

27. 排水機場におけるDX技術を用いた維持管理の効率・高度化

国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所 ○村木 里宇

1. はじめに

排水機場は、水門閉鎖時の内水排除を目的とするインフラ施設であり、水災害対応における地域の生命・財産を守るインフラ施設である。

水門、樋門、樋管、堰、排水機場等の河川管理施設は直轄区間だけでも約1万施設存在し、その多くの施設が老朽化し更新期を迎えるようになっていく。今後10年で設置後40年を超過する施設の割合が約8割に増加するなど¹⁾、故障頻度の増加が懸念される。加えて、維持管理を担当する技術者が不在、若しくは不足している地方公共団体も多く存在し²⁾、さらには限られた予算の中で全国の排水機場の点検を行う為に、今後一層、効率的且つ高度な維持管理を行っていく事が要求される。さらに、2020年新型コロナウイルス感染拡大を契機として、社会全体でデジタル化が進展し、働き方を含め社会様式が大きく変化している。

国土交通省においては、建設現場における生産性の向上を図る、「ICT技術の全面的な活用」、「規格の標準化」、「施工時期の平準化」、「受発注者間のコミュニケーションによる施工の円滑化」を進めるi-Constructionの取り組みを行ってきている。

近年、データやデジタル技術の普及・拡大により、技術革新が急速に進み、デジタルトランスフォーメーション（DX：Digital Transformation）が様々な業界や業種で進展している。インフラ分野においても社会経済状況の厳しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して社会資本や公共サービス、また業務そのものや、組織、プロセス、風土、文化、働き方を変革し、安心安全で豊かな生活を実現すべく、2020年7月に「国土交通省インフラ分野のDX推進本部」を設置しインフラ分野の全体像の整理や各種施策の進捗状況を確認してきた³⁾。

このような背景を受け、本稿では、近畿地方整備局紀南河川国道事務所が新設する市田川排水機場において設置するポンプ設備（主ポンプ、原動機、減速機）に用いる振動計測技術、デジタル技術を用いた状態監視及び今後の取り組みについて報告するものである。

2. 河川用排水機場における保全方法

施設の点検は、設備の不具合が発生する前に整

備を実施する「予防保全」と不具合が発生した後に整備を行う「事後保全」に大別される。その「予防保全」からさらに分岐した計画が、設備毎に定められた時期をもって整備を行う「時間計画保全」と設備状態を監視し、故障や劣化の兆候から整備時期を決定する「状態監視保全」に分けられる。

排水機場には、主ポンプ設備等の大型機器や主原動機、減速機などの駆動設備等、分解整備等を行わなければ機械内部の詳細な劣化状況を十分に把握できない機械設備が多く存在しているため、これまでの技術では故障・予兆の検知が難しく、多くの河川管理施設の保全計画は、「時間計画保全」を採用している。しかし、「時間保全計画」では、不具合の有無に関わらず定められた時間で交換することで故障のリスクが低減する一方、余計なコストや労力が生じる可能性がある。

近年では、「時間計画保全」から「状態監視保全」に移行しつつあるが、河川用ポンプ設備において、状態監視を行う具体的な手法や適用事例は多くない。よって、河川用ポンプ設備の維持管理において適切な状態監視保全手法の具体化を、デジタル技術を用いて確立し、合理的な予防保全の実現を図る必要がある。

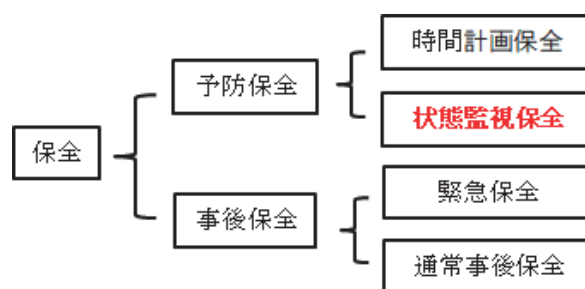


図-1 保全の分類（JISZ8115:2000）
「ディペンダビリティ（信頼性）用語」

3. 振動計測による点検

排水機場の機械設備は、ポンプやタービン、発動発電機のような回転に伴い振動する機械が多数存在する。よって、ベアリングやギア等に慢性的な大きな負荷がかかるため、設備寿命を縮める大きな要因になり得る。排水機場の機械設備のほとんどが振動する機器で構成されており、機械設備と振

動は密接な関係にあると言える。

このことから振動計測は、様々な施設の点検において用いられる事が多く、さらに計測が容易であることや回転状態がリアルタイムで確認することができ、表1の目視で確認できない多くの機器異常も振動値として現れるため、故障の原因を早期に特定し対応できるという利点がある。

これまでの河川ポンプ設備の点検は、目視点検と点検時に行う排水運転（以降、管理運転とよぶ）、さらに計測による状態監視を行い、機器の故障、劣化等を調べる。その計測は手持ち型の振動計や騒音計、温度計等を用い、管理運転と平行し診断するのが一般的である。管理運転では水位条件によって流体振動の違いによる影響を受けるため、状態の変化を比較しにくい。また、ガイドライン⁴⁾で注意値や予防保全値が設定されているが、通常の運用でその値まで振動が発生することはなく、発生してからでは遅い。

ポンプ設備は内水排除を目的とした長時間・高流量の排水運転を基に設計されているため、短時間・低流量排水である管理運転では、ポンプの振動を正しく捉えられないという課題がある。よって、管理運転のみの計測では、ポンプの正確な異常状態を捉えられない。

表-1 機器異常に対する診断法

異常原因	寸法検査	NDI法	AE法	振動法	油分析法	温度法	電流法	圧力法	五感点検
クラック・欠陥		◎	◎	○	○				○
摩耗・ガタ	◎			◎	◎				○
据付不良				◎					
変形	◎			◎					
きず・接触	◎			◎	○	◎			
圧力発生 機構異常				◎		○	○	◎	○
自励振動・共振				◎	○	◎			○
電氣的異常				◎					○

4. ポンプ流量と振動

ポンプ設備の振動要因の大部分は、機械的要因であり、その中でも「流体的振動」、「機械的振動」、「電磁的振動」に大別できる。ポンプ設備において、タービンや発動発電機などの振動機器とは異なり水の吸排水によって引き起こされる力として、ポンプの羽根車に働く流体荷重による振動がおおよそ70～80%を占めている。つまり、ポンプ設備の振動要因の大部分が流体的振動と言える。

流体的振動は、排水量によって振動の大きさが異なる。流体的振動が大半を占めるポンプ設備においては、流量と軸振動の相関性が確認されており、同一流量での振動値を比較することで、機器の状態を把握することができる。

従来の手持ち型の計測機器とは異なり、本稿で紹介する振動計測は、振動計をポンプ設備に常設し、管理運転だけでなく実排水運転を含む全ての運転の計測をできるようにすることによって、こ

れまで計測できなかった長時間・高流量の実排水運転のデータを取得できる。さらに、省力化・省人化に加えヒューマンエラーが生じる事無く、点検を定量的且つ統一的な評価で判断することが可能となる

5. 状態監視装置（振動計測機器）

振動計測機器の設置箇所と計測位置は、ガイドライン⁴⁾に示されているように、対象部位に近く、振動が直接伝わる位置且つ対象部位以外の振動の影響が受けにくい位置であることを考慮する必要がある。その他の計測機器含め、計測項目を満足する設置箇所、設置方向及び設置個数を採用した。

設置する計測機器の設置イメージを図2,3,4,5に、状態監視システム構成図を図6に、各センサと計測パラメータを表2に、データ集録装置の構成について表3に、ソフトウェアの機能について表4に示す。ここで計測方向について、Xは主ポンプ吐出方向（水平）、YはXに直交する方向（水平）、Zは鉛直方向である。

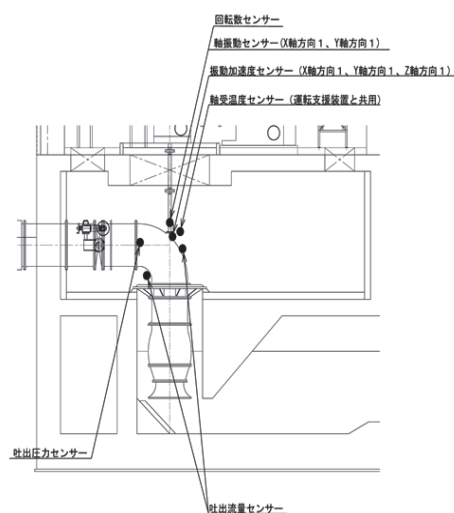


図-2 センサ設置箇所（主ポンプ：側面図）

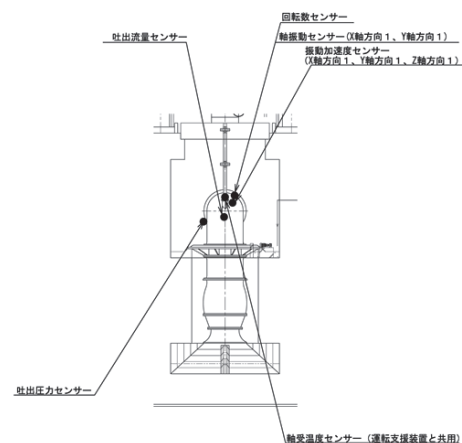


図-3 センサ設置箇所（主ポンプ：背面図）

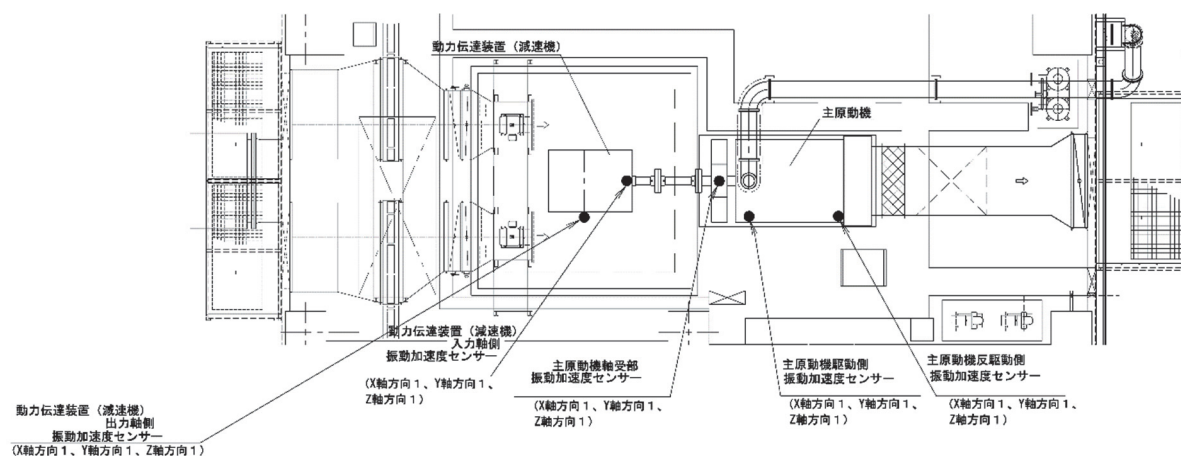


図-4 センサ設置箇所（主原動機・減速機：平面図）

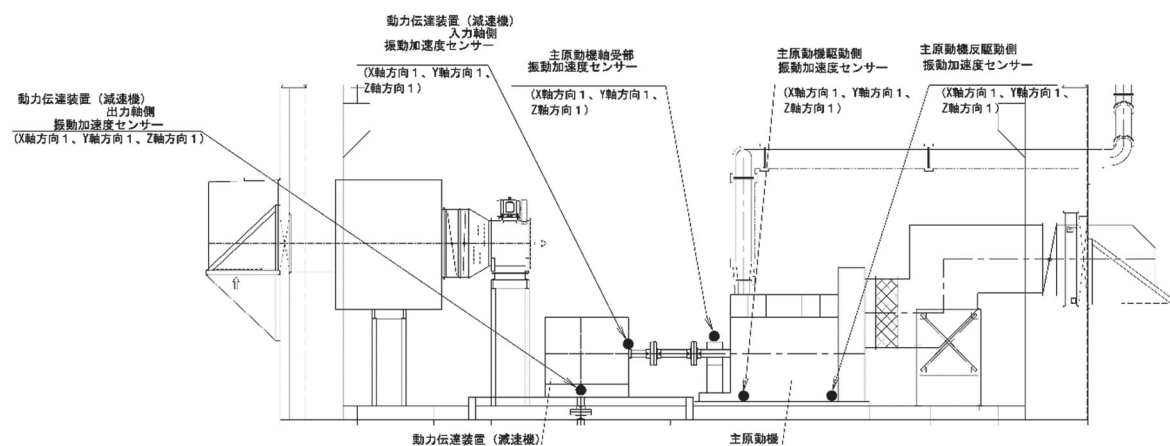


図-5 センサ設置箇所（主原動機・減速機：断面図）

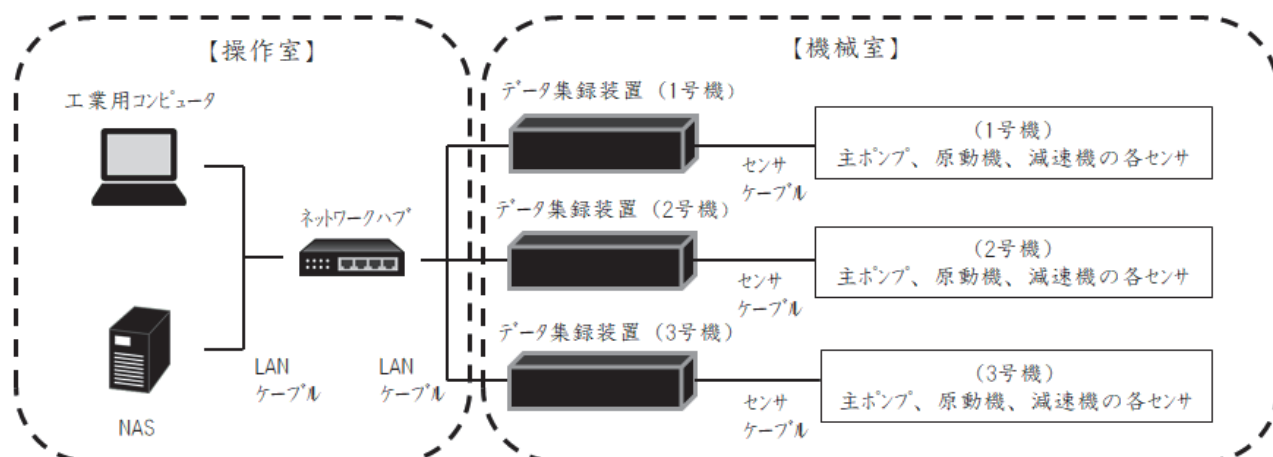


図-6 状態監視システム構成図

表-2 計測項目表

計測項目	適用センサ	計測位置		計測方向
振動加速度	アンブ内蔵型加速度センサ	主ポンプ	上部軸受箱	X
				Y
				Z
		主原動機	中間軸側（支持部）	X
				Y
				Z
			駆動側（脚部）	X
				Y
				Z
			反駆動側（脚部）	X
				Y
				Z
		減速機	入力軸側	X
				Y
				Z
			出力軸側	X
				Y
				Z
軸振動	荷電流式スペースセンサ	主ポンプ	軸封部 付近	X
回転数	光電式回転検出器	主ポンプ	軸封部 付近	Y
吐出圧力	ブリッジ式小型圧力変換器	主ポンプ	吐出管	-
吐出流量	ベンド流量計	主ポンプ	吐出管	-
軸受温度	測温抵抗体	主ポンプ	上部軸受箱	-

表-3 データ集録装置 構成表

機器名称	機能概要
コントローラ	センサ信号集録、コンピュータへのデータ送信
振動計測モジュール	振動センサ接続・計測
圧力計測モジュール	圧力センサ接続・計測
電圧計測モジュール	軸振動センサ、回転数センサ接続・計測
電流計測モジュール	吐出流量計、軸受温度計の接続・計測
接点信号入力モジュール	データ集録トリガ
フィルターモジュール	空きスロット用カバー
端子交換ケーブル (振動センサ用)	振動計測モジュール用
端子交換ケーブル (圧力センサ用)	圧力計測モジュール用

表-4 ソフトウェア 機能一覧表

機能メニュー	機能概要
傾向管理グラフ	各センサの時間波形データから演算した傾向管理指標を日時系列でグラフにプロットし、その傾向を把握する。
時間波形グラフ	各センサの時間波形データをグラフ表示させ確認する。
周波数スペクトル（単独）	振動加速度、軸振動、吐出圧力、回転数の時間波形データに対して周波数分析を行う。スペクトルに現れる特徴周波数成分を抽出し、表示させる。
周波数スペクトル（ウォーターフォール）	振動加速度、軸振動、吐出圧力、回転数の時間波形データに対して周波数分析を行い、3Dグラフの奥行き方向に、周波数スペクトルを日時系列で並べることで各周波数成分の変化を把握する。
軸振動オービット	主ポンプの主軸に対して相互に90度の角度で水平に設置された軸振動センサのデータを正方形グラフに表示することで、主軸の揺れ回り挙動を把握する。
軸振動ボア線図	軸振動センサ及び回転数センサのデータを用いて、軸振動ボア線図を描画する。ボア線図は、軸振動の振幅値と位相角を極座標で表現し、現在と過去のボア線図を比較することで、回転体に生じているアンバランスの変化を把握する。

6. 今後の取り組み

6.1 計測データの蓄積

計測データの判定を行うために、計測機器の設置から管理運転、実排水運転の計測データを毎年継続してモニタリングし、蓄積することが必要となる。表4のソフトウェアの機能は傾向管理、周波数分析、軸振動分析から得られた各グラフの表示までを行うもので、これらグラフを基にした主ポンプ・原動機・減速機の詳細診断や健全度評価までをシステムが自動で行うものではない。そのため、計測技術を扱う設備管理者として得られた蓄

積データから、データと設備状態の関連性と特徴を把握する。

6.2 解析と診断手法の確立

前述のとおり得られたデータを解析し、原因の追及、対策の検討を行っていく必要があるが、その取得・蓄積したデータをどのように解析・診断していくか、振動と流量を紐付けした解析・診断手法を確立する必要がある。

6.3 点検に活用

現在の点検項目と状態監視による傾向管理で点検結果の関連性を検証し、代替が可能な項目については今回の振動計測技術による代替を行うことで、点検作業の省力化や定期整備間隔の合理化などの維持管理の効率化、さらには目視による点検結果の補完による点検の信頼性向上に繋がるものとする。

7. まとめ

振動と流量に着目した計測技術を用いることで、同一流量での振動値を比較することができる。また、状態監視により交換が必要な消耗品の部品と継続の使用が可能な部品に分類することが可能となり、適正な時期での部品交換を行う判断になり、修繕費用算定の絞り込みや不可視部分の部品の信頼性が向上し、適正な時期で分解整備することができる。さらには、設備の状態を遠隔で確認することによって、これまでの業務と比べて、時間や人手の必要が少なくなり、働き方が大きく変化すると想定できる。

得られた計測データは各グラフの表示までを行うものから、いずれはグラフから自動的に診断や健全度評価を行うなど、さらなるデジタル技術を取り込む余地は数多あると考えられる。今後のインフラ施設を支える管理者として、今後のDX技術の研鑽に励みたい。

参考文献

- 1) 大臣官房 技術調査課 電気通信室・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 河川保全企画室：河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン , p.4 ,2011
- 2) 国土交通省 総合政策局：インフラ長寿命化基本計画 , p.1, 2013
- 3) 国土交通省：インフラ分野のDXアクションプラン, pp.1～12, 2022
- 4) 国土交通省：河川用ポンプ設備状態監視ガイドライン（案）, 2018
- 5) 国土交通省：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）, 2015
- 6) 近畿地方整備局：土木機械設備診断委員会会議資料, 2021