

# 煙風洞による建物の通風の研究

西岡利晃

## Studies on Natural Air Flows Through Buildings by Smoke Wind Tunnel

Toshiaki Nishioka

### Abstract

This paper describes investigations of natural air flow through multiple-unit housing by smoke wind tunnel. The planes of the models had windows at opposing walls. Photographs of smoke lines around models were taken as records of results. The air flow rates through openings were estimated by the number of smoke lines through the models. To estimate potential wind-generated air flow through housing, wind directions were changed 15 deg at a time. The air flow rate decreased markedly with increase of the angle of wind incidence to a building and were less than a rate calculated by using a wind pressure coefficient. A building with a large window has a high air flow rate but low wind speed at the opening. Generally, a zigzag-plane building has better air flows in all wind directions. A guide vane set up around a window indicates good air flows for large angles of wind incidence but is not good as its size becomes equal to that of the window.

### 概 要

煙風洞を用いて、集合住宅の通風を検討した。前後に開口（窓）をもった単純な平面の住戸が5個からなる模型で、平面形を二つ、立面形を二つ構成して実験を行なった。建物のまわりに形成される煙の流線を写真で記録し、開口を通過する流線の数で通風量を計算した。建物に当る風向を15°ごとに変化させ、開口の大きさ、形状（ガイドベーンの角度など）を各種組み合わせ、通風量の比較を行なった。平面的な流れでは、外部風の入射角度が大きくなると建物内部を通過する通風量は急激に減少し、風圧係数で計算した通風量よりも少なくなる。通風量は開口が大きくなるほど多くなるが、開口部での風速は、開口が小さいほど大きい。雁行平面では、一般にあらゆる風向に対して通風に関して有利である。ガイドベーンは、外部風の入射角が大きい場合に有利になるが、ガイドベーンの寸法が開口の大きさと同程度になるとかえって通風の抵抗になり効果が表われない。

### 1. はじめに

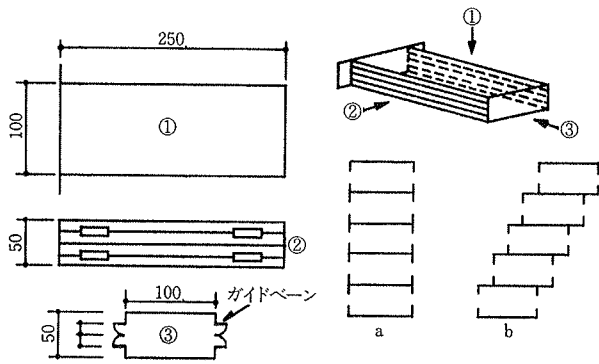
自然風による室内の気流に関する研究は、古くは勝田（干）、渡辺、勝田（高）、佐藤らのものがあり、戦後も空調が一般化しない時期に、先述のほか、斎藤（平）、石原、塘らによって、主に非事務所建築を対象として行なわれて来た<sup>1)</sup>。空調の普及とともに研究は中断したが、エネルギー危機後の建築の省エネルギー化に伴い三たび注目されるようになった<sup>2)</sup>。これらの研究は、

- (1) 流れの可視化による気流の性状の検討
- (2) 風による換気計算の拡張としての通風量の計算法
- (3) 通風率に関する模型実験、実測

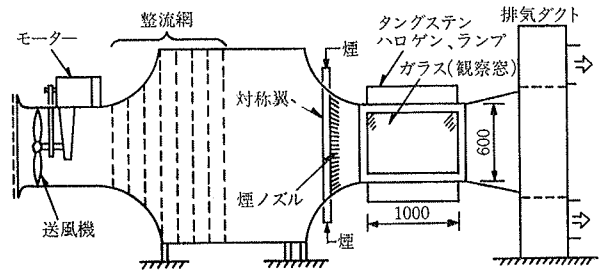
に大別される。(1)に関する代表的な例として Olgay<sup>3)</sup>の研究があり(2)に関し、石原<sup>4)</sup>、小玉<sup>5)</sup>(3)に関連するもの

として Aynsley<sup>6)</sup> 石原<sup>7)</sup>らの研究がある。形態の特殊な場合や、実施に当っては、最終的にはケースバイケースの実験に頼る必要があるが、一般的な形状で、設計段階での比較や評価に関しては、これらは十分信頼できるデータを提供している。とくに単室の建物で開口での風速と風向が与えられれば、室内の任意の位置での風向、風速はかなりの程度予測が可能である。

ここでは、五つの室が連続した集合住宅を規定した模型を用い、煙風洞により流れを可視化して、建物の通風を検討した。住宅における集合住宅の比重は年々増大しており、今後もその傾向は続くものと思われる。集合住宅では、両端の住戸を除き、一般に外部に面する開口は相対する外壁にしか設けることができないので通風は外部風の方向により大きな影響を受けると推測される。



図一 模型の詳細と住戸の配置



図二 煙風洞の模式図

## 2. 実験概要

### 2.1. 実験装置

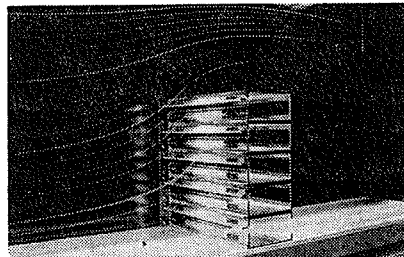
実験に用いた模型を図一に示す。材料は3mmの透明アクリル板である。これと同じ模型を五つ用い、5住戸からなる集合住宅の平面と5階建の立面を想定した。平面形では、図一のaを矩形平面、bを雁行平面とした。立面形ではaを直立立面、bをセットバック立面とした。

煙風洞の模式図を図二に示す。風洞の測定部は600×1,000×250で煙は径1~2mm、30本のノズルから放出される。

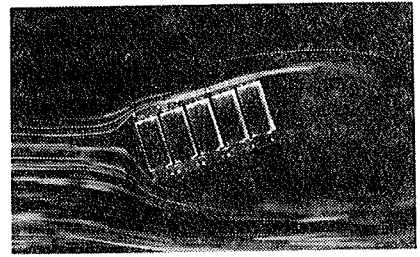
写真撮影は2次元性を確保するため、観察窓から約8mはなれた位置にカメラを設置し、200mm (f=5.6)の望遠レンズを用いた。撮影条件はf=5.6, t=1/4~1/8, ASA=400, 4倍増感現象。直立立面の模型を用いた実験風景を図三に示す。

### 2.2. 相似条件の検討

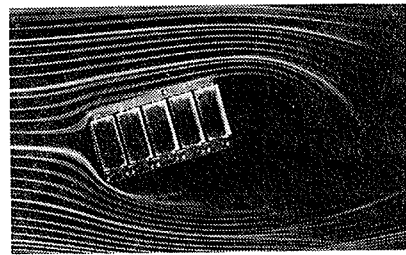
煙風洞では煙による流線が最も鮮明に表われるのは、ある速度の前後、狭い幅に限られ、種々の風速で実験するのは困難である。実験では、煙が最も明確に観察できる速度、3.6m/sに固定して行なう。このことが模型実験の相似性や、他の風速への結果の適用の可能性を損ないわなかを検討するため、予備実験として風速を変化させた。結果を図一4に示す。図より明らかなように、風速が0.8m/s~6.1m/sの範囲で、流れの状態に特に差は認められなかった。経験的にも鋭い縁をもった物体の廻りの流れで、乱れが十分発達している場合には、流れはRe数



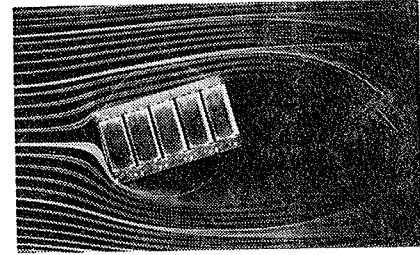
図三 立面形による実験



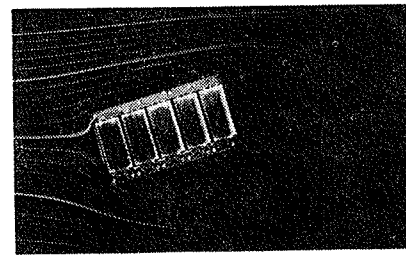
図一4a 速度  $u=0.8\text{ m/s}$ ,  $Re=3 \times 10^4$



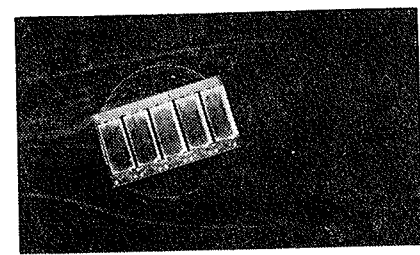
図一4b  $u=1.95\text{ m/s}$ ,  $Re=3.3 \times 10^4$



図一4c  $u=3.18\text{ m/s}$ ,  $Re=5.4 \times 10^4$



図一4d  $u=3.90\text{ m/s}$ ,  $Re=6.6 \times 10^4$



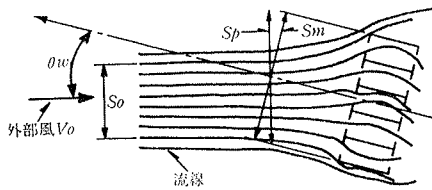
図一4e  $u=6.06\text{ m/s}$ ,  $Re=10.2 \times 10^4$

にかかわらず近似的に相似になることが確かめられている。模型(1住戸)の長辺を代表長さにとった、本実験のR数は以下のごとくであり、乱れの十分発達した流れである。従ってこの実験結果は任意の倍率の実物や、風速の異なる場合に適用できる。

$$Re = \frac{3.6 \times 0.25}{1.483 \times 10^{-5}} = 6.1 \times 10^4$$

実験No	矩形平面形		実験No	雁行平面形	
1	GV=90° W=1/2		9	GV=90° W=1/2	
2	90° 1/4		10	90° 1/4	
3	45° 1/4		11	45° 1/4	
4	90° 1/2		12	90° 1/2	
5	45° 1/2		13	45° 1/2	
6	なし 1/4		14	なし 1/4	
7	90° 1/2		15	なし 1/2	
8	なし 1/2		GV ; ガイドベーンの角度 W ; 開口率 (= 開口面積 / (開口+壁面))		
直方形立面			セットバック立面		
16	GV=90, W=1/4		18	GV=90, W=1/4	
17	なし W=1/2		19	なし W=1/2	

表一 建物の形状と開口の形状・寸法



図一八 流線の模式図

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1. 実験の種類

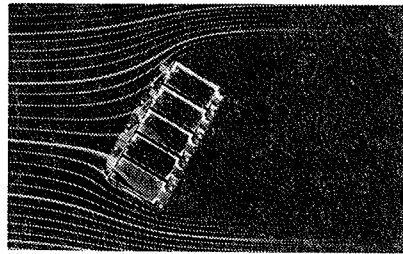
表一に示すような建物の形状と開口の形状・寸法の組み合わせで実験を行った。実験結果の一部を図一五、六、七に示す。図一五は矩形平面形、図一六は雁行平面形、図一七は立面形の場合である。平面形の実験では、風向を15°毎に変化させるため、模型を回転させた。矩形平面では0~90°, 雁行のそれは-90~90°の間を変化させた。

#### 3.2. 風向と通風量—平面形

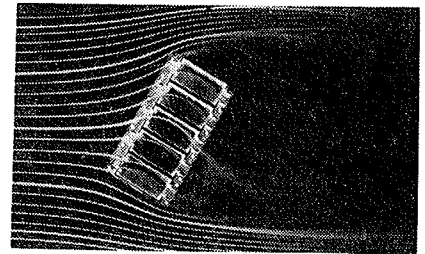
写真記録の流線(煙)の数より通風量を求め、壁面の風向に対する投影面積や、風圧係数を用いて求めた通風量と比較した。

##### (1) 流線より求めた通風量

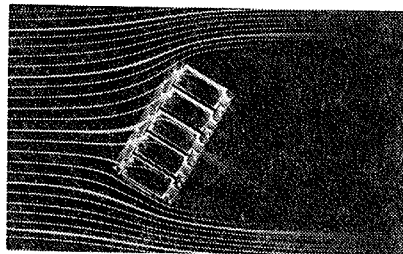
図一八の流線の模式図で、 $S_0$ 内の気流はすべて建物内を通過すると考えられるので、入射角0および $\theta_w$ の場合の $S_0$ をそれぞれ $S_0(0)$ 、 $S_0(\theta_w)$ とす



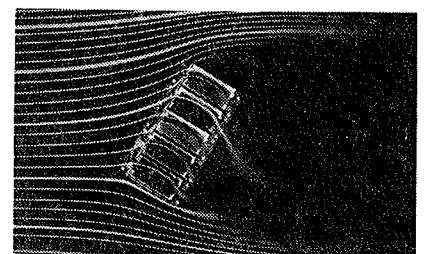
図一五a 実験6, W=1/4, GVなし,  $\theta_w=30^\circ$



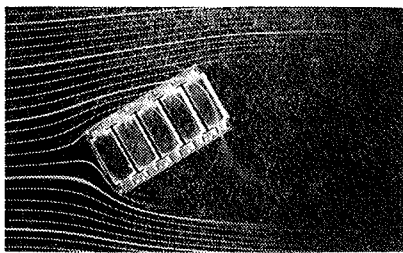
図一五b 実験4, W=1/2, GV 90°,  $\theta_w=30^\circ$



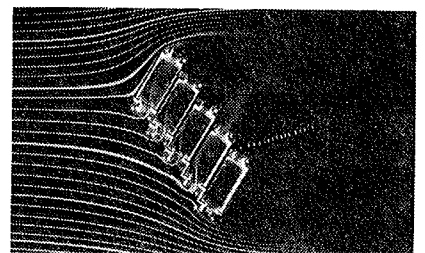
図一五c 実験5, W=1/2, GV 45°,  $\theta_w=30^\circ$



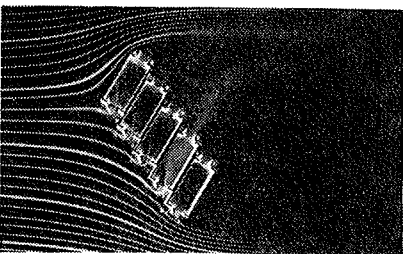
図一五d 実験8, W=1/2, GVなし,  $\theta_w=30^\circ$



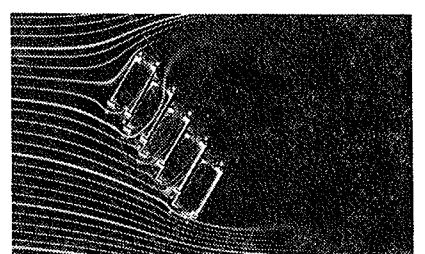
図一五e 実験4, W=1/2, GV 90°,  $\theta_w=60^\circ$



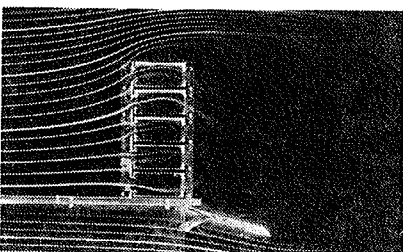
図一六a 実験12, W=1/2, GV 90°,  $\theta_w=-60^\circ$



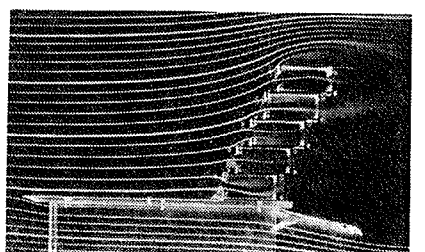
図一六b 実験13, W=1/2, GV 45°,  $\theta_w=-60^\circ$



図一六c 実験15, W=1/2, GVなし,  $\theta_w=-60^\circ$



図一七a 実験17, W=1/2, GVなし



図一七b 実験19, W=1/2, GVなし

れば、外部風速  $V_0$ 、入射角  $\theta_w$  の場合の建築を通過する風量  $Q_1(\theta_w)$ 、入射角  $0$  の風量に対する比  $\eta(\theta_w)$  はそれぞれ以下となる。 $\theta_w$  は突の法線から反時計廻りを正、その逆を負とする。

$$Q_1(\theta_w) = S_0(\theta_w) \cdot V_0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\begin{aligned} \eta(\theta_w) &= Q_1(\theta_w) / Q_1(0) \\ &= S_0(\theta_w) / S_0(0) \quad \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

(2) 壁面  $S_m$  の外部風への投影面積

入射角  $\theta_w$  の外部風への壁面の投影面積  $S_p(\theta_w)$ 、入射角  $0$  の外部風への壁面の投影面積  $S_p(0)$  に対する比、 $R(\theta_w)$  は、それぞれ以下のごとくである。

矩形平面の場合

$$S_p(\theta_w) = S_m \cdot \cos \theta_w \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\begin{aligned} R(\theta_w) &= S_p(\theta_w) / S_p(0) \\ &= S_m \cdot \cos \theta_w / S_m \\ &= \cos \theta_w \quad \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

雁行平面の場合

$$-90^\circ < \theta < 62.3^\circ$$

$$\begin{aligned} S_p(\theta_w) &= S_m \cdot \{\cos \theta_w - (\sin \theta_w) / 2\} \\ R(\theta_w) &= \cos \theta_w - (\sin \theta_w) / 2 \quad \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

$$62.3^\circ < \theta_w < 90^\circ$$

$$\begin{aligned} S_p(\theta_w) &= S_m \cdot \{(\sin \theta_w) / 2 - \cos \theta_w\} \\ R(\theta_w) &= (\sin \theta_w) / 2 - \cos \theta_w \quad \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

(3) 風圧係数を用いた通風量

壁面の中心部の風圧係数を用いた通風量  $Q_2(\theta_w)$  は

$$\begin{aligned} Q_2(\theta_w) &= 5 \cdot V_0 \sqrt{\{C_w(\theta_w) - C_L(\theta_w)\} / K} \\ K &= 1 / (\alpha_w \cdot A_w)^2 + 1 / (\alpha_L \cdot A_L)^2 \quad \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

$\theta_w = 0$  の場合の  $Q_2(0)$  との比  $\sigma(\theta_w)$  は

$$\begin{aligned} \sigma(\theta_w) &= Q_2(\theta_w) / Q_2(0) \\ &= \sqrt{\frac{C_w(\theta_w) - C_L(\theta_w)}{C_w(0) - C_L(0)}} \quad \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

ただし C; 風圧係数,  $\sigma$ : 流量係数, A: 窓面積  
添字: W; 風上側, L; 風下側

ガイドベーン (図-1 参照) がない場合 (表-1 の実験 8 と 15) の  $\eta(\theta_w)$ ,  $R(\theta_w)$ ,  $\sigma(\theta_w)$  を図-9 に示す。風圧係数は表-2 に示す値を用いた。雁行形の場合、風圧係数が得られなかったため、 $\sigma(\theta_w)$  は実験 8 のみを示した。

図より明らかなように、流線より求めた通風量の風向に対する変化は、投影面積のそれとよく一致している。

風圧係数より求めた通風量は、入射角の大きな場合

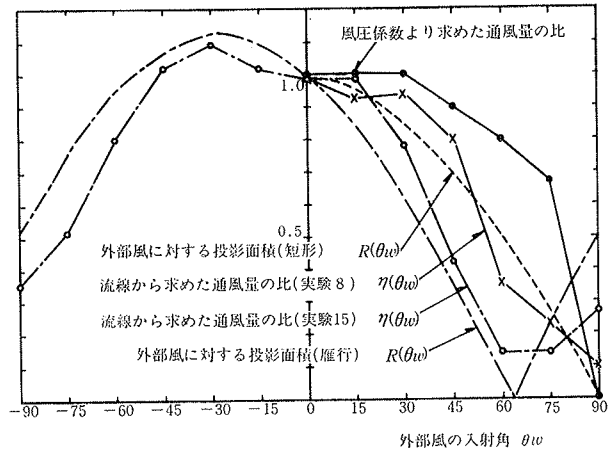


図-9 風向と通風量

入射角 $\theta_w$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
風上側 $C_w(\theta_w)$	0.75	0.76	0.75	0.43	0.25	0.0	-0.44
風下側 $C_L(\theta_w)$	-0.40	-0.50	-0.49	-0.50	-0.49	-0.52	-0.44

表-2 一般壁面の風圧係数<sup>6)</sup>

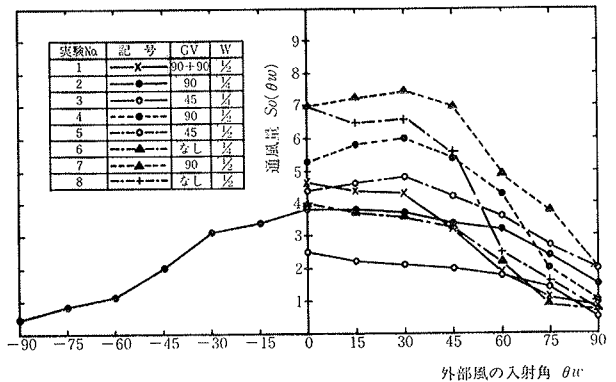


図-10 通風量と開口の形状 その1 (矩形平面)

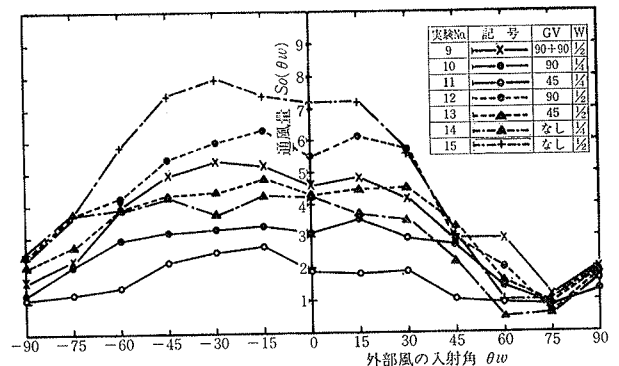


図-11 通風量と開口の形状 その2 (雁行平面)

( $\theta_w > 60^\circ$ ) で、前二者より大きくなり、過大に算定することになる。各住戸による差は、流線の間隔に比べ開口が小さく、各住戸ごとの流線を正確に数えることができないので、住戸による違いを評価することはできなかった。従って、以下の考察でも全体での評価を行なった。

### 3.3. 開口の形状と通風量—平面形の場合

通風に適した開口の形状，寸法を検討するため風向に対する  $S_0$  の変化を求め図-10, 11に示す。

#### (1) 開口の大きさと通風量

矩形平面の場合 (図-10): 実験2と4, 3と5を比較して

$\theta_w < 60^\circ$  の範囲

開口率が大きいほど通風量は多い。

$\theta_w > 60^\circ$  の範囲

ガイドベーン (以下 GV と略す) が  $45^\circ$  の場合を除き通風量は急激に減少し, 開口率による差は小さくなる。

雁行平面の場合 (図-11): 実験10と12, 11と13を比較して

$-75^\circ < \theta_w < 45^\circ$  の範囲

開口率が大きいほど通風量は多い。

$\theta_w < -75^\circ, \theta_w > 45^\circ$

通風量は急激に減少し, 開口率による差は小さくなる。

#### (2) ガイドベーン の角度と通風量

矩形平面形の場合 (図-10): 実験2と3と6, 4と5と8を比較して

$\theta_w < 60^\circ$  の範囲

GV なしと GV  $90^\circ$  でほとんど差がない。GV  $45^\circ$  は劣る。

$\theta_w > 60^\circ$  の範囲

GV なしは急激に減少し, GV  $45^\circ$  が一番有利になる。

雁行平面の場合 (図-11): 実験10と12と14, 11と13と15を比較して

$-75^\circ < \theta_w < 45^\circ$  の範囲

GV なしが一番すぐれており, GV  $90^\circ, GV 45^\circ$  の順になる。

$\theta_w < -75^\circ, \theta_w > 45^\circ$  の範囲

GV なしは急激に減少し, GV  $45^\circ$  が有利になる。

平面形の違による通風量の比較

$-90^\circ < \theta_w < 15^\circ$  の範囲

雁行平面がすぐれている。

$\theta_w > 15^\circ$  の範囲

矩形の方がすぐれている。

しかし  $\theta_w > 45^\circ$  になると両者の差は少なく, とともに急激に減少するので, 全体として雁行形の方が有利である。(矩形の場合  $-90^\circ < \theta_w < 0$  の範囲は, 実験2の場合しかないで, 他の実験もこれと同じ結果になると仮定した。)

### 3.4. 通風率の比較—平面形の場合

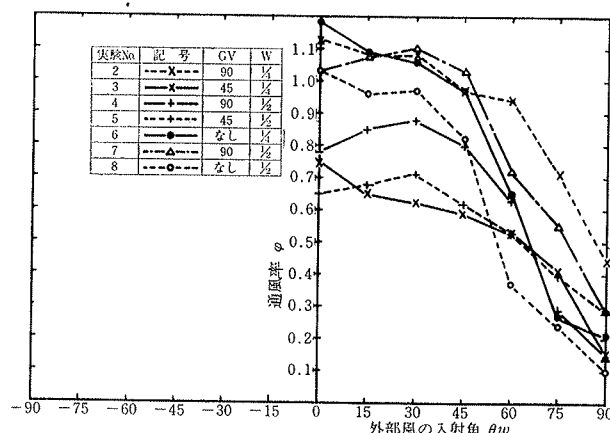


図-12 通風率と開口 その1 (矩形平面)

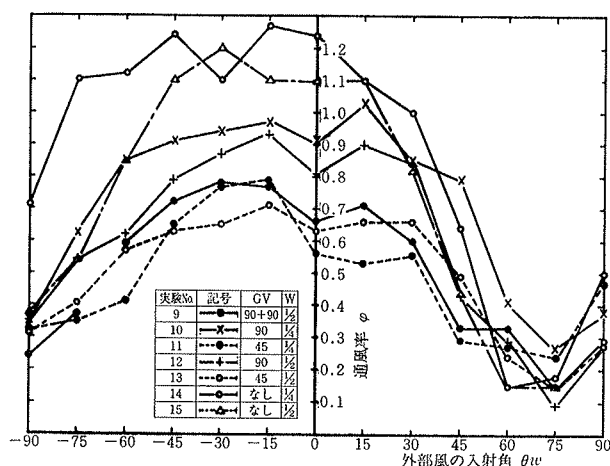


図-13 通風率と開口 その2 (雁行平面)

室内の任意の点の気流速度と外部風速の比をもって通風率と呼ぶが<sup>9)</sup>, ここでは風上窓面での平均風速と外部風速との比とし, 通風率  $\varphi(\theta_w)$  は(1)式を用いて以下とする。

$$\begin{aligned} \varphi(\theta_w) &= \frac{(S_0(\theta_w) \cdot V_0) / S_m}{V_0} \\ &= S_0(\theta_w) / S_m \quad \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

風向に対する  $\varphi(\theta_w)$  の変化を図-12, 13に示す。実験2と4, 6と8, 10と12, 14と15を比較すれば明らかなように, GV なしと GV  $90^\circ$  の場合は, 開口率が小さくなると通風率は大きくなる。すなわち開口率が小さいほど風速は大きくなる。

実験3と5より明らかなように, 矩形平面で GV  $45^\circ$  の場合, 開口率にかかわらず通風率, 従って風速は一定になる。雁行平面の場合, 実験11と13の比較より明らかなように,  $\theta_w < -45^\circ, 0^\circ < \theta_w < 60^\circ$  では開口率が小さいほど通風率が大きくなる。 $-45^\circ \leq \theta_w < 0^\circ, \theta_w > 60^\circ$  では, 開口率が大きいほど通風率は大きくなる。 $\theta_w$  が後者の場合, 開口率が小さいほど  $45^\circ$  の GV は抵抗になるだけでガイドベーンの効果は期待できない。 $\theta_w$  が後者

の場合、開口率にかかわらず GV の効果は同一であり、ほぼ等しい通風量になるので開口率が小さいほど通風率、従って風速が大きくなるためであると考えられる。

### 3.5. 立面形の場合

流線の数より直立立面とセットバック立面の通風量を比較すると、GV 90° の場合は直立立面の方が通風量が大きく、GV がない場合はほとんど同じである。

## 4. まとめ

通風量を多くするためには、開口率が大きいほどよい。雁行平面では、ガイドベーンより隣接住戸の壁の効果の方が支配的で、あらゆる方位の風向に対して全体として有利である。入射角が大きく ( $\theta_w > 60^\circ$ ) なるガイドベーンの効果は顕著になる。窓面での風速を大きくするためには、GV なし GV 90° では開口率を小さくすればよい。GV 45° は、開口の大きさがガイドベーンの大きさ程度であれば、かえって通風の抵抗になり好ましくない。

## 5. 謝 辞

この研究は、関西電力(株)総合研究所による委託研究「夏季対策型省エネルギー建築に関する研究」(昭和56年度下期)の一環として行なったものであり、研究を行なうに当たり御尽力いただいた同所主任研究員、山下浩氏に深く謝意を表します。また実験に際し、本社建築本部設備部計画第二課、斎藤隆雄職員、豊橋技術科学大学実務訓練生、西川 隆、丹羽智明各氏の協力を得た。

## 参考文献

- 1) 小玉裕一郎: 住宅における自然風の利用, 建築文化, Vol. 35, No. 39, (1980.1), p. 162
- 2) 内藤, 水野, 三木: 外環境と暑熱対策技術, 空気調和・衛生工学, Vol. 55, No. 8, (1981), pp. 53~60
- 3) V. Olgyay: Design with climate, Princeton Univ. Press, Princeton, (1963), p. 94
- 4) 石原正雄: 通風の実験的研究, 日本建築学会研究報告集, No. 21, (1953)
- 5) 清家, 小玉, 高田: 室内空間形態の通風性状におよぼす影響について(1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和52.10), pp. 243~244  
同(2), (3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和53.9), pp. 227~230
- 6) R. M. Aynsley et al: Architectural Acrodynamics, Applied Science Publishers LTD, London, (1977)
- 7) 石原正雄: 通風による室内風速風向分布について, 日本建築学会論文集, 第54号, (昭和31), pp. 489~492  
石原正雄: 自然風による模型室の風速分布, 日本建築学会論文集, 第57号, (昭和32), pp. 181~184
- 8) 建築学会パンフレット18 換気設計, 日本建築学会, (1965), pp. 18 原典は, 勝田, 関根; 空気調和・衛生工学, Vol. 36, No. 4, (1962)
- 9) 佐藤 鑑: 換気通風計画, 建築学大系22, 彰国社, (1957)