

長大山岳トンネル工事の換気システムの開発

DEVELOPMENT OF VENTILATION SYSTEM FOR CONSTRUCTING HUGE TUNNELS

横田依早弥*・鍛冶茂仁**・鶴田政博*・青野 隆***

Isaya YOKOTA, Shigehito KAJI, Masahiro TURUTA, Takasi AONO

A ventilation system was developed to improve the work environment in tunneling. The system is composed of a main fan and a local fan. The main fan is a turbo-blower which has large air capacity and high pressure. The operation of these fans is effectively controlled by a frequency inverter according to signals of a dust sensor and a work condition sensor. The system was applied to constructing a huge tunnel 3400 m in length and 70 m² in cross-section area. Fans were placed near the excavation area and exhausted foul air from the tunnel. Dust concentration, which is the main pollution parameter, decreased to less than 2 mg/m³. Sound silencers were installed on the fans. The noise level was 85dB, at which workers could communicate.

1. はじめに

近年、山岳トンネルの施工技術が著しく進歩し、長大トンネルが増えている。また、NATMが標準工法として定着し、各種補助工法の発展もあって全断面工法やミニベンチカット工法が多く採用されている。それに伴って坑内で使用する施工機械も大型化し、1発破で使用する火薬量や吹付けコンクリート量が増えており、エンジン機械の排ガス量も増大している。そのために、トンネル内の作業環境が悪化しやすくなっているのが現状である。そこで今回、長大トンネル工事に適した換気システムを開発したので、その概要と実工事への適用結果について述べる。

2. 換気システム

2・1 開発経緯

山岳トンネル工事で使用する換気ファンには、大きく分けて軸流式と遠心式の2種類があるが、これまでの当社の換気ファンの使用状況を調査したところ、風量 2,000m³/min、圧力 5,000Pa (500mmAq) の軸流式が主流であった。しかし、3,000m 級の長大トンネルでは圧力が不足し、坑内に圧力上昇のためのファンを増設する必要があり、そのファンの騒音や換気風量の制御の点で問題があった。そこで、これらの問題を解決し、作業員が常に良好な環境下で作業が行なえる低騒音で効果的なシステムの開発を目指した。

2・2 システムの概要

換気方式は、切羽で発生した有害物質を拡散させずに坑外へ排出するために、排気式とした。ファンを切羽の近くに設置してビニール風管で排出するものである。排気のための主ファンには、従来主流となっている軸流に代えて高圧力が得られる遠心式のターボファンを用いた。補助ファンには高効率の軸流ファンを使用した。これらの主ファンと補助ファンは、図-1 に示すように1つの換気台車に載せ、切羽の進行に合

* 鹿島技術研究所

** 鹿島建設 関東支店

*** 鹿島建設 機械部

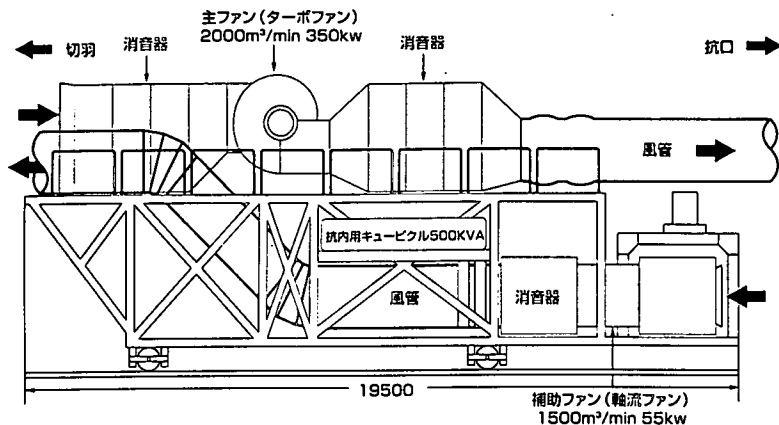


図-1 換気システム

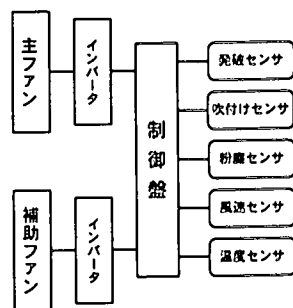


図-2 運転制御と検知項目

わせて移動できるようにした。ファンの運転は、図-2に示すように作業状況や粉塵濃度を検知するセンサを使用し、主ファンと補助ファンを連動させて自動制御する方式とした。

2・3 送風機

主ファン及び補助ファンの仕様を表-1に示す。主ファンはターボファンであり、その性能は、図-3の性能曲線に示すように定格点の風量 $2,000\text{m}^3/\text{min}$ 、圧力 $8,000\text{Pa}$ (800mmAq)であり、最高風量は $3,000\text{m}^3/\text{min}$ 、最高圧力は $10,000\text{Pa}$ ある。また、インバータによる周波数(回転数)を変化させた場合の風量と圧力の関係を図-4に示す。風量は周波数に比例し、圧力は周波数の2乗にほぼ比例していた。

表-1 ファンの仕様

	主ファン	補助ファン
種 類	遠心式	軸流式
口 径	1,500 mm	1,500 mm
風 量	$2,000\text{ m}^3/\text{min}$	$1,500\text{ m}^3/\text{min}$
圧 力	$8,000\text{ Pa}$	430 Pa
回転数	$1,770\text{ rpm}$	870 rpm
電動機	350 kW	22 kW

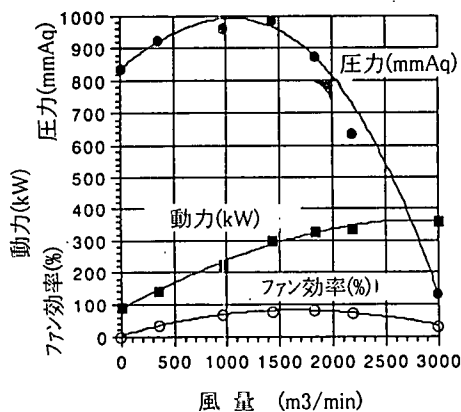


図-3 主ファンの性能曲線

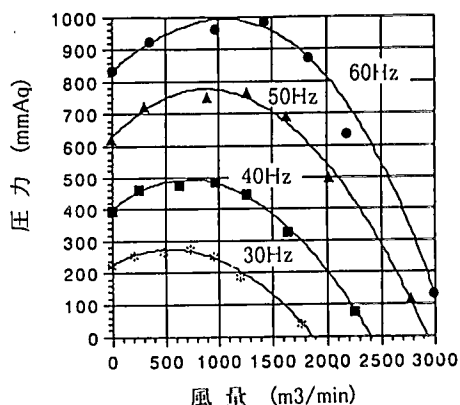


図-4 主ファンの周波数と性能

2・4 運転制御

送風機の運転制御は、作業場所の有害物質を絶えず管理濃度以下にするために行うが、有害物質濃度だけを検知して制御する場合、検知場所と作業場所の距離により遅れができて管理濃度を超えてしまうことが多い。そこで、本システムでは、有害物質濃度の代表値として粉塵濃度を検知するとともに、発破と吹付けコ

ンクリート作業を検知するセンサを設置した。発破センサは発破時の低周波音を検知し、吹付けセンサはコンクリートミキサー車の切羽への入場を検知するものである。粉塵濃度センサは、切羽及びその後方の作業場所の 2 個所に設置し、その信号は無線で制御盤に伝送している。風量の運転制御は、トンネル延長に応じて決められる風量の最大値及び最小値の間で、各センサの検知信号に応じて行う。

2・4 騒音対策

ファンは切羽の近くに設置するため、作業環境上、騒音対策が重要である。ファンの消音装置は、一般にグラスウール吸音材をケーシングの内側に取付けたものが用いられているが、主ファンは排気で使用するためオイルミスト、ダスト等が付着して吸音効果が低下する。そこで、オイルミスト等が付着しても清掃しやすく、耐水性にも優れた超軽量発泡コンクリートを内壁とし、その中にアルミ製ハウジングとグラスウールからなる吸音筒を配置した消音装置(写真-1 参照)を開発した。また、補助ファンは通常のグラスウールによる消音対策を行った。

主ファン及び補助ファンの騒音レベルの測定結果を図-5 及び図-6 に示す。測定はファン吸気口から斜め 45 度の 1.5m 地点で行った。主ファンは消音器が無い場合、500Hz～2kHz で騒音レベルが大きくオーバーオールは 108dB であったが、消音器を取付けると 84dB に低下した。また、補助ファンは動力が小さいこともあり、消音器を取付けることにより 73dB に低下した。

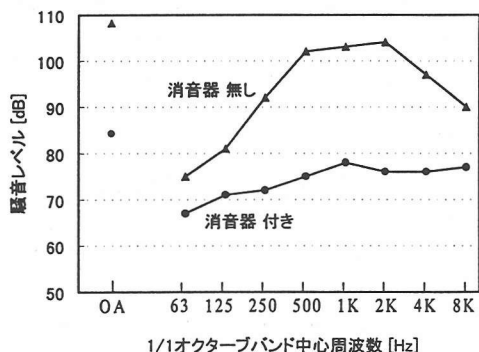


図-5 主ファンの騒音レベル

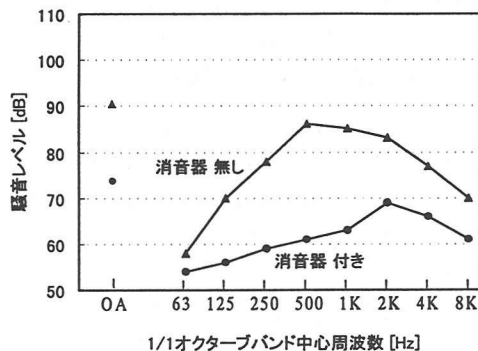


図-6 補助ファンの騒音レベル

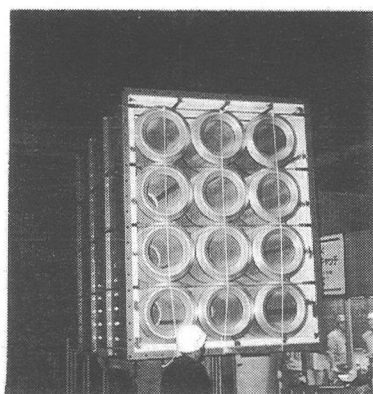


写真-1 主ファンの消音器

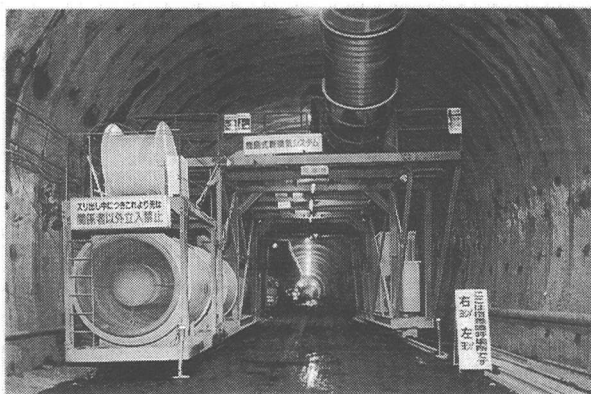


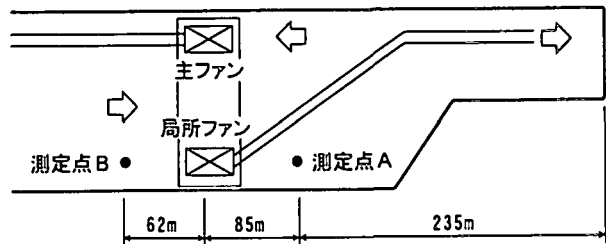
写真-2 換気台車と換気システム

3. トンネル工事への導入

本システムを延長 3,400m、断面積 70 m²のトンネル工事に導入した。主ファン及び補助ファンは切羽から 320m 後方の換気台車に設置している(写真-2 参照)。本システムの換気効果を調べるために粉塵測定を行った。

表－2 各作業時のデジタル粉塵計のK値

作業内容	重量濃度 (mg/m^3)	デジタル 粉塵計濃度 (CPM)	K値
ずり出し	2.6	1333	0.0020
吹付け	5.3	1284	0.0041
削孔	1.2	133	0.0087

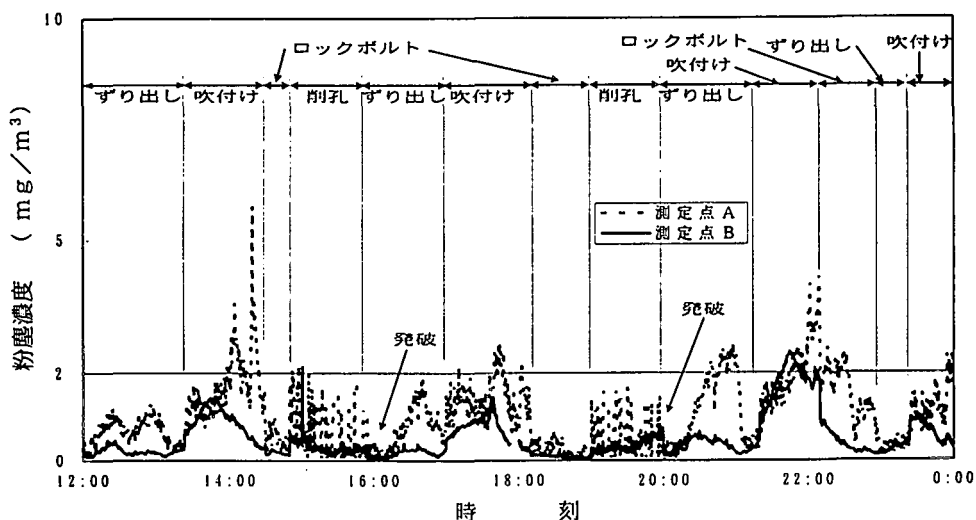


図－7 粉塵濃度の測定位置

粉塵測定はデジタル粉塵計を使用して行うため、予めローボリュームエアサンプラによる重量濃度の測定を並行して行いK値（粉塵重量濃度／デジタル粉塵計濃度）を調べた。その結果、表-2に示すように、K値はずり出し時に最も小さく、削孔時に大きな値であった。

これらの値をもとに、図-7に示すように測定点A（切羽後方）及び測定点B（換気台車の後方）でデジタル粉塵計により測定を行った。

図-8に粉塵濃度の測定結果を示す。粉塵を発生する作業としては、削孔、発破、ずり出し、ロックボルト及び吹付けコンクリート作業がある。これらの粉塵濃度 $2\text{mg}/\text{m}^3$ を目標としファンの運転制御を行った結果、測定点A、Bともにほぼ $2\text{mg}/\text{m}^3$ 以下となっており、本換気システムはその効果的な運転制御により、作業環境が良好に保たれることが確認できた。



図－8 各作業時の粉塵濃度の経時変化

4. おわりに

トンネル延長が大きいと換気の悪い場合が多く、その改善が求められていたが、本システムの開発により、作業環境の改善が大きく前進した。本システムの特長は、大風量、高圧力のファンを切羽に設置することにより、トンネル全体をきれいにできること、粉塵センサと作業状況センサを使用して坑内状況を的確に把握することにより、主ファン及び補助ファンの連動した自動制御を行って効果的かつ最適な換気が行えること、また、騒音が小さいために作業員に全く支障を与えないことである。

なお、各粉塵発生作業のうち、コンクリート吹付け作業時の粉塵濃度が比較的高く、今後も改善に努力する必要があるが、これを換気量の増大で解決するのは経済性の点から良くない。その対策として発生源での抑制方法や局所集塵機の効果的適用方法等について研究して行く計画である。