ライン型ディフューザを用いた暖房時ペリメータ熱環境制御に関する研究 (第3報)X型熱線風速計を用いた風速測定に基づく吹出し気流特性の把握及び CFD 解析

> 正会員 ○盛紹宇^{*1} 同 山中俊夫^{*2} 同 小林知広^{*3} 同 袁継輝^{*4} 同 加藤正宏^{*5} 同 弓野沙織^{*5}

4. 環境工学—12. 空気流動基礎—g. 吹出し気流・熱上昇流等のモデリング

ライン型ディフューザ, 吹出面風速、乱流統計量、CFD モデル

1.はじめに

ペリメータ空間によく使われているライン型ディ フューザでは、細長い吹出し面を持ち、また内蔵する 制気パネルの影響により、複雑な吹出し気流特性があ る。本研究では、ライン型ディフューザの暖房時の窓 近傍温熱環境を CFD により予測する手法の開発を行 なうため、吹出し気流のモデル化を目的とする。吹出 し気流性状の把握のため、前報 12)では、ライン型ディ フューザを自由場に設置し、吹出し面積と温度をパラ メータとして、各条件での吹出気流分布特性を実大実 験による把握した。本報では、気流のモデル化手法を 検討するため、X型プローブ熱線風速計を用いディフ ューザの吹出面における詳細気流分布特性を把握し た。測定値からモデル化した成分風速データを境界条 件として、吹出気流の詳細 CFD 解析を試した。また、 乱流エネルギーkと乱流散逸率εをパラメータとして、 それぞれの気流分布に対する影響を検討した。



2. 実験概要

実験の対象としたシステム天井用のブリーズライ ン型ディフューザを図1に示す。暖房効果が強い吹 出の中心部から吹き出す条件での吹出し面詳細風速 測定を行った。図2のように、高さ3mの天井の中 心にディフューザを取り付け、ダクトファンを用い て、等温気流を吹き出す。吹出し風量を把握、調整 できるよう、直管部に超音波流量計、吸込みに VD ダンパーを設置した。今回の実験では、風量200m³/h として、吹出し面の詳細風速分布を測定した。



図2 吹出しと測定システムの概要

3. 測定方法

ライン型ディフューザは左右対称の幾何特性を持 っため、吹出し面風速測定はディフューザの半分の み(図2参照)行った。熱線風速計のサポートとプロ ーブ部分を電動トラバーサーに固定し、FL+2997mm (吹出し面から3mm)の高さで測定を行った。

図3と図4に示すよう、吹出し面の長辺中心を原 点、中心から右側まで7断面(X=0、+100、+225、+250、 +275、+350、+400)、各断面4mm間隔で11点、計 7×11=77個の測定点を設置した。X型熱線プローブの 物理特性により、2成分の風速しか測定できないため、 同じ測定点においてサポートを90°回転すること(図 5)により二回(uw、vw)の測定を行い、各測定点の 1000Hz、60秒間、u,v,w 三成分風速を測定した。

Study on Thermal Environmental Control Using the Line Diffuser in Perimeter Zone During the Heating Period (Part III) Characteristics and CFD Simulation of the Outlet Airflow Based on the Measurement by X-probe Hot-wire Anemometer

SHENG Shaoyu, YAMANAKA Toshio, KOBAYASHI Tomohiro, YUAN Jihui, KATOH Masahiro and YUMINO Saori



4. 風速分布のモデル化と乱流統計量の計算

4.1 風速分布のモデル化

熱線風速計の測定結果は vw、uw 両方向ずつ、図 6 と図 7 に示す。また、u,v,w 三成分風速それぞれのディ フューザ長辺と短辺断面における分布の折れ線図(図 9 は折れ線図の一部)も作成した。図 6 に示すように、 X=350 と X=400 断面の吹出し気流が中心の主流部分

(X=0~275) に対して非常に小さいため、モデル化の 際には X=0~X=275 断面のデータのみ使用する。同じ く、図 7 に示すよう、Y 断面は Y=±12 範囲内のデータ をモデル化する。

X 断面におけるデータを u,v,w 三成分風速別で分析 し、0 を中心として両側のデータを左右平均した。図 6による、各断面の Y=0 の風向は右側に傾いているが、 測定誤差として取り扱い、図 8 に示すように v 成分風 速を 0 にして、吹出し気流を鉛直方向に修正した。

また、u,vw 三成分風速別で、X=0-275 断面における分 布を平均し、平均後の結果が各風速成分の X 断面におけ る分布をと考える。平均後の結果から、各 X 断面の元の 風速大きさ関係を再現する為、同じく u,vw 三成分別で Y=-12-12 断面の大きさ関係を平均し、平均後の結果を Y 断面(吹出し面長辺方向)の大きさ分布として、平均化 後の各 X 断面の大きさ関係を修正する(図 9)。また、Y 断面分布特徴を近似曲線により関数化することにより、 X 断面のデータを補間する。境界条件として使用するモ デル化風速分布を図 10 と図 11 に示す。



図6 YZ平面におけるベクトル風速分布







図8 中心断面風向修正のイメージ







図11 XZ平面の修正後ベクトル風速分布

ovi-ti

4.2 乱流統計量の計算

各測定点の u,v,w 三成分風速の 1000Hz、60 秒間のデ ータに基づく、乱流統計量を以下の式34から算出する。

$$k = \frac{1}{2} \left(\overline{u'u'} + \overline{v'v'} + \overline{w'w'} \right)$$
(1)

$$\varepsilon = C_D \frac{k^{\frac{2}{2}}}{l} \tag{2}$$

$$\overline{u'_{i}(t)u'_{i}(t+\tau)} = \lim_{T=60} \frac{1}{T} \int_{0}^{60} u'_{i}(t)u'_{i}(t+\tau)dt \quad (3)$$

$$\rho_{i}(\tau) = \frac{u_{i}'(t)u_{i}'(t+\tau)}{(u_{i}'(t))^{2}}$$
(4)

$$T_i = \int_0^{\infty} \rho_i(\tau) d\tau \tag{5}$$

$$\Lambda = uT_i \tag{6}$$

$$l = C_D^4 \Lambda \tag{7}$$

k:乱流エネルギー[m²/s²] τ:微小時間間隔=0.001[s] ε:乱流散逸率[m²/s³] ρ_i :自己相関係数 C_D:モデル係数=0.09 T_i:流れ特徴時間[s] *l*:流れの長さスケール[m] *A*:積分長さスケール[m] u',v',w':成分風速u,v,wの変動成分[m/s] 風速分布モデル範囲内の乱流エネルギーk と流れ

の長さスケール l、それぞれの平均値 ($k=0.738[m^2/s^2]$ 、 *ℓ*=0.00224[m])を吹出し気流の乱流特性を代表する数 値として、CFD 解析に使用する。

5. 吹出し気流の詳細 CFD 解析

5.1 解析概要

解析空間とディフューザ吹出し面の詳細モデルを 図12と図13に示す。基準の解析条件を表1に示す。



図13 吹出面における境界条件分布

Y8 Y12

25

表1 CFD の解析条件

解析方法	解析ソフト	STREAM V14.1
	乱流モデル	標準 k-ε モデル
	アルゴリズム	SIMPLER
	離散化スキーム	QUICK
	メッシュ数	742560
境界条件	天井	ノースリープ
	<u>壁</u>	フリースリップ
	床	ノースリープ
	流入口	風速規定
	流出口	流量規定
乱流統計量	乱流エネルギー <i>k</i>	$0.738[m^2/s^2]$
	乱流散逸率 <i>ε</i>	$34.38[m^2/s^3]$

図 13 に示すように、吹出し面を 7×22=154 個の吹 出境界面に分けて、図 10 と図 11 に示す各点の u.v.w 三成分風速データをそれぞれの境界面風速条件とし て使用した。また、便宜的に境界条件としての乱流統 計量を変更することによる実験データの再現の可能 性について検討を行なうため、同じ風速分布条件で 乱流エネルギー k を 2 倍(k=1.476[m²/s²])と 3 倍 (k=2.214[m²/s²])に拡大した条件の解析も行った。

式中で使用した記号をト記に示す。

5.2 解析結果と分析

CFD 解析の結果と前報の実験データより、吹出し 空間内の風速分布図を作成した。X 断面はディフュ ーザの垂直方向、Y 断面はディフューザの水平方向、 0 はディフューザ中心を通過する位置を表す。

(1) 実験値との比較

図 15、図 16 より実験結果と解析結果を比較し、 吹出し気流は両方ともディフューザ中心の直下から 左右等に 1m の範囲に達したが、CFD 解析結果では、 顕著な二山の分布特性があり、1m/s の風速到達範囲 は、鉛直方向は実験結果と合っているものの、水平 方向、特に中心部の風速が小さくなっている。

ディフューザの短辺方向から見ると(図18)、Y断 面と違い、気流の速度分布と拡散範囲が概ね再現さ れており、一定な予測精度を有することがわかる。



(2) k の増加による影響

図 18 により、同じ風速条件で、乱流エネルギーk の増大と共に、気流到達範囲は顕著に縮小している ことも明らかとなった。



6. まとめ

本報では、X型熱線風速計を用い、ライン型ディ フューザの詳細吹出し面風速分布を把握し、分布特 性をモデル化した。モデル化した風速データと乱流 統計量の計算結果に基づく、吹出気流を詳細 CFD 解 析による再現を試した。一定の再現性がみられたが、 吹出中心下の風速など実験結果と一致しない部分は 存在する。次報では、解析結果の格子依存性を検討 の中心にして、解析モデルの精度向上を図る予定で ある。

--【謝辞】-

ディフューザを提供頂いた空研工業(株)と空調技 研工業(株)に感謝致します。

--【参考文献】-

- 盛紹宇、山中俊夫、小林知広、袁継輝、加藤正宏、 弓野沙織:ライン型ディフューザを用いた暖房時 ペリメータ熱環境制御に関する研究(第1報)自由 場における吹出し気流の温度・風速の三次元分布, 日本建築学会近畿支部研究報告集,第59号,2019.6
- 2) 盛紹宇、山中俊夫、小林知広、袁継輝、加藤正宏、 弓野沙織:ライン型ディフューザを用いた暖房時 ペリメータ熱環境制御に関する研究(第2報)偏 向板調整による吹出し面積減少状態での吹出し気 流の温度・風速の三次元分布,2019.9
- 3) 中村育雄:乱流現象,株式会社朝倉書店
- 4) 日本流体力学会:流体力学ハンドブック第2版, 丸善株式会社

 *1 大阪大学大学院 修士課程
 Graduate Student, Division of Global Architecture, School of Engineer, Osaka University

 *2 大阪大学 教授・博士 (工学)
 Prof., Division of Global Architecture, School of Engineer, Osaka University, Dr. Eng.

 *3 大阪大学 准教授・博士 (工学)
 Associate Prof., Division of Global Architecture, School of Engineer, Osaka University, Dr. Eng.

 *4 豊橋技術科学大学 助教・博士 (学術)
 Dept. of Architecture and Civil Eng., Toyohashi University of Technology, Ph.D.

 *5 鹿島技術研究所
 Kajima Technical Research Institute