

トンネル内の有毒ガスに関する研究(第2報)

若園吉一・小川輝繁・佐藤忠五郎

ON THE POISONOUS GAS IN A TUNNEL (II)

By *Yoshikazu WAKAZONO, Terushige OGAWA and Chugoro SATO*

Synopsis

In order to obtain the fundamental data for preventive measure against accident by the poisonous gas in a tunnel under construction, the authors determined and analysed the poisonous gas from the detonation products of dynamites in the Shin-Fukazawa railway tunnel and Kiso closed conduit channel which were under construction.

As the amount of carbon monoxide (CO) and nitrose (NO, NO₂ etc.) in a tunnel exceeds the respective allowable concentrations near the stage of blasting for some time after the last blasting the good ventilation should be provided.

It must be note that, if the blasting effect is not sufficient, the amount of the poisonous gas produced by blasting increases very much due to incomplete detonation of dynamites.

1. 諸 言

土木工事における鉄道トンネル、導水路トンネルなどの掘進作業は、断面の大きなめくら坑道内の作業であるため、トンネル内の通気は悪く、爆破後ガスやずり運搬機械の排気ガスなどの有毒ガスが滞留して、保安上の問題、作業能率の低下など種々の好ましくない問題が生ずる。今後、爆薬を多く使用する全断面掘削工法およびトラックをジャンボークレーやずり出しに使用するタイヤ方式がさらに多く採用され、また、長大トンネルの工事も増える傾向にある。そのため、さらに一層、坑内中の有毒ガスは、問題となるものと推察される。

その上、施工中のトンネル内部は、日光があたらず、湿度が高く、じんあい、騒音などが加わって、作業環境としては最悪の状態である。このような悪条件のもとでは有毒ガスが人体に与える影響もさらに助長されるものと考えられる。そのため、これらの作業環境の改善、特に換気設備の完備は保安上のみならず、作業能率の改善という観点からも是非必要なことであるが、未だ充分認識されているとはいえない。

本実験は、換気設備の基礎資料を得るために、坑内で最も有毒ガスの発生原因となる爆破（ダイナマイトなどによる）の後ガスの測定を行なったものである。実験に使用したトンネルは国鉄中央線複線化工事の一部である新深沢ずい道および関西電力木曾発電所5号導水路建設現場である。実験は昭和40年8月26日～8月28日および昭和40年10月17日～10月18日および昭和41年2月22日～2月24日の3回にわたって行なった。

2. 爆破による後ガス

爆薬の組成は有毒ガスの発生を防ぐために、酸素を理論値より少し多く¹⁾してあるが、一酸化炭素(CO)や窒素の酸化物すなわちニトロゼ(N₂O, NO, NO₂など)などの有毒ガスの発生はまぬがれない。爆破による有毒ガス発生量は、爆破の良否およびその工法によって一概には言えないが、たとえば有毒ガスの少ないえきダイナマイトで爆薬1kgについてのCOの発生量は3.70²⁾といわれ、また3号桐ダイナマイトで爆薬1kgについてCOは8.99³⁾、NO₂は8.49³⁾発生する³⁾といわれている。

次に、有毒ガスの人体に対する有害度は濃度、吸入時間、作業強度、呼吸数、個人の年齢、体質などにより差異があるが、許容濃度は第1報⁴⁾で述べたようにCOで0.01% (100ppm)、ニトロローゼで0.0025% (25ppm)とされている。特にニトロローゼは極めて毒性が強く、0.00026%程度のニトロローゼ雰囲気中で数年間にわたり仕事をすると、慢性的の障害があらわれるとの報告⁵⁾もある。さらに、トンネル掘削工事は作業強度が強く、その上、トンネル内でガスを吸入する時間が長いいため、トンネル内の有毒ガス量は、常に許容濃度以下に保たねばならない。

3. 新深沢トンネル

新深沢トンネルは、国鉄第3次計画中央線複線化工事の一部として、初鹿野・勝沼間を結ぶ単線ずい道である。トンネル全長は約1.6kmで、断面積は約30m²である。削岩機の平均掘削長は1.65mである。工法は底設導坑で200m先進し、その後、全断面掘削を採用した。ずり運搬には12tディーゼルロコ4台を使用した。

測定方法は、第1報⁴⁾で説明した北川式検知管法およびフェノールジスルホン酸法を併用した。すなわち、COおよびNO₂の濃度は北川式検知管を用いて測定した。さらに、爆破後ガス中のニトロローゼはほとんどNOとNO₂であるため、フェノールジスルホン酸法によりニトロローゼすなわちNO+NO₂の濃度を測定し、北川式検知管により測定したNO₂の濃度との差でもってNOの濃度を求めた。測定はすべて切羽において行ない、下盤から1.5mの高さにおいて、切羽断面の中央および両端における有毒ガス濃度を測定し、その平均値を求めた。

第1回の測定は、昭和40年8月26日～8月28日の3日間である。このときの切羽は坑口より160m附近であって、岩盤状況が不良であるため、薬量を少なくして、下部半断面のみに装薬して爆破を行っていた。薬種はえのきダイナマイトと新桂ダイナマイトを混用した。

この測定結果をTable 1に示す。No.1は、換気用空気を送りながら実験を行なった。No.2は爆破10分前に換気を中止したまま実験を行なったもので、換気を行なわない場合の測定結果である。

Table 1 Determinations of Poisonous Gases in Shin-Fukazawa Tunnel (First Test).

No.	Quantity of Dynamit W(kg)	Component	Concentrations of Poisonous Gases			$\frac{PCO}{W}$ ($\frac{ppm}{kg}$)	$\frac{PNO_2}{W}$ ($\frac{ppm}{kg}$)	$\frac{PN}{W}$ ($\frac{ppm}{kg}$)
			CO PCO (ppm)	NO ₂ PNO ₂ (ppm)	Nitorose PN (ppm)			
1	8.1	3minutes after blasting	43	0.5	—	5.3	0.062	—
		8minutes after blasting	30	0.3	—			
		20minutes after blasting	20	0	—			
2	12.1	3minutes after blasting	150	5	—	12.4	0.413	—
		8minutes after blasting	75	1	—			
		18minutes after blasting	50	0.5	—			
		28minutes after blasting	50	0.3	—			

この結果、単位薬量当りのガス濃度を比較すると換気を行なった場合、COにおいては半分以下の濃度となっている。また、この断面で薬量が10kg前後であれば、爆破後約10分経過すれば換気を行なわなくても有毒ガス量は許容濃度以下に減少している。

第2回は、昭和40年10月17日および18日の2日間にわたり実験を行なった。切羽は坑口より500m附近で

Table 2 Determinations of Poisonous Gases in Shin-Fukazawa Tunnel (Second Test).

No.	Quantity of Dynamite W(kg)	Component	Concentration of Poisonous Gases						PNO W (ppm/kg)	PN W (ppm/kg)	PNO W (ppm/kg)
			CO PNO ₂ (ppm)	NO ₂ PNO ₂ (ppm)	Nitrose PN (ppm)	NO PNO (ppm)	PCO W (ppm/kg)	PNO ₂ W (ppm/kg)			
1	39.7	3 minutes after blasting	300	16	125	109	7.56	0.40	3.15	2.75	
		15 minutes after blasting	140	3	118	115					
		20 minutes after blasting	40	2	73	71					
2	39.1	2 minutes after blasting	140	10	146	136	3.58	0.26	3.74	3.49	
		20 minutes after blasting	70	8	24	16					
		30 minutes after blasting	20	8	8	0					

考えて、爆破効果が悪い場合の有毒ガス発生量は著しく増加するものと考えられる。特に、毒性の強いニトローゼの量が顕著な増加を示していることは注意しなければならない。

5. 考 察

現在、土木工事の坑道掘進は、ほとんど今回の実験に使用したような大断面のめくら坑道で行なわれている。また、全断面掘削工法も盛んに採用されており、したがって一爆破に大量の爆薬を使用することとなり、

あり、坑内温度は前回と同様 20°C であった。装薬は、本来の全断面掘削の配置で行なった。薬種は第1回と同様、えのきダイナマイトおよび新桂ダイナマイトを使用した。

この測定結果を Table 2 に示す。No.1 は、爆破10分前に換気を中止し、爆破15分後に換気を再開した。また、No. 2 は換気を行なったまま実験した。

この結果、全断面掘削の場合、換気を行なわなければ、CO、ニトローゼともに許容濃度をはるかに越え、危険である。また、この有毒ガスが、時間とともに、坑口へ向かって移動拡散する⁹⁾ため、この有毒ガスを切羽付近で早く吸引する必要がある。

4. 木曾発電所導水路

木曾発電所導水路トンネルは、関西電力木曾発電所新設工事の5号導水路トンネル新設工事のトンネルである。掘削断面積は 32m² で、削岩機の平均掘削長は約 1.6m である。工法は全断面掘削で余堀を防ぐため、バーンカット工法を採用した。

実験は、昭和41年2月22日～24日の3日間行なった。測定方法は、新深沢トンネルの場合と同様、北川式検知管およびフェノールジスルホン酸法を併用した。また、測定場所はすべて切羽で、下盤より 1.5m の高さのところで、切羽の中央および両端の3ヶ所で行ない、その平均値を求めた。

薬種はすべて新桐ダイナマイトを使用した。

実験結果は Table 3 に示す。なお、爆破の良否が有毒ガス発生に与える影響を調べるため、No.1 の1孔だけは込物を少なくして、いわゆる「はちうち」（爆薬は爆発するが岩が破壊しないで、せん孔したままの孔が残る現象）を起こさせた。また、No.1 は爆破7分後に換気用空気の送入と坑内排気を同時に行ない、No.2 は爆破15分後に換気用空気送入と坑内排気を同時に行ない、No.3 は爆破5分後に換気用空気を送入し、爆破11分後に坑内排気を行なった。

この結果、「はちうち」のような爆破を行なえば（爆破の不良）有毒ガス量が著しく増加することが認められる。すなわちニトローゼの量が非常に多く、爆発反応が完全に行なわれていないことを明白に示している。この場合、「はちうち」を起した孔は1孔のみ（装薬量 0.9kg）であることから

Table 3 Determinations of Poisonous Gases in Kiso Tunnel.

No. of Dynamite W(kg)	Component	Concentration of Poisonous Gases						CO W (ppm)	NO ₂ PNO ₂ (ppm)	Nitrose PN (ppm)	NO PNO (ppm)	PCO W (ppm)	PNO ₂ W (ppm)	PN W (ppm)	PNO W (ppm)
		CO W (ppm)	NO ₂ PNO ₂ (ppm)	Nitrose PN (ppm)	NO PNO (ppm)	PCO W (ppm)	PNO ₂ W (ppm)								
1	5 minutes after blasting	800	470	516	46	4.50	12.3	7.96	4.3						
	7 minutes after blasting	500	280	—	—										
	15 minutes after blasting	140	77	—	—										
2	5 minutes after blasting	420	30	40.7	10.7	6.74	0.51	0.68	0.18						
	15 minutes after blasting	240	15	27.4	12.4										
	17 minutes after blasting	200	10	26.8	16.8										
	25 minutes after blasting	<100	0	—	—										
3	3 minutes after blasting	500	68	80.7	12.7	7.3	0.97	1.17	0.20						
	5 minutes after blasting	310	32	42.8	10.8										
	11 minutes after blasting	—	10	—	—										
	23 minutes after blasting	<100	0	—	—										

以上のように、めくら坑道では換気設備を完備すべきであり、換気設備が充分であれば、作業者は、爆破後早く切羽に接近することができるため、作業能率も向上し、サイクルタイムも短縮することができる。そのため、充分な換気設備を設けることは、保安上のみならず、経済上も有利である。

6. 結 言

大量の爆薬を使用するトンネル掘削工事においては、充分な換気設備を設けなければならない。また爆破

有毒ガスの濃度は許容濃度をはるかに越えることが多い。さらに、この高濃度の有毒ガスが、時間の経過とともに、坑口へ向かって、拡散・移動して、坑内に蓄積されて、坑内は非常に汚染される。このことは、今後、盛んになると推察される長大トンネル掘削においては、特に考慮しなければならないことで、爆破有毒ガスは、排気管へ早く吸引できる換気設備を完備しなければならない。

2で述べたようにダイナマイトの爆破により発生するニトロゼの量は、ほぼCOの発生量と同じである。しかし、実験結果では、空気中のCOの濃度はニトロゼに比べて著しく多い。このことは、ニトロゼが湿った岩粉に容易に吸着するため⁷⁾と考えられている。

単位薬量当りのガス濃度は薬種、岩質、断面、爆破法(爆破効果)およびその他の坑内条件により相違はあるが、これらの条件が同一であれば、ほぼ一定であると考えられる。換言すれば、有毒ガス濃度と薬量は比例する。しかし、爆破効果の良否は有毒ガス発生に著しい影響を及ぼし、爆破効果が不良の時は、有毒ガス発生量が非常に多くなる。その上、爆破効果が不良の場合は、さらに必要以上の爆薬を使用するため一層有毒ガス発生量が増加する。したがって爆破設計を慎重に行なって、最良の爆破効果を得ることは、後ガス対策上も是非必要なことである。換言すれば、過装薬は後ガス対策上も好ましくない。

効果が不良の時は不完全爆発を起しているため、単位薬量当りの有毒ガス発生量は著しく増加する。そこで、爆破の有毒ガス濃度を測定することは、換気量の決定のみならず爆破効果の良否の判定に対しても一つの基準を与えるものとする。

今後は、現在盛んに使用され、ダイナマイトより爆破後ガス（有毒ガス）が多く発生するといわれているANFO爆薬についても、同様の研究を行なう予定である。

参 考 文 献

- 1) 若園吉一，佐藤忠五郎：爆破付ANFO爆薬，昭40.2，6～7頁，鹿島研究所出版会。
- 2) 清水達英：掘進発版の実際，岩石力学とその応用に関する講習会，昭41，11。
- 3) 吉田正，赤羽周作，田中雅夫，松本栄：ANFO爆薬に関する研究（第1報），工業火薬協会誌，第25巻，第2冊，昭39，76～84頁。
- 4) 若園吉一：トンネル内の有毒ガスに関する研究（第1報），京都大学防災研究所年報，第4号，昭36，6～10頁。
- 5) Spencer Chemical Co.: Health Hazards of Oxides of Nitrogen, Underground Mining, Technical Data Bulletin, No.11.
- 6) C. A. Fogden, A. D. Garrod: Hazard Blasting Fumes in Normal Rock Tunneling with Particular Reference to Nitrogen Dioxide, The Institution of Civil Engineers, 1965, p. 252-282.
- 7) 坂部弘之，本間克典，有藤平八郎，松村芳美，原登，左右田礼典：坑内発破後の酸化窒素について，日本労働衛生工学会第6回学会抄録，昭41，37～38頁。