

現場における熱貫流率簡易測定法の開発

1033118 五十嵐 幹郎 1033220 木村 芳也
指導教員 成田 健一

1. 研究の目的

関東以西の温暖地には熱性能の低い既存住宅が多く存在し、改修により既存ストックの熱的性能を高めることは、京都議定書に代表される省エネルギー政策の観点からは重要な課題と言える。しかし、改修前後での断熱性能に関する性能検証法は確立されておらず、低コストで且つ現場で適応可能な測定法の開発が必要とされている。これらの背景を考慮し、本研究では、現場における熱貫流率簡易測定法開発のための検討を行う。

2. 熱貫流率の測定システムと算出法

2-1 測定システム 本研究で開発を検討する熱貫流率(以下K値とする)の測定システムは、図1のように、熱流計、SAT計、温度センサー(熱電対)で構成される。SAT計は日射など、外壁表面の入射熱量を加味した相当外気温度を測定するためのもので、銅板裏面を断熱し、その間に温度センサーを埋め込んだものである。表面の銅版は測定物と同じ色に塗ることで、放射成分を正確に反映できる。室内側温度は、熱電対などの一般の温度センサーとする。熱流計は、センサー両面の温度差により起電力が発生するもので、通過した熱量に応じた電圧を測定し、センサー毎の感度定数で熱流を換算するものである。最終的に、測定システムは一般のビルダーでも購入できるよう、20万円以下になることを見込んでいる。

2-2 熱貫流率の算出法 本研究では、①熱流一定となる定常状態を想定した手法と、②応答係数を推定して熱貫流率を同定する、2種類の手法について検討する。

①定常状態を想定した手法 夜間など外気の温度変動が小さい時間帯の熱流及び内外温度差を用い、表1の(1)又は(2)式によって算出する。屋外実験では(2)式を用いて室内温度と室外SAT温度差から、熱貫流率を求める。本算出法は非常に簡便であるが、温度変動の影響を受けるデメリットがある。

②応答係数を用いた同定法 壁体の貫流応答を ϕ 、吸熱応答を φ とすると、熱流 $q(n)$ は表1の(3)、(4)、(5)式で表される。本手法では、熱流と温度の測定値から未定係数である $K, A_1, A_2, \lambda, \mu$ を非線形最小二乗法によって同定する。この算出法は、温度が大きく変動する非定常状態においても適用できる手法であり、複雑な変動を伴う実環境での測定に適している。

3. 実験室における測定システムの精度検証

3-1 実験概要 ここでは、簡易測定法開発の前提として、定常条件下における測定手法の精度を検証する。

試験体は熱伝導率既知の材料で構成され、断熱性や熱容量などが異なる図4の仕様とした。実験は、試験体の室内側表面に熱流計を密着させ、図5の2つの恒温室の界壁に取り付け(写真1参照)、内外の温度差が一定となるよう制御し、内外温度差は、15℃とした。また、熱流計側面からの熱損失の影響を検証するため、図6のように熱流計表面への薄い断熱材(発泡ポリスチレン d=5mm)を貼付し、その影響についても検討した。

表1 熱貫流率算出式

$$K = q / (\theta_r - \theta_o) \quad \dots (1)$$

$$K = q / (\theta_o - SAT) \quad \dots (2)$$

$$q(n) = \sum_{j=0}^{\infty} \phi \theta_o^{n-j} - \sum_{j=0}^{\infty} \varphi \theta_r^{n-j} \quad \dots (3)$$

$$\phi(t) = K + A_1 (1 - e^{-\lambda t}) \quad \dots (4)$$

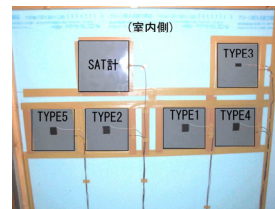
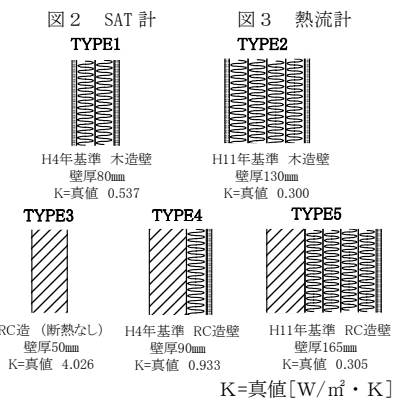
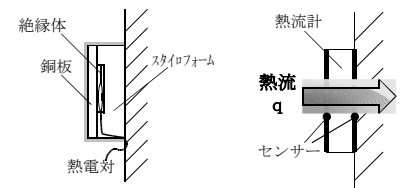
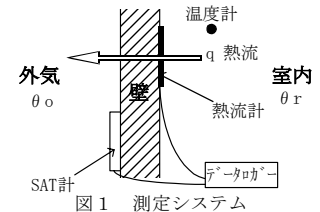
$$\varphi(t) = K + A_2 (1 - e^{-\mu t}) \quad \dots (5)$$


写真1 室内側試験体設置状況

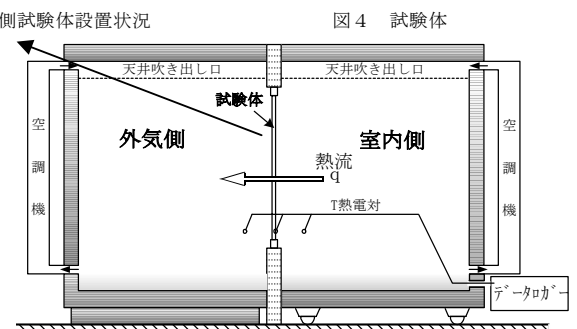


図5 実験室

1033220 木村 芳也 1033118 五十嵐 幹郎

3-2 実験結果・考察

熱貫流率の測定結果と真値との誤差関係を図 7 に示す。凡例の貼付あり・なしは、熱流計表面への断熱材の有無を意味する。断熱材を貼付しない場合、熱貫流率が低くなるほど、測定結果と真値の誤差は大きくなっており、20%にも達している。一方、熱流計に薄い断熱材を貼付したものは、10%の誤差に収まっている。これは、熱流計が固体間に挟まれた状態で感度定数を定めているため、断熱性の高い試験体では熱流計両面の表面温度差が小さく、流体の微小な温度変動の影響を受けていることが予想される。結果として本測定システムでは、熱流計への 5mm 程度の断熱材の貼付により、定常状態では 10%程度の誤差範囲で熱貫流率を測定できることを確認した。

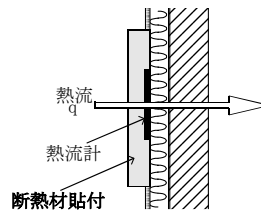


図 6 断熱材貼付図

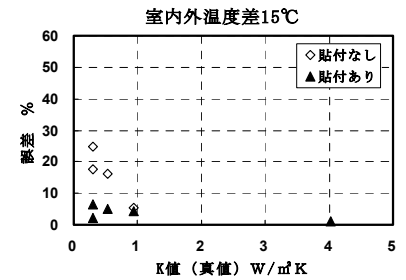


図 7 K 値の真値と誤差の関係

4. 屋外実験

4-1 実験概要

ここでは、前節で用いた 5 種類の試験体を屋外環境に面して設置し、実際の住宅と同じ状況下で測定が行えるかを確認する。熱貫流率の算出は 2 節で示した①と②の手法を用い、その精度を検証する。試験体は写真 2、3 のように、実際の建物の南側開口部に取り付け、室内側は、エアコンを用いて内外温度差をつける。測定期間は 2006 年 12 月 8 日～15 日とした。

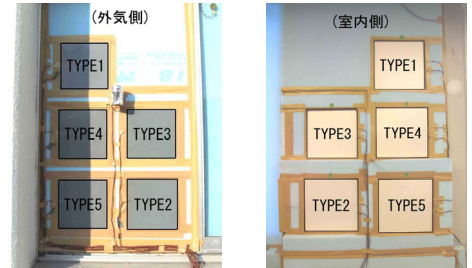


写真 2 屋外実験(外気側) 写真 3 屋外実験(室内側)

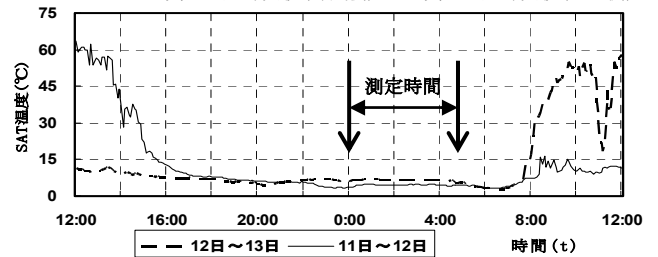


図 8 屋外での夜間測定時間

4-2 結果・考察

定常状態を想定した①では、外気が(図 8)のように定常状態になる 0 時～5 時のデータを平均化して用い、②の応答係数推定法では時系列データを使用し、熱貫流率を算出した。

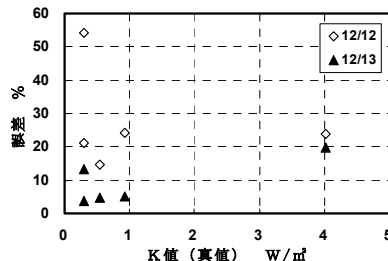


図 9 K 値の真値と誤差の関係(手法①)

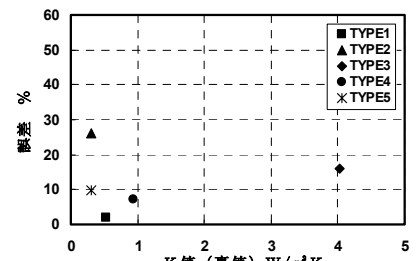


図 10 K 値の真値と誤差の関係(手法②)

測定結果と真値との誤差関係を図 9 及び図 10 に示す。手法①では室内実験より精度が落ちるものの、TYPE3 を除けば誤差 15%以内に収まった。また、手法②では TYPE2、TYPE3 の誤差が大きくなっていたが、他は 10%の誤差範囲に収まった。手法①については、図 11 に示すように外気温の標準偏差と熱流計測定値の標準偏差が誤差に大きく関係していると思われ、熱流の 1 日ごとの標準偏差が 0.2 以下であることが望ましいと言える。一方、手法②では、TYPE2 で 26%の誤差が生じていた。これは、手法②が非線形の最小二乗法を用いているため、初期値の設定により同定値が変わるなど、解析上の問題点があるためと思われる。

5. まとめ

本研究では、現場における熱貫流率の測定システムを提案し、熱流の測定法と熱貫流率の算出法に関する検討を行なった。内外温度差の大きい冬季ならば、温暖地の一般的な断熱外壁を想定した場合、手法①では誤差 15%、手法②では誤差 10%程度で熱貫流率を求められる可能性のあることを確認した。手法②の解析法や両手法の適用条件等は今後の課題であり、内外温度差の小さい夏季や中間期の検証も必要と思われる。

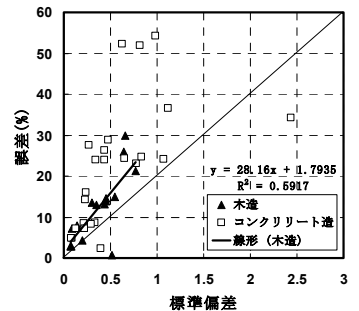


図 11 熱流の標準偏差と誤差の関係(0～5 時の値)