

模型実験による熱環境の変化に関する検証 (模型実験による小規模ビルの消火について)

根本 昌平*, 藤枝 浩史**, 楠本 直樹*, 渡邊 茂男*

概 要

本検証は、小規模なビル火災を想定し、延焼した屋内階段が消防隊の進入口となる場合の消火方法について模型により検討した。模型実験は、相似則をフルード数とした。最初の模型実験は、相似則により発熱量を設定し、過去に行われた実大火災実験と今回製作した模型による実験の温度変化が定性的に同じになることを確認した。次の模型実験は、相似則により送風量及び放水量を設定し消火を行った。その結果、送風及び噴霧放水を併用した消防活動において、排煙口を設定後、進入可能と判断された場合は、送風及び放水を継続しながら前進することで、消防隊はより効果的に活動できる可能性が推察された。

1 はじめに

新宿歌謡伎町ビル火災(平成13年9月)では、避難経路が屋内階段であったため多数の死傷者が発生した。当該屋内階段は、地上から唯一の進入経路であったため、消防隊による救出活動は極めて困難なものとなった。¹⁾

屋内階段が延焼経路となった場合の放水は、熱気により進入を阻み、燃焼実体に直接消火することは困難であることから、噴霧放水による間接消火が有効と考えられる。

このような火災について消火方法を検討するには、実大火災実験で検討することが良いと考えるが、実大火災実験は、放水方法、対象建物、費用及び時期が備わらなければ、実施が非常に困難である。他の手段としては、数値計算によるシミュレーションや模型実験が挙げられるが、消火を考慮した場合は、数値計算によるシミュレーションでは現在のところ難しい。

一方、模型実験は、設定条件を考慮すれば定性的な結果を得ることができるものと考えられることから、小規模ビルの模型を製作し、検証を行った。

2 目的

本検証は、模型実験により、屋内階段が延焼した竪穴空間での噴霧放水と送風を併用した消火方法について検討した。

3 実験の進め方

実験は、相似則に基づき発熱量、送風量及び放水量を決定し、表1で示すとおり、過去に実施した実大火災実験の実験結果と

今回の模型実験の結果が定性的に同じになることを確認し、噴霧放水等による消火について検討を進めた。

表1 各実験に対する確認項目

区分	確認項目
実験1	模型に使用する火源の選定
実験2	実大火災実験と模型の熱気流の定性的な比較
実験3	実大火災実験と模型噴霧放水による消火効果の比較
実験4	送風及び噴霧放水の併用による消火方法の検討

4 実大火災実験の概要

平成14年7月、都営芝浦第二アパート(港区港南四丁目2番12号)²⁾において屋内階段を延焼させた実大火災実験(以下「実大実験」)を実施した。(写真1)

(1) 実験建物

実験建物は、屋外開放型の階段をALC板(軽量気泡コンクリート板)で覆い、屋内階段に改造した。また、居室は2DKタイプをワンルームタイプの区画となるよう改造し、階段室の最上部にはペントハウスの扉を想定した縦1200mm×横900mmの開閉窓を設置した。(図1~3)

(2) 実験内容

実験は、竪穴区画の延焼による居室への影響を想定し、実大規模のモデルを使って耐火建築物の屋内階段室で火災が発生した場合に火点上階への火災性状や、開口部を開閉した場合の火災性状の変化を測定した。(図3)

実験は、1階から4階までの対象となる片側の居室を使用し

た。実験対象外の居室は、階段室と不燃区画した。(図2)

(3) 模型実験と比較する実大実験

模型実験と比較する実験は、実大実験で次に該当するものとした。

ア 屋内階段にクリブ第一模型(A-2)一基³¹⁾(以下「2単位クリブ」という)を火源として、上階開口部を開閉し熱気流を確認した実験

イ 屋内階段にビールケースや段ボールなどの可燃物を配置し、上階へ延焼させ、地上から屋内階段に進入し放水した実験



ペントハウス(仮設) 屋内階段側(LH) バルコニー側(RH)

写真1 都営芝浦第二アパート実大実験

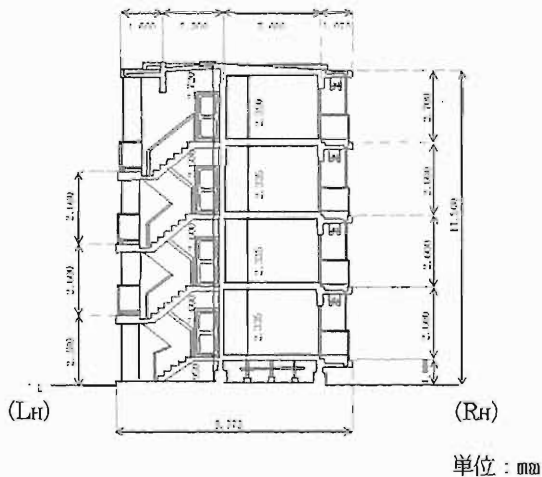


図1 実大建物断面図(抜粋²⁾)

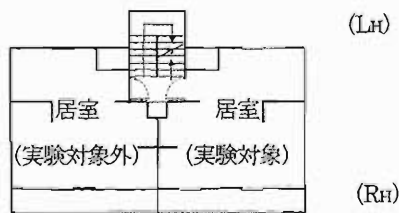


図2 実大実験の対象となる区画平面図(抜粋²⁾)

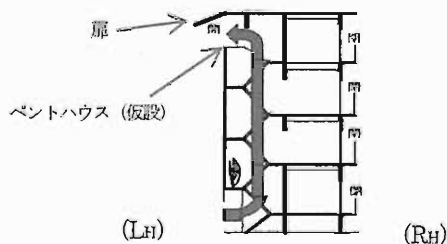


図3 開口条件による実験の一例

5 模型の概要

製作した模型は、小規模雑居ビルを想定し、屋内階段1系統、各階居室1室とした。

(1) 想定建物

建物構造 耐火5/0

各階の床面積 100m²~150m²程度

(2) 縮尺、形状等

ア. 縮尺

模型の縮尺は、想定建物の1/17とした。

イ 模型

模型(高さ1050mm×幅900mm×奥行450mm)は、不燃材(鋼製)を部材とし、前面を耐火ガラスとしたものである。

(図4~9)

ウ 開口部

窓(高さ60mm×幅120mm)、出入り口(高さ120mm×幅60mm)及び屋上開口部(縦60mm×横120mm)とした。

(3) 温度測定

測定項目は、屋内階段に設置した可燃物の燃焼による屋内階段及び居室の温度変化とした。温度の測定は、屋内階段(各階1点)と居室(各階1点)に熱電対(合計10点)を設定した。熱電対の番号は、T_{mn}で表す。mは、位置(1:居室、2:屋内階段)を表す。nは、階層を表す。記録は、測定間隔を1秒でデータ集積記録装置により記録した。(図7~9、表2)

表2 測定場所に対する熱電対の番号

測定場所	1階	2階	3階	4階	5階
居室	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅
屋内階段	T ₂₁	T ₂₂	T ₂₃	T ₂₄	T ₂₅

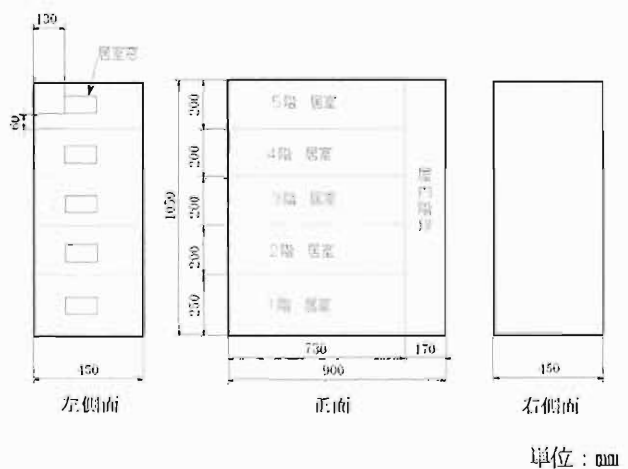


図4 模型立面図

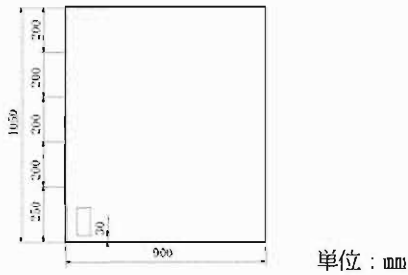


図 5 模型背面図

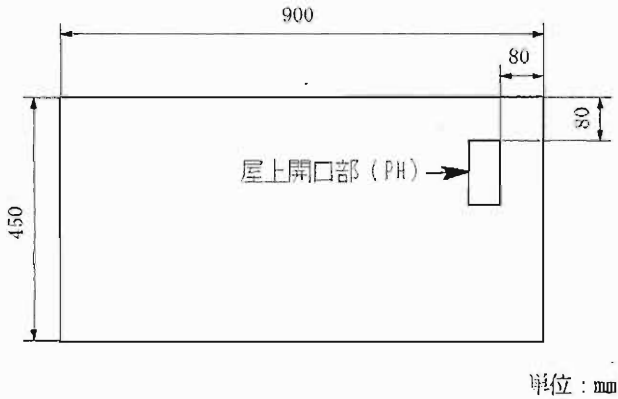


図 6 模型屋上平面図

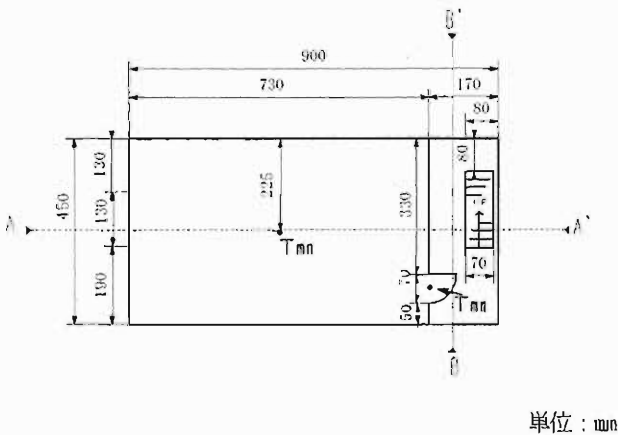


図 7 模型平面図 (各階共通 T: 熱電対)

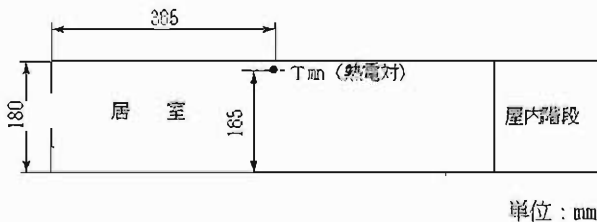


図 8 AA' 断面図 (各階共通 T: 熱電対)

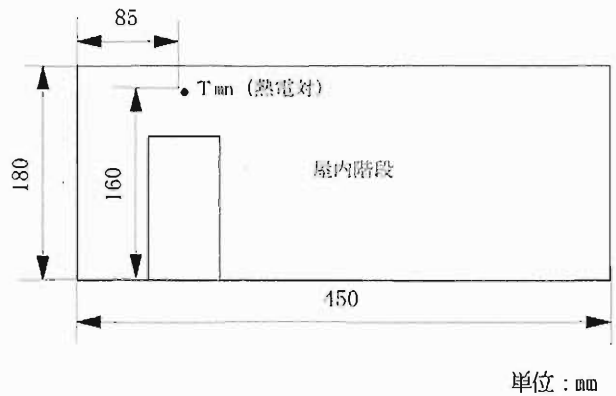


図 9 BB' 断面図 (各階共通 T: 熱電対)

(4) 測定機器

熱電対: (K) 素線径 0.32 mm

データ集積記録装置: (株)江藤電機 Model5030A-Thermodac-F

6 相似則

相似則 ϕ は、フルード数を適用し次のとおり設定した。

ア 発熱量

発熱量は、単位時間あたりの重量減少速度 Q とし、

$$Q_m / Q_n = (L_m / L_n)^{5/2}$$

L: 代表寸法 m: 模型 n: 実物

これを、本実験に使用した模型の縮尺に適用すると、

$L_m / L_n = 1/17$ となり、

$$Q_m = Q_n \times (1/17)^{5/2} \quad (1.1)$$

とした。

イ 放水量

単位時間あたりの放水量 F は、

$$F_m = F_n \times (1/17)^{5/2} \quad (1.2)$$

とした。

ウ 送風量

単位時間あたりの送風量 W は、

$$W_m = W_n \times (1/17)^{5/2} \quad (1.3)$$

とした。

7 実験 1

(1) 実験方法

模型実験で使用する火源は、実大実験の結果と比較検討することから実大実験で使用した火源 (2 単位クリブ) の重量減少速度を基準とし算定することにした。実大火災実験では 5 個の 2 単位クリブを使用した。2 単位クリブの燃焼による重量減少速度は、過去の実験⁵⁾の予備実験で測定しており、図 10 に示すとおり実験結果から近似式を求め、これを採用することとした。

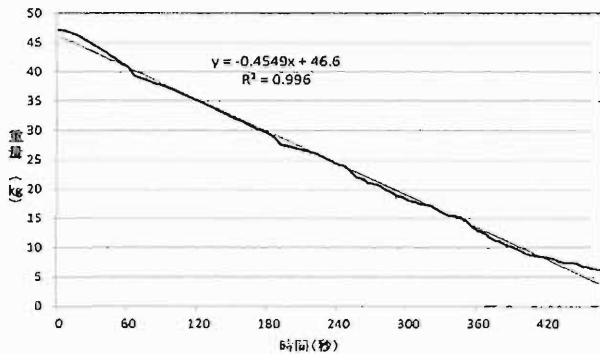
近似式により 2 単位クリブの燃焼による重量減少速度は、

454.9[g/sec](90.98[g/sec]×5個)である。これを(1.1)式にあてはめると、模型実験で使用する火源(以下「ミニクリブ」という)の重量減少速度は、

$$Q_m = 454.9 \times (1/17)^{5/2} \approx 0.3817 \text{ [g/sec]} \quad (1.4)$$

となる。

模型実験で使用する火源を決定するため、杉材(含水率6%以下)を図11に示すように組み上げた2段、4段、6段、8段のミニクリブを準備し、これらを荷重計上に設置した火皿内で燃焼させ、重量減少速度を求めた。(写真2)



注: 近似式のXは、時間を示し、Yは、重量を示す。R²は、決定係数を示す。

図10 2単位クリブの重量減少

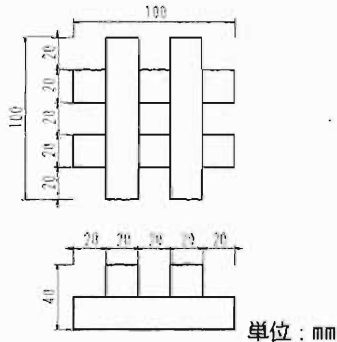


図11 2段組み上げ(上:平面 下:側面)



写真2 ミニクリブ(6段)の燃焼

(2) 測定項目及び方法

測定項目は、試験体の燃焼中の重量とした。重量の測定は、荷重計とパーソナルコンピュータを接続し、測定間隔1秒で記録した。

(3) 測定機器

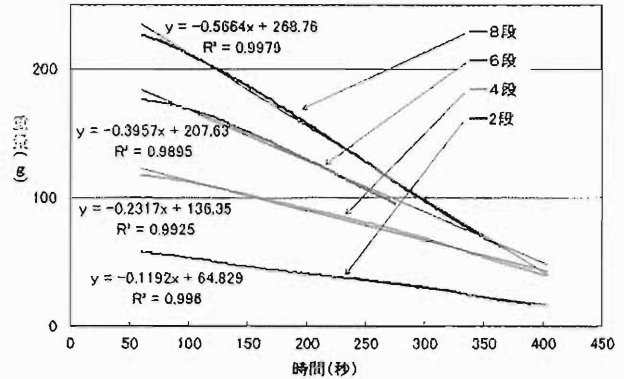
荷重計: (株)村上衡器製作所 LF-12

パーソナルコンピュータ: EPSON EndeavorNI7100Pro

木材水分計: (株)ケット科学研究所 ターク

(4) 実験結果

図12にミニクリブの燃焼による重量減少と近似式を示した。近似式から6段ミニクリブの重量減少速度0.3957[g/sec]が、(1.4)式で求めた0.3817 [g/sec]に最も近い値となった。このことから模型実験で使用する火源を6段ミニクリブとした。



注: 近似式のXは、時間を示し、Yは、重量を示す。R²は、決定係数を示す。

図12 ミニクリブの燃焼重量減少の推移

8 実験2

(1) 実験方法

実大実験では、屋内階段1.5階部分で2単位クリブに着火、その後、3階居室窓又は、ペントハウス(以下「PH」という)の開口部を開放した。模型実験では、実大実験で開口した階を考慮し、2階で6段ミニクリブを着火、その後、模型実験の4階居室窓及び屋上開口部(以下「PH」という)を開放し(図13)、次のとおり手順を変えて2通りを実施した。

ア ①手順

- 0分: 2階6段ミニクリブに着火
- 2分: 4階居室窓を開放
- 3分: 屋上PHを開放

イ ②手順

- 0分: 6段ミニクリブに着火
- 2分: 屋上PHを開放
- 3分: 4階居室窓を開放

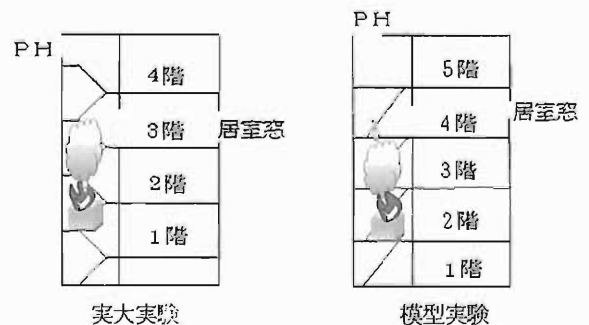


図13 実験概略図

(2) 実験結果及び考察

実大実験及び模型実験の結果を図 14 及び図 15 に示す。

ア ①手順

実大実験では、居室窓を先に開放した方が居室の温度が急激に上昇した。模型実験では、実大実験ほど急激な温度上昇は認められなかったが、やや温度上昇の変化が認められた。PH を開放した直後は、実大実験及び模型実験ともに急激な温度降下を示した。

このことから、①手順では、実大実験で計測された熱気流による温度変化を定性的に表現できたものと考えられる。

イ ②手順

実大実験は、PH を先に開放すると、居室の温度が上昇したが、模型実験では、居室の温度が降下した。次に、居室窓を開放すると、実大実験の居室は、温度が降下し①手順の温度に近づき推移した。模型実験では、緩やかに居室の温度が上昇し①手順の温度に近づき推移した。

このことから、実大実験と模型実験では、温度変化に違いがあった。今回使用した模型は、実大実験の建物を正確に縮尺したものではない。つまり、開口部は、開口部の個数について考慮をしているが、開口位置、面積が実大建物の縮尺ではない。よって、温度変化に違いが現れたと考える。しかし、実大実験と模型実験の開口操作の開始前と居室窓開放後の居室内の温度変化を見ると、開口操作開始前は、ともに同じように上昇し、居室窓開放後は、ともに①手順と同じ温度に近づいて推移した。このことから、実大実験及び模型実験の熱気流による居室の熱環境は、定性的に同様な傾向を表現したと考えられる。

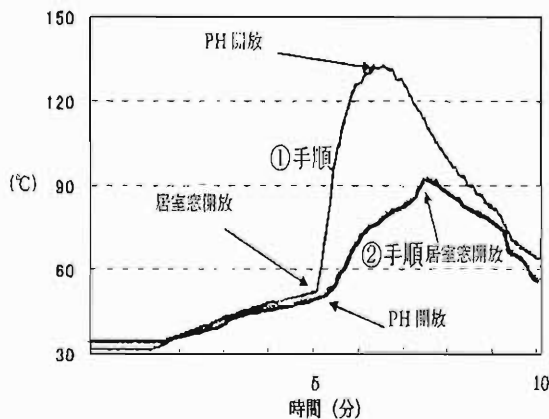


図 14 実大実験 3 階居室の温度変化 (抜粋²⁾)

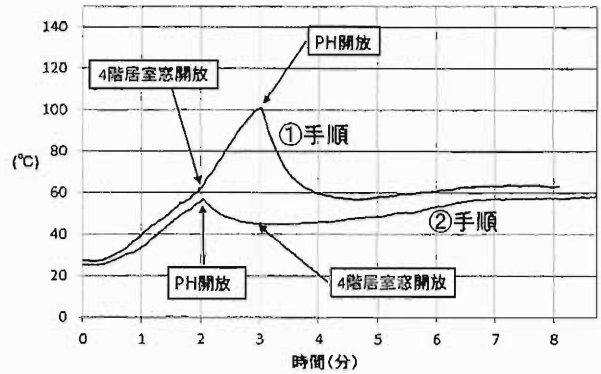


図 15 模型実験 4 階居室 (T14) の温度変化

9 実験 3

(1) 実験方法

実大実験は、ビールケースや段ボールなどを可燃物とし、図 16 に示すように 3 階居室窓を開放した状態で、2 階階段室の可燃物に着火させ 3 階階段室の可燃物に延焼したところで、 Fogガンにより噴霧放水 (展開角 30°) を実施した。模型実験は、この実大実験を踏まえて、次のとおり実施した。

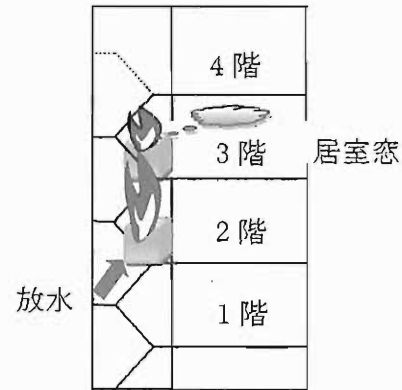


図 16 実大実験概略図

ア 放水量の設定

東京消防庁では、表 3 に示す放水器具を配置している。現在使用しているノズルは、ガンタイプノズルが主流となっている。このことから、模型実験の放水量は、ガンタイプノズルの放水量を基準にして (1. 2) 式より、次のとおり算定した。

$$F_m = 230 \times (1/17)^{5/2} \approx 0.1930 \text{ [l/min]}$$

表 3 放水器具

ノズル種別	放水量 (l/min)
Fogガン	220
ガンタイプノズル	230

イ ノズルの選定

模型実験で使用するノズルは、表 4 に示す仕様のものを選定した。模型実験の放水は、図 17 に示すように充水した压力容器に高圧空気ポンプから 0.2MPa の圧力に調整した空気を送り実施した。

表 4 ミストノズル仕様

項目	内容
スプレーパターン	円形
スプレー形状	充円錐
噴霧量	0.25l/min (0.2MPa 時)
展開角	70°

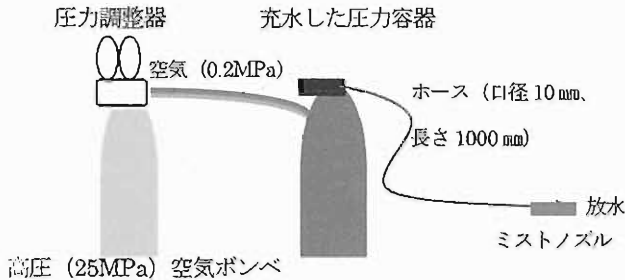


図 17 放水関係略図

ウ 実施方法

模型実験概略図は、図 18 に示す。模型実験は、2階、3階の階段室に6段ミニクリブを配置し、2階の6段ミニクリブに着火し上階へ延焼させた。放水は、3階6段ミニクリブへ延焼したところで、1階に固定したノズルにより1分間噴霧放水(仰角45°)を実施した。

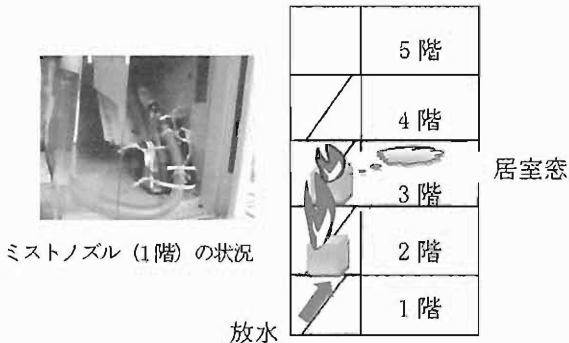


図 18 模型実験概略図

(2) 実験結果及び考察

実大実験の結果を図 19 に示す。実大実験の2階階段室天井部分の温度は、放水開始直後、急激に上昇した。その後、温度降下し放水停止まで、2階階段室天井部分の温度は、150°Cで推移した。放水停止後は、温度上昇をはじめた。3階階段室天井部分の温度は、放水の間及び放水停止後も温度上昇した。

模型実験の温度変化は、図 20 のとおりであった。実大実験と模型実験の温度の変化の違いは、実大実験が放水直後に2階階段室の温度が上昇したことに対し、模型実験では、2階階段室の温度が降下している点である。これは、実大実験が地上から放水しながら屋内階段で2階へ進入したことで、空気をより

多く2階へ送り込んだ影響で2階を延焼させたと考えられる。放水が火源に到達した以後は、模型実験及び実大実験の温度変化が同じに推移した。このことから、模型実験は、実大実験で観測された放水による温度変化を定性的に表現したと考えられる。

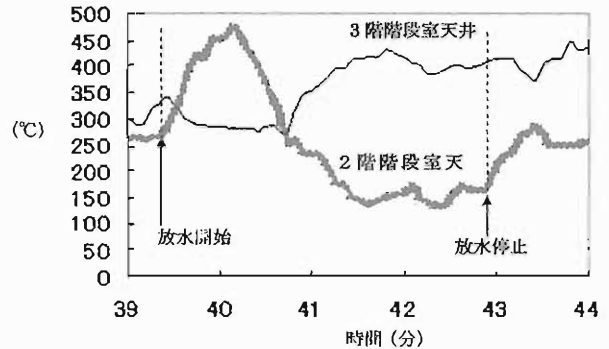


図 19 実大実験の温度変化 (抜粋)

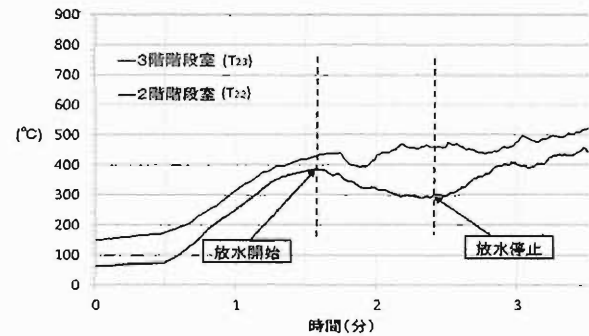


図 20 模型実験の階段室温度変化

10 実験4

実験2及び実験3を踏まえ本模型を用いて、延焼した屋内階段からの進入方策の1つとして送風と噴霧放水の併用による消火方法について検討した。

(1) 送風量の設定

送風量の設定は、PPV送風機の送風能力(表5)を基準にした。模型実験による送風量の算定は、(1.3)式から求め、次のとおり算定した。

$$F_m = 425.4 \times (1/17)^{5/2} \approx 0.357 \text{ [m}^3\text{/min]}$$

表 5 PPV送風機の諸元⁶⁾

	項目	内容
	ブレード径	460 mm
	送風量	425.4 m ³ /min

(2) 送風機の設定

模型実験で使用する送風機は、図 21 に示すような筒型の円筒管に内接するPCファンを取付けた。円筒管からのPCファ

ンによる送風は、円筒管の内径と平均風速から送風量を算定し、前(1)で算定した送風量になるようPCファンの回転数を調整した。

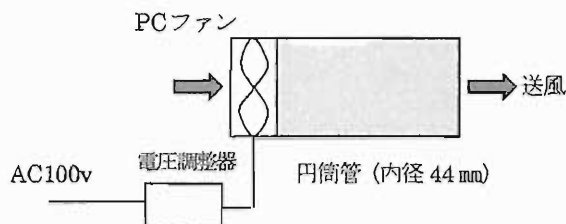


図 21 送風機設定の略図

(3) 放水量

実験 3 と同条件で実施した。

(4) 実施方法

実験は、1階と2階の階段室に6段ミニクリブを配置し、4階居室窓を開放し、ノズルと送風機を固定し、次の手順とした。

(図 22、写真 3)

- ① 1階 6段ミニクリブ着火
- ② 2階へ延焼したことを確認したのち、1階階段室へ送風及び噴霧放水を30秒間実施
- ③ 1回目の放水終了から30秒後、2回目の送風・噴霧放水を30秒間実施

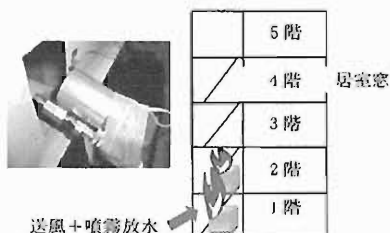


図 22 実験設定概略図



写真 3 模型実験の様子

(5) 実験結果

実験結果を図 23 に示す。1回目の送風・噴霧放水中、2階階段室の温度は、上昇を続けたが、送風・噴霧放水を停止すると温度が降下した。2回目の送風・噴霧放水中は、1回目よりも2階階段室の温度を急激に上昇させ、送風・噴霧放水停止後もしばらく 250°C前後で推移した。

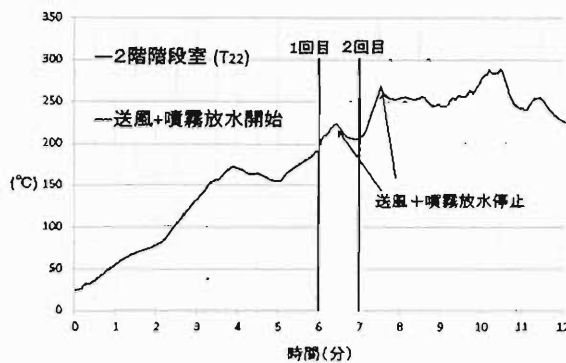


図 23 送風・噴霧放水による2階階段室の温度変化

(6) 考察

1回目の送風・噴霧放水は、1階に配置した6段ミニクリブに直接放水したため1階の延焼を抑制したと考えられる。一方2階階段室は、送風・噴霧放水により空気が供給され延焼が拡大した。2回目の送風・噴霧放水では、1回目の放水により1階階段室の延焼がすでに抑制されていることから、1回目の放水時ほどの水蒸気は発生せず2階階段室は、送風と噴霧放水に伴う空気の供給を受け1回目よりも延焼が促進したと考えられる。このことから今回の検証条件と同様な同じ位置からの放水は、上階の延焼を促進させる可能性があることがわかった。送風と噴霧放水を併用した消防活動では、排気側の警戒は勿論、送風・放水を継続しつつ、安全を確保しながら、前進することが有効であると考えられる。

11 おわりに

今回、模型実験により熱気流を定性的に確認できたが、必ずしも有効な消火方法について十分に検討したとは、考えてはいない。今後、機会をみてさらに実験を積み重ねてゆきたい。

参考文献

- 1) 「小規模雑居ビルの火災安全対策に関わる報告書」平成13年11月小規模雑居ビルの火災安全対策検討委員会 東京消防庁
- 2) 「整大区画の煙流動等に関する調査研究(都営芝浦第二アパート実大火災実験)」森尻ら 平成15年消防科学研究所報40号 東京消防庁消防科学研究所
- 3) 「消火器の技術上の規格を定める省令」(昭和25年3月27日総務省令第26号)
- 4) 「模型実験の理論と応用」江守一郎、斎藤孝三、関本孝三 2009年1月30日第三版 技報堂出版
- 5) 「火災室開口部への放水による水幕形成又は強制給気を行った時の火災性状変化の検証」飯田ら 平成19年消防技術安全所報44号 東京消防庁消防技術安全所
- 6) 「新・消防機器便覧第2巻」平成17年3月1日初版 東京消防機器研究会 東京法令出版