

琉球大学学術リポジトリ

通気層を持つ戸建住宅の熱環境に関する実測調査

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2007-08-23 キーワード (Ja): キーワード (En): Double skin walls, Stable heat transmission, Simulation 作成者: 新川, 亮樹, 堤, 純一郎, Arakawa, Ryoki, Tsutsumi, Jun-ichiro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/1484

通気層を持つ戸建住宅の熱環境に関する実測調査

新川 亮樹* 堤 純一郎**

Full Scale Measurement of Thermal Performance of a Single-Unit House with Double Skins

Ryoki ARAKAWA* and Jun-ichiro TSUTSUMI**

Abstract

Passive cooling system is used to improve the thermal performance of a house. The thermal performance of a passive cooling house with double skins is an object of this measurement. We measured the temperature distribution around the double skin walls and heat flow rate to clarify the thermal characteristics of the house. Moreover, ventilation rate without openings was measured by CO₂ concentration method to get the air tightness of the house. Then, we made a simulation program for the prediction of air temperature based on the stable heat transmission to compare with the measured data.

Key Words: Double skin walls, Stable heat transmission, Simulation

1. はじめに

これまでに建物の熱環境に関する研究は多く見られる。例えば、主に室内熱環境の実測では、長谷川らの木造の民家においての実測⁽¹⁾、赤坂らのフォームコアパネルを用いた試験棟及び木造2×4構法の試験棟においての実測⁽²⁾、渡辺らの木造展示用モデルハウスの高气密高断熱型と在来型においての実測・比較⁽³⁾などがある。

通気層という観点から見ると、蔵重らの通気層の換気流量と浮力の理論解析及び数種類の壁体モデルの実測⁽⁴⁾、川上らの通気性を付与した中空煉瓦壁の断熱防露指針の提案とパッシブな熱環境制御システムの有効性の検討⁽⁵⁾、杉山らの戸建住宅における通気層を有する屋根断熱と一般的な屋根断熱の両方の場合における通気層まわりの熱環境実測⁽⁶⁾、石原らの実大の通気壁体モデルでの熱環境の実測及び気流解析による熱・通気特性の考察⁽⁷⁾などがある。

このように、戸建住宅における熱環境の実測調査及び通気層に関する実測調査は数多く見られるが、これらの実測が行われた場所はすべて九州以北であり、主に冬の寒さへの対策が目的とされている。

本研究は、亜熱帯に位置する沖縄において、これまでの報告ではほとんど見られなかった鉄筋コンクリート造での二重壁による通気層を持つ戸建住宅のモデルハウスを対象に実測調査を行い、その熱的特性を明らかにし、また、定常伝熱を仮定した独自のプログラムによる自然室温のシミュレーションを行い、その予測を行うものである。

2. 実測調査対象建物の概要

実測調査の対象とした建物は、沖縄本島の中部に位置する浦添市西原に設置された戸建住宅のモデルハウスである。この建物は2階建ての鉄筋コンクリート造で、建物全体が二重壁になっており、壁と壁の間の空間を通気層として利用している。床面積は1階61.56m²、2階51.84m²、天井の高さは1階2.70m、2階2.44mである。二重壁の外壁が鉄筋コンクリートで、内壁は石こうボード下地の上ビニールクロス仕上げである。両者の間の通気層の幅は約8cmである。尚、外壁、内壁ともに断熱材は使用していない。ただし、屋根スラブ内側のみ発泡ポリスチレン50mm層の断熱材を使用している。通気層は壁体を通して小屋裏まで通じている。この通気層は多くの二重壁住宅に見られる半密閉型ではなく、屋外と通気層及び通気層と室内の間の空気の流れを容易に制御できる空気を取り入れ口が設置されており、手で開閉できる。

3. モデルハウスにおける熱環境の実測調査

3.1 室内温度分布に関する実測の概要

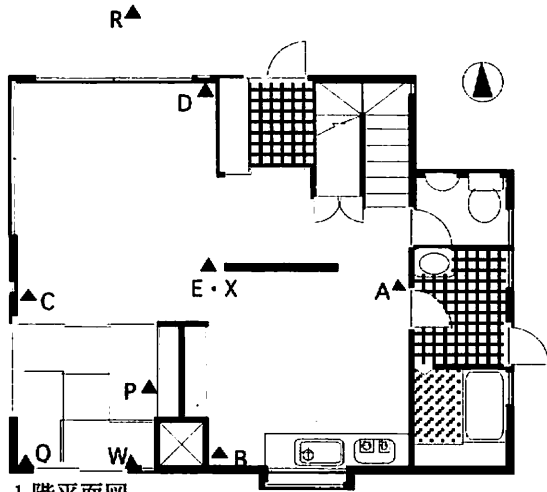
室内の温度分布の調査を主な目的とする実測を1996年8月17日から20日までの4日間行った。室内の気温、壁体及び床スラブの表面温度、通気層内の気温の測定には0.3mmφのT型熱電対を用いた。室内及び屋外の温度と湿度はサーミスタタイプと高分子タイプの温湿度センサーを用いて測定した。また、ネオ型全天日射計及びプロペラ型風向風速計を屋根に設置して、屋外の気象状態を測定した。測定点の配置を図1、測定点の高さを図2に示す。また、小屋裏空間の測定点の配置を図3に示す。各測定データは各階に設置した2台のデータロガーに10分毎に自動記録している。なお、風向風速計は屋根の頂部より約2m高くなるように設置している。

受理：1998年12月1日

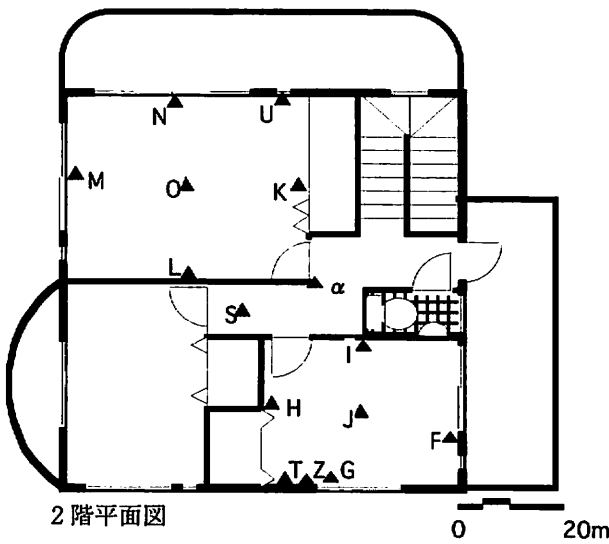
日本建築学会大会にて1998年9月発表済み

* 理工学研究科総合知能工学専攻
(Graduate Student, Complex Intelligent Systems Engineering)

** 環境建設工学科
(Dept. of Civil Engineering and Architecture)



1階平面図



2階平面図

図1 室内温度分布の実測調査の測定点配置

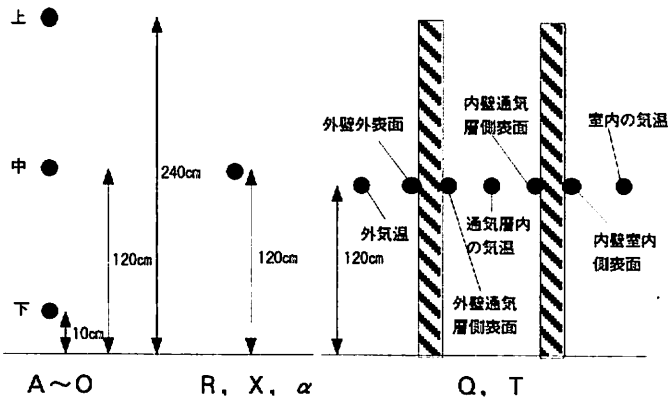


図2 各測定点の高さ

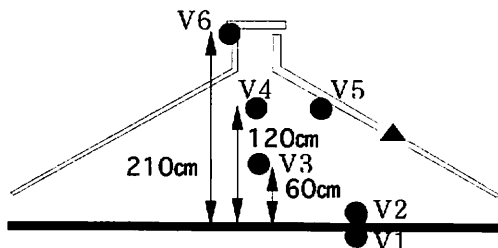


図3 小屋裏空間の測定点配置図

3.2 建物の温度分布

図4は外気温と1階南側壁付近を時間帯ごとに平均した温度分布である。ここで、測定点Q1は外壁外表面、Q2は外壁通気層側表面、Q(中)は通気層内の気温、Q3は内壁通気層側表面、Q4は内壁室内側表面、E(中)は1階中央中部の気温である。日中は壁が太陽の直射を受け、温度は各測定点で同様に上昇している。特に1階外壁外側表面Q1が12時から16時の時間帯において平均温度が高くなるのがわかる。しかし、外壁表面の温度上昇に対する内壁表面の温度上昇は比較的小さい。これは通気層による排熱効果により外壁から内壁への熱の伝達を小さくしているものと考えられる。

図5は外気温と屋根付近の平均温度である。ここで測定点V1は2階天井表面、V2は天井裏表面、V3は小屋裏空間下部(気温)、V4は小屋裏空間上部(気温)、V5は屋根スラブ小屋裏側表面、V6は屋根通気管内の気温である。同一時間帯において、V2~V6の各測定点間の温度差は約1℃以内の範囲であり、小屋裏空間内の温度は比較的一定に保たれている。日中は小屋裏空間内全体の温度が外気温より低い傾向にあることがわかる。

図6は、外気温と1階中央中部(気温)の温度差と日射量との相関である。この図より、日射量が大きくなると温度差が小さくなることがわかる。また、全体的に温度差は負の方が多く、温度差を(外気温)-(1階中央中部)と定義していることから、室内の温度が外気温より高い時間が長いことがわかる。

図7は、外気温と1階中央中部(気温)の温度差と風速との相関である。日射量との相関と同様に、風速が大きくなると温度差は小さくなる。しかし、日射量との相関のグラフと比較すると近似線の傾きが若干大きい。これは、外気温と1階中央中部(室内温度)の温度差に与える影響は日射量よりも風速の方が大きいことを意味する。

3.3 壁体周辺の温度・熱流に関する実測の概要

壁体の熱特性を明らかにするために、壁体周辺の温度分布を主な測定対象とする実測調査を、1997年7月31日から8月4日までの5日間行った。壁体及び床スラブの表面温度、通気層内の気温、屋外及び室内の気温の測定にはT型熱電対を用いた。壁体の熱流を測定するため、熱流計を設置した。また、熱環境の外乱となる気象データを測定するため、全天日射計及び風向風速計を屋根に設置した。以上の各測定機器の設置状況は、前述の1996年に行った実測に準ずるものである。ただし、屋外の気温は0.3mmφ熱電対をそのまま使用しているため、その上に日射遮蔽用の発泡スチロール製の笠をかぶせている。測定点の配置を図8に示す。壁体周辺の測定点の詳細は図2の測定点Q、Tと同様である。また、小屋裏空間の測定点についても前述の実測と同じ(図3)である。この測定では湿度のセンサーを使用していないので、湿度についてはアスマン通風乾湿計により手動で測定している。

3.4 壁体の熱流

測定点Nにおける、窓を開けた場合の熱流の経時変化を図9、窓を閉じた場合の壁体の熱流の経時変化を図10に示す。熱流は、外壁、内壁ともに屋外から室内に向かう方向を正としている。

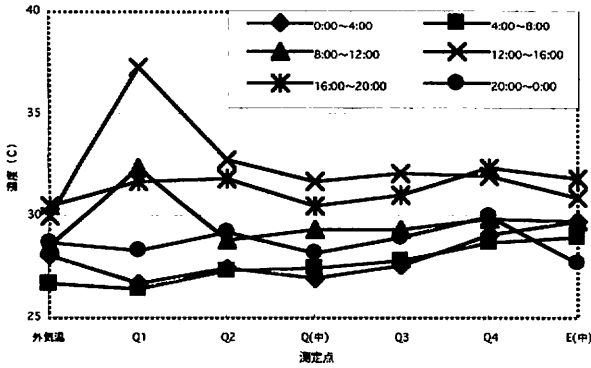


図4 外気温と1階南側壁付近の平均温度

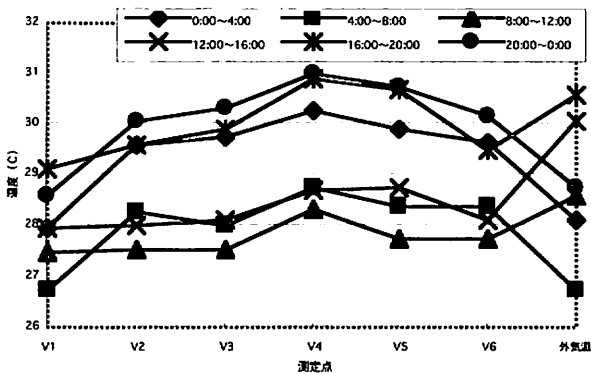


図5 外気温と屋根付近の平均温度

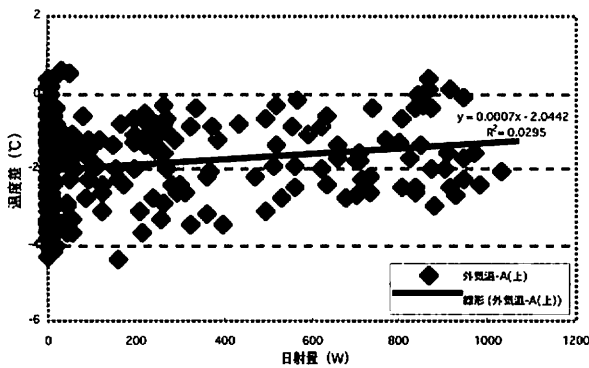


図6 日射量と温度差の相関

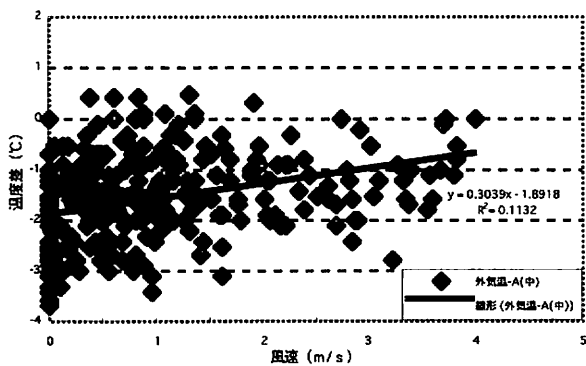


図7 風速と温度差の相関

図9に示した、窓を解放した場合の熱流は、全体的に負の値を示している時間が長いことから、外壁、内壁ともに室内から屋外へ熱が流れる時間の方が長いことが分かる。

これに対して、図10に示した、窓を全て閉じた場合は、夕方から早朝にかけては熱流がほとんど無く、壁体の両面の温度差がほとんど無いことが考えられる。日中に関しては、窓を開けた場合とは逆に、外壁、内壁ともに室内から屋外に熱が流れる傾向が見られる。

4. モデルハウスにおける換気量の測定

4.1 実験概要

CO₂濃度減衰法を用いてモデルハウスの換気回数及び換気量、有効開口面積を算出することを目的として、換気量の測定を行った。モデルハウスの状態として通気層の開口部も含めて全部閉め切った状態と、窓や玄関扉などの開口部を閉じて通気層の開口部だけを開いた状態の2種類の状態を設定して測定を行っている。

本実験は1997年12月16日から18日までの3日間行った。この実験において測定する項目は、換気の駆動力となる壁面にかかる風圧、室内において発生させた二酸化炭素(CO₂)の濃度および屋外の風速である。

測定の対象としたモデルハウスの状態は前述の2種類である。それぞれの状態について、室内空間を対象にした測定と、小屋裏空間を対象にした測定を行っている。室内空間については、内部の間仕切りなどを全部開いて1階と2

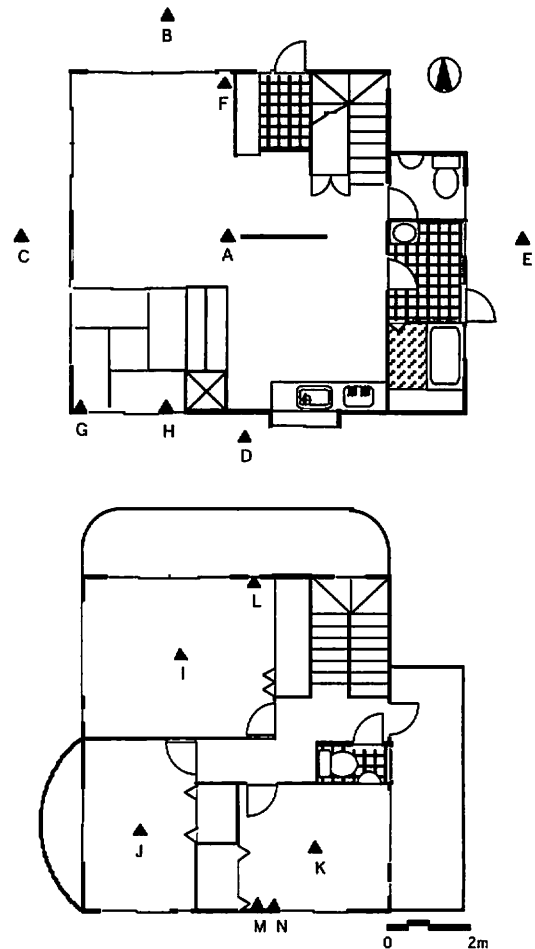


図8 壁体周辺の温度・熱流に関する実測調査の測定点配置図

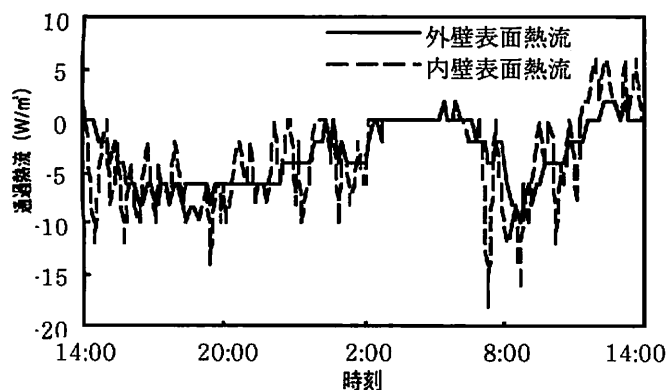


図9 窓解放時の2階南側壁体の熱流

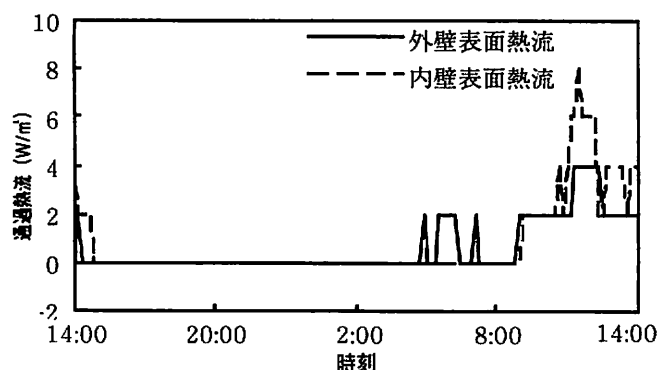


図10 窓全閉時の2階南側壁体の熱流

階を合わせてひとつの空間として扱う。

風圧の測定はコンデンサー型の微差圧計を用いて行っている。モデルハウスの東西方向と南北方向の風圧差をとれるように、2台の微差圧計から測定用のチューブを用いてそれぞれの方向の窓面に設定している。室内空間を測定する場合、微差圧計の本体は建物の中央付近に置いているので、各チューブの長さは4 m程度である。小屋裏空間の測定においては、圧力の測定を屋根頂部の排気塔に設定している。

CO₂濃度の測定は赤外線センサーによるCO₂濃度計を用いる。窒素(ゼロ)ガスとスパンガスで校正したCO₂濃度計を測定対象の空間のほぼ中央に設置している。なお、室内空間の場合には1階の中央である。CO₂はドライアイスを細かく砕いて測定空間に放置し、完全に昇華するように扇風機を回して風を送る。実際の濃度の測定は実験者が全員外へ出て、玄関扉を閉じた後、10分程度経過してから開始するように設定している。

風向、風速の測定は屋外のモデルハウス近傍に立てたプロペラ式風向風速計で行っている。これら全てのデータをデータロガーによって3分間隔で記録している。

4.2 換気回数および換気量

室内空間で測定したCO₂濃度を取り上げ、その時間変化を図11に示す。x軸は時間単位(t)で、y軸の値は $\log \{(C-C_0)/(C_1-C_0)\}$ である。ここで、Cは室内のCO₂濃度、C₀は大気中のCO₂濃度、C₁はt=0のCO₂濃度である。ここでC₀=350ppmとし、C₁の値は室内のドライアイスの昇華が終了したと思われる時点での値とし、それ以前のデータは除外している。

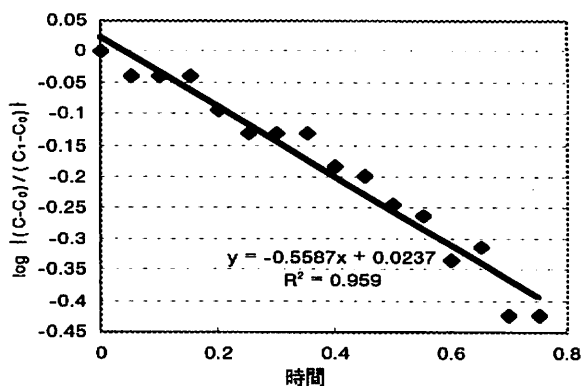
図11 室内空間のCO₂濃度変化

表1 有効開口面積

	αA (cm ²)	$4\alpha A/S_t$ (cm ² /m ²)
室内空間通気層解放状態	160.014	8.696
室内空間通気層閉切状態	227.546	7.203
小屋裏空間通気層解放状態	93.000	7.175
小屋裏空間通気層閉切状態	30.752	2.372

換気回数は図11の近似線の傾きで表される。従って、室内空間での換気回数は約0.6回/hとなる。同様の処理を小屋裏空間でも行い、換気回数約1.3回/hが得られた。なお、小屋裏空間は通気層に直接つながっているため、通気層も含めてひとつの空間として扱っている。

換気量は換気回数に室容積を掛けて得られる。従って、室内空間での換気量は約148.1m³/h、小屋裏空間では約33.5m³/hとなる。

4.3 有効開口面積

本研究では最も単純な仮定として、このモデルハウスが東西方向および南北方向ともに2つの壁面だけで構成され、それぞれの方向で独立して換気されているものとし、各面における有効開口面積はすべて一定と仮定する。なお、有効開口面積の算出に換気量を用いるため、ここで計算に用いる風による差圧についても換気量算出の際と同様にドライアイスの昇華が終わっていないと思われる時間帯のデータは除外している。

1つの壁面の有効開口面積(αA)は

$$\alpha A = \frac{V}{(1 + \frac{\sqrt{\Delta P_{NS}}}{\sqrt{\Delta P_{EW}}}) \sqrt{\frac{1}{\rho} \Delta P_{EW}}} \quad (1)$$

で表される。ここでVは換気量(m³/s)、 ΔP_{NS} は南北面の平均差圧(N/m²)、 ΔP_{EW} は東西面の平均差圧(N/m²)、 ρ は空気密度(kg/m³)である。ここでは $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ とする。建物全体の有効開口面積は $4\alpha A$ (4面)で表され、住宅の延床面積を S_t とおくと、単位床面積あたりの有効開口面積は $4\alpha A/S_t$ で表される。本実験で測定した2つの空間および2種類の通気層の状態について求められた有効開口面積を表1に示す。

5. シミュレーションによる自然室温の予測

5.1 シミュレーションプログラムについて

自然室温のシミュレーションを行うためには、入力データとなる屋外の気象データ、建物の熱的性能を表す壁体の熱貫流率など建物自体に関するデータおよびそれらを入力して数値的なシステムとして動かすためのプログラムが必要である。現在、空調の熱負荷計算プログラムを中心に数多くの建物の熱環境に関するシミュレーションプログラムが開発されている。現在主流となっている、あるいは最も一般化している熱環境に関するプログラムは、壁体の持つ熱容量を考慮して、時間的な変化、具体的には壁体を伝わる熱の時間遅れを考慮した、非定常の動的熱負荷計算プログラムである。これは空気調和衛生工学会において開発され、空調熱負荷のための標準プログラムとして販売されている HASP/ACLD に代表されるものである。しかし、ここで用いるプログラムは、独自に FORTRAN により開発した、より簡単なもので、熱流の時間遅れを考慮しない定常計算である。定常状態の計算でも、熱容量の小さな建物の場合には大きな問題はない、本研究に用いたモデルハウスの場合、内側の壁体が熱容量の小さい軽構造なので、この計算を適用してみる。

5.2 熱負荷要素

自然室温を予測するためには、建物の熱負荷要素を知る必要がある。一般の住宅における主な熱負荷要素は以下の4項目である。

- ① 直接熱取得 (放射)
- ② 貫流熱取得 (伝導)
- ③ 換気熱取得 (対流)
- ④ 内部発熱 (人工熱)

直接熱取得は光を通す部分だけについて起こる現象である。その伝熱は放射によるものであり、光の速度で室内に到達するが、熱として考慮されるのは一度床などに吸収された後になるので、伝導による熱流と同様に時間を要する。

壁体などの固体部分は熱伝導により熱が伝わり、境界層では対流、放射によって伝わる。これらを総合的に表した現象が熱貫流であり、それによる熱取得が貫流熱取得である。熱伝導には時間を要するため、時間的には遅い現象である。

外気と室内空気の温度が違っていれば、換気に伴って熱も移動することになる。これが換気熱取得である。これは、換気に伴う熱の移動なので、対流による伝熱である。その速さは換気の速さと同じものとなる。

室内では照明やガス器具などが置かれているが、これらは全て発熱源である。電気によって発生した光や音なども最終的には熱に変化する。在室者も1人あたり100W程度の熱源となる。これらが人工的に発生した内部発熱である。以下に①から④のそれぞれについて、ここで述べる自然室温シミュレーションにおける扱い方を説明する。

5.2.1 ① 直接熱取得

直接熱取得は直達日射分 (Q_D) と天空日射分 (Q_S) を分けて考える。

直達日射分は (日射量) + (長波長放射) で表される。

ここで、ある面 i の単位面積当たりの直達日射分 q_{Di} (W/m^2) は以下の式で表される。

$$q_{Di} = J_D \cdot \tau_i \cdot F_i \quad (2)$$

これを各窓面について面積を掛けて積算して、全直達日射分 Q_D (W) が得られる。

$$Q_D = \sum_{i=1}^n A_i \cdot q_{Di} \quad (3)$$

ここで、 J_D は直達日射量 (W/m^2)、 τ_i は i 面における日射透過率、 F_i は i 面における角度特性などの係数、 A_i は i 面の面積 (m^2) である。ただし、透過面 i が直達日射を受けない方向の場合は、 F_i が 0 となり、 q_{Di} も 0 となる。

天空日射分 Q_S (W) については、以下の式で表される。

$$Q_S = \sum_{i=1}^n J_S \cdot \tau_i \cdot A_i \cdot f_{Si} \quad (4)$$

ここで、 J_S は天空日射量 (W)、 f_{Si} は透過面 i の天空率である。

長波長放射については、天空放射と室内からの放射の収支をとることになるが、透過面における総合熱伝達率として処理して、陽的には扱わない。

5.2.2 ② 貫流熱取得

ある面 i についての単位面積当たりの貫流熱 q_{Ti} (W/m^2) は次の式で表される。

$$q_{Ti} = K_i (\theta_o - \theta_i) \quad (5)$$

ここで、 K_i は面 i の熱貫流率 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)、 θ_o は外側の気温 ($^\circ C$)、 θ_i は室温 ($^\circ C$) である。これを各面について面積を掛けて積算すると Q_T が得られる。

$$Q_T = \sum_{i=1}^n A_i \cdot q_{Ti} \quad (6)$$

なお、熱流の方向は室内へ流入する方向を + としている。実際には、外壁が日射を受けていたり、夜間でも放射の影響があるため、外気温からの熱貫流では正しい状態を表せない。そこで、このような表面の放射を考慮して、外気温の代わりに相当外気温を用いる。ある面 i における相当外気温 θ_{ei} ($^\circ C$) は次の式で表される。

$$\theta_{ei} = \theta_o + \frac{J_i \cdot \epsilon_i}{\alpha_o} \quad (7)$$

ここで、 J_i は面 i に入射する日射量 (W/m^2)、 ϵ_i は面 i における日射吸収率、 α_o は外側総合熱伝達率 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) である。

実際の日射量は短波と長波に分離し、それぞれに対して日射吸収率を設定する。短波については、直達日射量と天空日射量を分けて、面への入射量を式 (2)、(4) のように計算する必要がある。また、面に対する角度特性が重要である。

5.2.3 ③ 換気熱取得

換気による熱の輸送量 Q_V (W) は、次の式で表される。

$$Q_V = G \cdot C \cdot (\theta_o - \theta_i) \quad (8)$$

ここで、 G は換気量 (kg/s)、 C は空気の比熱 ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$) である。換気による熱流入と熱流出は等しくなるので、どちらか一方だけを考えればよい。ここでは熱取得となることを前提として、流入量のみを扱う。

5.2.4 ④ 内部発熱

内部発熱となる主な熱源は照明などの電気器具と人体である。人体は1人当り100W程度である。電気器具はその消費電力が発熱量となる。これらの合計値を内部発熱量 Q_f (W) とする。

5.2.5 熱収支式

5.2.1 から 5.2.4 までに説明した熱負荷要素の熱収支が、

$$Q_D + Q_S + Q_T + Q_V + Q_P = 0 \quad (9)$$

となるように室温 θ_i を決める。その方法として毎時の各熱流要素を計算し、それに合わせて室温を決める。 Q_T と Q_V は室温によりその値が変化するが、直接熱取得 Q_D 、 Q_S を瞬時の熱取得現象として時間遅れを無視すれば、 Q_D 、 Q_S 、 Q_P は室温には関係しない。そこで、 Q_D 、 Q_S 、 Q_P の合計を H とし、次のように表現できる。

$$H + Q_T + Q_V = 0 \quad (10)$$

Q_T と Q_V はそれぞれ θ_i についての1次式なので、この式から陽的に θ_i を求めることができる。

5.3 シミュレーションに必要なデータ

シミュレーションを行う際に必要なデータは、気象データとしては外気温、日射量、風向、風速、大気放射である。建物に関するデータとしては、建物各部を面の方向、材料ごとに分割したそれぞれの面積、方向(3次元ベクトル)、熱伝導率、厚さ、天空率、日射透過率、日射吸収率、長波放射率である。また、条件設定のデータとして、位置(緯度、経度)、日付も必要である。条件設定のデータは、主に太陽位置の計算に用いられる。本研究では太陽の位置を3次元の単位ベクトルとして扱っている。従って、直達日射量は同じ座標系の上で定義された太陽位置ベクトルと、それを受ける壁面等の法線ベクトルの内積として求められる。

5.4 自然室温のシミュレーション結果

図12にシミュレーションによる自然室温の予測結果と実測値を示す。シミュレーションによる予測値と実測値を比較すると全体的に予測値のほうが高めている。誤差は $0^\circ\text{C} \sim 1^\circ\text{C}$ で、平均で約 0.3°C である。また、予測値において11時、14時、16時に比較的誤差が大きくなっているが、これは急激な日射量の増加によるものである。本シミュレーションにおいては熱容量に関わる時間遅れを考慮していないため、気象の変化が即座に予測値に反映されたものと思われる。

定常伝熱を仮定して計算したものであり、壁体の通気層内の扱いも単純な熱伝達抵抗としてとらえているので、正確なシミュレーションではないが、自然室温の実体のある程度とらえることができた。今後、このプログラムをベースに多数室に対応して、通気層の効果をより明確に表すようなプログラムに改良していく必要がある。

6. まとめ

本研究では二重壁を持つRC造2階建ての戸建住宅のモ

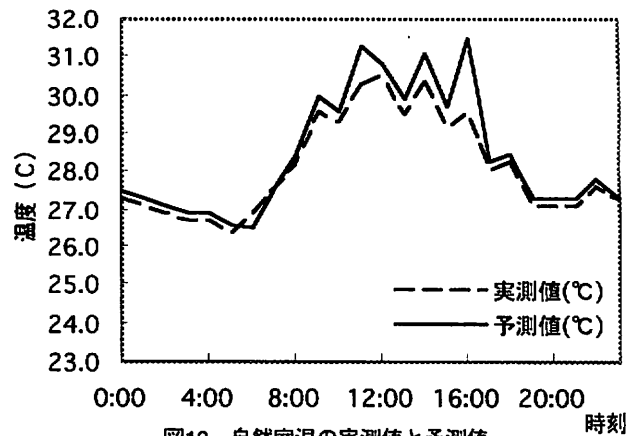


図12 自然室温の実測値と予測値

デルハウスを対象に、熱環境の実測調査、換気量の測定およびシミュレーションによる自然室温の計算を行った。

建物の熱特性については、全体的に室内の垂直方向の温度分布は上部の方が高くなる傾向が顕著に見られる。また、1階部分では各測定点において室内の気温が外気温より高い時間が長い、2階部分ではその逆であり室内の気温が外気温より低い時間の方が長い。また、小屋裏空間においては、各測定点間の温度差が約 1°C 以内であり、比較的一様に近い温度分布となっている。

換気量については、室内空間で約 0.6 回/h、小屋裏空間で約 1.3 回/h という換気回数が見られた。しかし、この建物の場合、機械換気を行っていないため、換気回数は屋外の風速に左右される。建物の換気性能というものは、外部条件としての風圧を除いて建物自体の有効開口面積で評価すべきである。算出した有効開口面積から見ると、室内空間において通気層の開口部を閉じた状態の場合は、単位床面積当たり $7.203 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、通気層の開口部を開いた場合は、同じく $8.69 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ となる。これは、建物の気密化のグレードとしては、標準的なRC構造や枠組壁工法と同レベルである。また、小屋裏空間においては、通気層の開口部を閉じた場合、1つの壁面あたりの有効開口面積が 30.752 cm^2 、通気層の開口部を開いた場合は、同じく 93 cm^2 となり、開口部を開いた場合は閉じた状態の3倍以上の有効開口面積になる。このように、通気層の開口部の開放は、通気性を向上させるのに有効である。

自然室温のシミュレーションについては、独自に開発したプログラムによって実測値との誤差が $0 \sim 1^\circ\text{C}$ 、平均で約 0.3°C であった。

参考文献

- (1) 長谷川兼一ほか：宮城県の民家を対象とした夏期における室内熱環境の実測、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.153-154、1996.9
- (2) 赤坂裕ほか：フォームコアパネル棟を主とする4棟の試験棟のパッシブ下における温熱居住環境の実測、日本建築学会計画系論文集、pp.15-22 1997.7
- (3) 渡辺康徳ほか：夏季蒸暑地における断熱気密住宅の室内熱環境に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集、pp.21-30、1997.5
- (4) 佐藤章造ほか：通気層の熱・湿気移動解析、日本建築学会研究報告九州支部環境系、pp.105-112、1995.3
- (5) 川上可ほか：中空煉瓦壁を利用した空気循環式パッシブ住宅の性能予測、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.57-58、1996.9
- (6) 杉山隆ほか6名：鹿児島市内の木造戸建住宅の冬季温熱環境実測調査、日本建築学会大会学術講演集、pp.199-200、1995.8
- (7) 石原修ほか3名：外張断熱通気工法における壁体内通気層の熱・通気特性に関する研究、日本建築学会計画系論文集、pp.29-36、1997.12