

32. 車載型トンネル作業環境計測システム

鹿 島：藤井 義久、*戸梶 慎一

1. はじめに

山岳トンネルの作業環境（換気風速，ガス濃度，粉塵・煤煙濃度，温湿度，視界不良度）の測定は，従来手持ち式の計測器による巡回測定か，または定点における自動測定に限られていたため，地下発電所や長大トンネル工事など大規模地下工事に対してきめ細かな測定を行うことは困難であった。

今回，広範囲な作業環境の把握と換気設備の診断を目的として，車載型作業環境計測システムを開発したので，その概要と測定結果について報告する。

2. 計測システムの概要

図1に車載型作業環境計測システムの概要を，また表1に主な仕様を示す。本計測システムは，坑内を20km/h程度で走行中に表2に示す作業環境測定項目を最短2秒間隔で収録，広範囲な

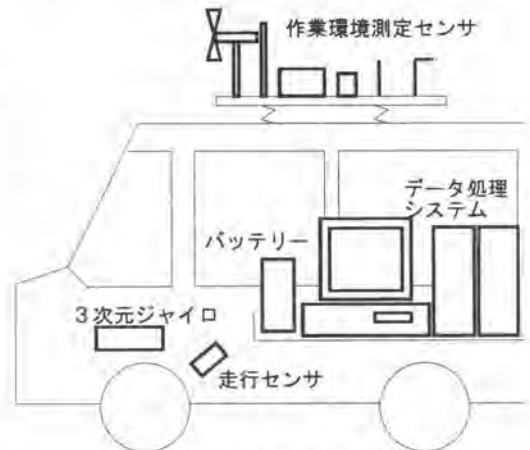


図1 車載型トンネル作業環境計測システム

表1 主な仕様

項目	仕様
車体	ロングバン
測定時の走行速度	20km/h以下
測定間隔	2秒以上
データ収録・解析	Windows対応パソコン

表2 測定項目・測定法

測定項目	測定法	測定範囲	測定精度
計測車位置	ジャイロと走行センサによる3次元測定	10km四方以内	走行距離の3%
坑内換気風速	無指向風速：熱線風速計，風向：プロペラ風速計	0.1～10m/s	±0.1m/s
CO ₂	非分散型赤外分析法	0～9,950ppm	±10%F.S.
CO	定電位電解法	0～100ppm	±5%F.S.
NO _x	減圧化学発光法	0～2,000ppm	±1%F.S.
粉塵・煤煙量	光散乱相対濃度計（濾紙重量法により校正）	0.001～100mg/m ³	±10%F.S.
温度	T熱電対	-20～100℃	±0.5K
湿度	サーミスタ絶対湿度計	0～50g/kg	±2g/kg
視程（減光量）	光透過型視程計	0～100%	±2%F.S.

坑内の情報を即座に画面表示し、作業環境の総合的な診断を行うものである。測定センサ及びデータ処理装置はバッテリーで駆動し連続1日の測定が可能である。

3. 主な特徴

本システムの主な特徴を以下に示す。

- ① 約10分で3,000mのトンネル内の測定を行い、掘削、吹き付け、ずり出しなど作業別の坑内環境状況をリアルタイムで表示する事ができる。
- ② 広範囲な作業場に対して約10m間隔の高密度な環境計測ができる。
- ③ 計測システムはユニット化され、必要な計測器を市販のロングバンに搭載できる。
- ④ 坑内換気風速分布の測定結果からは、風管の漏風量及びファン風量が、また粉塵濃度分布からは集塵機効率など換気設備に対する診断が行える。



写真1 走行計測状況

4. 測定方法

写真1に走行計測状況を示す。測定開始点においてジャイロの方向を校正した後、走行測定を開始する。図2に車体位置並びに坑道換気風向・風速の測定フローを示す。

車体の位置座標はジャイロの方位角と光電管式走行センサによる車体移動距離から求める。しかし、ジャイロには経時誤差があり、またタイヤのスリップによっても走行距離測定に誤差を生じることから、通過点の要所においてあらかじめ入力されたトンネル座標と比較し測定誤差を補正する。

坑内気流の風向・風速は車体に取り付けられた風向・風速センサの測定値に対して車体の走行速度を差し引いて求め、算定結果はトンネル車体の位置座標をもとにパソコンのモニター画面に表示される。表示結果からは、坑道換気の風量が適正であるか否か、また風管からの漏気量の有無など換気設備の性能診断を行う。

粉塵やガス濃度などの測定結果はカラー色濃度としてパソコン画面に出力され、許容濃度を満足しているか否かが判定される。さらに、濃度分布からは重機類からの煤煙、排気ガスの発生量及び吹き付け粉塵量が算定され、これをデータベースとして換気設備計画を行うことができる。

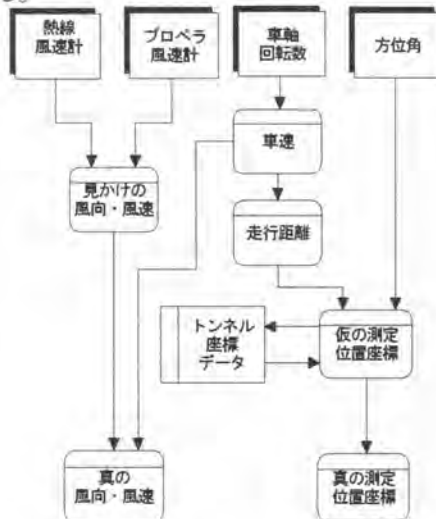


図2 測定位置並びに風向・風速の測定フロー

5. 測定結果

5.1 1本トンネル

図3に測定を行った1本トンネルの換気方式を示す。この例では坑内に設置した主ファン(定格風量 $2,000\text{m}^3/\text{min}$)によって排気し、局所ファン(定格風量 $1,500\text{m}^3/\text{min}$)によって切羽に新鮮空気の供給を行うものである。掘削には発破とNATM工法を、ずり出しには10tダンプトラックによるタイヤ工法を採用している。

図4に坑内の換気風量分布を示す。坑口から主ファンが設置されている1,400m点までは坑口からトンネル奥に向かって約 $2,000\text{m}^3/\text{min}$ の新鮮空気が流れ、切羽(1,800m点)から200m後方までは逆に坑口に向かって約 $1,500\text{m}^3/\text{min}$ の空気が流れている。この結果から換気設備は当初計画を満足しており、風管のよじれや曲がりに起因する圧力損失の上昇及び風量の低下がないことが診断された。ここで、測定結果には $\pm 15\%$ 程度の変動が生じているが、これはダンプトラックの通過などによって坑内気流に乱れが生じているためである。また、坑口に向かって換気風量はやや減少しているがこれは風管からの漏気によるものであり、風管延長に対する風量変化の勾配から、漏風率は100m当たり1.7%と算定された。ビニール風管の漏気率は一般に1.5~3.0%¹¹⁾であることから見て、風管は破れもなく健全であることが判定された。

図5にずり出し時における CO_2 濃度の分布を示す。坑道を通過するダンプトラックからの排気ガスの影響により坑内奥に向かって CO_2 濃度の上昇が生じているが、トンネル内のどの箇所も労働衛生規則の許容濃度 5000ppm ¹¹⁾を大きく下回っており、ガスの停滞がなく作業環境は適正に保たれている事がわかる。また、同時に CO 並びに NO_x の測定を行い、それぞれ許容値を十分満足していることが確認された。

図6に切羽における吹付け時の粉塵濃度の測定結果を示す。吹き付け時には切羽近傍はモルタルコンクリート粉塵の発生によって視界不良と作業環境の悪化が懸念されたが、効率のよい排気を行った結果、切羽の極近傍を除いて粉塵濃度は低く作業に支障はなかった。また、風管の漏風が少ないため、0~1600m区間における粉塵の蓄積は少なく視界不良は認められなかった。

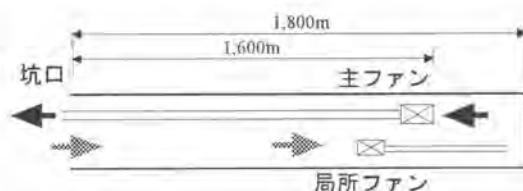


図3 換気方式

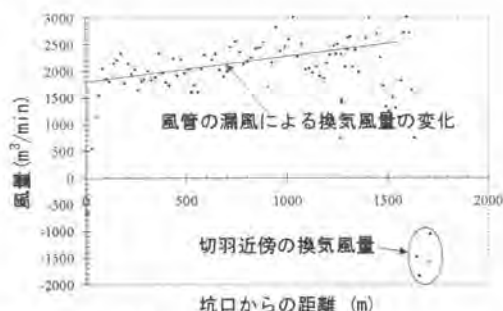


図4 坑内通過風量分布の測定結果(切羽へ向かう風量を正とする)

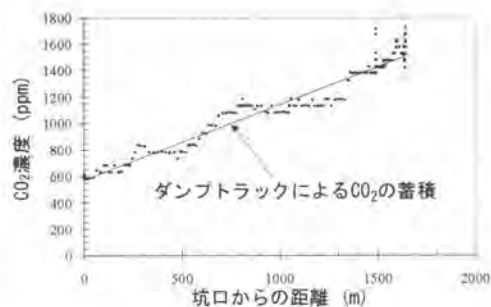


図5 ずり出し時の CO_2 濃度分布の測定結果

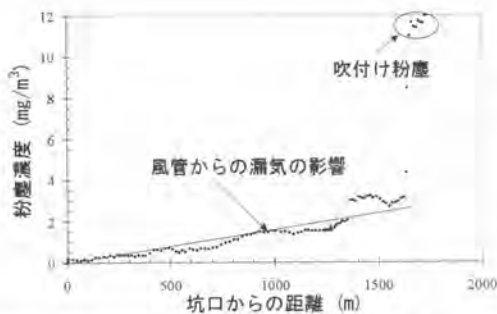


図6 吹付け時の粉塵濃度分布の測定結果

5.2 複雑トンネル

図7及び図8に複雑なトンネルを対象にした風向・風速及び温度測定時のパソコン出力画面を示す。地下発電所や補助坑を伴う長大トンネルでは、坑道換気と風管換気の併用を行う場合が多いが、坑道通過風量は換気設備のみならず、大気温度と坑内温度差による自然通気の影響を大きく受けるため換気が停滞しないような計画・運用が重要である。車載型計測システムの導入によって、すべて坑道において計画通りの換気風速が満足されて

いること、また、大型ダンプトラックの排気によってずり搬出路の温度は上昇するが、作業環境への影響が懸念されるレベルには達しないことが一目で判定された。

6. まとめ

本システムの開発により、従来測定が困難であった広範囲、高密度、多項目の作業環境測定が簡便かつ短時間でい、安全で快適な地下作業環境の維持改善に役立てるようになった。

今後は、データの蓄積を図るとともに、換気計画システムを組み込み地下作業環境の計測・診断・計画までのトータルシステムの確率を目指して行く計画である。

<参考文献>

- [1] 建設業労働安全防止協会：ずい道等における換気技術指針（改訂新版）

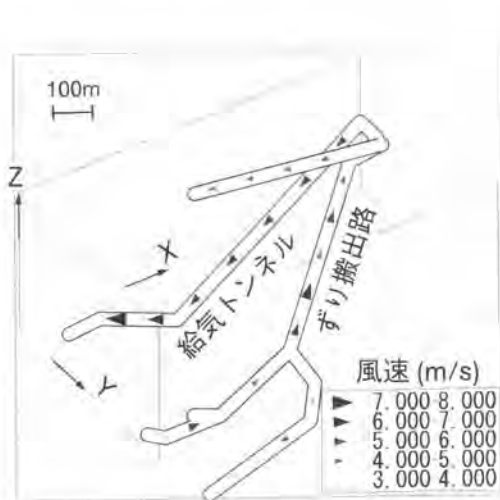


図7 風向・風速測定時の画面出力

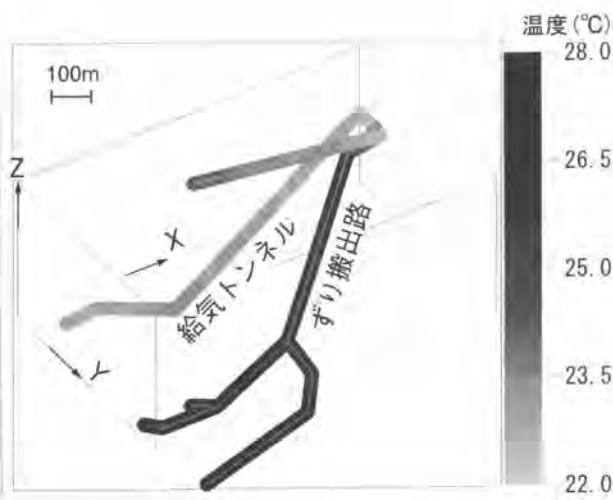


図8 坑内温度分布の画面出力