Architectural Institute of Japan

3145

日本建築学会大会学術講演梗概集
（関東） 2011年 8 月

微小な圧力差における水平開口の流れ性状の測定

正会員 ○宮本拓幸*
同 原田和典**

二方向流 フルード数 無次元圧力

1．研究の目的

天井面に設置された排煙口は、下部は煙層に上部は常温の空気に接触する。煙層の温度が十分に高ければ煙が上部へ排出されるが、火災初期で煙温度が低い場合や火災室への圧力が低い場合には、開口の一部で煙が上昇し、残りの部分で空気が下降する二方向流や、煙の上昇と空気の下降が時間的に入れ替わる振動流が発生する。

この問題に対して田中ら[1)]は模型実験を行い、煙層の浮力と開口部の圧力差の組み合わせを変えて二方向流あるいは振動流を発生させて、煙と空気の質量流量を測定している（以下、先行研究と呼ぶ）。本研究では、煙層温度が先行研究よりも高い条件で測定を行い、相似性について検討した。

2．実験方法

2.1 実験装置

本研究は先行研究と同じ実験装置を使用した。図1に概要を示す。実験装置は外気が自由に出入りできる下部空間（火災室）と、密閉された上部空間の 2 つで構成され、両空間の間の天井板には 100mm×100mm の正方形開口を設けている。

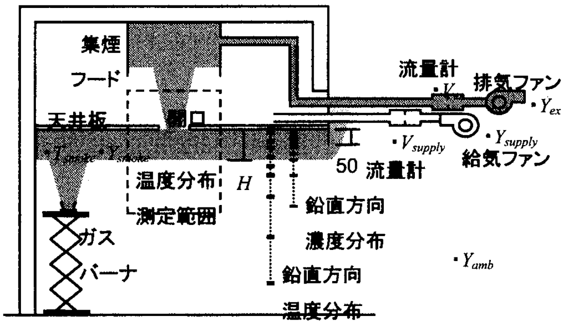

図1 実験装置の概略

2.2 測定項目

本実験の設定条件は、煙層の浮力と開口部に加わる圧力差である。煙層の浮力を求めるため、火災室内の鉛直温度分布を測定し、最高温度と外気の差が 20%となる位置を煙層下端として煙層厚さ H を求めた。煙層温度（T_{smoke}）は、煙層内に含まれる測定点の温度を平均した。

開口を通過する煙と空気の質量流量は、上部空間における全気体および炭酸ガスの質量収支から求めた。そのため、炭酸ガス濃度を外気(Y_{amb})、煙層(Y_{smoke})、上部空間への給気口（Y_{supply})と排気口(Y_{ex})において測定した。

また、流れのパターンを把握するため、開口部近傍の温度分布を図1の点線で囲んだ部分で測定するとともに、流線を白煙噴出器により目視観察した。

2.3 実験条件

本研究では煙層温度上昇を約 20℃に設定し、流量測定を行った。設定条件を表1に示す。温度等の測定はバーナーに点火後 25 分を経過し、定常状態となった後に行った。

表1 実験条件

実験 No		1	2	3	4	5
煙層温度上昇(℃)		23.0	20.2	19.3	20.3	11.9
煙層厚さ(m)		0.119	0.117	0.118	0.118	0.118
開口の圧力差 (Pa)		0.196	0.147	0.118	0.103	0.039
給気量×10^{-3} (m^3/s)		11.8	10.4	9.35	9.69	9.19
排気量×10^{-3} (m^3/s)		10.9	10.9	10.9	11.0	11.0
炭酸ガス濃度(%)	煙層	0.229	0.216	0.218	0.220	0.170
	給気	0.080	0.092	0.070	0.068	0.064
	排気	0.087	0.105	0.097	0.093	0.092
	外気	0.091	0.096	0.085	0.082	0.068

3 実験結果

3.1 各実験における煙性状の分類

開口部における煙流出性状は、実験 1 では下向き 1 方向流、実験 2 では振動流、実験 4 では 2 方向流と振動流の共存、実験 5 は上向き 1 方向流であった。設定した圧力から考えると、実験 3 は振動流もしくは二方向流となるはずであるが、上向き一方向流であった。

3.2 無次元数による測定値の整理

各実験の測定値から、開口部の圧力差、開口を通過する質量流量を求めた。この実験値と先行研究の実験値を比較考察するため、無次元数であるフルード数 Fr と無次元圧力 Π を導入する。フルード数 Fr は開口を通過する質量流量を無次元化したものであり、無次元圧力 Π は開口部の圧力を無次元化したものである。

$$Fr = (m/\rho D^2)/\sqrt{2gH\varepsilon} \qquad (1)$$

$$\Pi = \Delta P / 4\rho\varepsilon gH \qquad (2)$$

ここで、m は開口を通過する質量流量(kg/s)、ρ は開口を通過する流体の密度(kg/m^2)、D は開口寸法(m)、g は重力加速度(m/s^2)、H は煙層厚さ(m)、ΔP は開口部の圧力差(Pa)、ε は無次元温度上昇であり次式で定義する。

Measurements of smoke and air exchange flow through horizontal opening under small pressure differences

MIYAMOTO Hiroyuki, HARADA Kazunori

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

$$\varepsilon = 2(T_{smoke} - T_{amb}) / (T_{smoke} + T_{amb}) \qquad (3)$$

ただし、T_{smoke}は煙層温度(K)、T_{amb}は外気温度(K)である。

3.3 限界圧力差と煙層浮力の関係

煙層温度と限界圧力差（一方向流が成立する最小の圧力差）の関係を図2に示す。$4\rho\varepsilon gH$は無次元圧力の分母であるので、各実験シリーズにおける限界圧力差と原点を結ぶ傾きが無次元限界圧力Π_{flood}となる。先行研究の結果と本研究の結果かから傾きを求めて平均すると、Π^{-}_{flood}=0.03、Π^{+}_{flood}=-0.26となる。ただし、限界圧力は浮力に依存しないようにも見え、無次元圧力の物理的必然性は現時点では不明である。

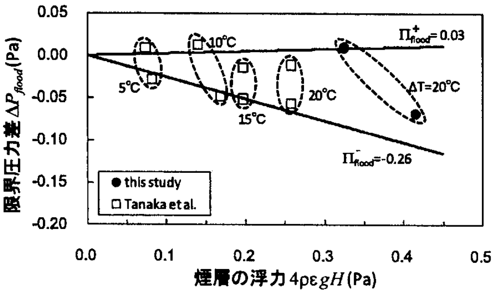

図2　一方向流となるための限界圧力差

3.4 無次元圧力と無次元質量流量の関係

本研究と先行研究の実験値から導出されたフルード数と無次元圧力の関係を図3～図5に示す。ただし、先行研究では煙層厚さHをたれ壁深さで代用していたが、これを煙層温度上昇が20%となる高さで置き換えた。

図中の曲線は、先行研究と同じ仮定を用いて作成した予測式である。関数形を式(4),(5)に示す。正味流量は、煙と空気の質量流量の和である。

$$Fr_{smoke} = \begin{cases} \sqrt{\Pi - \Pi^{-}_{flood}} & (\Pi^{-}_{flood} \leq \Pi) \\ 0 & (\Pi < \Pi^{-}_{flood}) \end{cases} \qquad (4)$$

$$Fr_{air} = \begin{cases} -\sqrt{0.022 - \Pi} & (\Pi^{+}_{flood} < \Pi) \\ 1.83(\Pi - \Pi^{+}_{flood}) & (\Pi^{-}_{flood} \leq \Pi < \Pi^{+}_{flood}) \\ 0 & (\Pi < \Pi^{-}_{flood}) \end{cases} \qquad (5)$$

測定値と予測式を比較すると、図3に示す煙流量では、本研究の実験値と良く一致するが、先行研究の実験値よりも予測式は小さい。空気流量では、図4に示すように、上向き1方向流以外の領域では予測値に近いが、上向き1方向流領域で実験値が負値となることを表現していない。図5に示す正味流量では、正負の誤差が打ち消されて全体的な傾向は一致しているが、下向きの無次元限界圧力付近での不一致が残る。

4. 結論

模型実験を行い、開口部の煙および空気の流れ性状を、下向き1方向流、2方向流または振動流、上向き1方向流の3つに分類し、温度差20Kにおける限界圧力差と煙および空気の質量流量を測定した。

先行研究の実験値と併せて結果を考察し、限界圧力差と煙層浮力の関係を考察した。先行研究では無次元限界圧力差を一定としていたが、本研究の結果によると限界圧力差そのものが一定である可能性も示唆される。

煙層温度が異なる条件で開口を通過する質量流量と圧力差の関係を比較したところ、圧力差が正の時でも下向きの空気流量があり、これを適切に表現する必要性を示した。

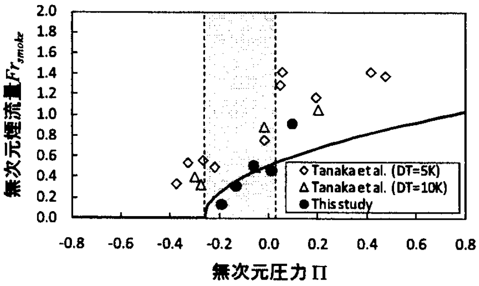

図3　無次元圧力Πと無次元煙流量Fr_{somoke}の関係

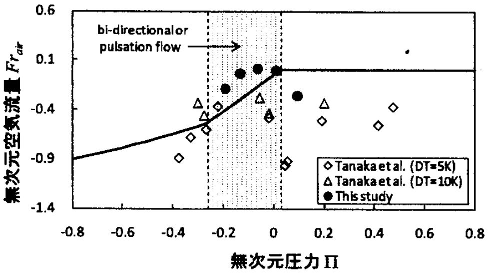

図4　無次元圧力Πと無次元空気流量Fr_{air}の関係

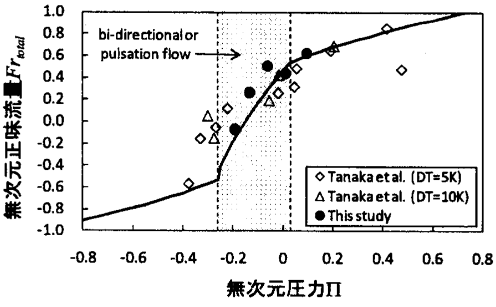

図5　無次元圧力Πと無次元正味流量Fr_{total}の関係

謝辞：本研究の一部は、平成22年度京都大学防災研究所一般共同研究「巨大空間における火災時の煙流動シミュレーション技術の開発」による補助を受けた。

参考文献

1) 田中荘太郎，原田和典，「火災時における天井開口部の煙流出性状」，日本建築学会近畿支部研究報告集，第50号環境系，pp.297-300，2010

*　京都大学工学研究科　修士課程
**　京都大学工学研究科　教授・博士(工学)

* Graduate Student, Graduate School of Eng., Kyoto University
** Prof.,Graduate School of Eng., KyotoUniversity, Dr Eng.

NII-Electronic Library Service