

- 3 火災風洞実験と CFD 解析を用いた 市街地火災時の火の粉による延焼メカニズム

Study on Mechanism of Spot Fires by Firebrands seen in City Fire using Fire Wind Tunnel and CFD

(研究期間 平成 14～15 年度)

防火研究グループ
Dept. of Fire Engineering

林 吉彦
Yoshihiko Hayashi

成瀬友宏
Tomohiro Naruse

1)Real-scale Fire Wind Tunnel experiments on fire preventive wooden houses were conducted for investigating firebrand generation. 2)Cone calorimeter tests on combustion behavior of flying firebrand was conducted. 3)Roof-tile deficit after the Great Hanshin Awaji Earthquake was investigated using aerial photographs taken just after the disaster. 4)Real-scale Fire Wind Tunnel experiments on ignition behavior of firebrands landed on damaged roofs. 5)The experimental and investigated results were incorporated into the numerical method predicting the scatter of firebrands.

【研究目的及び経過】

1995 年の阪神淡路大震災で見られたように、都市部で大地震が起きると、同時多発火災が発生し、そのいくつかは、大規模な市街地火災へと進展する。特に、強風下においては、急速に延焼拡大し、その被害は一層深刻なものとなる。これは、火災からの放射伝熱、熱気流からの対流伝熱、落下火の粉からの伝導伝熱のいずれもが、無風時に比べて、著しく増加することに因る。この内、放射伝熱と対流伝熱については、平成 10～14 年度に実施された国土交通省総合技術開発プロジェクト「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」において、現象解明に向けた取り組みが実施された。これに対し、大規模な火災や強風下の火災では、大量に発生する火の粉が遠方に飛散し、跳躍延焼が深刻になりながらも、火の粉の延焼加害性解明に向けた研究はこれまでも実施されておらず、未解明な部分が数多く残された状況である。

本研究では、放射伝熱と対流伝熱の解明に大きな手掛かりを与えた火災風洞を用いた実験を実施し、さらに、CFD (Computational Fluid Dynamics、計算流体力学) をベースとした数値計算手法を駆使して、火の粉の発生から飛散、落下までの各フェーズを物理的に解明し、これらの知見を統合して、火の粉の跳躍延焼シミュレーションモデルを提案するものである。

なお、本研究は、所内研究課題「火災風洞実験と CFD 解析を用いた市街地火災時の火の粉による延焼機構の解明」と連携して進められてきた。所内研究課題では実験的解明がなされたのに対し、本研究課題では数値的解明が行われた。

【研究内容(当初予定)】

火の粉の飛散範囲の数値シミュレーションモデルを構築し、これを基に、火の粉の発生量や飛散時の熱的变化に関する実験的知見を融合して、また、屋根瓦の脱落状況や跳躍延焼の有無に関する予測結果を融合して、火の粉による跳躍延焼シミュレーションモデルを構築する。

【研究結果】

火の粉の飛散時の運動を検討するために、FDS (Fire Dynamics Simulator) に火の粉運動の物理モデルを組み込んだ。なお、FDS は、NIST (National Institute of Standards and Technology、米国商務省標準技術研究所) の BFRL (Building and Fire Research Laboratory、建築火災研究所) で開発された火災現象のシミュレーションソフトウェアであり、フリーソフトウェアとして公開されている。

本研究では、火の粉の運動の気流への影響は小さいものと考え、FDS の流体力学モデルには何ら手を加えることなく火の粉の運動を取り扱っている。火の粉は気流による抗力や揚力、モーメントを受けて飛散運動するが、これらの運動は、位置、速度、回転角、角速度を用いて、並進運動の運動方程式と回転運動方程式により記述した。火の粉の形状としては、球形、円筒形、直方体を想定し、燃焼による形状変化を簡易的に模擬するために相似形で寸法変化が起こるものとした。火の粉に働く抗力、揚力、重力、流体力のモーメントについて、簡易であるが、各種の形状に対応できるよう、柔軟なモデルを作成した。

上記モデルを検証するために、和歌山県白浜温泉で平成 10 年 11 月 17 日に発生したホテル火災の条件に適用し、実態調査結果と比較した。解析領域は、当該火災時の火の粉の飛散範囲を概ね含むように、1km 四方の範囲を設

定した。計算に使用した格子数は、X、Y、Z 各方向で 50×50×30 である。水平面内は等間隔とし、鉛直方向には、底面近くに格子を集積させた不等間隔格子とした。地形のみを考慮し、建物や植栽は無視した(図 1)。火元の形状は 60m×60m の正方形火源とした。解析領域の要件を表 1 に示す。また、流れに対する境界条件は表 2 に示すように設定した。流入風速の分布は、海からの進入を考慮して、1/7 乗則に従うものとした。

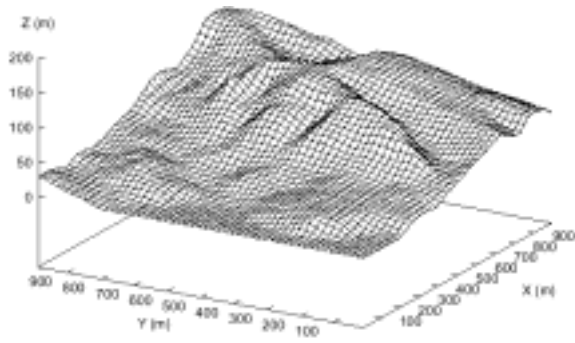


図 1 計算領域上の標高データ

表 1 解析領域の要件

領域原点	北緯 33° 40' 25" 東経 135° 20' 15"
X 軸方向	南から 14° 東回り
領域寸法	水平面内 1km 四方、高さ 600m
火元形状	X=240~300m、Y=420~480m の正方形
地形	国土地理院刊行の数値地図 50m メッシュを基に角柱の集合として表現

表 2 境界条件

流入面 (北側面)	$u/u_0 = (z/z_0)^{1/7}$ $u_0 = 7\text{m/s}, z_0 = 1\text{lm}$
側面、上面	大気境界条件
固体表面	火元は 1500 kW/m ² の熱流束 他は断熱境界条件

火の粉の計算条件は表 3 のように設定した。抗力係数は、理想的な球の値では実際の火の粉の抗力係数の値とかけ離れていると考え、種々の形状の立体に対する抗力係数を参考にして、2.5 の倍率を用いることとした。火の粉粒子の直径は実態調査における分類に従った。流動計算では、火元の直近での強い上昇気流を表現するに足る格子サイズではないため、上昇気流がある程度上空に達してから高温のプルームが成長し、それが浮力と環境風により移動する。このプルームに火の粉が到達するプロセスは使用した格子では表現できないため、プルームが形成されたタイミングでその位置から火の粉が運

動を開始できるように初期位置を定めた。また、流動計算を開始してから流れ場が定常的な変動を示した時点以降に火の粉を放出するようにした。

直径が最も小さい 1cm の場合は、自由落下の平衡速度が小さいため、遠方まで運ばれている様子が図 2 からわかる。計算による火の粉の着床範囲と実態調査における形状別飛散量の図から読み取った着床範囲の比較を表 4 に示す。計算値は実態調査の値に較べて飛散範囲が狭くなっている。粒子径が大きいほどこの傾向が顕著になる。径が大きい場合、抗力に対する慣性力の比率が大きくなり、火元から与えられる初期の吹き上げによる慣性が支配的になるが、この吹き上げの再現が重要であることを示唆するものである。

表 3 計算条件

形状	直径 1cm、5cm、15cm、30cm の球形
密度	245kg/m ³
初期位置	X=270m から 5m 間隔で 7 点 Y=420m から 5m 間隔で 7 点 Z=30m から 5m 間隔で 7 点
放出時刻	130sec から 5sec 間隔で 10 回 指定時間後の鉛直速度極大時点
計算時間	0sec ~ 250sec

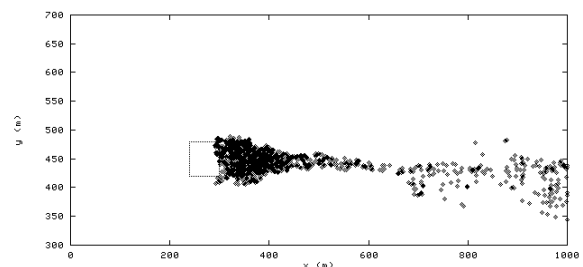


図 2 粒子直径 1cm の場合の着床位置

表 4 火の粉の着床範囲の計算と実態調査の比較

火の粉直径(cm)	計算(m)	実態調査(m)
1	700 ~	1000 ~
5	~ 400	~ 540
15	~ 160	~ 350
30	~ 130	~ 240

【備考】本研究の詳細は、以下のほか、所外発表論文のページも参照のこと。

- 1) 林吉彦ほか：「火の粉飛散範囲の数値シミュレーション(その 1) 飛散時挙動に関する物理モデルの検討」、日本火災学会研究発表会概要集、2004
- 2) 林吉彦ほか：「火の粉飛散範囲の数値シミュレーション(その 2) 計算結果と実態調査結果との比較」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004