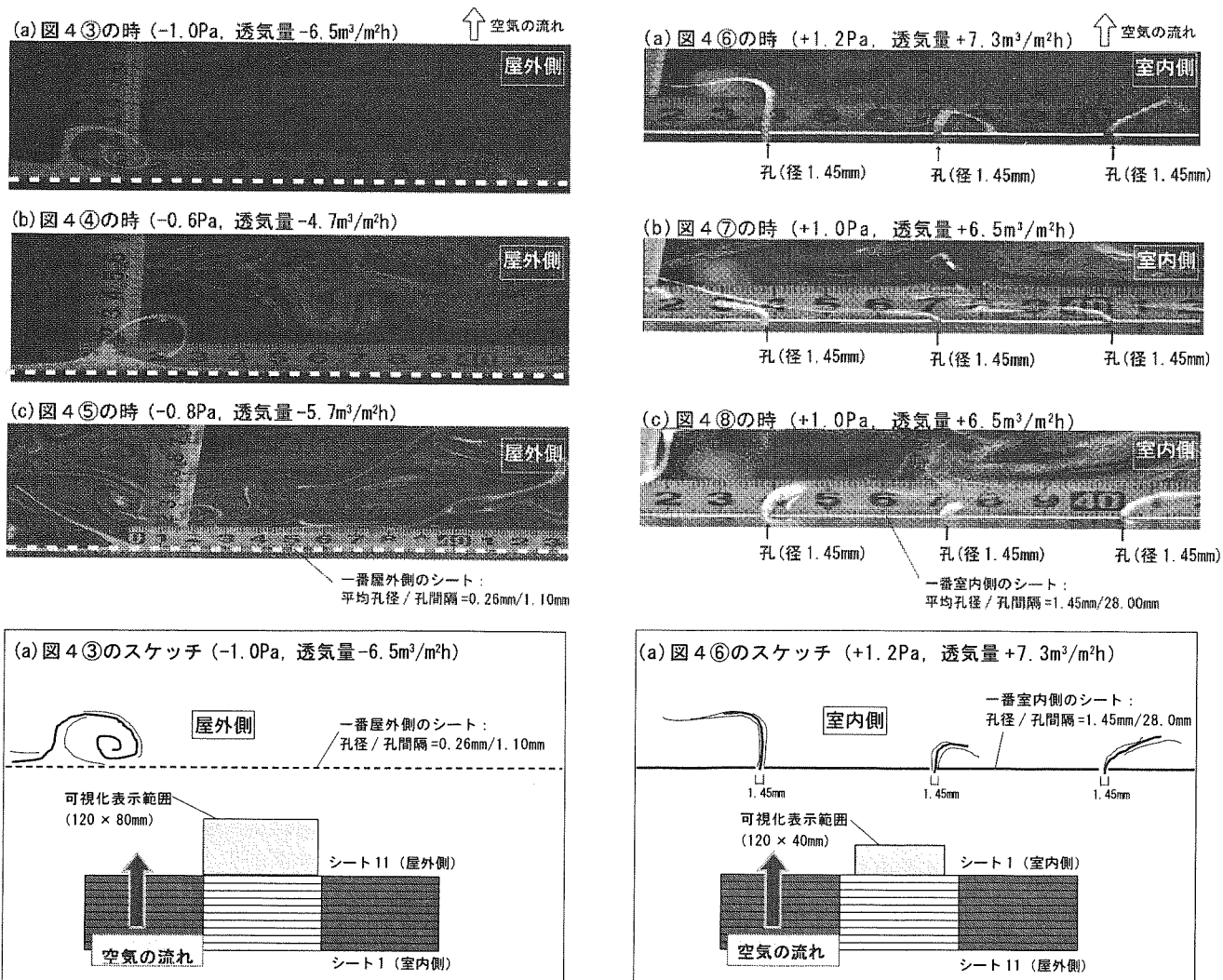


図9. 屋外側のシート表面近傍における空気挙動

図10. 室内側のシート表面近傍における空気挙動

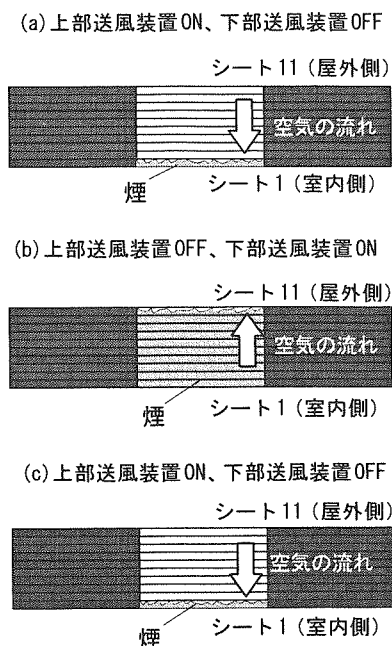


図 1.1. 新鮮な空気の入れ替えが行われる風圧変動周期検討のための風圧制御方法

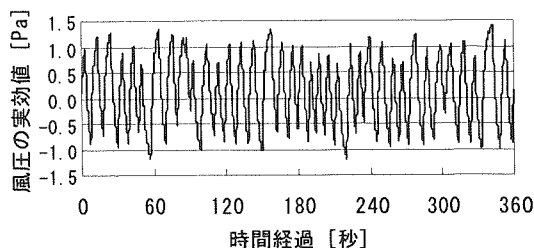
4. 空気挙動からの透気特性の把握

4.1 多層空気層内における空気挙動

「息をする建築部材」では、内部結露防止の観点から一番室内側シート（以下、シート1）の開口を換気のための必要最小限まで絞り、さらに透湿係数も小さくなるような孔径として、それ以外（室内側から2～11枚目）のシート（以下、シート2～11）の開口は大きく設け、放湿を優先させる構造になっている。そのため、一番室内側空気層では、透気抵抗が異なるシートを境界として持つため、透気方向によって異なる空気挙動を示すと考えられる。その一番室内側空気層の可視化画像および、可視化部位、空気挙動の特徴を描いたスケッチ等を図8に示す。

図8(a)は、風圧が -0.4Pa （透気量 $-3.7\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ）になった瞬間（図4の①）の可視化画像である。空気が室内側から屋外へ流れるとき、一番室内側空気層では、比較的孔径が大きいシート1の孔から噴流の形で空気が流入し、上部のシート2の抵抗によりシート1の孔を中心に双子渦が発生する。双子渦発生を透湿性能の観点から考えると、室内側から屋外へ湿気が流出される際に時間遅れを生じさせ、冬季の風圧変動による内部結露発生を抑制する方向で働くことになる。その一方、換気性能の観点から考えると、室内側の汚染物が屋外に排出される際にはこの空気層で空気移動に時間遅れが生じ、汚染物が溜まることにより換気機能の低下を引き起こすと考えられる。しかしながら、このような双子渦発生は、(+)風圧をかけはじめてから数秒間だけの現象であり、その後は渦が横側に拡散され、渦を中心に空気の溜まる現象は解消される。

(a) 風圧変動の実効値



(b) 風圧変動のパワースペクトル

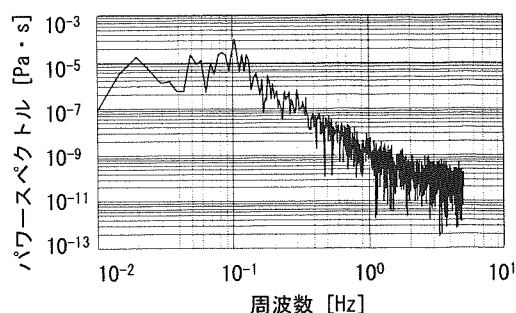


図 1.2. 新鮮な空気の入れ替えが行われない風圧変動（最大瞬間風速 3m/s の時）

図8(b)は、風圧が $+0.8\text{Pa}$ （透気量 $+5.7\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ）のときの（図4の②）可視化画像であり、空気が屋外側から室内に流入する場合となる。空気層全体において、比較的均一な分布を示しており、このような傾向は風圧が(+)から(-)に変化した場合でも同様であった。

一方、その他の空気層（一番室内側空気層以外）では、透気方向や風圧の大きさに関わらず、図8(b)のように比較的均一な分布を示し、渦による空気の部分的な溜まりはみられなかった。なお、今回は中間期の風圧換気に主眼をおき、浮力の影響は考慮してない実験であるが、空気層はコア材で区切りられ（ $150 \times 150\text{mm}$ ）、密閉されていること、またその中の温度差による浮力の影響は断面方向の風圧によるものと比べると小さいことから、冬季の鉛直壁に適用した場合でも同様な現象を示すと考えられるが、詳しくは今後の課題とする。

4.2 部材表面近傍における空気挙動

図9は、室内側から外へ空気が排出される時（風圧 $-0.6 \sim -1.0\text{Pa}$ 、透気量 $-4.7 \sim -6.5\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ）の一番屋外側シート表面近傍における空気挙動の可視化画像である。まず、(a)と(b)をみると、シート表面で剥離が生じ、波形の渦が発生していることが分かる。このような渦は、シート表面の圧力分布によって面方向で移動しながら上空へ拡散していく。このような波は上空の乱れによって拡散され、上空の外気に混合される（図9(c)）。実験時の一番屋外側シートにおける流速は数 cm/s であるが、比較的速い上空の $0.2 \sim 0.3\text{m/s}$ の流れによって速やかに拡散が行われ、拡散されたものがシート面に再付着することはみられなかった。換気の目的が室内汚染空気と新鮮な外気の入れ換えで

あることを考えると、一旦外へ排出された室内汚染空気がシート面に再付着し、再び部材の中に戻らないことは重要である。

図10は、屋外から室内側に空気が流入するとき（風圧 $+1.0 \sim +1.2\text{Pa}$ 、透気量 $+6.5 \sim +7.3\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ）の一番室内側シートにおける空気挙動を可視化したものである。(a)～(c)の全体的な傾向として、孔から出た空気は、質量を持った一つの「塊」として挙動し、再び孔へは戻らず、徐々に慣性を失いながら空間に拡散している。屋外側と同様、一旦室内側に流入した新鮮な外気が外へ排出される現象は発生しないことが分かった。

5. 自然換気機能が有効になる風圧変動条件

前章で室内側の空気が屋外に排出される際、一番室内側空気層で発生する双子渦により、空気移動に時間遅れが生じ、換気機能の低下を引き起こす可能性があることを述べた。その他にも「息をする建築部材」では、多層空気層の部材厚さによって空気移動に時間遅れが生じると考えられる。すなわち、風圧が非常に短い周期で変動する場合、新鮮な外気が室内に届く前に、透気方向の変化により再び外に戻ってしまい、新鮮な空気の入れ替えが行われないことが考えられる。これは既報⁸⁾において、屋外の弱風条件下の風圧換気時、実際の換気量が定常の計算値より減少した主な理由である。そこで本章では、屋外の新鮮な空気が室内に届くために必要な最小周期についての検討を行い、今後の換気設計時の基礎資料にする。

新鮮な空気の入れ替えが行われる風圧変動周期検討のための実験では、煙が一番室内側空気層から一番屋外側空気層まで往復するよう、多層空気層における空気挙動を目視で確認しながら手動で風圧を調節した（図11）。風圧の最大・最小値は、前章の可視化時と同様、 $\pm 1\text{Pa}$ （ 3m/s 想定、透気量 $6.5\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ）を目標値とした。一番室内側空気層から一番屋外側空気層まで煙が往復を繰り返し、換気が行われないときの風圧変動条件を図12に示す。(a)風圧変動では、10秒程度の変動周期を示した。また、(b)パワースペクトルにおいても 0.1Hz の周波数でピークが現れ、その以上の周波数で減衰する傾向を示した。今回は部材を天井面に適用することを想定して実験を行ったが、外壁などの鉛直面の場合は風圧係数が数倍以上大きくなるため、今回の条件が最も厳しい条件になると言える。従って、東京の最大頻度風速条件下（ 3m/s ）で最小10秒以上の風圧の変動周期があれば、部材を介して新鮮な空気の入れ替えが行われることが分かった。

6. まとめ

本研究では、筆者らが開発した孔あきアルミシートによる多層空気層構造の「息をする建築部材」を対象に、試験体を水平面に設置した状態で試験体上下に設置された2つ

の風洞装置を用い、部材内部の空気挙動についての可視化実験を行い、風圧変動が部材の換気性能に与える影響を調べた。以下に得られた知見を示す。

- 1) 多層空気層及び部材表面における空気挙動の可視化より、東京の最大頻度風速条件（ 3m/s ）下で、風圧が自然風の比較的短い周期（ 0.05Hz ）で正負に変動する場合でも換気が行われることを確認した。まず、多層空気層の空気挙動可視化より、一番室内側空気層では、風圧変動時に最初数秒間にわたって部分的な空気の溜まりが観察されるものの、その他の空気層では、空気挙動は均一な分布をみせ、空気が部分的に溜まる現象は発生しないことを述べた。さらに、部材表面の空気挙動可視化より、室内外において一旦排出された空気が再び部材内部に戻ることはないことを示した。
- 2) 多層空気層内の空気挙動の目視観察より、弱風時に天井面に設置された部材を介して新鮮な空気の入れ替えが行われるためには、最小10秒以上の周期が必要であることが分かった。

注

- 1) ここでは、関東以西地域（山岳地は除く）のように、冬季に外気温が継続的に氷点下とならないまでも暖房を必要とする地域を言うこととする。
- 2) 内部結露防止の観点から1枚目（一番室内側）シートの開口を換気のための必要最小限まで絞り、さらに透湿係数も小さくなるような孔径として、それ以外（2～11枚目）の開口は大きく設け、放湿を優先させる構造になっている。これは、内部結露が最も懸念される冬季において、高湿の室内空気が流出する時、一番室内側のシートの透湿抵抗を大きくして室内からコア部への湿気流入を押さえる。そして、それ以外のシートについては透湿抵抗を小さくして外気へ速やかに放湿し、冬季の高湿の室内空気が流出することによる内部結露発生を防ぐためである。なお、このように主に冬季中心の内部結露対策構造を採用したことで、夏季には最も室内側のシートの裏側で内部結露が生じる可能性が高くなる。しかしながら、室内外温湿度差がより大きい冬季に比べると、内部結露発生の可能性は少ない。夏季の内部結露発生の頻度がそれほど高くないことは、数値シミュレーションや夏季の屋外実験結果⁸⁾からすでに確認済みであるが、より詳細な結果については、長期実験結果の一部として今後報告を行いたい。
- 3) 代表的な条件として、部材設計条件と同様の外気条件 $5^\circ\text{C}/60\%$ 、室内 $25^\circ\text{C}/60\%$ を設定した。
- 4) 既報^{3) 4)}では、定常的な計算手法により、温暖地を対象とした部材設計を行った。コア部設計の際の目標性能は、①無風時、室内外温度差 20°C で必要換気量 0.5回/h 以上が得られる、②透気が行われていない状態で熱コンダクタンス $0.4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ の断熱性能が得られる、③外部風速 10m/s まで内部結露が発生しないことである。
- 5) 部材の換気性能、断熱性能は、適用部位や適用面積などによって異なる。既往研究⁷⁾では、東京を事例としたケーススタディーを行い、 $\alpha 10\text{cm}^2/\text{m}^2$ の部材を外壁2面と天井に用いた場合と、 $\alpha 10\text{cm}^2/\text{m}^2$ の部材を外壁2面に用いた場合、 0.5回/h 以上の必要換気量が得られながらも次世代省エネ仕様の住宅と比べ、33%～40%程度の暖房負荷削減効果が得られることを確認している。
- 6) コア部の試験体を外壁に取り付けた実物大実験家を環境制御室内に設置し、室内を暖房した条件下で無風条件から弱・強風の風圧を与えた。
- 7) 既往⁸⁾より、自然風圧条件下では、冬季の屋外から室内側への一方向で透気が行われる定常状態と比べ、風圧変動で透気方向の変動がある場合、断熱性能が10～20%高くなることを明らかにした。また、瞬間的に結露が生じることが起こっても、自然風圧が正負に変化しているため、数分以上の継続的な内部結露発生はないことが確認されている。
- 8) 既報^{4) 5)}における温暖地用コア部の仕様は、孔あきアルミシートの両面の放射率が0.1以下、室内側から1枚目のシート（シー

- ト1)の平均孔径/孔間隔が1.45mm/28.0mm, 2枚目以後のシート(シート2-11)が0.26mm/1.10mmである。これらの2タイプの孔あきアルミシート11枚と158×182mmに組んだ5×5mmのコア材により、5mmの空気層を形成する。
- 9) 風洞装置に層流板を設置することにより、送風時の風洞チャンバ内における気流の乱れが小さくなることを確認するために、層流板を設置した状態と設置していない状態における風洞チャンバ内の風速を超音波風速計を用いて測定した。その結果、層流板を設置することにより、乱れが64～73%程度を小さくすることが分かった(チャンバ内の平均風速:0.3～2.2m/s)。
- 10) 固体レーザーのYAG(イットリウム-ネオジウム-ガーネット)の発振波長1064nmの倍波成分(二次高調波)で約532nm(緑色)である。
- 4) Hoyano, A., Sugawara, M. and Sato, E.: Proposal of a Breathing Wall as an Architectural Member for a Passive Solar System in a Temperate and Humid Climate Region, Proceedings of Pan Pacific Symposium on Building and Urban Environment Conditioning in Asia (Nagoya, JAPAN), Volume 1, pp. 43-52, 1995-3
- 5) Seonghwan Yoon and Akira Hoyano: Passive Ventilation System That Incorporates a Pitched Roof Constructed of Breathing Walls for Use in a Passive Solar House, Solar Energy, Journal of the International Solar Energy Society, Volume 64, Nos 4-6, pp. 189-195, 1998-12
- 6) 尹聖皖, 梅干野晃, 五内川和正:「息をする壁体」の住宅への適用に関する研究 外壁及び天井に用いたケーススタディーによる年間換気性能と冬季熱性能の評価, 日本太陽エネルギー学会論文集, Vol. 26, No. 6, pp. 35-42, 2000-11
- 7) 尹聖皖, 梅干野晃, 五内川和正: 外部風圧が「息をする壁体」内部の熱, 湿気移動に与える影響 「息をする壁体」の自然換気・断熱・透湿性能に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, pp. 67-74, 2000-5
- 8) 尹聖皖, 梅干野晃: 屋外における実物大実験による「息をする壁体」のパッシブ換気機能の有効性の確認 「息をする壁体」の自然換気・断熱・透湿性能に関する研究 その2, 日本建築学会計画系論文集, pp. 115-122, 2002-6
- 9) 山中俊夫: 自然風の乱れを考慮した風力換気計画法に関する研究, 大阪大学, 博士論文, 1993-11

引用文献

- 1) 梅干野晃, 菅原正則, 佐藤絵里, 安形昇司: アルミ箔による多層空気層の建築部材としての再評価とその熱的特性 「息をする壁体」の開発 (1), 日本建築学会計画系論文集, pp9-15, 1995-9
- 2) 菅原正則, 梅干野晃, 佐藤絵里, 作間秀樹: 孔あきアルミシートで構成された多層空気層による建築部材の提案と空気・熱・湿気透過量の計算方法に関する検討 「息をする壁体」の開発 (2), 日本建築学会計画系論文集, pp. 43-48, 1997-9
- 3) 朴天吉, 梅干野晃, 尹聖皖: 温暖地を対象とした「息をする壁体」のパッシブ住宅への応用 その8 梅雨期～夏季におけるパッシブ換気機能の有効性, 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集, D-2 環境工学Ⅱ, pp. 235-236, 2001-9