

地下駐車場を対象とした多機能排気システムの開発

村岡 宏 土井 暁
宮川 保之

Development of New Smoke Exhaust System for an Underground Parking Lot

Ko Muraoka Satoru Doi
Yasuyuki Miyagawa

Abstract

This paper describes full-scale experimental studies on cooling down the heated air flow in an exhaust duct in case of fire and eliminating harmful matter from exhaust. These studies aim at developing a new smoke exhaust system for an underground parking lot. Experiments were conducted using an exhaust duct (length 6 m) and a cooling unit consisting of 3 sheets of steel mesh and water drenchers. The results of the experiments show that the temperature of heated air flow after passing the cooling unit was about 230°C, while the temperature before passing the cooling unit was about 640°C. The loss of air flow because of drenched meshes was less than 10%, so the exhausting capacity in case of fire is not reduced very much. The dust density after passing the drenched meshes was 1/4 of the density before passing the meshes.

概 要

排気排煙ダクト内に3枚の鋼製メッシュを設置し、このメッシュに散水することで、必要な時に散水冷却・散水ガス吸着を行える排気・排煙兼用システムの開発を目的とした実験を行った。地下駐車場を対象としたこのシステムでは、火災時には排気温度を低下させることで排煙ファンの高温による停止を防ぎ、また、日常時には有害ガス濃度が高くなった時点で適宜、システムを稼働させ、周辺環境を損なわずに排気を行うことを目標としている。実験の結果、このシステムによりダクト内熱気流温度を640°Cから230°C付近まで下げられることが判明した。この時の散水による排煙風量の低下は10%以下であり、排煙能力を維持したまま火災煙の冷却を行うことが可能である。また、散水により排ガス中の粉じん濃度は1/4程度に低下し、粉じんの除去に関してはかなりの効果が期待できることが判明した。

1. はじめに

近年、特に首都圏においては、車両の保有台数の増加に伴い、従来の地下3階までの自走式地下駐車場に加えて、地下4階以下の中深度地下駐車場も増加の傾向にあり、これらの施設に対する防火安全対策の検討も盛んに行われている¹⁾。地下駐車場は閉鎖性の高い空間であり、しかも可燃物として多くの車両を有している。このため、一度火災が発生すると多量の煙や有毒ガスが発生し、地上施設に比べて危険性が大きいことが指摘されている。また、消防活動上も噴出する濃煙熱気のため、火点の確認、火災の状況確認、要救助者の状況確認等、多くの困難を伴う。このため初期消火設備の充実に加えて、盛期火災時における排煙設備が高温でも停止することなく長時間運転されることが重要となる。また、日常時においても地上の排気口から排出される自動車の排気ガス中の有害成分(粉じん、NO_x、SO_x、CO、CO₂)が周辺環境に及ぼす影響が社会問題となっている。

このような背景から、本報告では必要な時に散水冷

却・散水ガス吸着を行える排気・排煙兼用システムの開発を目的とした実験を行った。このシステムでは、火災時においては排煙温度を低下させることにより排煙ファンの高温による停止を防止し、盛期火災の段階でも長時間の排煙を可能とする。また、日常時においても有害成分濃度が高くなった時に適宜、システムを稼働することで、周辺環境を損なわずに排気が行えることを目的としている。

2. 火災煙の冷却実験

2.1 実験装置

図-1に本実験に使用した実験装置の概略を示す。ダクト内には3枚の鋼製メッシュが内蔵され、それぞれのメッシュ直上には散水用ドレンチャーが設置されている。このドレンチャーによりメッシュに散水されている状況を写真-1に示す。散水される水は貯水タンクよりポンプで送水される。この水は火災煙の冷却実験では使い捨てとした。また、一般にファンの容量としては排煙量に関する法規(排煙の1区画最大面積500 m²と規定排煙風

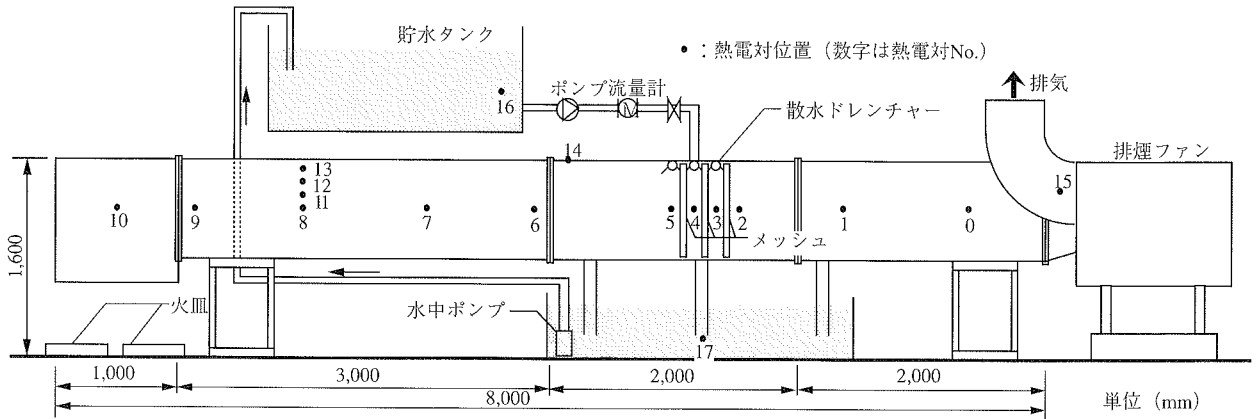


図-1 実験装置概略

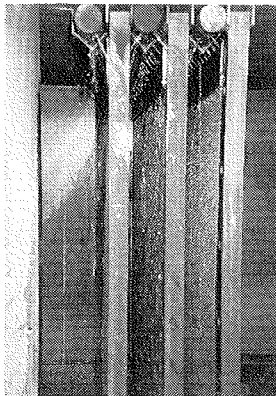


写真-1 メッシュ散水状況

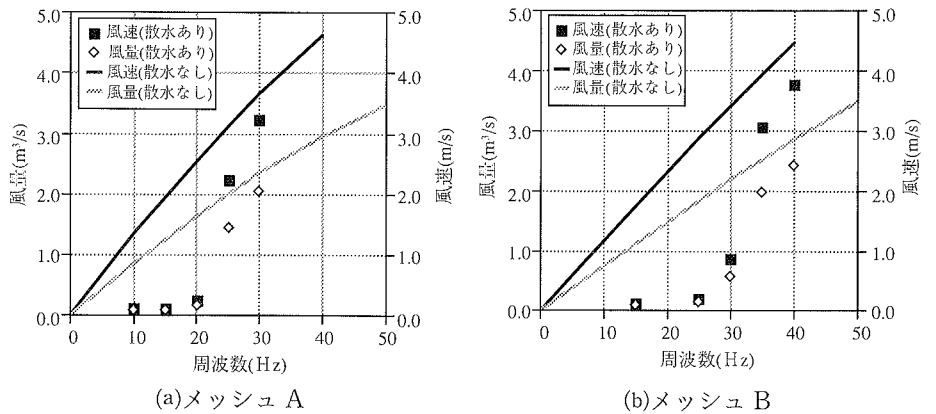


図-2 排煙風量及び断面風速の特性

量 $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ から最大でも $60,000 \text{ m}^3/\text{h}$ と日常の必要排気量の相互から決まるものであり、普通は日常排気量の方が大きい。しかし、ファンの大きさとしてあまり巨大なものを選定することは、騒音、設置スペースの点からも得策でないため、ファン1台の容量は $60,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 程度になることが多い。この時のダクトの大きさは幅 $1.6 \sim 2 \text{ m}$ 、高さ $1 \sim 0.8 \text{ m}$ である。従って、今回実験で用いた 0.8 m 角のダクトは実際の地下駐車場で使われるダクトを垂直に2分割した大きさと考えられることができる。

2.2 実験方法

火災時における熱気流を想定し、ダクトの吸い込み口直下の地面に鋼製燃焼パン (500 mm 角) 4 枚を設置し、それぞれ 2 l 、合計 8 l のエタノールを燃焼させた。燃焼継続時間は約5分間であり、予想される発熱速度は約 560 kW である。燃料の使用量については実際の火災時の煙温度に対応するダクト内の気流温度や、ダクト、排煙ファン及び熱電対の耐久性を考慮して決定された。

ダクト内を通過する熱気流の温度及び冷却水の温度を測定するため素線径 0.2 mm 、シース外径 1 mm の K 型熱電対を計17箇所取り付け付けた (図-1 参照)。各点の温度は5秒間隔で記録された。散水量は配管途中に玉型弁を設置し、 $82 \text{ l}/\text{min}$ 、 $76 \text{ l}/\text{min}$ 、 $48 \text{ l}/\text{min}$ の三段階に変化させた。また、ダクト内に装着される鋼製メッシュはメッシュ間隔 4.25 mm と 2.75 mm の2種類を用意した。

2.3 予備実験

燃焼実験を行う前に排煙ファン風量制御の周波数と排気風量、ダクト内断面風速の関係、また、散水によって抵抗が存在した場合の同様の関係を把握する必要があるため、予備実験としてファンの周波数、散水量を変化させダクト内部の平均風速を熱線風速計により測定した。

2.4 実験条件

燃焼実験はファンの周波数 (ファン風量)、散水量、メッシュの目の細かさについて条件を変化させ、15ケース行った (表-1 参照)。なお、メッシュ A (メッシュ間隔 4.25 mm)、周波数 30 Hz 、水量 $1 (82 \text{ l}/\text{min})$ のケースのみエタノール量合計 16 l での燃焼実験も行った。この時の燃焼継続時間は約8分間であった。

2.5 排気風量の周波数特性及び散水による風量損失

図-2 に散水時及び非散水時の排気風量及びダクト内平均断面風速の周波数特性グラフを示す。散水時には、排気風量及び風速はある周波数を越えてから急激に増加している。これは、散水した場合はメッシュ上に水膜が形成されるため、断面風速が小さい場合には大きな抵抗となるが、ある一定の風速を超えると水膜が破壊し、その結果、抵抗が減少するためと考えられる。メッシュ A の場合、周波数 22 Hz (散水なしの風速 $2.7 \text{ m}/\text{s}$) 付近で抵抗が減少し、周波数 30 Hz (散水なしの風速 $3.7 \text{ m}/\text{s}$) における散水による風量低下は 10% 程度である。一方、

メッシュ B の場合、周波数 32 Hz (散水なしの風速 3.5 m/s) 付近で抵抗が減少し、周波数 40 Hz (散水なし風速 4.5 m/s) における散水による風量低下は19%程度となる。

2.6 散水による熱気流の冷却効果

図-3 に散水量 82 ℓ/min, ファン周波数 30 Hz の場合のダクト内気流の温度変化及び冷却水の温度変化を示す。ダクト内部の気流温度はダクト外表面から外気への放熱によりダクトを流れる過程で低下している。散水開始後もメッシュ通過前のダクト内気流温度は上昇し、点火約 5 分後に定常状態に達する。散水による冷却効果は顕著に現れており、メッシュ通過前温度が640°C付近に達しても散水メッシュ通過後の温度は230°C程度であることがわかる。この時の吸い込み口直上の最高温度は 1,031°Cであり、実際の区画火災における最高温度に匹敵する温度である。従って、実際の火災時でもこのシステムを稼動すれば、ダクト内気流温度を FD の作動温度である280°C以下に保つことが可能である。なお、排気冷却後の冷却水の温度はダクト内気流から熱を受け取ることにより、50°C付近まで上昇する。現時点では火災時に散水する冷却水は使い捨てを考えているため、この冷却水の温度上昇については特に考慮していない。

表-2 に各ケースにおけるメッシュ通過前、通過後のダクト内気流温度を、図-4 に同じ条件で風量のみ変化させた場合のメッシュ通過後の温度変化を示す。ダクト内を通過する気流温度はファンの周波数 (風量) が大きくなる程低くなる傾向がある。これは風量の増加に伴い、熱気流以外の周辺空気の巻き込み量が増大したためと考えられる。

散水量の違いによる冷却効果に着目すると (図-5 参照)、散水量の増加に伴い温度降下量は増大している。また、メッシュの目の粗さによる違いでは目の細かい B メッシュの方が冷却効果が大きい (図-6参照)。散水メッシュ通過時の風量低下率と冷却効果とは相反する関係にあり、これらを左右する条件としてはメッシュ通過風速、散水量、メッシュの目の細かさ等があげられる。今後、実際にシステムを設計する際にはこれらの最適な関係をさらに検討する必要がある。

表-1 実験条件

メッシュ	ファン周波数 (Hz)	水量 1 (82 ℓ/min)	水量 2 (76 ℓ/min)	水量 3 (48 ℓ/min)	散水なし
A 粗目 メッシュ間隔 4.25 mm	25	○	—	—	—
	30	○*	○	○	○
	40	○	○	○	—
B 細目 メッシュ間隔 2.75 mm	30	○	—	—	—
	40	○	○	○	○
	45	○	—	—	—
なし	30	○	—	—	—

*エタノール燃焼量 8 ℓ と 16 ℓ の 2 ケースについて実施

表-2 燃焼実験結果

メッシュ	ファン周波数 (Hz)	水量 (ℓ/min)	メッシュ通過前 (熱電対 No.6) の最高温度 (°C)	メッシュ通過後 (熱電対 No.15) の最高温度 (°C)	メッシュ前後の温度差 (°C)
A 粗目 メッシュ間隔 4.25mm	25	82	630	192	428
		82	461	191	270
		82*	676	231	446
	30	76	492	207	285
		48	525	264	261
		0	476	362	114
	40	82	377	174	203
		76	332	168	164
		48	356	197	159
B 細目 メッシュ間隔 2.75mm	30	82	510	194	316
		82	445	165	280
	40	76	461	169	292
		48	498	199	299
	0	372	291	71	
なし	45	82	369	151	219
なし	30	82	408	268	140

*エタノール 16 ℓ (燃焼継続時間約 8 分間) で燃焼

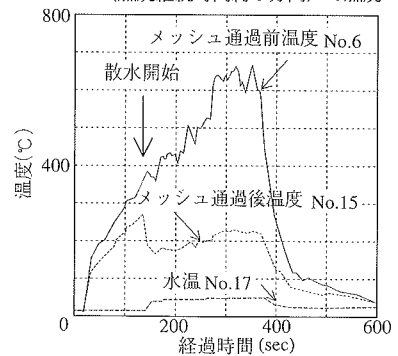


図-3 ダクト内気流の温度変化 (散水量 82 ℓ, ファン周波数 30 Hz, メッシュ A)

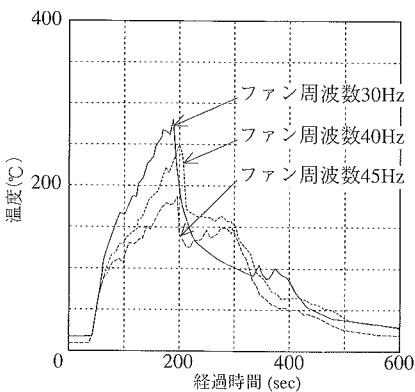


図-4 風量の相違による温度変化の比較

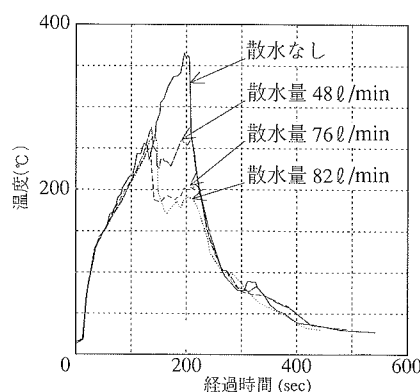


図-5 散水量の相違による温度変化の比較

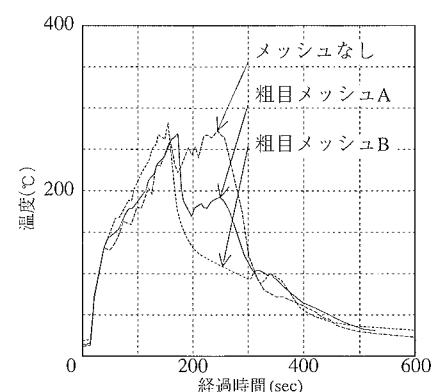


図-6 メッシュの相違による温度変化の比較

表-3 実験スケジュール

経過時間 (min)	0	60	120	180	240
メッシュ	← A →				
ファン (Hz)	← 15 →	← 25 →			
散水量 (ℓ/min)	← 0 →	← 48 →	← 82 →		
粉じん	← 15分毎に測定 →				
NOx, SO ₂	← 30分毎に測定 →				
CO, CO ₂	← 1分毎に測定 →				

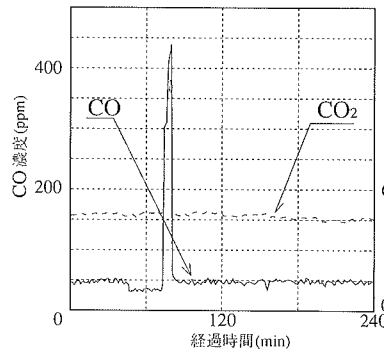


図-7 CO, CO₂ 濃度変化

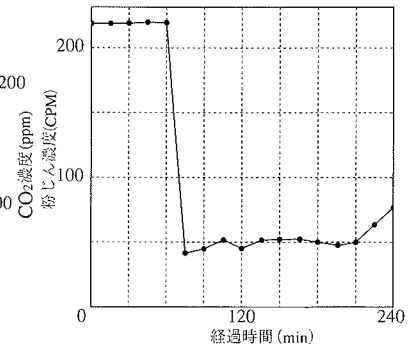


図-8 粉じん相対重量濃度変化

3. 日常排気時の汚染物除去に関する実験

3.1 実験方法

ダクト吸入口直下に、2サイクルガソリンエンジン (125 cc) を配置し、その排気ガス及び周辺空気を吸入させた。また、鋼製メッシュ後方に、検知管、CO、CO₂ 濃度計用の排気ガス取り入れ穴を設けた。検知管ではメッシュ通過後の NO_x、SO₂ 濃度を30分間隔で計測し、CO、CO₂ 濃度計では、CO、CO₂ 濃度を1分間隔で計測した。また排気口にレーザー粉じん計を設置し、15分間隔で粉じんのカウント数を計測した。この実験では水は循環方式としている。

3.2 実験条件

この実験では粗目の A メッシュを用いた。実際の地下駐車場における設計排気風量を考慮して、風量を2.5 m³/s に固定するため、散水状況に合わせてファン周波数を変化させた。まず、散水を行わずに1時間運転した後、散水を開始する。散水開始後1.5時間は水量 48 ℓ/min で計測を行い、その後1.5時間は水量 82 ℓ/min で計測を行った。実験スケジュールを表-3 に示す。

3.3 各種排気ガス成分の除去効果

図-7 に CO 及び CO₂ の濃度変化を示す。実験開始後、およそ1時間で各濃度が定常状態に達し、その後散水量の変化に関わらず CO は約 50 ppm、CO₂ は約 480 ppm を保つ。CO、CO₂ 濃度とも70分前後にピークが存在するが、これはエンジンがノッキングを起こしたためである。

図-8 に粉じんの相対重量濃度の推移を示す。計測粉じんの大きさは限られているものの、非散水時と比較して散水時には明らかに除去効果が表れている。散水量を変化させても除去効果はほとんど変化せず、非散水時が約 220 CPM である一方、散水時には約 50 CPM でほぼ定常となる。除去率は約80%である。

図-9 に経過時間による NO_x 及び SO₂ 濃度の変化を示す。NO_x、SO₂ とも散水がない場合に比べ、ある程度の除去効果が認められるが、散水量の差による効果はほとんど見られない。除去率は NO_x が約30%、SO₂ が約50%である。但し、今回の実験では発生させた NO_x、SO₂ 濃度が低かったため、散水時、非散水時における測定濃度の違いは検知管の測定誤差範囲内である可能性がある。

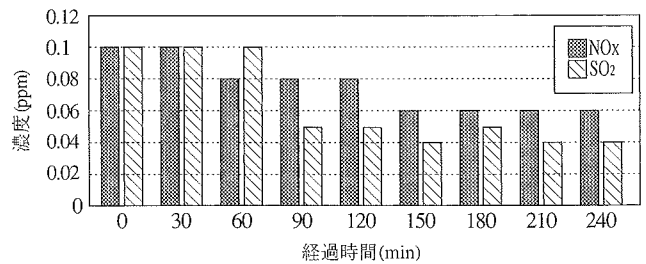


図-9 各代表時刻の NO_x、SO₂ 濃度

4. まとめ

地下駐車場を対象とした多機能排気システムの開発を目的とした実験を行った。実験の結果、得られた知見をまとめると以下ようになる。

- ① ダクト内熱気流温度の上昇分を1/3程度まで低下させることができ、盛期火災の段階においても長時間の排煙が可能となる。
- ② 散水されたメッシュの抵抗による排気・排煙風量の低下は10%以下であり、排煙能力を維持したまま火災煙の冷却を行うことが可能である。

- ③ 排気ガス中の粉じん濃度を1/4以下に低下させることが可能であり、排ガス臭の浄化に多大の効果がある。

実際のシステムでは、火災時には散水された水は使い捨てとし、日常の排気ガス浄化時には一定時間使用する循環式とする。設置コストは火災時だけの対応であれば排気・排煙ファン直前のダクト内に設けられるメッシュ、及び、散水ドレンチャーと水道との直結パイピングだけであるので安価である。また、火災時及び日常の排気浄化時の両方への対応である場合も地下水槽 (地下梁空間を利用すれば安価) との間を結ぶパイピングとポンプが付加されるだけである。メッシュはステンレス製であるため、耐食性に優れ、メッシュの目詰まりもかなりの圧力で散水されているため、年に1回程度メッシュを取り出してメンテナンスする程度でよい。

参考文献

- 1) 東京消防庁：地下駐車場の排煙設備検討報告書、(1992. 10)