南面に温室を有する外断熱建物の 日射蓄放熱壁に関する研究

STUDY ON THICK CONCRETE WALL FOR HEATING BY SOLAR RADIATION IN A BUILDING WITH ATTACHED GREENHOUSE AND OUTSIDE INSULATED ENCLOSURE

三浦寿幸 ——*1 沼田 宏 ——*2
古田島清彦 ——*3

Toshiyuki MIURA ——*1 Hiroshi NUMATA ——*2
Kiyohiko KOTAJIMA ——*3

キーワード：
日射蓄放熱壁, トロンブ壁, 温室, 外断熱, 長期実測, 室内放射温度分布

Keywords:
Thick concrete wall for heating by solar radiation, Trombe-wall, Green house, Outside insulated building enclosure, Long-term measurement, Distribution of indoor radiant temperature

A thick concrete wall for solar radiation heating in a building with attached greenhouse and outside insulated enclosure was studied. It was shown through a long-term study that heat flowed from the wall surface to the room in winter. The room temperature was controlled because of 2 reasons. Firstly, it was because of the external thermal insulation of building enclosure. Secondly, it was because of the thick concrete wall and the greenhouse. The thermal environment of the room was evaluated by measuring distribution of the thermal radiant temperature.

1. はじめに

本研究は、南面の付設温室と居室との境界壁（コンクリート厚壁）を日射蓄放熱壁として計画した外断熱建物の実測を行い、その結果に基づいて冬季の日射蓄放熱壁の熱性状と室内環境を明らかにすることを目的としている。この建物のように、建築躯体を太陽熱の蓄放熱体として利用するRC造建物の断熱方法にはヒートブリッジの無い厚い断熱が容易な外断熱が有効である。本研究の日射蓄放熱壁に類似するものとしてトロンブ壁があるが、トロンブ壁は上下の換気口を利用した対流熱取得効率の点からガラスとの間隔を100mm以下とすることが多いのに対し、ここで扱う日射蓄放熱壁は約630mmを確保して温室空間を形成すると共に蓄放熱壁中央に内窓を有している点が異なる。トロンブ壁に関してはこれまで橋本・木村⁽¹⁾ら、長谷川・石川⁽²⁾の数値解析に基づく研究や中島⁽³⁾、吉野⁽⁴⁾らによるトロンブ壁を設置した住宅の実測に基づく研究などがあるが、本研究のような温室を付設した外断熱建物の日射蓄放熱壁の熱性状については検討されていない。

2. 建物概要と実測方法

表-1、写真-1に実測した外断熱建物の建物概要及び外観、図-1、2に2階平面図と断面図を示す。建物の南面に温室を付設し、冬季の日射を有効利用する種々の工夫⁽⁵⁾がなされている。温室のカーテンウォールのガラスにはペアガラスを採用して温室からの熱損失を低減すると共に、外壁を外断熱構造として建物全体の断熱性を高めている。夏季は温室のカーテンウォールの上下が開放され、カーテンウォールに取り付けられた日除け（ロールスクリーン）が下ろされる。^{注(1)} 測定対象とした室内は2階の和室で、温

表-1 建物概要

所在地	茨城県つくば市
竣工年	1982年4月
構造・規模・延床面積	RC造、地上2階、255.9 m ²
用途	1階 管理事務室、管理入室、食堂 2階 宿泊室
外断熱外壁断熱厚さ	北側外壁、屋根 発泡ポリスチレン板 100 mm 東、西、南側外壁 " 50 mm
" 外装仕上げ	樹脂モルタル+吹付けタイル
温室ガラス仕様	内窓:シングルガラス、外窓:ペアガラス

写真-1 建物南側外観

図-1 平面図 (2階)

*1 戸田建設㈱技術研究所環境グループ 主管・博士(工学)
(〒107-0052 東京都港区赤坂8-5-34)

*2 戸田建設㈱エンジニアリング部 部長

*3 戸田建設㈱本社リニューアル技術部技術課 課長

*1 Manager, Environmental Division, Technical Research Institute, Toda Corporation, Dr. Eng.

*2 General Manager, Engineering Dept., Toda Corporation

*3 Manager, Technical Division, Building Renewal Dept., Toda Corporation

室との境界に内窓を有する厚さ320mmの日射蓄放熱壁があり、天井側と東側の2面が外壁である。実測は12月末から翌年の2月上旬にかけて行った。実測期間中、室内は使用されておらず、日射蓄放熱壁の換気口ダンパー及び内窓、外窓は閉じたままとした。表-2に測定項目と使用センサー、計測機器等を示す。測定位置は図-2に併記した。温室空気温度(上下2点)は熱電対感温部にアルミ箔の日射遮蔽筒を付け、日射蓄放熱壁表面温度は熱電対感温部をアルミテープで貼り付けて測定した。また、熱流計は日射蓄放熱壁の室内側にシリコングリースで接着した。室内放射温度分布の測定は2月上旬に行ったが、測定方法等は後述する。

3. 日射蓄放熱壁の熱性状

図-3に日射蓄放熱壁A点の壁体内及び表面温度、居室と温室の空気温度の経時変化の一例を示す。温室側の表面は日中に日射を吸収して昇温し、晴れた日には40℃を超える。また、熱容量が大きい

表-2 測定概要

測定項目	センサー、計測機器	測定点数	測定期間
室温、温室空気温度	T型熱電対	3	*長期測定 1982年12月24日 ~1983年2月9日
壁体内&壁表面温度	T型熱電対	9	
壁面熱流	熱流計 EIKO CN-9L	2	
南鉛直面全天日射量	日射計 EIKO MS-42	1	
外気温度	通風管付温湿度計	1	*室内放射温度 分布測定 1989年2月上旬
室温、天井・床面温度	T型熱電対	7	
周壁放射温度	放射温度計	1	
半球放射温度	B&K 1213 輻射センサー	1

図-2 断面図及び温度・熱流の測定点

ため日射蓄放熱壁の居室側は時間遅れを伴って徐々に暖まっていく様子がわかる。温室内の空気温度(上下平均)は晴れた日の日中に35℃前後、明け方に10~12℃程度となり、居室室温に比べて日較

図-3 日射蓄放熱壁の温度・熱流の経時変化

図-4 居室室温と日射蓄放熱壁表面温度の関係及び熱流日積算値

図-5 居室室温と温室空気温度(上下2点平均)との関係

差が大きい。

図-4に日射蓄放熱壁の居室側表面熱流日積算値、及び居室室温と室内各壁表面温度との関係を示す。日射蓄放熱壁の表面温度は日平均で居室室温よりも晴れた日で1~2℃高く、熱流がほとんどの日で居室側の取得となっており、室内に向けて熱が流れる壁になっていることがわかる。また、温室側の日射受熱面の仕上げを選択吸収膜(日射吸収率0.91、放射率0.12)としたA点は黒色ペイントとしたB点よりも室内表面温度を高い温度に保持でき、熱流日積算値も相対的に大きくなっていることが確認できる。注(2)

図-5に温室空気温度(上下平均)と居室室温との関係を示す。日平均で見ると晴れた日の両者の差は小さいため内窓を通しての貫流による熱移動はさほど大きくない。しかし、図-3に示すように1日の経時変化を考慮すると日中は居室よりも温室の空気温度が高くなるので温室からの貫流熱が居室の熱取得となる。それに加えて内窓を透過する日射も居室の日中の熱取得となるが外断熱の断熱層内側にに取り込まれる熱容量が有効に働いて室温を過度に上昇させることなく安定化させ、温室の空気温度が低下する夜間には蓄放熱壁からの放熱が居室室温の安定化に寄与していると考えられる。

図-6、7に温室空気温度及び居室室温と日射量、外気温度との関係を示す。外壁の外断熱と温室カーテンウォールのペアガラスの断熱効果により、居室及び温室の空気温度と外気温度との相関は低く、特に温室空気温度で相関係数が大きくなっていることがわかる。

各測定データの日平均値及び日積算値を実測期間平均で算出した結果を表-3に示す。日射受熱面の仕上げが選択吸収膜(測定点A)の日射蓄放熱壁表面温度は、つや消し黒色ペイント(B点)のそれに比べて温室側で2.0℃、室内側で0.8℃高い。表中の放熱効率率は日射蓄放熱壁の表面熱流日収支を単位で揃えて南鉛直面全天日射量で除したものである。放熱効率は建物の断熱性によっても左右される性質のものだが、選択吸収膜とつや消し黒色ペイントの測定点を比較すると前者は後者の2倍の効率が得られている。

4. 室内放射温度分布

日射蓄放熱壁と外断熱外壁のある居室の室内環境を評価するため、室内の放射温度分布の実測を行った。

4.1 測定方法

放射温度計をモーターによって任意の速さで回転させる装置⁽⁶⁾を制作した。用いた放射温度計の仕様を表-4、測定装置を写真-2に示す。本研究では、放射温度計を2分間で1回転(360°)させて任意の室内の断面の放射温度分布を測定し、その場でパソコンの画面に結果をグラフ表示させ、傾向を把握できるようにした。放射率補正に関しては、周壁からの反射成分が放射率の欠損分を補って見かけの放射率が1.0に近い値になるであろうとの考え⁽⁷⁾から、測定の際の放射率は1.0で固定とした。図-8に居室で放射温度計を回転させた位置とその回転方向を示す。回転パターンはA~Cの3つとし、それぞれ内窓面、日射蓄放熱壁表面、東側外壁室内表面をトレースするようにした。

4.2 測定結果

図-9に放射温度分布測定の際の居室室温(FL+1.1m)及び外乱の経時変化を示す。放射温度分布は朝、昼、夜の計3回測定した。居

図-6 温室空気温度(上下2点平均)と日射量及び外気温度との関係

図-7 居室室温と日射量及び外気温度との関係

表-3 各測定データの期間平均

日射受熱面の仕上げ	日射蓄放熱壁の室内側表面熱流日収支(プラスが室内の取得)	放熱効率	日射蓄放熱壁室内側表面温度日平均値	日射蓄放熱壁温室側表面温度日平均値	南鉛直面全天日射量日積算値	外気温度日平均値	居室室温日平均値	温室空気温度日平均値	東側外壁室内側表面温度日平均値
選択吸収膜	195 Wh/m²/day	6.4 %	19.3 °C	22.3 °C	11 MJ/m²/day	3.0 °C	17.8 °C	16.9 °C	16.3 °C
つや消し黒色ペイント	97 Wh/m²/day	3.2 %	18.5 °C	20.3 °C					

表-4 放射温度計の仕様

測定方式	自己補償型放射温度計
検出素子	サーミスタ・ボロメータ
測定波長	8 ~ 12 μm
測定範囲	-30 ~ +100 °C
測定精度	±1 %
応答時間	約 0.3 sec (95%指示)

写真-2 放射温度測定装置

図-8 放射温度計の回転位置とその方向

室の南側が温度変化の大きな温室と、天井側と東側が外気に隣接しているが、建物の外断熱と構造体の熱容量が効いているため、一日を通しての室温変動は小さいと考えられる。測定時に人体や計測機器などの発熱によって室温が若干上昇しているが、図-10に示すようにこのときの上下温度分布は小さい。放射温度分布の測定結果を魚眼レンズで撮影した写真と合わせて図-11～13に示す。写真の外周部が放射温度測定断面であり、写真の中心と任意の測定断面の一点とを結んで延長させた線と円グラフが交わる場所がその点の放射温度となる。

図-11は内窓を含む断面（回転パターンA）の放射温度分布であり、内窓面（室内側にレースのカーテン有り）は日射のある時間帯で高く、日没後相対的に低くなる。これに対し、内窓の上下にある日射蓄熱壁の放射温度は日没後の午後8時頃が他の時刻よりも高い温度となっている。

図-12は南側がすべて日射蓄熱壁となる断面（回転パターンB）を測定したものである。これより、日射蓄熱壁の放射温度は午前中が相対的に低く、その後徐々に暖まって夕方に高めの温度になる様子が確認できる。

また、図-13は東側外壁を含む断面（回転パターンC）を測定したもので、外気に隣接する東側外壁の放射温度が若干低めになっているが、外断熱の効果により他の表面との温度差は比較的小さなものとなっている。

図-14に居室の中央で測定した6面の半球放射温度を示す。用いたセンサーはMM0036(B&K1213)である。窓面を含む南側半球放射温度は、センサーに直達日射は直接当たっていないが、窓面を透過する天空ふく射や内窓の長波長ふく射の影響で日中は他の面よりも高

図-9 放射温度分布測定日の室温 (FL+1, 100mm) と外乱の経時変化

図-10 放射温度分布測定時の上下温度分布

図-11 内窓面を含む放射温度分布（回転方向A）

図-12 日射蓄熱壁表面を含む放射温度分布（回転方向B）

図-13 東側外壁室内表面を含む放射温度分布（回転方向C）

めの値となっていることがわかる。その他の方向の放射温度は概ね均一といえよう。

図-15は比較のため、集合住宅(外壁;無断熱、窓;単板ガラス)の中間階中間部住戸における南側居室で窓面を含む断面の放射温度分布を測定したものである。外壁部分の梁や窓面に低温部が明確にあらわれており、室内の冷却面となっていることがわかる。また、この傾向は北側の居室で顕著であり、実際に窓や外壁隅角部での表面結露、カビの発生の一因ともなっている。

5. まとめ

付設温室と日射蓄放熱壁を有する外断熱建物の冬季実測を行い、日射蓄放熱壁が実測期間を通じてほとんど壁から室内に熱が流れる壁体として機能していることを示した。実測した居室は外断熱により安定した室温が得られているのに加え、日射蓄放熱壁の働きがさらに夜間の安定した室温形成に寄与していると考えられる。また、放射温度計を回転させる測定装置を制作してこの居室に適用することにより、日射蓄放熱壁が室温の低下する夜間の放射温度を他の壁面よりも高めに保持し、外断熱外壁がその断熱効果により室温に比べて若干低い程度の放射温度を保持していることなどを実測結果として視覚的に示すとともに、これらが室内環境の向上に寄与していることを裏付けた。

謝辞

放射温度計回転装置の製作に際してご指導頂いた国総研・倉山主任研究管に感謝の意を表します。

注

- (1) 夏季の日除けの設置位置とカーテンウォール上下を開放した状況は付図-1に示す通りである。
- (2) 測定対象室の南側に日照をささぎる建物は無く、実測期間中の測定点A、Bは温室の側壁とカーテンウォールのサッシの影になる時間が少しあるが、ほとんど日が当たっている。

文献

- (1) 木村建一、大高一博、橋本洋、西村和信:パッシブソーラーハウスのシミュレーション その1~2、日本建築学会学術講演梗概集 1978年9月 p.381-384
- (2) 長谷川房雄、石川善美、松本博:実験計画法によるパッシブソーラーシステムの効果分析、日本建築学会東北支部研究発表会 1982年2月 p.17-20
- (3) 中島康孝、関根賢太郎ほか:トロンプ壁を持つソーラーハウスの性能評価 その1~5、日本建築学会学術講演梗概集 1991年9月 p.1361-1364、1992年8月 p.1083-1084、1993年9月 p.27-30
- (4) 吉野博、長谷川房雄ほか:温室付トロンプ壁を持つパッシブソーラーハウスの熱的性能に関する実測、日本建築学会東北支部研究発表会 1985年11月 p.91-96
- (5) 中道孝雄、小坂信二、古田島清彦、沼田宏、三浦寿幸:付設温室をもつ外断熱建物の冬の熱性状について 実験建物における計測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 1984年10月、p.855~856
- (6) 倉山千春、荒谷登、絵内正道:放射温度分布による温熱環境表現の試み、日本建築学会学術講演梗概集 1983年9月
- (7) 鈴木憲三、羽山広文:建築環境における放射温度計、熱シンポジウム資料 1978年9月
- (8) 三浦寿幸、宮尾建一:温室と日射蓄熱壁を有する外断熱建物の室内放射温度分布、空気調和衛生工学会学術講演論文集 1989年10月 p.401-404

本論文は、文献(8)に新たな分析を加えて再構成したものである。

図-1 4 放射温度分布測定時の半球放射温度

図-1 5 集合住宅の断面図と放射温度分布

付図-1 夏季における温室カーテンウォールの開放と日除け
[2004年10月20日原稿受理 2005年2月23日採用決定]