

トンネル内の有毒ガスに関する研究 (第1報)

若 園 吉 一

ON THE POISONOUS GAS IN A TUNNEL (I)

by Dr. Eng. Yoshikazu WAKAZONO

Synopsis

This paper shows some results of analyses and determinations of the blasting atmospheres in the Nitsuno Dam Tunnel under construction. Immediately after a blasting, the amount of CO and nitrose (NO, NO₂, etc.) in the atmospheres exceeds the respective allowable concentrations. However, after only a few minutes' ventilation, the amount of the poisonous components descends below the maximum allowable concentrations.

1. 緒 言

ダム工事などのトンネル掘鑿においてトンネルが長く且、排気不十分な場合は、爆破時のガスや運搬機械などの排気ガスの残留により作業員が頭痛、めまい、嘔吐を催し、激しい場合には窒息することさえある。この場合の有毒ガスは主として一酸化炭素 CO、ニトローゼ（酸化窒素 NO、過酸化窒素 NO₂ などの窒素の酸化物）である。著者は鉱山におけるこれら有毒ガスに対する保安について検討していたが、たまたま奈良県十津川水系の二津野ダム建設中の西松建設株式会社の依頼により、当ダムの導水路（トンネル）掘鑿工事現場の坑内ガスの分析を行つたので、その結果について報告する。

2. 現場の状況

二津野ダムは奈良県吉野郡十津川村七色に建設中で、十津川をせきとめ、このせきとめた水を長さ約 4,000m のトンネル（導水路）によつて下流の発電所に導くことになっている。このトンネルは断面 36 m² で 9 本の大型鑿岩機のついたジャンパーを用いて全断面掘鑿し、毎日 8~10 m 掘進するため 1 日当り 3~5 発破を行つている。この 1 発破で 116 kg の 3 号ひのきおよび LD ひのきダイナマイト（旭化成製）を消費するので、相当量の爆発ガスが発生する。また爆破された岩石（珪質砂岩）はコンウェイショベル（日本車両製、日熊式、KR 68）で鉱車に積み込みディーゼル機関車（日本車両製、坑内用、UDL 12 型）で坑外へ運び出す。これらの各機械の排気ガスおよび上記の爆破後ガスを捕集して分析を行つた。

3. ガス障害^{1),2)}

一般に爆破後ガスには炭酸ガス CO₂ の外に一酸化炭素 CO、窒素の酸化物（NO, NO₂ など）のような有毒ガスが微量発生する。またディーゼル機関車使用の場合には機関の燃料が不完全燃焼すれば CO の発生も起り得るものと思われる。その他、通気不十分の場合には CO₂ の滞留、酸素 O₂ の欠乏なども起り作業員の労働環境をそこなうので次に上記のガスの影響について簡単に記述する。

正常な空気の容積組成は酸素 20.93 %, 窒素 78.10 %, 炭酸ガス 0.03 %, アルゴン 0.94 % でその他微量の稀ガス、過酸化水素、オゾンなどを含有している。空気中の酸素が 16.25 % に下ると焰は消失し、15

%に減ずると呼吸困難になる。炭酸ガスは正常な空気でも常に微量は存在する。空気中の炭酸ガスが1%では呼吸が早くなる程度であるが10%になれば人間は数分で死ぬもので限度*は0.5%となつてゐる。一酸化炭素は無色無臭であるが0.01%（限度）以上では中毒症状を起し0.04%では2~3時間で頭痛、不快を感じ、0.1%では危険状態になる。酸化窒素は火薬の燃焼後の臭気（煙硝）であつて過酸化窒素は赤褐色で気道を腐蝕し突然死亡する。0.01%の酸化窒素は短時間呼吸しても致命的である。なお窒素の化合物（ニトロゼ）の限度は25 ppmといわれている。³⁾

4. 第1回測定

第1回試料採取は昭和35年5月31日に行つた。その際の掘鑿地点（切羽）はトンネル坑口より1,230 mの地点で、坑内空気の温度は19°C、湿度は95%であつた。真空にした容量300 ccのガス捕集瓶に次に述べる試料を採取した。すなわち、切羽（爆破地点）における爆破直前のガス、爆破7分後のガス、同じく30分後のガス、ディーゼル機関車の排気ガス、コンウェイショベルの上部のガス（ショベルが過熱されるため潤滑油が悪臭を放つたことがあるので念のため採取した）、ジャンボ周辺のガス、トンネル壁にセメントを捲く作業を行つてゐる地点のガス（坑口より360 mであり、切羽のようなトンネルの奥との空気の汚れを比較するために採取したものである）の7試料を採つた。

（1）質量分析計による分析

最初に採取試料の主成分である酸素 O₂、窒素 N₂、炭酸ガス CO₂ などの分析を質量分析計⁴⁾（Consolidated Electrodynamics Corp. Model 21-401）で行つた。結果は Table 1 に示す通りで O₂ はいずれの試料も

Table 1 Analyses and Determinations of Atmospheres by Massspectrometer

Components		Ar	N ₂ (vol. %)	O ₂	CO ₂	Total
Stage of Blasting	Before Blasting	0.90	77.72	20.91	0.47	100
	7 minutes after Blasting	0.88	76.10	20.48	1.12	98.58
	30 minutes after Blasting	0.87	77.07	20.74	0.60	99.28
Other Sampling Place	Diesel Locomotive	0.90	75.49	20.31	0.54	97.24
	Jumbo	0.90	77.86	20.95	0.29	100
	Conway Shovel	0.89	77.86	20.95	0.30	100
	Cementing Site in Tunnel	0.90	77.78	20.93	0.39	100
Normal Air		0.94	78.10	20.93	0.03	100

正常な空気と大差はない。CO₂ 量では限度（0.5%）を越えているものは爆破7分後と30分後の後ガスおよびディーゼル排ガスであるが、後2者は僅かに越えているに過ぎず他の場合は限度以下であるから人体に無害であると考えられる。なお、この測定では他の有機物のガスは検出されなかつた。

（2）北川式検知管⁵⁾による一酸化炭素および過酸化窒素の測定

CO の測定には種々の方法¹⁾が考案されているが、北川式一酸化炭素検知管によるのが簡便なためこの方法を用いた。結果は Table 2 の CO の欄に示す通りである。ディーゼル排ガスにおいても不完全燃焼による CO の発生が認められるが限度以下であり、爆破後ガス中には限度を越える CO が存在して作業員に

* 限度（じよげんど）とは健康な男子が8時間中程度の労働をして障害を起さない有害物質の空気中の最大濃度をいう。³⁾

危険をおよぼすことを示している。

NO₂ は北川式過酸化窒素検知管を使用して測定した。その結果を Table 2 の NO₂ の欄に示した。いず

Table 2 Determinations of CO and NO₂ by Kitagawa's Detector Tube

Components		CO (%)	NO ₂ (ppm*)
Stage of Blasting	Before Blasting	0.008	0.2—2
	7 minutes after Blasting	0.020	20
	30 minutes after Blasting	0.018	20
Other Sampling Place	Diesel Locomotive	0.008	10
	Jumbo	0	0.2—2
	Conway Shovel	0	0
	Cementing Site in Tunnel	0	6

* 1 ppm=0.0001 vol. %

れの試料においても NO₂ 量は限度以下であるが、その中で爆破後ガス中に NO₂ の存在が顕著である。しかしながらこの北川式検知管では爆破後ガス中に含まれる有害な窒素の酸化物 N₂O, NO, NO₂ などの中 NO₂ しか測定出来ず、N₂O, NO などの測定は不可能である。

以上、第1回の測定結果から、有毒ガス発生の主な原因は機械類の排気ガスではなくて爆破後ガスにあることが明らかとなった。

5. 第2回測定（ニトロゼの分析）

第2回の実験は昭和35年10月17日に行つたもので当時工事は坑口より 2,050 m の地点を掘進中であつた。坑内温度 21℃、湿度 99% の他、条件は第1回の実験と同様である。なお、切羽面より 20 m 離れた場所にブローを据えつけて排気を行つていたが、爆破 30 分前に排気を中止し爆破直後の切羽におけるガスを捕集した後、再び排気を開始して同一場所の爆破 5 分、15 分、45 分後の各ガスを採取し測定の試料とし排気効果を併せて検討した。

窒素の酸化物（ニトロゼ）は爆破に関連して発生するものであるが、これらの NO, NO₂ など有毒な窒素の酸化物を全部捕捉定量するためフェノールジスルホン酸法¹⁾を採用した。すなわち 3% の過酸化水素水 3 滴を加えた N/10 硫酸 10 cc（吸収液）を入れて真空にした容量 250 cc の特殊真空捕集瓶に試料ガスを採る。これを洗い出して 100 cc とし苛性カリを加えて微アルカリ性にして蒸発乾固し冷後 2 cc のフェノールジスルホン酸試薬を加えて溶解しアンモニア水で発色させて比色定量しニトロゼをすべて NO₂ として算出する。この方法は約 100 ppm の濃度の場合 2~3 ppm の差を生ずる程度であるから北川式過酸

Table 3 Determinations of Nitroze (NO, NO₂ etc.) by Phenoldisulfonic Acid Method

Sampling Time	Nitroze (ppm)
Before Blasting	0
0 hour (Blasting Time)	99.1
5 minutes after Blasting	54.0
15 minutes after Blasting	36.7
45 minutes after Blasting	10.6

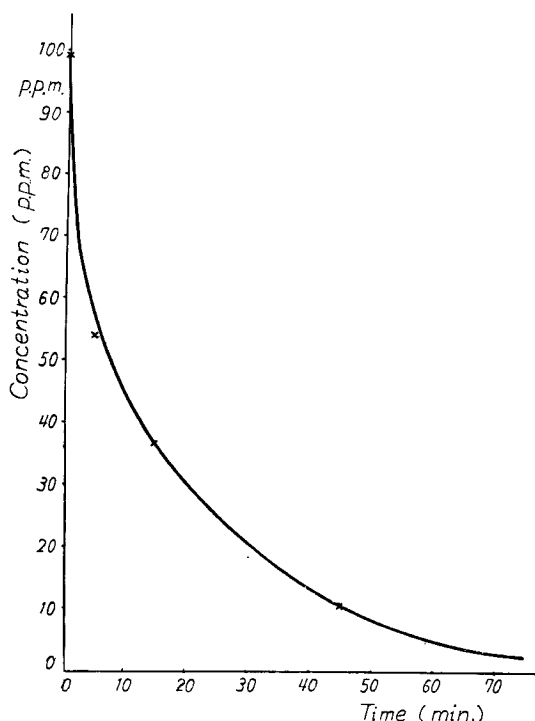


Fig. 1 Decreasing Curve of Nitroze Gas

化窒素検知管より正確である。

実験結果は Table 3 でありこれを Fig. 1 に図示した。ニトロゼの濃度は爆破後、時間を経るに従って小さくなり約 25 分で恕限度になっている。故に排気さえ充分に行えば人体に対して安全であることが認められる。

6. カナリヤによる動物実験

カナリヤは CO に敏感であるから外国では CO の試験にしばしば使用されている。⁶⁾ 我が国ではそのような試験法が用いられた例は少いが、本実験において念のため試みた。

昭和35年10月17日、18日の2日間にわたつた3回の爆破（坑内における各種条件は第2回測定の場合に同じ）の直後に、カナリヤ3羽を切羽に持参し、爆破後45分間、切羽に置いてカナリヤの状態を観察した。いずれの場合にも3羽共異状は認められなかつた。

なおカナリヤは CO 濃度 100 ppm（人体に対する恕限度）においては口を開いて

て止木にやつと止つている程度、200 ppm では 4～5 分間で墜落する。人間は 200 ppm の濃度において 2～3 時間で軽い前頭痛を感じる程度であるといわれている。⁷⁾

7. 結 言

以上の実験結果より、十津川水系二津野ダムの導水路（トンネル）掘削現場の有毒ガスは一酸化炭素 CO、窒素の酸化物（ニトロゼ）であり、その発生原因は機械からの排気ガスではなくて爆破後ガスにあることが明らかになった。しかし爆破直後（有毒ガスの濃度が最も大）においても恕限度を少し越える程度であるから排気を充分に行えば人体に対して障害はないと思われる。

本研究につき御教示を受けた佐々憲三教授に厚く御礼申し上げる。また測定を担当された榎田勉博士（理学部化学教室）および日野熊雄博士（日本化薬株式会社）、実験に協力した学生佐藤健君に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 日野熊雄, 仁多富男: 最近の鉱内ガス試験法, 九州鉱山学会誌, 25巻, 6号, 1957, pp. 242-250.
- 2) Williams, L. L.: Toxicity of Fire Gases, Fire Engineering, Vol. 112, No. 5, 1959, pp. 373-375.
- 3) 北川徹三: 安全工学, 最近の化学工学, 1956.
- 4) 広田鋼蔵, 早川晃雄, 小林康司, 荒木峻: 質量分析, 実験化学講座, 1巻, 1957, pp. 499-516.
- 5) 北川徹三: 検知管による微量ガスの迅速定量法, 化学の領域, 6巻, 7号, 1952, pp. 8-19.

- 6) Spencer, T. D. : Carbon Monoxide Its Effects on Man and on Canaries, Colliery Guardian, Vol. 197, No. 5103, 1958, pp. 755-759.
- 7) 戸田嘉明（神戸医科大学衛生学教室）：未発表