

タービンベンチレーターの大きさと開口部面積による自然換気性能の検討

Experimental Study on the Performance of Natural Ventilation by Turbine Ventilator Size and Opening Size

宋 城基*¹
Sung-Ki SONG

Abstract

This study examined the natural ventilation performance by the turbine ventilator size and the opening size. As a result, it was found that in turbine ventilator of 14 inch or more, there is not difference in the ventilation rate by the size of the turbine ventilator. And it was found that the ventilation rate is increased regardless of the size of the turbine ventilator, the area of the opening becomes larger. Also, when the turbine ventilator in the building in Hiroshima installed, it was found that the ventilation rate can be secured many a long time in the interim period.

キーワード：タービンベンチレーター、大きさ、開口部、風速、実験

Key Words: Turbine Ventilator, Size, Opening Area, Wind Velocity, Experiment

1. はじめに

2011 年東日本大震災により太陽エネルギーや風エネルギー、地下熱などの自然エネルギー利用への関心が一層高まった。また、ビルや住宅などの民間部分の省エネルギーへの取り組みがより活発となった。このような背景から建物における自然換気の有効方法として温度差換気と風力換気が注目されている。

自然換気システムとして東南アジアとアメリカ、オーストラリアなどの温暖地域では戸建て住宅や工場などにタービンベンチレーターが多く用いられている。このタービンベンチレーターは、外気風により回転し、その回転により屋根裏空間あるいは室内空間の換気を行う自然換気システムである。韓国ではマンション^{注1)}の台所や浴室の集中排気システムの排気ダクト頂部に逆流防止と雨よけとして使っている。近年日本でも排気ファンの動力が不要で二酸化炭素の排出もないことや音が静かである理由で病院や公共施設、工場などに採用した例¹⁾がある。

このタービンベンチレーターの自然換気に関する研究は少なく、Dale²⁾らは直径 12 インチ (約 0.3m) のタービンベンチレーターを屋根上部に設置したフィールド実験で、タ

ービンベンチレーターの設置により換気量は約 15%増加し、屋根裏の開口面積を増やすと換気量は増加するが、開口面積は一定以上になると換気量の増加が見られなくなることを示した。Chi-Ming Lai^{3), 4)}らは風速 10m/s 以上の風洞実験により、タービンベンチレーターを設けると換気量は約 2 倍増加し、その換気量は風速とともに増加することを示した。著者はタービンベンチレーターが設置されている建物の現場実測⁵⁾により、タービンベンチレーターは回転さえすれば、逆流は生じず、その自然換気は室内外温度差が最も影響度が高く、その次に外気風速であることを示した。また、14 インチのタービンベンチレーターを用い、風速 4m/s 以下における実験⁶⁾では、開口部の面積が大きくなると外気風速とともに換気量が増加することを示した。ところが、いずれの研究においてもタービンベンチレーターの大きさと開口部の面積を両方考慮し、外気風速による換気性能の検討は行われていない。

そこで、本研究ではタービンベンチレーターの大きさの違いとタービンベンチレーターの開口部を除いた換気対象空間の開口面積の大小による換気性能を明確にすることを目的とし、実用的な外気風速として 4m/s 以下を想定し、3 種類の大きさにおけるタービンベンチレーターの換気性能について検討した。また、広島の外気風速の気象データを用い、タービンベンチレーターを設けた際の年間の換気量についても検討した。

*1 広島工業大学環境デザイン学科准教授 (〒731-5143 広島市佐伯区三宅 2-1-1)
e-mail: s.song.wt@it-hiroshima.ac.jp
(原稿受付：2013 年 7 月 23 日)

2. 実験装置と実験概要

図1に示すように実験装置は、送風部分と整流部分及び測定部分からなっている。送風部分は8台のシロッコファンを利用し、整流部分の出口風速が一定風速になるようにコントロールできるようになっている。また、整流部分は出口の断面風速が均一になるように整流部分の中に整流格子を設けた。さらに、測定部分は0.9m(幅)×0.9m(奥行き)×1m(高さ)の陸屋根の換気対象空間があり、その上部中央にタービンベンチレーターを設置した。換気対象空間の屋根にはタービンベンチレーターを取り替えられるようにし、その側壁には正方形の給気口を設け、この給気口(以下、開口部)も取り替えられるように製作した。なお、風下側の壁全面は透明アクリルで製作し、空気の流れが観察できるようにした。

図2に示すように、実験に用いるタービンベンチレーターは9インチ、14インチ、20インチの3つの大きさのものである。外から見るとタービンベンチレーターは大きさにより羽の枚数は異なるが、小さいサイズから15枚、24枚、35枚の羽が時計方向に中央から外へ曲線を描きながら付着しており、あらゆる外気風向に対して外気風速さえあれば常に時計方向に回転できるように作られている。また、内部は細長い3本以上の支持材と支持材の上部中央には回転軸が設置され、支持材と回転軸の間には回転用のベアリングがあり、回転時には支持材以外の上部すべてが回転する仕組みとなっている。

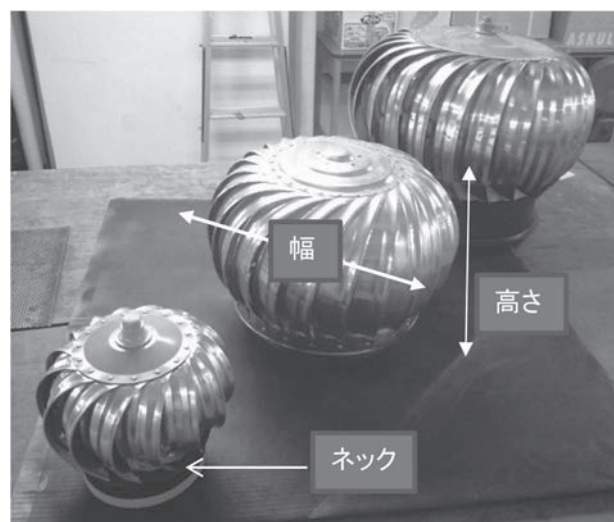
図3に示すように実験装置の計測は、整流部分の出口中央と換気対象空間の開口部にそれぞれ常設風速計1台ずつを設置した。ここで、予備実験^{注1)}により整流部分の出口断面風速分布が均一であることを確認した。また、換気対象空間には内部発熱となる物体はないが、温度差換気の有無を確認するため、整流部分と換気対象空間の中央に1点ずつ熱電対を設けて気温の測定も行った。実験の計測項目と計測装置を表1に示す。すべての測定項目に対して計測とデータ収集は1秒間隔で行った。

表2に示すように実験は3つの大きさのタービンベンチレーターを用いて外気風速と開口部による換気性能を調べるため、開口部面積を 0.01m^2 ($0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$)、 0.02m^2 ($0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$)、 0.2025m^2 ($0.45\text{m} \times 0.45\text{m}$)の3つ設定した。また、外気風速は $0.5 \sim 4\text{m/s}$ に変えた場合について想定した。従って、今回の実験はタービンベンチレーターが外気風速に対して自由に回転する実験を計42ケース行った。

実験は人工で作り出す一定方向の気流^{注2)}以外の気流の影響を避けるため、実験室内で行った。また、すべての実験ケースにおいて換気対象空間の空気流れの確認のため煙による可視化も同時に行った。なお、実験は各開口部面積において、開口部の中央に設置した風速計の風速が一定になるまで行い、この風速が一定になる状態を定常とした。



Fig.1 Experiment equipment



	幅 [mm]	高さ [mm] (ネック部分除く)	ネック [mm]	羽枚数
9インチ	230	160	170	15
14インチ	360	260	300	24
20インチ	510	390	450	35

Fig.2 Turbine Ventilator (9, 14, 20 inch from the left)

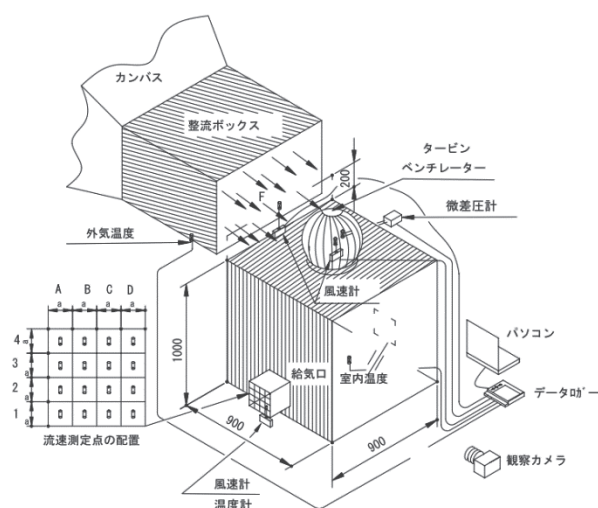


Fig.3 Measuring device

Table 1 Measurement items and Measuring device

測定場所	測定項目	測定数	測定 間隔	測定装置
整流 部分	中央風速	1	1秒	熱線風速計(リオン製 Tr微風速計AM-05)
	断面風速分布	50	1秒	熱線風速計(日本カノマックス製 ANEMOMASTER MODEL 6511)
	空気温度	1	1秒	T型熱電対(φ0.5mm)
換気対象 空間	給気口風速	1	1秒	熱線風速計(リオン製 Tr微風速計AM-05)
	給気口断面風速	4~16	1秒	熱線風速計(日本カノマックス製 ANEMOMASTER MODEL 6511)
	空気温度	1	1秒	T型熱電対(φ0.5mm)
	可視化	1	-	煙発生器(Guma Oshio製、Smoke Jet SJ-1001)
タービン ベンチレーター	ネック部分の差圧 (整流と逆流確認用)	1	1秒	微差圧計(OKANOWORKS製、デジタルマイクログラムANEMOMASTER DP-20A)

Table 2 Experiment case and Experiment condition

ケース	タービンベンチレーター ター大きさ	給気口面積[m ²]	外気風速[m/s]
CASE1	20インチ	0.01, 0.04, 0.2025	0.5, 1.0
CASE2	14インチ		2.0, 3.0, 4.0
CASE3	9インチ	0.01, 0.04	0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5, 4.0

3. 実験結果

ここで、整流部分と換気対象空間の気温はすべてのケースにおいて両方ともに同じ温度であったため、今回行ったすべての実験は温度差換気の影響が無い結果である。また、すべての実験結果は各開口部の中央に設置した風速計の風速がすべて定常となった時の結果である。

3.1 タービンベンチレーター大きさによる換気量

図4に換気対象空間の開口部面積に対する外気風速によるタービンベンチレーターの換気量を示す。まず、タービンベンチレーターは外気風速とともに換気量は増加し、開口部面積が大きくなると換気量はさらに増加することがわかった。また、開口部の面積が大きくなるとタービンベンチレーターの大きさにかかわらず、換気量は増加する結果であった。特に、20インチと14インチのタービンベンチレーターは開口部面積が増加しても外気風速が同じであれば、両方の換気量はほぼ同じであり、大きさによる換気量の違いは見受けられなかった。また、20インチと14インチのタービンベンチレーターは開口部面積が0.01 m²から0.04 m²と4倍に大きくなると同じ外気風速に対して換気量は約2.6倍増加し、開口部面積が0.01 m²から0.2025 m²と約20倍に大きくなると同じ外気風速に対して換気量は約5.5倍増加する結果であった。このことから14インチ以上のタービンベンチレーターでは開口部面積がある一定面積まで外気風速に対して換気量は増加するが、それ以上の面積では換気量のさらなる増加は見込めないことが予測できる。

ところが、9インチのタービンベンチレーターは14インチと20インチの両タービンベンチレーターに比べ、開口部面積が0.01 m²と小さい場合換気量は約25%少なく、開口部面積が4倍増える0.04 m²の場合換気量は約12%少な

くなる結果であった。このことから14インチ以上のタービンベンチレーターではその大きさと関係なく外気風速に対する換気量はほぼ同じであるが、9インチ以下のタービンベンチレーターではその大きさが小さいほど換気量が減少することが推測できる。また、小さいタービンベンチレーターにおいても開口部の面積が大きくなると大きいタービンベンチレーターとの換気量の差は小さくなることが推測できる。

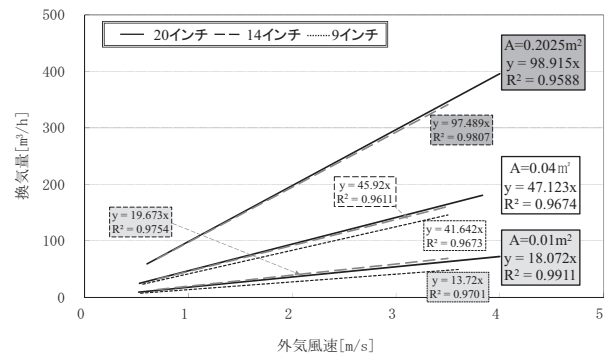


Fig.4 Ventilation rate against to the wind velocity

ここで、Chi-Ming Laiの研究結果をみると、風速10m/s以上では風速30m/sまでに変化させても20インチと14インチの大きさでは両方の換気量はほぼ同じであり、この二つの大きさにおいて換気量はその大きさによる違いがほぼないことを示した。これは、風速4m/s以下の本実験と同様な結果である。また、Chi-Ming Laiは6インチの大きさに対して20インチのタービンベンチレーターの換気量は約1.5倍以上の多くなる結果を示した。これは、9インチに対して20インチのタービンベンチレーターの換気量が開口部面積0.01 m²で約1.4倍、開口部面積0.04 m²で約1.2倍多くなる本実験と同様な結果である。以上のことから外気風速が4m/s以下においても10m/s以上においてもある大きさ以上、特に今回では14インチ以上、のタービンベンチレーターでは大きさによる換気量の違いはほとんどないことが確認できた。

3.2 開口部面積と換気量の関係

タービンベンチレーターと開口部の大きさを検討するため、図5に示すように開口部面積と換気量比例の係数を求めた。ここで、換気量比例係数とは開口部面積に対する外気風速と換気量の関係を示す係数であり、これは図4に示す近似式の傾きである。また、14インチにおける開口部面積0.09 m²と0.1225 m²に対する換気量比例係数は同じ実験装置を用いた既往の実験結果のデータ⁵⁾を用いた。ここで、開口部面積0.09 m²と0.1225 m²以外の開口部面積における14インチの換気量比例係数は既往の実験結果と今回の実験結果がほぼ同じであり、その差は約1%程度であった。従って、既往のデータの一部を用いても近似式はほぼ変わらないと考えられる。

直線近似と多項式近似および対数近似を検討した結果、

3 つの近似のうち、相関係数が最も高い対数近似を採用した。この対数近似結果から、20 インチと 14 インチのタービンベンチレーターにおいて換気量比例係数は開口部面積がそれぞれ約 2.6 m²と約 2.2 m²以上では 1 未満となるため、換気量比例係数は開口部面積が 2 m²程度で一定になるものと思われる。すなわち、20 インチと 14 インチのタービンベンチレーターにおいて開口部面積が約 2.6 m²と約 2.2 m²までは外気風速の増加とともに換気量はさらに増加できるが、それ以上の開口部面積では外気風速が増加してもさらなる換気量の増加は見込めないことが予測できる。これは Dale らの屋根裏換気量と開口部面積の関係を示した結果と同様である。

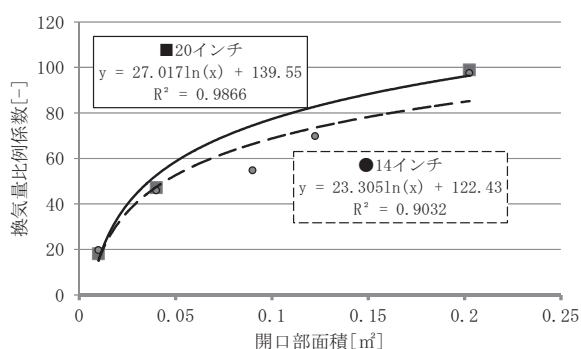


Fig.5 Proportionality coefficient of ventilation rate against to the opening area

4. 広島における 20 インチタービンベンチレーターの換気量検討

広島に 20 インチのタービンベンチレーターを設置した場合の風力換気による換気量について検討した。建物の規模や大きさは限定せず、開口部面積 0.04 m²と開口部面積 0.2025 m²の建物を想定した。なお、外気風速は 2012 年度気象庁が観測した時間データ⁷⁾ (注 4)を用い、今回実験で得た図 4 の近似式から換気量を求めた。

図 6 に広島の月別外気風速を示す。各月における最大外気風速は 7.6~13.2m/s であり、月平均外気風速は 2.6~4.3m/s であった。

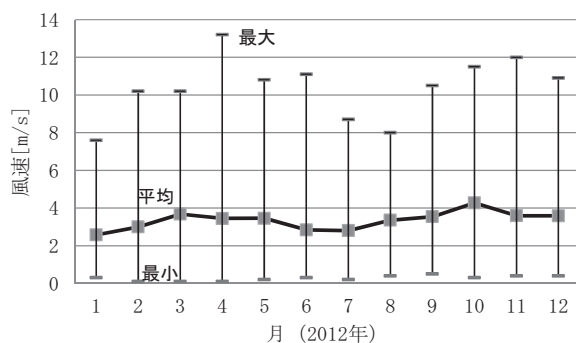
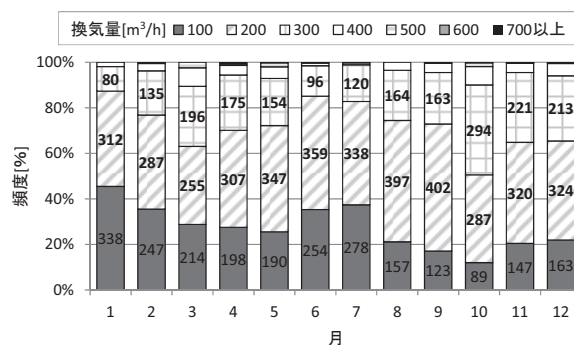


Fig.6 Monthly average wind velocity in Hiroshima (2012)

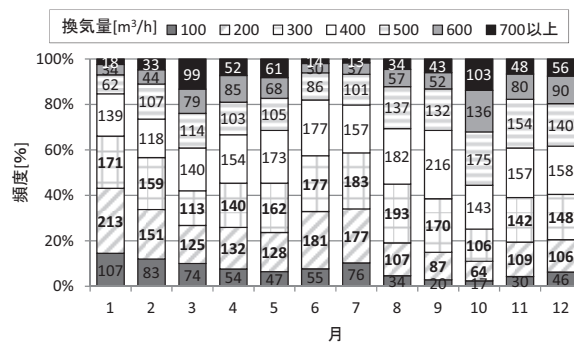
ここで、年間最大外気風速を示す 4 月の 13.2m/s 時の開口部面積 0.04 m²と 0.2025 m²の換気量はそれぞれ 622 m³/h と 1,306 m³/h であった。

図 7 に各月別の開口部面積による換気量の出現頻度を示す。まず、開口部面積 0.04 m²における換気量の出現頻度を見ると、最大換気量 622 m³/h が現れる 4 月における換気量 500 m³/h 以上の時間割合は約 1%であった。5 月 6 月 10 月 11 月 12 月は 600 m³/h 以上の換気量は現れないが、400 m³/h 以上の換気量の時間割合は 1~10%であった。また、2 月 3 月 7 月 9 月は 500 m³/h 以上の換気量は現れないが、300 m³/h 以上の換気量の時間割合は 1~11%であった。さらに、1 月と 8 月は 400 m³/h 以上の換気量は現れないが、200 m³/h 以上の換気量の時間割合はそれぞれ 13%と 26%であった。ここで、200 m³/h 以上の換気量が確保できる時間割合をみると、1 月が一番少ない 13%で、11 月が最大の 49%であった。

次に、開口部面積 0.2025 m²における換気量の出現頻度を見ると、最大換気量 1,306 m³/h が現れる 4 月における換気量 1,300 m³/h 以上の時間割合は 1%以下であった。10 月と 11 月は 1,200 m³/h 以上の換気量は現れないが、1,000 m³/h 以上の換気量の時間割合は 1%以下であった。また、2 月 3 月 5 月 6 月 9 月 12 月は 1,100 m³/h 以上の換気量は現れないが、800 m³/h 以上の換気量の時間割合は 1~3%であった。さらに、1 月 7 月 8 月は 800 m³/h 以上の換気量は現れないが、600 m³/h 以上の換気量の時間割合はそれぞれ



(a) Opening area: 0.04 m²



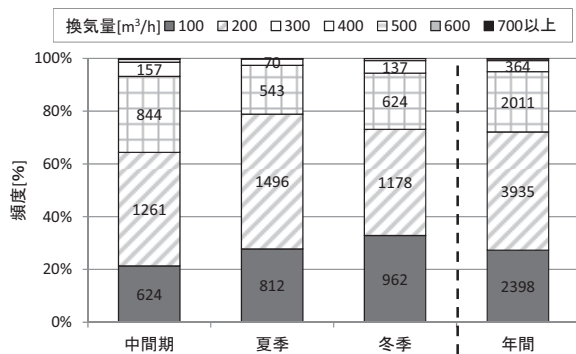
(b) Opening area: 0.2025 m²

Fig.7 Frequency of monthly ventilation rate

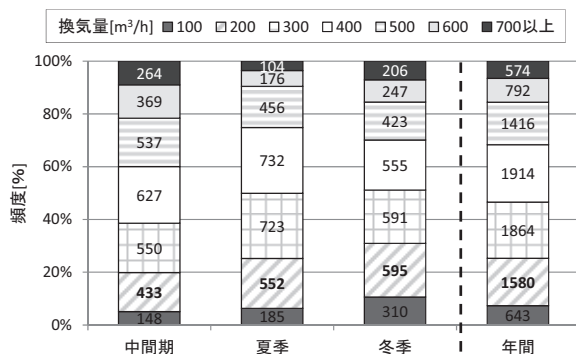
れ 2%、2%、5%であった。ここで、600 m³/h 以上の換気量が確保できる時間割合をみると、1 月が一番少ない 2%で、10 月が最大の 14%であった。また、開口部面積 0.04 m²同様に 200 m³/h 以上の換気量が確保できる時間割合をみると、1 月が一番少ない 57%で、10 月が最大の 89%であった。このことから開口部面積が 0.04 m²から 0.2025 m²に約 5 倍大きくなると、200 m³/h 以上の換気量の確保時間は 1 月が約 4.5 倍、10 月が約 1.8 倍に増えることがわかる。

図 8 に冬季(12 月～3 月)、中間期(4 月、5 月、10 月、11 月)、夏季(6 月～9 月)の開口部面積による換気量の出現頻度を示す。まず、開口部面積 0.04 m²と 0.2025 m²における各期間別に 200 m³/h 以上の換気量が確保できる時間割合をみると、冬季がそれぞれ 27%と 69%、中間期がそれぞれ 36%と 80%、夏季が 21%と 75%であった。このことから 200 m³/h 以上の換気量が確保ができる時間割合は、開口部面積 0.04 m²の場合は夏季、冬季、中間期順に多く、開口部面積 0.2025 m²の場合は冬季、夏季、中間期に多くなることがわかる。従って、広島において建物にタービンベンチレーターを設置すると、中間期が最も多い時間多くの換気量が確保できることがわかる。

また、開口部面積 0.04 m²と 0.2025 m²における年間 200 m³/h 以上の換気量が確保できる時間割合はそれぞれ 28%と 75%であった。このことから開口部面積が 0.04 m²から 0.2025 m²に約 5 倍大きくなると、200 m³/h 以上の換気量の確保時間は年間約 2.7 倍に増えることがわかる。



(a) Opening area: 0.04 m²



(b) Opening area: 0.2025 m²

Fig.8 Frequency of period ventilation rate

5. まとめ

自然換気システムのタービンベンチレーターの大きさとタービンベンチレーターの開口部を除いた換気対象空間の開口部の大きさによる換気性能について検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) タービンベンチレーターの大きさの大小にかかわらず、開口部の面積が大きくなると換気量は増加する結果であった。特に、20 インチと 14 インチのタービンベンチレーターの場合、開口部面積が増加しても外気風速が同じであれば、換気量はほぼ同じであった。
- 2) 今回の結果と Chi-Ming Lai の結果から、外気風速が 4m/s 以下においても 10m/s 以上においても 14 インチ以上のタービンベンチレーターの大きさではその大きさによる換気量の違いはほとんどないことがわかった。
- 3) 9 インチのタービンベンチレーターではその大きさが小さくなると換気量も少なくなることがわかった。なお、9 インチのタービンベンチレーターにおいても開口部面積が大きくなると 14 インチ以上のタービンベンチレーターとの換気量の差は小さくなることがわかった。
- 4) 20 インチと 14 インチのタービンベンチレーターにおいて外気風速の増加とともに換気量はさらに増加するが、それは開口部面積が約 2 m²程度までと思われる。
- 5) 広島における年間最大外気風速は 13.2m/s であり、その時の 20 インチタービンベンチレーター設置により得られる換気量は開口部面積 0.04 m²と 0.2025 m²の建物においてそれぞれ 622 m³/h と 1,306 m³/h であった。
- 6) 広島において開口部面積 0.04 m²の建物に 20 インチのタービンベンチレーターを設置した場合、200 m³/h 以上の換気量が確保できる時間割合は 1 月が一番少ない 13%で、11 月が最大の 49%であった。また、開口部面積が 0.2025 m²の場合、200 m³/h 以上の換気量が確保できる時間割合は 1 月が一番少ない 57%で、10 月が最大の 89%であった。このことから開口部面積を 0.04 m²から 0.2025 m²に約 5 倍大きくすると、200 m³/h 以上の換気量の確保時間は 1 月が約 4.5 倍、10 月が約 1.8 倍に増えることがわかった。
- 7) 広島において建物にタービンベンチレーターを設置すると、中間期が最も多い時間多くの換気量が確保できることがわかった。また、開口部面積が 0.04 m²から 0.2025 m²に約 5 倍大きくなると、200 m³/h 以上の換気量の確保時間は年間約 2.7 倍に増えることがわかった。

謝辞 実験に協力してくれた 2010 年度当時、豊橋技科大学院生とタービンベンチレーターを提供してくださった韓国の国立釜慶大学ジョン・グンジュ先生にここに感謝の意を表します。

注

注 1) 以下の写真のように韓国のマンションの屋根には一般的にタービンベンチレーターが設置されている。



注 2) 予備実験で整流部分の出口断面風速はほぼ一定であることを確認した。ちなみに、整流ボックス出口の平均風速が 1.2m/s と 3.7m/s の時に整流ボックス出口断面風速は平均風速にそれぞれ $\pm 0.1\text{m/s}$ と $\pm 0.3\text{m/s}$ であった。

注 3) 外気風の乱れの強さは地上高さと場所(地表面の粗度)により異なるが、地上 60m までは 0.05~0.4、60m 以上では 0.1~0.5 の範囲⁸⁾⁹⁾を示しており、今回の整流部分の出口付近の外気風 0.5~3.5m/s においての乱れの強さは 0.06~0.07 で文献の範囲内にあった。従って、今回の実験はある一定の外気風の模擬はできたと考えられる。

注 4) 広島市の気象庁データは、海面上高さ 4m で風速計高さ 95.4m の広島市中心部で測定したものである。今回はタービンベンチレーターの設置高さを設定していないため、気象庁の風速データを補正せず、そのまま利用した。

参考文献

- 1) <http://tokyomachi.exblog.jp/11539630/>
<http://www.haseko.co.jp/hc/information/press/20070927.html>
- 2) J.d.Dale, M.y.Ackerman: Evaluation of the performance of attic turbine ventilators, ASHRAE Transactions 99(1), pp.14-22, 1993
- 3) Chi-Ming Lai: Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilators used for building and factory ventilation, Energy and Building 35, pp.927-932, 2003
- 4) Chi-Ming Lai: Prototype development of the rooftop turbine ventilator power by hybrid wind and photovoltaic energy, Energy and Buildings 38, pp.174-180, 2006
- 5) 宋城基：タービンベンチレーターの自然換気性能に関する実測検討、太陽エネルギー学会、Solar energy 36(1), pp. 51-57, 2010. 1
- 6) 宋城基、松本博：住宅換気用タービンベンチレーターの自然換気性能に関する研究、日本建築学会、日本建築学会環境系論文集、第 75 巻、第 648 号、pp157-163、2010. 2
- 7) 気象庁 HP：<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 8) 西田勝、片山忠久、石井昭夫、堤純一郎、田島啓治：係留気球による市街地風の垂直分布の観察、日本建築学会計画系論文集第 365 号、pp. 10-18、1986. 7
- 9) 木村建一、建築環境学 1、丸善、1992