

## 防火研究グループ

### - 1 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

### 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

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、火炎からの放射伝熱、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、科学研究費研究課題「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メカニズム」と連携して進められてきた。科学研究費研究課題では数値的解明がなされたのに対し、本研究課題では実験的解明が行われた。

#### 〔研究内容〕

##### 1. 強風下火災家屋から発生する火の粉の量について

有風下における防火木造家屋の火災実験を実施し、火の粉の発生量について調べる。さらに、実験的知見に加え、既往の研究成果を活用して、強風下火災家屋群から発生する火の粉の量を一般化する。

##### 2. 飛散火の粉の燃焼性状について

移流飛散中の火の粉の燃焼性状を明らかにするため、火の粉に見立てた木片を試験体として、コーンカロリメータ試験を実施し、発熱速度や質量変化を計測する。

##### 3. 地震直後の瓦の脱落被害について

過去の地震大火事例を振り返ると、飛び火被害を受ける場所は屋根が最も多くなっている。これは、大地震直後には、屋根瓦が脱落して、屋根を構成する木材が露出するためと考えられる。飛び火被害の潜在的危険性を考えるうえで、大地震直後の屋根瓦の脱落状況を予測しておくことが重要となる。阪神淡路大震災直後の神戸市内を対象にして、航空写真とフィールド調査結果を基に、木造家屋の構造被害程度別の屋根瓦脱落程度別の棟数を明らかにする。さらに、この結果を東京都、宮城県、静岡県に適用し、地震直後の屋根瓦脱落棟数を予測する。

##### 4. 屋根瓦脱落時の火災性状について

屋根の実物大試験体を用いて、瓦の脱落状況や風速を変化させて、飛び火による延焼の有無を明らかにする。

##### 5. 火の粉による跳躍延焼シミュレーションモデルの構築について

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】**

**1. 強風下火災家屋から発生する火の粉の量について**

火災風洞実験を行った。供試家屋とその配置を図 1~3 に示す。クリブに点火し、実験開始としたが、供試家屋への延焼が起きなかったため、室内北東隅のゴミ箱(図 2×)に強制点火した。フラッシュオーバーの発生、屋根や壁などの構造部材の崩壊などに伴って、大量の火の粉が発生することを明らかにした(表 1、図 4)。なお、3.8m/s の風速下で実験は行われた。

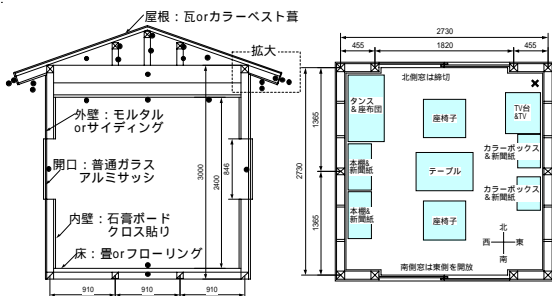


図 1 断面図

図 2 可燃物配置図

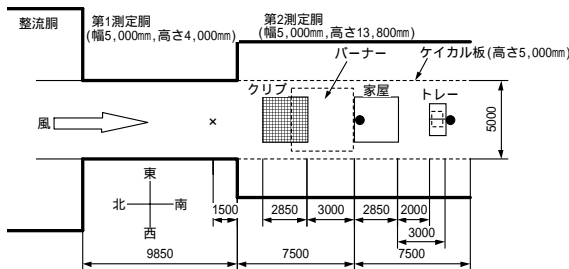


図 3 火災風洞内配置図(単位:mm)

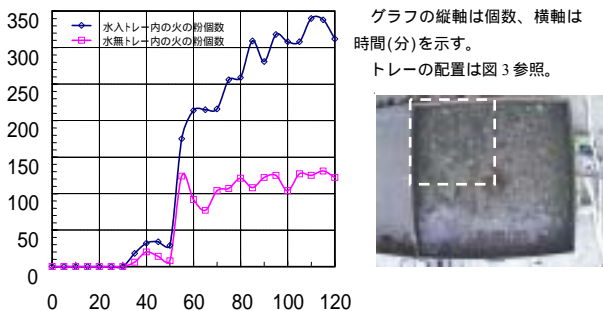


図 4 トレー内の火の粉個数(写真は 55 分の様子)

表 1 火の粉発生量の変化(トレー内火の粉個数の変化)

火の粉の発生		火災の進展状況	
時間	増加	時間	要因と思われる現象
35 分	+ 18	30 分	開口から黒煙が発生(南側)
55 分	+146	50 分	フラッシュオーバー
60 分	+ 39	55 分	開口噴出火炎が発生(南側)
75 分	+ 40	75 分	屋根が燃え抜け始める
85 分	+ 50	80 分	家屋が崩壊し始める
95 分	+ 37	90 分	西壁の南側が崩れ始める

**2. 飛散火の粉の燃焼性状について**

コーンカロリメータを用いた実験結果から飛散中の火の粉の状態を推測した。一辺 3cm の立方体形状の木片を 50kW/m<sup>2</sup> 下で常時加熱した。コーン試験開始から 40~526 秒で表面が炭化し、その 14~76 秒後に発熱速度のピーク(0.3~0.7kW)に達した。表面炭化から 100 秒後(コーン試験開始から 140~626 秒)の発熱速度は 0.3~0.4kW、合計発熱量は 70~100kJ である。コーン試験終了時(コーン試験開始から 1200 秒)の合計発熱量は 190kJ である。以上を火災イベントに対応させると、フラッシュオーバー直後の盛期火災開始から 40~526 秒で飛散を開始し、飛散開始から 100 秒後に落下したときには、発熱速度のピーク値を超えており、高々 0.3~0.4kW の発熱速度になっている。また、落下から燃え尽きるまでの 574~1060 秒の間に 90~120kJ の熱量を放出することになる。

**3. 地震直後の瓦の脱落被害について**

構造被害程度が「外観上の被害なし」の場合、屋根瓦脱落状況が「被害半分以下」が 29.3%、「被害半分以上全部未満」が 7.2%、「被害全部」が 1.4%となる。構造被害程度が「軽微な損傷」の場合、屋根瓦脱落状況が「被害半分以下」が 40.2%、「被害半分以上全部未満」が 18.6%、「被害全部」が 11.3%となる。構造被害程度が「中程度の損傷」の場合、屋根瓦脱落状況が「被害半分以下」が 47.8%、「被害半分以上全部未満」が 24.8%、「被害全部」が 16.1%となる。

**4. 屋根瓦脱落時の火災性状について**

瓦葺屋根では瓦が不燃材料であることから、健全な状態においては火の粉が飛来しても大きな危険が生じるとは考えにくい。しかしながら、瓦が全面欠損や一部欠損した箇所に火の粉が飛来すると、瓦の損傷程度にかかわらず、野地板に燃え抜けを生じる危険性が高い。野地板に燃え抜けが生じるかどうかは風速に依存し、6m/s 程度までは風速が大きいほど焼損も拡大する。

**5. 火の粉による跳躍延焼シミュレーションモデルの構築について**

科学研究費研究課題「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メカニズム」に記載。

**【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) 吉岡英樹、林吉彦ほか：「有風下における火災家屋からの火の粉の発生性状に関する実スケール火災風洞実験」、日本火災学会研究発表会概要集、2003
- 2) 林吉彦ほか：「火の粉飛散時の燃焼性状に関するコーンカロリメータ試験」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004