

水門運転状態管理・診断システム

Management and Diagnosis System for Hydraulic Gates



林	健	人	Hayashi Kento	①
深	井	康	Fukai Yasuhiro	①
杉	本	巖	Sugimoto Iwao	①
北	村	暁	Kitamura Takaharu	②
宮	本	修	Miyamoto Osamu	③
藤	澤	洋	Fujisawa Yousuke	③
宮	本	訓	Miyamoto Kunie	③
宮	澤	健	Miyazawa Takeshi	③
山	下	遼	Yamashita Haruka	④
和	田	晃	Wada Akira	⑤
岩	室	貴	Iwamuro Takayuki	⑥
大	橋	正	Ohashi Masaharu	⑦

あらまし

Hitz日立造船は、水門設備の設計・製造を1924年から行っており、国内外の約600箇所に設置実績を有している。また、その保守についても長年携わっている。これらの経験から、水門設備の健全性などを判断して、効率的に保守を行う維持管理システムが不可欠と考えていた。そこで、これらを効率的に行うための水門設備の状態を把握できる維持管理システムの開発を継続してきた。このシステムにICT技術を導入、状態把握がリアルタイムに可能となるよう機能を追加してきた。本システムの活用事例として、現地にて収集したデータを用いた状態監視と解析事例を紹介する。今後は当社の先端情報技術センターとの連携により、顧客の多様なご要望に応えられる改善を鋭意、実施していきたいと考えている。

Abstract

Hitachi Zosen Corporation has designed and manufactured hydraulic gate facilities since 1924 and installed them in about 600 locations in Japan and overseas. Furthermore, it has engaged in maintenance of these facilities for many years. Based on these experiences, we believed it essential to have a maintenance management system that efficiently performs maintenance by judging the soundness of the hydraulic gate facilities. Therefore, we have been developing a management system that can efficiently grasp the condition of hydraulic gate facilities, introducing information and communication technology (ICT) into this system, and adding functions that enable the grasping of facility conditions in real time. In this paper, we present examples of the system in use in the form of monitoring and analysis samples employing data collected on-site. We intend to link with the Advanced Information Technology Center (A.I/TEC) and implement improvements so that we may respond to diverse customer demands.

1. 緒言

水門設備は、河川、ダムにおいて治水の役割を担っており、重要なインフラ設備と考えている。国内の水門設備の多くが高度成長期に設置され、既に40年以上経過している設備も多くある。このような現状において、水門設備の安定駆動のために点検・保守を行うことが必要であり、国土交通省はマニュアルを制定している¹⁾。

同マニュアルでは、機械設備維持に関する研究開発の必要性も含めて以下のように記載されている。

- (1) 今後は経年的な劣化による不具合事象の発生や堆砂等、ダムを取り巻く環境の変化による機械設備への影響などのリスクについて関係者間にて共有するとともに、引き続き研究・技術開発を進めていく必要がある。
- (2) 近年、ビッグデータの活用やIoT(Internet of Things)、AI(人工知能)などデータサイエンス分野での技術の進歩がめざましいことから、機械設備の維持管理においては、新たな技術の導入、活用に向けて積極的に取り組んでいく必要がある。

このような背景のもと、時間基準のTBM(Time Base Maintenance)から、機械設備の状態に基づいたCBM(Condition Base Maintenance)による機械設備保全の

① 技術研究所 知能機械研究センター
 ② 技術研究所 知能機械研究センター 博士(工学)
 ③ 社会インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット
 ④ 社会インフラ事業本部 開発センター 技術士(建設)
 ⑤ 機械事業本部 電子制御ビジネスユニット 技術士(応用理学)
 ⑥ 機械事業本部 電子制御ビジネスユニット
 ⑦ 機械事業本部 電子制御ビジネスユニット 博士(工学)

考え方を提案したいと考えている。

現状、行われている機械設備保守の状況を表1に示す。この表1を作成するにあたり、国土交通省、一般社団法人ダム・堰設備技術協会、および独立行政法人水資源機構の点検・管理指針に記載されている定期点検項目数（ワイヤロープウインチ式開閉装置）から抜き出している。

例えば、国土交通省の指針では、年次点検項目の13%が計測によって定量的に評価する項目である。これらの項目においても点検結果は良・否で判定されることが多いため、予防保全のみでは機器の経年的な劣化傾向を定量的に捉え難いのが実情である。

当社は、水門設備の機械装置の稼動状態を収集・蓄積するシステムを設置、過年から運用を開始している。水門設備の維持管理に対する診断に寄与するよう、開閉装置に振動センサを設置した。これは、機械振動に関する国土交通省ガイドライン³⁾を活用することを想定している。山間部などに設置されている水門設備からのデータ収集をインターネットにおいて行えるようにした。

また、このことにより、当社の先端情報技術センター（A.I/TEC[®]）²⁾におけるデータなどの活用も可能となった。A.I/TEC[®]は、遠隔監視・運転支援、IoT/ビックデータ、AIの開発拠点であり、インターネット接続に専用回線、VPN（Virtual Private Network）回線を用意できているなど、当社のIoT・AIの拠点である。

本稿では、IoTを活用したシステムの概要と現地設備から収集、社内サーバに蓄積しているデータを用いた解析事例を示す。

表1 月次・年次点検項目数

		国交省	ダム堰	水資源機構	
ダム用ゲート	月次	103 (0%)	99 (0%)	月次	25 (16%)
	年次	217 (13%)	212 (10%)		
河川用ゲート	月次	111 (0%)	101 (0%)	年次	33 (27%)
	年次	223 (12%)	220 (10%)		

() 内は定量的に評価している項目の割合(%)

2. 水門運転状態管理・診断システム

2.1 システム概要

水門運転状態管理・診断システムの概要を図1に示す。本事例は、ダム・河川において設置数が多いワイヤロープウインチ式水門を対象とした構成例である。

水門設備にある開閉装置などからデータを収集、記録する装置、そのデータを蓄積・解析するデータサーバ、および通信機器で構成される。

水門設備は、ダム・堰等の多くが一つの設備に対して複数のゲートで構成されており、これらにも対応できる。

また、振動センサを加えることによって各機器の劣化傾向の把握や振動要因の特定を可能にした。

本システムの収集項目を図2に示す。標準的な収集項目は、振動、開度、水位、電動機電流、ロープ張力、ロープ伸び量である。顧客ニーズによる項目追加が可能である。

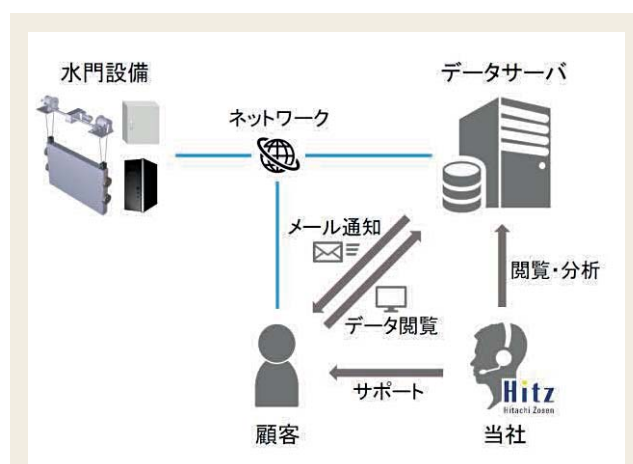


図1 システム概要

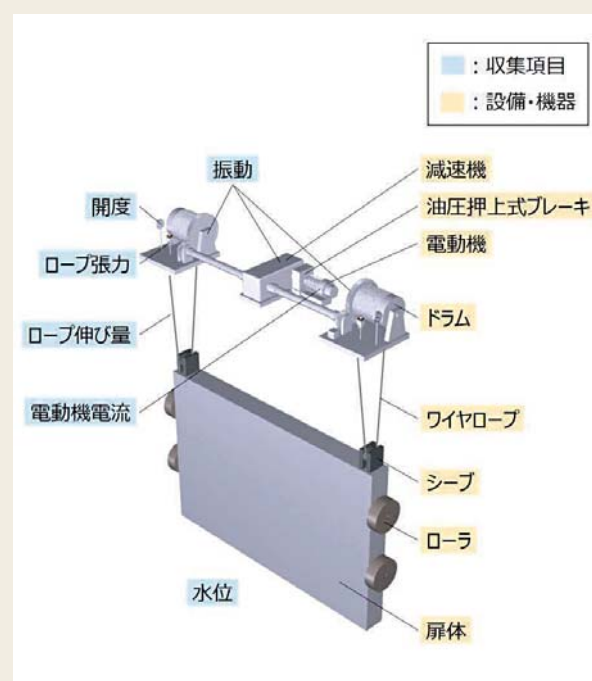


図2 収集項目

2.2 システムのメリット

本システムのメリット

は次の7項目である。

(1) 水門設備への改造を伴わない

新設、既設を問わず開閉装置の改造を伴わないために容易に設置可能である。

(2) 独立したシステム構成

水門設備の制御システムとは分離しており、水門設備の運用には全く支障をきたさない。

(3) 点検の省力化、数値化によるデータ管理

本システムで可能な定期点検項目の割合を図3に示す。定期点検は目視・触診といった項目が大半を占めるが、計測による点検29項目についてはすべてを代替可能である。

(4) 運転レポートの自動作成

水門設備の稼動状態における収集データを一定の書式にて記載した運転レポートが定期的に自動作成でき

る。この運転レポートを確認することによって、容易に設備状態を把握できると考える。

(5) リアルタイムモニタ

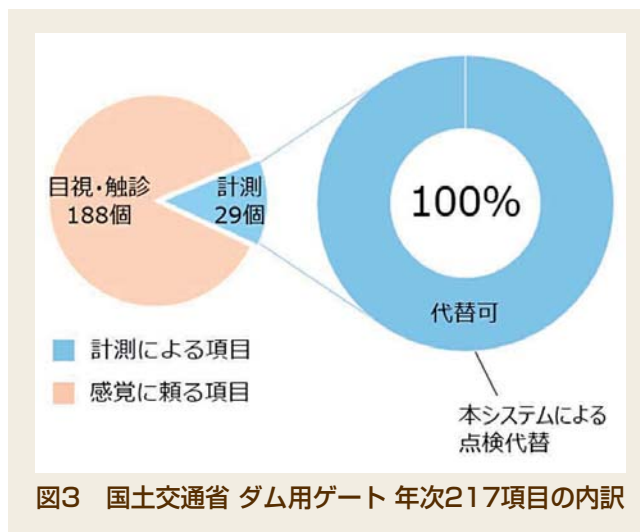
インターネットに接続された端末からであれば、ウェブブラウザを用いて運転状態をリアルタイムに閲覧ができるように設定できる。

(6) 機器の保全計画の支援

運転時間積算値や電動機運転時間、あるいはその他の機器指標から機器の寿命を予測することが可能となると考えている。これにより、CBMによる機器の保全計画に貢献できると考える。

(7) 技術サポート

運転レポートや日々の収集データから、異常傾向・不具合が確認された際に解析、対策検討などの技術的サポートをタイムリーに当社から顧客に提供できる環境としてA.I/TEC®が整備されている。



3. ICTによる遠隔監視

本システムは、インターネット環境によって当社のデータサーバに収集データを集約・蓄積が可能である。また、顧客と設計、研究部門がデータの共有も容易にできる。顧客と当社とがデータを共有することにより問題発生時の把握と対応が迅速に行えると考えている。

顧客の要請によっては、インターネット環境があればタブレットなどで蓄積されたデータを過去から直近の運転までの確認ができる。タブレット画面表示イメージを図4に示す。

また、収集データが閾値を超過した場合、顧客に電子メールで通知する機能も有している。さらに、これら端末上で収集データの詳細や運転レポートを閲覧も可能としている。



図4 タブレット画面表示イメージ

4. 予知保全

4.1 収集データの傾向把握

本システムによって収集データを蓄積していくことにより、単年度の定期点検だけでは見えてこない複数年にわたる傾向が確認できる。

本システムの長期間の収集実績例を図5に示す。2013年5月から2019年1月までの上昇運転時のロープ張力および電動機電流の時系列データの波形を表す。縦軸の数値は扉体設計重量、定格電流値に基づいて無次元化している。図中には、対象の水門設備の周囲温度も併記している。

この図5から、ロープ張力、電動機電流は平均気温の高い時期に小さく、低い時期に大きな値を示す傾向が読み取れる。この理由として、シーブの回転部において、夏季は気温上昇に伴う潤滑油粘度の低下により回転抵抗が減少し、逆に冬季は気温低下に伴う潤滑油粘度の上昇により回転抵抗が増大することが原因であると考えられる。

このように長期間に渡ってデータ収集を行うことで、時系列データ単体での傾向、ならびに他の時系列データとの相関などが把握できると考えている。

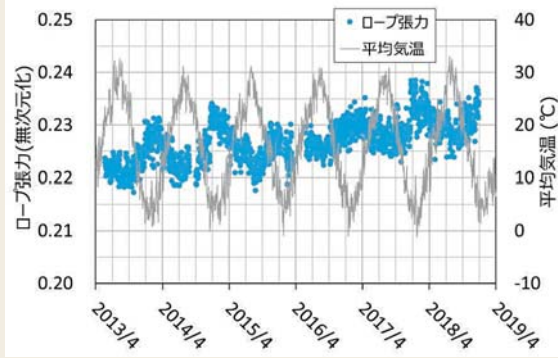
4.2 振動診断

回転機械の健全性を評価する場合、振動を計測する方法が一般的、かつ有効であり、国際規格においては振動計測方法や評価基準が示されている。

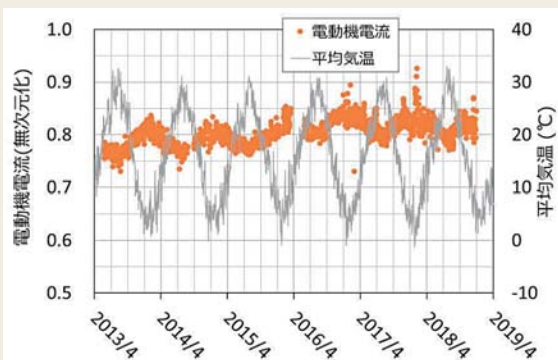
国土交通省が制定したガイドライン³⁾には、振動の評価基準の参考規格としてISO 10816「機械振動—非回転部の計測による機械振動の評価」が挙げられている。

本システムもこれに準じて振動速度(実効値)による評価を基本としている。さらに、精密な診断手法として振動波形の周波数解析を行うことにより、開閉装置の歯車のかみ合い周波数や軸受の損傷を示す周波数に着目した評価ができる。

本システムの振動データの処理フローを図6に示す。収集された振動データはFFT (Fast Fourier Transform) 解析および実効値処理され、周波数解析による部位特定、ならびに時系列の振動速度(実効値)による傾向管理に用いる。



ロープ張力(上昇運転時)



電動機電流(上昇運転時)

図5 6ヶ年に及ぶ長期間の各種計測項目のトレンド

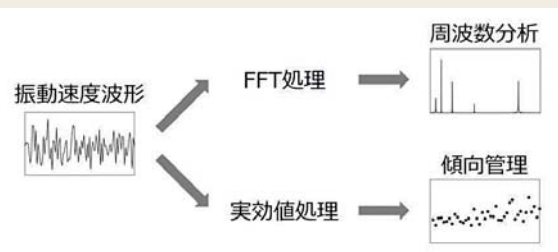


図6 振動波形の処理フロー

本システムでは、基本的に減速機およびドラムなどに振動センサを設置、機器状態を診断する。

4.2.1 減速機の精密診断事例 本事例では、減速機軸受付近に振動センサを設置した。

上昇運転時の周波数解析結果を図7に示す。横軸は電動機の回転次数、縦軸は振動レベルを示す。

この減速機の段数は5段であり、3段目は差動歯車である。減速機の2段目から5段目までのかみ合い周波数、ならびに電動機の1次から4次までの回転周波数を検出できている。また、図中の周波数領域からは外れているが、減速機の1段目のかみ合い周波数についても検出できている。

このように振動センサを設置することで全段数のかみ合い周波数、ならびに主要な回転周波数が検出できる。このため歯車に摩耗・損傷が発生した場合には、その歯車に対応したかみ合い周波数や回転周波数に兆候が現れ、それらに着目することで要因を特定できると考える。

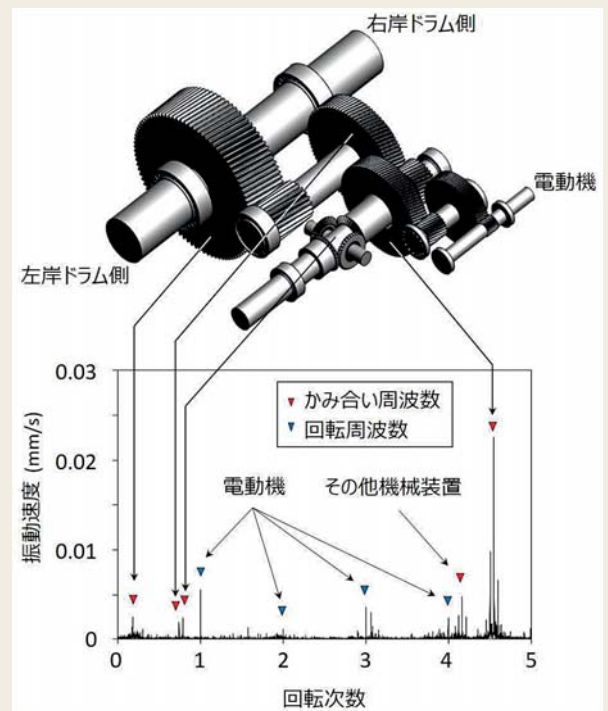


図7 周波数解析結果(上昇運転時)

4.2.2 ドラムの精密診断事例 本事例では、ドラム固定部に振動センサを設置した。

上昇運転時の3D-FFTグラフを図8に示す。幅方向の軸はドラムギヤのかみ合い次数、奥行方向の軸は一運転におけるドラム回転開始からの経過時間、高さ方向の軸は振動レベルを示す。

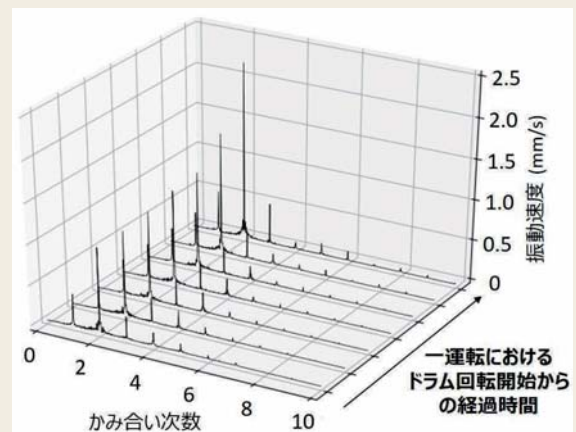


図8 3D-FFTグラフ(上昇運転時)

FFT解析は一定時間間隔で計7回実施した。時間の経過に伴って振動レベルが増大している。この要因として、ロープ張力の作用点(ワイヤロープの掛かる位置)が移動することで力のつり合いおよびモーメントのつり合いに変化が生じ、それに応じてドラムギヤ側のすべり軸受に作用する荷重が減少し、振動が増大したと考えられる。この事例では、周波数解析および振動速度(実効値)の変化が認められ傾向管理によって、予知保全に有効と考えられる。

4.3 ワイヤロープの寿命予測

ワイヤロープウインチ式開閉装置にとってワイヤロープの健全性を確保することは非常に重要である。

国土交通省のマニュアル¹⁾では、常時運転状態にある設備のワイヤロープの取替・更新の目安として、専門技術者による精密診断、あるいは総合判断を実施すべき年数は8年、装置・機器の取替・更新を考えるべき年数は18年が望ましいと述べられている。

ワイヤロープの取替・更新はこのような時間基準、あるいは定期点検に基づいた予防保全を前提としている。

そこで、予知保全の観点から本システムでは、ロープ伸び量とロープに張力が作用する累積時間との関係から、ワイヤロープの残存寿命を予測する手法を検討した。

ロープ伸び量の推移を図9に2つの水門設備における2013年5月から2019年3月まで期間にて示す。縦軸の数値はゲート着床時のロープ長さに基づいて百分率で表記している。

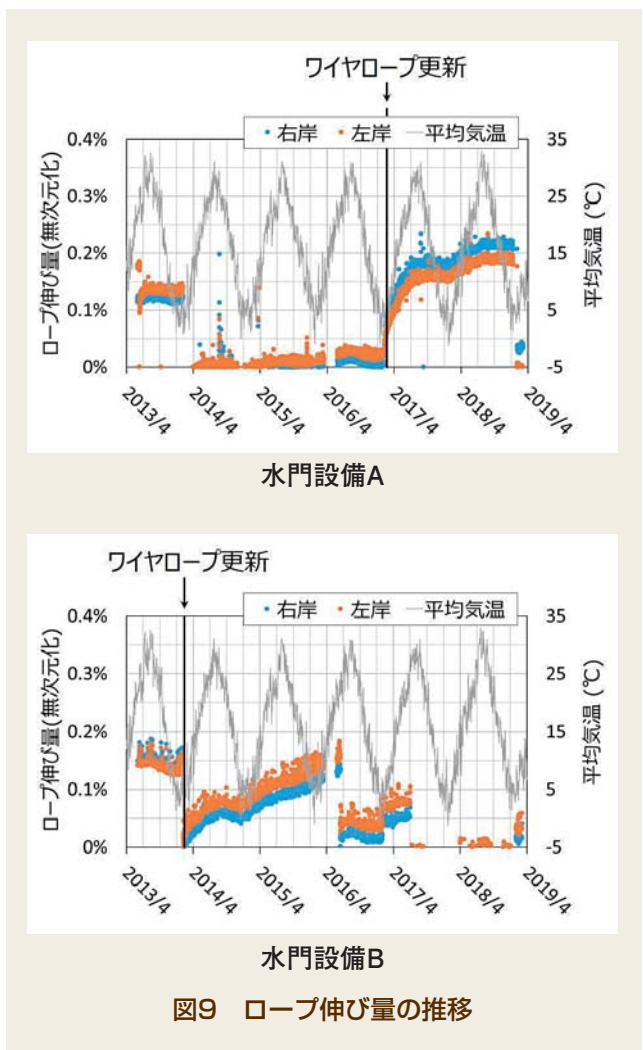


図9 ロープ伸び量の推移

ワイヤロープ更新後のロープ伸び量の傾きが2つの設備で異なっている。また、水門設備Aにおいては気温の変動に伴ってロープ伸び量が変化している傾向が確認できる。なお、それぞれの図においていくつかの時期にロープ伸び量が不連続になっているが、これはメンテナンス時にロープ伸び量の計測機器を調整したためであり、ワ

イヤロープの寿命予測時には、このような調整の影響を除いた評価が必要である。

ロープ伸び量に影響を及ぼす主要因として、ロープ張力の作用時間が挙げられる。水門設備によって稼働頻度や運用の仕方は異なり、頻繁に稼働する設備もあれば常時開状態、あるいは常時閉状態にある設備もある。そのため、経過時間ではなくロープ張力の作用時間に対するロープ伸び量を評価することで稼働実態に即した寿命予測が可能となる。

図10に水門設備Aにおける2017年2月のワイヤロープ更新以後のロープ張力作用時間とロープ伸び量の関係を示す。

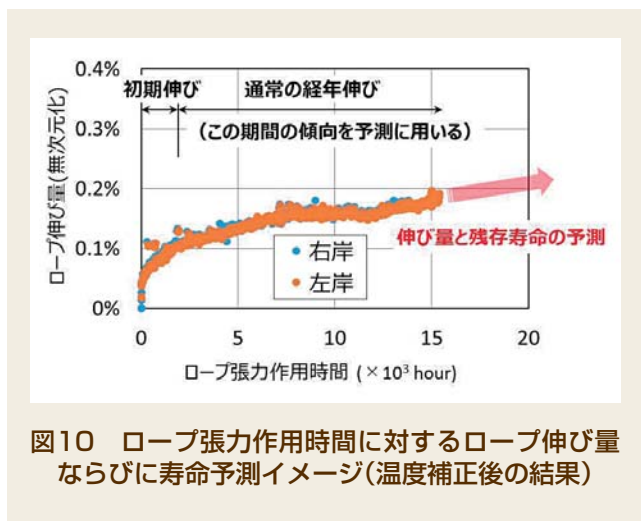


図10 ロープ張力作用時間に対するロープ伸び量ならびに寿命予測イメージ(温度補正後の結果)

ロープ張力作用時間がおよそ2,000時間経過するまでは初期伸びが生じ、その後はロープ伸び量が緩やかに推移している。ワイヤロープの疲労寿命に影響を及ぼすパラメータに関する研究報告⁴⁾では、ロープの経年伸びは初期伸び以降、直線的に増加し、ロープ寿命に近くと再度傾きが大きくなることが報告されている。

傾向管理として計測値に基づいて閾値を設定し、ロープ伸び量の推移に対して予測曲線を引くことでワイヤロープの残存寿命予測が可能と考える。

5. 結言

ICTを活用した、水門運転状態管理・診断システムの概要を述べるとともに、収集例や開閉装置の精密診断例において本システム活用的一端を紹介した。

本システムは、水門設備の改造を伴わないため新設・既設を問わず設置が可能であり、かつ水門設備の制御系などとは独立しているため、水門設備の運用には支障をきたさない。

IoTにより山間部などからもデータ収集が可能となり運転状態のリアルタイムな確認なども容易となる。

さらに、本システムは、長期のデータ蓄積が可能であり、予知保全など保全計画検討の支援なども可能になると考える。

また、本システムにより顧客と当社とがデータを共有す

ることにより、問題発生時の把握と対応が迅速に行えると考えている。

運転レポートや日々の収集データから、異常傾向・不具合が確認された際に解析、対策検討などの技術的サポートをタイムリーに当社から顧客に提供できる環境としてA.I/TEC[®]が整備されている。

本システムの活用により顧客のご要望に応えられるような改善を鋭意、実施していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 水管理・国土保全局 河川環境課, ダム用ゲート設備等点検整備・更新マニュアル(案), 2018.
- 2) Hitz技報, 2018, No1, Vol.79.
- 3) 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 施工安全企画室, ダム用ゲート設備等点検・整備標準要領(案), 2018, 添付3-11.
- 4) P.T.Gibson ; F.G.White ; L.A.Schalit ; R.E.Thomas ; R.W.Cote ; H.A.Cress : FINAL REPORT on A STUDY OF PARAMETERS THAT INFLUENCE WIRE-ROPE FATIGUE LIFE to NAVAL SHIP SYSTEMS COMMAND, 1974, 81-82.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 事業企画・技術開発本部
技術研究所 知能機械研究センター
林 健人
Tel : 06-6551-9173 Fax : 06-6551-9841
e-mail : ke_hayashi@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Business Planning & Technology Development
Headquarters
Technical Research Institute
Intelligent Machinery Research Center
Kento Hayashi
Tel : +81-6-6551-9173 Fax : +81-6-6551-9841
e-mail : ke_hayashi@hitachizosen.co.jp



林 健人



深井 康宏



杉本 巖生



北村 暁晴



宮本 修



藤澤 洋輔



宮本 訓兄



宮澤 健



山下 遼



和田 晃



岩室 貴之



大橋 正治