

1. 機関番号：57501
2. 研究種目：若手研究（B）
3. 研究期間：2007～2010
4. 課題番号：19710158
5. 研究課題名（和文）
アクティブ制御風洞を用いた大規模広域火災時の空中投下水散布最適化に関する研究
研究課題名（英文）
Optimization of air-dropped water for aerial firefighting against urban fire by actively controlled wind tunnel
6. 研究代表者
菊川 裕規（KIKUGAWA HIRONORI）
大分工業高等専門学校・機械工学科・准教授
研究者番号：70321528

7. 研究成果の概要（和文）：

阪神淡路大震災のような大震災時の市街地火災に、消防ヘリコプターによる迅速な空中消火に期待が寄せられている。しかし、消防ヘリコプターを用いた空中消火には限界がある。これまでに実機のヘリコプターを用いた実規模実験が行われてきたが、最適な消火方法についてはまだわかっていない。そこで、相似模型による空中消火水を再現し、アクティブ制御風洞で気象条件を再現した条件で模擬家屋の燃焼実験を行った結果、効果的な空中消火の方法についての知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：

In case of a great earthquake disaster, wide area urban fire would be expanded for lack of firefighting water supply from road destruction, hydrant damage and so on. If airplanes, such as a helicopter, can be used under specific conditions, it would be effective for firefighting. Airplanes can arrive at the fire site in a short time, and fire fighting can be carried out quickly. For this reason, it would be expected for aerial fire fighting by a fire-fighting helicopter for urban fire in case of a great disaster. However, about the fire extinguish or deterrent effect by aerial firefighting, there is no enough research work for urban fire. Until now, the real scale experiment used by real helicopter was carried out by National Research Institute of fire and disaster. It is difficult to carry out the real scale experiment frequently. Therefore, in this research, small model experiment was proposed and similarity with a real scale experiment was verified. As a result of this research, it was reproducible about the air spread phenomenon which was dropped water from the bucket. Furthermore, some information of the method of an effective aerial firefighting was obtained.

8. 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,800,000	480,000	3,280,000

9. 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会安全システム科学・自然災害科学

キーワード：(1)大規模火災 (2)広域火災 (3)空中消火 (4)延焼防止 (5)相似模型
(6)スタントン数 (7)燃焼実験 (8)木材クリブ

科学研究費補助金研究成果報告書

10. 研究開始当初の背景

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災では、地震時の交通混乱や水利不足のため消防効果を発揮できず広域火災に発展した。現在でも、殆どの都市が木造密集地帯を抱えており、かつ地震発生度の高い都市が多いため広域火災の危険性が少なくない。このような状況下において空中からの消火活動、とりわけ滑走路が不要で空中停止できるヘリコプターからの空中散布水は非常に有効な消火手段である。しかしながら気象条件や地形特性などの自然環境、および火災規模や延焼速度などの火災状況に対応した最適な散布方法、投下位置、投下水量などは未だ明確にされていない。

これまで応募者は、複数の送風機と振動翼をアクティブに制御し種々の気象条件を再現できる形式のアクティブ制御乱流風洞の開発を行ってきた。そこで、本風洞を用いて種々の気象条件に対する最適な水散布条件の基礎資料を提供できるものと考え本研究に着手した。

平成11年11月に大分市にて行われた自治省消防研究所(当時)主催の実大規模実験「市街地火災時における空中消火の延焼防止効果に関する研究」に共同研究者として応募者も参加した。図1に実機を用いた空中投下水の消火実験を示す。本実験にて、実規模における消防ヘリコプターからの散布水性状、散布水の地表面における衝撃度、延焼防止効果等についての基礎データが得られたが、更なるデータを得るためには広大な場所や莫大な予算を必要とするため、以後実大規模実験は行われていない。

そこで、応募者は実規模実験より容易にしかも同等の結果が得られる小規模な模型装置を提案し、実規模実験との相似性を検討するための研究を行った。本研究は、平成13年度および14年度の科学研究費補助金(奨励Aおよび若手B、課題番号13780378)よ



図1 実機による空中投下水消火実験

り資金援助を受けている。本研究にて模型ヘリコプターを用いたダウンウォッシュ中における投下物の挙動について支配されている物理法則を明らかにし、実規模実験との相似性を明らかにした。また、数値解析ソフトを用いて数値シミュレーションを行い、空中投下物の挙動について実規模実験および模型実験と比較することで相似則の妥当性が検証できた。その後、平成15年度より16年度にかけて文部科学省在外研究員として米国コロラド州立大学にて新型アクティブ制御乱流風洞と従来型境界層乱流風洞の乱流特性に関する研究を行っていたため本研究は中断していた。

しかし近年の大規模地震に対する防災意識の高まりを受け、大規模広域火災時の空中投下水散布性状に関する研究を進展させる計画である。明らかとなった相似法則に基づいた模型を用いて、アクティブ制御乱流風洞中にて種々の気象条件を再現し、変動する気流が空中投下水の挙動に与える影響について調べる。また、気象条件による投下水の粒径の変化と地表面への衝撃度の関係について明らかにし、散布水性状を明らかにする。さらに、火災を模擬した火災中に空中より水を投下することで消火の効果および延焼防止効果について調べ、最適な空中投下水散布条件を提案する。

消防ヘリコプターによる実規模の空中消火実験は、国内では自治省消防研究所(当時)において実大規模実験が行われており、また国外においても米国NISTなどにより同様の実験が行われている。しかし、本研究のように気象条件を模擬できる風洞内において模型実験による空中消火に関する研究は、調べた範囲では見当たらない。

本研究は、研究代表者がこれまで行ってきたアクティブ制御乱流風洞を用いて気象条件を変化させることで、空中投下水の散布水性状を調べる点に特色がある。鉛直風速分布、乱れ強度、乱渦スケールを変化させて任意の気流変動を再現できるアクティブ制御乱流風洞を用いて、任意の気象条件を風洞内に再現し、空中投下水の散布水性状をシミュレーションできるため、あらゆる気象条件下での再現性の高いデータを得ることが可能である。また、火災を模擬する風洞実験は例があるが火災と空中消火を組み合わせた風洞実験は例がなく独創的である。したがって、本研究により実大規模実験における多大な費用、実験場所、時間と人員等の制約を受けることなく、空中消火に関する基礎資料を提供できるものと期待できる。このため、大規模広域火災時の消火活動指針を構築する際の基礎資料として意義は大きい。

1 1. 研究の目的

(1) 平成19年度は明らかとなった相似法則に基づいたモデルを用いて、アクティブ制御乱流風洞中にて種々の気象条件における実規模実験を再現する。すなわち、実規模実験で得られた気象データ、ダウンバーストデータ、投下水散布データ等に基づいて、本風洞内の気象条件、ダウンバースト風量、投下水量等の実験条件を決定し、本風洞に実大規模実験の相似実験を再現できるようにする。

(2) 平成20年度は気象条件の違い、特に変動する強風が空中投下水の挙動に与える影響について調べる。アクティブ制御乱流風洞中に再現された相似実験において、種々の気象条件を変えることによって生じる空中投下水の挙動の影響について調べる。すなわち、地表面からの鉛直風速分布、乱れ強度、乱渦スケールおよび地形特有の気流等の条件を設定し、投下水の散布範囲、散布密度、水滴粒径分布、地表面への水滴の衝撃度等の関係を明確にする。

(3) 平成21年度は火災を模擬した火炎中に空中より水を投下することで消火の効果および延焼防止効果について調べる。まず、火災を模擬するための相似法則について検討し、空中からの散布水の投下による消火の効果を模型実験によって検証する。

(4) 平成22年度はアクティブ制御乱流風洞中にて気象条件を変化させたときの火災の延焼と空中からの投下水による消火の効果および延焼防止効果を明らかにし、最適な空中投下水の散布条件を提案する。

1 2. 研究の方法

まず、現有のアクティブ制御乱流風洞装置にて種々の気象条件における気流を再現した。本風洞は風路前方に180mm四方の断面を持つ小型送風機を66個設置し、約1000mm四方の観測部風路断面を持つ押出型風洞である。風洞内で発生させる気流は、目的とする入力信号に応じた送風機の回転数を時間変動させることで用意に制御可能である。また、66個の送風機を個々に制御することで、空間的にも時間的にも変動する自然風の再現が可能である。本風洞内に空中投下水散布の

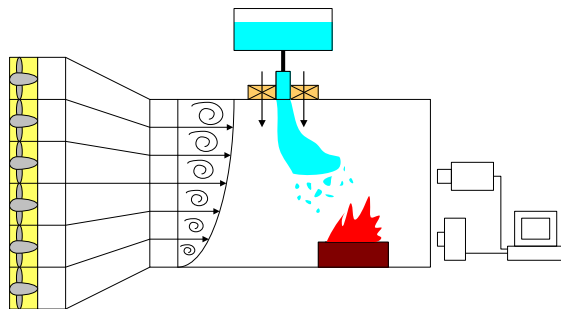


図2 風洞による投下水実験概要

相似モデルを設置し、実規模実験にて得られた気象条件、ダウンバースト風量、投下水散布量等の実験条件を相似法則に従って再現した。現有のアクティブ制御風洞の観測部に防水対策を施し、投下水散布実験装置を製作した。投下水散布による水粒子の観測には現有のハイスピードカメラを使用した。ハイスピードカメラで撮影された画像はコンピュータへ取り込まれ、画像処理ソフトを用いて水の散布性状の解析を行う。図2に風洞を用いた投下水実験の概要を示す。

次に、模擬家屋を用いて火災を模擬した火炎中に空中より水を投下することで消火の効果および延焼防止効果について調べた。気象条件を変化させたときの火災の延焼と空中からの投下水による消火の効果および延焼防止効果を明らかにする。実規模実験の火災状況を再現するため、木材クリブを用いた模擬家屋を製作し、燃焼させて温度変化と燃焼過程を観測する実験を行った。温度計測は熱電対をステンレス管に通して行った。模擬家屋の一辺から点火し、点火と同時に温度計測を開始した。火炎が広がった後模擬家屋が燃焼する状態を熱電対で温度変化を計測した。火炎の様子はビデオカメラで録画した。投下水は、相似則より散水継続時間と空中投下水の粒径を考慮して霧吹きを用い、実規模実験におけるヘリコプター高度より算出した高さから投下した。実規模実験の相似則を考慮して、投下水の命中率と投下間隔を変化させ、いくつかの実験条件を設定した。

1 3. 研究成果

(1) 平成19年度は、水の投下状態を再現し実規模実験との相似性を明らかにすることとした。第一実験では、噴霧装置から水を噴射させることで散布性状の再現を行った。水滴の落下速度を基準として、重力の影響を表すパラメータであるフルード数を一致させることに着目した。第二実験では、消火水タンクを模擬した市販のペットボトルロケットをやぐらに固定し水を噴射させることで、散布水が拡散する様子の再現を行った。

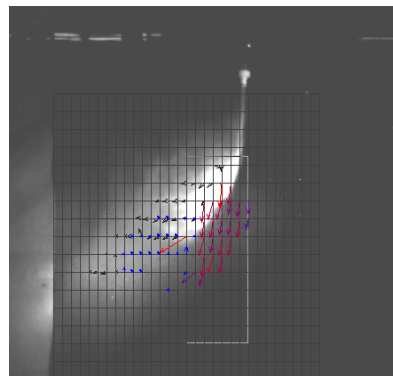


図3 模型実験による空中投下水の再現

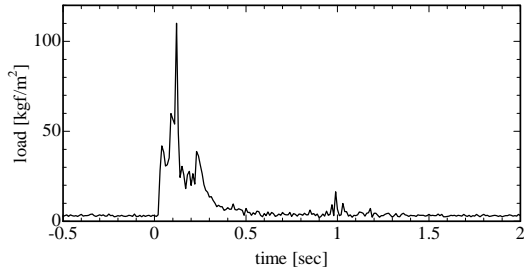


図4 空中投下水の衝撃荷重の実験結果



(a) 水投下前 (b) 水投下後
図5 火災初期の水投下前後の様子

本実験では液滴の境界面に働く慣性力と表面張力の比を示すウェーバー数に着目し、高速度カメラにより流速を測定する実験を行った。第三実験では風洞から横風を当て、ヘリコプターが飛行している状態を再現する実験を行った。これらの実験の結果、ウェーバー数に着目して相似則を検討すれば、実機からの水散布性状をよく再現できることが明らかとなった。図3に再現された模型実験による空中投下水の様子を示す。

(2) 平成20年度は空中投下水が地表面に落下した際の衝撃度について、模型実験による相似法則の検証を行い、衝撃度の緩和方法について検討した。市街地火災において、空中からの投下水が地表面に落下した際には、構造物への衝撃度および人的被害が懸念されているため、消火効果を保つと共に衝撃度の緩和が重要課題である。そこで、実規模実験で得られた衝撃度を模型実験にて再現することで相似法則の検証を行い、衝撃度の緩和方法について検討を行った。既存の高速度カメラおよび衝撃荷重計を用いて、水塊の崩壊現象の様子を解析し、衝撃度の緩和に寄与する要因を明らかにし、気象条件の違いが空中投下水の挙動に与える影響について調べた。図4に模型実験による空中投下水による衝撃荷重の実験結果を示す。

(3) 平成21年度は、縮尺模型を用いた燃焼実験と消火実験を行った。まず、木材クリブを用いた模擬家屋を製作し、燃焼させて温

Set A : 命中率 25%, 投下間隔 1分

Set F : 命中率 50%, 投下間隔 3分

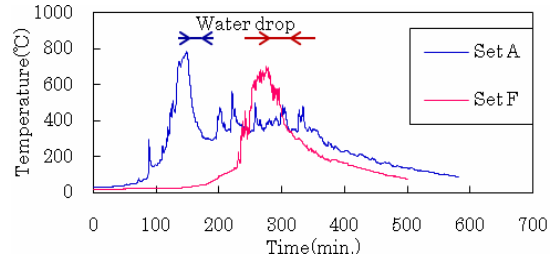


図6 異なる条件での消火効果の違い

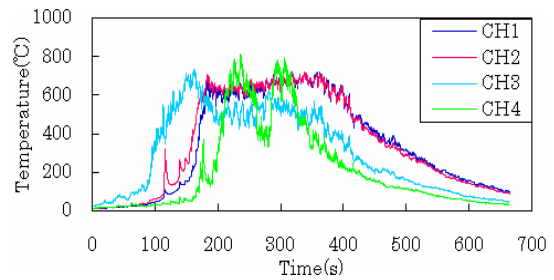


図7 風の影響による延焼効果

度変化と燃焼過程を観測する実験を行った。木材クリブの重量は体積比で一致させ、模擬家屋に設置した熱電対を用いて点火後の温度変化を計測した。火炎が広がった後模擬家屋が自然鎮火するまでの変化の様子を熱電対およびビデオカメラを用いて観測した。次に、相似則を一致させるために固体壁と流体の熱伝達に関する無次元数として Stanton 数に着目し、空中投下水の散布時間および水量を設定して模擬家屋による消火実験を行った。その結果、相似則を考慮した模型実験により実規模実験に近い消火効果を再現することが確認できた。さらに、火災初期・火災中期・火災末期についてそれぞれ空中投下水の消火効果を検証した結果、火災末期に水を投下した場合は、鎮火を早める効果があることが分かった。図5に火災初期においた水投下前後の火炎の様子を示す。

(4) 平成22年度は、相似模型を用いて様々な条件で実験を行い、倒壊家屋の消火効果の検証および比較を行った。まず、実規模実験の火災状況の再現を行うため、木材クリブを用いた模擬家屋を製作し、模擬家屋を燃焼させて水を空中から投下した。投下水は、相似則より散水継続時間と空中投下水の粒径を考慮して設定し、実規模実験におけるヘリコプター高度より算出した高さから投下した。相似則を考慮して、投下水の命中率と投下間隔を変化させたときの消火効果の検証を行った。その結果、少量の投下水を空中から短時間に繰り返し投下しても、一時的な

火災抑止効果は得られるが再燃する可能性が高いことがわかった。そこで、投下水の命中率を高めて、一度に大量の投下水を目標に投下することで再燃も抑えられ、高い消火効果が期待できることがわかった。図6に条件に違いによる消火効果について示す。さらに、風の影響を受けたときの延焼効果を調べた。風の影響を受けることによって温度上昇の時間が早まり、酸素供給により燃焼状態が長時間継続されることが分かった。従って、風の影響により燃焼状態が長時間継続されることで消火が困難となることが予想される。図7に風の影響による延焼効果について実験結果を示す。

今後、更に大規模火災を想定した火災状況を模型実験にて再現し、最適な空中投下水散布方法を提案する予定である。明らかとなった相似法則に基づいて、木材クリブを用いて単体の模擬家屋を製作し、模擬家屋を燃焼させて温度変化と燃焼過程を把握する。空中投下水の散布水量、投下回数、投下間隔等を変化させたとき、実規模のヘリコプターで搬送できる水量に換算した際に、どのような条件下で効果的な空中消火が可能であるか検討する。また、予防的に水を散布した場合に、効果的な延焼阻止方法について検討する。また、アクティブ制御乱流風洞を用いて自然風、特に強風下での火災を想定した気象条件の際に、効果的な空中消火方法および延焼阻止効果の向上について検討する。さらに、多数の模擬家屋により、住宅密集地の市街地を再現し、市街地密度と延焼速度の関係と空中消火による効果的な消火方法および延焼阻止方法について検討する。住宅密集地における強風下での火災を想定して、効果的な空中消火方法および延焼阻止方法について検討する。住宅密集度と強風の状態からどの地域に空中消火を行えば効果的に広域火災が鎮火できるのか、延焼を防止できるのかを検討する。したがって、大規模広域火災時に強風の影響により延焼が懸念されるような悪条件の場合においても、効果的な空中消火方法を提案するために今後も研究を進めていく予定である。

1.4. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

(1)

著者名：T.Konishi, H.Kikugawa, Y.Iwata, H.Koseki, K.Sagae, A.Ito, K.Kato
論文標題：Aerial firefighting against urban fire: Mock-up house experiments of fire suppression by helicopters
雑誌名：Fire Safety Journal 43, pp.363-375, Elsevier, 2008.

【査読有り】

〔学会発表〕(計5件)

(1)

発表者名：今川純平, 菊川裕規
発表標題：模擬家屋を用いた相似模型による空中投下水の消火効果に関する研究
学会等名：日本機械学会九州学生会研究発表講演会
発表年月日：2011年3月11日
発表場所：大分高専

(2)

発表者名：山崎 賢, 菊川裕規
発表標題：市街地火災を模擬した相似模型による空中投下水の消火効果に関する研究
学会等名：日本火災学会研究発表会
発表年月日：2010年5月17日
発表場所：北海道大学

(3)

発表者名：H. Kikugawa, T. Konishi, K. Hirano
発表標題：Scale modeling of air-dropped water for aerial firefighting against urban fire
学会等名：Sixth International Symposium on Scale Modeling (ISSM-6)
発表年月日：2009年9月14日
発表場所：Kauai, Hawaii, U.S.A.

【査読あり】

(4)

発表者名：平野啓太, 菊川裕規
発表標題：大規模火災時の空中投下水散布最適化の実験的研究
学会等名：日本機械学会九州学生会発表会
発表年月日：2009年3月9日
発表場所：九州工業大学

(5)

発表者名：菊川裕規, 平野啓太, 漆間広太
発表標題：大規模火災時の空中投下水散布最適化の実験的研究
学会等名：日本火災学会研究発表会
発表年月日：2008年5月22日
発表場所：神戸大学

1.5. 研究組織

(1) 研究代表者

菊川 裕規 (KIKUGAWA HIRONORI)
大分工業高等専門学校・機械工学科・准教授
研究者番号：70321528