

新桜町トンネルのメタンガス対策について

A SAFETY MEASURE FOR METHANE GAS EMISSION DURING CONSTRUCTION OF SHIN-SAKURAMACHI TUNNEL

桑原 始*・中村一伸・堀内秀行**・中原史晴

Hajime KUWABARA, Kazunobu NAKAMURA, Hideyuki HORIUCHI, Fumiharu NAKAHARA

Shin-Sakuramachi Tunnel, 1.972km long road tunnel, is part of the 3.54km long renovation section of the national highway No.291, which connects Ojiya-shi and Oguni-cho in Niigata Prefecture. The tunnel passes through an old gas field and the emission of flammable gas was expected before starting work.

This paper describes the safety measure for methane gas emission during tunnel excavation based on the authors' observation of the relationship between atmospheric pressure and the amount of gas emission.

Keywords : NATM, methane gas, atmospheric pressure,

1. はじめに

新桜町トンネルは、一般国道291号(小千谷市-小国町)の改良工事として、全長 $L=3,540$ mの改良区間に計画された延長 $L=1,972$ mのバイパストンネルである。一般国道291号は昔から小千谷市と小国町・柏崎市を結ぶ重要な路線であり、近年は関越自動車道の開通により小千谷インターへのアクセス道路としてさらに重要性を増してきている。しかし現道は急勾配、急カーブの連続で、冬期の凍結時には危険で不便をきたしている。さらに、現在の桜町トンネルは幅員が5.0 mと狭く大型車のすれ違いが困難な状況となっている。このような理由により、平成4年からトンネルが着工となり、現在までに約800 mのトンネル掘削工事が完了している。

本トンネルの地質構造の特徴として、小千谷側坑口から西方約700 m付近にある、南北を軸とする背斜軸が挙げられる。この背斜軸に沿ってトンネル中間点の北方約2.5 kmの地点には往時盛んに稼行された片貝ガス田があり、トンネル中間点の南方3.0 kmには小千谷ガス田がある。この地域一帯はガス田の発達した地帯であり、本トンネル施工においても可燃性ガスの湧出が当初より想定されていた。

2. 地形・地質概要

新桜町トンネル付近の地質は新第3紀中新世の土谷層を基盤として、その上位に寺泊層・椎谷層が堆積し、さらにその上位に中新世後期から鮮新世にかけての西山層が堆積する。西山層の上位には、第3紀鮮新世後期から第4紀更新世前期の灰爪層が堆積し、その上位には更新世の魚沼層が不整合に堆積する。第4紀更新世から完新世にかけては段丘堆積物、沖積層、崩土がそれらの上位に堆積する。

* 新潟県小千谷土木事務所土木課長

** 大成建設(株)新桜町トンネル所長

本トンネルは上述の魚沼層内にあり、魚沼層は上部の泥岩・砂岩・れき岩の互層、中部の砂岩・泥岩の互層、下部の砂れきと粗粒砂岩からなる層厚 600～1000 m の堆積層である。

前述のガス田は、魚沼層下部に発達する灰爪層～西山層を対象にして稼行されていたが、魚沼層も可燃性ガス（ CH_4 を主成分）・油の胚胎層であったと考えられる。特に本トンネルのほぼ中間部に発達する背斜軸付近では魚沼層の泥岩と砂岩が発達して、泥岩は帽岩（キャップロック）的役割をなし砂岩は泥岩の下部に堆積してガスの胚胎層を形成していたと思われる。現在では、背斜軸に発達していた帽岩的役割の泥岩の大半は浸食されてしまったと考えられている。しかし、造構造運動に伴って形成された背斜構造付近にはテンションクラックの形成と内部応力の開放などによる破碎帯の形成や断層・亀裂が発達して、これらの破碎帯・断層・亀裂は灰爪層および西山層にまで発達し、地層内に胚胎するガスや油がこの割れ目に沿って上昇し破碎帯内に貯溜したり、砂岩層中の地下水に溶解しているものと考えられる。

3. メタンガス湧出状況

3・1 メタンガス湧出までの経緯

平成 4 年の工事着手時からメタンガスの自動検知器を設置して施工を続けてきたが、坑口から $L=380$ m 付近まではメタンガスの湧出は確認されなかった。当初は $L=700$ m 付近の背斜軸でメタンガスの湧出が予想されていたが、 $L=379$ m から先進調査ボーリングを行ってコア採取を行い前方地質を確認したところ、15 m の区間で風化した泥岩層を確認し、風化泥岩層の先で粗粒砂岩層となり $L=415$ 付近で約 100L/min の湧水とともにメタンガス・油の湧出を確認した。メタンガスは先進調査ボーリングの孔口から水、油と共に湧出して、油の湧出が止まってからも湧水と共に湧出し続けた。このメタンガス湧出によってトンネル坑内のメタンガス濃度が上昇することはなかった。これは、メタンガス湧出量に対しての換気量が十分であったためだと思われる。その後も水抜き・先進調査ボーリング等でメタンガスが確認されている。また、切羽の溜り水にも地盤より染み出したメタンガスが気泡になって沸き上がっていた。

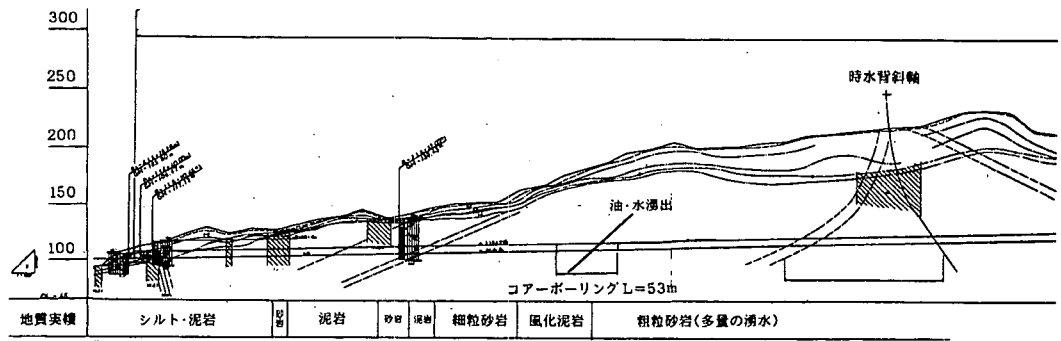


図-1 メタンガス湧出地点地質縦断面図

3・2 メタンガス検知警報設備（測定体制）

トンネル坑内でのメタンガス濃度測定および警報設備として、メタンガスの湧出が確認された $L=450$ m 付近から延長 100 m ごとに定点式のメタンガス自動検知警報器（理研 GP-631 型）を、また風管の先端から 30 m 後方に移動式の検知部を設置している。上半切羽のメタンガス濃度は切羽後方 10 m に簡易型ガス測定器（GP-88 型）を設置のほか、切羽作業主任者に携帯式ガス検知器（XA-911 型）を携帯させることにより測定している。また、専任のメタンガス測定員を置き各作業前、作業中のメタンガス濃度を測定（NP237-H 型使用）、記録している。

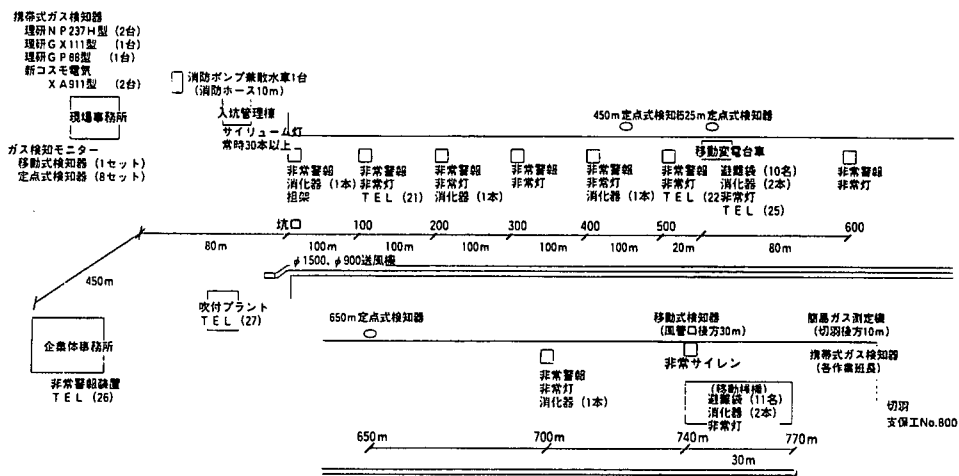


図-2 メタンガス検知警報設備

3・3 メタンガス湧出機構の想定

3・3・1 施工計画検討時のメタンガス湧出量推定式

- (a) トンネル掘削によるメタンガスを含んだ地山への影響範囲を想定し、ボーリングコア内のガス含有量分析結果をもとにトンネル内への湧出量を想定する。

$$Q_G = \pi \cdot \left(\frac{D + 2\beta D}{2} \right)^2 \cdot (X + \alpha D) \cdot \gamma_i \cdot q \cdot \frac{L}{24 \times 60} \quad \dots \dots \dots (1)$$

α : 切羽前方の影響範囲に関する係数
 β : 半径方向の影響範囲に関する係数

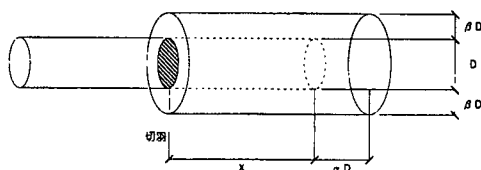


図-3 推定式(a) 概念図

- (b) 地下水に溶解しているメタンガスが掘削にともなう静水圧の低下により遊離湧出する時。

$$Q_G = Q_w \cdot \alpha(1 + p) \quad \dots \dots \dots (2)$$

Q_w : 湧水量, α : メタンガスの溶解度, p : 水圧

- (c) 平松良雄氏提案

$$Q_G = \frac{\pi(3D)^2 L}{4} \cdot \frac{1}{24 \times 60} \quad \dots \dots \dots (3)$$

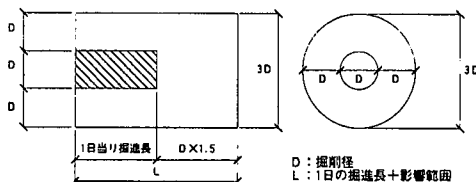
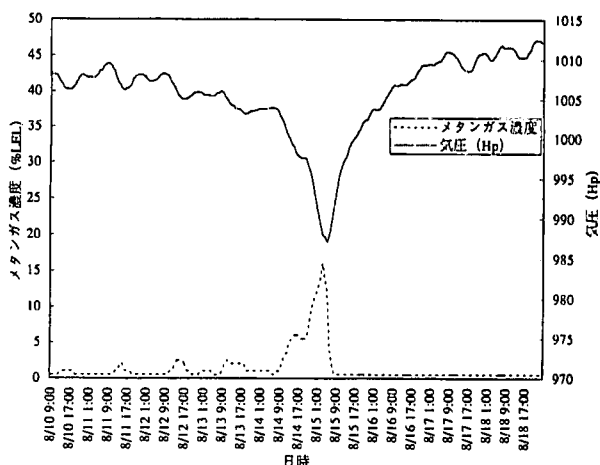


図-4 推定式(c) 概念図

3・3・2 L=450 m付近の湧出状況

メタンガス湧出を最初に確認したL=450 m付近はトンネル切羽が進んでからも濃い濃度のメタンガスが少量ではあるが湧出し続けている。また、低気圧接近等の気圧低下時には天端に設置しているメタンガス自動検知装置が作動している。H.8.8.14の台風12号通過時のデータでは、気圧は16.5hp/19h=0.87hp/h低下しメタンガス発生量は2.5 m³/分であった。

この付近の気圧低下によるメタンガス湧出の状況は次のように推測される。メタンガスを溶解した地下水が粗粒砂層を満たしている。トンネル掘削にともない地下水位が下がり、溶解していたメタンガスが遊離する。遊離したメタンガスは湧水とともに坑内に湧出するとともに、地下水が抜けた後の空隙に溜まる。気圧が低下すると、空隙中のメタンガスが膨張してトンネル内空へ湧出する。



図ー5 気圧低下時のメタンガス濃度

4. 今後のメタンガス対策と問題点

前章までに本トンネルにおけるメタンガスの発生状況を述べてきた。これより従来まで行ってきた掘削切羽でのメタンガス対策（先進ボーリング、さぐりボーリング等によるメタンガス湧出量推定およびメタンガス突出防止）に加えて既施工区間における気圧低下時のメタンガス湧出増加を考慮して施工を進めることが重要である。以下に今後のメタンガス湧出対策および課題を示す。

1. 従来までのメタンガス対策を確実に行う。
2. 気圧低下時の測定・警戒体制の強化。
3. 高濃度メタンガス湧出地帯の局部換気対策。
4. 2次覆工施工時に型枠および防水シートと地山の間に溜まるメタンガス対策。
5. 2次覆工施工後のメタンガス湧出状況の把握。

5. まとめ

本工事は約800 mの掘削工事を終了し、約1000 mを残しています。覆工工事は未施工で来年度より着工する予定です。メタンガス湧出を完全に予知することは不可能であり、無事にトンネルを完成させるために諸先輩方のご指導のもと慎重に施工を行っていきます。

6. 参考文献

- 1) 石井康夫：建設工事の保安地質学, 土木工学社, 1979.
- 2) 堀内秀行・中原史晴：NATMトンネルにおけるメタンガス対策について, 第13回土木学会新潟会研究調査発表会論文集, pp.585~588, 1995.11