

# 1. 総論

森 宜 制\*

## Introduction

Yoshitada MORI\*

In the last few years, serious accidents including many casualties due to the explosion of gushing natural gas and fire in tunnelling work occurred one after the other. As this type of accident has been uncommon to tunnelling work in Japan up to the present, there has been insufficient attention given to planning for safety in case of gas explosion and fire.

Due to the increasing trend of construction of tunnels, it may be thought that accidents will continue to occur if preventive countermeasures against gas explosion and fire are not implemented.

Thus, at the request of the labour administration, the Research Institute of Industrial Safety has planned to perform a special research project in order to establish the countermeasures against gas explosion and fire in tunnelling work.

The basic countermeasures to prevent these types of accidents are considered as follows ;

- 1) Ventilation which ensures a safe concentration of gas in a tunnel
- 2) Methane detectors to check on the gas concentration and gas alarms which sound a warning if the gas concentration exceeds a certain risk threshold in a tunnel
- 3) Effective management of ignition resources to avoid explosion even if the gas concentration exceeds a risk threshold in a tunnel
- 4) Emergency countermeasures to ensure the security of workers when the risk of explosion is imminent in a tunnel
- 5) Detection of strata containing natural gas and the monitoring of the gas which enable workers to execute the emergency countermeasures quickly in a tunnel

This special research project has been conducted in cooperation with all divisions of the research institute for the purpose of providing information about the methodology and way of thinking which are necessary for executing these countermeasures.

The results would be though to be very useful to the personnel concerned with tunnel construction work. Also, in order to perform these countermeasures most efficiently, it is necessary to execute them synthetically and comprehensively as a system, since the above mentioned countermeasures are not independent of each other.

The following are the details of each research work.

## 1.1 はじめに

去る昭和51年5月及び53年6月の2度にわたり、異なる工区ではあるが、山形県の農業用水幹線路トンネルの工事中において、地層より湧出したメタンガスの爆発による重大災害が発生し、死者合計17名、重傷者合計3名の被災者を出すに至った。

これまでこのような災害は余り例が無く、これらの事故は凶らずも、著しく進歩したと言われるトンネル建設技術の盲点を衝いた感じで、路線中に安易にトンネルを選ぶと言うプロジェクトのあり方に対し、一大警鐘を鳴らしたものと考えられる。

とは言うものの、今日におけるトンネルの需要の増加には著しいものがある。その背景には、昔はコスト面、技術面で無理だと思われていたトンネル工事を容易に行えるようにした技術的進歩があり、さらに社会開発における環境保全あるいは用地取得難の解決策として、道路、鉄道、用水路等の開発プロジェクトにおいて、できるだけトンネルを多くしようとする趨勢がある。したがって、今後トンネル工事は増えこそすれ減ることは無いものと考えられ、全体の工事量が増えれば当然その中に、メタンガス湧出のおそれのあるところを通すトンネルも増えてくるものと考えられる。事実、本研究のため行った実態調査では、メタンガス湧出のおそれのある工区が、全トンネル工区数約400のうちの30工区に及んでいる。

一方、ガス爆発に対する安全対策は、これまで主として工場及び炭鉱における問題として取上げられ、これらについては法規面でも実際面でも、ほぼ充分であると言えるレベルに達しているものと考えられるが、トンネル工事に対してはほとんど未解決に近い状態であって、早急の対策樹立が要望されている。

以上の情勢に鑑み、さらに行政当局の当所への要請にもとづいて、当所は昭和53～54年度の特別研究「トンネル建設工事におけるガス爆発等に対する総合安全対策」を実施することになり、全研究部協力してこれに当たった結果、一応の成果を得たのでこれを特別研究報告として発表する次第である。

## 1.2 ガス爆発等に対する総合安全対策のあり方

個々の研究の内容に立ち至る前に、安全対策が全体

としてどうあるべきかその筋道を考え、さらに本特別研究のなかの個々の研究は、上記対策のいずれに結び付けるものなのか。その位置づけを明らかにしておく必要がある。よって本節では前者について論じ、次節では後者について述べる。

ガス湧出の無いトンネルに対しガス爆発防止対策が不要であることは論を俟たない。したがって、そのトンネルにガスの湧出のおそれがあるか否かを施工計画時において検討することがガス爆発対策の第一歩である。これは、既往の記録、過去の文献・資料、あるいは工事計画のための地質調査などにもとづいて検討することになるが、その結果、ガス湧出のおそれありと言うことになれば、次に述べるような諸対策が必要となってくる。

ただ、安全対策と言っても種々あり、有用であるからと言って何でもかんでも列挙するのでは、総合対策とは言えない。そこに、軽重の別、優先の順序があって然るべきで、少なくとも、基本的、必須的なものと、補強的、選択的なものとに分けて考える必要がある。

基本的、必須的なものと言うと誤解を招くかもしれないのでさらに言葉を補足すると、これは、少なくともガス湧出のおそれがあると判断された場合には、必ず行わなければならない最低限の対策である、という意味である。先ずこのような意味での対策を挙げると次の通りである。

- (1) トンネル内のガス濃度を安全限界内に保持するため、通風換気を行うことである。通風換気も形だけのものでは爆発防止対策にはならないのであって、高濃度な部分が局所的に残存しないように、攪拌混合を充分に行い稀釈の実が挙げられるような通風換気のシステムを採ることが肝要である。
- (2) トンネル内のガス濃度が安全限界内に保たれているか否かを絶えずチェックし、万一限界を超えた場合には、現場の関係者にその旨を知らせることを目的として、ガス検知警報システムを設備することである。この対策も恰好をつけただけでは全く意味がなく、特にトンネルのように作業範囲が広く、又現場の状況が刻々と変化しているような場合に対して、どのようなシステムが適切であるかを充分検討の上実施しなければ、いざと言うときに役に立たないものである。

さらに、この対策と前記の通風換気とは車の両輪のようなもので、どちらが欠けていても中途半

端なものになることを肝に銘じておかなければならない。

- (3) トンネル内における火源管理を行うことである。これには、火気及びマッチ等の火源の坑内への持込みの禁止、可燃性材料の坑内使用の制限、坑内における溶接及びガス切断作業の制限あるいは状況によっては禁止、ならびに、危険濃度に曝される可能性の高い場所で使用される電気設備の防酸化などが挙げられる。

この火源対策は、前記(1)及び(2)のシステムが正常に機能し予想通りの効果が得られている場合は副次的な意味合いのものになるが、しかしこれらのシステムが故障したり、あるいは予想を超える大量のガス湧出があった場合は、それらに対応する対策として、次の緊急時対策とともにクローズアップされて来るものである。

- (4) 万一の場合に備えて緊急時対策を立てておくことである。通常、緊急時対策と言われるものには、事故の拡大防止、作業者の避難、被災者の救出などが含まれるが、ここで言っている万一の場合と言うのが、ガス爆発の危険が迫っている状態を指しているのであるから、何を置いても避難することが第一である。したがって、避難が如何に迅速に円滑に行われるようにするかに、対策の目標が置かれなければならない。そのため、坑内間あるいは坑内外の連絡方法の確立及至は通信設備の確保、避難路や非常照明の確保、緊急時の連絡法の作業員への周知徹底、避難訓練の実施など、各種の対策が必要である。

さらにここで問題になるのが、警報をどのような目的でどのような時点において発するかということである。まず警報の種類であるが、警報を多種類設けることはいざという場合混乱を招くので好ましくなく、避難のための1種類に限定することが望ましい。さらにどの程度危険が迫ったときにその警報を発するべきかは、そのトンネルの長さや断面積などの諸条件、火源管理や避難対策など緊急時の諸対策のあり方などとの関連において慎重に決定されるべきものである。

以上が、ガス湧出のおそれありと判断される場合に必ず採られなければならないと考えられる最低限の対策であるが、さらに場合によっては上記の対策に勝るとも劣らない重要な対策として、次のようにいくつか

が挙げられる。

- (5) トンネル掘進時に、ガス湧出状況を予測するため先進ボーリングを行うことである。通風換気システムの設計のときに想定したガス湧出量が妥当であるかどうかをチェックすることは必要であり、特に実際の湧出量が予想を大きく上廻るような状況はなるべく早期に予知することが重要である。
- (6) ガスの大量湧出があつて工事を中断し後日再開する場合、あるいは事前に予想される場合には、ガス抜き坑を設けてガスを直接地上へ排出し、トンネル内への湧出量を少なくすることである。ただ山が深い場合、これまでこの方法は困難であるとされてきたが、しかし現在のトンネル技術を以つてして技術的にそれ程困難なものとは考えられず、要は、不可能視せずに検討するかどうかの姿勢であると思われる。
- (7) 切羽以外からのガスの湧出を極力押えるため、未覆工の部分に吹き着けを行うか、あるいは早期覆工を行うことである。吹き着けや覆工が完全な気密性を有するものでないかもしれないが、これによりガス湧出量がかなり押えられるであろうし、又検知システムにおけるセンサーの配置を少数で有効なものにすることが可能になるであろうし、さらに通風の効果も一層挙げられるものと考えられ、前記諸対策を支援する効果は多大であると思われる。
- (8) その他、万一の場合に対して非常用電源を確保すること、火災などの二次災害の発生に備えて救助体制を整え、救出用具及び呼吸保護具等を整備するなど救出対策を講ずることが挙げられる。

以上、これですべてを尽しているとは言わないが、主な安全対策について述べたものである。

### 1.3 本特別研究の狙いと安全対策との関連

前節において、トンネル工事におけるガス爆発防止対策のあり方について述べたのであるが、それらの対策を現実に実行する場合には解決されなければならない幾多の問題点がある。先に述べたように、本特別研究はこれらの問題解決のために行つたものであるが、その具体的な狙いが何処にあるかを、本節で述べておきたい。

まず施工計画の段階において、そのトンネルにメタ

ンガスが湧出するおそれがあるかどうかを検討する必要があり、そのためにはマクロ的に見た要注意地域、あるいはややミクロ的な要注意の地質構造などが明らかにされておれば、湧出のおそれがあるか否かの判断に非常に役立つものと考えられる。このような観点から行った調査研究が、後出の5章の前半の部分であり、その結果同章において、要注意地域を示す全国地図、湧出するおそれの高い典型的な地質構造を示す図などが作成されているので、関係者各位の参考になると考えられる。なお、同章の後半は先進ボーリングに関する調査研究であるが、これについては後述する。

次は、通風換気システムについてであるが、これについても解明されなければならない問題点がいくつかある。

第1は、現在トンネル工事で最も多く用いられている空気押し込み方式<sup>\*1</sup>による換気法を、どのように改善したら、高濃度のガスを稀釈する効果が得られるか、その方策を見出すことである。従来、工事中のトンネルにおける換気は、発破の後ガスの処理、土砂搬出トラックの排気ガスの処理、坑内における良好な視界の確保など、主として衛生対策あるいは環境対策として行われており、ガス爆発防止というシビアな観点から見た場合、局所的にガス濃度の高い部分を残すおそれがあるなど、改善の余地が多いと考えられる。

第2は、前記の押し込み方式と、それ以外の方式例えば吸出し方式<sup>\*2</sup>あるいは押し込みと吸出しの併用方式との、安全対策上の得失を検討することである。押し込み方式は、稀釈されているとは言えガスを含む空気を、作業の行われている空間を通過させて坑外へ排出する方法であるため、もし可能であるならば、これを逆の方式、即ち作業の行われている空間をガスを含まない空気の通路とし、風管をガスを含んだ空気の通路とする、いわゆる吸出し方式の方が好ましいことは論を俟たないが、しかし現実に行えるかどうか疑問があり、もし無理であるならば、これに代わる方策を検討しておく必要がある。

第3は、換気システムの故障などにより通風が停止した場合、坑内のガス濃度がどのように危険状態に移行するかを明確にすることである。これは緊急時の脱出に必要な時間的余裕の設定、あるいは防爆電気設備を必要とする危険領域の設定など、他の安全対策を検討する上で欠かすことのできない問題である。

次章に報告されている研究は、以上の三つの問題点

を解決するために行われたもので、その結果、例えば第1の問題点については、湧出ガスの混合攪拌による稀釈効率を上げるための諸方策について、具体的な提言がなされている。なお、第2及び第3の問題点については、3章に報告されている研究においても、検知警報システムに関連する立場から検討されており、両章を相補うかたちで参考にして頂ければ幸である。

次に、ガス検知警報システムであるが、このシステムの目的は、通風換気効果が充分挙げられているかを絶えずチェックし、万一危険状態が出現したらいち早くこれを工事関係者へ知らせることである。この目的達成のために、解決を図らなければならない問題点がいくつか存在する。

第1は、現在工場や炭鉱等で使用されているメタンガス検知器の性能、例えば応答性が、トンネル工事におけるガス爆発防止のために使用する場合適当であるかどうか、あるいは防水性、防じん性及び強度などが現場の環境条件や使用条件に適合するものであるかどうか等を検討し、もし問題があるとするならば、改良の方向を明らかにする必要がある。

第2は、検知システムのあり方、なかんずく、検知センサーの適正な配置と、これと密接な関係にあるシステムの方式の問題である。過去の事故例から明らかのように、ガスの湧出箇所は切羽部分とは限定されない。未覆工の側壁部分から湧出することも多く、トンネル内の至るところにガス濃度の高い部分が存在するおそれがある。したがって他の対策、例えば、通風換気や未覆工部分の吹き着け処理などと無関係に検知システムを考えると、広範囲の空間をカバーする必要のためにシステムは徒らに複雑大型化することになる。このようにこのシステムのあり方は他の対策との関連において検討する必要があり、又そこに安全対策の総合化という意味が生きて来るわけである。

第3は警報のあり方であり、特にソフト面のあり方である。これまで、警報は、何のために何時の時点に発するべきか、と言う命題に対し明確な答は出されていない。しかし警報システムを安全対策の重要な柱とするからには、明確な基本となる考えを打出す必要がある。さらにこの問題も、緊急時対策など他の安全対

\*1 送風機及び風管により、坑外の空気をトンネルの切羽附近に送り込み、それによって坑内空気を坑口へ排出する換気方法。

\*2 排風機及び風管により、切羽附近の坑内空気を吸い出し、それにより、坑外の空気を坑口から流入させる換気法。

策との関連において慎重に検討する必要がある。

以上の諸点の問題解決のために行ったのが、3章に報告されている研究であって、その結果、現在の検知器に対する改良を要する点の指摘、検知システムとして適切有効と考えられる方式、同システムの検知センサーの適正な配置ばかりでなく、さらには警報のあり方やシステムの保安全管理などソフト面での有用な提言もなされている。

次に、緊急時対策であるが、先にも述べたように事故につづく災害の防止という観点からは、一般に事故の拡大防止（例えば火災ならば延焼防止）、避難脱出、逃げ遅れた作業者の救出・救護などが対象になるが、爆発の危険が迫っているという事態では、避難脱出が第一であろうと考えられる。この場合、緊急時における通信連絡手段の確保、避難路・避難設備の確保など、ハード面の対策も重要であるが、それ以上に、緊急時に対処する行動についての教育訓練や緊急時に行動する体制のあり方などソフト面の対策が重要である。

以上の問題に対して行ったのが、4章に報告されている研究であるが、同研究では、昭和54年3月大清水トンネルの工事において坑内大火災が生じ16名の死亡者を出すに至った事故に鑑み、急遽坑内火災対策に問題を挙げ、避難脱出ばかりでなく、延焼防止、防煙、救出・救護についても検討を行っており、トンネル工事における火災防止システムのあり方について基本的な考え方が示されている。

次に、ガス湧出を予測するための一方法としての先進ボーリングである。最近、トンネル工事において同工事を困難にする地質条件が前途に横たわっているかどうかを事前に察知する目的で、先進ボーリングが多用されているが、これがガス湧出の予測に利用できないかどうか、利用できるのであればそれを実効あらしめるための問題点は何かなどを明らかにする必要がある。

このために行ったのが、5章に報告されている後半の研究で、同報告において現在行われている先進ボーリングの種類及び方法、それらを爆発防止対策に適用する場合の基本的な考え方などが示されている。

最後に、火源管理の一環としての防爆電気機器に関する問題である。最近よく受ける質問として、防爆の一对策として防爆電気機器をトンネル工事に使用する場合、どの程度の防爆性能のものをどの範囲に使用したらよいかと言うのがある。

この質問に対する回答を得るために行ったのが、6

章に報告されている研究で、その結果同章において、防爆性能は原則として耐压防爆とすべきことを指摘しており、さらにトンネル工事における環境条件や使用条件に適合させるため、耐衝撃性、強度、耐水性などについて、性能の基準や試験方法の具体的提案を行っており、又トンネル工事において防爆電気機器の使用が必要であるか否かの判断を行う場合の基本的な考え方が示されている。

以上が、本特別研究の狙いや安全対策との結びつきについて概括的に説明したものである。

## 1.4 むすび

以上のような考えのもとに行われた研究が、次章以下6章までに報告されているが、これらは単に学術的研究報告と言う枠にとどまらず、実際の対策に結びつく有用な提言が多くなされており、必ずや工事関係者各位のお役に立ち得るであろうと確信している。ただこれまで何度も指摘したように、安全の諸対策は相互に関連しており、それらを総合化してはじめて有効適切なものになり得るのであり、さらに安全対策相互間の関連にとどまらず、そのトンネル工事の有する条件、例えばトンネルの規模、地質、施工法なども密接に関連しているので、実際に対策を講ずるに当たっては、この点に十分な考慮を払って頂きたいと思う。

なお、本研究で取上げたもので安全対策のすべてを尽しているとは考えられず、例えば、通風換気システム及びガス検知警報システムの信頼性や保安全管理の問題など、時間の制約で充分検討されなかったものもあり、あるいは緊急時における通信連絡システムのハード面、さらにはガス抜きの手法など、むしろ企業で研究される方が適当なものもある。

これらは後日の研究に期待することとしてむすびとしたい。