

水門運転状態管理・診断システムによる IoTを用いた状態監視保全への取組み

櫻庭 崇紘¹・溝田 博信²・藤田 正樹³・鈴木 良彦²

¹ (独) 水資源機構 荒川ダム総合管理所 滝沢ダム管理所 (〒369-1901 埼玉県秩父市大滝3021)

² (独) 水資源機構 長良川河口堰管理所 機械課 (〒511-1146 三重県桑名市長島町十日外面136)

³ (独) 水資源機構 木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所 (〒619-1421 京都府相楽郡南山城村田山字ツルギ43).

機械設備の予防保全として時間計画保全と状態監視保全が行われているが、前者は機器の劣化状態が正確に反映できず、オーバーメンテナンスの恐れがある。一方、後者は過剰な機器更新を控えることができるが、機器・部品等の適切な更新時期の決定に課題がある。

長良川河口堰ではゲート設備に水門運転状態管理・診断システム（以下「システム」という。）を導入し、電動機の電流値等のデータ蓄積による開閉装置の長期的な傾向管理を実施してきた。2019年度からIoTを用いたリアルタイム運転状態監視機能を追加し、異常値検出の際の通知や、機器の振動波形分析による不具合部品の推定など新たな取組みが進められている。

キーワード リアルタイム運転状態監視、IoT、傾向管理、状態監視保全

1. はじめに

水資源機構における機械設備管理は、その重要性から故障発生前に整備・更新を行う予防保全が主体である。

予防保全には時間計画保全と状態監視保全があり、時間計画保全は運転時間や経過時間に基づき保全する簡便な管理手法であるが、継続使用が可能な機器まで更新されるオーバーメンテナンスが危惧される。一方で動作確認や点検・計測を通じた機器等の状態や劣化傾向から保全を行う状態監視保全は、適切な機器状態を把握することにより、設備の長寿命化及び合理的な更新計画の立案が可能となる。水資源機構で定められている「機械設備管理指針」¹⁾においても、管理運転や定期点検等による傾向管理の重要性を示している。傾向管理は、管理運転のデータや機器を分解し摩耗計測する確認方法が一般的であるが、管理運転は実運転と状況が異なることや、堰ゲートのような大型の設備では分解点検に多額の費用が発生する等の問題点があることから、実用的な傾向管理手法の確立が望まれている。

長良川河口堰では2010年度から、システムによる傾向管理を試みている。システムの概要としては、ゲートの開閉に使用される電動機の電流値やワイヤロープ張力（以下「ロープ張力」という。）、ゲート開度、運転日時などの各種データを計測しメモリーカードに記録する。これらの情報は、故障発生時の不具合箇所の特定やその原因を追及する際の足がかりとなるだけでなく、機械の

経年劣化も可視化できるため適切な更新時期の決定にも役立つ²⁾³⁾。過去に水資源機構にて行われた技術研究発表会ではロープ張力の経年変化から扉体内堆積物の状態や水密ゴムの劣化が予想されること²⁾、ゲート開度と運転回数から曲げ回数の多いロープ位置を特定し点検時に活用できること³⁾、扉体重量・開閉速度・電動機電流電圧値から計算される機械効率の監視により設備異常の発見が早まるこ³⁾などを紹介してきた。

しかし、従来システムではデータを蓄積したメモリーカードの回収およびデータ処理が月1回という頻度で行われていたため、仮に異常な計測値を記録したとしてもデータが得られるまでには最長1ヶ月かかり、情報のリアルタイム性に欠けるという欠点があった。「計測データをリアルタイムで読み込み、常に設備状態を把握すること」および「タブレットによる遠隔での設備状態や計測データを確認すること」を課題とし、2019年度からIoT技術を用いてのシステム改造を実施した。本報告では新たに取得したデータの解析事例等と併せて紹介する。

2. システム概要

(1) 従来システム構成

図-1 の破線部分に従来システムの構成を示す。また、表-1 の網掛けではない部分に収集するデータおよび算出される指標を示す。従来システムはロードセル、電流

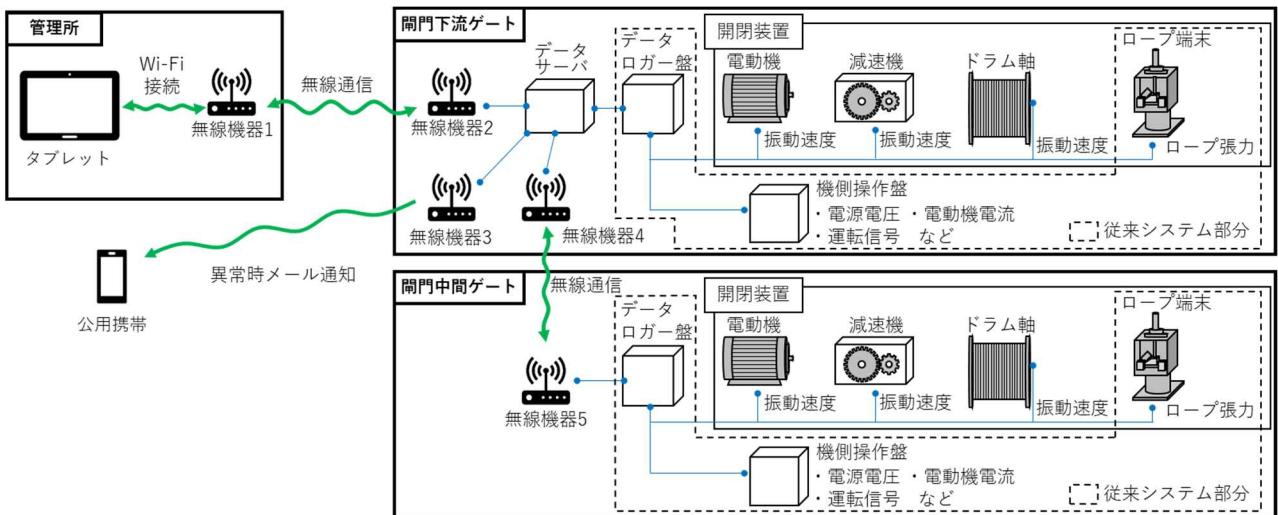


図-1 システム構成

計、データロガー盤等から構成される。ロードセルとは質量やトルクなどの荷重をひずみゲージで電気的に検出するセンサであり、システムではロープ端末に設置され、ゲート稼働時にロープ張力を計測する。電流計は機側操作盤内に設置され、各電動機の電流値を計測する。

従来システムでは各計測データはメモリーカードに保存され、値の確認やデータ処理は現場にてメモリーカードを回収し、パソコンに取り込む必要があった。

(2) 新システム

2019年度から機械機器振動データの収集、およびIoT技術の導入によるシステムのリアルタイム性の向上を図っている。新システムの全体構成は図-1 に示す通りであり、表-1 の網掛け部分に新しく収集可能となったデータ（振動速度）を示す。新設された機器は、振動計、データサーバ、無線機器等である。振動計は電動機や減速機等に設置され、振動速度を計測する。無線機器は開閉装置建屋から約700m離れた管理所にデータを送信しており、タブレットを用いて各種運転データを確認できる。また、運転データに異常値が計測された場合、インターネットを介して機械担当職員にメール通知を行う。これにより不具合のいち早い察知・周知が可能となる。

3. 取組み事例

本システムの取組みとして、リアルタイム運転状態監視、長期計測による傾向管理、振動速度実効値を用いた機器状態変化の見える化を紹介する。

(1) リアルタイム運転状態監視

従来システムではリアルタイム性に欠けるという問題

表-1 収集データ及び指標

収集データ	一次評価指標 (収集データを処理)	二次評価指標 (収集データを組合せて処理)
データ操作日時	電動機運転時間	扉体自重
開度	ロープ曲げ回数	組滑車効率
運転回数	ロープ弛み時間	全機械効率
電動機電流・電圧値	ブレーキ劣化	開閉装置機械効率
ロープ弛み		
ワイヤロープ張力		
振動速度(2019年度新設)		

が存在したが、その解決のため新システムでは2.(2)に記述したとおり、遠方にデータ送信可能な無線機器を開閉装置建屋と管理所に新設した。管理所に設置された無線機器にタブレットをWi-Fi接続することで各種データを表示でき、振動計測値は直前動作までの運転状態を、その他の計測値は前日までの運転状態を遠隔で確認可能である。一方、インターネットを介した設備異常のメール通知では、全計測値の直前動作が対象であり、リアルタイムで異常データ検出を認知可能である。例として2020年6月15日17時58分から18時00分まで閘門中間ゲート上段扉高速電動機が下降運転した際、電流値の閾値が69.00Aに設定されているところ70.66Aが計測されたため、18時03分に機械担当職員にメール通知が行われた。本事例は軽微な電流値超過であるため問題なしと判断されたが、大幅な超過が確認された際は迅速な対応に役立てられる。

(2) 長期計測による傾向管理

本システムでは全ての運転動作においてデータ計測が行われているため、年間を通じた開閉装置の傾向変化や、複数年にわたる劣化傾向を把握できる。

図-2 に2014年および2018年における閘門下流ゲート上

段扉高速電動機の上昇時の電流値を示す。グラフから電流値は夏に小さく、冬に大きい傾向にあることがわかる。この理由は、気温とともに減速機等の潤滑油の粘度が変化し、粘性抵抗による影響が季節変動するためであると考えられる。

新システムではタブレットにて過去の年間データを遡って確認可能であり、1ヶ月ごとの計測値の変動を比較するだけではわからない季節変動等による長期的な影響の判断や、過去数年間にわたって変化する機器状態の把握など、設備の傾向管理に役立てられている。

(3) 振動速度実効値を用いた機器状態変化の見える化

新システムでは運転時の振動速度実効値（振動の平均的な大きさ）から、機器に異常な振動が生じていないかリアルタイムで監視している。振動評価基準は「河川用ゲート設備点検・整備標準要領（案）」⁴⁾に参考として示される国際規格ISO10816-3に基づき設定している。それとは別に、振動速度実効値を用いた開閉装置の状態変化が把握可能か検証するため、閘門中間ゲートの機器更新前後で振動速度実効値を比較した。

図-3に、各機器更新前後の振動状態の比較結果を示す。更新前の振動状態も問題のない水準であるが、更新後は全体的に開閉装置の振動が減少していることが分かる。このことから、振動速度実効値を用いた診断手法により、開閉装置の状態を定量的に把握できることが確認できた。これを応用し、計測値に大幅な変化や悪化傾向が見られる場合には該当箇所を重点的に点検することで、致命的な損傷発生の防止につながる。

4. 今後の展望

(1) 振動速度波形の周波数解析による不具合箇所の推定

3.(3) の振動速度実効値を用いた調査結果に加え、振動速度波形の周波数解析による精密診断を組み合わせることで分解点検などを伴わずに原因箇所を推定する技術があり、本システムへの導入を計画している。

3.(3) の閘門中間ゲート機器更新前後の計測結果に対し周波数解析を実施した。図-4に、機器更新前後の周波数解析結果の比較例（閘門中間ゲート下段扉左岸ドラムの高速上昇運転時）を示す。更新前後で比較すると、噛み合い周波数（1秒間ににおけるドラムギヤの歯の衝突回数）8.66Hzと、その倍数成分である17.32Hz, 25.98Hzが大きく低減したことが分かる。同様に、電動機や減速機における振動の周波数解析結果でも、ドラムギヤ噛み合い周波数成分が低減していることを確認している。この更新工事においてドラム部は更新対象ではないことから、更新前後の減速機出力軸とピニオンギヤ等の位置関係の調整により、開閉装置全体のドラムに起因する振動状況が大きく改善したことが分かる。

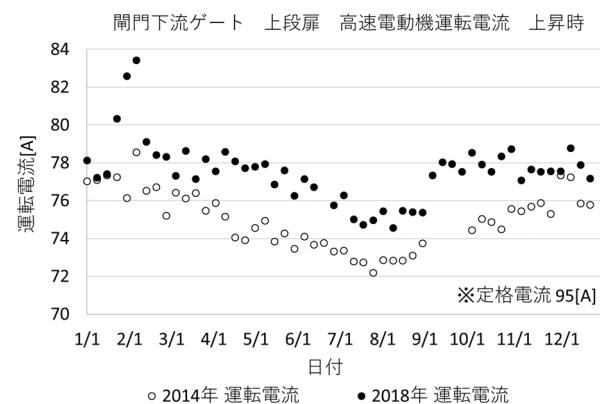


図-2 高速電動機電流値の年間データ

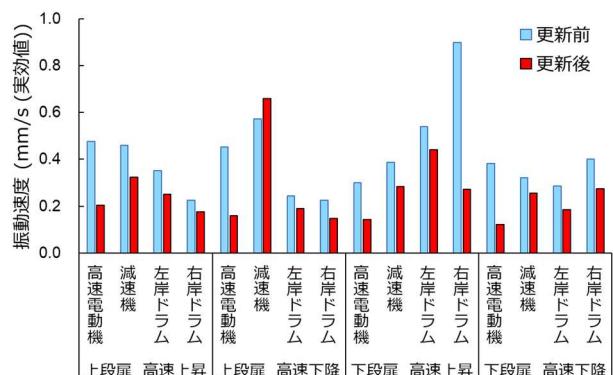


図-3 閘門中間ゲートの機器更新前後の振動速度実行値

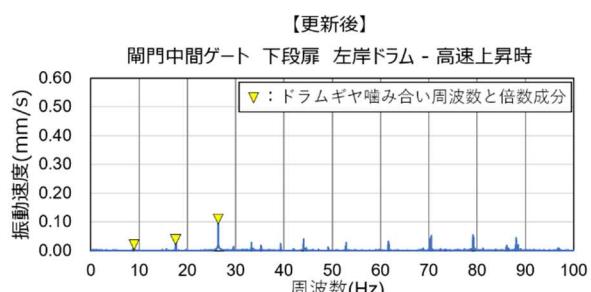
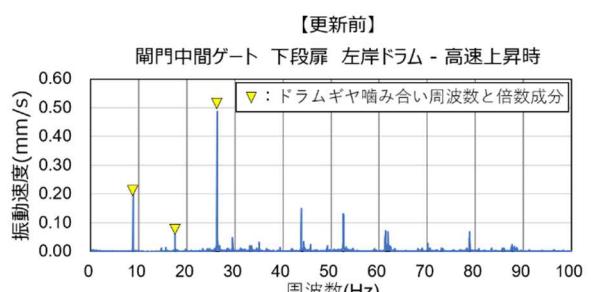


図-4 機器更新前後の周波数解析の比較例

(2) 運転条件の影響を加味したデータ異常判定手法

管理運転ではなく実運転データを用いた傾向管理では、動作範囲や水位などの運転条件が毎回異なるため、デー

タ変化の原因が設備異常、運転条件のどちらに起因するものか、複数のデータから有人で判断する必要がある。省力化のため、運転条件の影響を加味したデータの異常判定を、AIを用いて行う検証が進められている。

この異常判定手法は、過去に蓄積された多数の計測データをAIが学習することで、現時点において計測されたデータの正常時予測値（運転条件から予測した計測される値）を推定する。この正常時予測値と実測値に乖離が見られる場合に、異常であると判断する。

図-5 に閘門中間ゲート低速上昇時における右岸側ロープ張力の正常時予測値の例を示す。これはロープ張力において、正常時予測値と、実測値を比較したものであり、グラフから大きな傾向変化がなく、両値が良く一致していることがわかる。水門設備は運転時の開度・水位などの運転条件の違いにより、水圧や浮力が変化しロープ張力が変動するが、この運転条件の影響を加味したロープ張力の異常検出により、開閉荷重の増大要因（扉体内の土砂堆積、ローラ回転不良、異物噛み込みなど）の早期発見につながると期待できる。データの蓄積や分析を継続することで予測精度の向上や経年劣化の把握に寄与するため、データ収集の継続が求められる。

5. まとめ

長良川河口堰では予てより開閉装置にロードセルや電流計などを取付け、計測データ異常を検知するシステムを構築してきたが、データの回収は1ヶ月ごとでありリアルタイム性に欠けていた。しかし、2019年度に設置した無線機器により管理所にて計測データを確認できるようになったことに加え、設備異常検知時には情報を機械担当職員に自動でメール送信が可能となった。これにより、従来システムの問題点であったリアルタイム性が改善され、より精度の高い状態監視保全に向けた足がかりとなった。また、振動計を新設したことにより設備異常として検出できる項目が増加した。

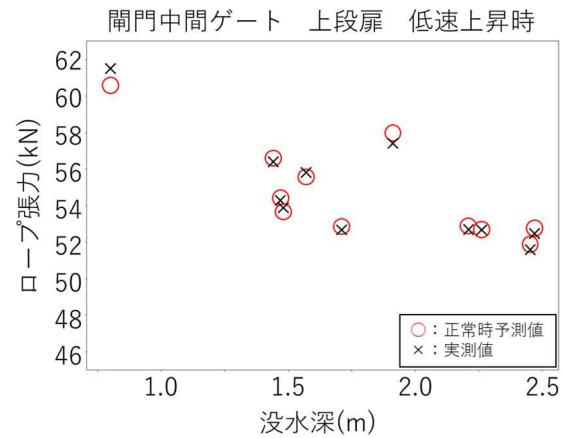


図-5 運転状況を加味したロープ張力の正常時予測値

今後の展望として、機械機器の分解を伴わずに不具合箇所を推定することや、計測データの蓄積により、状態監視保全における適切な更新時期を決定する判断材料を得ることにつながると期待される。この実現のため、現在は得られたデータをどう活用するかに焦点を当てており、データ蓄積と効果的な分析を続けていく必要がある。十分な知見を得ることができた場合、機械設備の故障を未然に防ぎつつ更新費用を抑えるという効率的かつ高度な維持管理・運用が可能となり、長良川河口堰ひいては全国の機械設備管理において有用となると考える。

参考文献

- 1) 水資源機構：「機械設備管理指針」，2016年3月。
- 2) 佐藤茂希, 瀧内泰博：「長良川河口堰における傾向管理～設備劣化の予測～」，第46回水資源機構技術研究発表会，2012年。
- 3) 吉成佑太, 上野英二, 大西隆：「運転状態管理・診断システムによる閘門ゲート設備の現状と今後」，第50回水資源機構技術研究発表会，2016年。
- 4) 国土交通省：「河川用ゲート設備点検・整備標準要領(案)」，添付3-12, 2016年3月。