

トンネル火災

谷 井 篤 三*

各種のトンネルの中でも火災危険の多い自動車トンネル火災について、内外の火災事故例をふりかえり、代表的火災実験を紹介しながらトンネル防災の歴史的流れを説明している。また各種の実験あるいは理論からトンネル自動車火災の熱・煙の基礎的特性を考察し、各種自動車火災の熱出力と発煙強度を例示した。トンネル防災についてそのシステムとシステムを構成する防災設備と使用機器を解説し、今後のトンネル防災としての問題点と総合防災システムの重要性を提起している。

1. はじめに

一般にトンネルといえば、山岳鉄道トンネル、市街地の地下鉄道、道路トンネル、あるいは、ケーブル河道、共同溝などがある。いずれも細長い閉鎖空間で、火災が発生すれば、延焼の危険は大きく、煙の充満などにより消火あるいは救急活動は困難をきかめることになる。とりわけ道路トンネルは不特定多数の人に運転される自動車が高密度で走行しており、交通事故あるいは整備不良などによる火災の発生危険は大きい。また積荷などの可燃物を制限することも現状では実施がむずかしいため火災発生時の災害の予測もつげがたい。

本稿では道路トンネルの自動車火災について、主な火災事故例をふりかえり、国内外の実験例から自動車火災時の熱出力、煙の発生などの基礎的事項に触れ、次にトンネル火災の防災機器、システムについて紹介していきたいと思う。

2. 火災事故例

自動車トンネル火災の重大さを認識し、トンネル防災が独立して取り上げられるきっかけとなったのはホランド自動車トンネル火災である¹⁾。昭和24年(1949年)米国ニューヨーク市のマンハッタンとハドソン河を隔てて対岸のジャージー市を結ぶ2783mのこのトンネルで二硫化炭素入りドラム缶80本を満載した大型トラックが入口から870m入ったところで突然二硫化炭素に引火して爆発火災となり、前後を進行中のトラック9台を全焼、トンネル内壁や内部構造物に甚大な損害を与えた。この薬品爆発火災と引き続き起こった自動車火災により、トンネル内は濃煙と高温の有毒ガスが充満し、現場の消火活動は困難を極め、消

防、警察、港湾などの職員を含む66名の負傷者が出た。事故発生当時は、交通量が少なく換気条件も良かったので死者は出なかった。トンネルの通行は56時間後に仮開通されたが、復旧に要する日時は夜間10時間交通を閉鎖として工事を行なうとしても2か月はかかったものとされ、火災による損害は当時の価格で100万ドルに及ぶものと推定された。

ホランドトンネルは大都市間の河底トンネルで、2本のトンネルからなる一方通行トンネルであったが、交通量は週日で45000台、週末で60000台を越していた。このためトンネル内には消火用水のホース接手、電話ボックス、火災報知機、消火器、交通管制照明灯あるいは各種交通信号装置が設けられており、毎時40回の換気回数能力をもつ換気装置も設備されていた。火災事故のあとNFPA(米国防火協会)では次のような勧告を発表している。(1)爆発物並びに規定量を越す危険物積載車両の通行禁止、(2)換気用ファンモーターの水噴霧による注水冷却、(3)消火器はA火災、B火災に適するものの他C火災に適する消火器を配置すること、(4)自動スプリンクラー装置等を設けること。

国内では昭和42年に国道1号線の滋賀県と三重県の県境にある延長245mの鈴鹿トンネルで発泡スチロール製のアイスクリーム容器600ケースを積んだ大型トラックが入口から30m入ったところで突然エンジン部から火を噴き、停車して反対側から走行してきたタンクローリーの運転手と自動車に備えつけの消火器で消火しようとしたが消火できずに火は積荷に燃え移った。火災発生箇所から火災車と反対側に停滞した車両の運転手達は、引火と同時に発生した異臭と猛烈な煙に車を棄ててトンネル外に逃げ、計13台のトラックが全焼した。火災発生40分後に消防隊が到着した

* 能美防災工業(株)

山林への延焼防止につとめトンネル内の消火に取りかかれたのは火災発生後5時間経過してからであった。焼けた車を引き出し仮復旧後トンネルの交通が再開されたのは46時間後であった。死傷者がなかったのはトンネルが短かったためと考えられる。政府はこのトンネル火災事故を重視し関係各省庁による事故対策の検討を行ない「道路トンネルにおける非常用施設の設定基準(建設省)」が定められるなどトンネル火災対策の強化が図られることになった。

昭和54年には、東名高速道路の静岡、焼津間にある日本坂トンネル下り線の出口から500m入ったところで大型トラックに、小型乗用車が追突して火災を発生し死者7名(交通事故死によるものと思われるものも含む)、焼失車両189台という大惨事に至ったことは記憶に生々しいものである。この事故は規模の大きさと共に日本の高速道路の過密度や自動車社会におけるドライバの後進性について世界の注目を集めた事故でもあった。この事故の重大さにかんがみ政府は「トンネル等における自動車の火災事故防止対策について」審議すべき交通対策本部を設け、トンネル防災設備の一層の整備充実を図ることにした。

以上の3例を見るまでもなく、1台の車の不注意、整備不良あるいは規制無視などが大惨事につながる危険をはらんでいるのが、自動車トンネルにおける火災事故である。

3. トンネルにおける自動車火災

トンネル火災のほとんどは前2章の事故例のような大きな規模にならないで終わっている。例えば日本道路公団が管理するトンネルでは昭和35年から昭和55年までの20年間に25件、首都高速道路のトンネルでは昭和42年から昭和52年の10年間に11件の火災が発生しているが2台以上の車両がもえたのは日本坂トンネルの火災事故を含めて2件のみであり他は出火車の半焼または全焼である。しかし火災は初めの出火車から逐次延焼拡大していくものであるから自動車単体の火災状況を把握することは重要である。自動車は座席、床、あるいは内装材などが乗用車で約100~150kg程度あり、またガソリン、ジーゼル油などの燃料を車種により50~200l程度の大きさのタンクに入れている。このような自動車の持つ可燃物の燃焼速度従って熱出力は燃焼物の量及び特性に依存し個体の場合は露出表面積、厚さ、またはこれらの中にどの位空気が入り込めるかなどによって変化する。液体燃料が流出した場合は、燃焼速度はほとんど、流出面積によって決まってくる。概略的な見方として乗用車内装火災のように、1~2mの高さの固体可燃物が開放空間

で燃える時には火源の床面積1m²当たり0.5~1MWの熱出力となり、液体燃料火災のときには流失面積1m²当たり、2MWになる。この熱出力の5~10%が燃焼の継続に寄与し残りが、人を傷つけ、隣接車両に延焼しあるいはトンネル内施設を焼損させるなどの災害の原因となる。この熱出力の大半は、燃焼ガスを活発に動かすことになり、トンネル火災で問題になるのはこのエネルギーである。これらを実験の結果などから考察してみたい。

3.1 代表的な火災実験

(1) オヘネグトンネルの実験 1965年スイスの旧オヘネグ鉄道トンネルで大規模な火災実験が行なわれた²⁾。このトンネルは長さ190m、高さ6m、幅は最大部で4.8m、天井は円形であってトンネルの一方は閉鎖され他方は開放してあった。乗用車の2台分の燃料タンクの量からタンクロリー車からの油の流出までを想定火災規模として、100l、500l、および1000lの石油量をおのおの6.2m²、47.5m²、95.0m²のコンクリート皿で燃焼させ、おのおの実験を行ない、次のような結果を得ている。

a. すべての実験で大量の煙が発生し、煙の先端速度は最大11m/sに達し、視界は発火後10~20秒で悪化した。

b. 火傷を受け生命に危険を生ずる範囲は、100l火災で10m、500l火災で30~40m、1000l火災では50mであった。また延焼の危険範囲は、100l火災で4.5m離れた乗用車はわずかに熱の影響をうけたが、500lおよび1000l火災の場合はおのおの4mおよび11m地点の自動車は焼失した。

c. 55mの長さに対して15m³/sの給気をする半横流式換気装置を運転したときに燃焼速度は殆んど変わらなかった。1.7m/sの縦流換気を与えた場合は100lの火災では燃焼速度がわずかに減少したが、500l火災のときは燃焼速度は換気のない場合に比べて約2倍になり、火源から10mの場所の乗用車を完全に焼失した。

d. 火傷を起こさない程度火源に近づいたときのCO濃度は短時間で人が死ぬ程ではなかった。この位置で半横流換気を行なったときにCO濃度に影響は表れなかった。縦流換気の場合は上流では、非常によい状態になるが下流での状態は悪化し、酸欠による危険についても同様のパターンであった。

(4) ニツ小屋トンネルの実験³⁾ 昭和44年及び45年に福島県の旧栗子国道のニツ小屋トンネルでガソリン皿火災と自動車火災実験が行なわれている。ニツ小屋トンネルは長さ384m、アーチ中心高さ5.1m、断面積25.5m²である。昭和44年に中型乗用車1台、

6 ton トラック 1 台を昭和 45 年には 2, 4, 6 m² 火皿におおの 50, 100, 150 l のガソリンを入れた場合およびライトバン 3 台, 大型トラック 3 台を燃して, トンネル内の温度分布とその時間変動, CO および NO₂ の発生量と濃度の時間変動, 発生熱量, 煙の濃度, 風速の影響, を調査し, 昭和 45 年には水噴霧の自動車火災とその環境に与える影響を調べることもさらに追加した実験を行なった. これらの実験の結果から次のようなことが得られている.

- 高温にさらされる範囲はごくかぎられている.
- ふく射熱は相当に大きく, 覆工コンクリートの剝離などの現象が発生する可能性があり, 熱伝導率の低い内装材などについては注意する必要がある.
- CO 濃度は最高 330 ppm であった.
- NO₂ は検出できなかった.
- 燃焼物の種類を問わず発生する煙の量は非常に多かった. 風下からの消火活動は困難である. しかし風上には煙はまわらず消火活動は容易である. 風下への避難はさげねばならない.
- 水噴霧設備はトンネル内の温度を下げるのに極めて有効である.

3・2 トンネル自動車火災の考察

前項の代表的実験のほか関係方面では各種の実験や調査研究が行なわれている. これらの結果からトンネル自動車火災の基本的な特性である, 熱出力, 煙の発生などを考察してみる.

(1) 熱出力 自動車火災の規模は熱出力によって表すことができる. 熱出力は熱源の燃焼速度 kcal/sec あるいは MW(1 MW=240 kcal/s)である. トンネル内自動車火災実験による熱気流温度の上昇値, その測定点と火源との距離から上昇気流となった対流熱量を知ることができる. 熱源の熱量は対流熱量のほか,

燃焼継続のための熱量あるいはふく射熱などがあり, これらの熱源の発熱量に対する比率(約 60%)から熱源の熱出力は推定できる. またノルマルヘキサンあるいはガソリンなどを火皿で燃焼させた場合は, 比較的定常な燃え方をし再現性もあるので実験によく使われるが, 自動車火災の熱出力をガソリン火皿火災の火皿面積におきかえて表現することもある. 過去の各種の実験の代表的数値から 4 m² 火皿火災, 乗用車および大型バス火災などの熱出力を火皿面積におきかえてみると図 1 のように乗用車クラスで約 2~4 MW (ガソリン火皿火災で約 1~2 m²), 大型バスクラスで約 10 MW (ガソリン火皿火災で約 5 m²) になる. また熱気流によって他の車へ延焼する危険度はオヘネグの実験の結果をまとめてみると図 2 に示すようになる. Ofenegg の実験では, 熱気流をあびた自動車は温度がおよそ 400°C に達したとき発火しはじめている.

(3) 煙の発生 自動車火災は, 多量の煙を発生

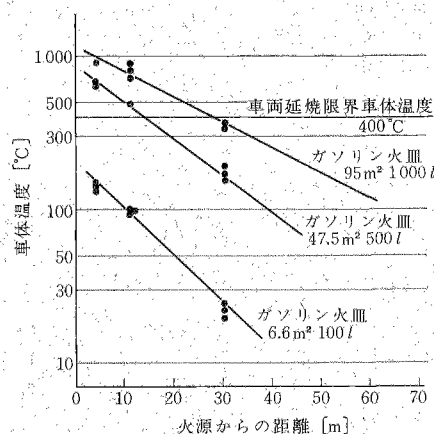


図 2 Ofenegg トンネル(スイス)火災実験による車両延焼温度

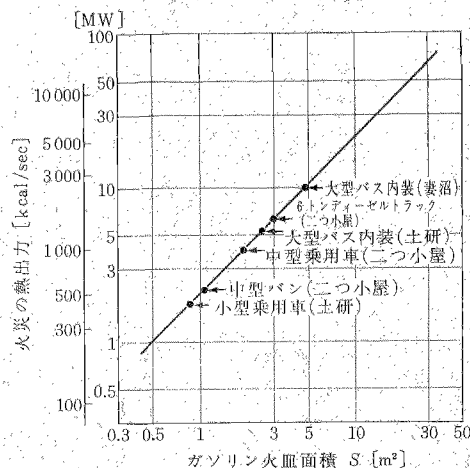
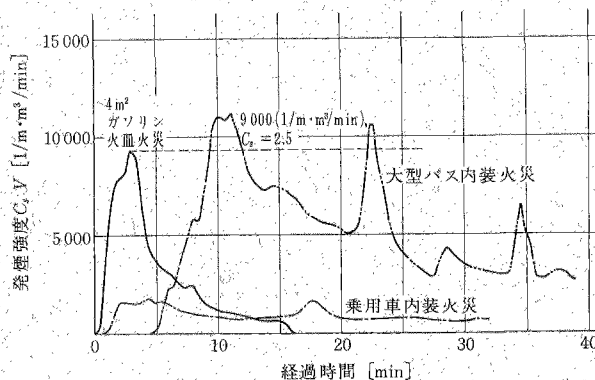


図 1 自動車火災熱出力の等価ガソリン火皿面積



発煙特性は, 発煙強度すなわち火災により発生した熱気流体積速度 [m³/s] に, その熱気流の煙濃度 C_p [1/m³] の積で表す

図 3 ガソリン火皿火災および自動車火災による発煙特性

表 1 避難限界見越し距離と C_s 値

	避難限界の見越し距離 [m]	減光係数 C_s
不特定者	15~20	約 0.1 (1/m)
建物内熟知者	3~5	0.4~0.7(1/m)

する。この煙はトンネル内が無風のときは熱気流と一緒に上昇し天井下に層を成して流れていく。この煙層の流れの速さ、断面積あるいは煙濃度を測定することによってその火災の発煙量を測定することができる。発煙量は発煙強度とも言われ一般に火源から発生する熱気流量 m^3/s とその煙濃度 C_s (1/m) の積で表されている。実験の結果からガソリン火災と自動車火災の発煙強度を比較してみたのが図3で、この図の大型バス内装火災のときには煙の濃度 C_s 2.5 の熱気流

$60m^3/s$ が平均的に発生していることを示している。この値はおおよそ $4m^3$ ガソリン火災の発煙量に近いことがわかる。

煙濃度 C_s は並行光ビームが煙層を通過する場合、煙層への入射光量を I_0 煙層を通過する光量を I および煙層の厚さを l としたとき Lambert-Beer の法則による式

$$I = I_0 \exp(-\alpha cl)$$

の $\alpha \cdot C$ を

$$C_s = \alpha \cdot c = \frac{1}{l} \ln(I_0/I)$$

として、粒子濃度による減光の度合で煙層の濃度を表す工学的濃度表示を、火災の煙を扱う場合に使われている。

煙の中を避難する場合、人によって個人差あるいは周囲の状況により相当差があるが、参考にこの C_s 値と避難限界距離関係を表1に紹介しておく。

(4) トンネル内の煙の流動分布

トンネル内火災から発生した煙が、トンネル縦断方向に流動し拡散される状態を $4m^3$ ガソリン火災の煙についてみると図4および図5のようになる。図4は無風時における発煙開始後の時間経過と煙の流動速度 [m/s]、煙の火点からの移動距離 [m] およびそのときの煙層の厚み [m] を実測例とシンクレイ (英国) の理論⁴⁾ によるシミュレーションの値の両方で示したものである。この両者は比較的近似しており、煙流動のシミュレーションは有効であることを示唆している。図5はシミュレーションによる煙の流動分布図に煙濃度を C_s 値で入れたものである。無風時に $4m^3$ ガソリン火災程度の発煙があれば、3分後には約 270 m の距離まで流れ、煙の厚さはトンネル高さの約半分の 3.5 m となり、その時の煙の濃度は C_s 0.55 となることがわかる。

4. トンネル防災の歴史

我国において自動車トンネルに防災設備が設置されたのは、昭和 33 年に開通した関門トンネルが最初である。関門トンネルは本州と九州を結ぶ重要な産業道路の性格をもつため各種危険物の輸送も相当量に達するものと見込まれていた。

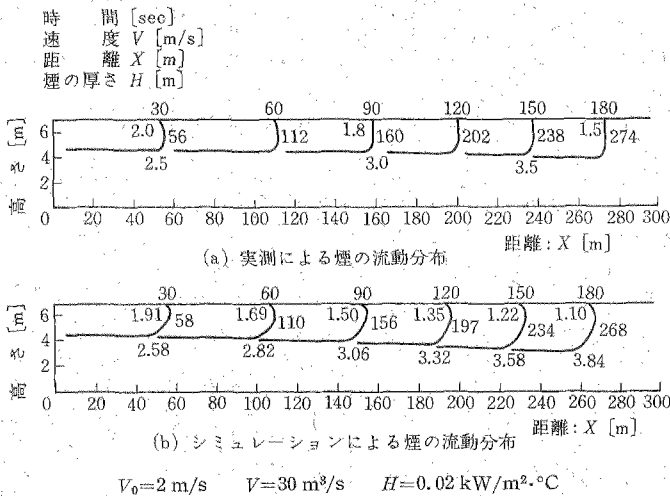
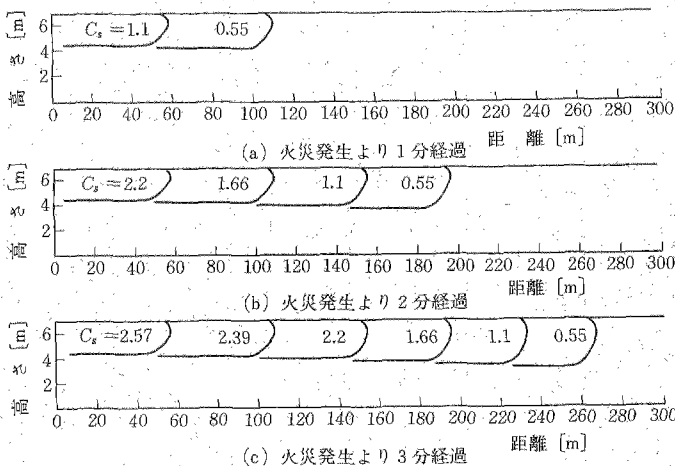
図 4 $4m^3$ ガソリン火災 (無風時) の実測とシミュレーションによる煙の流動分布

図 5 シミュレーションによる煙濃度の分布状況

このため関門トンネルの計画にあたっては、米国ホランドトンネルの火災を参考にし、火災事故に対して充分の措置を講じておくことが考えられ火災検知器、手動通報機、消火栓のほか、排気用換気ファンのある壁抗には水噴霧による自動冷却装置がつけられた。また昭和 38 年開通した名神高速道路では天王山などのトンネルの建設が予定されていたため、昭和 35 年には名神高速道路トンネル防災設備委員会が設けられ、消防研究所に 1/5 スケールの模型トンネルを造って防災対策の検討が行なわれ、トンネル内水噴霧の研究がこの時からはじめられた。水噴霧の放水は火災地点に一致させある一定範囲内に限定して放水しなければならない。このため自動車のピストンアクションにより生ずる交通風あるいは換気機の運転による換気風に影響されことなく火点を検出する炎のふく射をキャッチするふく射式火災検知器が開発された。昭和 42 年には前述の二ツ小屋トンネル実験ではじめて実車による火災試験が行なわれ、昭和 44 年開通した東名高速道日本坂トンネルでは、手動通報機、非常電話、消火器、消火栓、ふく射感知器、ファン冷却、トンネル内水噴霧の各設備が取付けられた。昭和 48 年には高速道路調査会トンネル防災研究班⁵⁾により、1/3 スケール、150 m の長さの模型トンネルでの火災実験が行なわれ、半横流換気方式における大型排煙口の効果が確認され、昭和 50 年開通した中央道網掛トンネルには大排煙口による排煙方式が採用された。

5. トンネル防災システムと防災設備の現状

このような歴史の流れとともに研究開発されて発達してきたトンネル防災システムは、火災をはじめとするトンネル内の異常状態を検出しこれを受信装置に送信し、異常の種類、状態と発生地点を判別し、消防、警察等の関係各所への連絡を行ない、トンネル内水噴霧の放水、坑口警報盤、道路情報盤、非常放送あるいは換気機の火災時運転への切換など異常に対処する諸施設を制御する機能を持つようになってきている。このシステムを構成する防災設備については、建設省あるいは日本道路公団などでその設置要領を決めている。

建設省の道路トンネル技術基準(昭和 49 年)では非常用施設の種類のとして、通報装置、非常通報装置、消火設備およびその他の設備(排煙設備、避難設備、誘導設備、非常電話設備等)をあげている。

日本道路公団の防災設備設計要領(昭和 54 年)では、防災設備の種類のとして、道路技術基準と同様に通報設備、非常警報設備、消火設備、その他の設備(排煙設備、避難設備、非常駐車帯、誘導設備、非常電源設備、給水栓設備、水噴霧設備、ファン冷却設備、ITV 設備等)をあげている。

これらの諸設備はトンネル延長が長くまた交通量が多い程火災発生率は増加し、避難も困難になることを考慮して、トンネル延長と交通量に対応してその設備

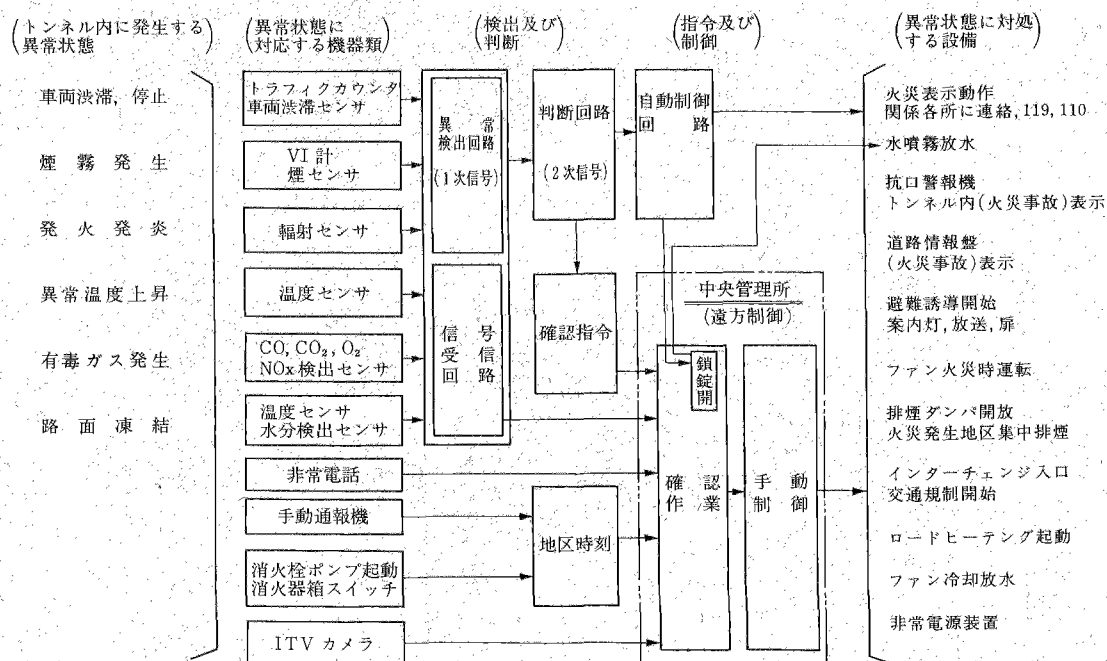


図 6 トンネル防災システム

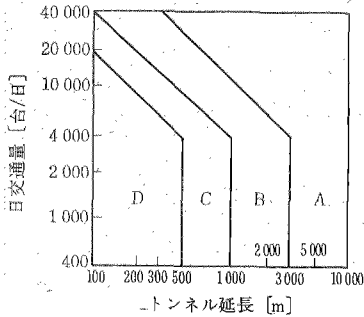


図7 トンネル等級区分

表2 日本道路公団設計要領による防災設備の設置基準

トンネル等級		A	B	C	D
設備の種類					
通報設備	手動	○	○	○	
	自動	○			
	非常電話	○	○	○	○
非常警報設備		○	○	○	○
消火設備	消火器	○	○	○	
	消火栓	○			
その他の設備		給水栓設備、水噴霧設備、排煙設備、避難設備、非常駐車帯、誘導設備、ITV設備、非常用電源設備、非常用照明設備			

規模を変えていくことになっている。防災設備設計要領の設備規模のクラス分けの例を図7にあげる。このA, B, C, D 4クラスは一般道路における自動車火災の発生する割合がおおむね2,200万台料に1件という過去の資料をもとにして、交通量(台/日)とトンネル延長[km]および供用期間[日]の積がこの値を超えないことを基準として決めてある。このクラス別による防災設備の設置基準は表2に示すようになっている。

これ等防災設備について役割と設備を構成する重要な要素となる主なる機器について次に解説する。

5.1 通報設備

通報設備はトンネル内で発生した火災などの事故をトンネルの管理所等へいち早く通報するためのもので事故の当事者または発見者が押ボタン等を押して電気信号を発信して通報する手動通報機あるいは、通話によって知らせる非常電話と、自動的に火災を検知して火災発生と発生地点を知らせる火災検知器による自動通報とがある。いずれにしても、この通報はトンネル防災システムを機能させる起点となる重要な設備であ

る。

(1) 手動通報機 手動通報機は、非常の場合車道面から人が操作するものであるのでトンネル側壁0.8m~1.5mの高さに取付けられトンネル防災用機器の中では簡単なものである約50m間隔と比較的密度高く設置されている。赤色の標識灯と「火災報知器」の文字板で存在を明示しており、消火器あるいは消火栓などの箱と一体に設置されているのが普通である。構造は自治省令で定める「火災報知設備に係る技術上の規格」によるP型1級発信機屋外型に準じている。

(2) 自動通報機 自動通報機は自動的に火災を検出する火災報知器である。火災検知器は一般に知られるように、火災の熱を検出するもの、煙を検出するものあるいは炎から放射されるふく射をとらえるものなど多数の種類のも存在し実用されている。トンネルに始めて火災検知器を設置した関門トンネルでは熱式の差動分布型(空気管式)が採用された。関門トンネルは換気が横流式であり、しかも対面交通で速度制限が35km/hであったため車道内気流速度は低く、その当時はまだトンネル内の水噴霧設備が設けられていなかったため火点の正確な位置判別は要求されなかった。しかし名神高速道路からスタートが切られた高速道路時代を迎えトンネル内水噴霧設備が検討され、火災の検出区画に合致させて水噴霧の放水が可能な火災検知器が要求されてきた。また換気的能力も大きなものが必要とされこれによる車道内風も毎秒8m程度に達することになり、気流の移動によって影響を受けやすい熱式、煙式以外のトンネル用検知器として炎の放射を検出する赤外線火災検知器が開発された。

この検知器は炎のスペクトルのうち、近赤外か赤外線を利用するものが実用化され、一定のふく射量に達すると動作するもの、あるいは炎のちらつきを検出するもの、この両方を併用したものなどがある。いずれの方式でもトンネル内の照明光、自動車のヘッドライトなどの灯具の光あるいはパトカーや工事標識の回転灯などで誤動作しないように工夫されている。また小型車の座席や内装材が燃える自動車火災としては火災の進展が遅く規模の小さいものでも検出できる感度をもっている。検知器のこのような性能は、フィールドテストと実車火災実験を繰り返して行なって確認されている。

検知器の設置は感度条件を満足すれば特に限定することはないが、普通トンネルの側壁に車路面から1.2m~2m位の位置に火災検出区画当たり数か所取付けられている。火災検出区画は、水噴霧設備のある場合は放水区画にあわせて25mから50m位になっている。

5・2 非常電話

非常電話は手動通報機と同様、火災その他の事故発生時に人によって使われるため、存在場所を蛍光灯などによる内照式の見やすい標示によって明示してある。設置間隔はトンネル内では、使用しようとする人の歩行距離を考慮して 200 m 間隔に設置されている。最近では騒音を遮断し確実な通話ができるよう、トンネル側壁に切り込み部を設けその中に電話ボックスを設けるものもある。

5・3 非常警報設備

トンネル内で火災や交通事故が発生したとき、トンネルを走行している車あるいは進入しようとしている車を事故現場になるべく近づけないようにして交通混乱による災害の拡大を防止させねばならない。このため前項の通報設備により火災などの事故が通報されたならば、ただちにこれらの走行中の車両に対して、トンネル内の異常を速やかに知らせ進入を停止させるための設備で、トンネル内の異常情報を電光式、字幕式などで表示し、進入坑口付近あるいはトンネル内に設置する警報標示板、この近くで赤色灯などの点灯または点滅を行い運転者に警告する点滅灯、警告灯、あるいはサイレン、ベルなどの音を発して注意をうながす音信号発生装置などがある。

5・4 消火設備

トンネル内の自動車火災を消火あるいは制圧するために、消火器、消火栓、給水栓、水噴霧設備がある。大量の液体燃料や危険物火災でない限り、自動車の火災の初期の段階では消火器や消火栓が充分効力を発揮する。

(1) 消火器 消火器は手動通報機と同様 C クラスのトンネルにも設置されている。自動車火災の特性から A B C いずれの火災に対しても効果があること及び一般者の取扱いを考慮して 6 kg の粉末（リン酸アンモニウム）が一般に使われている。設置間隔は 50 m で消火栓が設けられているときは同じ場所に併設され 1 か所に 2 本おいてある。

(2) 消火栓 消火栓は通常の火災に対する主体的な消火設備で、消火活動の機動性を考慮して消火栓弁のレバーの操作に連動して消火ポンプが起動し、ノズルを引き出せばそのまま放水ができる、 3 kg/m^2 、 130 l/min のホールリール式消火栓、あるいは消火栓箱に消火薬剤を保有し、 3 kg/m^2 、 200 l/min の泡を放出できる消火栓などがある。

設置はトンネル側壁に 50 m 間隔に取付けられ、赤色の標識灯で位置を明示すると同時に、ナトリウム灯のもとでも赤色にみえるよう、「消火栓」の文字あるいは箱の塗料に蛍光塗料を使うなどの工夫がされている。

る。

(3) 給水栓 トンネル管理者や消防関係者用としてトンネルの坑口付近、非常駐車帯に設けられるが、最近ではトンネル内消火栓箱内に設置する場合もある。水量は消火栓よりも大きく、消防車への給水栓として口径 65 mm で 3 kg/m^2 で 400 l/min のものが使用されている。

(4) トンネル内水噴霧設備 水噴霧の放水は、火点から一定範囲内に放水して、火勢を制圧し、熱気流、車体、積荷を冷却して延焼を防止し火災の拡大を防ぐと同時に消火活動を容易するものである。この放水範囲の長さは、名神高速道路天王山トンネル内火災実験⁹⁾（昭和 38 年、日本科学防火協会）で火災時の影響の範囲として報告されている 20～30 m の長さよりも余裕のある 36 m から 50 m が用いられている。

区画の境界で火災が発生することも考慮して、2 区画同時に放水できる能力を水源や加圧給水装置あるいは配管にもたせている。最近では同時に 3 区画放水可能な設備とすることも提案され実施されているトンネルもある。水を放出するヘッドは、ヘッド内部のスパイラルあるいはデフレクタを工夫してトンネル内防護空間内に有効に散水するよう作られており、トンネル側壁の上部に 4～5 m 間隔に取付けて車路面 1 m^2 当たり 6 l/min の割合で計算された水量を放水する。1 区画でとくに放水を利用する自動弁が設けられ、火災検出器の検出した火災区画に対応して、電磁式パイロット弁を作動させて自動弁の開閉を行なうが、一度電圧の供給をうけて自動弁が開放すれば、火災の進行等により、電源が断たれても圧力水の供給が続く限り、自動弁は開いて放水を継続するようになっている。

トンネル内では火災になってもなお車両は移動することがある。火災の検出は火災検出器の動作と同時に火災発生を受け付けるが、放水区画に対応する火災区画の決定には数秒の時間おくれを取り再度検出器が火災を検出した区画を放水区画とするようになっている。この放水区画の決定までは防災盤等で自動的に行なわれるが、放水するかしないかはトンネル内の状況を確認した上で人の判断によって行なうようになっている。しかし、火災は初期対処が重要であるため、これ等の作業が短時間で行なえるよう、トンネル内の ITV カメラの固定を火災検出区画に連動させたり、あるいは水噴霧放水指令回路のロックを釦操作一つでできるなどのシステムが組まれている。

6. ま と め

トンネル火災に対しては幾多の実験が過去に行なわれ各種の防災設備が開発されてきてはいるが、今日ト

ンネル防災の抱えている問題はトンネル内車両火災が一般建築物火災と異なり可燃物の種類、性状、量などが不確定で火災の想定がむずかしいことである。次にトンネル内では火災の初期対応者、すなわち火災を発見して通報しあるいは消火作業をしてもらいたい人が不特定多数の運転者または同乗者であること、第三にはトンネルの構造の特殊性であるところの細長い閉鎖空間であることである。トンネルの開口部は坑口のみであり、空間に対して開口面積が少なれば熱がこもりやすくなり、煙は逃げにくくなる。消防法では消防活動上、必要な開口部を床面積の $1/30$ 以上設けるよう定めてあり、この値が確保できないときは必要な設備を設け対策を講ずることを要求している。この考え方を適用すると通常の天井高さのトンネルでは全長 250 m が限度になる。

こういう特殊性をもったトンネル防災はなお多くの課題を残している。特に長大トンネルの場合、火災の拡大防止と避難誘導のための設備のあり方が大きな課題となる。根本的には火災時の温度上昇を抑えることで温度上昇をある限度内に抑え得れば、避難のみならず消火活動、救急活動など各種の問題に対処しやすくなる。

そのためには、関係者の迅速適確な状況判断が重要であり、その判断情報は火災の状況とともに火点付近での気流の状態を知ることが必要になってくる。従っ

て換気装置も適切に操作されることが必要で換気装置の設計には、平常時の換気だけでなく、異常時の対応まで考えられたものであることが望ましい。

防災という問題は防災専用の設備だけで対処すべきことではなく、換気設備をはじめその他の関連諸設備の有機的な協力体制が、異常時に対していかにかうまく機能するかが重要である。このことはトンネルに限らずその他の施設についてもいえることで、総合防災システムの今後の大きな課題であり、適切な判断のもとに防災設備が充分活用されることを祈念するものである。

参 考 文 献

- 1) ニューヨークホランドトンネルに於ける薬品火災（抄記）日本道路公団（昭34）
- 2) Ofenegg トンネル火災実験報告書、道路トンネル安全対策委員会（スイス）（1964）
- 3) トンネル内自動車火災実験報告書（I），（II），建設省土木研究所（昭44，45）
- 4) “The Flow of Hot Gases along an Enclosed Shopping Mall, A Tentative Theory”，P.L. Hinkley, March 1970, Fire Research Note 809
- 5) 網掛トンネル火災時の排煙効果に関する調査研究報告書、高速道路調査会（昭50）
- 6) 名神高速道路トンネル内防災設備に関する報告書 第1，2報，日本科学防火協会（昭35，36）
- 7) 比留間豊著：道路トンネル付帯設備，理工図書（昭41）