

自然風・交通換気力を活用した新換気制御技術の開発

森本 智* 石村利明** 角湯克典*** 三谷敦史****

1. はじめに

道路トンネルの換気設備は、トンネル延長、交通量、換気対象物質である自動車排出ガス量等の諸条件に加えて、自然風と自動車の走行による交通換気力を考慮して設計が行われている。しかし、供用後の換気設備の運用は、時々刻々と変化する自然風や交通換気力とは関係なく、所要のトンネル内環境が確保されるように一定パターンに従った制御をしている場合が多い。従来の換気制御のイメージを図-1に示す。このため、換気設備の運用に自然風と交通換気力を活用した制御を行うことで、換気設備のランニングコストを大幅に削減できる可能性がある。

本稿では、時々刻々と変化する自然風と交通換気力を活用する新換気制御方式について、実証試験を実施した。その適用性について検証内容を報告する。

2. 新換気制御方式の概要

筆者らは、これまでトンネル内の自然風と交通換気力について、坑口間差圧から自然風を、交通量から交通換気力をそれぞれ概ね適切に予測できることを確認した¹⁾。これらについて継続的な計測を行うことで自然風と交通換気力を活用した換気制御が可能となる。

これら自然風と交通換気力を活用した新換気制御方式の概要を図-2に示す。新換気制御方式は、時々刻々と変化する自然風と交通流等を継続的に計測し予測する機能を有していることを特徴とする。具体的な制御方法および機能は下記のとおりである。

- (i) 坑内風速、煤煙透過率 (VI値)*、一酸化炭素濃度 (CO)、坑口間差圧、交通量などを組み合わせ、自然風、交通換気力、VI、CO発生量の推定・予測機能を有する。
- (ii) (i)の予測データに基づき、自然風と交通

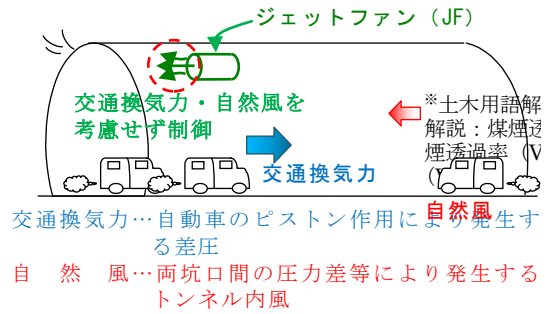


図-1 従来の換気制御

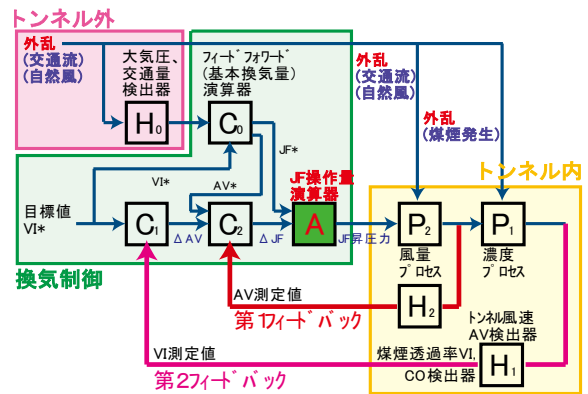


図-2 新換気制御方式の概要

換気力との関係を考慮したフィードフォワード量 (基本換気量) と坑内風速やVI、CO制御目標値との偏差に対するフィードバック補正とを組み合わせた予測制御機能を有する。

(iii) 第1の風速フィードバック制御と第2のVI、COフィードバック制御を備え、第1のフィードバックループを包含し第2のフィードバックループを形成するカスケード制御機能を有する。

3. 新換気制御方式の実証試験

3.1 実証試験の概要

新換気制御の効果と適用性を検証するため、表-1に示すAトンネルにおいて実証試験を行った。Aトンネルは供用中の2車線対面通行トンネルで、延長が1,500m程度である。既設の換気制御は、一般的なVI値によるフィードバック換気制御方式であり、上限VI値が90%を超えるとジェットファン (JF) 1台停止、91%を超えるとJF2台停

Study on Ventilation Control Method in Consideration of Traffic and Natural Conditions

*土木用語解説：煤煙透過率 (VI値)

表-1 Aトンネルの概要

交通	延長(m)	断面積(m ²)	縦断勾配(%)
対面	約1,500	62.3	-1.0(最大)
方位	JF台数	交通量(台/日)	平面曲率(m)
東-西	5台	約23,000	4,000

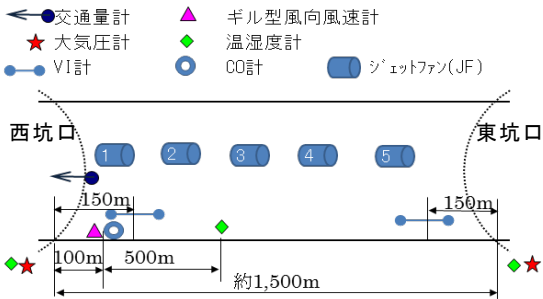


図-3 計測機器等の配置



写真-1 電気室内の演算状況

止となり、下限VI値が80%未満でJF1台追加、70%未満でJF2台追加となる制御となっている。新換気制御に必要な計測機器等について図-3に示す。Aトンネルには予めVI計、CO計が設置されており、新たにトンネル内に風向風速計、自然風を予測するために両坑口（坑外）に大気圧計、交通換気力を予測するために西側坑口（坑外）に交通量計を設置しデータを収集した。収集した計測データは、坑口付近の電気室内に集約し、換気運転台数を新換気制御プログラムによる演算処理を行い、その指示に従ってJFの運転を実施した。写真-1に電気室内に設置した新換気制御プログラムの演算用PCの状況について示す。

実証試験は表-2に示す既設換気制御、および新換気制御の2方式とした。試験期間は連続する2日間とし、初日の24時間に既設換気制御、翌日の24時間に新換気制御とした。

3.2 実証試験期間中における自然・交通条件

図-4に実証試験期間中における両坑口の気圧差

表-2 実証試験を実施した換気制御方式

換気制御	既設換気制御	新換気制御
基本的考え方	VI値が低い方向へ運転	自然風、交通換気力を推定し運転
具体的手法	制御ピッチ	10分間隔で制御
	上限VI	91%超：JF2台停止 90%超：JF1台停止
	下限VI	80%未満：JF1台追加運転 70%未満：JF2台追加運転

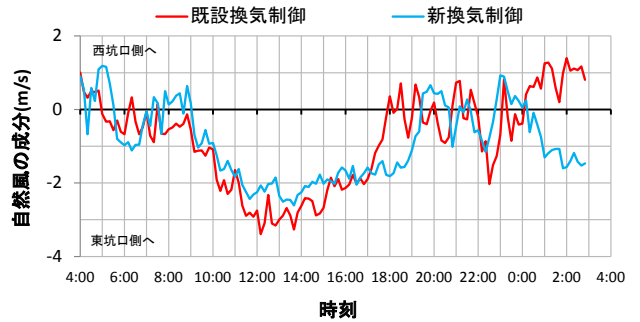


図-4 実証試験期間中の自然条件

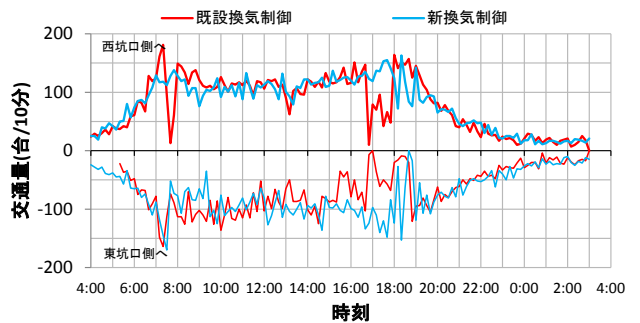


図-5 実証試験期間中の交通量

から算出した自然風の成分について示す。自然風は、正午頃を境に風向が逆転する傾向を示しており、両日とも概ね似通った傾向を示している。

図-5に実証試験期間中における交通量について示す。交通量は時間帯毎に変化し、その量は上下線とも昼間が多く、100台程度/10分/車線で同程度であった。夜間から早朝にかけては50台未満程度/10分/車線未満で推移している。

これらから、実証試験期間中の自然条件、および交通条件は概ね同程度であったとして、既設の換気制御と新換気制御の比較により効果の検証を行う。

4. 新換気制御方式の効果等の検証

図-6に各換気制御におけるVI値・CO値・JF運転実績を示す。Aトンネルでは昼間の交通量が多く、実証試験中において一部昼間の時間帯で東坑口方向の車両によりトンネル内で渋滞が発生した。図中にはトンネル内のほぼ全線にわたり渋滞が発

生した時間帯（ピンク網掛け部）、夜間の交通量が少なく渋滞が発生していない時間帯（グレー網掛け部）を示した。図よりVI値は、両制御ともにトンネル内での渋滞等によって一時的に低下する時間帯が発生したが設計濃度40%を下回ることにはなかった。また、既設制御では概ね6時～20時まではJF5台での連続運転に対して、新換気制御では短い周期でJF運転台数が変化することでVI目標値が確保されている。CO濃度は新換気制御で一時的に悪化した場合に5～15ppmを示したが設計濃度100ppmに対して十分小さい値であった。

図-7にトンネル内の風向風速を示す。図には両坑口の大気圧差、交通量等、JF昇圧力から算定した、自然風、交通換気風、JF換気風もあわせて示す。本トンネルでは西坑口の1箇所のみで交通量を計測したため東坑口を先頭としたトンネル内のみの渋滞に対して交通換気力を十分な精度で把握できず、実測と計算の風速が合致していない時間帯があった。そこで、交通状態が明らかな時間帯（網掛け部）でトンネル内の風速の実測と計算を比較する。トンネル全線で渋滞が発生した時間帯での風速の実測と計算は比較的よく整合していることがわかる。また、渋滞が発生していない夜間の時間帯も風速の実測と計算は比較的よく整合している。次に、トンネル内の風速（実測）に影響を与える各成分（交通換気風等）の方向・大きさを比較する。本実証試験中においては交通換気風とJF換気風が大きく、トンネル内風速には自然風よりも交通換気風とJF換気風が大きな影響を与えていたと考

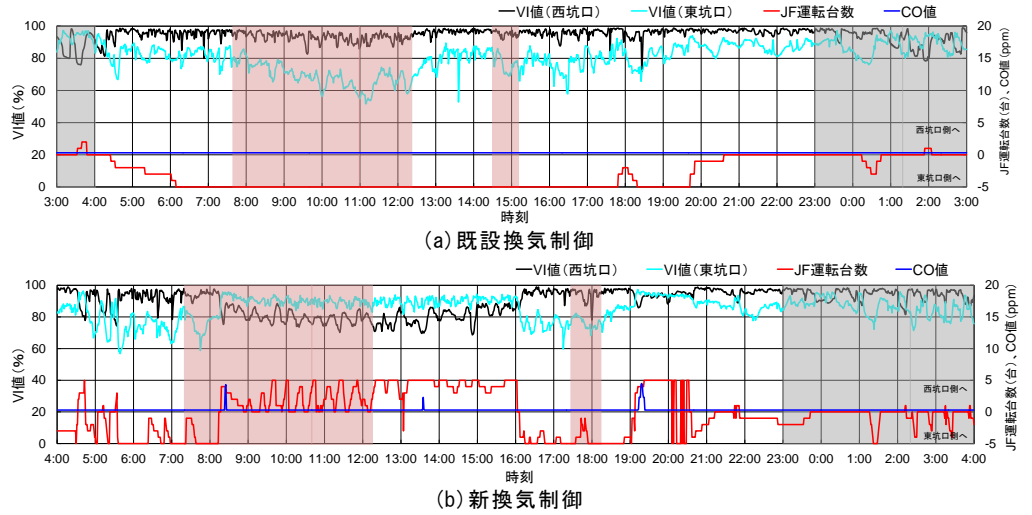


図-6 VI値・CO値・JF運転実績

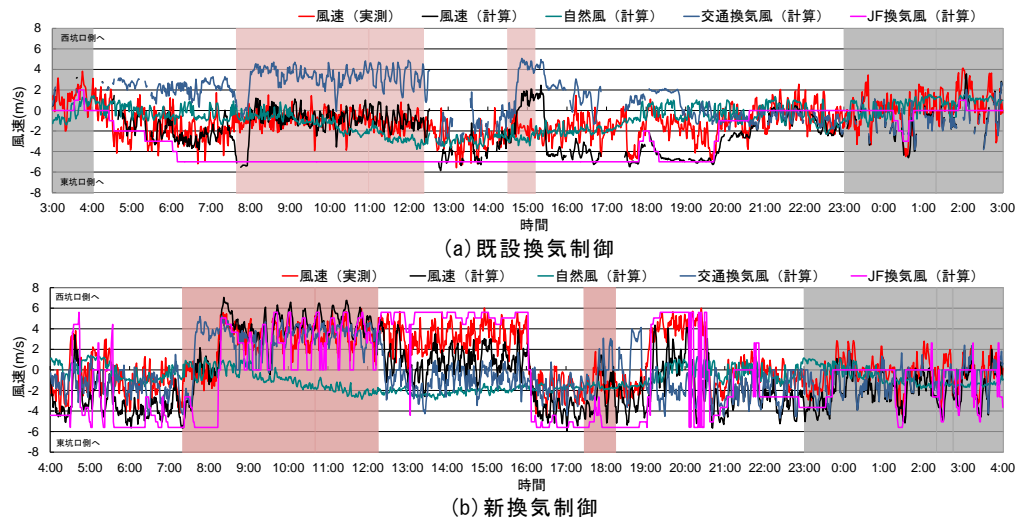


図-7 坑内風向風速

えられる。渋滞時（ピンク網掛け部）の時間帯の交通換気風とJF換気風の方法は、既設制御では逆方向、新換気制御は同方向であり、新換気制御の機能がよく現れている。

図-8に両制御の各VI値の累計時間割合を示す。これより、既設制御は東坑口側のみVI値が低下する時間帯が多いが、新換気制御は両坑口ともに同程度の時間割合である。

図-9にJF台数毎の運転時間を示す。これより、JF5台運転は既設換気制御で約800分、新換気制御で約400分であり、新換気制御のJF運転実績は既設換気制御に比較して全体的に少なくなり、JFの稼働実績から算出した使用電力量の試算では、新換気制御が既設換気制御に比較して約8割であり、2割程度の電力量の縮減となった。

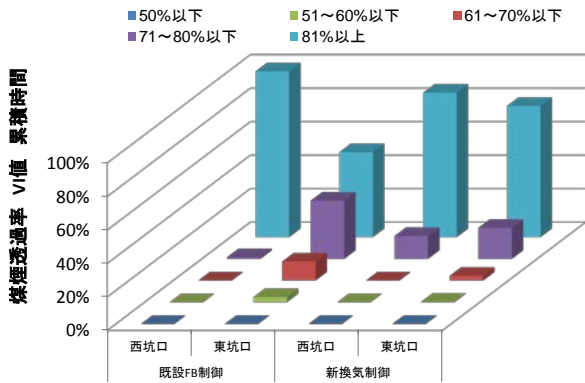


図-8 各VI値の累積時間割合

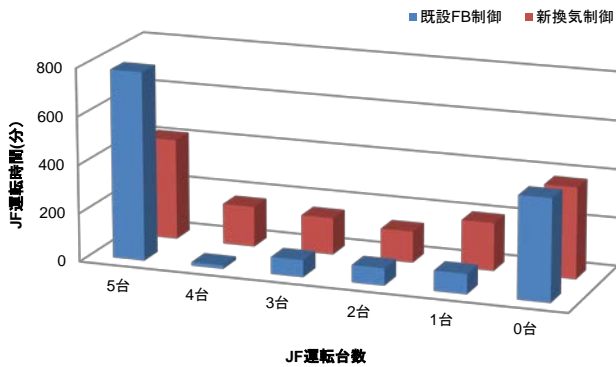


図-9 JF台数毎の運転時間

これらより、トンネルの両坑口での大気圧差と交通量計測結果を反映させた新換気制御方式が、実証試験を実施したAトンネルのVI値によるフィードバック換気制御方式に比較して、トンネル内環境が顕著に悪化することなく維持できるとともに、換気機の運転時間も短縮出来ることが明らかとなり、新換気制御の機能の有効性とその効果が検証できた。

今後は、新換気制御により効率的な運用が可能となる自然条件、交通条件等の検討、渋滞の発生等にも対応できる交通量データの把握方法の検討、トンネル内の風向転換のタイミングの検討等を行うことで、さらに効率的な換気方式として提案するとともに、実トンネルへの普及を図ってきたい。

参考文献

- 1) 森本 智、石村利明、角湯克典：道路トンネル内の自然風および交通換気力の予測、土木技術資料、第 53 巻、第 7 号、pp.14~17、2011

5. まとめ

本件等において、時々刻々と変化する自然風と交通換気力を活用する新換気制御方式について、実証試験を実施し適用性について検証を行った。

森本 智*



国土交通省北陸地方整備局
富山河川国道事務所能越国
道出張所技術係長（前 独
立行政法人土木研究所つく
ば中央研究所道路技術研究
グループトンネルチーム研
究員）
Satoshi MORIMOTO

石村利明**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技
術研究グループトンネル
チーム 総括主任研究員
Toshiaki ISHIMURA

角湯克典***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技
術研究グループトンネル
チーム 上席研究員
Katsunori KADOYU

三谷敦史****



株式会社創発システム研
究所ソフトビジネスユ
ニット開発・技術グルー
プ グループリーダー
Atsushi Mitani