

ジェットファン 高度管理システムの開発

1. はじめに

延長が長く、交通量が多いトンネルでは、トンネル内の視野確保、一酸化炭素値の上昇防止、あるいは火災発生時の排煙等を目的としてトンネル換気設備（以下、ジェットファン）を設置している。ジェットファンはトンネル上部壁面に吊り下げられている（写真 1）ため、通常の巡回点検（歩道からの目視等による点検）や、高所作業車を使用した年点検でも、電動機や軸受等機械内部の状況までは確認できない。そのため一定期間ごとに工場に持ち込んで分解・補修しているが、この管理方法はコスト縮減の観点から課題が残る。

ジェットファンの構成部品の中で最も劣化が速いのは回転部である軸受とされている。ジェットファンの運転中でも軸受の状態が確認でき、補修が必要となる時期を推定することができれば、適切な補修計画を立てることで設備の信頼性を保つ



写真 1 ジェットファンの外観

たままでのコスト縮減が期待できる。

軸受状態の確認に剛基礎構造の回転機械に有効な管理手法である「振動法」を選定し、ジェットファン管理への適用性を検証した。さらに、設備の劣化を判定し、管理ガイダンスを出力する高度管理システムを製作したので以下に紹介する。

2. 技術概要

(1) 振動法

振動法による管理とは、機械の振動を振動加速度センサで継続的に測定し、設備の劣化を定量的に把握する管理手法のことである。振動の周波数解析で劣化の種類を特定でき、振動の傾向管理で劣化程度を推定することができる。

図 1 に、ジェットファンの構造図を示す。振動加速度センサは、電動機の軸受に近い位置に取り付ける。

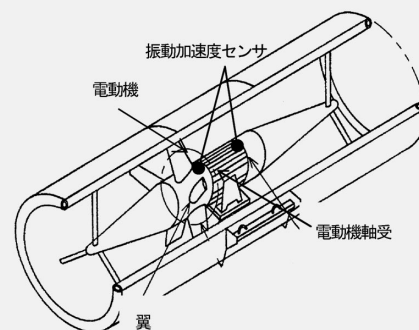


図 1 ジェットファンの構造図

(2) 高度管理システム

振動法によるジェットファン管理では、定期的
にトンネル内で振動測定を行うが、トンネルによ
っては測定作業に危険を伴う場合がある。また、
振動値に異常が発見された場合、最終的には振動
解析を専門とする点検者の判断が必要で、状況確
認に一定の時間がかかる等の課題がある。

これら課題の解消を図る目的で、ジェットファ
ン軸受部の振動を自動測定し、異常発生時に劣化
度を判定、管理ガイダンスを出力するシステムを
構築した。

システムの主な機能は以下のとおり。

- ① 大型車両異常振動排除機能：大型車通過時の
風圧により発生する振動を排除する機能
- ② 外乱除去機能：劣化判定に無関係な特異デー
タを排除する機能
- ③ 劣化度判定機能：劣化部位、劣化水準等から
劣化状態を総合判断する機能
- ④ 残存寿命予測機能：蓄積データから傾向管理
グラフを作成し、あらかじめ設定した値に到達
する時期（補修必要時期）を予測する機能
- ⑤ 管理ガイダンス機能：ジェットファン維持管
理のためのガイダンスを出力する機能

3. 技術の特徴

(1) 振動法

剛基礎構造の機械管理で実績のある振動法が、
吊り下げ構造のジェットファンに適用可能かどう

か、検証した例を以下に示す。

検証では、人為的に傷を付けた軸受を組み込ん
だ試験用ジェットファンを使用した。

表 1 は、左側が軸受外輪の傷により発生する
振動の周波数を理論的な計算式により求めたもの
で、右側が実際に発生した振動を解析したもので
ある。計算値と解析値が89Hzで一致しており、
89Hzの整数倍の特徴的な波形も認められた。こ
れにより、振動信号を解析して89Hzの波長と特
徴的な波形が認められた場合、軸受外輪に傷が
発生したと特定できることが確認できた。これら
の検証により、ジェットファン管理に振動法が適用
可能であると判断した。

図 2 は、傷の大きさと振動値の関係を周波数
帯域ごとにグラフに示したものである。この図か
ら、軸受の劣化は高い周波数帯域（聴診棒帯域）

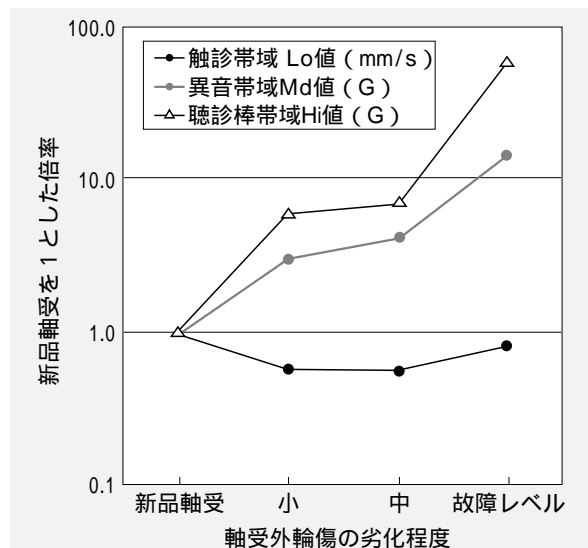


図 2 外輪傷の程度と振動の関係

表 1 軸受の異常周波数計算式（例）と軸受外輪傷振動の詳細解析

| 外輪傷の異常周波数計算結果 | | 軸受解析用包絡線処理後の周波数分析 |
|---------------|--|-------------------|
| 計算式 | $zfc = \frac{Zfr}{2} \left[1 - \frac{d}{D} \cos \right]$ | |
| 試験設備仕様 | $Z = 8, fr = 29\text{Hz}, d = 15$ $D = 65, \quad = 0^\circ$ | |
| 計算結果 | $zfc = 89\text{Hz}$ | |

Z：転動体数，fr：回転周波数，d：転動体径（mm），D：ピッチ円径（mm），：接触角

に顕著に現れることが確認された。したがって、軸受の状態を振動値により把握するには、高い周波数帯域の振動を継続して監視することが効果的であると判断した。

(2) 高度管理システム

ジェットファン軸受部の振動を自動測定し、異常値が発見された場合に振動解析を行い、専門業者と同等の診断を行うシステムを開発し、試作機を製作した。

試作機製作にあたっては、中国地方整備局管内のトンネル（ジェットファン10台）をモデルとした。試作機のシステム構成を図 3 に、試作機およびシステム画面を写真 2、3 に示す。

高度管理システムは、トンネル内に設置する振動処理装置、事務所に設置する振動診断装置および電気室に設置する通信装置で構成する。

振動加速度センサからの信号は、トンネル内の振動処理装置で大型車両異常信号排除および外乱除去の後に事務所内の振動診断装置に送られ、設定値を越えた場合は劣化度判定および補修時期の予測を行ったうえで管理ガイダンスを出力する。振動は定期的（設定可能）に自動測定され、振動データは振動診断装置に蓄積される。

試作機の主要機能を検証した例を以下に示す。

表 2 は、大型車両異常振動排除機能を、実際の振動データにより検証したものである。左側が排除機能適用前、右側が適用後のデータである。異常と判断したデータを振動診断装置に送信していないことから、排除機能が正常に作動している



写真 2 試作機



写真 3 システム画面（個別機能検証時）

ことが確認された。

図 4 は、疑似信号による管理ガイダンスの出力例である。異常発生の原因、運転の可否、予測寿命、推奨する管理方針を出力する。

以上のように、専門の点検者と同様の出力が得られることを確認した。

本システムは所内 LAN に組み込むことを想定している。異常発生時には担当者に警報メールを送信する機能を具備している。

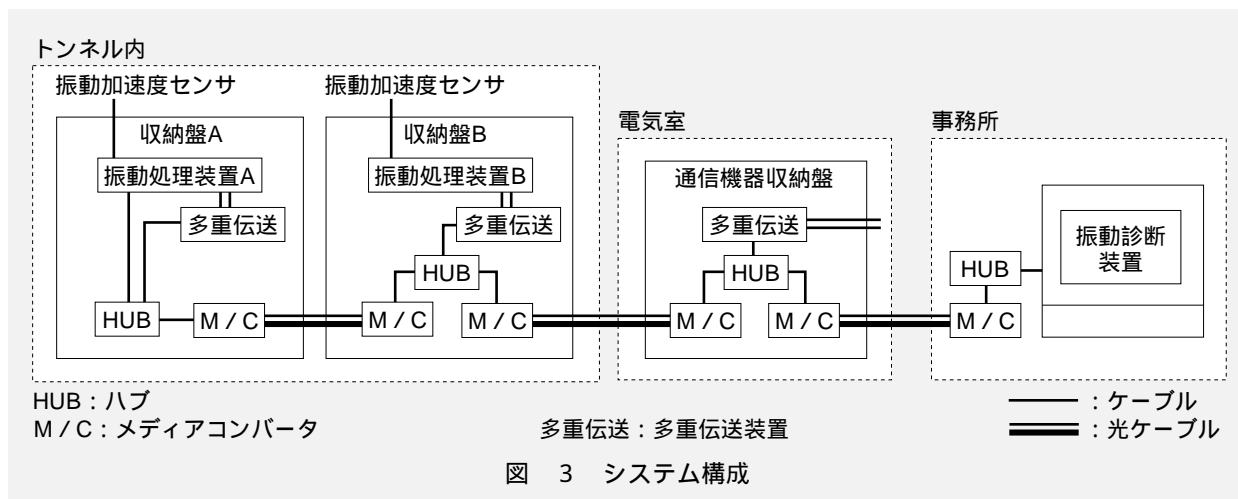


表 2 大型車両異常振動排除機能検証結果（抜粋）
振動処理装置測定データ

| 採取時刻 | LL レンジ | Lo | Md | Hi | 判定 | Lo | Md | Hi |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|----|--------|--------|--------|
| 05/03/01 11:40:59 | 3.453 | 2.7250 | 0.2600 | 0.0284 | 異常 | | | |
| 05/03/01 11:45:47 | 0.760 | 1.3811 | 0.2378 | 0.0282 | 良 | 1.3811 | 0.2378 | 0.0282 |
| 05/03/01 11:52:58 | 4.027 | 3.1504 | 0.2511 | 0.0286 | 異常 | | | |
| 05/03/01 12:02:32 | 4.250 | 3.8461 | 0.1903 | 0.0284 | 異常 | | | |
| 05/03/01 12:06:08 | 0.589 | 1.4619 | 0.1931 | 0.0289 | 良 | 1.4619 | 0.1931 | 0.0289 |
| 05/03/01 12:13:19 | 3.711 | 3.6691 | 0.2029 | 0.0287 | 異常 | | | |
| 05/03/01 12:16:55 | 0.875 | 1.4870 | 0.2369 | 0.0308 | 良 | 1.4870 | 0.2369 | 0.0308 |
| 05/03/01 12:20:35 | 3.514 | 3.6439 | 0.2155 | 0.0282 | 異常 | | | |
| 05/03/01 12:25:22 | 0.853 | 1.6044 | 0.2223 | 0.0287 | 良 | 1.6044 | 0.2223 | 0.0287 |

LL レンジ1.0以上は異常と判断し排除

異常：排除機能により排除された
良：適当なデータと判断し後工程へ

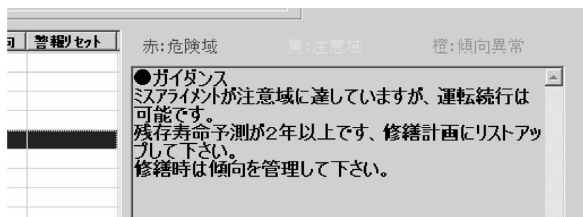


図 4 管理ガイダンス出力例

4. おわりに

振動法の導入によりジェットファンの定量的な

管理が可能となり、機械の信頼性を保ったまま維持管理コストの縮減が実現できると考えている。中国地方整備局では、振動法によるジェットファン管理を試行的に導入し、管内のジェットファンに順次振動加速度センサを取り付けている。

高度管理システムは、振動法によるジェットファン管理の運用上の課題を解消する目的で平成17年度までに開発したものである。平成18年度は試作機を現地に設置し、総合的なシステムの検証を行う予定である。

技術の視点

開発のコンセプト

- ・高度管理システムは、振動測定から管理ガイダンス出力まで自動で行うものとし、処理工程中に人為的な操作・判断が不要なものとする。
- ・管理対象ジェットファンの増加に対応できるシステムにすること。

開発で苦労した点

- ・振動の自動測定では異常値の排除機能で苦労した。大型車両異常振動排除機能では、実機の振動値測定とビデオ撮影で大型車両通過時の振動傾向を把握した。劣化度判定では振動解析の専門家と同様な判定が出力できるようにデータベースを整備した。
- ・ジェットファンの追加が容易にできるソフトウェア構造とした。ジェットファン数に応じてハードウェアの追加は必要であるが、ソフトウェアは若干の改造で対応できる。

発注者：国土交通省中国地方整備局中国技術事務所
開発者：ニッテツ八幡エンジニアリング株式会社