

トンネル内の環境実測データを有効活用した トンネル換気設備更新設計

井上 健太郎¹・高原 一樹²・坂根 勇一³・日根 幸雄⁴

¹正会員 株式会社 エイト日本技術開発 防災保全事業部 (〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39)
E-mail:inoue-ke@ej-hds.co.jp

²福島県 総務部施設管理課 (〒960-8670 福島県福島市杉妻町2番16号)
E-mail:takahara_kazuki_01@pref.fukushima.lg.jp

³正会員 株式会社 エイト日本技術開発 防災保全事業部 (〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39)
sakane-yu@ej-hds.co.jp

⁴株式会社 エイト日本技術開発 防災保全事業部 (〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39)
E-mail:hine-yu@ej-hds.co.jp

本報告は土湯トンネル (L=3,360m) の換気設備の更新設計である。換気用ジェットファン台数を計画交通量と自然風2.5m/sを用いて算出した結果, 「自然換気に対応可」「排煙設備として4台必要」となった。道路トンネル非常用施設設置基準・同解説書では排煙設備は「換気能力の範囲で排煙にも利用できるようにするとよい。」¹⁾との趣旨の記載があるが, 本トンネル周辺地は山間地のため霧の発生が多く, 霧対策として換気設備は必要である。以上の現地条件を踏まえて, 換気設備更新設計は明確な設計条件がない中で, どのような考え方に基いて計画するかが課題であった。

本トンネルの場合は既設設備で, 「ジェットファンの稼働状況」「交通量」「風速」等の坑内環境実測データがあることから, これらを整理して設計方針を決定し, 換気設備更新設計を実施した。

Key Words : renovation of ventilation, equipment, smoke extraction, fog, environmental survey data

1. はじめに

本報告は, 福島県県北地方と会津地方を結ぶ重要な幹線道路である国道115号土湯道路の土湯トンネル (延長3.36km, 対面通行2車線トンネル) を対象とした換気設備更新設計報告である。

本トンネルは供用後約30年を経っており, 換気設備の現状はJF (従来型) φ1000が10台設置されているが, 故障等により現時点で稼働しているのは5台である。

またトンネル周辺地では, 山間地のため霧の発生が極めて多く, それに反応してJFが稼働するケースが多い。

2. 設備更新設計の問題点と着目点

一般にトンネル新設設計において必要とするジェットファン台数を算出するには, 交通量としては計画交通量を, 風速としては2.5m/sを用いる (表-1)。

この設計条件で本トンネルの計算をすると, 坑内換気は自然換気に対応可能であり, 排煙設備はJFX (高風速型) φ1000-4台が必要になる (表-2)。

しかし, 道路トンネル非常用施設設置基準・同解説 (平成13年10月) には「排煙設備は換気設備の能力の範囲で排煙にも利用できるとよい。」¹⁾の記載があること

表-2 自然風2.5m/s, 計画交通量を使用した場合の計算結果

設計条件	自然風	2.5m/s
	設計時間交通量	627台/h
	大型車混入率	12.0%
計算結果	換気設備	不要
	排煙設備	JFX1000-4台
(現況)	(現在稼働している設備)	(JF1000-5台)

表-1 トンネル諸元

道路構造規格	第3種第3級
設計速度	50km/h
延長	3,360m
標高	1,100m
計画交通量	4,479台/日

から、本トンネルでは排煙設備用ジェットファン設置の採否について検討する必要があった。

以上より、換気設備・排煙設備の計算結果、基準による排煙設備の取り扱い、現地の霧状況を踏まえ、「換気設備の必要性」、「排煙設備の必要性」および「霧対策の必要性」の考え方の整理を行い、本トンネル更新設計の方針として、どのような考え方に基いてジェットファンの必要台数を決定するかが課題であった。

3. トンネル内環境実測データの有効活用

本トンネルは既設設備でトンネル内環境実測データがあり、それらを整理して設計方針を検討することにした。

(1) トンネル内環境実測データ

トンネル内環境実測データとは以下の2種類のデータのことである。

データ1：手動換気制御や後々の管理データとするため、換気制御盤内に設置されているトンネル坑内環境データの煤煙濃度または視認透過率（以下、VIと記載）、CO、風向風速、JF稼働を記録したデータ。
データ2：土湯道路全体を管理するために土湯トンネル坑口位置の管理所で測定されている交通と気象に関するデータ。

(2) データ整理の方法

トンネル内計測装置のデータ（平成27年1月～12月までの1年分）を以下の方法で整理した。

- 5分間毎の交通量、VI、CO、風向風速、JF稼働が記録されているデータを1年間集計した。
- 上記データを1日当たり、1年当たりのデータとして整理し、交通量と大型車混入率、ジェットファン稼働状況、自然風や霧等の自然現象の傾向を

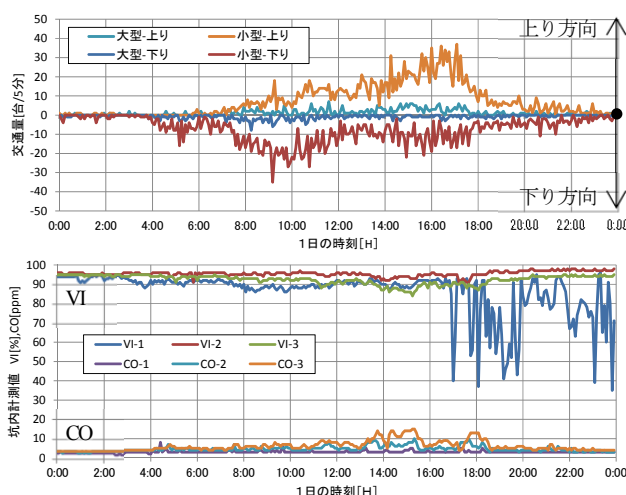


図-1 平成27年3月8日の坑内計測結果

確認した。

(3) 実測データ1日間の状況

1日間の標準的な例として、図-1に3月8日の記録を示す。

図-1の整理結果は以下の通りである。

- 交通量は昼の多い時で、1方向20台/5分、1方向240台/時間、両方向480台/時間程度であり、JFは夕方まで全く稼働していない。
- 坑内風はほぼ終日を通じ、下り（東方向）-2.0m/s程度の風が吹いていた。（上り方向2.0m/s）。
- COは終日15ppm以下で、CO許容値は100ppmのため全く問題でない状況が続いた。
- VIは夕方から深夜にかけて悪化し、許容値の40%程度まで低下する状況が連続して発生している。
- JFはVIの悪化に伴い夕方から深夜にかけて5台全てが稼働する状況が連続して発生した。

図-1を見ると、VIは交通量の少ない時間帯（17:00～24:00）に悪化していることから、VI悪化の原因は排ガスではなく霧と判断できる。

(4) 実測データ1年間の状況

a) 交通量

日交通量に関しては、表-3より計画交通量と実測データとほぼ一致しているが、大型車混入率に関しては12.0%と15.4%でかなり差がある。

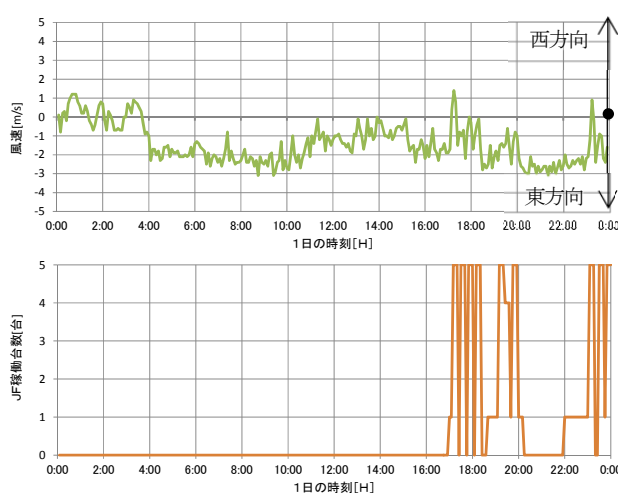
b) 自然風

土湯トンネルでは、図-2よりトンネル内風速が2.5m/s以上となる期間は33%程度で、年間の1/3程度ある。

表-3 設計日交通量と実測データの比較

	設計日交通量	実測データ
日交通量	4,479台	4,662台（※）
大型車混入率	12.0%	15.4%

（※）1,701,666台/年÷365日＝4,662台/日



風速値[m/s]	発生回数[回]	発生頻度[%]
-10~-2.5	1395	1.3%
-2.5~2.5	69774	66.5%
2.5~10	33792	32.2%
総計	104961	100.0%

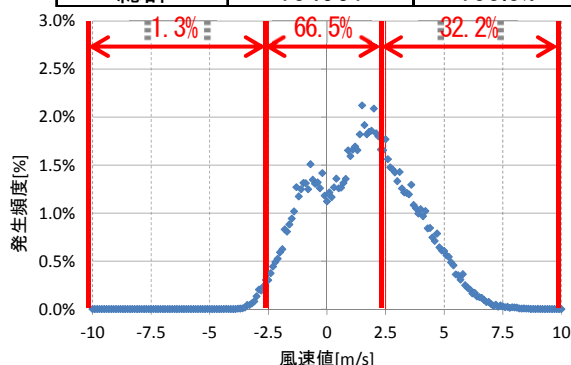


図-2 風速の1年間集計（平成27年）

表-4 平成28年上半期の霧発生警報回数

発生日（2016）	日合計（回）	月合計
1月2日	13	【1月合計】 6日 43回
1月3日	15	
1月4日	1	
1月15日	6	
1月27日	2	
1月28日	6	
2月14日	76	【2月合計】 4日 113回
2月20日	7	
2月21日	29	
2月29日	1	
3月3日	2	【3月合計】 7日 133回
3月5日	5	
3月6日	42	
3月7日	3	
3月8日	58	
3月9日	6	
3月19日	17	
4月1日	3	
4月2日	10	【4月合計】 10日 125回
4月4日	36	
4月5日	1	
4月7日	16	
4月8日	26	
4月14日	8	
4月22日	13	
4月28日	3	
4月29日	9	
5月1日	7	【5月合計】 7日 102回
5月7日	16	
5月10日	4	
5月11日	48	
5月12日	7	
5月17日	13	
5月27日	7	
合計	516	

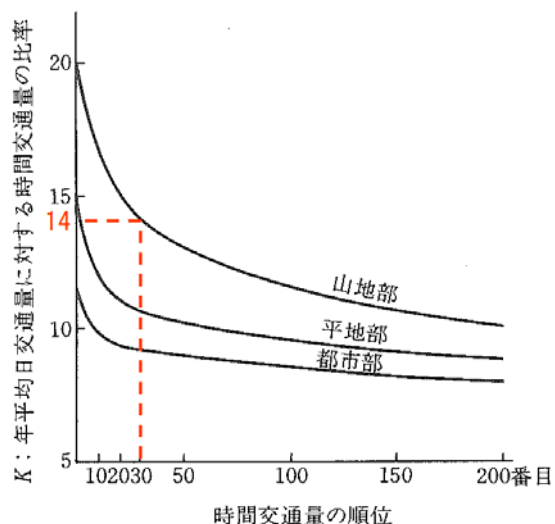


図-3 年平均日交通量と時間交通量との関係²⁾（一部加筆）

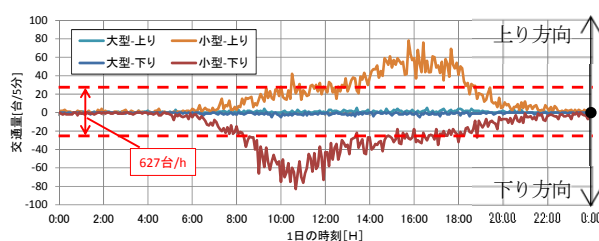


図-4 設計時間交通量超過日の例（平成27年5月4日）

従って、自然風が比較的強いトンネルであり、特に西風が卓越しているトンネルであるということが実測データより分かる。

c) 霧発生状況

平成 28 年上半期の実測データによると、霧発生警報回数は表-4 の通り多く（月平均 103 回）、霧対策が必要な地域であることが分かる。

(5) 実測データの分析

a) 設計時間交通量

一般に、換気検討で使用する「年平均日交通量に対する時間交通量の比率」は、年 30 番目の設計時間交通量の値を用いることとしており、その値は図-3 より「換算計算に用いる交通量」として 627 台/時間となる。

一方で、実測データの交通量を確認すると、図-4 のように設計時間交通量を超過した時間帯があり、年間の超過時間は合計で 443 時間となった。また、実測データを基に算出した年 30 番目の実測時間交通量は 1,100 台/時間程度と 627 台/時間を大きく上回った。

表-3 を見ると、図-3 の山地部のピーク時間係数 14% を大きく上回るにもかかわらず、日交通量は設計値と実測値でほとんど変わっていない。よって、土湯道路は交通量の時間ごとの偏りが極端に大きな道路であることが分かる。

b) 交通量, VI, CO, JF稼働の関係

表-5 は図-1 を含めた 1 年間（平成 27 年）の集計データから、交通量、霧、VI, CO, JF 稼働について一ヶ月毎に整理したものである。この表より、交通量、VI, CO, JF 稼働の相関について以下に述べる。

- ・ VI の許容値 40%を超過した日は 89 日と多く、その大半の 87 日が霧が原因によるものであり、交通量が原因であるのは 2 日だけである。
- ・ CO の許容値 100ppm を超過した日はなく低い値で推移しているため、交通量が年間を通して問題となっていない。
- ・ JF が稼働した日は 125 日と多かった理由は、上記の VI と CO の整理結果から、霧のためであることが分かる。

4. 実測データ整理結果と設計方針

(1) 実測データの整理結果

- 1) 日交通量に関しては、実交通量と計画交通量に大きな差はない。
- 2) 風に関しては、風速 2.5m/s 以上の場合が 1 年間で 1/3 程度生じる。（図-2 参照）
- 3) 霧に関しては、霧の発生により警報が発せられる回数が、「月に 100 回以上」生じている。また、霧が原因で VI の許容値を超えた日が 87 日もある。（表-5 参照）

(2) 実測データから分かる設備更新設備時の考察

a) 換気設備規模

換気設備については、交通量、大型混入率に関して計

画値を大きく上回るが、設計時間交通量の超過が原因による JF 稼働日数は多くはなく、また、VI の許容値を超えた日数は 2 日と少ないことから、現状の換気設備（JF1000—5 台）と同程度の換気設備規模で満足できると判断した。

b) 排煙設備規模

実測データによると、排煙設備で対応不可となる風速の割合は 2.7m/s 以上となり、その発生確率は表-6 より年間で 31.6%生じる。そのうちの 1/2 が逆風になると仮定すると、その割合は 15.8%となり、排煙設備としては現況規模で 8 割以上の風速に対応できている。

また、表-6 より JFX1000 を 2 台増設しても、3.6m/s 以上の逆風が生じた場合は排煙することが難しく、その発生確率は 9.3%（=18.6%/2）となる。

c) 霧対策

当該地で霧が発生した場合、坑内換気のために現状の JF が稼働していたにもかかわらず、その時の VI の許容値については、表-5 より 87 日間で超過していた。

しかし、図-1 より霧により VI 値が小さくなっているのは坑口部の 1 箇所（本トンネルの VI 計測箇所は両坑口部に 1 箇所ずつの計 2 箇所、中間部に 1 箇所）だけであり、その他の計測値は VI の許容値 40%を満足していることから、トンネル中間部と片側の坑口部は視界が良好だったことが分かる。

また、図-1 より坑口部の VI 値は、JF が 17 時から 20 時に稼働した影響を受け、20 時から 22 時の間に 40%以

表-6 排煙設備で対応可能な風速

JFX-1000 の台数	対応可能 風速	対応可能 確率	対応不可能 確率
4台	2.7m/s	68.4%	31.6%
6台	3.6m/s	81.4%	18.6%

表-5 平成27年実測データの1年間集計

	設計時間 交通量 超過時間	VI (40%) 超過日			CO (100ppm) 超過日	ジェットファン 稼働日		
月	時間	日数	原因		日数	日数	原因	
			霧	交通量			霧	交通量
1	5	6	6	0	0	8	8	0
2	3	4	4	0	0	10	10	0
3	33	7	6	1	0	9	9	1
4	44	8	8	0	0	19	15	4
5	65	6	6	0	0	19	14	6
6	19	5	5	0	0	13	13	1
7	44	10	10	0	0	8	8	0
8	59	6	6	0	0	14	10	4
9	44	15	14	1	0	9	8	1
10	77	3	3	0	0	3	2	1
11	33	14	14	0	0	9	9	0
12	17	5	5	0	0	4	4	0
合計	443	89	87	2	0	125	110	18

表-7 本トンネルの設計方針

更新対象設備	本設計	現稼働設備
換気設備	JFX1000-4台 (高風速型)	JF1000-5台 (従来型)
排煙設備		
霧対策設備		

上になったことから、霧対策としての JF は効果的に機能していることが分かる。

(3) 設計方針

以上より、更新する JF は、換気設備としては、実測データより交通量・霧対策としての機能を満足できていることから換気能力は十分に確保できていると判断し、現況と同程度の換気能力設備を採用する方針とした。

排煙設備としては、現況で 8 割程度の風速に対応可能であり、現況台数で霧対策等の換気能力を確保できていることを考慮すると、現況台数は必要であることから、更新する JF 台数は換気能力の範囲内に留める方針とした。

現況の JF は、既に 10 台中 5 台が故障等により使用が困難な状態であり、現在稼働している JF についても、老朽化の影響で使用が困難となる可能性がある。よって、更新する JF は、現況設備とほぼ同等である設計から求まる「JFX1000-4 台」を採用する方針とした。

5. まとめ

本業務を通じて、今後のトンネル換気設備更新設計では、以下の 2 点が重要と感じた。

- 1) 更新設計において現状に即した設計を行うには実測データを有効活用することが大切である。
特に風速については、一般的に風速 2.5m/s の値を用いるが、本報告の計測結果を見ても分かるように、それ以上の風速も生じているため、2.5m/s の採用の是非については課題がある。
- 2) 換気設備設計ではリスク（今回の場合は霧による交通障害と風の影響）をどう考えるかが重要で、その判断材料として実測データを参考とすることが有用である。

謝辞： 本論文を作成するにあたり、福島県県北建設事務所の関係者方々を始め、多くの方にご指導いただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：トンネル非常用施設設置基準・同解説, p.16, 2001
- 2) 日本道路協会：道路の交通容量, p.80, 1984.

(2017.8.11 受付)

RENOVATION OF TUNNEL VENTILATION EQUIPMENT UTILIZING SURVEY ENVIRONMENTAL DATA IN TUNNELS

Kentaro INOUE, Kazuki TAKAHARA, Yuichi SAKANE, and Yukio HINE

This report is on the renovation of ventilation equipment for the Tsuchiyu tunnel (L= 3,360 m). The required number of ventilation jet fans was calculated based on the planned traffic volume and the natural of wind 2.5 m/s. As a result, it was determined that "natural ventilation is possible" and "four units are required for smoke extraction". According to the "Installation standard for emergency equipment in road tunnels", installation of smoke extraction equipment is stipulated to be in "the range of ventilation capacity." However, this tunnel is located in a mountainous area, and fog frequently occurs. It is a common occurrence in this tunnel that the existing jet fans are set in motion simply from the presence of fog and therefore ventilation equipment as measure against fog is necessary. From the above, the basis on which to determine the number of jet fans proved to be a difficult challenge. In this tunnel, environmental survey data for the previous ventilation equipment was available. In this project, that data was effectively used, to identify the "condition of jet fan operation", "traffic volume", and "wind velocity data" based upon which the design policy for the renovation of ventilation equipment was determined.