

住宅用パッシブ換気システムの風量推定法

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 建築環境工学研究室

温度差換気 機械換気 回路網計算
推定式 住宅

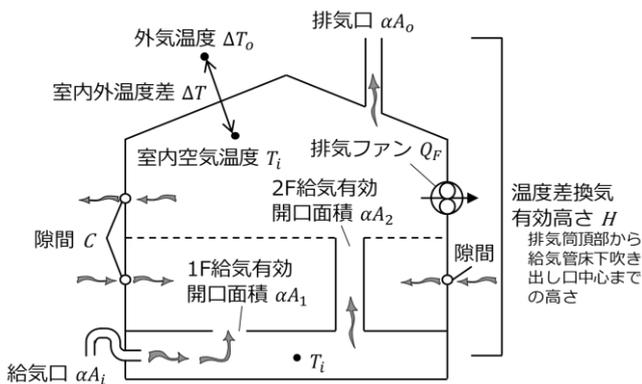
学籍番号：1200103 氏名：中川 恭丞
指導教員：田島 昌樹

1. はじめに

住宅内外の温度差による圧力を全般換気の駆動力に利用するパッシブ換気システムは、十分な温度差が確保できない夏期や中間期には機械換気を併用することで必要な換気量を確保している。冬期に機械換気を停止できることから換気設備のエネルギー消費量が少ないシステムであるが、温度差と機械による2種類の圧力差を利用することから風量設計が容易ではない。そこで本研究ではパッシブ換気を対象とした住宅全体の換気量と各階に供給される空気量を簡便に算定できる推定式の作成を行った。

2. 研究概要

図1に示すような2階建て住宅の床下給気・煙突排気型のパッシブ換気システムを対象に、表1の条件で換気回路網計算¹⁾を行い、得られた結果を整理することで推定式を作成した。推定式は住宅全体の換気量、および各階給気量を目的変数とし、換気の駆動力となる圧力差を室内外温度差と機械換気に分けて検討し、精度の検証を行った。



- 床下空間と1,2Fをひとつの室とする住宅内2ノードモデル
- C値を代表する隙間は各階中央高さに集中している
- 外皮隙間の隙間特性値 $n=1.667$
- 給気口と排気口の有効開口面積は同値($\alpha A_i = \alpha A_o$)

図1 対象換気システムのモデル図と計算上の設定

表1 換気回路網計算の設定条件

| 設定項目 | 条件 |
|--|----------------------------|
| 給排気口有効開口面積 $\alpha A_i = \alpha A_o = \alpha A$ [cm ²] | 40, 60, 90, 120, 160, 200 |
| 温度差換気有効高さ H [m] | 6, 7, 8, 9, 10 |
| 室内空気温度 T_i [°C] | 20 |
| 室内外温度差 $\Delta T (= T_i - T_o)$ [K] | 0, 5, 10, 15, 20 |
| 1F給気有効開口面積 αA_1 [cm ²] | 400, 800, 1200, 1600, 2000 |
| 2F給気有効開口面積 αA_2 [cm ²] | 400, 800, 1200, 1600, 2000 |
| 相当隙間面積 C [cm ² /m ²] | 0, 0.5, 1, 2, 4 |
| 延床面積 S [m ²] | 120 |
| 排気ファン風量 Q_F [m ³ /h] | 0, 40, 80, 120, 160, 200 |

3. 住宅全体の換気量推定式の作成

本研究では開口に関する2つの式に基づいて温度差換気量の推定式を作成し、さらに排気ファンによる圧力差を適用した推定式を作成した。

3.1 指数式での住宅全体の温度差換気量の近似

隙間開口の圧力差 p [Pa]と空気流量 Q [m³/h]の関係は一般的に(式1)の指数式で表される²⁾。(式1)は田島らの検討³⁾を参考にすると(式2)のように変形できる。実効室内外温度差 ΔT_E は室内外温度差と外部風によって得られる値であるが、外部風の影響は上記検討に示されるように室内外温度差に加算することが可能であり、また床下への給気口および煙突による排気口は外部風の影響を極力受けたくないよう設計する⁴⁾ことが示されており、室内外圧力差として室内外温度差のみを変数とした。ここで(式2)の両辺の対数を取り、(式3)のように変形する。室内外圧力差 ΔP_T は(式4)で表され、設定条件より室内空気温度は20°Cであるから(式5)となり、これを(式3)に代入することで住宅全体の換気量は(式6)のように表される。換気回路網計算の設定条件と結果を用い、(式6)の係数 k_1, k_2, k_3 を重回帰分析により同定した結果を図2に示す。重回帰式による近似値と理論値を比較すると、放物線のように見えるばらつきが広がる傾向がある。

$$Q = kp^n \quad (式1)$$

$$Q_T = k_1(\alpha A + CS)^{k_2} \Delta T_E^{k_3} \quad (式2)$$

$$\log Q_T = k_1 + k_2 \log(\alpha A + CS) + k_3 \log \Delta P_T \quad (式3)$$

$$\Delta P_T = \Delta \rho g H \quad (式4)$$

$$= \frac{353.25(T_i - T_o)}{T_i T_o} g H$$

$$= \frac{\rho_i \Delta T g H}{T_o} \quad (式5)$$

$$\log Q_T = k_1 + k_2 \log(\alpha A + CS) + k_3 \log \frac{\rho_i \Delta T g H}{T_o} \quad (式6)$$

ここで、

- k : 通気率
- n : 隙間特性値 ($1 \leq n \leq 2$)
- Q_T : 温度差換気量 [m³/h]
- T_i : 室内空気温度 [K]
- αA : 給排気口総有効開口面積 [cm²]
- T_o : 外気温度 [K]
- C : 相当隙間面積 (C値) [cm²/m²]
- ΔT : 室内外温度差 [K]
- S : 延床面積 [m²]
- g : 重力加速度 [m/s²]
- ΔT_E : 実効室内外温度差 [K]
- H : 温度差換気有効高さ [m]
- $\Delta \rho$: 室内外の空気密度差 [kg/m³]
- ρ_i : 室内空気密度 [kg/m³]
- ΔP_T : 温度差による換気駆動力となる室内外圧力差 [Pa]

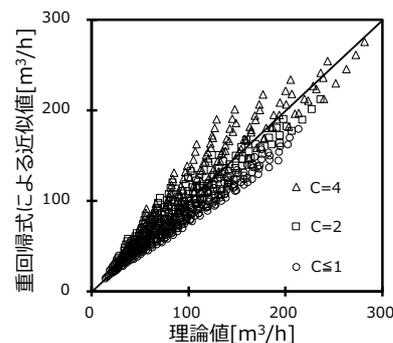


図2 指数式での温度差換気量近似結果

| | |
|----------|---------|
| 係数 k_1 | -0.4451 |
| 係数 k_2 | 0.8181 |
| 係数 k_3 | 0.5085 |
| R^2 | 0.9042 |
| 標準誤差 | 2.0107 |
| RMSE | 18.202 |
| データ数 | 600 |

3.2 並列結合モデルでの住宅全体の温度差換気量の近似

住宅全体の換気量は、大開口（指数式で $n = 2$ ）とクラック開口（指数式で $n = 1$ ）の並列結合で表せるとした鳥海らの研究⁵⁾を参考に（式7）をたて、指数式による検討と同様に圧力差として室内外温度差のみを変数として（式8）による近似式の検討を行った。なお風圧を考慮する場合は ΔT_E として（式9）を用いることも可能である。指数式での検討と同様に換気回路網計算の結果を用いて（式8）の係数 $k_4 \sim k_6$ を重回帰分析により同定した結果を図3に示す。並列結合モデルによる近似値は指数式による近似値より高い相関がみられた。

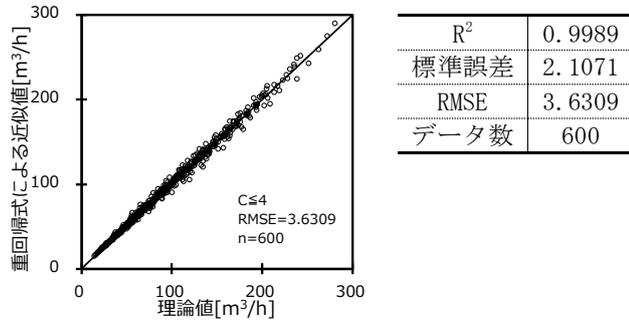
$$Q_T = k_4 \alpha A \sqrt{\Delta P_T} + k_5 CS \sqrt{\Delta T_E} + k_6 CS \Delta T_E \quad (式7)$$

$$Q_T = (k_4 \alpha A + k_5 CS) \sqrt{\frac{\rho_i \Delta T g H}{T_0}} + k_6 CS \frac{\rho_i \Delta T g H}{T_0} \quad (式8)$$

$$\Delta T_E = |\Delta T| + \frac{T_i \Delta C p_{Ed} v^2}{2gh} \quad (式9)$$

ここで、

$\Delta C p_{Ed}$: 風向ごとの実効風圧係数差 v : 風速[m/s]



| | 偏回帰係数 | 標準偏回帰係数 |
|-------|----------|---------|
| k_4 | 0.163652 | 0.8156 |
| k_5 | 0.068617 | 0.4809 |
| k_6 | 0.000034 | 0.0006 |

図3 並列結合モデルでの温度差換気量近似結果

3.3 排気ファン稼働時の住宅全体の換気量の近似

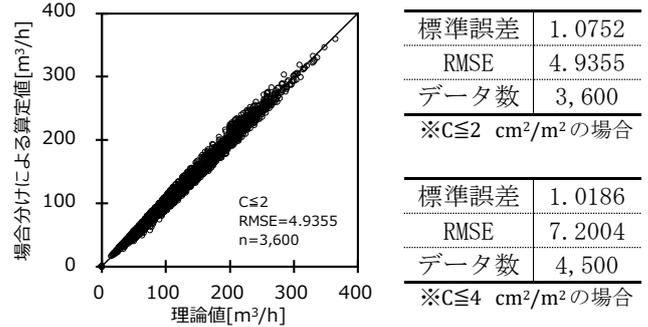
並列結合モデルによる重回帰近似では住宅全体の温度差換気量を精度よく同定できたため、次に（式8）に排気ファン風量を加えた（式10）をたて、近似式の検討を行った。住宅全体の換気量 Q は排気ファン風量 Q_F を下回らないため、 $Q = Q_F$ となる場合を除いた設定条件および計算結果を用いて、（式10）の係数 $k_7 \sim k_{11}$ を重回帰分析により同定した。（式10）で求めた換気量 Q_D を（式11）に示す場合分けをし、住宅全体の換気量 Q を算定した結果を重回帰結果とあわせて図4に示す。場合分けによる算定値と理論値は高い相関を示した。

$$Q_D = (k_7 \alpha A + k_8 CS) \sqrt{\frac{\rho_i \Delta T g H}{T_0}} + k_9 CS \frac{\rho_i \Delta T g H}{T_0} + k_{10} \frac{\alpha A}{\alpha A + CS} Q_F^2 + k_{11} \frac{CS}{\alpha A + CS} Q_F \quad (式10)$$

$$Q = \begin{cases} Q_D & (Q_D > Q_F) \\ Q_F & (Q_D \leq Q_F) \end{cases} \quad (式11)$$

ここで、

Q_D : ファン稼働時の換気量[m³/h] Q_F : 排気ファン風量[m³/h]



| | 偏回帰係数 | | 標準偏回帰係数 | |
|----------|----------|----------|---------|---------|
| | C ≤ 2 | C ≤ 4 | C ≤ 2 | C ≤ 4 |
| k_7 | 0.183649 | 0.182966 | 0.7483 | 0.7102 |
| k_8 | 0.041856 | 0.056693 | 0.1292 | 0.3151 |
| k_9 | 0.000940 | -0.00273 | 0.0074 | -0.0381 |
| k_{10} | 0.001660 | 0.001930 | 0.2080 | 0.2113 |
| k_{11} | 0.933105 | 0.754435 | 0.4284 | 0.4495 |

図4 場合分けによる住宅全体の換気量算定値

4. 各階給気量の推定法の検討

図5に換気回路網計算による各階給気量計算結果と各階給気有効開口面積の比の関係を示す。各階給気量はそれぞれ面積比を示す直線上にあり、各階給気量の比は各階給気有効開口面積の比に等しい。よって（式11）で算定した住宅全体の換気量 Q を（式12）に代入することで各階給気量を推定できる。

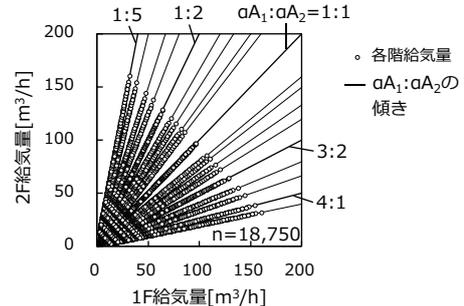


図5 各階給気量と各階の有効開口面積比

$$Q_i = Q \times \frac{\alpha A_i}{\alpha A_1 + \alpha A_2} \quad (式12)$$

ここで、

Q_i : i 階の給気量[m³/h] αA_i : i 階給気有効開口面積[cm²]
 αA_1 : 1階給気有効開口面積[cm²] αA_2 : 2階給気有効開口面積[cm²]

5. おわりに

本研究では、住宅用パッシブ換気システムを対象に、住宅全体の換気量について指数式と並列結合モデルで検討を行い、精度検証することによって精度の高い換気量推定式を作成した。また各階給気量が各階給気有効開口面積の比で表されることを示し、換気量推定式と併用することで各階に供給される空気量を推定する式を作成した。

【参考文献】1) 株式会社 建築環境ソリューションズ: Ventsim 2.1.6 2) 石原正雄: 建築換気設計, 株式会社朝倉書店, p111, 1969. 3) 田島ほか: 温度差利用型戸建住宅用ハイブリッド換気システムに関する研究(第4報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 701-702, 2005. 9 4) 北海道立寒地住宅都市研究所: パッシブ換気システム 設計・施工マニュアル, 財団法人 北海道建築指導センター, p25, 2001. 2 5) 鳥海ほか: 集合住宅における隙間の評価法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第81巻 第722号, 385-391, 2016. 4