

# 周辺に建物群のある独立住宅の風圧分布に関する 風洞実験および換気量予測

住宅の換気・通風に関する実験的研究 その1

## WIND TUNNEL TEST ON SURFACE WIND PRESSURE AND PREDICTION OF AIR CHANGE RATE OF DETACHED HOUSE

Experimental study on natural ventilation of detached House Part 1

赤林伸一\*, 村上周三\*\*, 水谷国男\*\*\*, 高倉秀一\*\*\*\*  
*Shin-ichi AKABAYASHI, Shuzo MURAKAMI, Kunio MIZUTANI  
and Shuichi TAKAKURA*

Wind tunnel tests are conducted with a 1/50 scale model of a low-rise detached house. Models of detached house are arranged uniformly with various density (building coverage). The model concerned is located at the midst of the arrangement. Coefficients of surface wind pressure on the roof and the walls of the model house concerned are measured under this condition. The inside pressure and the air change rate of the house are evaluated by numerical method on the basis of measured wind pressure coefficients, assuming a uniform distribution of leakage areas.

Findings are given as follows.

1. When the model house is surrounded by similar buildings, both of infiltration and exfiltration are observed on the walls and the roof.
2. The air change rate of the model house with the arrangement of 40% building coverage is about a half of that of the single model with no surroundings.
3. Air change rate is 0.8 times per hour under the following conditions: ① the house is one story with gable roof, ② grade of air tightness is 5 ( $\alpha A = 12.5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ ), ③ standard wind velocity is 4m/s, ④ building coverage is 20%.
4. When wind velocity exceeds 3m/s, air change rate is greatly affected by the characteristics of leakage.

**Keywords** : Wind Tunnel Test, Natural Ventilation, Building Coverage,  
Air Tightness, Air Change Rate.

風洞実験, 自然換気, 建蔽率, 気密性能, 換気回数

### 1. 序

近年, 室内環境の質の向上や省エネルギーの観点から住宅のシェルター性能の気密化, 断熱化が急速に進行している。これらの, 高气密・高断熱住宅では必要換気量を自然換気のみで賄う事が出来ないで機械換気設備が必要不可欠であると言われている。

住宅の自然換気量の子測に関しては数多くの研究がなされている。例えば, 吉野等<sup>1)</sup>は木造戸建て住宅を対象とした自然換気量の実測調査を行なっており, 自然換気量を予測するためには部位別の気密性能を測定し, 緩衝空間の存在を考慮した換気計算を行う必要がある事を示している。また, 石田等<sup>2)</sup>は, 風力と浮力が同時に作用した場合の住宅の自然換気量の簡易予測式を提案し, 実測値と良く一致する事を示している。

ところで, 筆者らは, 住宅の換気・通風に関して壁面の風圧係数の実測, 風洞実験<sup>3-6), 12)</sup>及び気密性能の実測<sup>7)</sup>などを行なってきた。市街地の住宅における風力による

換気は, 隣接建物の影響を強く受ける。例えば勝田, 後藤<sup>8)</sup>らは建蔽率を変化させた場合の風圧係数の変化を風洞実験により明かにしている。これらの報告では(風上面一風下面)の風圧係数の差から風力による自然換気量を算出している場合が多く, 壁面や屋根面の風圧係数の分布を考慮している例は少ない。

本報ではこの点に着目し,

- ①壁面, 屋根面の風圧係数の詳細な分布
  - ②建物周囲条件が風圧係数の分布に与える影響に関する風洞模型実験を行なう。更に, 得られた壁面, 屋根面の風圧係数の分布から隙間の分布を仮定した換気量を計算で予測し,
  - ③建物周囲条件が自然換気に与える影響
  - ④気密性能と換気量の関係
- を明らかとし住宅をモデルとした低層建物の風力による自然換気に関する設計資料を蓄積・整備する事を目的とする。

\* 新潟大学工学部建設学科 助教授・工博

\*\* 東京大学生産技術研究所 教授・工博

\*\*\* 三建設備工業(株)つくば総合研究所 学博

\*\*\*\* (株)間組技術研究所

Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Niigata Univ., Dr. Eng.

Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Sanken Setsubi Kogyo Corp. Ltd., Tsukuba Research Institute, Ph. D.

Technical Reserch Institute, Hazama Corporation

## 2. 実験概要

### 2.1 対象住宅模型

図1に示す幅10m,奥行き6.4mの平面を持つ6畳が6部屋設置された独立住宅の1/50の模型を対象とする。屋根は陸屋根と切妻屋根の2種類を作成する。建物高さは実物換算で1階建陸屋根の場合には3.9m, 1階建切妻屋根の場合には4.4m, 2階建陸屋根の場合6.5mである。

屋根面の風圧測定点は陸屋根では15点, 切り妻屋根では10点, 各壁面には1階建ての場合に25点(計100点), 2階建ての場合には45点(計180点)設置する。

よって, 全風圧測定点数は, 1階建陸屋根で115点, 1階建切妻屋根で110点, 2階建陸屋根で195点である。

### 2.2 風洞及び境界層

風洞は東京大学生産技術研究所の境界層型風洞を使用する。風洞内の気流は, 長方形フェンス, 人工芝により  $U \propto Z^{1/4}$  の境界層を作成する。接近流の鉛直分布を図2に示す<sup>6)</sup>。

### 2.3 実験条件

実験対象建物は, 1階建陸屋根, 1階建切妻屋根, 2階建陸屋根の3種類である。風向は  $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  とし, 更に対象建物周辺に同じ建物を設置する。建物の配置と風向を図3に示す。

建蔽率  $K$  と隣棟間隔 ( $a/H, b/H$ ) の関係と実験風向を表1に示す。建蔽率は  $K = 0, 5, 20, 40\%$  で,  $K = 0\%$  とは単独建物を意味する。

### 2.4 風圧係数の測定方法

圧力測定には精密微差圧変換器(MKS バラトロン)を使用する。基準静圧は模型の影響を受けない上流の点の静圧(この点の静圧は, 対象模型設置位置の静圧と同じことを確認している)とし, 建物群がない場合の棟高  $H = 78\text{mm}$  (1階陸屋根),  $88\text{mm}$  (1階切妻屋根),  $130\text{mm}$  (2階陸屋根)の動圧をそれぞれ基準として風圧係数を求める。

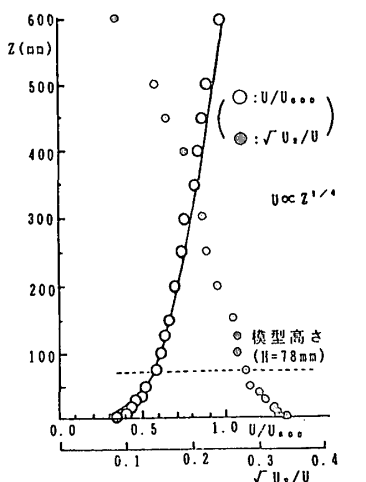


図2 Approaching Wind の鉛直分布

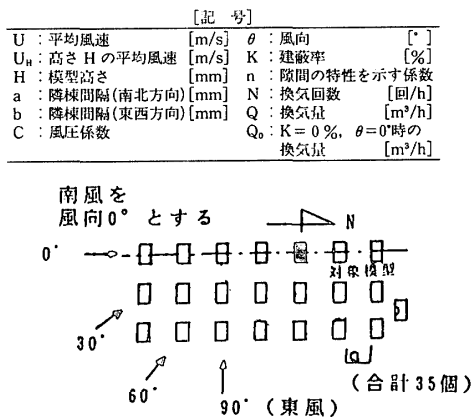
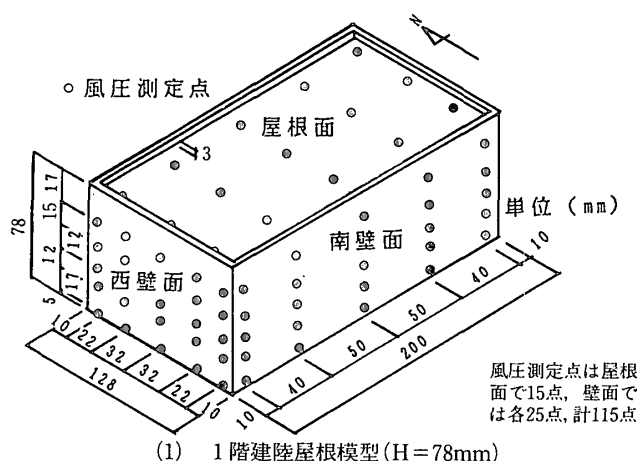
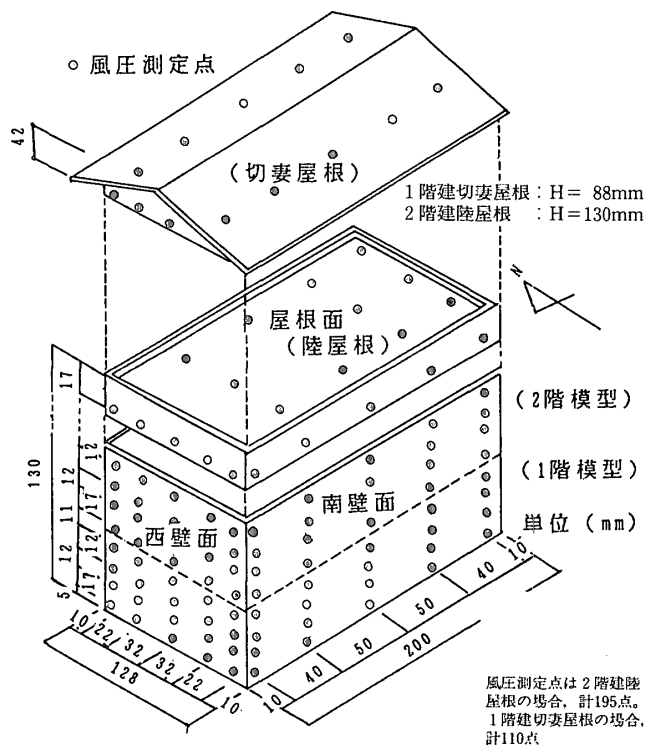


図3 低層建物群の配置  
(測定対象模型の前に4列, 後に2列, さらに左右含めて合計35個配置)



(1) 1階建陸屋根模型(H=78mm)



(2) 1階建切妻屋根模型, 2階建陸屋根模型

図1 低層建物模型及び風圧測定点

表1 建蔽率と隣棟間隔の関係及び実験風向

| 建物      | K(%) | a/H | b/H | $\theta(^{\circ})$ |
|---------|------|-----|-----|--------------------|
| 1階建陸屋根  | 0    | —   | —   | 0, 30, 60, 90      |
|         | 5    | 7.5 | 6.6 | 同上                 |
|         | 20   | 2.9 | 2.0 | 同上                 |
| 1階建切妻屋根 | 0    | —   | —   | 0, 30, 60, 90      |
|         | 5    | 6.6 | 5.9 | 0, 30, 60, 90      |
|         | 20   | 2.6 | 1.8 | 0                  |
| 2階建陸屋根  | 0    | —   | —   | 0, 30, 60, 90      |
|         | 5    | 4.5 | 3.9 | 0                  |
|         | 20   | 1.7 | 1.2 | 0                  |
|         | 40   | 0.9 | 0.4 | 0                  |

## 2.5 換気量の算出方法

風洞実験で得られた風圧分布より換気量を予測するためには室内圧力と隙間の分布を仮定する必要がある。本報では、小屋裏と床下を含めて対象建物を1室とみなし、建物全体に存在する隙間を壁面、屋根面の風圧測定点の受け持つ面積に応じて比例配分されていると仮定し逐次近似法により室内圧力を計算より求める。更に求められた室内圧と外周面の風圧係数の差より、換気量を算出する<sup>1)</sup>。

## 3. 1階建陸屋根の場合

### 3.1 風圧係数の風向, 建蔽率による変化

(1) 風向  $\theta$  を変化させた場合 (建蔽率  $K = 0$  : 単独建物)

各壁面中心における風圧係数  $C$  の変化は、風上面となる南壁面、東壁面で大きく、その他の壁面は  $0.0 \sim -0.6$  の範囲である。陸屋根の中心における風圧係数は  $-0.5 (\theta = 0^\circ) \sim 0.0 (\theta = 90^\circ)$  の範囲である (図4)。

(2) 建蔽率  $K$  を変化させた場合 (風向  $\theta = 0^\circ$ )

勝田ら<sup>8)</sup>の結果と同様、建蔽率  $K$  が大きくなるとどの面でも風圧係数は  $0.0 \sim -0.2$  の範囲に集中する。特に風上面

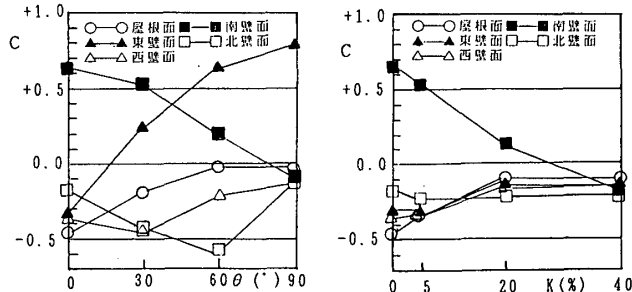


図4 風向による各面中心の風圧係数の変化 (1階建陸屋根,  $K=0\%$ )

図5 建蔽率による各面中心の風圧係数の変化 (1階建陸屋根,  $\theta=0^\circ$ )

となる南壁面の風圧係数は  $0.6 \rightarrow -0.2$  と顕著に変化する (図5)。

### 3.2 壁面, 屋根面の風圧係数分布と計算結果による流入, 流出領域の分布

図6は風向  $\theta = 0^\circ$  (隙間特性を示す係数  $n = 2$ ) で建蔽率  $K$  を変化させた場合の各面の風圧係数の分布, 室内圧, 流入領域{(各壁面の圧力-室内圧)が+となる領域}である。どの面でも建蔽率  $K$  が大きくなると流入, 流出が混在しており,  $K=40\%$  では風上面(南面)からも流出する。

建蔽率, 風向  $\theta$  が変化した場合の各壁面の換気量  $Q$  を

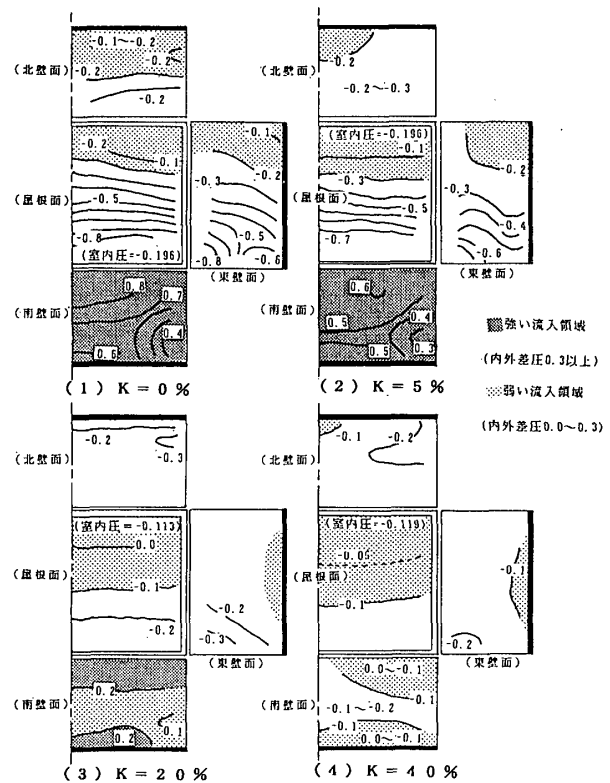


図6 建蔽率を変化させた場合の風圧係数の分布 (1階建陸屋根,  $\theta=0^\circ, n=2$ )

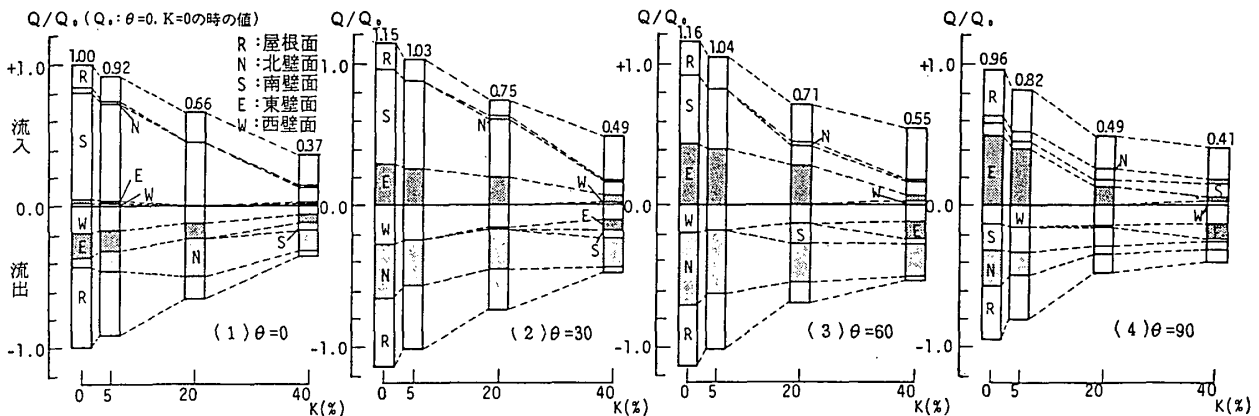


図7 建蔽率の変化及び風向変化による各面の流入, 流出領域 (1階建陸屋根,  $n=2$ , 流入を+, 流出を-として表示)

流入, 流出に分け,  $\theta=0^\circ, K=0\%$ の時の換気量の値  $Q_0$ を1.0とし, 図7に示す。どの風向でも建蔽率が大きくなるに従って  $Q/Q_0$ は減少し,  $K=40\%$ では  $0\%$ の時の約  $0.4\sim 0.5$ になる。

#### 4. 1階建切妻屋根の場合

##### 4.1 風圧係数の風向, 建蔽率による変化

(1) 風向  $\theta$  を変化させた場合 (建蔽率  $K=0$ : 単独建物)

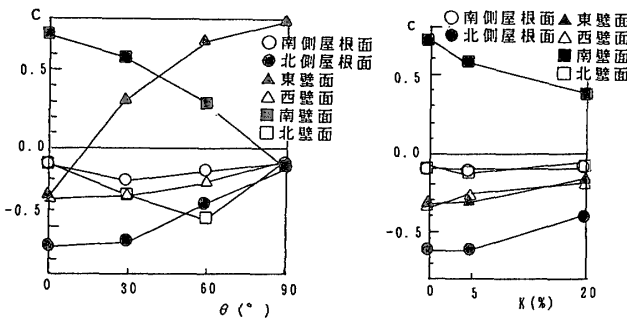
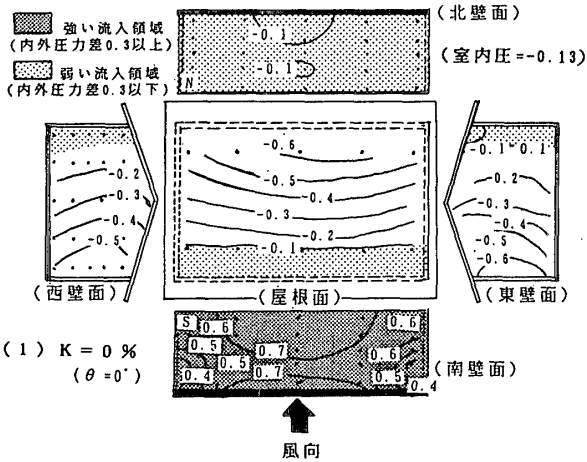


図8 風向による各面中心の風圧係数の変化 (1階建切妻屋根,  $K=0\%$ )

図9 建蔽率による各面中心の風圧係数の変化 (1階建切妻屋根,  $\theta=0^\circ$ )

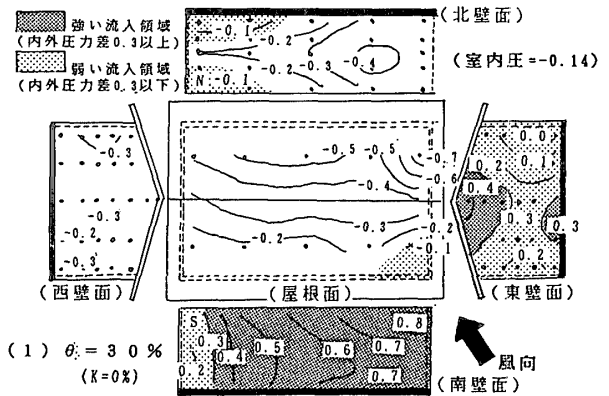


(1)  $K=0\%$  ( $\theta=0^\circ$ )

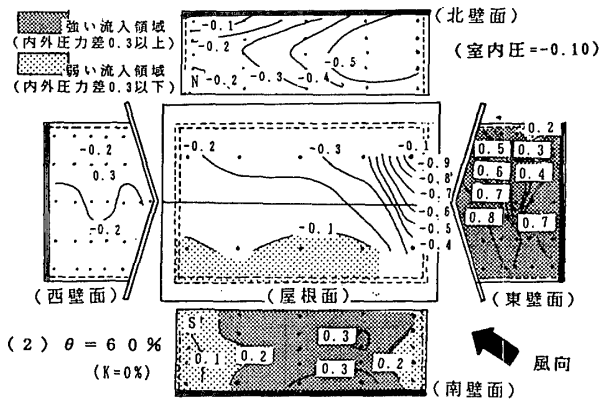
各壁面中心における風圧係数の変化は風上面となる南壁面, 東壁面で大きく, 他の面では小さく, 1階建陸屋根の場合と同様である。屋根面の南側中心の風圧係数は, 風向によらず  $-0.1$ 程度の値でほぼ一定であるが, 屋根面の北側中心の風圧係数は  $-0.6\sim -0.1$ まで大きく変化する (図8)。

(2) 建蔽率  $K$  を変化させた場合 (風向  $\theta=0^\circ$ )

風上面となる南壁面中心での風圧係数は建蔽率が大きくなるに従い小さくなるが,  $K=20\%$ の場合でも  $0.4$ 程度



(1)  $\theta=30^\circ$  ( $K=0\%$ )



(2)  $\theta=60^\circ$  ( $K=0\%$ )

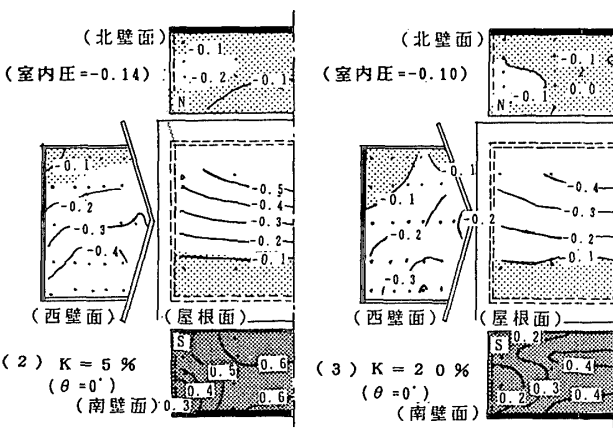


図10 建蔽率を変化させた場合の風圧係数の分布及び流入, 流出領域 (1階建切妻屋根,  $\theta=0^\circ, n=2$ )

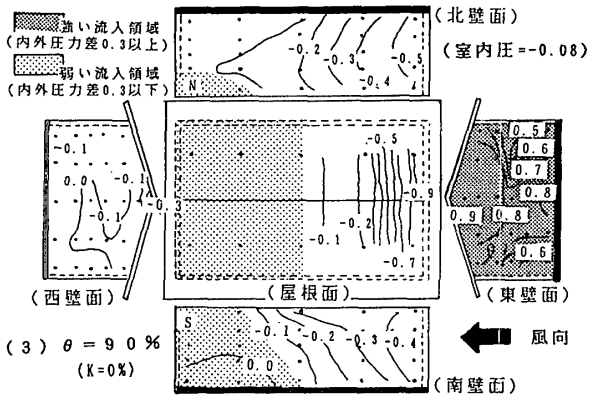


図11 風向を変化させた場合の風圧係数の分布及び流入, 流出領域 (1階建切妻屋根,  $K=0\%, n=2$ )

の値であり、1階建陸屋根の場合の0.2に比べるとその変化は少ない。

屋根面の南側中心における風圧係数は建蔽率によらず-0.1程度の値で一定である。屋根面の北側では建蔽率が

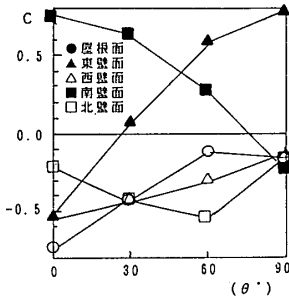


図12 風向による各面中心の風圧係数の変化 (2階建陸屋根,  $K=0\%$ )

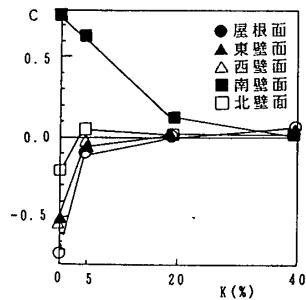


図13 建蔽率による各面中心の風圧係数の変化 (2階建陸屋根,  $\theta=0^\circ$ )

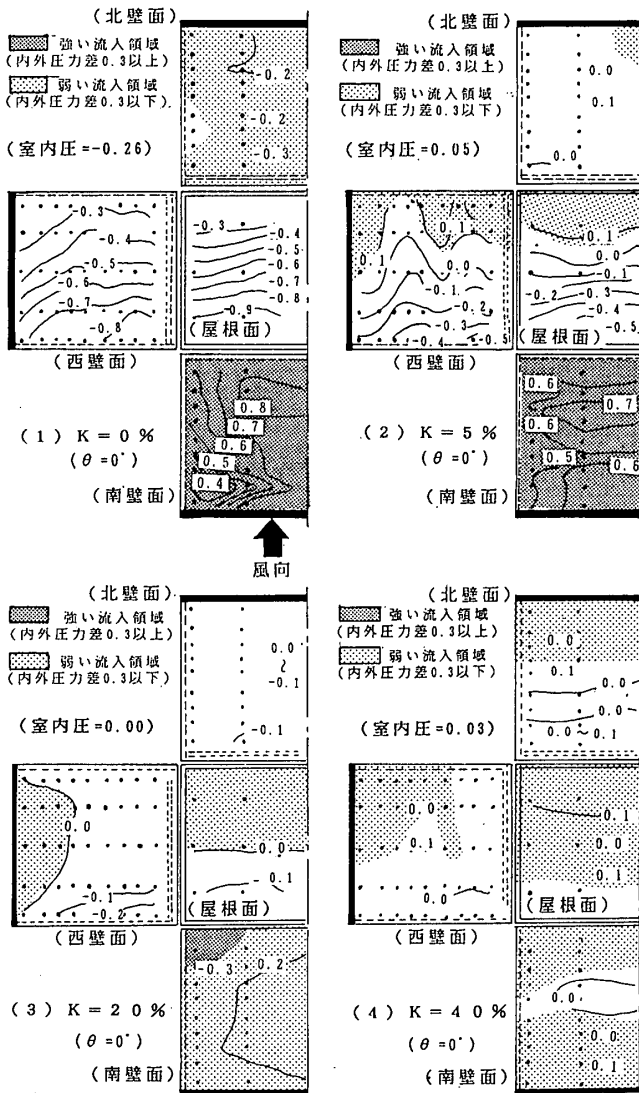


図14 建蔽率を変化させた場合の風圧係数の分布及び流入、流出領域 (2階建陸屋根,  $\theta=0^\circ$ ,  $n=2$ )

大きくなるに従い僅かに大きくなる。(図9)。

#### 4.2 壁面、屋根面の風圧係数分布と計算結果による流入、流出領域の分布

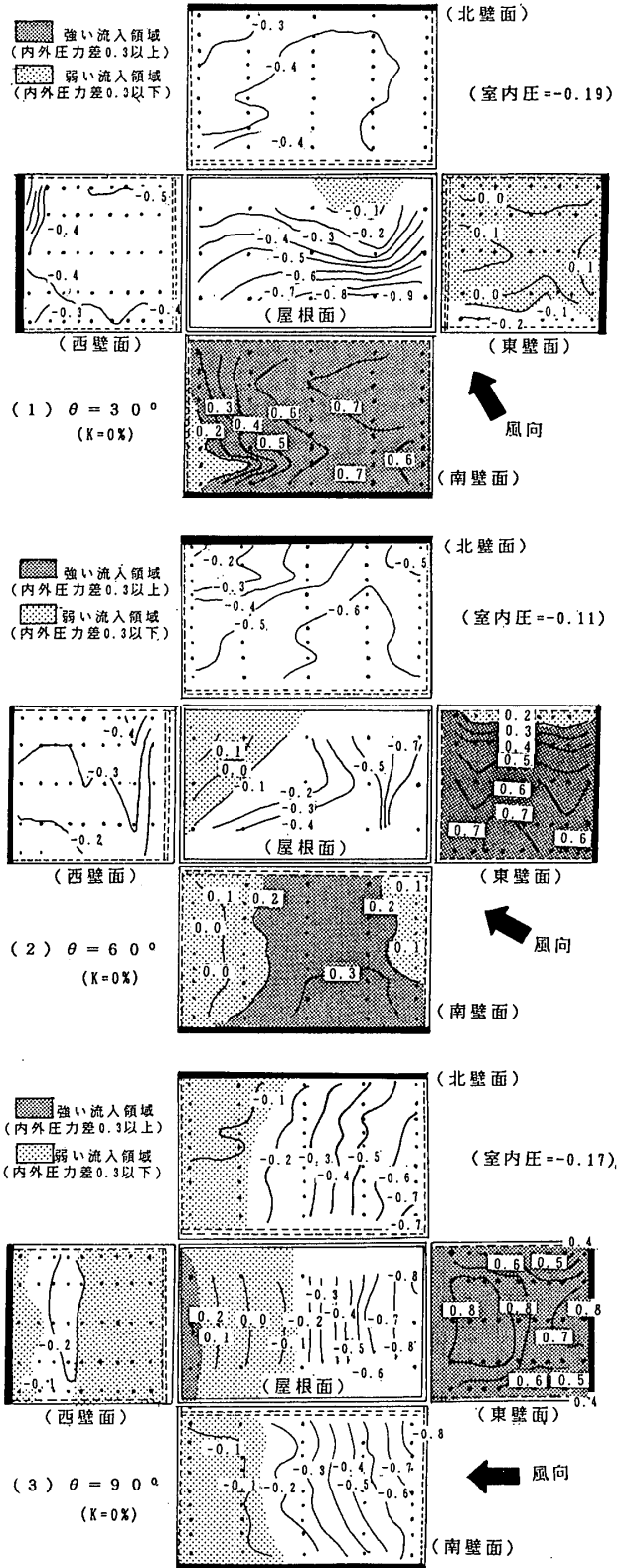


図15 風向を変化させた場合の風圧係数の分布及び流入、流出領域 (2階建陸屋根,  $K=0\%$ ,  $n=2$ )

図10は風向  $\theta=0^\circ$  で建蔽率  $K$  を変化させた場合の各面の風圧係数の分布、室内圧、流入領域(各壁面の圧力一室内圧)が+となる領域)である。建蔽率が大きくなるに従い各壁面における風圧係数の分布は小さくなるが、陸屋根の場合のような顕著な変化は見られない。特に屋根面での風圧係数の分布は建蔽率が変化した場合でも  $K=0\%$  の時とほぼ同様の値となる。各面における流入領域は、風上側の南壁面と風下側の北壁面であり、流出は主に東西壁面及び北側屋根面からとなる。

図10(1)と図11は  $K=0\%$  で風向を変化させた場合の各面の風圧係数の分布、流入領域である。風向  $\theta$  が大きくなると風上側であった南壁面からの流入は少なくなり、 $\theta=90^\circ$  では流出領域が現れる。逆に東壁面では  $\theta=0^\circ$  の時には流出領域が大部分を占めるが、風向が変化し風上面になると流入領域が増加し、 $\theta=90^\circ$  では強い流入領域となる。屋根面の流入領域は  $\theta=0\sim 30^\circ$  では風上側から流入する傾向にあるが  $\theta=60^\circ$  になると風上側端部からの流入は無くなり、 $\theta=90^\circ$  では風下側が流入領域になる。

## 5. 2階建陸屋根の場合

### 5.1 風圧係数の風向、建蔽率による変化

#### (1) 風向を変化させた場合(建蔽率 $K=0$ : 単独建物)

各面中心における風圧係数の変化は風上面となる南壁面、東壁面で大きく、他の面では小さく1階建陸屋根の場合と同様の傾向を示す。また、風圧係数の値も1階建陸屋根とほぼ同様の値となる(図12)。

#### (2) 建蔽率を変化させた場合(風向 $\theta=0^\circ$ )

建蔽率が大きくなるに従い各面中心における風圧係数の値は0.0に近づき<sup>8),10)</sup>、 $K=40\%$  では  $C=0.0\sim 0.1$  の間に集中する(図13)。

### 5.2 壁面、屋根面の風圧係数分布と計算結果による流入、流出領域の分布

図14は風向  $\theta=0^\circ$  で建蔽率を変化させた場合の各面中心の風圧係数の分布、流入領域である。建蔽率が大きくなるに従い各壁面における風圧係数は0.0に近づき、 $K=40\%$  になると何れの面でも風圧係数は-0.1~0.1の範囲となる。流入領域は1階建陸屋根の場合と同様、 $K=0\%$  (単独建物)でも風下側に流入領域があり、 $K=40\%$  になると何れの面でも流入、流出が混在している。

図14(1)と図15は  $K=0\%$  で風向を変化させた場合の各面の風圧係数の分布、流入領域である。風向が変化すると風上側であった南壁面での流入は少なくなり風向  $\theta=90^\circ$  では流出領域となる。東壁面では逆に風向が変化するに従い流出領域から流入領域へと変化し、風上面となる  $\theta=$

$90^\circ$  では強い流入領域となる。

## 5.3 換気量の算出結果

2階建陸屋根の場合における、建蔽率、風向の変化による各壁面の換気量  $Q$  を流入、流出に分け、風向  $\theta=0^\circ$ 、建蔽率  $K=0\%$  の時の値  $Q_0$  で基準化し図16、17に示す。

1階建陸屋根の場合と同様、建蔽率が大きくなるに従い  $Q/Q_0$  は減少し、 $K=40\%$  になると  $0\%$  の時の約1/3になる。 $Q/Q_0$  の風向による変化は少なく、何れの風向においても同様な値になる。

## 6. 気密性能と換気回数の関係

### 6.1 1階建陸屋根の場合

吉野らの<sup>1)</sup>方法に従い、気密性能の各グレード<sup>2)</sup>における換気回数  $N$  の値を平均風速(高さ  $H$  の平均風速)  $U_H$ 、建蔽率  $K$ 、風向  $\theta$ 、隙間の特性を示す係数  $n$  をパラメータとして図18に示す。例えば、気密性能のグレード5、 $U_H=4\text{ m/s}$ 、 $\theta=0^\circ$ 、 $K=20\%$ 、 $n=2$  の場合には  $N=0.8$  となる。 $U_H=3\text{ m/s}$  以上では  $n$  の変化が換気回数  $N$  に大きな影響を与えている。

### 6.2 1階建切妻屋根の場合

気密性能の各グレードにおける換気回数  $N$  の値を、平均風速  $U_H$ 、建蔽率  $K$ 、風向  $\theta$ 、隙間の特性を示す係数  $n$  をパラメータとして図19に示す。

1階建陸屋根の場合と同様、 $U_H=3\text{ m/s}$  以上では、隙間の特性を示す係数  $n$  の変化が換気回数  $N$  に大きく影響を与えている。風向  $\theta=0^\circ$  の場合には換気回数の値は1階建陸屋根とほぼ同じ値となるが、 $\theta=90^\circ$  の場合には切妻屋根の方がやや少なめの値となる。例えば、 $K=0\%$ 、 $n=$

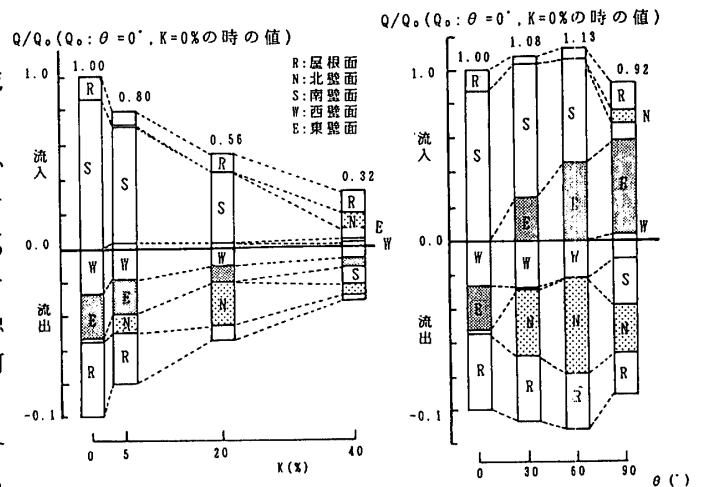


図16 建蔽率の変化による各面の流入、流出量(2階建陸屋根、 $\theta=0^\circ$ 、 $n=2$ )  
流入を+、流出を-として表示  
 $\theta=0^\circ$ 、 $K=0\%$  の時の値で基準化

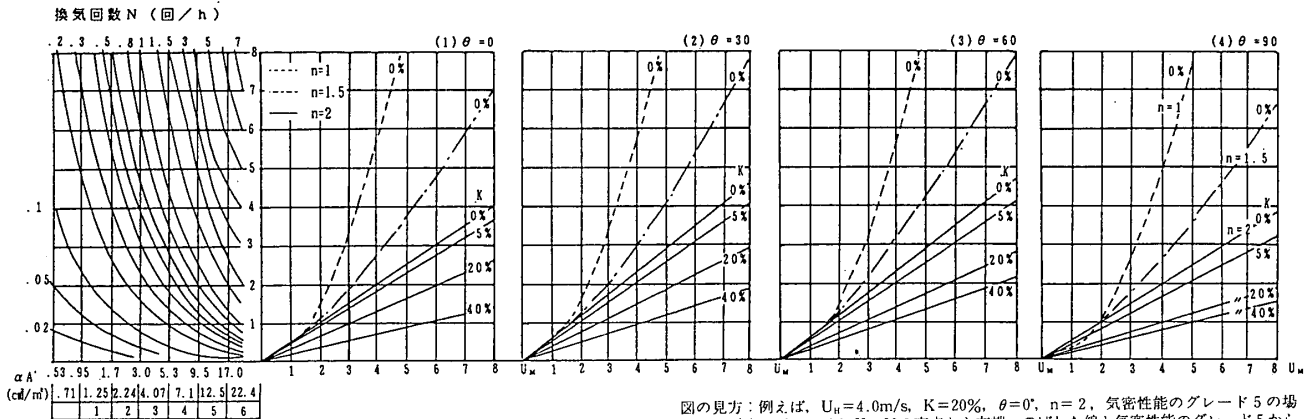
図17 風向変化による各面の流入、流出量(2階建陸屋根、 $K=0\%$ 、 $n=2$ )

2,  $U_H = 8 \text{ m/s}$ , 気密性能のグレード6の場合, 1階建陸屋根の換気回数  $N$  は約 4 回/h, 1階建切妻屋根の場合には約 3 回/h になる。

### 6.3 2階建陸屋根の場合

気密性能の各グレードにおける換気回数の値を図20に示す。風向  $\theta = 0^\circ$ , 建蔽率  $K = 20, 40\%$  の場合の換気回数  $N$  は1階建陸屋根とほぼ同じ値となるが,  $K = 0, 5\%$  で

は何れの風向においても2階建の場合がやや多めの値となる。例えば  $\theta = 0^\circ, K = 0\%, n = 2, U_H = 8 \text{ m/s}$ , 気密性能のグレード6の場合には1階建陸屋根の換気回数は約 4 回/h, 2階建陸屋根の換気回数は約 5.5 回/h になる。



図の見方: 例えば,  $U_H = 4.0 \text{ m/s}$ ,  $K = 20\%$ ,  $\theta = 0^\circ$ ,  $n = 2$ , 気密性能のグレード5の場合, 図18(1)の  $U_w = 4.0$  と  $K = 20$  の交点から左端へのばした線と気密性能のグレード5から上端へのばした線の交点が換気回数 ( $N = 0.8$ ) となる

図18 各建蔽率における気密性能と換気回数(1階建陸屋根)

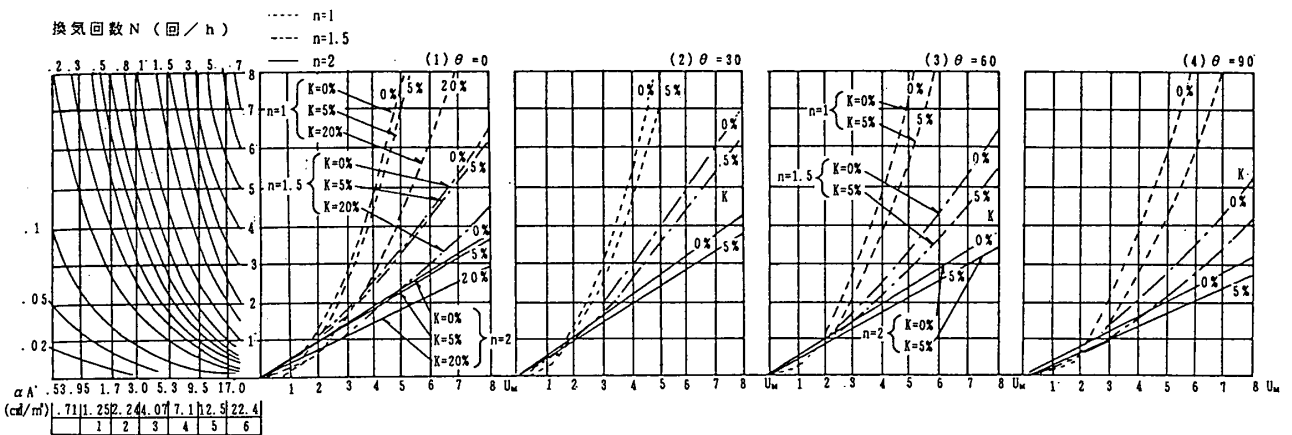


図19 各建蔽率における気密性能と換気回数(1階建切妻屋根)

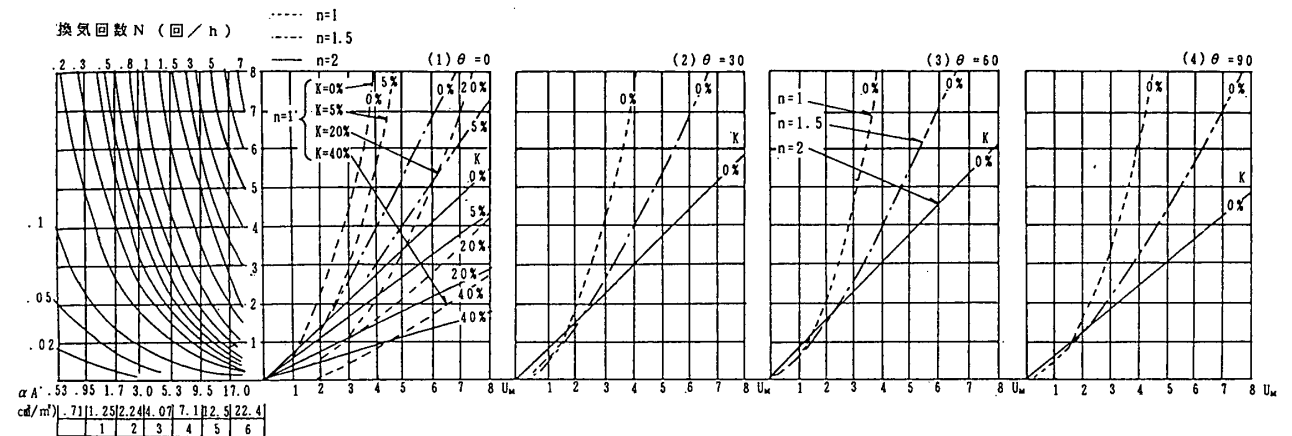


図20 各建蔽率における気密性能と換気回数(2階建陸屋根)

## 7. 結論

①今回対象としたどの住宅モデルでも、風向を変化させた場合、風上に当たる面の風圧係数は大きく変化する。また、1階建陸屋根、2階建陸屋根の場合には建蔽率  $K=40\%$  になると、どの面でも風圧係数  $C$  は  $0.1\sim 0.2$  の範囲に入る。

②1階建の住宅モデルでは建蔽率  $K=0\sim 20\%$  の範囲で風上面以外の各面で流入、流出が混在している。更に、1階建陸屋根の住宅モデルでは建蔽率  $K=40\%$  の時に風上面でも流出が起こる。

③1階建陸屋根の住宅モデルの場合、風向にかかわらず建蔽率が  $K=0\%$  から  $40\%$  まで変化すると、換気量は建蔽率  $K=0\%$  の時に比較して約  $0.4\sim 0.5$  に減少する。

④周囲に建物群がある独立住宅の風圧係数の分布と仮定された隙間の分布から、気密性能と外部風向・風速、隙間の特性、換気回数との関係を示すチャートを作成した。

⑤このチャートによれば、1階建陸屋根の住宅モデルの場合、気密性能のグレード5、棟高基準風速  $4\text{ m/s}$ 、風向  $0^\circ$ 、建蔽率  $20\%$ 、隙間の特性を示す係数  $n=2$  の時の換気回数は  $0.8\text{ 回/h}$  となる。

⑥今回対象としたどの住宅モデルでも棟高の基準風速  $U_H$  が  $3\text{ m/s}$  以上の範囲では隙間の特性を示す係数  $n$  の値により換気回数は大きく異なる。

## 8. おわりに

本報では、風力による換気のみを対象とした。次報以

降では、内外の温度差を含めた自然換気量の子測手法と自然換気量、換気負荷の地域特性について報告する予定である。

なお、実験に当たっては、当時東京大学大学院生大和田 淳君(現在、鹿島建設)の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 吉野 博, 長谷川房雄, 他「住宅における自然換気量の子測に関する研究その2 単室の場合の子測手法の検証及び気密性能と換気量との対応関係について」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1984年10月, pp. 311~312
- 2) 石田建一, 鎌田元康, 他「建物の気密性をを用いた換気量の簡易計算法」日本建築学会論文報告集, 第438号, 1992年8月, pp.23~32
- 3) 村上周三, 勝田高司, 他「風力換気に関する研究 その1, その2」日本建築学会関東支部第40回学術研究発表会, 1969年, pp.201~208
- 4) 村上周三, 加藤信介, 他「住宅の通風に関する実験的研究」日本建築学会関東支部研究報告集, 1982年, pp.57~60
- 5) 村上周三, 加藤信介, 他「住宅の通風に関する実験的研究その1, その2」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1983年9月, pp.455~458
- 6) 村上周三, 加藤信介, 他「低層建物の風圧に関する風洞模型実験—Aylesbury 国際共同実験—」日本風工学会誌, 第19号, 1985年4月, pp.21~36
- 7) 村上周三, 吉野 博「住宅の気密性能に関する調査研究」日本建築学会論文報告集, 第325号, 1983年3月, pp.104~115
- 8) 勝田高司, 後藤 滋「建物周囲条件の換気通風に及ぼす影響」日本建築学会論文報告集, 第53号, 1956年6月, pp.80~87
- 9) M.Jensen et al. "Model-Scale Tests in Turbulent Wind" The Danish Technical Press 1963
- 10) B.G.Wiren "Effects of Surrounding Buildings on Wind Pressure Distributions and Ventilative heat Losses for a Single-Family House" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 15(1983) 15-26, 1983, pp.15~26
- 11) 清田誠良, 関根 毅「建築物周囲空間の静圧分布に関する実験的研究」日本建築学会論文報告集, 第350号, 1985年4月, pp.1~7
- 12) 赤林伸一, 村上周三, 他「接近流の気流性状が建物の換気通風に及ぼす影響に関する研究(その2), (その3)」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1985年10月, pp.371~374

(1993年7月10日原稿受理, 1993年12月7日採用決定)