

面部材が非気密に付属する開口部の熱貫流率に関する 数値計算法の提案と断熱効果の検討

正会員 菅原 正則*
同 清水 則夫**

窓 断熱 結露
通気 付属部材 数値計算

1. はじめに

筆者ら¹⁾はこれまでも、縁辺部の通気が無視できない付属部材による窓開口部の断熱効果を検討してきたが、その後、数値計算の精度を高めて再検討したので報告する。

2. 数値計算法の提案

開口部全体の2次元熱空気移動計算法は、図1および表1に示す通りである。ただし、サッシおよび付属部材における面方向

の熱伝導は無視している。既報¹⁾からの変更点は、空気層内における自然対流熱伝達率の追加および付属部材側面にある隙間の上下端通気率への割り増しである。これにより、高さ 1,311mm × 幅 1,671mm のサッシ (熱貫流率 3.510W/m² K) へ既存の付属部材 (室内側: 断熱内戸、和紙障子、透光断熱障子、カーテン/屋外側: 鋼板雨戸、断熱雨戸) を取り付けたいくつかの組み合わせについて、BLT WDW-01 による実験値に対する計算値の割合は、既報¹⁾において 54~105% (平均 75%) だったところ、この計算方法では 72~105% (平均 83%) まで改善された (図2、計算条件の詳細は既報¹⁾参照)。さらなる計算精度向上のために

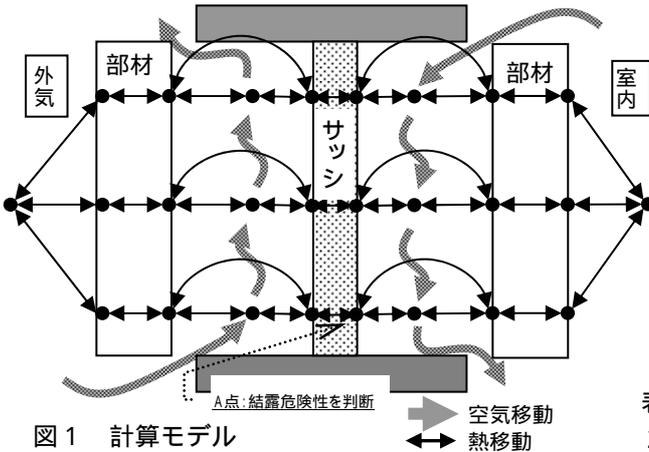


図1 計算モデル

図2 開口部における熱貫流率の実験値 (BLT WDW-01) と計算値との関係

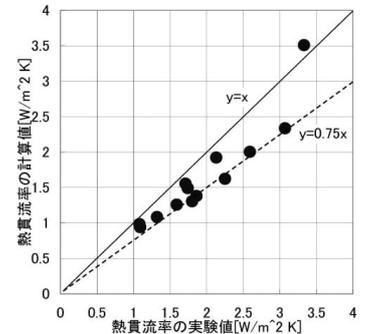


表1 2次元熱空気移動計算の方法

<p>■空気層内気流速度 上端および下端にある隙間に対する圧力差によって生じる透気に起因するものとする。右図のように圧力条件[Pa]を与えると、次の関係式が得られる。なお、静圧については付属部材下端を基準 ($p_{s,l} = 0$) とし、また空気層内全圧 p_o [Pa] の動圧成分は無視する。</p> $p_{s,n} = -\rho_o g y \quad (1)$ $p_d = C \times \frac{1}{2} \rho_o w^2 \quad (2)$ $p_{o,n} = p_{o,l} - \rho_o g \sum_{l=1}^n \rho_l \quad (3)$ $Q = \rho_o A_l p_{d,l} - p_{d,m} ^{\frac{1}{2}} = \rho_o A_m p_{o,m} - (p_{s,m} + p_{d,m}) ^{\frac{1}{2}} \quad (4)$ ($p_{d,l} - p_{d,m} < 0$ または $p_{o,m} - (p_{s,m} + p_{d,m}) < 0$ の場合、空気層内気流は下向き) $v_l = \frac{Q}{\rho_l D} \quad (5)$ ただし、 ρ : 空気密度[kg/m ³] ($= 1.293 \times \frac{273.15}{\theta}$)、 θ : 空気温度[K]、 g : 重力加速度[m/s ²] ($= 9.80665$)、 y : 付属部材の上下端長さ[m]、 C : 風圧係数[ND]、 w : 屋外風速[m/s]、 Q : 隙間の通過空気量[kg/s]、 A : 隙間の通気率[m ³ /s Pa ^{1/2}] (差圧 1 Pa のときの通気量)、 n : 隙間特性値[ND]、 v : 空気層内気流速度[m/s]、 D : 空気層の水平断面積[m ²]。 添え字は、 s : 静圧、 d : 動圧、 a : 空気層内の全圧、 o : 屋外、 $l \dots m$: 質点番号 (l : 下端、 m : 上端)。 <p>■放射熱伝達 放射による熱伝達量 H_r [W/m²] は次式により求める。 $H_r = \epsilon_{i,j} \sigma (T_i^4 - T_j^4) \quad (6)$ ただし、ϵ: 放射率[ND]、T: 要素温度[K]、 σ: シュテファン・ボルツマン定数[W/m² K⁴] ($= 5.67 \times 10^{-8}$)、 添え字 i, j: 要素 i, j</p> <p>1) 空気層内 $\epsilon_{i,j} = 1 / \left(\frac{1}{\epsilon_i} + \frac{1}{\epsilon_j} - 1 \right) \quad (7)$</p> <p>2) 雨戸の屋外側 $\epsilon_{i,j} = \epsilon_i \epsilon_j \quad (8)$</p>	<p>図 空気層内気流速度算出のための圧力設定</p> <p>■強制対流熱伝達率 1) 空気層内 次式で定義されるヌセルト数 Nu [ND] から強制対流熱伝達率 h [W/m² K] を求める。 $Nu = \frac{hd}{\lambda_c} \quad (9)$ ただし、λ_c: 質点 l における空気熱伝導率[W/m K] ($= (0.76(\theta_l - 273.15) + 24) \times 10^{-4}$)、 d: 空気層水平断面の相当直径[m] ($= 4D/L$、L: 周長[m])</p> <p>A. 層流 ($Re \leq 2000$) の場合 (Re: レイノルズ数[ND]) $Nu = 8.23 \quad (10)$</p> <p>B. 乱流 ($3000 < Re < 10^4$) の場合 式 (11) で定義されるプラントル数 Pr [ND] が 0.5~2000 の範囲にあるとき、式 (12) から Nu を得ることができる。 $Pr = \eta_l c_f / h_c \quad (11)$ ただし、η_l: 質点 l における空気の粘性係数[Pa s] ($= 18.2 \times 10^{-6} \frac{293.15 + 117}{\theta_l + 117} \left(\frac{\theta_l}{293.15} \right)^{\frac{3}{2}}$)、 c_f: 空気の比熱 (=1006) [J/kg K] $Nu = \frac{(f/2)(Re - 1000)Pr}{1 + 12.7\sqrt{f/2}(Pr - 1)} \quad (12)$ ただし、f: 管摩擦係数[ND] ($= (3.64 \log Re - 3.28)^{-2}$)</p>	<p>2) 雨戸の屋外側 次式の普通面におけるコルグスの式を用いる。 $h = 5.8 + 3.9w \quad (w \leq 5) \quad (13)$ $h = 7.1w^{0.78} \quad (w > 5) \quad (14)$</p> <p>■空気層内の自然対流熱伝達率 空気層の厚さ b [m] に対し幅が充分長い場合の次式で定義されるヌセルト数 Nu [ND] から自然対流熱伝達率 h [W/m² K] を求める。 $Nu = \frac{h' \times 0.347b}{\lambda_c} \quad (15)$ 一方、次式で定義されるレーレー数 Ra [ND] $Ra = Pr Gr \times 0.347b/z \quad (16)$ ただし、Gr: グラスホフ数[ND] ($= g \frac{[T - \theta_l] b^3}{\theta_c} \left(\frac{\rho_l}{\eta_l} \right)^2$)、 z: 質点に対応する空気層長さ[m] の範囲によって、次のように Nu' を求める。</p> <p>A. $Ra \leq 0.4$ の場合 $Nu' = Ra \quad (17)$</p> <p>B. $Ra > 0.4$ の場合 $Nu' = 0.795 \left(\frac{Pr Ra}{1 + 2\sqrt{Pr + 2Pr}} \right)^{0.25} \quad (18)$</p> <p>■空気層内の対流熱伝達率 空気層の上下端にある隙間からの透気により、空気は上向きあるいは下向きに移動するが、その速度は極めて低いため、層内空気と表面との温度差により生じる自然対流の影響が無視できないと考えられる。そこで、対流熱伝達率は $(h+h')$ [W/m² K] を与える。</p> <p>■熱伝導 伝導による熱流量 H_d [W/m²] は次式により求める。 $H_d = \frac{\lambda}{x_{i,j}} (T_i - T_j) \quad (19)$ ただし、λ: 要素の熱伝導率[W/m K]、x: 要素間距離[m]</p>
--	--	---

A Study on Thermal Insulation Effect of Window Unit with Ventilation using
a Proposed Numerical Simulation Method for Thermal Transmittance

SUGAWARA Masanori and SHIMIZU Norio

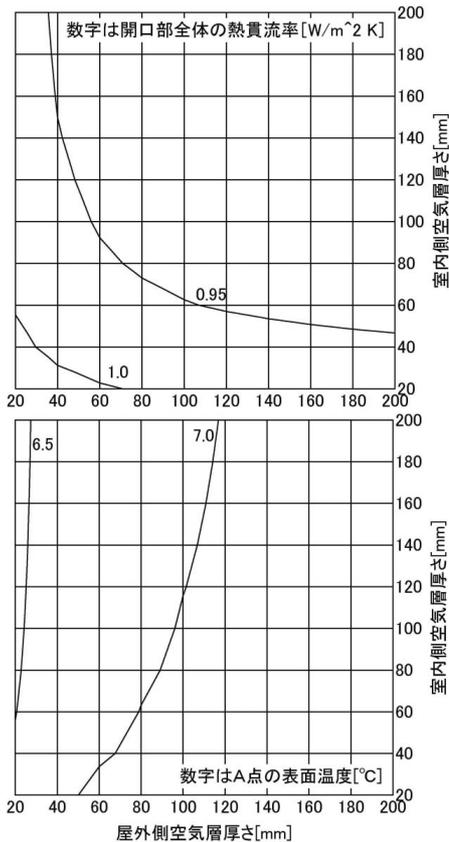


図3 内外付属部材とサッシとの間の空気層厚さと開口部の熱貫流率およびA点の表面温度との関係

は、空気層内の通気量の特定が必要と考える。

3. 非気密付属部材による開口部断熱の可能性

提案された数値計算法により、開口部断熱および結露防止の可能性を検討する。結露危険性の判断は、サッシ面より室内側の範囲で最も低温なサッシ最下部の表面温度(図1、A点)にて行う。

変化させる設計条件の基準仕様は、既存の付属部材で最も熱貫流率の低かった(0.941W/m² K)組み合わせ「断熱内戸(真空断熱材15mm)×サッシ×断熱雨戸」に近い値として、サッシと付属部材との間の空気層厚さを室内側140mm、屋外側60mm、通気率を室内側、屋外側共に3.16×10⁻³m³/s Pa^{1/n}、熱伝導抵抗(=熱コンダクタンスの逆数)を室内側1.0m² K/W、屋外側を0.5m² K/Wと設定した(図3~5にて示す)。共通の計算条件は、室温20、外気温0、屋外風速3.0m/s、風圧係数は部材下部0.2および部材上部0.15、隙間特性値は室内側1.5および屋外側1.7、放射率1.0、開口部高さ1.311mとした。

3.1 空気層厚さの影響 図3によれば、内外の空気層厚さに関して一定の傾向は見られるが、熱貫流率にもA点の表面温度にも、ほとんど影響を及ぼさないことが分かる。

3.2 通気率の影響 図4上段によれば、内外共に通気率が低くなるほど空気層内の換気量が減少するので、開口部の熱貫流率は低くなる。基準仕様でも熱貫流率は充分低いので、むしろこれ以上

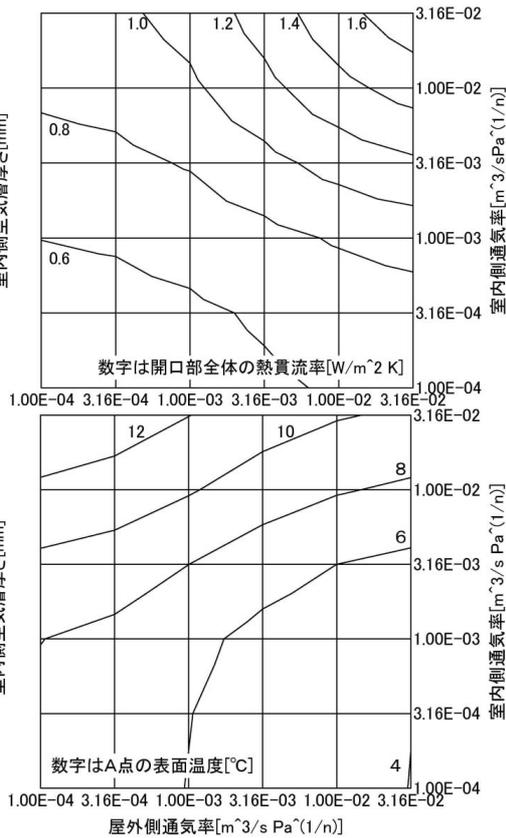


図4 内外付属部材上下端の通気率と開口部の熱貫流率およびA点の表面温度との関係

通気率が高くならないような付属部材の設計が重要である。

図4下段によれば、結露を回避するためには、通気率は屋外側を低くし、室内側を高くすればよい。一般にサッシでの結露防止のためには、室内側付属部材の気密性を高くして室内水蒸気の侵入を防ぐように言われているが、本研究対象の付属部材のように非気密で室内水蒸気の侵入がある場合には、逆に、空気層内の換気量を増加して窓表面温度を高くすることが改善策となる。通気率について、屋外側を高気密(1.0×10⁻⁴m³/s Pa^{1/n})にし、室内側をカーテン程度(3.16×10⁻²m³/s Pa^{1/n})とすることで、基準仕様よりもA点は6.7度温度上昇する。

3.3 熱伝導抵抗の影響 図5によれば、これ以上熱伝導抵抗を高くしても断熱効果は望めないが、結露防止の観点から屋外側を1.5m² K/Wとする代わりに室内側を0.5m² K/Wとすると、A点は1.8度温度上昇する。

3.4 改善の可能性 3.2~3.3節に従って通気率と熱伝導抵抗を改善したところ、熱貫流率が0.51W/m² K、A点の表面温度が15.9(20、77%の露点に相当)であった。

参考文献 1) 菅原、袖野、清水：非気密付属部材による開口部の断熱効果：日本建築学会東北支部研究報告集、計画系、第68号、2005.6(投稿中)
謝辞 本研究は、IBEC「自立循環型住宅開発委員会」断熱外皮委員会の活動の一環として行われた。遂行にあたり、袖野桃子氏(当時、宮城教育大学学生)には多大な協力を頂いたことに謝意を表す。

*宮城教育大学教育学部 助教授・博士(工学)
**(財)ベターリビング筑波建築試験センター・博士(工学)

*Assoc.Prof., Miyagi University of Education, Dr.Eng.
**Tsukuba Building Test Laboratory, Center for Better Living, Dr.Eng.