

# 通風による建物冷却効の検討

後藤 哲平\*

## Study on the house-cooling effect of cross ventilation.

Teppei GOTOU

**1. 研究背景と目的** 日本の夏の気候は、高温多湿であり、日本の伝統的な住宅は通風によって夏の暑さを防いできた。通風とは「夏の暑い時期に住宅内に風を入れて人体の熱を奪い体感的に涼しいと感じさせる」「機械に依存するのではなく自然を取り入れる」という2つの意味があり、夏の初めには通風をうまく利用することにより冷房を使わずに快適性を得ることができる。一方、夜間の通風に関しては、冷気を利用して日中、建物に蓄えられた熱を放熱するという夜間冷却を期待して行われていることが多い。

本研究では、このような通風による蓄熱除去作用に注目し、実大建物風洞による建物冷却効果の検討を試みた。

### 2. 実大風洞実験棟を対象とした除去熱量の数値計算

実験に先立ち、伝熱1次元モデルによる簡易計算を行い、温度と除去熱量の時間変化について予備的考察を行った。

**2.1. 実験風洞の詳細** Fig. 1に実大建物模型を対象とした大型風洞の概要を示す。建物模型は5.4m 四方・高さ3mで、ターンテーブルの上に設置され、回転させることにより風向を変化させることができる。

**2.2. 計算モデル** 床面構造物については熱物性値を与えて1次元の伝熱計算を行い、表面熱伝達率を与えて固体表面からの流入熱を算出した。気層については建物空間全体を1要素とし、この固体面からの流入熱量と通風による熱移動を考慮した熱収支計算を行なった。建物温度と室温の初期値を30度とし、20度の外気を導入するという通風条件で、床面温度、室温、除去熱量の時間変化の算出を行った。

**2.3 風向毎の床面熱伝達率の推定** Fig. 2に2001年度卒業論文で報告した濾紙面蒸発法を用いて実測した、風向15度、風速3m/s時の床面熱伝達率の分布図を示す。このときの熱伝達率( $\alpha c$ )と床面近傍風速(U、高さ230mm)の関係をFig. 3に示す。これより求められた回歸式が(1)式である。

$$\alpha c = 12U^{0.6} \dots (1)$$

通常は、このような室内表面の熱伝達率は得られないため、データを得やすい通風量から熱伝達率を推定することを考える。Fig. 4に、合成風速(U)と流量(x)の関

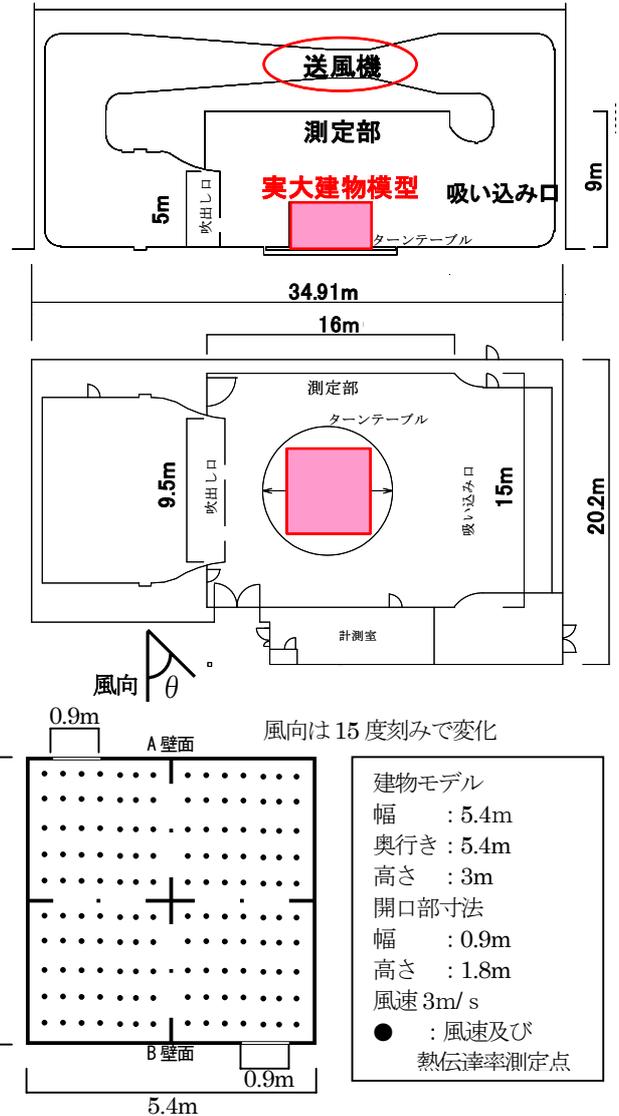


Fig.1 Outline of wind tunnel facilities for the real-scale building model and measuring points.

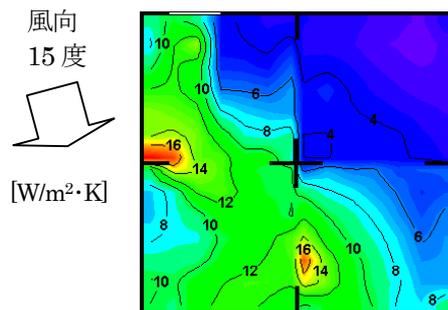


Fig.2 Distribution of the heat transfer coefficient in floor surface.1)

係を示す。両者の関係は

$$U = 0.40x^{0.53} \quad \dots (2)$$

となった。

#### 2.4. 除去熱量の精度の検討

これまでの風向15度で実測より算出した熱伝達率と流量、合成風速のデータから $\alpha_c$ を算出すると、4種類の熱伝達率 $\alpha_c$ を出すことができる。現在、風向15度以外は熱伝達率の測定を行っていないので、流量と合成風速から風向毎の熱伝達率を計算することになる。そこで、流量や合成風速からの熱伝達率を使用しても妥当かどうかの検討を行なった。

Table 1に示すような4つの条件について、先の簡易モデルによる1次元熱伝導計算で、通風開始から20分相当の計算を行なった。建物に蓄熱効果を持たせるため、石膏ボード(厚さ9.5mm)を床面に設置した条件を想定して計算した。

Table 1 Calculation case

Case1	実測で測定した熱伝達率より床面を一部屋49点の196点分割して計算を行う。
Case2	実測した合成風速より(1)式を用いて196点の熱伝達率を算出し計算を行う。
Case3	合成風速平均から(1)式を用いて算出した熱伝達率を床全面に与えて計算を行う。
Case4	流量から(2)式で合成風速を算出し、さらに(1)式で熱伝達率を算出して床全面に与え計算を行う。

Table 2 Calculation result (after 20 minutes)

	Case1	Case2	Case3	Case4
空気温度[°C]	20.20	20.20	20.22	20.22
表面温度[°C]	23.86	23.77	23.09	22.84
除去熱量[kJ]	137.14	139.30	154.47	160.36

結果をTable 2に示す。Case1とCase4の積算除去熱量で20kJほど差が見られるが、空気温度と表面温度はどのCaseでも変わらず合成風速、または流量から算出しても妥当であるといえる。

次にFig. 5に各風向での流量を示す。Fig. 6に、流量が最も多くなる風向15度と、最も少なくなる風向90度、および中間の風向60度について、流量から熱伝達率 $\alpha_c$ を推測するCase4の計算方法で空気温度、表面温度、除去熱量を算出した結果を示す。風向15度では20分後の表面温度が約4度下がっている。風向60度では表面温度が約

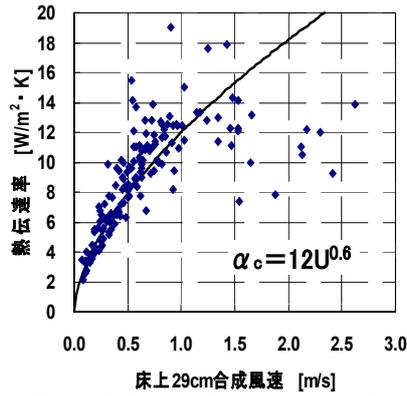


Fig.3 Relation between transfer coefficient and wind velocity.

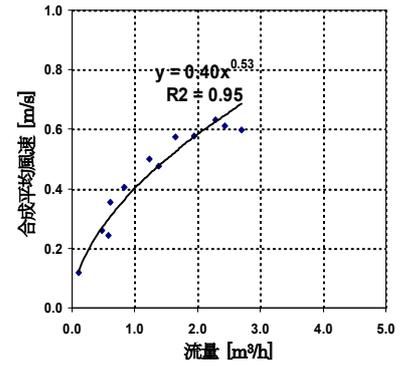


Fig.4 Relation between average wind velocity and flow rate.

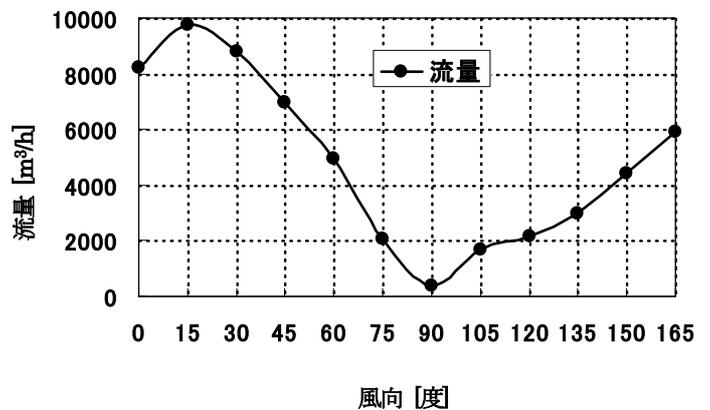


Fig.5 Wind direction dependency of flow rate.

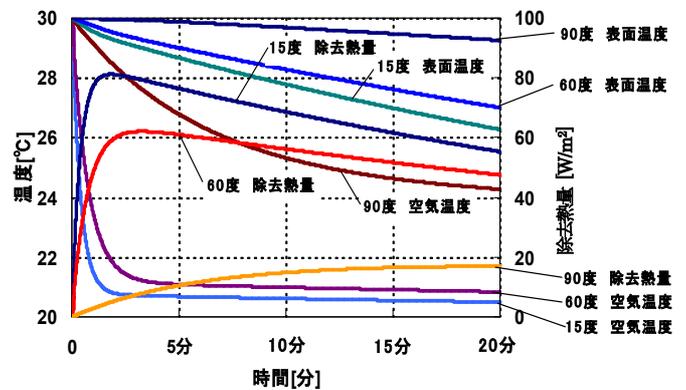


Fig.6 Calculation results for wind direction 0,60,and 90 degrees.

3.5度低下している。風向90度では表面温度が約1度下がるという結果になった。通風量の大小により、除去熱量に大きな差が生じることがわかる。

#### 3. 実大風洞実験棟を用いた建物内温度分布の実測

前章では、1次元的でシンプルなモデルで除去熱量の計算を行ったが、実際の通風現象では壁面近傍、柱周り、仕切りや風の流れる場所と流れない場所では除去熱量のむらができるかと予想できる。その他に流入・流出開口、上下温度差

なども加わると予想される。そこで、風洞実験で実際に通風時の空間的な温度分布を測定し、その除去熱量を把握し、冷却効果の検討を行なう。

**3.1. 床表面及び空気温度測定方法** 5.4m四方・高さ3mの建物モデルの床面・壁面・天井面に50mm厚の断熱材を敷き詰め、床面には蓄熱体としてさらに12.5mm厚の石膏ボードを設置した。締め切った状態でヒーターにより加熱し、設定温度に達したらヒーターを切り、その後建物の対角に設けられた2箇所の開口部(各々1.8m×0.9m)を開けて通風を開始し、床面を中心とした建物各部位の温度の測定を行なった。Fig. 7に測定点図を示す。床表面温度測定は、各室4×4点、4室計64点、各室中央に断熱材裏、石膏ボード裏、石膏ボード表面、天井、空気温度(床土290mm)に計20点設置。各室の壁面中央に一点ずつ計8点、建物外温度1点、柱温度1点、全94点として測定を行なった。空気温度測定はFig. 7の床表面の同じ測定点で各室の境目、Fig. 7の丸で囲む部分の白丸4点を小さい丸に置き換えて測定を行なっている。空気温度はFig. 8に示す開口部及び室中央に鉛直方向に測定点を取っている。空気温度が30度前後に安定したら開口部を開けて測定を開始する。空気温度測定では応答性のよい直径0.05mmの細線熱電対を使用した。

**3.2. 床表面温度分布** Fig. 9に風向15度、風速3m/sの室内気流分布と測定開始から5分後の床表面規準化温度、測定開始から1分後と5分後の空気規準化温度分布を示す。表面温度は流管に沿って表面温度が下がっており、流管から外れる部屋では0.4と温度が下がっていない部分が見られる。空気温度は測定開始1分後で、流管の部分は0.13と外気温度と差が無くなるが、床表面と同じように5分後でも0.4と熱の残る空間が見られた。

#### 4. 通風による除去熱量の検討

##### 4.1 計算方法

まず、次式から熱伝達率を使用して床面からの除去熱量を算出した。

$$H_1 = A \alpha c (T_s - T_a) \quad [W]$$

$H_1$ : 床面からの除去熱量 [W]     $A$ : 面積 [m<sup>2</sup>]     $\alpha c$ : 対流熱伝達率 [W/m<sup>2</sup> · K]     $T_s$ : 空気温度 [°C]     $T_a$ : 床表面温度 [°C]

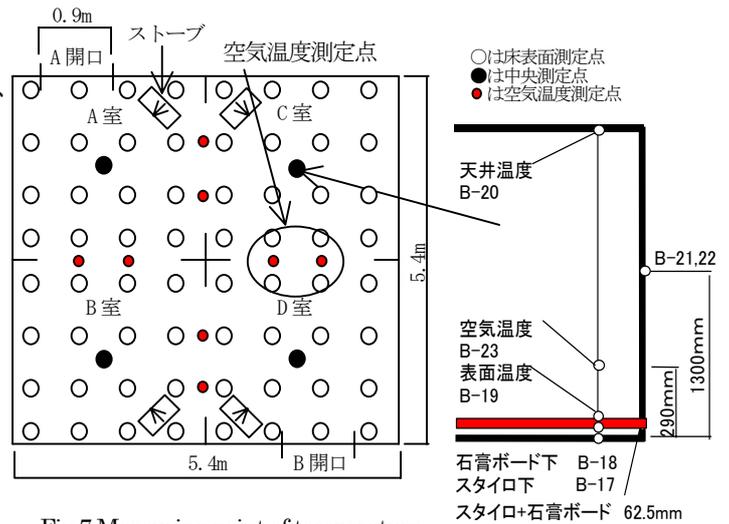


Fig.7 Measuring point of temperature.

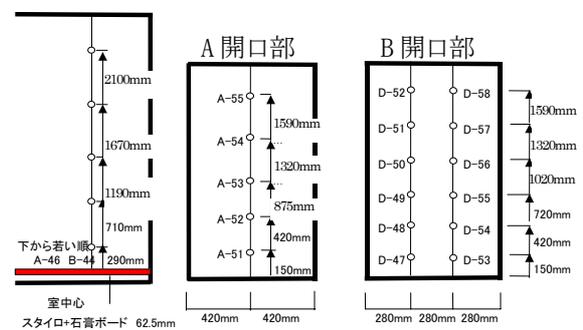


Fig. 8 Measuring point chart for vertical temperature profiles in room center and openings.

室内気流分布(床上230mm) 床表面規準化温度分布(5分後)

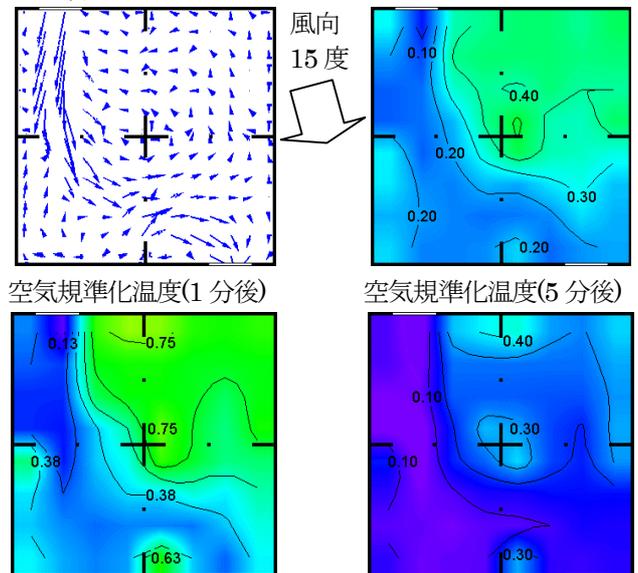


Fig.9 Vector chart of wind flow and normalized temperature distributions of air and floor surface.

対流熱伝達率 $\alpha c$ は2001年度卒業論文で測定した196分割メッシュ毎の対流熱伝達率を使用した。空気及び床表面温度はFig. 9に示した実測値を使用した。対流熱伝達率は風向15度のみ把握しているため、計算は15度について行なった。

次に、下式で流量と流入・流出開口部温度差を使用して室全体からの除去熱量を算出した。

$$H_2 = Q \times c_p \rho (T_o - T_i) \quad [W]$$

$H_2$  : 室全体からの除去熱量 [W]     $Q$  : 流量 [m<sup>3</sup>/s]  
 $c_p$  : 空気の比熱 [J/kg · K]     $\rho$  : 空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $T_o$  : 流出空気温度 [°C]     $T_i$  : 流入空気温度 [°C]

流量は同開口条件で開口部流速から算出した値を使用した。流入・流出開口部温度差は Fig. 11 に示した実測値を使用した。この二つの計算法にて除去熱量の算出を行ない、両者を比較した。

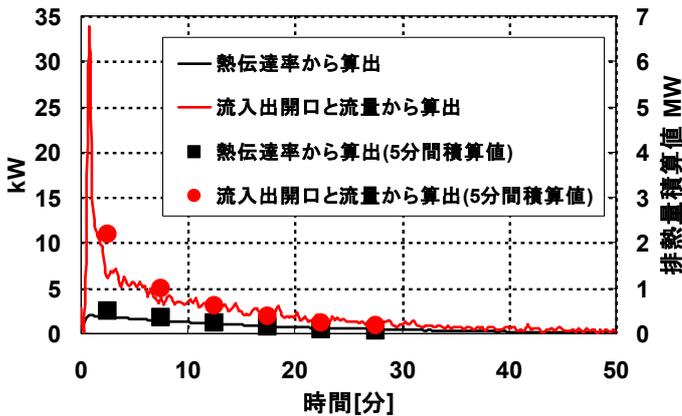


Fig.10 Time variations of the removal heat.

**4.2 考察** Fig. 10 に、開口の流速分布から求めた流量および流入・流出開口の温度差を用いて算出した除去熱量 ( $H_2$ ) と、これまでの実験で求められていた床面の 196 分割メッシュ毎の対流熱伝達率を用い、各点の床面と気温との温度差から求めた床面除去熱量 ( $H_1$ ) の時間変化を算出したものを示す。除去熱量の傾向は同じような動きを見せているが、積算値で  $H_1$  は  $H_2$  の約 7 割となっている。

**4.3 各風向の除去熱量の検討** 次に流量と流入・流出開口温度差から算出する方法で、風向 0 度~165 度までの除去熱量の算出を行なった。Fig. 11 に計算で使用した流入・流出開口部温度差 (測定開始から 5 分後と 10 分後の温度差) と流量を示した。また、Fig. 12 には開口部温度差と流量の関係を示した。流量の少ない風向では開口部温度差が大きくなり、右下がりの関係になると思われたが、丸で囲む風向 90 度~135 度では流量も温度差も少ないという結果になった。Fig. 13 に流量と除去熱量積算値の関係を示す。ほぼ比例関係にあるが、風向 75 度と 90 度では、同じ流量に対し除去熱量積算値に大きな差がみられた。Fig. 14 に風向 75 度・120 度の室内気流分布と通風開始から 5 分後の床表面及び空気規準化温度分

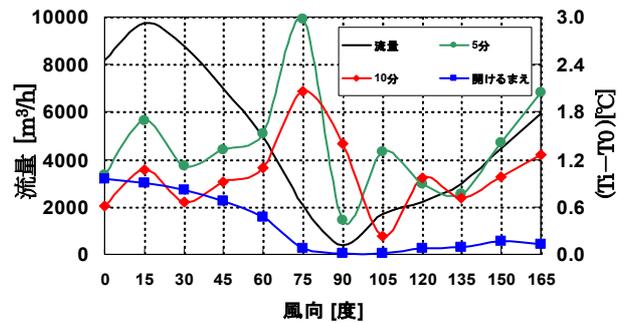


Fig.11 Change of the flow rate and the temperatures difference between the inlet and the outlet due to wind

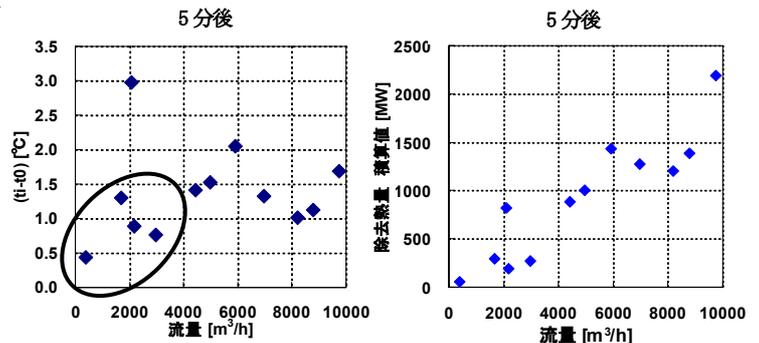


Fig.12 Temperature difference between the inlet and the outlet as a function of the flow rate. Fig.13 Relation between flowing quantity and removal calorie multiplication value.

布を示す。風向 75 度の床表面温度と 120 度の床表面温度を比べると、75 度では各部屋で温度が下がるが、120 度では温度が下がっていない部屋が見られた。空気温度に関しても 75 度では室全体の温度が下がるのに対し、120 度では温度の下がりにくい部分が見られた。

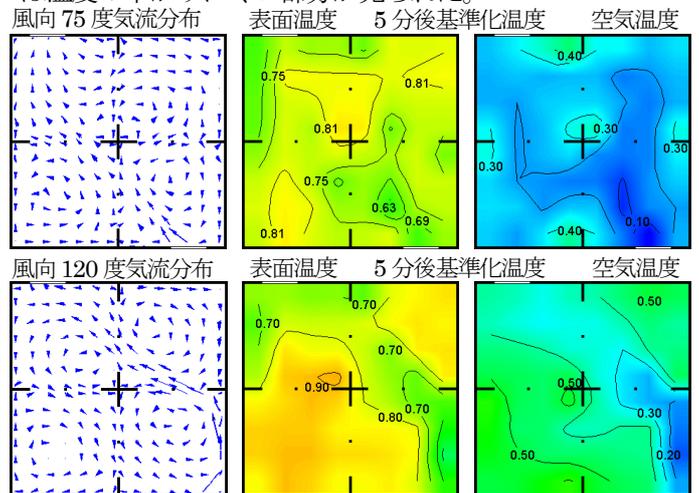


Fig.14 The following surface of floor and standard making air temperature distribution for the indoor current of air distribution and five minutes of 75.120 degrees for wind.

**5. 結論** 通風時の床表面及び室内空気温度変化を詳細に把握した。通風経路と通風経路外の空間では温度低下の早さに差異が生じていた。除去熱量は通風量にほぼ比例しているのを確認した。通風量が同じでも、室内の気流パターンにより除去熱量に差が生じることがわかった。

1) 森岡 勲 成田健一ほか4名 住宅の通風設計および性能評価に関する研究 (その14) 一通風時の室内表面熱伝達率分布の測定 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2 pp.709-710

審査員(主査) 教授 成田 健一  
 審査員(副査) 教授 市橋 重勝  
 審査員(副査) 教授 川村 清志