

高山国道事務所管内におけるトンネルの電気料金削減について

和仁 俊輔¹

¹中部地方整備局 高山国道事務所 工務課 (〒506-0055 岐阜県高山市岡本町7-425)

高山国道事務所管内のトンネルの維持管理にかかる電気料金について、小鳥トンネルと高山国府トンネルの2つのトンネルが高山国道事務所管内の他のトンネルと比べて高額であったため、中部地方整備局内の3000m以上のトンネルと比較を行った。そこで、小鳥トンネルの電気料金が高額だと分かったため、小鳥トンネルの換気設備に注目し、換気設備の運用等の観点から電気料金の削減を検討した。本論文では、検討した結果及び今後の運用について、報告する。

キーワード トンネルの電気料金削減、トンネル設備の運用、トンネル換気設備

1. はじめに

高山国道事務所管内には、トンネル機械設備が設置されているトンネルが8つあり、これら機械設備はいずれも商用電源により稼働している。トンネル機械設備は、道路トンネル内を通行する自動車の排出ガスによるトンネル内空気の汚染を防ぐための換気に使用する送風機、排風機、ジェットファンなどの換気装置、電気集じん機及びそれらの制御に必要なトンネル内の状態の計測を行うトンネル換気設備と、トンネル内での火災発生時に、被害が広がることを未然に防ぐための消火栓装置や消火器などの施設であるトンネル非常用設備の2種類に分けることができる。トンネル機械設備が設置されている高山国道事務所管内のトンネルの電気料金は、1か月の合計で約700万円かかっており、その内小鳥トンネルと高山国府トンネルの2つのトンネルが全体の73%を占めているため、高額となっているのではないかと考えた。そこで、中部地方整備局内の3,000m以上のトンネルの電気料金と比較を行った。その結果、小鳥トンネルの電気料金が高額であると分かったため、本論文では電気料金の削減等を目的に運用可能で効果的な対策を検討したものである。

2. 現在のトンネル設備の電気代

トンネル機械設備の電気料金削減の検討を行う上で、対象とする設備を決定する必要がある。2種類ともに検討対象とできればより実態に合った検討をすることがで

きるが、それぞれの稼働状況を確認すると、トンネル換気設備は換気の判定のため、常に計測を行い、その計測結果に基づき換気装置が稼働しているため、稼働時間が非常に長い。一方でトンネル非常用設備は、火災等が発生した際に稼働する設備であるため、稼働する機会が少ない設備である。そのため、今回はトンネル換気設備に注目して検討を行うこととした。

ここで、電気料金は、図-1に示すように基本料金と電力量料金により決定している。

$$\text{電気料金} = \text{基本料金} + \text{電力量料金単価} \times \text{使用量}$$

図-1 電気料金の構成

このうち基本料金は、デマンド値(30分間での平均電力)が基準となり、その月の最大デマンド値が過去1年間の最大デマンド値を上回ると、翌月から今後1年間の基本料金の計算に使用される。そのため、最大デマンド値を大きく更新してしまうとその後1年間高額な基本料金を支払わなければいけなくなるため注意が必要である。電力量料金は、実際に使用した電力量によって決定される。トンネル換気設備においては、基本料金を抑えようとする電力量料金が高くなる傾向にあり、一方で電力量料金を抑えようとする基本料金が高くなるため、そのバランスを考慮した運用が重要となる。

ここで、高山国道事務所管内の小鳥トンネルと高山国府トンネルの電気料金の現状を把握するため、中部地方整備局内の3000m以上のトンネルと比較を行った。2023

表－1 トンネルの電気料金と基本情報

トンネル名		小鳥 トンネル	高山国府 トンネル	新八鬼山 トンネル	亥ヶ谷山 トンネル
トンネル延長(m)		4,346	3,259	3,992	3,313
換気設備 (ジェットファン)	基数(台)	14	7	9	7
	口径(mm)	1,250	1,030	1,250	1,250
	電動機 出力(kW)	50	33	50	50
	制御方式	・風速管理制御 ・フィードバック 制御 ・悪化制御 ・プログラム制御	・フィード バック制御 ・悪化制御 ・プログラム 制御	・フィード バック制御 ・悪化制御 ・プログラム 制御	・フィード バック制御 ・悪化制御 ・プログラム 制御
	月間稼働時 間(h/基)	150	52	2.5	0.8
電気料金(千円)		3,069	600	542	306
基本料金(千円)		1,055	371	520	300
換気設備による 電気量料金(千円)		2,014	229	22	6

年の月額平均の電気料金とトンネルの基本情報を表－1にまとめた。小鳥トンネルは、トンネル延長が最も近い新八鬼山トンネルと比べて、ジェットファンの台数に違いはあるが、電気料金は約5.6倍となっている。一方で、高山国府トンネルは、亥ヶ谷山トンネルと比べて稼働時間が多いため電気量料金が高くなっているが、小鳥トンネルほど大きな違いはないといえる。ここで、電気料金削減の検討を行う上で、トンネル換気設備の制御方式等に1つの原因があるのではないかと考え、トンネル換気設備の運用に注目して検討を行うこととした。また、高山国府トンネルについては、トンネル内に進入した車両のガラスが曇る事象が発生しており、その原因究明を進めている段階であるため、今後、トンネル換気設備の運用が大幅に変更される可能性がある。そのため、次章以降は小鳥トンネルに絞って述べることにする。

3. 現在のトンネル換気設備の運用

トンネル換気設備は、先にも述べた通り自動車の排気ガス等により、トンネル内が霞んだ場合や有害な成分が増加した場合に計測設備が感知し換気設備を稼働させている。そのため、トンネル延長が長く通行車両が多い場合は、換気設備の稼働回数は多くなる。

小鳥トンネルの延長は、高山国道事務所管内の7つのトンネル平均延長約1,900mに対し長くなっている。また、2020年の道路統計年報では高速自動車国道、一般国道のトンネル平均延長は約650mであることから一般的にも長いトンネルといえる。そのため、小鳥トンネルにはジェットファンも多く設置されており、その制御方式

は、風速管理制御とフィードバック制御、悪化制御、プログラム制御を併用している。ここで、それぞれの制御について、以下に解説する。

①フィードバック制御は、トンネル内の計測値が悪化した場合に、ジェットファンを1台もしくは2台稼働させ、トンネル内環境を改善させる。一定時間経過後、環境が回復すればジェットファンを停止させるが、それでもトンネル内環境が回復しなければ、さらに1台増やし回復するまでこのサイクルを続ける方式である。この制御方法は、計測値が悪化しない限りはジェットファンを稼働させないため、設備の消耗や電気量料金を抑えることができるという利点がある。しかし、トンネル延長が長い場合やジェットファンの台数が多い場合には換気効果が発揮されるまでに時間がかかる欠点がある。

②悪化制御は、何らかの事象により、一気に計測値の基準値を超えた場合にあらかじめ設定した台数を稼働させる制御方法である。緊急時に働く制御であるため、トンネル利用者が運転に支障をきたすような状態になった場合にジェットファンを稼働させる。

③プログラム制御は、計測器が故障した場合に使用する制御方法である。計測器が故障している場合、ジェットファンを稼働させることができないため、予め時間ごとに稼働させるジェットファンの台数をプログラムしておき、ジェットファンを制御する方法である。

④風速管理制御は、特にトンネル延長が長い場合に採用される制御方式である。トンネル内に設定した風速の風が常に流れるようにジェットファンを稼働させる制御のことである。小鳥トンネルのようにトンネル延長が長い場合、トンネル中央付近のみ環境が悪化することがあるが、現在、計測設備はトンネルの両坑口付近に設置さ

れており、トンネル中央付近の計測ができないことから、常に一定の風を流すことで坑口付近の計測設備で環境の悪化を感知できるように対策している。また、換気効果を早く発揮できる利点もあり、最大デマンド値を抑えることができる。通常、トンネル延長が長い場合、トンネル内に風が無ければ汚染された空気をトンネル外に押し出すのに時間がかかり、結果、フィードバック制御が働きジェットファンの稼働台数が増えてしまうため、最大デマンド値を大きくする可能性が高い。そこで、トンネル内に一定の風があればジェットファンを1台もしくは2台稼働させることでより効果的な換気効果を発揮することができる。そのため、稼働台数を抑えることができ、最大デマンド値を下げるができるため基本料金を抑える効果がある。一方で、風速管理制御では常にジェットファンを稼働させる必要があるため、電気使用量が増加する欠点がある。

その他にも、小鳥トンネルでは、深夜の時間帯は通行車両が少なく、トンネル内の環境が悪化する可能性が少ないため、深夜の時間(22時～4時)はフィードバック制御と風速管理制御は停止させ、大型車が通過した場合に制御を再開させている制御も採用している。

現在、小鳥トンネルでは4つの制御の内、風速管理制御とフィードバック制御を主として運用しているが、風速管理制御は比較した他のトンネルでは採用されておらず、小鳥トンネルの電気料金が高額となっている原因は、風速管理制御にあるのではないかと考えられる。そこで、次章にて風速管理制御が及ぼす電気料金への影響を分析した。

4. 小鳥トンネルの電気料金について

3章にて、風速管理制御は、基本料金を抑える効果があると述べたが、実際に電気料金にどのような影響があるのか検証した。

風速管理制御が電気料金に与える影響を検証するために、プログラム制御時と比較を行った。なお、プログラム制御時のデータについては、2023年6月から計測器が故障しており応急的にプログラム制御で運用しているため、そのデータを使用した。検証を進めていく上で、本来であればジェットファンの稼働台数を比較することでより効果的な検証を行うことができるが、そのデータがないため、受電電力を比較した。ここで、図-2にて風速管理制御時の電力量の推移(上の図)とプログラム制御時の電力量の推移(下の図)を示した。青線と緑線が受電電力を示している。これにより、風速管理制御時は電力量にばらつきが多く、不規則なグラフとなっている。これは、トンネル内の環境に稼働が左右されやすいためだと考えられる。一方で、プログラム制御時は、決まった時間に決まった台数を稼働させるため、ばらつきが少

なく、風速管理制御時よりも低い値となっている。結果として、電気料金も月額で約60万円安くなっている。しかし、プログラム制御ではトンネル環境が悪化した場合に対応できず、悪化制御が働く可能性がある。なお、プログラム制御開始時から現在までに計測値は悪化していないが、今後悪化する可能性があるためプログラム制御を採用し続けることはできない。しかし、検証にて電気料金を削減することができることが確認できたため、この結果をもとに電気料金削減の検討を進めることとする。

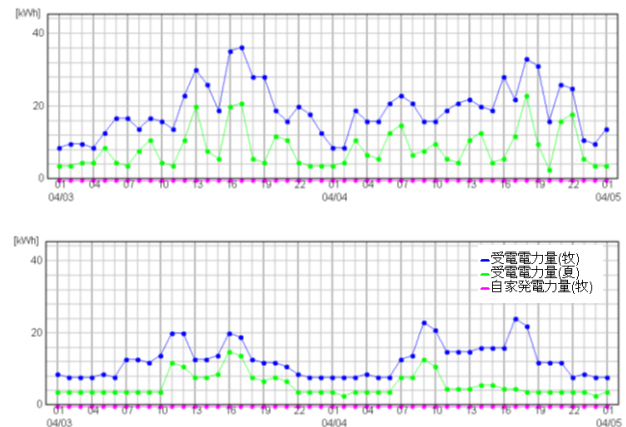


図-2 電力量の推移
(上：風速管理制御時)(下：プログラム制御時)

5. 電気料金削減の検討

現在、小鳥トンネルは風速管理制御を採用し、デマンド値を抑え基本料金を低くすることで、電気料金削減を行っている。小鳥トンネルでは、過去にトンネル中央付近の環境が悪化し問題になったことがあり、常に一定の風を送り続けたいといけなため、風速管理制御を廃止することができない。そのため、プログラム制御を応急的に採用し電気料金を削減できたことを受け、検討を行った。その検討結果を紹介する。

・風速管理制御の設定値の変更

プログラム制御を行った結果、電気料金を削減することができたが、今後プログラム制御を採用し続けることができないことは先に述べた通りであるが、現在採用している風速管理制御の設定値を変更し、プログラム制御時の運用に近づけることで電気料金削減に繋げることができると考え検討を進めることとした。本来であれば、プログラム制御とフィードバック制御を併用して運用するなどの検討を進めていきたいが、現在の換気設備では制御盤を改造しないと併用することはできない。そこで、現在の設備で運用可能な方法で検討を行った。

現在の風速管理制御の設定値と検討後の設定値を表-2に示す。この設定により、トンネル内に上限値～下限値内の風速の風を流すことができる。現在の風速管理制

御の設定値は、供用当初(2004年)の所要風速最大値4.8m/sに対して上限2.5m/s、下限1.5m/sとして設定している。なお、所要風速最大値はトンネル内の汚染環境を改善させるために必要な風速のことである。しかし、排出ガス規制強化に伴い、現況の所要風速最大値は、2.3m/sと低下している。なお、風速管理制御はフィードバック制御の補助的な役割が大きいと、換気能力を発揮する必要はないが、現在の設定上限値2.5m/sでは所要風速最大値2.3h/sを超えており換気効果を発揮するため、過大になっていると考えられる。そこで、ジェットファン稼働時間の抑制を目的として、設定値を上限1.5m/s、下限0.5m/sとした。所要風速最大値が、供用当初と比べて半分以下になっていることより、この設定値とした。また、トンネル内の風速が0.5m/s以下になると、乱流状態となり、トンネル中央付近の環境が悪化しやすくなることが分かっているため下限は0.5m/sとしている。風速管理制御の設定値を下げることは、トンネル内の環境が悪化しやすくなることにつながるが、その場合はフィードバック制御により環境改善をすることができるため、利用者への影響はないと考えられる。

表－2 風速管理制御の設定値

	現在の設定値	検討後の設定値
設定値の上限	2.5m/s	1.5m/s
設定値の下限	1.5m/s	0.5m/s

検討後の設定値とした場合のジェットファンの稼働時間と電気料金の低減予測について、まとめた。

ジェットファンの稼働については、「トンネル換気運用に関する検討(その3) H6.3 (財)高速道路調査会」において、各換気方式別にフル稼働換算運転時間が指標として報告されており、小鳥トンネルのような対面通行トンネルのジェットファンの場合は、1台あたり4h/日となっている。そこで、現在のジェットファンの稼働状況と比較することで電気料金の削減予測を行うことができるため、ジェットファンの稼働状況を表－3にまとめ、比較を行った。過去3年の1台の稼働時間が4.6h/日と指標よりも0.6h/日高くなっている。この指標については、風速管理制御を含まない状態での稼働時間であるため、原因は風速管理制御の採用と想定される。検討後の設定値は、現在の設定値の半分以下にしているため、風速管理制御による運転増分は0.6h/日から0.3h/日に半減すると推定される。その結果、1年間で1台当たり110時間の稼働を減らすことができ、電気料金は133万円

削減することができる。今後、検討後の設定値で検証していく予定であるが、実際に検証を行った結果、電気料金が上がる可能性もあるため、換気設備を運用していく中で、風速管理制御の設定値の検討は続けていく必要がある。

表－3 ジェットファンの稼働状況

期間(西暦)	2020～2021	2021～2022	2022～2023
累計合計稼働時間(h)	20218.8	18067.6	21563.2
1台の平均稼働時間	1684.9	1505.6	1796.9
1台の稼働時間(h/日)	4.63	4.14	4.94
過去3年の1台の稼働時間(h/日)			4.6

※14台の内2台が、稼働時間の記録に不備があったため、12台で計算している

6. 今後の方針

小鳥トンネルの換気設備では、延長が長いこともあり、他のトンネルではあまり採用されていない風速管理制御を採用している。そのため、ジェットファンの稼働が多く、電気料金が高額であった。そこで本論文では、風速管理制御を採用した状態で電気料金削減の検討を行い、その検討結果を紹介した。今後は、本論文で提案した風速管理制御の設定値を検証していき、運用を進めていく中で適切な設定値を模索していく予定である。また、今回は検討することができなかったが、基本料金を抑えることに重点を置いた運用ではなく、電気量料金の削減を目的とした運用など、制御面で小鳥トンネルの電気料金削減の検討を行うことができるので、今後も検討を進めていきたい。

謝辞： 本論文の作成にあたりご尽力いただいた職員の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1)トンネル換気運用に関する検討(その3) H6.3 (財)高速道路調査会
- 2)道路トンネル技術基準(換気編)・同解説(日本道路協会)