

# 河川用ゲート設備の電動機における 不具合診断検証について

古川 伸一

関東地方整備局 関東技術事務所 施設技術課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

河川用ゲート設備は、建設後40年以上経過し今後老朽化する施設が年々増加するため、整備・更新費用の増大が懸念される。このことから、設備の健全度を的確に把握し、効率的な整備・更新を実施する状態監視型予防保全への移行を図っているところである。しかし、河川用ゲート設備は、稼働する時間が少なく構成機器が多様であることから、現状では状態監視保全を行うための診断手法が確立されていない。本報告では、劣化兆候や不具合を把握し精度の高い診断手法の確立を目的に、河川用ゲート設備の動力源である電動機に着目し実施した検証内容・解析結果についてまとめたものである。

キーワード 河川用ゲート設備、状態監視型予防保全、電動機、精密診断

## 1. はじめに

河川用ゲート設備は、洪水等による堤内地への浸水を防止するために設置され、その機能が失われた場合に周辺地域に与える影響が大きい機械設備である（写真-1）。



写真-1 河川用水門

そして、これまでに建設されてきた河川用ゲート設備の多くが、建設後40年以上経過し今後老朽化する施設も年々増加することから、整備・更新費用の増大が懸念される。このため、ゲート設備の信頼性を確保しつつ効率的に整備等を行う維持管理の実現が急務となっている。

そこで、河川用ゲート設備の健全度を的確に把握し、

最適のタイミングで整備・更新を実施する状態監視型予防保全への移行を図っているところである。しかし、これには設備を構成する機器や部品の状態を高い精度で診断できる必要がある。

本報告は、機器・部品の診断技術確立への取り組みのうち、河川用ゲート設備の動力源である「電動機」に着目し、この不具合診断技術の検証を行ったものである。

## 2. 背景

### (1) 構造と運用による課題

河川用ゲート設備を構成する機器や部品は、例えば図-1に示すワイヤーロープウインチ式開閉装置のように多種である。また、平常時は待機状態が多く稼働する時間は極めて少ないが、出水時には確実に機能しなければならない待機系設備である。

そして、この特徴を持つ河川用ゲート設備の維持管理における課題は次のとおりである。機器・部品の種類やメーカーの違いによる計測方法や計測箇所等が異なるといった煩雑さが考えられる。また、動作が低速で運転時間も短いため、温度など計測値の変化が小さく、さらにや取得できる計測データ数もが少ないことから、正常・異常の判断が難しい。

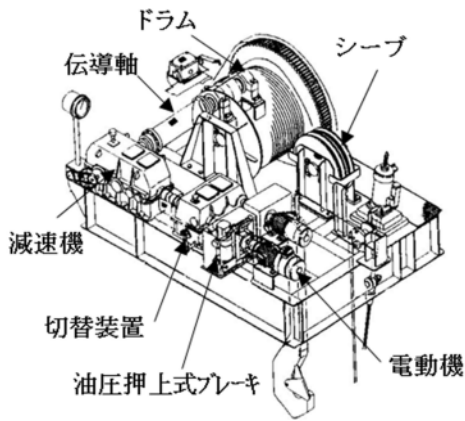


図-1 ゲート設備の構成機器

このため、メーカーの機種毎に診断手法を変える必要があり、施設管理担当者や専門技術者にとって作業を難しくする一因であった。

そこで関東技術事務所では、機種やメーカーが異なっても根底にある技術は共通性が高いと考え、その共通性の高い部分の診断手法を標準化し、これを「診断マニュアル」として取りまとめることで、診断作業を容易にしていくことに取り組んでいる。

## (2) 診断技術の検証における課題

より高い精度を有する診断技術の確立には、文献調査やメーカーヒアリングにより骨格を作るだけではなく、実際に不具合事象に関する検証が不可欠と考えた。

そこで、当初はあらかじめ想定される不具合を仕込んだ模擬装置を使用し検証することを検討した。しかし、検討を行った模擬装置では、検証できる不具合が振動のみに限られてしまった。また、実機に比べて負荷が極めて小さいことから、この模擬装置での検証結果を現地診断結果に反映してよいかも課題であった。

## 3. 電動機の不具合検証

### (1) 経緯

診断技術の検証方法における課題の解決を図るため、河川用ゲート設備を管理している事務所に相談をしたところ、老朽化したワイヤーロープウインチ式開閉装置に使用していた電動機を入手することが可能となった。電動機は、ゲート設備の動力源であり、電動機の不具合はゲート設備の機能不全に直結する機器である。

このように、河川用ゲート設備における重要機器である電動機の不具合検証を行うことは、診断精度の改善に伴う設備の信頼性向上や、診断結果に対するチェックが可能となる効果が見込まれることから、この電動機により検証することとした。

なお、本検証のために入手した電動機の仕様は以下のとおりであり、2台使用したため、以降A電動機、B電動機とする。

- ・三相かご型誘導電動機  
1.5kW 6P 200V 電磁ブレーキ付 930rpm
- ・平成3年度設置（26年経過） 2台  
※扉体重量14.4t 扉体幅5.72m×扉体高4.2m

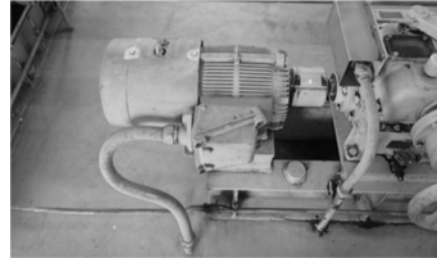


写真-2 検証に使用した電動機

### (2) 不具合検証対象の効果確認

電動機による不具合診断検証の効果を確認することを目的に、河川用ゲート設備における構成機器の故障傾向を把握するため故障情報を収集した。そして、748件の河川用ゲート設備に関する故障情報を得て、「装置名称」「故障形態」に区分して整理した。

「装置別故障件数」は図-2に示すとおりであり、「開閉装置」の故障件数が約56%と最も多く半数以上を占めており、次いで「操作制御設備」、「扉体」の順に多い結果となった。

開閉装置の故障が多い要因としては、構成機器・部品が多く、回転・摺動を繰り返す機器が多いことなどが挙げられる。

「形態別故障割合」は図-3に示すとおりであり、「腐食・経時劣化」が約33%と1/3を占め最も多いことから、状態監視技術を用いた維持管理手法が、より効果的な手法になり得るのではないかと考えられる。

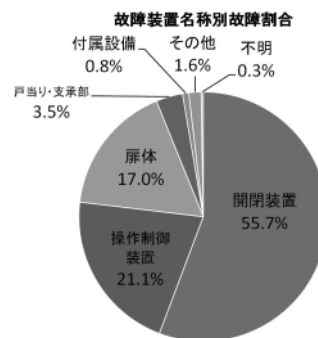


図-2 装置別故障件数

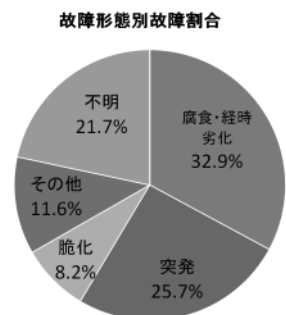


図-3 形態別故障割合

上記より、河川用ゲート設備の電動機は、故障が多い開閉装置の構成機器であり、電気エネルギーにより動力を発生させる回転部・摺動部を持つ機器であることから、不具合検証には最適であると考えられる。

### (3) 電動機で考えられる不具合

診断技術による不具合検証を電動機で実施するに当たり、想定される電動機の不具合について表-1のとおり抽出した。

表-1 抽出した電動機の不具合一覧

不具合内容	計測データ	発生箇所
漏電(絶縁低下)	漏洩電流	配線
軸受損傷	振動	軸受
電氣的不平衡	振動	巻線
ブレーキ解除不良	温度上昇	電動機ブレーキ
短絡(絶縁劣化)	温度上昇	巻線

想定した不具合は、電氣的な不具合から物理的な不具合と幅広く、今後検証を進めるにあたりどのような診断技術が適用可能かを調査した。

### (4) 民間の診断技術

民間のプラント管理においては、ISO18436シリーズで規定されている診断要因・要件に基づき、各種の技術が導入されている。ISO18436で規定のある技術やその他の最新技術を調査した結果、ISO規定技術5技術及び最新技術1技術を抽出し、その適用性について表-2のとおりとりまとめた。

表-2 ISO規定技術等のゲート設備診断技術への適用

採否	規格等	手法	ゲートへの適用
○	ISO18436-2	振動	ギア・軸受・電動機本体
—	ISO18436-4	潤滑油	ゲート設備では点検技術として実績あり
—	ISO18436-6	AE波	試行の結果難しい(H27年度実施)
○	ISO18436-7	サーモグラフィ	開閉装置全体
○	ISO18436-8	超音波	扉板板厚
○	新技術	漏洩電流計測	電路・電動機

この結果、電動機の不具合検証には、振動・サーモグラフィ・漏洩電流計測技術について採用することとした。

### (5) 診断技術の概要

診断技術として検証の対象とした技術について、概要及び特徴は以下のとおりである。

#### a) 振動診断

各機器の振動を計測し、振動波形の観察(時間領域波形)やFFT解析(周波数解析波形)など、工学的見地から異常箇所の特定とその程度を診断することが可能な技術である。振動波形の形・大きさやFFT解析により発生している周波数を確認することで不具合診断を実施する。

#### b) 漏洩電流計測

機側操作盤から電動機に至るまでの漏洩電流量を活線状態で計測(理論的計算含む)することが可能な技術である。なお、Igr計測方式との違いは、特別な下準備が不要であり、また、絶縁抵抗との違いは、微弱な漏洩電流を直接把握できる。

#### c) 温度分布計測

電動機等の発熱を生じる機器について、赤外線サーモグラフィを用いて温度計測を行い、異常な発熱箇所を発見することが可能な技術である。発生している温度を、点ではなく面で温度分布が確認することができる。

#### (6) 検証内容

本検証は、電動機に表-1にて抽出した不具合を人為的に作成し、その状態で電動機を運転した際に発生する症状について各診断技術(振動解析・漏洩電流計測・温度分布計測)がどのようにとらえることができるかを検証した。運転は、1つの不具合検証につき、15分運転しその間に計測を実施した。

##### a) 漏電状態の検証

対象：A電動機 絶縁劣化

電動機端子のうち1相を、抵抗器を介して接地させ、漏電状態で運転を行い、その際の症状を検証。

計測機器の2機種(機器A、機器B)を使用した。

##### b) 軸受損傷状態の検証

対象：A電動機 軸受の保持器及び玉に傷

B電動機 軸受の外輪に傷

電動機の軸受(出力側)に傷をつけ、電動機の運転を行い、その際の症状を検証。

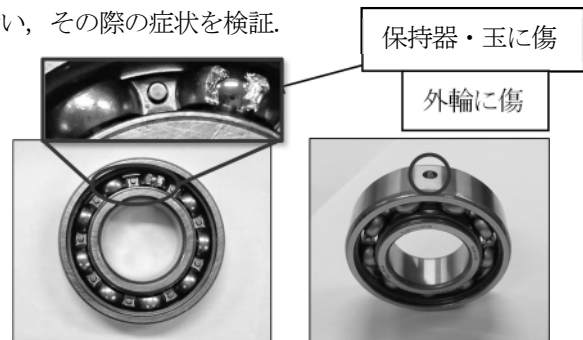


写真-3 軸受(転がり軸受)につけた傷の状況

##### c) 電氣的不平衡の状態

対象：A電動機 電氣的不平衡

電動機の固定子1つを通電させず電氣的不平衡の状態での運転を行い、その際の症状を検証。

##### d) ブレーキ解除不良による局所的な発熱状態

対象：B電動機 発熱、過負荷

電磁ブレーキを強制的にかけ、ブレーキが完全に解除されない状態で運転を行い、その際の症状を検証

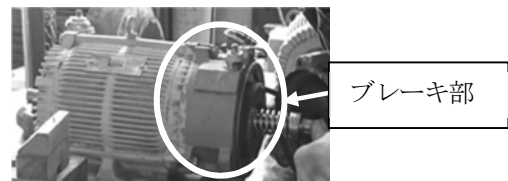
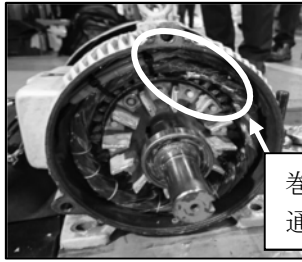


写真-4 固着させた電動機のブレーキ部

##### e) 巻線の絶縁劣化(短絡)させた状態

対象：A電動機 短絡

固定子巻線の2相間を人為的に短絡させ運転を行い、その際の症状を検証



巻き線を束ね  
通電させ短絡

写真-5 巻線を束ね短絡させた状態

上記a)~e)の不具合について、下記のとおり各症状を計測した。

振動：電動機軸受近傍にて計測

計器：ポータブル振動計

特徴：力を受けると表面に電荷が生じる圧電素子を用いて出力される電気信号から振動加速度を計測できる



写真-6 加速度計

漏電：電動機への電力ケーブルにて計測

計器：漏洩電流測定器

特徴：漏洩電流をIgrとIgcとに分離し、直接機器に悪影響を及ぼすIgrだけを測定できる



写真-7 漏洩電流測定器

温度：電動機を2ヶ所から計測

計器：赤外線サーモグラフィ

特徴：対象機器が発する赤外線を測定することで、対象機器の温度状態を可視化できる



写真-8 赤外線サーモグラフィ

また、高温時にはその部位がよくわかるように分解し、温度分布計測をすることとした。

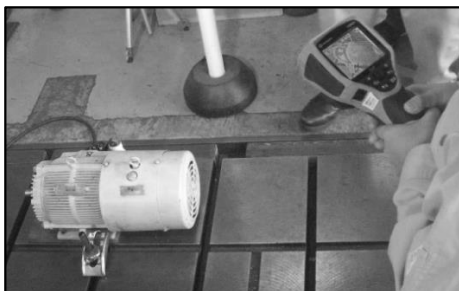


写真-9 温度分布計測状況

表-3より、機器Bでは理論値に近い値であったが、機器Aでは乖離が発生したため現地状況を確認した。その結果、実験装置の結線方式はY（スター）結線であり、機器AはΔ（デルタ）結線（図-4）対応機器であったことから乖離が生じたということがわかった。

表-3 漏洩電流計測結果（機器A・Bの2種）

抵抗値/ 測定項目	理論値	機器 A	機器 A (補正)	機器 B
200kΩ Igr	230V/200kΩ = 1.15mA	1.07 mA	1.51 mA	1.52 mA
100kΩ Igr	230V/100kΩ = 2.3mA	1.6 mA	2.92 mA	2.837 mA
50kΩ Igr	230V/50kΩ = 4.6mA	2.66 mA	5.67 mA	5.477 mA
25kΩ Igr	230V/25kΩ = 9.2mA	5.02 mA	11.17 mA	10.603 mA

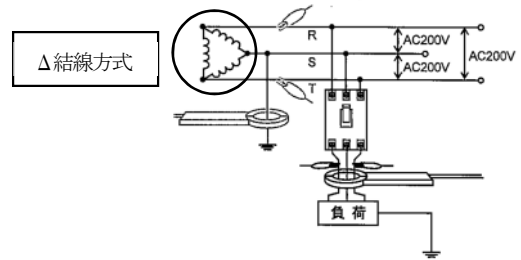


図-4 機器Aの計測方法

現地条件に合わせ補正したところ、理論値と近い値となったことから、現地条件の確認は必要だが、本検証では漏洩電流を的確に計測することができた。

ただし、振動計測では、時間領域波形や周波数領域波形に違いは見られなかった。図-5より、漏電発生前と発生後を比べても、波形の特徴にあまり変化がなく、図-6より、発生している周波数帯にも違いがほぼないことから、振動計測からは漏電状態が確認しにくいことがわかる。また、発生前から600Hz弱の周波数が発生していることから、本電動機が元々もつ周波数と考えられる。また、温度分布計測でも、温度分布や機器温度に違いははず、漏電を確認することはできなかった。

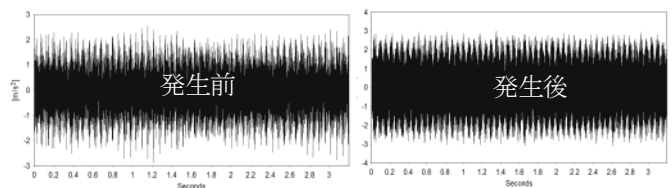


図-5 漏電発生前後の時間領域波形

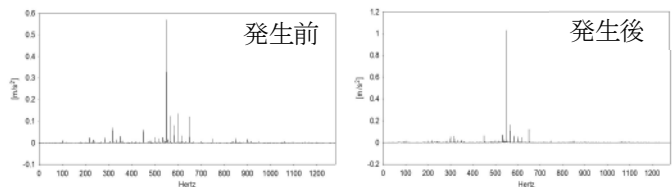


図-6 漏電発生前後の周波数領域波形

## 4. 検証結果

### (1) 漏電状態の検証

漏洩電流を計測した結果は表-3のとおりである。

### (2) 軸受損傷状態の検証

振動を計測した結果、図-7及び図-8のような時間領域波形が得られた。図-7及び図-8より、図-5の発生前の波形と比べ、玉や保持器及び外輪の傷の影響を受けた特徴

的な波形となっていることがわかる。玉傷の場合は、不  
定期な波形となり、外輪傷の場合は定期的な波形でかつ  
外輪傷が発生した際に発生する60Hzに近い周期の波形  
が確認できた。

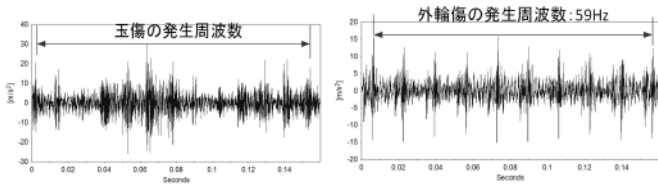


図-7 軸受損傷時の時間領域波形 ( $f_s=51200\text{Hz}$ )

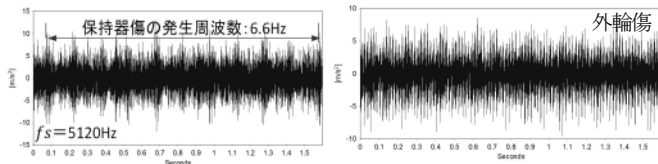


図-8 軸受損傷時の時間領域波形 ( $f_s=5120\text{Hz}$ )

上記時間領域波形に対し、FFT解析を行った結果の周  
波数領域波形を図-9及び図-10に示す。図-9及び図-10よ  
り玉傷の特徴である40Hzや外輪傷の特徴である60Hz周  
期の周波数が発生しており、軸受損傷の症状をとらえる  
ことができた。

なお、サンプリング周波数の違いにより、波形の特徴  
も変化することがわかった。

ただし、サンプリング周波数を大きくすると計測時間  
が短くなるため、高い周波数の特徴は明確にできるが、低  
い周波数を見逃す可能性がある。

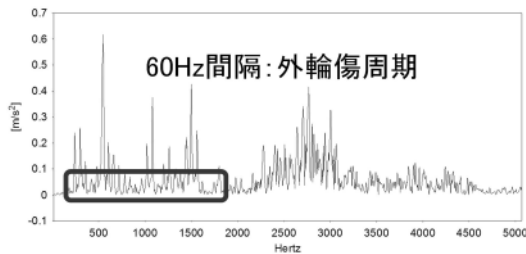


図-9 軸受外輪損傷時の周波数領域波形

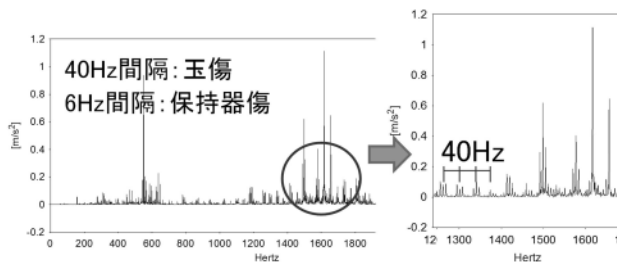


図-10 軸受玉・保持器損傷時の周波数領域波形

漏洩電流計測では、漏電が発生しているわけではない  
ので計測値に違いは見られなかった。また、温度分布計  
測でも、温度分布や機器温度に違いは確認できず、軸受  
損傷を確認することはできなかった。

### (3) 電氣的不平衡の状態

振動を計測した結果、図-11のような周波数領域波形

が得られた。図-11の波形より、電源周波数 (50Hz) の2  
倍 (100Hz) や4倍 (200Hz) の周波数が発生しており、  
電氣的不平衡が発生している場合の特徴を確認するこ  
うができた。

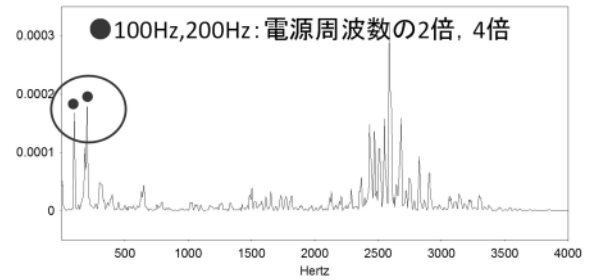


図-11 電氣的不平衡時の周波数領域波形

ただし、軸受損傷時と同様に、漏電の発生がないので  
計測値に違いは見られなかった。

### (4) ブレーキ解除不良による局所的な発熱状態

局所的な発熱に対し赤外線サーモグラフィにて温度分  
布計測をした結果、図-12のような温度分布であった。  
不具合の発生前後で、温度及び温度分布に違いがあるこ  
うが確認できた。本検証は、ブレーキの解除不良による  
発熱であるため、ブレーキ近傍部が高温であることが赤  
外線サーモグラフィにて確認できた。

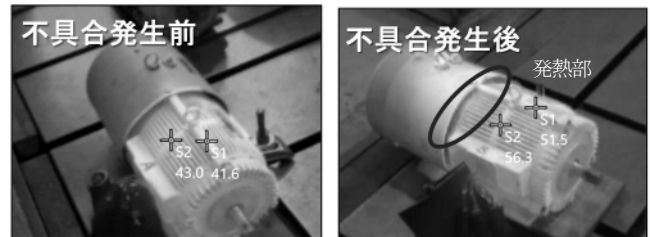


図-12 ブレーキ部固着による発熱状況

今回の発熱部であるブレーキ部はカバーの下であった  
ため、カバーを外して再度温度分布計測を実施した。そ  
の結果を図-13に示す。カバーを外すと高温部が明確に  
出現し、温度及び発熱状況・分布を確認することができ  
た。

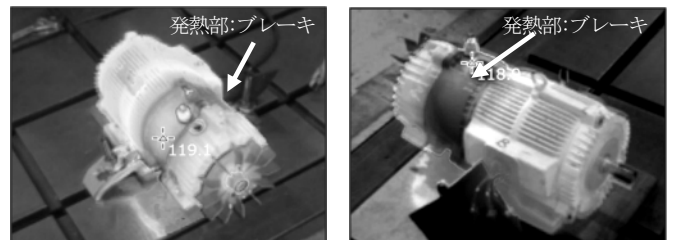


図-13 カバーを外した状態での発熱状況

振動計測では、軸受に外輪傷をつけた電動機を本検証  
でも使用したが、周期的に発生していた周波数が確認で  
きなくなり、図-14の波形は運転停止直前に計測した振  
動波形であるため、ブレーキの制動力が失われてしまっ  
たもの後とも考えられる。

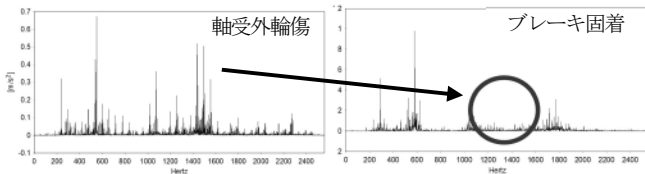


図-14 過負荷による発熱状態の周波数領域波形  
また、漏洩電流では変化が確認できなかった。

### (5) 絶縁劣化（短絡）を発生させた状態

絶縁劣化（短絡）を発生させ赤外線サーモグラフィにて温度分布計測をした結果、図-15のような温度分布が確認できた。

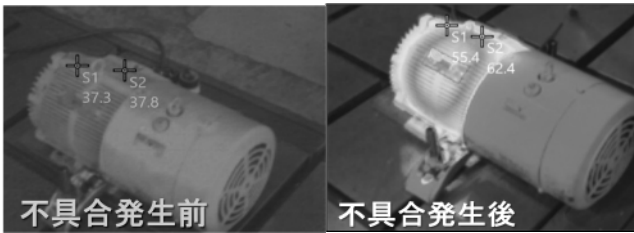


図-15 絶縁劣化（短絡）を発生による発熱状況

図-15より、短絡部が高温となり、温度分布の偏りも明確であることから、発熱部の特定には効果的であるといえる。さらに電動機を分解し、温度分計測した結果を図-16に示す。図-16より、短絡部が焼損したことから、図-15と同様に温度分布に大きな偏りが発生し、その温度分布を確認することができた。



図-16 焼損部の温度分布状況

また、振動をFFT解析した結果を図-17に示す。図-17左より、100Hz（電源周波数の2倍）周期で周波数が発生していることがわかる。また、図-17右（振動速度）では、電源周波数（50Hz）の2倍（100Hz）や4倍（200Hz）の周波数が発生しており、振動解析結果においても、短絡した際に発生する特徴的な波形を確認できた。

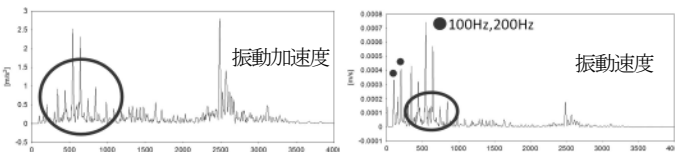


図-17 絶縁劣化（短絡）発生時の周波数領域波形  
ただし短絡が発生しても漏洩電流値に影響はなかった。

## 5. 考察及び今後の方針

### (1) 考察

今回の検証から「振動」・「漏洩電流計測」・「温度分布計測」は設備診断の有効な手法であるといえる。ただし、診断技術により診断の適否があるので適切に選択する必要がある。診断技術の適否について表-4に示す。

表-4 診断技術の適用の可否

	漏電	軸受損傷	電氣的不平衡	ブレーキ解除不良	短絡
振動	×	○	○	×	○
漏洩電流	○	—	—	—	—
温度分布	×	×	×	○	○

振動計測では、損傷による振動から電氣的な不具合までを時間領域波形、周波数領域波形等から確認することができた。ただし、解析を実施するうえで振動波形の特徴やFFT解析による発生周波数・周期の確認など不具合につながる事象を判別することは経験等が少ないと感じた。

また、温度分布計測は、発熱を生じる不具合の事象を面でとらえることができるので、発熱を伴う不具合の早期発見には効果的な手法である。ただし、発熱の原因を診断することはできないので、診断という観点で考えた場合、診断補助技術としてとらえる必要があると考える。

漏洩電流計測は、漏洩電流の計測についてハンディの計測機器のみで、また活線状態で計測が可能であることから、今後の診断技術として活用が可能であるが、結線方式の確認など事前確認が必要である。

### (2) 今後の方針

河川用ゲート設備の診断について、電動機の不具合診断検証の結果を盛り込んだ「河川用ゲート設備の精密診断マニュアル（試行案）」を作成した。このマニュアルの中に、今回の検証内容及び結果を不具合診断を行う上での参考書のような位置づけで盛り込んだ。

ただし、実現場での症例も少ないため、実際の現場でデータ収集・解析を実施し、診断精度を向上させマニュアルのブラッシュアップを繰り返し実施していくとともに、対象機器の拡大も図っていきたい。

また、関東技術事務所で開催している講習会や研修において、本成果を積極的に活用することで、診断に対する認識を広め、維持管理に役立てていく。そしてこれらを繰り返し実施していくことで、効率的な維持管理の実現につなげていきたい。