

流体解析ソフトKeyFlowによる 計画換気の妥当性の検討

Examination of the validity of planned ventilation by CFD software 'KeyFlow'

株式会社 科学技術研究所、代表取締役社長、一級建築士
MIZUHO YAGISHITA

〒102 - 0083 東京都千代田区麹町 3 - 5 - 4 麹町インテリジェントビル8階
: 03-5210-9333、Fax : 03-5216-2280、mizuho@kagiken.co.jp

The architects who pay their attention to planning ventilation when they perform a housing design increase. Usually in planned ventilation their attentions are paid only to the amount of ventilation. However even if the amount of ventilation may be enough, author who stands on both an architect and a professional fluid analyst thinks that the planned ventilation is not made in success if air does not pass through whole room of resident. Therefore, the author aimed at the simulation of the air flow in a resident with 3-dimensional fluid analysis software 'KeyFlow^(TR)' and clarified this problem .

Key Words : Ventilation , Air Flow, CFD, KeyFlow

1 . はじめに

近年、住宅設計を行なう際に計画換気を考慮する専門家が 많아 なった。この計画換気については通常次のように信じられている。住宅の換気量の基準値は内容積に対して換気回数で0.5回/時という目安を設け、その値を達成することとする。しかし、実際問題として、いくら換気量が足りるように計画しても、空気が家全体や各部屋の中を滞り無く流れて行かなければ計画換気とは言えない。そこで、筆者は建築に関係のある者であり、また流体解析を生業とする者という立場から、住宅内の空気の流れに着目して、流れのシミュレーションをCFD (Computational Fluid Dynamics) で行ない、この問題を解明することにした。

2 . 解析の概要

解析の目的、解析モデル、解析条件、解析に使用したアプリケーションソフトは以下の通りである。

(1) 解析の目的

- 本研究における解析の目的は住宅設計に求められる以下の2点の要件が満たされているかを検討することにある。
- 空気が流れない空間を作っていないか
- 換気量が十分に確保されているか

(2) 解析モデル及び解析条件

解析対象とする住宅モデルは、一般的な間取りの2LDKマンションの居室とした。現象をとらえ易くするため出来るだ

けシンプルなモデルとし、余分な条件は省略した。

解析モデルの形状は、幅6m、奥行き13.3mの2次元モデルとし、3ケースのシミュレーションを行う(図1参照)。

- Case-1 外壁だけがあって、間仕切壁や物など障害となる物がなにもない場合
- Case-2 外壁と間仕切壁、閉じた部屋があって、物が置いていない場合
- Case-3 外壁及び間仕切壁、閉じた部屋があり、その他物が置いている場合

図1で各Caseとも解析モデルの下部と上部にそれぞれ2ヶ所ずつの箇所があるが、これは0.25mの換気口を表わす。下部2ヶ所の換気口の圧力は大気圧0.1MPaとし、上部2ヶ所の換気口の圧力は0.09998MPaとした。これらの値は、通常の家

庭用換気扇の圧力差が数Pa程度なので、それに比べるとかなり大きな値ではあるが

本解析の目的が室内の壁面や物の配置の違いが換気量に影響することをシミュレートすることであること
換気量そのものを設計に反映させるためのものではないこと
圧力差が大きいほど解析時間が少なくて済むこと

などを考慮してこれらの値を設定した。使用している単位はSI系であり、図中の数字は単位の無いものは長さmである。尚、

間仕切壁の厚さは全て0.1mとした。

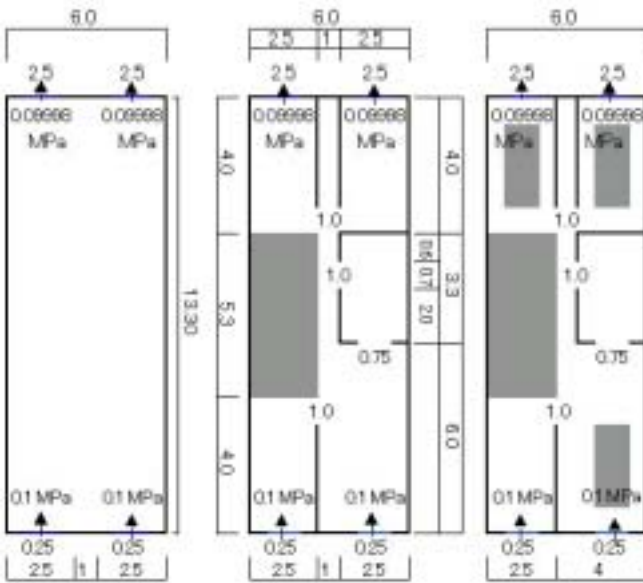


図1 解析モデル図(左からCase-1、Case-2、Case-3)

(3) 解析条件

- 解析領域：13.3m × 6.0m × 1m
- 解析モデル：2次元モデル
- メッシュ分割数：47 × 81 × 1
- 解析変数：X,Y,Z,U,V,W,RHO,PRE,SPEED,TEM
- タイムステップ：1秒
- 解析時間：3000 (Case-2,Case-3) ~ 15000(Case-3)

(4) 解析ソフトとアルゴリズム

ここでは流体解析用アプリケーションソフトとして3次元熱流体解析ソフト KeyFlow^(TR)を用い、図化処理には3次元データ可視化ソフト KeyPlot^(TR)を用いた。

a) 数値解法

KeyFlow で採用されている数値解法は以下の通りである。本来は3次元式だが、本研究で扱うのが2次元問題であるため定式化も2次元で表わす。

支配方程式について圧縮性粘性流体の2次元空間における非定常性を考慮した Navier-Stokes 方程式は以下のように表わす。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E_E}{\partial x} + \frac{\partial F_E}{\partial y} = \frac{\partial E_V}{\partial x} + \frac{\partial F_V}{\partial y} \quad (1)$$

(1)式における左辺第一項は非定常項、 E_E 、 F_E は移流・対流項、 E_V 、 F_V は粘性・拡散項を表わす。これらのベクトル成分は次のように書くことができる。

$$U = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ e \end{pmatrix}, E_E = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ h_e + p \end{pmatrix}, F_E = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + p \\ h_e + p \end{pmatrix}$$

$$E_V = \begin{pmatrix} \tau_{xx} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xy} \\ S_1 \end{pmatrix}, F_V = \begin{pmatrix} \tau_{xy} \\ \tau_{yy} \\ \tau_{xy} \\ S_2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

(2)式で、

$$e = Cp \times T - p + \rho/2(u^2 + v^2) \quad (3)$$

$$p = \rho R T \quad (4)$$

$$R = \frac{\mathcal{R}}{M} \quad (5)$$

ここで、 C_p は比熱、 \mathcal{R} は普遍気体定数、 M は分子量 (空気 28.8) である。また、粘性応力項について

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= \mu \frac{d}{dx} u_x - 2v_y \cdot i/3 \\ \tau_{xy} &= \mu \frac{d}{dx} v_y + v_x \cdot i \\ \tau_{yy} &= \mu \frac{d}{dy} v_y - 2u_x \cdot i/3 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで下添え字は $u_x = \partial u / \partial x$ のような微係数を意味する。エネルギーの拡散項については

$$S_1 = u \tau_{xx} + v \tau_{xy} \quad (7)$$

$$S_2 = u \tau_{xy} + v \tau_{yy}$$

で表わされる。

粘性係数及び乱流モデルについて

粘性係数は次の(8)式で与えた。

$$\mu = \mu_l + \mu_t \quad (8)$$

ここで μ_l 、 μ_t は層流及び乱流粘性係数で、値は次の式で求める。

$$\mu_l = 1.0 \times 10^{-5}, \mu_t = \mu_l \times 10^2 \quad (9)$$

本研究では流体を熱的完全流体と仮定し、比熱 C_p は温度に関する下記の式で与える。

$$C_p \text{ [J/kg}\cdot\text{K]} = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 \quad (10)$$

離散化とアルゴリズム

本研究では、空間的な振動を伴わず高解像度で捕らえることができる Harten - Yee 型風上 TVD scheme を空間緩和法として採用している。この方法にしたがって空間2次、時間1次の Euler Implicit 法で支配方程式を離散化し、解を Beam - Warming 法で求めることにする。乱流モデルには定数乱流モデルを用いた。

3. 解析結果

解析結果を以下に示す。換気量について流入量を表1、流

出量を表2に示した。図3～図7に速度値図、速度分布図、等速度線図、速度ベクトル図、流線図を表わした。表図は、それぞれ左からCase-1、Case-2、Case-3の順に並べ、比較しやすいようにした。各結果から分かったことを以下に箇条で記した。

換気量について以下のことが分かった。

壁や障害物などといった障害物が無い場合（Case-1）と比べて、それらがある場合（Case-2、Case-3）は換気の流入量・流出量ともに大幅に減少する。

Case-1は完全な左右対称モデルのため換気量も当然、対称となっている。一方Case-2、Case-3では間取りや障害物の配置が対称ではないため、流入部、流出部共に換気量は左右対称とはならず大きく異なっている。

特に、障害物が換気口の近傍に配置されているCase-3の場合には障害物の影響を大きく受けて換気量は極端に減少している。

Case-1で流入量より流出量が0.5%程度多いのは、解析が完全には定常状態に収束していないためなのか、あるいは一部で非定常的な流れが存在するためなのかは今後検討を行なう必要がある。

図から以下のことが分かった。

図3 各ケースの流速ゲージから、空気の流入、流出の速度はCase-1 > Case-2 > Case-3と遅くなっている。これは流入部から流出部に至るまでに壁面が存在するため、空気の粘性の影響が顕在化するためと考えられる。特に、換気口近傍に障害物を配置したCase-3の場合に、換気口から流入した空気は障害物に対する噴流となるため余計に粘性の効果が強く顕れる。

図4 速度分布図から最大速度はCase-1では図の上下部にある換気口が置かれた箇所で出現している。同じく、Case-2では図の下部にある右側換気口（流入部）で、またCase-3では図の下部にある左側換気口（流入部）で出現している。これにより速度の最大値は速度方向に障害物が無い箇所で現れることが分かる。

図4からもCase-1はモデルが左右対称のため流れも左右対称となっていることが分かる。Case-3では図の右下換気口（流入部）のすぐ前に物が置かれているので空気が流れ難くなっている。Case-3では図の上部にある換気口（流出部）の前に物が置かれているためその障害物を回り込むように空気が流れている。Case-2、Case-3とも空気は台所（図の右中央部の部屋。出入口が2ヶ所設けてある）にはあまり流れ込まず、真直ぐな廊下を一気に流れ抜けている。このことは流入部と流出部の間に位置する部屋（この例では台所）で空気が流れるように開口部があっても、実際には換気がほとんど行なわれないことがあるということを意味している。

流れは玄関部（図上部中央）では開口がないため、開いている左右の両部屋に流れ込んでいる。これは流入・流出という2つの要素が揃ってはじめて換気が行なわれることを意味するものである。

図5 等速度線図、図6 速度ベクトル図、図7 流線図から

も上記と同様の傾向が見られる。

表1 空気の換気量（流入：kg/sec）

	Case-1	Case-2	Case-3
換気口	0.4890	0.1738	0.1752
換気口	0.4890	0.2747	0.0584
流入量合計	0.9780	0.4485	0.2336

表2 空気の換気量（流出：kg/sec）

	Case-1	Case-2	Case-3
換気口	0.4921	0.2147	0.1150
換気口	0.4921	0.2377	0.1186
流出量合計	0.9842	0.4524	0.2336

但し、換気口①～④の位置は以下の通りである。

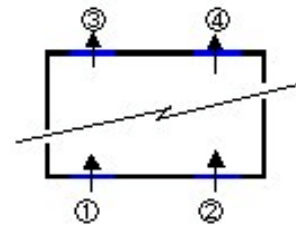


図2 換気口の位置図

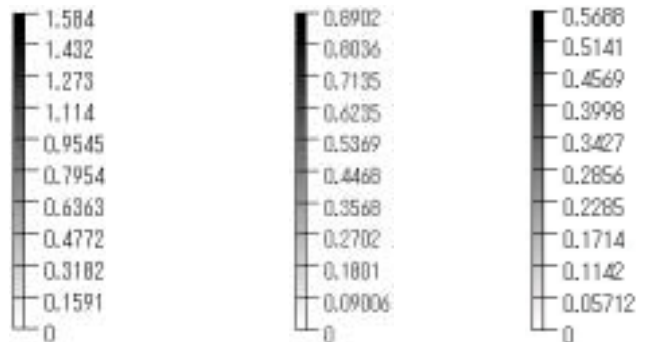


図3 各図の流速ゲージ（左からCase-1、Case-2、Case-3）

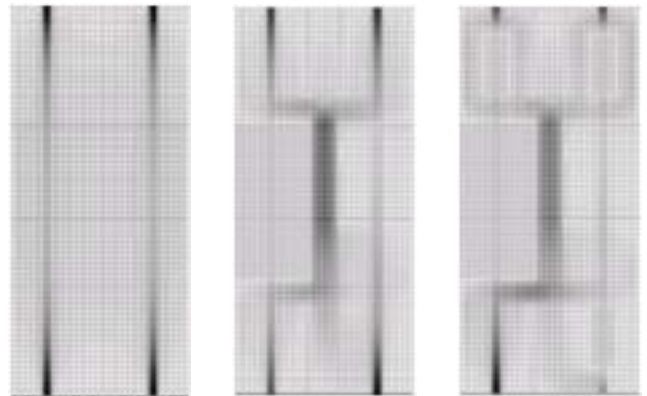


図4 速度分布図（左からCase-1、Case-2、Case-3）

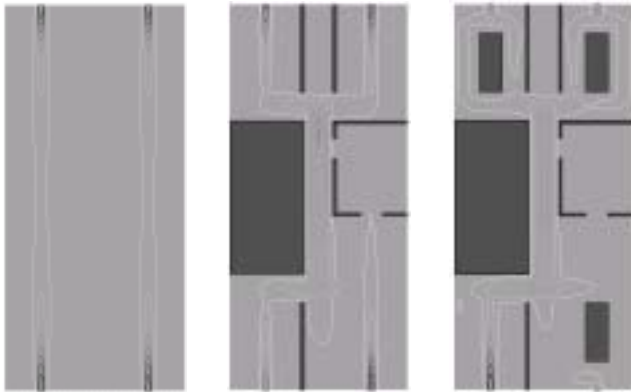


図5 等速度線図(左からCase-1、Case-2、Case-3)

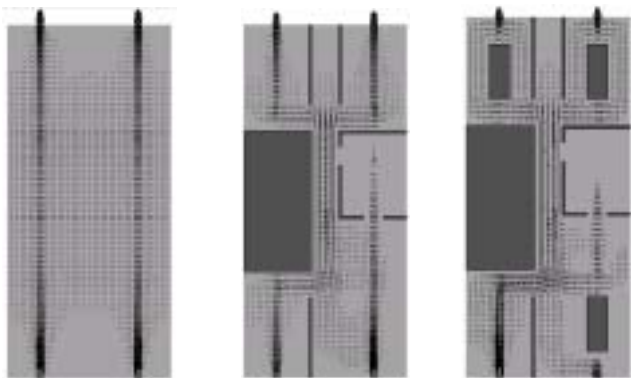


図6 速度ベクトル図(左からCase-1、Case-2、Case-3)

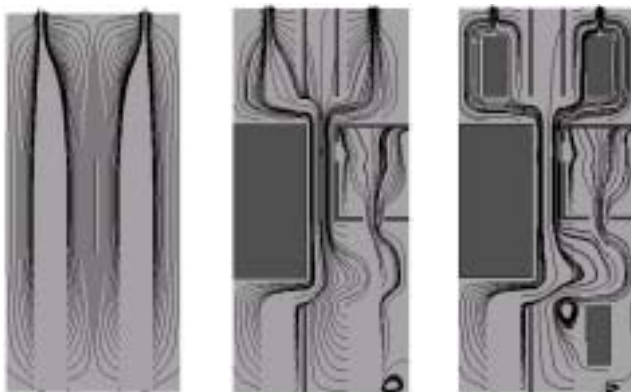


図7 流線図(左からCase-1、Case-2、Case-3)

4. 考察

この研究の成果で次のことが分かった。

計画換気と言っても換気量を考慮しただけでは十分な換気を行っていないとは言えない。換気量が足りたとしても、空気の流れが家の隅々までに行き届かないことがあるからである。本研究の解析結果から分かるように、空気が流入用換気口から廊下を通して、一気に流出用換気口に流れて行ってしまい、空気が通らない空間が出来るからである。

換気口の前、時に換気口の近傍に障害物(物)を置くと空気の流入は極端に悪くなっている。

この住宅の間取りの中で、中央部の右側にあり、2箇所に開口がある部屋(この場合は台所)には、一見、空気が流入し流出して行くように見えるが、実際には十分な空気の流れがない。このような部屋でガスコンロなどの燃焼機器を使う場合には、特に強制換気が必要とされる訳である。

空気の流入があっても流出用の開口がない玄関のような場合にはこれも空気の流れが無い。

また、当然ながら住宅で締め切ってエアコンなどの換気器具を稼働していなかったり、流入、流出用の窓を閉めていたり、換気口があっても詰まっているような場合には空気は流れない。

以上により、住宅で換気量だけを考慮しても充分ではなく、流体工学的な空気の流れを考慮する必要があることが分かった。

5. 結論

- 1) 設計時に計画換気を行って規定の換気量を満たしていると言うだけでは十分ではない。
- 2) 人が住み、物が置かれると(特に換気口の近傍に)、換気効率は極端に悪くなり、当初計画したほどには空気は流れない。
- 3) 一見、空気が流れているように見えても実は流れていない部屋がある。設計時に空気の流れを流体工学的に考慮し、空気の流れない空間を作らないように設計しなければならない。

参考文献

- 1)藤田晋作(科学技術研究所),"Application of CFD Software KeyFlow as a Methoscale Meteorological Simulator",「汎用局地気象シミュレーターとしての流体解析ソフトKeyFlowの応用(7-7)」,第8回日本計算工学会講演会講演論文,2003
- 2)松田智,藤倉光伸(静岡大学工学部),藤田晋作,柳下瑞穂(科学技術研究所),"Numerical Simulation of Ascending Current for Artificial Rainfall(2nd)",「人工降雨促進のための上昇気流生成シミュレーション(第2報)」,第8回日本計算工学会講演会講演論文,2003
- 3)吉田光宏,藤田晋作,柳下瑞穂(科学技術研究所),"Development of electromagnetic wave analization software by FD-TD method integrated with pre - and postprocessor",「プリ・ポストと統合的に設計されたFD-TD法による電磁波解析ソフトKeyFDTDの開発(7-5)」,第8回日本計算工学会講演会講演論文,2003
- 4)藤田晋作(科学技術研究所),「ロバストな亜音速 - 超音速流体解析プログラムKeyFlow(TM)の開発とその適用」,第7回日本計算工学会講演会,2002
- 5)松田智,藤倉光伸(静岡大学),藤田晋作(科学技術研究所),"Numerical Simulation of Ascending Current for Artificial Rainfall",「人工降雨促進のための上昇気流生成シミュレーション」,第7回日本計算工学会講演会,2002
- 6)科学技術研究所,「環境保全(大気汚染等)に関わるシミュレーションソフトの研究開発及び事業化」,中小企業創造的事業活動促進法研究開発等事業計画題目,東京都労働経済局,2000