実験住宅と実住宅における外壁のウレタン遮熱工法の夏期温熱環境調査 及び通気層内熱特性の分析

環境都市専攻 建築都市デザインコース 6143120012-0 酒向 真考 (指導教員 近本智行)

1. はじめに

国内の住宅政策として、省エネ基準の改正・改訂によ り住宅の高断熱・高気密化が推進されてきた。特に住宅 の断熱性能は、省エネ基準内において必要な断熱材厚み が設けられており、各部材の物性値から熱貫流率として 壁体性能の評価が決まり、その低減が図られてきた。

一方で、通気層の排熱効果や遮熱技術が注目されつつ あり、その評価方法を確立する必要があるが、現行の省 エネ基準では部材単体で評価され、通気層内の熱移動の 影響は加味されていない。

本研究では、構造材を囲むようにアルミを貼り、外気 側に通気層、室内側から発泡ウレタンを吹き付ける工法^{*} ¹⁾(以下、ウレタン遮熱工法)に着目した。特に夏期では、 外壁の日射熱をアルミ反射材で抑制し、通気層内で起こ る自然対流の上昇流を排気することで、壁体を通過する 熱を排出することが期待できる。

そこで、ウレタン遮熱工法と充填断熱工法の実験住 宅・実住宅を用いて、夏期における性能評価を行う。昨 年度の結果に加えて、実験棟を改修し測定を実施した。 また、室内温熱環境、電力消費量、通気層内熱特性の分 析や、実測より求めた実際の熱貫流率(以下、相当熱貫 流率)を算出し、通気層での排熱効果やアルミによる遮 熱効果の評価を目指す。

2. 実験概要

ウレタン遮熱工法を施した棟(以下、屋外を A 棟、屋内 を A^{*}棟)と、構造部材の隙間にグラスウールを詰め込ん だ工法(以下、充填断熱工法)を施した棟(同様に B 棟及 び B^{*}棟)を製作した^{x1)}。また、実住宅においても実測を 行った。壁面工法詳細、測定概要、各住宅熱貫流率をそ れぞれ図1、表1、表2に示す。

2.1 屋外実験棟

実気象下での実測を目的として、立命館大学びわこく さつキャンパスの敷地内に実験棟を建設した(図2)。各 棟は 1.8m×2.7m平面で、長辺が東西に面している。また 窓は設置しておらず、東面に扉を設置している^{注1)}。図1 に示す通気層幅を 15mm から 24mm に変更し、昨年度と の比較を行う。

2.2 屋内実験棟

定常状態時における壁体内の温度分布詳細、通気層内

熱特性の把握を目的として、立命館大学びわこくさつキ ャンパス・風環境実験室内に屋内実験棟を制作した。図3 に屋内実験棟の空間断面図を示す。各棟は 2.7m 角正方形平 面であり、空調機を用いて各季節環境を再現するために、 実験棟の周囲に環境調整空間を設けた。図1に示すウレ タン遮熱工法の空気層内に、カネライトフォーム 20mm を石膏ボードに接するように導入し、充填断熱工法との 熱貫流率を同程度にした。



表 1 測定概要

測定機器	測定項目				
熱電対	部材間温度、室内上下温度、 環境調整空間温度				
多点風速計※1	通気層内風速				
電力量計※2	エアコン電力消費量				
全天日射計※2、3	全天日射量				
クールメモリ※3	屋外温度、室内表面温度 屋根表面温度				
※1屋内宝輪棟 ※2屋外宝輪棟 ※3宝住宅					



図2 屋外実験棟外観

表2 名	}住宅	熱貫流	ī率	表3 実住宅概要		
	熱貫流率[W/㎡・K]				ウレタン遮熱エ法	一般工法
上法	屋内	屋外	実住宅	所在地	京都府南丹市	京都府南丹市
ウレタン	ウレタン		0.07	建築年月	2013年	1992年
遮熱工法	0.54	0.97	0.97	延床面積	138m [®]	109.3 m [*]
充填断熱	0.54	54 0.54	0.54	構造	木造	木造
工法	0.54			階数	2階	2階



Thermal Environment in Summer and Analysis of Ventilated Air Layer Heat Characteristic by Ventilated Air Layer with Aluminum Sheet in wall in Experiment House and Residential House SAKO Masataka

2.3 実住宅

実際の住宅規模における性能評価を目的として、京都 府南丹市に存在するウレタン遮熱工法を施した住宅と、 一般住宅において測定を実施した。実住宅の概要を表3 に、図4、図5にそれぞれの平面図、測定機器設置場所 を示す。屋外環境の影響を受けやすい2階を対象として 測定を行った。開口部からの日射の影響を少なくするた めに、すべての窓に内側からアルミ反射材を設置した。

3. 屋外実験棟における夏期実測

屋外実験棟において実測調査を行った。測定期間は、 2012年7月23日~2013年9月31日とした。実験棟の改 修工事を2013年5月27日~31日に実施した。

3.1 実測結果

図6に通気層内温度比較、図7に断熱材通気層側表面 温度、図8に夏期室内温熱環境を示す^{注2)}。図6,7,8 は日射量が十分な快晴日を対象としている。改修前後で の比較では、外気温度変化と日射量が近似している日を 選んだ。

図6より、通気層幅を 15mm から 24mm に広げたため、 通気層内部が外気温度の影響を受けやすくなり、改修前 後で比較すると、通気層内温度がピーク時において 15℃ 程度低下している。改修前は A 棟の通気層内温度が高く 排熱効果の促進が見られたが、改修後は通気層幅が広が ったため、両棟における差はあまり見られなかった。

図7より、A 棟は外装材通気層面からアルミ反射材への放射熱伝達量を抑制しており、日中ピーク時において B 棟よりも約3℃低い温度を示している。

図8より、A棟ピーク時の温度に比べ、B棟ピーク時で は室内温度が約1℃高い温度を示していた。A棟ではアル ミ反射材が放射熱伝達を抑制し、室内への熱移動を減少 させ、ピークの温度上昇を抑えていることがわかる。

3.2 夏期電力消費量比較

表4、図9に測定日屋外環境概要、エアコン電力消費 量を示す。エアコンの設定温度を 28℃とし、風量は自動、 風向は上向き固定とした。エアコン稼働時間は 9 時~18 時として測定をした。

A 棟のエアコン電力消費量は総じて B 棟よりも抑えられており、最大で B 棟より 14% 削減されていた。





	気温	(°C)	電気使用量	ロ昭時間(よ)					
	最高	最低	A棟※	B棟	口照时间(1)				
8月15日	36.4	24.8	669.2(95.3%)	701.7	11.0				
8月16日	35.3	26.3	565.9(86.3%)	655.0	9.2				
8月20日	37.3	26.6	745.2(93.4%)	797.1	9.9				
8月21日	35.1	27.0	571.7(89.3%)	640.0	4.3				
8月22日	36.4	26.5	515.7(90.5%)	569.7	4.3				
※括弧内はB棟の電力消費量を100%とした時のA棟の値を示す									

4. 実住宅における夏期実測

京都府南丹市に存在するウレタン遮熱工法を施した住 宅と一般工法の住宅において実測を行った。2013 年 9 月 10 日~9 月 16 日にかけて測定を行った。測定期間は居住 者はおらず、温熱環境のみの測定としている。

図10に南西部屋温熱環境、図11に各部屋 SET*を示 す。対象日は、雨天を除く9月11日~13日とする。

図10より、一般工法では一日の室内温度差が最大 7.6℃あったが、ウレタン遮熱工法では最大 4.7℃に抑えら れていることがわかる。日中の最高温度もウレタン遮熱 工法のほうが1℃低い値を示している。また南面内壁表面 温度についても、一般工法では温度差が 9.5℃、ウレタン 遮熱工法では5℃と外壁の断熱、遮熱性能が見られる。ア ルミが放射熱を抑制し、通気層からの排熱により、温度 の上昇を抑えることに加え、ウレタン遮熱工法の気密性 能の高さ^{x2)} が室内温度を安定させていると考えられる。

図11より、SET*では室内温度よりも、温度差が大き くでており、一般工法では10.4℃差であったが、ウレタ ン遮熱工法住宅では5.4℃に抑えられていた。室内温度に 加えて、室内壁表面の温度差によって体感温度にも大き な差が生じていることがわかる。

5. 屋内実験棟による定常状態実験

5.1 実験概要

表5に測定ケースを示す。夏期の想定として、日射を 再現するため、各実験棟の外壁1面を面状発熱体、屋根 裏空間は白熱灯で約45℃に発熱させた。また、屋外温度 は温度差を持たせるために、35℃と30℃のケースを設け た。充填断熱工法の通気層上下をスタイロフォームによ り密閉させて空気層とするケースも設けた。

5.2 部材間温度分布比較

実測値と物性値から算出した計算値の各部材温度の比 較を行った。実測値は、外壁の中心点の熱電対の値を用 いた。図中の括弧なしの値を実測値、括弧ありの数値を 計算値とする。

図12に夏期実測における壁面 70℃時の部材間温度分 布を示す。CaseⅢの断熱材通気層側表面温度では、計算値 よりも実測値が 12.5℃低い温度を示しており、アルミ反 射材による放射熱抑制が行われていることがわかる。ま た、室内表面温度を比較すると、case I・case II・case II と順番に低い温度を示しており、通気層による排熱とア ルミ反射材による遮熱によって、定常状態時においても 室内の放射熱環境の改善が見られた。

5.3 通気層内風速·排熱量特性

通気層内の熱特性の把握として、通気層内上下温度差 から上下圧力差を算出した。通気層の通気による排熱量 q_{cv}は単位横幅(1m)あたりの通気量 Q[m²/s]を用いた次式よ り算出した^{文 3)}。図13に通気層内風速^{注3)}、図14に圧力 差と排熱量の相関を示す。



図13より、通気層下部においては、外気と通気層内 で温度差が大きく、高い風速を示していたが、上部では 通気層内で温度差が小さくなるので、低い風速を示して いることがわかる。図14より、通気層内圧力差が大き くなるほど排熱量も増加しており、相関関係が見られた。 工法別でみると、A^{*}棟のほうが B^{*}棟の場合よりも大きな 排熱量が生じていることがわかる。

図15に通気層内の熱伝達現象の内訳を示す^{x_1})。図1 5の式より算出した、通気層内の高さ方向における q_{ev} の 内訳を図16に示す。図16より、下部から上部へ向か うほど排熱の割合が低下していることがわかる。**B**^{*}棟に 比べ **A**^{*}棟では、通気層高さが高くなるほど、対流による 排熱が減少する割合が小さいことがわかる。

これは、アルミによる放射熱抑制によって、放射熱伝 達量が小さくなり、対流熱伝達量が増えるからである。 このため、通気層内の温度が上昇し、自然対流の上昇流 による排熱が促進されている。

5.4 相当熱貫流率の算出

実測より求めた実際の熱貫流率(以下、相当熱貫流 率)算出の方法を示す。

$$q_2 = \lambda_2 (\theta_2 - \theta_3) / \delta_2 \quad K_0 = q_2 / (\theta_{so} - \theta_3)$$

図17に排熱量と相当熱貫流率の相関を示す。排熱量 が増加するほど、相当熱貫流率値が低下しており、断熱 性能が向上していることがわかる。B^{*}棟よりもA^{*}棟の相 当貫流熱率が優れた値を示していた。

6. まとめ

本研究は、実験住宅・実住宅においてウレタン遮熱工 法の性能評価を行い、通気層内熱特性の分析を行った。 得られた知見を以下に示す。

1)屋外実験棟では、通気層幅の拡大により、通気層温 度差が見られなかったが、室内温度はピーク時において ウレタン遮熱工法が良好であった。

2)実住宅では、室内環境・体感温度ともにウレタン遮 熱工法住宅が安定した温度を示していた。

3)熱特性分析により、差圧と排熱量の相関、排熱量と 相当熱貫流率の相関が見られた。相当熱貫流率もアルミ と通気層によって計算値以上の値を示した。

注釈

注1) 扉からの熱の移動を少なくするため、室内側にウレタン、屋外 側にアルミを貼る仕様とした。注2) 外気温度は、大津市のアメダス を使用した。注3) 風速は、通気層上下端部から 150m、水平方向に 200mm 間隔、計24点で測定し、平均値を使用した。 参考文献

- 近本智行、田嶋圭一ら:通気層とアルミ反射材の複合工法による 熱負荷低減効果の検証(その1~3),日本建築学会大会学術講演梗 概集 D-2,p107-108,2012.09 ほか
- 2)田嶋圭一、近本智行:CO2削減に向けた省エネ住宅の研究(その 2)住宅の新築及び既存改修における断熱範囲の設定と居住環境 における省エネ効果の検証、空気調和衛生工学会学術論文集、 pp.1821-1824、2011年9月
- (3)赤坂裕ら:通気層を有する外壁、屋根の遮熱・断熱効果の計算法、日本建築学会論文集 NO.595,p33-40,2005.09

