

住宅の自然通風に関する実験的研究（その 1）

実測と風洞模型実験による天窓の通風効果を中心として

正 会 員 村 上 周 三*
正 会 員 小 林 信 行**
正 会 員 加 藤 信 介***
正 会 員 赤 林 伸 一****

1. 序

日本の気候条件の特徴の一つは、夏季の高温多湿である。この気候条件に対応するため日本の住宅は伝統的に開放的に作られており、夏季においては自然通風を利用して暑さをしのいできた。しかし、近年の都市住宅は、過密な立地条件や騒音あるいは住様式が個室のプライバシーを重視するように変化したことなどのため、閉鎖的傾向が強まっており、住宅設備の発達ともあいまって自然通風を利用するよりは冷房設備を導入する傾向にあった。昭和 40 年代の石油ショックと公害問題はこのような技術偏重の傾向に歯止めをかけるきっかけとなり自然エネルギーの利用、自然風の清涼感、快適性等の観点から自然通風が見直されるに至った。

住宅の通風に関しては、空調設備が住宅に導入される以前に数多くの研究がなされており、最近では集合住宅を対象とした実測、風洞模型実験等が行われている。佐藤⁵⁾は水槽をもちいた可視化実験により独立住宅における通気輪道を明らかとしている。勝田⁶⁾は建物周囲の条件が通風に及ぼす影響について風洞模型実験による検討を行っている。勝田、後藤⁷⁾は住宅の換気通風に関して風洞模型実験を行い、建物周囲の条件が壁面の風圧係数に及ぼす影響について系統的な検討を行っている。石原⁸⁾は RC アパートを対象とした実測を行い通風量と室内気流の相関を明らかにしている。勝田、村上⁹⁾は通風時の集合住宅における室内気流パターンをメタルデヒドをトレーサーとした可視化実験により明らかにしている。西岡、山下¹⁰⁾は煙風洞を利用し集合住宅を対象とした実験を行い、通風量に関する検討を行っている。また片山、石井¹¹⁾は実在の集合住宅を対象に実測調査を

行い、通風量、室内気流分布、室内温熱環境などについて検討している。これらの研究のなかで実測調査に関してはその多くが実在の居住用の住宅を対象とした事例研究であり、開口条件等の通風に深くかかわる要素を個別に変化させた例は少ない。また、室内の気流速度も部屋の中央で 1 点のみの測定にとどまっている場合が多く、通風性能の最も基本的な要素である通気輪道の性状に関しては不明な点が多い。さらに、風洞実験あるいは水槽による可視化実験は一様流中で行われており自然風をシュミレートした境界層流中の風洞模型実験はほとんど行われていないのが現状である。

本報（その 1）では、実験用実大モデル住宅およびその 1/40 の模型を対象に開口条件を種々に変化させた場合の基本的な通風性状を明らかにし、通風利用住宅の設計資料を整備することを目的としている。対象としているモデル住宅には天窓が設置されているが、このタイプの窓は都市の過密な立地条件のもとでも比較的開放しやすいと考えられる。本報では実大のモデル住宅を利用した実測および 1/40 の縮尺模型を対象とした風洞模型実験により以下のことを明らかにする。

- ①壁面、屋根面および室内の風圧係数の詳細な分布
- ②開口部における風速
- ③室内気流分布（通気輪道）の詳細
- ④室内温熱環境

次報以降では、住宅の自然通風に関してトレーサーガス法を用いて通風量を風洞模型実験により検討しさらに建物周囲条件が変化した場合の通風性状についてより定量的な設計資料を報告する予定である。

なお、実大のモデル住宅を利用した実測は昭和 57 年から昭和 59 年の 3 年間にわたって行われた。本論文ではこれらの実測結果を、

- Part I : 風圧係数と室内気流の分布
 - Part II : 通風時の室内の風速比の分布
 - Part III : 通風が室内の温熱環境に及ぼす影響
- の 3 つにわけて整理し報告する。

本研究は文献 1)～4) の結果に新たにデータを付け加えとりまとめたものである。

* 東京大学生産技術研究所 教授・工博

** 東京工芸大学 助教授・工博

*** 東京大学生産技術研究所 講師・工博

**** 東京大学 大学院生
(昭和 61 年 9 月 5 日原稿受理)

2. 実物実験

2.1 実験概要

(1) 対象モデル住宅

神奈川県厚木市，東京工芸大学敷地内に建設された，木造2階建て，棟高10m，延床面積100m²の実験用モデル住宅¹²⁾を対象とする。図-1に配置図を写真-1に対象モデルの概要を示す。建物の南の方角にはテニスコートがあり対象住棟の棟高の10倍程度の範囲には高い障害物は無い。また建物の北側はガケで下っており樹木が多少有るが南側と同様に高い障害物は無い。図-2および図-3に平面，立面，および断面を示す。モデル住宅は同一の平面，同一の熱損失係数および気密性能を持つ西側部分（以後A棟とする），東側部分（同B棟）および中央吹抜部で構成されている。中央吹抜部には通風量の増加を意図した天窗が設置されている。また，A，B両棟は南北の2室に分けられる。本モデル住宅には

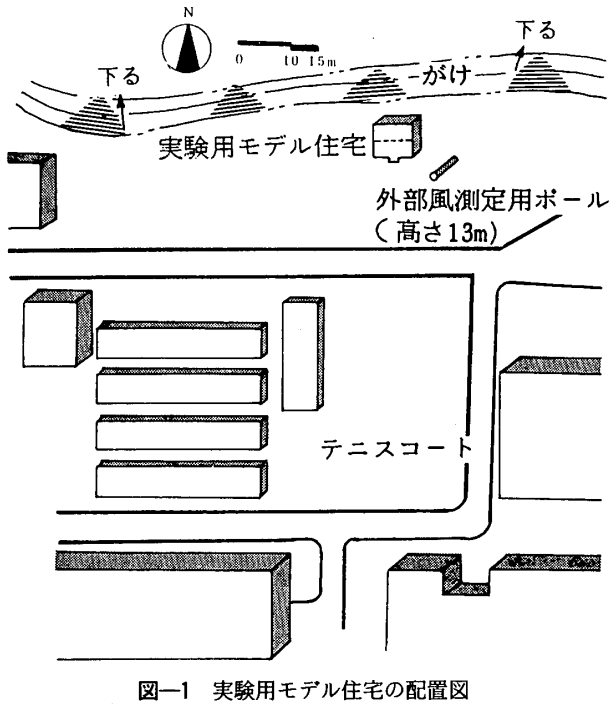


図-1 実験用モデル住宅の配置図

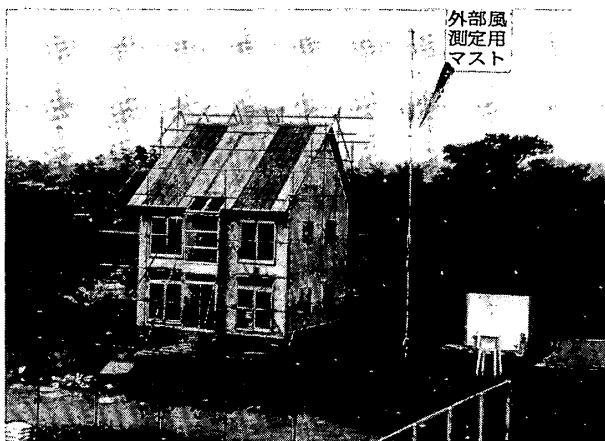


写真-1 実験用モデル住宅の概要

以下に示す特徴がある。

①対象モデル住宅を1住戸とみなしA棟，B棟，中央吹抜部の開口を種々の条件で開放し基本的な通風性状を検討できる。

②対象モデル住宅を（A棟+中央吹抜部）およびB棟の2住戸からなるとみなしそれぞれの開口を異なる条件で開放し両棟の通風性状を同一の外部条件のもとで比較検討できる。

③②と同様に，（A棟+中央吹抜部）のみの開口部を開放しB棟の開口部は閉鎖し，通風のある住戸と無い住戸の温熱環境を比較し通風が室内の温熱環境に及ぼす影

記号	
V_{10} : 地上高10m(棟高)の 風速(m/s)	P_1 : 風圧測定点での 圧力(mmAq)
V_w : 開口部中心風速 V_{10} で無次元化	C_p : 風圧測定点での 風圧係数
V_i : 室内気流速度 V_{10} で無次元化	$C_p = \frac{(P_1 - P_{10})}{\frac{\gamma}{2g} V_{10}^2}$
P_{10} : 南壁中心(No.10) での圧力(mmA)	

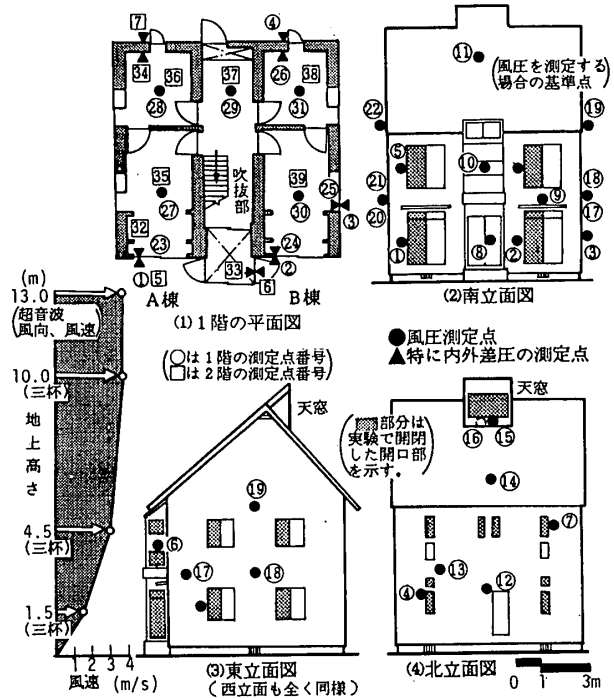


図-2 実験用モデル住宅の概要と風圧測定点

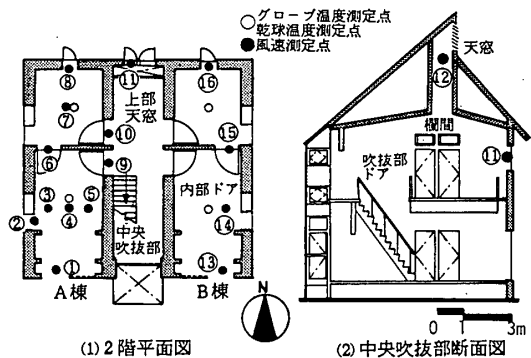


図-3 実験用モデル住宅の概要と風速および温度測定点

響を検討できる。

(2) 測定方法・項目

(a) 外部環境 接近流は対象建物近傍で南風の場合に建物の影響をうけにくい位置に高さ13mのポール(図-1)を設置し、地上高13mの風向、風速を2次元超音波風速計で、地上高10m(棟高)、4.5m(2階開口中心高さ)、1.5m(1階開口中心高さ)の風速を3杯型風速計で測定する。測定された接近流の鉛直分布の例を図-2の左に示す。外気温湿度は対象建物近傍に設置した百葉箱内に熱電対およびDewcell露点検出器を設置し測定する。

(b) 風圧係数 測定点および測定点番号を図-2に示す。風圧係数は南風の場合圧力が最も安定していると考えられるNo.10の風圧測定点(南壁中央、図-2(2)、参照)を基準とし、この点と各測定点との差圧をキャパシタンス型精密微差圧計で測定する。風圧係数を算出する際の基準の動圧としては、棟高(地上高10m)の風速を採用する。

(c) 開口部および室内の気流速度 図-3に気流速度の測定点および測定点番号を示す。測定高さは床上0.9mであり、サーミスタ風速計を使用して測定を行う。図-3に示す測定点以外にさらに詳細な室内気流分布を検討するために、各棟南室の気流分布を室内9点で3次元超音波風速計を用いて測定する。

(d) 室内温熱環境 測定点を○印で図-3に示す。温度測定には熱電対を使用し、各室中央で乾球温度、グローブ温度を測定する。測定高さは床上1.5mである。

(e) データの記録方法 すべてのデータはデジタルデータレコーダーまたはマイコンとデータロガーを組み合わせた記録システムで収集する。なお、平均化時間は実験目的により適宜5~15分の平均値を採用する。

2.2 実験結果

Part I: 風圧係数と室内気流分布の測定結果

(1) Part Iの目的

東京の夏季の最多風向である南風を対象とし開口条件を種々に変化させた場合の基本的な通風性状を明らかにし、また3章で報告する風洞模型実験との対応を目的としている。

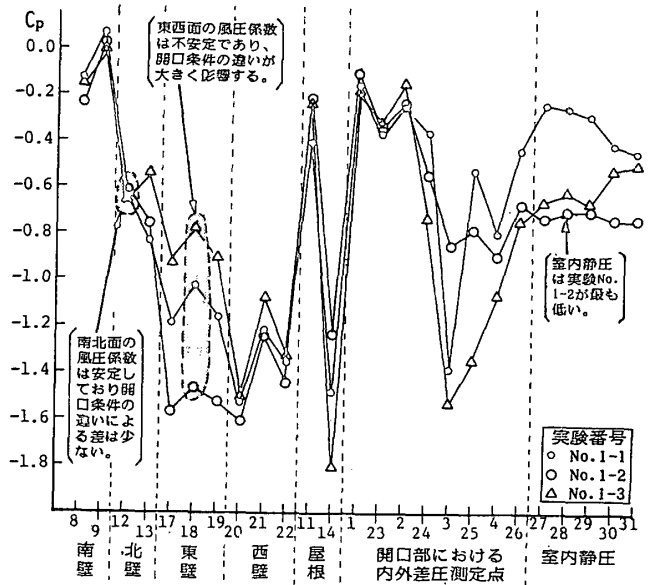
(2) 実験条件

表-1に実験条件および測定期間を示す。実験No.1-1~1-3は南北通風に対する東西窓の効果に関する実験条件であり、昼間の通風を想定している。実験No.2-1~2-4は天窗の通風効果に関する実験条件であり、夜間の就寝時の通風を想定している。いずれの実験においても東京の夏季の最多風向である南(S±22.5°)の風向の時間帯を選んで行った。平均化時間は5分間を採用す

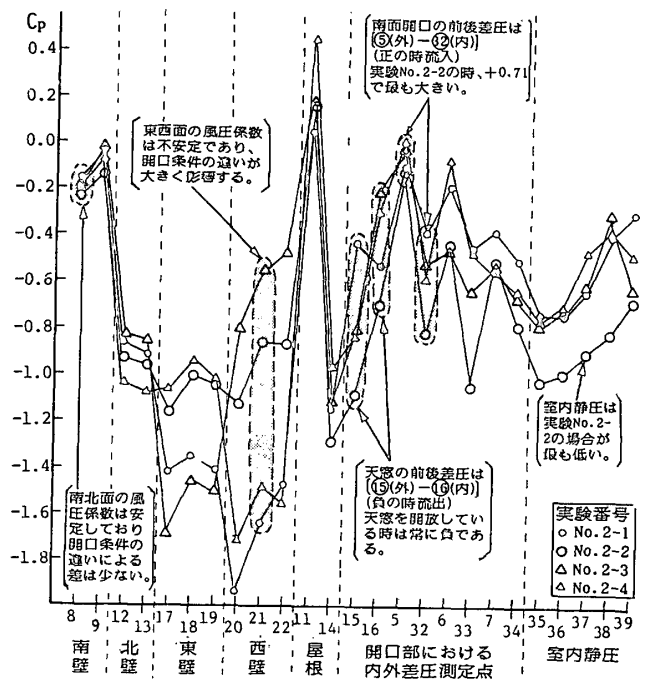
表-1 PART Iの実験条件と実験番号

実験番号	1階開口		2階開口		吹抜部開口			開口条件	測定年月日
	南窓	北窓	南窓	北窓	南窓	北窓	天窗		
No.1-1	○	○	×	×	×	×	×	1階の南北窓を開放	7月57年
No.1-2	○	○	×	×	×	×	×	No.1-1に加え1階の東西窓を開放	7月26日
No.1-3	○	○	×	×	×	×	×	No.1-2より1階の北窓を閉鎖	7月31日
No.2-1	×	×	△	△	×	×	×	2階の南窓を1/3、北窓を1/2開放	7月57年
No.2-2	×	×	△	△	×	×	○	No.2-1に加え天窗を開放	7月28日
No.2-3	×	×	△	△	×	×	○	No.2-2に加え吹抜部北窓を開放	8月4日
No.2-4	×	×	△	△	×	×	○	No.2-2に加え吹抜部南窓を開放	

○:開放、△:1/2だけ開放、△:1/3だけ開放、×:閉鎖(内部ドア及び吹抜部ドアは常に開放)



(1) 実験No.1-1、1-2、1-3(東西窓の効果)



(2) 実験No.2-1、2-2、2-3、2-4(天窗の効果)

図-4 開口条件による風圧係数の変化

る。

(3) 実験結果

測定は各実験条件について2回行った。両者はよく一

致し、高い再現性がみられる。

(a) 実験 No. 1-1~1-3 (東西窓の効果) 風圧係数の測定結果を図-4(1) に示す。開口条件が変化しても南北壁面の風圧係数は比較的安定した値を示すが、東西壁面の風圧係数は開口条件により大きく変化する。図-5(1) に棟高(地上高10m)の風速で基準化した各開口部の中心風速を示す。南窓(流入側開口)の中心風速は実験 No. 1-2, 1-3, 1-1の順に小さくなる。東西窓を開放すると、南北窓のみを開放した場合に比較して2~5割風速が増加する。図-6(1) に棟高の風速で基準化したB棟1階南室の風速比の分布を示す。流入側開口から流出側開口に向かって通気輪道が形成され、輪道以外の測定点では風速が極めて低い。

(b) 実験 No. 2-1~2-4 (天窓の効果) 図-4(2) に風圧係数の測定結果を示す。南窓の前後差圧は No. 2-2 (南北窓と天窓を開放) の場合が最も大きい。また、天窓の前後差圧は天窓が開放されている場合は南風の時間帯を選び実験を行っていることもあり常に流出の方向であり、天窓の開放は通風量の増加に効果がある。図-5(2) に開口部の中心風速を示す。南窓の中心風速はやはり No. 2-2 の場合が最も速く、No. 2-1 (南北窓のみ

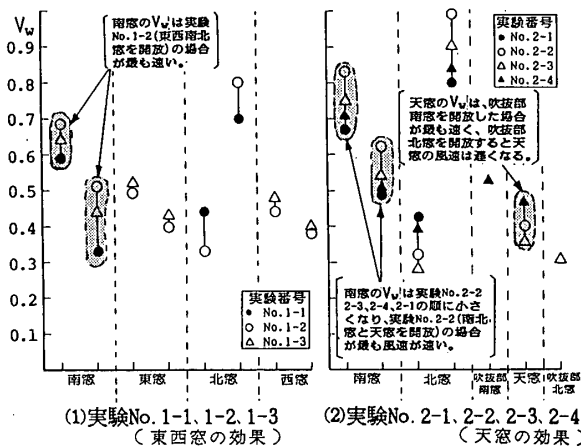


図-5 開口条件による開口部中心風速の変化

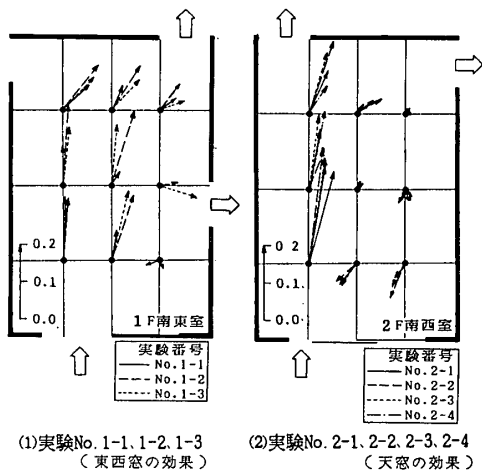


図-6 開口条件による室内気流分布の変化

を開放)と比較すれば約2割風速が増加する。図-6(2)にA棟2階南室の気流分布を示す。図-6(1)と比較すれば、通気輪道にあたる風速の速い部分が減少しており、開口の位置や大きさによって有効に通風の行われる領域は著しく異なる。

Part II : 通風時の室内の風速比の測定結果

(1) Part IIの目的

Part IIでは、対象モデル住宅(Part Iと同一のモデル住宅)を(A棟+吹抜部)およびB棟の2住戸からなるとみなし、両住戸の2階部分を対象に開口を異なる条件で開放し対称位置の測定点の風速比を同一の外部条件で比較することにより通風の効果を検討することを目的とする。

(2) 実験条件

表-2に実験番号、実験条件、測定期間を示す。No. 3-1はA, B両棟が通風に関して同一の性能であることを確認するための実験, No. 4-1, 4-2は天窓および吹抜部北窓の効果に関する実験条件, No. 5-1, 5-2は吹抜部ドアを開放するかわりにドア上部に設置された欄間(図-3(2)参照)を開放する実験条件であり夜間の就寝時を想定している。風速の測定点は図-3に示すとおりである。風速データは10秒ごとに測定し、10分間の平均値を算出し、地上高13mで測定された外部風速で基準化して示す。またデータの解析はPart Iと同様に東京の夏季の最多風向である南風($S \pm 22.5^\circ$)についてのみ行う。

(3) 実験結果

(a) 実験 No. 3-1 (両棟の性能比較) 図-7(1)に両棟で対称な位置にある測定点の上空風速(地上高13m)に対する風速比を度数分布で示す。風速比は対応する測定点ではほぼ同様の値となり、A, B両棟は通風に関してほぼ同一の性能を持つと考えられる。

(b) 実験 No. 4-1 (天窓の効果) 図-7(2)に風速比の度数分布を、図-8に風速比の日変化を示す。天窓の風速比はB棟北窓の風速比に比較し2割程度大きい。面積比(天窓の面積はB棟北窓の面積の約3.5倍)を考慮すれば、天窓から排出される風量はB棟北窓に比べ約4倍となり、天窓は通風に大きな効果を持つ。

(c) 実験 No. 4-2 (吹抜部北窓の効果, 図-7(3))

表-2 PART IIの実験条件と実験番号

実験番号	開口条件		測定年月日
No. 3-1	A棟	南窓及び北窓を開放(内部ドア開放)	昭和58年 7月24-25日
	B棟		
No. 4-1	A棟	南窓及び天窓を開放(内部ドア、吹抜部ドア開放)	昭和58年 8月15-18日
	B棟		
No. 4-2	A棟	南窓及び吹抜部北窓を開放(内部ドア、吹抜部ドア開放)	昭和58年 9月6-10日
	B棟		
No. 5-1	A棟	南窓及び天窓を開放(内部ドア、吹抜部ドア上部欄間開放)	昭和58年 9月13-16日
	B棟		
No. 5-2	A棟	南窓及び吹抜部北窓を開放(内部ドア、吹抜部ドア上部欄間開放)	昭和58年 9月18-22日
	B棟		

□ A棟の測定点 □ B棟の測定点 ○内は測定点番号

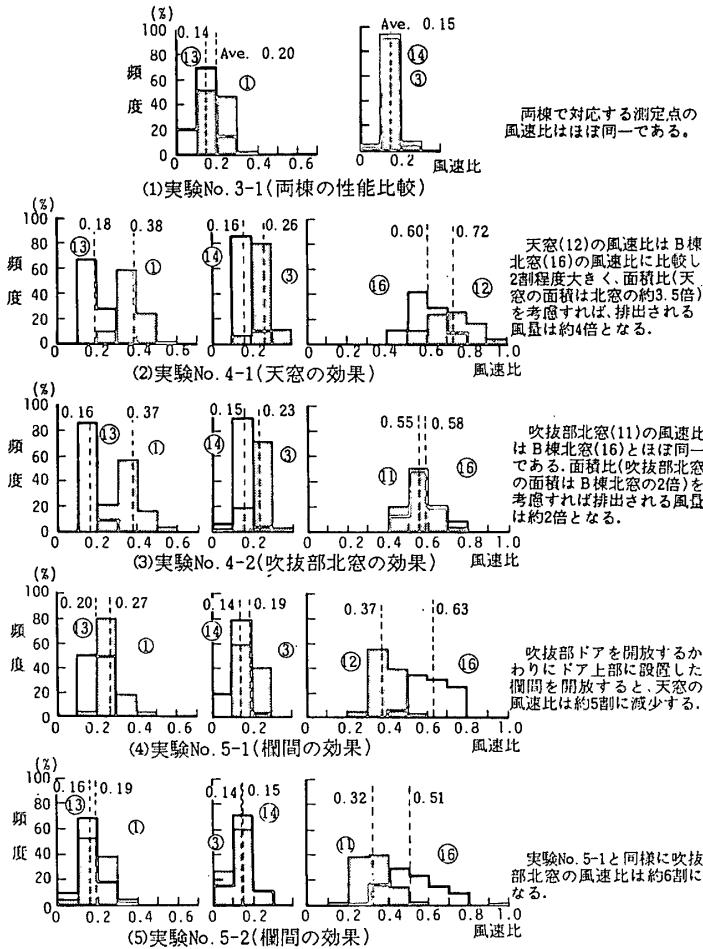


図-7 室内各測定点における風速比の度数分布

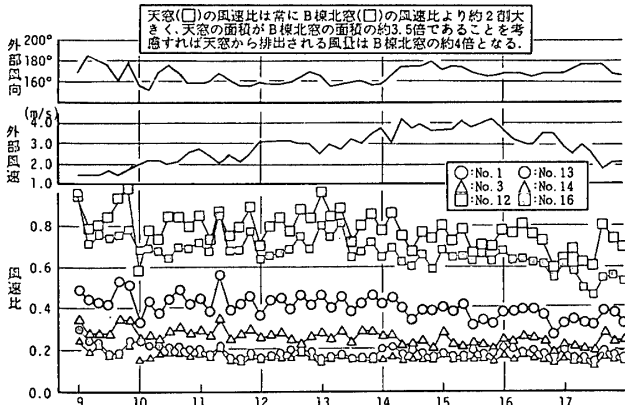


図-8 天窓を開放した場合の室内の風速比の日変化

吹抜部北窓の風速比は、B棟北窓とほぼ同一である。開口面積は吹抜部北窓がB棟北窓の2倍であるから、吹抜部北窓から流出する風量は、B棟北窓の約2倍となる。

(d) 実験 No. 5-1 (欄間+天窓の効果, 図-7(4)) 吹抜部ドアを開放するかわりに、ドア上部に設けた欄間を開放する実験である。夜間の就寝時を想定した条件である。天窓の風速比は No. 4-1 に比較して約5割に減少するが、面積比を考慮すれば排出される風量はB棟北窓の約2倍である。

表-3 PART IIIの実験条件と実験番号

実験番号	測定期間	開口条件				B棟
		A棟		B棟		
		南北窓	西窓	南北窓	天窓	
No. 6-1	9/6 9/10	開放	開放	半閉	閉鎖	閉鎖
No. 7-1	9/11 9/14	開放	閉鎖	半閉	開放	閉鎖
No. 7-2	9/16 9/19					閉鎖 断熱雨戸 を設け

(e) 実験 No. 5-2 (欄間+吹抜部北窓の効果, 図-7(5)) 実験 No. 5-1と同様の傾向を示し、No. 4-2と比較すれば吹抜部北窓の風速比は約6割に減少する。排出される風量はB棟北窓に比較して約1.2倍である。

Part III: 通風時の室内温熱環境測定結果

(1) Part IIIの目的

Part IIIでは、Part IIと同様に対象モデル住宅を(A棟+中央吹抜部)およびB棟の2住戸からなるとみなしている。両住戸の2階部分を対象とし、(A棟+中央吹抜部)のみ通風を行いB棟は開口部を閉鎖して同一の外部環境のもとで両棟の温熱環境を同時に測定し、通風による温熱効果を明らかにすることを目的とする。測定は各種の外部条件の下でのデータを得るために4日間連続して行う。開口を閉鎖した場合の両棟の熱的性能は文献12)で詳細に検討されており、両棟の室温は若干異なるものの(日射などの影響と考えられる)その違いは無視できる程度のものであることを確認している。

(2) 実験条件

表-3に実験条件と測定期間を示す。生活パターンを考慮し、開口条件を日中(7:00~19:00)と夜間(19:00~7:00)で変化させた3つの条件について実験を行う。実験 No. 7-2はB棟の開口部に断熱雨戸(スタイロホーム100mm)を設置しその効果を検討する実験条件である。

(3) 実験結果

(a) 測定期間中の外部風向、風速 実験 No. 6-1, および No. 7-1, 7-2について測定期間中の風向、風速の度数分布を日中と夜間に分けて図-9に示す。風向は各実験とも日中は北風または南風の頻度が高く、夜間は西から北の範囲に集中している。風速に関しては、日中はばらつきが大きく平均風速は1.6~2.0 m/sであるが、夜間はばらつきが小さく平均風速も1.2~1.4 m/s程度と小さくなる。

(b) 室内の温熱環境 それぞれの実験について、開口条件および外部条件が異なるため、A棟室温を開口を閉鎖しているB棟室温および外気温で基準化し、通風が室内温熱環境に与える影響について検討する。各実

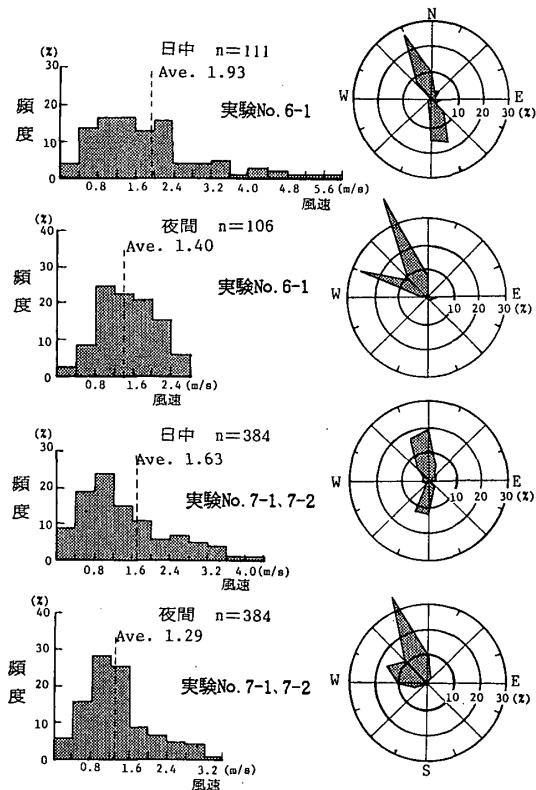


図-9 測定期間中の外部風向・風速 (地上高13m)

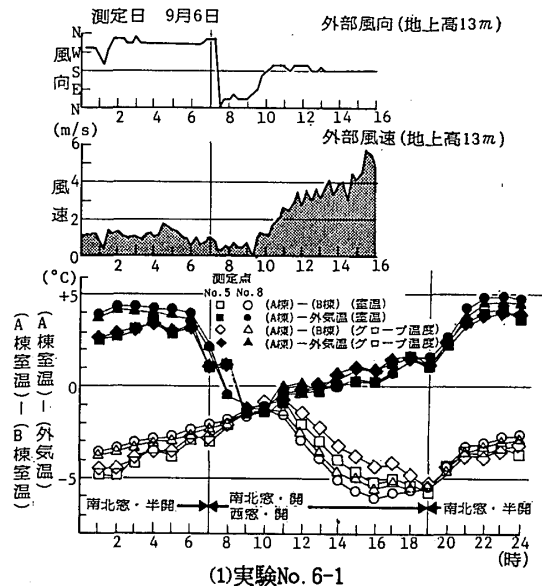
験条件について測定期間中日射量の多い日を選び基準化したA棟室温の日変化を図-10(1), (2), (3)に示す。

i) 実験 No. 6-1 (図-10(1)) 通風のあるA棟室温は通風の無いB棟室温と比較すると一日中低くその差は日平均値で 3°C 、最大で 6°C 程度である。外気温と比較すると午前中A棟室温が外気温より低くなる時間帯がある。これは外気温に対して室温に時間遅れがあるためと考えられる。夜間はA棟室温が外気温より $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 程度高くなる。これは南北窓とも1/2閉鎖するのに加えて、風向が北に変化し風速も遅くなるためと考えられる。

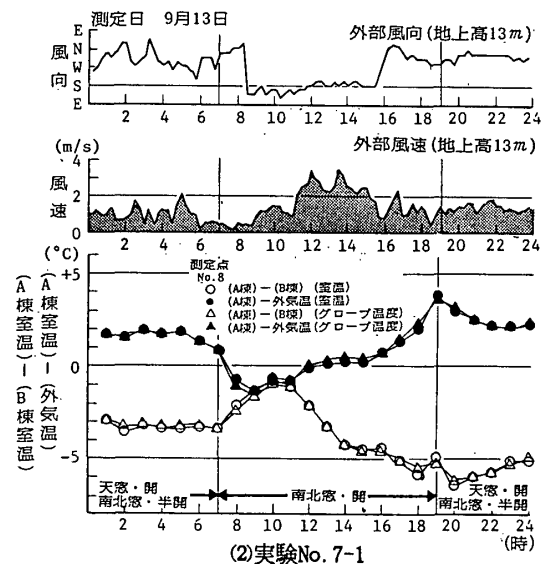
ii) 実験 No. 7-1, 7-2 (図-10(2), (3)) 実験 No. 7-1は実験 No. 6-1とほぼ同様の日変化を示す。実験 No. 7-2はB棟の開口部に日中、夜間とも断熱雨戸を設置した実験条件である。日中はB棟室温がA棟室温より低くなる。この事は、室内に発熱源がまったく無いような特殊な場合には通風を利用するよりも日射を遮断するほうが効果があることを示している。

(c) 気流速度を考慮した新有効温度

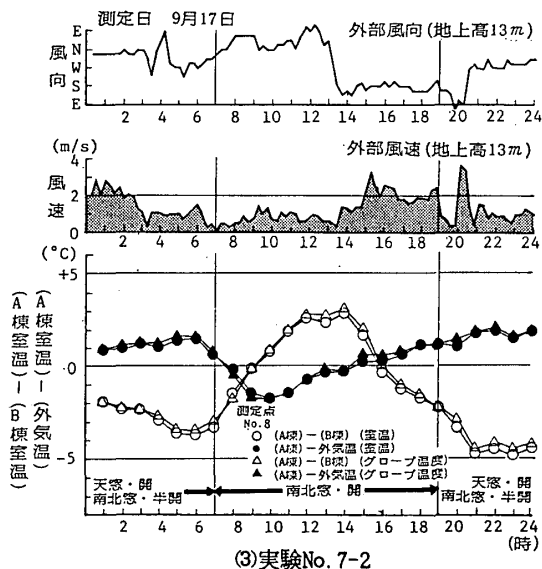
通風による室内気流が人体に対してどのような影響を与えているかを検討するために、測定されたデータから体感温度の一つの指標である新有効温度を算出する。算出方法の詳細については文献4)を参照のこと。算出する条件は、代謝量1.1 Met (座位), 着衣量0.3 clo (夏季の軽装)を与えている。また、B棟の新有効温度は気流速度0 m/sとして算出する。図-11(1), (2), (3)にA棟およびB棟の各測定点の新有効温度の日変化を外気



(1)実験No. 6-1

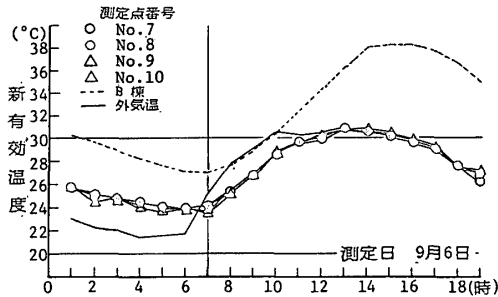
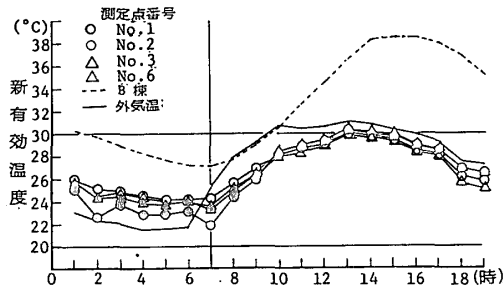


(2)実験No. 7-1

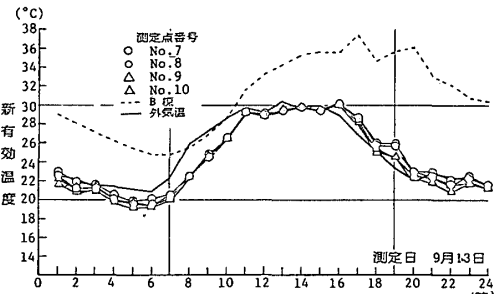
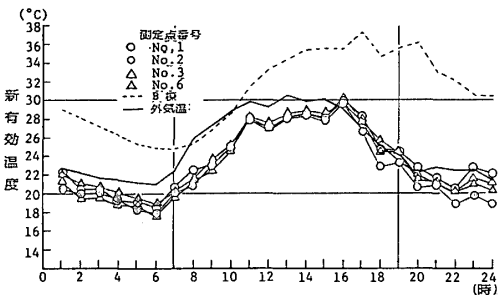


(3)実験No. 7-2

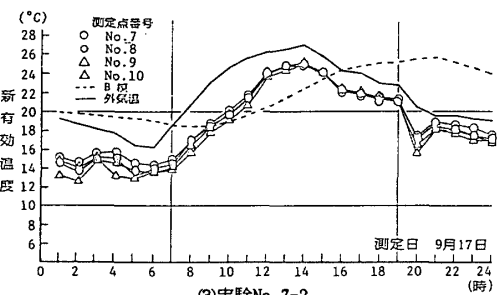
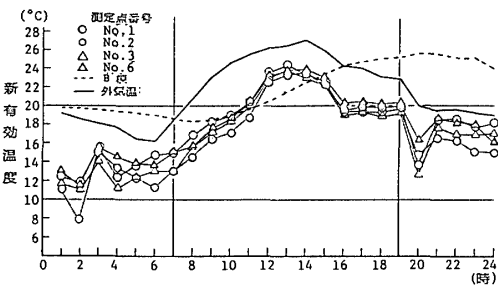
図-10 各実験におけるA棟室温の日変化 (B棟室温, 外気温基準)



(1)実験No. 6-1



(2)実験No. 7-1



(3)実験No. 7-2

図-11 各実験における新有効温度の日変化

温とともに示す。

i) 実験 No. 6-1 (図-11(1)) A棟各測定点の新有効温度は、開口を閉鎖しているB棟のそれに比較して日平均値で 5°C 最大で 10°C 程度低くなっている。また、外気温と比較した場合、通気輪道に対応する測定点では日中 2°C 程度低くなっており、通風の効果によってかなりの温度降下が得られることがわかる。

ii) 実験 No. 7-1, 7-2 (図-11(2), (3)) 実験 No. 7-1は実験 No. 6-1とほぼ同様の日変化を示す。実験 No. 7-2は、B棟の開口部に断熱雨戸を設置してある。断熱雨戸を設置することによってB棟の新有効温度はA棟の新有効温度に比較して日中 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 低い時間帯がある。しかし前節 (b) ii) で述べたように室内に発熱源があるような場合にも有効であると結論できない。

2.3 実物実験 (Part I, II, III) の結論

通風量の増加を意図した天窓を設置したモデル住宅を対象として実物実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

①外壁の風圧係数は、南風の場合南北壁面では開口条件が変化しても安定しているが、東西壁面では不安定であり開口条件に大きく影響される。

②通気輪道の形成される領域は、開口の大きさや位置によって大きく異なる。

③南北通風の場合、東西窓を開放すると流入側である南窓の中心風速は南北窓のみを開放した場合に比較し $2\sim 5$ 割増加する。

④南北通風の場合、天窓を開放すると南北窓のみを開放した場合に比較し排出される風量は約 $2\sim 4$ 倍になると推定され、天窓の開閉は通風量に大きな影響を与えている。

⑤吹抜部天窓へ通じるドアを開放するかわりに、夜間の就寝時でも比較的開放しやすいと考えられるドア上部に設置した欄間を開放した場合、天窓から排出される風量はドアを開放した場合に比較しても約 $5\sim 6$ 割程度は確保できる。

⑥夏季において通風のある室の室温は通風の無い室に比較して通常は $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 程度低い。

⑦気流速度を考慮した新有効温度は、通風のある室では通風の無い室に比較して日中平均値で 5°C 、最大で 10°C 程度低く、通風を利用することによりかなりの温度降下を得られる。

3. 風洞模型実験

3.1 風洞模型実験の目的

実物実験 (Part I) で示した風圧係数の分布に関し風洞模型実験結果との対応を検討し、さらにより詳細な風圧係数の分布を明らかにし、対象としたモデル住宅の基本的な通風性状を明らかにすることを目的とする。

3.2 実験概要

(1) 対象模型

対象とした模型は実物実験で対象としたモデル住宅と開口部、間取り等に若干異なる点があり実際の住宅に近い間取りとなっているが外部の形状はほぼ同一である。写真-2に風洞内に設置した対象模型を示す。模型はアクリル板で作成し縮尺は1/40である。風圧測定用と室内風速分布測定用の二体を使用する。図-12に対象モデルの各立面および風圧測定点を示す。

(2) 風洞

東大生研所属の境界層型風洞を使用する。測定部は長さ9.8m、幅1.8m、高さ1.2m。ラフネス、スパイアー、三角フェンスを使用し図-13に示す $U \propto Z^{1/4}$ の境界層を作成する。風洞内風速は模型の棟高で約10m/sである。

(3) 測定方法、項目

(a) 風圧係数 各測定点の圧力と風洞内の静圧の圧力差をキャパシタンス型精密微差圧計で測定し、建物高さの速度圧を基準として算出する。

(b) 室内風速分布 風速測定には、無指向性のサーミスタ風速計を使用する。風圧係数と同様に模型の棟高の風速で基準化して整理する。

(4) 実験種類

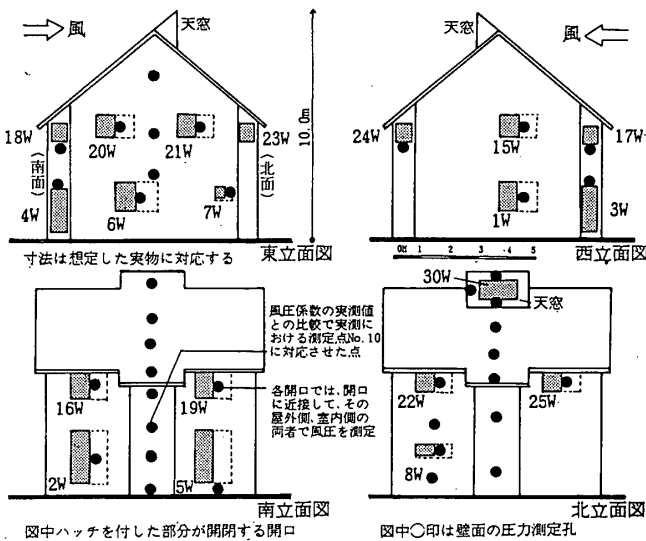


図-12 模型の概要および風圧測定点

表-4 風洞模型実験の実験条件と実験番号

実験 番号	1階開口			2階開口			吹抜部開口			開口条件	
	南北窓	東西窓	内部ドア	南北窓	東西窓	内部ドア	南窓		北窓		天窗
							一階	二階			
No. 8-1	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	開口全閉の基本モデル
No. 8-2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	実物実験との比較
No. 9-1	○	×	○	○	×	○	×	×	×	×	1、2階の南北窓開放
No. 9-2	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	No. 9-1に加え東西窓を開放
No. 9-3	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	No. 9-2より2階の窓を閉鎖
No. 10-1	▲	×	○	▲	×	○	×	×	×	×	1、2階の南北窓1/3開放
No. 10-2	▲	×	○	▲	×	○	×	×	×	○	No. 10-1に加え天窗を開放
No. 11-1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	2階の南北窓と天窗を開放
No. 11-2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	No. 11-1に加え吹抜北窓を開放
No. 11-3	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	No. 11-2に加え吹抜南窓を開放
No. 11-4	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	No. 11-3より天窗を閉鎖

○：開口を開放、▲：開口を1/3だけ開放、×：開口を閉鎖

表-4に実験条件と実験番号を示す。実験 No. 8-1は開口を全部閉鎖した基本モデル、実験 No. 8-2は実物実験との対応を意図した実験条件である。実験 No. 9-1～9-3は南北通風に対する東西窓の効果に関する実験、実験 No. 10-1～11-4は天窗あるいは、吹抜部の南北窓の効果に関する実験条件である。

3.3 実験結果

(1) 実物実験と風洞実験の比較

天窗および2階の南北窓を開放した場合(実験 No. 2-1と実験 No. 8-2)について、両者の風圧係数を図-14に示す。この実験では±0.1程度のばらつきはあるが両者は非常に良く一致し、風洞模型実験による検討が十分有効であることが確認される。

(2) 風圧係数の測定結果

(a) 開口を全閉した場合の風圧係数 図-15に中央吹抜部断面の風圧係数の分布を示す。風上側壁面で

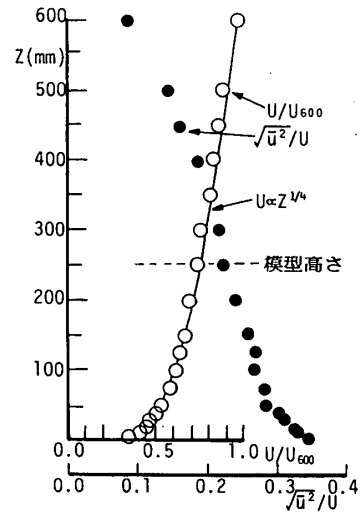


図-13 接近流の鉛直分布

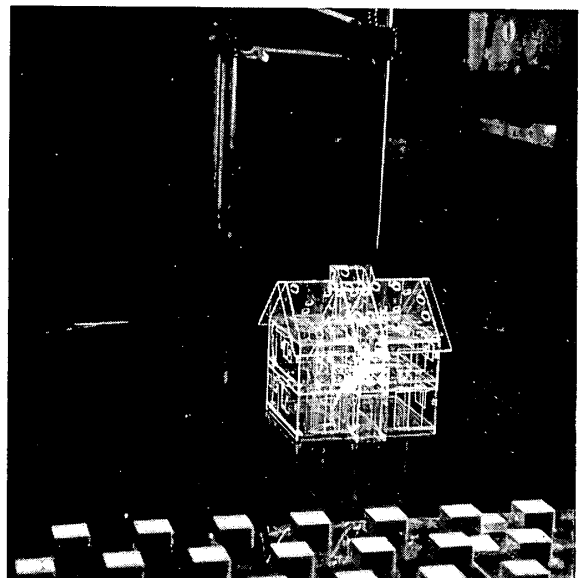


写真-2 風洞内に設置した模型

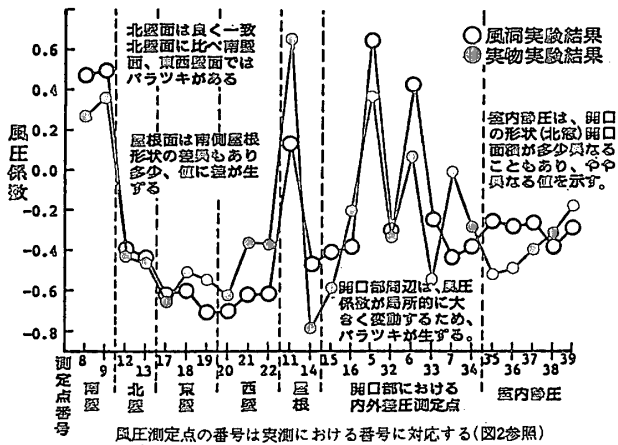


図-14 風圧係数に関する実測値と模型実験値の対応

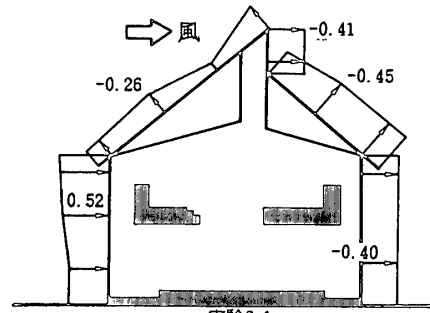


図-15 中央吹抜部断面の風圧係数 (実験 No. 8-1)

〔実測値の基準点No. 10の風圧係数が風洞模型〕
〔実験値0.52に等しいと仮定して表示したもの〕

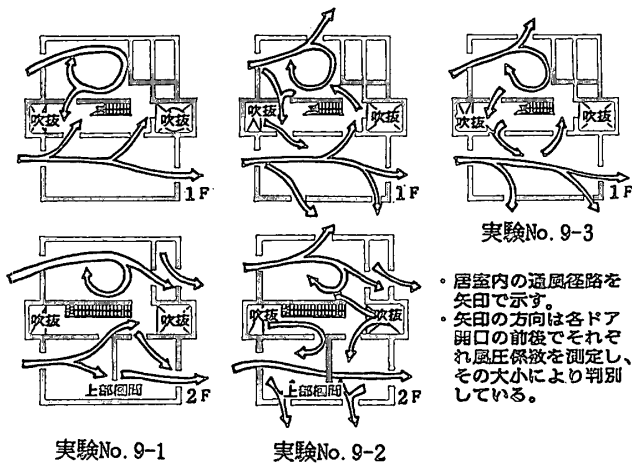


図-16 居室内の風の流れ (実験 No. 9-1, 9-2, 9-3)

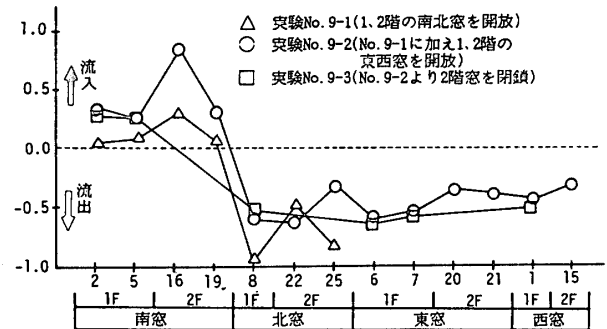


図-17 開口部における室内外の風圧係数の差 (実験 No. 9-1, 9-2, 9-3)

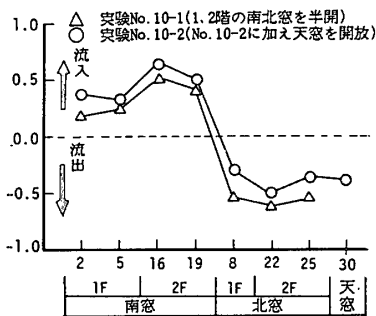


図-18 開口部における室内外の風圧係数の差 (実験 No. 10-1, 10-2)

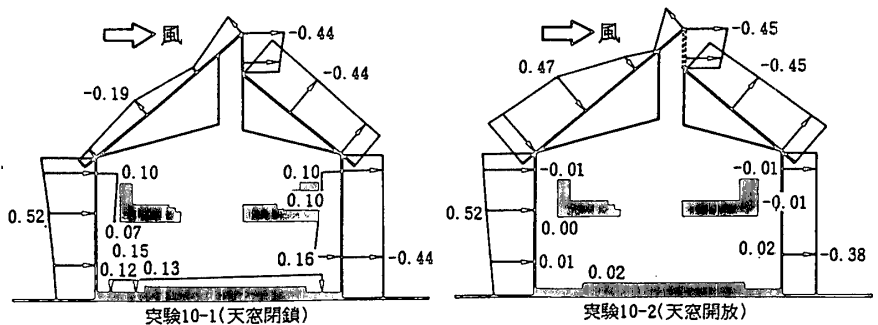


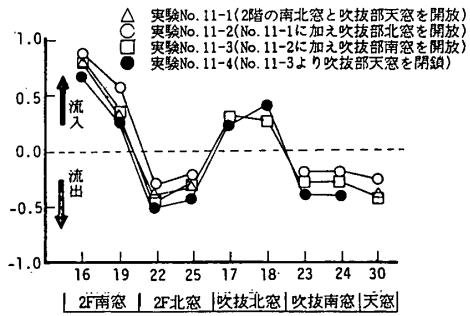
図-19 中央吹抜部断面の風圧係数 (実験 No. 10-1, 10-2)

は0.5前後、風下側壁面では-0.4前後の値である。また、天窗付近でも-0.4程度の値となっている。

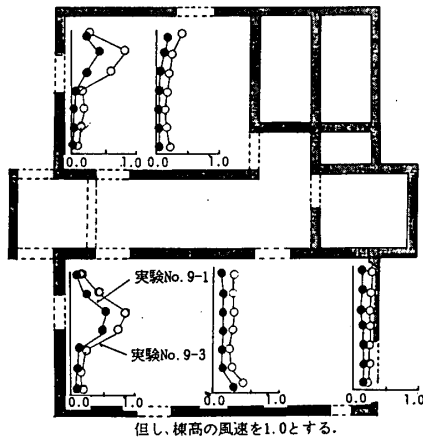
(b) 東西窓の効果 図-16に実験 No. 9-1 (1, 2階の南北窓を開放), No. 9-2 (No. 9-1に加え東西窓を開放), No. 9-3 (No. 9-2より2階の窓を閉鎖)のそれぞれの室内気流パターンを風圧係数の測定結果から推定して示す。また、図-17に開放している窓の屋外壁面と屋内壁面の風圧係数の差(内外差圧)を示す。実験 No. 9-2の場合の南窓の内外差圧はNo. 9-1に比べて倍

以上の値を示す。このことは、「風量は内外差圧の平方根に比例する」と仮定すれば4割以上の通風量増加を意味する。また、実験 No. 9-2では1階南窓の内外差圧がNo. 9-3に比べやや大きく流入量は多い。しかし、1階の東西窓の内外差圧の絶対値は小さくここからの流出は少ない。これは、1階南窓から流入する風の一部が中央の吹抜部を経て2階の東西窓、北窓から流出するものと解釈される。

(c) 天窗の効果



図一20 開口部における室内外の風圧係数の差 (実験 No. 11-1, 11-2, 11-3, 11-4)



図一21 室内気流分布の測定結果 (実験 No. 9-1, 9-3)

図一18に実験 No. 10-1 (1, 2階の南北窓を1/3のみ開放) No. 10-2 (No. 10-1に加え天窗を開放) の各開口部の内外差圧を示す。天窗を開放することにより南窓の内外差圧は1階で約2倍, 2階でも約2割強増加する。また, 北窓の内外差圧はいずれもその絶対値が小さくなり, 北窓からの流出量は減少する。図一19に, 中央吹抜部の風圧分布を示す。南側屋根面の剝離による負圧は, 南窓からの通風量の増加により解消し, 正圧となる。また, 南側壁面の風圧係数は各実験ともほぼ同一であり, 天窗を開放することによる南窓の内外差圧の増加は室内側の風圧係数の低下による。

(d) 吹抜部の開口の効果

図一20に, 2階の南北窓を利用した場合の通風で中央吹抜部の開口条件で変化させた場合の各開口の内外差圧を示す。実験 No. 11-1 (天窗のみを開放) に比較し, No. 11-2 (吹抜部北窓を開放) では南窓の内外差圧が増加し通風量も増加する。吹抜部南窓を開放 (実験 No. 11-3) すると, 南窓の内外差圧は小さくなり, 居室の通風量を減少させる。また, 天窗を閉鎖 (実験 No. 11-4) すると, 南窓の内外差圧は最も小さくなる。

(3) 室内気流分布の測定結果

図一21に, 南北窓を開放し東西窓を閉鎖した実験 No. 9-1と東西窓を開放した実験 No. 9-3の室内気流分布を示す。測定高さは実物換算で1.5mである。東西

窓の開放によって室内風速は5~10割増加している。

3.4 風洞模型実験の結論

①風洞模型実験で測定された風圧係数は, 本実験の場合実測値と良く一致する。

②各開口の前後の風圧係数の差を測定することにより, 多数室間の風の流れを容易に推定できる。

③南北通風時に東西窓や天窗の開放は通風量の増加に大きな効果がある。

④吹抜部北窓の開放は, 天窗と同じく居室の通風量の増加に効果があるが, 吹抜部南窓の開放は居室の通風量を抑制する。すなわちどの窓でも開放すれば通風量の増加につながるが, 対象としている居室の通風量を増加させるためには開放する窓を慎重に選定することが重要である。

4. まとめ

住宅の通風に関し, 実大のモデル住宅を利用した実測および風洞模型実験により検討した。その結果, ①風洞模型実験結果と実測結果は非常によく一致する, ②天窗は通風量の増加に効果がある, ③開口条件により室内の通気輪道は大きく異なる, ④通風の効果によりある程度の体感温度の低下が得られること等が明らかとなった。

今回の報告では, 風圧係数, 開口部および室内の風速を測定することにより住宅の通風性状を検討した。次報では, トレーサーガス法を用いた通風量に関する風洞模型実験により対象住宅の周囲条件が変化した場合や室内に障害物が設置された場合の通風性状に関し報告する予定である。

謝辞

本研究を行うに当たっては, 当時東芝住宅産業(株), 小泉尚夫氏, 同, 脇坂保治氏, 同服部孝博氏の各氏から多大の御援助, ご協力を頂きました。実測および風洞実験に関しては, 鹿児島大学工学部講師, 出口清孝氏から御協力を得ました。ここに記して深く感謝の意を表します。

本論文に関連する既発表論文

- 1) 加藤信介, 村上周三, 出口清孝, 服部孝博: 住宅の通風に関する実験的研究—特に天窗通風の効果を中心として—, 日本建築学会関東支部研究報告集, 昭和57年度
- 2) 赤林伸一, 村上周三, 加藤信介, 小林信行, 服部孝博: 住宅の通風に関する実験的研究 その1 実大の住宅モデルにおける測定, 日本建築学会大社学術講演梗概集, 昭和58年9月
- 3) 加藤信介, 村上周三, 出口清孝: 住宅の通風に関する実験的研究 その2 風洞模型実験による検討結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和58年9月
- 4) 赤林伸一, 村上周三, 小林信行, 服部孝博: 住宅の通風に関する実験的研究—その3 通風による室内温熱環境の改善を中心として—, 日本建築学会関東支部研究報告集, 昭和59年

参考文献

- 5) 佐藤 鑑：「風向に対し同一側の二開口部による換気輪道について，建築学会論文集第5号，昭和12年3月
- 6) 勝田千利：通風に関する実験的研究（特に2棟の1階建建物が風に相前後して並ぶ場合の風下家屋の通風に就いて，建築学会論文集第5号，昭和12年3月
- 7) 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，昭和31年6月
- 8) 石原正雄：建築換気設計，朝倉書店，昭和44年3月
- 9) 勝田高司，村上周三ほか：集合住宅における通風時の気流パターンの可視化，第1回流れの可視化シンポジウム梗概集，1973年7月
- 10) 西岡利晃，山下 浩，ほか：煙風洞による建物の通風の研究，その1，その2，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和57年10月
- 11) 片山忠久，石井昭夫，ほか：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，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和58年9月
- 12) 服部，村上，小林，須能：熱対流による空気循環を利用したソーラーハウスの実験的研究 その5 実験住棟の改造の概要および蓄熱槽の性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和57年10月
- 13) Nishi, Y., et al. : "Field assessment of thermal characteristics of man and his environment by using a programmable pocket calculator, ASHRAE Trans., 1977

SYNOPSIS

UDC : 551.55 : 628.86

EXPERIMENTAL STUDY ON NATURAL VENTILATION OF DWELLINGS (PART 1)
Field experiment with full-scale house model and wind tunnel experiment with 1/40 model

by Dr. SHUZO MURAKAMI, Professor of I.I.S. Univ. of Tokyo, Dr. NOBUYUKI KOBAYASHI, Associate Professor of Tokyo Institute of Polytechnics, Dr. SHINSUKE KATO, Lecturer of I.I.S. Univ. of Tokyo and Mr. SHIN-ICHI AKABAYASHI, Graduate Student, Univ. of Tokyo, Members of A. I. J.

The characteristics of wind induced natural ventilation of dwellings are analyzed both by field experiments and wind tunnel experiments. The distributions of wind pressure coefficient of walls and those of wind velocity in rooms are clarified in detail. The experimental model house has a ventilating opening at the roof in order to increase the amount of natural ventilation. The results are as follows.

- (1) The correspondence of the wind pressure coefficients between the field experiments and the wind tunnel experiments is quite well.
- (2) The window at the roof has great effects on increasing the amount of natural ventilation.
- (3) The velocity distributions on room are greatly influenced with the conditions of opening.
- (4) In summer season the ET* (New effective temperature, defined by ASHRAE) value in the room is effectively decreased by the air flow induced by the natural ventilation.