

チャンバー吹出し方式における空調気流の検討

その1. チャンバーの静圧損失と一様吹出しについて

正会員 ○羽山 広文*
同 中尾 正喜*

□ 1. はじめに

プレナム・チャンバーを用いた空調気流の吹出し方式はダクトが不要、静圧損失がダクト方式に比べ少ない等の特徴としており、これまで通気天井を対象にした研究が報告されている¹⁾²⁾³⁾。一方、電算機等の高発熱機器を収容する建物では、床配線空間を利用した床吹出し方式が用いられており、その風量分布の計算法は早川⁴⁾が報告しているしかし、この方法を用いて吹出し風量の一様性を確保しつつ低圧力損失な最適形状を決定する場合、各パラメータが相互に関わりあい、数多くのシミュレーションが必要になる。そこで、本報ではチャンバー吹出しの計算モデルを簡略化し、各パラメータとチャンバーの静圧損失及び一様吹出しの関係を明らかにした。

□ 2. 計算方法 (精算法)

検討対象の電算機室は、一般事務室と比べ循環風量が大きい。そこで、図1のように空調機を気流と直交方向(Z)に連続配置し多孔板から吹出す場合、チャンバーを平行平板の二次元連続分配管と見なせる。このとき、j番目の開口をはさむ区間で吹出し風量及び静圧は次式で表わされる

$$Q_j - Q_{j+1} = A_d (V_j^2 - V_{j+1}^2) = q_j, \quad Q_j = \sum_{i=1}^j q_i \quad (1)$$

$$P_{j+1} - P_j = (\gamma / (2g)) (V_j^2 - V_{j+1}^2) \quad (2)$$

$$-(\xi_d + \lambda_1 l / D_d) (\gamma / (2g)) V_j^2 \quad (2)$$

(2) 式の分岐損失係数 ξ_d は、 $q_j / Q_j < 50$ の場合 $\xi_d \approx 0$ ⁵⁾

一方、チャンバー及び多孔板の開口内を空調用ダクトと同様に考えると、その摩擦抵抗 λ は次式で表される⁶⁾。

$$\lambda = 0.0055 (1 + (20000 \varepsilon / D + 10^6 / R_e)^{1/3}), \quad R_e > 2 \times 10^3 \quad (3)$$

また、吹出し風量 q_j は室内との圧力差から求め、

$$q_j = \alpha A_p \sqrt{(2g/\gamma)(P_j - P_a)} \quad (4)$$

$$\alpha = 1 / \sqrt{\xi_1 + \xi_2 + \lambda_p L_p / D_p} \quad (5)$$

となる。 α は多孔板の流量係数である(図2)。

以上、式(1),(2),(4)を連立させチャンバー内の静圧と

吹出し風量分布を求めることができる。

□ 3. 計算モデルの簡略化 (簡易計算法)

前記の計算法から解は得られるが連立方程式が非線形のため、パラメータと解の関係一意に決定できない。そこで
①吹出し風量 q ②摩擦抵抗 λ ③多孔板の流量係数 α がチャンバー内の到る処で均一と仮定し、各パラメータと静圧損失、吹出し風量の不均一率の関係を示す。

3-1. チャンバーの静圧損失 : 上記の仮定より式(1),(2)は次式に書換えることができる。

$$V = V_j - q x / A_d \quad (6)$$

$$(2g/\gamma)(dP/dx) = (-d/dx) V^2 - (l_d/D_d) V^2 \quad (7)$$

式(6),(7)から静圧分布は次式となる⁵⁾。

$$(P - P_a) / (V_j^2 \gamma / (2g)) = ((k_d + 1)(1 - x/L_d) - 1)(1 - x/L_d)^2 \quad (8)$$

$$k_d = \lambda_d l_d / (3 D_d) - 1 \quad (\text{チャンバーの特性係数}) \quad (9)$$

このとき、静圧の最低値 P_{min} は $k_d > -1/3$ の場合チャンバーの中に現われ、その位置 x_m は次式となる。

$$x_m / L_d = (k_d + 1/3) / (k_d + 1) \quad (10)$$

次に、式(8)の x/L_d を0から1まで積分し平均静圧 P_{ave} を求めると次式となる。

$$P_{ave} = ((3k_d - 1)/12)(\gamma / (2g)) V_j^2 + P_a \quad (11)$$

一方、多孔板の流量係数が均一だとすると、チャンバー全体の吹出し風量 Q と圧力差の関係は式(4)から

$$P_{ave} - P_a = (\gamma / (2g))(Q / (\alpha A_p))^2 \quad (12)$$

また、チャンバーの入口と末端の圧力差は式(8)から

$$P_1 - P_a = k_d (\gamma / (2g)) V_j^2 \quad (13)$$

となる。以上の式(11),(12),(13)と $Q_j = V_j W_d D_d / 2$ 、 $A_p = L_d W_d O_p$ からチャンバーの静圧損失は次式となる。

$$P_1 - P_a = (\lambda_d / (6 \alpha O_p (k_d + 1))^2 + (9k_d + 1)) (\gamma / (2g)) V_j^2 \quad (14)$$

3-2. 吹出し風量の不均一率 : チャンバー内の静圧の最大及び最小値 $P_{max} P_{min}$ は、 k_d の範囲により異なり、式(8),(10)より求めることができる。結果を表1に

記号表

L	: チャンバーの長さ(m)	γ	: 空気密度(kg/m ³)
Q	: 風量(m ³ /h)	α	: 多孔板の流量係数
P	: 静圧(mmHg)	R _e	: レイノルズ数 R _e = VD / ν
V	: 風速(m/h)	ν	: 空気の動粘性係数(m ² /h)
W _d	: 幅(m)	ξ_d	: 分岐損失係数
A	: 断面積(m ²)	ξ_1	: 開口入口の損失係数
D	: 相当直径(m)	ξ_2	: 開口出口の損失係数
λ	: 摩擦抵抗	a	: 室内を示すインデックス
l	: 区間の長さ(m)	d	: チャンバー
x	: チャンバー入口からの距離(m)	p	: 多孔板
ε	: ダクト内の粗さ(m)	e	: チャンバーの入口
q	: 吹出し風量(m ³ /h)	l	: チャンバーの長さ
g	: 重力加速度(m/h ²)	max	: 最大
k _d	: チャンバーの特性係数	min	: 最小
O _p	: 多孔板の開口率(%)	ave	: 平均

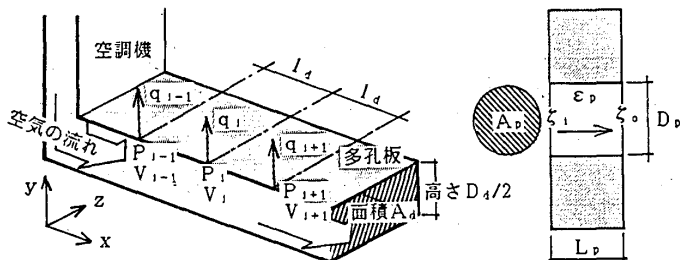


図1 チャンバー吹出し方式の概要

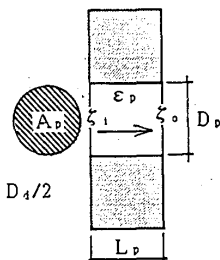


図2 多孔板の形状

A study on air flow in plenum chamber air supply system

Part 1 Static pressure loss and uniform air supply

HAYAMA Hirofumi et al.

示す。チャンバーの平均静圧 P_{ave} は、式(12)より

$$P_{ave} = (\lambda_d / (6\alpha O_p (k_d + 1)))^2 (\gamma / (2g)) V_i^2 \quad (15)$$

となり、室内静圧 $P_a = 0$ とし不均一率を次式で定義する。

$$\text{不均一率} = (q_{max} - q_{min}) / q_{ave} \quad (16)$$

$$= (\sqrt{P_{max}} - \sqrt{P_{min}}) / \sqrt{P_{ave}} \quad (17)$$

□ 4. 計算結果と考察

多孔板の流量係数を $\alpha = 0.817$ ($\zeta_1 = 0.5, \zeta_2 = 1, L_p = 0$) としチャンバーの静圧損失を図3に又、不均一率を図4に示す。その結果、以下のことがいえる。①静圧損失は、 k_d (λ_d / O_p) により決定しこの値が減少すれば静圧損失も低下する。その傾向は、 k_d が大きい程顕著である。②不均一率は、 k_d と $(O_p L_d / D_d)$ により決定し $(O_p L_d / D_d)$ が増加すると不均一率が增大する。その傾向は、 k_d の絶対値が大きい程顕著である。③図3、4を用いることによりチャンバーを構成する各パラメータを決定することができる

□ 5. 計算精度の検討

5-1. 分割数の影響 : 簡易計算法の精度検討を行う前に精算法の精度を確認する。精算法の解法は、チャンバーを分割し、逐次二分法を用いている。そこで、分割数とチャンバー入口静圧 P_i の関係をもとに図3に示した。その結果、分割数が200以上で静圧は一様になりこの値を基準とし、誤差を1%以内に収めるためには20~30分割が必要であることがわかった。

表1 チャンバー内静圧の最大値・最小値

k_d の範囲	最大静圧 P_{max}	最小静圧 P_{min}
$1 \geq k_d > 0$	P_i	$P_i - k_d + \frac{4}{27(k_d+1)^2} \frac{\gamma}{2g} V_i^2$
$0 \geq k_d > -\frac{1}{3}$	$P_i - k_d - \frac{\gamma}{2g} V_i^2$	"
$-\frac{1}{3} \geq k_d \geq -1$	"	P_i

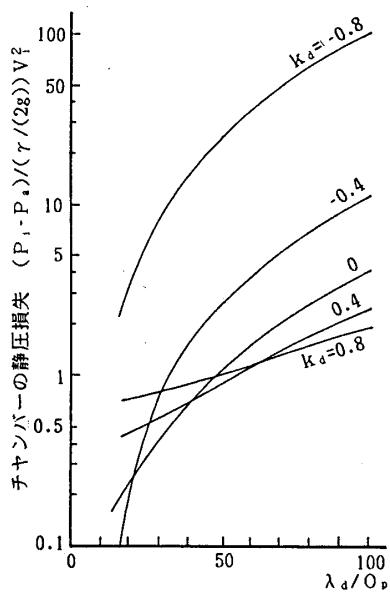


図4 (摩擦損失抵抗/開口率)とチャンバーの静圧損失

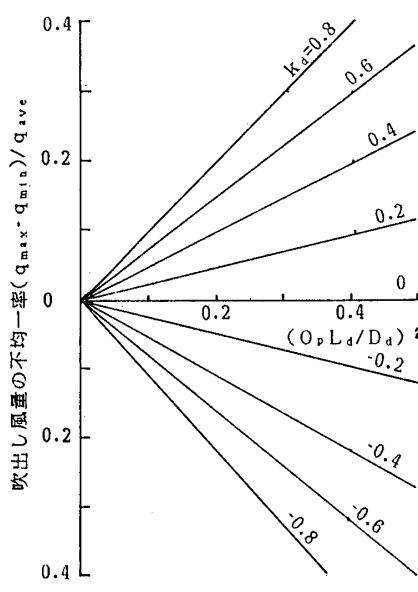


図5 (開口率・チャンバー長さ/相当直径)²と吹出し風量の不均一率

5-2. 簡易計算法の誤差検討 : 先に示した精算法と簡易計算法で静圧損失及び吹出し風量の不均一率を求め比較した(図6)。その結果、静圧損失は k_d が0以下の場合、精算法と非常に良く一致するが、0以上では誤差が増大する傾向になる。一方、不均一率は k_d の増加に伴い増大する。尚、これらの誤差傾向はパラメータが各々変化してもほぼ同様の傾向を示す。以上のことから、 k_d が極端に大きな値でなければ、簡易計算法を用いても静圧損失及び不均一率は実用的な誤差範囲に収まっているといえる

□ 6 まとめ

チャンバーの静圧損失及び不均一率を求める計算法とそれを決定するパラメータを明らかにした。また、この計算法の誤差を求め、実用的な誤差範囲にあることを示した。今後は、計算結果の再現性、各部材の通気特性について実験により確認する予定である。

□ 参考文献

- 1) 向野 他 大成ダクトレス空調方式 建築設備 S51.12
- 2) 戸河里 他 チャンバー吹出し方式の空気特性に関する実験的研究 建築学会大会 S52.10
- 3) 齊藤 天井裏給気チャンバー方式に関する研究 建築学会大会 S58.9
- 4) 早川 他 電算機室の空調和に関する一考察 空調学会研究論文 S44.7
- 5) 管路・ダクトの流体抵抗 P96 機械学会編
- 6) 井上 空調ハンドブック P288 丸善

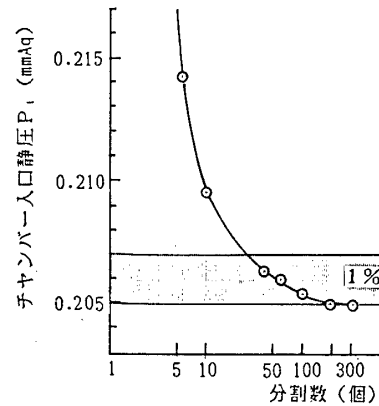


図3 分割数と計算誤差

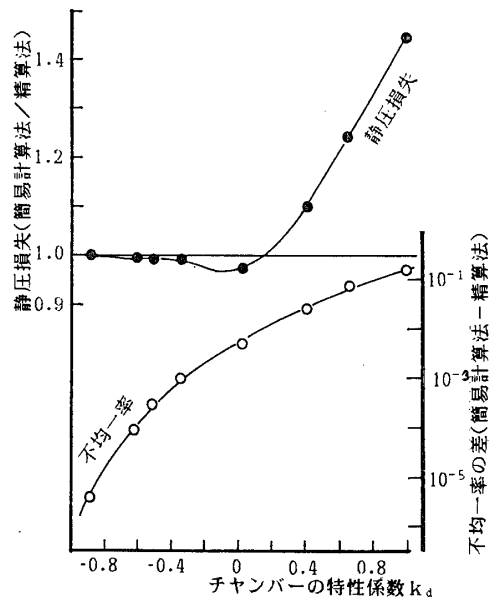


図6 精算法と簡易計算法の比較

* NTT武蔵野電気通信研究所