

中山トンネル導坑貫通 上越新幹線

日本鉄道建設公団東京新幹線建設局は、かねてから上越新幹線中山トンネル新設工事を進めてきたが、12月23日、四方木工区内で工事施工の佐藤工業とともに貫通式を開き、本線左側壁導坑を貫通した。

同トンネル工事は昭和47年2月、四方木立坑からサイロット工法で工事を開始したが、湧水と膨圧に挑んで、以来9年の歳月と総工事費1,200億円、延べ労働力約221万人を動員し、わが国最大の難工事となった。これを克服するため技術開発が積極的に行われたが、この中から、「NATMによる膨張性地山の掘削」が54年5月に土木学会賞に選ばれた。

トンネルは、子持山、小野子山の両火山が形成する標高400~650mの高原の地表下200~400mを貫く、延長14.83kmのトンネルで、わが国山岳トンネルでは大清水、六甲、榛名に次いで4番目に長いトンネルである。

注目集める全面防水工法 新しいトンネル技術

山岳トンネルの“メンテナンスフリー”を目指す新しいトンネル技術として、全面防水工法が注目を集めている。同工法は覆工背面あるいは覆工中間に肉厚のシートなどの防水層を施工するもの。すでにヨーロッパでは、同工法をNATMとジョイントすることにより、あらゆるトンネルのメンテナンスフリー化を実現している。わが国ではまだ全面防水工法は試験施工の段階にすぎないが、全面防水に適したNATMあるいはNATM的な工法が、欧米同様普及定着の機運にあることから、近い将

来、採用例も急速に増えてくるものとみられる。

すでに、日本トンネル技術協会や国鉄、日本道路公団などが中心となり、全面防水工法の維持管理を含めた経済性や裏面排水の末端処理法などの研究が急ピッチで進められており、「NATMプラス全面防水工法」は、メンテナンスフリーを目指す新しいトンネル建設システムとして、大いに注目を集めそうだ。

50万V地中送電線建設 船橋~大井間46km

東京電力㈱は、昭和60年代の首都圏過密地域の電力需要に対応するため、新たな基幹線の建設計画をたてた。船橋から東京・大井まで東京湾沿いに、50万Vの超高圧の地中送電線を敷設しようというもので、総延長46km。この「新京葉大井線」は、総事業費約2千億円を投じ、昭和57年秋に着工する予定。

計画によると、送電方法については、住宅などが密集している首都圏通過地域では架送電線の敷設は不可能と判断、トンネル形式の建設計画で、洞道の工法は開削によるボックスカルバートとシールド工法を主としている。開削工法は幅2.2~2.7m、高さ2.7~3.9m、土かぶり3m、シールド工法は径2.9~4.1mで計画している。

圧送の難しさ解消 NWSシステム

鹿島建設㈱は、高品質で粉じん、はね返りが少なく、しかも湧水部にも有効な新しいコンクリート吹付け湿式システム(NWSシステム-New Wet Type Shot Create)を開発した、と発表した。

同システムは従来の湿式工法に比

べ、新機構の①吹付け状況に合わせた自動制御システム、②セメント結剤の別系統圧送、③特殊混和剤の添加、などを採用、湿式工法の欠点である圧送の難しさ、圧送時の目づまり、生コン管理の難しさなどを解消した新しい湿式吹付けシステムである。

同社では安房トンネル調査坑工事や秩父セメント叶山鉱山トンネルでの適用の結果、粉じん量は乾式に比べ1/3~1/4に、はね返り率は全体の15%程度と大幅に減少したことを確認している。

先進導坑の進捗は92% 青函トンネル

日本鉄道建設公団が集計した青函トンネルの工事進行状況(1月1日現在)によると、掘削作業は引続き順調に進行しており、先進導坑は92%の進捗となって、残り1,832mで貫通、本坑も93%の率で、あと4,046mで全通の見通しとなった。

道公2大トンネル進捗 1月1日現在

〔関越トンネル〕		
計画延長・下り線	10,885m	
水上側本坑	5,104m	
湯沢側本坑	5,942m	
※補助坑は56.2.29に貫通		
※湯沢側本坑掘削は56.9.4に到達		
〔恵那山トンネル〕		
計画延長・上り線	8,625m	
飯田側	本坑(上半)	2,674m
	NATM(上半)	95m
	底設導坑	3,201m
中津川側	補助坑	3,843m
	本坑(上半)	2,522m
	大背壁(右)	2,384m
補助坑	〃(左)	3,153m
	〃(左)	3,215m
補助坑		4,075m



トンネル内自動車火災実験

水谷敏則*
堀内浩三郎**

1. はじめに

東名高速道路日本坂トンネルにおいて昭和54年に発生した追突事故に伴う自動車火災事故は、わが国内はもちろん世界でも例を見ない大規模な惨事となり、今でもその記憶が新しいところである。これによる被害は死傷者9名、被災車両173台、交通閉鎖期間約60日にものぼるものであり、被害総額は車両の焼損、トンネルの復旧費などの直接的なものだけでも100億円を超えといわれており、さらに社会経済活動に及ぼした間接的な損失まで含めると計りしれない膨大なものとなっている。

その後であっても、名神高速道路天王山トンネル、一般国道32号大豊トンネル、同8号敦賀トンネルなどにおいてトンネル内自動車火災事故が発生している。

これらの例に見られるように、一旦火災事故が発生するとトンネルの特殊性(空間が閉塞されていること)から、避難および消火活動に困難をきたす場合には事故による被害は著しく大きいものとなる可能性があり、その対策が非常に大切である。

一方、これからの幹線道路網の整備においてもわが国の地形的な制約条件から道路延長に占めるトンネルの割合は増えており、また、トンネル延長も長大化の傾向にあるため、道路トンネルにおける火災事故対策はますます重要なものとなることが予想されている。

トンネル内における自動車火災事故対策の考え方には、

- (1) 事前対策
ドライバーに対する安全運転教育の徹底、安全走行をバックアップする車両およびトンネル構造上の配慮など事故を未然に防ぐための対策。
- (2) 事後対策
万一火災事故が発生した場合に、被害を最小限に留めるための対策。この中には、避難誘導、救助、消火活動

* 建設省土木研究所道路部トンネル研究室長

** " " " トンネル研究室研究員

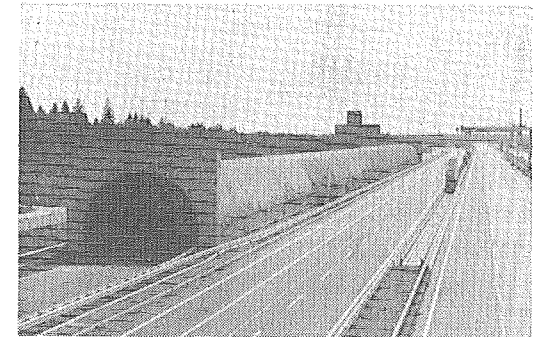


写真-1 実大トンネル実験施設(建設省土木研究所)とそれを容易にならしめるための措置を含む。に分けられるが、両者の内容が相互に整合のとれたものとしなければならないことはいうまでもない。

建設省土木研究所では、これらのうち事後対策を検討するうえで最も基本となる火災時におけるトンネル内の状況を把握することを目的として実大規模の火災実験を実施してきた。本稿は、これまでの実験により得られた結果の概要を紹介するものであり、トンネル非常用施設の計画および運用を検討するうえで参考にして頂ければ幸いである。

2. 実験目的

実験の目的は、トンネル内において自動車火災が起きたときのトンネル内環境、すなわち煙や熱などの発生状況およびその分布を把握することにある。

この際、煙の挙動に重要な影響を与えるトンネルの換気方式についてあらかじめ検討しておく。従来、延長の短い大部分のトンネルでは換気風を車道に沿って流す縦流換気方式が採られていたが、最近、省エネルギーの観点から長大なトンネルにおいても縦流方式が採用されることが多くなってきている。一方、半横流、横流式換気においても車道を通る縦流成分が相当あるのが実情である。このような観点から、トンネル内の空気の流れの

表-1 実大トンネル実験施設の概要

種別	仕様・諸元
トンネル本体工	鉄筋コンクリート造り 延長 385m 内空断面 幅9.8m×高6.9m(57.3m ²) 地下ダクト 幅9.8m×高1.3m(11.6m ²)
換気設備	送気または排気 max. 300m ³ /s, 140mmAq
照明設備	低圧ナトリウム灯 max, 150lux 蛍光灯 max, 80lux
水噴霧設備	100m区間 (@25m×4区間) max. 10l/min/m ²

最も基本となる縦流換気方式を想定した実験を行うことが適当であると考えた。そこで車道内風速をパラメータとしてこれがトンネル内環境に与える影響について検討することとした。

また、交通量の多い長大トンネルでは非常用施設としての水噴霧設備が設置されているが、その機能、効果について未だ十分に理解されていない点が多い。そこで水噴霧がトンネル内火災に及ぼす影響についても併せて検討することとした。

3. 実験方法

(1) 実験施設の概要

トンネル内火災実験は当研究所の実大トンネル実験施設(写真-1)において行った。この施設は、道路トンネルに設置される換気、照明、非常用施設などの各種設備に関する実験を実物大規模で行えるように作られたものである。トンネルの延長は約400m、内空断面は2車線道路トンネル用のカマボコ形である(表-1)。

(2) 火源

火災源としては、ガソリン火皿および乗用車を用いた。想定されるトンネル内火災事故の規模は通行車両、積載貨物の種類や量によって著しく異なる。一方、現行制度(道路法第46条関係)では、水底トンネル、水際トンネル、長大トンネルなどの重要なトンネルについて、トンネル通行の安全およびトンネル構造の保安を目的として、爆発性または可燃性を有する物件その他の危険物を積載する車両の通行を禁止または制限することができるとしている。この点を考慮すれば、通常、トンネルでは少なくとも上記の危険物積載車を除く大型自動車までを検討の対象と考えるのが適当であると思われる。しかし、今回は、トンネル内火災の一般的な状況を把握することを目的とした実験の第1段階であり、また、実験実施上の

表-2 実験条件

実験No.	火源	車道内風速(m/s)	水噴霧の有無	
G-1-0	ガソリン火皿 (2m ² 144l)	1	無	
G-2-0		2		
G-4-0		4		
G-1-1		1		有
G-2-1	2			
G-4-1	4			
M-1-0	乗用車 (2,000ccクラス)	1	無	
M-3-0		3		
M-5-0		5		
M-1-1		1		有
M-3-1		3		
M-5-1	5			

表-3 計測項目および方法

計測項目	計測器	測点数
上昇温度	熱電対温度計(CA)	150点
煙濃度	煙濃度計(1m透光率)	40点
車道内風速	ギル型風速計	6点
有害成分濃度	一酸化炭素分析計, 他(NOx, 煤じん)	12点, 他

制約から乗用車程度の火源を選んだ。

乗用車は燃料タンクにガソリンを20l入れた状態とし、後部座席にガソリンを染み込ませた布切れを置いて点火した。

なお、乗用車の燃焼状況にはかなりの個体差が避けられない。このため、安定した燃焼が得られる火源としてガソリン火皿を用いたものである。ガソリン火皿2m²から発生する熱量は、乗用車のそれを上回り、大型トラックの発生熱量の約半分に相当するものと予想される。

(2) 実験条件

実験の目的が、火災時のトンネル内環境に対する車道内風速および水噴霧の影響を調べることにあり、このため実験条件として表-2に示す組み合わせを考慮した。

車道内風速については、トンネルの一方の坑口シャッターを閉鎖した状態で送風機により給気し、風速1~5m/sの範囲で変化させた。

水噴霧については、同一の火源および車道内風速につ

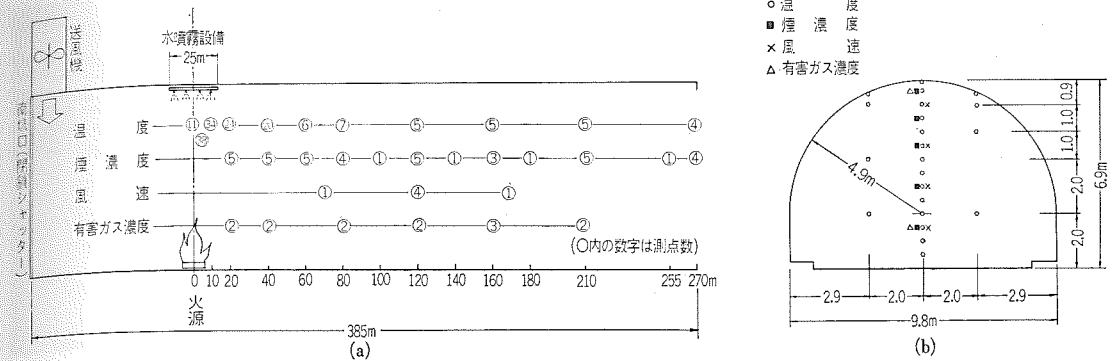


図-1 計測点の配置

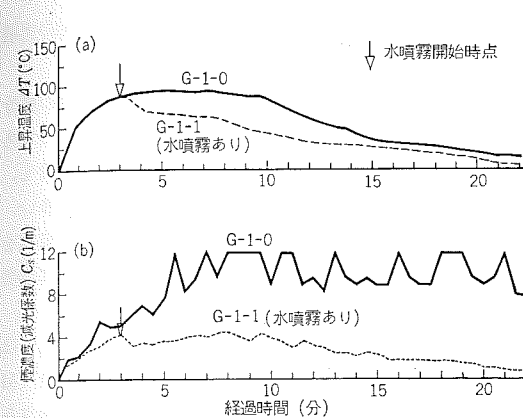


図-2 ガソリン火災
(V_r = 1 m/s, 20m地点, H = 6.5m)

いて放水の有無の比較が行えるようにした。放水開始は点火後2~3分後とし、その後約20分間放水を継続した。放水区間は火源付近の25mとし、放水量は通常のトンネルで採られている路面上で約6l/m²とした。

(4) 計測

トンネル内環境に関する主な計測項目および測点の配置は表-3および図-1のとおりである。

煙濃度計は煙による減光率を計測する装置で、次式により減光係数C_s(単位: 1/m)に換算される。

$$C_s = \frac{-1}{L} \ln \frac{I}{I_0}$$

ここに、I₀は清浄空気中における透光量、Iは煙中における透光量、Lは透光量を測定する区間長で1mである。なお、煙濃度と視距D(m)の関係は、他の研究²⁾によるとおおむね次式のようなものである。

$$D = (2 \sim 4) / C_s$$

4. 実験結果

(1) 燃焼状況

1982年2月

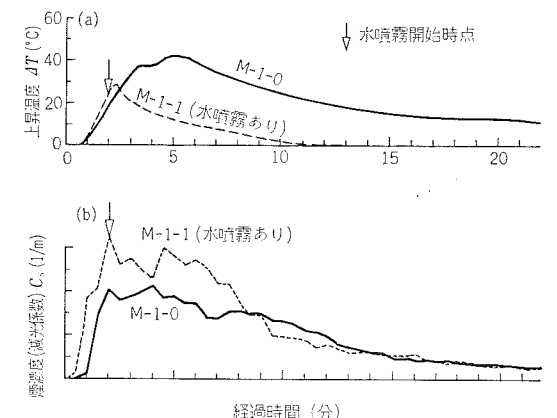


図-3 乗用車火災
(V_r = 1 m/s, 20m地点, H = 6.5m)

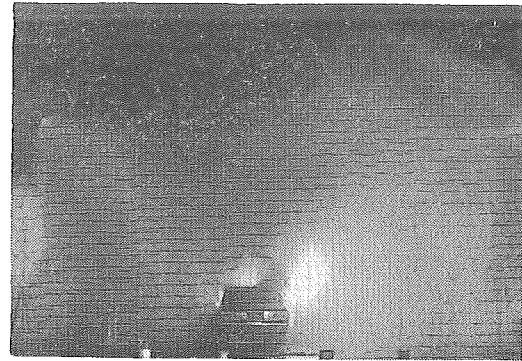
ガソリン火皿、風速1m/sの場合の火源から下流側へ20m、路面から6.5mの測点における上昇温度および煙濃度の経時変化を図-2に示す。点火と同時に激しく燃焼するが、温度、煙濃度は点火後5分前後でピークに達している。なお、2m²に対して144lのガソリン量で点火後約10分間ほぼ一定の燃焼速度が維持された。

乗用車火災、風速1m/sの場合の下流側20m、路面から6.5mの測点における上昇温度と煙濃度を図-3に示す。煙濃度は点火2分後に、温度は5分後にピークに達している。乗用車の場合、後部座席に点火後約1分で車室内全域に火焰が広がり、約10分後まで激しい燃焼が継続した(写真-2)が、データでは必ずしも一定の燃焼状態ではなく、また、車両による差もかなり見られた。

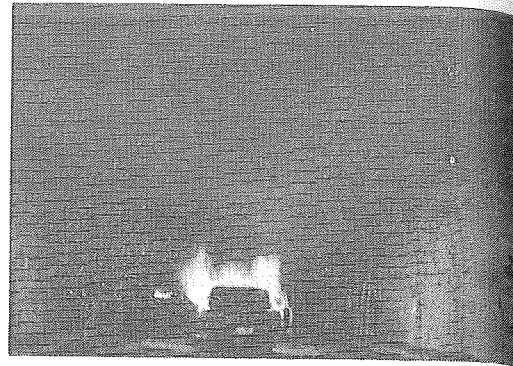
図-4は、火源から20m地点の各測点における上昇温度ΔTおよび風速V_rをもとに、次式により測定断面A_rを通過した温度積分値Wを示したものである。

$$W = \sum_i (\Delta T_i \cdot A_{r_i} \cdot V_{r_i})$$

この値は火源の発生熱量に関係するものである。図から



(a) M-1-0 (水噴霧なし)



(b) M-1-1 (水噴霧あり)

写真-2 乗用車の燃料状況 (点火4分後)

2 m² のガソリン火皿は乗用車の約 2 倍の発生熱量であったことがうかがえる。

この図によると、車道内風速の高い方が発生熱量も多くなっており、乗用車の場合それが特に顕著である。これは風によって火勢がおおられたことを示すものと考えられる。なお、ガソリン火皿の場合の発生熱量は V_r=1 ~ 2 m/s で約 4 MW であったが、V_r=4 m/s では 6 MW を超えた。

水噴霧によってガソリン火皿、乗用車とも消火するには至らなかった。しかし、図-3 で分かるように、水噴霧により発生熱量の著しい低減効果が認められた。ガソリン火皿の場合、水噴霧を行うことにより燃焼速度がやや低下し、発生熱量が少なくなったと同時に水噴霧の水粒子による冷却効果もあったと推察される。乗用車の場合には、水噴霧により車室内の火を消すことはできなかったが、車両外部の燃焼が抑制されており (写真-2(b))、やはり発生熱量の低下と冷却の両者の効果があったものと考えられる。このことから、追突あるいは波滞した後続車両への延焼防止という点について何らかの期待が得

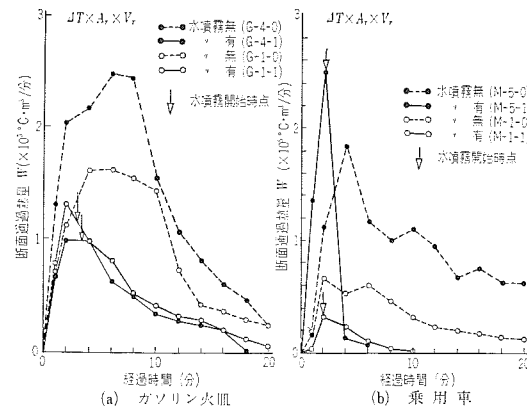


図-4 発生熱量 (20m地点)

きるものと思われる (この点については、その後の実験で効果が確認された)。

図-5は、火源から 120m 地点を通過した煙濃度の積分値 (S=ΣC_s·A_r·V_r) を図-4 と同じ方法で求めたものであり、火源からの煙の発生量に相当する。煙の発生量も、発生熱量と同様、乗用車よりガソリン火皿の方が多。

車道内風速が煙発生量に与える影響について水噴霧を行うことは、風速の高い方が煙の量が多く、これは燃焼速度とも関連あるものと思われる。

水噴霧が煙に与える影響については、条件によってほとんど変化のない場合 (G-1, M-5)、増える場合 (M-1)、減る場合 (G-4) などさまざまであり、今後さらに詳細な検討が必要である。

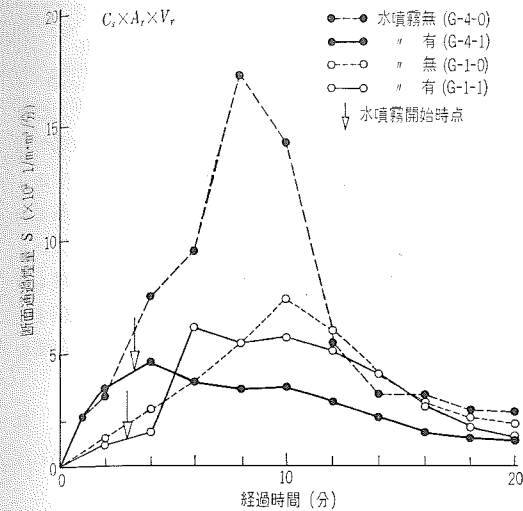
(2) 車道内風速分布

火災による熱気流のため、車道断面内の風速分布は一樣ではない。図-6はガソリン火皿の火源から 120m 地点における車道内風速の鉛直分布である。以前の無風状態下での実験結果では、路面から約 4 m の位置を境界として流れの方向の異なる明瞭な 2 層流が見られたが、車道内風速が 1 m/s では上層部に熱気流による風速の増加が見られるものの 2 層流とはなっていない。さらに 2 m/s 以上になると断面内の風速分布はほぼ一樣となる。これは車道内風により熱気流が乱され、熱気流が持っていた浮力の効果が打ち消される傾向にあることを示している。

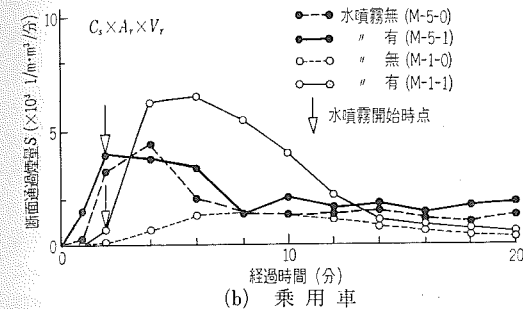
なお、火源の上流側については、ガソリン火皿、1 m/s の場合 (G-1) のみ 2 層流が形成され煙が翹上した。これは 2 m² ガソリン火皿の場合の煙の先端速度が約 1.3 m/s であり、それ以下の車道内風速では上流側へも熱気流と煙が逆流することにより説明できる。

(3) 温度分布

図-7は、ガソリン火皿、水噴霧なしの場合のトンネル内温度分布図である。車道内風速が低い場合には、天井



(a) ガソリン火皿



(b) 乗用車

図-5 煙発生量 (20m地点)

部に熱気流の形成が明瞭にみられ、風速が高くなるにつれて熱気流の幅が広がり、それとともに温度も下がっている。いずれの場合も、火源より下流側については上昇温度が路面上 2 m 位置でも 10°C 以下であり、避難環境として問題となるものではない。火源直上の天井面で最高 150°C 程度の上昇温度であり、トンネル設備関係に若干の被害を与えることがあっても覆工コンクリートに対

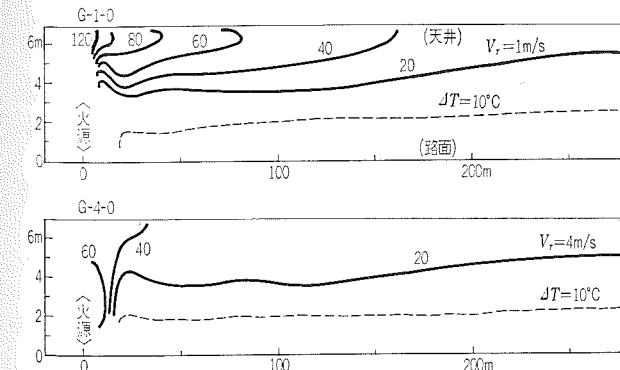


図-7 上昇温度分布 (ガソリン火皿、水噴霧なし、点火7分後)

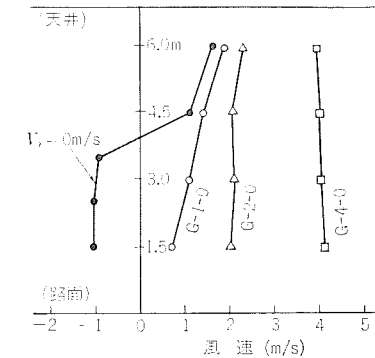


図-6 車道内風速分布

(2 m² ガソリン火皿、120m 地点、点火5分後)

しては何ら問題はない。また、火源の側近においても避難、消火などの活動に支障をきたさず温度ではなかった。

水噴霧の有無による温度分布の比較を図-8に示す。前述 (図-4) したように、水噴霧により火源からの発生熱量が少なくなった結果、全体的に温度が低下しており、また、その傾向は天井部付近において特に著しい。

(4) 煙濃度分布

図-9は、ガソリン火皿、水噴霧なしの場合におけるトンネル内の煙濃度の分布図である。煙の分布の傾向は温度分布のそれと同様、風速が高いほどトンネル断面内の濃度が一樣に広がっている。路面付近についてみると、風速が高いほど煙が濃くなる傾向がみられるが、前述 (図-5) したように風速の高い場合には煙の発生量も多いことから、必ずしも車道内風速だけの影響であるとはいえない。

煙濃度と避難行動との関係について、他の研究²⁾ によれば、地下街など不定多数の人が避難するのに必要な濃度値は減光係数 C_s が 0.1~0.2 であるとされている。また、避難誘導灯がある場合には C_s = 0.3~0.4 まで、さらに建物内熟知者については C_s = 1.0 まで避難が可能であると

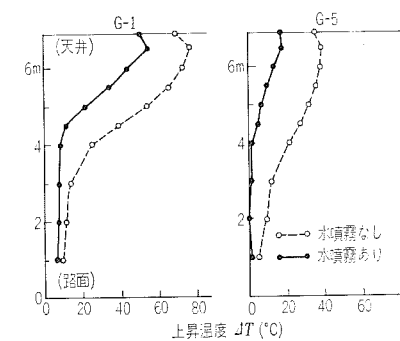


図-8 上昇温度分布と水噴霧 (ガソリン火皿、40m地点、点火7分後)

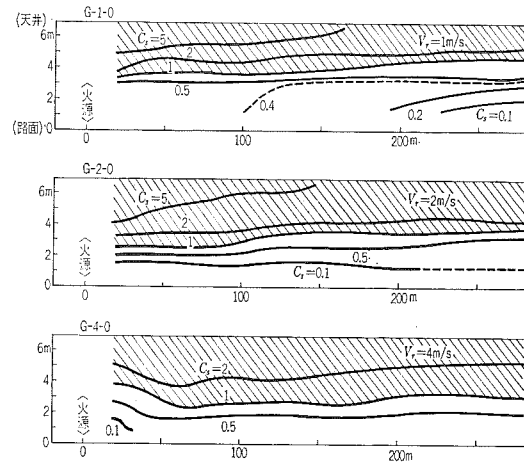


図-9 煙濃度分布 (ガソリン火皿, 水噴霧なし, 点火7分後)

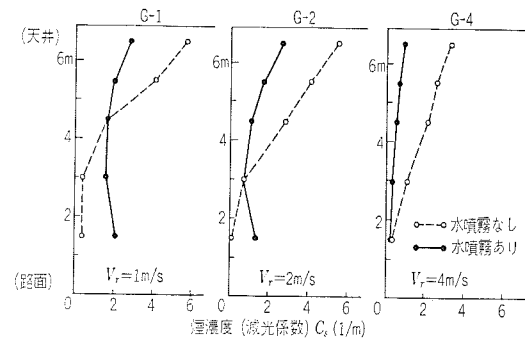


図-10 煙濃度分布と水噴霧 (ガソリン火皿, 120m地点, 点火7分後)

いわれている。今回の実験では、路面付近の煙による減光係数 C_s は0.1~0.5程度であった。トンネルの場合に C_s としてどの値を目標として対策を考えるべきかは今後の検討が必要である。

一方、水噴霧を行った場合には、図-10に示すように上層部の濃度は下がるが、逆に路面付近の濃度を引き上げてしまう場合もあった。これは煙を搬送している熱気流が水噴霧によって温度を下げられ、それによって浮力を失ない、トンネル断面全体に煙が拡散するからであると考えられる。路面付近の煙濃度が上がることは火災時の避難、救助および消火活動に支障をきたすことになるので、この点については慎重な検討が必要である。

(5) 有害成分濃度

CO ガス, NOx ガスについて路面上1.5mの位置で計測した結果によると、特に問題となる濃度ではなかった。今後、火源の種類が異なれば、これらのガスの他にも

有害成分の発生の有無について検討が必要であろう。

5. ま と め

以上の実験の結果から次の結論が得られた。今回の実験に用いた火源は乗用車および2m²ガソリン火皿の程度であり、火災の規模としてはやや小さ目のものであったが、火災時におけるトンネル内の状況について基本的な事項を把握するには十分なものであったと考えている。

(1) 火災時のトンネル内環境を検討するうえで最も重要な項目は、火災によって発生する煙の挙動を把握することである。特に、避難活動などとの関連で煙の影響を検討するのが肝要である。

(2) 2m²ガソリン火皿程度の火災時の煙濃度は、路面付近で $C_s < 0.5$ であり、適切な照明、誘導灯があれば避難が可能である(水噴霧をしない場合)。

(3) 火災時のトンネル内の温度上昇は、火源付近を除いて特に問題となるものではない。

(4) 火災の規模にもよるが、風上側への煙の逆流を防ぐためには2m/s程度以上の車道内風速が必要である。しかし、いたずらに風速をあげることは火勢をあおり、発生する熱および煙の量を増加させるので注意が必要である。

(5) 水噴霧によりガソリン火皿、乗用車の火災を消火することはできない。しかし、周囲温度を低下させることによりトンネル設備などの防護や近接車両への類焼防止の効果は期待しうる。

(6) 水噴霧による熱気流の温度の低下により煙が路面近くへ引き下げられ、避難環境を劣化させることがあるのでその取扱いには注意が必要である。

6. あと が き

今後、以下の点について検討が望まれる。

(1) 想定すべき火源の種類や規模とそれに対応したトンネル内環境の把握

(2) 縦断勾配が煙(熱気流)に与える影響の把握

そして、これらの成果をふまえて、トンネル非常用施設のあり方および火災時における諸設備の運用方法の確立が必要である。

参 考 文 献

- 1) 高速道路調査会：トンネル防災設備設計のための自動車火災実験計画研究報告書，昭和44年。
- 2) 神忠久：煙中でのものの見方，照明学会誌，第57巻，第3号，昭和48年。



実験トンネルにおけるNATMの計測

山 本 稔*
 渡 辺 勤**
 木 内 和 夫***

1. は じ め に

NATMは、岩盤力学に基づく考え方をした合理的なトンネル工法である。しかし、その本質の理解については幅があり、未だ調査・研究を始めとして技術的討論の対象になっている。このような情勢から、NATMに関心をもつ者としてその理解を深めるにはまず現象を正しく知ることから始める必要があると考え、実際にNATMを経験できる機会を求めてきたが、ここに工期に追われず施工と計測に自由な条件を持ち込めるトンネル工事にめぐまれ、これを実験トンネルとしてNATMの試験施工をすることにした。

このトンネルは幅員3.0m、内空断面積9.4m²の歩道用トンネルで、延長70m強である。規模は小さいが、土かぶり浅い土砂トンネルで、NATMの試験施工には適していると思われる。また、施工にあたっては工期に余裕があり、施工から計測まですべての条件を試験計画に従って正しく整えることができた。この点から、この試験施工は実物を用いた大型模型実験に相当するといえよう。

NATMにおいては地山の強度を合理的に利用するために施工にあたって計測を併用する。しかし、複雑な施工条件のもとでは計測結果の解釈に明確な欠けりがあることはいない。実験トンネルは、全断面掘削によって切羽の進行や作業が力学的に簡明であるだけに、この点からも好都合であると思われる。

次に計測と計測結果の解釈に主眼を置いて報告するが、設計に関する事項にも触れ、参考に供することにする。

2. 工 事 概 要

NATMの試験工事は、山梨県東八代郡八代町竹居の

* 東京都立大学教授 工博
 ** 株木建設(株)土木本部技術部技術課
 *** 岡部(株)営業開発部土木課

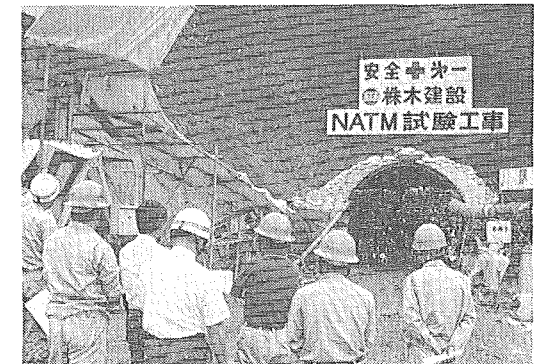


写真-1 坑口付近

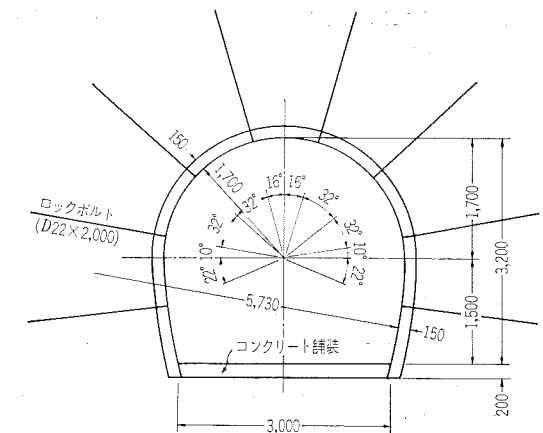


図-1 トンネル標準断面図

ウッドストックカントリークラブ建設地内で行った。この地は甲府盆地の南方御坂山塊の山中にあって、釈迦ヶ岳(1,641m)の北麓、浅川左岸域、大口山開拓地に隣接する斜面域で、実験トンネルは雨水による侵食と運搬によって2次堆積を重ねた岩屑れきを主体とする地帯を貫通する。地山中のれきは崖堆れきが大部分であることから、形状は亜角または角れき状をなし、れきを包むマトリックスは、スコリアおよび軽石を交えた含水量の大