

# 防火研究グループ

## - 1 有風下延焼機構の実験的・数値的解明

### Experimental and Numerical Study on Urban Fire Spread under Windy Conditions

(研究期間 平成 11～13 年度)

防火研究グループ

Dept. of Fire Engineering

林 吉彦

Yoshihiko Hayashi

In order to study safety in refuge spaces and measures for preventing the spread of urban fires, it is important to predict the effects of the temperature distributions in thermal flows, the characteristics of brands and so on. Here, fire wind tunnel experiments and numerical studies were done for acquiring knowledge of the above phenomena in cooperation with the U.S. institutes.

#### 【研究目的及び経緯】

本研究の目的は、火災風洞実験棟や数値解析手法を活用し、市街地火災に関する様々な知見を得ることにある。米国農務省研究所や米国標準技術研究所では、市街地火災と現象面で共通する部分の多い森林火災を対象にして、火災風洞実験を実施、解析している。また、カリフォルニア大学パークレー校などでは、火の粉に関する数値計算を行っている。本研究を進める上で、上記機関との情報交換は極めて有効であるため、本研究は日米共同防火実験研究プロジェクトとした。

#### 【研究内容】

##### 1. 火災風洞実験における市街地風の再現に関して

有風下における火災家屋を対象とした火災風洞模型実験を行うにあたり、自然風の性状を再現する必要がある。ここでは、日米における既往の研究を参照し、自然風の再現を試みた。

##### 2. 樹木の遮熱効果に関する実験的解明

木造住宅の密集する地域では、住戸間に樹木を植栽しておくことにより、火災時に延焼を遮断したり、遅延化させる効果が期待されている。樹木の遮熱効果が期待されるのは、開口噴出火災程度の火災と言えるが、火災がこのような段階であっても、強風時であれば、無風時に見られるような樹木の遮熱効果が維持されるのかどうか不明である。ここでは、実スケール火災風洞実験を実施し、有風下における樹木の遮熱性能を明らかにした。

##### 3. 火災家屋からの熱気流性状に関して

火災家屋群から大量に発生する熱気流は、有風下においては、遠方の未燃家屋群へ予熱を与え、延焼を速めるほか、救出、救護、避難、消火活動を阻害する。ここでは、火災風洞において、1～2棟の火災家屋に見立てたプロパンバーナーを配置し、風下に拡がる熱気流の空間温度分布を計測し、現象の一般化を試みた。

#### 【研究結果】

##### 1. 火災風洞実験における市街地風の再現に関して

既往の研究を参照し、風洞助走部にスパイヤー、ラフネスを配置した。火災風洞内で平均風速と乱れの強さを調べた。計測には、熱線風速計、平均風速計を用い、40～120秒間の平均値とした。いずれの計測ラインにおいても、平均風速、乱れの強さは同様の分布を示し、(後述)は1/3程度となった。

平均風速の鉛直分布は経験的に(1)式の指数法則に従う。は地表面の状態に応じて決まり、低層～中層～高層市街地では0.20～0.27～0.35程度である。今回の結果(1/3)より、火災風洞において、市街地風を再現できたものとみなした。

$$U(z)/U_0 = (z/z_0)^{\alpha} \quad (1)$$

##### 2. 樹木の遮熱効果に関する実験的解明

系統的に実施された実験結果を見ると、火源燃焼発熱速度と風速が大きいほど、着火時間は短くなる傾向がわかる。仮想的状況であるが、表面が一定の放射量を受け続ける場合、(2)式が成立する。右辺定数は可燃物毎に異なり、着火し易いと小さくなる。

$$\text{放射量} \times (\text{着火時間})^{1/2} = \text{一定} \quad (2)$$

樹木着火時間を予測するために、実験結果を基に、(2)式の放射量に他の要因を係数として付加し、(3)式を提案。

$$V \times Bp \times H11 \times H12 \times Cr \times Rt \times t^{0.5} = 167 \quad (3)$$

Rt: 放射量、t: 着火時間

$$V = (\text{想定風速値} + 1) / (2 + 1)$$

$$Bp = \text{想定火源出力} / 1000$$

$$H11 = \text{火災斜長} / \text{樹冠高さ}$$

$$H12 = (\text{火災長さ} + \text{火災斜長}) / \text{火源からの距離}$$

$$Cr = (\text{対流量} + \text{放射量}) / \text{放射量}$$

(3)式右辺の167は、 $V \times Bp \times H11 \times H12 \times Cr \times Rt$  と  $1/t^{0.5}$  が相関を持つように決めた値である。

(3)式を変形し、開口噴出火災に対して樹木の遮熱性が期待される時間に関して、以下を提案する。

$$t = \{167 / (V \times Bp \times H11 \times H12 \times Cr \times Rt)\}^2 \quad (4)$$

### 3. 火災家屋からの熱気流性状に関して

1~2 個のプロパンバーナーを用い、1~2 棟の火災家屋を想定した実験を実施。バーナーサイズは、0.3m (縦) × 0.3m (横) × 0.2m (高さ)。周辺家屋群は、プロパンバーナーとほぼ同じ大きさになるように煉瓦を積み重ねた。

想定する実際の火災状況は、燃焼発熱速度は 0.83 ~ 1.5 ~ 2.0MW/m<sup>2</sup>、平均風速は 5 ~ 15m/s。2 個火源の場合、隣棟間隔は 0 ~ 15m に変化させた。

以下に示す(5)式より、模型実験条件を決定した<sup>1)</sup>。

$$L_{\text{実際}}/L_{\text{模型}}=(U_{\text{実際}}/U_{\text{模型}})^2=(Q_{\text{実際}}/Q_{\text{模型}})^{2/5} \quad (5)$$

熱気流の温度計測は K 型熱電対 (コンマ 65mm、ガラス被覆) を使用。プロパンバーナーへの流入平均風速は、プロパンバーナー手前の床上 0.38m 高さ (地上 10m 高さに相当) に平均風速計を設置して計測した。

佐賀<sup>1)</sup> は主軸温度に関する無次元数として(6)式を定義している。主軸の傾きについては(7)式を定義。

$$m=(\Delta\theta_m D^{1/3} x^{4/3}) (Q^2 T_0 / C_p^2 / \rho^2 / g)^{-1/3} = C_0 \Lambda^{-s} Fr^{-t} \quad (6)$$

$$=(UD^{1/3}) (Qg / C_p / \rho / T_0)^{-1/3}$$

$$s=0.5, t=-0.8833$$

$$\tan\beta=C^k \Lambda^{-n} Fr^{-n} \quad (7)$$

$$k=9/8, n=-0.0975$$

$\tan\beta = z/x$  を用いると以下になる。

$$x=\Lambda^{-s} Fr^{-t} G \left[ (z/x) \Lambda^k Fr^n \right] \quad (8)$$

$$x=(\Delta\theta D^{1/3} x^{4/3}) (Q^2 T_0 / C_p^2 / \rho^2 / g)^{-1/3}$$

風下領域  $x/D > 2.0$  ( $x=0.6m$ ) における実験結果を(8)式に従ってまとめた。実験結果を安全側に近似し、風下温度予測式を以下のように提案する。

$$(x,z)= [1.7\Lambda^{-s} Fr^{-t} \exp[-1.5^2 \{(z/x) \Lambda^k Fr^n - 0.37\}^2] + 0.05]^* (Q^2 T_0 / C_p^2 / \rho^2 / g)^{1/3} D^{-1/3} x^{-4/3} \quad (9)$$

1 個バーナーの場合、火源径、燃焼発熱速度、風速の 3 つが主要パラメータであった。2 個バーナーの場合、単独仮想火源に置換することを考える。バーナー間の空地も含めた火源面と等面積の円形火源を考え、円形火源の発熱速度は各バーナーの総和とし、半径を代表長さとし、風上側バーナーの流入風速を代表速度とする。無次元数を用いて空間温度の一般化を行うと以下のようになる。

$$(x,z)= [2.0\Lambda^{-s} Fr^{-t} \exp[-1.75^2 \{(z/x) \Lambda^k Fr^n - 0.37\}^2] + 0.05]^* (Q^2 T_0 / C_p^2 / \rho^2 / g)^{1/3} D^{-1/3} x^{-4/3} \quad (10)$$

一例として、建築面積 64m<sup>2</sup>、火災出力 96,000kW、風速 10m/s の状況下における単独火災家屋の風下側の空間温度分布を描いてみた (図-1)。

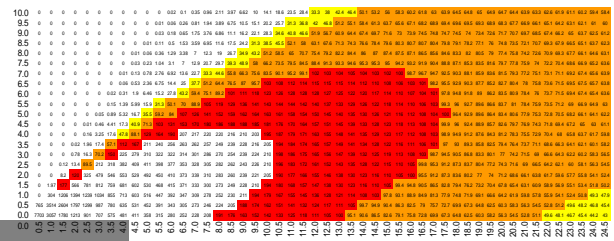


図-1 火災家屋風下空間温度分布 (予測値)

本研究により、様々な火災出力、風速下での風下側の任意の点における空間温度分布を予測可能になった。

#### 【記号】

$C_p$ : 空気定圧比熱(kJ/kg/K)

$D$ : 火源寸法(m)

$Fr$ : フルード数

$g$ : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

$L$ : 長さスケール(m)

$Q$ : 燃焼発熱速度(kW)

$T$ : 温度(K)  $T_0$ : 周辺空気温度(K)

$U$ : 平均風速(m/s)

$x$ : 主流方向(m)

$y$ : 横方向(m)

$z$ : 鉛直方向(m)  $z_0$ : 基準高さ(m)

$\beta$ : 熱気流主軸傾斜角度

$\Delta\theta$ : 温度上昇値(K)  $m$ : 主軸温度上昇値(K)

$n$ : 風速の無次元パラメータ

$\rho$ : 空気密度(kg/m<sup>3</sup>)  $\rho_0$ : 周辺空気密度(kg/m<sup>3</sup>)

$\Lambda$ : 無次元主軸温度

$\Lambda$ : 無次元温度

#### 【参考文献】

1) 佐賀武司、正方形熱源の風下における温度分布、東北工業大学紀要、第 16 号、平成 8 年、pp.141-154

#### 【備考】

1) 木下拓也、名取卓也、林吉彦、佐賀武司、若松孝旺他、有風下における市街地火災を想定した熱気流性状の解明、日本建築学会大会学術講演梗概集、平成 12 年 9 月、pp.195-198

2) 林吉彦、木下拓也、大崎貴弘、若松孝旺、佐賀武司他、建築研究所火災風洞の基本性能と火災風洞実験結果について、複数火災家屋からの合流火災形状と周辺への熱的影響予測のための火災風洞実験、密集家屋間に配置した樹木による延焼遮断効果に関する火災風洞実験、日本風工学会誌、第 86 号、H13 年 1 月、pp.55-74

3) 林吉彦、鈴木一幸、佐賀武司、若松孝旺、市街地火災を想定した火災形状と風下における温度予測モデルの提案、日本火災学会研究発表会概要集、H14 年 5 月