

2.2 道路トンネルの諸問題

伊吹山 四郎*

1. はしがき

道路トンネルにおいても、地質その他の条件を考慮して巻厚などを定めるとか、岩盤を掘削し、コンクリートを巻き立てる施工の方法などについては、他のトンネルと本質的には全く同一である。

道路トンネルが、他のトンネルと異なる点は、それが道路交通の用に供せられるために必要とする諸設備であって、大きく分類すれば、

- ① 完成後の換気
- ② 完成後の照明
- ③ 防火設備
- ④ 内部仕上げ
- ⑤ 道路交通の管理施設

などがあげられ、これらは、道路トンネル特有の問題点として、その形状、空間、断面積あるいは延長に、少なからざる影響を与え、延長が非常に短い場合を除いては常に考慮せねばならない問題なのである。

2. 道路トンネルの断面

まず、道路トンネルの断面を考えると、交通車両の走行のために必要とする建築限界のほかに、換気のためのダクト、照明灯器、交通信号、電話、火災検知機、内部仕上げなどの余裕を持たなくてはならない。

将来の海上コンテナ輸送の時代に備えて、建築限界の端においても高さ 3.8m を必要とすることから、道路幾何構造要綱(案)では、図-1 のごとく、道路トンネルの建築限界を改めている。

したがって、実際に必要とする道路トンネルの断面はこの建築限界のほかに上述の余裕幅を必要とし、その一

* 正会員 工博 建設省土木研究所千葉支所長

図-1 道路トンネルの建築限界(案)

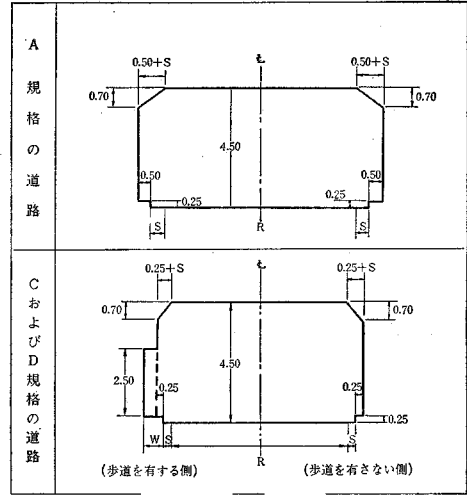
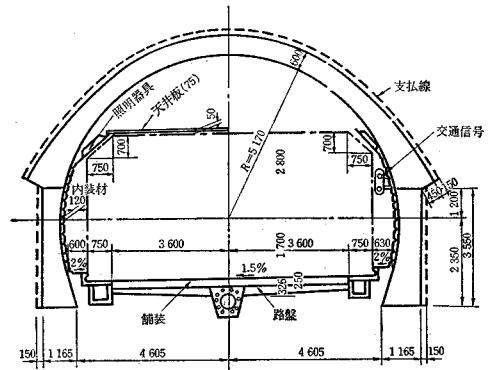


図-2 東名高速道路標準断面図
(左側換気装置を設ける場合、右側設けない場合)



例として東名高速道路のトンネルの標準断面図を示せば図-2 のごとくである。

3. 舗装

道路トンネルの場合、コンクリート舗装とアスファルト舗装とは、それぞれ一長一短がある。すなわち

- ① コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べ工期が長くかかる。
- ② 補修の場合に、アスファルト舗装の方が容易である。
- ③ コンクリート舗装の方が光の反射率が高く、アスファルト舗装の場合は、コンクリート舗装の場合の約2倍の明るさの照明設備を必要とする。

したがって、舗装をいずれで行なうかは、むずかしい問題である。最近、アスファルト舗装に白い骨材を入れたシノパール舗装が、羽田トンネルで用いられたのは、アスファルト舗装の施工性の良さに加えて、反射率を良くする工夫を試みたものである。

4. 道路トンネルの換気

道路トンネルにおいては、自動車の排気ガス中の有毒成分（一酸化炭素および煤煙）のために、ある交通量およびトンネル延長になれば、換気のための設備を設けなくてはならないことは、衆知の事実である。

いま、トンネル延長を $L(\text{km})$ 、自動車交通量を N (台/時) とすれば、

$$NL \geq 600$$

であれば、換気設備を設ける必要があると考えるべきである。すなわち、延長 500 m 以下で、交通量 1000 台/時以下であればよいが、それ以上であるときは、考慮しなくてはならない。このことは、延長の長いトンネルでは、当然建設当初から換気設備を考慮しておく必要があるのであり、また 600 ~ 800 m の短いトンネルでも、最近のように交通量が急激に増えてくると、換気の必要性が起こってくるのである。

(1) 自動車およびエンジンの改造

もとより、この問題の発生は自動車エンジンの不完全燃焼によって、有毒成分が発生することに原因があるのであるから、道路トンネルの建設側は、いわば交通公害の被害者の立場にあるわけである。

したがって、自動車の側の改善を期待するものであることは当然であろう。しかしながら、現在および将来まで、悲観的にならざるをえない。

まず、自動車の存在であるが、イギリスで発刊されたブキャナン・レポートと呼ばれる「都市の自動車交通」という報告は、これについて解析し、結論として「自動車という小型で便利な陸上輸送機関は、将来とも絶対になくなる」と述べている。

自動車というものがなくならないにしても、そのエンジンが、有毒成分を発生しないように改造されないものであろうか。これについても、完全に除去する時代はきそうにもない。

少なくとも、最近さかんにいわれている排気ガスの浄化装置は、有毒成分を減じる効果はあっても、完全なものではない。そして、ガソリンエンジンの発生する一酸化炭素は、ディーゼルエンジンにより著しく減ったけれども、別に煤煙の問題が起こっている。

将来、原子力自動車の時代がきて、原子力潜水艦の冷却水のような問題が発生することは当然予想されることで、トンネルのような閉そくされた場所に、多数の自動車が交通する場合、換気の問題は将来とも起こりそうに思われる。有毒ガスの発生という面から見ると、電気自動車が最も有望であるように思われるが、まだ実用化、

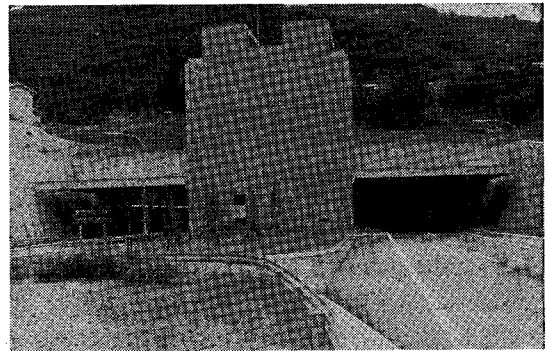
一般化への道は近くないようである。

したがって、われわれは、現在あるガソリンまたはディーゼルエンジンによる自動車の公害に当分悩まされることを覚悟のうえで、その対策を講じなくてはならない。

(2) 換気のための設備

換気のための設備としては、現在のところ、もっぱら送風機による機械的換気方式がとられている。なぜならば、熱的処理による換気、あるいは化学的処理によって空気を浄化する方法などが理論的には考えられても、結局は経済的に引き合わず、実際的でないからである。

写真-1 清見寺トンネルの換気塔



換気の対象とする空間の中の空気量を、1時間に何回入れ替えるかという回数を換気回数と呼ぶ。いま、この換気回数を尺度として、道路トンネルの換気設備の規模を、他の場合と比較してみたのが表-1である。

表-1 道路トンネルと他の換気施設との換気回数の比較

区分	名称	換気回数 (回/時)	1回換気するに要する 時間(分)
道路トンネルの場合	Battery Street Tunnel	30	2.0
	Posey Tube	40	1.5
	Queens Midtown Tunnel	42	1.4
	Brooklyn Battery Tunnel	42	1.4
	Detroit Windsor Tunnel	45	1.3
	Squirrel Hill Tunnel	42	1.4
	関門トンネル	28	2.1
	Lincoln Tunnel	42	1.4
Holland Tunnel	42	1.4	
その他の場合	集合場	6~12	5~10
	デパート	4~8	7.5~15
	劇場	2~20	3~30

この表でわかるように、道路トンネルの換気設備は、他の場合に比べて、はるかにひんぱんに空気を入れかえる必要があり、したがって規模も大ならざるをえないのである。

この換気回数で 60 分を割ったものが、表-1 の最右欄に示す 1 回換気するに要する時間であって、道路トンネルの場合は、1.3~2.1 分といったオーダーなのである。

いま、換気設備の工事費で、その重要性を示すと、関

門トンネルの場合は、総工事費（昭和 27 年度時価）80 億円のうち 21 億円、すなわち 26% を占めた。そして悪いことに、換気の必要性の高い、長大な道路トンネルほど、換気のために必要とする工費が飛躍的に増加するのである。

すなわち、いま交通量の等しいトンネルが 2 つあって、一方が他方の n 倍の延長があったとすると、必要空気量 Q は n 倍になる。したがって、同じ面積のダクトであれば、空気の色度は 2 倍となる。風圧 H は速度の 2 乗に比例し、所要馬力は、風圧 H と Q の積に比例するから

$$\text{所要馬力} \propto H(n^2) \times Q(n) \propto n^3$$

となる。すなわち延長の比の 3 乗に比例するのである。

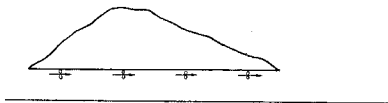
これが、長大道路トンネルの換気がむずかしいといわれる理由である。

(3) 換気問題の対策

したがって、換気の問題はこの機械的換気を、経済的な工費および維持費にいかにおさめるかが焦点となる。

最近、奥田トンネルなどに設けられたジェットファンによる換気方式は、図-3 のごとく、壁面にジェットフ

図-3 噴流式換気



ファンをつくる方法で、ダクト方式に比べて、著しく経済的である。

しかし、このようなトンネル方向に換気する縦流式では、おのずからトンネル延長に限界がある。

したがって、長大トンネルの場合、換気用ダクトを設ける必要がある。そして、延長が長くなるにつれて工事および維持費が前述のごとく増大する。これの対策としては、換気のためのダクトの面積を大きくする方法と、一方、モンブラン トンネルのように交通量を制限する方法とが考えられる。

交通量を制限する方法は、道路トンネルの交通能力を殺すことになるから本来望ましい方法ではない。一方ダクト面積を広くする方法では、長大トンネルの場合、主トンネルの大きさ以上のトンネルを掘らざるを得なくなる場合も起こってくる。このような場合は、そのための土木工事費が大きくなる。

要は、そのトンネルの経済効果と工事費とのバランスによる。

(4) 鉄道トンネルとの併設

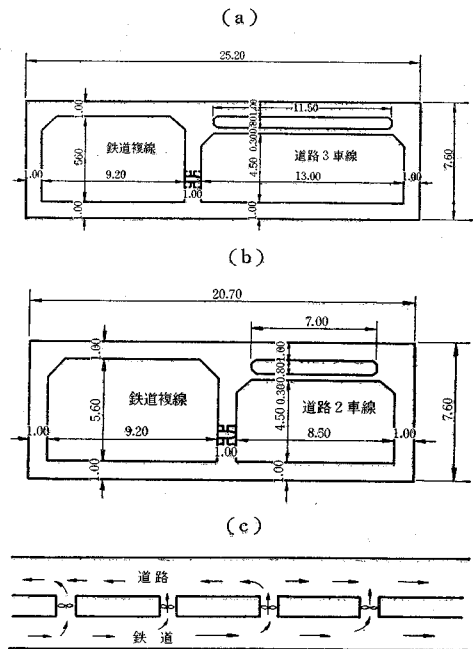
上述のような、大きな換気用送気ダクトが必要ならば、これを鉄道トンネルとして利用し、道路トンネルと

鉄道トンネルの併設案が考えられる。現在までのところまだ実施例はないが、当然考えられることであるから、一言述べておくこととする。

図-4 の (a), (b) はそれぞれ道路 3 車線と鉄道複線、道路 2 車線と鉄道複線の併設トンネルの断面である。また (c) は、その間の空気の流れの模型図である。

この方法によれば、概算であるが送風機の所要圧力を 150 mmAq に押えて、1 車線 1500 台/時の交通量があっても、ほぼ 5 km の延長のトンネルを換気可能となる。しかも、鉄道トンネルとしても有効に使用されることとなる。

図-4 道路トンネルと鉄道トンネルとの併設



5. 道路トンネルの防火

(1) 道路トンネルの火災

昭和 43 年 3 月 5 日の国道 1 号線の鈴鹿トンネルの火災事故は、記憶に新しいところである。幸にして死傷者はなかったが、トラック 13 台が炎上した。

自動車火災は、死傷者 10 名以上のものが、昭和 26 年から 36 年までの間に、14 件起こっており、自動車の火災発生率は案外高く 2250 万台 km あたり 1 件である。

高速走行中の発生率は、より高くなることは考えられよう。火災が、道路トンネル内で発生する確率は、道路トンネルの延長が道路総延長の中に占める百分率からいって当然わずかなものであるが、もしいったん火災が発生すれば、鈴鹿トンネルのように大事に至る可能性がある。

この数ヵ月後に起こった関門トンネルの火災では、火災報知機、消火栓、消火器などの消火設備の完備と、機敏な処置により、初期消火に成功し、被害を最小にとどめることができた。

したがって、消火設備は、その延長、交通量、重要性などに応じ、適当な規模のものを設ける必要がある。

(2) 防火設備の種類

防火設備は、大別すれば、火災検知装置、通報装置および消火設備などにわかれる。その内容は表-2のごとくであり、トンネルの重要性に応じ、その全部または一部を設けるのが望ましい。

表-2 道路トンネルの防火設備

区 分	内 容
火災検知装置	火災検知機、工業用テレビなど、道路トンネル内の火災の発生を検知するための装置
通 報 装 置	電話、交通信号などの火災を通報したり、警報を発したりするための装置
消 火 装 置	消火器、消火栓、スプリンクラーなど消火するための装置

(3) 火災検知装置

火災の検知としては、通行者よりの通報が一番確実であり、交通量の少ない重要でない道路の場合は、これによることも考えられるが、交通量の多い場合には、できるだけ早く検知して連絡し、交通止めをし、また自動車のガソリンに引火して火災が拡大するのに応ずるための消防車の応援を求める必要がある。

自動的に火災を検知する装置として、道路トンネルに使用されているものには、熱感知式と輻射感知式の2種類がある。

熱感知器は、火災の熱による管内の空気の膨張で電気接点がついて通報するもので、輻射感知器は、火焰より発する赤外線を検知するものであり、最近はこの方式が用いられている。表-3 に、火災感知機の設置例を示す。

表-3 火災感知機の設置例

トンネル名	種 類	備 考
関 門	差動式熱感知式	片側 30 m, 両側千鳥式
栗 子 名神および東名高速 道路 六 甲	赤外線定幅射式	

(4) 消火設備

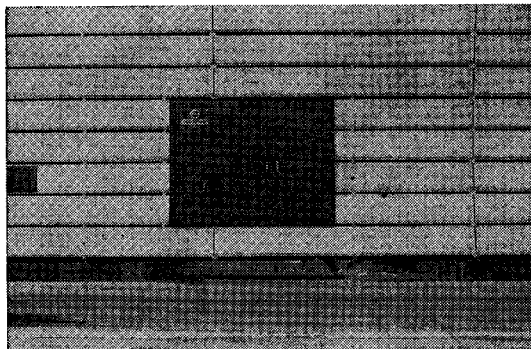
初期消火は、消火器によることは一般の火災と同様であるが、自動車火災には油性火災が大部分であるから油性火災に効果のある消火器、砂袋を用意すべきである。

消火器の配置間隔は、天王山、梶原、蟬丸トンネルでは 48 m、関門、千代田、栗子トンネルでは 50 m、六甲トンネルでは 200 m である。

消火栓も、自動車の積荷火災などに対し有効な消火手段である。消火栓の間隔は、ホース長と到達距離を考えて配置すべきであって、わが国の場合 48~100 m 置きに設けられている。

その他、送風ダクト内にスプリンクラーを設けている例もある。

写真-2 東名高速道路のトンネル内消火栓
(消火器、火災報知機の格納箱)



6. 道路トンネルの照明

(1) 照明の必要性

在来、道路トンネルの照明は軽視されてきたが、ここ 10 年来

① 道路トンネル内の見え方を良好にし、安全性を確保する。

② 道路トンネル内の快適性を向上する。

ために、多くのトンネルで、照明が設備されている。

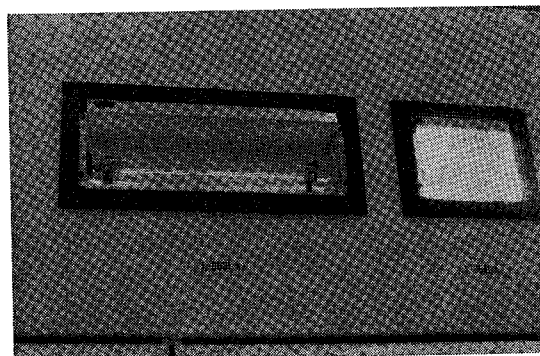
道路トンネルの照明は、大きく分けて

① 内部照明

② 入口部照明……緩和照明

の2つにわかれる。

写真-3 ナトリウム灯



灯器についても、多くの進歩が行なわれ、在来の白熱灯に代わって、蛍光灯あるいはナトリウム灯のような効率の良いものが使われている。ナトリウム灯は、演色性は良くないが、煙霧の場合の物の見え方が良いので、最近さかんに使われている。

(2) 内部照明

内部照明はトンネルの内奥部を明るくするためのもので、トンネル内の自動車の走行速度に対して必要な見通し距離が確保されなくてはならない。

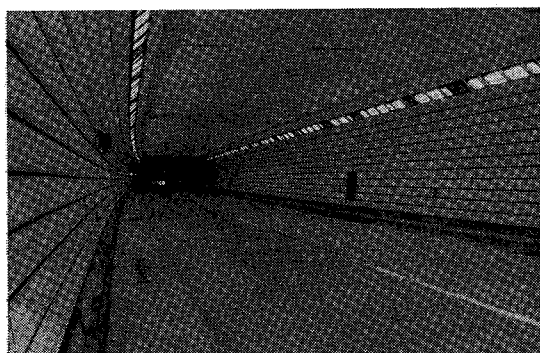
一般的に、つぎのことがいえる。

① 設計速度の高いほど、内部照明は明るくしなくては行けない。路面の平均照度は、トンネル内の車両の設計速度に応じ、表-4のごとくとると良いといわれているが、交通量、路線の重要性も考慮する必要がある。

表-4 内部照明の照度と設計速度

設計速度 (km/h)	路面の平均照度 (lx)	
	コンクリート舗装	アスファルト舗装
120	120	200
80	60	150
60	30	50
40	20	35

写真-4 道路トンネルの照明



② しかし、あまり高い照度は、空気中の煙霧に反射されてかえって良くない。

③ 路面照度は均斉であることが要求され、明暗のまだらは良くない。均斉度は最小/平均が 1/3、最大/最小が 6 程度が推奨される。

④ 対象物が浮び上がるような照明であるためには、壁面、天井などの仕上げ、色彩なども関係する。

(3) 入口部の照明……緩和照明

昼間、晴天の道路から、トンネルに入ると目になれるまで、ほとんど物が見えなくなって、方向を失うことがある。これを盲目現象といい、自動車の運転上、非常に危険である。

したがって、トンネル入口部において、トンネル外の

明るさと、トンネル内の明るさとの急変を避けるための緩和照明をつくるのが、トンネル入口の運転を安全にするために必要となる。

このため、トンネル入口部の照明を特に明るくする方法がとられている。すなわち、この部分だけ灯器の間隔をせばめて、灯数をふやすのである。

この場合、トンネル外の輝度が大きく影響する。すなわち、運転者がトンネルに入る前に見ている野外輝度、たとえば、トンネル坑門面壁や、その付近に設ける換気所などの視界に入るものの輝度を低くしておけば、この緩和照明は低くてすむこととなる。

したがって、トンネル坑門壁を灰色がかった色にしたり、粗にすることが最近行なわれるようになった。

また、入口照明をこのように人工照明で行なうことが一般的であるが、逆に自然光をさえぎるひさしのようなものをトンネル入口から坑外に出し、自然光を緩和して、目をならさせる方法が、わが国でも二、三実施されている。このルーバ方式は、人工照明にくらべ、維持管理費はきわめて安い、初期投資額は高くなる。しかし、自然光を利用しているため、走行感が良いように思う。

照明は、野外の輝度との関連で、必要照度に変化するから、夜間とか雨天、曇天の場合は、照度を下げてよい。そのため、照明は普通 1/2 ないし 1/3 というように、状況に応じ減灯しうるよう配線することが、維持費の上からいっても経済的である。

7. 道路トンネルの内部仕上げ

関門トンネルの建設に当って、当初壁面全面タイル仕上げを考えていたが、予算の関係上、腰高のみで止めた。しかし、今になってみると、予想にたがわず自動車の排気ガスの煤煙のため、完成当時の明るいコンクリート面は見られず、照明の光もほとんど反射せず、暗いトンネルになってしまった。道路トンネルのように閉ざされた空間で、煤煙の発生する場所で、しかも延長の長い場合では内装の必要があると考えてよいであろう。

道路トンネルの内部仕上げの目的は、

- ① 壁面などの反射率をあげ、照明効果を大にする。
- ② 覆工仕上げの不陸を調整する。
- ③ 漏水を壁面に露出しないようにする。
- ④ 電線などをできるだけ露出しないようにする。
- ⑤ トンネル内の騒音を吸収する。

などが考えられる。

道路トンネルの場合、利用者が一般大衆であって、トンネルの美観を保ち、走行の快適性を確保するというばかりでなく、さらに換気および照明設備の効果を高め、交通安全性を高めるという実際上の効果もあるもの

と考えるべきであろう。

最も簡単な方法として、コンクリート壁面にペンキを塗って、反射率を高める方法がいくつかのトンネルで試みられたが、いずれも失敗におわっている。当初はよいが、次第に煤煙が付着してしまうのである。

つぎに、モルタル仕上げをした例があるが、これも同様に、煤煙が容易に付着してしまう。

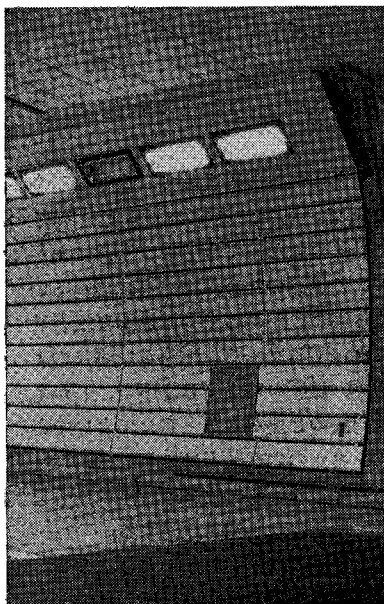
これに反して、タイルは光の反射率が、コンクリートよりも高く、煤煙が付着しにくく、また付着しても容易に清掃できるという長所を持っている。

しかし、表面が平滑であるから音を反射し、騒音を助長する。道路トンネルの壁面にタイルを貼ることを強く主張したのは、Holland Tunnel の初代の工事事務所長であった Holland であって、騒音の吸収という⑤の条件は満たさないが、それを犠牲にしても、タイル貼りにすべきであると述べている。

この光の反射率を良くするということと、消音効果ということは全く相反する性質であって、各国とも頭を悩ました問題と思われる。

今回、東名高速道路のトンネルでは、写真-5 のごとき壁面を設け、吸音、照明および洗浄のいずれをも満足するもの考えた。

写真-5 東名高速道路のトンネル内部仕上げ例



これは、コンクリート壁面より 10 cm 内側に突出して細長いパネルを設けているもので、音はこれらのパネルのすき間の消音スリットを通して吸収され、パネル表面は明色で洗浄も容易になるよう工夫されている。

道路トンネル内部仕上げが、前述のように交通安全にも必要であることからいって、道路の重要性に応じ、な

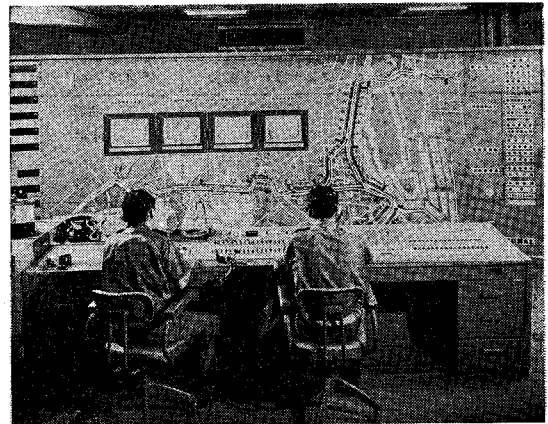
んらかの工夫が必要なのである。

8. 道路トンネルの交通管理

(1) 交通管理の必要性

以上のような換気、照明、消火設備を設けても、なお交通事故の発生を防ぐことはできない。交通事故が発生した場合の交通整理、あるいは交通事故の発見、それに応じた交通管理の必要性は、道路トンネルが一般大衆によって利用されることに起因する特別な問題である。火災の場合も、被害を最小とするため、交通止めする必要がある。

写真-6 首都高速道路公団・千代田トンネルにおける TV を利用した交通監視



首都高速道路公団では、写真-6 のように工業用テレビによって、千代田トンネル内の交通監視と管制を行っている。

その他のトンネルでは、監視員通路を設けている例が多く、その幅は普通 70~100 cm である。アメリカの水底トンネルでは、監視ボックスを設け、常時監視員が監視しているトンネルもある。

(2) 電話

普通の場合、この監視をパトロールによって行ない、パトロールの電話連絡によるか、あるいは交通者からの電話によって情報をえるようにしている。

写真-7 は、そのための非常用電話を示す。電話は自動車の故障、交通事故の発生、火災および維持補修用のいずれにも使え、また情報がはっきり確実に伝えられるという利点がある。

既設トンネルにおける電話の間隔は、汐留、羽田、千代田トンネルで 180 m、六甲トンネルでは 200 m、笹子トンネルで 300 m である。

写真-7 蒲原トンネル内の非常電話設置例



(3) 交通信号

このような情報から、交通止めをしたり、通行車に連絡する方法としては、監視員による管理、および交通信号が用いられる。

交通信号は、赤、青の2位式とするのが普通である。

そして、ある場所で事故が起こり、交通止めすれば、その点より手前のすべての信号は赤に変える必要があるから、操作盤で、一つの交通信号を赤にすれば、それより手前の信号はすべて赤になるように工夫されている。

なお、「エンジン止める」というような点滅式の交通信号を使用している例、通行車のラジオ向けにそのトンネルのみの交通情勢、連絡事故を放送している例も、合衆国のトンネルにある。

9. む す び

以上のような道路トンネルの諸問題は、いずれも道路トンネルであるがゆえに起こる問題であって、しかも道路トンネルの効果的利用といった面から等閑に付すことのできないものである。したがって、いずれの点についても今後の進歩改良を要望されるものである。

出版案内

申込先：東京都新宿区四谷1丁目 土木学会へ 振替東京16828番

土木技術者
のための

岩盤力学

地質の地盤はさまざまな重要な土木構造物の基礎になっている。トンネル、ダム、地下発電所、橋梁などその例は数多い。

本書では、土质地質学、岩石の力学的性質、岩盤の強度および変形に対する理論的あるいは模型実験的解析法、岩盤の性質におよぼす透水の影響、斜面安定、掘削、ダム、トンネル等に対する岩盤力学の応用および最近の重要な研究紹介などをできるだけ平易に解説しました。とくに岩盤力学を使って設計施工が行なわれたわが国の工事例を多数集録したのが本書の特色であり、ぜひご一読下さるようおすすめします。

内 容：第1章 地質／第2章 岩石の性質／第3章 岩盤の試験／第4章 水と岩盤／第5章 岩盤力学における理論計算／第6章 すべり安定の計算／第7章 模型実験／第8章 掘削／第9章 ダムへの応用／第10章 トンネルへの応用／第11章 施工中および施工後の測定／第12章 最近の基礎的研究のすう勢

体 裁：B5判本文8ポ一段 489ページ

定 価：3600円 会員特価：3000円 送 料：200円