低床化に対応した吹出口風量分布の均一化手法

床吹出し空調システムに関する研究 その2

IMPROVEMENT OF UNEVEN DISTRIBUTION OF OUTLET AIR FLOW RATES
FROM SHALLOW AIR PLENUM

Studies on underfloor air distribution system Part 2

藤田尚志*, 富家貞男**, 酒井寛二***, 鎌田元康****

*Hisashi FUJITA, Sadao TOMIIE, Kanji SAKAI
and Motoyasu KAMATA*

The measurements in a mock-up of the underfloor air distribution system with a pressurized shallow air plenum have revealed that a vortex or unidirectional air flow around the outlet causes the outlet air flow rate to be less than predicted. However, this can be improved by guide plates set around the outlet. Numerical simulation was carried out, and its results were good, only when the legs supporting the floor panels were included in the mesh-dividing process. The calculated distribution of outlet air flow rate was given practical accuracy through the adjusting procedure derived from the experimental analysis.

Keywords : *Experiment, Numerical simulation, Underfloor air distribution system, Outlet air flow rate, Vortex*

実験, 数値シミュレーション, 床吹出し空調システム, 吹出口風量, 渦

1. はじめに

床下チャンバー内全体を加圧することで床吹出口から室内へ給気, 天井面から還気する, 床下チャンバー加圧型床吹出し空調方式において, 前報¹⁾では室内温度分布を予測するモデルを提案した。本報では, 吹出口風量分布の均一化に有用な手法を開発することを目的とする。なお, チャンバーとその中の気流がほぼ等温である条件設定とした。

床下チャンバー高さを低くできれば(低床化), 階高ひいては建物高さが低減され, 建設コストの減少につながる反面, 吹出口風量の不均一, 送風系の抵抗増加による給気ファンの消費エネルギー増加が予想され, チャンバー高さとのバランスを取る必要がある。そのために本報では, チャンバー高さを低く設定した条件で, 吹出口風量のばらつきを許容範囲内に収めることを意図する。

床下または天井裏空間を加圧し給気用チャンバーとして用いた実施工物件または模型実験で, チャンバー内の気流(風向風速・静圧)の測定結果は多数報告されているが, チャンバー内気流の予測を目的とした研究は数少ない。羽山ら^{2)~4)}は, 多孔板の床を持つチャンバーを1次元連続分配管と仮定して吹出し風量分布を理論的に導き, 模型実験結果と照合することで理論計算の妥当性を検証してい

る。同じく羽山ら⁵⁾は, 長方形平面のチャンバーの一隅からチャンバー内へ給気した場合, チャンバーを2次元の極座標で微小空間に分割し, 吹出し風量を計算する方法を提案している。また高橋ら⁶⁾は, 床面に等間隔で吹出口が並ぶチャンバーを1次元連続等分布分配管と仮定して吹出し風量分布を理論的に求め, 模型実験結果との照合で理論計算の妥当性と適用限界を示している。これらの1次元や極座標での解析結果は床下チャンバー内気流性状を示唆するものの, 一般的にはチャンバー内全体で循環流となることが予想されるチャンバー内気流を表現できない。

倉瀬ら⁷⁾は, 正方形平面のチャンバー内の気流を数値解析で計算し, その計算結果が模型実験での測定結果と比較的良く対応したことを報告している。数値解析は任意のチャンバー形状を設定できるので有力なツールとなり得るが, この報告では計算結果と模型実験測定結果の照合数が少なく, 汎用的に使える境界条件を示すには至っていない。

本報の構成は図1に示すように, 実大二重床模型での測定と, 測定結果を再現するための数値解析とに大別される。また図1は本文中の各節間の関係をも示す。

* ㈱大林組技術研究所空間アメニティ研究室
主任研究員・工修

** ㈱大林組技術研究所空間アメニティ研究室 研究員・工修

*** ㈱大林組技術研究所 副所長・工博

**** 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 教授・工博

Chief Research Engineer, Space Amenity Design Dept., Technical Research Inst., Obayashi Corp., M. Eng.

Research Engineer, Space Amenity Design Dept., Technical Research Inst., Obayashi Corp., M. Eng.

Deputy General Manager of Technical Research Inst., Obayashi Corp., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., The University of Tokyo, Dr. Eng.

2. 実大二重床模型実験

2.1 実験模型概要

実験に用いた二重床模型のシステム図、平面図を図2，図3に示す。平面寸法約7m×約6mの二重床模型全体はビニルシート小屋組みで覆われる。床下チャンバーは、下面がコンクリートスラブ、上面が珪酸カルシウム製床パネル(床パネル裏面は平滑)で構成される。チャンバーの有効高さは可変で、40mm、150mmの2通りに設定した。床パネル間の隙間からの漏気防止のため、床パネルのすべての合わせ目の下面に薄板状ストリンガーを磁力で付けた⁸⁾。給気導入口の幅は1000mm、高さは床下チャンバー有効高さと同じである。

空調機からの空気は給気導入口から床下チャンバーに導入された後、9個(F01～F09と呼称)の床吹出口(φ200mm旋回流型)(図4)から床パネル上の空間に吹出し、ビニルシート小屋組み上部に接続されたダクトを通して空調機に全量還気される。床吹出口1個当たりの風量が平均約130m³/hとなるよう空調機ファン能力を設定した。

2.2 実験条件

実験条件の項目と設定内容、及びそれらを表す記号を表1に示す。実験条件は①床下チャンバー形状4種類、②床吹出口仕様4種類、③整流板の有/無3種類の組み合わせとなる。表中の浅型バスケットは図5に表す。

2.3 測定方法

吹出口風量をファン付きフードで測定した。JIS A 1431に準じ、測定時に床吹出口をフードで覆うことによる圧力損失をファンにて相殺した。フード部と出口縮流部との差圧に対する風量の関係式を予め求めておき、精密微差圧計で測定した差圧を風量に換算した。

毛糸を糸の端に付けた風向測定具を床パネルの測定口から挿入し、糸の流れる方向で平均風向を判定した。風向確認後、同開口に熱線風速計の測定部を入れ、チャンバー高さ中央にて風向方向の平均風速を測定した。

チャンバー内平均静圧は、床パネル上の空間の大気圧を基準として精密微差圧計で測定した。

2.4 床下チャンバー内風向風速・静圧分布と吹出口風量の測定結果

基準チャンバー形状(図3、チャンバー有効高さ150mm)でバスケット有の場合の、チャンバー内風向風速・静圧測定結果を図6に示す。チャンバー内には、時計回りの大きな渦とそれとは逆方向の小

さな渦(床吹出口F03付近)が生じている。静圧分布は全体として変化が小さいが、チャンバー中心付近で最も低く、隅では高い。但しF03近くの隅で若干低い。

図7に周囲静圧(床吹出口中心から600mm離れた2個または4個の測定点での静圧測定値の平均)と吹出口風量の関係を示す。床吹出口F01～F05が床吹出口特性線(周辺気流が静穏な場合の周囲静圧～吹出口風量の関係線)から外れ、吹出口風量が減少している。なお床吹出口特性線を求める測定では、吹出口まわりに渦等の無い静穏な流れをつくるため、放射状に4枚の整流板を設置した(図8)。

各床吹出口まわりの風向風速を詳細に測定した結果を図9に示す。床吹出口F01、F02は給気導入口に近いので、風速の大きい一方向気流(床下チャンバー内ではほぼ同一方向に流れる床吹出口周囲の気流)を受けている。また、F03～F05では床吹出口の周囲を旋回する気流(渦)が生じている。このことから、床吹出口まわりに生じた渦と一方向気流が吹出口風量減少の原因と推察された。

2.5 吹出口風量への渦の影響

床吹出口F03において、床吹出口中心からの距離が等しければ、静圧・風速はほぼ等しいことを確認した上で、床吹出口中心からの距離と、静圧・全圧の関係を図10にまとめた。全圧は床吹出口に近づくとき若干減少するがほとんど一定である。一方、静圧は床吹出口に近づくに伴い大きく低下する。従って、静圧低下の主な原因は動圧の増加、すなわち風速の増加である。

また、床吹出口を中心に気流が円運動していると仮定すると、円運動による静圧勾配 $\partial P_s / \partial r$ は次式で表現できる(各記号の説明は表2参照)。

$$\partial P_s / \partial r = \rho v_r^2 / r \quad \cdots (1)$$

この計算式に $r=0.15\text{m}$ と 0.25m における風速値を代入して求まる静圧勾配(図10中の直線)は静圧測定値の傾きにほぼ一致した。従って、気流は円運動に近い流れと言える。以上より、床吹出口まわりに渦が発生し、床吹出口に近づくほど渦の風速が大きいため静圧低下が生じたと結論づけられる。

また図より、床吹出口中心から0.6m離れば渦による静圧低下の影響はほとんどなくなることがわかるので、床吹出口中心から600mmの位置の静圧データを周囲静圧とすることは妥当と考える。

2.6 吹出口風量への一方向気流の影響

図11に示す風路(図3の模型の床下を間仕切る)において、設定し

図1 本文の各節間の関係

表1 実験条件の種類と記号との対応

条件項目	記号	設定内容
①床下チャンバー形状	C	基準の床下チャンバー(6.8m×5.8m×有効高さ150mm)(図3)
	L	基準の床下チャンバーにおいて、床吹出口F07を含んだ隅2.94m×2.14mを間仕切り、L型平面形状のチャンバーとする
	W	基準の床下チャンバーにおいて、給気導入口から2.5mの位置に給気方向と直角に堰板(全長5.8m×厚さ12mm×高さ100mm)を組込む
	4	基準の床下チャンバーにおいて、有効高さのみ40mmに変更
②床吹出口仕様	N	バスケット無
	1	バスケット有(側面のスリット開口は全開)(図4)
	5	バスケット有、側面のスリット開口の半数(56個中28個)を上下交互に塞ぐ
	P	浅型バスケット有(図5)
③整流板の有/無	N	どの床吹出口にも整流板無し
	4	どの床吹出口にも整流板4枚を設置
	4'	一部の床吹出口に整流板4枚を設置

図2 実大二重床模型のシステム図

図4 床吹出口平面断面図

図5 浅型バスケット断面図

図3 実大二重床模型平面図

図6 床下チャンバー内風向風速・静圧分布測定結果

図8 渦抑制用整流板見取図
(バスケットは省略) 図7 周囲静圧と吹出口風量の関係
(バスケット有の場合) 図9 床吹出口まわりの風向風速分布
(バスケット有の場合) 図10 床吹出口FO3中心からの距離と
圧力の関係

た床吹出口の周囲静圧ごとに一方向気流風速を段階的に変え、吹出口風量を測定した。事前に、風路内で床吹出口まわりの風速分布がほぼ等分布であり、バスケットを置いても流れが風路側板の影響をほとんど受けないことを確認した。

床吹出口が一方向気流をほとんど受けず、まわりに渦の発生もない時、床吹出口特性線は(2)式で表されるが、床吹出口が一方向気流を受けた時、ある一方向気流風速値 v_c 以上において、 $(V/b)^{1/4}$ の値が、 P_s 一定の場合は v に、逆に v 一定の場合は P_s にほぼ1次的に比例することを見出した。この関係は(3)式で表現できる。係数 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ は、測定データから回帰分析により求められる。(3)式右辺に定数項がないのは、定数項を外しても回帰分析の相関が極めて高かったためである。

$$V = b P_s^a \quad \cdots (2)$$

$$(V/b)^{1/4} = \alpha_1 P_s v + \alpha_2 P_s + \alpha_3 v \quad \cdots (3)$$

また、 $v < v_c$ の時は次式で近似する。これは $v=0$ で $(V/b)^{1/4} = P_s$ 、かつ $v=v_c$ で任意の P_s で連続となるよう定めた。

$$(V/b)^{1/4} = (\alpha_1 + (\alpha_2 - 1)/v_c) P_s v + P_s + \alpha_3 v \quad \cdots (4)$$

(3)式、(4)式による計算値は、測定値をよく表す(図12)。図中、**風量差比率**とは、**基準吹出口風量**(床吹出口特性線で周囲静圧に対応する吹出口風量)と吹出口風量測定値の風量差を基準吹出口風量で除した値である。どの床吹出口仕様(表1のN, 1, 5, P)でもこの近似方法が有効なことを確認した。

2.7 整流板の吹出口風量回復効果

整流板設置による床吹出口まわりの渦発生の抑制効果を調べるため、渦が観測された床吹出口F03において、整流板の枚数(1, 2, 4枚)、高さ(50, 110, 150mm)、底板 $\square$ 500mm(有、無)の条件を変え吹出口風量を測定した。結果を纏めた図13から次のことが読み取れる。

- 1) 整流板に底板を付けても、整流板4枚のみの場合に比べ吹出口風量はほとんど変わらない。
- 2) 整流板4枚の場合に比べ2枚では吹出口風量はやや少ないが、整流板高さ110mm以上ではほとんど差がない。
- 3) 整流板が無い場合に比べると、整流板1枚の設置でも吹出口風量はかなり回復する。

床下チャンバー高さ40mm、バスケット無に設定し、整流板(高さ40mm、床吹出口当たり4枚)の設置条件を次のように変えて吹出口風量の違いを測定した。

- a) 整流板を付けない
- b) 予備測定にて渦が観測された床吹出口(F03, F04, F09)と吹出口風量の変動が著しく測定が困難な床吹出口(F05, F08)に整流板を設置
- c) 全床吹出口に設置

結果を図14に示す。吹出口風量の**不均一率**(= (最大風量-最小風量)/平均風量)²⁾は、a)40%, b)49%, c)22%である。b)がa)より不均一率が大きいのは、渦が観測された床吹出口で整流板設置により風量が回復した結果、他の床吹出口、特にF01で風量が減少したためである。c)では一方向気流の影響を受けるF01でも風量が回復し、不均一率が大きく改善された。また、どの床吹出口の風量も床吹出口特性線に近い。これは、整流板が、渦と一方向気流のどちらの影響に対しても抑制効果があることを示す。

2.8 床下チャンバー内風向風速・静圧分布の比較

床下チャンバー形状と床吹出口配置が同一の条件で、床吹出口特性の違いによるチャンバー内の風向風速・静圧分布の変化を調べるため、基準チャンバー形状でバスケット有/無の2ケースで比較した。両ケースとも床吹出口F03~F05に整流板を付けている。

比較の結果、風向風速分布はほとんど同じであったが、静圧分布は、両ケースの対応する測定データが傾き1の直線上に分布する(図15)ので、場所に依らずほぼ一定値の差があることがわかる。このような静圧分布変化の特徴は、分配管内圧力分布の解析¹⁾において支管流量変化が小さい場合の結果と同様である。この変化の特徴はどのチャンバー形状(表1のC, L, W, 4)での実験でも確認された。

2.9 床吹出口特性を変えた場合の吹出口風量予測

以上の知見を用い、床下チャンバー形状と床吹出口配置が同一、かつ床吹出口まわりの渦発生が抑制されている条件下で、床吹出口すべてを別特性のものに入れ替えた場合の吹出口風量を予測する計算フローをまとめた(図16)。入力すべき値は床吹出口(旧)での床吹出口周囲静圧と一方向気流風速、床吹出口(新)の特性値(a, b, v_c , α_1 , α_2 , α_3)である。計算フローの内容は、床吹出口(旧)における周囲静圧を一定値 ΔP_s だけ加減算し、その ΔP_s の調整により床吹出口(新)の風量合計を設定給気量に合わせる。

チャンバー高さ40mmにおいて、バスケット無の場合の周囲静圧データから、浅型バスケット有の場合の吹出口風量を予測した試算結果を図17に示す。一方向気流風速として各吹出口近傍での測定値を入力した。比較のため図には、実際の吹出口風量測定値と、一方向気流の影響を無視した場合の計算結果も並べた。床吹出口F01で一方向気流の影響のため、測定された吹出口風量は他の床吹出口に比べ小さい。「一方向気流無視」では、この風量減少が表れない。「一方向気流考慮」で測定値に近づき、吹出口風量の不均一率も測定結果32%に対し、一方向気流無視/考慮で9%/26%となる。

3. 数値解析

3.1 数値解析概要

k- ϵ 型2方程式乱流モデル¹⁾を基にした流体解析ソフトウェアを使って床下チャンバー内気流の数値解析を試みた。基礎方程式を表3に示す(等温条件)。数値解析に際し、空間差分はコントロールボリューム法、変数の配置はスタッガードメッシュ¹²⁾を用いた。移流項に関してはQUICK法¹³⁾、拡散項に関しては中心差分法を用いて基礎方程式を離散化し、SIMPLE法¹⁴⁾により定常解を求めた。

チャンバー全体を数値解析対象としてメッシュ分割した。計算負荷軽減のため、床吹出口 ϕ 200mmを $\square$ 200mm(3 $\times$ 3分割)で近似した。床パネルの支柱の気流への影響を無視できないことが判明した(詳しくは後述)ので、支柱を平面 $\square$ 30mm(2 $\times$ 2分割)の角柱で表現した。隣り合うメッシュの寸法差を最大2倍までとし、チャンバー高さ150mmの場合でチャンバー内を138 $\times$ 121 $\times$ 10メッシュに分割した。

採用した境界条件を表4に示す。床吹出口特性の測定結果を、特定の面での静圧差～風速の関係として与えた。

数値解析の設定条件は、表1の実験条件に加え、基本のチャンバー形状において床パネル支柱の有/無の2条件である。

図11 一方気流中の床吹出口特性測定用風路

表2 記号の説明

a, b :	床吹出口特性式の乗数、係数
C :	係数
k :	乱流エネルギー $[\text{m}^2/\text{s}^2]$
H_{ch} :	床下チャンバー高さ(有効) $[\text{m}]$
P_s :	床吹出口の周囲の平均静圧 $[\text{Pa}]$
p :	平均圧力 $[\text{Pa}]$
r :	床吹出口中心軸からの水平距離 $[\text{m}]$
u :	平均速度(風速) $[\text{m/s}]$
u_i :	i 方向平均速度(風速) $[\text{m/s}]$
V :	吹出口風量 $[\text{m}^3/(\text{h個})]$
V_{in} :	床下チャンバーへの導入給気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$
v :	一方気流風速 $[\text{m/s}]$
v_c :	一方気流中の床吹出口特性を分ける境界風速 $[\text{m/s}]$
v_R :	円接続方向の平均風速 $[\text{m/s}]$
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$:	一方気流中の床吹出口特性を規定する係数、定数
Δ :	変化量
ε :	乱流散逸率 $[\text{m}^2/\text{s}^3]$
ν_t :	渦動粘性係数 $[\text{m}^2/\text{s}]$
ρ :	流体(空気)密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

図15 静圧分布の比較(測定～測定)

図17 周囲静圧測定値から別特性の吹出口の風量予測

図12 一方気流中の床吹出口特性の近似

図13 整流板の吹出口風量回復効果

図14 整流板設置による吹出口風量の変化

図16 床吹出口特性を変えた場合の吹出口風量予測計算フロー

表3 k-ε型2方程式乱流モデルの基礎方程式

1) 連続式	$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$
2) 平均流の運動方程式	$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{p}{\rho} + \frac{2}{3} k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \nu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$
3) 乱流エネルギー k の輸送方程式	$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \nu_t G_s - \varepsilon$
4) 乱流散逸率 ε の輸送方程式	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \nu_t G_s - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$
5) 渦動粘性係数 ν_t の算出式	$\nu_t = C_D \frac{k^2}{\varepsilon}$
ここで、 $G_s = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $C_D = 0.09$, $C_1 = 1.44$, $C_2 = 1.92$	

3.2 数値解析結果

基準チャンバー形状、バスケット有、整流板無に設定し、支柱有／無の2条件で数値解析計算した結果から、測定点と同一位置のデータを抽出して、風向風速・静圧分布を図18に示す。

風向風速分布では、①床吹出口F03まわりの渦の大きさ、②全体の風速の減少状況に関して「支柱有」が「支柱無」より測定結果を良く再現している。すべての静圧測定位置における静圧測定値と計算値との対比では「支柱無」では規則性が捉えられないのに比べ、「支柱有」ではプロット点が傾き=1の分布を示した。これは2.8節で述べた、床吹出口特性を変えた場合の変化と同傾向である。

チャンバー形状等を同一条件（基準チャンバー形状、整流板有、支柱有）とし床吹出口仕様のみが異なる場合（バスケット有／無）の数値解析計算結果同士を比較した。風向風速ではほとんど差がなかったが、静圧対比（図19）ではいずれもプロット点が傾き=1の分布を示す。この静圧対比の関係は、チャンバー高さ40mmでの数値解析計算でも確認された。

3.3 数値解析による吹出口風量予測

前述のように、吹出口風量に①渦、②一方向気流が影響する。本数値解析では床吹出口形状を近似しているため、これらの影響が正確に定量化される保証がない。しかし数値解析においても、床吹出口に整流板を設けることで渦の影響を抑え、また図16の吹出口風量予測計算フローを使うことで、一方向気流の影響が評価できる。

その検証のため、チャンバー高さ40mm、浅型バスケット有、整流板有（床吹出口F03～5、F08、F09）に設定し、次の予測方法で求めた吹出口風量を同条件の吹出口風量測定結果と照合した（図20）。

- 数値解析の床吹出口面を通過する風速の計算結果から算出
- 数値解析の静圧計算結果（周囲静圧）と床吹出口特性から算出（一方向気流の影響無視）
- 数値解析の静圧計算結果（周囲静圧）を基に、予測計算フローと床吹出口特性を使い算出（一方向気流の影響考慮）

吹出口風量の不均一率は、測定結果32%に対し、a) 14%、b) 10%、c) 25%である。a)、b)とも大差なく、特に床吹出口F01で測定結果との差が大きい。c)では一方向気流による風量減少が表された結果、床吹出口F01でも吹出口風量が測定値に最も近くなり、不均一率も近く、吹出口風量の予測精度としては実用上十分と考える。

予測計算フローを使って数値解析計算結果から吹出口風量を算出する場合、静圧絶対値ではなく、チャンバー内での相対的静圧分布を基にする。図19の静圧対比では、いずれもプロット点が傾き=1の分布を示し、従って同様の相対的静圧分布となることを考え合

表4 数値解析の境界条件

給気導入口	$u = V_{in} / (3600 H_{ch}) = 2.167 [8.125] \text{ m/s}$ ($V_{in} = 1170 \text{ m}^3/\text{h}$) $k = 0.005 \text{ u}^2 = 0.0235 [0.330] \text{ m}^2/\text{s}^2$ $\varepsilon = 0.09 \text{ k}^{3/2} / (H_{ch} / 2) = 0.00432 [0.853] \text{ m}^2/\text{s}^3$ 註：チャンバー高さ H_{ch} が 0.15 [0.04] m の場合
床吹出口（バスケット有の場合）
床吹出口（バスケット無の場合）
壁面	対数則

せると、予測計算フロー中の床吹出口（新）の特性を予測対象のものと合わせる限り、数値解析にて入力する床吹出口特性に拘わらず同様の吹出口風量結果となる。換言すれば、予測計算フロー中の床吹出口（新）の特性と数値解析の床下チャンパー形状の2つを予測対象のものと合わせれば、数値解析にて入力する床吹出口特性は吹出口風量結果にあまり影響しない。

4. まとめ及び今後の課題

実大二重床模型における測定・解析結果は次のとおりである。

- 床吹出口の周囲静圧と吹出口風量との関係が、周辺気流が静穏な状態で求まる関係線（床吹出口特性線）から外れ、吹出口風量が少ないことがあり、その原因が床吹出口まわりでの①渦の発生、または②一方向気流であることを見出した。
- 一方向気流による吹出口風量の変化を表す近似式を、測定データの回帰分析から導出した。
- 渦が生じている床吹出口のまわりに放射状に1～4枚の整流板を設置し、吹出口風量が回復することを確認した。
- この整流板は、一方向気流を受ける床吹出口に設置しても、ある程度吹出口風量の回復効果があった。
- 床下チャンパー形状と床吹出口配置が同一の条件で、すべての床吹出口を別特性のものに替えた場合、風向風速分布はほとんど同じであり、静圧分布は場所に依らずほぼ一定値だけ増減した。
- 床吹出口まわりの渦発生が抑制されている条件下で、すべての床吹出口を別特性のものに替えた場合の吹出口風量の予測計算フローをまとめた。

数値解析により測定結果の再現を試みた結果を次に示す。

- 測定結果を再現するためには、メッシュ分割において床パネルの支柱を組み込む必要がある。
- 床パネル支柱を考慮し、渦発生の抑制を前提とした上で求めた数値解析計算結果を基に、上述の予測計算フローを使って算出した吹出口風量は、測定結果に近く、実用上十分な精度と考える。
- 上記2)の方法で吹出口風量を算出する場合、予測計算フロー中の床吹出口（新）の特性と数値解析の床下チャンパー形状の2つを予測対象のものと合わせれば、数値解析にて入力する床吹出口特性は吹出口風量結果にあまり影響しない。

以上の結果から、チャンパー高さを低く設定した条件で吹出口風

整流板無, 支柱考慮の場合

整流板無, 支柱無視の場合

図18 床下チャンパー内風向風速・静圧分布計算結果

量分布のばらつきを減らすには、まず床吹出口に整流板を設置して渦や一方向気流の影響を抑制し、周囲静圧に対応した吹出口風量を確保すべきと考える。その上でさらにチャンパー内の静圧分布を緩やかにして吹出口風量分布の均一化を図る場合には、チャンパー内風速を減じる等の方策が必要だが、提示した吹出口風量予測計算フローと数値解析により、その効果が予測できる。

本研究結果に関連する今後の課題を次に掲げる。

- 1) 各種の床下チャンパー形状条件にて数値解析を行い、吹出口風量の不均一率と床下チャンパー形状（特にチャンパー高さ）との関係を定量化する。
- 2) 床下チャンパー内に気流の障害物が存在する条件にて数値解析を行い、障害物の存在が吹出口風量の不均一率に与える影響を把握する。
- 3) 吹出口風量の不均一率の許容範囲を、裏付けデータを基に定める。

本論文に関係する既発表文献

- a) 冨家貞男, 酒井寛二, 藤田尚志, 鎌田元康: 床下チャンパー加圧型の床吹出し空調システムにおける床下チャンパーの特性 その1 実験概要と気流性状の測定結果, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 C-42, pp. 1101~1104, 1996. 9
- b) 冨家貞男, 酒井寛二, 藤田尚志, 鎌田元康: 床下チャンパー加圧型の床吹出し空調システムにおける床下チャンパーの特性 その2 吹出口風量に与える渦と一方向気流の影響, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 C-47, pp. 1041~1044, 1997. 8
- c) 藤田尚志, 酒井寛二, 冨家貞男, 鎌田元康: 床下チャンパー加圧型の床吹出し空調システムにおける床下チャンパーの特性 その3 床吹出口特性解析と実験・数値解析による吹出口風量の予測, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 C-48, pp. 1045~1048, 1997. 8
- d) 冨家貞男, 酒井寛二, 藤田尚志, 鎌田元康: 床下チャンパー加圧型の床吹出し空調システムにおける床下チャンパーの特性 その1 吹出口風量に与える渦と一方向気流の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 41436, pp. 887~888, 1997. 9
- e) 藤田尚志, 酒井寛二, 冨家貞男, 鎌田元康: 床下チャンパー加圧型の床吹出し空調システムにおける床下チャンパーの特性 その2 床吹出口特性解析と吹出口風量の予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 41437, pp. 889~890, 1997. 9

参考文献

- 1) 藤田尚志, 酒井寛二, 鎌田元康: 床吹出し空調システムにおける室内温度プロファイルの予測 床吹出し空調システムに関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集 第498号, pp. 57~63, 1997. 8
- 2) 羽山広文, 中尾正喜, 光町正宣: チャンパーを用いた空調気流の検討 (その1 クリーンルームの吹き出し・吸い込み気流について), 日本建築学会大会学術講演梗概集 4225, pp. 449~450, 1986. 8
- 3) 羽山広文, 中尾正喜: チャンパーを用いた空調気流の検討 (その2 吹き出し・吸い込みチャンパーの特性), 日本建築学会大会学術講演梗概集 4556, pp. 1111~1112, 1987. 10

図19 静圧分布の比較(計算～計算)

図20 吹出口風量の比較(計算～測定)

概集 4556, pp. 1111~1112, 1987. 10

- 4) 羽山広文: 床吹出し空調システムの高効率化, 日本建築学会技術報告集 第2号, pp. 110~114, 1996. 3
- 5) 羽山広文, 三瓶 実: チャンパーを用いた空調気流の検討 (その5 オフィス用気流設計方法について), 日本建築学会大会学術講演梗概集 4602, pp. 1203~1204, 1990. 10
- 6) 高橋 惇, 中谷 博, 大和瀬靖司, 竹村光彦: 加圧方式の床吹出し空調システムに関する研究 (その1) 吹き出し気流分布を支配する因子の感度分析~ (その2) 模型による吹き出し気流分布の実験的研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, G-55~G-56, pp. 1709~1716, 1994. 10
- 7) 倉渕 隆, 相原 学, 谷川雅則: CFD手法を用いた床吹出し空調システムの最適化に関する研究 模型実験及び数値シミュレーション手法の概要, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, G-62, pp. 1737~1740, 1994. 10
- 8) 平山昌宏, 堀大成: 床吹出し空調方式の研究 (その13) プレッシャー式床吹出し空調方式対応型アクセス床, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, G-54, pp. 1705~1706, 1994. 10
- 9) 羽山広文, 中尾正喜: チャンパー吹き出し方式における空調気流の検討 その1 チャンパーの静圧損失と一様吹き出しについて, 日本建築学会大会学術講演梗概集 4204, pp. 407~408, 1985. 10
- 10) 日本機械学会: 技術資料 管路・ダクトの流体抵抗, pp. 96~97, 1979. 1
- 11) Lauder, B. E. and Spalding, D. B.: Mathematical models of turbulence, Academic Press, London and New York, 1972
- 12) Harlow, F. H. and Welch, J. E.: Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with free surface, The Physics of Fluids, vol.8, pp.2182~2189, 1965
- 13) Leonard, B. P.: The QUICK algorithm: A uniformly third-order finite-difference method for highly convective flows, Computer Methods in Fluids, Pentech Press, 1980
- 14) Patankar, S. V.: Numerical heat transfer and fluid flow, McGraw-Hill, New York, 1980

(1998年1月6日原稿受理, 1998年7月17日採用決定)