

B-56 環境低負荷型オフィスビルにおける地球・地域環境負荷低減効果の検証

(2) 研究棟運用段階における個別対策技術の LCA 評価

独立行政法人建築研究所

環境研究グループ 澤地孝男*・瀬戸裕直

* 平成 16 年 4 月より国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部

<研究協力者>	東京理科大学工学部	井上隆
	東京理科大学大学院	田澤慎也
	東京都環境局 都市地球環境部環境配慮事業課	岡田朋和
	(株)日本設計 環境・設備設計群	福田晋二

平成 13～15 年度合計予算額	12,795 千円
(うち、平成 15 年度予算額)	3,848 千円)

[要旨] オフィスにおいて特にエネルギー消費の割合の大きい冷房用エネルギー消費低減のために、近年オフィスにおける採用事例も増えてきた屋内通風に着目し、外部風性状・通風量・室内温熱環境・執務者の冷暖房及び通風窓の使用実態の測定を行い、通風を利用することを前提にした設計方法と実際の運用段階における建物性能の検証を行った。平成 14 年度においては、地球温暖化研究棟の自然換気通風性状を把握するための実測を行った。その結果から実際の執務空間における通風の利用に関する検討を行うとともに、建物建設時の換気回路網計算を用いたシミュレーションによる事前検討と、実測値により算出される通風量との比較を試みた。換気回路網計算においては建物にかかる風圧係数を設定する必要があるが、その設定値は ASHRAE の方法により決定している。本研究では実測による風圧係数値と既往の予測式による計算値及び模型を用いた風洞実験値との比較を行い、その妥当性に関する検討を行った。その結果、南よりの風向においてはおおむね既存の推定法及び風洞実験による結果と差圧に一致が見られるものの、側方または北側より風が吹く場合の風圧係数値に推定結果との差が見受けられた。屋根面北側の開口部付近には冷却塔等の屋上設置物があり、その影響と推測される。一方、南よりの風向の場合には、建物付近に雑木林が存在するものの、推定風圧係数と実測値との間にある程度の一致が見られている。また、竣工後の運用段階における建物性能の評価を行うための実測として、室内温熱環境の測定を実施した。オフィスでは室内に OA 機器などの発熱源が多く存在するため、中間期や時には冬期にも冷房を運転するためエネルギー消費量は大きなものとなっている。室内の温熱環境と冷暖房機器のエネルギー消費量の測定を行うことで、エネルギー消費実態の把握を試み、省エネルギー性向上のための評価検証を行った。さらに、室内温熱環境と冷暖房機器運転の関係や執務者の使用実態に関する検討を行った。

[キーワード] 二酸化炭素、対策技術、ライフサイクル分析、自然通風、オフィスビル

1. 序論

(1) 研究の背景と目的

近年、住宅のみならず事務所建築や学校等の建物においても自然換気通風に関わる新しい技術を採用する事例が増加しつつある。この傾向は建築の使用に由来する環境負荷、なかんずく換気空調設備のためのエネルギー消費の削減を意図したものであることは言うまでもなく、動力や熱源の依存度を下げることによってライフサイクルでの環境負荷発生を減らすことができる。

しかし、自然換気通風という方法は古くからあるものであり、どこに技術の新規性と研究開発の必要性があるか、という点については若干の補足が必要かもしれない。それは、単純化して言うならば、建物の性能が定量的に評価され、同時に設計に合理性が求められるようになったのが近年になってからのことであるからである。中でも温暖な時期における室内温熱環境の調節や冷房といった性能に対する需要が一般化は、暖房や換気に比べて遅れて起こったことであり、それは自然風や遮蔽物の影響といった不確定要素が関係するために性能の評価が、暖房や機械換気に比して難度が高いこととも関係する。しかしながら、最近では通風現象のメカニズムや遮蔽物の影響を加味した風圧の評価手法等に関する研究が進捗し、定量的な評価や設計の実現性が増してきている。

快適性の向上、冷房負荷の削減、室内空気質の改善、機械換気システムの運転に伴うエネルギー消費量の低減に対して、通風を行なうことは非常に有効な手段であると考えられる。しかし現状、特に都市における過密化、プライバシー、防犯、騒音の問題、自動車の排気ガスなどによる外界の空気質汚染、建造物の蓄熱や人工排熱に起因するヒートアイランド現象による外気温の上昇により、居住者が意識的に通風を利用することを敬遠する場合も多いと考えられる。

通風は室内に外部の空気が流入し、熱や汚染質を奪って室外へ流出するという単純な機構ではあるが、外部風向風速や内外温度差によって建物開口部に与えられる駆動力、その駆動力の開口部の通過に伴う減少量などを予測するのは非常に難しい。また、室内に流入した外気が室内温熱環境や人体の快適性に与える影響に関しては未だ未解明な部分が多く、通風を利用することによる効果は定量的に把握されてはいない。そのため通風を行なうことの有効性は、人々に経験的に生活の知恵として広く認知されているにも関わらず、メリットよりも開口部を開放することによるデメリットが強く認識され、積極的な窓開け行動が抑制される側面もあると考えられる。さらに、現象の定量化が殆どなされていないが故に、通風量を推定することも儘ならず、建物設計時に通風を取り入れることを計画的に考慮されることは少ないと考えられる。

通風量を推定するためには、通風の駆動力として外部風速と建物内外の温度差によって開口部にかかる風圧力と、その駆動力によって室内に流入する外気、外気への流出や室間を移動する室内空気が、開口部を通過する際に起こる圧力損失を知る必要がある。それらを考慮した、換気設計においては技術者の間で一般的に用いられるオリフィス流れ式が、通風に対しても適用されていることは周知の通りである。通風状況下でのオリフィス流れ式の適用は、その精度に関して論議が行なわれるところではあるが、本研究では現在、最も実際的で簡便な計算方法であると思われるそれを通風量の推定に用いる事を前提とする。

推定の際に必要な壁面風圧・流量係数のうち、壁面風圧は外部風速と壁面風圧係数により与えられるものとすれば、外部風速は時々刻々変化するものであり、また各地の気象データの整備も行なわれているので既知となるから、各推定対象建物に対する風圧係数と、各開口部に対する流量係数が必要となる。風圧係数は壁面の風圧を計測することで得られるが、各建物に対してそれぞれ計測するこ

とは、計画時にはもちろん不可能であり、実在する建物に対してもあまり現実的とは言えないので、データの蓄積もしくは予測方法の確立が必要である。流量係数は開口部の抵抗係数として、個々の開口に対して実験値を得ることが出来、また設計資料として用意されているが、風向による差違の検討などが必要である。

また、推定に係わる諸要素の検討を行なうとともに、推定された通風量の精度に関しての検証を行なうことが必要不可欠である。検証の元となる通風量は、外部風向風速や内外温度差による駆動力の増減と、開口部における圧力損失の影響を含んだものであることが求められるので、測定対象建物もしくは室内外での空気の交換量を直接的に把握する方法が有効であると思われる。従って本研究では、実際の建物における換気性能評価に用いられるトレーサーガスによる測定を行ない、通風量を現場でより直接的に計測する。

通風を行なうことによる室内の温熱環境の改善効果を知ることは、居住者の意識的な窓開け行動を促す際の、また、設計者が建物を計画する際の有用な資料となり得る。通風を行なうことは伝統的に生活の知恵として人々に浸透しているものと考えられるが、前述した窓の開放によるデメリットもまた、深く人々の生活の中で意識されている。従って通風を行なうことにより引き起こされる現象の定性的な把握を行なうことで、より効果的に居住者が通風を利用すること、通風を利用することを考慮した計画を設計者が行なうことの手助けとなる。また関連して、居住者の窓開閉行動の動機や傾向を探ることも、設計において有用な情報となり得る。

以上のことから、通風量推定の際の誤差要因と推定の有用性に関する検討および、通風を行なうことによる室温への影響把握を目的に、推定における入力値の検討、通風量の推定値と実測値の比較検討、通風状況下の室温変化の把握を試みる。

(2) 既往の研究

通風に関する研究は古くから行なわれており、昭和 10 年代には風洞模型を用いた風速分布や風圧分布を定性的に把握する試み²⁾がなされている。その後も実大建物における室内風速分布の測定³⁾や、居住者の窓開閉行動の観察⁴⁾などが行なわれ、通風を計画的に利用する事を目標とした資料整備がなされた。その中でも特に、石原^{5),6)}は外部風速から室内風速分布を予測することを目的に、室の容積や風向の変化による室内風速分布の変化を、模型を用いた風洞実験および自然風下における実験による検討を行なっている。

その後、一旦通風に関する研究は少なくなったが、昭和 50 年代頃から活発に行なわれている。片山、石井⁷⁾らは実大の集合住宅で室内外や窓面・窓前の風速分布や室内温度を計測し、外部風性状の把握や、複数の異なる室において室内風速の乱れや新有効温度による評価などを行ない、通風時の室内環境の定量的な把握を試みている。また、それらの実測に対応する風洞模型実験を行ない⁸⁾、実測との相似性の検証を行なっている。戸建住宅に関しては村上⁹⁾が、天窓を有する 2 階建て戸建住宅において実測および風洞模型実験を行なっている。実測においては、開口条件の壁面風圧係数分布や室内風速分布に及ぼす影響の大きさ、天窓の通風に関する有効性を示している。風洞実験においては、壁面風圧係数の実測値との一致性の高さ、天窓に加え南風時の東西窓開放による通風量の増大効果を示している。

最近では、開口部における流量係数に関する検討や、通風性能の評価が行なわれている。赤林ら¹⁰⁾¹¹⁾は CFD による数値解析、TRANSYS による熱負荷計算を行ない、標準新有効温度 (SET*) を導入することにより通風性能評価を行ない、風向・窓の開閉条件・立地の建蔽率をパラメータとした冷房負荷低減効果を明らかにしている。倉渕ら¹²⁾は流量係数の開口位置や風向による変化を、換気駆動力となる動圧の開口部における全圧と風圧の差に対する比で説明するモデルを提案し、LES と風洞模型実験を用いたモデルの検証と様々な開口の通風性能評価への適用を行なっている。澤地ら¹³⁾は、実大の建物模型を用いた風洞実験において、開口面内風速・壁面および床面圧力の測定により流量係数の風向による変化を示し、さらに開口間の風圧係数差によって流量係数算出できる可能性を示唆している。

2. 風圧の計測に基づく通風量の推定

(1) 風圧の現場計測

図1に示す国立環境研究所内地球温暖化研究棟において実測を行った。対象建物は屋上緑化や昼光利用、通風などの特に夏期を中心とした複数の省エネルギー技術が建物建設段階で採用されており、個別技術ごとの省エネルギー効果、環境負荷低減性の比較検討を行なうことを目的とした建物である。通風の利用に関しては、設計時に換気回路網計算による推定の元に開口部面積などが決定された。本実測では通風量の算出に関わる検討とともに、設計時に意図された通風性能の実使用段階での評価を目的とした計測を行なう。



図1 実測対象概況

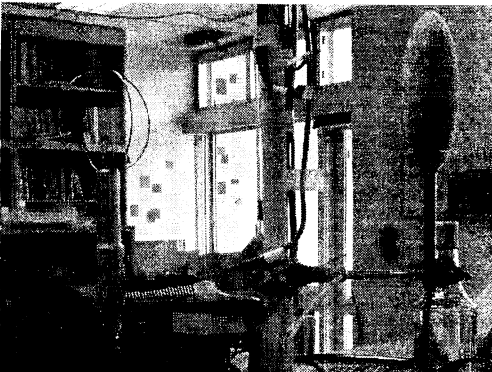
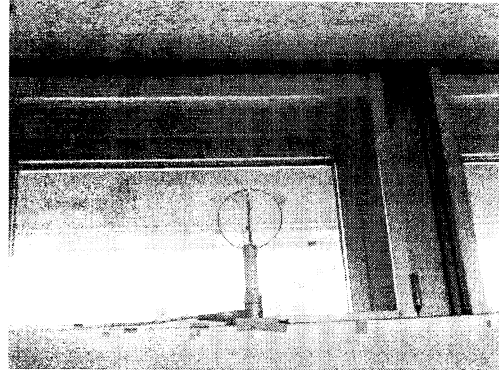
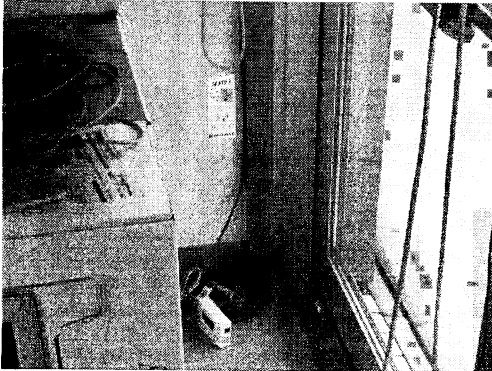
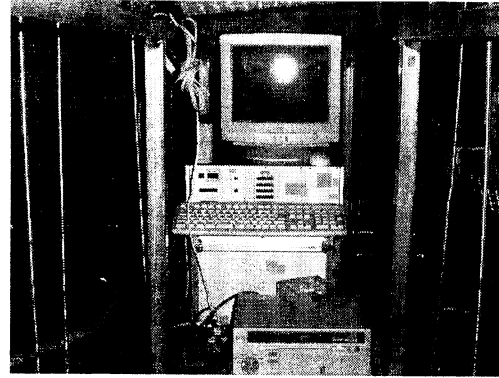
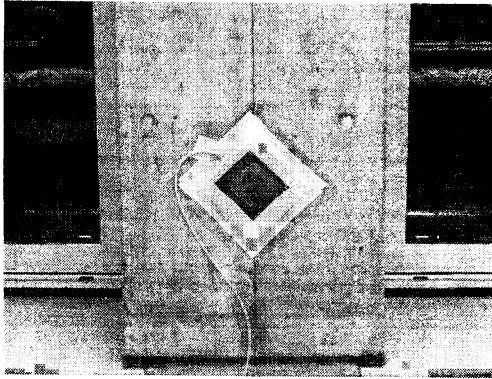
表1に実験スケジュール、表2に計測に使用した機器名、図2に実測風景、図3の平面図に外部風向風速・壁面差圧・室内外温度・PMV・通風量・窓開閉状況それぞれの測定点位置を示す。室内外温度はT型熱電対を用い、外部風向風速はペントハウス上4mの点に設置した超音波風速計を用いて、壁面差圧は南北排煙窓付近の圧力差を計測した。PMV測定は作業量1.2met、着衣量0.5clo、水蒸気分圧1.5kPaに固定して行なった。通風量はトレーサーガスとしてSF₆を用いて測定対象室およびその廊下(ビニールシートによるシーリングにより他室の廊下とは隔離)を一定濃度に保ち、対象室へのガス供給量の計測により算出した。また、通風量測定時には対象室と廊下の間のドアガラリ付近表裏差圧を測定した。

表1 実験スケジュール

実測期間	測定項目	備考
02/09/28 -03/11/08	室内外温度, PMV, 窓開閉, 外部風向風速, 室内風速, 外壁面差圧	停電等による欠測有り 窓開閉は03/02/23より計測開始
03/05/03 -03/05/05	室内外温度, PMV, 窓開閉, 外部風向風速, 室内風速, 外壁面差圧, ドアガラリ差圧, 通風量	執務時間帯を想定した9:00-17:00に計測

表 2 測定機器

測定項目	プローブ	本体 (変換器)	ロガー	測定 レンジ	メーカー
温度	Ttc	—	ThermocacEF	—	—, Eto Denki
PMV	MM0023	1212	↑	±2.0	INNOVA, Eto Denki
窓開閉	—	—	Voltage Recorder	—	T and D
外部風	SAT-550	2010	PC	±30m/s	Kaijo, Keithley, Dell
壁面圧	220D	PDR-5B, 2010	↑	±133Pa	MKS, ←, Keithley, Dell
室内風	54N10	54N10	PC	5m/s	DANTEC, iiyama
通風量	—	1303, 1312	PC	—	INNOVA, INNOVA, IBM



北側圧力板

キャットウォーク内
収録器

窓開閉センサ
およびロガー

南側排煙窓
風速計

室内風速、
温湿度等

南側バルコニー

ペントハウス上
風速計

図2 実測風景

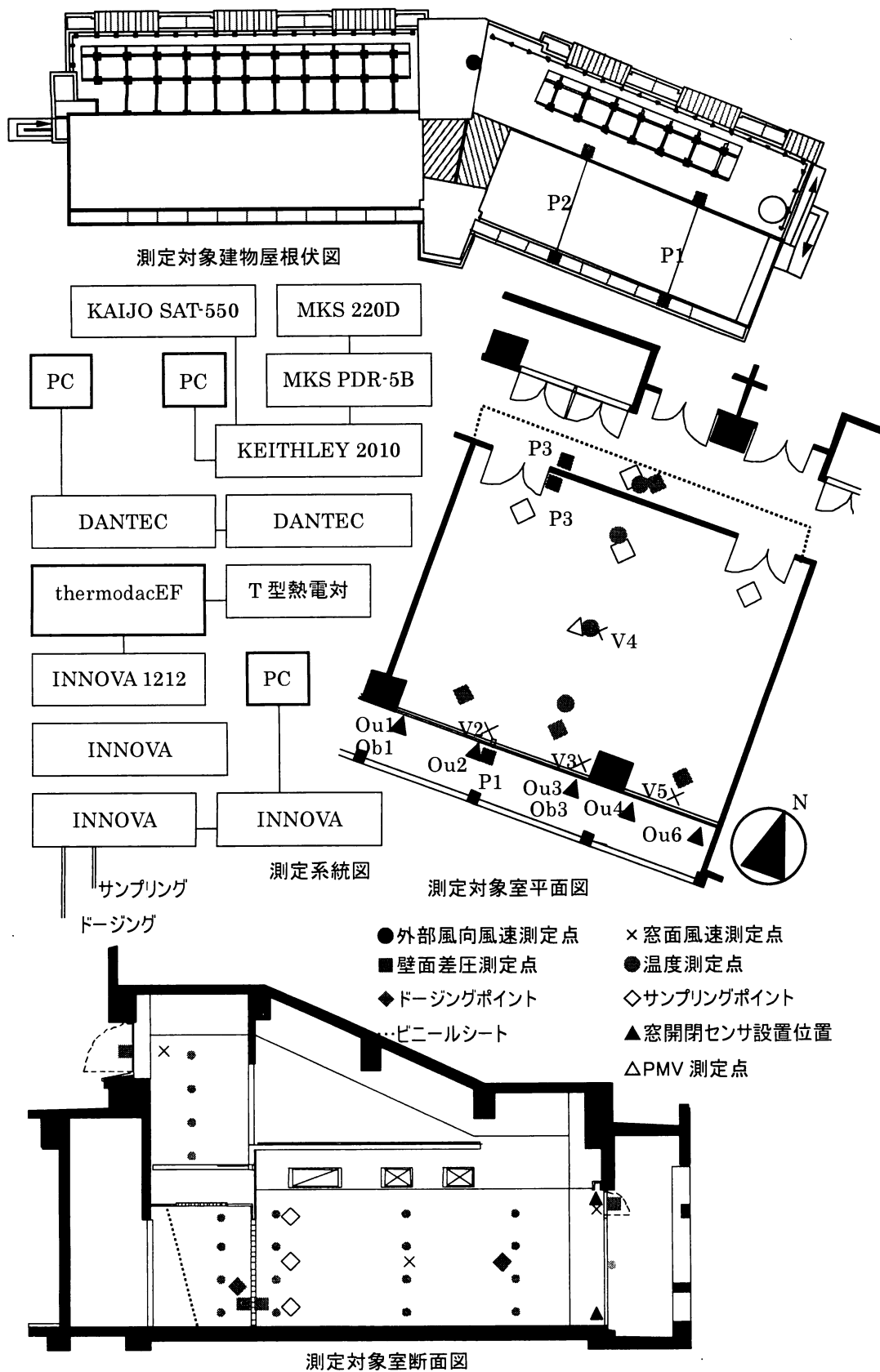


図3 計測点

① 壁面風圧係数の実測

壁面圧力の実測を行ない風圧係数の実測を算出した。風洞実験では風向は常に一定で変動しないので、ピトー管を用いて計測した基準静圧を用いて壁面1点ごとの風圧を計測可能であるが、現場実測においては基準圧を測定することは困難であるから、2壁面間の風圧の差(以下差圧)を計測し、風圧係数も2壁面間の風圧係数の差(以下風力係数)として算出される。南北それぞれの開口部付近の圧力差を導圧チューブの先にベニヤ板を付けた風圧板を用いて計測した。なお、南北圧力測定点間には約2.2mの高低差がある。

ア. 安定風向の判定

風圧の測定は両実験とも3次元超音波風速計を用いた外部風向風速測定と同時に行ない、サンプリング間隔を1Hzとした。実測された風向は変動が大きいため、風向毎の風圧係数を算出する際に、22.5°刻みの16方位に風向を分割し、最頻風向発生頻度による安定風向の判定を用いてデータの選別を行なった。既往の風圧係数現場実測における安定風向の判定方法¹⁸⁾を参考に、図4に示すように2分間の最頻風向の発生頻度が50%以上かつその最頻風向の両隣を加えた3風向の発生頻度が80%以上の時間を抜き出した。以後の検討においても特に断らない限り安定風向の判定に関しては同様の方法をとった。この操作により得た壁面差圧と外部風速の二乗値を風向毎に分け、横軸を外部風速の二乗値、縦軸を壁面差圧とした散布図の一次近似による直線の傾きから、式2のように風力係数を算出した。

$$\Delta P = \left(\frac{\rho}{2} \Delta C_p \right) v^2 \quad \text{式 1}$$

$$\Delta C_p = \frac{2}{\rho} a \quad \text{式 2}$$

a: 一次近似直線の傾き

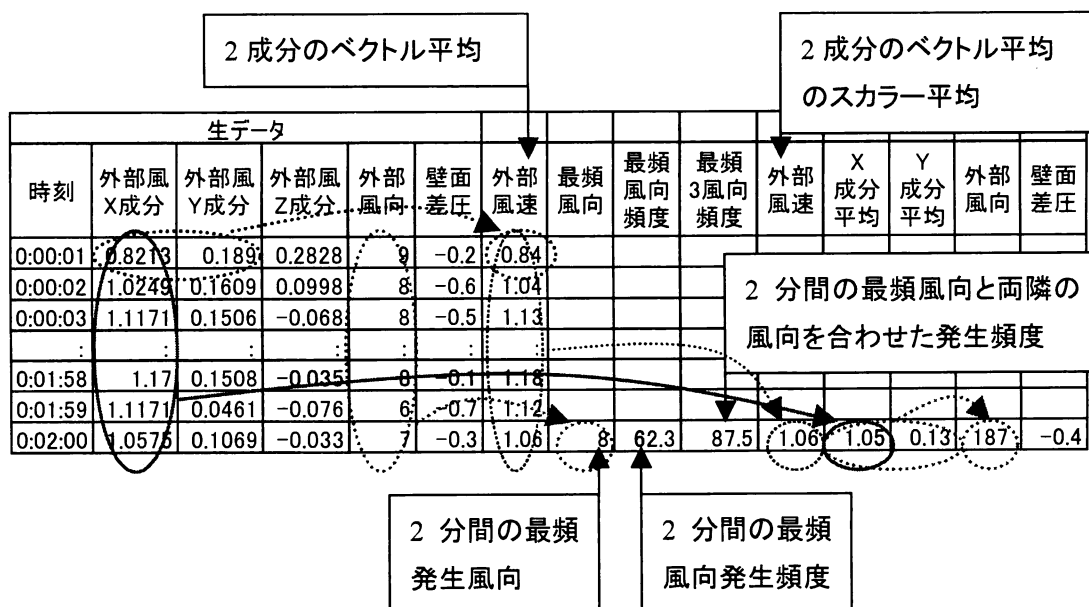


図4 平均化方法および安定風向の判定

イ. 降雨の影響

風圧測定結果に異常値が見受けられた。降雨による風圧測定孔への雨水の浸入に起因する異常値であると考えられたため、測定対象建物近くの気象研究所(つくば市長峰)における気象データから降水量を参照し、検討を行なった。図5に結果の一部を示す。殆どの異常値を示した時間帯で降雨があったことが認められたので、降雨のあった時間帯の前1時間、後ろ23時間のデータを抜き出し検討対象外とした。また、一部降雨がない時間帯に異常値が見られたため、直接風圧計測値によるデータの抜き出しを行なった。影響の考慮時間は降雨影響の除去の場合と同様とし、異常値の判断基準を±50Paとした。

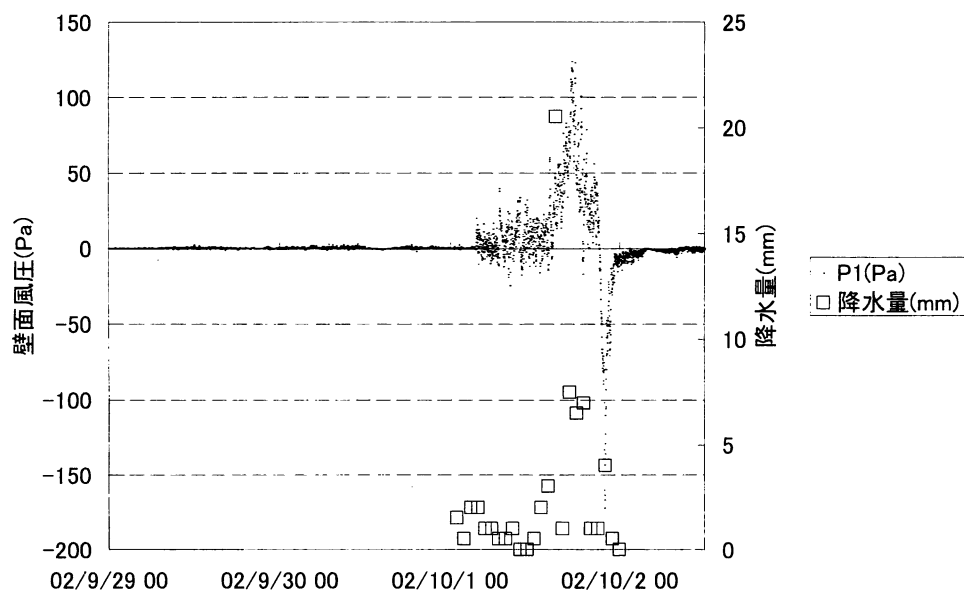


図5 降雨と壁面風圧の時系列変化

ウ. 浮力の影響

また、南北間の圧力測定孔のあいだには、2mの高低差があるためチューブ内には浮力が生じ、圧力測定値に含まれる(図6)。風力係数算出に際してはチューブ近くの温度測定結果を用いて以下のような温度補正を行なった値を使用した。

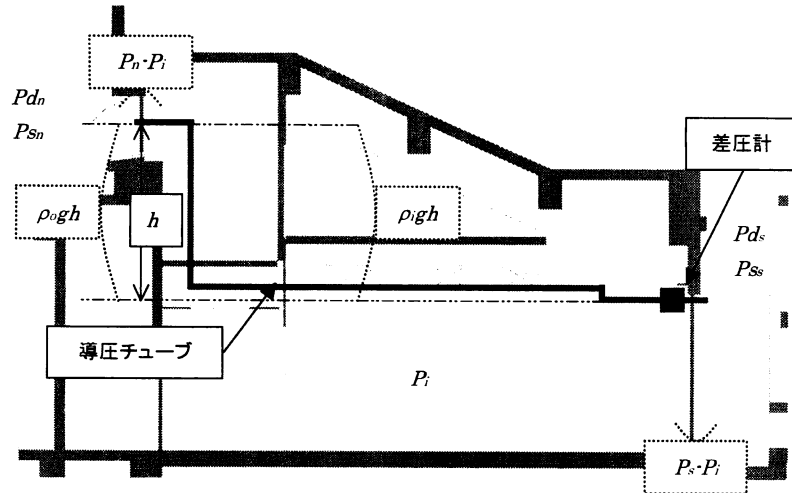


図6 圧力測定詳細

計測される差圧 ΔP_1 は

$$\Delta P_1 = (Pd_n + Ps_n) + \rho_i gh - (Pd_s + Ps_s)$$

ここで

$$Ps_n = Ps_s - \rho_o gh \text{ より}$$

$$\Delta P_1 = Pd_n - Pd_s + \rho_i gh - \rho_o gh$$

すなわち浮力の影響を除去した差圧 ΔP_2 は

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 + gh(\rho_o - \rho_i)$$

また、次節で触れるが換気通風の駆動力となる差圧 ΔP_3 は

$$\Delta P_3 = Ps_n + (Pd_n - P_i) + \rho_i gh - (Pd_s - P_i) - Ps_s = \Delta P_1$$

式3

となる。

Pd_s, Pd_n : 南北壁面における動圧 (Pa) Ps_s, Ps_n : 南北壁面高さにおける静圧 (Pa)

ρ_i : 室内空気密度 (kg/m^3)

ρ_o : 外気空気密度 (kg/m^3)

g : 重力加速度 (m/s^2)

h : 南側基準の高低差 (m)

*南側圧力を基準として計測したが、便宜上(南-北)として表現する。

以上のような安定風向の判定によって、図7に示すような有効データ数を得た。有効データ頻度は安定風向の判定によって検討対象となったデータの判定を行なう前のデータ数に対する比である降雨影響の除去による減少率も併せて示す。安定風向の判定に減少率は降雨影響の除去を行なった後のデータ数に対する比とした。風向14(北西)と15(北北西)からの風が非常に卓越している。有効データ頻度を見ると、全風向において安定風向の判定による減少率は高く、特に東西からの風向で高い傾向が見られる。

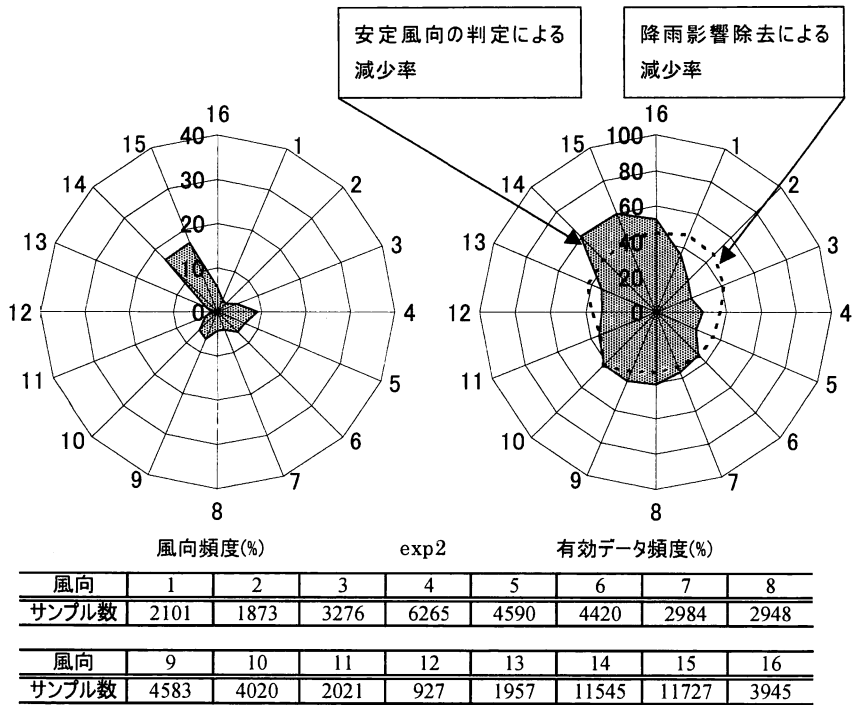


図7 風向頻度と有効データ頻度

② 実測値と風洞実験値および予測値の比較

ア. 実測結果

風力係数を算出するための散布結果の一部を図8に示す。その結果得られた決定係数(相関係数は一次近似直線の傾きおよび切片には依存しないものとして計算した)の風向毎の分布を図8に示す。

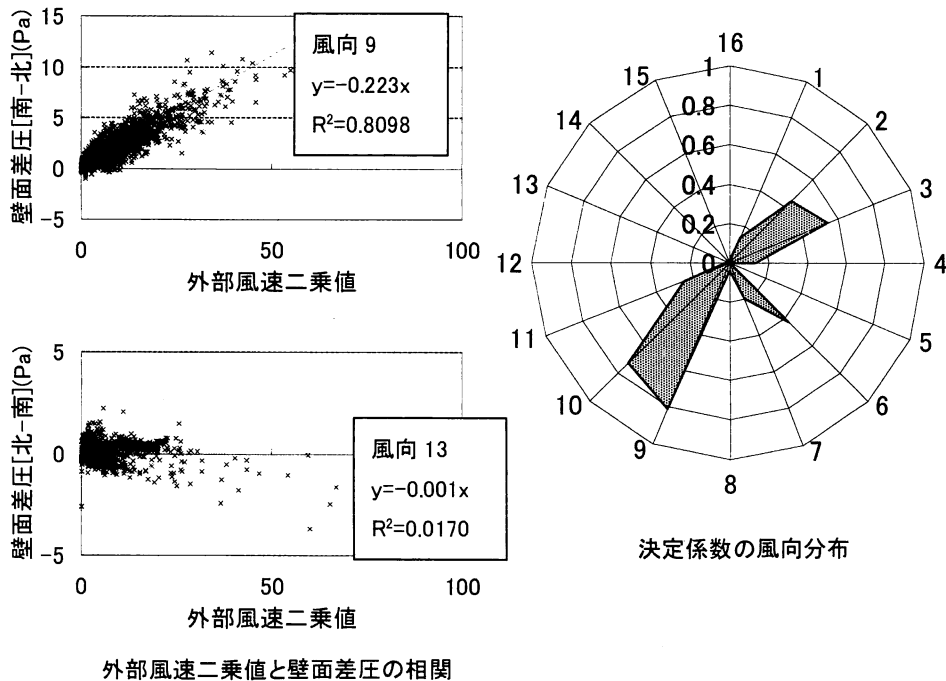


図8 外部風速と壁面差圧の相関図と決定係数

図9に結果を示す。前述したように予測式による予測値は低層建物用の予測式を用いた結果と高層建物用の予測式を用いた結果、風洞模型実験における隣接建物がある場合(隣接距離 $L1=1D=12.5m$, $L2=0$:pattern1-2-1)の結果を示す。予測式の違いによる差は大きく、高層建物用の予測式を用いた場合最大で2倍以上、低層建物用の予測式を用いた結果より大きくなる。実測値と比較すれば低層建物用の予測式による結果の方がより適当であるが、風向4,9,12を除いて絶対値には0.2~0.4程度の誤差が生じている。南側の風向に関しては、実測値は風向9において最大となり計算値と一致する。対象建物南側にある建物と同程度の高さをもつ林と、奥行き1.5mと比較的深いバルコニーの影響を受けて、その他の風向では風力係数は小さくなると考えられる。北側の風向に関しては風向13~16でほとんど0となり、風向1,2,3でも-0.2と小さい。北側圧力測定孔前には設備機器等が置かれており、北側の風向においても北側壁面は大きな正圧を受け無いためであると考えられる。また、圧力測定点は横に長い対象建物の東端から約10m位置にあり、西よりの風向では建物西側および中央のペントハウスの影となるため、ほとんど圧力差が生じないものと思われる。

しかし、南側に隣接建物がある風洞模型実験結果においては風向8,9の場合、風力係数はマイナスとなり非常に強い影響を受けるのが分かる。それと比較すれば実測値はさほど影響を受けていない。隣接建物の影響であれば南側の風向ほど影響を受けるものと考えられるので、実測値の南側風向における絶対値の低さは林の影響のみならず、バルコニーの影響も受けているものと考えられる。バルコ

ニ一はその東側端部が閉じているため、東よりの風向時には遮風効果をもって南側正圧を減少させ、西よりの風向時には淀みを生じて増加させるものと考えられる。ただ、全体的な風力係数の小ささについては、規模による影響ではないと言える。要因としてあげられるのは、南側風向時に風下となる北側壁面近傍で形成される負圧域が、設備機器や屋根形状の影響を受けてそれほど発達しないことが考えられるが、推測の域を出ない。

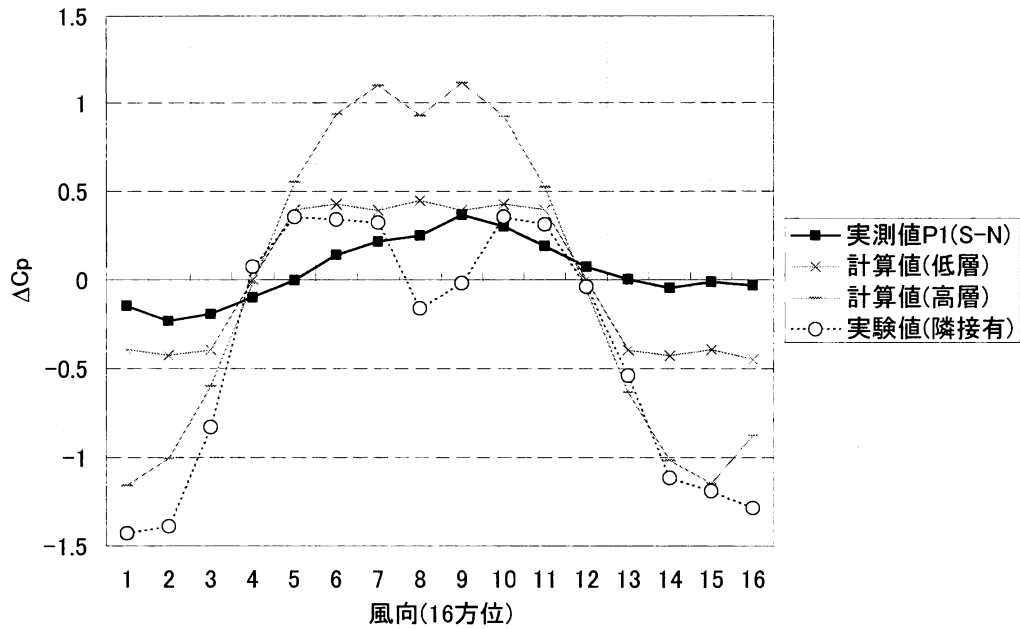


図9 風力係数(南-北)の風向分布

イ. 風圧係数の検討に関するまとめ

風洞実験による隣接建物影響の検討では、対象建物と同寸法の隣接建物の影響を、一部の測定点についてのみであるが定性的な把握を試み、換気設計や通風計画上有用であると考えられる知見を得た。まず、当然のことではあるが隣接建物との間隔が近いほど影響は大きく、風力係数は小さくなりまた、影響を受ける風向範囲も広いことを確認した。また、風向によっては隣接建物があることによって、独立時よりも大きな風力係数を得られることがあることを示した。さらに、隣接建物端部と対象建物測定点、風向の3つのパラメータを含めた遮蔽率の定義により、幾何学的な位置関係による整理の有効性を示唆した。

また、実際の建物における風力係数の算出方法に関して、算出に際する有効データの抽出方法を記した。それらに風圧係数予測式による予測値の予測結果を加え、3者の関係に関する検討を行なった。対象建物自身の局所的な形状の影響により、大きな誤差も見られたが、それらの影響が薄いと思われる風向では比較的良く一致することが分かった。

(2) 流量係数

気流が開口部を通過する際の抵抗に関する流量係数は、古くから開口の種類によって変化することが知られ、実験による設計資料となるような様々な形状の開口についての値を得ることができる。特に換気設計の分野では一般的にそれらの値が用いられる。その他の部分の抵抗が開口部の抵抗に比べ大きいと誤差はさほど大きくならないものと考えられるが、通風を行なう場合、開口の種類に加えて開口への入射角や開口を通過する流量による差が生じることが報告されている。

本節では、一般的に用いられる流量係数の資料を参考にし、それらと通風量の実測値と外部風のデータを用いて算出した合成有効開口面積との比較を行なう。

① 既往の流量係数実験値

石原は昭和 44 年発行の建築換気設計¹⁹⁾において、様々な開口に関する流量係数をまとめている。表 3 に示すように例えば外開き及び回転窓の抵抗係数 $\xi(\xi=1/\alpha^2)$ を求めている。ここでは平均風速 v_0 毎の抵抗係数は示されていないが、表 4 に示すようにルーバークリルの抵抗係数に関しては平均風速毎に求められており、風速による抵抗係数の差が示されており、流速による差は最大で 0.1 程度となっている。また、図 10 に示すような一般的なルーバーに関して、開閉角度と平均流速について流量係数が示されているが、流速による差は最大でも 0.05 程度となっている。防虫網に関しては流速による差は殆どないが、編み目の粗さによる差は大きいことを示している。(空隙率 66%のビニール防虫網で $\alpha=0.7$ 、空隙率 62%のビニール防虫網で $\alpha=0.6$ 程度となる)

表 3 外開きおよび回転窓の抵抗係数

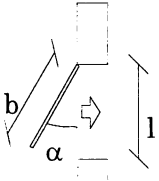
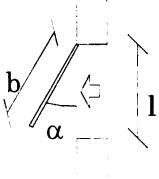
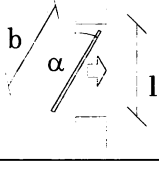
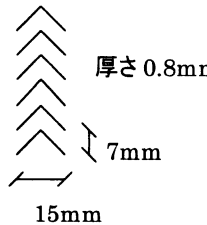
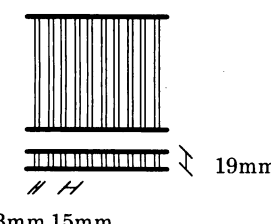
	l/b	α						
		15°	20°	25°	30°	45°	60°	90°
	1.0	11	6.3	4.8	4.0	3.2	2.5	2.2
	2.0	17	12	9.0	6.9	4.0	3.1	2.5
	∞	30	16	12	8.6	4.7	3.3	2.5
	1.0	16	11	8	5.7	3.7	3.1	2.6
	2.0	21	13	9.3	6.9	4.0	3.2	2.6
	∞	31	18	13	9.2	5.2	3.5	2.6
	1.0	45	26	17	11	5.2	3.2	2.4
	∞	59	35	22	14	6.6	3.2	2.7

表4 ルーバークリルの抵抗係数

	面風速 V(m/s)			
	0.5	1.0	2.0	4.0
 <p>厚さ0.8mm 7mm 15mm</p>	10.4	11.2	12.0	13.0
 <p>19mm 3mm 15mm</p>	4.0	3.5	3.0	2.7

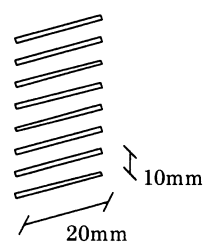
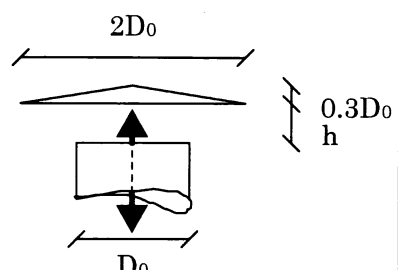


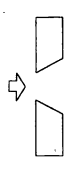

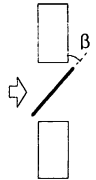
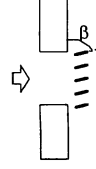
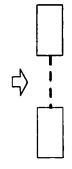
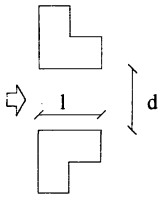
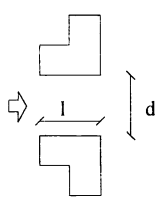
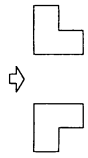
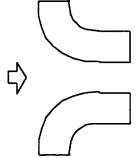
図10 ルーバー

表5 給排気筒頂部の抵抗係数

	h/D ₀								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0
 <p>2D₀ 0.3D₀ h D₀</p>									
給気	2.63	1.83	1.53	1.39	1.31	1.19	1.15	1.08	1.06
排気	4.0	2.3	1.6	1.3	1.18	1.1	1.05	1.0	1.0

斎藤は昭和49年発行の建築気候²⁰⁾において各種開口部の流量係数を示している。表6に示すように、平均流速による差違に関する記述はない。

表6 窓(厚さのない開口部、オリフィス、短筒など)の α

名称	型		流量係数 α	型	流量係数 α
小型の窓 または 一般風上 側窓			0.65~0.7		1.0
回転窓		$\beta=90$	0.65~0.8		
		$\beta=75$	0.4		
		$\beta=60$	0.35		
		$\beta=45$	0.2		
ブラインド		$\beta=90$	0.65~0.8		
		$\beta=70$	0.4~0.5		
		$\beta=50$	0.35		
		$\beta=30$	0.15~0.30		
防虫網 または 格子			約0.3~0.4		
出窓 (風上)		$L/d=2.5\sim 3.0$	0.7		
		$L/d<1.0$	0.5		
出窓 (風下)		$L/d=2.5\sim 3.0$	0.8		
		$L/d<1.0$	0.6		
大型の窓 (風下)			1.4		5.0

澤地ら²¹⁾はチャンバーを用いた実験により防虫網のある開口の流量係数を示している。これによれば、二つの開口が近接する場合の流量係数の合成方法は確立した手法はまだ無いが、前掲した斎藤の建築気候による数値よりも大きくなることが推測される。

また、実大模型を用いた風洞実験において、開口位置の風圧、開口部開放時の室内床面差圧、開口部の流量を用いて流量係数を風向毎に実測している。開口部の出入り平均の風量とともに結果を図 12 に示す。実大模型は高さ 2995mm で、図 11 に示すような位置に高さ 1740mm の開口を設けている。これによれば、風向による差違は非常に大きく、合成値で 0.3 程度の差となり、風向 15° で最大となる。また、図 12 に同じ開口部をチャンバーにて計測した流量係数を直列合成した場合の値(0.45)を付記した。流量の大きい風向 15, 30° では、実験値よりも大きくなる傾向にある。これらの原因は現状未解明であるが、開口部出入り流量平均値の増減と呼応しており、風向変化、ひいては流入流出性状の変化が流量係数の変化要因となることが推測される。

表 7 防虫網の流量係数

	開口(大)30*15cm	開口(中)20*15cm	開口(小)10*15cm
防虫網無し	0.64	0.63	0.65
上流側防虫網	0.58	0.58	0.61
下流側防虫網	0.55	0.55	0.56

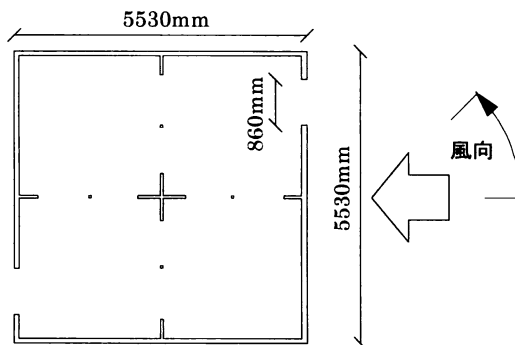


図 11 実大風洞模型寸法

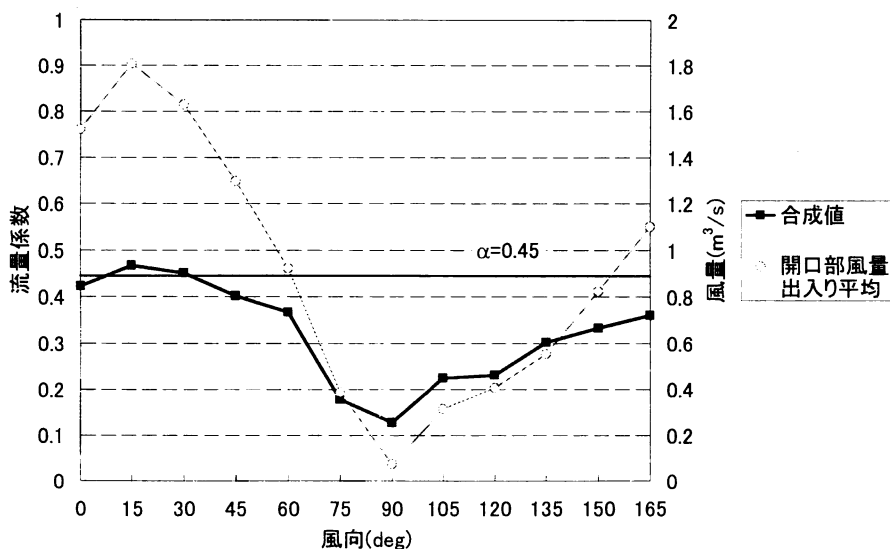


図 12 流量係数の風向変化

② 流量係数の実測

ア. 既往の流量係数資料による低層事務所建物における合成有効開口面積の試算

低層事務所建物において実測した通風量と外部風性状から算出した合成有効開口面積と、前述した既往の流量係数の実験値から算出した有効開口面積との比較を行なうために、既往の実験値を対象建物に当てはめて算出した合成有効開口面積を表 8 に示す。対象建物は図 13 に示すとおり南北に直列に連なる通風経路を想定しているのので、1) 南側排煙窓から 6) 北側排煙窓へと各開口が直列に並んでいるものとして、合成 αA を式 5 に示すように単純な直列合成によって求め、表 8(1) に示す。

ただ、1) 南側排煙窓と 2) 南側排煙窓網戸および 5) 北側排煙窓網戸と 6) 北側排煙窓はそれぞれ互いに近接しているため、式 4 に示すような有効開口面積の直列合成の前提となる動圧の解消は生じないとも考えられ、式 6 のように、各開口部での流量係数の積と開口面積の積を合成 αA として計算した結果を表 8(2) に示す。

またその際に使用した 2) 南側排煙窓網戸および 5) 北側排煙窓網戸の流量係数を斎藤の建築気候に記された値にかわり、開口の大きさ、種類が実際とは異なることは明確ではあるが、前述した澤地らのチャンバーを用いた実験による合成流量係数を用いた結果を表 8(3) に示す。(式 7)

さらに、前述した流量係数の積による合成方法を用い、防虫網と単純開口の流量係数を分離し、防虫網単体の流量係数として 1) 南側排煙窓および 6) 北側排煙窓に乗じて算出した合成 αA を表 8(4) に示す。(式 8)

なお、表 8 および図 13 中の各開口部は図 14 に示すとおりである。

表 8(1) における南側排煙窓と南側排煙窓網戸の有効開口面積を単純直列合成すれば 7679cm^2 となり、流量係数の積から求めた表 8(2) における 5853cm^2 とは、それほど大きな差ではないが、小さくない差異が見られる。表 8(3) に示した 13596cm^2 とは 2 倍程度の大きな差が見られる。開口の種類や大きさが異なる事を鑑みてもその差は小さいとは言えず、引用する流量係数の選定に際しては慎重な吟味が必要であると言える。また、近接した開口における合成方法について、流量係数の積を用いることが妥当であるとすれば、表 8(4) に示した南排煙窓および南排煙窓網戸の合成有効開口面積も表 8(3) に示した値に近い 14323cm^2 であり、開口の種類・大きさの違いは、今回はさほど問題とはならないと言える。合成有効開口面積の算出に際しては、計算方法と流量係数の選定に関して注意が必要である。

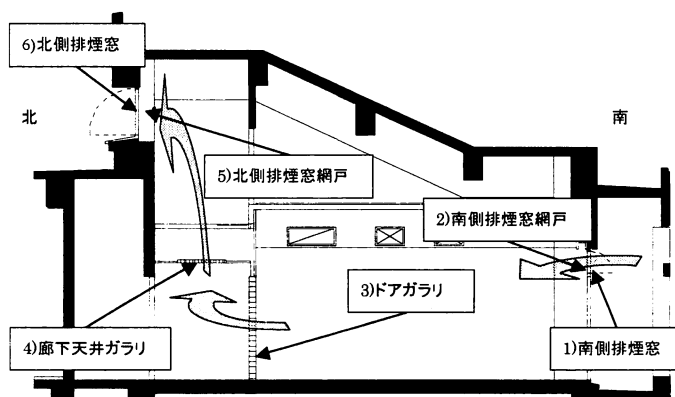


図 13 各開口部位置(断面図)

式 4 (直列合成の一般式)

$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1 A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_2 A_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{\alpha_n A_n}\right)^2}}$$

$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1^{(1)} A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_2^{(2)} A_2}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_3^{(1)} A_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_4^{(1)} A_4}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_5^{(2)} A_5}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_6^{(1)} A_6}\right)^2}} \quad \text{式 5}$$

$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1^{(1)} \alpha_2^{(2)} A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_3^{(1)} A_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_4^{(1)} A_4}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_5^{(2)} \alpha_6^{(1)} A_6}\right)^2}} \quad \text{式 6}$$

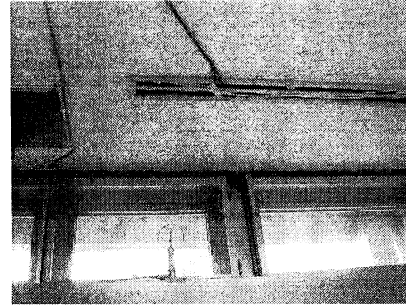
$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_2^{(3)} A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_3^{(1)} A_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_4^{(1)} A_4}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_6^{(3)} A_6}\right)^2}} \quad \text{式 7}$$

$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1^{(1)} \alpha_2^{(3)} A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_3^{(1)} A_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_4^{(1)} A_4}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_5^{(3)} \alpha_6^{(1)} A_6}\right)^2}} \quad \text{式 8}$$

流量係数 α の上付数字は表 8 中の脚注番号に対応、下付数字は下記開口部の番号に対応



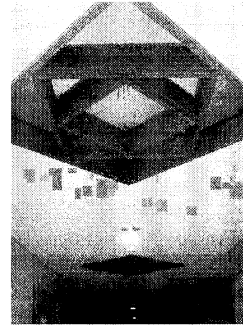
1) 南側排煙窓(室外から)



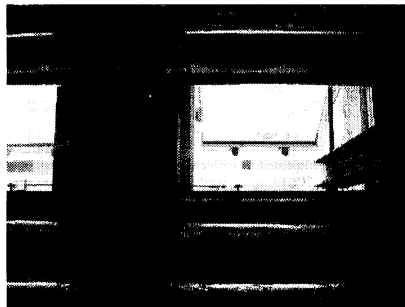
2) 南側排煙窓網戸(室内から)



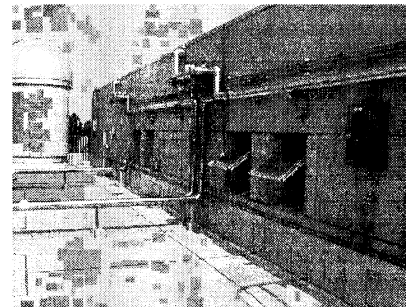
3) ドアガラリ(室内から)



4) 廊下天井ガラリ(廊下から)



5) 北側排煙窓網戸(室内側から)



6) 北側排煙窓(室外から)

図 14 各開口部写真

表 8 既往の実験値を用いた合成 αA

(1) 単純な直列合成

No.	開口部名称	開口面積 (cm ²)	流量係数	有効開口面積 (cm ²)
1)	南側排煙窓	24720	0.67 ¹⁹⁾	8652
2)	南側排煙窓網戸		0.35 ²⁰⁾	16666
3)	ドアガラリ	10850	0.31 ¹⁹⁾	3364
4)	廊下天井ガラリ	19200	0.66 ¹⁹⁾	12660
5)	北側排煙窓網戸	11250	0.35 ²⁰⁾	6390
6)	北側排煙窓		0.57 ¹⁹⁾	3938
合成有効開口面積 (cm ²)				2199

¹⁹⁾ 表 3

²⁰⁾ 表 6

表8 既往の実験値を用いた合成 αA (続き)

(2) 排煙窓における合成を流量係数の積とした場合

No.	開口部名称	開口面積 (cm^2)	流量係数		有効開口面積 (cm^2)
1)	南側排煙窓	24720	0.67 ¹⁹⁾	0.24*	5833
2)	南側排煙窓網戸		0.35 ²⁰⁾		
3)	ドアガラリ	10850	0.31 ¹⁹⁾		3364
4)	廊下天井ガラリ	19200	0.66 ¹⁹⁾		12660
5)	北側排煙窓網戸	11250	0.35 ²⁰⁾	0.20*	2236
6)	北側排煙窓		0.57 ¹⁹⁾		
合成有効開口面積(cm^2)					1757

*網戸の α と単純開口の α の積

³⁾表3

⁴⁾表6

(3) 排煙窓の流量係数を大きさ、種類の異なる網付き開口の値に替えた場合

No.	開口部名称	開口面積 (cm^2)	流量係数		有効開口面積 (cm^2)
1)	南側排煙窓	24720	0.64 ²¹⁾	0.55 ⁵⁾	13596
2)	南側排煙窓網戸		0.86*		
3)	ドアガラリ	10850	0.31 ¹⁹⁾		3364
4)	廊下天井ガラリ	19200	0.66 ¹⁹⁾		12660
5)	北側排煙窓網戸	11250	0.91*	0.58 ⁵⁾	6525
6)	北側排煙窓		0.64 ²¹⁾		
合成有効開口面積(cm^2)					2846

*単純開口を含めた網戸の α 実測値と単純開口の α 実測値から求めた網による減少率

¹⁹⁾表3

²¹⁾表7

(4) 網戸の流量係数を分離して排煙窓との積とした場合

No.	開口部名称	開口面積 (cm^2)	流量係数		有効開口面積 (cm^2)
1)	南側排煙窓	24720	0.67 ¹⁹⁾	0.58	14323
2)	南側排煙窓網戸		0.86*		
3)	ドアガラリ	10850	0.31 ¹⁹⁾		3364
4)	廊下天井ガラリ	19200	0.66 ¹⁹⁾		12660
5)	北側排煙窓網戸	11250	0.91*	0.51	5791
6)	北側排煙窓		0.57 ¹⁹⁾		
合成有効開口面積(cm^2)					2781

*単純開口を含めた網戸の α 実測値と単純開口の α 実測値から求めた網による減少率

¹⁹⁾表3

²⁰⁾表6

イ. 実測値からの合成有効開口面積の算出

風向は1秒間隔で測定された風向データの1分間の最頻風向とし、3日間で延べ21時間の通風量測定実験中に風向1、2以外の14風向のデータを得たが、北よりの風向3、11、12、13、14、16については殆ど有効なサンプル数は得られていない(図15)。図16中口で示すとおり、水平位置の違うP1・P2は高い相関関係にあるため、今後は測定対象室近傍のP1を用いて検討する。図17、18に対象建物のトレーサーガスによる通風量測定実験中の南北壁面差圧P1(北-南)とドアガラリ差圧(廊下側-室内側)の相関図を示す。この建物は前述したとおり夏期・中間期の卓越風向である南風を主たる換気駆動力として、図13に示す様な通風経路を想定して計画されている。南よりの風向時に南北壁面差圧に明確に比例してドアガラリ差圧が増減していることから、想定された通風経路が少なくとも南側壁面から3階南室、廊下にかけては実現されていることが分かる。東よりの風向4、5では壁面差圧およびドアガラリ差圧ともにマイナス側にも分布しており想定される通風経路に対して逆流が生じているが、図16に示すように得られた全風向に関して高い相関関係を見ることが出来る。

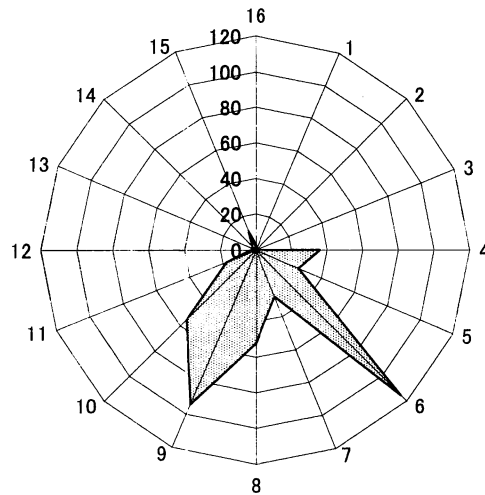


図15 有効データ数

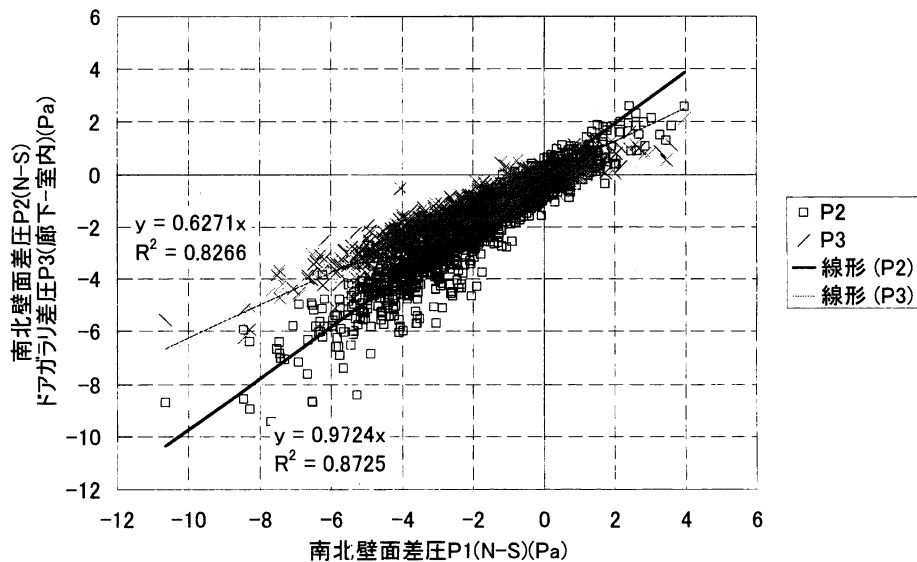


図16 南北壁面差圧とドアガラリ差圧の相関(全風向)

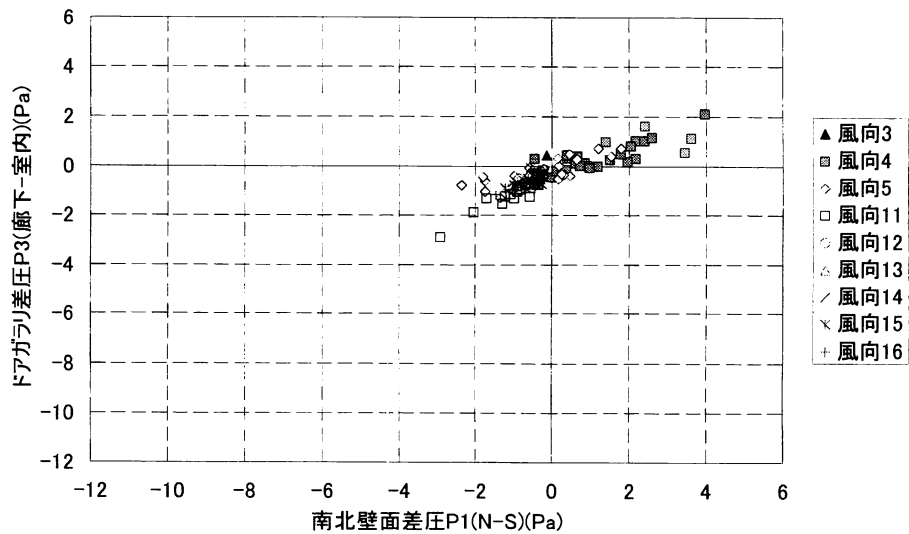


図 17 南北壁面差圧とドアガラリ差圧の相関(風向 6~10)

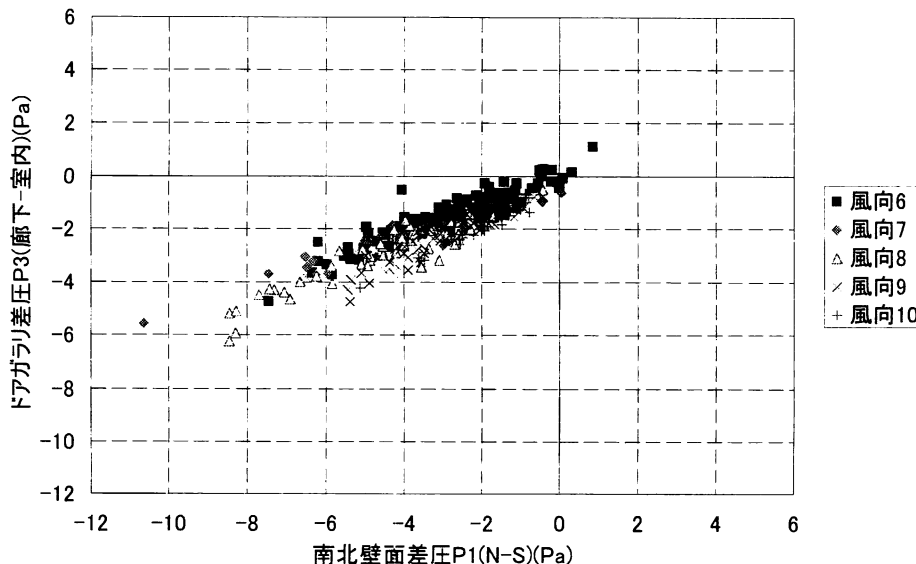


図 18 南北壁面差圧とドアガラリ差圧の相関(風向 3~5, 11~16)

通風量算出の基本式から室内の通風量(Q)と流出入壁面の差圧(ΔP)が分かれば、有効開口面積が算出できることが分かる。すなわち、通風量(Q)と南北壁面差圧に $2/\rho$ を乗じ、平方根を取って 0.36 を乗じて相関を取れば、一次近似式の傾きが有効開口面積と見なせる。

トレーサーガスにより計測される通風量の変動は比較的緩やかで、時間経過に対して瞬間的に変化しないと考え、約2分ごとに計測されたデータを直線補間で1分毎とし、1分毎に30分の移動平均を行なっている。また安定風向の判定は、測定間隔1秒間の3次元外部風速データを用いて、30分間の最頻風向の発生頻度が33.3%以上で、なおかつ最頻風向の両隣の風向を合わせた最頻3風向の発生頻度が80%以上の時間帯を抜き出して行なった。壁面差圧に関しても同様に測定間隔1秒間の圧力データを用いて1分毎に30分の移動平均を行なった。以上の選別を行なった結果得られた外部風性状を図

19 に示す。外部風速は 90%以上が 3～5m/s の範囲に分布し、風向は 4(東),5(東南東),6(南東),8(南),9(南南西),10(南西)に有効なデータを得た。

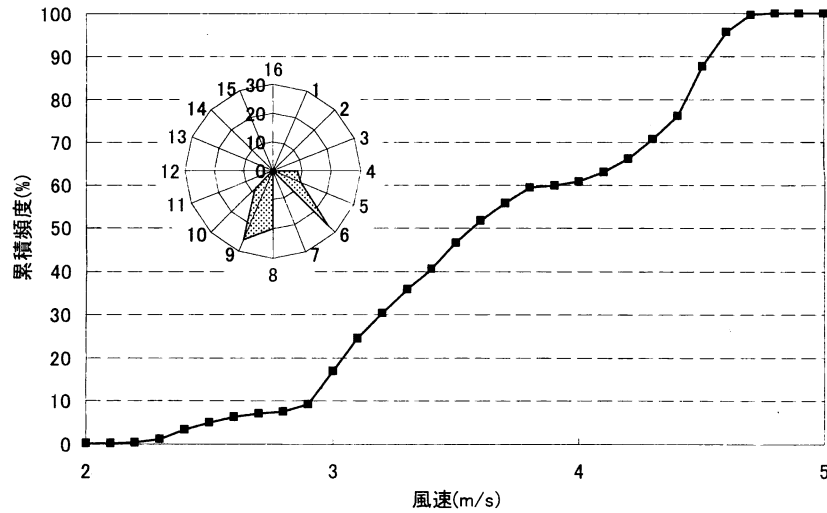


図 19 実測期間中のデータ選別後の外部風速累積頻度分布および風向頻度

図 20 および図 21 に、流量係数を算出するための通風量と壁面差圧の相関を示す。図 20 に示すように、風向 4, 5 では南北壁面差圧の増減に関わらず通風量はほぼ一定となり、壁面差圧が殆ど得られなくとも $1000\text{m}^3/\text{h}$ 程度の換気が行なわれている。また、通風量と壁面差圧の風向 4, 5 における最大値は、風向 6, 8, 9, 10 での通風量と壁面差圧の最小値とほぼ等しい。壁面差圧によらず通風量が一定となる要因は、既往の研究¹³⁾でも報告されているような流出入開口の並びに対して垂直な風を受ける場合、実際には瞬時に流出入両開口それぞれに圧力が働いているが、時間平均で見ると換気駆動力となる差圧は殆ど表れないというような、空気の脈動による換気が行なわれている可能性がある。また、風力ではなく温度差による換気が行なわれているために、圧力変動との相関関係が見られないとも考えられるが、南北壁面差圧の計測に温度差起因の圧力変動も含まれるので、通風量と差圧の無相関の原因とは言い難い。通風量と壁面差圧の最大値と最小値がほぼ等しいこと、また計測期間が短く、その中でも執務時間を想定した午前 9 時から午後 17 時の間の計測であったため、外部風性状の変動が少ないことから、 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 程度の通風量を実測期間中の最低通風量と考えれば、風向 4, 5 においては明確な南から北への通風は行なわれていないとも言える。

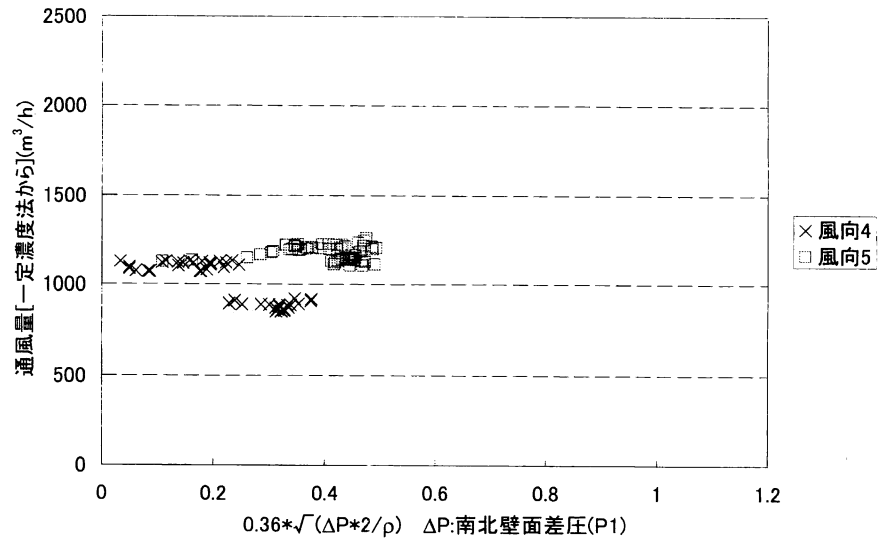


図 20 南北壁面差圧と通風量の相関(風向 4, 5)

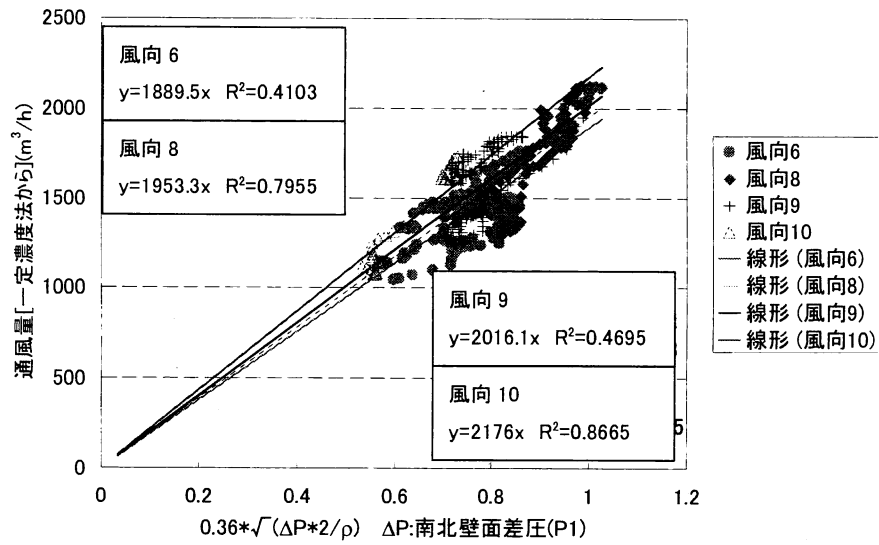


図 21 南北壁面差圧と通風量の相関(風向 6, 8, 9, 10)

前述したような空気の脈動による換気が行なわれている場合の壁面差圧は 0(南北圧力差無し)をまたいでプラスマイナス両方に分布していると考えられる。空気の脈動による換気が行なわれており、平均化を行なうことにより見かけ上駆動力となる壁面差圧が殆ど発生してないように見えると仮定すれば、壁面差圧の時間平均を行なう際に瞬時の差圧の絶対値を平均化すれば、換気駆動力も反映できるものと考えられる。しかし本実験ではトレーサガスモニターにより、対象室北側の廊下も対象室と同濃度に保っており、北側から南側への通風量は実測値に算定されない。すなわち北側正圧となる時間帯は実測値についても通風量は 0 であるから、計測された壁面差圧のうち南側正圧の時間帯のみを抜き出して平均化を行なえば、より実現象に近い結果を得られると仮定し、壁面差圧の北側正圧となる値を 0 に変換し平均化を行なった。図 22 に 1Hz で計測された壁面差圧を 1 分毎に 30 分で移動平均する際に、南側正圧となるデータのみを抜き出して平均した結果を図 20 の横軸と入れ替えて示す。図 23 も同様に図 21 の横軸を入れ替えた結果である。図 20 では壁面差圧の増減に関わらず通風量実測値はほぼ一定値であったが、図 22 においては図 21 に見られたような相関が見られる。風向 6, 8, 9, 10 では殆ど変化がない。

風向 4, 5 においては、空気の脈動による換気が行なわれていた事が示唆されるが、本実験では北側から南側への空気の流入は無視しているため、結論づける事は出来ないが、実測においては、また設計においても外部風の乱れによる換気駆動力も考慮に入れる事が可能であるといえる。以後流量係数の実測値としては図 22, 23 の結果を用いることとする。

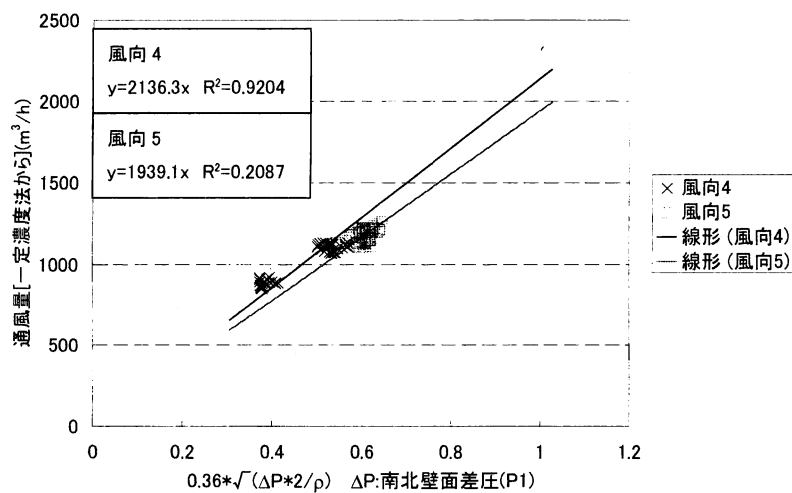


図 22 南北壁面差圧と通風量の相関(風向 4, 5)

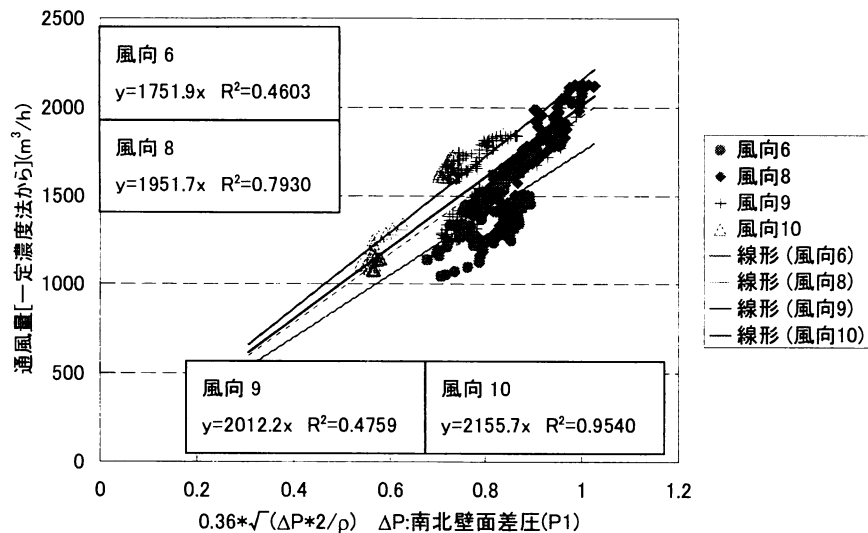


図 23 南北壁面差圧と通風量の相関(風向 6, 8, 9, 10)

③ 既往の実験値と実測値の比較

図 22, 23 に示すように、風向 4, 5, 6, 8, 9, 10 に関しては、 $R^2=0.21\sim 0.95$ で一次近似直線を得た。風向 5, 6, 9 で相関が悪いが、以後この一次近似直線の傾きを実測の流量係数として、前述の既往の流量係数実験値を用いた合成 αA との比較を行なう。図 24 に結果をまとめた。風向 4 を基準とした有効開口面積の増加率とともに、参考として図 11 に示した実大の模型を用いた風洞実験による流量係数実験値の増減率を図中右軸に折れ線で示す。実測値を見ると風向による差は既往の実験値による計算方法や使用した流量係数の違いによる差よりも小さいが、最大で風向 4, 10 の間で 400cm^2 (増加率 1.15) ほどとなり、東側(風向 4)から南東(風向 6)に掛けて減少し、南西側(風向 10)にかけて大きくなる。実験条件がかけ離れており比較対象とすることが適当であるかの問題はあるが、参考として実大風洞模型実験による流量係数の風向変化による増減率と比較すると、風向 6, 8, 9 では差が大きいが、条件の違いを鑑みれば小さな誤差で傾向が一致しているともとれる。しかし全体的には、実測においては風向 6 において最小値を示し、風向 4 と 10 の合成 αA がほぼ同じ値で最大値を示すなど、流量係数実験値の増減との間には大きな傾向の違いが見られる。

既往の実験値を今回の実測値を比較すると、表 8(2) に示した排煙窓部分で開口と網戸の流量係数の積を用いて計算した結果を除いて、すべてどの風向の実測結果より大きい。特に網戸の流量係数をチャンバーによる実験値とした表 8(3), (4) の合成 αA はどちらも 1000cm^2 ほど大きい。上述の開口部の風量と流量係数の関係の深さを持ち出せば、チャンバーで流量と差圧を正確に把握して計測した流量係数は、実際の建物では最も風量の大きくなる風向の流量係数に当たり、風向が時々刻々変化し気流の乱れも大きい状況下での、本報のように長いスパンでの平均化を行なって算出した実測流量係数に比べ、過大に評価されるようである。その観点からすると、表 8(1) に示した単純な直列合成により算出した有効開口面積と実測値との非常に似通った結果をもって、従来一般的な方法による有効開口面積の推定の妥当性を確認できたと結論づけることはためられる。また、網戸に対して用いた斎藤による流量係数は約 $0.3\sim 0.4$ (計算には 0.35 を使用) と、石原や澤地らの実験

値に比べると半分程度であることにも注意が必要である。

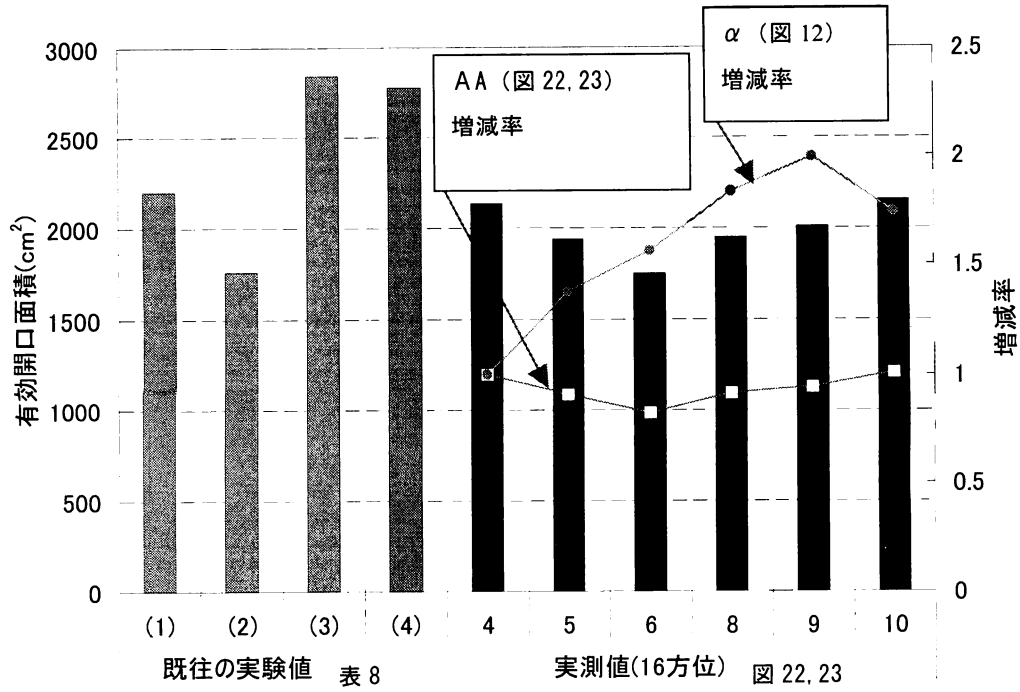


図 24 合成有効開口面積の比較

3. 通風量実測による建物性能の検証

前章では、通風量算出のための基本式となるオリフィス流れ式における壁面風圧係数と流量係数という2つの入力値に関する検討を行なった。壁面風圧係数に関しては、実測値と予測式による予測値の間に風向によっては誤差を含むが一致性を認めることが出来た。流量係数に関しては、既往の実験値により算出した合成 αA と実測通風量と差圧の関係から算出した合成 αA の間に大きな誤差は見られなかった。オリフィス流れ式による通風量算出を行なうための入力値の有用性を確認することが出来たと考えられる。

本章では、実際の建物において通風を利用した際の現象の検証を行なう。第(1)節では開口部を開放した際の通風量を実測により把握し、検討を行ない、前述した入力値の通風量推定における誤差と有用性を調べる。また、現場でのトレーサーガスを用いた通風量の測定方法を出来るだけ詳細に記述した。第(2)節では、通風時の室内温熱環境の変化や執務者の窓開け行動といった質に関する検討を行なう。ただし、前述したように、人の気流感による快適感の向上など、快適性に関する検討は行なっておらず、単純な温度に関する検討にとどまっている。

(1) 通風量の検証

現在までに、通風量を現場で実測した例は非常に少ない。多くの場合は数値計算によるシミュレーションや縮尺模型を用いた風洞実験を行なうことにより、通風量を推定する。通風は非常に複雑で、未だ現象に関する理解はあまりなされていないのが現状であり、自然風中の実際の建物に於いては更に複雑さを増すものと考えられる。故に現場での実測はその精度をあまり高く出来ないために、行なわれにくい。しかし、上記のオリフィス流れ式による計算、数値計算や風洞実験による予測に対する検証をするためには、実際の建物における実測値との比較が必要である。

① 通風量の実測方法の検討

実際の建物において外部風性状は時々刻々変動する非定常状態にある。また、建物開口部においても面内で風速は一定ではなく、場合によっては出入りの方向も一定ではないので、そのような状況下で通風量を算出するのは困難である。ここでは通風量算出のための測定法の長短を整理することにより、より正確に通風量を把握するための測定法の検討を行なった。表9に換気量測定に用いられるトレーサーガスによる換気量測定法を中心に測定方法の特徴を示す。

表9 種類の測定法

測定法	風速計	一定濃度法	一定発生法	二時点減衰法
利点	・秒単位の変動を計測可能	・室毎の換気量が把握できる	・室間の汚染物質の移動を把握できる	・拡散の為に気流を乱す恐れがない
問題点	・定常状態に限られる (開口面内の風速分布が不均一である と精度は低い) ・外気導入量不明	・サンプリングが遅い ・室内一様拡散が前提 ・室間の汚染物質の移動不明 ・換気量が多い状況下では一定濃度を保ち辛い	・サンプリングが遅い ・室内一様拡散が前提 ・多数室での換気量不明	・サンプリングがさらに遅く、変動は不明 ・一定風速風向下に限る ・隙間が多いと不正確
変動	秒単位で計測可能	最小1分	最小1分	5分程度
出入り	開口面内均一ならば分かる	不明	不明	不明
実効換気量	不明	室毎	全体	一室
多数室間移動	不明	不明	○	不明

壁面差圧

外部風速、壁面圧力を計測することで比較的容易に通風量の算出が可能。開口部での流出入性状が不安定な状況下では正確性に欠ける。開口部における抵抗(流量係数)の設定に注意が必要であり、また外部風速の住宅近傍風への対応に配慮が必要であり、測定対象建物周辺の状況に影響を受ける。

開口部風速

開口部の風速分布を計測することにより通風量を算出することができる。風速計の応答時間で通風量の変動を捕らえることができるが、開口面内の風速分布は特に流出入が安定しない場合は流出入性状に乱れや変動が大きく、面内での有効な平均流量を算出する事が難しい場合がある。また、室全体としての内外空気の交換量を算定することは難しい。

トレーサーガス一定濃度法(Constant concentration)

各室において一定濃度になるようにトレーサーガスを撒くことにより、各室ごとの換気量が把握できるが、室間の汚染物質(トレーサーガス)の移動量は分からない。計測対象室数が増えるごとにサンプリング間隔は長くなり、最小でも1分である。トレーサーガスの瞬時一様拡散が前提であり、拡散のために設置したファンが室内気流を乱す(時には通風量自体にも影響を与える)ことが考えられる。

対象室内を一定濃度に保たなければならないので、大きな空間や通風量の多い空間では一定濃度に保つことが出来ないと測定は困難である。

トレーサーガス一定発生法(Constant injection rate)

各室に一定濃度のトレーサーガスを撒いてサンプリング濃度を計ることにより、室間の汚染物質の移動は分かるが、室毎の換気量は分からない。一定濃度法同様、室数が増えるごとにサンプリング間隔は長くなり、室内気流を乱すこと可能性がある。

測定対象室毎の換気量が不明であるが、一定風向下であれば一室の通風量を算出することができる。

トレーサーガス二時点減衰法(2 point decay)

室内に一定濃度のトレーサーガスを充満させ、時間経過と共に希釈された濃度を計れば、時間平均通風量を求めることができる。一定時間ごとに部屋を締め切って拡散後、濃度を計ればトレーサーガスの不均一な分布がほとんどなくサンプリング出来る。

しかし、ある程度の希釈時間とトレーサーガスの攪拌時間が必要であり、サンプリング間隔は長くなる。また、外部風向風速がある程度一定の条件下であることが望ましい。

以上の検討より、低層事務所建物においては通風量があまり大きくないこと、測定対象室や廊下、屋根裏空間を南から北にかけての直列な配置と考えることが可能であり、通風経路の方向を把握することにより室毎の通風量を把握する必要性を無視できることから、トレーサーガス一定濃度法による計測を行なった。

② トレーサーガスを用いた通風量実測

トレーサーガスを用いた計測による通風量算定方法を以下に記す。

微小時間にある室におけるガス濃度の平衡式(室内に蓄積されたガス量=ガス発生量+換気が持ち去るガス量)は次のように表せる。

$$V \frac{dC_i}{dt} = m + (C_o Q_{oi} - C_i Q_{io}) \quad \dots \text{式 9}$$

V : 室容積 (m^3) C_o : 外気ガス濃度 (mg/m^3) C_i : 室内ガス濃度 (mg/m^3)

t : 時刻 (h) m : ガス発生量 (mg/h) Q_{oi} : 室外から室内への空気の流入量 (m^3/h)

外気のガス濃度を 0、室内の濃度変化が無視できる定常状態であるとするならば、

$$0 = m - C_i Q_{io}$$

$$Q_{io} = \frac{m}{C_i} \quad \dots \text{式 10}$$

式 10 より一定濃度法により発生量と室内濃度から通風量を算出する。

③ 実測方法

低層事務所建物におけるSF₆を用いたトレーサーガス一定濃度法による通風量実測では、対象建物3階は図25に青矢印で示すように南から北への通風経路を想定して計画されており、実測対象室のある3階は各室南側排煙窓から流入し、ドアガラリを抜けて廊下を通り、廊下天井ガラリからキャットウォークを通過し北側排煙窓から流出する。北側排煙窓は南側各執務室の排煙窓に対応して、東西に並んで配置されているが、実際の使用段階ではそのうちの1組のみが使用されることが殆どであった。そのため通風量実測時には、その普段使用されている1組の北側排煙窓のみを開放し、測定対象室に対応する流出側開口と仮定した。実際には廊下は東西にかけて同一空間であるが、前述の理由から測定対象室に対応する廊下を空間的にビニールシートにより分離した。従って、南側執務室から対応する廊下、キャットウォークを抜ける南から北への直列にならんだ通風経路が仮定できる。

一定濃度法では、測定対象室のトレーサーガス濃度を一定に保つ必要がある。換気システムの換気実測では、測定対象室に扇風機などのファンを設置して室内空気を拡散し、瞬時一様拡散による室内濃度の一定を仮定するが、通風時には気流を乱すことによる測定値への影響が大きくなる懸念がある。そのため本実験では攪拌用ファンは小型の風量の小さいものを3台、各ドージングポイントに対し設置した。さらに、図26に示すようにドージングポイント・サンプリングポイントは分岐して複数設置した。ドージングポイントは北側に3点、サンプリングポイントは南側に3*3の9点とし、各チューブ長および分岐による抵抗は同一になるよう留意した。

前述のように南から北への通風経路を仮定しているが、当然北からの流入も考えられる。そのため、測定対象室の北側に当たるシーリングにより分離された廊下も一定濃度に保つことにより、南側からの流入のみを通風量として算定した。ただし、廊下は執務室に比べ体積が小さいので、ドージング・サンプリングポイントは各1点とし、小型の攪拌用ファンを1台設置した。

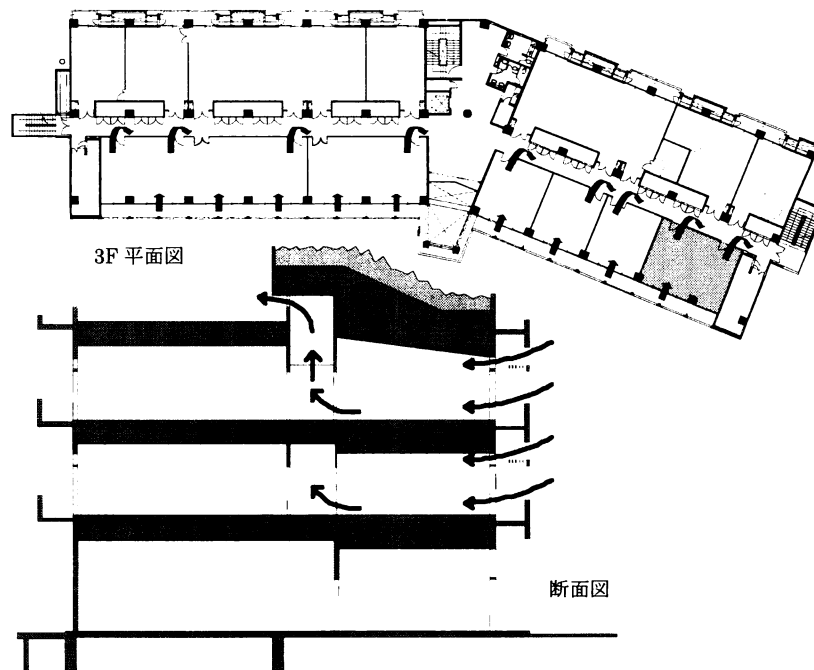
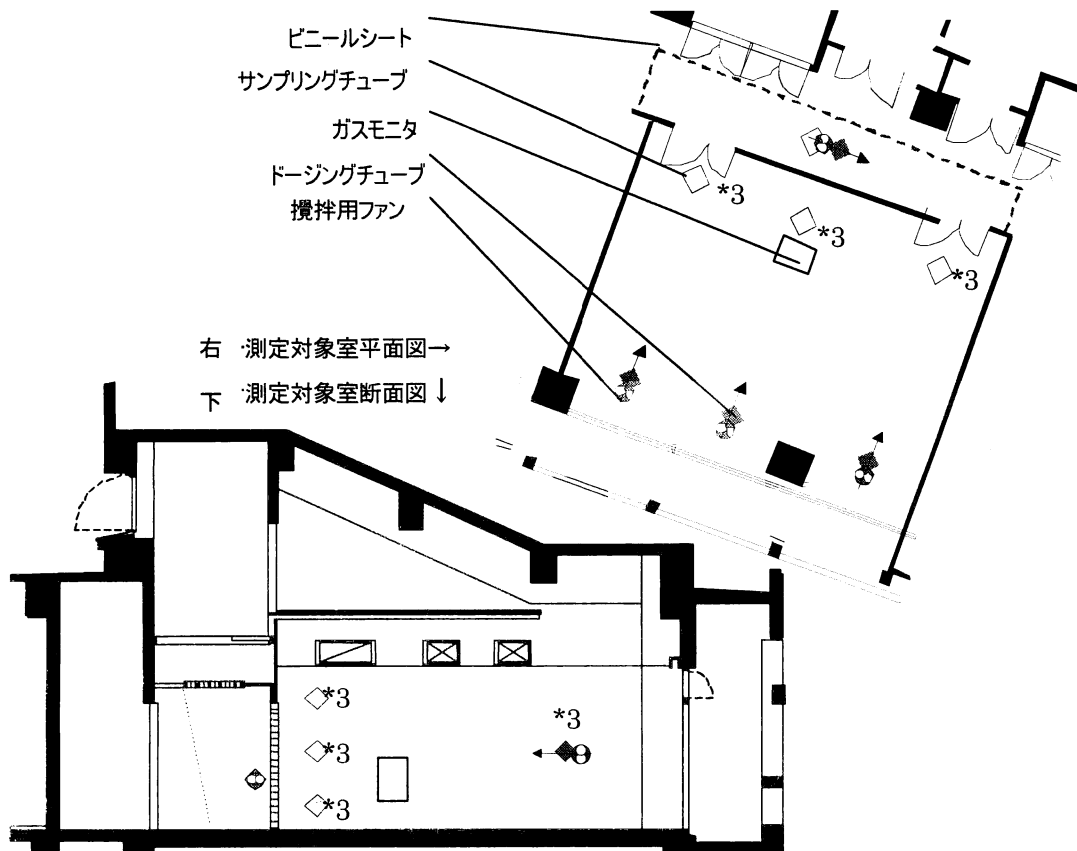
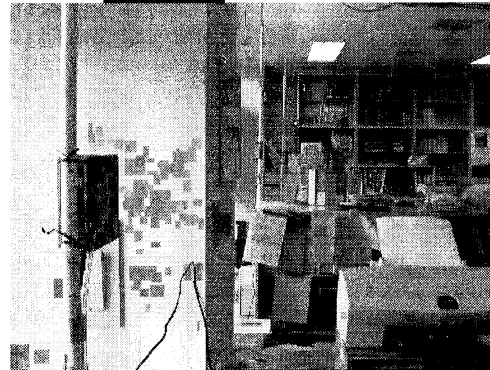


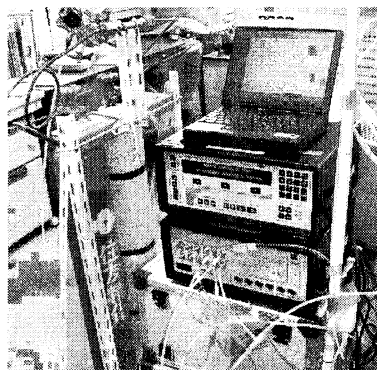
図25 想定された通風経路



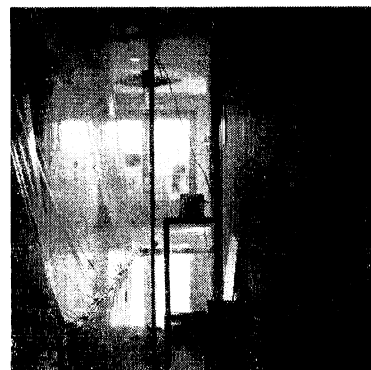
サンプルングポイント



ドージングポイント



ガスモニタ



廊下ビニールシート

図 26 ドージング・サンプルングポイントおよび測定風景

④ 実測結果を元にした通風量算出に係わる検証

上記の方法により算出された実測通風量に関する検討を以下に行なう。ただし、「2. (2) 流量係数」の節で述べたような理由から通風量は 30 分の移動平均値を用いた。実測流量係数を算出するために用いた実測通風量と同一の値であるが、換気回数に直して再掲する。なお、換気回数への変換を行なう際に用いた測定対象室の容積は有効混合容積としてではなく、幾何容積とした。

図 27 に実測通風量と壁面差圧から算出した換気回数を示す。壁面差圧を用いて算出した換気回数には 2(2)節で算出した 4 種類の有効開口面積のうち、最小となった表 8(2)の排煙窓における合成を開口部と網戸の流量係数の積としたもの、最大となった表 8(3)の排煙窓の流量係数を大きさ・種類の異なる網付単純開口の値とした場合の 2 種類を使用して算出した。当然の事ながら、表 8 に示すような合成 αA の差違がそのまま換気回数の差違となる。表 8(2)による合成 αA を用いた場合、実測による換気回数が最大で 2(1/h)程度大きい。表 8(3)による合成 αA を用いた場合、壁面差圧から算出した換気回数が最大で 6(1/h)程度大きい。

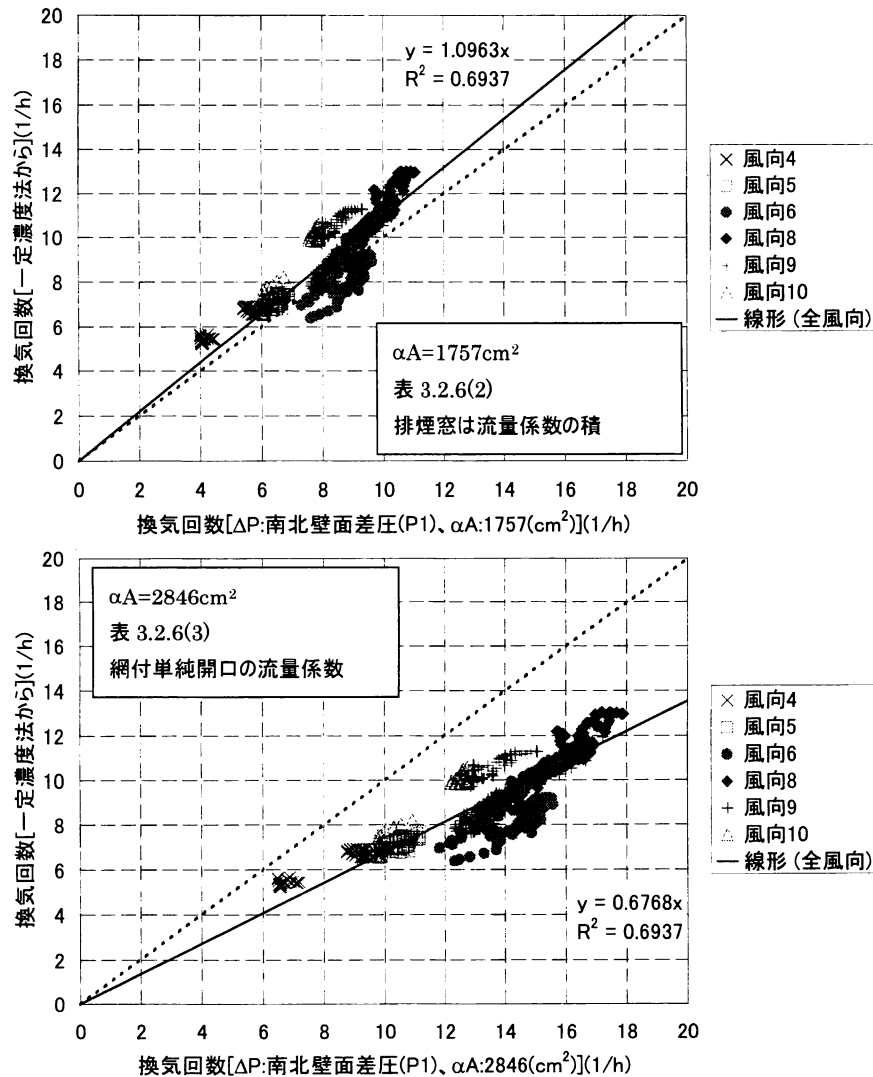


図 27 実測通風量と壁面差圧と有効開口面積から算出した通風量

ア. 風力係数を用いた通風量算出に関する検討

実験において壁面差圧から算出した換気回数とトレーサーガスによる実測換気回数の間には有意な相関関係が見られた。また、壁面差圧は風向の変化による換気回数の増減を反映する傾向にある。すなわち、壁面差圧の把握を行なうことで比較的高い精度で通風量を推定できる。しかし、壁面差圧から換気回数を算出するためには当然のことながら対象建物壁面の圧力を計測する必要があり、計画・設計段階では計測することは出来ず、また、計測が可能な場合にも時間と費用を必要とする。そこで、建物壁面にかかる風圧係数を整備する試みが古くから行なわれ、予測手法やデータベースの構築が進みつつある。風力係数を前章に示したように算出し、既往の予測式および風洞実験結果との比較を行なったので、それらの結果を用いて換気回数に関する検討を行なう。

まず、風力係数を用いた換気回数の算出の際に使用する軒高風速に関する検討を行なう。軒高風速は実測における外部風速に置き換えて検討を行なうが、さして問題にはならないと考える。図 28 に外部風速と実測換気回数の相関を示す。これまでと同様に外部風速も 1 分毎の 30 分移動平均値とした。結果、風向 4~6 と 8~10 は明らかに傾向が異なる。風向 4~6 は総じて風向 8~10 の時間帯に比べ風速が大きい換気回数は少ない。当然の事ながら風向によって流入のし易さは変わるため、東よりの風向では風速の割に換気回数は少なくなる。図 29~31 に、窓面風速と実測換気量の相関および外部風速と窓面風速の相関を示す。窓面風速は外部風が室内に流入した後の風速であるから、換気回数との相関を見れば風向による際は少ないものと考えられる。また、本実験では室内中央点の風速も計測しているが、トレーサーガスを用いた通風量実測実験中は、室内ではガスの瞬時一様拡散を仮定するためにファンを回しており、その影響を受けていることが確認されたので検討には用いていない。図 29 を見ると西側測定点においては図 28 の場合と同様に風向による差異が見られ、外部風速との相関が高い。図 30 の中央測定点 v3 においては、窓面風速は小さいが外部風速との相関は高く風向による差違はほとんど無い。従って、換気回数との相関においては風向による差異が見られる。図 31 に示す東側測定点 v5 においては換気回数と窓面風速との間には風向による差違は見られない。v2, 3 においては外部風速が大きくてもそれほど風速が大きくならないと考えられる東側の風向においても、南側の風向の場合とあまり傾向が変わらない。しかし、西側測定点 v5 においては東よりの風向時には窓面風速は小さくなる。v2, 3 においては東側の風向においても、はく離流の再付着により風速が大きくなっているものと推測されるが、窓面風速は流入方向成分のみならず水平成分も含まれるため定かではない。ただ、v5 における風速が通風量を推定する上では最も適当であることが見受けられる。

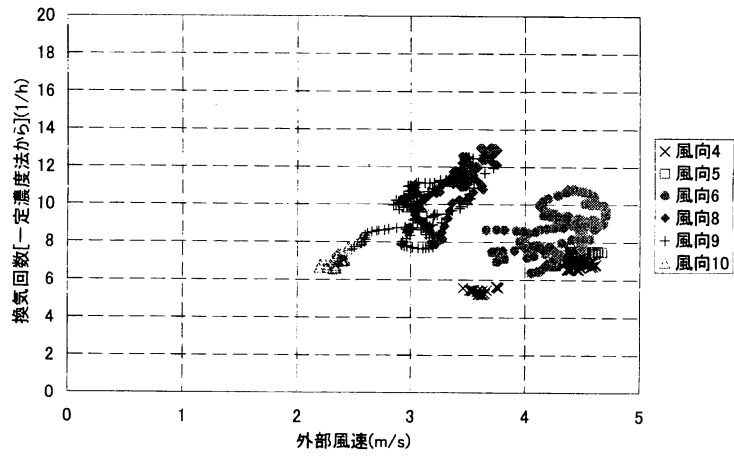


図 28 外部風速と実測換気回数の相関

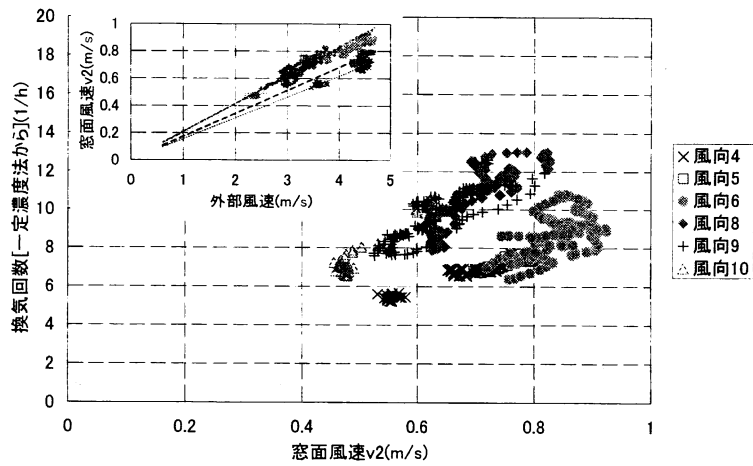


図 29 窓面風速 v_2 (西側測定点) と実測換気回数および外部風速の相関

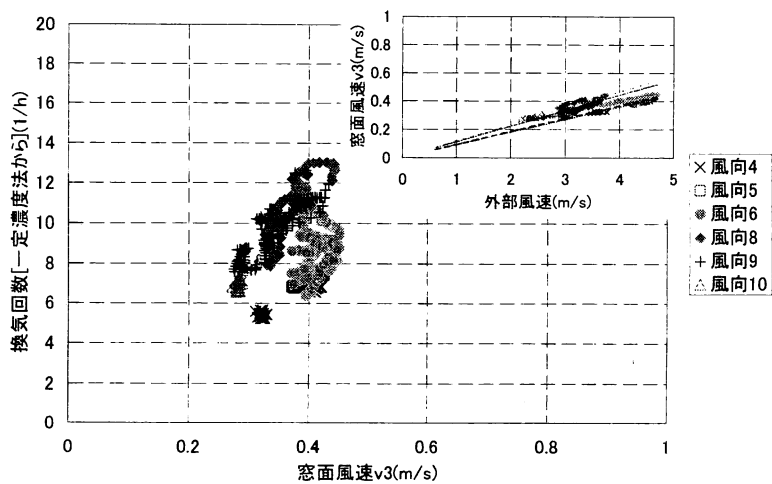


図 30 窓面風速 v_3 (中央測定点) と実測換気回数および外部風速の相関

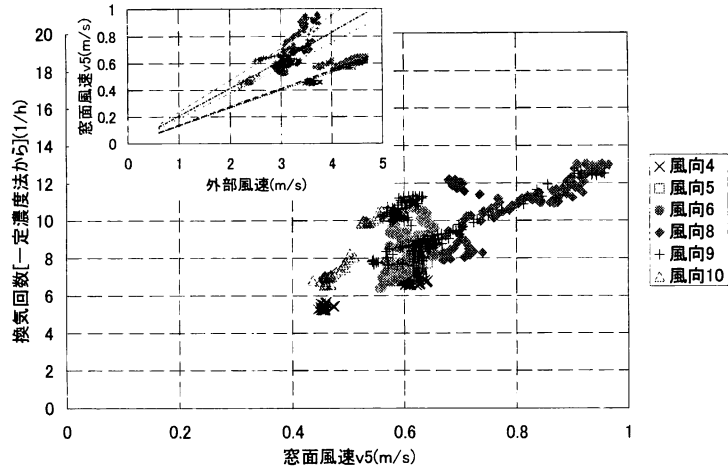


図 31 窓面風速 v_5 (東側測定点)と実測換気回数および外部風速の相関

以上のように外部風速と実測換気回数の間には相関関係が見られたので、以後風力係数と外部風速を用いて、実測換気回数との検討を行なう。図 32 に壁面風圧係数を用いて算出した換気回数と、トレーサーガスによる換気回数実測結果との相関を示す。風力係数には、南北壁面間の風力係数を用いた。外部風速はそれぞれの実験で実測した風速とし、30 分の移動平均値を用いた。

図 32 においては、おしなべて風力係数を用いた計算結果は実測に比べ小さく、風向 5 においては実測値の 8 分の 1 となる。風向 8 においても最大で 6h^{-1} 程度の誤差が見られるが、その他の風向については 4h^{-1} 以内の誤差となっている。

風力係数の算出には 1 年間程度の外部風と壁面差圧のデータを用いており、対象建物に関しては比較的信頼度の高い数値を得られたため、また計算上風力係数は二乗根をとるために誤差の計算結果に与える影響が流量係数や外部風速と比較すると小さいことから、実測換気回数との相関も比較的高いものと考えられる。

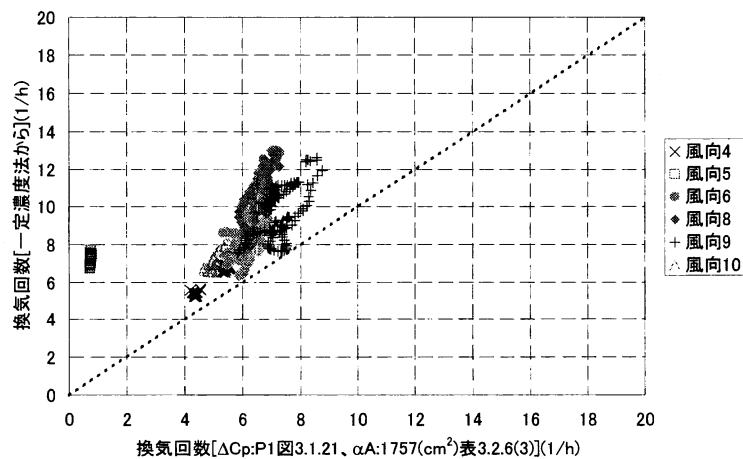


図 32 風力係数を用いた換気回数と実測換気回数との相関

イ. 換気回路網計算による検討

ここまでは実測値を用いた換気回数の算定を行ない、その妥当性に関する検討を行なった。しかし実際の通風計画においては換気回数ないし通風量推定のために、一般的に使用されるのは気象データなどによる外部風速と、壁面風圧係数の風洞実験値もしくは予測式による予測値、実際の開口部に最も近いと思われる流量係数資料の値である。以下ではそれらの値を用いた推定結果と、実測値との比較を行なう。換気回数の推定に際しては、換気回路網ソフトである VentSim を用いて計算を行なった。両実験とも室温を 25℃、外気温を 20℃、隙間はないものと仮定し 0 に設定した。壁面風圧係数は図 9 に示した既往の予測式による予測値を用いた。なお、低層建物対象の予測式による結果を用いた。風向に関してはそれぞれの実験における有効風向についてのみ推定値を算出した。有効開口面積を前章表 8(1) に示した既往の論文から引用した流量係数を用いて、南北排煙窓に関しては単純直列合成を行なった。外部風速は 0.1, 1, 2, 3, 4, 5m/s について計算を行なった。

図 33 に図 28 に示した実測換気回数と外部風速の相関に、風向毎の推定値をあわせて示す。すべての風向において、外部風による換気駆動力がほとんど無いと思われる外部風速 0.1m/s で、約 4h⁻¹ 程の換気回数を保っており、推定値では温度差による浮力を駆動力とした換気が見積もられている。風向 4 では温度差換気を抑制する方向に風力が働くように推定されている。実測通風量にも当然温度差換気による通風量は見積もられているものと考えられるので、風向 4 における換気回数を最小値とすれば、推定値と温度差換気分は一致していると見ることが出来る。実測値においては、風向 4~6 と風向 8~10 の換気回数には明らかな傾向の差違が生じているが、推定値における風向 4 を除いた全風向はほとんど同一傾向であり、風向 8~10 の実測値と比較的一致する。図 9 に示した通り、風力係数の計算値は風向 5~10 ではほぼ一定となっているため、風向による差異が殆ど見られず、風力係数計算値と実測値が良く一致する風向 8~10 では、換気回数も良く一致することが分かる。風力係数の予測が適切であれば、換気回路網を用いた通風量の推定が、比較的高い精度で行なえることが分かった。

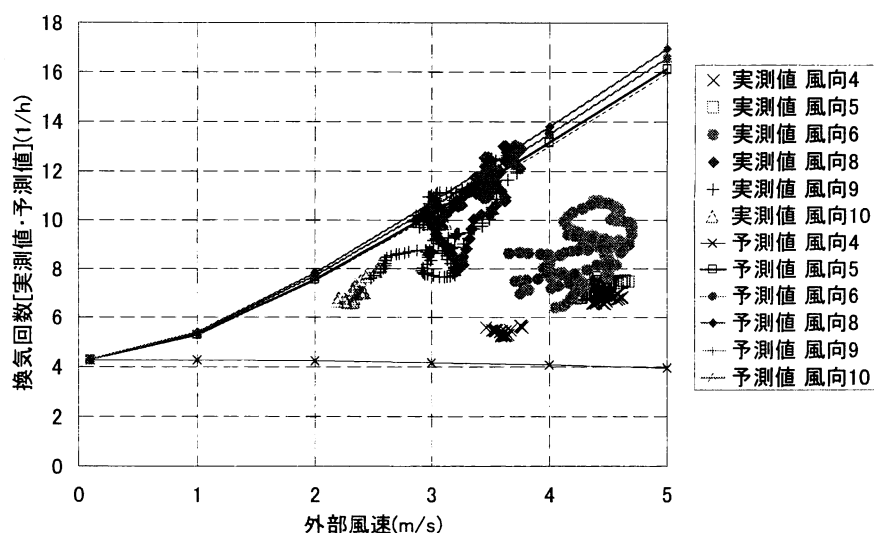


図 33 換気回数の実測値と推定値

(2) 質的検証

本節では通風を行なうことによる室内温熱環境の変化にと、在室者の窓開け行動に関する検討を行なう。住居やオフィスにおいて在室者が通風を利用しようとする最も大きな動機は、中間期や夏期夜間の室内に比べ冷涼な外気を取り入れることにより、快適感を得ようとするものであると推測される。従って、通風を利用することにより得られる快適性の評価は非常に重要であるが、本節では人の快適感などに与える影響については触れず、その指標の1つとなる温熱環境に関して、実測結果を元に検討を行なう。また、通風を行なうか否かはその殆どが在室者の判断に依り、その判断基準は様々であると考えられる。従って、通風を利用することによる効果を検討する上で、その対象となる在室者の行動に関する検証は有用性の高いものであるので、低層事務所建物において計測した窓開閉状況を用いて、執務者の窓開け行動に関する検討を行なう。

① 執務者の窓開閉行動に関する検討

通風装置(排煙窓)が設置された低層事務所建物において、測定対象室の南側排煙窓およびバルコニーへ出るためのドアに窓開閉センサーを設置し、窓の開閉状態のモニタリングを行なった。対象となる排煙窓およびドアは手動で操作されるので、在室者の通風に対する意識が少なからず反映されることが期待される。計測期間は3~10月であり、ほぼ一年の内通風の利用が少ないと思われる冬期以外のデータを収集した。

図34に窓開閉状態をモニタリングした期間の内外温度の度数分布を示す。室内温度はオフィスビルの特徴通り変動が非常に少なく、24~28℃以内に殆ど収まっている。外気温は0~35℃の広い範囲に分布し、15~25℃の範囲が最も頻度が高い。

図35に5つの排煙窓における開放率を示す。図中執務時間は月曜日から金曜日までの9時から17時までの単純集計であり、祝祭日も含んでいる。1,2,3および4,6はそれぞれ1つの(合計2つの)コントロールユニットで制御され、開閉に時間差があるため、同一系統内でも開いている窓と開いていない窓がある場合がある。従って最初に開放される窓は開放率が高くなり、他の窓との頻度差が大きいほど”半開き”の状態である頻度が高い。全時間の南側排煙窓東側(4,6)は西側(1,2,3)に比べ頻度が高い。執務時間中で見れば殆ど同じであることから、土日および夜間にも開放されていることが多かったものと見られる。ドアに関して、中央側ドアは殆ど開放されることはなく、西側ドアは排煙窓に近い割合で開放される。窓やドアの位置の違いによる開放頻度の差違は、複数人いる在室者の好みと執務位置に依存するので、ばらつきが見られるものと考えられる。

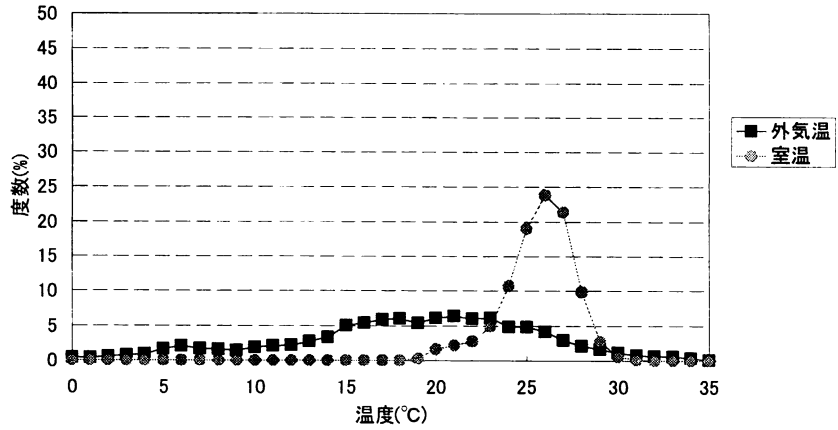


図 34 計測期間中の室内外温度の度数分布

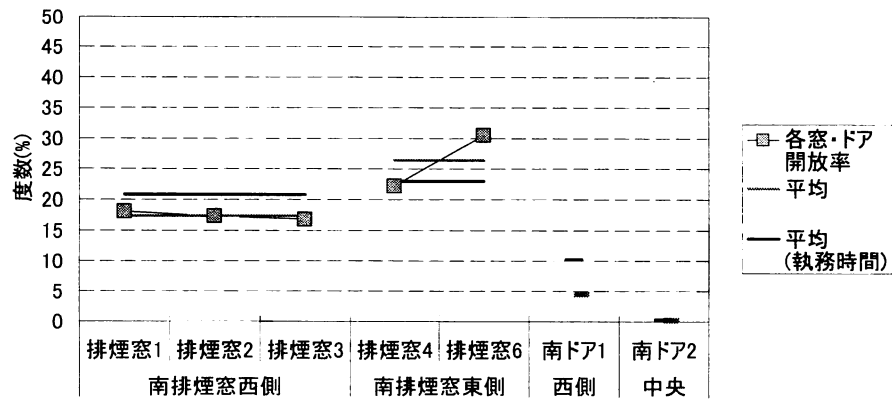


図 35 排煙窓開放率

開放時間中の曜日ごと、時間帯ごと、月ごとの窓開放頻度の度数分布を図 36, 37, 38 に示す。3 図とも 5 つの排煙窓と 2 つのドアの開閉データを含む。図 37 の X 軸時間帯は 24 時間標記である。曜日ごとの検討に関してはあわせて累積頻度も示す。曜日ごとの分布を見ると、80%以上の頻度で月～金曜日に開放され、土日は同じ頻度である。時間別に見ると、出勤時間である 8 時と昼休み後の 13 時に開放されていることが多く、時間とともに減少する傾向にある。また、夕方から夜にかけても開放されていることが分かる。月ごとに見れば 8, 9 月は中間期に比べると多少頻度が低い。

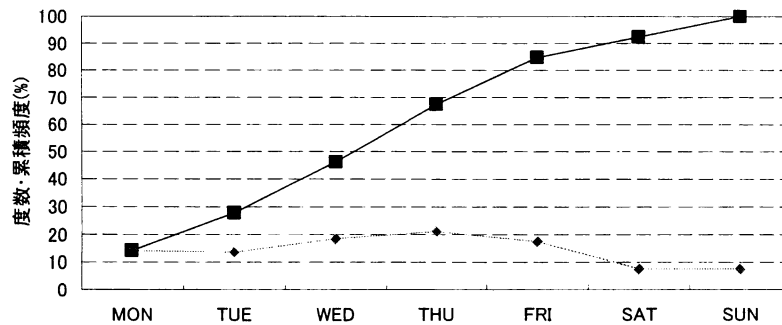


図 36 曜日ごとの開放時間頻度

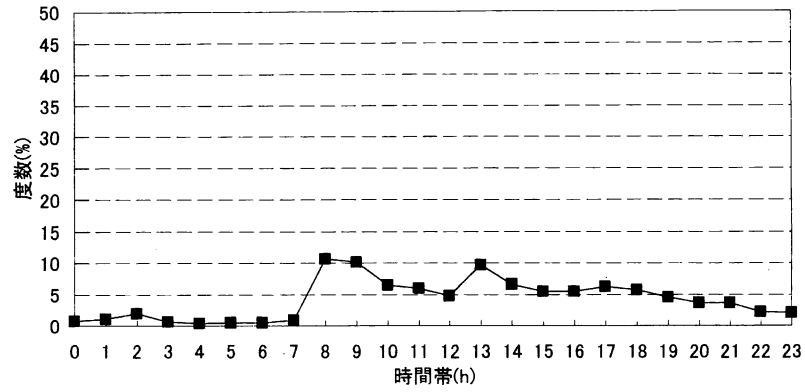


図 37 時間帯ごとの開放時間頻度

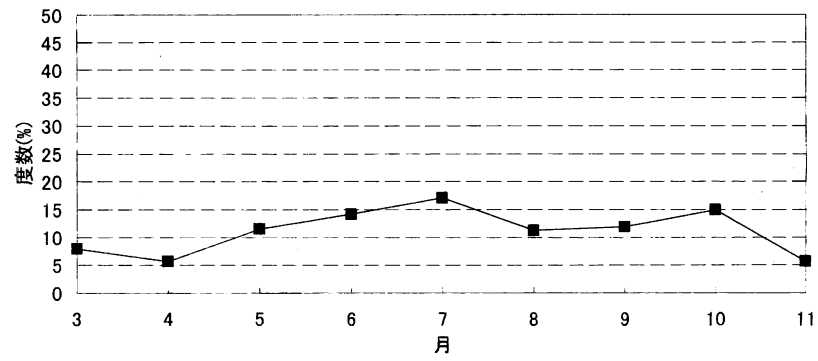


図 38 月ごとの開放時間頻度

図 39 に窓の開閉操作と外気温・室温の関係および窓の閉鎖操作と室内風速の関係を示す。室温と開閉操作との関係を見ると、25℃前後で開放され、それより多少低い温度で閉鎖される傾向にある。室温は前述の通りほぼ一定であるので、在室者が室温の高さに応じて窓を開放したとは判断し難い。ただ、窓の開放による室温の低下は読み取れる。外気温との関係を見ると、排煙窓4を除いて15~25℃において開閉操作が行なわれ、開放時の外気温の方が高い傾向にある。室内風速との関係を見ると、風が強くなったので窓を閉めるといった行動は読み取ることが出来ない。図 38 に示した通り、開閉頻度は時間帯に依存する傾向が見られ、在室者が室温や外気温に応じて開閉操作を行なうことは少ないものと考えられる。

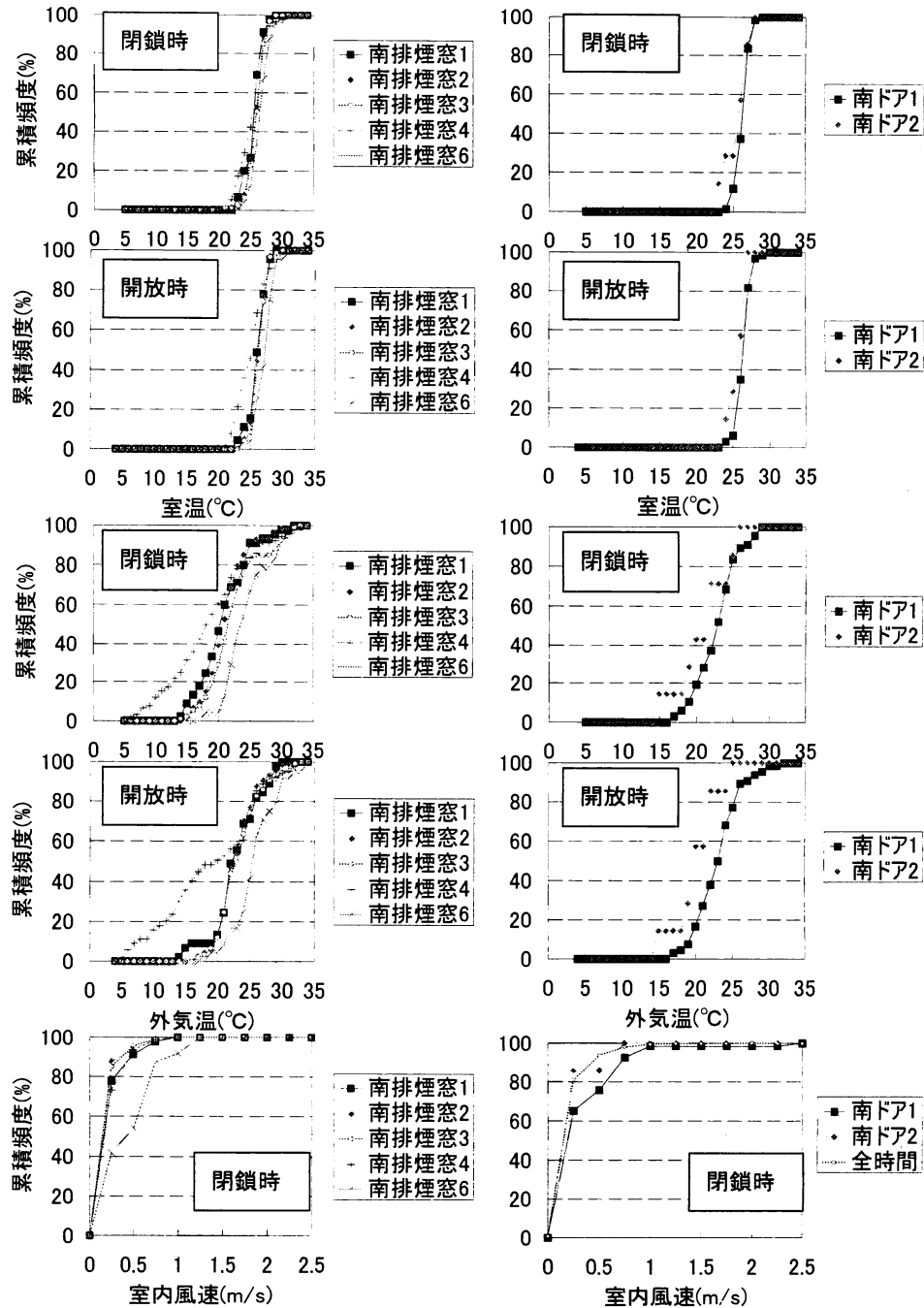


図 39 開閉操作と内外温度、外部風速の関係

ア. 実測による通風量の検証に関するまとめ

量の検証においては、実際の建物において通風量を測定するための実測方法を整理し、本研究で用いたトレーサーガスによる実測方法を紹介した。実測結果は壁面風圧からの推定値と高い相関を示し、時間と労力を多く必要とはするが、高い精度で推定を行なうことが出来ることを示した。壁面差圧と外部風速の実測値から求めた風力係数を用いた推定値は、壁面差圧を用いた推定よりは実測値との誤差は大きくなるものの、ある程度の精度で推定することが出来ることを示した。風力係数の予測式による予測値を用いた推定では、予測風力係数の誤差が大きい場合には、実測通風量との間に大きな誤差を生じたが、予測風力係数が実測風力係数と良く一致する風向では比較的高い精度での推定が可能であることが分かり、推定方法の有用性を確認した。

低層事務所建物における窓開閉状況のモニタリングでは、内外温度や室内気流速と執務者の窓開閉行動の間には有意な相関関係を見いだすことは出来なかったが、1つ時間帯によつての傾向を示した。

4. 結論

通風計画を行なうことを目的に通風量推定に用いる諸要素の検証を行なった。本章で本研究の結果をまとめ、今後の課題を記す。

既往の流量係数資料^{19), 20), 21)}から引用した値による合成有効開口面積と、実測から求めたその比較を行なった。まず、既往の資料を用いる際にも引用する流量係数により、合成結果には小さくない差違が生じた。また、近接して直列にならんだ開口部に関する合成を二通りの方法で行ない、流量係数の選定による差違よりは小さいが計算結果の違いを確認した。実測から算出した合成有効開口面積に関しては、既往の研究でも報告されている風向による差違が見られたが、小さいものであった。実測値からはそれぞれの開口に対する流量係数を与えることは出来なかったため、実測値と既往の実験値との誤差の原因となっている開口の特定までには至らなかったが、資料から引用された流量係数は実際の建物において、自然風下ではおそらくより小さく(抵抗が大きく通風量を減少させることになる)ことが推測された。

通風を行なっている状況下での、実際の建物における量的質的な検討を行ない、通風量推定の手助けとなると考えられる知見と、在室者がオフィスでより効果的に通風による恩恵を受けるための工夫に役立つと思われる結果を得た。

通風量を推定するにはまず、その推定が正しいのか、また正しくないとなればどれほど誤差があるのかを知る必要があるが、実際の建物における通風量の測定はあまり行なわれていない。乱れの大きい自然風が大量に室内に流入するために、その現象は非常に複雑であると考えられ、正確な量の把握は不可能であるようにも思われるが、本研究では量の推定に関する検討を行なうために、どれほどの誤差があるか不明確ではあるが、比較対象としてより精度の高いと思われる測定を実施した。その測定結果と、壁面差圧と流量係数から推定した通風量は、適切な流量係数を与えることにより高い相関関係を有する事が出来ることを示唆した。実測により求めた風力係数と外部風速を用いた推定に関しては、壁面差圧を用いた場合よりも実測通風量との相関は悪くなったが、実際には実測による風力係数を用いた推定はほとんど行なわれることはないと考えられる。より簡易な方法として、風圧係数予測式による予測値を入力値として、換気回路網計算を用いた推定を試みたが、風向によっては非常に大きな誤差を生じた。風圧係数の予測自体にまだまだ問題が山積しているため、大きな誤差が見られたものと思われるが、予測値に誤差が少ないと思われる風向では実測値と良く一致する場合も確認されたので、現在行なわれている風圧係数の体系的な把握は通風計画についても有用性のあるものであると考えられる。

低層事務所建物における窓開閉状況のモニタリングについては、在室者の窓開閉行動と室内外温度や風速との間に有意な関係を見ることは出来なかった。在室者の窓を開放する動機はもっと様々であると考えられ、唯一見られた傾向は出勤時や昼食後など時間帯による傾向であった。

5. 引用文献

- 1) R. M. Aynsley: A Resistance Approach to Estimating Airflow through Buildings with Large Openings Due to Wind, ASHRAE Transactions, 1988
- 2) 木村幸一郎: 窓による自然通気に関する模型実験, 日本建築学会論文集 No. 19, 1940. 11
- 3) 勝田高司, 後藤滋, 寺沢達二: コンクリート・アパートの窓及び換気小窓による通風, 日本建築学会研究報告 No. 22, 1953. 11
- 4) 勝田高司, 藤井正一, 今野啓一: コンクリート造アパートに於ける換気に関する研究 -開窓状態の観察-, 日本建築学会研究報告 No. 22, 1953. 11
- 5) 石原正雄: 通風による室内風速・風向分布について, 日本建築学会論文報告集 No. 54, 1956. 9
- 6) 石原正雄: 自然風による模型室の風速分布, 日本建築学会論文報告集 No. 57, 1957. 7
- 7) 片山忠久, 石井昭夫ら: 建物近傍における風の特性と住宅の通風に関する調査研究 その1~7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1983, 84
- 8) 片山忠久, 石井昭夫, 西田勝ら: 通風に関する模型実験法の研究 その2~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1985, 86
- 9) 赤林伸一, 村上周三, 加藤信介, 小林信行ら: 住宅の通風に関する実験的研究 その1~2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1983
- 10) 赤林伸一, 佐々木淑貴, 坂口淳ら: 戸建住宅を対象とした通風性能評価に関する研究 その1~8, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002, 2003
- 11) 赤林伸一, 坂口淳: 通風時の室内気流による冷房負荷削減効果に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2003
- 12) 倉淵隆, 大場正昭, 鎌田元康ら: 開口部の通風性能に関する研究 その1~11, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002, 2003
- 13) 澤地孝男, 成田健一, 清田誠良, 瀬戸裕直, 西澤繁毅, 石川優美: 実大建物モデルにおける通風時の風圧と気流, 第一回自然換気に関する国際ワークショップ論文集, 2003
- 14) 近藤武士, 丸田榮藏, 澤地孝男, 瀬戸裕直, 佐藤健一, 城田修司, 高橋泰雄, 福井靖子, 雨海清一郎, 清水則夫, 小林康之, 大國治, 野村吉和, 森勝彦, 藤本達哉: 高層集合住宅の風圧係数に関する風洞実験と実測の比較 その2 実測との比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2001
- 15) 澤地孝男, 瀬戸裕直, 丸田榮藏, 近藤武士ら: 自然換気・通風設計のための風圧係数予測手法に関する研究 その1~6, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002, 2003
- 16) M. V. Swami, S. Chandra: Correlations for Pressure Distribution on Buildings and Calculation of Natural-Ventilation Airflow, ASHRAE Transactions, 1988
- 17) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 第3版, 1993
- 18) 集合住宅の換気システム開発に関する研究 その2, 都市基盤整備公団 総合研究所, 2001
- 19) 石原正雄: 建築換気設計, 朝倉書店, 1969
- 20) 斎藤平蔵: 建築気候, 共立出版, 1974
- 21) 澤地孝男, 瀬戸裕直, 石川優美, 成田健一, 清田誠良: 住宅の通風設計および性能評価に関する研究 その13 流入開口および流出開口の流量係数の個別推定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002
- 22) David Etheridge, Mats Sandberg: BUILDING VENTILATION Theory and Measurement, John Wiley

& Sons, 1996

- 23) Francis Allard: Natural Ventilation in Buildings -A Design Handbook, James & James, 1998
- 24) 武田健太郎, 秦靖幸: 住宅開口の遮蔽物設置による風コントロール手法の研究 -板・樹木を設置した際の壁面風圧係数・開口通風量の把握-, 東京理科大学理工学部建築学科卒業論文, 2003
- 25) I. S. Walker, D. J. Wilson, T. W. Forest: Wind Shadow Model for Air Infiltration Sheltering by Upwind Obstacles, HVAC&R RESEARCH, 1996
- 26) David J. Wilson: Flow Patterns over Flat-Roofed Buildings and Application to Exhaust Stack Design, ASHRAE Transactions, 1979

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

なし

<学術誌 (査読なし)>

なし

<書籍>

なし

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

- ① 澤地孝男、瀬戸裕直、石川優美、成田健一、清田誠良：日本建築学会大会学術講演梗概集 (2002)
「住宅の通風設計および性能評価に関する研究 その 13 流入開口および流出開口の流量係数の個別推定結果」
- ② 澤地孝男、瀬戸裕直、丸田榮藏、近藤武士ら：日本建築学会大会学術講演梗概集 (2002～2003)
「自然換気・通風設計のための風圧係数予測手法に関する研究 その 1～その 6」
- ③ 田澤慎也、澤地孝男、瀬戸裕直、一ノ瀬俊明、西澤繁毅、石川優美、吉田友紀子、井上隆：空気調和・衛生工学会 (2003)
「低層事務所建築における通風の利用に関する実験的研究 その 1 換気量の実測による流量係数の検討」
- ④ 澤地孝男、成田健一、清田誠良、瀬戸裕直、西澤繁毅、石川優美：第一回自然換気に関する国際ワークショップ論文集 (2003)
「実大建物モデルにおける通風時の風圧と気流」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

8. 成果の政策的な寄与・貢献について

① 環境省ヒートアイランド関連委員会への資料提供

ヒートアイランド対策関係府省連絡会議の「ヒートアイランド対策に係る大綱」づくりに大きな寄与が期待される。

② 国立環境研究所省エネルギー対策検討小委員会への資料提供

③ 環境省平成16年度石油特別会計によるプロジェクト「建築物における空調・照明等自動コントロールシステム技術開発」の立ち上げに貢献した。