

炭酸ガスが突出した水路トンネル掘削工事

会 員 森 勝 平
○早 坂 拓
岩 見 孝 司

1. ま え が き

本工事は豊平川総合開発の一環として、札幌市内を流れる豊平川上流に豊平峽ダムを造り、豊平川の洪水を調節し激増する札幌市の上水道用水を補給し、合わせて発電を行うものである。

発電計画は豊平峽ダムに依る貯水を利用しダムに隣接して設ける取水口から延長 6,700 m の圧力トンネルにより導水し、最大使用 $26.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 有効落差 221 m により豊平峽発電所で 50,000 kW を発電する。

当社は豊平川より 2 km 離れた薄別川（流域 25 km^2 ）に取水ダムを設け、支水路トンネルにより豊平峽ダムに注水する工事を担当したが約 600 m の掘削が進行した地点にて、突然炭酸ガスが出て以降約 300 m のガス帯が続き、ガス帯 120 m 地点にて大きな突出事故があり大変な難工事となったが、向い掘りを行なって昭和46年3月31日貫通することができた。

今回ガスの発生状況、掘削方法等についての計画及び実施の経過を発表する。

2. 工 事 概 要

工事名 豊平峽砥山発電所
発注者 北海道電力株式会社
工事場所 札幌市定山溪地内薄別
工期 自昭和44年9月1日
至昭和47年2月通水予定

工事内容

(a) 支水路トンネル

横坑 93.00 m（掘削 $7.5 \text{ m}^3/\text{m}$ ）
本坑 1,540.00 m
掘削 $5.84 \text{ m}^3/\text{m}$
コンクリート $2.382 \text{ m}^3/\text{m}$

(b) 取水ダム

コンクリート $1,860 \text{ m}^3$ 鉄筋 65 t
堤長 25.600m 堤高 6.00m

(c) 取水口

コンクリート 300 m^3 鉄筋 15 t

(d) 注水口

コンクリート 220 m^3 鉄筋 15 t

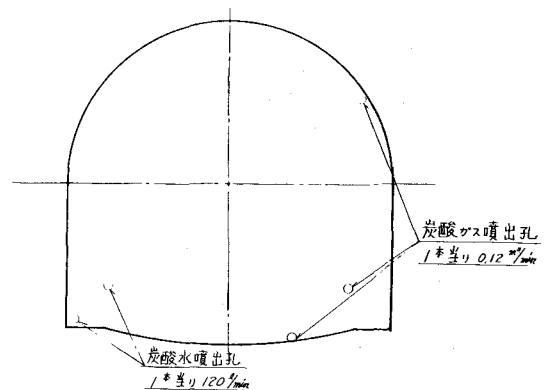
3. ガスの発生状況

測点 604 m 地点の掘削中突然削孔穴よりガスが噴出し北電技術研究所での分析の結果、炭酸ガスと解った。

最初は炭酸ガスの噴出のみであったが、その後削孔穴よりプレッシャーのかかった炭酸水が 10 m 位吹き出る状態となり、出水量は $120 \text{ l}/\text{min}$ もあった。しかし発破をかけると炭酸ガスも炭酸水も出なくなり削孔すると出るというような状態が続いた。

炭酸ガスの発生と共に坑内の気温が 26°C と以前より $4\sim 5$ 度上昇した。

炭酸水の出る原因として注水口側に往時より炭酸水の



図一 ガス発生状況図

※ 戸田建設札幌支店次長

” 工事課長

” 社員

出る所があり、工事前にはハイキングの人達がよく飲んだそうであり、同じ地脈のために炭酸水が出たと思うが岩質が破碎炭酸化凝灰質砂岩になるとともに切羽の押出し突出がおこった。

説 明 文

炭酸ガス、炭酸水、突出例

1. 炭酸ガス突出

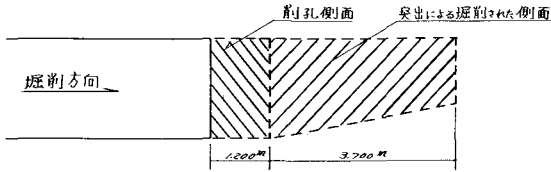


図-7

地山は軟弱のためスプリングラインより 50 cm 位の位置まで削孔し、少量の火薬を装添した。発破と同時に多量の炭酸ガスが吹き出し計画掘削断面よりも掘削方向に 3,700 m の断面が大きくなった。側壁部分は 3,700 m 地点に達するにつれて地山が残る状態であった。

炭酸ガスの濃度は一時10パーセント以上となったが1時間後には2パーセントとなった。

2. 炭酸ガス突出

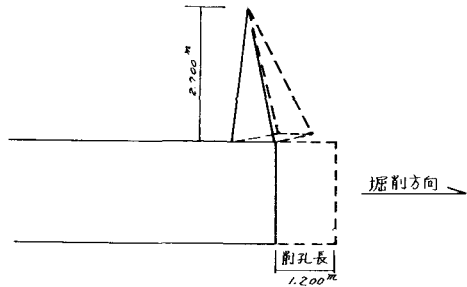


図-8

天端面より落盤したズリによって支保工4基（切羽側より）は押し倒される状態となった。

炭酸ガス濃度は10パーセント以上となったが1時間後には2パーセントに下った。

3. 炭酸ガス突出

朝の第1回発破と同時に炭酸ガスが突出し天端面よりズリ突出により支保工7基押し倒される。炭酸ガス濃度は10パーセント以上となる。

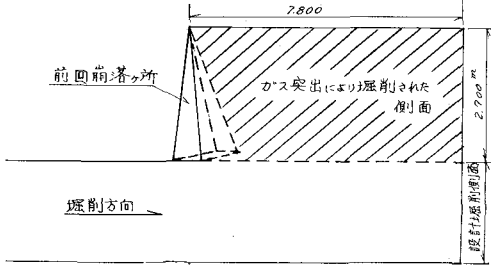


図-9

4. 炭酸ガス突出

午前中坑内温度上昇し26度となる。
午後より警戒しながら穿孔したが炭酸ガス噴出せず。
スプリングより下のみ発破、同時に炭酸ガス突出したが約1時間後に消滅した。支保工には異状は無かった。

5. 炭酸ガス突出

午前中の第1回の発破にて突出
穿孔長 1,500 m に対して2,800 予定掘削延長よりも大きくなる。支保工異状なし。

6. 炭酸ガス突出

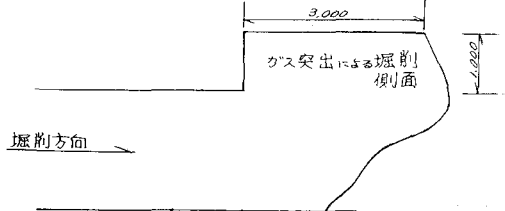


図-10

発破と同時にガス突出した。
天端面からのズリ突出により支保工5基押し倒される。
炭酸ガス濃度は10パーセント以上となる。
4時間後には2パーセントとなった。

7. 炭酸ガス突出

発破と同時にガス突出。
天端面より 7,000 m 上から円錐状に崩落する。
ズリにより支保工7基押し倒されて炭酸ガス濃度は10パーセント以上となった。

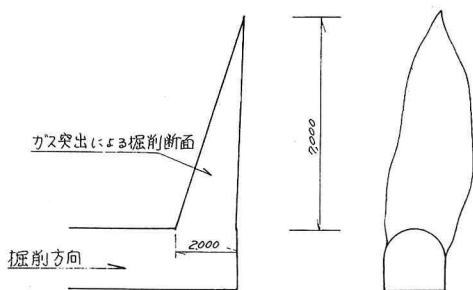


図-11

8. 炭酸ガス突出

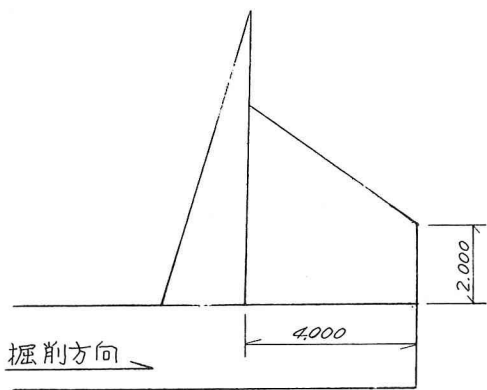


図-12

発破と同時にガス突出して以前に崩落した個所に続いて天端面が崩落した。
天端面からのズリによって支保工4基破損した。
ガス濃度は10パーセント以上になった。

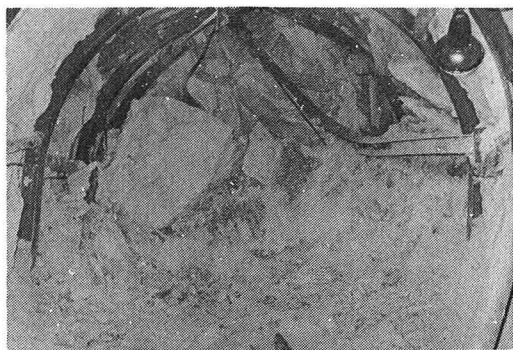


写真-1 発破後の切羽前面のH型鋼支保工の損傷と倒潰状況

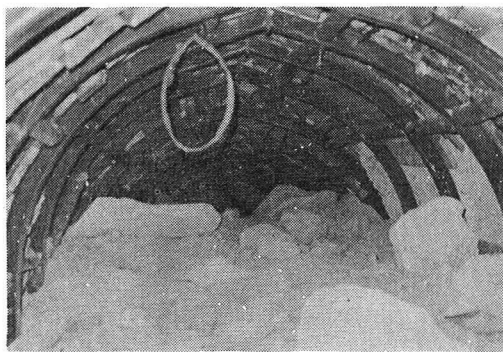


写真-2 切羽後方10m付近の礫突出状況として管リング破損状況

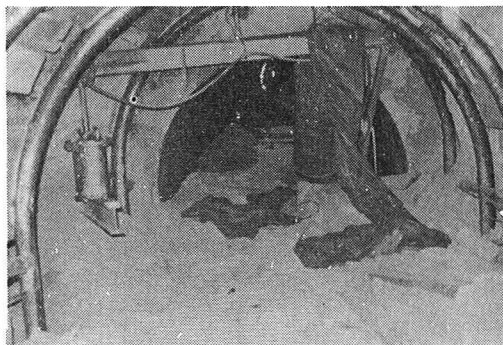


写真-3 切羽後方20m付近のチェリーピッカー付近の礫と風管の損傷状況

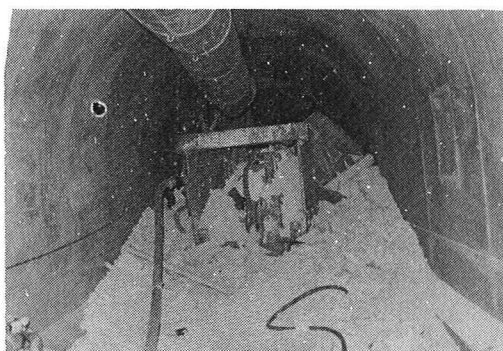
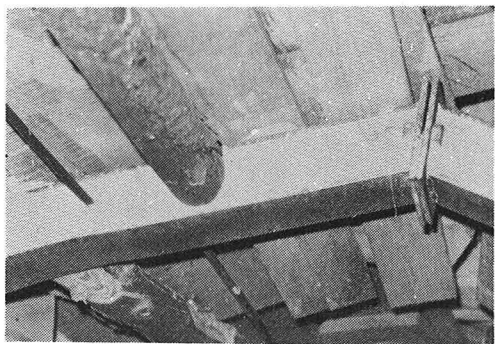
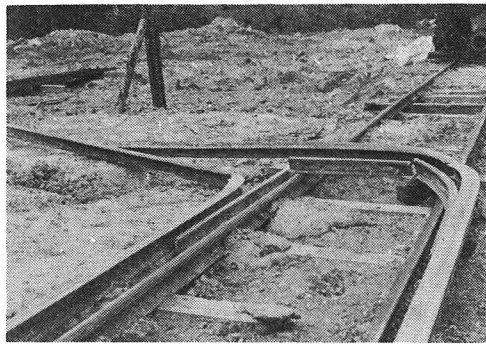


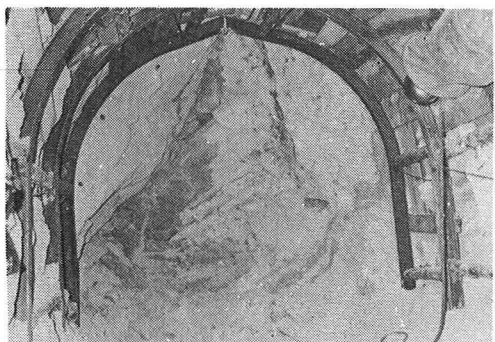
写真-4 切羽後方25m付近のロッカーショベルの礫埋没状況と風管損傷の状況



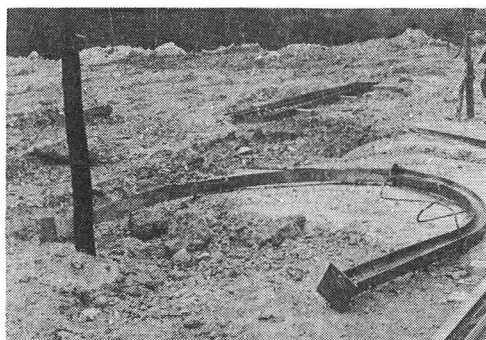
写真－５ 炭酸ガス突出のため岩粉の飛散状況



写真－８ 切羽先端に布設してあった、ロッカーショベル用12kg/m レールの切断状況（レールは先端より約2 mの点で約70～80°曲げられて切断している）



写真－６ 礮処理後の切羽正面の地質状況



写真－９ 切羽最先端に架設したH型鋼支保工の破損状況（復元）



写真－７ 礮処理後切羽左側の空洞入口



写真－10 同上H型支保工の屈曲状況

4. 掘削方法

炭酸ガスによる、押出し、突出というような事例は過去において西独の岩塩採取場で発生したことがあったと
きくが、トンネル工事においては世界にも例がなくどのような工法が適切か現場において、色々の工法を試みた
が結局は最も状況の似ている炭坑のガス抜き工法を参考に計画して実施した。

現在炭坑で行っているガス突出予防法として。

- 1) 高圧水注入法
- 2) 弛めボーリング
- 3) ガス抜き法
- 4) 誘導発破法

の4工法が上げられるが高圧注入工法は当トンネルが1/1,500の突込線であること、地質が破碎炭酸化凝灰質砂岩であるためヘドロ化するなどによって採用せず、2, 3, 4の工法の併用で作業を行なった。

施工法は先ず弛めボーリングを50~60m先行し、ボーリング孔の炭酸ガスの抜けるまで一定期間放置し、3 m ロットで探り削孔し、1.2 m ロットによりバンカット工法で発破を行なったがガス突出は止まらなかった。

現在炭坑においてもガス抜きの工法としてこれ以上の工法はなく、完全なガス突出予防法はないとのことである。

最終的には工法を全断面削孔発破とし点火位置を坑外におき掘削を行なった。

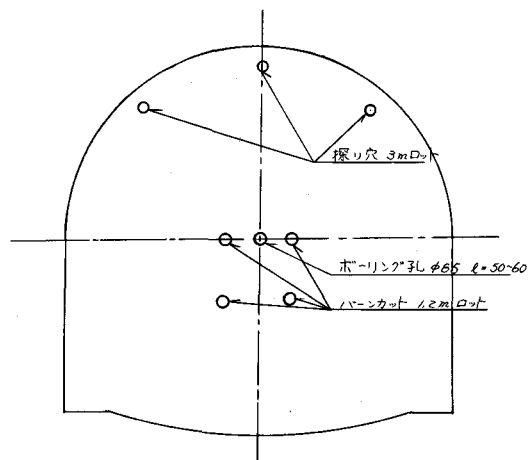


図-2 ガス抜き施工図

発破をかけない限りガス突出はないという前提にたたない限り掘削は不可能である。しかし炭坑等のガス突出の状況では95パーセントの確率しか未だ確信が得られないというデータが報告されている。このため当トンネル

も削孔及礪出し中の突出に対する安全対策及作業環境の整備が必要であると考えられた。

噴出ガスの分析結果と地上空気の比較は次のとおりであった。

表-1 噴出ガスの分析結果と地上空気の比較

成分(%)	酸素	窒素	アルゴン	一酸化炭素	メタン	炭酸ガス	水素
空気	20.99	78.03	0.94	0	0	0.03	0.01
噴出ガス	0	0.80	0.05	0	0.1	99.05	0

上記のとおり炭酸ガスは99.05 パーセントであった。

炭酸ガスの人間に与える影響は労働安全衛生規則によると次のとおりである。

表-2

炭酸ガス濃度	症 状
1.5 %	労働安全衛生上の怒限度
2.5	数時間の吸入で症状がない
3.0	呼吸の深さが増す
4.0	粘膜の刺激を感じ頭部圧迫
6.0	呼吸数は着明に増す
8.0	呼吸困難
10.0	意識喪失
20.0	死 亡

作業坑内は炭酸ガス濃度1.5 パーセント以下にする必要があるので、このため清新な空気を送り、ガス濃度をうすめた。

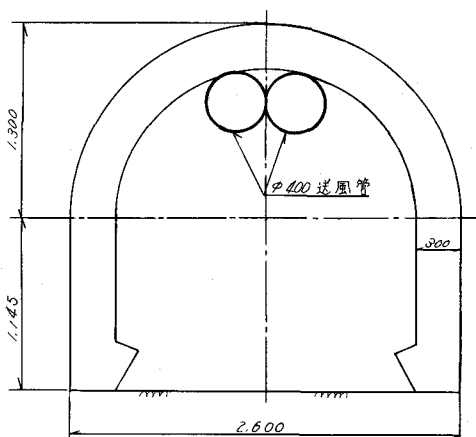


図-3 風管取付図

送気方法

泉式ファン2.2 IP2台、風管φ4002列によって切羽に送風した。

最初は送風1本、吐出1本と入吐気にしたが、車風が起き送風量がロスするため2本共入気にし坑道吐気的方式にした。

送風量

$$Q = 0.2 \times 0.2 \times \pi \times 8.82 \times 60$$

$$\approx 66 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{風速実測} \quad 8.82 \text{ m/sec}$$

全送風量

$$Q = 66 \times 2$$

$$\approx 132 \text{ m}^3/\text{min}$$

平常坑道は1.0パーセントの炭酸ガス量である。

想定すると、

$$132 \times 0.01 = 1.32 \text{ m}^3/\text{min}$$

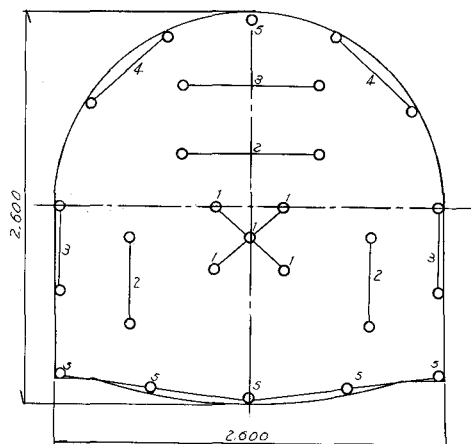
約1.3 m³/minの炭酸ガスが出ていると推定される。ガス突出の時は坑道600 mが1分位で炭酸ガス濃度20パーセントになった故に、600 m×6 m²（断面積）×0.2 = 720 m³/minの炭酸ガスが出ていると推定されこの異常な炭酸ガスに対してはどのような対策もない。

掘削掘出し中の安全対策としては、切羽に常時ガス測定員及びガス警報器を据付け、1.5パーセント以上のガス濃度になった場合作業を中止退避し、もし急激にガス量が増加した場合に備へ、切羽の根元に空気呼吸器2型（7分使用）を10台設置した。

安全に用いた器材

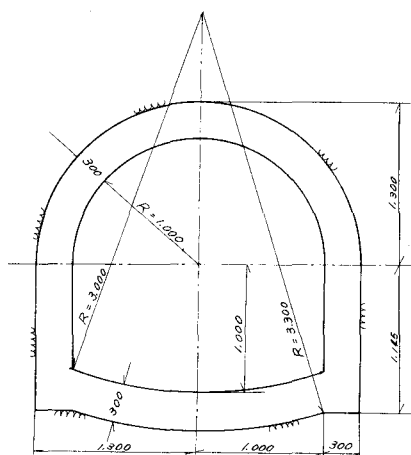
表－3 安全に用いた器材

種 類	メーカー	数量	備 考
炭酸ガス検定器	東計計器	2台	100 %, 10%用
ガス自動警報器	"	1台	
空気呼吸器2型	重松製作所	10台	7分使用
" 6型	"	2台	30分使用
" 8型	"	2台	40分使用
風管(ナイロン製)			φ 400 × 10 m 坑道延長分
泉式プロペラファン		6台	2.2 IP



図－4 ガス帯穿孔標準図

使用ダイナマイト		2号棟 φ 25×100
使用雷管		D. S 0.25sec 1～5段
断面積		5,840 m ² /m
岩質		破碎炭酸化凝灰質砂岩
発破進行		1,000 m
破 穿 孔 長	砕量	5,840 m ³
	心抜	1,200 m
	心助	1,000 m
	払	1,000 m
穿孔数		27本
発破火薬量		5.97kg
m ³ 当り使用量		1.01kg
ロット長		1,200 m
ピット径		φ 38 m/㎡クロス



図－5 標準断面図

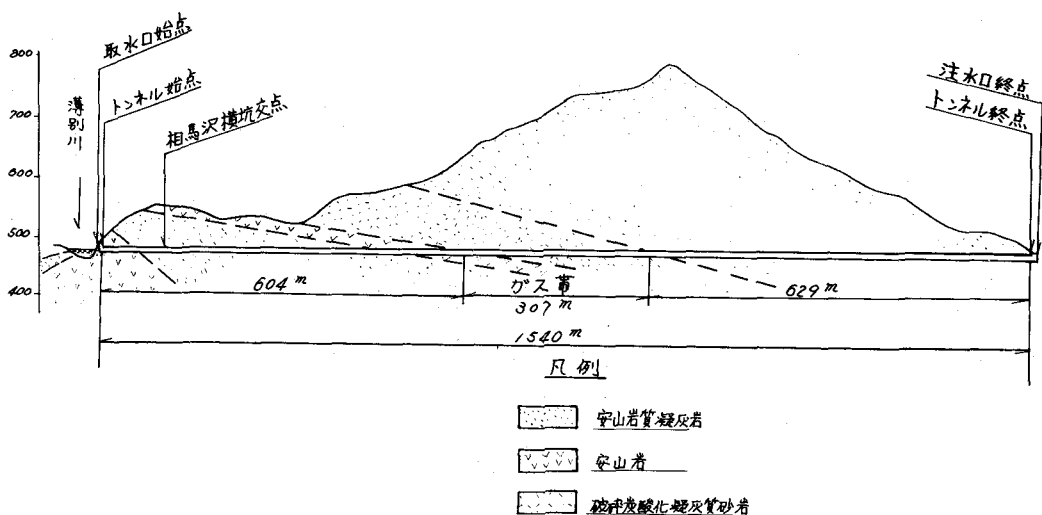


図-6 地 質 図

5. む す び

トンネルの巻立ても終了し、炭酸ガス突出の心配も現在はなくなったが、今も微量のガスが出ている。

炭酸ガスの突出という、我々の常識を破ったトンネル工事は関係各位の後援のお陰で46年12月に完了した。

特別に技術的には解決したものではなかったが、自然の脅威を教えられた技術者の報告として発表する。

なお、施工にあたり、いろいろご指導をいただいた通商産業省工業技術院公害資源研究所田代課長及び住友石炭KK 兼石氏に深くお礼を申し上げます。