

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18760446

研究課題名(和文) 通風による省エネルギー効果の評価・予測手法の開発

研究課題名(英文) Development of the evaluation technique of energy conservation effect by cross ventilation

研究代表者

西澤 繁毅(NISHIZAWA SHIGEKI)

国土技術政策総合研究所 建築研究部 環境・設備基準研究室

研究者番号：50360459

研究成果の概要：

本課題の目的は、地域性、周辺状況、開口配置等を考慮した通風の省エネルギー効果を評価する手法を構築することにある。そのために、(1)通風環境の物理性状を通風実験用風洞および実験用住宅を用いた通風実験から明らかにし(物理的特性の把握)、(2)気象データをもとに通風の利用可能性を地域ごとに評価し(地域特性の評価)、(3)風洞実験により得られた風圧係数データを整理して敷地周辺の状況を考慮した外界条件の設定手法を検討し(立地周辺の評価)、(4)数値計算から通風の省エネルギー効果の検討を行った(合理的な通風計画手法の検討)。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,200,000	0	1,200,000
総計	3,500,000	0	3,500,000

研究分野：建築環境学

科研費の分科・細目：建築学 建築環境・設備

キーワード：通風、省エネルギー、評価・予測手法

1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーを利用して生活空間と外界のバランスをとりながら環境調整を行う手法(パッシブ手法)は、建築のエネルギー消費を削減し二酸化炭素の排出抑制を図る上で重要な位置を占める。中でも、通風は夏期～中間期における伝統的な環境調整手法であり、現在でも広く利用されている。しかし、通風による省エネルギー効果、二酸化炭素排出量削減効果は定量的に未解明な部分が多く、合理的な通風計画は難しい状況にある。通風の効果の不明瞭さは、過度な冷房依存や

反対に極度な自然信仰につながりかねず、通風の適正な利用を妨げて中間期～夏期のエネルギー消費を増大させる一因になっていると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、合理的な通風計画手法の確立を目指して、実験、実測、数値解析から通風環境の性状把握を行い、通風による省エネルギー効果を地域性、周辺状況、開口配置等を考慮して簡易に評価する手法の構築を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、以下の4項目について検討を行った。

- ・ 通風環境の物理性状の把握
- ・ 地域特性の評価
- ・ 立地周辺の評価
- ・ 合理的な通風計画手法の検討

以下、それぞれの検討方法について記す。

(1) 通風環境の物理性状の把握

独立行政法人建築研究所の実験用戸建戸建住宅、実験用集合住宅、通風実験用風洞を使用して実験を行い、通風環境における物理性状の検討を行った。

① 通風・日射遮蔽の併用に関する実験

夏期および中間期における防暑対策として日射遮蔽と通風はともに重要な手法であり、適切に組み合わせることで一層の効果を発揮する。本研究では日射遮蔽と通風が室内環境に及ぼす影響を検討するため、実験用戸建住宅(図1)の開口部に簾を設置した実験を行った。簾は通風性能を確保するために窓面から30cm離して小庇から吊し、下端を固定している。(a) 防暑対策なし(窓を閉め、簾を使用しない)、(b) 日射遮蔽のみ、(c) 通風のみ、(d) 日射遮蔽・通風併用の4ケースについて、室温、鉛直面日射量、窓面通過風速(通風量算定)等の測定を行い、内外温度差により通風と日射遮蔽の効果を評価した。



図1 実験用戸建住宅外観

② 実験用集合住宅における通風実験

外部風向風速の変化に伴い、通風量が経時的に大きく変動し、室内気流が偏在、変化することから、通風環境を詳細に把握することは困難である。本研究では実験用集合住宅1住戸の窓面に超音波風速計を5台ずつ設置し通風量の経時変化を長期間測定することで、実環境化での通風性状の検討を行った。図2に対象住戸平面図と測定点、風速計設置状況を示す。開口面通過風速の他に、温湿度、圧力等の測定もあわせて行い、風速、圧力については0.1秒間隔で計測している。実験は、開口部の開閉・エアコンの制御も含めて居住者の生活行動を機械的に模擬し、エネルギー

消費量・室内環境の計測を行う実証実験と並行して行っているため(2007年夏、2008年夏)、開口の開閉パターンに応じて検討を行っている。

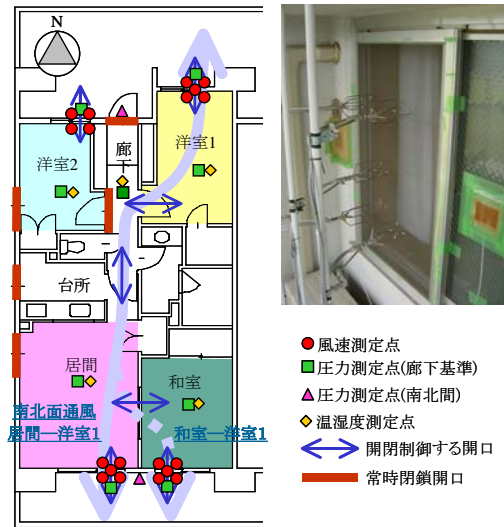


図2 実験用集合住宅測定状況(2007年夏)

③ 実大住宅モデルによる通風実験

通風の目的の一つは、室内からの熱気の排出(と室温上昇の抑制)にある。本研究では室内気流と排熱の関係を通風実験用風洞内に設置した実大建物モデルを使用して実験的に検討した。実大建物モデルの室内側表面を断熱材で覆い、床全面に蓄熱体として石膏ボード(21mm)を敷設している。実験は、開口を閉鎖し電気ヒーターで加温した(攪拌ファンを使用して内部温度の均一化を図った)後、開口を開放し、室温、床温度を経時的に測定する減衰実験により行った。

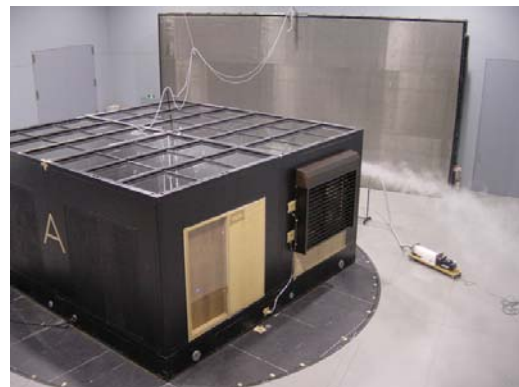


図3 通風実験用風洞内部

(2) 地域特性の評価

拡張アメダス気象データ(建築学会編)を分析し、各測定点における風向、風速のデータを通風計画で設計実務者が後述のツールとあわせて使用できるように整理した。

(3) 立地周囲の評価

通風の駆動力となる風圧は対象建物の周囲の状況に大きく影響されるため、周囲の状況を考慮して妥当な風圧係数(風圧を基準動圧で除した係数)を設定することは容易ではない。後述のように簡易的に評価する場合には精緻な分布は必要とされず周辺状況に即した妥当な値が求められるものの、その妥当性の検証にも、風洞実験や数値流体力学等による検討が必要となり困難であった。本研究では、風洞実験の測定結果を用いて、通風の駆動力となる風圧係数差を周辺状況に応じて妥当に設定するための方法について検討した。

都市域の2階建戸建住宅を想定して作成した風圧測定用縮小模型(1/83)を取り囲むように、測定模型と同型ならびに切妻屋根の2階建戸建住宅を配置し密集住宅地を再現した(図4)。住宅の配置は隣棟間隔を変えて12ケース設定し、各ケースで16風向×5回の測定を行っている。

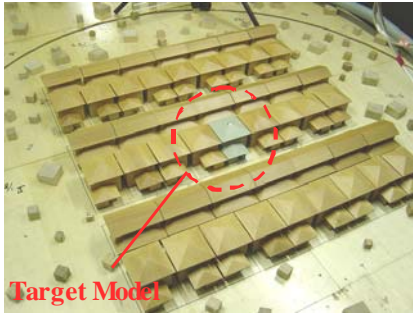


図4 風洞実験の状況

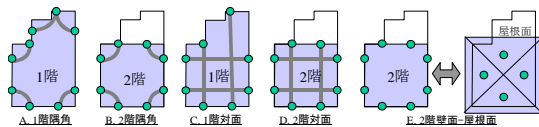


図5 分析で想定した開口部位置の組合せ

測定した風圧係数は、図5のように通風経路を想定したグループ毎に開口面間の風圧係数差 ΔC_p として整理した。なお、密集住宅地においては、通常使用される風圧係数差では通風駆動力を評価できない状況($\Delta C_p \rightarrow 0$)が確認されるため、経時的な風圧変動が室内に導入する外気量を増加させる効果を加味した風圧係数差(式1)として評価を行った。

$$\Delta C_{p3} = \left(\int_{\Delta t} |C_{pa} - C_{pb}|^{0.5} dt / \Delta t \right)^2 \quad (1)$$

(4) 合理的な通風計画手法の検討

地域性、周辺状況等から合理的に通風計画を行うための手法として、通風計画の初期からプランと開口部の設定(位置・面積・種類等)がどのような省エネルギー効果を持つかを容易に反復して評価できる手法の検討を

行った。なお、これまでの検討を踏まえ省エネルギー効果を簡易かつ定量的に評価できるように、以下のモデル・仮定を導入した。

①無分岐を想定した通風経路上での評価

図6のように分岐のない通風経路に限定して、その経路上の開口部(◎◇◆)の居室床面積に対する比率により評価する。通常の網目状の通風経路であれば、経路上の抵抗に応じて内外の圧力と経路上の流量が平衡するように同定することになるが、その際には回路網計算等が避けられなくなる。居室の通風経路を無分岐とすれば、簡便化した境界条件を与えることで容易に風量の評価が可能となる。

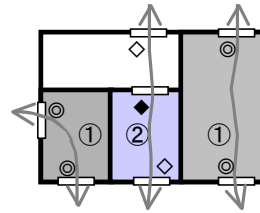


図6 通風経路の想定例

②外部風速一定の仮定

風速の実際の変動に対応した評価は煩雑となる。外部風速を地域ごとの夏期の平均風速で代表させ一定値とする

③通風経路両端に作用する風圧係数差

周囲の状況、風況等に応じて開口間に妥当な風圧係数差を設定する必要がある。これは後述の検討で得られた表2により簡便に設定する。

④負荷計算における一定風量導入の仮定

負荷計算において通風時に室内に一定の風量が導入される、とすることで開口部面積と冷房エネルギー消費の関係を明快に整理できる。

⑤内外温度差による流入出を考慮しない

温度差で駆動される風量を考慮しない場合、風量は小さく安全側に算定されることが多い。

⑥流量係数一定の仮定

開口部の流量係数は通過気流の性状により変化することが確認されているが、簡易化のため一定値として取り扱う。

以上①～⑥のモデル・仮定の導入により簡易な評価手法が構築できる。居室の開口面積が決まると、直線状の通風経路上の抵抗が定まり(上記①⑥)、経路両端に作用する風圧係数差(上記③)が決まれば風圧差が定まる(上記②)ことから、通風量を算定できる。上記④より通風量と冷房負荷、冷房エネルギー消費量の関係が定まれば、居室の開口部の設定(位置・面積等)と通風の省エネルギー効果を関連させることができる(図12a)。

4. 研究成果

(1) 通風環境の物理性状

① 通風・日射遮蔽の併用に関する実験

鉛直面日射量、平均通風量と内外温度差平均値の関係を図7に示す。実験からは、通風は日射量によらず4~6°C、日射遮蔽は日射量の増加に伴い効果が増大し最大で6°C程度室温上昇を抑制する効果を有することが分かり、日射遮蔽と通風を併用することで、特に日射量の多い場合に単独の対策よりも防暑効果が高いことが確認された。

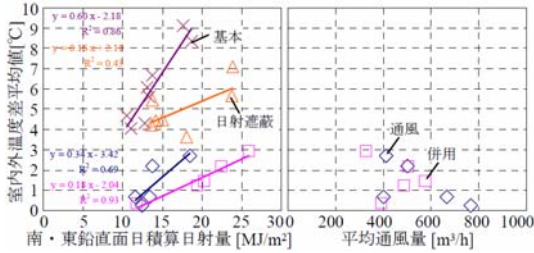


図7 内外温度差に及ぼす影響

② 実験用集合住宅における通風実験

図8に、南面窓と北面窓の間に通風の経路がある場合(南北通風時)における風圧差と通風量の関係を示す。また、片面開口時における内外温度差と交換換気量の関係を図9に示す。南北通風時には、外部風の風向特性に応じた流量係数を導入することで、風圧と通風量の関係を示すオリフィス式で通風量を精度良く予測することができること、片面開口時には、窓面で交換される風量は主に内外温度差によること等の知見が得られている。

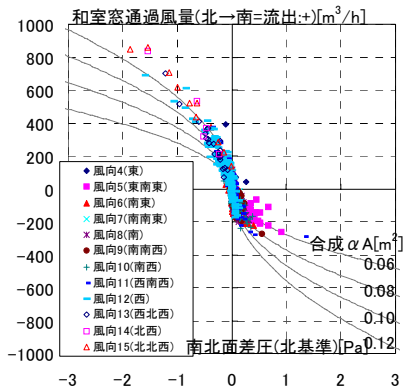


図8 南北通風時の南北面差圧と通風量

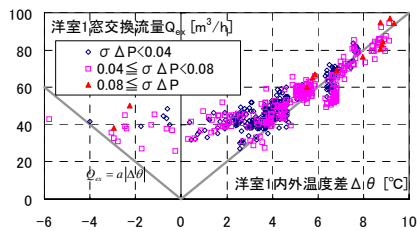


図9 片面開口時の内外温度差と風量

③ 実大住宅モデルによる通風実験

実験では、通風を行うことで室内の熱気がスムーズに排出されることが確認された。基本的には、通風量が増えるにつれ室内から排熱する速度は速くなるといえるが、図10のように、通風量が半分(風向60°)が風向15°を排熱の速度で上回る状況が確認されている。流入気流により室内全体がよく攪拌される風向45°、60°の方が、風量は多いものの室内を短絡的に通過する風向15°より排熱効果が高く、通風量だけでなく、室内気流性状が排熱効果に大きく影響することを示している。また、室内気流性状が排熱効果に及ぼす影響は、熱平衡式から算定した熱伝達率分布と気流場の関係からも確認されている。

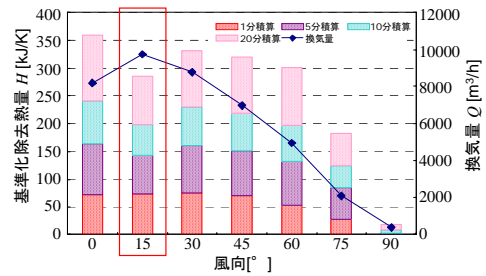


図10 風向角別の除去熱量と通風量

(2) 地域特性の評価

通風計画で設計実務者が使用することを想定して整理した気象データの一部を表1に示す。アメダスの各測定点において窓の方位、面積を検討するために風速、風向、窓方位の適否をまとめている。

表1 窓の方位の適否を示す表(那覇の例)

--

(3) 立地周辺の評価

図11にグループAにおけるグロス建蔽率と風圧係数差の関係を示す。なお、図11にはグループAで想定した5経路(1階の直角に曲がった経路、図5)の全風向のデータが反映されている。また「開口部が風上側に面する」とは、開口面が外部風の風上側に±45°以内で面することとして整理している。

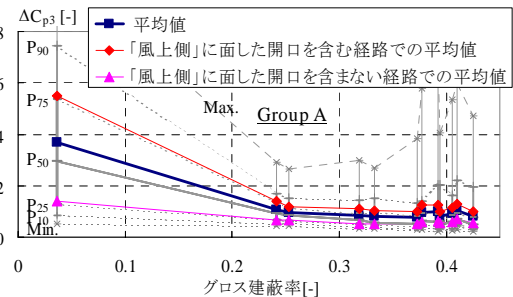


図11 グロス建蔽率と風圧係数差の関係

表2 簡易評価法の境界条件に採用した風圧係数差

立地条件		開口位置と風向の関係				開口位置と風向の関係	
開口位置と風向の関係		A. 1階風魚	B. 2階風魚	C. 1階対面	D. 2階対面	E. 2階壁面-屋根面	
住宅地	開口部が風上側にある場合	0.1~0.14	0.08~0.21	0.08~0.15	0.08~0.23	天窓が風下側屋根面にある場合	0.15~0.22
	開口部が風上側でない場合	0.05~0.07	0.06~0.08	0.08~0.13	0.08~0.14		
		設定にあたり採用した値→				採用値→	
		0.05				0.15	
単独	開口部が風上側にある場合	0.55	0.77	0.62	0.78	天窓が風下側屋根面にある場合	0.49
	開口部が風上側でない場合	0.14	0.19	0.36	0.37		
		設定にあたり採用した値→				採用値→	
		0.2				0.5	

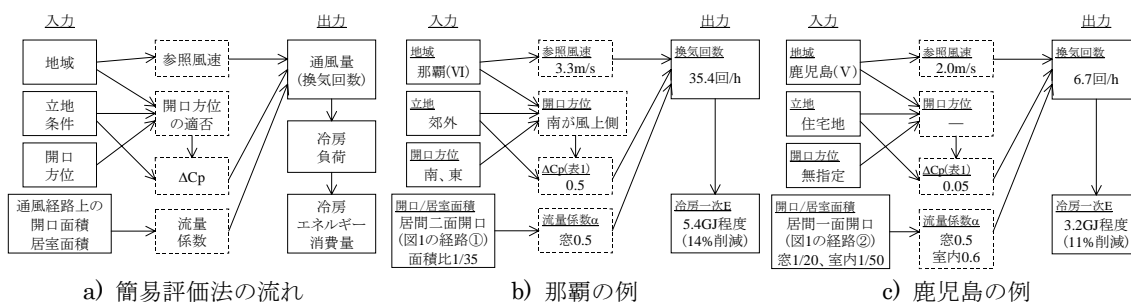


図12 簡易評価法の枠組と評価例

検討した結果、密集度(グロス建蔽率)が高くなると開口部間で得られる風圧係数差は小さくなること、ただし一般の住宅地(グロス建蔽率で20%~40%程度)に限ればそれほど大きな差異は見られないこと、一般の住宅地では開口が風上側に位置するかどうかの際だった違いがない(開口部が風上側に位置する配置で0.1程度、風上に位置しない配置で0.05程度)ことといった知見が得られた。風圧係数差については、周囲の状況に応じて逐次適切に設定することは困難であるため、ある程度安全側(通風による効果が抑制される側)に設定しておくことが妥当と考えられる。通風量を過大評価しない風圧係数差として、立地条件と開口と風向の関係によって区分した表2に整理した。

(4) 合理的な通風計画手法

前章で検討した通風の省エネルギー効果の簡易評価法の枠組を整理すると図12aとなる。通風量から冷房負荷、冷房エネルギー消費量の導出は、負荷計算における一定風量導入の仮定のもと、想定した生活スケジュール、プランで計算した冷房負荷から、エアコンの部分負荷運転等を考慮した計算により算出したエネルギー消費量の結果を参照することで行っている。図12b、12cに那覇、鹿児島島の戸建住宅の居間における評価例を示す。通風を利用しない場合に対して冷房一次エネルギー消費量をそれぞれ14%、11%削減可能と評価している。この評価法は開口位置や面積等の変更への対処が容易であり、逐次評価することができる。

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16件)

- ① 西澤繁毅他5名、通風による建物冷却効果に関する実験研究その3 蓄熱部位からの除去熱量と表面熱伝達率の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、773-774、2006、査読無
- ② S. Nishizawa, T. Sawachi, K. Narita, H. Seto, Y. Ishikawa, T. Goto, Mixing Property and the Heat Exhaust Effect under Cross-Ventilation in a Full-Scale Experimental Model, International Journal of Ventilation, Vol.5 No. 1, 2006, 163-170、査読有
- ③ 西澤繁毅他4名、集合住宅の室内扉が通風性状に及ぼす影響の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、771-772、2007、査読無
- ④ 小林美和、瀬戸裕直、西澤繁毅他3名、日射遮蔽と通風による住宅の防暑効果に関する研究その1 実測による室温への影響の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、119-120、2007、査読無
- ⑤ 瀬戸裕直、小林美和、西澤繁毅他3名、日射遮蔽と通風による住宅の防暑効果に関する研究 その2 数値解析による日射遮蔽部材の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、121-122、2007、査読無
- ⑥ 西澤繁毅他3名、住宅の密集度が風圧係数および通風量に及ぼす影響の検討、空気

調和・衛生工学会大会論文集、1889-1992、2007、査読無

- ⑦ S.Nishizawa, T.Sawachi, K.Narita, N.Kiyota, H.Seto, Study on the Air Flow Structure in Cross-Ventilated Rooms based on a Full-Scale Model Experiment, International Journal of Ventilation, Vol.6 No.1, 2007, 51-60, 査読有
- ⑧ 西澤繁毅他4名、通風量の実測による影響要因の検討と予測精度の検証、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、703-704、2008、査読無
- ⑨ S.Nishizawa, T.Sawachi, E.Maruta, Evaluation of effect of the wind pressure fluctuation for cross ventilation in the residential district, Proceedings of The 29th AIVC Conference, Vol.2, 2007, 357-362, 査読有
- ⑩ 西澤繁毅他4名、通風の省エネ効果評価手法の簡易化に向けた考え方について、日本建築学会大会学術講演梗概集、投稿中、2009、査読無

[学会発表] (計14件)

- ① 西澤繁毅、Verification of effect of cross ventilation on energy conservation by the experiment simulating occupant behavior、第3回自然換気に関する国際ワークショップ、2009年3月16日、東京都港区建築会館

[その他]

ホームページ等

<http://www.nilim.go.jp/lab/heg/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西澤 繁毅 (NISHIZAWA SHIGEKI)

国土技術政策総合研究所 建築研究部 環境・設備基準研究室

研究者番号：50360459