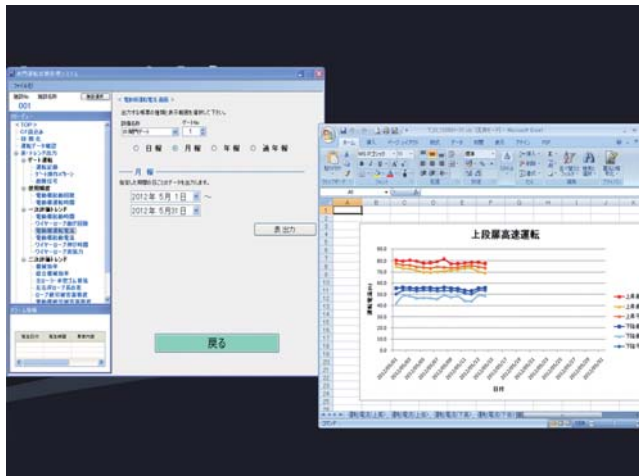


水門運転状態管理・診断システムの開発

Development of Management and Diagnosis System for Water Gates



吉 識 竜 太	Ryota Yoshiki	㊦
仲 保 京 一	Kyoichi Nakayasu	㊦
森 井 俊 明	Toshiaki Morii	㊦
青 山 弘	Hiroshi Aoyama	㊦

あ ら ま し

我が国では、今後急増が予測される老朽化した水門設備の延命化や更新・大規模改修の平準化が喫緊の課題となっている。当社ではこれらの課題を簡易かつ安価に解決する手段として、平成18年より水門運転状態管理・診断システムの開発に着手した。システムの開発は平成21年度に完了し、その後、本システムの性能確認を行うため、水資源機構長良川河口堰管理所と共同で右岸下流閘門扉に本システムを適用し、平成22年から平成24年までの間、実フィールドにおける実証試験を実施している。本稿では、水門運転状態管理・診断システムの開発概要ならびにその特長を解説するとともに、実フィールドにおけるシステム運用結果について紹介する。

Abstract

Japan faces the urgent issues of lengthening the age of burgeoning old water gates, and equalizing the number of gates to be renewed or repaired. Hitachi Zosen Corporation has been developing a monitoring system for water gates since 2006 in order to solve these problems using simple and inexpensive technology. After development was completed in 2009, we carried out a demonstration experiment in collaboration with the Japan Water Agency from 2010 to 2012 for the purpose of evaluating the system's performance on-site. This report presents an outline of the development process, the features of the system, and the results of the demonstration experiment.

1. 緒 言

近年、高度経済成長期に設置された多くの水門設備が、一斉に老朽化による設備更新または大規模改修時期を迎えており、厳しい財政状況の中、老朽化設備の延命化や更新・大規模改修の平準化が喫緊の課題となっている。一方、水門メーカーの撤退や団塊世代の水門技術者の大量退職により、経験豊富な技術者が急減しており、技術者の経験と勘に支えられたこれまでの保守管理手法を継続することが困難な状況となっている。

このような状況の中、当社では上記課題の改善を目的として“水門運転状態管理・診断システム”（以下、本シス

テムという。）を開発した。本システムは、水門設備の実運用データを収集・蓄積・加工することで、設備状態を定量的に評価しようとするものであり、システム自体は自社での開発が可能であるが、その性能評価を行うには実際に稼働している水門の運用データや設備管理者の評価が必要不可欠である。そのため、本システムの開発に際しては、独立行政法人水資源機構 長良川河口堰管理所のご協力を得て、共同で実証試験を行うことによりシステムの性能評価を実施している。2年間の実証試験により、その有用性を検証できたことから、本稿では、本システムの開発背景、目的、システム概要および長良川河口堰での実証試験結果について報告を行う。

㊦ Hitachi日立造船(株) 機械・インフラ本部 社会インフラ事業部 産業機械ビジネスユニット

2. 開発の背景

2.1 老朽化設備の急増

図1に示す国土交通省河川局の調査資料⁴⁾によれば、国内に設置された河川管理施設は昭和25年頃から高度経済成長とともに急激に増加し、昭和55年頃にピークを迎えており、これらの設備は竣工後約30年～60年が経過していることになる。図2は一般的な機械装置の故障率曲線を示しており、機械装置の故障率は偶発故障期を過ぎ、磨耗故障期に入ると上昇することが知られている。水門設備の部品等標準取替年数は長くとも40年程度とされており⁵⁾、今後、磨耗故障期に入った水門設備の故障急増が危惧され、これら設備の長寿命化や更新需要の平準化が喫緊の課題となっている。

2.2 点検の現状

2.2.1 保全の種別

設備保全の種別を図3に示す。設備保全は、故障を未然に防止し、常時使用可能な状態を維持する“予防保全”と、機能低下もしくは機能停止後に使用可能状態に回復させる“事後保全”の2つに大きく分けられる。さらに予防保全は、予定の時間計画に基づき計画的に実施される時間計画保全と、使用中の動作値および傾向を監視して実施される状態監視保全に分類される。水門設備においては、その設置目的や対象機器にもよるが予防保全を行うのが一般的であり、状態監視保全を行うのが理想であるが、対象機器の特性や従来の点検方法では設備状態を継続的に定量評価することが困難であり、時間計画保全中心とならざるを得ないのが現状である。

2.2.2 現状の点検方法

水門設備における現状の点検は、ゲートが停止した状態で行うものと、ゲートを運転して行うものに大別できる。このうち、ゲートを

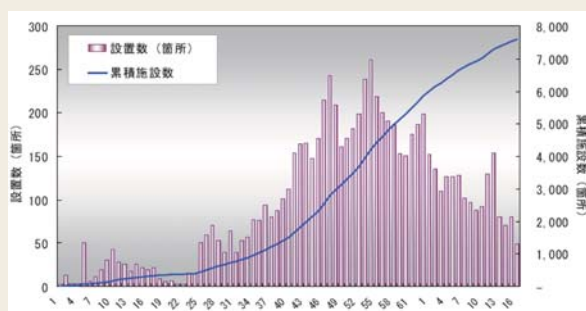


図1 我が国における河川管理施設設置数の推移

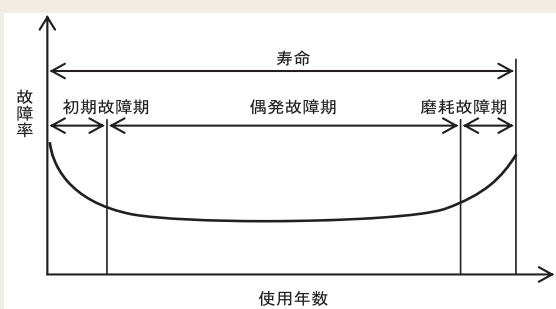


図2 故障率曲線

停止した状態で行う点検には、目視点検や寸法計測等があるが、点検結果は良・否のみの定性的判定である項目が多く、さらに人が介在することにより計測箇所の微妙なズレや、点検技術者の個人差等が影響するため、点検結果にばらつきが生じ易い。

一方、ゲートを運転した状態で行う点検では、通常、点検のための操作、いわゆる管理運転による動作状況の確認が行われている。このため実運用とは異なる条件での運転となることが多く、真に設備の実態を把握しているとは言い難い。さらに、その記録も断続的かつ管理運転の頻度も少ないため、設備状態のトレンド管理を行うのに十分なデータとなっていない。

3. システム概要

3.1 システムの開発目的と思想

本システムは、水門設備の保全に関する課題改善を目的として開発されている。すなわち現状の保全方法をより状態監視保全に近づけることを目的とし、設備状態の定量評価に必要となるデータを容易かつ連続的に収集して、これらデータから設備状態を簡易評価できるシステムを目指して開発を行った。また、上記とは別に実機への設置を考慮して、特に以下の点に留意して開発を進めた。

- 厳しい財政状況を鑑み、簡易かつ安価なシステムを目指した。
- 既存設備への増設を想定し、できるだけ軽量・コンパクトなシステムを目指した。
- 運用データの蓄積およびその分析結果に基づき、常にソフト改善が実施できるシステムを目指した。
- 本システムの不具合が既存設備に悪影響を与えないよう、本システムから警報等の発信は行わない方針とした。

3.2 システム概要

図4に実証試験に用いたシステムの構成を示す。本システムは、河川、ダムで設置数が多いワイヤロープウインチ式の水門設備を対象とし、水門設備の機側操作盤から必要なデータを受信して記録するデータ収集装置と、ここで得られたデータを加工、統計処理するためのソフトを内蔵したデータサーバから構成される。本システムでは収集したデータの取り込みにも、最も簡便な方法としてCFカードを用いたが、ネットワークを利用した自動データ収集にも対応可能である。図5に本システムの開発フローを示す。本システムの開発では、ゲー

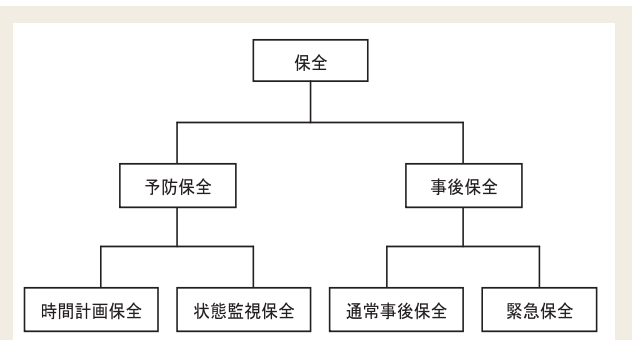


図3 保全の種別

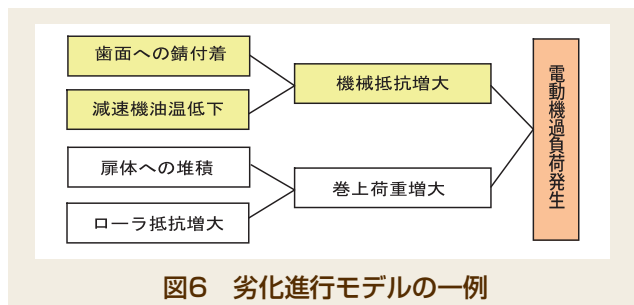
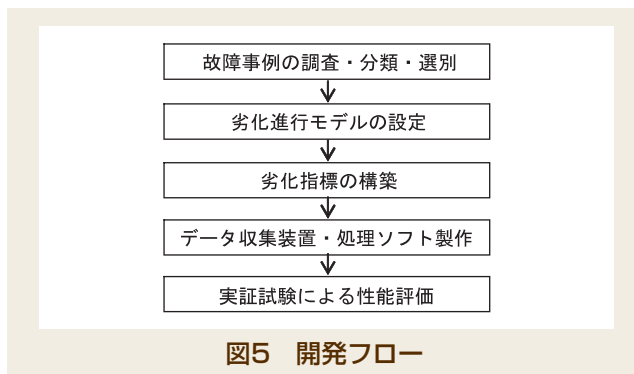
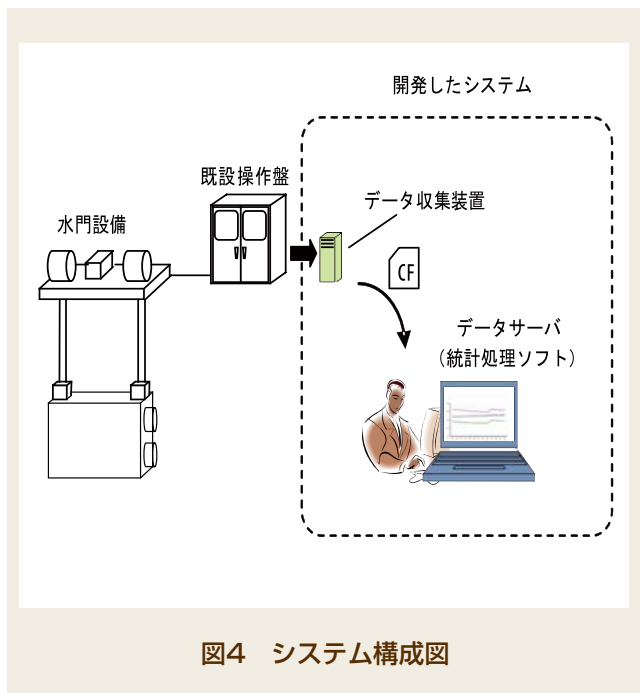


表1 故障事例の調査・分類・選定(一例)

対象	故障内容	劣化進行型	突発型	発生頻度*	影響度*	リスクレベル
電動機	電動機軸破損		○	1	5	5
	電動機過負荷	○	○	3	4	12
ブレーキ	ブレーキ開放不良	○	○	5	4	20
ロープ	ロープ破断	○		3	5	15
	ロープゆるみ検出	○	○	5	2	10
盤	盤内機器の故障		○		-	

*発生頻度および影響度については、社内水門技術者により5段階で評価を実施。

ト設備の実態に即したシステムとなるよう、システム設計に先立ち、まず初めに過去に実際に発生した故障事例の調査から開始している。次いでこれら故障事例を分類、整理して、突発的に発生する事象を排除し、徐々に劣化が進行することにより故障に至る事象の洗い出しを行った。さらに、これら劣化進行タイプの故障について、劣化が進行し故障に至るまでの状態変化を、劣化モデルとして仮定した後、設備状態を定量評価するための劣化指標の構築を行っている。

本システムでは、ゲート運転時の各種データを自動的に蓄積し、これを上記劣化指標に加工してトレンド管理することにより、定量的かつ連続的な設備状態の評価を実現する。以下に本システムで評価対象とした劣化進行タイプ故障およびその劣化モデル、ならびに劣化指標の構築について具体例を示して紹介する。

3.3 劣化進行タイプ故障とその劣化モデル

劣化進行タイプの故障の洗い出し作業として、まず始めに故障事例の調査・分類・選別を行った。その一例を表1に示す。故障事例については、過去に発生した事例363件を調査対象とし、個別にその原因の確認を行い、人為ミスや落雷による故障など、劣化状態を監視できない故障事例の排除を行った。その後、故障の原因毎に分類を行い、各故障事例について、“設備に与える影響度合い”

に“発生頻度”を乗じることにより、そのリスクレベルの見積もりを行い、極力リスクレベルの高いものをカバーできるよう検討を進めた。

ここで、劣化進行モデルの一例として、電動機過負荷発生に至るケースを考えると、電動機過負荷の発生要因は、突発的に起こる異物の噛み込みを除けば、図6に示す機械抵抗の増大と実負荷の増大に大別できる。通常これらは、さらに細かな複数の要因により比較的長い時間をかけてゆっくりと増大するものであるから、電動機電流値をトレンド管理することにより、過負荷発生前に必要な処置を行うことが可能である。しかしながら、既存の水門設備では一般的にこのような状態監視は行っていないため、突発的に電動機過負荷を検出することとなり、正常に運転している状態から、突如、ゲート運転不能状態に陥り、設備管理者に大きな負担がのしかかる。このような状態をできるだけ回避するため、本システム開発においては、実際に発生した故障毎に初期状態から故障に至るまでの過程の推定を行い、各故障の予兆を検出可能と思われる“劣化指標”についての検討を行っている。

3.4 劣化指標の事例

簡易かつ安価なシステムを構築するため、劣化指標を構築するために収集するデータは、既存の設備がすでに持っている情報を有効利用することを基本とした。

本システムで収集する基本データを表2に示す。表中、ワイヤロープ張力を除く項目は、一般的な機側操作盤から直接取り込むことができるデータを基本としており、設備状態をより正確に把握することを目的に、ロープ張力を計測するロードセルのみを新たに追加している。劣化指標については、収集したデータをそのまま表示するものと、これらデータを加工して表示するものがある。このうちデータを加工して求める劣化指標は、電動機起動電流や扉体重量、機械効率等があるが、これらは厳密な値を追求するものではなく、あくまで簡易状態評価とそのトレンド管理が可能となるよう簡易的に導出している。劣化指標は水門設備の保守管理において、機器更新や分解整備等の判断基準として利用することを念頭においており、その閾値については設備目的や重要度等も勘案し、図7に示すように本システムによりデータを蓄積しながら、より合理的な値に近づけることで、保守管理の合理化につながるものとする。

本システムで状態監視を行う劣化指標を表3に示す。これら劣化指標の一例として、ワイヤロープの繰り返し曲げ回数指標、開閉装置機械効率指標およびロープ弛み時間指標の考え方について以下に示す。なお、実際に得られるトレンドデータ等については、実証試験結果の項にて後述する。

(1) ロープ曲げ回数指標

本指標はロープの繰り返し曲げ疲労による破断の予兆を対象としたものである。データ収集装置により開度1cmごとの通過回数をカウントしておき、開度とロープおよび滑車の位置関係をあらかじめ入力したソフトによりデータ処理することで、ロープのどの位置が滑車により何回曲

げられたかを見える化する。累積数をトレンド管理し、曲げ疲労試験等の実験結果と照らし合わせることで、合理的な更新時期の推測に活用が期待できる。また、点検時においても、最も曲げられた箇所を重点的に点検するなど有効活用できる。

(2) 開閉装置機械効率指標

本指標は開閉装置の機械効率低下(抵抗増大)に伴う電動機過負荷の予兆を対象としたものである。機械効率指標算定の手法として、まず実際のゲート開閉速度および扉体自重から正味の仕事率(kW)を算出する。次に、電動機の電流値-負荷特性曲線を基に電流・電圧値から電動機出力(kW)を算出し、正味の仕事率を電動機出力で除することで、簡易的に機械効率を算出することができる。もちろん厳密な機械効率を求めるには、さらに詳細な計測や計算等が必要となるが、トレンド管理を行うための簡易指標としては十分有効であり、これをトレンド管理することでその傾向を把握し、分解整備や更新時期の目安を合理的に判断する際に活用が期待できる。

(3) ロープ弛み時間指標

本指標はロープの経年伸びを伴う劣化を対象としたものである。ロープ弛み時間指標は、図8に示す機械式の開度計が全閉(ドラム軸回転数が所定の値となったとき)を検知した瞬間から、ゲート着床によるロープゆるみを検知するまでの時間を記録することにより算定している。ロープが伸びればこの時間は長くなり、所定の伸び量以上になると全閉操作のたびに異常を検出することとなる。ロープ弛み時間指標によりロープ経年伸び量を把握できれば、最適なロープ端末調整の時期やその調整量を予測できることとなり、このような現象を未然に防止できる。

表2 収集データ項目

収集データ項目	収集目的
ゲート操作日時	操作記録
ゲート開度	操作記録、ロープ曲げ回数カウント
電動機運転回数	使用頻度
電動機電流	設備状態
電源電圧	設備状態
ロープ弛み検出信号	設備状態
ワイヤロープ張力	設備状態

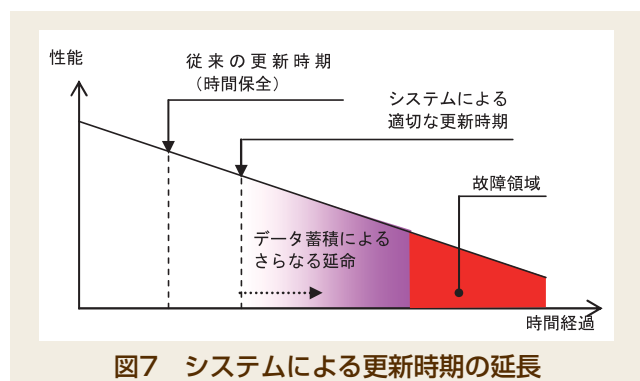


図7 システムによる更新時期の延長

4. 実証試験

4.1 目的 実証試験では、本システムを実運用中の水門設備に設置し、データの収集・蓄積を行うと

表3 本システムで状態監視を行う劣化指標

劣化指標	対象(劣化現象)例
電動機起動回数	電動機(軸受磨耗、疲労による強度低下)
電動機運転時間	
電動機運転電流	減速機(抵抗増大)、 ブレーキ(ライニング固着)
電動機起動時の電流	電動機(絶縁不良)/
電流値が安定するまでの時間	ブレーキ(ライニング固着)
ロープ弛み時間(ロープ伸び量)	ロープ(経年伸び)
ロープ曲げ回数	ロープ(曲げ疲労)
ロープ実張力	開閉荷重(抵抗増加)
扉体重量	内部堆積物増加
組滑車効率	滑車(抵抗増加)
全機械効率	滑車+機械部(抵抗増加)
開閉装置機械効率	機械部(抵抗増加)

ともに得られたデータを統計処理することにより、データ収集の安定性や設備評価指標の妥当性を確認することを目的としている。なお、実証試験においては、独立行政法人 長良川河口堰管理所のご協力を得て、フィールドを提供いただき、システムならびに設備状態の評価を共同で行った。

4.2 設置対象設備と設置状況 実証試験は、長良川河口堰右岸魚道水門扉設備 下流閘門扉にて実施した。図9に下流側閘門扉の位置を示し、図10にその側面図を示す。本設備形式は、2段シェルローラゲートであり、開閉装置は上段扉、下段扉ともに1モータ・2ドラムの電動ウインチを採用している。また、本設備は堰の上下流を多くの船が行き来するため、水門設備としては非常に使用頻度の高い設備となっており、試験期間中には多くのデータを蓄積することができた。

データ収集装置の設置状況を図11に示す。また、ロードセルの取付状況を図12に示す。データ収集装置は、大人が2人で持ち運べる程度の大きさ（幅60cm×高80cm×奥行25cm）、重量（約30kg）であり、H22年2月4日～5日の2日間で、船舶航行に影響しない夜間作業にて設置した。具体的な作業内容および作業に要した時間を表4に示す。

4.3 運用結果 実証試験は平成22年2月から平成24年3月まで約2年間にわたり実施した。システム設置当初、瞬間的な出力異常やリレーのチャタリングによる影響が見られたが、これらについては既にソフト改善により解決できており、2年間の実証試験により多くの貴重なデータを蓄積することができた。

また、本システムによる劣化指標のトレンド管理機能

により、対象設備の状態変化を定量的に見える化することを実現できた。本システムにより、実証試験中の2年間においては、対象設備の状態は概ね良好であることが確認できたが、いくつか軽微な故障も発生しており、これら故障の原因究明や対策の立案においても、本システムに蓄積している運用データが非常に有効であった。代表的劣化指標のトレンド管理結果等について以下に紹介する。

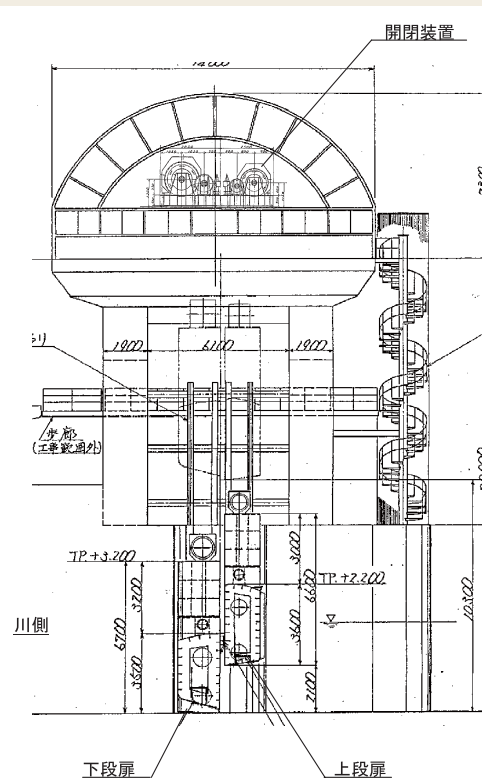


図10 長良川河口堰 下流側閘門ゲート側面図

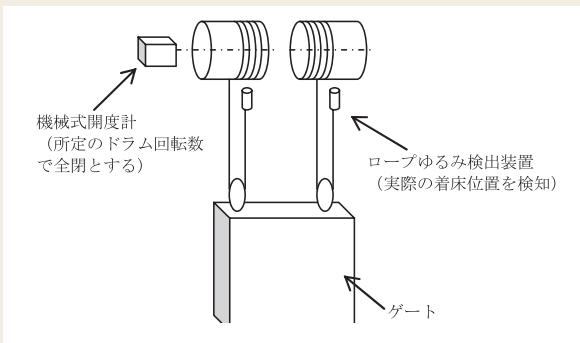


図8 ロープ伸び量の検出概略図



図11 データ収集装置の設置状況



図9 長良川河口堰 下流側閘門ゲート



図12 ロードセルの取付状況

表4 データ収集装置設置作業

作業内容	作業人数※	作業時間
準備	3人	1h
ロードセル設置	3人	4h
システム設置	2人	1h
配線	2人	2h
確認	3人	2h
片づけ	3人	1h
延べ作業時間		30h

※作業人数に監督員は含まない。

(1) 電動機起動回数およびロープ曲げ回数指標

使用頻度に関する指標として電動機起動回数およびロープ曲げ回数指標を事例に挙げる。これらの指標は機器の疲労蓄積度合いを示すものであり、合理的な更新時期の判断に寄与するものと思われる。図13に示す電動機起動回数指標は横軸に年月、左側縦軸に棒グラフで1ヶ月小計を示し、右側縦軸に折れ線グラフで累積数を示している。月毎の起動回数についてはばらつきはあるものの、年間の累積数は経年に比例して推移しており、その使用頻度の変化は一目瞭然である。図14に示すロープ曲げ回数指標は、横軸にロープ末端からの位置を示し、縦軸にその位置での累積曲げ回数を示している。同一ロープにおいても、その位置により疲労度合いが大きく異なることが一目瞭然であり、定期点検等においてこれらの情報を有効に活用することで、保守管理の合理化が期待できる。

(2) ロープ弛み時間および機械効率指標

経年変化および経年劣化に関する指標として、ロープ弛み時間および機械効率指標を事例に挙げる。図15に示すロープ弛み時間指標は横軸に年月、縦軸に弛み時間を示している。図15から、冬から夏にかけては伸び量が増加しており、夏から冬にかけては横ばいとなっていることがわかるが、これは外気温の変化に伴うロープの温度伸縮量が含まれているためである。本指標を1年間トレンド管理することにより、ロープ経年伸び量および温度変化にともなう伸縮量をそれぞれ把握できることから、本指標はロープ末端の調整やロープ更新時期の判断への活用が期待できる。

図16に示す機械効率指標は、横軸に月日、縦軸に機械効率を示している。本システムでは気温データの自動収集は行っていないため、本図は、本システムにより作成したグラフに気象庁発表の同月、同市の平均気温を手入力により追加して作成している。機械効率指標については、顕著な経年劣化は読み取れなかったものの、気温変動にはほぼ追従している様子が確認できることから、一定の妥当性が実証されたと判断できる。

(3) 扉体自重指標

各指標はその日の平均値だけではなく、最大値や最小値も記録し、併せて表示することにより一目で異常の有無を確認できるよう配慮している。具体事例として扉体

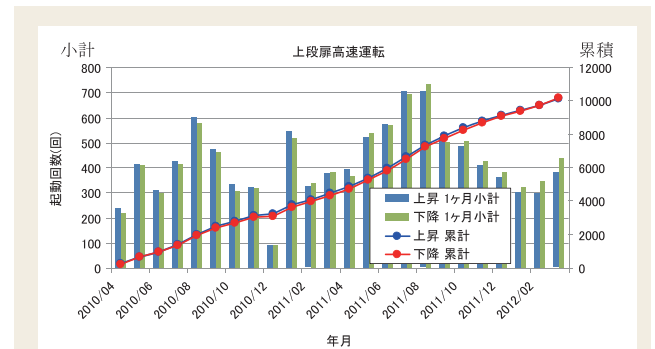


図13 電動機起動回数の推移

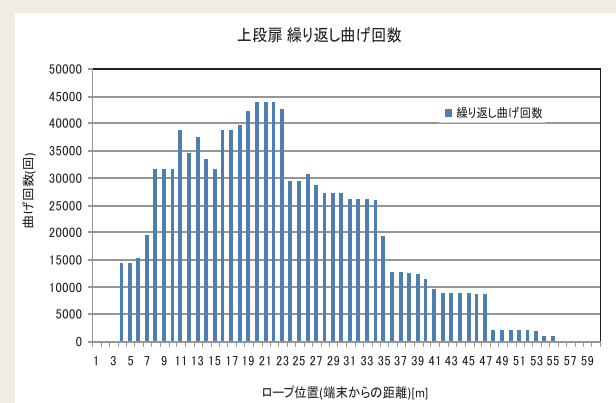


図14 ロープ曲げ回数

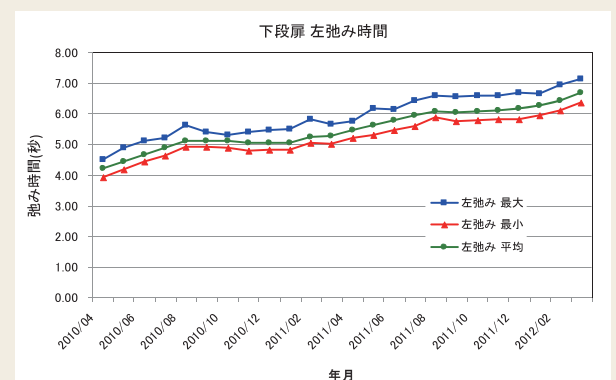


図15 ロープゆるみ時間

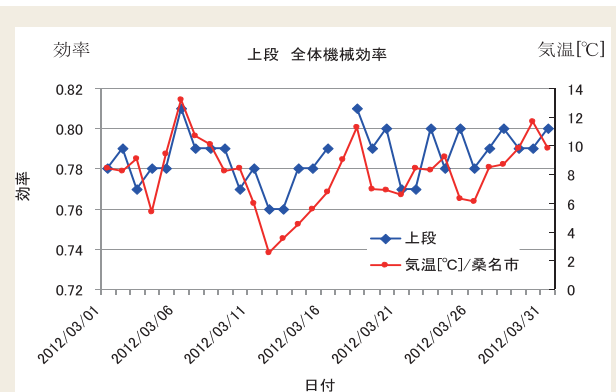


図16 機械効率と気温変動

自重指標を挙げる。本システムの試験期間中、扉体自重が2、3日間で大きく変動するという事象が発生した。図17に示すグラフは横軸に月日、縦軸に扉体自重を示す。

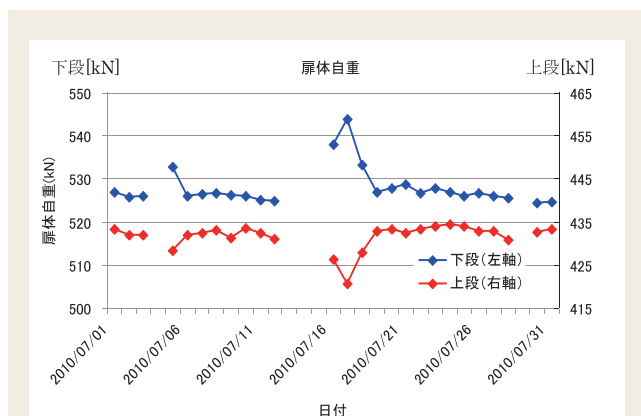


図17 扉体自重の変動

本設備は上段扉と下段扉から構成されており、7月17日前後において上段扉体自重が大きく低下した際に、下段扉体自重が大きく上昇しているのが分かる。これらから、上段扉と下段扉間に異物等がかみ込み、下段扉が上段扉自重の一部を支持していたと推測される。本システムでは、こうした通常の故障検知では見過ごされがちな不具合の「タネ」のような事象まで容易に検知することができ、このような現象の発生頻度を監視していくことで、大きな不具合の未然防止にも効果が期待できる。

(4) ロープ張力指標

その他、劣化とは別に設備の運用実態を把握するのに役立つ指標として、ロープ張力指標について以下に示す。本指標によれば、対象設備において実証試験中の2年間で、ロープに作用した最大張力は設計荷重の約半分であった。水門設備においては、平常時のゲート負荷が設備能力に対して、相対的に相当小さいものも多く、本システムにより、これまで見えなかったゲートの使用実態が明らかとなれば、使用状況に見合った保守管理計画の立案も可能となる。

4.4 その他 本試験期間中、ゲートブレーキの作動不良によるゲートのずれ下がり確認された。本システムにおいては、当初このような現象を監視する機能を設けていなかったが、蓄積データの確認を行うことにより、不具合発生前後の設備状態の把握や、同現象の発生履歴などを確認でき、不具合原因の究明や再発防止対策の立案に非常に有用であった。水門設備においては、不具合が発生した際の原因究明に多くの時間が費やされるケースもあり、故障検知前後の設備状態を把握する機能は、不具合原因の究明や対策立案に有用であり、地震発生後の臨時点検や分解整備後の性能改善効果の確認などにも活用が期待できる。

なお、本システムでは、実証試験中に発生したゲート

のずれ下がりについて、新指標の追加によりブレーキ健全度合の監視が可能であることを確認している。本システムは、データ収集装置と、データ処理ソフトを内蔵したデータサーバを分離しており、容易に指標を追加できる拡張性の高いシステムとなっている。

5. 結 言

本稿では、システム開発の背景、目的、システム概要ならびに実証試験結果について報告を行った。本システムの実証試験の結果、以下のことが実証できた。

- 開発したシステムは設置が容易に行え、短期間で現地施工可能である。
 - システムによる安定したデータ収集が可能である。
 - 劣化指標のトレンド管理により設備状態を見える化できる。
 - 通常の運用では検出されない異常についても劣化指標のトレンド管理で見える化できる。
 - 突発的に発生する不具合に対しても、その原因究明や対策の立案を行う上で本システムが非常に有効である。
- 今後、本システムの普及により、ゲート運用データのさらなる蓄積と分析を行い、機器更新や整備を行う判断基準の精度向上をはかることにより、水門設備の長寿命化ならびに更新時期の平準化に寄与していきたい。

参考文献

- [1] 国土交通省河川局社会資本整備審議会：「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について」, 2008.
- [2] 独立行政法人水資源機構：「機械設備管理指針」, 2008.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 機械・インフラ本部
社会インフラ事業部 産業機械ビジネスユニット
技術部 開発グループ
吉識 竜太
Tel : 072-243-6829 Fax : 072-243-6794
e-mail : yoshiki@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Machinery & Infrastructures Headquarters
Social Infrastructure Division
Industrial Machinery Business Unit
Ryota Yoshiki
Tel : +81-72-243-6829 Fax : +81-72-243-6794
e-mail : yoshiki@hitachizosen.co.jp



吉 識 竜 太



仲 保 京 一



森 井 俊 明



青 山 弘