

「息をする壁体」の住宅への適用に関する研究

- 外壁及び天井に用いたケーススタディーによる年間換気性能と冬季熱性能の評価 -

Study on Application of a Breathing Wall to Houses

- Evaluation of ventilation properties throughout a year and thermal properties in wintertime by case study of applications to ceiling/wall -

尹 聖 皖*¹

Seonghwan YOON

梅 干 野 晃*²

Akira HOYANO

五内川 和正*³

Kazumasa GONAIKAWA

Abstract

In temperate-climate regions, such as Japan, utilization of passive ventilation at wall surfaces is an efficient approach. Such systems installed in houses can provide a healthy and comfortable environment with higher energy efficiency. With this in mind, the authors proposed a "Breathing Wall" which is constructed of aluminum sheets that form a multiple air-layered architectural body.

In this study, when a "Breathing Wall" was used in houses, a method for evaluating of ventilation and thermal insulation properties was proposed. Incorporating climate data of a proper region has made it possible to design with considering of energy saving effectiveness and ventilation properties throughout a year. As a result of a case study in Tokyo, when a "Breathing Wall" was applied to ceiling and wall, the ventilation properties throughout a year and the energy saving effectiveness of wintertime were changed according to combinations of the application parts and area.

キーワード：自然換気、透気、熱回収、断熱、気密

Key Words : Natural Ventilation, Air Infiltration, Heat Recovery, Thermal Insulation, Air Tightness .

1. はじめに

筆者らは、温暖地域¹⁾の住宅に適用することを目的とし、外壁や天井などの部材の面が透気機能を持ち、熱・空気・湿気の流れをコントロールできる構造の建築部材を提案した¹⁾。「息をする壁体」と名付けたこの建築部材では、部材自身が熱回収をしながら換気を行う。またそのとき、熱はできるだけ流れず、内部に流入した湿気は速やかに放出し、内部結露による実害は生じないことを目標機能としている。「息をする」とは、このように適用地域に必要な断熱性能を満たしながら、建物外皮の面を通じて空気や湿気が出入りすることを表現したものである¹⁾。

これまでに、1次元の空気・熱・湿気透過量の予測手法¹⁾を用い、温暖地における部材設計を行った²⁾。東京の代表的な気象条件下³⁾で実験を行い、定常的に透気が行われているとき、目標とした透気・断熱・透湿性能が得られることを確認した³⁾。また、環境制御室内における実物大実験を行い、無風条件から弱風・強風の風圧をかけた場

合の透気に伴う熱・湿気移動が部材の断熱性能や内部結露発生へ及ぼす影響を明らかにした⁴⁾。

これまでの研究^{1) 2) 3) 4)}により、定常・非定常状態において、自然換気・断熱・透湿性能を有する建築部材として成立する見込みが得られた。しかしながら、「息をする壁体」を住宅へ適用したときのパッシブ手法としての有効性を論じるためには、年間を通しての換気性能、またその省エネルギー効果を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、「息をする壁体」を住宅の天井や外壁に取り付けることを想定した場合の、年間を通しての必要換気量の確保や、冬季の省エネルギーの観点から部材の換気・断熱性能を評価する。具体的には、①部材設計手法¹⁾と住宅の換気量予測法⁵⁾を組み合わせ、各部位の透気量と同時に室内側に流入する空気の温度及び、表面熱流を算出できるようにする、②東京を事例としてケーススタディーを行い、部材を外壁や天井面に適用した場合に年間を通して得られる自然換気量を把握する、③「息をする壁体」を用いた住宅における熱損失量を評価し、その省エネルギー効果を明らかにする。

*1 東京工業大学大学院 リサーチアソシエイト・博(工)

*2 東京工業大学大学院 教授・工博

*3 東日本ハウス株式会社

(原稿受理平成12年7月3日)

Research Associate, Tokyo Institute of Technology, Eng.(Dr.)

Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Higashi Nihon House Co. Ltd.

2. 「息をする壁体」の概要

2.1 基本構造

「息をする壁体」は、孔あきアルミシートによる多層空気層構造のコア部と、コア部に比べて透気抵抗が小さな内装・外装により構成される。部材を外壁に用いた場合の基本構造を図1に示す。

断熱性能は、コア部の孔あきアルミシート表面の低い放射率とそのシートによる多層空気層構造より、また部材の透気・透湿性能は、シート面の微細な孔により得られる。コア部は、孔径や開口率が異なる2タイプの孔あきアルミシートを用いている。これは、以下に述べるように東京を対象地域とした場合、内部結露が最も懸念される冬季において、高湿の室内空気が流出する時、最も室内側のシートの透湿抵抗を大きくして室内からコア部への湿気流入を押さえる。そして、それ以外のシートについては透湿抵抗を小さくして外気へ速やかに放湿し、冬季の高湿の室内空気が流出することによる内部結露発生を防ぐためである。

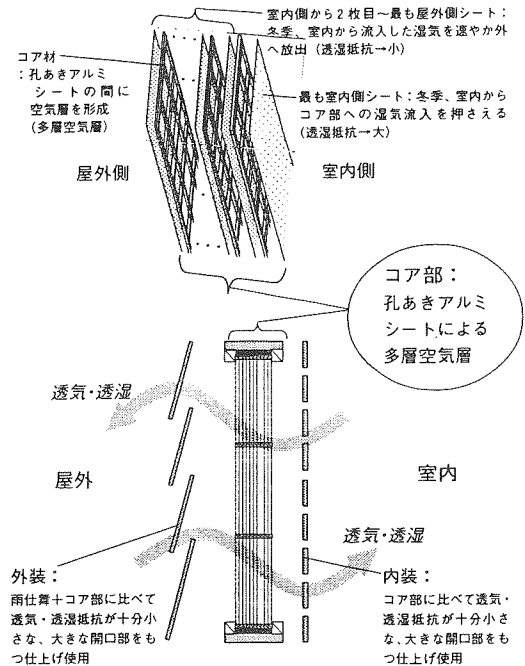


図1. 「息をする壁体」の基本構造(外壁)

2.2 コア部の仕様

「息をする壁体」を用い、室内外における熱・空気・湿気移動をバランスよくコントロールするためには、部材の透気、断熱、透湿性能を決めるパラメーター、すなわち①孔あきアルミシートの両面の放射率、②孔あきアルミシートの枚数、③空気層の厚さ、④孔の孔径と開口率を決定する必要がある¹⁾。

既報^{2) 3)}では、定常的な計算手法により、温暖地を対象とした部材設計を行った。部材設計の際の目標性能は以下の通りである。

- (1) 無風時、室内外温度差20℃で必要換気量0.5回/h以上が得られる。
- (2) 透気が行われてない状態で熱コンダクタンス0.4W/m²℃の断熱性能が得られる。
- (3) 外部風速10m/sまで内部結露が発生しない。

既報^{2) 3)}においては、上記の(1)～(3)の目標性能を満たす部材として、表1の仕様を温暖地を対象とする部材として提示した。本研究では、表1の仕様の部材¹⁾を住宅へ適用することを想定し、年間の換気量及び断熱性能の評価を行う。

3. 部材設計手法と換気量予測法の組み合わせ

「息をする壁体」を用いた住宅の熱性能を評価するためには、部材を設置した各部位における透気量や透気面積、

表1. 温暖地を対象とする「息をする壁体」の仕様^{2) 3)}

枚数	放射率	空気層の厚さ	孔あきアルミシートの孔径/開口率
11枚	0.05	5mm	Type1 1枚目: 1.00mm/0.15% 2～11枚目: 0.25mm/4.90%
			Type2 1枚目: 1.45mm/0.29% 2～11枚目: 0.20mm/6.40%

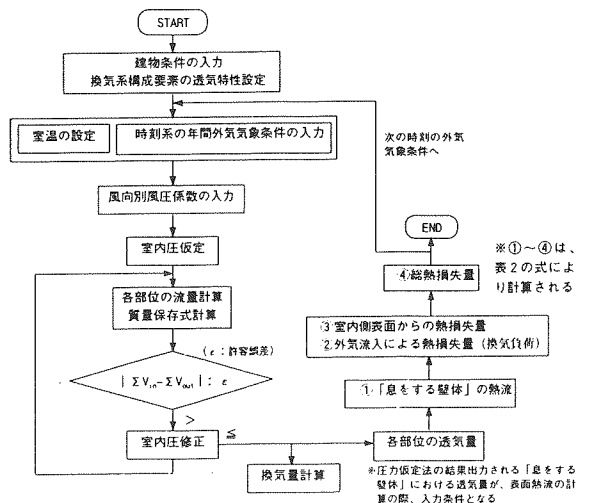


図2. 部材設計手法と換気量予測法の組み合わせ

また透気方向を把握する必要がある。本研究では、換気量予測法⁵⁾の計算過程で建物各部位の流入・流出透気量が出力されることに着目し、換気量と同時に熱流が算出できるように組み合わせアルゴリズムを作成した(図2)。

「息をする壁体」を適用した場合の自然換気量を予測するためには、回路網法の圧力仮定法⁵⁾を用いた。年間を通じて得られる換気量を算出するため、時刻系の気温、風速、風向を入力外気条件とし、対象地域の気候特性を組み込めるようにした。

「息をする壁体」における透気時の熱流計算方法(表2①)は、部材設計手法¹⁾と同様である。回路網法の圧力仮定法により、各部位における流出・流入透気量が決まり、そのときの透気量や透気方向は熱流計算のための入力条件となる。

表2の熱流計算式により求められる、最も室内側の孔あきアルミシート表面の放射熱伝達による熱流と対流熱伝達による熱流の和を室内側表面熱流とする。外気流入による熱損失(換気負荷)を計算する際には、最も室内側の孔あきアルミシートの孔から室内側に流入する空気の温度を給気温度として用いる。

4. 計算時の設定条件

4.1 計算範囲

「息をする壁体」に対して、屋外側、室内側の仕上げは、十分大きい開口面積を有し、透気抵抗は無視できることにする。ここでは最も室内側のシート(シート1)から最も屋外側のシート(シート11)までを部材の透気、断熱性能として扱う。したがって、熱流の計算では、1枚目の孔あきアルミシートの室内側空気層からn枚目の孔あきアルミシートの屋外側空気層までを計算範囲とする。なお、室内外の仕上げがコア部の透気・断熱性能に与える影響については、今後の課題とする。

4.2 住宅モデル

東京地域の総2階建ての住宅(10.0×10.0×4.8m)を想定し、「息をする壁体」を適用していない高断熱・高気密住宅を含め、既往研究で温暖地対象で設計された表1の2タイプ(Type1: $\alpha A \approx 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, Type2: $\alpha A \approx 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$)の「息をする壁体」を天井及び外壁に適用することを想定した7種類の住宅モデルを設定した(図3)。実際、2階建ての住宅に用いる場合、1階の天井や屋根を含めた小屋裏空間などの考慮も必要であるが、ここではまず基本的な換気・断熱性能変化の特徴を把握することを目的とし、図3のような単室モデルにした。

表1で示した2タイプの「息をする壁体」を住宅の東

表2. 熱流と室内負荷の計算式

①「息をする壁体」における熱流 ¹⁾	
(a) 空気移動に伴う熱流	$q_a = V_{a, n} \rho_a c_p \gamma (T_{a, n} - T_{a, n+1})$
(b) 放射熱伝達による熱流	$q_r = a_r (T_{s, n} - T_{s, n+1})$
向かい合うアルミ箔表面間の放射熱伝達率 a_r は、次式により求める。	
$a_{r, n, n+1} = \epsilon_{s, n} \epsilon_{s, n+1} \sigma \{ [(T_{s, n} + 273.15)^4 + (T_{s, n+1} + 273.15)^4] \times [(T_{s, n} + 273.15)^2 + (T_{s, n+1} + 273.15)^2] \}$	
ただし、 $1/\epsilon_{s, n, n+1} = (1/\epsilon_{s, n}) + (1/\epsilon_{s, n+1}) + 1$	
(c) 対流熱伝達による熱流	$q_c = a_c (T_{a, n} - T_{s, n})$
アルミ箔表面の対流熱伝達率 a_c は、空気層内空気の流れを層流と仮定して、以下の式およびヌセルト数 Nu から求める。	
$Nu = a_c \cdot d / \lambda = 7.54$	
$\therefore a_c = 3.77 \lambda / D (\lambda = d = 40/2 = 20)$	
②外気流入による熱損失(換気負荷)	
(a) 「息をする壁体」を通して流入する分	$Q_{a, i} = C_p \Sigma V_{a, i} \gamma (T_{a, i} - T_{a, m})$
(b) 「息をする壁体」以外の隙間からの流入分	$Q_{a, i} = C_p \Sigma V_{a, i} \gamma (T_{a, i} - T_{a, m})$
③室内側表面からの熱損失量	
(a) 「息をする壁体」を設置した部位	$Q_{s, i} = \Sigma S_{i, i} (q_c \text{ 室内側表面} + q_r \text{ 室内側表面 in/in})$
(b) 「息をする壁体」以外の部位	$Q_{s, i} = \Sigma K_{i, i} S_{i, i} (T_{a, i} - T_{a, m})$
④総熱損失量	
(a) 換気による熱損失量	$Q_{a, i} = \Sigma (Q_{a, i, i} + Q_{a, i, i+1})$
(b) 室内側表面からの熱損失量	$Q_s = \Sigma (Q_{s, i, i} + Q_{s, i, i+1})$
(c) 総熱損失量	$Q_{\text{loss}} = Q_{a, i} + Q_s$

息をする壁体の適用部位	CASE	息をする壁体 TYPE1 $\alpha A : 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 開口特性係数 $n : 0.78$	CASE	息をする壁体 TYPE2 $\alpha A : 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 開口特性係数 $n : 0.78$
東側外壁 西側外壁 (2面)	1-1		1-2	
東側外壁 西側外壁 天井 (3面)	2-1		2-2	
東側外壁 西側外壁 南側外壁 北側外壁 (4面)	3-1		3-2	
適用なし (高気密・高断熱住宅想定)	4		換気方式: 機械換気 断熱性能: 次世代基準適用(地域IV) 熱貫流率[W/m²/℃] 天井: 0.24 外壁: 0.53 床: 0.34 換気量: 0.5回/h, または1.0回/h	

図3. 計算対象の住宅モデル

西側の外壁、天井に設置する。天井に設置する場合は、住宅モデルの最上階天井面に部材を設置することになる。この場合には、小屋裏空間では十分な換気が行われると仮定し、小屋裏空間の気温が外気温と同様とみなす^{注4)}。「息をする壁体」を設置した部位以外^{注5)}は、熱貫流率 $0.53 \text{ W/m}^2/\text{℃}$ の断熱性能を有するとした^{注6)}。東京を対象地域とした場合、南北側と比べ、東西側の壁面における風圧が安定し、開口部が少なことから、今回外壁への適用に当たっては、東西側を「息をする壁体」の設置部位とする。

CASE4の外壁の断熱性能は、比較のためにCASE1～3の住宅モデルにおける「息をする壁体」を設置した部位以外と同様、すなわち熱貫流率 $0.53\text{W}/\text{m}^2/\text{℃}$ にした。また換気量に対しては、機械換気によって $0.5\text{回}/\text{h}$ 、または $1.0\text{回}/\text{h}$ の一定の換気量が得られると想定した。実際には機械換気を行う高気密・高断熱住宅でも外部風圧や室内温度差により換気量は若干変化するが、ここでは「息をする壁体」を用いた住宅モデルとの比較を目的に、一定値と設定した。

4.3 外気の気象条件

年間を通じての換気性能や熱性能を算出するために、動的負荷計算用の「日本各地の標準気象データ」の東京地域の気温、風速、風向を入力外気条件として用いた。このデータは、東京地域における、温度、湿度、日射量、大気放射量及び風速・風向の各気候要素について標準的な1年間の値が時刻別に整備されたデータである⁶⁾。ここでは、主に省エネルギーの観点から部材性能を検討することに主眼を置き、このデータを気象データとして用いた。

風圧係数の設定値を表3に示す。風圧係数は、既存文献

表3. 換気計算で用いた風向別風圧係数⁵⁾

場所	θ (°)							
	0	45	90	135	180	225	270	315
Face 1	0.70	0.35	-0.50	-0.40	-0.20	-0.40	-0.50	0.35
Face 2	-0.20	-0.40	-0.50	0.35	0.70	0.35	-0.50	-0.40
Face 3	-0.50	0.35	0.70	0.35	-0.50	-0.40	-0.20	-0.40
Face 4	-0.50	-0.40	-0.20	-0.40	-0.50	0.35	0.70	0.35

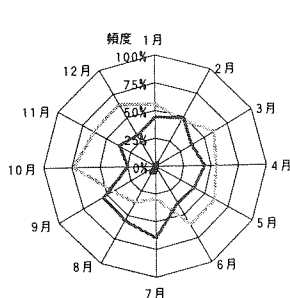
※周辺条件：開放、建物比率(幅：奥行き)：1:1、天井/床 $z=0.3/0.1$

7) から、8方向の風向データとして周辺条件が開放時の値を用いた。

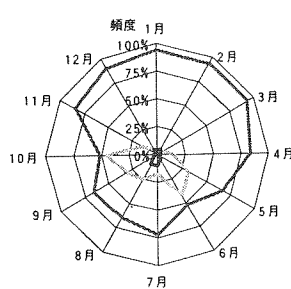
4.4 室内条件

ここでは室内気温を固定変数として置き、主に対象地域である東京地域の外気気象条件の変化に対する換気、断熱性能の変化を把握することを目的に、住宅モデルの室内気温は、年間を通して 25℃ 一定にした。「息をする壁体」を用いた場合、室内気温は外界気象条件により常に変動する。パッシブ的な考え方に基いた室温設定等も考慮する必要があるが、それらは今後の課題にする。

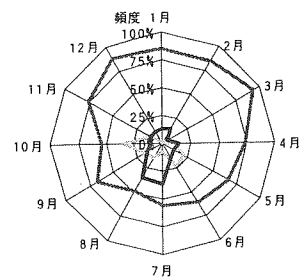
5. 計算結果及び考察



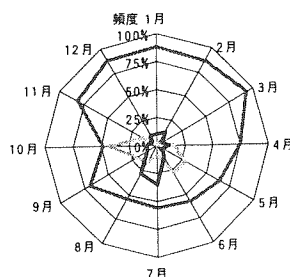
(a) 住宅モデル CASE 1-1



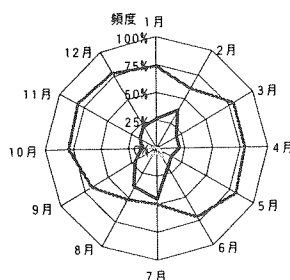
(b) 住宅モデル CASE 2-1



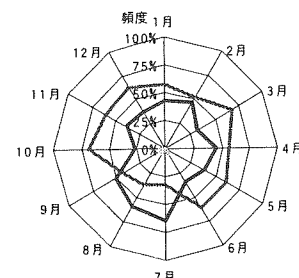
(c) 住宅モデル CASE 3-1



(d) 住宅モデル CASE 1-2



(e) 住宅モデル CASE 2-2



(f) 住宅モデル CASE 3-2

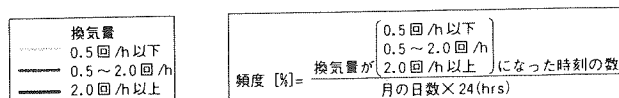


図4. 「息をする壁体」を住宅に用いた場合の年間換気量の変化

5.1 年間換気性能

「息をする壁体」を東京地域の住宅の外壁と天井に用いた場合の年間を通しての自然換気量を算出し、換気量が0.5回/h未満になるとき、0.5回/h～2.0回/hと2.0回/h以上になるときの時刻の頻度を月別に示した(図4)。ここで、換気量を3つに区分して分けたのは、次のような3つの観点から部材の自然換気性能の有効性を検討するためである。

- (1) 冬季に必要な最小限の換気量0.5回/h以上を確保する。
- (2) 年間を通して0.5回/h以上の必要換気量が常に得られる。
- (3) できる限り安定した換気量を確保し、強風時の透気量増加による熱損失を最小限に押さえる。

まず、冬季(12月～2月)における換気量をみると、CASE1-1以外は、必要最小限の換気量0.5回/h以上が常に得られる。CASE1-1は、 $10\text{cm}^2/\text{m}^2$ の部材を東西の外壁2面に設置した場合であるが、12月～2月にわたって換気量が0.5回/h未満になる頻度が50%以上となり、冬季、必要最小限の換気量を常に得ることができないことが分かった。

年間を通して常に0.5以上の必要換気量が得られるのは、CASE2-2とCASE3-2である。しかしCASE3-2の場合、換気量が2回/h以上を超える頻度が27%～65%であり、CASE2-2の方がより安定した換気量が得られる。

最も安定した換気量が得られるは、CASE2-1であった。CASE2-1は、 $10\text{cm}^2/\text{m}^2$ の部材を東西の外壁と天井の3面に用いた場合である。この場合、冬季に0.5回/h以上の必要換気量を確保しながら、冬季・夏季に換気量が2回/h以上になる頻度が5%、8%以下となり、強風時の自然換気量増加による熱損失を最小限に抑えられると考えられる。

5.2 断熱性能及び省エネルギー効果の評価方法

「息をする壁体」において、透気が行われる場合の熱移動の特性を図5に示す。冬季、暖房条件下で室内側に外気

が流入する場合、外気はコア部内部の多層空気層や孔あきアルミシート表面上で熱交換を行い、その流入温度が上昇することになる。したがって、外気流入による室内熱負荷(換気負荷)は減少する。一方、室内側を中心で考えた場合、風上側では、透気に伴う熱輸送により、透気が行われてないときと比べ、表面温度が低下する。そして風下側では、透気が行われてない場合より室内側表面温度が増加する。

「息をする壁体」の断熱性能及び省エネルギー効果を論じるためには、このような透気時の風上・風下側の表面熱流変化や流入外気温度上昇効果を総合的に評価する必要がある。そこで本研究では、室内外温度差が大きい冬季(12月～2月)を対象に、室内からの総熱損失の観点から部材の断熱性能及び省エネルギー効果の評価を試みる。すなわち、従来の透気性能を持ってない建物における冬季の暖房条件の室内熱負荷を考えるとときと同様、室内側の表面を境界面と設定し、①室内側表面からの熱損失量、②外気流入による熱損失量(換気負荷)により評価を行うことにする。

「息をする壁体」を用いた場合、換気負荷削減効果を検討するため、次に示す指標、「換気負荷減少率 η 」を用いる。この指標は、外気が温度上昇せず室内に流入する場合と比べ、「息をする壁体」を用いることにより減少した室内換気負荷の比率を示す¹⁷⁾。なお、ここで外気流入による室内換気負荷の減少効果を評価する際には、潜熱分は考慮せず、流入外気の温度を中心とした顕熱損失のみを扱った。

$$\eta = Q_{vi\text{-save}}/Q_{i0} \times 100 \quad \dots(1)$$

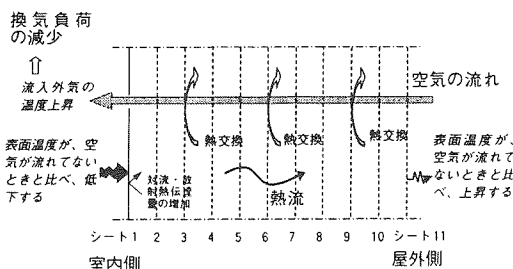
$$Q_{vi\text{-save}} = (Q_{i0} - Q_{i(i)}) \quad \dots(2)$$

$$Q_{i0} = C_p \{ \sum V_{in(i)} \gamma S_{(i)} (T_{in} - T_{out}) + \sum V_{in(j)} \gamma S_{(j)} (T_{in} - T_{out}) \} \quad \dots(3)$$

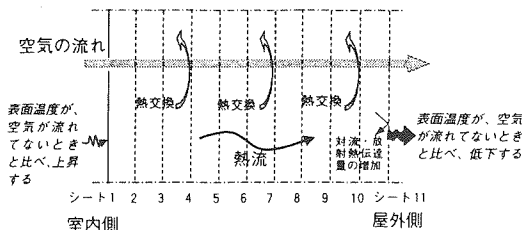
$$Q_{i(i)} = C_p \{ \sum V_{in(i)} \gamma S_{(i)} (T_{in(i)} - T_{out}) + \sum V_{in(j)} \gamma S_{(j)} (T_{in} - T_{out}) \} \quad \dots(4)$$

5.3 流入外気による熱損失量(換気負荷)

換気負荷削減効果を定量的に検討するために、5.1の年

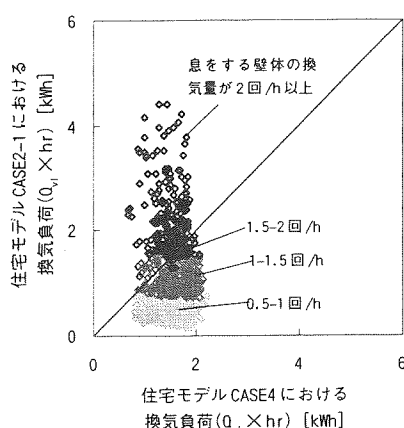


(a) 外気が室内側に流入するとき

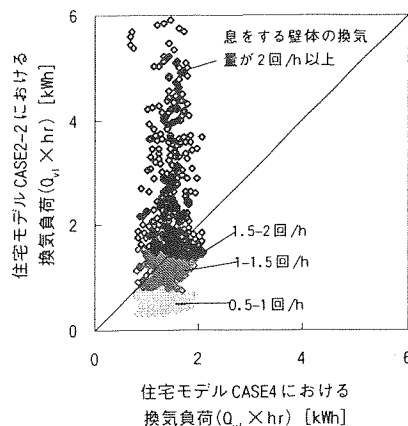


(b) 室内空気が外側へ流出されるとき

図5. 透気時の「息をする壁体」のコア部における熱移動特性

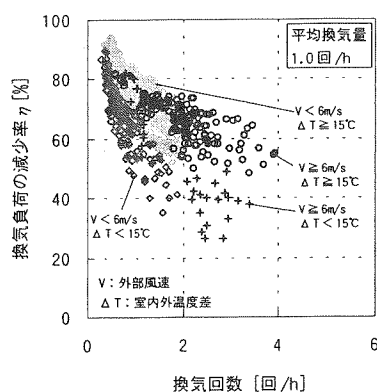


(a) CASE2-1とCASE4の換気負荷比較

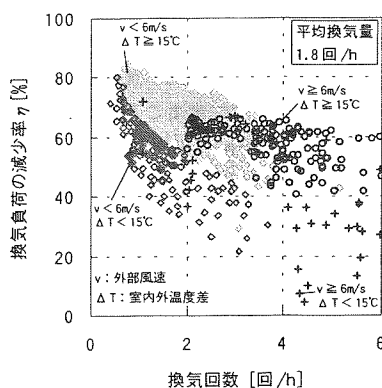


(b) CASE2-2とCASE4の換気負荷比較

図6. 「息をする壁体」を用いた住宅における換気負荷削減効果



(a) 住宅モデルCASE 2-1



(b) 住宅モデルCASE 2-2

図7. 換気回数と換気負荷の減少率

間換気量検討の結果から比較的に安定した換気量が得られるCASE2-1と、年間を通して0.5以上の必要換気量が得られるCASE2-2を対象に、換気負荷 ($Q_{v1} \times hr$) 及び、換気負荷減少率 η を計算した。

住宅モデルCASE4とCASE2-1、CASE2-2の換気負荷 ($Q_{v1} \times hr$) を図6に示す。住宅モデルCASE4では、換気量が0.5回/hと一定に維持され、換気負荷は0.7～2.1kWhとなることに対して、「息をする壁体」を用いた住宅モデルのCASE2-1やCASE2-2では、外部風圧や室内外温度差の変化により0.2～6.0kWhまで変動する。しかし、CASE2-1やCASE2-1において、換気量が1.5回/h以下の時には、CASE4と比べ、換気負荷が小さくなる。

図7に12月から2月におけるCASE2-1、CASE2-2の換気回数と換気負荷減少率 η の関係を示す。(a)のCASE2-1では、換気回数0.5～4回/h時、26～94%の換気負荷の減

少効果が得られる。また(b)のCASE2-2では、換気回数0.5～6回/hに変化し、22～85%であった。(a)、(b)において、換気量が0.5回/h～1回/hのときには、50%その効果は高くなる。室内外温度差15℃以上のときには、CASE2-1、CASE2-2両方とも40%以上の換気負荷の減少効果がある。

5.4 風上・風下側の室内側表面からの熱損失

ここでは、「息をする壁体」を壁2面に設置した場合(CASE1-2)、透気方向による室内側表面からの熱損失量の変化を検討する。CASE1-2における「息をする壁体」を設置した部位が風上および風下側になったときの熱損失量変化を図8に示す。

透気が行われていないとき、2～6W/m²の変化を示す室内側表面からの熱損失量は、外気が室内側に流入すること

により、風上側で最大 $50\text{W}/\text{m}^2$ まで増加する。しかしながら、このとき風下側では、透気量が増加するほど熱損失量は徐々に減少し、 $10\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ 以上からは $1\text{W}/\text{m}^2$ 以下になる。このように風下側では、室内側表面からの熱損失量が透気量が増えるほど小さくなり、見かけ上、完全断熱に近い状態になる。

5.5 総熱損失量 Q_{sum} の比較

「息をする壁体」の最も基本的な設置方法である外壁2面に用いた場合のCASE1-2と、前節で主に熱性能評価の対象になったCASE2-1、CASE2-2、CASE4における、12月～2月の総熱損失量 Q_{sum} を図9に示す。

「息をする壁体」を用いたモデル(CASE1-2、CASE2-1、CASE2-2)では、機械換気によるCASE4の換気量を1.0回/hに設定した場合と比べ、換気負荷減少効果による省エネルギー効果が現れる。

CASE4の換気量を0.5回/hの場合には、「息をする壁体」を用いたCASE1-2とCASE2-1における総熱損失量は、33%、40%程度小さくなる。しかし、 $20\text{cm}^2/\text{m}^2$ の部材が外壁2面や天井に設置されたCASE2-2では、室内外の温度差が小さい中間期に必要換気量を確保する目的で換気設計されたため、12月～2月にわたっての換気量が平均1.8回/hとなり、総熱損失量もCASE4に比べ、13%程度大きくなる。「息をする壁体」を用い、中間期に必要換気量を確保しながら、かつ省エネルギーにするためには、風圧変動時でも安定した換気量を得るための工夫が必要であることが分かった。

6. まとめ

換気量予測法と「息をする壁体」の部材設計アルゴリズムを組み合わせ、対象地域の気候特性を組み込むようにして、「息をする壁体」を用いた住宅における年間の換気性能や熱性能の評価方法を提案した。東京を事例としたケーススタディーを行い、部材を住宅の天井や外壁に取り付けることを想定した場合、適用位置や取り付け面積の組み合わせによって、年間を通して得られる換気性能や省エネルギー効果が異なることを明らかにした。

今後の課題として、①仕上げ材及び構法を開発し、室内外仕上げを含めた部材性能の評価が必要である、②今回作成した組み合わせアルゴリズムに、自然室温予測アルゴリズムを加え、ライフスタイルを考慮した冷暖房条件設定条件下における換気・熱性能の評価が要求される、③建蔽率などの周辺環境の自然換気性能への影響を検討する必要がある。

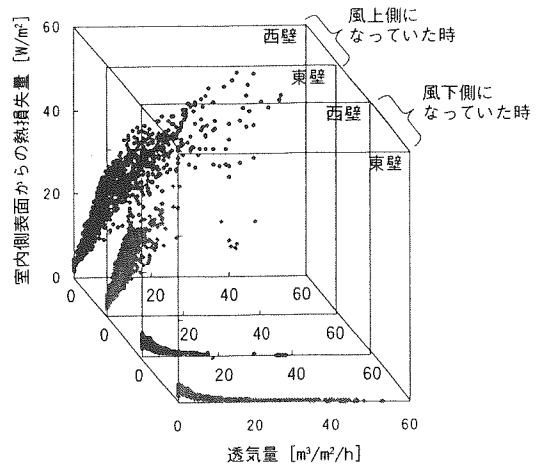


図8. 「息をする壁体」が風上・風下側になった時の室内側表面からの熱損失量 (CASE1-2)

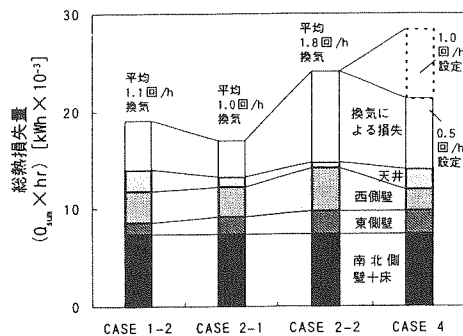


図9. 12月～2月の総熱損失量 Q_{sum}

記号一覧

- C: 熱コンダクタンス [$\text{W}/\text{m}^2/\text{C}$]
- C_p : 空気定圧比熱 (=1,005) [$\text{J}/\text{kg}/\text{K}$]
- d: 孔あきアルミシートの孔径 [m]
- D: 空気層の厚さ [m]
- n: 開口特性係数 [-]
- qa: 透気に伴う熱流 [W/m^2]
- qc: 対流熱伝達による熱流 [W/m^2]
- qr: 放射熱伝達による熱流 [W/m^2]
- Q_{sum} : 総熱損失 [W]
- $Q_{\text{loss, air}}$: 外気流入による室内熱負荷の削減量 [W]
- $Q_{\text{loss, air}}$: 室内に流入する外気の温度上昇効果がない場合、外気流入による室内熱負荷 [W]
- $Q_{\text{loss, air}}$: 「息をする壁体」の面を通して外気が流入する場合、外気流入による室内熱負荷 [W]
- S: 各部位の表面積 [m^2]
- T_{in} : 室内温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{int} : 室内に流入する空気温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{out} : 外気温 [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{air} : 空気層の温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- T_s : 孔あきアルミシートの表面温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- V_{in} : 透気量 (流入) [$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$]

- V_{out} : 透気量 (流出) [$m^3/m^2/s$]
 α_c : 対流熱伝達係数 [$W/m^2/^\circ C$]
 α_r : 放射熱伝達係数 [$W/m^2/^\circ C$]
 αA : 部材の単位面積当たりの実効面積
 (差圧 9.8Pa 時) [cm^2/m^2]
 ϵ : 孔あきアルミシートの放射率 [-]
 γ : 空気の密度 [kg/m^3]
 σ : シュテファン-ボルツマン常数
 ($=5.67 \times 10^{-8}$) [$W/m^2/K^4$]
 η : 外気流入による熱損失量の減少率 [%]

添字

- (i): 「息をする壁体」を適用した部位
 (j): 「息をする壁体」以外の部位
 (k): 孔あきアルミシート、空気層の番号
 (最も室内側が1)

注

- ここでは、関東及び関東以西地域(山岳地は除く)のように、冬季に外気温が継続的に氷点下とならないまでも暖房を必要とする地域を言うこととする。
- 代表的な条件として、外気条件 $5^\circ C/60\%$ 、室内 $25^\circ C/60\%$ を設定した。
- これまでに既往の研究では、温暖地を対象とする「息をする壁体」としては、無風時、室内外温度差 $20^\circ C$ で目標換気量 0.5 回/h のもの (Type1: $\alpha A \approx 10cm^2/m^2$)²⁾ と、 1.0 回/h のもの (Type2: $\alpha A \approx 20cm^2/m^2$)³⁾ が提案されている。本研究では、これらの2タイプの部材を住宅へ適用することを想定した。
- 住宅モデルの最上階天井面に「息をする壁体」を設置することを想定した場合、①小屋裏空間と外気の気温の差、②小屋裏空間を持つ場合の天井にかかる風圧の扱いなどの検討ケースと実際の整合性問題が生じる。そのため本研究では、小屋裏空間では十分な換気が行われ、ほぼ外気と同様な気温になると仮定し、文献⁷⁾から自然換気が行われる小屋裏を持つ場合の天井の風圧係数の値(-0.3)を用いた。
- 「息をする壁体」を設置した部位以外の αA は、 $0.5cm^2/m^2$ とし、ほぼ「息をする壁体」を設置した部位のみで換気が行われる状態にした。
- 東京地域(地域IV)の次世代省エネ基準を満たすものである。
- この指標は、部材の熱交換効率を評価するためのものであり、必要換気量以上の換気量が生じてもそれに対する問題は考慮されていない。

引用文献

- 菅原正則、梅千野晃、佐藤絵里、作間秀樹: 孔あきアルミシートで構成された多層空気層による建築部材の提案と空気・熱・湿気透過量の計算方法に関する検討「息をする壁体」の開発 (2)、日本建築学会計画系論文集、pp. 43-48、1997-9
- Hoyano, A., Sugawara, M. and Sato, E.: Proposal of a Breathing Wall as an Architectural Member for a Passive Solar System in a Temperate and Humid Climate Region, Proceedings of Pan Pacific Symposium on Building and Urban Environment Conditioning in Asia (Nagoya, JAPAN), Volume 1, pp.43-52, 1995-3
- Seonghwan Yoon and Akira Hoyano: Passive Ventilation System That Incorporates a Pitched Roof Constructed of Breathing Walls for Use in a Passive Solar House, Solar Energy, Journal of the International Solar Energy Society, Volume 64, Nos 4-6, pp.189-195, 1998-12
- 尹聖皖、梅千野晃、五内川和正: 外部風圧が「息をする壁体」内部の熱、湿気移動に与える影響「息をする壁体」の自然換気・断熱・透湿性能に関する研究 その1、日本建築学会計画系論文集、pp. 67-74、2000-5
- 吉野博、長友宗重、松本博、内海康雄、山本頼房: 木造戸立て住宅を対象とした自然換気量の予測法に関する検証実験 間仕切扉を開放して単室として場合、日本建築学会計画系論文集、pp. 19-29、1990-6
- 松尾陽、横山治一、石野久彌、川元昭吾: 空気調和設備の動的熱負荷計算入門、日本建築設備士協会、1980-3
- M. Santamouris and D. Asimakopoulous (Editors): Passive Cooling of Buildings, James & James (Science