

Experimental Study on the Natural Ventilation Performance of Solar Chimney by Shaft Form

- Shaft horizontal cross-sectional area and shaft arrangement -

ソーラーチムニーのシャフト形状と
自然換気性能の検討
ー シャフトの水平断面積と配置の検討 ー

Sung-Ki SONG

宋 城基^{*1}

Abstract

This study examined the ventilation performance of solar chimney by chimney shaft shape and area, the connection conditions of the chimney shaft and chimney. In the result, when the relationship of the outlet direction of solar chimney and chimney shaft was right-angle (right-angle shaft type), the solar chimney ventilation rate of the same depth type of chimney shaft and solar chimney was higher than the twice depth type or the half depth type. And also, when the relationship of the outlet direction of solar chimney and chimney shaft was parallel (parallel shaft type), the solar chimney ventilation rate of the same width type of chimney shaft and solar chimney was higher than the twice width type or the half width type. Furthermore, the solar chimney ventilation rate of right-angle shaft type when the chimney shaft horizontal cross sectional area was 8 m² was higher than the parallel shaft type.

Key Words: Natural Ventilation, Solar Chimney, Shaft Form, Aspect ratio, Scale-Down Model

キーワード：自然換気，ソーラーチムニー，シャフト形状，アスペクト比，模型実験

1. はじめに

近年、地球環境問題や化石燃料の資源確保問題、東日本大震災などにより、環境負荷削減や省エネルギー、自然エネルギー利用への関心が一層高まっている。このような背景から建築物の高気密高断熱化はさらに強化され、室内空気質の維持のために機械換気や自然換気を考慮した計画換気が注目されている。自然換気システムには、外気風による回転で屋根裏空間あるいは室内空間を換気するタービンベンチレーター¹⁾や太陽熱により熱せられ空気を上部の排気口から排気させることで併設された空間を換気するソーラーチムニーなどがある。特に、ソーラーチムニーは日本国内でいくつかの建物に採用され、その換気性能について報告がなされている^{2)~5)}。趙ら^{6),7)}は2001年竣工した北九

州市立大学の工学部校舎(以下、北九大)のソーラーチムニーの設計時においてその技術的な裏付けを目的にチムニー高さ、チムニー断面積、チムニーへの総流出口面積と外への排気口面積の関係について模型実験と理論式計算およびCFD数値計算により検討を行った。また、著者⁸⁾は北九大のソーラーチムニーの実測調査からその自然換気性能と自然換気の影響因子について検討を行った。さらに、著者⁹⁾はチムニーとチムニーシャフトの接続状態が換気性能に及ぼす影響と趙らが想定したチムニーに比べ断面積が大きい場合と小さい場合における換気性能を検討した。ところが、いずれの既往の研究においてはチムニーの換気性能に影響を及ぼすと思われるチムニーシャフトの形状については検討されていない。ここで、チムニーは建物屋上から上の部分を、チムニーシャフトは建物屋上から下の部分を示す。

そこで本研究では、4階建ての北九大で採用されたチムニーとチムニーシャフトを基本モデルとし、チムニーシャフトの形状と面積、チムニーとチムニーシャフトの配置などがチムニー換気性能にどのように影響を及ぼすかについ

*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: 2015年12月29日, 受理日: 2016年3月14日)

て模型実験により検討を行った。

2. 建物と模型実験の概要

2. 1 建物と模型

図1に示すようにソーラーチムニーが設置されている北九大の建物は階高約4mの4階建てで、屋上に幅約4m×奥行2m×高さ8mのチムニーが4つ設けられている。チムニーの南面と西面はガラス張りとなっており、チムニー内部に日射が取り込まれるとチムニー内部の気温は上昇し、煙突効果が促進される。チムニーの北面と東面は熱容量が大きいコンクリートとなっており、昼間の日射熱を蓄え、夜間にも温度差換気が継続できる。チムニー上部の南北には幅約3.3m×高さ約1.7mの排気口が1つずつ設けられており、その外側に外気風逆流防止と雨除けのフードが設けられている。このチムニー1つに対してチムニーシャフトは1つ接続され、チムニーシャフトは各階に流入口が1つずつ計4つ設けられている。



Fig.1 Building overview and section conceptual diagram

図2に示すように模型は北九大の1区画分に相当する4階建ての建物部分とソーラーチムニー部分を1/20の縮尺とし、すべてをアクリルで製作した。模型の構成は給気シャフトと階高4m(模型0.2m)の4階分の室内、チムニーシャフト、高さ8m(模型0.4m)のチムニーとなっている。模型のチムニーとチムニーシャフトは配置とそれぞれの大きさが変更できるようにするため、取り外し可能に製作した。また、実際の建物部分の流入口と流出口の面積は両方ともに2～4階が0.8㎡で、1階はその3倍の2.4㎡であるため、模型にも縮率を考え各階に開口部を設けた。ただし、実物の開口部にあるガラリは模型に設けることは難しく、同じ開口部でもガラリの形状とガラリの設置角度などにより流量係数が異なることも予想されるため、模型にはガラリを設けていない。さらに、チムニーの排気口(模型0.14m×0.23m)は北面と南面または東面と西面の2か所に、チムニー内部の4面には面状ヒーターを設置した。

縮小模型実験を行う際には、式(1)と式(2)の相似条件を満足させる必要がある。特に、模型実験では空気速度の縮率を合わせることは難しいため、本模型実験においても既往研究⁶⁾と同様に熱貫流率の縮率を合わせることにした。

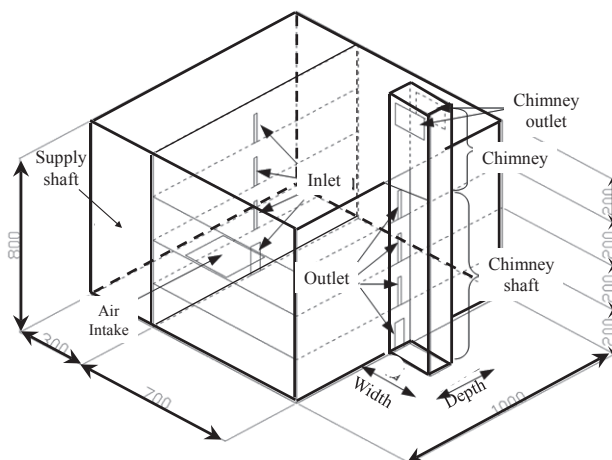


Fig.2 Scale-down model diagram

ここで、本実験では模型縮率を1/20、温度差縮率を1にしたため、式(1)と式(2)の関係から熱貫流率の縮率は0.2236となる。従って、北九大のチムニーの日射受熱壁体部分の熱貫流率約3.5W/(㎡・K)を模型の熱貫流率約0.8W/(㎡・K)にするために、模型のチムニーの日射受熱壁体部分に厚さ50mmの断熱材を施した。ここで、 n_L は模型縮率、 $n_{\Delta T}$ は温度差縮率、 n_V は気流速度縮率、 n_k は熱貫流率縮率である。

$$\frac{n_L n_{\Delta T}}{(n_V)^2} = 1 \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$n_V = n_K \quad \text{-----} \quad (2)$$

2. 2 実験方法と実験条件

実験は極力周囲の気流影響を受けないようにするため、実験中は実験室内に人の出入りを禁止し、模型周囲の気温(以下、外気温)とチムニー内側の表面温度が設定温度差になるように、チムニー内部に設置したヒーターの出力を調整した。ただし、チムニー内側4面にはヒーターを設置しているが、北面+東面のみまたは南面+西面のみが日射受熱面としているため、実験ごとに想定した日射受熱面のみ発熱させ、表面温度制御を行った。ここで、日射受熱面を2パターンに想定したのは、実物のモデルとなっているチムニーの日射受熱面の対称性と、外気による換気の影響は考慮せず、温度差換気のみを考慮したためである。予備実験ではチムニー内側表面と外気の温度差が設定温度差になるようにヒーターの出力と定常の時間および差圧と風速の関係⁸⁾を求めた。図3に示すように温度は、給気口の気温1点と2階を除いた各階中央レベル高さのチムニーシャフト気温3点、チムニー部分の高さ一方向の気温5点とチムニー内側の表面温度4点、外気温1点を測定した。ただし、模型と模型周囲にはチムニー内側表面の発熱以外発熱

Table.1 Model Type and Experiment Conditions

Model	Right-Angle Shaft Type			Parallel Shaft Type			
	TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4	TYPE5	TYPE6	TYPE7
Chimney Horizontal Section	200 (Width) ×100 (Depth) [mm]			100 (Width) ×200 (Depth) mm]			
Chimney Shaft Horizontal Section	(200×100)	(100×100)	(400×100)	(100×200)	(50×200)	(100×400)	(200×200)
Cross Section Ratio (chimney: shaft)	1 : 1	1 : 0.5	1 : 2	1 : 1	1 : 0.5	1 : 2	1 : 2
Chimney Shaft Aspect Ratio (Width : Depth)	1 : 0.5	1:1	1:0.25	1:2	1:4	1:4	1:1
Diagram (unit: mm)							
Differential Temperature (Chimney-outdoor)	7°C / 15°C						

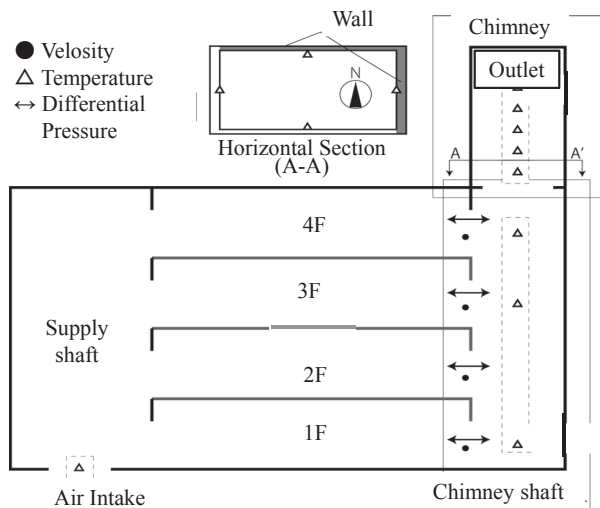


Fig.3 Measurement location and natural ventilation path

体が無いため、各階の室内と流入口、流出口の気温は同じと考え、測定していない。また、各階の流出口には空気流れの方向と排気量⁹⁾の計測のため、差圧と風速を測定し、煙発生装置で可視化を行った。すべての温度はT型熱電対を、気流速度は多点式熱線風速計を、差圧は微差圧計を用いた。また、全てのデータは1分間隔で測定し、データロガーで収集した。

実験は表1に示すように、チムニーの高さ8m(模型0.4m)とチムニー水平面積8㎡(模型:0.02㎡)を固定し、建物の室内からチムニーシャフトへの流出口とチムニーの排気口の向きを同じにした場合(以下、並行型シャフト)と水平に90度回転させた場合(以下、直角型シャフト)の2つを想定し、チムニーとチムニーシャフトの水平断面積比(以下、断面積比)を1:1とチムニーより奥行きまたは幅の長さを半分にした断面積比1:0.5または2倍にした断面積比1:2の3つを考慮し、なおチムニーシャフトの奥行と幅の比(以

下、アスペクト比)を1:0.25~1:4にした計7タイプについて行った。また、実験ケースはこの7タイプにおいてチムニー内側表面(日射受熱面)と外気の温度差^{注1)}が7°Cまたは15°Cの計14ケースについて行った。ここで、チムニーシャフトを直角型と並行型に想定したのは、日射受熱面が同じでも、室内からチムニーシャフトへの流出口とチムニーの排気口の配置が換気性能に影響すると考えたためである。また、チムニー内側表面と外気の温度差を7°Cと15°Cにしたのは、自然換気が行われた中間期2006年11月の1ヶ月の北九大の現場実測¹⁰⁾から日中最大頻度の温度差が7°Cで、最大温度差が15°Cであったため、この温度差を用いた。

3. 実験結果

全ての実測値は実験開始からチムニー内側表面と外気の温度差が設定値になった後、チムニー内の各場所における温度と風速および差圧が20分以上定常になった時のデータ^{注2)}を用いた。

3.1 直角型シャフトとチムニー排気量^{注3)}

図4にチムニーの排気口とチムニーシャフトの流出口の向きが90度である直角型シャフトにおける、チムニーシャフトがチムニーと同じ形状であるTYPE1とチムニーシャフトの奥行き長さのみが半分であるTYPE2、チムニーシャフトの奥行き長さのみが2倍であるTYPE3のチムニー排気量とチムニー上下温度差を示す。まず、チムニー内側表面と外気の温度差が7°Cの場合、チムニー排気量と上下温度差はTYPE1がそれぞれ2,678㎡/hと約0.8°C、TYPE2がそれぞれ1,980㎡/hと約0.9°C、TYPE3がそれぞれ867㎡/hと約0.8°Cであった。このことから、直角型シャフトにおいてチムニーシャフトの断面積はチムニーと同じTYPE1が断面積半分のTYPE2または2倍のTYPE3に比べて、チムニー排気量は

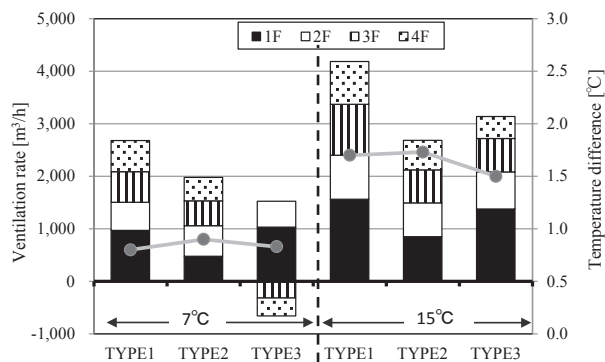


Fig.4 Ventilation rate of Right-angle shaft

約 1.3 倍または 3 倍多く確保できることがわかった。これは、面積比 1 : 0.5 の TYPE2 はチムニーシャフトの水平断面が小さいため、断面積比 1 : 1 の TYPE1 に比べてチムニーシャフトでの流れ抵抗が大きく、面積比 1 : 2 の TYPE3 はチムニーシャフトとチムニーの接続部が狭くなっているため、TYPE1 に比べて接続部での形状抵抗が大きくなるためと考えられる。特に、断面積比 1 : 2 でチムニーシャフトのアスペクト比 1 : 0.25 の TYPE3 は各階のチムニーシャフトへの排気量は少なく、3 階と 4 階はチムニーシャフトから室内へ逆流が生じた。これは、チムニーシャフトとチムニーの接続部の形状抵抗に、断面積比が大きくてもチムニーシャフトのアスペクト比が小さいことによる抵抗が影響したためと考えられる。

チムニー内側表面と外気の温度差が 15°C の場合、チムニー排気量とチムニー上下温度差は TYPE1 がそれぞれ 4,183 m³/h と約 1.7°C、TYPE2 がそれぞれ 2,682 m³/h と約 1.7°C、TYPE3 がそれぞれ 3,136 m³/h と約 1.5°C であった。また、チムニー内側表面と外気の温度差が 7°C から 15°C に 2 倍高くなると、チムニー排気量は TYPE1 が約 1.6 倍、TYPE2 が約 1.4 倍、TYPE3 が約 3.6 倍増加し、チムニー上下温度差は 3 つのタイプともに 1.9~2.1 倍増加した。このことから、直角型シャフトはチムニー内表面と外気の温度差が約 2 倍に高くなっても、チムニーシャフトの断面積はチムニーと同じ TYPE1 にする方がチムニーシャフト断面積を半分の TYPE2 または 2 倍の TYPE3 にするより、チムニー排気量は約 1.6 倍または 1.3 倍多く確保できることがわかった。また、チムニー内側表面と外気の温度差が 7°C から 15°C に高くなると、TYPE3 はチムニーシャフトから室内への逆流が無くなり、断面積が小さくアスペクト比 1 : 1 の TYPE2 に比べてチムニー排気量は多くなった。これは、チムニー内側表面温度が上がると、TYPE3 はチムニーとチムニーシャフトの接続部における形状抵抗とチムニーシャフトの流れ抵抗も大きくなるが、それに比べて TYPE2 のチムニーシャフト部分の流れ抵抗がより大きくなるためと考えられる。さらに、TYPE2 は TYPE1 と TYPE3 と同様に下階に行くほど各階からの排気量は多くなるが、TYPE1 と TYPE3 に比べ各階排気量の差はそれほど大きくない結果であった。これは、TYPE2 は 4 m² (模型 : 0.01 m²) のチムニーシャフト

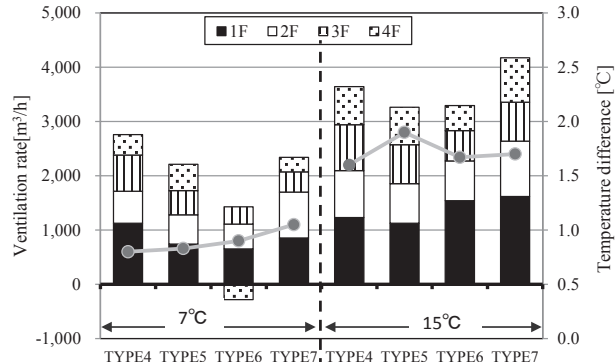


Fig.5 Ventilation rate of Parallel shaft

から 8 m² (模型 : 0.02 m²) と広がるチムニーへ空気が流れ込む形状であるため、この形状は他のケースに比べて上階の空気の流れ抵抗と下階の抵抗の差を小さくすると考えられる。

3. 2 並行型シャフトとチムニー排気量

図 5 にチムニーの排気口とチムニーシャフトの流出口の向きが同じである並行型シャフトにおける、チムニーシャフトがチムニーと同じ形状である TYPE4 とチムニーシャフトの幅は同じであるが奥行長さのみが半分である TYPE5、チムニーシャフトの幅のみが 2 倍である TYPE6、チムニーシャフトの奥行長さのみが 2 倍である TYPE7 のチムニー排気量とチムニー上下温度差を示す。まず、チムニー内側表面と外気の温度差が 7°C の場合、チムニー排気量とチムニー上下温度差は TYPE4 がそれぞれ 2,761 m³/h と約 0.8°C、TYPE5 がそれぞれ 2,214 m³/h と約 0.8°C、TYPE6 がそれぞれ 1,155 m³/h と約 0.9°C、TYPE7 がそれぞれ 2343 m³/h と約 1.0°C であった。このことから、チムニーシャフトの断面積はチムニーと同じ TYPE4 が断面積半分の TYPE5 または 2 倍の TYPE6 に比べて、チムニー排気量は約 1.3 倍または 2.4 倍多く確保できることがわかった。これは直角型シャフトと同様に、断面積比 1 : 1 の TYPE4 に比べて断面積比 1 : 0.5 の TYPE5 はチムニーシャフトの水平断面が小さいと空気の流れ抵抗がより大きくなり、断面積比 1 : 2 の TYPE6 はチムニーとチムニーシャフトの接続部での形状抵抗が大きくなるためと考えられる。特に、断面積比 1 : 2 でアスペクト比 1 : 4 の TYPE6 は各階のチムニーシャフトへの排気量は少なく、4 階はチムニーシャフトから室内へ逆流が生じた。これは、断面積比が大きく、チムニーシャフトのアスペクト比が大きくてもチムニーとチムニーシャフトの接続部での形状抵抗がより大きく影響するためと考えられる。また、断面積比 1 : 2 でチムニーシャフトのアスペクト比 1 : 1 の TYPE7 は、断面積と断面積比が同じでチムニーシャフト幅のみ 2 倍のアスペクト比 1 : 4 の TYPE6 に比べてチムニー排気量は約 2 倍多く確保できた。

チムニー内側表面と外気の温度差が 15°C の場合、チムニー排気量とチムニー上下温度差は TYPE4 がそれぞれ 3,645 m³/h と約 1.6°C、TYPE5 がそれぞれ 3,263 m³/h と約 1.9°C、

TYPE6 がそれぞれ 3,295 m³/h と約 1.7℃、TYPE7 がそれぞれ 4,176 m³/h と約 1.7℃であった。また、チムニー内側表面と外気の温度差が 7℃から 14℃に 2 倍に高くなると、チムニー排気量は TYPE4 が約 1.3 倍、TYPE5 が約 1.5 倍、TYPE6 が約 2.9 倍、TYPE7 が約 1.8 倍の増加し、チムニー上下温度差は 4 つのタイプともに 1.7～2.4 倍増加した。このことから、並行型シャフトは直角型シャフトと同様にチムニー内表面温度と外気の温度差が約 2 倍に上がっても、チムニーシャフトの断面積はチムニーと同じ TYPE4 にする方が断面積半分の TYPE5 または 2 倍の TYPE6 に比べて、チムニー排気量は多く確保できることがわかった。また、チムニー内側表面と外気の温度差が 7℃から 15℃に高くなると、TYPE6 は 4 階室内への逆流が無くなり、チムニーシャフトのアスペクト比が同じ TYPE5 に比べて、チムニー排気量は多くなった。これは、チムニー内側表面温度が上がると、直角型シャフトと同様に TYPE6 はチムニーとチムニーシャフトの接続部における形状抵抗とチムニーシャフトの流れ抵抗も大きくなるが、それに比べて TYPE5 のチムニーシャフト部分の流れ抵抗がより大きくなるためと考えられる。また、TYPE7 はチムニー内側表面と外気の温度差が 7℃から 15℃に高くなると、チムニー排気量は TYPE4 より多くなった。これは、チムニー内側表面温度が上がると TYPE7 のチムニーとチムニーシャフトの接続部での形状抵抗は大きくなるが、TYPE4 に比べて広いチムニーシャフトの部分の空気の流れ抵抗が小さくなるためと考えられる。このことから、並行型シャフトはチムニー内側表面と外気の温度差が大きくなる場合、断面積比を大きく、かつアスペクト比を小さくする方がチムニー排気量は多く確保できることがわかった。さらに、TYPE5 の各階の排気量の差は他のタイプに比べてそれほど大きくない結果であった。これは、直角型チムニーの TYPE2 と同様に、TYPE5 は 4 m²(模型：0.01 m²)のチムニーシャフトから 8 m²(模型：0.02 m²)の広いチムニーへ空気が流れるため、下階より上階の流れ抵抗は他のタイプより小さくなるためと考えられる。

3. 3 チムニーシャフト配置とチムニー排気量

図 6 に直角型シャフトの TYPE1 と TYPE3、並行型シャフトの TYPE4 と TYPE6 におけるチムニー排気量の結果を再掲する。まず、チムニー内側表面と外気の温度差が 7℃の場合、直角型シャフト TYPE1 は並行型シャフト TYPE4 に比べチムニー排気量がやや少ないが、この温度差が 15℃と高くなると逆に直角型シャフト TYPE1 は並行型シャフト TYPE4 に比べチムニー排気量が多くなった。これは、チムニー内側表面と外気の温度差が大きくなると、直角型シャフト TYPE1 は各階からチムニーシャフトへ流れる奥行が長いいため、並行型シャフト TYPE4 に比べてチムニーシャフト内の空気の流れ抵抗が小さくなるためと考えられる。

また、チムニー内側表面と外気の温度差が 7℃の場合、直角型シャフト TYPE3 は並行型シャフト TYPE6 に比べチムニー排気量がやや多いが、この温度差が 15℃と高くなると

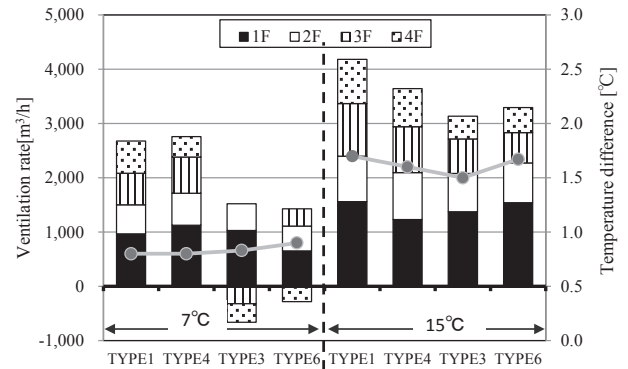


Fig.6 Ventilation rate by chimney shaft arrangement

逆に直角型シャフト TYPE3 は並行型シャフト TYPE6 に比べてチムニー排気量はやや少なくなった。これは、チムニー内側表面と外気の温度差が 7℃の場合、直角型シャフト TYPE3 は並行型シャフト TYPE6 に比べて、上階ではチムニーとチムニーシャフトの接続部の形状抵抗が大きいいため、チムニーシャフトから室内への逆流が多くなるが、下階ではチムニーシャフトの奥行が長いいため、上階より流れ抵抗が小さくなり、チムニー排気量は最終的に TYPE6 と比べてやや多くなったと考えられる。しかし、チムニー内側表面と外気の温度差が大きくなると、両方ともに室内への逆流は無くなるが、直角型シャフト TYPE3 はチムニーとチムニーシャフトの接続部での形状抵抗がより大きく影響するため、下階の換気量も並行型シャフト TYPE6 に比べ少なくなり、チムニー排気量は TYPE6 よりやや少なくなったと考えられる。以上のこのことから、TYPE 3 のように断面積比が小さくチムニーシャフトの奥行のみ長い、または TYPE 6 のように断面積比が大きくチムニーシャフトの幅のみ長い形状より、TYPE 1 と TYPE4 のように断面積比が 1:1 かつチムニーシャフトはチムニーと同じ幅、同じ奥行の形状が多くの排気量を得るには有利であることがわかった。

4. 理論計算の排気量検討と既往研究との比較検討

既往の研究 7) からチムニーとチムニーシャフトが同じ形状と同じ面積において煙突効果によるチムニー排気量は式(3)と式(4)で求められることが知られている。本稿においてもこの式を用いて TYPE1 と TYPE4 の理論計算によるチムニー排気量を求め、実験結果と比較検討した。

$$Q = 3600 \alpha A_s \sqrt{2g \Delta h \frac{(T_{in} - T_{out})}{T_{in}}} \quad \text{--- (3)}$$

$$\Delta h = \frac{h}{\left(\frac{A_c}{A_s} \sqrt{\frac{\rho_{in}}{\rho_{out}}} \right)^2 + 1} \quad \text{--- (4)}$$

ここで、 Q はチムニー排気量[m³/h]、 α は流量係数 [-]、 A_s と A_c はそれぞれチムニー排気口面積とチムニー水平断

面積 $[\text{m}^2]$ 、 g は重力加速度 $[\text{m}/\text{s}^2]$ 、 h と Δh はそれぞれチムニー高さと中性帯の高さ $[\text{m}]$ 、 T_{in} と T_{out} はそれぞれチムニー内気温と外気温 $[\text{K}]$ 、 ρ_{in} と ρ_{out} はそれぞれチムニー内空気と外気の密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ である。

図7に示すように、まず流量係数 α を1にした場合におけるチムニー排気量は、実験のチムニー排気量に比べて約40%多くなる結果であった。そこで、理論排気量に対する実験排気量で求めた近似式の傾き0.65^{注4)}を新流量係数 α として再計算した結果、理論値と実験値の排気量の誤差は最大でも約5%以下で、その相関を示す決定係数 R^2 も約0.82と高い結果となった。このことから今回の模型実験は実現象をよく再現でき、その検討に十分信頼ができると判断される。

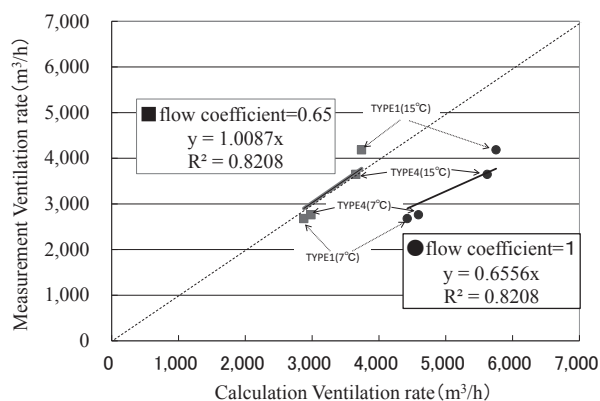


Fig.7 Ventilation rate of the calculation and the measurement

チムニーシャフトの水平断面積を 8 m^2 に固定した関連研究8)では、チムニーの日射受熱面積が同じである場合、チムニー排気量はチムニーの水平断面積が 16 m^2 、 4 m^2 、 8 m^2 の順に多くなる結果であった。今回の実験結果においても、チムニーシャフトのアスペクト比は異なるもの、関連研究と同様にチムニーシャフトの断面積はチムニーと同じくする方がチムニーよりチムニーシャフトの断面積を小さくまたは大きくするより、チムニー排気量は大きい結果であった。また、関連研究と同様に今回の実験においても、チムニーシャフトの断面積はチムニーより小さい方が各階の排気量の差はそれほど大きくない結果であった。

5. 結論

自然換気の有効なチムニーシャフトの形状と面積、チムニーとチムニーシャフトの配置について模型実験により、以下の知見を得た。

- 1) 室内からチムニーシャフトへの流出口とチムニーの排気口の向きが水平90度である直角型シャフトの場合、チムニーシャフトの断面積はチムニーと同じにする方が断面積を半分または2倍にするより、チムニー排気量は約1.3倍または3倍多く確保できることがわかった。これは、断面積比1:1に比べて断面積比1:0.5はチムニ

ーシャフトの水平断面積が小さいため空気の流れ抵抗が大きく、断面積比1:2はチムニーとチムニーシャフトの接続部での形状抵抗が大きくなるためと考えられる。

- 2) また、チムニー内側表面と外気の温度差が 7°C の時、チムニーシャフトの奥行長さのみが2倍でアスペクト比1:0.25のTYPE3は、各階の室内からチムニーシャフトへの排気量は少なく、3階と4階はチムニーシャフトから室内へ逆流が生じた。しかし、この温度差が 7°C から 15°C に高くなると、室内への逆流が無くなり、断面積が小さくアスペクト比1:1のTYPE2に比べてチムニー排気量は多くなった。
- 3) 室内からチムニーシャフトへの流出口とチムニーの排気口の向きが同じである並行型シャフトの場合、直角型シャフトと同様にチムニーシャフトの断面積はチムニーと同じにする方が断面積を半分または2倍にするより、チムニー排気量は約1.3倍または2.4倍多く確保できることがわかった。
- 4) また、チムニー内側表面と外気の温度差が 7°C の場合、チムニーシャフトの幅のみが2倍でアスペクト比1:4のTYPE6は、各階の室内からチムニーシャフトへの排気量は少なく、4階はチムニーシャフトから室内へ逆流が生じた。しかし、この温度差が 7°C から 15°C に高くなると、室内への逆流が無くなり、チムニーシャフトのアスペクト比が同じTYPE5に比べてチムニー排気量は多くなった。
- 5) さらに、チムニー内側表面と外気の温度差が 7°C から 15°C に高くなると、チムニーシャフトの奥行長さのみが2倍(断面積比1:2)でチムニーシャフトアスペクト比1:1のTYPE7は、チムニーシャフトの断面積がチムニーと同じでアスペクト比1:2のTYPE4に比べてチムニー排気量は多くなった。このことから、並行型シャフトにおいてチムニー内側表面と外気の温度差が大きくなる場合、断面積比を大きく、かつアスペクト比を小さくする方がチムニー排気量は多く確保できることがわかった。
- 6) 直角型シャフトでも並行型シャフトでも、チムニーシャフトの水平断面積はチムニーより小さい方が各階排気量の差は大きくならないことがわかった。
- 7) チムニーシャフトの流出口とチムニーの排気口の向き、チムニー内側表面と外気の温度差による両方の影響と関係なく多くの排気量を得るには、TYPE1とTYPE4のように断面積比が1:1かつチムニーシャフトはチムニーと同じ幅、同じ奥行の形状が有利であることがわかった。

注

注1) 本実験では外気温度の変動に伴いチムニー内壁の表面温度を想定温度差になるように制御するため、チムニー内壁の受熱面積が異なるとチムニーからの放熱量は変わる。しかし、実現象を考えると同じ外気温度で同じ日射量の場合においても、チムニーの受熱面積や形状が変わるとチムニーからの排気量も変わり、その結果チムニー表面からの単位面積当たりの放熱

量も変わる。また、既往の研究^{7) 12)}においても本実験と同様に、ある一定のチムニー表面温度を用いチムニーの大きさなどによる換気性能を検討している。従って、今回の実験ではチムニーの表面温度を与えた方が妥当と判断した。図に代表ケースとしてTYPE 1の温度差7℃におけるチムニー表面温度と外気温度とチムニー内部空気温度および4階の差圧が定常になってから約1時間後までの変動を示す。

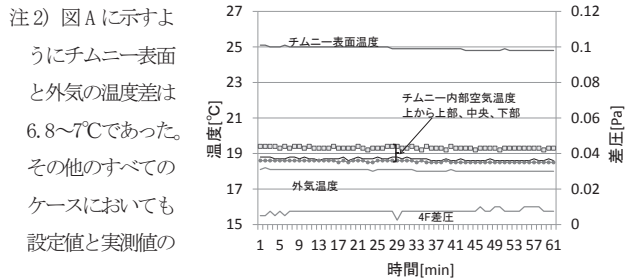


Fig.A Temperature and Pressure difference

誤差は最大でも±

0.2℃であったため、すべての実験は想定した設定温度差を精度よく再現できたと思われる。また、すべての実験における外気温度はおおよそ18±1℃であった。

注3) 排気量算出計算は $Q=3600 \times V_i \times A_i$ (Q : 各階の排気量[m³/h]、 V_i : 各階の模型風速[m/s]、 A_i : 各階の実大開口部面積[m²]、 i : 各階1F~4F)である。ここで、各階の風速は予備実験で求めた各階の差圧と風速の相関式から求めた。なお、差圧を風速に換算するために必要な開口部の形状抵抗による吐出係数 C_d は参考文献14)の実験式 $C_d=0.4+0.75 \Delta T$ から、すべての本実験において ΔT は0であるため、 C_d は0.4とした。

注4) 今回実験に使用した模型は、チムニーの開口部の面積は文献9)と同じであるが、文献とは別々に改めて制作し直したものであるため、流量係数が改善された模型となった。また、今回使用したチムニー部分は直角型にも並行型にも同じチムニーを各チムニーシャフトに付けて実験を行っているため、すべての実験において流量係数は同じである。

謝辞 本研究の実験に大きな貢献をしてくれた山本宙君に、ここに記して感謝の意を表す。また、この研究の一部は(財)前田記念工学振興財団の研究助成により行ったものである。

参考文献

- 1) 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、Journal of Japan Solar Energy Society 36(1)、pp. 51-57、2010. 1
- 2) 永瀬修、大塚雅之、飯塚宏、湯沢正信、鈴木孝彦、新村浩一：ダブルスキン・ソーラーチムニーの熱的特性に関する実験研究(その1~その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1385-1390、2006. 9
- 3) 前坂彰子、早川眞、吉原和正、樋渡潔、永田修三：大学校舎のソーラーチムニーの換気性能評価と設計法に関する研究、日本建築学会技術報告集、第13巻第26号、pp. 623-628、2007. 12
- 4) 榎本丈二、品田宜輝、木村建一、桂木宏昌：ソーラーチムニーとクールピットを組み合わせた校舎建築の自然換気システムの実測研究(その1) システムの設計と開校前の実測調査、空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 37-40、2001. 9

- 5) 品田宜輝、木村建一、桂木宏昌、宋城基：ソーラーチムニーと地中ピットを組み合わせた自然換気システムの性能に関する4年間の実測調査-第1報. システムの運用状況と自然換気作用時の給排気風量、空気調和衛生工学会論文集、NO. 153、pp. 41-44、2009. 12
- 6) 趙晟佑、木村建一：校舎建築の自然換気システムにおけるソーラーチムニーの性能予測に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第537号、pp. 37-42、2000. 11
- 7) 趙晟佑、木村建一：ソーラーチムニーによる自然換気システムの性能予測に関する実験研究、空気調和・衛生工学会論文集、NO. 81、pp. 11-19、2001. 4
- 8) 宋 城基：ソーラーチムニーの自然換気性能と換気因子の検討、太陽エネルギー学会、Journal of Japan Solar Energy Society 40(3)、pp. 65-70、2014. 5
- 9) 宋城基：模型実験によるソーラーチムニーとチムニーシャフトの接続状態による自然換気性能の検討、日本建築学会環境系論文集、NO. 697、pp. 255-260、2014. 3
- 10) 品田宜輝、木村建一：多層建築の自然換気システムにおける各階給排気量の多点同時連続計測システムの開発と現場実測結果、日本建築学会環境系論文集、NO. 639、pp. 595-601、2009. 5
- 11) 山本宙、宋城基：実運用時におけるソーラーチムニーの自然換気性に関する研究、日本建築学会東海支部研究報告集、pp. 341-344、2009. 2
- 12) 鍋島佑基、宋城基、土井幸太：チムニーシャフト形状がソーラーチムニーの換気性能に与える影響、空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、第10号、pp. 137-140、2009. 3
- 13) 峯岸良和、長谷見雄二、丁文婷：煙制御機能を持つアトリウム型ソーラーチムニーのゾーンモデルによる自然換気性能予測-アトリウム型ソーラーチムニーにおける自然換気と避難経路遮煙の両立手法-、日本建築学会環境系論文集、NO. 580、pp. 1-7、2004. 6
- 14) Cristian Ghiaus, Francis Allard: Natural Ventilation in the Urban Environment, James & James (2005)