

東九州自動車道の可燃性ガス対策検討について

井関 友則¹・岩本 誠治¹・白石 洋二¹

¹九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 工務第三課 (〒880-8523 宮崎県宮崎市大工 2-39)

芳ノ元トンネルは、東九州自動車道のうち、宮崎市、日南市の2市を通過する延長約28kmの区間に位置するトンネルであり、施工中に地すべりが発生したため、トンネル内に地すべり対策用排水トンネルが建設されている。地質調査時に、可燃性ガスが確認されるとともに、ガスは気圧低下時に発生することが想定されたため、大型台風接近時のメタンガス調査を実施した。大型台風等の低気圧接近時、坑内空気中のメタンガス濃度が上昇し、30%LELを超えるメタンガス濃度が確認されたことから、労働安全衛生規則によれば、通風・換気が必要となるトンネルに該当することが明らかになった。このため、排水トンネル内のメタンガスを含んだ空気を排気するために、排水トンネル坑奥部に立坑を計画し、換気設備は、メタンガス濃度に加え大気圧による換気制御システムを構築した。

Key Words: メタンガス調査, メタンガス発生メカニズム, メタンガス対策

1. はじめに

トンネル工事で発生する災害のうち、地山から発生する可燃性ガスによる爆発事故は、新潟県の八箇峠トンネル内ガス爆発事故の事例にもあるとおり、被害が甚大になりやすい。

一方、メタンガスなどの可燃性ガスは気圧の低下により地山からの湧出量が増え、ガス爆発事故を誘発しやすくなることが知られているが、台風のような大型低気圧接近時におけるメタンガス発生状況の実態を調査・報告した事例は少ない。

本稿では、トンネル内に建設された地すべり対策用の排水トンネルを対象として、平成30年9月下旬に発生した台風24号接近時の坑内メタンガス濃度の発生状況を調査し、それを踏まえたメタンガス発生機構の解明、可燃性ガス対策検討結果を報告する。

2. 芳ノ元トンネル概要

(1) トンネル概要

東九州自動車道は、北九州市を起点に大分県、宮崎県を経て鹿児島市に至る延長436kmの高速自動車国道である。このうち清武～北郷間については、宮崎市、日南市の2市を通過する延長約28kmの区間であり、東九州自動車道の高速ネットワークの一部を形成するものとなっている。芳ノ元トンネルは、上記区間に存在する延長1,880mのトンネルである。

(図-1～図-3)

当該トンネルは、日南層群の破碎質な堆積岩類からなり、表層から深部まで地すべり地形である。主体的に分布する頁岩は、ほぼ破碎された粘土状を示し、所々に新鮮で堅強な塊状砂岩が混在する地質である。

本坑掘削中に日南層群(砂岩頁岩混在層)に起因した地すべりが発生し、地すべり対策が必要となった。そこで、地すべり対策工の地下水排除工として、本坑に接続する袋小路構造の排水トンネルが施工され、集排水ボーリングが実施されている(図-4)。



図-1 全体位置図

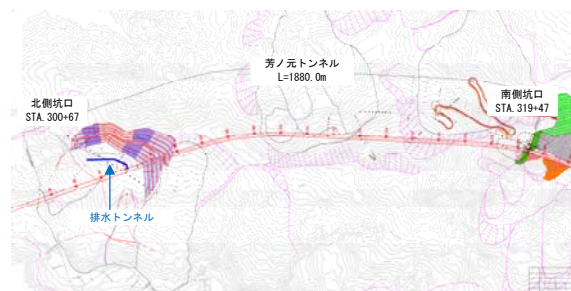


図-2 芳ノ元トンネル平面図

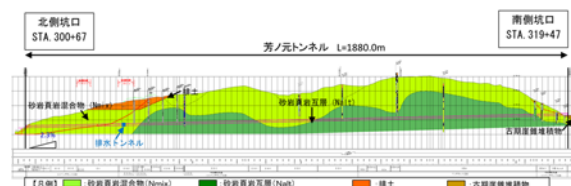


図-3 芳ノ元トンネル縦断面図

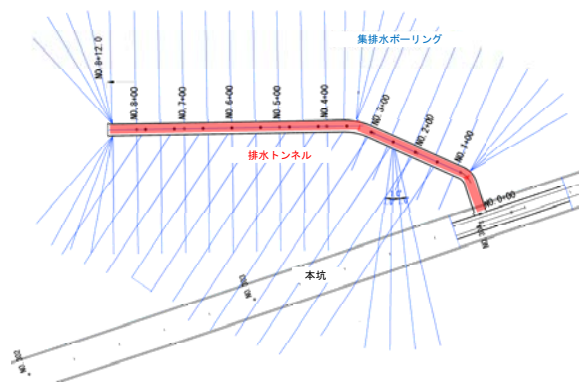


図-4 排水トンネル位置図

(2) トンネル内で発生する可燃性ガス

有毒ガスが発生する地山としては、破碎帯が含まれる地山等が該当し、特にメタンガスは、無色無臭であるうえ、空気より軽いため察知しにくく、ガス濃度が5~15vol%の範囲において、火源があれば爆発する性質の気体である。なお、メタンガス濃度は、爆発下限値の5vol%=100%LELで換算される。

(3) 可燃性ガス発生状況

当該トンネルの施工記録によると、平成21年6月、切羽から可燃性ガス（メタン）が噴出し、24.8vol%のメタンガス濃度が確認された記録がある。

また、平成25年8月、排水トンネル内においても、集排水ボーリング工が着手されたときに、削孔完了後の水抜き孔より高濃度（最大89vol%）の可燃性ガスが検出された記録が残っている。

3. 可燃性ガスの調査

(1) 平成29年度に実施した地質調査

排水トンネルで、可燃性ガス対策検討や可燃性ガス胚胎状況と地質構造の関係を明らかにすることを目的として、排水トンネルの切羽付近へ到達するように鉛直ボーリングを行い、ガス濃度測定を実施した（図-5）。その結果、頁岩破碎帯に囲まれた塊状砂岩の掘削時、10vol%以上のメタンガスが噴出した。また、頁岩破碎帯からもメタンガスを確認した。

(2) 平成29年度に実施したガス調査

排水トンネル内において、無換気条件下でのガス濃度上昇状況を把握するため、排水トンネル内の換気設備を停止させた状態でガス濃度測定を行った。

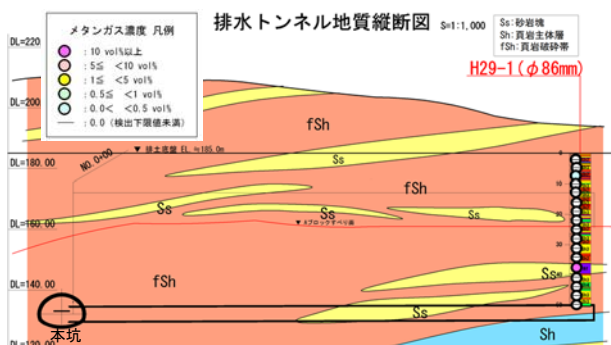


図-5 地質縦断面図

調査は2回実施し、1回目の平成29年12月23~28日の期間では、ガス濃度上昇は確認されなかった。一方で、2回目の平成30年1月8日においては、ガス濃度の上昇が認められ(最大12%LEL)、濃度が低下しなかったため、換気設備を再稼働する対応を行った。

1月8日のモニタリング時は、直近2ヵ月で最も気圧が低い日であったため、上記モニタリング期間におけるガス発生有無は、大気圧の違いによるものと考えられる。この調査から、ある程度の気圧を下回れば、メタンガスが発生することが推察された。

(3) 調査結果の考察

これらの調査結果より、メタンガスが排水トンネル内へ漏出するメカニズムを、以下のように整理した。

- 砂岩塊や頁岩破碎帯には、メタンを溶存させた被圧地下水が貯留されており、被圧構造（大気圧、間隙水圧、地圧による）が解放された時点でメタンが大気へと遊離する。
- 図-6に示すように、気圧上昇時(好天時)は、排水トンネル内気圧が地中内圧力より大きいため、排水トンネル内へのメタンガス漏出が妨げられる。一方、気圧低下時は、地山内の圧力よりも排水トンネル内の圧力の方が相対的に小さくなるため、集排水ボーリング内や周囲地盤中のメタンガスが排水トンネル内へ漏出する。

想定したメカニズムによれば、メタンガス発生リスクは気圧低下時に常に生じることが懸念された。そして、排水トンネルは本坑に接続しており、発生したメタンガスが爆発した場合、本坑へ甚大な影響を及ぼす危険があることから、換気施設が必要となる可能性が示された。

(4) 可燃性ガス対策への課題

一方、排水トンネル内では、気圧低下時のみメタンガスが湧出する可能性があり、通常時は発生していないことから、換気設備の必要性判断、換気規模を策定するため、メタンガス発生メカニズムの解明が課題となった。

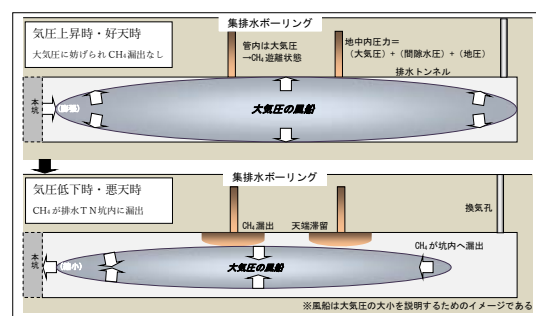


図-6 メタンガス発生機構

4. 台風接近時の調査

(1) 調査の目的

本調査は、低気圧が排水トンネル内のガス濃度を与える影響を調査し、可燃性ガスに対する恒久対策の必要性を判断することを目的として、低気圧の原因となる台風接近時に調査を実施した。

(2) 気象概要

台風 24 号は、大型で強い勢力 (H30.9.30 12:00 気象庁発表・中心気圧：950hPa) を維持しながら調査地近傍を通過した。調査地近傍の気象等観測所によれば、過去 10 年間の最低気圧を観測しており、また、過去 30 年間で 3 番目に低い観測データであることが分かった。

(3) 調査概要

平成 30 年 9 月 30 日～10 月 1 日、排水トンネル内において、メタンガス濃度の 24 時間の連続観測を実施した。また、可燃性ガスが確認され、排水トンネル内の換気を行った際、10m 毎に坑内風速を測定した。調査位置は排水トンネル天端 (4 箇所) とした (図-7)。なお、調査位置は既往調査で高濃度のメタンガスが観測された箇所である。

排水トンネル内は局所ファンが稼働中であったが、坑内空気の攪拌は、ガス滞留状態での濃度測定の影響となるため、調査は局所ファン停止状態で実施した。

メタンガス濃度を 24 時間連続監視し、調査中に排水トンネル内のメタンガス濃度が 30%LEL を超過するような状況になった場合、労働安全衛生規則³⁾に則り、通風換気等の措置を講じる必要があることから、直ちに局所ファンを再稼働させ、換気を行うことでメタンガス濃度の低下を図り、安全を確保することとした。

(4) 調査結果

排水トンネル天端のガス濃度測定結果を示す (図-8)。測定結果は以下の通りである。

- 調査開始時に 0%LEL であったガス濃度は、急激な気圧の低下とともに上昇し、調査地点③④では 30%LEL を超過した。
- 調査地点③は、午前 10 時の局所ファン稼働後も濃度は上昇し、午前 11 時頃に最大値である 45%LEL を示した。

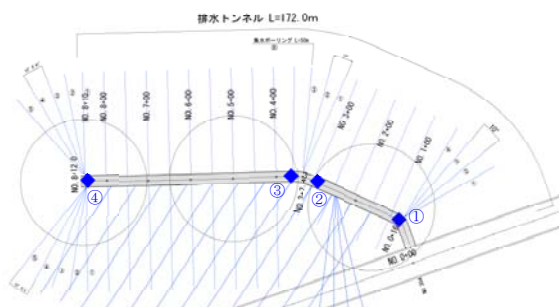


図-7 調査位置図

a)より、定常時は排水トンネル内でメタンガスは確認されないが、低気圧接近時はメタンガス濃度が上昇することが明らかとなった。

b)について、坑内風速とメタンガス濃度の関係は、一般的に、0.5m/s 未満の場合は乱流状態で流れていき、風速 1.0m/s 以上でメタン層(メタンレイヤー)がなくなると考えられている¹⁾²⁾。図-9 に示す通り、調査地点④と調査地点③の間は、風速が 0.5m/s 以下となっており、メタンガスレイヤーが拡散されることなく調査地点③へ移動し、調査地点④から時間が遅れて最大値を示したと考えられる。

(5) 考察

本調査結果より、排水トンネル内のメタンガス発生現象について、低気圧接近時等においては、集排水ボーリング孔内から排水トンネル内へメタンガスが湧出する現象が発生し、排水トンネル内のメタンガス濃度は上昇することが分かった。また、30%LEL を超えるメタンガス濃度が確認されたことから、労働安全衛生規則第 261 条³⁾によれば、事業者は、爆発又は火災を防止するための措置を講じなければならないため、低気圧接近時においては排水トンネル内の通風、換気が必要となることが分かった。

また、局所ファンを稼働し続けた結果、全調査地点で 0%LEL が確認された。送風機等でメタンガスを希釈する場合、このときの所要換気量については、メタンガス濃度を低下させるのに 0.5m/s 以上の風速が必要であった実績と、メタンガスレイヤーを完全に消散させるための風速として 1.0m/s 以上が推奨されている¹⁾²⁾ことを鑑みると、換気設備には 1.0m/s の風速が確保できる風量を設定することが考えられる。

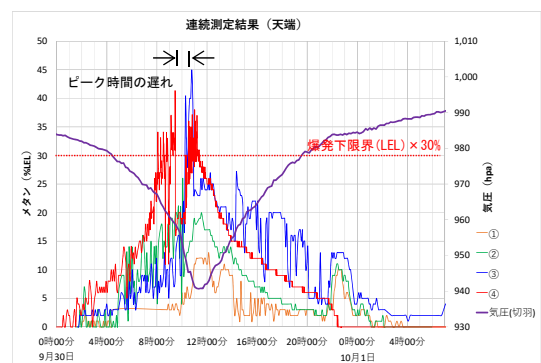


図-8 調査結果 (地点①～④重ね合わせ)

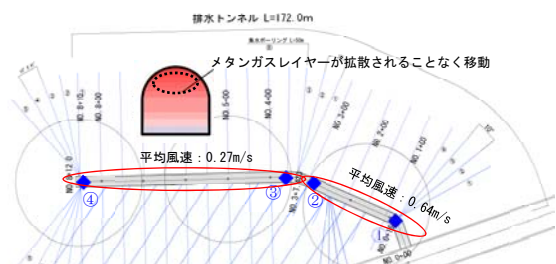


図-9 風速測定結果

一方、本調査では台風 24 号の影響で約 1 分間の停電が発生するなど、災害時のリスク対応も必要であることが分かった。停電時間が長くなった場合、排水トンネル内のメタンガス濃度が上昇する。送風機等の換気設備を設置する際、自家発電設備といった非常用電源を備えることで、停電時にも換気設備や計測機器が稼働できることが必要である。また、地震時や火災時など、万が一の場合においても稼働できるような換気設備とすることも検討する必要があるなど、換気設備検討には留意する必要があることが分かった。

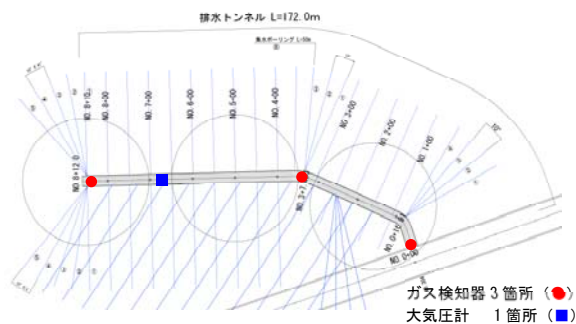


図-10 排水トンネル内機器概要図

5. 対策検討

(1) 換気設備検討条件

換気設備を計画するにあたり、本調査結果を踏まえ、以下の点に配慮した設計方針とした。

a) 排水トンネル内の風量

低気圧接近時には、爆発下限値を超えた高い濃度の可燃性ガスが発生することが確認されており、高い濃度を維持したまま本坑側へ移動するリスクがあることから、排水トンネル内に必要な風量として、メタンレイヤーが拡散できるとされている「1.0m/s」を確保出来る排風機を設置するものとした。

b) 非常用電源の確保

台風接近時には、停電が発生するリスクがあることから、停電時にも換気設備や必要な計測機器等が稼働できるように災害時の運転機能を確保する自家発電設備を備えるものとした。

c) 災害発生時における機能確保

可燃性ガス対策工の選定にあたり、本線排気方式(換気設備は排水トンネル内に設置)と立坑による地上排気方式(換気設備は地上に設置)が考えられる。災害時における換気設備の復旧し易さを考慮し、立坑による排気計画とした。また、立坑設置に併せて、地上部には換気所と電気室を計画した。

(2) 換気制御システム

換気制御システムは、上記の条件に基づき、図-10、図-11 に示す計測機器および換気設備にて制御を行うものとした。制御システムの概要を示す。

- ① 排水トンネル内で発生したメタンガスを坑内に設置した検知器により検知する。
- ② 検知器が、管理基準値を超えたメタンガスを検知すると、換気設備が可動する。
- ③ 換気設備は、換気所内に設置したダンパーを閉じ、立坑排風機を稼働することで、メタンガスを含んだ空気を強制排気する。

通常時は、換気所内のダンパーを開けて、メタンガスが空気より軽い性質を利用して自然換気する構造とした。

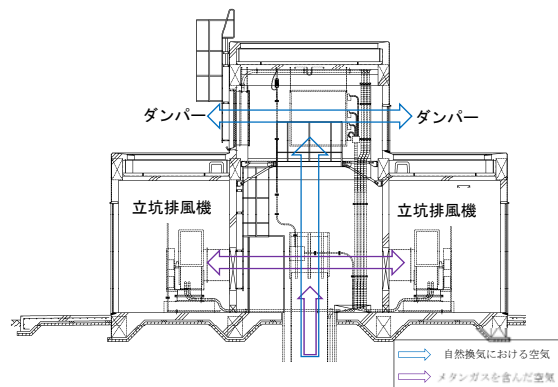


図-11 換気制御システム概要

換気制御システムについて、メタンガスに関する法令基準値³⁾が 30%LEL であるため、排水トンネル内のメタンガス濃度が 30%LEL 以下となるような換気制御とした。また、メタンガス濃度の上昇と大気圧の低下は関連性があるため、メタンガス濃度による換気制御に加え、大気圧による換気制御も取り入れることで、メタンガス濃度計が不動作であった場合にもフェールセーフとして換気設備が稼働するシステムとした。

6. まとめ

本稿では、可燃性ガスが発生するトンネルのメタンガス調査を通して、通風・換気が必要なトンネルであることを明らかにすると共に、必要な換気設備計画の検討について述べた。

冒頭にも記したとおり、可燃性ガスによる爆発事故は被害が甚大になりやすく、対策においても入念な調査と検討が必要である。本稿は、芳ノ元トンネルの排水トンネルにおけるメタンガス対策という特殊な状況下ではあるが、可燃性ガス対策の一事例として紹介させていただいた。

参考文献

- 1) 大阪府都市環境局 トンネル工事における可燃性ガス対策技術基準
- 2) 建設業労働災害防止協会 ずい道等建設工事における換気技術指針
- 3) 労働安全衛生規則 第二百六十一条 昭和四十七年労働省令第三十二号