

4. 施工中のトンネルにおける火災防止対策

前 郁 夫*
花 安 繁 郎*
鈴 木 芳 美*
堀 井 宣 幸*

Preventive Countermeasures against Fire in Tunnelling Work

by I. Mae*
S. Hanayasu*
Y. Suzuki*
N. Horii*

It may be considered that the probability of occurrence of accidents due to fire in tunnelling work has been increasing since the introduction of the increased use of combustible materials and the increment of the activities using fire in the construction process. In fact, not a few serious accidents due to fire in tunnelling work have taken place recently.

However, to date, there has been insufficient fire safety consideration in tunnelling work ; therefore this paper deals with preventive countermeasures against fire in tunnels, especially in the construction stage.

Firstly, since a series of countermeasures against fire can be considered as a system, a plan for a fire safety system in tunnelling work was drawn up. The framed fire safety system in tunnelling work includes the following three kinds of sub-systems as a whole.

- S1 : prevention of occurrence of fire in tunnels
- S2 : prevention of fire spread, fire extinguishing, and smoke control
- S3 : workers' emergency escape and rescue of workers

Secondly, in order to pursue the objectives of the fire safety system in tunnelling work, basic requirements for each sub-system were pointed out.

Finally, for the purpose of preventing fire in tunnelling work, it may be concluded that various types of safety programs related to fire safety system should be carried out simultaneously and comprehensively in accordance with individual tunnel characteristics. And, though accidents due to fire are occurring in the construction process stage, these countermeasures should be prepared for not only the construction process stage but also the design, cost estimate, and execution planning stage.

4.1 はしがき

これまで、トンネル建設工事中に大規模な火災事故が発生することは比較的まれであった。その大きな理由として、我が国特有の地形、地質的要因から、ほとんどのトンネルでは掘削に伴って湧水がみられ、坑内が湿潤な状態に保たれていることがあげられる。

しかしながら近年では、トンネルの需要が増え、施工されるトンネルの数が飛躍的に増大し、建設されるトンネルが必ずしも湧水を伴うものばかりではなく、また、湧水対策はトンネルを施工するうえで最も重要な対策のひとつとして、これまで多大な努力が傾注され、さまざまな処理技術が開発された結果、坑内環境が湿潤であることもかなり減少してきている。さらに、施工技術の進展に伴い、使用される建設資材が、易燃性材料、高分子材料が大量に利用される傾向が強まる一方で、ガス溶接・溶断等の直接火気を使用する機会が増えており、また、換気設備を設置して、内燃機関を使用する頻度も増えてきている。これらのことから、トンネル施工中に火災事故が発生する危険性は増大していると考えられ、事実、大規模な火災事故が最近いくつかの作業所で発生するに至っている。

いったんトンネル坑内で火災が発生し、初期消火が遅れ延焼が拡大すると、坑道内は煙、有害ガスが充填し、視界は阻害され、また呼吸も困難な状態となる。また、トンネルでは、火災時に作業員が坑外へ脱出する避難口は、通常坑口のみというトンネルの特殊条件から、避難対策上厳しい制約条件がある。

したがって、トンネル坑内火災は、坑内作業員にとって重大な危険性が予想され、火災対策としては、その発生防止対策はもとより、火災が発生し延焼した際の避難対策についても十分考えておく必要がある。

さて、これまでに、火災時の緊急避難対策について行われてきた研究は、ビルや劇場などの、長期間にわたり多数の人間が使用する建築物内での避難問題が主なものであり、¹⁻⁴⁾ 土木構造物に関しては、鉄道トンネルおよび道路トンネルでの供用時における火災対策についての報告がみられる。⁴⁻⁶⁾ また、トンネル工事と類似性を有する炭坑では、メタンガスの発生に伴い、火災あるいは爆発へ移る可能性を潜在的にもっていることから、火災・爆発に対する防災、保安対策は、古くから重要な課題としてとりあげられている。^{7,8)}

本報告は、トンネルの施工途上における火災防止対策について、これまでとりあげられることの少なかった緊急時の避難対策等も含めて、広く検討した結果をまとめたものである。

4.2 トンネル坑内火災防止システムの構成

施工中のトンネル坑内（坑口付近も含む）で火災が発生したときの坑内作業員の安全問題を考えるには、まず、掘削方式や坑口形式、断面などの、施工するトンネル自体の構造的要因と、坑内に滞在する作業員の行動を支配する人的な要因、および坑内での火災や煙などの広がりや決定する物理的な要因を考えなければならない。これらの各要因は、お互いに複雑に関連し合いながら、坑内作業員の安全性を規定している。

ところで、トンネルの坑内火災の安全対策を考えるに当たっては、上に述べた物的、人的な要因に対するさまざまな対策を検討しなければならないが、これらを全体として把握するためには、火災に対して人の安全を確保するためにとられる一連の活動をシステムとしてとらえて考察するのが便利ではないかと思われる。近年、多数の要素がお互いに複雑に関連し合った事柄を分析するための有力な手段として、システム分析手法が注目されており、火災防止の分野でも、都市防災⁹⁾、ビル火災¹⁰⁾等に関して活発な研究が行われている。ここでは、堀内・小林による都市防災システムに関する研究⁹⁾を参考にして、トンネル坑内火災に関する防止システムの構成を試みる。

システムとは、「多くの要素が互いに関連を持ちながら、全体として共通の目的を達成しようとしている集合体」と定義されており、¹¹⁾今回対象とした、施工中におけるトンネル坑内での、火災に対する防災システムの全体を構成してみたのが Fig. 4.1 である。同図に示されるように、火災防災システム全体は、S₁～S₃までの3つのサブシステムから構成されており、システム全体としての目的は、トンネル坑内火災から坑内作業員の安全を確保することであり、START で始まり STOP までの流れが満足されてはじめてこのシステムの目的が達成されることになる。以下に、このシステム全体を構成する、各サブシステムの目的と、その内容について述べてゆく。

(S₁) 火災発生防止は、トンネル坑内における火災の発生自体の可能性を無くすことを目的としており、並

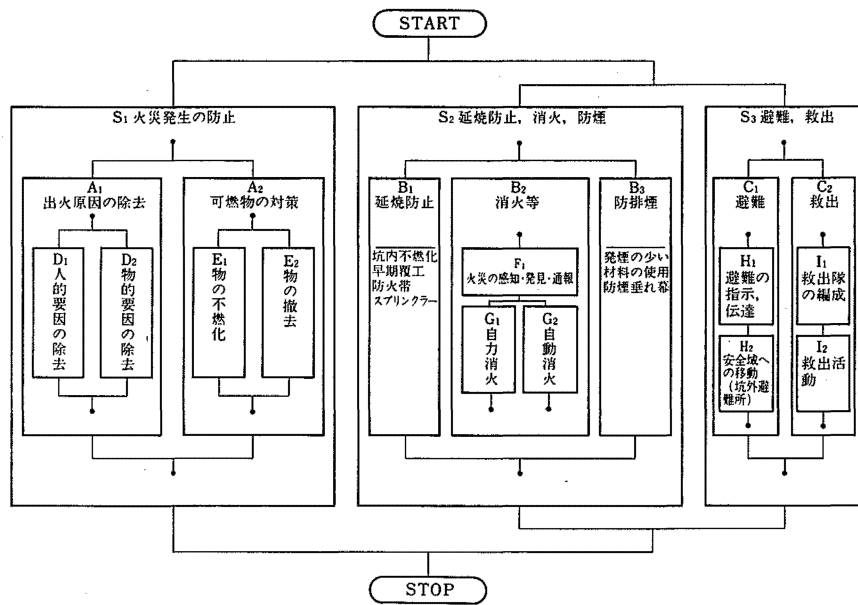


Fig.4.1 Structure of fire prevention system in tunnelling work
坑内火災防止システムの構成

列なシステム A1「出火源の除去」および A2「可燃物の対策」から成っている。A1 はさらに、並列なシステム D1「人的要因の除去」と、D2「物的要因の除去」とに分割され、D1 は煙草の火の不始末などの、人間の不注意による出火原因を除去することであり、また、D2 は電気設備などの物による出火原因を除くことである。一方、可燃物の対策 A2 も、同様に 2つの並列システム E1「物の不燃化」と、E2「物の撤去」に分割される。E1 は現在使用中の物の機能を維持したまま不燃化対策を講ずることにより、着火の可能性を無くし、また E2 は、可燃物の存在そのものを無くすこと、あるいは不燃、難燃物に置きかえることによって出火原因を除去することである。

(S2) 延焼防止・防排煙に関するサブシステムは、火災発生防止が出来なかった時に、延焼が広がるのを出来るだけ少なく、かつ時間的に遅くすること、および発生した煙を出来るだけ広げないことを目的としたシステムである。同システムは、さらに、B1「延焼防止」と、B2「消火」、および B3「防排煙」の並列なシステムに分割される。B1 はトンネル坑内を出来るだけ不燃化することや、場合によっては防火帯を構築することによって、坑内での延焼を防ぐことを目的とするものであり、B2 はいわゆる消火設備や消防力により、延焼を初期段階で食い止めることを目的としたシステム

で、システムとしてはさらに「火災の感知・発見・通報」と、それに引き続いて「自力消火」および場合によっては「自動消火」に分割される。さらに B3 は、煙を出来るだけ発生しない資材を用いることや、発生した煙の伝播を出来るだけ食い止めることを目的としたシステムである。

(S3) 避難・救出システムは、火災発生後の状況により、トンネル坑外の安全域へ、出来るだけ短時間のうちに脱出すること、あるいは坑内避難所に籠城した作業員や、逃げ遅れた作業員を、出来るだけ早急に救出することを目的としたシステムである。このシステムでは、すみやかに避難行動(脱出、籠城)を行うことを目的とするシステム C1 と、火災性状、避難状況に応じて、救出活動を行う目的のシステム C2 とに並列的に分割される。避難システム C1 では、避難が必要と判断されたとき、出来るだけ早く避難の指示を出すこと、およびその情報を坑内作業員全体に伝達するシステム H1 と、指令を受けた後、短時間のうちに坑外へ脱出する、あるいは坑内避難所に退避して救出を待つシステム H2 の、直列的なサブシステムに分かれる。一方、救出システムにあっては、救出隊をすみやかに編成するシステム I1 と、編成後のすみやかな救出活動を行うことを目的とするシステム I2 との直列的なシステムに分割される。

Table 4.1 Countermeasures against fire corresponding to fire process in tunnel
火災状況に対応した対策

火災現象			対 策				
場所	時間的経過			該 当 す る シ ス テ ム と そ の 内 容			
	状況	熱	煙	発生防止	延焼防止・防排煙	消 火	避難救助
火源	潜在 ↓ 出火	着火	発煙	A1 出火原因の除去 D1 人的要因の除去 ●ガス溶接、溶断作業の措置 ●火気使用場所の火災防止措置 ●危険物等がある場所における火気等の使用禁止		F1 火災の感知・発見 ●火災感知器の設置 ●火気使用箇所での監視人の配置 ●通報設備の設置およびその明示 ●通報連絡システムの確保 ●警報設備の設置およびその明示	
				D2 物的要因の除去 ●電気設備の出火防止			
火元付近	成長 ↓ 延焼	延焼	発煙増大	A2 可燃物対策 E1 可燃物の不燃化 ●材料の不燃化	B3 防煙対策 ●発煙の少ない材料の使用	G1 自力(作業員による)消火 ●消火器等の設置および保守・点検 ●防火槽、防火砂の設置 ●坑内水栓の設備 ●初期消火の実施	H1 指示・伝達 ●通報連絡設備の設置およびその明示 ●連絡体制の確保
				E2 可燃物の撤去 ●易燃性材料等を使用しない工法、作業の採用 ●ボロおよび油脂類の処理 ●火薬類等の容器の管理 ●可燃性資材の管理	B1 延焼防止 ●早期覆工の実施 ●防火帯、防火戸の設置 ●スプリンクラーの設置 ●坑内設備の不燃化		
坑内全体	延焼	延焼拡大	坑内伝走		B3 防排煙対策 ●防煙幕の設置 ●排煙設備の設置	G2 機械設備による消火 ●本格的消火設備の設置(スプリンクラー)	H2 安全域への移動 ●避難通路の確保 ●避難用具の設置および管理 ●避難用設備の設置および管理 ●避難訓練の実施 ●避難所の設置
						●消防署による消火	I1 救出隊の編成 ●救護、救出用具の確保 ●救急医療薬品等の整備
							I2 救出活動 ●救出訓練の実施 ●連絡体制の確保 ●入坑入員の確認

以上、トンネル施工中における坑内火災に対処するために考えられるさまざまな対策を、防災システムとして全体を把握したが、以下の各章では、各システムごとの個別的な対策についての問題点を検討してゆくことにする。

4.3 トンネル坑内防火対策

火災対策としてもっとも基本となる対策は、考えるべき対象が、施工中のトンネルであれ、あるいはビルであれ、要は火災を発生させない措置を講ずることがまず第1であり、ついで、いったん火災が発生した場合に、初期段階で火災を食い止め、延焼拡大を阻止する措置を講ずることである。これら、発生防止および延焼拡大防止を目的とした一連の措置のおおまかな枠組みは、前章のS₁およびS₂システムで述べたとおりである。これらのシステムでは、おもに、設備や資材の整備に関連した事柄が多いので、本章ではS₁、S₂システムでの対策をまとめて論ずることとした。

さて火災現象を、その最初の出火から、時間の経過とともに成長・拡大して、ついにはトンネル坑内全体までに火災が及ぶまで、順を追って列記し、その各段階ごとに対応する対策を、発生防止、延焼防止、防排煙、消火、避難・救出の各システムごとに分けて、一覧として示したのがTable 4.1である。同表からもわかるように、トンネル坑内火災の防火対策は、単一の方法によるだけでは不十分であり、火災現象の各段階に対応して、各種の対策を組合せた総合的な対策でなければならない。ここでは、設備面での対策を中心とした、発生防止、延焼防止、防排煙、消火について述べ、避難・救出については次章で述べる。なお、同表中の対策にもあるように、施工中のトンネルにあっては、設備面での整備による対策以外に、資材等の管理もまた、安全対策上重要な位置を占めるので、管理面での安全対策もあわせて述べることにする。

なお、設備面による火災安全を考えるに当たって、建築物（ビル）での火災安全ではとくに、建築物の設計当初よりあらかじめ防災上賦与されている耐火性・内装などの受動（Passive）システムと、火災時にはじめて動き出す感知・消火等の設備による能動（Active）システムとに分けて考えているが^{10,12)}この問題については「あとがき」で触れることとして、ここでは厳密に受動、能動とに区分けして考えないことにする。

4.3.1 火災発生防止

火災発生防止措置のおもな内容は、前章で示したように、出火原因（火源）の除去と、火源周囲の可燃物への着火を防ぐことである。

まず火源の対策としては、ガス溶接、溶断作業のほか、喫煙所、ストーブ設置箇所などの直接火気を使用する作業や場所での火気管理を徹底することと、高圧電気設備の漏電などによる物の出火原因を除くことである。近年の大型化したトンネル工事では、ガス溶接溶断作業を行う機会が増えており、これまでに発生した施工中における大規模な火災事故は、いずれも、ガス溶接、溶断作業中での出火が原因となっている。したがって、坑内でガスまたは電気による溶接、溶断作業を行う際には、厳重な火気管理が要求される。

具体的な措置としては、労働安全衛生規則で定められた事項以外に看視人を配置するとともに付近の可燃物を除去、または可燃物に不燃性の覆いをかけることや、作業箇所付近に、消火器、水、砂などを置くこと、あるいは、作業終了後に作業箇所の火気点検を行うことなどが考えられ、作業標準としてこれらがまとめられ、関係労働者に周知徹底させることが望まれる。

他に火気を必要とする場合として、坑内では湧水のため、衣服の乾燥、採暖を行うことがあるが、この場合は、坑内に火気使用場所を設けて火気を管理する必要がある。このほかに、坑内において火薬類、危険物その他大量の易燃性の物が存在する場所では、火気等を禁止するなどの火気管理措置、および喫煙に関しする火気管理も必要な対策事項である。

上記の直接火気を取扱う場合以外の出火としては、前述の高圧電気設備の漏電による出火がある。すべての電気設備に漏電火災警報器を設置することは無理があるので、防災上重要な地点での電気設備に設置すること、あるいは消火器を取りつけるなどの措置が必要と思われる。

つぎに、可燃物に対する対策としては、まず、使用する材料の不燃化があげられる。すべての資材を不燃化させることは困難かつ不経済であるので、前述の火気使用箇所などを中心に出来るだけ難燃化の方向（難燃性合板、難燃性プラスチック、難燃性電線の使用）に向うことが望ましい。また、物の面での不燃化は限度があるので、可燃物の撤去・管理によって安全性を確保することも重要な対策である。すなわち、易燃性

材料を出来る限り使用しない工法，作業を採用すること，あるいは各種油類，火薬類，矢板，ブロック材などの可燃性資材は必要最小限度の量しか坑内には持ち込まないよう配慮することによって，坑内での可燃物の存在そのものを出来る限り少くなくすることが対策の第1の要件であり，ついて坑内に持ち込まれた可燃物，あるいは作業を行う過程で発生する，木屑や油のしみ込んだボロなどを管理することである。矢板類の資材は，坑口付近や，作業坑と本坑交点付近の資材置場に山積みされることが多いが，追って述べるとおり，これらの場所は避難行動の際の重要な地点であるので，特に嚴重な火気管理が要求される。木屑，ボロなどは不燃性の容器に収納するなど，日常的な整理整頓が大切である。また，火薬類，危険物，ガス溶接用容器などは，坑内坑外を問わず，保管場所を定め火気管理を徹底することが必要である。

4.3.2 延焼防止・防排煙

不幸にして坑内で火災が発生したときに，火災を一部の区域に局限して，坑内全体へ延焼するのを防ぐことや，延焼する時間を出来るだけ遅らせること，および，煙の発生を出来る限り少くすることや，発生した煙の伝播を食い止めることは，次章で述べる避難行動を容易にするための重要な対策のひとつである。

延焼防止のための基本的な対策としては，前節で述べた，使用資材の難燃化，可燃物の撤去・管理に加えて，風管や電線などの坑内設備を出来るだけ不燃化，難燃化することが，まずあげられる。とくに，換気用の風管は，発生した煙を排出するのに使用することもあり，また，燃えやすい材料の風管であれば，坑内全域にわたって延焼を促進させる要因ともなることから，鋼管製の風管や，難燃性プラスチックによる風管を用いることが望ましい。また，施工順序を工夫することによって，坑内延焼防止効果を高めることも考えられる。たとえば，延長の長いトンネルでは，覆工を早期に実施することによって，建込まれた矢板類の延焼を防止することが可能となる。この早期覆工の実施はとくに，メタンガス等の可燃性，爆発性を有するトンネルでは，延焼防止効果以外に，ガス湧出阻止の効果もあるので，ガス湧出トンネルでの対策としては有効な方法と思われる。このほか，延焼を防止するための設備としては，炭坑での耐火，防火地帯，あるいはビルでの防火区画のように，防火帯，防火戸を設けること，

あるいは消火をかねたスプリンクラー設備など，本格的な施設が考えられるが，これらの施設を，施工中のトンネルに実際に設置したという例は，これまでのところみられない。これらの施設を，どの程度の規模の施工中のトンネルに設置すべきかは，いちがいに決められないが，たとえば，長大高速道路トンネルでは，供用時における車火災防止のために，大規模なスプリンクラーを設置することが増えてきており，スプリンクラーを設置することがあらかじめ決められているならば，トンネル工事終了後の設備工事としてスプリンクラーを設置するのではなく，トンネル施工と並行してこれらの設備を設置することにより，施工途上での防災も確保することが可能ではないかと思われる。つぎに，煙に関する問題であるが，近年の建築火災，特に耐火造建物内での火災による死亡原因の主なもの，有害ガスを含む煙であると指摘されており，人命危険に最も関係の深い問題として，煙・有害ガス対策は重視されつつある。煙・有害ガスは，濃煙による人間の透視距離の減少という視覚的障害や，呼吸障害，刺激性，中毒性，致死性などの生理的障害を与えるほか，避難者に与える心理的影響も大きいとされている。³⁾ トンネルのように閉塞断面が長く続く空間では，とくに煙による作業員への危険性が大きいと考えられ，延焼防止対策と並んで，十分な対策が必要とされる。

防煙対策としては，まず，可燃物の不燃化と同様に，出来るだけ発煙性の少ない資材を用いることによって，発煙を制御することがあげられる。一般にプラスチック系の材料は，木質系材料よりも発煙速度（単位時間当たり単位重量当りの発煙量）が高いことが知られており，また同じプラスチック系材料でも，材質によって発煙速度にかなりの開きがあるので，出来るだけ発煙速度の小さな資材を選定することが望ましい。つぎに，排煙であるが，施工中のトンネルで，排煙機を設けたという例は聞いたことがなく，換気に用いているダクトによって排煙を行うというのが実情ではないかと思われる。この場合，換気方式が押込式であれば，発生した煙の伝播をかえって早くしかねず，また，吸込式であっても，火点上方からの排煙であれば，火災をその方向に導き，延焼防止の効果も同時に期待出来るが，出火点以外からの排煙ではかえって火災を拡大させるおそれもある。また，火災時には，換気装置を停止させると定めている事業所もあり，これら火災時における換気自体のあり方，換気設備によって排煙を行うと

した場合の、有効な排煙方法については、いまだに未検討な分野であり、今後の研究が望まれるところである。なお、これまでに行われたビル火災実験から周囲を遮へいした長い廊下を煙が伝播してゆく速度は、約1 m/secと推定されており、¹⁾換気設備による排煙方式のあり方を考える場合、この数値がひとつの参考値になるのではないかと思われる。最後に、防煙対策としては消極的ではあるが、比較的实际的と思われる、耐火性防煙垂れ幕によって煙の伝播を遅らせ、避難行動を助ける方法がある。避難距離が数kmにも及ぶ長大トンネルでは、簡易的なものであっても数カ所設置することによって、煙の伝播速度をかなり減少させることが出来るのではないかと思われる。

4.3.3 消火

坑内で火災が発生したときは、出来るだけ早く出火を発見して、消火により火災を初期段階で食い止めることは極めて重要な対策であり、また、実際に施工中のトンネルでの火災対策の力点は、おもにこの初期消火措置におかれている。

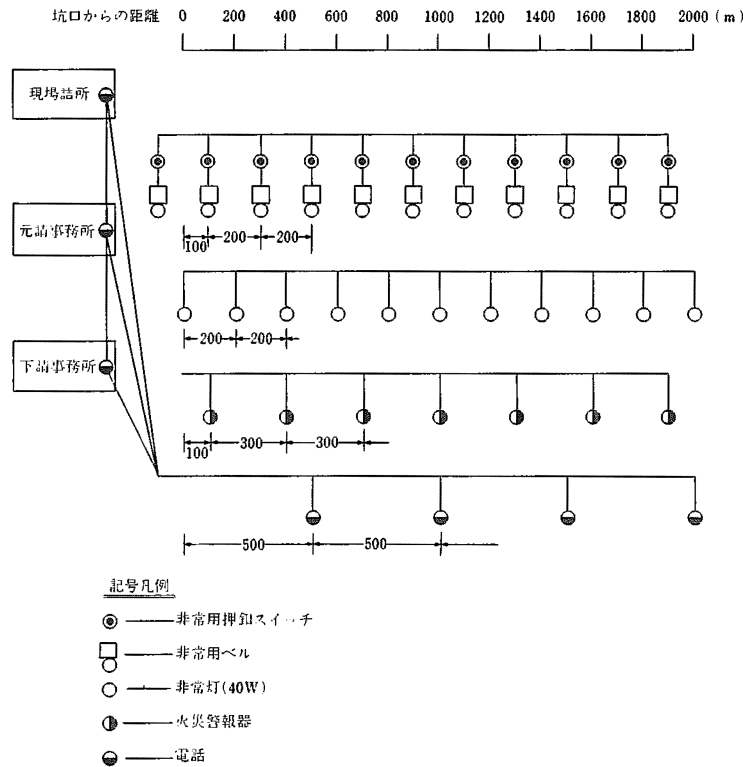
出火を早期に発見するために、施工中のトンネル坑内で火災感知器を設置している例は、非常に少ないようである。ガス溶接・溶断作業のように火気を使用する場所では、看視人を配置することによって、出火の有無を確認出来るが、資材置場や危険物設置箇所、あるいは電気施設、および喫煙所、暖房器具設置箇所など、常時人の目がとどかず、かつ出火のおそれがあり、防災上重要と思われる箇所には、火災警報装置（感知器）を取付けることが望ましい。感知器はその作動原理や特性によって、熱式、煙式、災式との3つに大別されるが、設置に当っては、設置箇所での想定火災に一番適合した種類を選定することと、トンネル坑内では湿気が多いことや、粉じんが多いことから、定期的に保守点検を行うことが必要である。火災感知器に比べて、緊急時の通報設備や、警報設備は、比較的多く設置されているようである。通報、警報装置には、電話、非常ベル、サイレン、スピーカーなどが考えられるが、ベルやサイレンなど音による警報の場合はあらかじめ警報音の種類を定め、関係労働者に周知徹底させておく必要がある。また、通報設備には設置箇所が容易に判断出来るように、螢光塗料塗布の表示ラベルや、表示灯を設け、特に電源を必要とする通報設備では、停電時でも機能するように、非常用電源を設けて

おく必要がある。Fig. 4.2は、筆者らがあるトンネル工事現場を見学した際に、仮りに2 kmのトンネルを想定して、通報・警報装置を設置する場合、望ましいと思われる配置計画の案を、作業所の職員の方に作成して頂いたものである。同図には、切羽のように移動してゆく作業箇所での連絡設備は載せていないが、固定的な配置計画を考えるには、大いに参考になると思われる。

火災が発生した際に、初期消火を行うために、消火器を設置することは、ほぼ普及しつつあると思われる。初期消火のための設備には、消火器（粉末ABC消火器、または強化液消火器が良いとされている）のほか、ドラム缶などを利用した水槽（不燃性のバケツを備えておくこと）や防火砂箱（砂とスコップを入れておくこと）および坑内水栓などがあり、配置が必要と思われる箇所としては、溶接・溶断作業箇所、火気使用箇所、電気設備設置箇所、危険物貯蔵箇所、あるいは資材置場などがある。消火器は、使い慣れていないと、実際の時にはあわててしまい仲々うまく使えない様なので、消火訓練を日頃から十分に行うことと、防災上特に重要な箇所（たとえば斜坑底付近の資材置場）では、消火器のほかに防災水槽、坑内水栓などを設置することにより、消火器以外の代替手段によっても消火を行えるようにしておくことが望ましい。また、消火器は感知器と同様に、定期的な保守点検によって、常にその機能を維持しておくことが大切である。上に述べた消火設備以外には、スプリンクラー等による本格的設備が考えられるが、防火の節でも述べた様に、どの程度の規模の施工中のトンネルで、これらの設備が必要とされるかは未解明の問題である。

4.4 避難・救出

トンネル坑内で火災が発生、延焼したときに、坑内にいる作業員が安全な場所へ移動して身の安全を守ることを一般に「避難」と呼び、また避難に失敗して行きだおれになった者や、坑内で籠城した作業員を、早期に助け出す作業を一般に「救出(または救助)」という。避難対策とは、この避難を達成するための諸々の対策であり、前章までに述べた、可燃(発煙)材料の抑制や防煙対策、および火災の早期発見、通報ならびに初期消火対策は、避難行動を容易にするという目的も含まれているので、広い意味での避難対策と考えら



事項

- ①非常連絡用電話器 元請事務所，現場詰所及び坑内
500m毎に設置
 - ②火災警報器 坑内300m毎に設置
 - ③非常灯 案1 坑内200m毎に設置(そばに携帯
用照明器具を設置)
案2 坑外に非常用電源装置を設置し，
自動切替とする。又照明器具は
坑内蛍光灯を使用する。
 - ④非常用警報ベル }
 // 押ボタンスイッチ } 坑内200m毎に設置
- ※上記使用ケーブルは耐熱又は耐火電線を使用する。

Fig.4.2 Layout planning of emergency devices in tunnel
坑内非常装置配置図(案) L=2000m

れる。しかしながら、これだけでは十分な対策とは言えず、さらに適切な避難計画が策定され、それに基づいた対策が実施される必要がある。避難計画・対策については、たとえば非常時における人間の心理状態や、行動特性などについて、全く解明されていない分野が多く残されているなど、不明確な点が大変多いが、本章では、施工中のトンネルでの避難対策を考えるに当って重要と思われる点について検討する。

4.4.1 避難対策の原則³⁾

避難対策を立てるには、発生防止、延焼防止等の対策と同様に、さまざまな対策を検討する必要がある。ところで、避難対策を考えるに当って、建築火災におけるこれまでの数多くの災害事例や経験から、いくつかの重要な一般的通則が、定性的ではあるが得られている。ここでは、建築火災から得られた教訓を足掛

りとして、トンネル坑内火災時の避難対策を考えるうえで原則とすべき事項について、以下に述べることにする。

(1) 「避難経路は簡単明瞭であること」炭坑が網の目を張りめぐらしたような複雑な坑道を有しているのに対して、トンネル工事における坑道は極めて単純である。しかし、長大トンネルで切羽が幾つもあったり(立ち上り箇所)、迂回坑や作業坑を幾つも設けた場合などは、避難時に誤った経路をとらないような措置(標識等)を講ずることが必要となる。

(2) 「避難手段は原始的手段によること」災害発生という非常事態では、複雑な操作を必要とする装置による避難は不相当であり、最も原始的な人間の歩行による移動を避難の原則とすべきである。トンネル坑内では、早期脱出のために軌道装置などの利用も考えられるが、緊急時の混乱した状態での運転は、脱線する可能性や、歩行による避難者をはねとばす危険性もあり、また脱線した場合、あとから来た避難者の歩行の障害にもなることが予想される。したがって、避難行動は、歩行による移動をまず第1と考え、軌上装置等は次善の策と考えたうえで、対策を講じておくことが望ましいと思われる。

(3) 「避難設備は固定的な施設によるべきであり、他の装置や用具類は、逃げおくれた作業員のための補助的手段と考えるべきであること」前項で述べた歩行による避難の原則を保障するために、トンネル坑内では固定的な避難用通路を常に確保しておくことが必要とされる。一酸化炭素用自己救命具等の避難用器具類、懐中電灯、携帯用照明器具類などは、単なる補助的手段と考えていた方がよい。前述の軌上装置による避難も、同様に、補助的手段による避難法と考えた方が位置づけがはっきりするのではないと思われる。

(4) 「避難対策は、Fool-proof, Fail-safeの原則を重視すべきこと」Fool-proofとは、混乱して馬鹿な状態になっても、判断や行動が出来る状態を確保するための手段を講ずることであり、また、Fail-safeとは、ひとつの手段が失敗しても、別の手段にて救済出来るよう対策を講じていることで、避難問題に限らず、安全問題全般に係る一般的な原則である。トンネル坑内でのFool-proofの例としては、例えば前記の「歩行による避難」があり、またFail-safeの例としては、避難誘導灯、その他電力を用いる設備には、予備電源を備えておくことなどがある。また前章で述

べた消火設備として、消火器以外に防火水槽、防火砂等を重要な箇所準備しておくことは、Fail-safe, Fool-proofの両方を兼ねた対策であると考えられる。

4.4.2 避難対策

前節で述べた避難の原則をふまえて、トンネル坑内火災時の避難計画、対策を策定するうえで、あらかじめ検討が必要と思われる項目を列挙すると、以下の通り多岐にわたる。すなわち、1)要避難者数と位置の把握、2)出火位置の想定と出火確認、3)避難経路(連絡設備、誘導灯等を含む)の確保と整備、および避難連絡体制の確保、4)避難所、避難用具の設置の検討、5)斜坑交点などにおける避難者の滞留現象の解明、6)排煙設備と排煙方式のあり方についての検討、7)避難行動の教育・訓練および救出体制の確保と訓練の実施。避難計画策定上検討が必要なこれらの項目は、一部前章で触れたものもあるが、避難所の設置問題や、避難者の滞留現象の解明など、多くが未だに解明されていない項目である。

したがって、ここではまず、坑内で火災が発生してから、坑内作業員が坑外へ脱出、あるいは救出されるまでの避難の一般的な流れを想定し、前記の検討項目が、避難全体の流れの上でどの様な位置づけにあるかを明確にしたのち、避難達成のための対策を、防火対策と同じく、火災の時間経過に対応してまとめた。

まず、Fig. 4.3はビル火災時の避難行動を調査した研究¹³⁾を参考にして、トンネル坑内で火災が発生してから、坑外脱出または救出までの避難の流れ図を作製したものである。同図より、前記の検討項目のうち、まず項目1)要避難者の把握、2)出火位置の確認は、避難行動開始以前での検討項目であり、いかに避難行動を早く開始させるかが、検討の主な内容と考えられ、また、3)~6)までの項目は、避難行動が開始されたのち、安全に避難を達成させるための措置を考える項目であることがわかる。避難行動開始以前での措置には同図にある通り、出火確認、初期消火、発生通報、坑内連絡などがあり、これらの問題点については、既に消火の節で述べた通りであるが、避難の面からみると、発生通報に続いて避難の指示・伝達を、いかに早く坑内作業員に徹底させるかが重要と思われる。このためには、坑内作業員の作業箇所と人数を常に把握しておくことや、坑内外における連絡系統、連絡方法などを、日頃から作業員に徹底させておく必要がある。トンネ

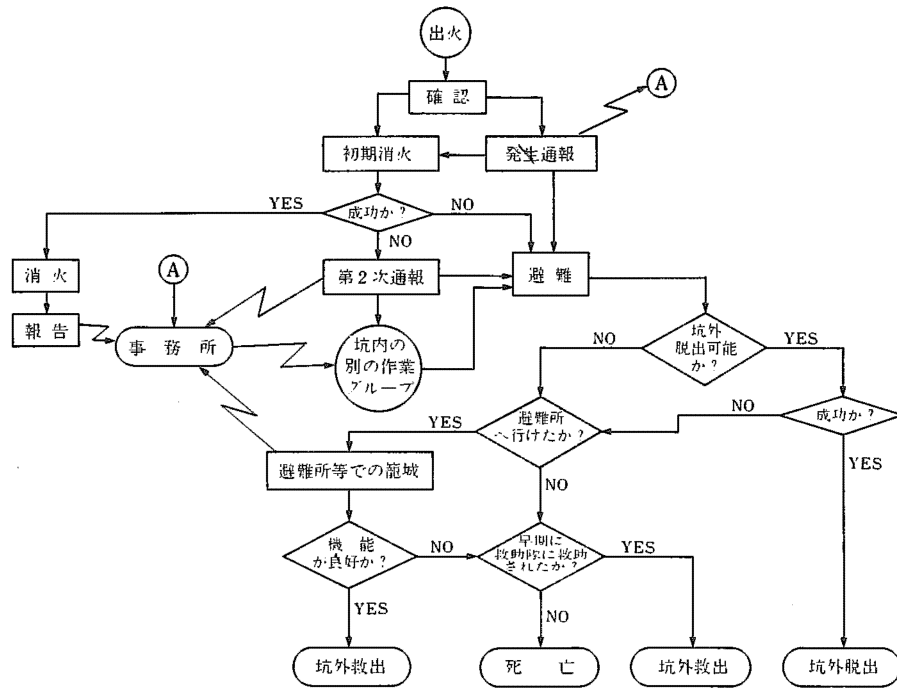


Fig.4.3 Flow chart of evacuation in tunnel
出火から坑外脱出・救出までの避難の流れ図

ル坑内では、掘削や覆工などの各作業グループが、ほぼ独立に作業を行っていることが多いので、番割りの際に、しっかりと作業人員と作業箇所を確認しておくことが大切である。また非常時の連絡も、ベルやサイレンなどの単純な音響のみによる警報では、それが何の合図であるか即座に判断出来なかつたり、出火場所の確認にとまどうことが多いので、警報に引き続いて火災発生箇所の情報や、初期消火活動の指示、避難誘導に関する情報を坑内全体に連絡する設備と体制を常に確保しておくことが必要である。

避難行動開始後に対応した措置として、まず、歩行による避難を保障するための避難用通路を確保しておくことは既に述べたとおりである。坑内通路は常に整理整頓しておき、適切な箇所に誘導灯を設置しておくことや、とくに、立坑または斜坑を有するトンネルでは、火災時でも巻上げ設備等を運転出来る措置を講じておくことが必要である。また通路付近の適当な箇所に、逃げ遅れた作業員のために、懐中電灯、携帯用照明器具あるいは一酸化炭素用自己救命用具などの避難用具を設置しておくことも大切である。

さて、避難行動を開始した後で一番問題となるのは、流れ図にもある通り、坑外へ脱出することが可能か否

かである。すなわち、出火・炎上地点より奥側の作業員は、もとの坑口を經由して坑外へ脱出することは、かなりの困難を伴う。したがって、坑口付近や斜坑底などでの防火対策は、坑外へつながる避難路の確保という点から、特に重要視すべき対策と思われる。また、出火点より坑口側の作業員は、坑外への脱出は可能であるが、避難距離が非常に長い場合には、途中で煙にまかれ坑外へ脱出出来ないことがある。避難路に関してビル火災では、ひとつの避難経路が火災で使えない時は、他の経路を使えるようにしておく「2方向避難の原則」というのがある。ところがトンネルでは、高速道路トンネルで上下線が平行して施工され、かつ連絡坑で結ばれているような例外的な場合を除くと、1本の坑内通路のみが避難通路であり、かつ出火位置によっては、安全な避難通路そのものが確保出来なくなる。したがって、坑内に閉じ込められた作業員、あるいは煙等によって脱出が遅れた作業員が、一時退避して救出を待つ避難所の設置問題が、長大トンネルでは重要になってくる。現在工事が進められている青函トンネルでは多数の火災退避所が設けられており、吉岡工事企業体の資料によると、本坑作業坑に関して、斜坑底付近の3箇所に加えて、平均約630m間隔毎に

全部で15の退避所が設けられている。青函トンネルのような超大規模トンネル工事とはとも角、一般のトンネル工事では、どの程度の規模のトンネルで、どの程度の耐火性、防煙性などの性能を有する退避所を、どの位置に設けるべきか明確な指針は、現在のところなく、今後の検討課題となっている。なお、退避所の有無にかかわらず、さく岩機、ずり積機等の動力として使用する圧縮空気の送気管には、鋼管、スパイラル管等の非常の際にも送気出来るものを使用すべきと思われる。これは、作業員が切羽等に退避した場合、新鮮な空気の供給により、有害ガス、煙による被害を少なくすることが考えられるためである。

つぎに避難者の坑内滞留現象であるが、通常の坑口からの入出坑の場合には、滞留現象の発生はまず無いと思われるが、長い距離の立坑や斜坑の作業坑を、巻上げ装置を利用して入出坑している場合には、一度に多数の避難者が作業坑交点に集結し、輸送能力を超えたり、作業坑が煙突の状態となって巻上げ装置が使えない場合には、交点付近に避難者の滞留現象が起こることが予想される。前述の青函トンネルにおいて、斜坑底付近に3箇所退避所が設けられているのは、このような状況に対処するためではないかと思われる。

なお、避難のための教育・訓練については、次節の救出・救護で併せて述べることにする。

4.4.3 救出・救護

火災発生後避難行動が遅れ、坑内に作業員が閉じ込められたような場合には、直ちに救出、救護および本格的な消火活動を開始しなければならない。救出・救護活動が円滑に行われるためには、1)救出・救護組織の編成、2)救出・救護用具等の準備、3)医療体制の確保、などというならば、坑内火災発生と同時に機能する、救出・救護、医療体制を、日頃から確立しておくことが大切である。救出活動は、組織的かつ慎重に行わないと、二次災害を発生させるおそれもあるので、しっかりした救出隊を組織し、外部関係機関（発注者、消防署など）と十分な連絡協議を行いながら行動することが肝要である。救護用具等には、酸素呼吸器、保護具、副木、担架、各種測定機器などがあるが、緊急時には直ちに使用出来るよう準備しておくこと。また、医療体制での事項には、緊急時に連絡すべき病院を日頃から定めておき、必要に応じて医師の派遣が求められるような体制にしておくことが望ましく、また簡単な応

救手当が出来る程度の救急用具、薬品類を準備しておくことも必要である。

最後に、火災対策に関する教育・訓練について若干述べる。火災対策は、防火対策という日常的な安全管理対策に加えて、出火後の初期消火、通報連絡、避難救出など非日常的な緊急時での対策も含まれているので、火災に対する教育・訓練は、日常的な作業に対する教育・訓練とやや異質である。そして、発生は比較的稀であるが起こった時には緊急を要するということがそのものが、日頃からの教育・訓練、とくに避難を中心とした緊急時の訓練の重要性を、よりいっそう高めている。教育・訓練活動の内容は、日頃から火災発生防止対策を関係労働者に十分徹底させること、および、火災発生を想定した、通報・連絡、消火、避難、救出等の訓練とに分けられる。通報・連絡、消火、避難、救出は、全体で緊急時の対策を構成しているので、訓練は、個々の対策の訓練ばかりでなく、全体を同時に行う訓練も必要である。訓練時の想定火災は、訓練実施時点でのトンネルで最も危険が大きいと予想される火災を想定するのが良いと思われる。

以上、本章で述べた避難対策および救出・救護対策の各項目を、防火対策と同様に、火災の進行状況に対応してまとめたものを **Table 1** に示した。

4.5 むすび

以上、これまで余り検討されることのなかった、施工中のトンネル火災対策について、まず対策全体の枠組を定めたのち、全体を構成する各対策（火災発生防止対策、延焼防止・消火・防煙対策、および避難・救出対策）に関するさまざまな問題点を概括してきた。ここで述べた事柄は、あくまでも一般的な事項であるので、実際に施工中のトンネルに運用するに当たっては、個々のトンネルの延長、断面、掘削工法、進捗状況などに応じて、内容を適切に変えてゆく必要がある。

ところで、施工中のトンネルで火災を発生させないため、あるいは発生しても被害を最小限に留めるために、今迄述べてきた対策を、適切に実施することが望ましいと述べたが、これらの諸対策のうちのいくつかについては、トンネルの施工段階になってから対策を考えるのでは、実際に実施するのにかなりの困難性を伴うものがある。たとえば、避難所や本格的な消火設備や防排煙設備、あるいは連絡設備などは、事前の設

計、積算あるいは施工計画段階で十分計画を練っておくべき項目であって、施工を開始してから計画するのでは、経済性以外にも、配置やその他施工性の面でも困難な問題に遭遇することがある。建築物での火災対策では既に述べたとおり、Passive Systemとして、設計段階から火災安全対策が考慮に入れられており、今回対象とした施工中のトンネルでも、施工段階における安全対策のみならず、設計、積算、施工計画段階からも火災安全対策を考えた、いわゆるトータルな火災安全対策を考える必要があるのではないと思われる。

まえがきにも述べたとおり、トンネル施工中に火災が発生する危険性は増大しており、かついくつかの大規模な火災事故が発生して社会的にも大きな問題となったことにかんがみて、まず労働基準局長の要請により、建設業労働災害防止協会が中核となった委員会により、「トンネル工事等における坑内火災防止対策¹⁴⁾」が発表されたのに引き続き、運輸省、建設省、消防庁、および労働省の関係省庁によって、「工事中の長大トンネルにおける防火安全対策¹⁵⁾」についての指導要綱が、昨年10月に定められた。これらの指導要綱などや、今回述べた事柄を参考にして、トンネル工事が安全裏に進められることを望むものである。

最後に、火災防止対策の実情調査のために、いくつかの炭坑鉱業所やトンネル工事現場を見学させていただきましたが、見学・調査に当り快く御協力頂きました関係者の方々に対して心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建築学大系編集委員会編：建築防火論（建築学大系21），彰国社（昭和41年）
- 2) 防災システム研究会編：建築防災の基本計画（建築防災設備講座1），オーム社（1977年）
- 3) 堀内三郎：建築防火，朝倉書店（昭和51年）
- 4) 今出重夫：安全・防災システムと計画，東京電機大学出版局（昭和50年）
- 5) 滝田光雄，白子典雄，木田甫：鉄道トンネルと火災対策，火災101，Vol. 26，No. 2，P. 73（1976）
- 6) 山田暉夫：恵那山・網掛トンネルの防災設備，火災101，Vol. 26，No. 2，P. 85（1976）
- 7) 中野実編著：鉱山保安学，産業図書株式会社，（昭和26年）
- 8) 中田金市編：火災（防災科学技術シリーズ14），共立出版（昭和44年）
- 9) 堀内三郎，小林正美：都市防災計画のシステム化に関する研究（I），日本建築学会論文報告集，第242号，昭和51年4月
- 10) C I B Symposium：Systems Approach to Fire Safety in Buildings（防火対策の総合化），Vol. 1, 2, 1979, 8
- 11) 大村平：システムのはなし，日科技連，1971
- 12) 渡辺彰夫，竹元昭夫：火災安全システムについて，自治省消防研究所輯報，第29号，P. 5，1976
- 13) 神忠久，高橋哲，渡部勇市，佐藤晃由：最近のビル火災の調査から，消防輯報，第32号，1978
- 14) 建設業労働災害防止協会：建設の安全（号外），昭和52年12月20日発行
- 15) 中央労働災害防止協会：中央協会通信，167号，昭和54年11月15日発行