

開口上部設置型エアカーテンの性能予測法に関する研究
等温場における縮小模型実験による外気遮断性能の基礎評価
Performance of Air Curtain Located at the Top of Large Opening
Prevention Performance of Outdoor Air Inflow
by Means of Scaled Model Test under Isothermal Condition

○千田 紗恵 (大阪大学) 小林 知広 (大阪大学)
山中 俊夫 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)
尾本 和夫 (きんでん) 水野 慶蔵 (きんでん)

Sae SENDA^{*1} Tomohiro KOBAYASHI^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1}
Narae CHOI^{*1} Kazuo OMOTO^{*2} Keizou MIZUNO^{*2}
^{*1} Osaka University ^{*2} KINDEN CORPORATION

Large openings of industrial or commercial buildings are often used open, which results in heat loss due to intrusion of outdoor airflow and leakage of indoor air. To reduce air-conditioning load and improve indoor thermal environment in such a building, installing an air curtain at the entrance can be a beneficial technique, which blocks off two spaces by blowing out airflow at a constant velocity. The factors that can affect the performance of air curtain seem to be, e.g, differential pressure, external wind, and temperature difference, of which interaction have not sufficiently been formulated to date. Thus, as a fundamental study, this work starts from analyzing basic features, and this paper presents the visualization, measurement of velocity distribution, and p-Q curves of air curtains.

はじめに

工場や商業施設等の出入口は通行のため開放状態で利用されることがあり、外気の侵入や室内空気の漏洩による熱損失が問題となり得る。このような場合、出入口での外気侵入の抑制は温熱環境や省エネルギーの観点から重要な課題と言え、その手法の一つにエアカーテン (Air curtain 以下: AC) を設置する方法がある。AC は開口部で一定速度の気流を吹き出すことで通行を妨げることなく空気の漏洩を抑制するものである。AC の性能予測に関する研究はこれまでも多く見られ、例えば Hayes ら^{1,2)} は噴流の撓み係数を表している。国内では例えば渡邊・永田ら³⁾ が縮小模型実験と CFD 解析により AC の遮断性能を評価している。また、李⁴⁾ は非定常 CFD 解析により熱遮断効率を評価している。飯田・近藤⁵⁾ は AC を屋外側と室内側の両方に設置する二重 AC の効果検証を行なっている。このように、AC の研究事例は近年でも多いことに加え、実建物での性能予測にあたっては内外差圧・温度差・外部風の相互影響など知見が十分でない点もある。そこで本研究ではこれらを考慮した種々の条件下で AC 気流の挙動を明らかにし、さらに空調負荷削減性能を簡易的に予測することを目的とする。本報ではその初期段階として、大空間の開口部に取り付けられた AC 気流の基礎性状を明らかにするため、縮小模型を用いて等温場で気流の可視化、風速分布測定、内外差圧と外気侵入量の関係 (p-Q 特性) の測定実験を行った結果を報告する。

1. 実験概要

1.1 実験項目と実験装置の概要

縮小模型実験により、1) 気流の可視化、2) AC 気流の風速分布測定、3) 内外差圧と外気侵入量の関係 (p-Q 特性) の測定の 3 種の実験を行った。

実験には外寸 1 辺 500 mm で 5.0 mm 厚の亚克力製立方体模型を用いた。模型には 100 × 100 mm の開口部を一箇所設け、縮尺 1/30 を想定したため開口部は実大寸法で 3.0 m に相当する。縮小模型の平面図及び立面図を Fig. 1 に示す。開口部の外側と内側にはそれぞれ AC を模擬した吹出口 (5.0 × 100 mm) を設け、屋外側 AC 及び室内側 AC とした。AC にはそれぞれブロワを使用して送風した。室内側 AC の吸込口は、実際のエアバランスを再現するため模型内の吹出口付近に設け、ブロワを介して吹き出す仕様とした。AC 用のブロワの風量はインバータを用いて制御した。ここでは既往研究³⁾ 同様に冬季に室内が負圧になるような状況を想定し、模型上部の排気口からファンに接続して排気することで模型内を負圧にし、オリフィス流量計で風量を計測するとともに模型壁面 2 点にて内外差圧を測定した。なお、ファンの後流にはダンパーを取り付け、室からの排気風量 (内外差圧) を調節可能とした。Fig. 2 に実験装置全体の構成を示す。

1.2 AC 気流の可視化実験概要

AC 気流の基礎的性状を定性的に把握することを目

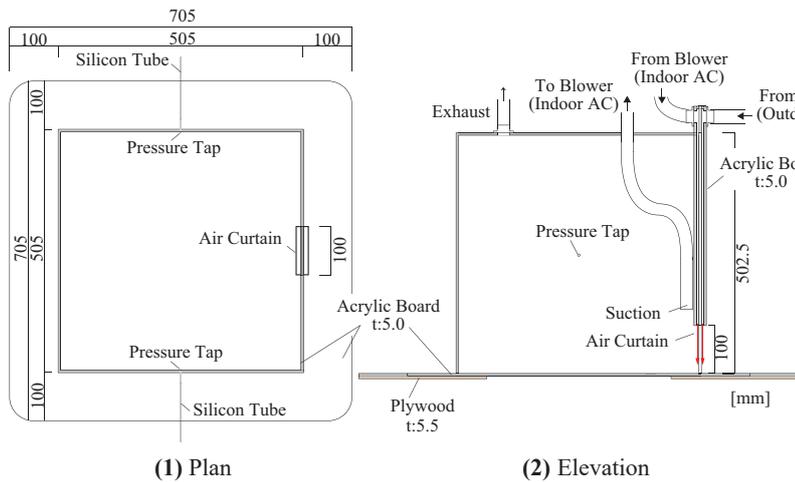


Fig. 1 Scaled Model

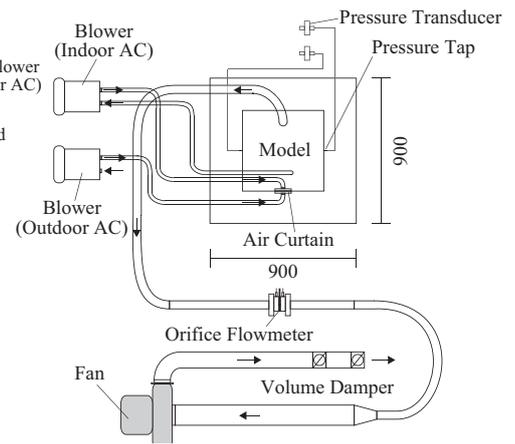


Fig. 2 Experimental Set-up

的として、内外差圧と AC の吹出風速を変更して吹出気流の可視化を行った。ここでは屋外側 AC のみ吹き出す条件とし、室からの排気風量を調整することで内外差圧を変更した。実験条件は Table 1 の通り、AC 吹出風速 4 条件と排気量 5 条件を組み合わせた計 20 条件で行った^註。煙発生器で発生させた煙を屋外側 AC のブロウ吸込口から流入させ、AC 吹出口からの気流を可視化した。光源には CW:YAG レーザー(日本カノマックス, CW 532-10-3W)を用い、開口正面から中心断面上にレーザーシートを照射し、模型側面に設置した高速度カメラ(カトウ光研, K8)により、画像を撮影した。

る開口部通過時の通気抵抗の変化を評価する。模型上部のホースに接続したファンにより排気を行うことで模型内を負圧として前述の壁面 2 点で内外差圧を微差圧計(バリダイン社: DP-45)により測定した。その際の排気量はオリフィス板前後差圧を差圧計(コスモ計器: DM-3500)により測定して算出した。内外差圧とオリフィス板の前後差圧は 100 Hz で 30 秒間測定した。実験条件は Table 2 の通り、AC 吹出風速 5 条件と排気量 8 条件、AC 設置位置は屋外側、室内側、両側の 3 条件を組み合わせた計 120 条件で行った。

1.3 AC 気流の吹出風速分布の測定

AC 吹出気流の基礎性状の定量的な把握と今後実施する CFD 解析と比較する実験値取得を目的として風速分布の測定を行った。実験条件は AC の吹出気流を 6.0 m/s とし、屋外側 AC のみと屋外・室内両側で吹き出す条件の 2 種とした。室からの排気はない条件で実施した。風速測定には I 型熱線風速計(日本カノマックス, 0251R-T5)を用い、Fig. 3 に示す開口中心上の床上 4 断面を測定した。測定点は床上 50, 75, 90 mm 断面では 1.0 mm 間隔、25 mm では 2.0 mm 間隔で設け、測定周波数 1,000 Hz で 60 秒間測定を行った。

1.4 AC 運転時の p-Q 特性の測定実験

AC の気流遮断性能を評価することを目的として内外差圧と室からの排気量(開口部通気量)を測定し、両者の関係(p-Q 特性)を複数の AC 吹出風速の条件下で評価する。つまり、AC 気流が存在することによ

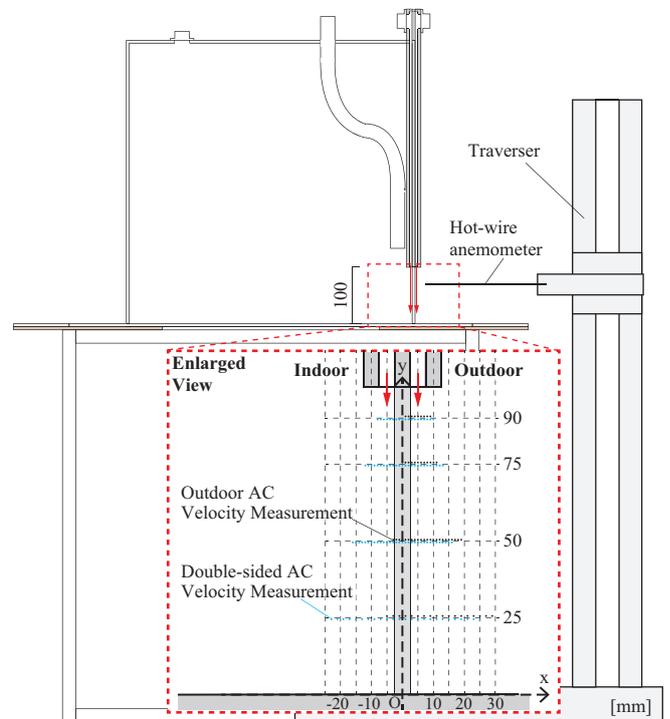


Fig. 3 Measurement point

Table 1 Experimental Condition of Flow Visualizasion

Blowing Speed	1.5, 3.0, 4.5, 6.0 [m/s] (3, 6, 9, 12 [Hz])
Air Flow Rate	0, 15, 30, 44, 53 [m ³ /h]

Table 2 Experimental Condition of p-Q Characteristics

Blowing Speed	0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 [m/s] (0, 3, 6, 9, 12 [Hz])
Air Flow Rate	0, 15, 21.5, 30, 35, 44, 50, 53 [m ³ /h]
Installation Position	Outdoor, Indoor, Double-sided

2. 結果と考察

2.1 AC 気流の可視化

Fig. 4 に可視化実験の結果を示す。排気量が 0 の条件 ($Q = 0 \text{ m}^3/\text{h}$) では、全ての風速で AC が模型床面まで到達し、2つの空間を遮断している様子がわかる。一方で、排気量が最大の条件 ($Q = 53 \text{ m}^3/\text{h}$) では全ての風速で AC の気流が室内側に湾曲し、模型床面まで気流が到達していない。また、同じ排気量条件でも風速が大きいほど床面に到達する傾向が定性的ではあるが顕著に示された。後述する p-Q 特性により開口部の抵抗としての AC 性能を定量的に評価する。

2.2 AC 気流の風速分布の測定

Fig. 5 に屋外側 AC 及び両側 AC 条件での風速分布測定結果を示す。この結果から、排気量が 0 であるにも関わらず屋外側 AC 条件では吹出気流が屋外側に向かって湾曲していることがわかる。これは、屋外の空気を吸引して吹き出された屋外側 AC 気流が床面に衝突した後に室内に流入することにより、室内側が正圧となり結果的に内外で圧力差が生じたことが原因と考えられる。また、両側 AC 条件では 2つの AC からの吹出噴流が合流し、1つ山を持つなだらかな曲線となっている。1つの吹出面からの AC 吹出風量は変わ

らないため、両側 AC 条件の総吹出風量は片側 AC 条件の 2倍であるが、合流後の最大風速に大きな差異はなく、風速の水平方向の拡散が大きくなっている様子がわかる。このことから、両側 AC 条件では単純に片側吹き出しで風量を 2倍にした場合とは異なる空気遮断性能を示すと予想される。

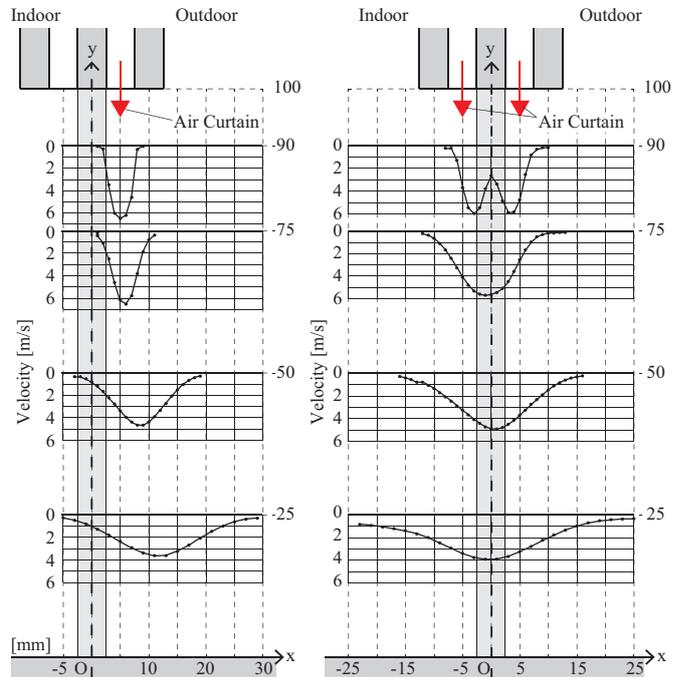


Fig. 5 Velocity distribution of Air Curtain

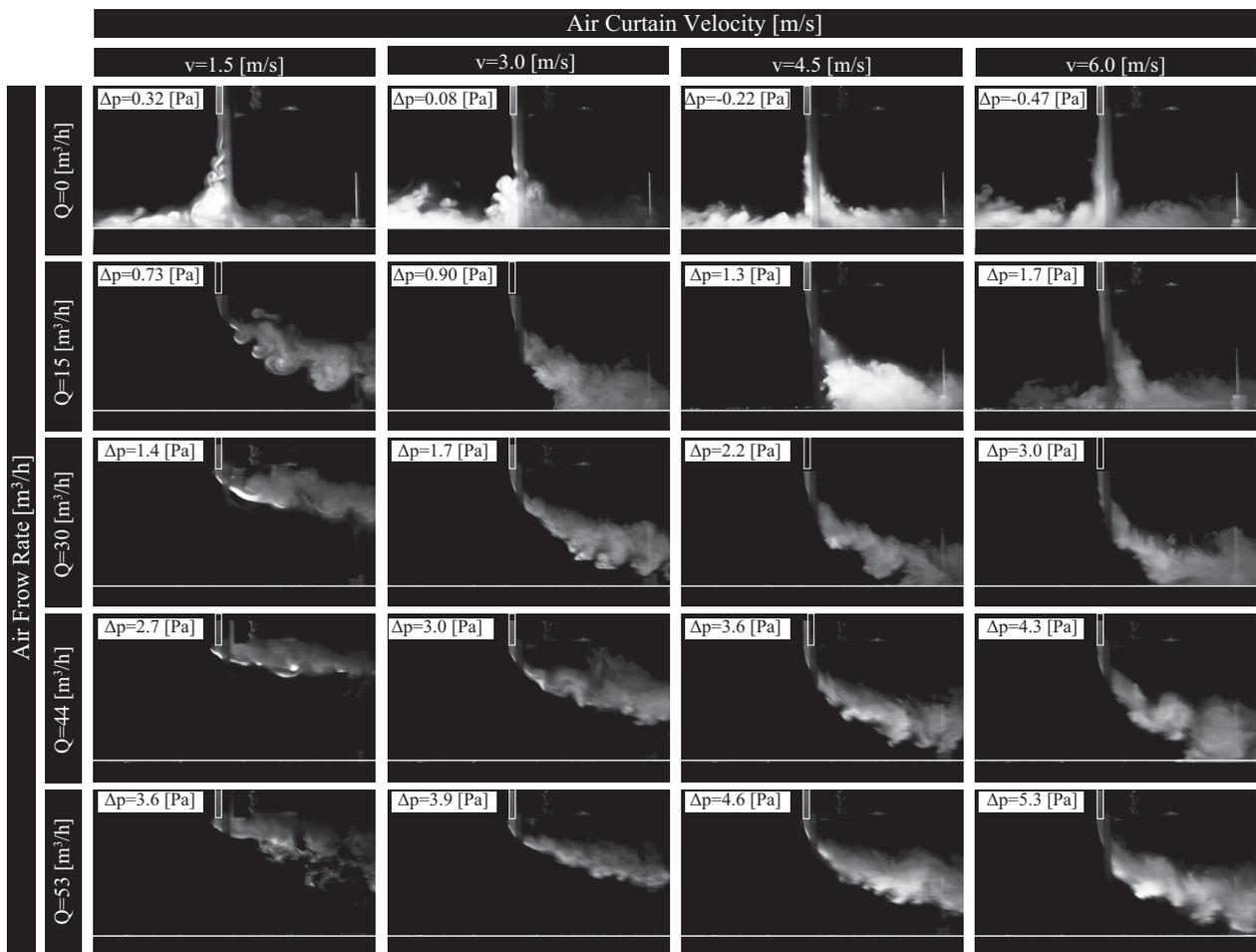


Fig. 4 Flow Visualization

2.3 ACによる開口部のp-Q特性

Fig. 6に、内外差圧と外気侵入量の関係（p-Q特性）をAC設置位置ごとにまとめた結果を示す。結果から、同じ排気量においてACの風速が速くなるほど内外差圧が上昇していることがわかる。これは、温度差や風力により内外差圧が発生している場合でも、ACの吹出風速が早いほど外気侵入量が少なくなると言い換えることができる。つまり、AC気流は外気が侵入する際の抵抗として働き、実質的に開口部の有効開口面積を小さくする効果があると考えられ、ACの吹出風速が早くなるほどその効果が大きくなる。

屋外側ACと室内側ACの結果を比較すると、排気量が0の条件では前述の通り屋外側ACの6.0 m/s条件で室内が正圧となっていることが確認できる。逆に室内側AC条件では高風速で吹き出すほど室内空気が排気されるため負圧となっている。一方、他の排気量条件では設置位置による違いは確認できなかった。両側ACの条件では片側条件に比べて内外差圧がより大きくなったことから、ACの効果が大きくなっており、片側条件に比べて風量が倍増したことによる効果が示されたが、片側ACで吹出風速が2倍の条件と比べると遮断効果は低いと言える。ただし、これは気流通過時の抵抗としてであり、例えば先行研究⁹⁾で着目する内外での気流の混合を抑制する効果を評価するものではなく、その効果検証のためには例えばトレーサガス法により室内外の空気を区別して漏洩量を評価する必要があると考えられる。

Fig. 7にACの吹出風速条件ごとにAC設置位置の条件を比較した結果を示す。1.5 m/sでは、設置位置

による大きな差異はない。吹出風速が大きい条件ではACなし・片側AC・両側ACで明らかな差異が見られ、通気抵抗を増加させる効果が見られた。

3. まとめ

本報ではACの基礎性状を把握するため、気流の可視化、風速分布測定、p-Q特性測定実験を行い、ACが開口部の有効開口面積を低減させる効果を示した。また、両側ACによる抵抗の増加も示されたが、片側ACで風速を倍増させる方が抵抗は大きくなった。今後はトレーサガスを用いた正味の外気侵入量の評価を行った上でCFD解析を実施する所存である。

【参考文献】

- 1) F. C. Hayes, W.F.Stoecker : Heat Transfer Characteristics of the Air Curtain ,ASHRAE Transactions,Vol.75,Part2, pp.153-167,1969
- 2) F. C. Hayes, W. F. Stoecker : Design Data For Air Curtains, ASHRAE Transactions, Vol. 75, Part 2, pp.168-180, 1969
- 3) 渡邊久, 永田明寛 : 内外差圧が開口部上部設置型縦吹降式エアカーテンの熱・気流遮断性能に与える影響 - 模型実験・CFD解析による検証, 日本建築学会環境系論文集, 第83巻第743号, pp.29-37, 2018.1
- 4) 李時桓 : 非循環型吹き下ろし式エアカーテンの熱遮断特性に関する数値的検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学II, pp.1361-1362, 2018.7
- 5) 飯田恵美, 近藤靖史 : 冷凍倉庫モデルにおける二重エアカーテンの有効性に関するCFD解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp.707-708, 2018.9

【註】

ここでは風速の相似比を1/2と想定して吹き出し風速の条件設定を行なったため、吹出風速が最大となる条件の6.0 m/sは実際には12.0 m/sに相当する。また、開口部気流が十分な乱流であり差圧が風速の2乗に相当すると仮定すると、実際の内外差圧は本実験の4倍の状況に相当すると言える。

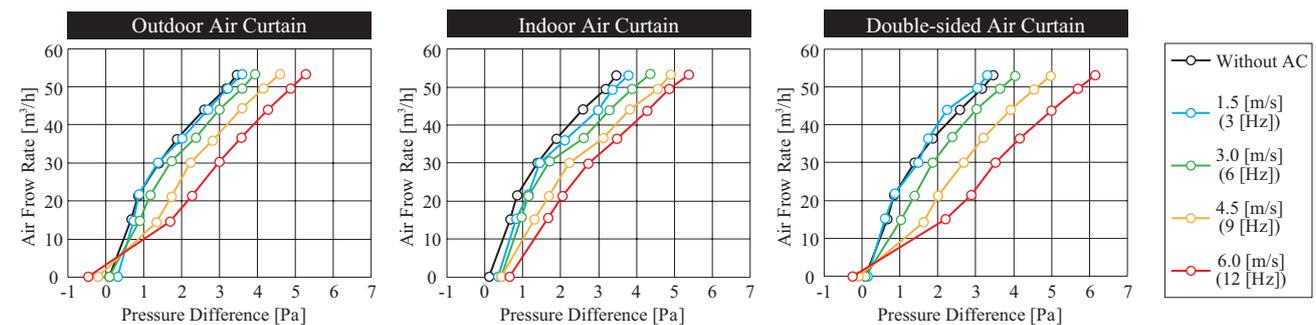


Fig. 6 Correlation between Pressure Difference and Flow Rate (p- Q Curve)
- Effect of Inlet Velocity of Air Curtain -

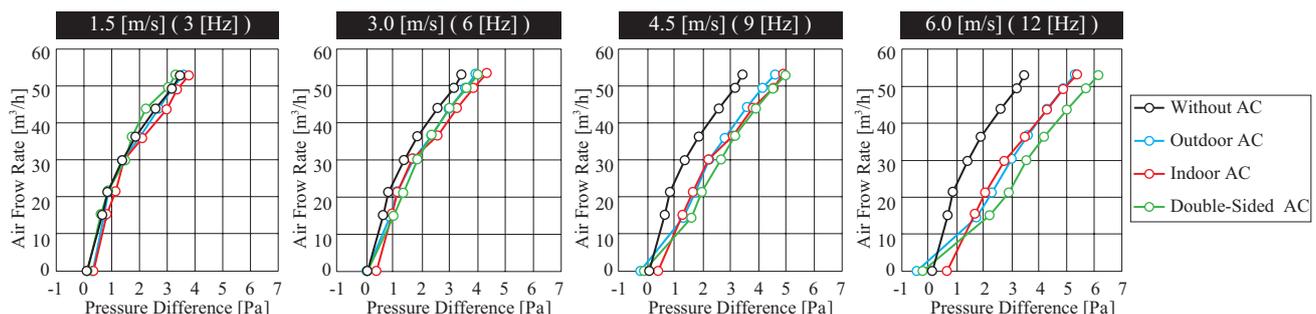


Fig. 7 Correlation between Pressure Difference and Flow Rate (p- Q Curve)
- Effect of the Location of Air Curtain