

発熱・発塵を伴う半閉鎖作業空間のレイヤーベンチレーションによる清浄化

金沢大学工学部 正会員 古内正美 金沢大学大学院 ○高柳圭佑 金沢大学大学院 正会員 金岡千嘉男

1. はじめに

工場建屋内では、種々の粉塵が発生し、作業環境を汚染する。その対策として換気が行われるが、建屋全体や、発生源近傍のみを対象とする既存の換気方法では、エネルギー消費、移動発塵源への対応、清浄領域の広がりなどの点で問題がある。このような問題を克服する換気方法として、建屋内全体の気流を制御して汚染領域を床面付近の作業領域から排除し、垂直方向の粉塵濃度分布を層状化して建屋全体に広がりをもった清浄な作業空間を形成するレイヤーベンチレーションの考え方がある¹⁾。しかし層状化の機構や条件が明確にされていない。

本研究では、発熱・発塵源のある工場建屋内の気流を、熱源からの上昇気流を利用しながら送風機で制御して粉塵濃度分布を層状化する際の層状化機構・条件を明らかにすることを目的として、工場建屋をモデル化した空間内の層状化に及ぼす送風機位置、送風速度、送風方向、熱源温度の影響を数値シミュレーションと実験により検討した。

2. 解析モデルと条件

実際の工場では工場建屋の形状や粉塵発生位置などが非常に複雑で、実際の建屋内の気流や粉塵濃度分布から一般的な層状化条件を考察するのは困難である。そこで本研究では、考察を容易にするために、図-1のような建屋中央に発熱・発塵源のある矩形の空間で建屋をモデル化し、特に発熱・発塵源の影響が最も顕著な熱源上部の断面を解析領域とした。

送風パターンを2種類(図-2 参照)設定し、送風機

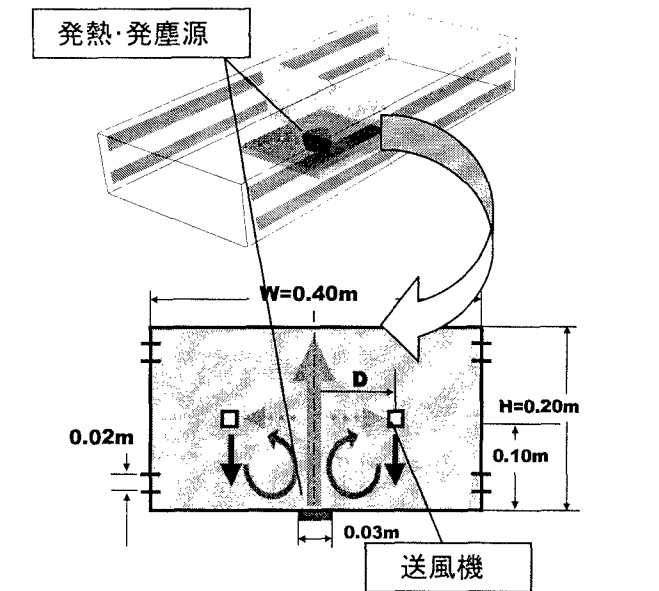


図-1 計算モデル

位置 $D (=W/4 \sim 3W/4)$ 、送風速度 $u (=0.02 \sim 0.06\text{m/s})$ 、熱源温度 $T_w (=313 \sim 343\text{K})$ をパラメーターとして解析した。解析には汎用流体解析ソフト (FLUENT Ver5.2) を用いた。含塵ガスを連続体近似して対流拡散方程式を解き、粉塵濃度分布を得た。

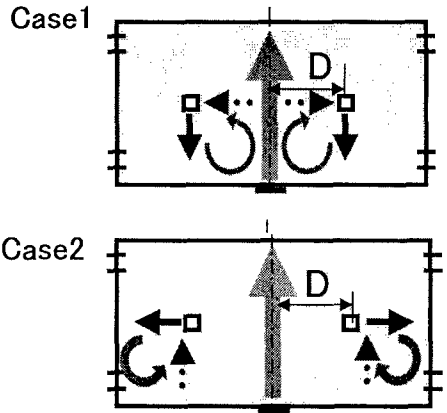


図-2 送風パターン

3. 濃度分布層状化の指標

空間内の粉塵濃度分布の層状化指標として、式(1)に示す層状度を定義した。ここで、図-3に示すように、熱源直上の領域(熱源幅の1.5倍)を除いた、底面から $H/4$ の高さまでを作業空間である下層部、送風機上部の空間を上層部と定義した。

$$L = (\text{上層部での平均粉塵濃度})$$
$$l = (\text{下層部での平均粉塵濃度}) \quad (1)$$

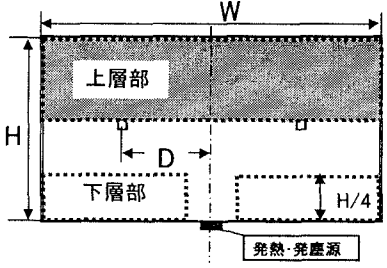


図-3 上層部と下層部の定義

4. 実験装置および方法

解析結果の妥当性を確認するために、シミュレーションと同条件下で実験を行った。図-4に実験装置の概略を示す。可視化の容易さを考慮して、動作流体に水を用いた。この場合、実際の建屋空間との対応は、無次元数を介して行う。2次元的な流動を測

定・観察するため、透明アクリル板で挟まれた間隙（間隔 10mm）をテストセクションとした。ここで、側壁の上下に開口部を設けて流体の出入りを自由にした。0.03×0.01m²の断面積をもつアルミ片をヒーター加熱したものを熱源として床面中心に設置した。送風機を模擬するため、内径 6mm の給排水管をテストセクションに挿入して、ポンプで循環させた。

流れの可視化は、水中に分散させたトレーサー粒子（ポリスチレン：密度 1.03×10³kg/m³、粒径 75 - 100 μm）をレーザーシートで照明して行い、カメラ撮影した粒子軌跡から速度を決定した。また、複数設置した熱電対で熱源上方の温度分布を測定した。

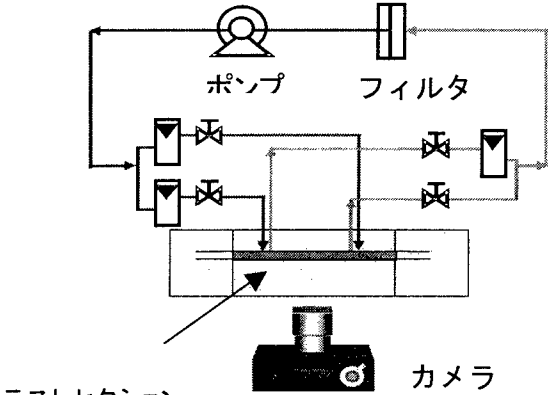


図-4 実験装置

5. 実験結果及び考察

解析と実験で得られた熱源中心上方のプルーム上昇速度を図-5に比較して示す。いずれの場合も $H/2$ 付近までは上昇速度が増加し、その後減少する。測定誤差に起因したばらつきが実験値に見られるが、両者は定量的にも良く一致する。また、ここでは示さないが温度分布、流線についても良い一致が得られており、解析の妥当性が確認できる。

送風パターンが Case1 と Case2 の場合の層状度 L と Ri 数の関係を図-6に示す。ここで $Ri = Gr / Re^2$ は、熱源上部での浮力と、循環流による慣性力の比に対応する。 $T_w = 313K$ では、Case1 の $D=W/8$ の時を除いて送風機の位置、送風速度変化に対応した Ri 数変化

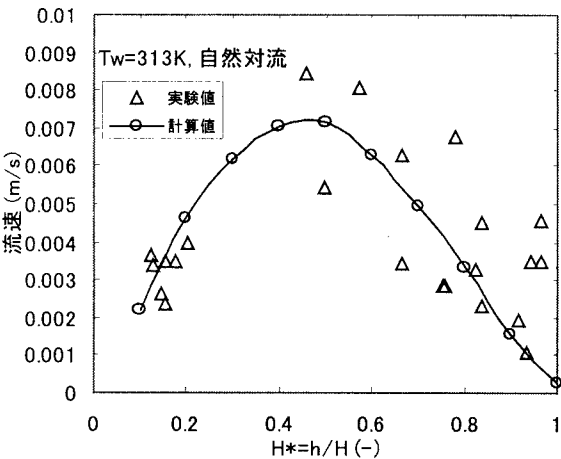


図-5 熱源上部のプルーム上昇速度

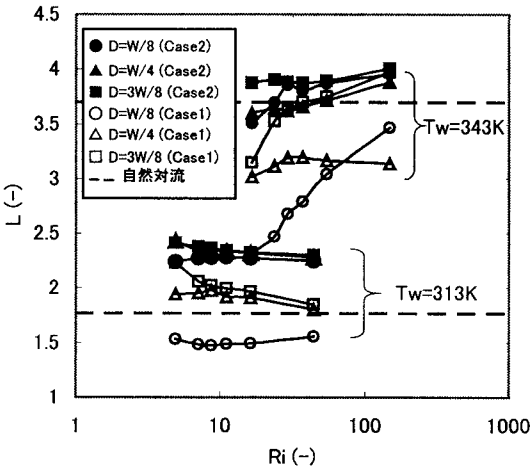


図-6 層状度 L と Ri 数の関係

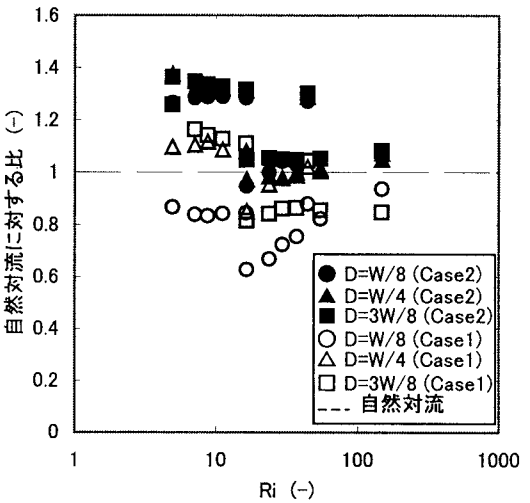


図-7 自然対流に対する層状度の比

の影響も少ない。熱源温度が高くなると自然対流が強まるため全体に L が増加するが、送風機位置と Ri 数の影響が大きくなる。これは、Case1 の場合に顕著であり、 $D=3W/8$ の条件では下向きの送風が上昇プルームを乱す傾向がある。

図-7に自然対流のみの層状度に対する比を示す。Case2 ではほとんどの条件で自然対流のみの場合を上回り、最大で約 1.4 倍となる。Case2 の送風パターンでは、上昇プルームのシース効果と上昇した粉塵の下降を遮断する効果があるためと考えられる。

6. 結論

- 1) 解析結果の妥当性を実験から確認した。
- 2) 熱源温度が高くなると、送風機位置と Ri 数の影響が大きくなる。
- 3) 自然対流による上昇気流をシースし、上昇した含塵ガスの下降を遮断する気流を付加する (Case2) ことで、高い層状度を得られる。

参考文献

1) KESSLER LUCH: Gezielte Belüftung der Arbeitsbereiche in Produktionshallen zum Abbau der Schadstoffbelastung (1993)