



遮熱部材を用いた外壁・屋根の断熱性能評価

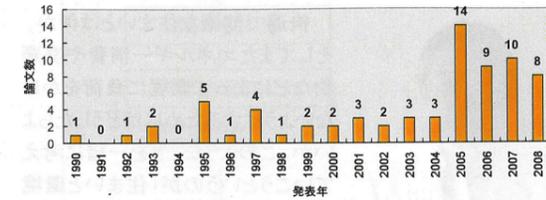
Keyword: 遮熱・通気層・放射・断熱

文・本間 義規 岩手県立大学 盛岡短期大学 准教授 フォーラム正会員C

遮熱技術の進展

最近、遮熱建材や遮熱塗料が相次いで開発され市場投入されています。夏場の日射対策すなわち冷房負荷の低減を目的としているものが多く、もともと薄断熱を旨とする蒸暑地向けに開発されたもの、というイメージがあります。日本建築学会大会データベースを利用して「遮熱」というキーワードで検索してみると、71件の大会論文がヒットしました。内訳は、外壁の遮熱を扱ったものが11件、屋根・天井のみを扱ったものが26件、外壁・屋根・天井を全て扱ったものが27件、遮熱塗料のみを扱ったものが7件です。このうち、九州地域の研究者・技術者による研究報告は25件(全体の約35%)を占めるのみで、必ずしも蒸暑地のみホットな話題ではないことがわかります。図1は遮熱に関する研究報告件数を年別に示したものです。1995年に一度ピーク(5件)があり、そのあとは2005年に14件、その後コンスタントに毎年8~10件が報告されています。東京都が行っている建築物環境計画制度にヒートアイランド対策が盛り込ま

れたのが2005年、日本ヒートアイランド学会が設立されたのも2005年です。遮熱対策は大都市のヒートアイランド対策によって一気に進んだといえます。ただ、『遮熱』という言葉は、「熱を遮る」という意味ですから、断熱の一方法ではありませんが、必ずしも『遮熱』=『断熱』ではありません。これを理解するには伝熱の3形態を知る必要があります。



伝熱の3形態

伝熱現象には、「熱伝導 (heat conduction)」、「対流 (convection)」、「放射 (thermal radiation)」の3つの形態があります。「熱伝導」は固体内を熱が伝わる状態のことをいい、物体の温度差=温度勾配に比例します(1式)。「対流」は固体と流体との間で生じる熱移動のことをいい、(2)式で表されます。式中に登場する $\alpha_c$ は対流熱伝達率を表しており、温度や熱流の向き、流体の状態によって変化する物性値です。「放射」は、可視光や赤外線などの電磁波によってエネルギーが移動することをいい、(3)式で表されます。 $\sigma$ はステファン・ボルツマン定数で $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ という値をとります。 $T_1$ と $T_2$ の温度差が大きくなり、常温域であれば、 $T_1$ と $T_2$ の平均温度を $T_m$ とすると放射熱伝達率 $\alpha_r$ を(4)式のように近似して、(3)式は(5)式のように表されます。すると、(2)式と(5)式は加算的に計算できるようになり、 $\alpha = \alpha_c + \alpha_r$ と書くことができます。この $\alpha$ が総合熱

通気層の放射伝熱のしくみ

放射熱伝達の効果を計算してみましょう。通気層は無限平行2平面とみなせるので、有効放射率 $\epsilon_{12}$ は(6)式で計算できます。一般の建築材料の $\epsilon$ は0.9程度ですから、これを0.9として(6)式で計算すると $\epsilon_{12}(0.9 \cdot 0.9)$ は0.818、通気層の一面が $\epsilon=0.1$ のアルミ、もう一面が通常建材( $\epsilon=0.9$ )の場合 $\epsilon_{12}(0.9 \cdot 0.1)$ は0.099、通気層の両面が $\epsilon=0.1$ のアルミの場合、 $\epsilon_{12}(0.1 \cdot 0.1)$ は0.053となります。通気層の両面がアルミになると、放射成分を93%カット、片面のみがアルミの場合でも88%の放射成分をカットすることができます。対流と放射の割合が半々であると仮定すると、片面のみがアルミの場合でも約4割程度のエネルギーの移動を抑制できることになります。図2は断熱壁体の断熱材R値と熱貫流率の関係を見たものです。表面の放射をコントロールしたものと通常条件のものとを比較していますが、断熱材R値が大きくなると両者の差はほとんどなくなります。断熱性能が高くなると常温域での放射コントロールはあまり効かなくなるのです。一方、断熱性能が低いときには効果的であることがわかります。

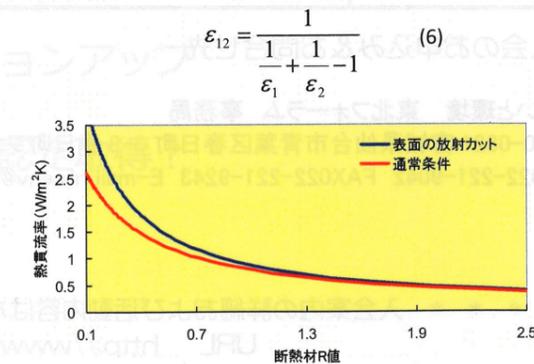


図2 表面放射熱伝達が熱貫流率に与える影響

伝達率と呼ばれるものであり、通常われわれが熱貫流率の計算で使用されるものになります。この3つの伝熱形態のうち、断熱は $q_{hc}$ 、 $q_c$ 、 $q_r$ の全てを対象とするのに対し、遮熱にかかわるのは $q_r$ の「放射」のみです。

熱伝導に関するフーリエの法則 (Fourier's law)  $q_{hc} = -\lambda \frac{dT}{dx}$  (1)

ニュートンの冷却則 (Newton's law of cooling)  $q_c = \alpha_c (T_1 - T_2)$  (2)

ステファン・ボルツマンの法則 (Stefan-Boltzmann's law)  $q_r = \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$  (3)

$\alpha_r = 4\epsilon\sigma T_m^3$  (4)

$q_r = \alpha_r (T_1 - T_2)$  (5)

多層断熱技術と真空断熱技術

宇宙空間では、多層断熱技術 (MLI: Multi-Layer Insulation) が用いられます。宇宙では、直射日光の当たる部分は150°Cを超え、影になる部分は-100°Cにもなる特殊な空間です。すし、そもそも真空ですから対流伝熱を生じません。一方、真空技術でよく知られているのが魔法瓶です。液化したガスを保存する技術として開発され、その後、1891年にはイギリスのデュワーが-196°Cの液体窒素保存用に内側に銀メッキを施した二重壁ガラス瓶を製作、これが後の魔法瓶の原型になりました。宇宙空間と極低温の世界、どちらも極端な温度環境ですが、「多層膜による放射成分のカット」と「真空であること」が断熱の主役です。今回の話題である遮熱塗料や通気層技術は前者、真空断熱材は後者に該当します。

日射反射率と通気層の長波長放射率コントロールの効果

外装材の日射反射率と通気層内の長波長放射率をパラメータとしたシミュレーション結果を図3から7に示します。西面の壁を対象としています。気象データは盛岡のEAデータ標準年を用いました。冬期(2/1-2/7)は常に室内からの熱損失が生じていますが(図4)、夜間は通気層の放射率の小さいモデルで熱損失が小さくなり、日中は、日射反射率の大きいモデルは日射熱を反射してしまうため、逆に熱損失が大きくなります。図5は通気層内風速のシミュレーション結果です。日射があると通気層の温度が上昇し、通気層内風速は大きくなります。図6は夏期(8/1-8/7)の室内側表面熱流を示しています。熱流は外装材の日射反射率に大きく影響を受け、日射反射率が0.8くらいだと平均流入熱をほぼゼロ以下にすることが可能になります。

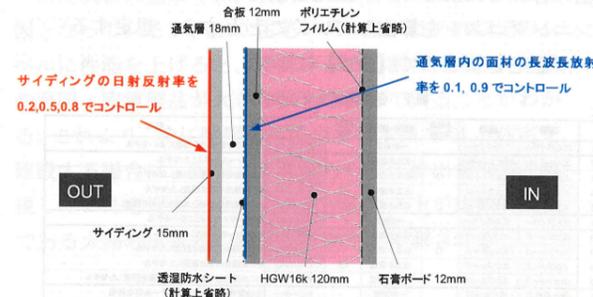


図3 シミュレーションに用いた壁体モデル

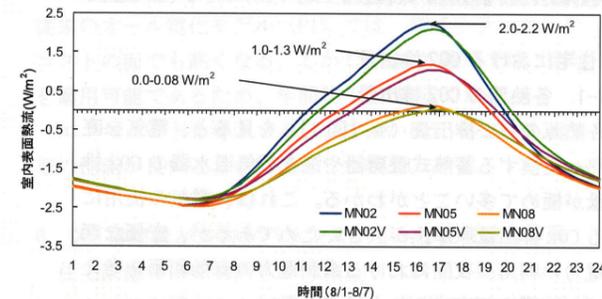


図4 冬期における室内側表面熱流(時刻別平均)

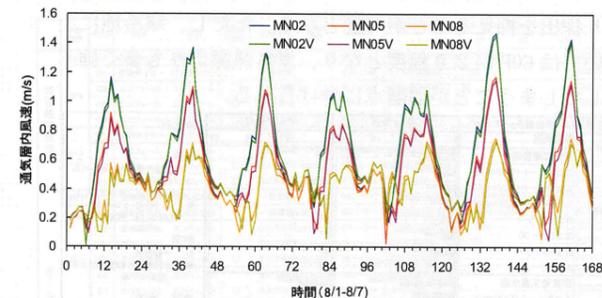


図5 冬期における通気層内風速

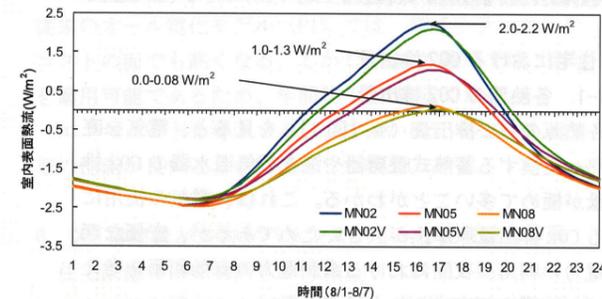


図6 夏期における室内側表面熱流(時刻別平均)

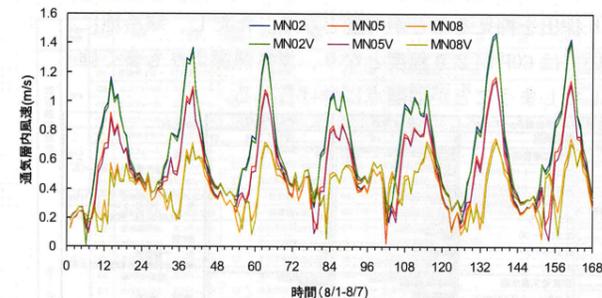


図7 夏期における通気層内風速

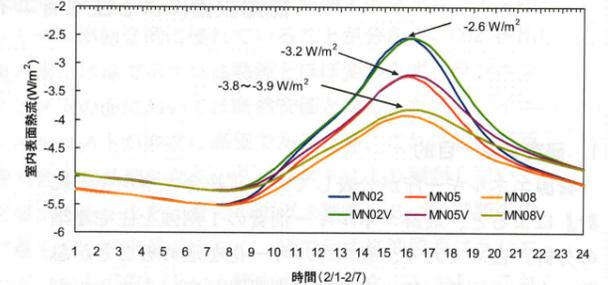


図4 冬期における室内側表面熱流(時刻別平均)

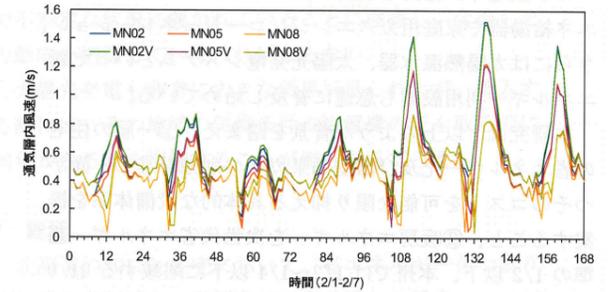


図5 冬期における通気層内風速

表 シミュレーションの組み合わせ

	日射反射率0.2	日射反射率0.5	日射反射率0.8
通気層 $\epsilon=0.9$	MN02	MN05	MN08
通気層 $\epsilon=0.1$	MN02V	MN05V	MN08V

注) 例えばMN02VはM:盛岡, N:標準断熱仕様, 02:日射反射率を表し、通気層内外装材側で長波長放射率が0.1はその後ろに「V」をつけている。0.9の場合は何も記号を付していない。通気層内室内側は0.9で共通。

建築の断熱外皮としての懸念

総合熱伝達率を用いる熱貫流率計算は、放射に関する工夫や通気層の効果がQ値に反映させることができませんでした。しかし、もともと断熱厚の薄い蒸暑地域での遮熱技術導入には、放射や通気層の効果をR値に反映させるしくみが必要です。『自立循環型住宅への設計ガイドライン(蒸暑地版)』では、放射の効果を断熱性能に見込む方法が組み込まれています(冊子は2009年2月ごろ完成予定)。

ただ、放射の効果を見込んだ施工事例を散見すると、いくつか不安な点があります。ひとつは、放射のみで断熱性能をカバーできると考えがちな点、もうひとつは内部結露の問題です。断熱性能が低くて日射が直接当たる部位でなければ、放射のみをターゲットにした断熱はあまり効果はありません。その意味で東北地域では、全面適用ではなく適材適所の利用が求められます。また、外気に近い通気層でのアルミ膜設置は、適切な透湿の工夫をしていないと内部結露を生じさせる原因になります。必ず外装材側に設置することとし、もし躯体側に設置する場合は、透湿の工夫を施すことが必要です。

参考文献

- 1) 日本機械学会: 伝熱工学, 丸善, 2005
- 2) 福迫尚一郎・稲葉英男: 低温環境下の伝熱現象とその応用, 養賢堂, 1996
- 3) 日本建築学会HP, <http://www.aij.or.jp/aijhomej.htm>