

自然通風による冷房効果に関する研究（その4）

——現場実測と1/10スケール・モデル実験による自然換気特性——

小宮英孝

Study on Cooling Effect of Natural Ventilation (Part 4)

——Characteristics of Natural Ventilation in an Actual Room
and in a 1/10 Scale Model Chamber——

Hidetaka Komiya

Abstract

Measurements of the effects of natural ventilation were made in a simplified form of an actual room and in a 1/10 scale model chamber from the viewpoint of positively bringing the outdoor environment indoors. In case there were two openings, almost all of the ventilated flow rates (90%) were caused by uniform flows at high wind speeds. However, at low wind speed, the ventilated flow rates due to diffusion made up a greater part of total ventilated flow rates and were linear to the turbulence intensity of outside wind. In case of one opening, the ventilated flow rate was linear in relation to the outside wind speed. The similarities of measurements in a wind tunnel will be considered in future works.

概 要

外部環境を室内へ積極的に取り入れる一手法としての自然通風に着目して、現場実測と1/10スケール・モデル実験によって自然換気特性を求めた。この結果、両面開口の場合は、強風時には一様流によって主要な換気（90%）が行なわれるが、弱風時には、風速変動による換気の役割が増し、この量が乱れ強さに比例することが示された。また、片面開口の場合には、外部風速に比例して換気量が増すことが明らかとなった。今後は、風洞実験により相似則の詳細な検討を行なう予定である。

1. はじめに

外部環境を室内へ積極的に取り入れる一手法としての自然通風に着目して、自然通風を行なった場合の冷房能力、室内外環境を求める研究を行なった。この報告は、形態の単純な空間において、冷房負荷を想定した発熱を行ない、自然通風を熱の面から捉えた実測、および同空間の1/10スケール・モデルを用いた実験に関するものである。

2. 実測・実験概要

2.1. 実測概要

実測対象として、(株)大林組清瀬社宅の4階西側住戸の南北2室を用いた。床面積、室容積は、各々17.25 m²、43.98 m³で、南北各面に面積(A_w)0.844 m²の窓

がある。実測建物、計測方法に関する詳細は、文献1)に示されている。なお実測は昭和59年秋期に行なった。

2.2. 模型実験概要

模型実験装置の概要を図1に示す。模型の大きさは、上記実測建物のおおむね1/10スケール・モデルで内寸で310(幅)×620(奥行)×310(高さ)mmであり、620mm隔てた対向面に、97×97mmの開口が設けられている。同模型の床面には、大きさが300×600mmで出力が160W(100V時)の膜ヒーターが設置されている。また、同模型の内側には、すべての面に熱流計が設置され、開口部からの熱損失がとらえられる。実験は、実測同様、片面開口、両面開口について、発熱量、窓面風速を変化させて行なった。また、室内側測定項目は、実測と同様である。ただし、窓面風速は扇風機の強弱で制御し熱線風速計で測定した。

3. 測定結果

3.1. 温度分布

3.1.1. 実測結果 室内断面温度分布を図一2に示した。両面開口で強風の場合（上図）には、室温が一定で等温の空気が風下窓面に達していること、内外温度差が小さいことから、一様流による換気が主で、風速変動、温度差による換気は少ない。弱風の場合（中図）には、窓近傍は、風上風下ともに冷やされていること、風上窓部上下に若干温度差があることから、平均流による換気に加えて、風速変動による換気、温度差による換気も行なわれている。片面開口の場合（下図）には、窓部上下で温度差があり、窓下部から流入した冷気が室中央部で上昇し、窓上部から流入した冷気が室中央部で上昇し、窓上部から流出しており、温度差換気が主体である。また、窓中央高さの平面温度分布は、窓近傍以外（室奥行き1/8以上）では、大きな差（最大0.6°C程度）はみられなかった。

3.1.2. 模型実験結果 両面開口の場合、有風時には、室中央部までは噴流の影響がみられるが、それ以遠では均一となった。一方、無風時には、室中央下部に温度差換気による二つの回転流の死水域ができる。

片面開口の場合、基本的なパターンは、実測結果と同様であるが、無風から有風へ変化すると、窓面上下の温度差が小さくなる一方、外気侵入範囲が深くなる傾向がみられた。

3.2. 熱移動

3.2.1. 実測結果 窓を通過する全熱量 ($Q_T \cdot A_w$)、窓を平均流によって通過する熱量 ($Q_w \cdot A_w$)、室空気への放出熱量 (W_i)、室空気に保存される熱量 (Q_r)、総合換気回数 (N_{wi})、風速変動による換気回数 (N_K)の時間変動を、屋上風速 (V_0)^(注)と $\sqrt{u'^2}$ ^(注)と併せて、図一3、4、7に示した。窓を通過する熱量は、式(1)～(2)によって求めた。

$$Q_T = \frac{3600}{N_0} \cdot C_p \cdot \gamma \cdot \sum_{n=1}^{N_0} (\bar{U}_{sw} + u'_{sw}) \cdot (\bar{T}_{i,k} + t'_{i,k} - (\bar{T}_{o,j} + t'_{o,j})) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_w = 3600 \cdot C_p \cdot \gamma \cdot \bar{U}_{sw} \cdot (\bar{T}_{j,k} - \bar{T}_{o,j}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、

\bar{U}_{sw} , u'_{sw} : 南窓面平均風速、同変動成分 (m/s)

\bar{T} , t' : 平均空気温度、同変動成分 (°C)

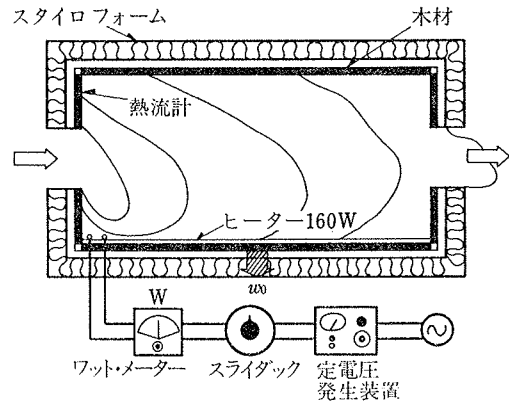
南風の場合 K=北側, j=南側

北風の場合 K=南側, j=北側

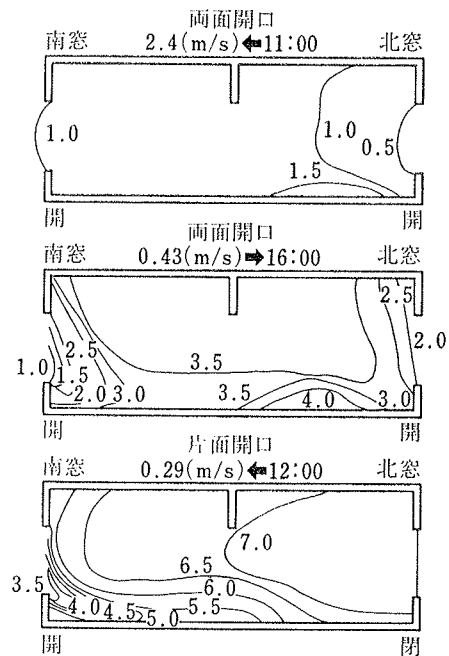
i=窓面より内側の点, O=窓面より外側の点

窓を風速変動によって移動する熱量は、両面開口の場合

(注) 通風経路と一致する南北成分の値 (以下同様)



図一1 模型装置の概要



図一2 断面温度分布 (室内外温度差)

合は(3)式、片面開口の場合は(4)式より求めた。

$$Q_K = Q_T - Q_w \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_K = 3600 \cdot C_p \cdot \gamma \cdot t'_{sw} \cdot u'_{sw} \quad \dots\dots\dots(4)$$

室空気への放出熱量 (W_i) は、内部熱取得 (ヒーター出力+日射量) から、各面から熱損失を減じ、室空気に保持される熱量 (H_r) は、平均内外温度差と室熱容量との積から求めた。さらに、各種の換気回数は、以下のように求めた。なお平均時間は40分とした。

$$N_{wi} = W_i / H_r \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$N_K = A_w \cdot Q_K / H_r \quad \dots\dots\dots(6)$$

W_i と $Q_T \cdot A_w$ との差は、温度差換気による移動熱量、空気以外の室内蓄熱量の増減を示し、 $Q_T \cdot A_w$ と $Q_w \cdot A_w$ との差は、風速変動による移動熱量を示す。

図一3は、両面開口において強風の場合であるが、 W_i , $Q_T \cdot A_w$, $Q_w \cdot A_w$ は概略一致し、一様流による換

気が主となり、換気量はおおむね屋上風速に比例することを示している。

図-4 に示された弱風の場合には、風速変動による移動熱量が大きくなるとともに、温度差による移動熱量も生じてくる。一様流による換気量は、その定義から窓面風速、すなわちおおむね屋上風速に比例する。一方、弱風時の風速変動による換気量 (N_k) と $\sqrt{u_0^2}$ との関係を見ると、図-5 のように比例関係にあることから、屋上の風速変動に左右されるといえる。また、図-4 に示された H_r の時間変動をみると、15時半頃急上昇しているが、これは換気を中心とする風速変動による換気回数が低下しているためであり、これはさらに、 $\sqrt{u_0^2}$ の低下が原因となっている。

次に、強風の場合を含め、 U_0 と Q_w/Q_T との関係を図-6 に示した。屋上風速 (U_0) が 1.5 m/s 以上では、平均的には Q_w/Q_T は 90% 強程度で、風速変動による割合が 10% 弱程度であることを示している。一方、1.5 m/s 以下では、平均的には U_0 に比例して、 Q_w/Q_T は減少

するが、バラツキが大きい。しかし、15時半、前後で分けると平均的な線の上下におおむね分類できる。これは、 Q_T のうち、日中は風速変動による熱移動の割合が高くなり、夜は逆に低くなることを示している。

図-7 は、片面開口の場合を示しているが、移動熱量、換気量ともに、時間変動はほとんどない。両面開口と比較すると、総合換気回数は、強風時の 1/10、弱風時の 1/5~1/2 程度となる。この実験の発熱量下では 10~15% が拡散による換気量でその残りが温度差による換気量である。内外温度差、温度差による換気量は、時間変動が少なく、各々 8°C、9回/h 程度であった。南窓における拡散による換気回数 (N_k) と屋上風速 (U_0) との関係を図-8 に示した。同図に示されているように片側開口の場合には、弱風時に若干相関性が悪くなるものの、拡散による換気量は、屋上風速に比例する。

3.2.2. 模型実験結果 図-9 に、無風時の内外温度差と換気量との関係を示した。片面開口と両面開口における換気量をみると、後者は、前者の 2 倍以上となる。

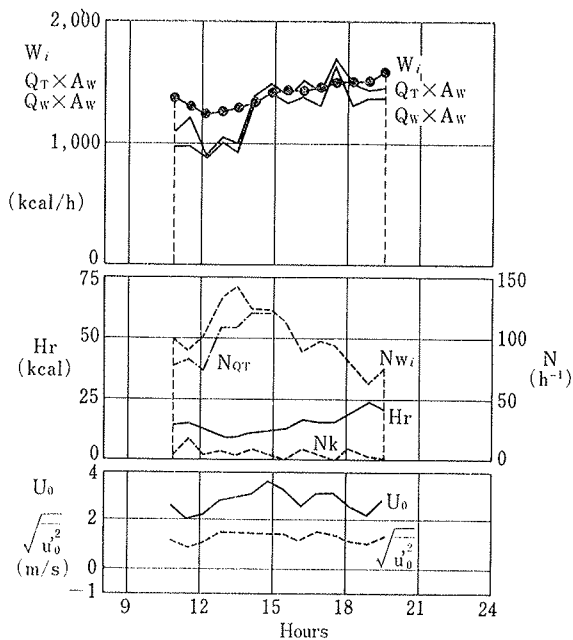


図-3 熱移動量・換気量の時間変動 (両面開口・強風)

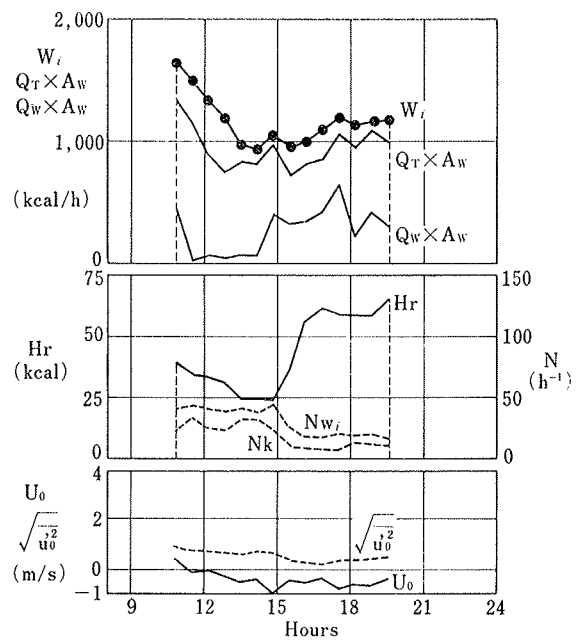


図-4 熱移動量・換気量などの時間変動 (両面開口・弱風)

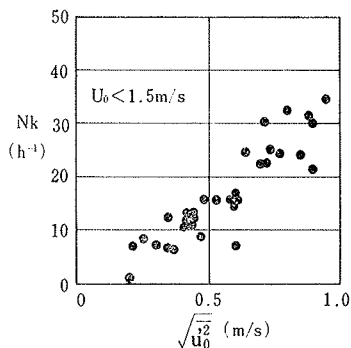


図-5 $\sqrt{u_0^2}$ と N_k との関係

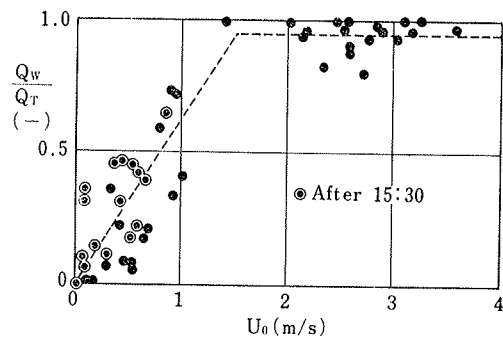


図-6 U_0 と Q_w/Q_t との関係

これは両面開口の場合単なる温度差換気以外に吹き抜け換気の効果も生じるためである。また、参考までに温度差換気の簡易な計算結果を併せて示したが、より正確な計算手法が必要であることが示されている。

図-10, 11に、両面開口、片面開口における窓面風速と換気量との関係などを示した。両面開口の場合ばかりでなく、片面開口の場合も換気量が、窓面風速に比例して増大することが示されている。これは、片面開口であっても風速の強弱が、内外温度差よりも窓面内の圧力バランスをくずす上でより大きな要因となっているためである。なお有風時には当然発熱量と内外温度差間に比例関係がみられる。相似則検討の予備段階として片面開口時の実建物における測定および模型実験による換気回数との関係を次表に示すが、計測予測値と実測・実験値はおおむね一致していると言えよう。なお両面開口時については弱風時乱れ強さの影響があることから、風洞実験結果を含め、検討する予定である。

項目	長さ	換気回数	
	L	計算値 $(n = \frac{v \times L^2}{L^3} = \frac{v}{L})$	実験・実測値
実建物	1	1	5~10
模型	1/10	10	50~100

4. 結論

比較的単純なモデル空間および1/10スケール・モデルにおいて、冷房負荷を想定した発熱を行ない、自然通風を熱の面から捉える実測・実験を行ない、以下の結果が得られた。

4.1. 実測

4.1.1. 両面開口

(a) 強風時 ($U_0 \geq 1.5 \text{ m/s}$) 一様流による換気量が主 (90%強) であり、風速変動による換気量は10%弱程度である。従って、換気量は屋上風速に比例する。

(b) 弱風時 ($U_0 < 1.5 \text{ m/s}$) 屋上風速の減少に伴い、風速変動による換気量の割合が増す。風速変動による換気量は、屋上の $\sqrt{u_0'^2}$ に比例する。屋上風速の乱れ強さ ($\sqrt{u_0'^2}/U_0$) は、時間的に変化するため、風速、変動による換気量およびその割合も、時間的に変化する。

4.1.2. 片面開口 温度差による換気量が主となる。拡散による換気量は、屋上風速に比例する。ただし、その量は、両面開口時の1/10程度となる。

4.2. 実験

両面開口の場合のみならず、片面開口時も、換気量が窓面風速に比例することが示され、相似則の適用可能性

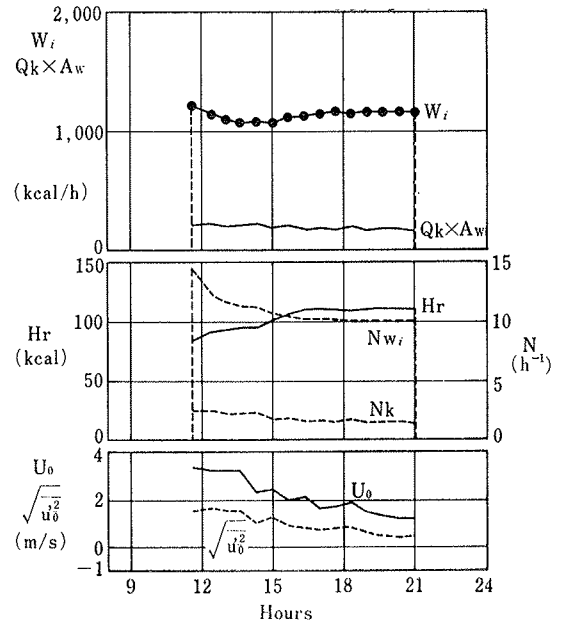


図-7 熱移動量・換気量の時間変動 (片面開口)

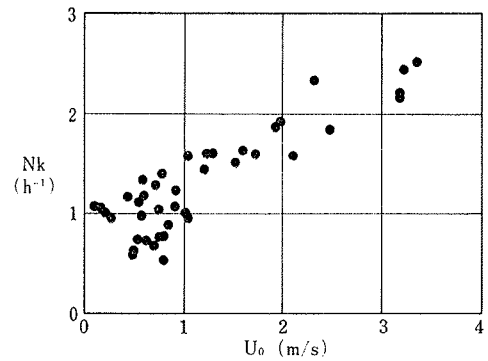


図-8 U_0 と N_k との関係

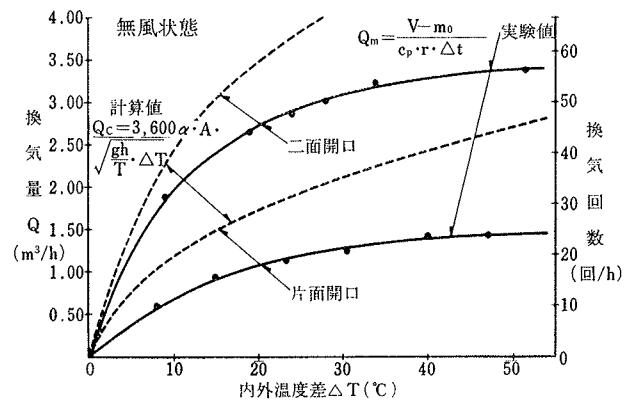
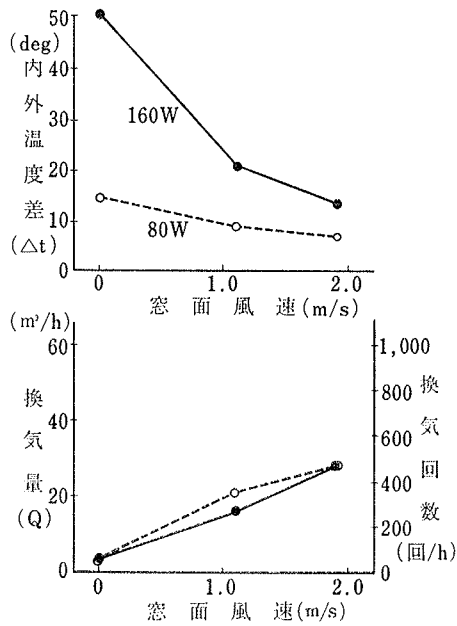
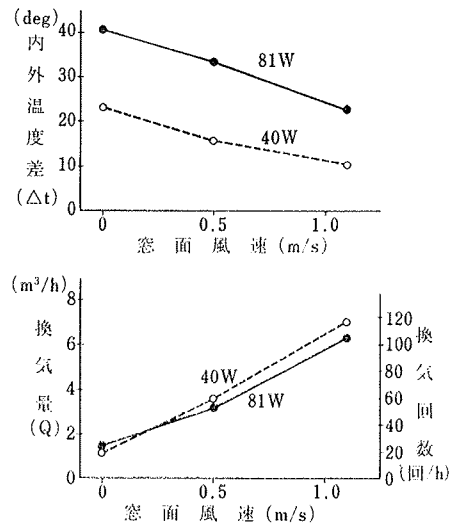


図-9 内外温度差と換気回数との関係



図一10 両面開口における窓面風速と換気回数との関係



図一11 片面開口における窓面風速と換気回数との関係

があることが明らかとなった。

今後は、風洞実験に基づく両面開口時の乱れ強さと、換気量との関係、相似則の詳細な検討、気流シミュレーション結果との比較検討を行なう予定である。

参考文献

- 1) 小宮英孝: 自然通風による冷房効果に関する研究 (その3), 大林組技術研究所報, No. 31, (1985), pp. 151~155
- 2) J. P. Cockroft, P. Robertson: Ventilation of an Enclosure through a Single Opening, Building and

Environment, Vol. 11, (1976), pp. 29~35

- 3) I. Nigelpotter: Effect of fluctuating Wind pressure on natural Ventilation rates, ASHRAE Trans., Vol. 85, part 2, (1979), pp. 445~457
- 4) 橋崎正也, 他: 自然風の乱れによる換気効果 (その1~7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会同近畿支部研究報告集, (1978, 1981, 1983, 1984)
- 5) 早川, 戸河里, 日沖: 高層事務所建物の自然換気に関する研究, 鹿島建設技術研究所年報, Vol. 25, (1976), pp. 245~250