

天井設置された自然換気用有孔ダクトの設計手法に関する研究

(その2) 換気回路網計算モデルを用いたパラメトリックスタディ

正会員 ○若狭 弥保^{1*} 同 山中 俊夫^{2*} 同 小林 知広^{3*} 同 桃井 良尚^{4*}
同 田中 宏明^{5*} 同 藤井 拓郎^{5*} 同 守 雅俊^{5*}

置換換気, 病室, 冷却・加熱壁面, 下降・上昇気流

1. はじめに

高層ビルへの自然換気導入が近年注目されている。しかし外気温度 15℃ 以下での自然換気運用時、吹出風速が大きい場合生じるコールドドラフトへの懸念¹⁾や間仕切壁などで隔られた室の多い空間では水平方向の自然換気経路確保の為欄間やパスダクトが必要となり²⁾自然換気システムの導入が現状難しいことなどの課題がある。そこで本研究では、新鮮外気を室の奥まで導入する為に角ダクトを天井に設置した自然換気システムの導入を提案する。本報では、換気回路網モデルの計算結果から得たダクト内圧力損失係数と有孔板の開孔率が与える影響について報告する。

2. 自然換気システム概要

本研究で提案する自然換気システムの概要図、対象空間における換気手法の断面図を図 1、2 に示す。自然換気口から流入した外気は幅 500mm×高さ 350mm の角ダクト(以下、NV ダクト)を通り室の奥まで運ばれる。NV ダクトの下面部はパンチングメタルで構成されており、低風速で室内へ給気される。排気は図 2 の両端の排気パネルから行われる。本システム導入の利点は主に 3 つ挙げられる。

- ・ドラフトリスク抑制による自然換気可能期間の拡大
- ・冷却されたパンチングメタルからの放射効果
- ・間仕切り壁を有する室空間への自然換気導入の可能性

本システムはオフィスの執務室で利用を想定している。執務室には幅 1,600mm、奥行 19,400mm、高さ 2,800mm の空間が等間隔に並んでいるものとしてこれを計算対象空間とし、NV ダクト内で流量収支が成り立つと想定した。

3. 換気回路網計算による吹出し風量の算定手法

3.1 モデル概要

一列法³⁾と呼ばれる解法を用いてモデルの構築を行った。モデル図 3 に示す。ダクト内を n (本報では n=500) 分割し、ダクト内に分割区間が一行に並んでいると想定している。NV ダクトの最上流側の分割区間における静圧 P_0 の値を仮定し、収支式 (6) の繰り返し計算により P_0 の真値を求める。以下、モデルの基礎式を示す。

①自然換気口から NV ダクトへ導入される風量 V_0 、外気圧 P_{out} と分割区間内の静圧 P_0 の差から式 (1) で求める。

$$V_0 = \alpha_o A_o \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_{out} - P_0|} \quad \dots(1)$$

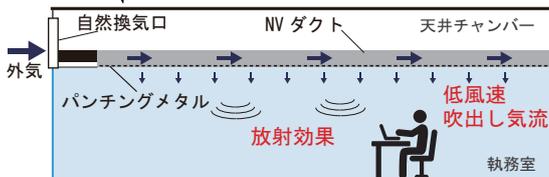


図 1 自然換気システム概要



図 2 換気手法

② NV ダクトの分割区間からの室内吹出し風量 V_r 、分割区間と室内の静圧差から式 (2) で求める。

$$V_{ri} = \alpha_r A_r \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_{i-1} - P_{room}|} \quad \dots(2)$$

③ 下流側の分割区間へ流入する流量 V_i

$$V_i = V_{i-1} - V_{ri} \quad \dots(3)$$

④ 分割区間内の静圧 P

連続する分割区間において全圧の収支式を立てると

$$\left\{ P_i + \frac{\rho}{2} \left(\frac{V_i}{A_d} \right)^2 \right\} - \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \left(\frac{V_{i-1}}{A_d} \right)^2 = \left\{ P_{i-1} + \frac{\rho}{2} \left(\frac{V_{i-1}}{A_d} \right)^2 \right\} \quad \dots(4)$$

となる為分割区間 i における P は以下の式で求める。

$$P_i = P_{i-1} - \frac{\rho}{2 A_d^2} \{ V_i^2 - (1 - \zeta) V_{i-1}^2 \} \quad \dots(5)$$

NV ダクトの最も下流側に存在する分割区間 n-1 では以下の収支式が成り立つはずである。

$$E^j(P_0) = -V_{n-1} + V_{rn} = 0 \quad \dots(6)$$

二分法により収支式 (6) が成立する P_0 を算定する。

3.2 計算条件

換気回路網計算で用いた各条件を表 1 に示す。室内圧が一定となるような換気駆動力のある境界を仮定している。パンチングメタルの開孔率は 9.75% とした。開孔率 β と比例定数 $C(=1.6$ とした) を用いてパンチングメタルの圧力損失係数 ζ_p 、流量係数 α_r は式 (7)、(8) で求めた。⁴⁾

$$\zeta_p = C \cdot (1 - \beta) / \beta^2 \quad \dots(7)$$

$$\alpha_r = \frac{1}{\sqrt{\zeta_p}} \quad \dots(8)$$

4. ダクト内に生じる圧力損失係数が及ぼす影響

ダクト内部で生じる抵抗値は、NV ダクト内表面の摩擦による圧力抵抗 ζ_1 及びパンチングメタルから空気が流出する際に発生する分岐抵抗 ζ_2 が考えられるが、抵抗値の推定が難しい。そのため本研究では、 $\zeta = \zeta_1 + \zeta_2$ とし、 ζ をパラメータとしてモデル計算を行った。なお、 ζ が 0.04 以上になると、収支式が 0 となる解が得られず収束しなかった。ダクト入口への外気流入量 V_0 、吹出し面風速の水平分布、全圧の水平分布の計算結果を図 4 ~ 6 に示す。吹出し面風速は吹出

表 1 計算条件

自然換気口	$\alpha_o [-]$	0.65
	$A_o [m^2]$	0.175
パンチングメタル	$\alpha_r [-]$	0.086
	$\beta [\%]$	9.75
	$\zeta_p [-]$	152.3
NVダクト	$A_d [m^2]$	0.019
	$A_d [m^2]$	0.175
境界条件	$P_{out} [Pa]$	0
	$P_{room} [Pa]$	-10
	$\rho [kg/m^3]$	1.2

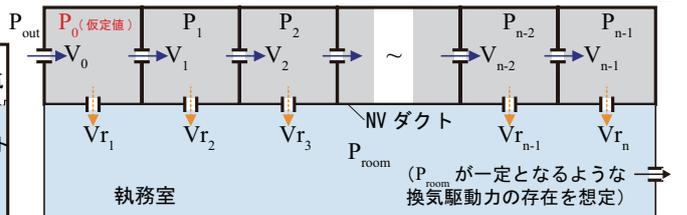


図 3 回路網計算モデル

し風量 V_r を分割区間のパンチングメタルの面積 A_r で除して求めた。 ζ の値が小さいほど、NVダクト内部で受ける抵抗が小さくなるため換気量は増加する。また ζ が小さい条件では NVダクトの奥の部分で風速上昇がみられる。吹出し面風速は吹出し風量 V_r 及び NVダクト内の静圧 P に依存し、 ζ が小さいときダクト奥の動圧が小さくなるため、静圧が上昇したことが原因であると考えられる。

5 パンチングメタルの開孔率が及ぼす影響

前報⁵⁾で行った CFD 解析と、回路網計算モデルで得られたダクト内通過流量 V をそれぞれの流入量 V_0 で無次元化した値の水平分布を比較したところ、ダクト内で生じる圧力損失係数 ζ が 0.01 のモデルと CFD 解析の結果が概ね一致したことから、 $\zeta=0.01$ のモデルを用いて以下の検討を行った。図 5 に吹出し面風速の CFD 解析結果を重ねて示している。回路網モデル計算によって得られたパンチングメタルの開孔率 β と外気流入量 V_0 の関係、開孔率をパラメータとした吹出し面風速の水平分布、全圧の水平分布を図 7～9 に示す。尚、開孔率が 15% 程度以上の時、解が収束しなかった。パンチングメタルの開孔率を増加させると、圧力損失が小さくなるため外気流入量が増加するが、開孔率が上昇するほどダクトから室内への吹出し風速・吹出し風量は距離ごとに分布が生じ、空気質が一般ではなくなる傾向がみられた。また、どの条件でも面風速は非常に小さく一般的な自然換気の吹出し風速と比較してドラフトリスクが抑制されている可能性が高い。

6 おわりに

本報では換気回路網計算を用いたモデルを構築し、ダクト内に生じる圧力損失係数、パンチングメタルの開孔率が与える影響を検討した。今後は CFD を用いた室内気流分布の解析を行い、NVダクト設計の最適化を目指す。

【記号表】

V_0	: 自然換気口から流入風量	[m ³ /s]
V	: ダクト内通過風量	[m ³ /s]
V_r	: 有孔板開孔からの吹出し風量	[m ³ /s]
P	: 分割区間内の静圧	[Pa]
$E(P_0)$: P_0 を変数とした流量収支式	[m ³ /s]
α_o	: 自然換気口の流量係数	[-]
A_o	: 自然換気口の開口面積	[m ²]
α_r	: パンチングメタルの流量係数	[-]
β	: パンチングメタルの開孔率	[-]
C	: 比例定数	[-]
ζ_p	: パンチングメタル開孔部の圧力損失係数	[-]
A_r	: 分割区間のパンチングメタル面の断面積	[m ²]
ζ	: NVダクト内で生じる圧力損失係数	[-]
A_d	: NVダクトの断面積	[m ²]
ρ	: 空気密度	[kg/m ³]
P_{out}	: 外気圧	[Pa]
P_{room}	: 室内圧	[Pa]

(添字)

i : 微小区間の領域番号

j : 繰り返し回数

【参考文献】

- 1) 山本佳嗣, 田辺新一: 自然換気システムの換気口開放条件に関する研究 (2016), 日本建築学会環境系論文集, pp.375-384
- 2) 日本建築学会: 実務者のための自然換気ハンドブック, 技報堂出版 (2013), pp.41-43
- 3) 石原正雄: 建築換気設計 (1969), pp.158-159, 朝倉書店
- 4) 日本機械学会: 管路・ダクトの流体抵抗 (1993), pp.110-112
- 5) 若狭, 山中, 小林, 桃井, 田中, 藤井, 守: 天井設置された自然換気用有孔ダクトの設計手法に関する研究 (その 1) 換気回路網を用いた吹き出し風量計算手法 (2020 掲載予定), 日本建築学会近畿支部研究報告集

* 1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 博士前期課程

* 2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授・博士 (工学)

* 3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授・博士 (工学)

* 4 福井大学学術研究院工学系部門建築建設工学分野 講師・博士 (工学)

* 5 株式会社日建設

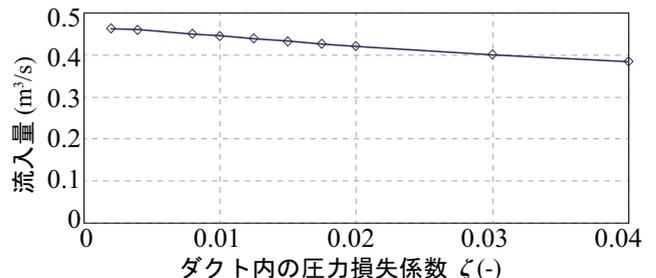


図 4 ダクト内の圧力損失係数 ζ と外気流入量 V_0 の関係

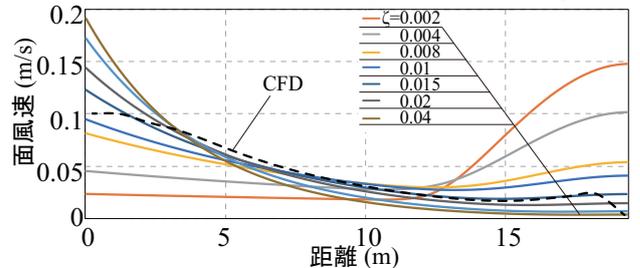


図 5 パンチングメタル面風速の水平分布

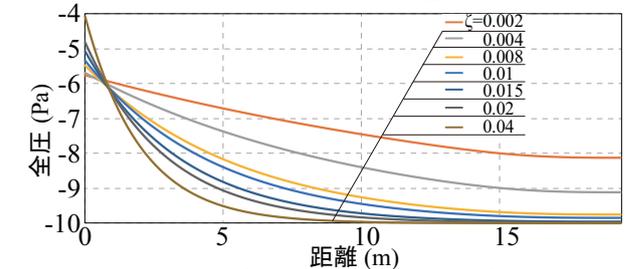


図 6 ダクト内全圧の水平分布

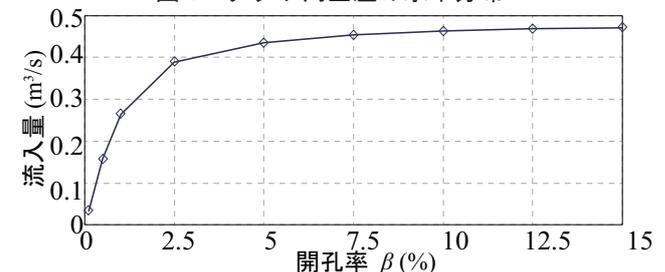


図 7 開孔率 β と外気流入量 V_0 の関係

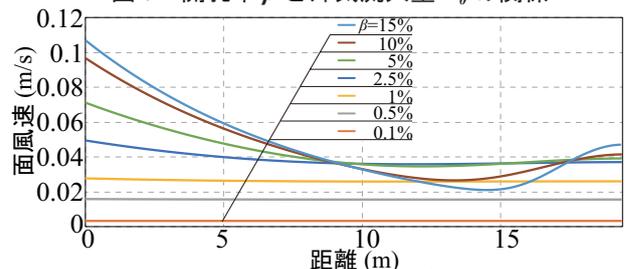


図 8 パンチングメタル面風速の水平分布

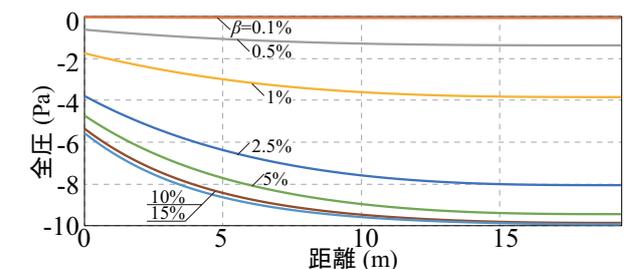


図 9 ダクト内の全圧の水平分布

Graduate student, Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University

Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr.Eng.

Assistant Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr.Eng.

Senior Assistant Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Graduate School of Eng., University of Fukui, Dr. Eng.

Nikken Sekkei Ltd.