

有効混合容積による通風空間の基礎的検討

正会員 ○西澤 繁毅*1
同 繪内 正道*2
同 羽山 広文*3
同 森 太郎*4

有効混合容積, 通風空間, 瞬時一様拡散仮定

1. はじめに

通風を対象とした研究は数多くなされてきたが、室外と室内の環境の影響を複雑に受けるため、通風環境の定量的な把握は難しいのが現状である。著者らは、多種トレーサーガス法を用いて実験住宅の経時的な多室間換気測定¹⁾を行い、換気量既知の実験住宅による検証結果²⁾にもとづいた実験から有効混合容積³⁾の検討を試みている⁴⁾。有効混合容積とは、トレーサーガスが瞬時一様拡散するとみなせる領域の容積であり、流入空気が室内で瞬時一様拡散していると仮定できる場合には室の実容積と等しく、流入空気が「すっぽ抜ける」と小さくなるため、通風環境の定量的な把握に有効であると考えられる。本研究では、この有効混合容積を通風場に適用して通風環境の性状を把握することを最終的な目的とし、その第一歩として、CFDを用いて定常通風場における有効混合容積の性質を検討する。

2. 通風空間のモデル化

通風空間を表すモデルを図1に示す。ただし、以下のモデルおよび関係式は、ステップアップ法($t < 0$: 全領域の濃度=0, $t > 0$: C_{in} をステップアップ)をもとに構成している。

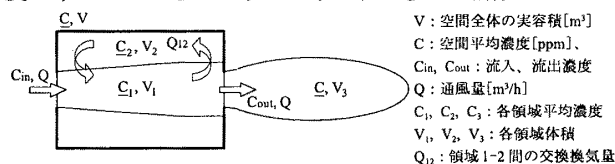


図1 通風空間モデル

空間に仮想的な界面を設定して領域1と2に分け、空間の外に仮想的な領域3を設定する。この領域3は、室内から C_{out} の濃度をもって流出した空気が瞬時的に室内の平均濃度 C にまで拡散したとみなせる領域とする。各領域の関係式は以下ようになる。

$$(C_{in} - C_{out})Q + (C_2 - C_1)Q_{12} = V_1 dC_1/dt \dots\dots\dots(1)$$

$$(C_1 - C_2)Q_{12} = V_2 dC_2/dt \dots\dots\dots(2)$$

$$(C_{out} - C)Q = V_3 dC/dt \dots\dots\dots(3)$$

$$C_1V_1 + C_2V_2 = C V \dots\dots\dots(4)$$

$$V_1 + V_2 = V \dots\dots\dots(5) \quad V_1 + V_2 + V_3 = V_L \dots\dots\dots(6)$$

このモデルにおける仮想的な容積 V_1 、 V_2 、 V_3 は経時的に変化する容積である。式(1)~(6)はこのモデルで普遍的に成り立つが、式数が少なく解くことはできない。本報では、領域1を有効混合容積とするため、 $C_1 = C_{out}$(7)の条件を附加する。式(7)は、この式を満たす領域を領域1として定義することを意味する。

3. シミュレーション概要^{5),6)}

CFD解析の概要を表1に示す。解析では、定常気流場を求め、流入濃度を $C_{in}=1.0$ にステップアップして濃度変化の非定常解析を行う。陰解法を用い、 Δt は1秒である。

解析条件を表2に示す。解析空間は1.8m立方とする。解析メッシュは28(X)×24(Y)×28(Z)を基本とし、開口位置と大きさに応じて細分している。

解析条件は、開口の大きさと配置によって場合分けし、さらに、流入風速によって4段階に細分した(表2)。また、開口配置が中→中であるTest1、3では、開口面に垂直に流入する流入角度 0° のケースの他に、開口面に斜めに流入するケース(X+方向に 5° 、 10° 偏向)についても検討を行う。

4. 解析結果

結果の一部を図2~図13に示し、考察する。

1) Test1-1-1 (図2~図4)

Test1-1-1では、流入空気がすっぽ抜ける状態で流出開口に到達するため、流出濃度 C_{out} は空間平均濃度 C より高くなる。そして、高濃度の空気がそのまま流出するため、室内平均濃度 C は瞬時一様拡散を仮定したときの濃度 C_{dif} より低くなる。ここで、Test1-1-1の室内平均濃度 C は、瞬時一様拡散仮定濃度 C_{dif} の時間変化を表す式

$$C_{dif} = 1 - \exp(-Qt/V) \dots\dots\dots(8)$$

と同形に指数近似でき、

$$C = 1 - \exp\{-Qt/(2.18V)\} \dots\dots\dots(9)$$

と表せる。この体積 $2.18V$ が式(6)の V_L に相当する(図3)。この V_L は、流入空気がすっぽ抜けて流出し、対象空間外も含めて瞬時一様拡散したとみなせる領域の体積($V_1+V_2+V_3$, 図1)を示していると考えられる。

表1 CFD概要

乱流モデル	標準k-εモデル
解析法	有限体積法(SIMPLE法)
差分スキーム	べき乗法
流入境界	$k_{in}=(U_{in} \cdot 0.05)^2/2$ $\epsilon_{in}=C_\mu k_{in}^{3/2}/L$ L:開口幅の20%
流出境界	開口流速指定
壁表面	一般化対数則

表2 解析条件

TEST	開口		流入速度 [m/s]	流入角度 [deg]	TEST	開口		流入速度 [m/s]	流入角度 [deg]			
	大きさ[mm]	配置				大きさ[mm]	配置					
1-1-1	□200	中→中	0.04	0	□500	中→中	0.04	0	0			
1-1-2										3-1-2	5	5
1-1-3										3-1-3	10	10
1-2-1			3-2-1	0			0					
1-2-2			3-2-2	5			5					
1-2-3			3-2-3	10			10					
1-3-1		3-3-1	0	0								
1-3-2		3-3-2	5	5								
1-3-3		3-3-3	10	10								
1-4-1		3-4-1	0	0								
1-4-2		3-4-2	5	5								
1-4-3		3-4-3	10	10								
2-1	上	上	0.04	0	上	上	0.04	0	0			
2-2										4-1	0	0
2-3										4-2	0	0
2-4										4-3	0	0
3-1	下	下	0.17	0	下	下	0.17	0	0			
3-2										4-4	0	0
3-3										4-4	0	0
3-4										4-4	0	0

※開口位置一下:開口中央が床土300mm,上:開口中央が床土1,500mm

Study on Spatial Characteristics of Cross Ventilation Which Use the Effective Volume Index

NISHIZAWA Shigeki, ENAI Masamichi, HAYAMA Hirofumi and MORI Taro

41314

ピストンフローの性状をおびてくる。

空間の濃度変化は、仮想体積 $V_L (= 2.18V)$ の影響を受ける。ただし、Test1-1-1 では、 t が小さいときを除いて V_L が一定値となるため、式(9)のような時間のみを変数とする指数関数1項で表すことができるが、経時的に V_L が変化する場合、濃度変化全体を指数関数1項で表すことはできない。

Test1-1-1 では、 t が小さいときを除けば、有効混合容積 V_1 も経時的に一定 ($= 0.03V$) となり (図3)、領域1は図4となる。これは主流域(通風輪道)を明示しているといえる。

2) Test1-1-2 (図5~図7)

流入角度を 5° にした Test1-1-2 では、Test1-1-1 より流出濃度 C_{out} が低く、空間平均濃度 C が瞬時一様拡散仮定の濃度 C_{dif} の上昇曲線に近づく (図5)。また、 V_1 が大きく、 V_L は小さくなり、経時的な変化が認められるようになる (図6)。図7に示した領域1には流入空気の偏向の影響がでており、流入角度が 5° 振れることで、回流する部分が現れている。

3) Test1-1-3 (図8~図10)

流入角度を 10° にすると、さらに、流出濃度 C_{out} が低く抑えられることになり、空間平均濃度 C は瞬時一様拡散仮定の濃度 C_{dif} とほぼ同じになる (図8)。 V_1 、 V_L は実容積 V に近づいており、流入空気のすっぽ抜ける割合が小さく、混合する割合が大きくなっていることを示している (図9)。また、 V_1 と V_L が経時的に大きく変化している。この経時的な変化は、流入空気が偏向して流れ場がより複雑になり、流入した空気が流出口に到達するまで支配的な経路が複数

生じるためと考えられる²⁾。

領域1と2の間の交換換気量 Q_{12} の初期の変動が大きいのは、領域1が伸縮して領域2と空間のやりとりをして生じる、擬似的な交換換気量を含んでいるためである。

Test1-1-3 では、領域1が空間の7割以上に広がっており、空間内が混合されている様子がわかる (図12)。

5) Test4-4 (図11~図13)

空間平均濃度 C と流出濃度 C_{out} が瞬時一様拡散仮定の濃度 C_{dif} とほぼ一致するのは、流入口と流出口が直線上的な Test2 と Test4 に現れる共通の性質である。Test4-4 では、ほとんどの時間にわたって $V_1 = V$ 、 $V_L < V$ となっており、瞬時一様拡散の状態にあるといえる。

7. 流入速度、角度と V_1 、 V_L の関係

図14に流入速度と V_1 、 V_L ($C = 0.9$ のとき) の関係を、図15に流入角度との関係を示す。 V_1 、 V_L の速度による変化は小さいが、流入角度が増大すると V_1 が増加し、 V_L が減少して、すっぽ抜ける割合が小さくなること分かる。

8. まとめ

有効混合容積 V_1 の領域1と、その外周の領域2、室外にひろがる仮想的な領域3とに空間を分割して通風場のモデル化を行い、数値解析を通して有効混合容積 V_1 と V_L の性質を検討した。流入空気が吹き抜けるときには V_1 が小さく V_L が大きくなり、流入空気が空間内をよく混合するときには V_1 と V_L がともに1に近づくことから、この V_1 と V_L は通風場の性状を表す指標となることを確認した。

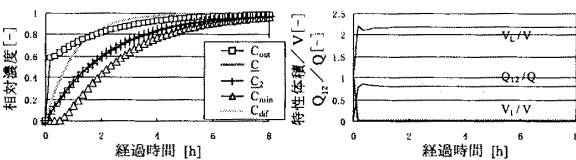


図2 Test1-1-1 濃度変動 図3 Test1-1-1 体積、領域間換気量



領域1/4表示, $t=1.5h, V_1/V=0.03$

図4 Test1-1-1 領域1

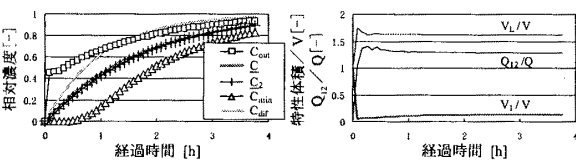


図5 Test1-1-2 濃度変動 図6 Test1-1-2 体積、領域間換気量



領域1/2表示, $t=1.15h, V_1/V=0.12$

図7 Test1-1-2 領域1

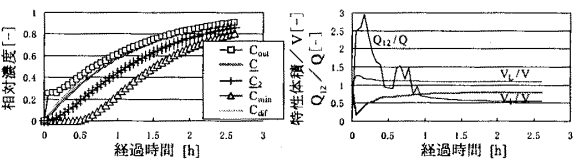


図8 Test1-1-3 濃度変動 図9 Test1-1-3 体積、領域間換気量



領域1/2表示, $t=0.82h, V_1/V=0.73$

図10 Test1-1-3 領域1

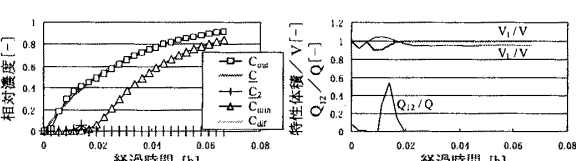


図11 Test4-4 濃度変動 図12 Test4-4 体積、領域間換気量



領域1/2表示, $t=0.02h, V_1/V=1.0$

図13 Test4-4 領域1

注) 濃度変化は複数の支配的な経路による拡散混合で決定されるため、Test1-1-1の式(9)のような、時間のみを変数とする指数関数1項ではなく、経路毎の特性を持った指数関数の重ね合わせによって濃度変化が表されることが出来る。そのため、指数関数1項で表そうとしたときの指数 $-Qt/V$ の容積 V にあたる V_1 は刻々変化するようになる。

参考文献

- 1) 繪内他: 多種トレーサーガス法に基づく多室換気量の算定 第4報, 空気調和・衛生工学会論文集 No.80, pp.19-26, 2001.1
- 2) 繪内他: 換気量既知の試験住宅を用いた多種トレーサーガス法の検証, 日本建築学会計画系論文集 第537号, pp.49-56, 2000.11
- 3) 奥山他: 多室換気測定法の現場測定における誤差検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.613-614, 1996
- 4) 西澤他: トレーサーガス法による換気量算定に影響を及ぼす有効混合容積の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.543-544, 2000
- 5) 荒川忠一: 数値流体工学, 東京大学出版会, 1994
- 6) 加藤信介: 数値流体工学CFDの室内環境への応用(1)~(7), 空気調和・衛生工学, Vol.71 No.6 ~ Vol.72 No.1, 1997.6 ~ 1998.1

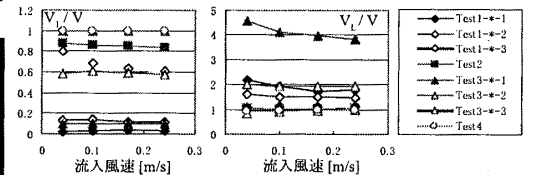


図14 速度と V_1 、 V_L

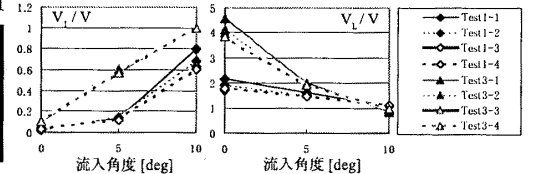


図15 流入角度と V_1 、 V_L

*1 北海道大学大学院工学研究科 工修
*2 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博
*3 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)
*4 北海道大学大学院工学研究科 助手・博士(工学)

*1 Graduate School of Eng., Hokkaido Univ. M.Eng.
*2 Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ. Dr.Eng.
*3 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ. Dr.Eng.
*4 Instructor., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ. Dr.Eng.