

増風により火災検知器汚損を防止するダクトの開発

阪神高速技術(株) 工事部四つ橋事業所 司馬 竜也
阪神高速技術(株) 工事部工事統括課 平井 暁
阪神高速技術(株) 工事部神戸設備事業所工事課 花坂 謙一

要 旨

トンネル内火災を検出するために、トンネル等級に応じて火災検知器を設置している。火災検知機能を維持するためには、受光窓の汚損率が悪化しないように清掃しなければならない。トンネルによっては煤塵の付着しやすい環境も存在するため、標準としている周期以上に清掃をしている箇所も存在する。

今回、煤塵の付着を抑制すべく、CFD 解析を用いた受光窓周りの流速を改善するためのダクトを製作し、神戸長田トンネルおよび正蓮寺川トンネルにて長期検証を行ったところ、ダクトなしの火災検知器に対して、およそ 30%の汚損抑制を行うことができた。

キーワード: トンネル火災検知器, CFD 解析, 汚損防止ダクト

はじめに

トンネル内をお客さまに安全に通行頂くために火災検知器は大変重要な役割を担っている。事故等により発生したトンネル内火災をいち早く検出し、交通指令台やお客さまに対して火災を知らせ、被災者を出さないためである。いつ発生するか分からない有事に確実に対応できるように 24 時間 365 日機能を維持することが求められている。

火災検知器本体は、検知器箱の中に入っており、**図-1** のような構造になっている。検出部である「右目」並びに「左目」はガラスの受光窓に覆われており、それぞれの目が火災検知器の右側領域、左側領域を監視している。自己診断機能も備わっており、毎日 1 回試験灯グローブより照射される光量の減光率を計測し受光窓の汚損状況を確認するセルフチェックを実施している。



図-1 火災検知器の構造¹⁾

1. 火災検知器の機能を維持するための現在の取り組み

火災検知器を常時健全な状態に保つために、火災検知器において想定される様々な故障パターンを踏まえ、予防的に以下のような対策を実施している。

1-1 火災検知器の単体故障

火災検知器は精密機器であり、回路部分の偶発故障も一定数存在する。これらの故障を予知することは難しいため、1台が故障しても継続監視が可能になる仕組みで対応している。

具体的には、火災検知器の能力だけでなく、道路線形も考慮して設置間隔を決定し、同エリアを前後の火災検知器で二重監視するようにしている。

また、予備の火災検知器を常備し、迅速な復旧を行える準備も行っている。

1-2 火災検知器信号線の断線

火災検知器の信号線が断線した場合、受信機側に火災信号が送れなくなってしまう。その対策として、断線を検知した場合自動で別の信号線を使う幹線補償という機能を備えさせている。

1-3 火災検知器の汚損

トンネル内は煤塵や埃が多く、汚損しやすい環境であり、トンネル壁面に設置されている火災検知器も汚損しやすい。火災検知器は、炎から放射される赤外線エネルギーを監視しているため、汚損が進行するとその監視機能が働かなくなってしまう。そのため、受光窓の減光率が悪化しないように火災の検出部を覆っている受光窓の清掃を定期的実施している。

2. 火災検知器機能維持に関する問題点

先述の機能を維持する取り組みの中で、今後の新規路線供用を踏まえると、汚損対策の清掃作業費用の増加が問題になってくる。

2-1 阪神高速道路における火災検知器の設置数

表-1 は現在供用している路線の火災検知器設置数量である。大阪・神戸地区合わせて2,330台の火災検知器が設置されている。今後供用予定の淀川左岸線二期・延伸部等は、大部分がトンネルであることから更に火災検知器の数量は増加予定である。

表-1 火災検知器設置状況

地区	トンネル	トンネル等級	能力	設置数		
				上り	下り	総計
大阪	伊丹トンネル	AA	25m	34	37	71
	正蓮寺川トンネル	AA	25m	190	195	385
	大和川第1トンネル	AA	50m	35	36	71
	大和川第2トンネル	AA	50m	19	20	39
	大和川第3トンネル	AA	50m	164	162	326
大阪 小計				442	450	892
神戸	新神戸トンネル	AA	25m	389	393	782
	新唐櫃トンネル	暫定A	50m	58	58	116
	神戸長田トンネル	AA	25m	192	237	429
	有馬北トンネル	A	25m	56	55	111
	神戸 小計				695	743
総計				1,137	1,193	2,330

2021年3月末時点

2-2 現在の点検周期

火災検知器は、「機械設備の点検要領」²⁾によって表-2の項目の点検を実施している。点検周期は工事計画書に記載し、3ヵ月に1回の周期で巡回点検、6ヵ月に1回の周期で定期点検を実施することとなっている。

表-2 火災検知器の点検要領

No.	点検項目	巡回	定期
1	外部の汚れ・損傷・発錆の有無の確認	○	○
2	受光窓の清掃	○	○
3	銘板等の汚損・損傷の有無の確認	○	○
4	周囲の障害物の有無確認	○	○
5	防災受信盤の表示確認		○
6	防災中央装置の表示確認		○
7	機器の据え付け状態の確認		○
8	検知器テスターによる動作時間の測定(左目)		○
9	検知器テスターによる動作時間の測定(右目)		○
10	検知器テスターによる動作確認時の試験ランプ及び動作確認灯の点灯確認		○

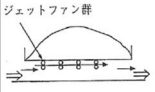
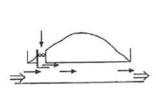
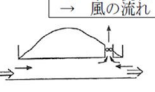



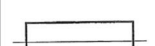
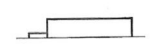
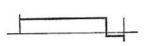


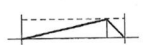
2-3 トンネル換気方式と汚損の相関

火災検知器の汚損状況は、交通量の違いによりトンネルによって異なることは当然ながら、トンネル内であっても換気方式により汚損状況は大きく異なる。

トンネルには、出口坑口環境の保全およびトンネル内環境の安全性確保のために、自然換気と異

なる換気方式を採用することがある。表-3³⁾は一般的な縦流換気方式の種類とその特徴を表している。長大トンネルにおいては、集中排気方式をベースとした、ジェットファン併用の方式を採用している。これらのトンネルでは、トンネル内の風速が低くなる集中排気口付近が特に汚損しやすい区間になる。また、集中排気口よりも下流側は、進行方向に対して逆風の区間になる。

表-3 縦流換気方式における主な種類と特徴

換気方式	縦流換気方式		
基本的特徴	換気風は車道を縦方向に流れる		
代表的型式	ジェットファン方式	サッカルド方式	集中排気方式
型式の特徴	ジェットファン群の昇圧による	噴流送気の昇圧による	両坑口からの吸込みによる
換気系略図			
車道内圧			
車道風速			
濃度分布			

トンネル換気設計要領(2020年9月)第3章3.2より転載

3. 対策検討

火災検知器機能維持に関する問題の対策としては、今後増加が見込まれる中で設置環境に影響を受けること無く、清掃頻度をいかに低減するかである。そこで、火災検知器受光窓の汚損対策として、次のような提案を行った。

一つ目は、受光窓付近の風速を上げて埃を付着しにくくするダクトの付加である。火災検知器受光窓も流線型であり、これは流速改善を行うことで、汚損低減に効果があるためである。

二つ目の対策案は、受光窓に風を当てないようにするダクトの付加である。既に製品化してあるダクトの流用になるが、集中排気口の下流側においては効果が小さくなると考えた。

最後に三つ目の対策案は、布が風でなびくことで汚れを叩き落とす工夫である。最も効果が得られる一方で、乾いた布と受光窓の摩擦により静電

気が発生し、検知器が誤作動する可能性があることと、布が外れて飛散することが懸念される。以上の対策案および想定される問題点から、一つ目の受光窓付近の風速を上げることで対策を行うこととした。

4. 対策内容

4-1 CFD 解析条件

現状の流速と、対策案の比較をするために、CFD 解析を用いた。検知器モデルは、現場に設置された状態を考慮するために、検知器箱に収納された状態とした。風速条件は、トンネル壁面付近で大型車が通過した際の風速実測値の平均である 4.0m/s を採用した。

4-2 CFD 解析結果および考察

現状の CFD 解析結果の上面図を図-2 に示す。色は流速を表現しており、赤色に近づけば流速が高く、青色に近づけば流速が低くなっている。この図を見ると、受光窓は流線型であるため風の流れを阻害していないが、検知器箱の形状の影響で側面に当たった風が淀んでしまい、受光窓付近の流速低下が懸念される結果であった。そのため、箱の形状の工夫で受光窓付近の流速改善が可能であると考えた。火災検知器の火災検知能力を落とさないために、ダクト設置による検出部の死角発生を無くさなければならない。死角を作らず空気

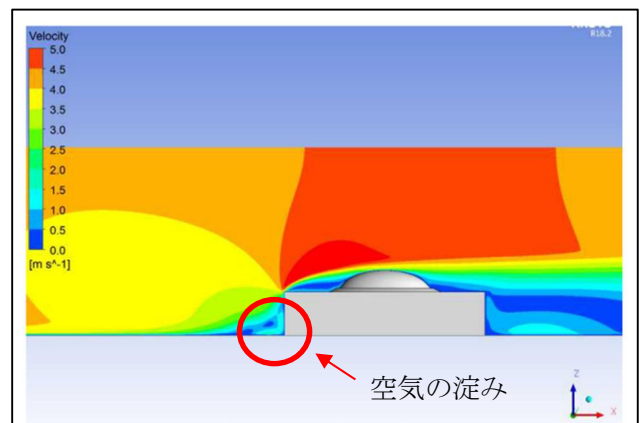


図-2 現状の火災検知器における CFD 解析結果

の淀みを発生させない形状として、**図-3** のように淀み点にスロープを設けるような形状とした。

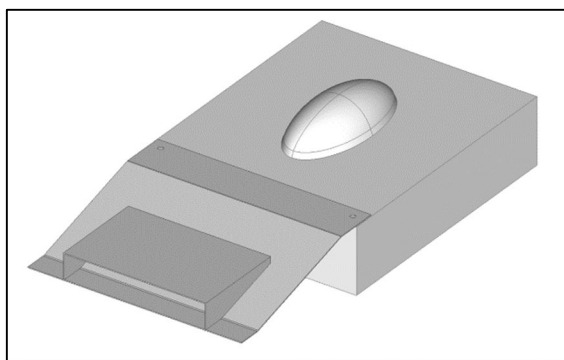


図-3 対策ダクト形状

4-3 CFD 解析結果比較

対策ダクト有無による流速分布の比較を行った。**図-4**は、断面1におけるそれぞれの状態での流速分布断面図である。低流速を表す青色の部分が大きく減少していることが分かる。

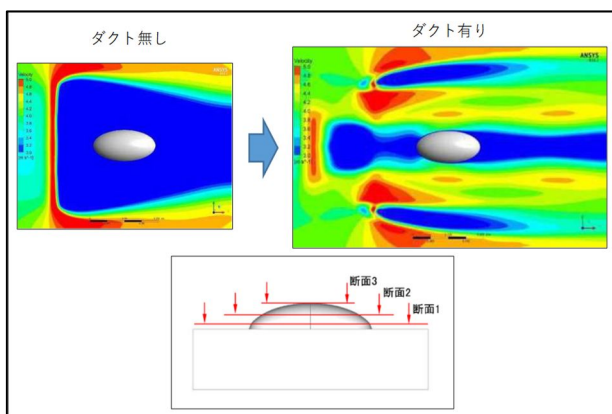


図-4 断面1での流速分布

5. 汚損防止ダクトの効果検証

5-1 現場での効果検証条件

CFD 解析結果にて、ダクト設置で受光窓付近の流速改善が見込まれたため、ダクトの実機製作を行い火災検知器にダクトを設置し、効果検証を行った。場所は、過去に汚損予告信号が発報した比較的汚れやすい場所とし、換気方式も考慮して集中排気口の下流側であることも条件に加え、神戸長田トンネル上り線の神戸長田出路分岐後の本線部を選定した。道路線形による結果への影響を

排除するため、ダクト有りの火災検知器とダクト無しの比較用火災検知器のペアを3組用意した。比較には、各火災検知器の受光窓を清掃してから1ヶ月経過後の汚損率を用いることとした。汚損率とは、火災検知器付属の試験灯から照射する赤外線が減光率より算出した値である。ダクトの設置場所は、車両通過時に進行方向と同じ向きに風が流れるとして、車の流れの上流側にのみダクトを設置した。**図-5**に汚損防止ダクトを設置した火災検知器の状況を示す。



図-5 火災検知器ダクト設置状況

5-2 検証結果

汚損率比較結果を下図に示す。**図-6**は、DB-129とDB-130のそれぞれダクト設置側にあたる左目の汚損率比較結果である。比較1回目は9月の1ヶ月で、6回目の2月まで1ヶ月毎に汚損率を比較したものである。

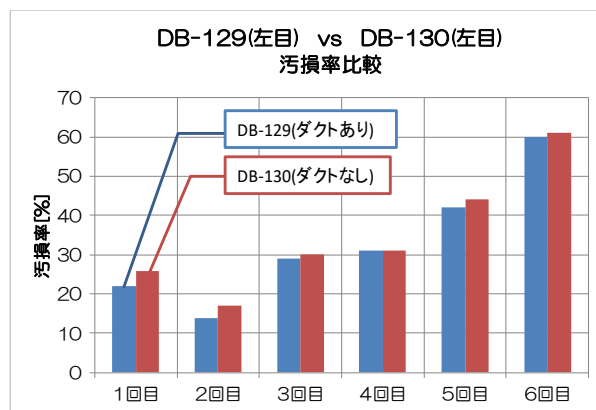


図-6 DB-129vs130(左目)汚損率比較結果

各回ともダクト有無による差は見られない。一方、図-7 および図-8 の汚損率比較では、ダクト有無により差が見られる結果であった。約30%の汚損率低減ができていた。

なお、全体的に5、6回目の汚損率が高いのは、冬季の埃が堆積しやすい時期に差し掛かったためである。

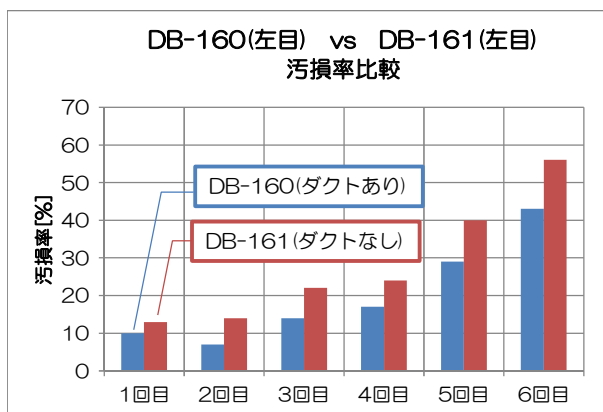


図-7 DB-160vs161(左目)汚損率比較結果

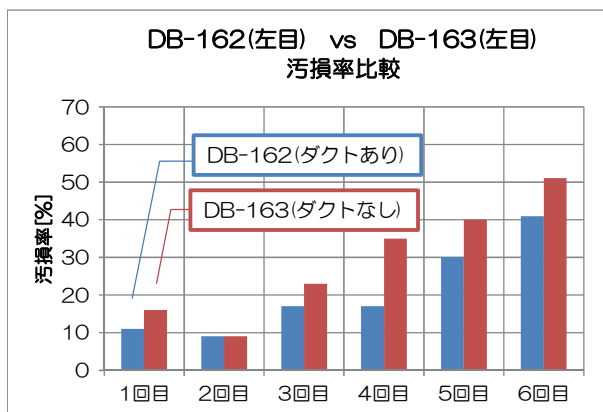


図-8 DB-162vs163(左目)汚損率比較結果

5-3 結果考察

DB-129, および各場所の右目については汚損率の低減は見られなかった。DB-129 については、設置箇所が左カーブ直後の直線部であり、うまくダクト内に車両通過風を誘導できなかったことが原因と推定する。図-9 に試験時に汚損防止ダクトを設置した火災検知器の位置を示す。

また、右目について、ダクトによる汚損防止効果が見られなかったが、これは増風効果が小さかった可能性があるため、別途対応方法の検討が必要である。

要である。

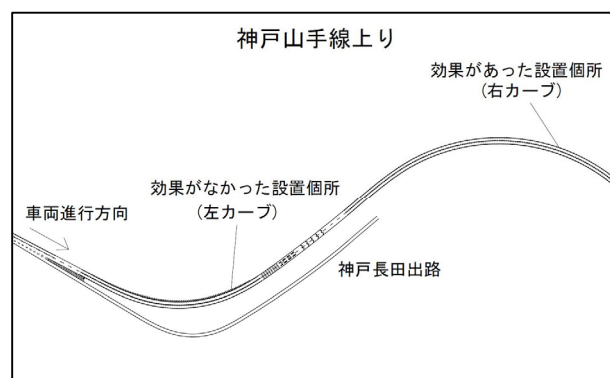


図-9 汚損防止ダクト設置位置図

5-4 別トンネルにおける長期検証

別トンネルで汚損防止効果の再現性確認と、清掃周期の延長可能期間を調査すべく正蓮寺川トンネルにて長期スパンでの検証を行った。検証条件は、点検結果をもとに汚損しやすい2つのエリアで、ダクトありの検知器とダクトなしの検知器が交互になるようダクトを設置し、汚損率75%にて自動発報する汚損予告まで受光窓を清掃しないとというものである。

検証結果を表-4 に示す。120日経過した時点で、その時点での汚損予告発生個数はダクトありが9

表-4 汚損防止長期検証結果

エリア1(淀上3.65~3.25kp)			エリア2(淀上3.15~2.88kp)		
検知器	ダクト取付	汚損予告までの期間 [日]	検知器	ダクト取付	汚損予告までの期間 [日]
DB-77	○	92	DB-101	○	117
DB-78		87	DB-102		120以上
DB-79	○	120以上	DB-103	○	87
DB-80		120以上	DB-104		76
DB-81	○	120以上	DB-105	○	78
DB-82		120以上	DB-106		76
DB-83	○	120以上	DB-107	○	112
DB-84		100	DB-108		114
DB-85	○	120以上	DB-109	○	117
DB-86		67	DB-110		94
DB-87	○	68	DB-111	○	119
DB-88		63	DB-112		100
DB-89	○	76	DB-113	○	120以上
DB-90		120以上	DB-114		105
DB-91	○	120以上	DB-115	○	120以上
DB-92		120以上	DB-116		112
DB-93	○	120以上	DB-117	○	120以上
DB-94		107	DB-118		100
DB-95	○	120以上	DB-119	○	120以上
DB-96		100	DB-120		112

個，ダクトなしが15個と汚損防止効果は十分再現できている。ダクト有無による差が見られない連続した区間もあるが，それは非常駐車帯もしくは左カーブであった。赤枠のDB-86～89，103～106の区間が非常駐車帯である。この長期検証の結果からも，汚損防止効果を得られにくい場所があることが確認できた。

6. まとめ

ダクトにより受光窓近傍の風速を増風させることで，汚損防止に効果があることが確認できた。一方で，非常駐車帯や左カーブなど，トンネルの構造的な条件によっては汚損防止ダクトの効果が見られない環境も存在するため，これらの場所に対しても汚損防止効果が得られる改良が必要となる。

現在，標準としている清掃周期以上に清掃を行っている場所もあり，標準周期を満足させるだけで年間約1,300万円のランニングコスト低減も可能となる。ダクト設置のイニシャルコストを考慮しても，4年でトータルコストとして有利となる見込みである。更には，監査路のない新神戸トンネルについても，清掃回数が減少することで規制回数も削減できることから，お客さまへ快適に走行頂く環境を提供することが可能となる。更には，作業員の安全にも寄与することが可能となるため引き続き汚損防止技術の検討を進めていく。

参考文献

- 1) 能美防災株式会社：RDCJ003A-D 型ふく射式火災検知器取扱説明書
- 2) 阪神高速道路株式会社，阪神高速技術株式会社：機械設備の点検要領，2020.11
- 3) 阪神高速道路株式会社：トンネル換気設計要領，2020.9

DEVELOPMENT OF THE ANTIFOULING DUCT TO PROTECT TUNNEL FIRE SENSORS FROM DUST POLLUTION BY USING INCREASED WIND

Tatsuya SHIBA, Akira HIRAI and Kenichi HANASAKA

Tunnels on the expressway are equipped with fire sensors as required according to the class of each tunnel. In order to maintain proper functioning of the system, the sensor lens must be kept always clean so as not to affect the transmittance. In some tunnels with an environment where soot and dust easily adhere, fire sensors need to be cleaned more frequently than the standard period. For the purpose of reducing the adhesion of soot and dust, an antifouling duct was developed to improve the flow velocity around the lens by using the CFD analysis. Its long term verification by implementation was conducted at the Kobe Nagata and Shorejigawa Tunnels. It was demonstrated that the stain on the fire sensor was reduced by about 30%.

司馬 竜也



阪神高速技術株式会社
工事部 四つ橋事業所
Tatsuya SHIBA

平井 暁



阪神高速技術株式会社
工事部 工事統括課
Akira HIRAI

花坂 謙一



阪神高速技術株式会社
工事部 神戸設備事業所 工事課
Kenichi HANASAKA