

3) - 3 廊下状空間における煙性状に関する基礎的研究【安全・安心】

Basic Research on Smoke Flow in Corridor-like Space

(研究開発期間 令和2～3年度)

防火研究グループ
Dept. of Fire Engineering

出口 嘉一
DEGUCHI Yoshikazu

田中 喙義
TANAKA Takeyoshi

If smoke flow in corridors where many evacuees stay for long periods of time can be accurately predicted, it will not only improve evacuation safety design but also have a wide range of applications, such as reviews of smoke exhaust codes. Alpert et al. have developed a physical model of the smoke flow under ceilings, so-called "ceiling jet," which is still widely used for smoke detectors and sprinkler activation. On the other hand, when the actual smoke flow is observed, there is a tendency for it to deviate from Alpert's model. This study aims to construct a physical model to predict smoke flow in a corridor-like space and to qualitatively understand smoke flow through experiments.

【研究開発の目的及び経過】

火災時の避難安全性を高めるためには、煙の流れを正確に予測することが重要である。特に多くの避難者が長時間滞在する廊下での煙の流れを正確に予測することは、避難安全性を高めるだけでなく、排煙規定の検証に活用できるなど応用範囲は広い。

天井下を流れる煙の性状については、1970年代にAlpertらにより、いわゆる「天井ジェット」と呼ばれる煙性状の物理モデルが構築されており、現在でも煙感知器やスプリンクラーの作動など幅広く活用されている。Alpertの天井ジェットモデルは、質量保存をもとに構築されており、煙厚さ d と煙の流速 u の積($u \cdot d$)が一定という仮定の上に成立している。一方、実際の煙の流れを観察すると、煙の厚さは煙境界面で空気を巻き込むため、必ずしも一定ではなく、特に火源から離れるほどAlpertの物理モデルと剥離する傾向が見受けられる。言い換えると、避難安全上問題となる火源から少し離れた廊下などでの煙の流れは、Alpertの式を使って正確に予測できない可能性があり、新しい予測式を構築する必要がある。

本研究では、廊下状空間における煙の流れを予測する物理モデルの構築および煙の流れの定性的な把握を目的として、模型実験や実大実験を実施した。

【研究開発の内容】

(1) 廊下状空間における煙の流れに関する基礎データ収集を目的として、幅0.6 m×高さ0.35 m×長さ5.4 m (1/4スケール)の模型を製作し、火災室から廊下へ漏れ出た煙を模擬した煙流動実験を実施した(写真1)。

模型内に端部の上から温風を流し込むスリットの高さ($t=12.5, 25, 50$ mm)をパラメータとした。また、

計測は、模型内の垂直温度分布3か所に加えて、煙の流れ(厚さ、流速など)をPIV(粒子画像流速測定法 Particle Image Velocimetry)を用いて計測した。

一例として、PIVによるスリット近傍の煙の流れを可視化した結果を図1に示す。これによると、煙層が空気層を巻き込まれながら流れていく様子がうかがえる。



写真1 煙流動に関する模型実験の様子

(2) 模型実験で得られた基礎データや観察記録をもとに、廊下状空間での煙流動の物理モデルを構築した(図2)。質量保存、熱量保存、運動量保存等を考慮することにより、煙の流速 u および煙厚さ d は以下の式で表さ

れる。式(1)から位置 x における流速 u は、空気の巻き込み量の分だけ低下する。

$$u = \frac{u_0}{1 + \frac{m_e x}{\rho_0 u_0 d_0}} \quad \dots (1)$$

$$d = \frac{T_\infty + \Delta T}{T_\infty + \Delta T_0} \left(1 + \frac{m_e x}{\rho_0 u_0 d_0} \right)^2 d_0 \quad \dots (2)$$

(3) 防煙垂壁を乗り越える際の煙の流れの把握を目的として、実大スケールの空間 (W18 m×D12 m×H2.7 m) において、防煙垂壁の深さ ($D=0, 0.5$ m) や火源の発熱速度 ($Q=100, 200$ kW) をパラメータとする実験を行った (図3、写真2)。また、実験と同条件で数値流体解析 (FDS) を実施し (図4)、両者を比較した。その結果、防煙垂壁下を流れる煙は、防煙垂壁の手前で滞留・下降し、下降の流れが浮力と相殺する位置まで下降した後、再び上昇することで防煙垂壁を乗り越えていくメカニズムを観察した。

[研究開発の結果]

廊下状空間を模擬した模型実験により、天井を流れる煙の温度、流速、厚さ等の基礎的なデータを取得した。同時に PIV を用いることにより、天井流が下部の空気層を巻き込んで体積を増やしながら流れている様子を可視化し観察した。

次に、模型実験で収集した基礎データを用いて、天井を流れる煙の物理モデルを構築した。将来的には、本物理モデルを用いて、例えば避難時の廊下での煙流動予測や天井に設置する排煙設備の必要排煙風量の予測などに活用することを期待している。

最後に、実大実験により防煙垂壁を越える際の煙の流れを可視化し、そのメカニズムを観察した。防煙垂壁下の煙の流れを精度よく把握することができれば、避難時に煙が降下する高さの予測などにつながることから、将来的には、防煙垂壁や排煙設備の最適設計に活用することが期待される。

[参考文献]

- 1) 藤澤延行：熱流体の可視化と計測、コロナ社、2003
- 2) 可視化情報学会編：PIVハンドブック第2版、森北出版、2018

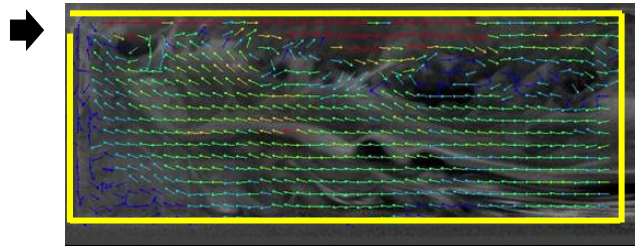


図1 PIVによる煙の流れの可視化結果

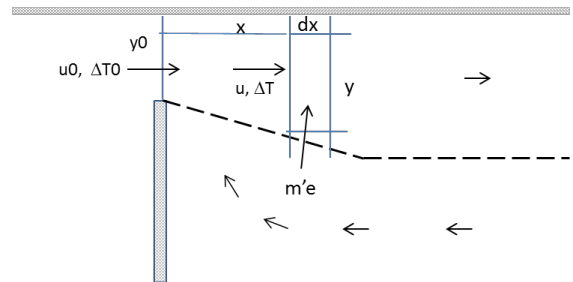


図2 廊下状空間における天井ジェットの物理モデル

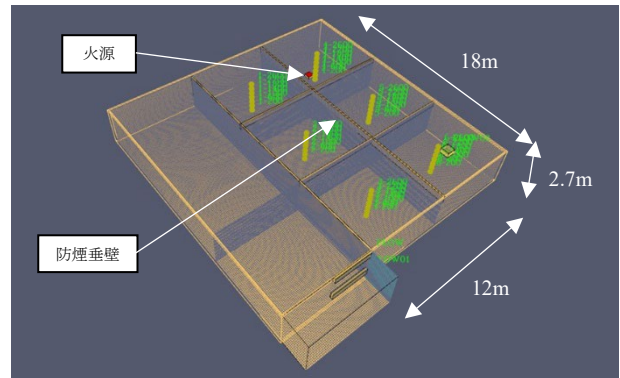


図3 実験空間の概要

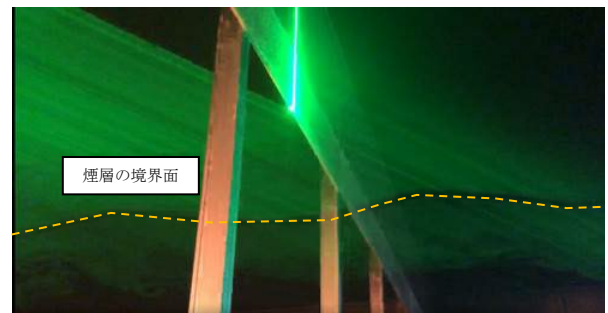


写真2 防煙垂壁下を流れる煙の様子

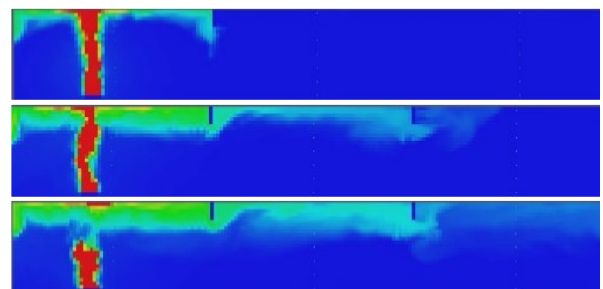


図4 FDSによる防煙垂壁下を流れる煙の流れ (D=0.5m)