

CMI 報告

対面通行トンネルにおける 効率的な換気制御システムの 開発

榎園 正義・佐藤 充弘

1. はじめに

トンネルの換気設備は常用稼働設備であり、トンネルの利用者に対して通行の安全や快適な環境を確保するもので、走行する車両の種類と交通量により連続的または断続的に稼働されるものである。

各トンネルの換気制御方式は、それぞれの諸事情や諸条件により異なるが、国土交通省が管理するトンネルで多く採用されている方式として、フィードバック制御方式と呼ばれるものがある。

このフィードバック制御方式は、トンネル坑内に設置された坑内環境測定装置（煙霧透過率測定装置、一酸化炭素検出装置）による計測値と目標値を比較して、その偏差によって換気機の風量や運転台数を決定するため、リアルタイムな制御ができず換気機の動作遅れが生じて、その結果、効率的な換気制御となっていない。

そこで、このフィードバック制御方式に変わる効率的な換気制御方式（交通予測ファジィ制御方式）を開発したので、実トンネルでの実証実験を中心に報告する。

2. 実験内容

(1) 実験場所

実験場所として、実トンネルで採用事例の多いジェットファン縦流換気方式をフィードバック換気制御方式で運転しているトンネルの中から、トンネル内での作業性やケーブル等の引回しが比較的容易なトンネルとして、兵庫県養父市に位置する一般国道9号の南但馬トンネル（国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所管轄）を選定した。

南但馬トンネルは、吐出口径1,030 mmのジェットファ

ン（通称 JF-1000）が9台設置されている。トンネル延長は、1,224 m でほぼ片勾配（2.3%）である。

ジェットファンの運転台数を決定するための坑内環境測定装置として、煙霧透過率測定装置および一酸化炭素検出装置が両坑口付近に1セットずつ設置されており、また、風向風速測定装置が片側の坑口付近に1セット設置されている。

(2) システム構成

図-1に示すように、既設の換気制御盤と伝送装置の間に実証試験装置を割込むように設置し、その間の通信信号

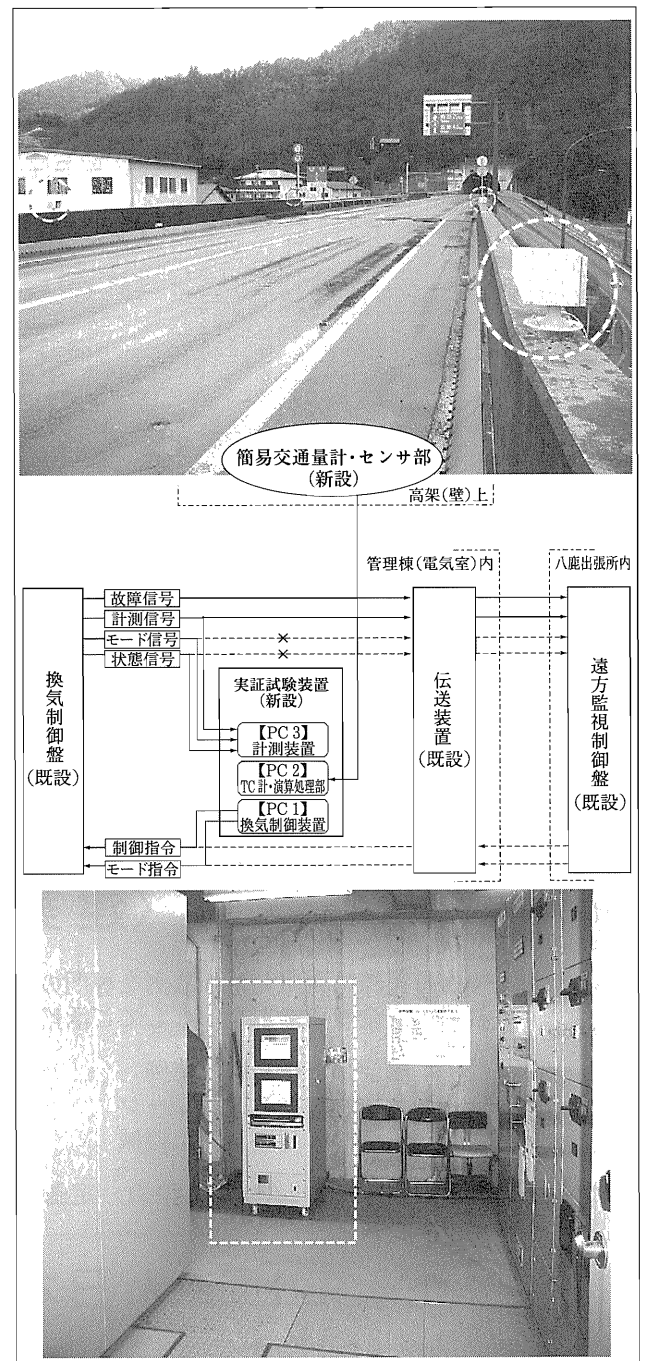


図-1 システム構成

の一部を利用するシステムとした。追加した装置は、管理棟（電気室）内に設置する実証試験装置およびトンネル坑口付近の上下線に1セットずつ、計2セット（センサ4台）設置した簡易交通量計のみである。

簡易交通量計は、側方から超音波パルスを投射して車両を検出（大型・小型、車速）する新たに開発した側方投射タイプである。

この側方投射タイプは、設置工事が路側周辺のみであるため、交通規制を伴うような路面工事が不要で、アーム状構造物の設置工事が必要な上方投射タイプに比べ、センサ部の設置、撤去が容易であり、設置スペースも少なくて済む。

(3) 交通予測ファジィ制御論理

交通予測ファジィ制御とは、汚染（煤煙、一酸化炭素）の発生源である車両の動きに着目し、交通量情報をもとに車速や車両の存在位置を把握し、トンネル内の風向風速、汚染（煤煙、一酸化炭素）濃度分布の現在値と予測値をそれぞれ求め、トンネル内の実態を常時把握して最適な制御出力を行う制御である。交通予測ファジィ制御によるトンネル内の汚染濃度分布イメージ画面を図-2に示す。

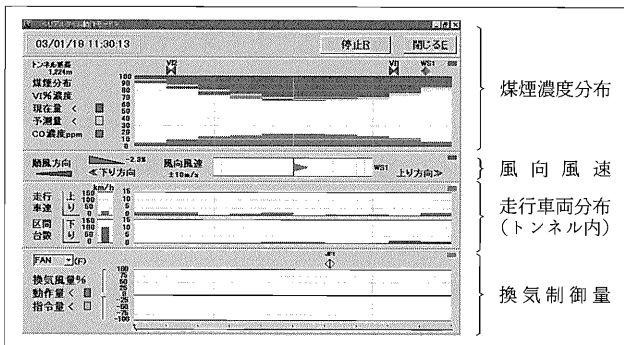


図-2 汚染濃度分布イメージ画面

3. 実験結果

(1) 電力量の削減効果

過去3年間の平均月別電力量に対する実証実験時の電力

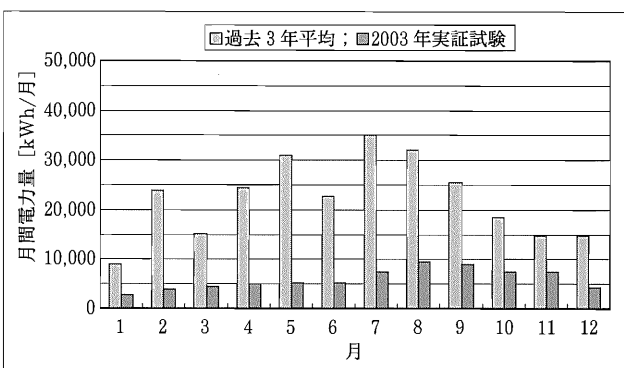


図-3 電力量削減効果

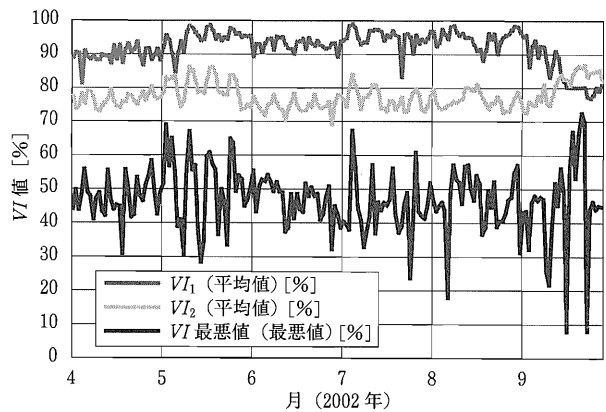
量を図-3に示す。

過去3年平均に比べて実証実験時の電力量は、すべての月で削減しており、従来のフィードバック制御方式に比べて70%程度削減している。

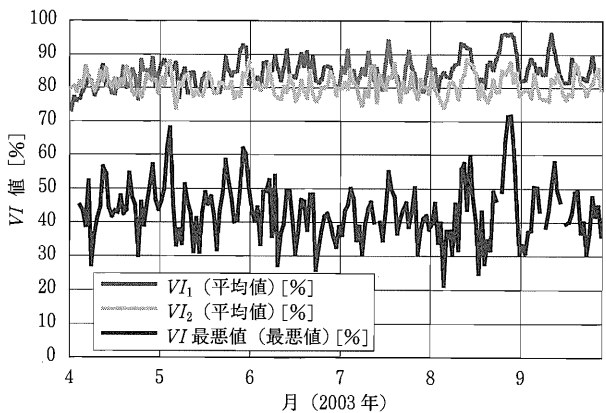
(2) 坑内環境の推移

交通予測ファジィ制御の導入による電力量の削減は確認できたが、坑内環境が悪化しては意味がない。

図-4は、従来からのフィードバック制御と今回の交通予測ファジィ制御におけるVI値の推移を示したものである。



(a) フィードバック制御



(b) 交通予測ファジィ制御

図-4 制御方式の違いによるVI値の推移比較

Visibility Meter（煙霧透過率測定装置）、通称VI計と言う

VI最悪値（日別）を比較すると、坑内環境レベルを落とすことなく電力量を削減できていることがわかる。また、 VI_1 および VI_2 の平均値を見ると、実証実験時の方が両者の差が少ない。これは、トンネル全体を通して坑内環境が同等レベルを維持しているものと考えられる。

(3) コスト削減効果

交通予測ファジィ制御方式を導入することは、ランニングコストの削減のみならず、最大電力の低減による年間の基本料金も削減することができる。

そこで、フィードバック制御時の過去3年間平均使用電力料金と交通予測ファジィ制御時の1年間使用電力料金を比較（換気機のみ）した。その結果、南但馬トンネルでは、1年間に、約425万円（基本料金にかかる削減：約165万円、従量料金にかかる削減：約260万円）のコスト削減になる。

（4）交通予測ファジィ制御の効果理由

交通予測ファジィ制御方式による換気制御状況の結果からみて、換気電力量を従来方式より低減できた理由として、次のようなことが考えられる。

（a）煤煙の挙動

対面通行トンネルでは、上り線および下り線の相反する方向の交通換気風圧や、外気による坑内流動風圧の影響を受けて、坑内風向風速が上り方向となったり下り方向となったりすることにより、煤煙がトンネル中央部付近で、揺れ動きながら堆積してゆく状態となる時間帯が多くなる。

このような状況下で、従来方式のように、トンネルの坑口付近にあるVI計の計測値が低下（悪化）してきてから換気機動作を開始しても、その時点では既に、坑口付近以上にトンネル中央部付近の視環境は悪化しているため、その状態から煤煙を坑外へ排出するためには多大な換気風量が必要となる。

これに対し、今回の交通予測ファジィ制御では、トンネル延長全体を125m毎に分割した全区間の演算VI値で坑内の煤煙濃度分布をリアルタイムに把握しているため、いずれかの区間で演算VI値が低下してきた時点で、早期に換気機動作を開始し、比較的少ない風量で坑外へ煤煙を排出することが可能となる。

（b）換気機動作

前述したように、従来方式では、換気風量負担が大きい状態で換気機動作を開始するので、効果待ち時間の経過毎に、VI値がVI設定値以上に改善されない状態が続き、動作風量（ジェットファン動作台数）を増やして（ノッチを上げて）ゆく。

これに対し、今回の交通予測ファジィ制御では、比較的換気風量負担が軽い状態で換気機動作を開始し、効果待ち時間経過後に、全区間の演算VI値が低下してゆくことができれば、動作風量を増やすことはしない。

このような状況下で交通量が減少すれば、従来方式では、VI値がVI設定値以上に改善した時点以降から段階的に動作風量を減らしてゆくので、VI値の改善（上昇）が先

行して、結果として必要以上の動作風量が出ている時間帯が生じやすくなる。

これに対し、今回の交通予測ファジィ制御では、それほど多くない動作風量から、全区間の演算VI値の改善変化に応じて動作風量を減らしてゆくので、結果として過剰な動作風量となる時間帯は短くて済む（この結果、VI値が目標値以上の高レベルまで上昇する坑内環境とはならなかった）。

（c）交通量と換気風量（電力量）

トンネル坑内煤煙発生量は交通量に左右されるので、換気風量（電力量）も交通量によって増減する方が換気効率の良い制御方式と言える。従来方式ではほとんどその相関性が見られないが、今回の交通予測ファジィ制御では、相関性が認められ、効率的な制御が実行できていると言える。

4. おわりに

今回の実証実験結果では、交通予測ファジィ制御を導入することにより、坑内環境を悪化させることなく電力量を約70%削減することができた。しかし、この効果は、トンネル毎に異なるものであるため、各トンネルの効果としては、次の方法により推定することを考えている。

① 換気シミュレータを用いた推定

実測交通量データとそのときの坑内環境データを用いて換気シミュレーションすることで精度よく効果を推定する。

② 交通量データのみによる簡易の効果判断（現在検討中）

交通量と電力量の関係（相関）から効果を推定する。

今後、上記のような方法により交通予測ファジィ制御の導入をご検討下されれば幸いです。

最後に、交通予測ファジィ制御の効果を実証するために、実トンネルを提供して下さった国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所に感謝申し上げます。 JICMA

【筆者紹介】

榎園 正義（えのきぞの まさよし）
 社団法人日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所
 研究第一部
 専門課長

佐藤 充弘（さとう みつひろ）
 社団法人日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所
 研究第四部
 研究員