資 料

温度成層風洞の紹介

Introduction of Thermal Stratification Wind Tunnel

足永靖信*¹

Yasunobu ASHIE

1. はじめに

風洞施設は建築分野では耐風設計やビル風予測等に幅広く用いられているが、強風時の評価を想定してデザインされたものが大部分である。一方、居住空間に適度な風を確保し環境の質を向上させるためには、弱風時の諸現象を把握しておくことも必要である。また、温度や汚染濃度など風以外の要因が注目されることもあるが、風との関わりが極めて重要である。建設省建築研究所では、1995年3月に温度成層風洞を新設した。本報告では施設の概要と基本的性能を紹介する。

2. 風洞の概略

風洞の主要データをTable 1に一覧する。風洞の概略図をFig. 1に示す。風洞の形式は縦型の密閉回流式であるが、測定胴の下流コーナー部に排煙胴を装備しているので開放型（戻り流無し）として用いることもできる。送風機（11kW）は回転数制御により0.5～10m/sの風速を設定できる。風路内の気流の処理は、まず攪拌胴（Fig. 2）にて均一な気温分布とした後に、空調胴で所定の温度レベルに加熱（冷却）する。次いで、集合胴、縮流胴を経由し、気流の乱れを除き一様化を施した後に計測胴に導く仕組みになっている。集合胴には整流格子と3枚の整流金網が内挿されている。測定胴の直上流部は下部に台車を有する移動式のカートになっており、温度成層カート（Photo. 1）と空カートの種類をどちらか選べるようになっている。温度成層カートは20段の電気ヒータを整流格子と2枚の整流金網とともに

にカート内部に組み込んだ構造になっており、上下方向に任意の気温分布を作成することができる。電気容量は100kWであり、風速1m/sにて断面全体の平均気温を最大75℃昇温させることができる。測定胴は1m×1m断面、10mの長さを有しており、片側の側面と天井には観測窓が設けられている。静圧分布を抑えるため測定胴の天井には流れ方向に緩やかな傾斜がつけられている。ブロッケージの影響に配慮し、トラバース装置の移動レールや電動モータは測定胴の両サイドを2重構造として計測胴の外側に設置している。測定胴の床面は1m角の加熱冷却パネルが10枚設置されており、2枚1組として5組を独立に10～70℃の範囲で温度制御が可能である。空調胴と床面の温度制御には温冷水を用いるが、制御性を高めるため熱交換器部分とその手前で2段の制御箇所を設けている。熱損失や温度ムラを抑えるため風洞本体は戻り管も含めて全体を断熱材で覆い、観測窓は2重窓としている。

Table 1 風洞施設の緒元
Fundamentals of wind tunnel facility

形式	縦型回流式（密閉、開放兼用）
測定胴	1m(W) × 1m(H) × 10m(L)
縮流比	4
風速	0.5～10m/s（回転数制御）
気流温度	10～40℃（温冷水制御）
床面温度	10～70℃（温冷水制御）
温度成層カート	20段、（電気ヒータ加熱制御）

* 1 建設省建築研究所 主任研究員
Chief Researcher, Building Research Institute, Ministry of Construction
(原稿受理：平成11年3月4日)

Fig. 1 風洞の概略図
Flow line of wind tunnel

Fig. 2 攪拌室の構造
Construction of static mixer

Photo. 1 温度成層カード
Thermal stratification cart

3. 基本性能

3-1. 送風性能

攪拌ダンパの開度による風速影響をFig. 3に示す。ダンパの開度が増すと風速値は若干大きくなる。以降の計測は攪拌ダンパの開度を50%に固定して行ったものである。Fig. 4に送風機の回転数と風速の関係を示す。回転数に対して風速は直線的に増加している。温度レベルは20℃, 40℃の2種類を設定したが、温度影響は

ほとんど見られない。計測機器はピトー管, 熱線風速計^{注1)}, LDVの3種類としたが, いずれの値もほぼ一致している。

3-2. 静圧分布

長手方向の静圧分布は0.2mmAq以内である (Fig. 5)。

3-3. 気流分布, 温度分布

平均風速および乱れ強度の分布をFig. 6~8に示す。気温分布をFig. 9~11に示す。床面温度の分布をFig.

Fig. 3 攪拌ダンパの開度と風速
Opening ratio of the mixing valves and velocity

Fig. 4 送風機回転数と風速
Rotation of the fan and velocity

Fig. 5 静圧分布
Static pressure distribution

Fig. 6 長手方向の気流分布
Distribution of air flow in the direction of main stream

Fig. 7 鉛直方向の気流分布
Vertical distribution of air flow

Fig. 8 奥行き方向の気流分布
Distribution of air flow in the cross direction

Fig. 9 長手方向の気温分布
Distribution of air temperature in the direction of main stream

Fig. 10 鉛直方向の気温分布
Vertical distribution of air temperature

Fig. 11 奥行き方向の気温分布
Distribution of air temperature in the cross direction

Fig. 12 床面温度の分布
Distribution of floor temperature

Fig. 13 温度成層カートの性能
Performance of thermal stratification cart

12に示す。運転条件は風速1m/s, 気温20℃, 床面温度20℃である。温度成層風洞は比較的低い風速における活用が見込まれるが, そのような厳しい条件においても平均風速, 気温, 床面温度は均一な分布を呈している。平均風速の偏差は長手方向, 鉛直方向, 奥行き方向において0.9~1.0%以内である。乱れ強度は0.2%以下に収まっている。気温の分布は長手方向, 鉛直方向, 奥行き方向において $\pm 0.04 \sim 0.05^\circ\text{C}$ 以内である。床面温度の分布は長手方向において $\pm 0.04^\circ\text{C}$ 以内である。

3-4. 温度成層カート

20℃の気流を温度成層カートを用いて特定の気温分布に加工する。下流1.5mにおける鉛直気温分布をFig. 13に示す。Ohyaらはヒーティングユニットを用いて安定状態の温度分布を作成し $33.3 \sim 87.5^\circ\text{C}/\text{m}$ の直線勾配を得ている¹⁾が, 今回は不安定時の条件も含めて討を行った。カートの設定は4種類を考え, case 1は無発熱状態, case 2は均一に昇温, case 3は下方に高温となる直線的溫度分布, case 4は上方に高温となる直線的溫度分布とした。case 3の200mm近くでは浮力影響により温度が逆転している。それ以外の領域ではほぼ均一な温度勾配が得られている。その値は安定時に $40.0^\circ\text{C}/\text{m}$, 不安定時に $-56.9^\circ\text{C}/\text{m}$ である。今後は床面の温度制御と温度成層カートを組み合わせて境界層流の作成方法について検討してみたい。

4. おわりに

温度成層風洞は極めて高い基本性能を備えており, 低風速域における活用を十分に見込めると考えられる。温度成層カートにより様々な温度勾配を作成可能であることが示されたが, 境界層流への適用は今後の検討課題である。

注1) 熱線による風速計測システムではブリッジ回路とCPUによる繰り返し処理によりオーバーヒート比(=熱線と冷線の抵抗比)を一定とする制御を行っている。ブリッジ電圧を風速換算するための校正曲線は小型校正ボックス(温度条件25℃)で得られたものをを用いた。

参考文献

- 1) Y. OHYA, M. TATSUNO, Y. NAKAMURA, H. UEDA: A Thermally Stratified Wind Tunnel for Environmental Flow Studies, Atmospheric Environment, Vol. 30, No. 16, pp. 2881 - 2887
- 2) 高倉秀一, 須山喜美, 青木大明, 吉村直樹, 高橋尚二: 境界層風洞実験設備の紹介, 日本風工学会誌, 第54号, 1993年2月, pp.31 - 38
- 3) 須田健一, 織茂俊泰, 今田英次: 新設汎用境界層風洞の基本性能について, 日本風工学会誌, 第54号, 1993年2月, pp.39 - 45
- 4) 長谷川功, 野田博: 新設エッフェル型境界層風洞実験施設, 日本風工学会誌, 第54号, 1993年2月, pp. 47 - 54
- 5) 石崎撥雄, 桂順治, 谷池義人: 新設の風工学研究用境界層風洞について, 京大防災研究所年報, 第26号B - 1, 1983年4月, pp.313 - 322