

河川用ゲート設備模擬開閉装置を用いた電流情報診断実験

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

○吉田 智

岸 寛人

(国研) 土木研究所 先端技術チーム

鎌倉 昂亮

河川ゲート設備は、出水時に確実に稼働できることが重要であるが、多くの設備は老朽化による開閉装置の機能低下が懸念されている。管理者は、設備を適切な状態で維持するために点検や整備を実施しているが、少子化に伴う熟練技術者の減少により、専門知識を有した技術者の確保が困難になることが予想される。そこで設備の状態を評価する手法の構築に向け、三相誘導電動機の電流情報から設備の状態を推定するため、模擬開閉装置を使用した実証実験を行ったので報告する。

キーワード：電流情報診断、状態監視

1. はじめに

浸水被害の防止・軽減を目的として設置されている河川ゲート設備は(写真-1)、出水時に確実に稼働することが求められる。しかし、設置から50年以上経過する設備が今後急増することが見込まれており、老朽化を起因とした故障などによる稼働の停止が懸念される¹⁾。一方、管理者は、点検整備を行い設備を適切な状態で維持管理しているが、老朽化による点検整備費用の増加から、近年は低コストで効果的な維持管理を行うことも求められている¹⁾。また、少子化に伴い専門知識を有した熟練技術者の減少が懸念される昨今、河川ゲート設備を維持管理するための技術者の確保も深刻な課題となっている。

河川ゲート設備の故障において開閉装置の故障が全数の約7割¹⁾を占めると言われている。開閉装置の稼働中の異音や変調などから、故障の原因となる部位の劣化状態を的確に把握し、点検整備を行うことでコストの縮減が期待されるが、現在、簡易に河川ゲート設備の劣化状

態を推定することは困難な状況である。

そこで寒地土木研究所では、三相誘導電動機(以後、「電動機」という。)の電流情報診断²⁾による状態監視が利用可能と考え、開閉装置を駆動させる電動機の電流情報から開閉装置の各部位の劣化状態を推定する手法を検討することにした。

今回、河川ゲート設備のワイヤロープワインチ式開閉装置を模擬した開閉装置を用い、電動機の電流情報から設備の状態を推定するための実験を実施した。

2. 電流情報診断の概要

電流情報診断とは、電動機の動力配線にクランプ式電流センサ(以下、「センサ」という。)を取り付けて電流信号を計測し、その信号に対して周波数解析を行うことで、異常発生時に特有の周波数成分として現れるスペクトル振幅を監視し、電動機の異常を検知する手法である。なお、センサの設置位置は電動機直近に限らず、操作盤などから電動機へ動力を供給する配線であれば計測が可能である(図-1)。

電流情報診断では、回転子バーの損傷(Lpole)、回転子軸への異常負荷(Lshaft)などの異常を監視できる。これらは電源周波数の両端に側帯波として現れる²⁾(図-2)。また、減速機など開閉装置を構成する部位の減速比と電動機回転周波数の積から、各部位の異常についても監視が可能である³⁾。

3. 模擬開閉装置実験



写真-1 河川ゲート設備

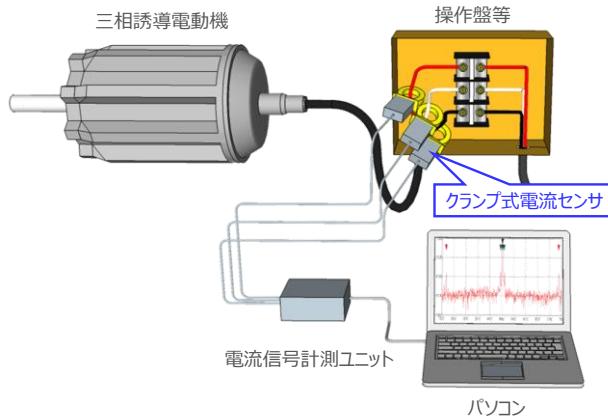


図-1 電流信号計測イメージ

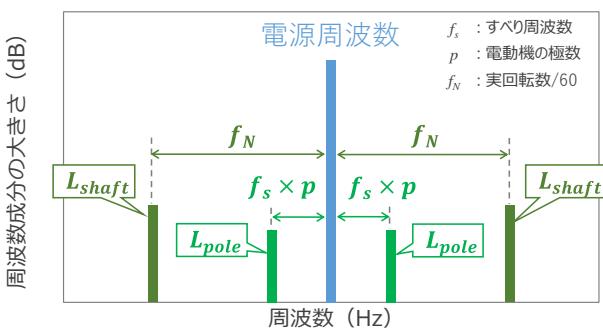


図-2 電源周波数の両端に発生する側帶波イメージ

(1) 模擬開閉装置の概要

実験においては、水門メーカーが保有する模擬開閉装置を使用した（表-1）。模擬開閉装置は、電動機、油圧押上式ブレーキ、主・予備モータ切替装置、ウォーム減速機（以後、「減速機」という。）、かさ歯車、中間ピニオン、中間ギヤ、ドラムギヤ及び扉体の負荷を再現する負荷装置から構成されている（写真-2）。なお、これらの部位の内、電動機、油圧押上式ブレーキ、主・予備モータ切替装置、減速機、かさ歯車、中間ピニオン軸受は、台座内で任意に移動（偏芯）させ、軸芯のずれを再現できるよう設計されている。

(2) 電流情報計測装置の概要

実験で使用した電流情報計測装置（以後、「計測装置」という。）は、株式会社高田工業所製の電流信号計測ユニット（TMDU-C3B）を使用した（写真-3）。計測装置は、電流実効値（Irms）、回転機械系の状態全般（KI）、モータ回転子劣化状況（Lpole）や、モータ接続軸芯ずれ・異常荷重（Lshaft）が監視できる。また、特定部位も監視でき、今回の実験では、カップリングのミスマッチメント、減速機などの状態についても監視した。

(3) 実験方法

センサは、模擬開閉装置の電動機直近の動力配線にク

表-1 模擬開閉装置仕様

模擬開閉装置	
開閉装置形式	ワイヤロープワインチ式(1M1D)
開閉荷重	83.3kN（開操作荷重）
開閉速度	0.3m/min
電動機	3.0kW



写真-2 実験で使用した模擬開閉装置
(黄色の破線部分はクランプ式電流センサ取付位置)



写真-3 実験で使用した電流信号計測ユニット
(黄色の破線部分が計測装置)

表-2 電流信号計測条件

項目	設定
サンプリング周波数	8192Hz
サンプリングデータ長	524288ポイント
計測時間間隔	2分

ランプし電流信号を計測した。なお、計測条件は表-2のとおりである。

実験は、模擬開閉装置を構成する機器の軸を偏芯させたほか、軸受損傷、潤滑油の量などを変えて実験を行っているが、本報告では最も顕著な変化が見られた減速機の潤滑油の状態に関する実験内容について記す（表-3）。

表-3 実験内容

実験内容		操作
要素	対象部位	
①: 通常運転(正常状態)	油 ウォーム減速機	開
		①: 潤滑油に水混入(潤滑油5.4ℓ、水0.6ℓ)
		②: 潤滑油に水混入(潤滑油3ℓ、水3ℓ)
		③: 潤滑油半分抜き(潤滑油3ℓ、水0ℓ)
		④: 潤滑油全抜き(潤滑油0ℓ、水0ℓ)
開閉装置への負荷		27kN

なお、正常な状態で運転を実施したときの電流信号も計測し、実験で得られた計測データと比較検討した。

4. 実験結果及び考察

以下では、減速機の実験結果及び考察について記す。なお、各図中に記されている①～④は、表-2の実験条件を表している。折れ線図の横軸メモリは10分単位である。また、破線部分で条件を変えて実験を実施しているため、実際は中断しているが、本図では連続データとして整理している。

(1)電流実効値 (Irms)

電流実効値の変化を整理した結果を図-3に示す。折れ線図より、正常な状態 (①) において実験開始時に電流値が高い傾向にあるが、時間経過に伴い電流値が下がっていくことが確認できる。これは、開閉装置が動きだす時に多くの電流を必要とするが、動作が安定したことにより電流値が下がったものと推察される。

箱ひげ図から潤滑油内に水が0.6L混入した状態 (②) と、3.0L混入した状態 (③) を比較すると、わずかではあるが電流値が低下することが確認できたため、潤滑油内の水分量の変化（粘度の低下）を捉えている可能性がある。なお、潤滑油を半分に減らした状態 (③) では、電流値が更に低下している。これは、油量の減少により減速機の回転抵抗が減少した影響と考えられる。

また、潤滑油を全て抜いた状態 (④) では、正常な状態 (①) と比較して電流値が高い傾向にある。これは潤滑油が無いことにより減速機の回転抵抗が増加したために、電流値が上昇したものと考えられる。なお、折れ線図では潤滑油が抜かれた後、時間経過に伴い電流値が上昇しており、潤滑油の欠乏により減速機の回転抵抗が増加したことを捉えていると考えられる。

(2)回転機械系の状態全般 (KI)

KIは、回転機械系の状態全般を監視する指標であり、その上昇が回転機械の劣化発生の可能性を示唆するものである。KIの変化を整理した結果を図-4に示す。

図-4の箱ひげ図から正常な状態 (①) の値と比較し、

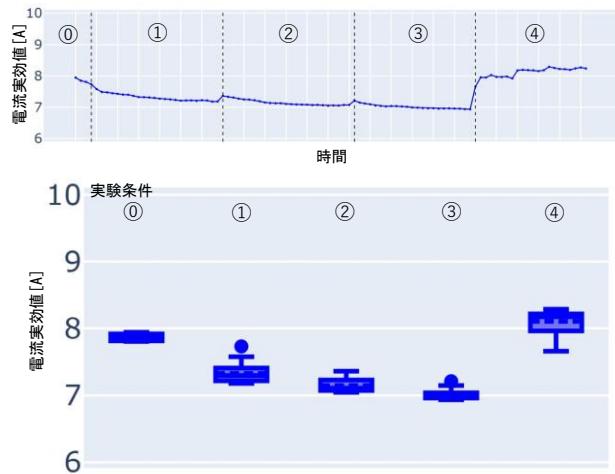


図-3 電流実効値 (Irms)
(上: 折れ線図、下: 箱ひげ図)

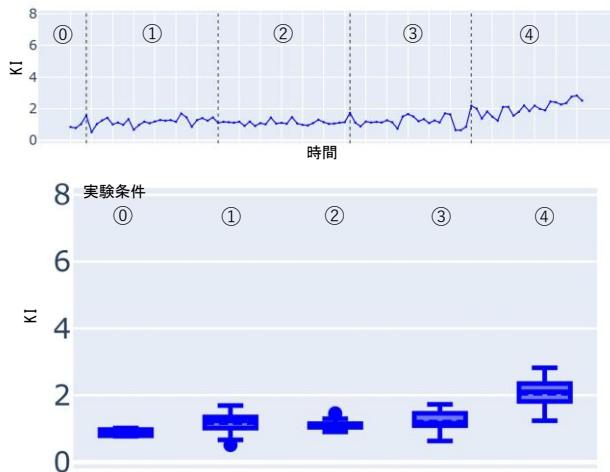


図-4 回転機械系の状態全般 (KI)
(上: 折れ線図、下: 箱ひげ図)

潤滑油を半分に減らした状態 (③) で、わずかではあるがKIの上昇が確認されたことから、減速機内部に何らかの状態変化が生じていることが示唆される。一方、潤滑油を全て抜いた状態 (④) では、時間の経過に伴い値が上昇している（図-4）。これは、潤滑油が欠乏したことによる減速機の回転抵抗の増加が要因と考えられる。

(3)周波数分析

各実験の中間時に取得された電流信号を周波数分析（高速フーリエ変換：FFT (Fast Fourier Transform)）したものを見図-5～8に示す。潤滑油に水を混入させた状態（図-5～6）及び潤滑油を半分まで減らした状態（図-7）と比較して、潤滑油を全て抜いた状態では（図-8）、40～80Hzの範囲で振幅レベルが全体的に高くなっている。これは、減速機内の潤滑油が欠乏したことによる回転抵抗の増加が要因と考えられる。

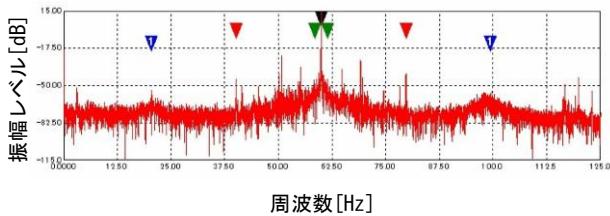


図-5 周波数分析

(①) : 潤滑油に水混入(潤滑油 5.4ℓ、水 0.6ℓ)

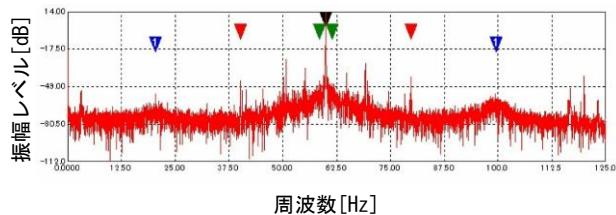


図-6 周波数分析

(②) : 潤滑油に水混入(潤滑油 3ℓ、水 3ℓ)

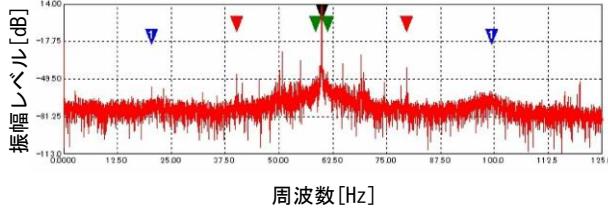


図-7 周波数分析

(③) : 潤滑油半分抜き(潤滑油 3ℓ、水 0ℓ)

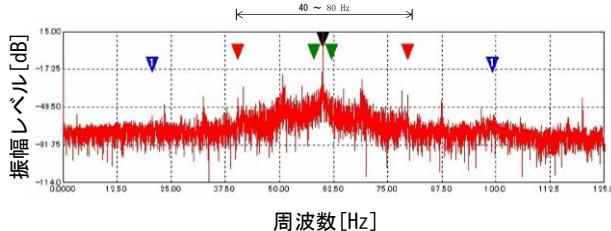


図-8 周波数分析

(④) : 潤滑油全抜き(潤滑油 0ℓ、水 0ℓ)

(4) 回転子軸への異常負荷 (Lshaft)

正常な状態及び各実験条件において取得した回転子軸への異常負荷 (Lshaft) の値を整理した結果を図-9に示す。

本実験では、潤滑状態の変化に伴う電動機負荷の変動を想定していたため、回転子軸への異常負荷 (Lshaft) の値に変化が現れると考えられた。しかし、箱ひげ図による比較からは、明確な差異は認められなかった(図-9)。

(5) ウォーム減速機の状態監視

減速機の状態監視を目的に減速比から監視パラメータ

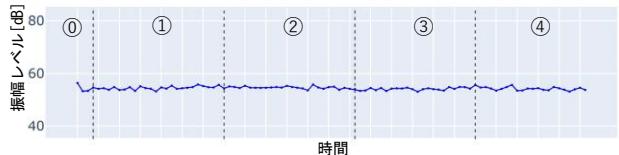


図-9 回転子軸への異常負荷 (Lshaft)

(上: 折れ線図、下: 箱ひげ図)

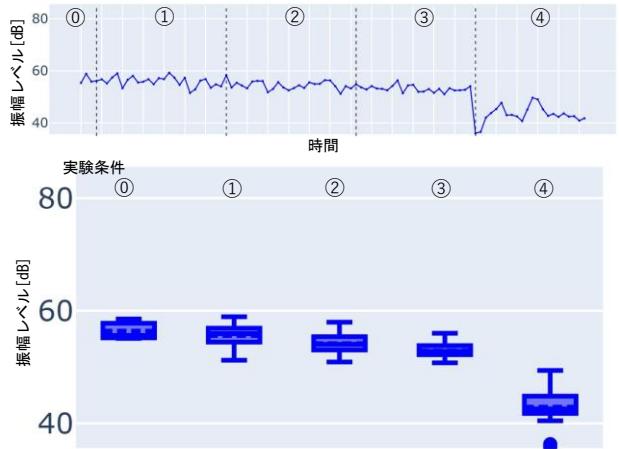


図-10 ウォーム減速機の監視パラメータ

(上: 折れ線図、下: 箱ひげ図)

を算出し、これを計測装置へ入力して監視した。監視パラメータの変化を図-10に示す。箱ひげ図から、正常な状態 (①) の中央値は55.28dB、潤滑油内に水が0.6L混入した状態 (①) 及び3.0L混入した状態 (②) の中央値は55.68dB、53.78dBと、潤滑油内に水が混入した場合の値の変化を捉えられることが示された。なお、潤滑油を半分まで減らした状態 (③) の中央値は52.52dBであったが、潤滑油を全て抜いた状態 (④) では、値が42.29dBと低下する傾向が確認された。これらの結果から、減速機の異常や劣化の兆候を検知していると考えられる。なお、電流診断における特定部位に着目した考え方は、複数の機器から構成される開閉装置に対しても有効に機能すると考えられる。

5. まとめ

本研究では、設備の劣化状態を評価する手法の提案に向け、電動機の電流情報から設備の状態を推定するため

の模擬開閉装置を用いた実験を実施し、取得された計測値について分析を実施した。本研究で得られた知見を以下に示す。

1：正常な状態と比較して、潤滑油に水が混入した状態や潤滑油を半分に減らした状態では、電流実効値が低下した。一方、潤滑油を全て抜いた状態では、電流実効値が上昇する傾向を示した。これは、潤滑油の欠乏により減速機の回転抵抗が増加したことを捉えていると考えられる。

2：回転機械系の状態全般を監視するKIは、潤滑油量が減少した状態において値が上昇した。一方、潤滑油を全て抜いた状態では、時間の経過に伴い値が上昇した。これは、潤滑油が欠乏したことによる減速機の回転抵抗の増加が要因と考えられる。

3：各実験で取得した電流信号を周波数分析した結果、潤滑油を全て抜いた状態で振幅レベルが上昇した。これは、減速機内の潤滑油が欠乏したことによる回転抵抗の増加が要因と考えられる。

4：減速機の減速比から監視パラメータを算出し、これを計測装置に入力し、減速機の状態を監視した。その結果、潤滑油に水が混入した状態を電流診断により捉えられる可能性が示唆されたほか、潤滑油量が減少し

た条件において、振幅レベルが低下する傾向が確認された。

今回の実験結果から、電流診断は、開閉装置のウォーム減速機の潤滑油に対して適用が期待されることが示唆された。今後は、軸を偏芯させた条件などの計測結果の解析をさらに進め、設備の状態を推定する技術の確立に向けた検討を行う。

謝辞：本研究を進めるにあたり、貴重な技術的支援を賜りました株式会社IHIインフラシステムの皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1)国土交通省：社会資本整備審議会、河川機械設備のあり方にについて。
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001493319.pdf> (2025年12月3日確認)
- 2)小林勇一、永長哲也：コラム形水中ポンプの劣化部位推定に向けての検討、第64回北海道開発技術研究発表会、pp.498-503、2020.
- 3)須本賢太朗：【電流情報量診断システム活用事例③】河川系社会インフラ（水門）の点検・診断、高田技報、Vol.35、pp.19-22、2025.