

# 自然通風による冷房効果に関する研究 (その1)

——超省エネルギービル(大林組技術研究所本館)における  
自然通風効果実測〈秋季〉——

小宮 英孝

## Study of the Cooling Effect of Natural Ventilation (Part 1)

——Effect of Natural Ventilation in the Super Energy Conservation Building (Main Building of Ohbayashi-gumi Technical Research Institute) 〈Autumn Season〉——

Hidetaka Komiya

### Abstract

Rooms in office buildings are heated or cooled by mechanical systems and the outside environment is generally shut off in order to maintain room air temperature. However, in view of the desire of people for the feel of nature, emergency measures in case air conditioning stops, and energy conservation, it is necessary for measures to be provided to positively bring in the outside environment. Accordingly, measurements were made of the effects of natural ventilation in the Super Energy Conservation Building at the Ohbayashi-gumi Technical Research Institute during the intermediate seasons. When determining the effect of natural ventilation, it is necessary to see, in addition to the macroscopic cooling effect, if the distribution and variation of the indoor environment are suitable from the standpoint of comfortableness. For this purpose, besides pressure differential between interior and exterior, correlation between wind speed inside and outside, and number of room air change, measurements and evaluations were made of time-dependent changes in wind speed, temperature distribution, eddy diffusivity, and turbulence. As a result, it was found that natural ventilation was quite effective for this building although it had not been especially constructed considering such ventilation.

### 概 要

事務所建築の設計思想は通年空調で、内部環境を一定条件におさめるために、外部環境を遮断し人工空調を行なうものである。しかし自然の刺激を求める人の心、空調が停止した場合の応急措置、省エネルギーといった点から、外部環境を室内へ積極的に取り入れる手法の検討が必要である。この観点から技術研究所本館において、中間期の自然通風効果を求める実測を行なった。自然通風効果を求める場合、マクロな冷房効果の他に、室内環境の分布、変動が快適性の点から適性であるかを求める必要がある。この為、内外差圧、内外風速の相関、換気回数他に、風速、温度分布、拡散係数、乱れの時間変動を測定評価した。この結果、技術研究所本館は特に自然通風を考慮した建物ではないが、この両面から見て、自然通風効果を十分期待できる建物であることが明らかとなった。

### 1. はじめに

事務所建築の設計思想は通年空調で、内部環境を一定条件におさめるために、外部環境を遮断し人工空調を行なうものである。しかし、自然の刺激を求める人の心、空調が停止した場合の応急措置、省エネルギーといった点から、外部環境を室内へ積極的に取り入れる手法の検

討が必要であると思われる。

外部環境を室内に有効に取り入れる具体的な手法として、自然通風による外気の導入があげられる。しかし、自然通風を定量的に予想することは大変難しい。すなわち、第一に自然通風は、壁面の風圧に全面的に依存しており、この壁面の風圧は、外部の性状、周辺建物の位置関係により大きく左右されることから、正しく推定する

ことが極めて困難である。第二に、風上・風下の複数の開口の間を流れる空気は、複雑な通風経路をとり、予測することが困難である。第三にこれは、自然通風だけでなく、外部環境を室内へ取り入れる場合一般的に言えることであるが、外部環境の変動にともなう、内部環境の変動予測、内部環境の空間分布予測、またこの予測値を快適範囲内におさえる制御方法に困難な点が多い。

以上の点を解明するため、当技術研究所本館(以下技研本館)2階研究室を自然通風空間として、自然通風による室内環境の分布・変動、冷房効果を測定した。

## 2. 測定概要

### 2.1. 対象建物と自然通風方法

自然通風実測の対象としたのは技研本館(RC造、地上3階地下1階PH1階、床延面積3,775.84m<sup>2</sup>)2階の研究室部分(図-1)で、対象床面積は622m<sup>2</sup>、室容積は1,555m<sup>3</sup>である。

自然通風の方法は、空調停止後の自然換気用の窓を開放するものとした。この窓は北側に8カ所(総面積5.78m<sup>2</sup>、押出し窓)、南側に8カ所(総面積10.2m<sup>2</sup>、内開き窓)設けてある。なお、南側は、ダブルスキン構造となっているため、ダブルスキンの上下の開口部(総面積12.2m<sup>2</sup>、23.5m<sup>2</sup>)を開放することにより、南側の通風をはかった(図-1)。自然通風効果を知るためには、通常の空調システムを停止する必要がある。このため、測定は昭和57年11月から12月初旬までの休日5日間の8時から20時までで行なった。測定時の内部発熱源は天井照明

を利用した。

### 2.2. 測定項目と測定方法

測定対象の2階平面・断面図と測定点、測定装置を図-1に示した。測定項目および測定点数は、室内外温度59点(Cu-Co熱電対)、室内外温度2点(絶対湿度計)、室内外差圧2点(微差圧計)、室内風速5点(熱線風速計)、建物北側風速1点(三杯型風速計、地上h=4m、2階中央高さ)、表面熱流2点である。これらのデータは、多点デジタル記録計を通して、2分ごとにマイコンのカセット・テープに集録した。解析には、10分間の平均値を用い、室内外の風速分布および相関、差圧との相関、室内の温度分布、時間変動、冷却効果について解析した。

室中央の風速2点(南北方向と上下方向)は、超音波風速計で測定し、増幅器を通してデータレコーダーで記録した。風速は1回の測定につき約40分間の連続記録を行ない、総計19回の測定を行なった。記録したデータは0.01秒ごとにAD変換し、解析には、0.1秒ごとの平均値を用い、室内の乱れ量、拡散係数について解析した。

また、基準風速として、屋上で風向風速(プロペラ型、地上h=15m)の計測を行なった。

換気回数は、炭酸ガス濃度減衰法により求めた。これは、すべての窓を閉めた後、CO<sub>2</sub>ボンベ(30kg)2本から、室内CO<sub>2</sub>濃度が5,000~8,000ppmになるまで(約1時間)吐出し、CO<sub>2</sub>が十分拡散されたことを確認した後、南北窓を開いて、CO<sub>2</sub>濃度計で濃度変化を1分ごとに測定した。なおCO<sub>2</sub>吐出時は、CO<sub>2</sub>濃度分布が生じ

ないように吐出中および直後最低20分間は、ファンコイルのファンおよび扇風機を運転した。

## 3. 実測結果

### 3.1. 外部風

屋上の風速と建物北側の風速の相関関係を図-2に示した。北側風速は、技研本館と林で囲まれた空間で測定されたものであるが、各遮へい物のスケールと密度の違いにより、風向別の相関が見られた。

屋上風速と北側内外差圧との関係を図-3に示した。外部圧力の検知部は、北側壁面(h=6.4m)に垂直に設置され、内部側は室内に開放した。南風の場合は負圧となり、風向変動の影響を受けづらくなることから、風速の2乗と圧力差との間に相関が見られるが、北風の場合は正圧となること、強風時のデータが少ないことから、この関係は見られない。室内圧を基準として、南風の場合の風圧係数を求めると-0.55

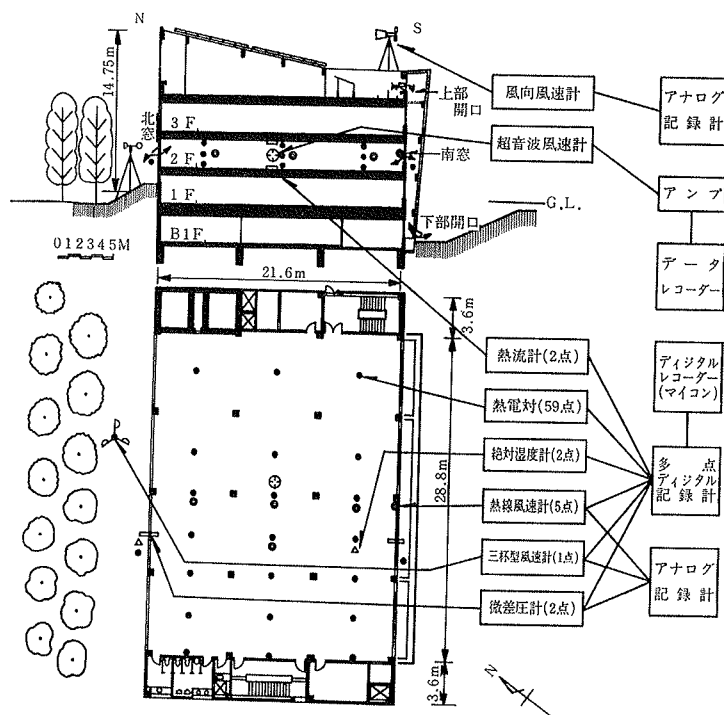


図-1 測定点と測定装置(平面・断面図)

となる。

### 3.2. 室内風速

屋上風速と室内各部の風速との関係を図-4に示した。室内風速は、弱風時に0.02~0.2m/s強風時に0.2~0.5m/sであり、これを室内風速と外部風速との比で見ると0.05となる。石原ら<sup>1)</sup>は集合住宅の測定例からこの値が0.1~0.3になるとしているが、これは、建物種類、開口率、外部環境の違いによるものであると思われる。測定位置による違いは、窓に近い方が中央部と比較して25%程度風速が速くなる程度であり大きなものではなかった。但し、北側では、風向による違いが見られた。

南窓面風速から換気量を求めることは、風速のばらつきが大きく、今回は不可能であった。

### 3.3. 乱れと拡散係数

室中央部の南北水平方向の平均風速と水平方向の乱流速度( $\sqrt{u'^2}$ )および垂直方向の乱流速度( $\sqrt{w'^2}$ )との関係を図-5に示した。水平方向においては、平均風速と乱流速度が概略等しく、垂直方向においては、南風強風時を除いて、約半分のオーダーである。このことは、かなりの強風時を除いて、室中央では、流れが不安定であり、流れの主流をとらえることが困難であることを示している。

水平、垂直方向の拡散係数は次式より求めた。

$$D_{x(z)} = \overline{u'^2} \text{ (又は } \overline{w'^2}) \int_0^{T_1} R(\tau) d\tau$$

$D_x$ : 水平方向拡散係数 (m<sup>2</sup>/S)

$D_z$ : 垂直方向拡散係数 (m<sup>2</sup>/S)

$R(\tau)$ : 自己相関関数

$T_1$ :  $R(\tau)$ がはじめ負になるまでの時間(S)

本報告では  $R(\tau)$  算出の評価時間を6分として、36分間の平均値もあわせて求めた。

南北水平方向の平均風速と水平、

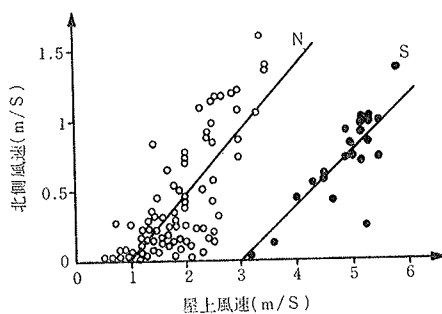


図-2 屋上風速と北側風速との関係

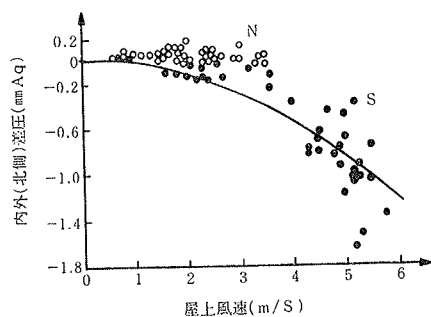


図-3 屋上風速と内外差圧との関係

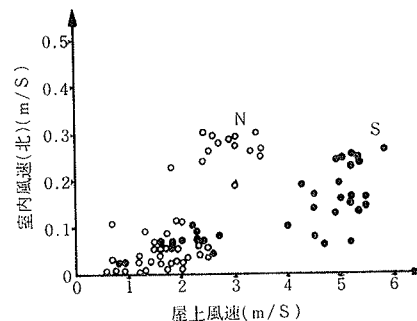
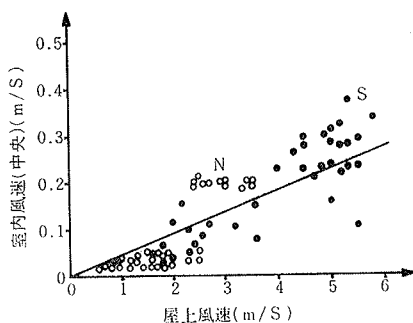
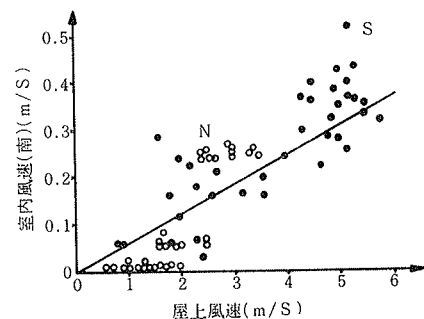
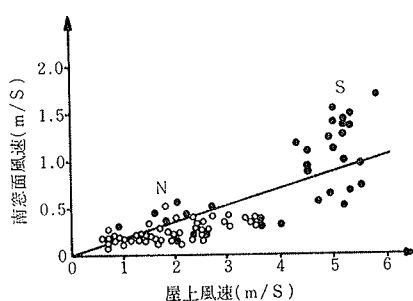


図-4 屋上風速と室内各部の風速との関係

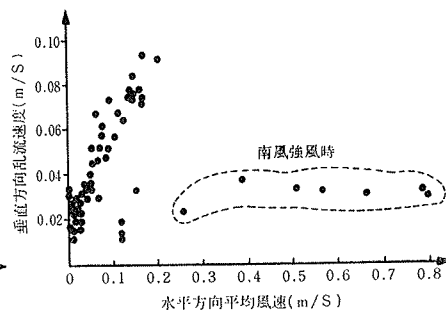
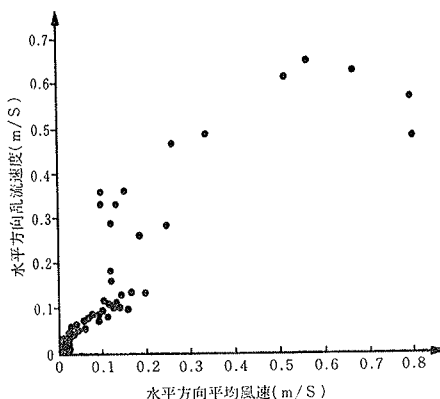


図-5 南北水平方向の平均風速と水平方向および垂直方向の乱流速度との関係

垂直方向の拡散係数との関係を  
 図一6に示した。水平方向の拡散  
 係数は平均風速 0.2 m/s 以上で、  
 1~4 m<sup>2</sup>/s であるが、0.2 m/s 以下  
 では、0.005~2m<sup>2</sup>/s と大きな変動  
 を示した。また垂直方向の拡散係  
 数は、南風強風時を除き、0.002~  
 0.02 m<sup>2</sup>/s の範囲で平均風速と比  
 例関係を示した。このことは、主  
 風向が安定する強風時には、水平  
 方向の拡散係数は、垂直方向の約  
 100 倍のオーダーに達したが、主  
 風向が安定しない微風時において  
 は、水平方向の拡散係数は垂直方向の2~3倍のオー  
 ーであった。また混合距離の平均値  $l$  と空間長さ  $L$  との関  
 係を求めると次式の通りとなる。

$$l_x = 0.059 L_x \text{ (水平)}$$

$$l_z = 0.047 L_z \text{ (垂直)}$$

$$\text{但し } l_x \text{ (又は } z) = \sqrt{u'^2} \text{ (又は } \sqrt{w'^2}) \cdot \int_0^{T_1} R(\tau) d\tau$$

なお評価時間を本報告では、既報<sup>2)</sup> から 6 分としたが、  
 拡散係数に大きな影響をおよぼすことから、今後再検討  
 が必要があると思われる。

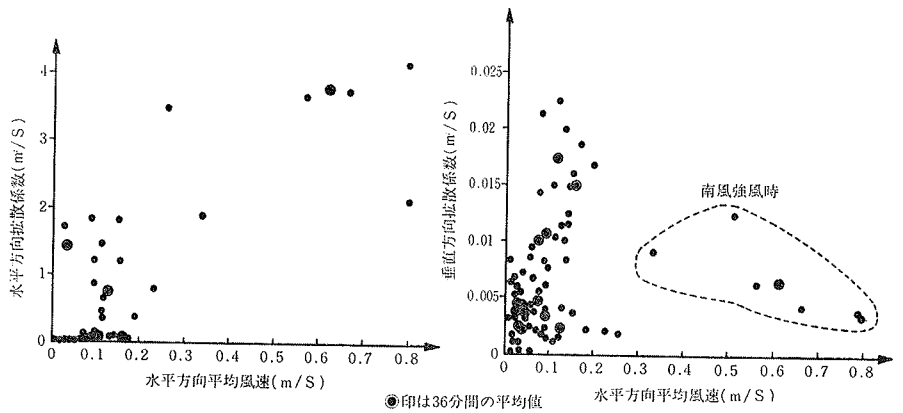
### 3.4. 換気回数

CO<sub>2</sub> 濃度変化は、室の CO<sub>2</sub> 濃度を  $C_r$ 、外気の濃度を  
 $C_0$ 、計測開始時の室濃度を  $C_{ri}$  とすれば、次式で表現す  
 ることができる。

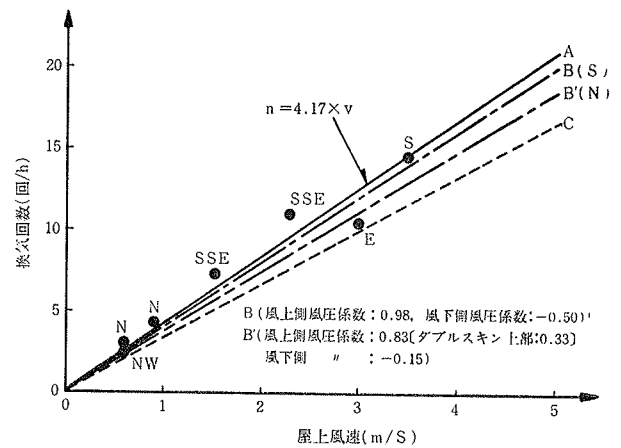
$$C_r = C_0 + (C_{ri} - C_0)e^{-nt} \text{ (m}^3/\text{m}^3\text{)}$$

この式の  $n$  が換気回数であり、次式で求められる。

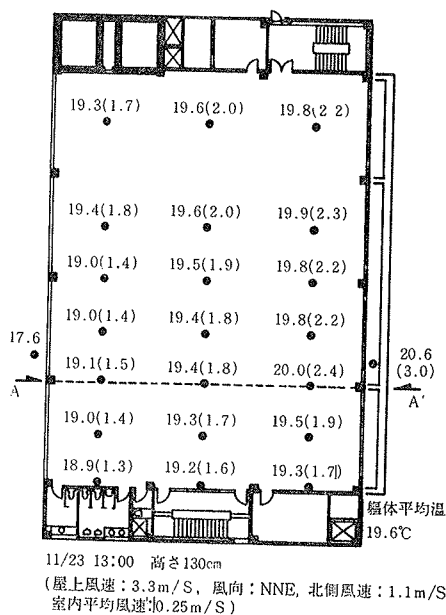
$$n = \frac{-2.3}{t} \log \frac{C_r - C_0}{C_{ri} - C_0} \text{ (回/h)}$$



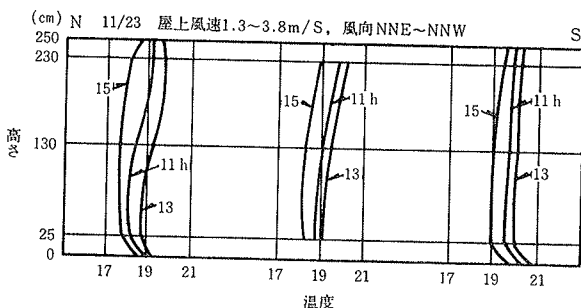
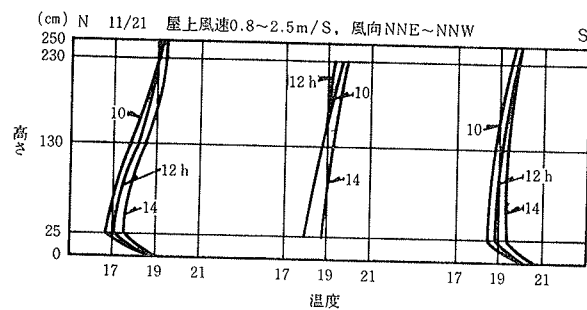
図一6 南北水平方向の平均風速と水平方向および垂直方向の拡散係数との関係



図一7 屋上風速と換気回数との関係



11/23 13:00 高さ130cm  
 (屋上風速: 3.3m/S, 風向: NNE, 北側風速: 1.1m/S,  
 室内平均風速: 0.25m/S)



(断面 A-A')

図一8 室内温度分布 (平面および断面温度分布)

換気回数は、計測時間内の1分ごとのデータを用いて最小2乗法により求めた。屋上風速と換気回数との関係を図一7に示した。図中の直線Aは、実測データから求めた回帰直線であり、直線B、B'は、それぞれ風圧係数を用いた計算法により南風の場合と北風の場合の換気回数を求めたものである。直線Cは、北側窓の流量係数( $\alpha$ )としてBatürin<sup>1)</sup>が求めた流出用の0.33の値と図一3の回帰曲線から求めたものである。実測より求めた屋上風速と換気回数の関係は、次式で表現でき、風圧係数を用いた計算法とも概略一致した。

$$n = 4.17 \cdot v$$

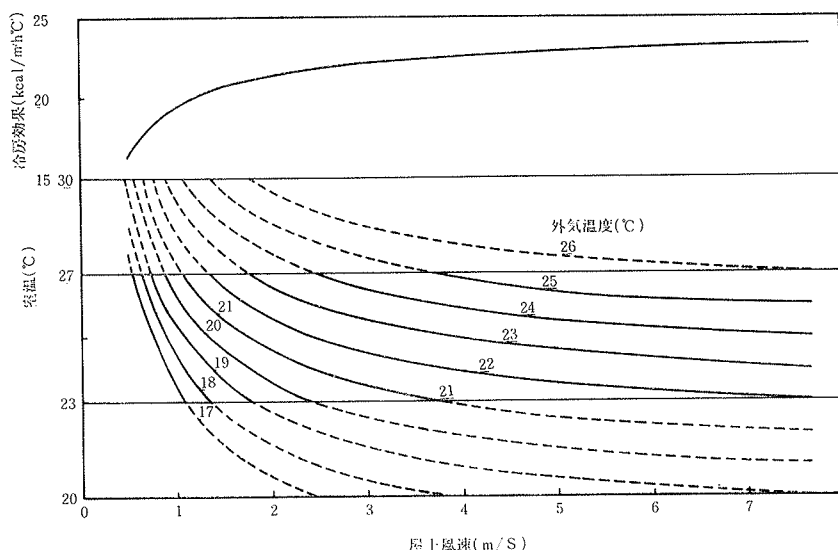
必要換気量を30 m<sup>3</sup>/人として、必要換気回数を求めると3.85回/hとなる。これは、換気回数だけをとられた場合、屋上風速が0.93 m/s以上あれば、必要換気回数を得られ自然通風による換気が十分可能であることを意味している。なお今回の測定は夜間行なわれたため、ダブルスキンの温度上昇による換気効果は加味されていないが、屋上風速が1 m/s以上では、この換気効果による影響は少ない。

### 3.5. 温度分布

自然通風下における室温の水平方向・高さ方向の温度分布を図一8に示した。11/21は、北風弱風、11/23は、北風強風でいずれの日も晴れであった。両者ともに、北側から外気が室内へ流入し、ダブルスキンへ流出している。しかし11/21の場合は、通風量が少ないため、北側下部が他の部分よりも約2℃、局所的に冷やされていた。一方11/23は通風量が多いため、温度差は1℃以内におさまっていた。

## 4. 冷却効果

本測定中は、内部発熱としては天井照明だけであった



図一9 自然通風による冷房効果予測

ために、実測結果から直接、自然通風による冷却効果を求めることは困難であった。そこで全照明が点灯し、80人の在室者がいるものとした内部発熱14.6 kcal/m<sup>2</sup>hと室内日射熱取得150 kcal/m<sup>2</sup>h(窓単位面積当たり)とがあるものと仮定し、3.4項で求められた換気回数から室内熱容量を考慮しない場合の室温と自然通風による冷房効果を求めた。この結果を図一9に示した。室温の快適範囲を23~27℃とすると、外気温が24℃の場合、屋上風速2.45 m/s以上、外気温が22℃の場合、屋上風速1.2 m/s以上でこの範囲内におさまる。また冷房効果は、屋上風速が1 m/sで19 kcal/m<sup>2</sup>h℃、7 m/sで、23 kcal/m<sup>2</sup>h℃である。

## 5. 結論

技研本館の2階研究室を利用して、自然通風効果を求める実測を行なった結果、以下の点が明らかとなった。

(1) 室内風速は、0.02~0.5 m/sで、この範囲では屋上風速との風速比は0.05であり、測定位置による風速の差は小さかった。

(2) 乱れの指標である乱流速度は、水平方向では概略風速と等しく、水平方向の拡散係数は主風向が安定する強風時には1~4 m<sup>2</sup>/sであったが、弱風時には0.002~0.02 m<sup>2</sup>/sであった。

(3) 屋上風速が0.5~4 m/sの範囲において、換気回数は2.5~15回/hで、相互に線型の関係が見られた。

(4) 室内温度分布は良好で最大2℃の温度差であった。

以上の結果から、技研本館は、特に自然通風を行なうことを考慮した建物ではないが、自然通風効果も十分期待できる建物と言えよう。特に強風時特別の対策が必要とされない利点がある。

本報告は、定常状態の解析が中心となったが、風向変動の影響、空気の圧縮性、渦による換気効果、短時間内の風速・温度変動も検討する必要がある。なお技研本館はダブルスキンを有するなど特殊な建物であるので、模型実験との照合により一般化する必要がある。併せて、自然通風のためのローカル・コントロール装置の検討も必要である。

## 参考文献

- 1) 石原正雄: 建築換気設計, 朝倉書店
- 2) 勝田高司, 他: 閉鎖的空間の気流性状に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第234号, (昭50.8), pp. 89~100