

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 15 日現在

| |
|---|
| 機関番号：32708 |
| 研究種目：挑戦的萌芽研究 |
| 研究期間：2011～2012 |
| 課題番号：23656352 |
| 研究課題名（和文） 室内空気質と冷房エネルギー消費の改善を目指した息する通風換気ファザードの最適設計 |
| 研究課題名（英文） Development of Environment Responsive Façade Engineering to Enhance Liveability, Sustainability and Energy Conservation in Optimised Design of Low-rise and Midrise Residential Buildings |
| 研究代表者 |
| 倫 裕發 (Lun Yu Fat) |
| 東京工芸大学・工学（系）研究科・研究員 |
| 研究者番号：20402670 |

研究成果の概要（和文）：

東京の気候は、国内の他のメガポリスのように、比較的温暖な冬と高温多湿な夏である。暑い夏は、空調の使用は避けられない。2011年の福島事故後、我が国は、夏に、季節的な需要の増加により、厳しい電力不足に見舞われている。気温の上昇は発汗と蒸散を増加させ、夏バテや熱中症のような熱に起因する病死が増えている。従って、良好な通風は、伝統的な涼風手段であるが、十分な室内の気流流動を確保し、空調の使用を最小化する上で、依然として重要である。2011年度は、(1)文献調査と(2)外皮ファザードの評価と適用効果を報告した。2012年度は、風洞実験により通風促進壁の詳細評価を実施した。通風促進壁は風向 45° から 67.5° までの間で、通風効果が顕著であった。後流域でも通風促進効果が確保された。窓開口のある南側外壁面に通風促進壁を設置することが特に外気誘引効果に有効であることが判った。

研究成果の概要（英文）：

Tokyo, like other major cities of Japan, has a hot and humid summer as well as generally mild winter throughout the year. On hot summer days, use of air-conditioning would be inevitable. After the Fukushima accidents in 2011, the nation faces a severe electricity shortfall in the summer as seasonal demand rises. Increasing temperatures raise perspiration and evaporation and are likely to increase deaths from heat-related illnesses such as heat exhaustion and heat stroke. Thus, good cross-ventilation is still of paramount importance for the maintenance of adequate indoor air movement and for minimizing use of air-conditioners. Two stages of reports, namely (1) Literature Review, and (2) Preliminary Evaluation and Screening of Feasible Features for this project were reported previously. The current stage of work is focused on the detailed evaluation of the short-listed feature; wing wall by wind tunnel technique. It was found that the best performance of wing wall is particularly at the wind directions between 45° and 67.5°. It is interesting to observe that wing wall may remain effective even when it is at the lee side. Thus, it can be concluded that the wing wall included on the south-facing external wall with window openings can produce effective natural ventilation.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

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：通風換気ファザード、通風、文献調査、通風促進壁、風洞実験、CFD、持続性

1. 研究開始当初の背景

都市化は都市部への人口集中を生じ、都市域は膨張し、自然な環境は、建物建設により高層市街地へと変貌している。その結果、都市のエネルギー需要と熱排出量は顕著に増加し、都市空間の熱収支は変化して、人々の生活環境へ影響を及ぼしている。さらに都市の気温上昇に伴う影響の一つとして、炭酸ガス排出量が悪化している。図1に都市気候の変化要因を示す。

建物外皮は室内環境と屋外環境の界面である。自然エネルギーと再生エネルギーの有効利用の面で、建物省エネに環境配慮型の特徴を取り入れることは重要である。すなわち、外皮ファザードに窓を適切に配置することは、空調気流の代わりに、通風を気流駆動力として室内環境制御に使える。従って、適切な外皮ファザード設計は、アクティブ機能を最小化し、エネルギー使用量を省力化して、快適な室内環境を得る手段になりうる。環境配慮型外皮は、非再生エネルギーの使用による環境負荷の低減と共に、直接的なエネルギー消費支出の軽減につながる。とくに低所得者層や社会的弱者及び退職高齢者の家計改善に寄与する。全体的なエネルギー消費の大幅削減を実現することは、高所得者よりも低所得者の生活向上に大きく寄与する。

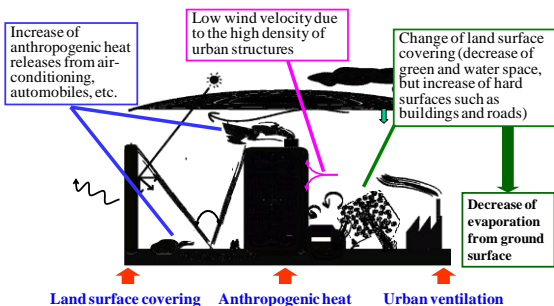


図1 都市気象変化の要因

2. 研究の目的

建築の省エネ化と環境効率の改善の手段として、環境条件の変化に適応できる外皮デザインの開発は、世界的に高い関心事である。数多くの研究事例の中から、最も適切な外皮設計手段を確定することが到達目標である。環境配慮型外皮は、技術的に簡便で、経済的、環境的にも低所得者や社会的弱者への適用が可能であり、かつ生活質、持続性、エネルギー保全の面で、低層住宅への促進性が要求される。また、低価格で少ない付加エネルギー及び低維持費も要求される。

本研究の目的は、

①生活質、持続性及びエネルギー保全を考慮した環境配慮型低中層住宅の外皮デザイン

を開発する。

②低中層住宅への適用性と効率性の視点から、外皮デザインの技術的、経済的及び環境的評価を実施する。

③最適な外皮デザインを選択しCFD解析と風洞実験により、通風効果を評価する。

3. 研究の方法

本研究は、次の3つのステージからなる。

(1) ステージ1

環境効率と持続性を促進する住宅外皮デザインの文献調査を実施した。日本の住宅への適用性、即ち、環境条件、居住条件を最も重要な視点として、文献調査から、外皮デザインの潜在的有効性を検討した。

(2) ステージ2

前項ステージ1の調査結果から、有効な外皮デザインを選択し、通風性能評価を行った。数値シミュレーション解析(CFD)により単室の通風効果を検討した。

(3) ステージ3

通風促進壁による外部気流の誘引効果を、単室について、CFD解析と風洞実験により詳細に検討した。図2に通風促進壁の概念を、図3にCFDによる通風気流の2次元解析概略を示す。

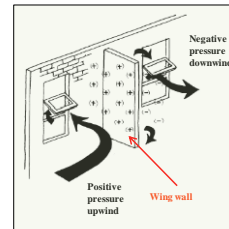


図2 通風促進壁の概念図

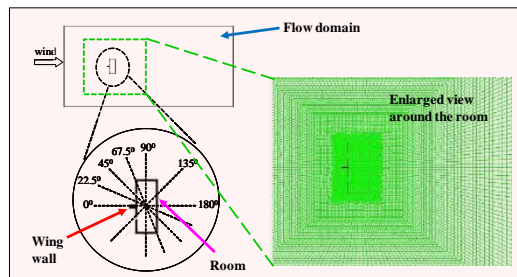


図3 CFDによる通風気流の2次元解析概略

表 1 文献調査に基づく外皮ファザード性能の比較

| Category | Façade design features | | Benefit | Cost | Advantages | Disadvantages |
|----------|---|---|--|---|--|--|
| 1 | Innovative window and related systems: e.g. | Glazing system (e.g. reversible glazing) | Reduce cooling energy use | Incremental glazing cost; increase lighting energy use; maintenance and cleaning costs are high as required skilled person | flexibility in response to the conflicting demands of winter and summer conditions in many locations | Rotating the glazing system is rather risky when suddenly strong gust comes, especially difficult and inconvenience for the aged and the disabled |
| | | Shading devices (e.g. dynamic blind system) | Reduce cooling energy use | Incremental construction and maintenance costs; increase lighting energy use | Automate in synchronization with a dimmable electric lighting system to block direct sun; provide the design work-plane illuminance and maximise view | Complex automatic system is suitable for application to commercial buildings, the cost-effectiveness of the system applying to residential buildings is doubtful |
| 2 | Solar chimney | | Reduce cooling energy use | Construction cost is high but running costs are low | Significant in its ability to self-balance; the hotter the day, the hotter the chimney and the faster the air movement. | For midrise buildings, the small ratio of floor-dimension to the height means limited air flow rate available per floor |
| 3 | Trombe walls | | Reduce cooling energy cost | Construction cost is high and for midrise to tall buildings, the construction cost may be significantly increased; little to no maintenance is required | Simple and relatively effective; easy to incorporate into building structure as an internal or external wall; it provides winter space heating and draws cool air through the house in the hot season. | Required carefully designed as it is often in conflict with the requirements for view and access and may therefore be difficult to implement in a design |
| 4 | Trickle ventilators | | Increase background ventilation (pecuniary value will not be quantified) | Increase construction cost; maintenance is simple and can be done by the residences | Allow air to trickle inside in order to improve indoor air quality without significantly affecting energy costs | Ventilation openings should be adjustable and located typically 1.75m above floor level to avoid discomfort to occupants from cold draughts |
| 5 | Turbine ventilators | | Reduce cooling energy costs; improve internal environment | Installation cost is required but no maintenance cost and running costs require | Require no electric power source; the feature is suitable for low-rise buildings | Noise generation affecting neighbourhood |
| 6 | Wing walls | | Reduce cooling energy use due to greater use of natural ventilation | Increase construction cost initially but is significantly low; no maintenance and running costs require | Provide better airflow distributions inside rooms under various wind directions; simple and easy to construct | Aesthetic problem |
| 7 | Planted roofs and planted walls | | Reduce cooling energy costs; increased aesthetics | Installation cost is high but require less maintenance over their lifetime | Reduce heat sink phenomenon created by the vast areas of urban constructions | Greatest concerns are the control of pest and disease as well as leaks problems |
| 8 | Sky garden | | Reduce heat generated by hard surfaces and cooling energy use | Construction cost is high; maintenance is required frequently by professionals; extra costs may need to minimize high wind | Reduce heat generated from hard surfaces and mechanical systems; enhance the amenity of building occupants in terms of view sharing and ventilation | Caution is required to be taken for high wind speed at high building altitude; safety for young children should also be taken into account |
| 9 | Climate façade | | Reduce cooling energy use due to reduce heat gain; tempering indoor climate of individual apartments | Too costly to build, running and maintenance; extra costs are required to employ specialists for servicing computer systems | Act as a climate sensitive regulator that helps to take advantage of the hot and humid climate | Too costly; the benefits in Japan would be far smaller than in Europe due to the different climatic conditions. |

風洞実験は 2012 年の夏季に実施した。室内外風圧と通風量を、外部風向との関連で測定した。模型は風圧模型と通風模型の 2 タイプを使用した。図 4 に風洞模型を示す。

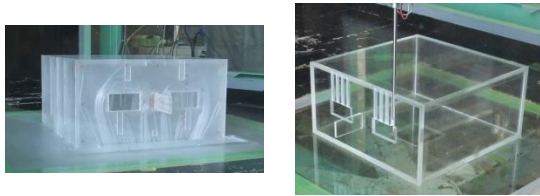


図 4 壁面風圧模型と通風模型

模型の大きさは 300mm×300mm×150mm、開口部の大きさは 30mm×60mm である。風圧測定点は開口部周辺に密に設けた。屋根面 33 点、開口部壁面 38 点、背面 13 点、右側壁面と左側壁面に 9 点ずつ、室内天井面 21 点、合計 123 点である。通風促進壁の大きさは 60mm×30mm で、2 つの開口部の間に設けた。促進壁にも風圧測定点を 18 点設けた。

風圧の測定は、サンプリング周波数 128Hz で平均化時間は 60 秒とした。風圧は軒高の基準速度圧で無次元化した。開口部の流入風速はスプリットプローブを用いて、開口部に正対する風速成分を測定した。測定点は開口部を 12 分割した。平均化時間は 60 秒である。風圧測定の風向角は 0° ~ 180° の 9 風向で、開口部風速は、風向角 0° と 180° を除いた 7 風向で測定した。

4. 研究成果

(1) 文献調査

表 1 に主要な研究事例を示す。国内外の通風換気ファザードを既発表文献から調査した。調査文献数は 138 件で、調査項目は、気象条件、住宅の特徴、通風換気効果、ランニングコスト等である。2011年9月に、調査結果を報告書「Stage1 Report: Literature Review」としてまとめた。

次に作成した文献データベースから、実施可能な通風換気ファザードとして、多機能窓、サーマルマス・断熱材、ソーラーチムニー、ダブルスキンプァザード、換気量調整型サッシ、換気促進壁、緑地化屋根及びスカイガーデンの 8 項目を抽出し、屋外気流の誘引性能、ランニングコスト、室内空気質の改善効果の視点から検討した。特に屋外気流の誘引性能については、CFD解析した。2011年12月に、CFD解析結果を「Stage 2 Report: Preliminary Evaluation and Screening of Feasible Features」として報告書を作成した。

(2) CFD による通風促進壁の外部気流誘引効果に関する 2次元解析

図 5 に結果を示す。2 開口が風上側にある場合、風向角 45° と 67.5° で誘引効果が高

かった。風下側に位置する場合は、風向角 112.5° ~ 157.5° の範囲で誘引効果が得られた。

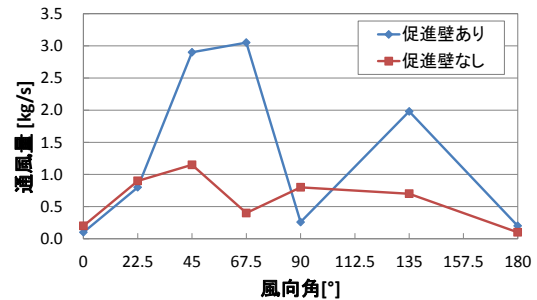


図 5 2次元 CFD 解析による通風促進壁の外部気流の誘引効果

(3) 風洞実験と 3次元 CFD 解析

① 風圧係数分布

図 6 と図 7 に風向 45° の結果を示す。通風促進壁は、風上面開口部と風下面開口部の近傍風圧差を増加させた。この圧力差が原因で、風は右側開口部から流入し、左側開口部から流出した。

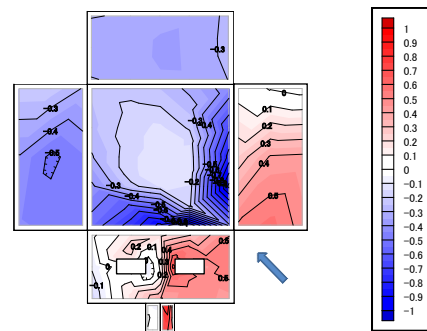


図 6 通風促進壁を設置した場合における風向角 45° の壁面風圧分布

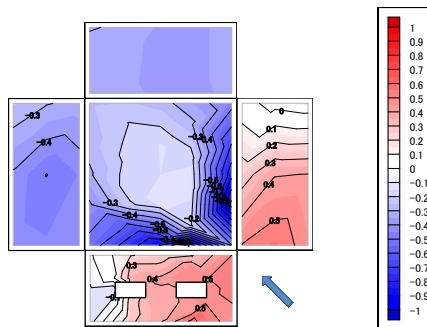


図 7 通風促進壁を設置しない場合における風向角 45° の壁面風圧分布

図 8 に風向角ごとの開口部平均風圧差を示す。風向角 0° では、風洞気流は開口部に正対する。2つの開口部は対称なので、開口部周辺の風圧分布に差はなかった。風向角 22.5° から 67.5° の範囲で、通風促進壁がな

い場合に比べて、通風促進壁を設置したときの風圧差は大きい。風向角 112.5° から 180° の範囲では、2つの開口部は風下域に位置する。実験から、気流が流入していることが観測された。剥離流の後流域で、気流が開口部から流入しているのが原因である。しかし、開口部が風上側に位置する場合に比べて風圧差は大幅に減少した。風向角 180° では、開口部は風に対して真後ろに位置する。風圧差は、通風促進壁の有無に係らず、気流が対称になるので、ゼロであった。

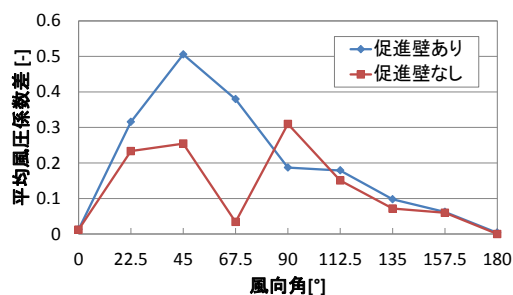


図 8 風向角ごとの開口部平均風圧差分布

図 9 に基準化通風量分布を示す。風向角 $22.5^\circ \sim 67.5^\circ$ で、通風促進壁の設置により流入風量が大きくなることが判った。高い外気誘引効果は風向角 45° のときに得られた。風下側となる風向角 $112.5^\circ \sim 157.5^\circ$ では通風促進壁の誘引効果は減少した。

以上の結果から、通風促進壁の外気誘引効果は風向角 $22.5^\circ \sim 67.5^\circ$ のときに向上した。通風促進壁が wake 内にあるときは、外気誘引効果は低下した。

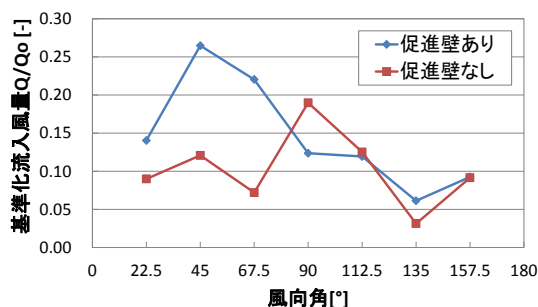


図 9 風向角ごとの基準化通風量分布

②CFD 解析

当初計画では、風洞実験で得られた外表面の風圧分布及び通風量データに基づいて、CFD の予測精度を明らかにする計画であった。

図 10 に CFD 解析のメッシュレイアウトを示す。風洞を模擬した。模型高さ H は 15cm とした。計算領域は、長さ $32H$ 、幅 $16H$ 、高さ $4H$ とした。風上域は $7H$ 、風下域は $23H$ とした。解析は軸対称とした。風速分布のべき指数は 0.25 とした。非構造メッシュを採用した。総メッシュは $4,163,940$ である。模型

は $4,162,800$ の hexas 要素で構成した。Quick スキームを運動方程式、エネルギー方程式及びエネルギー逸散方程式に適用した。解法は SIMPLEC 法を用いた。圧力緩和法で収束判定を選択した。

しかし、メッシュと CFD 解法の連成プログラムが未完成で、数値計算は実行できなかった。今後、再チャレンジしたいと考える。

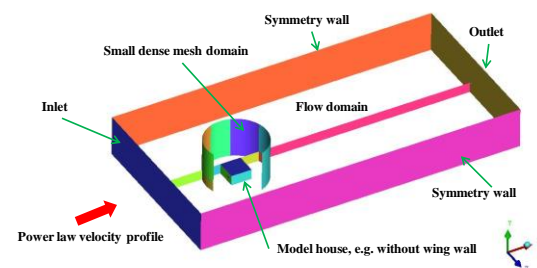


図 10 通風促進壁の 3次元 CFD 解析の概念

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 2 件)

① Isaac Lun & Masaaki Ohba. “An overview of the cause of energy shortage and building energy strategy after Fukushima disaster in Tohoku District of Japan”, *Advances in Building Energy Research*, Vol.6, No.2, 2013, pp.272-309. DOI:10.1080/17512549.2012.741106

② 倫 裕發, 環境共生居住建物の通風手法について, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, 2012 年 12 月 5 日～12 月 7 日東京, pp.49-54. <http://www.jsce.or.jp/committee/struct/win d/kazesympo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

倫 裕發 (Lun Yu Fat)

東京工芸大学・工学(系)研究科・研究員
研究者番号: 20402670