

# 洞道等の地下構造物の煙流動に関する研究 (第1報)

Study of the Smoke Spread in an Underground Structure (Series 1)

昆 文 雄\*  
吉 村 延 雄\*\*  
杉 田 直 樹\*\*

## 概 要

洞道のように閉鎖された空間内において、火災時に発生する煙を効率的に排除するための方策を探ることを目的として、縮尺1/10の模型を使用して換気方式の違いによる比較実験を行った。

その結果、次のことがわかった。

- 1 給気・排気側のいずれか一方だけで機械換気する場合には、排気側を機械換気とした方が効率的である。
- 2 最も効率的な方式は、給気・排気両側で等しい風速により機械換気を行うことである。

An one-tenth scale model fire test was conducted to study the smoke spread in closed space in the shape of tube like a cave of cable.

The results were as follows.

- 1 In case of the smoke is removed either side of air supply or exhaust, it is more efficient to be mechanically ventilated from side of exhaust.
- 2 It is the most efficient method that the smoke is removed by the mechanical ventilation in equal wind velocity both side of air supply and exhaust.

## 1 はじめに

現代社会に必要不可欠である電力や通信などのライフラインの地中化が進むなかで、東京消防庁管内においては1,215ヶ所の洞道が敷設されている。(平成8年1月現在)

洞道は、地中に鉄筋コンクリート等による暗きよを敷設し、その内部に電力や通信ケーブルを設置したものであり、共同溝にはそのほかに上下水道やガス等の公益施設が収容されている。

いずれも外部からの火災などの災害の影響を受けないが、内部でひとたび火災が発生すると電力や通信のケーブルの被覆などが燃焼し、延焼が拡大するおそれが高い。

また、地下空間という狭あい閉鎖された環境下にあることから、濃煙・熱気や有毒ガス等が充満するなど、消防活動の障害となることが多い。

さらに、通信ケーブル等が損傷を受けることによる社会的な影響も大きい。

昭和59年11月に東京都世田谷区の洞道内で発生した通信ケーブル火災では、119番回線を含む電話回線が広域にわたり使用不能となった。

また、火災発生から鎮火まで16時間以上を要するなど消防活動においても困難を極めた。

その後、平成8年5月にも東京都墨田区内の洞道で鎮火までに14時間以上を要した火災が発生している。

これらのことから、消防活動上の障害要因である濃煙・熱気等に対する困難性を低減するため、洞道のように閉鎖された空間内での煙流動特性を把握し、濃煙等を効率的に排除するための基礎資料を得ることを目的として縮小模型による実験を実施した。

## 2 実験概要

### (1) 実験方法

洞道内に充満した煙を排除する手段としては、自然換気によるものと機械的に換気を行う方法がある。

さらに機械換気には、給気・排気とも機械的に行う方法と、給気、排気のいずれか一方を機械給(排)気とし、他方を開口とする方法などが考えられる。

そこで煙を効率的に排除する方策を得るため、給気・排気側の開口条件、換気条件を変えて実験を行った。

なお、条件の設定にあたっては排煙高発泡車や可搬式送風機などの装備の活用を考慮して、開口部の大き

\*水利課 \*\*第一研究室

さ及び風速を設定した。

実験は、模型内に設置したバーナーでLPGを燃焼させたのち、燃焼に伴って発生するガスのうち煙の挙動と比較的よく一致する一酸化炭素の濃度変化について、一酸化炭素用半導体ガスセンサーを用いて測定することにより、一酸化炭素の流動を煙の流動とみなし、換気時の煙の流動を推定することとした。

なお、換気に伴う濃度低下を比較するため、換気開始時の濃度を一定とし、濃度が1/2に低下するまでの時間について主に比較検討した。

(2) 実験模型

実験は洞道等を想定し大きさ1/10の縮小模型を使用した。

実験模型は、図1-1及び図1-2のとおり、断面

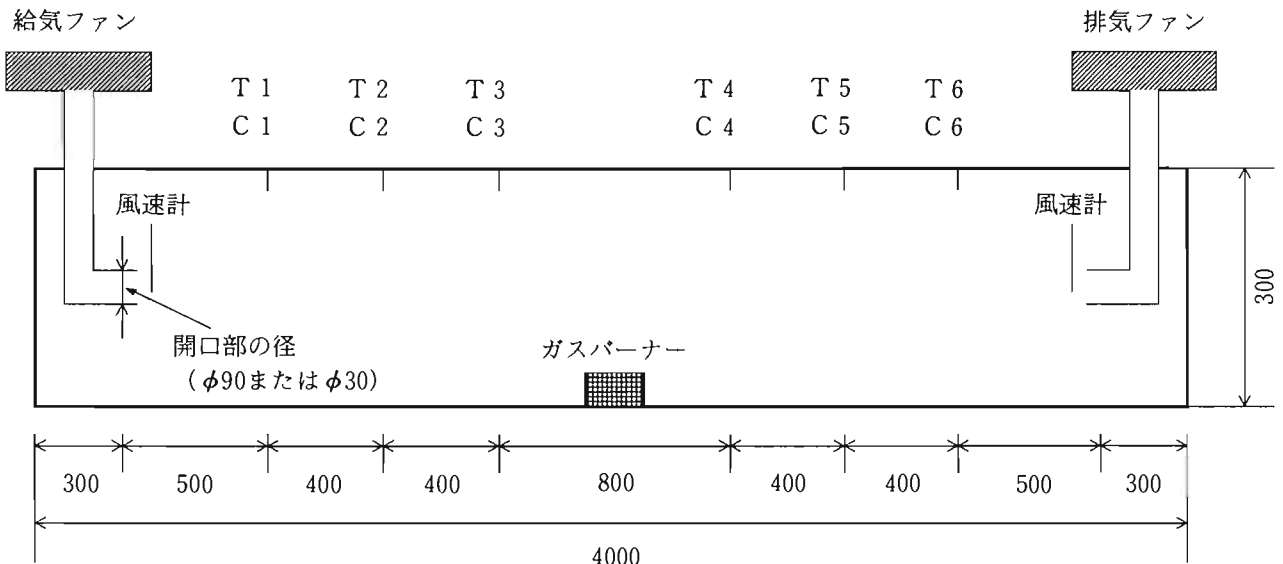
300mm×300mm、長さ4mの直方体とし、材質はケイ酸カルシウム板とした。

開口部は、両端から300mmの位置に設定し、ダクトにより天井部分から換気できるようにし、さらに機械換気が行えるようファンを着脱できるものとした。

なお、1/10の縮小模型と実大規模では、フルードモデルの相似則により次の関係が成り立っている。

長さ	$L : L' = 1 : 1/10$
速度	$v : v' = 1 : (1/10)^{1/2}$
換気量	$Q : Q' = 1 : (1/10)^{5/2}$
時間	$t : t' = 1 : (1/10)^{1/2}$
温度	$T : T' = 1 : 1$

( '印は模型を示す )



凡例 T : 温度  
C : 一酸化炭素濃度  
単位 [mm]

図1-1 洞道模型 (立面図)

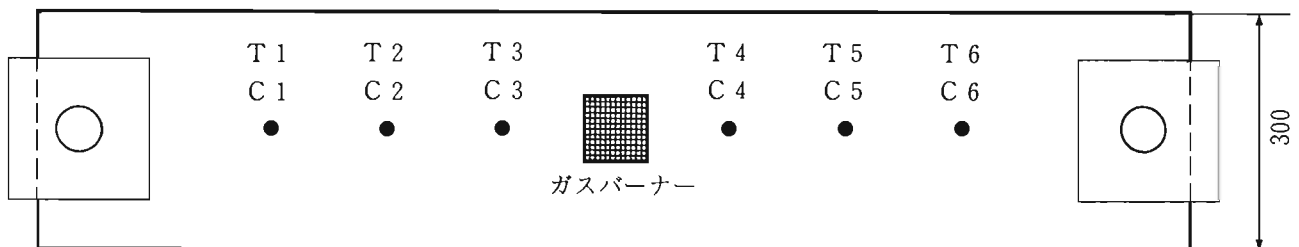


図1-2 洞道模型 (平面図)

(3) 測定器材

- 給気・排気ファン 2台  
(山洋電気(株)、SAN ACE25、最大風量2.5m<sup>3</sup>/min)
- パーソナルコンピューター 1台  
(日本電気(株)、PC-9801N)
- データ切替器 1台  
(TEAC(株)、DL-9060)
- 風速計 1台  
(日本カノマックス(株)、アネモマスター MODEL1500)
- K線熱電対 6本
- 半導体COセンサー 6台  
((株)オスト、OST-CO01P)
- 火源 LPGい号

3 実験結果

換気方式	実験No	換気条件等				測定結果
		給気側		排気側		
		開口部径(mm)	給気風速(m/s)	開口部径(mm)	排気風速(m/s)	
自然換気	1	90	-	閉鎖		図2
	2	90	-	90	-	
	3	30	-	30	-	
機械給気・排気併用	4	90	1.0	90	1.0	図3
	5	90	3.0	90	3.0	
	6	90	2.0	90	3.0	
	7	90	3.0	90	2.0	図3
	8	30	1.0	30	1.0	
	9	30	3.0	30	3.0	
片側給(排)気	10	90	-	90	1.0	図3
	11	90	1.0	90	-	
	12	30	-	30	3.0	図3
	13	30	3.0	30	-	
	14	90	-	30	3.0	図3
	15	30	3.0	90	-	
	16	閉鎖		90	0.07	図3
	17	閉鎖		30	1.0	

(凡例：-は自然換気)

(1) 自然換気における開口条件の違いによる濃度低下を比較すると、開口部の直径が90mmの場合は濃度1/2に低下するまでの時間が30mmと比べ1/2以下であり、一方が閉鎖された場合(直径90mm)と比べると1/4以下の所要時間となっている。(図2)

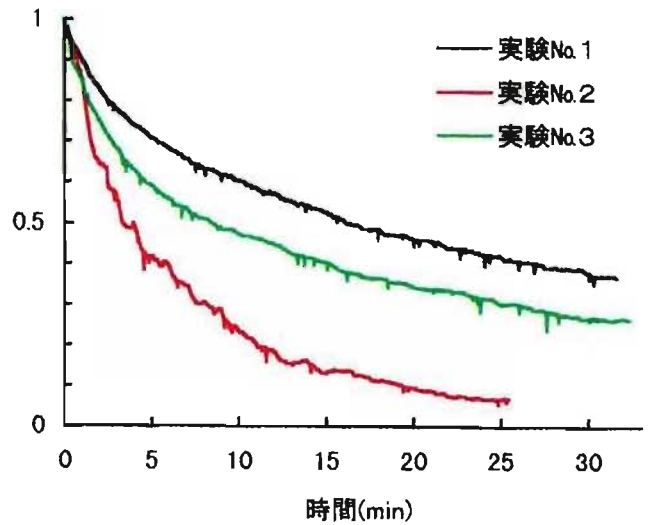


図2 自然換気

(2) 給気側及び排気側の開口部の大きさを直径90mmとし、給気・排気ファンでそれぞれ給気・排気を行う場合は、双方の風速を3.0m/sとした場合が濃度が1/2に低下するまでの時間が最も早く、1.0m/sの場合と比べ1/2の所要時間となっている。

給気風速と排気風速が2.0m/sと3.0m/sまたは3.0m/sと2.0m/sのように異なる場合は、双方の風速を1.0m/sとした場合と同程度であった。(図3)

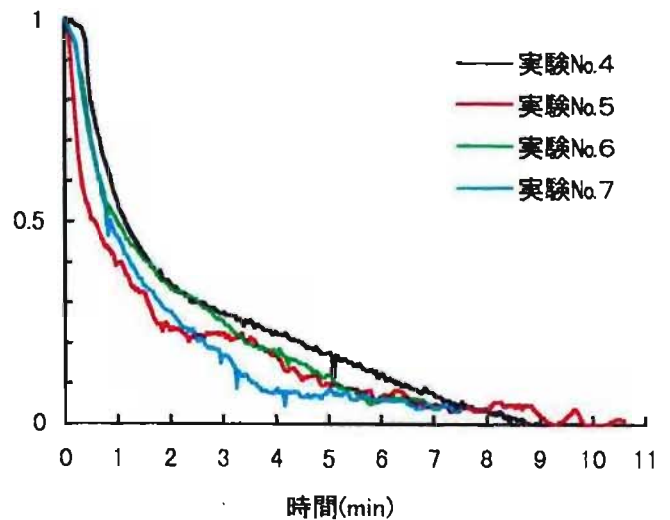


図3 機械給気・排気併用

(3) 給気側及び排気側の開口部の大きさを直径30mmとし、給気・排気ファンでそれぞれ給気・排気を行う場合は、双方の風速を3.0m/sとした場合が最も早く、1.0m/sの場合と比べて1/2以下の所要時間となっている。  
(図4)

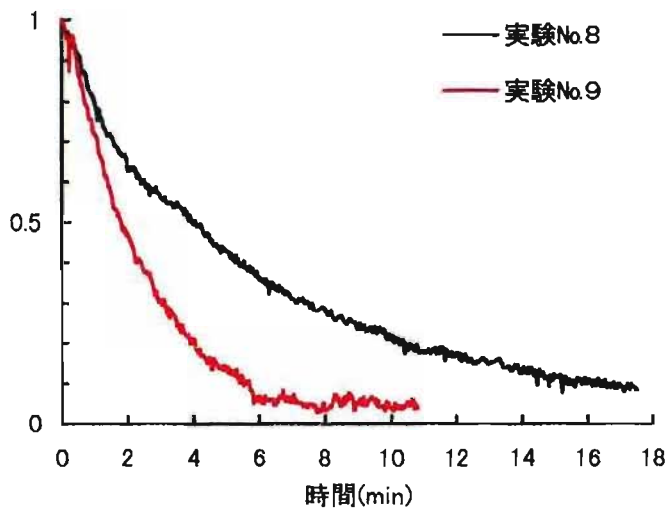


図4 機械給気・排気併用

また、同様に開口部の大きさを直径30mmとした場合でも、排気側をファンで換気する方が所要時間は短くなっている。(図6)

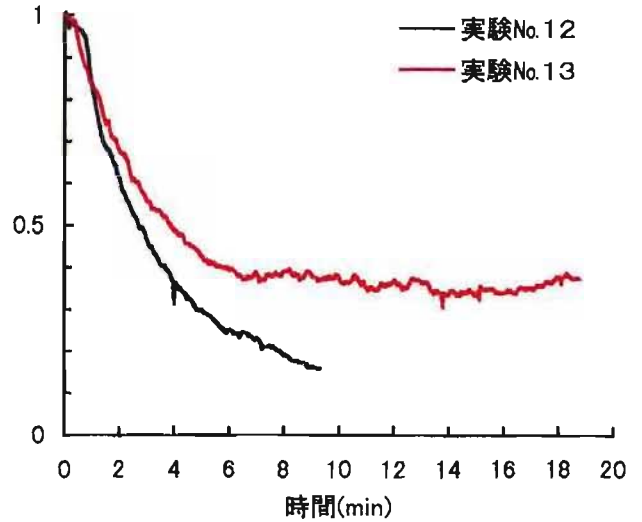


図6 片側給(排)気

(4) 給気側及び排気側の開口部の大きさを直径90mmとし、ファンにより給気・排気のいずれか一方で換気を行う場合は、濃度が1/2以下に低下するまでの時間をみると、排気側をファンで換気する方が所要時間は短くなっている。(図5)

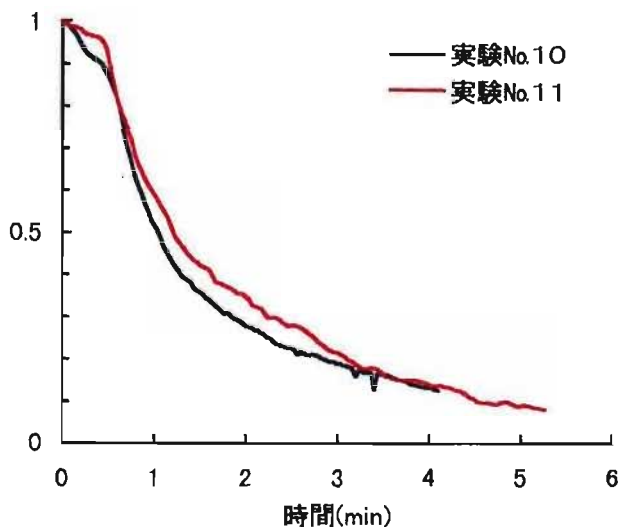


図5 片側給(排)気

さらに、給気・排気側の開口部の大きさがそれぞれ異なる場合であっても、同様に排気側をファンで換気する方が所要時間は短くなっている。(図7)

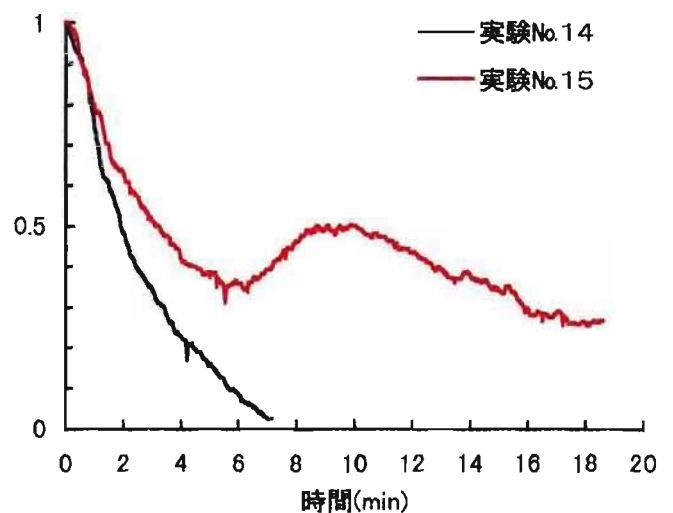


図7 片側給(排)気

(5) 給気側及び排気側の開口部の大きさが同じ場合において、換気方式の違いによる濃度低下を比較すると、最も濃度低下が早い換気方式は機械給気・排気併用であり、次いで片側排気、片側給気、自然換気の順となっており、90mmと30mmのいずれの場合においても同じ傾向であった。(図8、図9)

#### 4 まとめ

洞道という、閉鎖された地下空間における効率的な排煙方法について、模型実験で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 自然換気の場合、一方が閉鎖された片側開口状態では濃度の低下は非常に緩慢で換気の効果は低い。  
したがって両側を開口とした方が効果的である。
- (2) 自然換気では、給気・排気両側とも開口し、開口面積の大きいものほど効果が大きい。
- (3) 給気・排気側のいずれか一方だけで機械換気し、他方を自然換気とする場合には、排気側を機械換気とした方が効果的である。

この場合、給気側の開口部は、排気側の開口面積と同じ、もしくはそれ以上とする方が効果的である。

- (4) 給気・排気側のいずれか一方だけで機械換気し、他方が閉鎖された場合では、ファンの有効な出力は得られないが、自然換気よりは効果的である。
- (5) 給気、排気両側で機械換気を同時に行い、それぞれの風速を等しく、かつ給気・排気口径を大きくすることが最も効果的である。

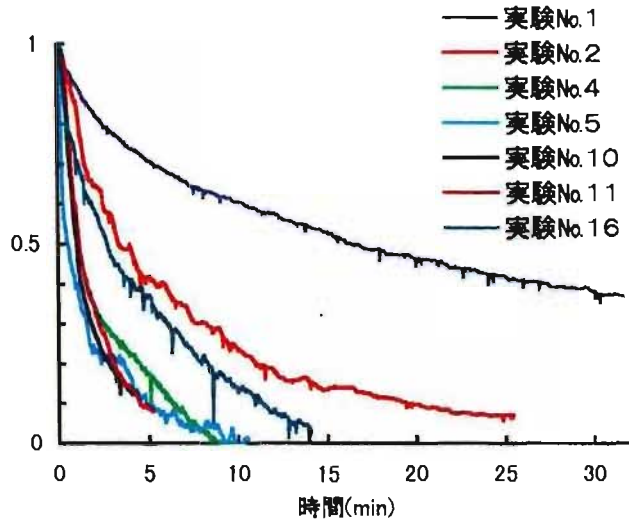


図8 各開口部径90mmの比較

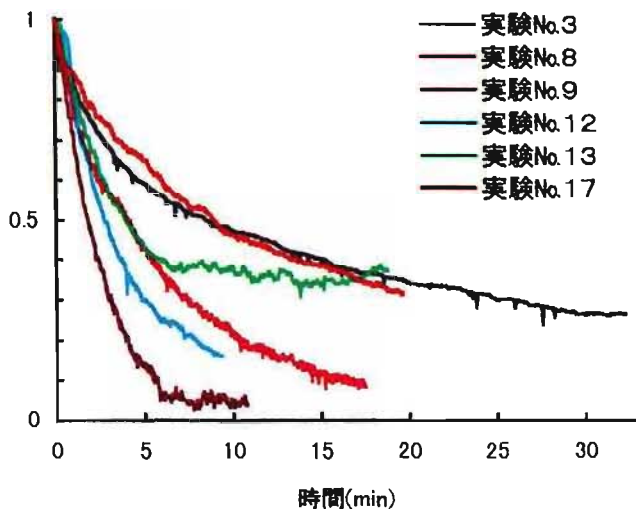


図9 各開口部径30mmの比較

今回の実験では、主に火災時に生じる煙に対する効率的排除方法についてみてきたが、縮小模型という制約された条件での実験であることから、熱気の影響について確認するには至らなかった。

今後の課題として洞道の形状、洞道内工作物等の影響もあわせて考慮し、より現実に近い条件における実験を行っていく必要がある。