

8. 工事中トンネルに使用される換気設備の制御運転

(株)間 組：田口 博美・島山 修
鹿山 公・木川田 一弥

1. まえがき

工事中のトンネルでは、坑内で働く作業員の健康を保護するとともに、作業環境を向上させることを目的として換気設備が設置されている。しかし現状では、作業環境改善に対し最も効果的である換気条件は明らかではなく、各社さまざまな方法で良好な作業環境の確保に努めている。当社でも、現場における粉じん濃度の計測結果の蓄積と分析、模擬トンネルを用いた実験による換気条件と環境改善の因果関係の把握、さらに数値シミュレーションによる粉じん濃度予測など多方面からのアプローチを行っている。今回その一つとして、大風量換気による作業環境改善を試み、さらに換気設備の大型化に伴うランニングコストの増加を抑えるために、換気風量を粉じん濃度によって制御する「換気設備の制御運転システム」を現場に適用した。ここではその効果の途中経過について、現場における計測結果をもとに報告する。

2. 換気設備および現場計測の概要

1) 換気設備の制御運転システムの概要

換気設備の制御運転システムとは、風量を変化させることのできるコントラファンと、粉じん濃度センサおよびセンサで得られた信号を制御盤に伝達するケーブルから構成され、トンネル内の粉じん濃度に応じて、予め設定した数段階の風量で換気設備を運転するシステムである。

2) 換気設備の仕様

今回使用した換気設備の仕様を表-1に示す。

表-1 換気設備仕様

換気は送気方式であり、直径1400mmのビニール風管を使用している。

機種	三井三池製作所 MFA110P2-SC3-VP
口径	1100 mm
風量	1500 m ³ /min
送風機全圧	500 mmAq
回転数	1500/1800 rpm
電動機	80kW(4P)×2台
重量	5000 kg

3) トンネルの現況と換気設備の設置状況

計測実施時点でのトンネル現況および換気設備、粉じん濃度センサ設置位置の状況を図-1に示す。またトンネル工事概要を以下に示す。

位置：神奈川県足柄上郡山北町

施工方法：NATM（上半先進）

工事延長：800 m（施工延長は 350 m）

掘削断面積：約130 m²（上半断面積約85 m²）

4) 計測項目と計測方法

換気設備の効果を把握するため、現地において実施した計測の概要を以下に示す。

① 気流分布の計測

換気風量の変化が、トンネル切羽付近の気流状況に及ぼす影響を見るため、換気風量を700、1010、1560 m³/minの3段階に変化させ、切羽付

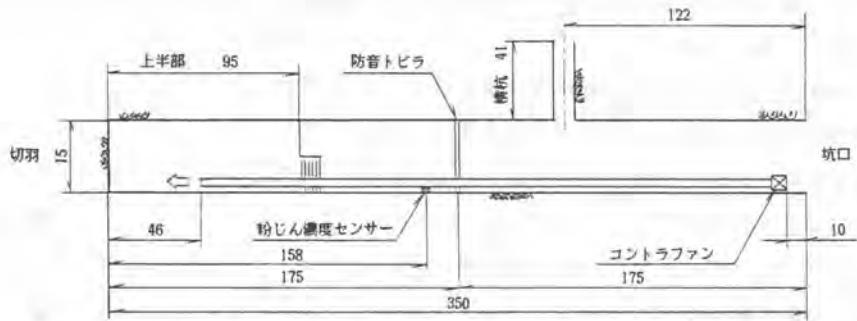


図-1 トンネル現況および換気設備の設置状況(平面図 単位:m)

近の18点(高さ上半盤上1.5m)において気流分布の計測を行った。計測機器は熱線式風速計(柴田科学工業 ISA-7型)を用い、スモークテスト(北沢産業No.501)により風向を観察した。換気風量は風管吹出し口で計測した。

② 粉じん濃度の計測

トンネル内の作業環境を把握するため、削孔、ずり出し、吹付コンクリートの各作業時に、切羽付近の18点(高さ上半盤上1.0m)において粉じん濃度を計測した。各点での繰り返し計測回数は3回とし、2日間の計測を行った。計測機器はデジタル粉じん計(柴田科学工業 P-5L 型)を用い、ローボリウムエアサンプラー(同 L-30型)との並行計測により各作業でのK値を算出した。また粉じん濃度の経時変化を見るため、切羽から45m地点(高さ上半盤上0.3m)で、2日間にわたり計14時間の粉じん濃度の連続計測を実施した。

③ 使用電力量の算出

換気設備に要するランニングコストを把握するため、換気設備の制御盤に組み込んだアワーメータおよび積算電力計から消費電力量を算出した。

3. 計測結果と考察

1) 気流分布

換気風量を変化させた各ケースにおける気流分布状況を図-2に示す。換気風管の吹出し口が切羽から46mの位置に設置されている条件では、風量を変化させた場合、風量の増加に伴って、切羽付近の風速も増加するが、気流分布の様相はほぼ同じであった。風量が最も少ない700 m³/minのケー

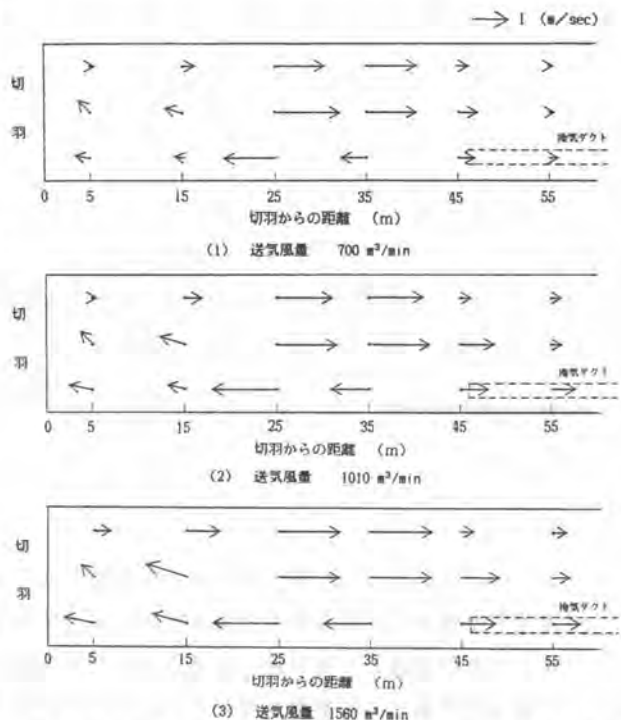


図-2 気流分布計測結果(計測高さ:上半盤上1.5m)
-平面図- (換気ダクト高さ:同2.5m)

スでも、換気ダクトから吹出された風が切羽まで到達し、切羽をよく換気していることが確認できた。

2) 粉じん濃度分布

各作業における切羽付近の粉じん濃度分布（2日間の平均値）を図-3に示す。各作業時における換気風量は、削孔作業では低風量である700 m³/min、ずり出しと吹付作業では高風量である1560 m³/minが、システム内で自動的に選択された。また粉じん濃度経時変化の計測結果の一部を図-4に示す。これらから以下のことがいえる。

- ① 削孔作業時における切羽付近の粉じん濃度は全体的に濃度が小さく（管理区分Ⅰ）、低風量の換気でも作業環境上問題はないものと考えられる。なお管理区分とは、作業環境管理の良否を判断する指標であり、作業環境管理が適切であるとされる管理区分Ⅰから、適切でないと考えられる管理区分Ⅲまでに分類される。

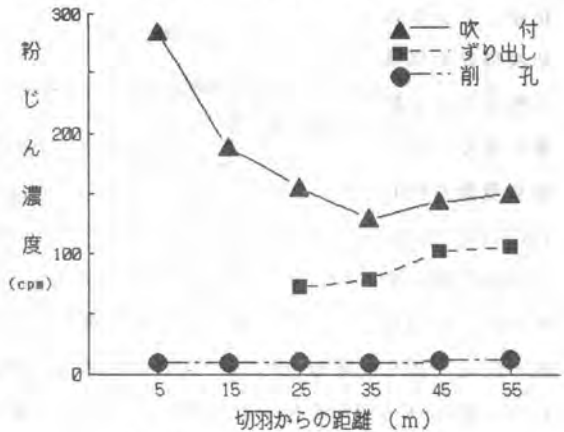


図-3 粉じん濃度計測結果

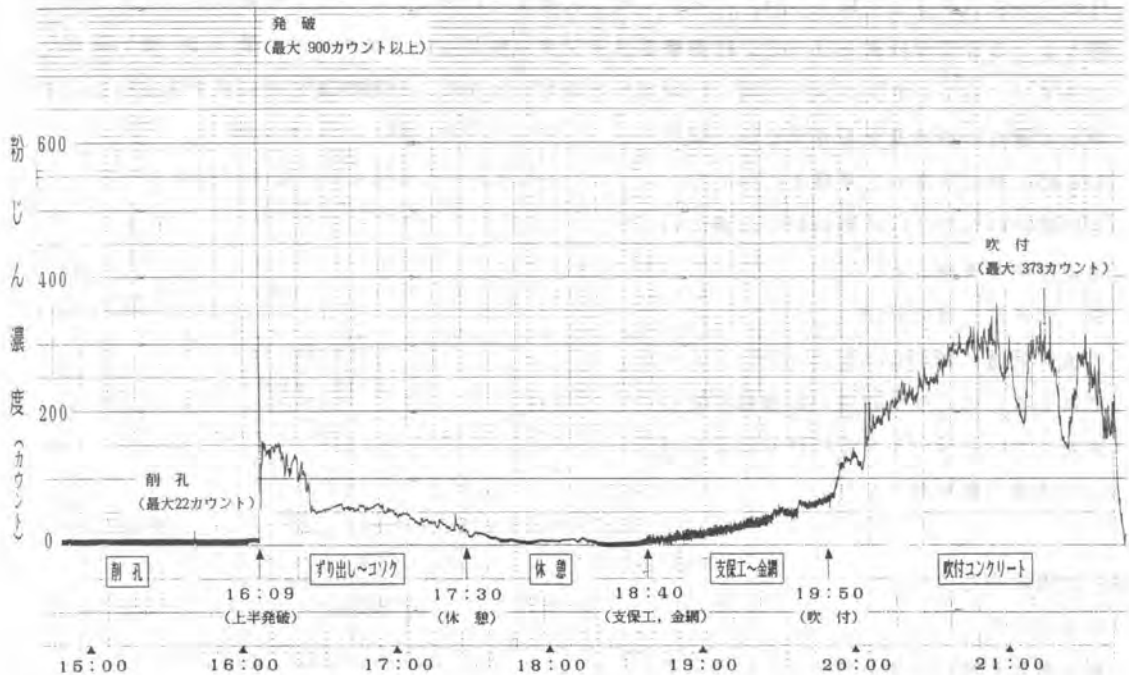


図-4 粉じん濃度の経時変化測定結果

- ② ずり出し作業時における粉じん濃度の管理区分はⅡであった。しかし図-4からもわかるように、ずり出し時間の経過とともに粉じん濃度は低下する傾向にある。これはずり出し初期には、発破によって発生した粉じんの影響を受けているためと考えられ、発破後10~15分の換気を行い、この影響を取り除けば、ずり出し時の粉じん濃度は図-3よりも20%程度低下する。このことから、ずり出し作業時における1560m³/minの換気は有効に働いているといえる。

③ 吹付コンクリート作業時における粉じん濃度は、計測した工種中最も大きく（管理区分Ⅱ）、吹付コンクリート作業で発生する粉じん量が最も多いことが確認された。これまでに計測した換気風量1000m³/minクラスのトンネルでの値と比較すれば、粉じん濃度は半減しており、大風量換気の効果は認められる。しかし、よりよい作業環境を求め管理区分Ⅰを実現するには、さらに大風量（例えば2000m³/minクラス）の換気設備の適用を今後検討する必要がある。

3) 使用電力量

本換気システムの各月旬間における風量ごとの運転時間比率を図一5に示し、各風量における運転時間を以下に示す。

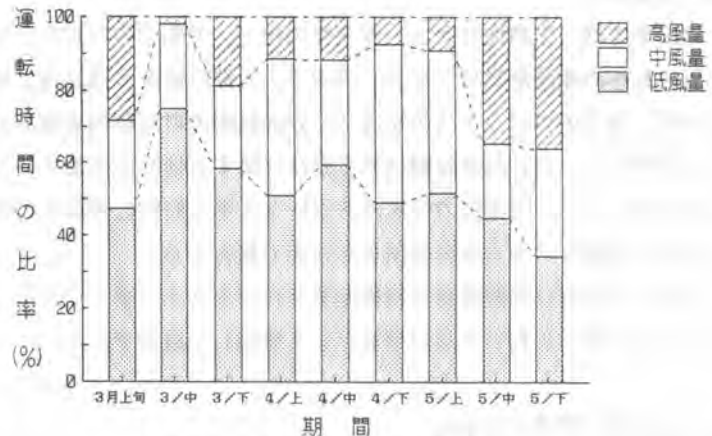
高風量：237.8時間（19.2%）

中風量：374.4時間（30.2%）

低風量：626.3時間（50.6%）

合計：1238.5時間（100%）

また、この運転に要した電力量の合計は54,645 kWhであった。これらより以下のことがいえる。



図一5 各風量での運転時間の比率

① この換気設備を風量制御なしに運転したと仮定し、風管延長を200mとして消費電力量を試算すれば、ファンの負荷率は77%程度となるから、 $150 \text{ kW} \times 0.77 \times 1238.5 \text{ h} \approx 143,000 \text{ kWh}$ の電力が必要とされる。したがって今回計測を実施した時点までにおいては、換気設備を制御運転することによって、風量を制御しない場合に比較して約60%の電力が節約できており、ランニングコストに関して、風量制御の経済的な効果が認められる。

② しかし、図一5によれば3～4月では、高風量での運転時間の比率が10%前後であったが、5月ではこの比率が35%程度に増加している。これは施工延長が増加するにつれて、外部との自然換気が行われにくくなったこと、また風管延長の増加に伴い風管抵抗や漏風が増加し、換気の効率が低下してきたこと、さらに防音トビラ設置の影響なども考えられる。したがって、制御運転状況に関しては今後とも注目する必要があると思われる。

4. あとがき

これまでの計測から、作業環境の改善に換気風量を増加することが有効であり、さらに設備の大型化に伴うランニングコストの増大に対して、粉じん濃度による風量制御がよい対策になり得ると考えられる。今後同一作業において、換気風量を強制的に変化させた条件で粉じん濃度の計測を行い、換気風量の増加による作業環境への影響をより明らかにするとともに、覆工コンクリート作業が開始された時点において、複数の粉じんセンサを設置し、切羽付近と坑内全体の両方を考慮できるシステムにする予定である。また、換気設備の使用電力量を継続的に調査し、イニシャルコストも含めて従来設備との最終的なコスト比較を行う予定である。