

# 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

吉成 佑太<sup>1</sup>・上野 英二<sup>2</sup>・大西 隆<sup>3</sup>

1.水資源機構 思川開発建設所 機械課（前 長良川河口堰管理所 機械課）

2.水資源機構 長良川河口堰管理所 機械課(〒511-1146 三重県桑名市十日外面 136 番地)

長良川河口堰は、操作開始から23年目を迎える。この間、設備の安全性を確保しながら、効率的且つ経済的な維持管理を行ってきた。その一環として閘門ゲート設備では、6年前よりワイヤロープ張力による運転状態管理・診断システムを導入し、開閉装置の傾向管理を行ってきた。

本報告では、閘門ゲート設備が他のゲート設備よりも開閉速度及び操作頻度を上回ることから、当管理所ゲート設備全体の維持管理における指標と位置づけて、計測結果に基づいて得られた知見を紹介するとともに、IoT技術と組み合わせることで見えてくる運転状態管理・診断システムの進化形について考察するものである。

**キーワード：**傾向管理、IoT、長寿命化、リスク管理、コスト縮減、予防保全

## 1. はじめに

水資源機構における機械設備は、設備の重要性から、故障が発生する前に整備・更新を行う予防保全が主体となっている。

水資源機構では、点検、整備及更新等を経済的、かつ効率的に実施することを目的に「機械設備管理指針」（平成6年10月制定 平成28年2月改訂）が制定されており、そのなかでは、時間計画保全だけではなく、設備や機器・部品の傾向管理による状態監視保全の重要性を示している。

しかし、詳細な設備状態の把握が難しいものもあり、時間計画保全で整備・更新を行う場合には、結果としてオーバーメンテナンスになる傾向がある。傾向管理による適切な設備状態の把握は、設備の長寿命化や合理的なメンテナンスが期待できることから、メンテナンス費用及び傾向管理精度に優れた新たな傾向管理手法の確立が急務となっている。

長良川河口堰では、機械設備が多数あり、今後の大規模な整備が計画されるなかで、新たな傾向管理手法として実運転によるデータを定量的に評価する運転状態管理・診断システムを6年前に閘門ゲートに設置し実証試験の後、運用している。今までの管理運転データでは把

握できない実態に則した傾向管理をするために実運転データは有用である。設備状態を把握することで故障の予兆や経済的な設備更新計画の指標としている。

また、今後はIoT技術と組み合わせて運転状態管理・診断システムの有用性が高まるよう改善を検討しているところである。

## 2. システム概要

### 2.1 システム構成

本システムは、図1のようにロードセル、機側操作盤、データ収集装置から構成される。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氣的に検出するセンサーで、引張試験器や計量器等にも使われている一般的なセンサーである。

写真1に示すロードセルはロープ端末に設置され、ゲート稼動時にロープ張力を計測しているものである。機側操作盤付近にデータ収集装置を設置し、ロープ張力とゲートの開度、電動機の運転状態及びロープ弛み時間をロードセル及び機側操作盤から収集してメモリーカードに保存している。現装置では、その計測データをパソコンに取り込んで演算・統計処理を行っている。

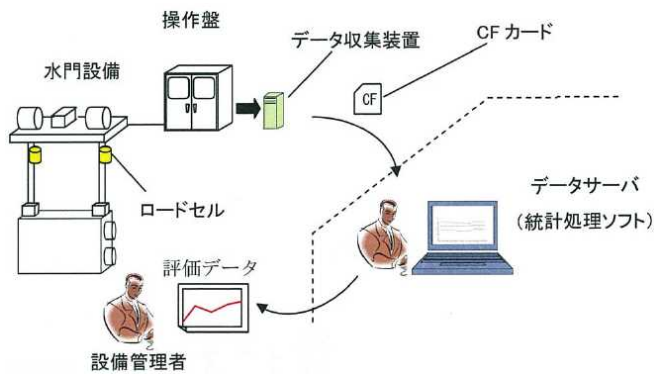


図1 システム概略

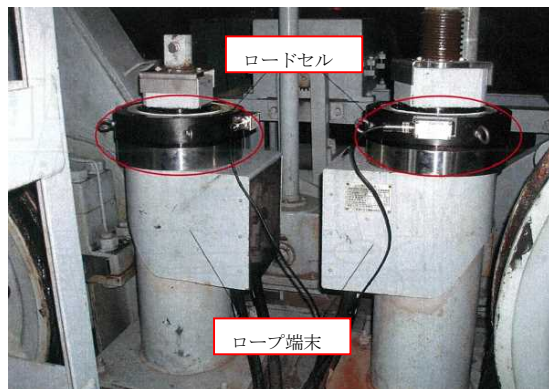


写真1 ロードセル設置状況

## 2.2 収集データと指標

収集データを演算及び統計処理することで作成される指標を表1に示す。なお、表中の「一次評価指標」とは収集したデータの指標のことで、「二次評価指標」は収集データを組み合わせて演算した指標である。また、全ての二次評価指標において基となる収集データにロードセルから検出されるワイヤロープ張力が用いられている。

＜一次評価指標＞

○電動機運転時間[h]

運転時間の累積時間を示す。電動機自体の疲労度合の評価に有効で、電動機更新時期の目安の一つとして活用できる。

○ロープ曲げ回数[回]

ロープのどの位置が滑車により何回曲げられたかを示す。点検時の重点箇所把握や、ロープの繰り返し曲げ疲労の評価に有効で、ロープ更新時期の目安の一つとして活用できる。

○ロープ弛み時間[s]

全閉時にロープ弛みが検出されてから電動機が停止するまでの時間を毎回記録する。この時間はロープの伸びに比例するため、気温や経年によるロープ伸びの把握に有効で、ロープ曲げ回数と合わせてロープ更新時期の目安

となる。また、ロープ弛み時のロープ端末調整時期の推定に活用できる。

○ブレーキ劣化

ゲート動作停止時とゲート動作開始時の開度差によりブレーキのずり落ち量を示す。ブレーキ更新時期の目安の一つとして活用できる。民間企業と共同で特許取得した「ゲート昇降装置におけるブレーキ装置の異常・劣化診断方法及び装置」に用いる指標の1つである。

＜二次評価指標＞

○扉体自重[t]

水圧が作用しない開度(7～8m)でのロープ張力より、扉体自重を算出する。付着物の把握等に有効で、扉体内部の堆積物の進行状況把握の目安の一つとして活用できる。扉体内部の堆積量に上限があることが把握できた場合、堆積物除去の必要性検討の目安の一つとして活用できる。

算出式：(上昇時平均張力+下降時平均張力)/2×4

○組滑車効率

ゲート上昇操作と下降操作でのロープ張力の違い(比率)から、簡易的に滑車効率を算出している。滑車の回転抵抗の把握に有効で、滑車(軸受)の整備・更新時期の目安の一つとして活用できる。

算出式：(上昇時平均張力/下降時平均張力)<sup>1/2</sup>

○全機械効率

電流値、電圧値、開閉速度、扉体自重から全機械効率を算出する。設備全体としての効率低下の目安の一つとして活用できる。

算出式：(扉体自重×開閉速度)/電動機出力

○開閉装置機械効率：

全機械効率のうち、滑車効率を除いた開閉装置まわりの効率悪化の把握に有効で、電動機や減速機の更新時期の目安の一つとして活用できる。

算出式：全機械効率/組滑車効率

表1 収集データ及び指標

| 収集データ     | 一次評価指標<br>(収集データを処理) | 二次評価指標<br>(収集データを組合わせて処理) |
|-----------|----------------------|---------------------------|
| ゲート操作日時   | 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  |                      |                           |

## 3. データ解析結果

運転状態管理・診断システムにおいて得られた傾向管理を行ううえで指標となる代表的なものとしてロープ曲

げ回数と全機械効率について記述する。

3.1 ロープ曲げ回数

図2に平成25～27年度の開門ゲート下流上段扉のワイヤロープ曲げ回数を示す。

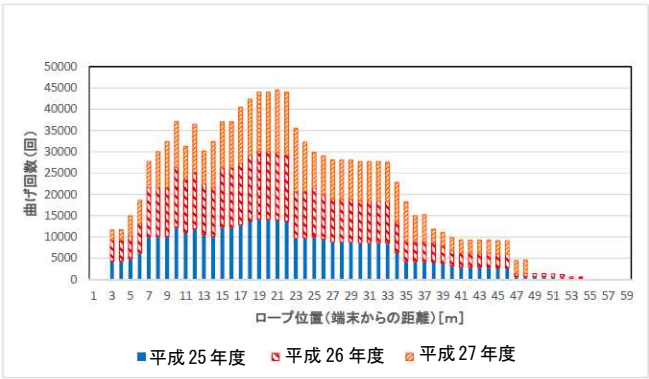


図2 ロープ曲げ回数

図2より、曲げ頻度の高い位置はロープ端末より21m付近の位置で曲げ回数は約45,000回とわかる。開門ゲートは下流の潮位や通船する船舶の大きさにあわせて操作を行うため、ロープ位置によって曲げ回数が異なっている。

ワイヤロープの素線切れは、図3に示すワイヤロープメーカーの技術資料からも曲げ回数に比例して増加することは明らかで、最も曲げ回数の多い箇所を特定することは、点検時の着眼点を絞ることができることで、点検の効率化に有用であることは前述したとおりである。

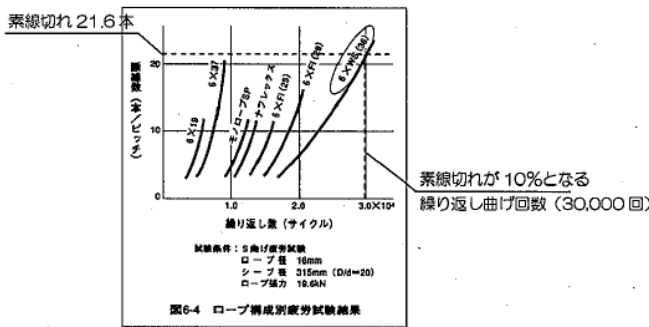


図3 ロープ疲労試験結果

ただ開門ゲートの場合、同様にメーカーの技術資料を一般的な劣化傾向として交換時期を判断すると過去に取替えたワイヤロープ（以降「旧ワイヤロープ」という。）のデータとそぐわない結果となった。表2に示したものは、曲げ回数に対して過去に取替えた旧ワイヤロープ素線断線数とメーカーの技術資料の素線断線数を比較した

ものである。この中で、ロープ仕様の差はあるが、同じ曲げ回数において旧ワイヤロープのロープ張力が技術資料のロープ張力の約3倍であるのに対して、素線断線数が少ない結果となった。

表2 メーカー資料と旧ワイヤロープ試験の比較

|                 | メーカ参考資料                   | 旧ワイヤロープ試験     | 備考                        |
|-----------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| ロープ仕様           | 6×WS(36)                  | IWRC6×WS(36)  |                           |
| 素線数             | 216                       | 265           |                           |
| 曲げ              | S曲げ疲労試験                   | シープ周囲での繰り返し曲げ |                           |
| D/d(シープとロープ径の比) | 20                        | 20            |                           |
| ロープ張力[kN]       | 19.6                      | 50～60         | ゲート上昇、下降、高速、低速時により、張力に差が有 |
| 曲げ回数            | 105000以上(推定)              | 105000以上(推定)  | ゲートの累計稼働回数は149000回        |
| 素線切れ数           | (1年9ヶ月で22本以上)             | 11            |                           |
| 総素線数に対する素線切れの割合 | 10%以上<br>(1年9ヶ月で10%(に到達)) | 4.2%          |                           |

以上から、本システムで長良川河口堰の開門ゲート特有の状況を把握するためにデータ収集し、曲げ回数と素線断線数の相関関係を導くことを目的に今後もデータを蓄積、精査することで適切な交換時期を検討する必要がある。

3.2 全機械効率

図4に平成25～27年度の開門ゲート下流上段扉の全機械効率を示す。

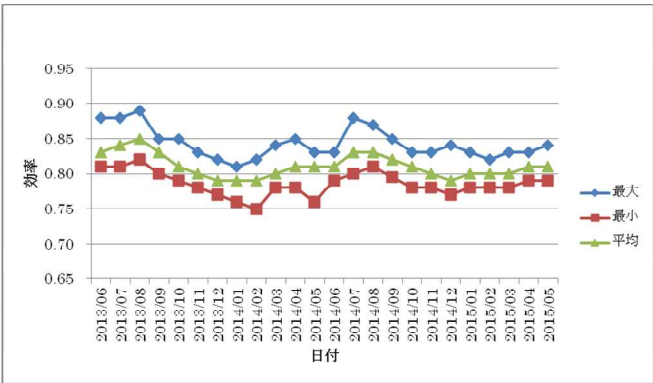


図4 全機械効率

図4より、全機械効率は夏にかけて上昇し、冬にかけて下降していることがわかる。これは、夏は気温上昇により、潤滑油・グリースの粘度が低下し、冬は気温低下により増加することによるものと考えられる。

また、月平均データに基づいて線形近似式を求めると機械効率は0.08%/月、徐々に低下しており劣化傾向にあることがわかる。

この機械効率の低下を適切に管理した場合の指標として閾値を設定することで、図5のように機械効率が急

激に低下するようであれば詳細点検をして故障を早期発見することに役立てられると思われる。

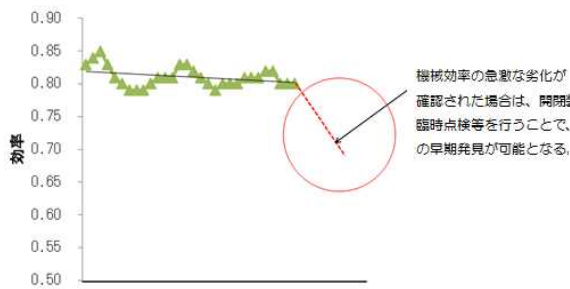


図5 全機械効率の活用方法

## 4. システムの今後

### 4.1 調節ゲートへの展開

調節ゲートは、閘門ゲートとは規模・機器構成数は大きくなるが、同様のワイヤロープ式開閉装置であり、本システムを設置することは可能である。設置した場合、閘門ゲートと同様のデータが得られるとともに、左右岸にそれぞれ設置している開閉装置及びワイヤロープの劣化傾向が個別に把握できるため、詳細な設備管理・更新計画を立案することが可能となる。

### 4.2 IoT 技術を用いたリアルタイムでの監視

現在のシステムでは、各設備で収集した各種データを月単位で現場の収集装置からメモリーカードを回収して、それらを一旦持ち帰って統計処理を行っている。これらのデータは、概ね1ヶ月分を蓄積して解析を行っていることから、異常な数値を検出してもすぐにはわからない状況にある。

今後、より信頼性の高いシステムの構築をするためには、計測したデータをリアルタイムに取り込むことによって、常に設備状態を把握する必要がある。

これらのシステムは、現在までに蓄積されたデータに基づいた通常時の閾値と比べることによって、異常な状況を把握できるとともに、故障に至るまでに事前に対処することや瞬間的な異常の検出が期待できる。データ自体は、サーバに随時蓄積することで、長期に渡るデータの解析が可能となる。

データの取り込み方法は、一般的に携帯電話等の情報端末で使用されているモバイルネットワーク方式を用いることで、従来通信ケーブルを直接引き込む際の材料費や敷設作業費を軽減できることになる。

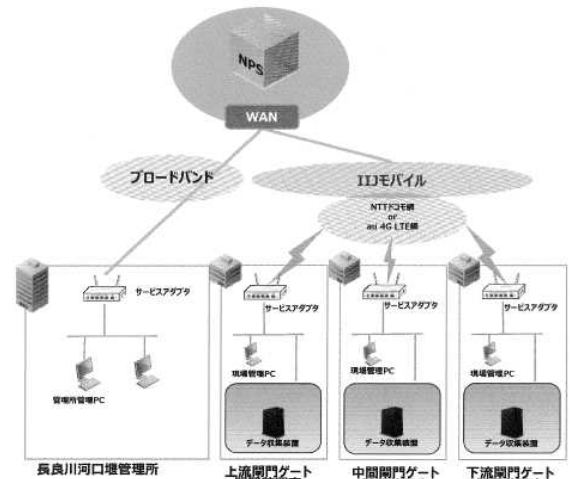


図6 リアルタイム監視システムの構成

さらには、それらのデータをタブレットに取り込み、設備点検時に携帯することでゲートの稼働状況を間近に見ながらデータと見比べることが可能となり、劣化状況の把握や故障発生時の原因追求に生かすことが期待できる。

## 5. 現状と今後の課題、展望

運転状態管理・診断システムの実証試験を継続して6年が経過し、データ収集を随時実施している。その結果、データを蓄積し知見を広げ、重点的に負荷がかかっている箇所、季節の影響及び劣化傾向等の施設状態を定量的に把握できることが確認された。

しかし、その定量データに対して定量的な評価方法が定まっていないという課題があり、閾値の数値設定をどうすべきか検討段階である。今後もデータ収集を継続し、点検や調査結果も取入れ必要に応じてセンサーの追加を検討し総合的に判断することで具体的なものとして考えている。

機械設備の維持管理を改善するために、設備の信頼性を確保しつつ、長寿命化やコスト面に配慮しながら運転状態管理・診断システムによる傾向管理の検討を引き続き行いたいと考えている。