

トンネル模型空間における散水設備作動時の発熱速度特性

鹿島建設 技術研究所 ○栗岡 均 佐藤 博臣
 鹿島建設 土木技術本部 天野 玲子 橋本 和記 出石 陽一

1. はじめに

トンネル空間という半閉鎖空間は、周囲からの巻き込み空気が制限され自由空間とは異なる火災性状を示すものと考えられる。

本報告では、火災性状の最も基本的な要素である発熱速度について、トンネル空間内にウォータスクリーン(WS)や水噴霧設備等の散水設備を設置・作動させた火災実験を行って検討し、WSの区画化技術としての特性についても検討した。つまり、約1/2縮尺のトンネル模型を作成し、n-ヘプタンを燃焼させながら、WSや水噴霧設備を作動させた場合の、発熱速度算定法やトンネル内の発熱速度の特性について報告する。

2. 実験方法

直径1mの火皿をトンネル模型床面中央に設置した。燃料としては、n-ヘプタン 22.3L とトルエン 1.8L を用いた。実験ケースとしては、換気設備を非作動としたケース 1~4 と換気設備を作動させたケース 5~8 である。各ケースの内容は、ケース 1、5 (散水設備無し)、ケース 2、6 (WS 作動)、ケース 3、7 (水噴霧設備作動)、ケース 4、8 (WS と水噴霧設備作動) である。ここで、トンネル模型延長が短いことから、水噴霧設備についてはヘッドを 1 個だけにし直接火源に散水させ、WS は模型両開口部に設置した。水量としては水噴霧設備では 140L/min、WS は片側 11 個のヘッドより合計 110L/min とした。実験装置及び実験の詳細は文献 1 を参照されたい。

3. 発熱速度算定法

3.1 重量からの換算法

最初の発熱速度算定法としては、ロードセルを火皿の下に設置し、燃料の重量測定値 (G : (kg/s)) と理論的単位発熱量 ($q=44.56\text{kJ/kg}$) から発熱速度 (Q : (kW)) を求めた。

散水設備が作動した場合、火皿に放水時の水滴が

入り、重量が増加する。そこで、散水設備作動時の増加量 (w : (kg/s)) が一定であり、かつ、燃焼中蒸発しないものと仮定して、測定値から散水設備による増加分を差し引き、発熱速度を求めた。

$$Q=q(\Delta G/\Delta t-w) \quad (1)$$

3.2 放射計及び熱流計からの換算法

本実験ケース群の中で散水設備が作動していないケース 1 は上記区画化の効果が無く、火源面積と開口面積とを考えると燃料支配型の燃焼実験が行われたものと推定される。また、熱放射量は火源から発達した火災プルームの代表温度の 4 乗に比例しかつ火炎と測定位置の距離の 2 乗に反比例する。火災プルームの代表温度は、例えば McCaffrey が報告しているように発熱速度の 2/5 乗の関数で記述できる。そこで、二番目の算定法として、ケース 1 の重量からの換算法で得られた発熱速度と放射受熱量の関係を予め求めておき、水噴霧設備作動時の発熱速度を求めた。ここで、放射計は模型両開口部 4m 前に設置した。

4. 結果

4.1 重量換算発熱速度

図 1 に換気非作動時の重量の時間変化を示す。水噴霧設備が作動したケース 3、4 は重量が時間とともに増大していた。図 2 の発熱速度の時間変化及び表 1 では、散水設備が作動していないケース 1 は約 60 秒で 1,000kW になり、点火後 5~6 分で最大値 2,319kW を示した。ケース 2 では WS 作動後に発熱速度は低下して安定した状態となった。ケース 3 では、発熱速度は周期的な動きとなっており、ケース 4 では WS 作動後に発熱速度が低減して小幅な周期を示した動きとなっていた。

WS を作動させた場合、散水により発熱速度が換気無しで 17%(換気ありで 10%)の減少を示していた。一方、水噴霧設備を作動させた場合、散水により発

キーワード 地下空間 火災防災システム 区画 散水設備

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 技術研究所 TEL 0424-89-7397

熱速度が換気無しで3%(換気ありで19%)の減少を示していた。WSと水噴霧設備両方を作動させた場合は29%(36%)まで減少していた。

つまり、換気設備の作動の有無に関わらず、WS作動の場合は燃焼時間が長くなるとともに発熱速度は小さくなった。一方、水噴霧設備の場合も同様の効果が見られたものの、その効果は換気設備が非作動の場合にはほとんど見られなかった。

この理由として、WSの場合は区画化効果により外部からの流入空気を抑制することで発熱速度が抑制されたのに対し、水噴霧設備の場合には換気設備を作動させることで火災プルームに水滴が流入し気化による冷却効果が見られたものと推察される。

4.2 放射受熱量から換算した発熱速度

放射計の計測値から求めた発熱速度を重量換算法から求めた発熱速度とともに、水噴霧設備作動時のケース3について図3に示す。重量換算法から求めた発熱速度と放射計からの換算値はともに、1,000~1,500kWを示しほぼ同様の変動を示した。

5. まとめ

以上の検討結果をまとめると以下ようになる。

水噴霧設備作動時の発熱速度を二種類の方法で求めたが、ほぼ同一の結果が求められた。

重量換算法による発熱速度の結果によれば、WSは外部からの流入空気を抑制することで発熱速度を抑制することが分かった。これは、自然換気時のトンネル空間内での火災では、火源から発生した高温煙の流れは、トンネル断面上部で出口に向かい、トンネル下部では逆の流れが生じており、その質量束は上部の流れと一致する。ウォータースクリーン（水幕装置）を一定間隔でトンネル断面方向に設置して火災時に作動させた場合、この高温煙層の冷却化により流れの先端では下部層との密度差が小さくなって上層の流れが停止して下層の流れへ転じたり、熱放射の低減などの区画化の効果が生じる。これにより発熱速度に対しても外部からの新鮮空気が少なくなり抑制効果が働くものと推定される。

参考文献

- 1)出石他、「火災区画化技術としてのウォータースクリーンの特性」、第58回土木学会年次学術講演会
- 2)橋本他、「地下空間における新しい火災防災システム」、第58回土木学会年次学術講演会

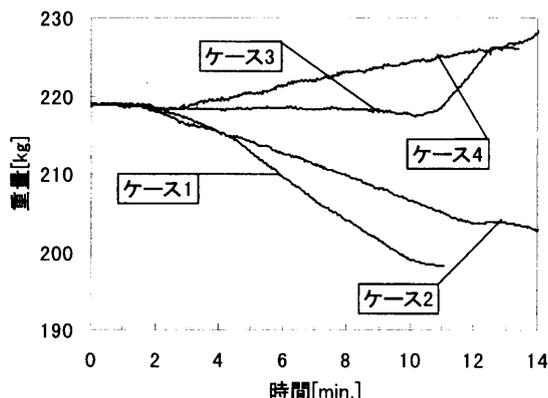


図1 ロードセル測定値の時間変化（ケース1~4）

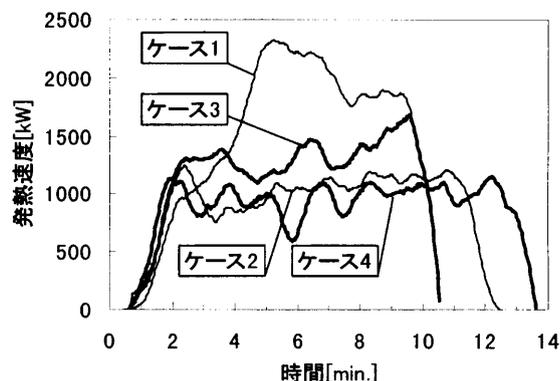


図2 発熱速度の時間変化（ケース1~4）

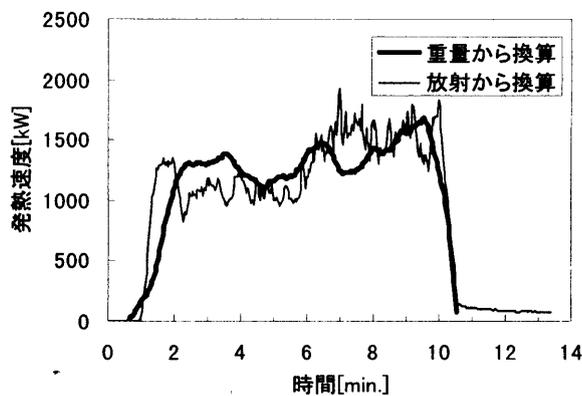


図3 補正後の発熱速度（ケース3）

表1 燃焼時間と発熱速度の一覧表

| 実験ケース | 燃焼時間 | 平均発熱速度*1 | 発熱速度抑制効果*2 | 最大発熱速度 |
|-------|--------|----------|------------|--------|
| 1 | 550sec | 1313kW | - | 2319kW |
| 2 | 666sec | 1085kW | 17% | 1192kW |
| 3 | 567sec | 1274kW | 3% | 1473kW |
| 4 | 773sec | 935kW | 29% | 1100kW |
| 5 | 534sec | 1353kW | - | 1906kW |
| 6 | 594sec | 1216kW | 10% | 1332kW |
| 7 | 661sec | 1093kW | 19% | 1304kW |
| 8 | 725sec | 996kW | 36% | 1385kW |