

縦流式トンネル換気設備におけるインバータ式 ジェットファンの適用について

二村 尚人¹・中嶋 康之¹

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

これまでの縦流式トンネル換気設備は、ジェットファンの運転台数により換気風量を制御する、台数制御方式により制御するのが一般的であった。しかしながら、現在施工中である、和田山八鹿道路八鹿トンネルにおいては、維持管理コスト削減の観点から、ジェットファンの回転数を制御することにより、換気風量をコントロールするインバータ制御方式を採用した。

本論文では、インバータ制御方式のジェットファンの採用プロセスを報告する。

キーワード トンネル換気設備、ジェットファン、コスト削減、制御方式

1. はじめに

和田山八鹿道路は、兵庫県豊岡市から丹波市までを結ぶ延長約70kmの高規格道路の北近畿豊岡自動車道の一部として、朝来市和田山町から養父市八鹿町を結ぶ延長13.7kmの自動車専用道路である。(図-1)

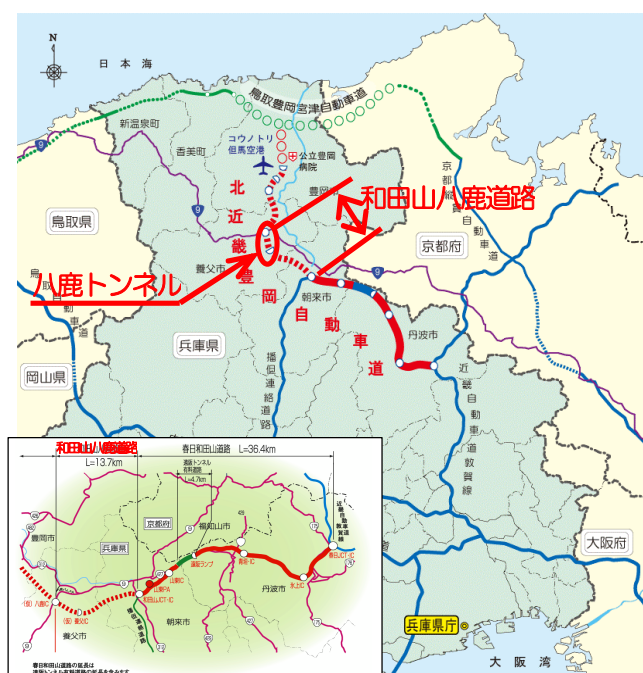


図-1 北近畿豊岡自動車道位置図

本報告での対象トンネルである、八鹿トンネルは、兵庫県養父市十二所～養父市米里に位置する全長2,990m

の対面通行トンネルである。(図-2)

トンネル等級はA等級で、縦流換気方式にて計画がされているトンネルである。

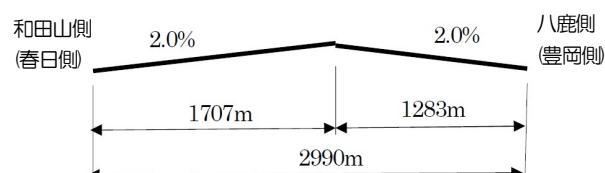


図-2 トンネル縦断面図

一般的に縦流式トンネル換気設備(図-3)は、複数台のジェットファンをトンネル内に設置し、トンネル内の煤煙濃度(VI)や一酸化炭素濃度(CO)が上昇した際に、道路交通の安全と坑内環境の保全を図るためジェットファンを運転し、坑内の換気を行う設備である。(図-4)

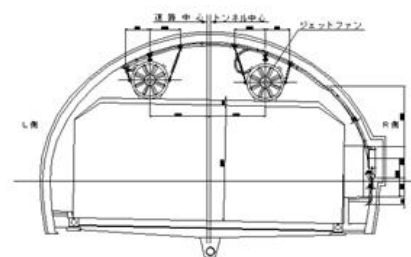


図-3 トンネル断面図



図-4 縦流換気イメージ図

2. ジェットファンの運転制御方式の検討

(1) ジェットファンの運転制御方法について

一般的に、トンネル内の換気風量を制御する場合には、ジェットファンの運転台数を制御することにより風量の調整を行っている。

ジェットファンの内部には羽根車と、それを回転させる電動機が配置され推力（風量）を生み出す構造となっている。

(2) インバータ制御方式について

ジェットファンの風速、推力（風量）、電力は、回転数の1乗、2乗、3乗に比例する(図-5)ことから、羽根車の回転数をインバータにより制御する場合の推力（風量）、風速、電力の関係は表-1の関係となる。

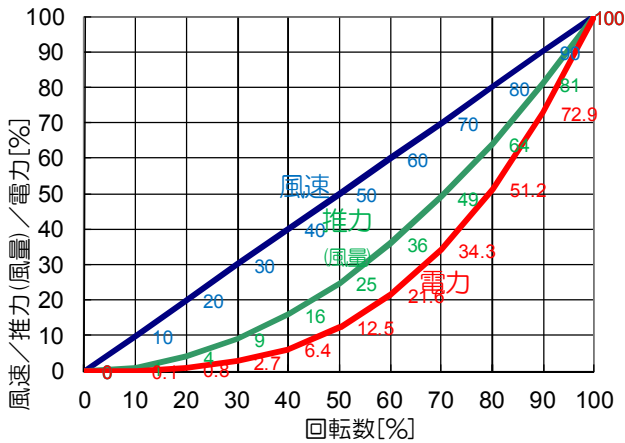


図-5 ジェットファンの回転数と風速、推力、電力の関係図

(3) 台数制御とインバータ制御の比較について

通常のトンネルにおいては、ジェットファン1台毎に運転・停止を制御し換気風量を確保する台数運転制御が用いられている。そのため、必要な換気風量を満足させるために、余剰な風量を生じさせてしまっており、効率的な運転とはなっていない。

そこで、ジェットファンの羽根車の回転数を制御することにより、必要な換気風量に対し、差異なく風量を制御することが出来るため、効率的な運転を行うことが可能となる。(図-6)

この関係を6台のジェットファンが設置されているトンネルにおける、台数運転制御とインバータ制御について、必要推力（風量）を基準として電力比較を実施した結果を表-1に示す。

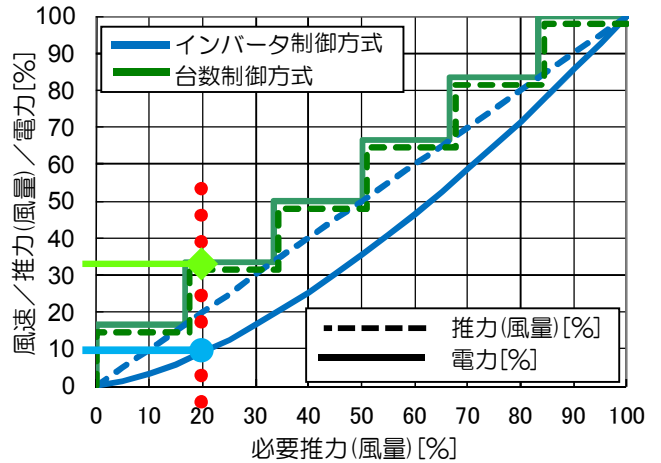


図-6 制御方式による電力量イメージ

表-1 台数運転制御とインバータ制御の比較表

推力 (風量)	台数運転制御			インバータ制御			省エネ効果 (電力削減率)
	運転 台数	風速 (1台当り)	電力	運転 台数	風速 (1台当り)	電力	
0～17%	1台	100%	17%	6台	0～41%	0～7%	59% 推力17%の場合
17～33%	2台	100%	33%	6台	41～58%	7～19%	42% 推力33%の場合
33～50%	3台	100%	50%	6台	58～71%	19～35%	29% 推力50%の場合
50～67%	4台	100%	67%	6台	71～82%	35～54%	18% 推力67%の場合
67～83%	5台	100%	83%	6台	82～91%	54～76%	9% 推力83%の場合
83～100%	6台	100%	100%	6台	91～100%	76～100%	0% 推力100%の場合

以上のことから、必要風量が少ない場合においては、6台で分散して運転をした方が、電力量の削減効果が大きくなる。逆に、必要風量が多い状態では、各々の風速が大きくなり、電力量が多くなるため、削減効果が少なくなる。

例として、図-6より、20%の風量を確保するためには、台数運転制御では、2台のジェットファンが運転することにより33%の電力が必要となるが、インバータ制御では6台のジェットファンを低負荷で運転させることにより10%の電力でまかなうことが出来る。

(4) インバータ制御の特徴について

電力量の削減以外に、ジェットファンをインバータ制御した際のメリットとして以下の点が上げられる。

- ① 台数運転制御では、起動時に突入電流（起動時に、電動機に定格電流よりも大きな電流が流れること）が生じるため、電動機の保護を目的に起動間隔を一定時間設けるが、インバータ制御では、突入電流が生じないため、起動間隔を考慮する必要がない。そのため、必要風量に応じてきめ細やかな換気制御を行うことが出来る。
- ② 突入電流がないため、複数台の同時起動を行うことが出来るため、急激な換気風量の変化に対して、速応性が高い換気制御を行うことが出来る。

3. インバータ制御の導入検討

(1) 導入検討にあたって

一般的にジェットファンの規格及び台数については、技術基準により、トンネルの諸条件や交通量等から算出される所要換気量を元に、コストメリットが最も得られる規格、台数としている。

八鹿トンネルにおいては、口径1250（高風速型）ジェットファンが6台配置することとなった。（図-7）

ジェットファンの配置については、火災時の影響等を考慮して、設置場所を電気室側坑口付近とトンネル中央付近に分けて設置を行っている。

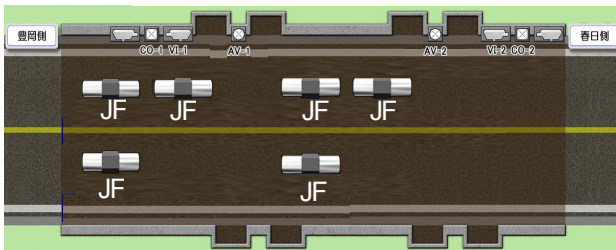


図-7 ジェットファン配置図

ジェットファンは、トンネル内を通行する自動車の排出ガスによって、坑内のCO値若しくはVI値が悪化した際に運転を行う。そのため、インバータ制御の導入効果を検討するためには、通過交通に伴うトンネル坑内の環境（VI値、CO値）を予測し、ジェットファンの運転等を考慮した坑内環境のシミュレーションが必要となる。そのため、通過する交通量の交通パターンが重要

となり、供用後の実交通パターンに近ければ、より正確なシミュレーションを実施することが出来るため、的確な導入検討を行うことが可能となる。

(2) 交通パターンについて

八鹿トンネルについては、供用前のトンネルであることから、実交通量からの交通パターンを得ることは不可能である。そこで、並行している国道9号南但馬トンネル（図-8）の実測交通パターンを元に八鹿トンネルでの交通パターンを想定した。

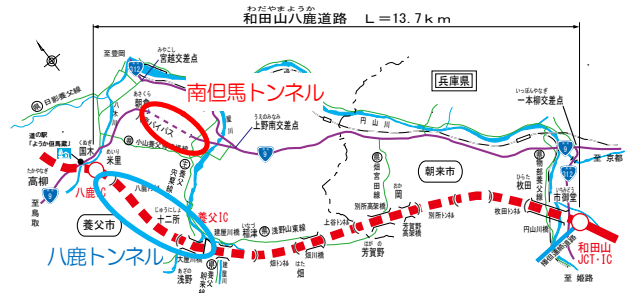


図-8 八鹿トンネル-南但馬トンネル位置図

南但馬トンネルにおいて、平均的な交通量となっている日の交通量パターンを下図に示す。（図-9）

上り、下りが概ね同じような交通パターンとなっていることがわかる。

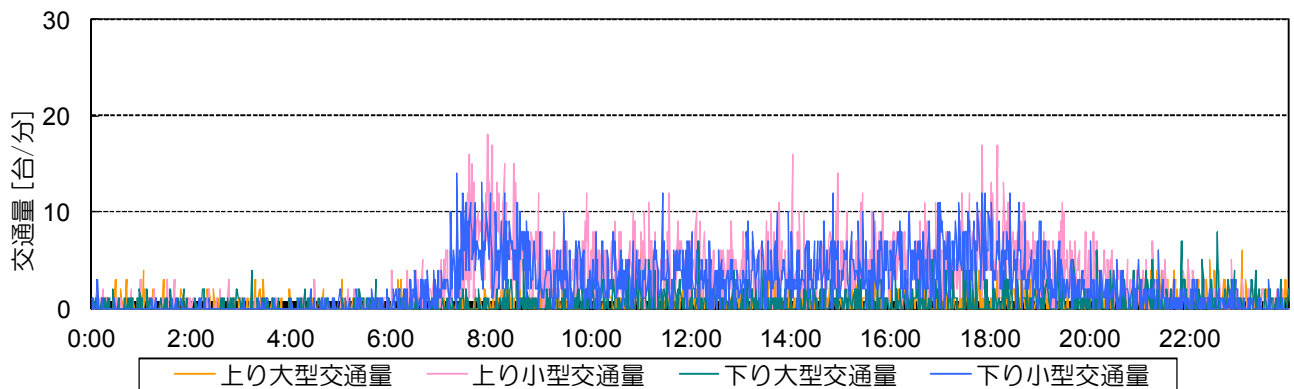


図-9 交通量パターン図

(3) シミュレーションの実施結果について

シミュレーションの条件として、坑内環境のVI管理目標値：60%、許容濃度：42%、CO管理目標値：80%として、坑内環境のシミュレーションを実施した。

ジェットファンの運転状況及びVI・COのシミュレーション結果を次に示す。（図-10～13）

VI1及びCO1については和田山側の値、VI2・CO2については八鹿側の値を示す。

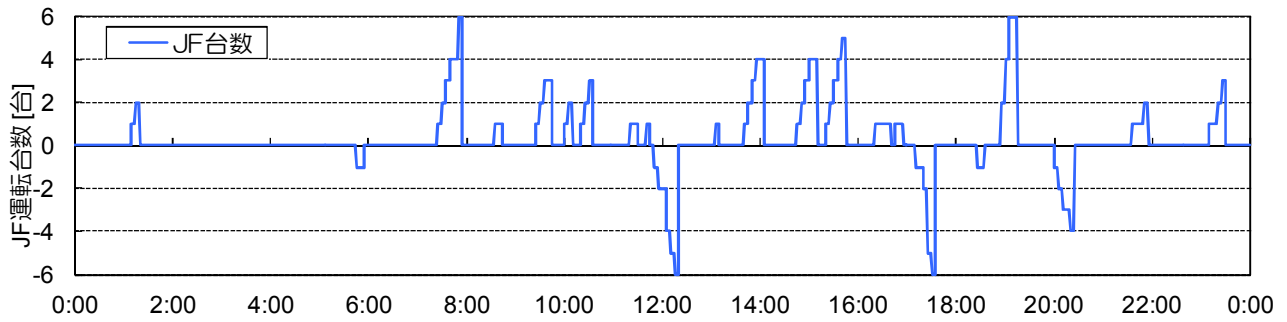


図-10 ジェットファン運転台数図 (台数運転制御)

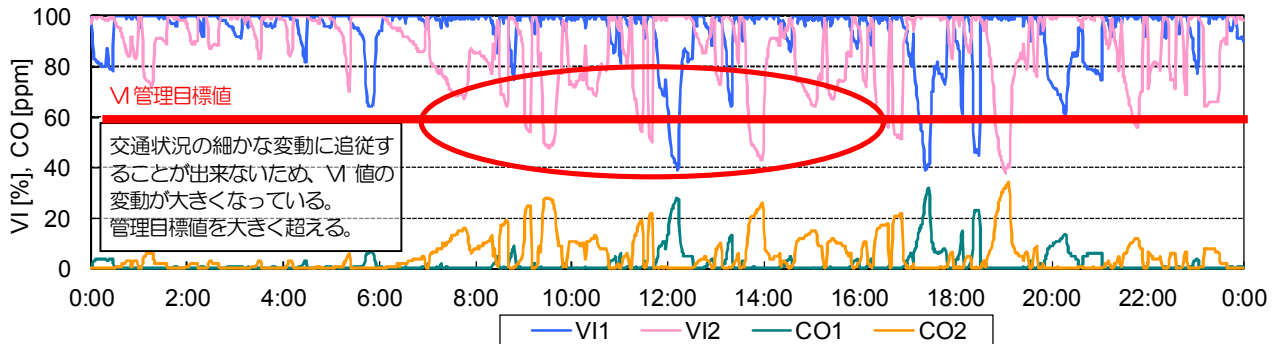


図-11 VI及びCO図 (台数運転制御)

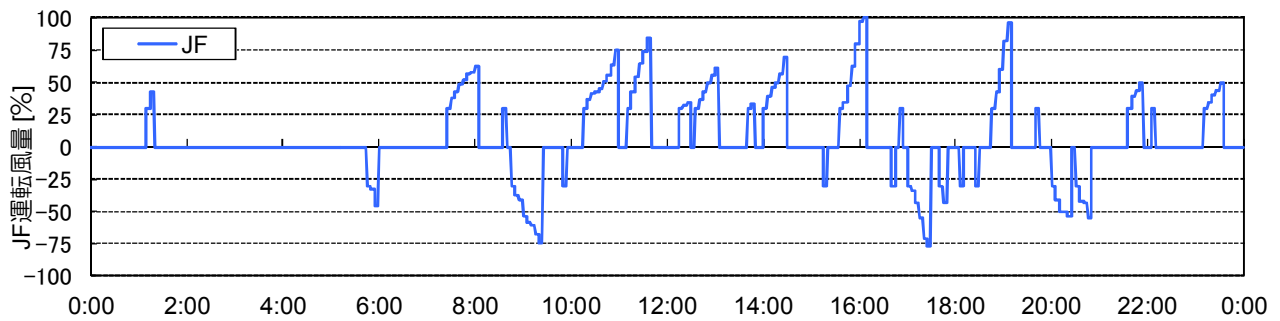


図-12 ジェットファン運転風量図 (インバータ制御)

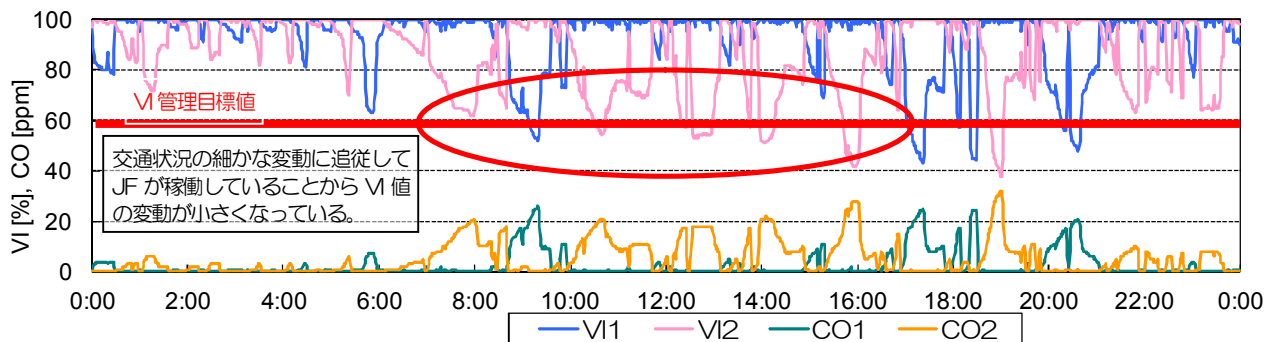


図-13 VI及びCO図 (インバータ制御)

シミュレーション結果より、インバータ制御の特徴である、速応性が良くなることにより、交通量の細かな変動に対して対応するため、ジェットファンの運転・停止が細かく制御されている。そのため、坑内環境を悪化さ

せることなく、VI 管理目標値近傍で運用することが可能となるため良好な坑内環境を保持することが可能となり、道路利用者に対してのサービスレベルが向上するものと考えられる。また、きめ細やかな風量調整が出来る

という特徴を生かして、低風量で運転する時間を多くすることにより、運転時間は増加するが、全体の電力量を縮減する制御を行っている結果となった。

(4) 比較検討結果について

シミュレーション結果から、1日当たりの使用電力量を算出し、これを元に年間使用電力量及び年間電気代を算出した。（表-2）

表-2 年間使用電力量・電気代一覧表

制御方式	年間使用電力量 (kWh)	年間電気代 (千円)	比率
台数運転制御	330,000	3,300	100%
インバータ制御	186,000	1,860	56%

インバータ制御を導入することにより、年間の電気代のコストを1,440千円縮減することが出来る結果となった。

しかしながら、インバータ制御を導入するためには、ジェットファンへ電力を供給する動力盤をインバータ制御用に対応した物にしなければならないため、イニシャルコストとして15,000千円程度の増額となる。

したがって、減価償却するまでに10年程度を要することとなるが、豊岡管内の他トンネルの動力盤は15年以上を経過しているが修繕等を必要とする不具合が生じていないことから、ライフサイクルコストのメリットが得られるものと判断した。

4. 課題点とその対策

(1) ノイズ対策について

インバータ制御を行う際には、電気ノイズ等が発生し他の設備等への影響等が生じる場合がある。

その対策として、八鹿トンネルにおいては、ノイズフィルタを動力盤にもうけると共に、動力ケーブルについてもノイズの漏洩を防止するケーブル等を採用し対策に努めた。

(2) 点検コストの増加について

動力盤内へインバータ制御を行うための機器が設置されることによる点検項目については、測定項目は絶縁抵抗のみで、その他は目視確認のみであることから、これまでの点検項目から増加することはないと考えられる。

そのため、インバータ制御に伴い、点検コストが増加することはないと考えている。

(3) 電動機等への影響について

インバータ制御による電動機等への影響については、他分野の産業等ではインバータ制御は広く普及しており、ジェットファンの駆動に使用される電動機についても、広く使用されている汎用品である。そのため、インバータ制御に伴い、電動機等の機器に不具合が生じることはないと考えている。

5. まとめ

ジェットファンにインバータ制御を導入することにより、維持管理コストを縮減すると共に、導入に掛かる費用についても考慮したライフサイクルコストを縮減する可能性が高いことがわかった。

今後、長期的な運用を図っていく中では、ジェットファン始動の際の突入電流が生じないことから、電気機器の使用環境が向上し、ジェットファンのオーバーホールや電気機器の改修間隔を広げることによる維持管理コストの縮減が行える可能性がある。

また、受電施設の容量低減を図ることが出来るため、トンネル施設全体でのコスト縮減を行うことが出来るものと考えられる。

6. 今後の課題

北近畿豊岡自動車道和田山八鹿道路については現在施工中であり、平成24年11月に供用予定である。

工事完成時には、インバータジェットファンの速応性、風量と電気力量の関係等について測定を行い、今後の設計への基礎データとして整理を行っていききたい。

また、供用後においては、換気設備の稼働状況等について交通量を元にしたコスト縮減効果について整理を行い、コスト縮減に寄与しているか評価を行うと共に、長期的な機器への影響・維持管理手法についても運用を図りながら確認をして行く予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説