

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19360263

研究課題名（和文）主として屋根面開口部による住宅の通風性能改善技術の開発研究

研究課題名（英文）A developmental study on improved technique of cross-ventilation
Performance using residential roof window

研究代表者

倉淵 隆（KURABUCHI TAKASHI）

東京理科大学・工学部第一部・教授

研究者番号：70178094

研究成果の概要（和文）：通風を効果的に利用できる窓の配置が設計段階で把握できることを目的として、住宅地を想定した実験とシミュレーションを行った結果、周りに建物が建っている場合でも、天窓を使うことで、涼しい外気を家の中により多く取り込めるようになることが明らかとなった。また、開ける窓の位置で室内の風の流れ方が変わり、特に天窓を風の出口に使用すると、室内に入った風が部屋全体で渦を巻き、より広い範囲で風が流れることで平均的な風速が高まることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：This study aims to clarify the method to optimize the arrangement of windows for effective use of cross-ventilation in hot and humid periods on its design phase. We found it from the simulations and wind tunnel experiments that roof window can gain the ventilation flow rate even if the dwelling is on densely populated area. And we also found that roof window can generate the swirling flow and increase the mean wind velocity within the wider area of the room.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	11,300,000	3,390,000	14,690,000
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	15,900,000	4,770,000	20,670,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：空気環境

1. 研究開始当初の背景

最近の都市域では夏場の気温上昇が顕著であり、これに加えて防犯への配慮から、夜間に窓を閉鎖し冷房などにより室内温熱環境を調節して就寝するケースが増えている。その一方で、東京の標準気象データなどを見る

と、盛夏においても夜間は外気温が低下していることから、この時間帯に通風を活用することで、エアコンなどによる消費エネルギーを削減できることが期待される。しかしながら、都市域の密集地においては、壁各部位の風圧係数差が小さくなり、安定した換気駆動

力の確保が困難である。そこで、防犯上の制約が少なく、かつ密集の条件でも屋面での気流の剥離により大きな負圧が確保できる屋根面開口部に着目し、通風量確保のために活用する技術について開発研究を行う。

2. 研究の目的

外気温が室温より低い条件において、屋外風をより効果的に利用し、エネルギー消費量削減と室内温熱環境の改善を達成するための最適な開口部の配置計画を、建物の設計段階で行うことができる手法を提案する。具体的な目標を以下に示す。

- (1) 通風の境界条件となる、建物近傍における通風時の気流性状を適切に予測するためのシミュレーション手法を提案する。
- (2) 通風利用時の室内居住域における気流性状を開口部の配置ごとに整理し、室内のより広い範囲で気流感を得ることができる開口部の配置を明らかにする。
- (3) 上記の項目を実住宅に適用可能であるか検証する。
- (4) 数値シミュレーションにより、通風を取り入れることによる空調エネルギーの削減効果を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) CFD 計算の検証を目的として、実際の住宅に近い形状のモデル(宇田川, 1985)を対象とした風洞実験を行い、建物表面における風圧係数(以下「 C_p 」)分布および建物周辺における風速ベクトル分布、乱流エネルギー分布、自然通風量を測定した。実験は東京工芸大学工学部に設置された風洞装置(図1)を使用した。 C_p 分布は多点圧力計を用いて測定し、風速ベクトル分布及び乱流エネルギー分布の測定にはスプリットプローブを使用した。自然通風量はエチレンをトレーサーガスとし、模型内外のガス濃度から算出した。ここで得られた結果とCFDの解析結果を比較することで、CFDによる予測の妥当性を確認した。なお、自然通風量の予測時に使用する開口部の流量係数は、局所相似モデル(以下「LDSM」)による修正(図2)を施す。



図1 風洞実験装置外観(東京工芸大学)

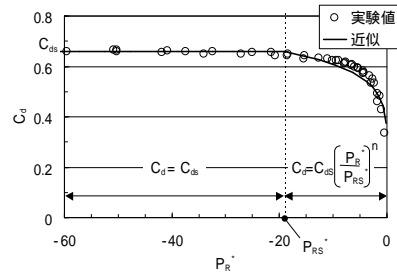


図2 LDSMによる流量係数の修正

(2) 連続する住宅地を想定した検討の準備として、検討対象住宅の周囲に同形状のダミー模型を配した風洞実験(隣棟間隔: 2Hb、Hb=軒高)を実施した(図3)。また、同一の条件をCFDで再現し、風洞実験と同様の結果が得られるか確認した。CFD解析では周期境界条件を採用し、連続する住宅地を周期境界条件で再現した。なお、問題の単純化のため、ダミー模型は隣棟間隔が前後左右で均等になるように配置した。



図3 風洞実験の状況(隣棟間隔2Hb)

(3) 前項の検討を踏まえ、グロス建蔽率が10%、20%、および40%である住宅地について風洞実験を行い(図4)建物表面風圧係数および建物直前における鉛直風速分布を測定した。CFD解析についても対象住宅の周囲の空間の大きさを調整することで、それぞれのグロス建蔽率の状態を再現することを試みた。さらに、宇田川の住宅モデルの屋根勾配(5寸勾配)を緩勾配(15°)および陸屋根(0°)とした場合についても風洞実験を実施し、建物周辺気流性状を把握した。



10% 40%
図4 グロス建蔽率の設定例

(4) 室内で得られる気流性状を向上させ得る開口部配置を見出すにあたり、CFDを活用し、複数の窓開閉パターンのそれぞれに対する室内気流性状の評価を効率よく進めることのできる領域分割法(図5)を提案し、その妥当性を検証した。同一条件の風洞実験(図

6) および建物内外を同時に解く従来のCFD解析を実施し、これらの結果と領域分割法で得られた結果とを比較した。

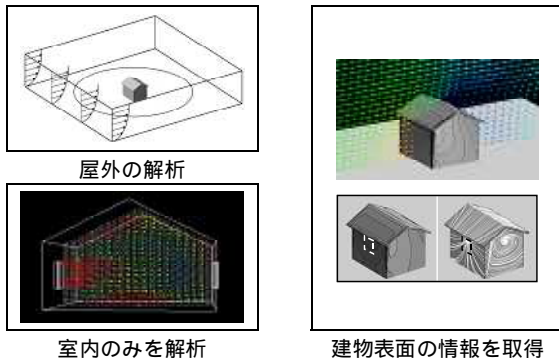
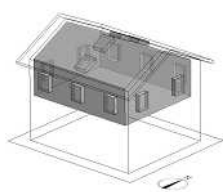


図5 領域分割法の計算概念



図6 室内風速ベクトル測定状況

(5) 前項の領域分割法を利用し、通風時の室内居住域における気流性状を評価することを試みた。評価には、流入気流の開口法線方向気流速度(平均値)に対する室内居住域の平均気流速度の比(以下「風速比」)を用いた。宇田川モデルを基にした住宅模型(図7)の室内において、開口パターン毎および屋外風向毎の室内気流性状および風速比を領域分割法により算出した。なお、検討は2階部分のみを対象とし、周辺建物はないものとした。さらに、建設地の気象条件を考慮するため、東京および大阪を対象として、屋外風向毎に得られた風速比を各風向の平均風速および出現頻度で加重平均を施し、地域毎の特徴を見出すことを試みた。



$$C = \frac{\bar{U}}{Q/A}$$

C: 風速比
Q: 自然通風量
A: 開口面積

図7 室内気流性状評価の概要

(6) 通風による冷房運転時間削減の効果について、熱回路網と換気回路網を練成させることのできる TRNSYS を用いて確認した。在室の有無や室温、外気温を条件として屋外風を取り込むかどうかの判定を行う。窓開閉ル

ールの一例を図8に示す。窓を締め切り冷房を行う場合に比して、どの程度冷房負荷を削減できるか検討した。

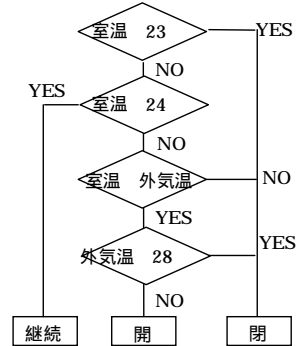


図8 窓開閉ルールの例 (Case3)

(7) 通風時の室内気流性状について、千葉県野田市に建設された2階建ての住宅(図9)を対象として実測を行った。2階東側の洋室を測定対象とし、室内9点における風速ベクトルを測定すると共に、棟上2mの位置に設置された風向風速計により屋外気流を同時に測定した。測定対象室にはロフトがあり、北側の勾配天井には天窓が設置されている。

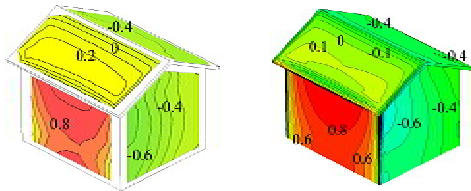


図9 実験対象住宅(千葉県野田市)

開口パターンは、南北の窓及びドアを開放し部屋の南北に通気するパターンと、南側の窓と天窓を開放し部屋の上下に通気をするパターンとした。各開口パターンにつき30分間測定を実施し、このうち屋外風向の安定している10秒間のベクトル平均値を実験値として採用した。また、当該住宅周辺の街区を再現したCFD解析を行い通風時の室内気流性状を従来の解析方法と領域分割法の両方で予測することを試みた。

4. 研究成果

(1) 建物表面における Cp 分布の計算値を風洞実験で得られた結果と併せて図10に、建物周辺における風速ベクトル分布を図11に、乱流エネルギー分布を図12に示す。乱流モデルおよび建物近傍の空間分割を適切に設定することにより、建物表面における Cp 分布、建物周辺、特に棟近傍の風速ベクトル分布、さらに建物周辺における乱流エネルギー分布を適切に再現できることが確認された。



風洞実験 CFD 解析結果
 図 10 建物表面風圧係数 (Cp) 分布

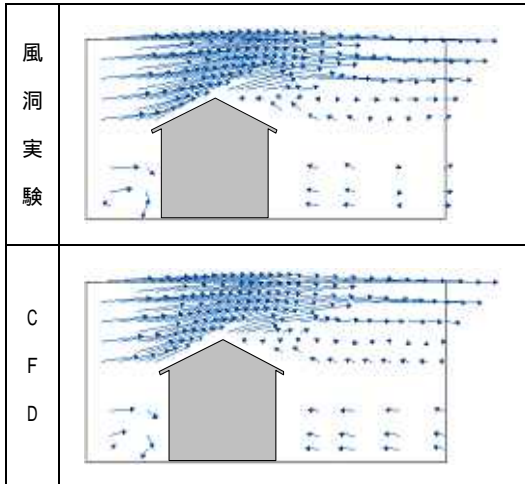


図 11 建物周辺風速ベクトル分布

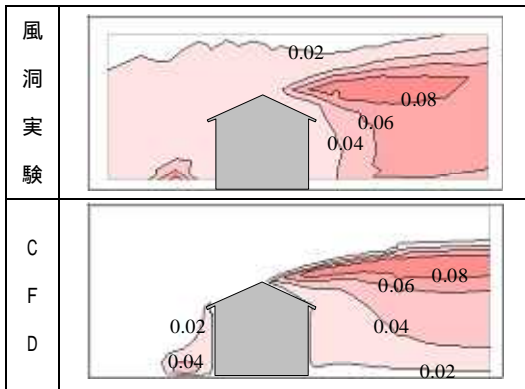


図 12 建物周辺風速乱流エネルギー分布

また自然通風量について、LDSM により修正を施した流量係数を用いて算出した結果を、流量係数を一定として算出した通風量および実験で得られた通風量と比較して図 13 に示す。LDSM による修正を施すことにより、流量係数を一定とした場合よりも実験値に近い通風量を予測していることが確認できる。

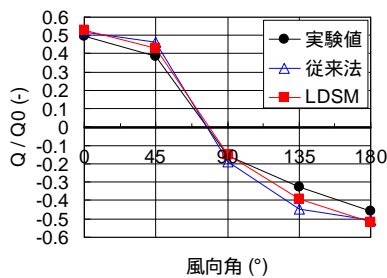
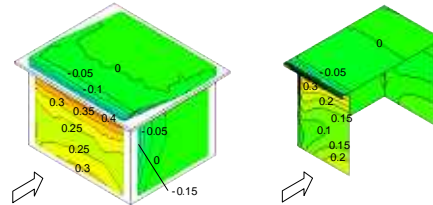


図 13 通風量計算値の比較

(2) 連続する住宅地について、周期境界を用いて再現した場合の建物表面 Cp 分布を、風洞実験で得られた Cp 分布と比較して図 14 に示す。特に風上側壁面における Cp 分布は計算値が実験値に比して小さく評価されているが、建物全体としての対応 (図 15) は比較的良好であるといえる。



風洞実験 CFD
 図 14 実験値と計算値の比較 (Cp)

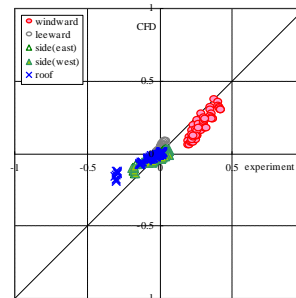
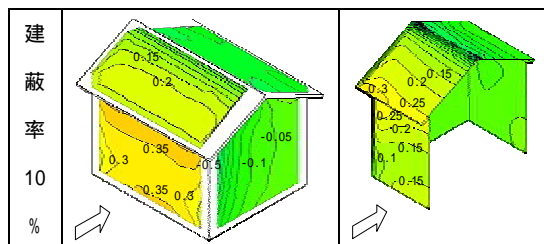


図 15 実験値と計算値の対応

(3) 前項と同様、連続する住宅地を周期境界を用いて再現した場合の建物表面 Cp 分布と風洞実験で得られた Cp 分布を、グロス建蔽率毎にまとめて図 15 に示す。風上側壁面における Cp 分布の計算値は、実験値に比して小さく評価されているものの、建物全体の対応は良好であり、特に建蔽率 40% の場合は、実験と計算が良く対応している。また、建蔽率と自然通風量 (計算値) の関係を図 16 に示す。陸屋根の場合は、建蔽率の増加に伴い建物全体で Cp が 0 に近づくため、通風量も低下している一方、緩勾配の場合は建蔽率が 40% の場合でも棟付近で負圧が残っているため、他の場合に比して安定した通風量が得られる結果となった。



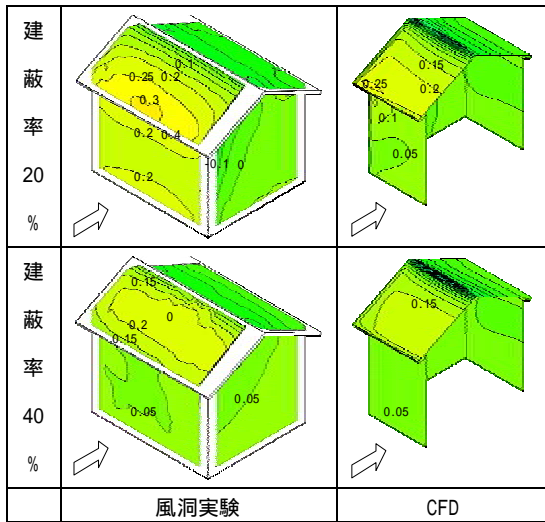


図 15 実験値と計算値の比較 (Cp)

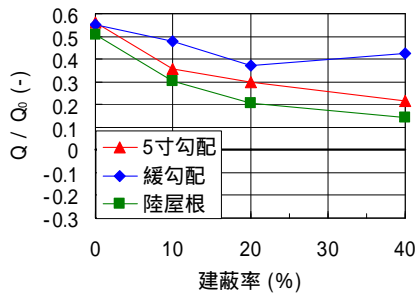


図 16 建蔽率と自然通風量 (計算値) の関係
(通気経路: 風上側壁-風下側棟)

(4) 領域分割法により室内のみを解析対象とした場合の風速ベクトル分布の計算結果を、実験で得られた結果と比較して図 17 および図 18 に示す。風上壁-風下壁の開口パターンでは、通気輪道となっている部分と循環している部分が CFD でも再現できていることが確認できる。また、風上屋根-風下壁のパターンでは、天窓から流入した気流が一旦床まで到達し、床に沿って流れている状況が良好に再現できている。このことから、領域分割法により室内空間のみを対象とした解析においても、室内気流性状を適切に予測できているといえる。

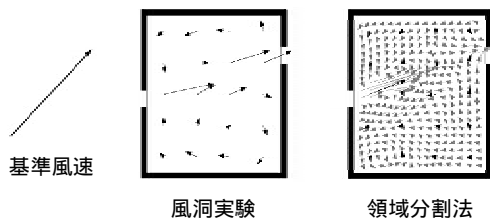


図 17 実験と計算の比較 (平面)

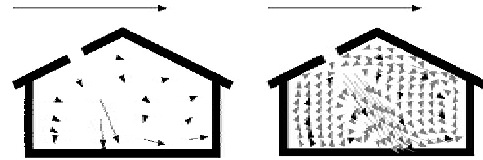


図 18 実験と計算の比較 (断面)

(5) 各開口ケースにおける通風時の室内風速ベクトル分布を図 19 に示す。隅各部で隣り合う開口を開放した Case1 では、流入した気流が直接流出開口へ抜けており、室内居住域の流速は低いままとなっている。向かい合う壁面に開口を設けた Case3 は、Case1 に比して室内の気流速度が高まっていることが確認できるが、通気経路となっている部分とそれ以外の部分で気流速度にむらが見られる。一方、風上側壁面と風下側の天窓を開放した Case5 では、壁面から流入した気流が室内で旋回しながら天窓へ向かっている様子が確認できる。各開口ケースにおける流入気流速度と居住域平均気流速度との関係を図 20 に示す。回帰直線の傾き (すなわち風速比) は開口パターン毎に整理され、天窓を使用する Case5、Case6 が最も風速比が大きくなり、流入気流が居住域の広い範囲に影響を及ぼしていることがわかる。

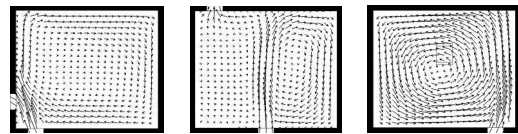


図 19 開口位置と室内気流性状の関係

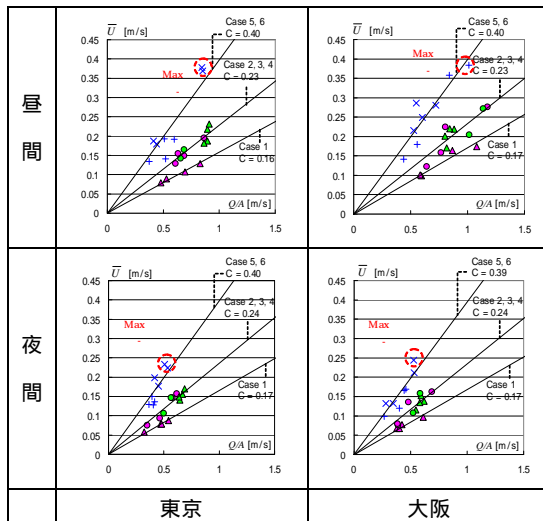


図 20 東京および大阪における風速比の比較

(6) 8月の代表的な1日における冷房負荷の推移を図 21 に示す。通風のために窓を開放することで顕熱負荷が減少する一方で、屋外

の水蒸気が室内に導入され、通風後の空調運転時に、一時的に潜熱負荷が上昇している様子が伺える。しかしながら、全熱負荷の点で見れば窓を常時閉鎖した場合に比して、通風を行った方が冷房負荷が小さくなる傾向にあった。

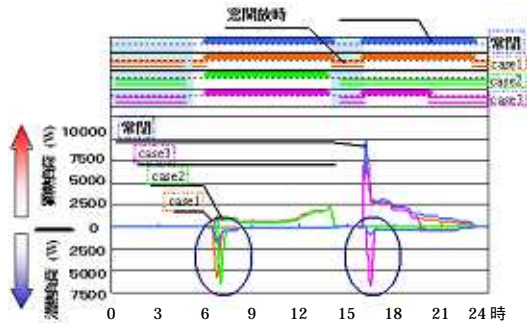
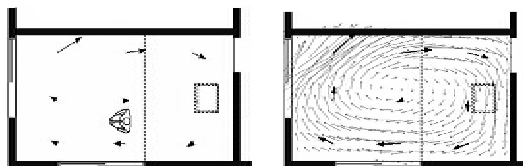


図 21 8月における冷房負荷の推移

(7) 領域分割法による室内風速ベクトルの計算結果を実測結果と比較して図 22 に示す。両者は良く対応していることが確認できる。このことから、対象住宅周辺の状況を現地調査により把握し正しくモデリングを行い、対象住宅についてもバルコニー部分などの細部まで再現することで、単室および複数室における領域分割法により室内気流性状を適切に予測できるといえる。



実測結果 CFD 解析結果
図 室内風速ベクトル分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

野中 俊宏, 倉淵 隆, 長井 達夫: 住宅における通風の効率的利用法 (第 2 回) 住宅密集地における通風を考慮した開口部配置計画手法, ALIA news, 第 106 号, p21-25, 2008.7

〔学会発表〕(計 15 件)

T. Kurabuchi, M. Ohba and T. Nonaka: Domain Decomposition Technique Applied to the Evaluation of Cross-Ventilation Performance of Opening Positions of a Building, The International Journal of Ventilation, Volume 8, Number 3, p.207-218, 2009.12

野中俊宏, 倉淵 隆, 大場正昭, 遠藤智行, 後藤伴延, 塚本健二: 密集住宅地における建物表面風圧分布及び自然通風量に関する風洞実験 密集住宅地における効果的な通風利用を目的とした開口部配置計画手法に関する研究 (第 1 報), 日本建築学会環境系論文集, No.74(642), p.951-956, 2009.8

大場正昭, 倉淵 隆, 後藤伴延, 遠藤智行, 赤嶺嘉彦, 野中俊宏: 流入開口部における局所相似モデルの適用性に関する検討 通風時の換気量予測法に関する研究 (第 2 報), 日本建築学会環境系論文集, No.617, p. 25-30, 2007.7

T. Endo, T. Kurabuchi, T. Nonaka, M. Ishii, M. Ohba, T. Goto and Y. Akamine: Development of a Simulator for Indoor Airflow Distribution in a Cross-Ventilated Building using the Local Dynamic Similarity Model, The International Journal of Ventilation, Volume5, Number1, p.31-42, 2006.6

〔図書〕(計 1 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況 (計 1 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

倉淵 隆 (KURABUCHI TAKASHI)

東京理科大学・工学部第一部・教授

研究者番号: 70178094

(2)研究分担者

長井 達夫 (NAGAI TATSUO)

東京理科大学・工学部第一部・講師(当時)

研究者番号：00316001

2008年度のみ

(3)連携研究者

遠藤 智行 (ENDO TOMOYUKI)

関東学院大学・工学部・講師(当時)

研究者番号：90385534

2008年度のみ