水幕を利用した防火設備の放射遮蔽特性に関する火災実験

FIRE TEST OF THE PERFORMANCE OF FIRE PROTECTION EQUIPMENT USING A WATER CURTAIN FOR REDUCING RADIATED HEAT

広田正之 —*1 水落秀木 —*2
池田憲一 —*3 吉葉裕毅雄 —*4
山名俊男 —*5 大宮喜文 —*6
遊佐秀逸 —*7

Masayuki HIROTA —*1 Hideki MIZUOCHI —*2
Kenichi IKEDA —*3 Yukio YOSHIBA —*4
Toshio YAMANA —*5 Yoshifumi OHMIYA —*6
Shuitsu YUSA —*7

キーワード:

ドレンチャー, 水幕, 防火設備, 放射受熱強度, 低減率, 火災実験

Keywords:

Drencher, Water curtain, Fire protection equipment, Radiated heat, Decreasing coefficient, Fire experiment

The objective of this study is to identify the rate of reduction in radiated heat by fire protection equipment using a water curtain such as drencher system. A fire test was conducted while assuming the fully developed fire. Test equipment consisting of a heating furnace and a drencher was used. Data were obtained on the relationship between the intensity of radiated heat and the temperature in the furnace while the drencher was active. The test results were used to identify the rates of reduction in radiated heat for respective water curtains created by different water shooting system, the relationship between the quantity of discharged water and the radiated heat reduction rate, and the methods for applying the radiated heat reduction rates in building fire safety design

1. はじめに

2000年6月に建築基準法の防火規定の大改正が行われ、性能化が大きく前進した。所定の機能を満たすことで、防火設備として新たな対策を導入できる機会が明示された。従来の面積区画を代替できる防火設備の具体化が性能的、社会的に期待されることとなった。

区画は重要な防災対策である。その設置は防災計画の基本である。しかし、面積区画は、区画壁、防火扉や防火シャッターで一般に構成される。このため、日常時に施設の開放性の確保、設計施工上の納まり、閉鎖障害の発生、火災時の区画裏面温度等が課題であった。

一方、水幕を利用して面積区画を形成するための方式には、次の点が期待されている。すなわち、日常時ばかりでなく非常時も水幕を介して火災側の状況が把握しやすくなること、スプリンクラーと同様な機構で作動信頼性が高くなること、天井内の設置スペースが極めて小さくなること、延焼拡大防止性を有すること等である。

以上のことから、筆者らは、水幕を利用した防火設備の延焼拡大防止性を明らかにするために、加熱炉を用いた火災実験を実施した。本報は、比較的高温の火災状況における放射受熱強度について、実験結果と共に、防火設備による低減効果を実験結果を基に報告する。

2. 既往の研究と研究目的

東京消防庁¹⁾は、ドレンチャー設備による水幕の遮熱の程度を確認するために空間を二つに分け、一方でエタノールを2m²燃焼させ、散水実験を行っている。天井面下の最高温度は約300℃である。

吉川ら²⁾、林ら³⁾はウォーターミストの放射熱遮断効果を捉えるため、水幕で空間を分割し、n-ヘプタン燃焼の実験を実施している。

火源近傍の天井面下の最高温度は共に300℃前後である。また、林ら³⁾は平均粒子径に着目し、この温度状況のもとで、光透過式の拡張式を適用し、熱放射遮断との関係を示している。

大きな火災外力による実験は殆どない。このため、火災盛期迄を想定し、水幕による防火設備の実験が課題である。筆者らは、火災外力を大きくするために高温の加熱炉を火災空間としている。

以上のことから、本研究は、ドレンチャー設備による水幕を利用した防火設備について、今後の更なる展開に資することを目的に加熱炉を用いた比較的高温の火災実験によって以下の点を明らかにする。

- ・水幕形成による放射受熱強度の特性と低減率
- ・放射受熱強度の低減率に関わる主な要因

図1 実験装置の概要

*1 清水建設技術研究所 主任研究員
(〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

*2 清水建設設計本部

*3 清水建設設計本部 グループ長

*4 能美防災㈱ 係長

*5 国土交通省政策技術総合研究所 主任研究官

*6 独立行政法人建築研究所 主任研究員・博士(工学)

*7 独立行政法人建築研究所 防火グループ長・工博

*1 Senior Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation

*2 Design Division, Shimizu Corporation

*3 Chief Engineer, Design Division, Shimizu Corporation

*4 Senior Research Engineer, Nohmi Bosai Ltd.

*5 Senior Research Engineer, National Institute for Land and Infrastructure Management

*6 Senior Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Eng.

*7 Chief Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Eng.

数、放水するヘッド間の間隔が変わる。実験は、広角型のドレンチャーヘッドを中心に行う。狭角型、噴霧型も組み込んでいる。

(2) 加熱方法及び放水方法

実験では、先ずヘッドのタイプ、放水するヘッドの位置を決める。次に放水を行う。その後、加熱を開始する。この手順で実施した。

開口部 B の場合、開口部のほぼ中心となる加熱炉の第 3 ゾーンを概ね 300 度に保つように加熱した (定温加熱という)。このゾーンの温度を中心に制御盤のモニターで監視し、加熱炉を手動制御した。

開口部 A は、ISO834 の標準温度加熱曲線に準じ、加熱を行った。

(3) 計測項目と計測方法

主な計測項目は、加熱炉内の温度 (25 点)、放射受熱強度 (1 点) である。計測位置を図 1、2 に示す。また、放水量としてドレンチャー設備の配管内の流量 (1 点) を根元で計測している。併せて、前列、後列の配管根元で流量確認のために放水圧を計測している。

加熱炉内の温度計測には熱電対を用いている。放射受熱強度の計測には放射計、放水配管内の流量の計測には流量計を使用している。

実験ケース 1~9 では、放水または加熱の調整が終了後に、5 分間の計測を行っている。実験ケース 1~10 の計測間隔は 5 秒である。

4. 実験結果および考察

4.1 炉内温度 (図 5)

開口部 A を用いた標準加熱・放水有りの実験ケース 10 (図 5j) で、第 2~第 5 ゾーンはゾーン内の温度がほぼ一様となっている。ゾーン間で多少の温度差はあるが、第 2 ゾーン以上で 800~900℃に達する。第 1 ゾーンでも両サイドの温度は 800℃程度になる。しかし、開口部下方に面する部分は温度が低い。開口部の下方から炉

内への流れで、放水に伴う水分や空気が持ち込まれるためである。

一方、開口部 B を用いた定温加熱・放水有りの実験として、ケース 5 (図 5e) をみると、放水無しのケース 9 (図 5i) と同様に、第 5 ゾーンで 600~700℃程度になり、上部のゾーンから下部のゾーンにかけては温度が低下していることがわかる。ゾーン間の温度差は極めて大きい。また、ケース 9 よりも多少、同一ゾーン内で温度差も生じている。これらは、開口部 B の面積が大きく、開口部 A 以上に、水分、空気が流入しやすく、その影響を強く受けるためと考えられる。ケース 1~4、6~8 についてみると、ケース 1 で比較的温度が低くなっている。しかし、概ねケース 5 と同様な傾向にある。

更に同じケース内でも、100 (1/分) を越えるような放水量が多い場合と少ない場合を比較すると、放水量が多い場合、上部ゾーンの温度は低下するが、下部ゾーンの温度は上昇していることがわかる。これは、放水により熱気が下方に押し下げられたためと考えられる。

このように炉内温度は、開口部が大きいと、一様にならない。放水によっても影響を受ける。しかし、放水無しと、著しい相違はない。

4.2 放射受熱強度 (図 7、図 8)

実験ケース 1~9 について示す。図中の太い実線が実験値である。

放水が無いと (図 7)、放射受熱強度は 6.0~7.0kW/m² 程度となる。

これに対して、放水が有る場合 (図 8) に、放射受熱強度が 6.0kW/m² を越えるケースはない。放水によって、放射受熱強度が低減されていることがわかる。また、開放されるドレンチャーヘッドが同じである、つまり同一方式のケース毎に比較すると、放水量が増加するほど、放射受熱強度が小さくなるのがわかる (図 8)。

ドレンチャー設備による水幕を利用した本方式の防火設備には放射を遮蔽し、放射受熱強度を低減する効果があることが確認された。

図 5 炉内温度の実験値

その傾向が強い。炉の放射強度への放水による影響が炉内温度に基づく、このような計算で、ある程度捉えられているものと考えられる。

放射受熱強度の水幕による低減率は、計算値から実験値を差し引いたものとなる。低減率は更に計算値で除して得られる。図9には、低減率を計算し、低減率の平均値と放水量との関係を整理している。

図9より、広角型ヘッドのみを用いている場合、放水量が増加すると、低減率はほぼ線形的に増加していることがわかる。放水量が低減率に及ぼす影響は大きい。一方、狭角型と噴霧型ヘッドを組み合わせている場合、放水量が増しても低減率が増加しない状況がある。

これより、ヘッドの配置やタイプは限定されるが、放射受熱強度の水幕による低減率を放水量との関係で捉えることが可能となった。

5.3 放射強度の増大に対する低減率の変動特性

放射強度の増大に対する低減率の傾向を捉えておくことは、火災性予測に低減率を考慮し、性能的防火設計に適用する上で役に立つ。そこで、定温加熱に対し、開口部Aを用いた標準加熱に近いケース10の実験結果をもとに、低減率の変動特性を把握する。

放射受熱強度について、式(1)による計算値(水幕が無い場合)を横軸に、実験値(水幕が有る場合)を縦軸に取り、図11に示す。計算値が増大するほど、放射強度が大きく、炉内温度が高いことになる。図から、計算値/実験値の比率が一定か否かを明らかにする。

計算値は、開口部Bの場合と同様に次の手順で求めている。加熱炉の開口端から1mのところ放射面を設定する(図10)。時間経過毎の加熱炉内の温度(図5j参照)をもとに設定放射面からの受熱強度を計算する。なお、比率が一定か否かの検討のため、計算値の大きさ自体にあまり重要性はない。しかし、放射受熱強度の目安を捉えるために先述の補正係数2.0を乗じ、横軸の受熱強度としている。

図11中の○印は、計算値に対応した実験値をプロットしたものである。計算値が増大すると、実験値も増していることがわかる。また、図中の実線は、プロットした実験値の回帰直線である。概観すると、回帰直線から多少離れる点もあるが、直線上に概ね集中している。しかし、計算値が 13.5 kW/m^2 を越えるあたりから、実験値が回帰直線の値より離れる傾向にある。開口近傍の水幕が噴出熱気流等によって形成されにくくなったものと、考えられる。炉内温度が上昇すると、この傾向は進むと推測される。この点を考慮し、計算値が 13.5 kW/m^2 迄の範囲内で、低減率は一定であるとする。

計算値の 13.5 kW/m^2 となる時間は実験で2750秒である。この時点の炉内温度の実験値(図5j)をもとに設定放射面の炉内温度(図10)の平均値を求めると、 745°C である。また、放射面の温度を一律とし、放射受熱強度($13.5/2$)をもとに算定すると、 784°C となる。

したがって、隣接する火災空間が 750°C 前後の比較的高温の状態まで、ほぼ一定の大きさに低減率は維持されるものと考えられる。

6. おわりに

本報では、加熱炉を用いた高温状況での水幕を利用した防火設備の実験結果について放射受熱強度を中心に報告した。実験結果から、

- ・放水時の放射受熱強度の大きさと、水幕形成による放射受熱強度の低減率を、各放水方式において定量的に把握することができた。
- ・全体の放水量が低減率に大きく影響することが明らかとなった。
- ・放射強度が増しても低減率は、比較的高温になるまで大きく変動しないことが明らかとなった。

注・実線：回帰直線、例えば広角型3：広角型の開放ヘッド数が3箇所

図9 放射受熱強度の低減率(開口部B・定温加熱・放水有り)

図10 設定放射面(開口部A)

図11 炉内温度上昇と低減率

最後に、実験実施にあたり、御協力頂いた関係各位に深謝致します。

凡例

q : 放射受熱強度 (kW/m^2), ϵ : 輻射率 (=0.9)

σ : Stefan-Boltzmann 定数 ($\text{kW/m}^2\text{K}^4$)

$F_{01}-F_{02}$: 受熱面 A0 の面 A1-A20 に対する形係数

$T_{01}-T_{02}$: 面 A1-A20 の温度 (K)

参考文献

- 1) 東京消防庁：大規模建築物及び特異建築物等の消防対策に関する調査研究報告書(ドレンチャー及び高天井用消火設備のガイドライン), 1992.3
- 2) 吉川昭光, 清水 敦, 佐藤博臣, 栗岡 均, 森田昌宏: ウォーターミストを利用した放射熱遮断に関する研究, 建築学会大会学術講演梗概集, 2000.9
- 3) 林 龍也, 辻 利秀, 栗岡 均, 佐藤博臣: 実大規模火災実験におけるウォータースクリーンの熱性状, 日本火災学会研究発表会概要集, 2001.5

[2002年10月18日原稿受理 2003年2月25日採用決定]