

河川ポンプの多様な診断技術

中島淳一・梶田洋規・藤野健一

1. はじめに

河川ポンプ設備は、国や自治体等を主体に洪水被害防止を目的とする排水機場設備（図-1）として管理運用されており、豪雨等による異常出水時に確実な稼働が求められる極めて重要な「非」常用設備である。また、全国的に設備の老朽化が進行しており、国土交通省所管の設備を例にとると、平成27年度の時点で全設備数の約50%が設置後20年を経過（図-2）しており、故障発生の増加が懸念される。一方、昨今の気象の激化により集中豪雨が増加傾向にあり（図-3、図-4）、排水機場の稼働機会の増加が予想され、その重要性は益々高まっている。設備管理者としては、まず第一に確実な稼働を確保できること、更には厳しい予算状況下において、いち早く異常を察知して修理費用が大きくなる前に、必要最低限の費用での復旧を望んでいる。「診断技術」はこのようなニーズに貢献し得る有力な手段の一つと言える。本稿では老朽化する設備診断への効果や効率化が期待される多様な診断技術の適用性について報告する。

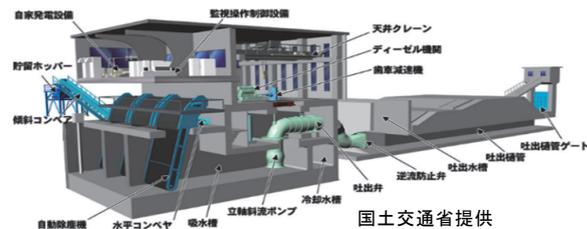


図-1 排水機場ポンプ設備の模式図

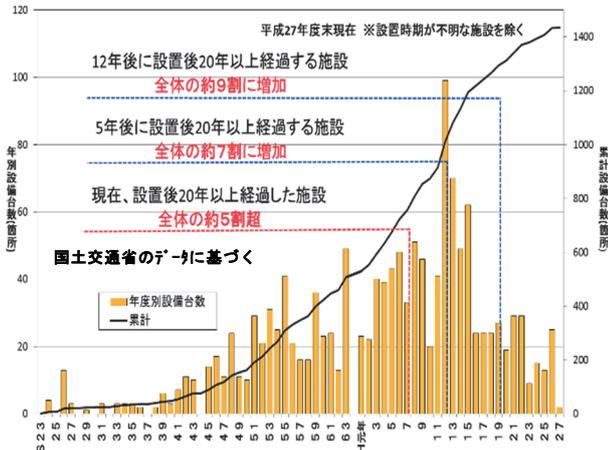


図-2 年代別設備台数の推移

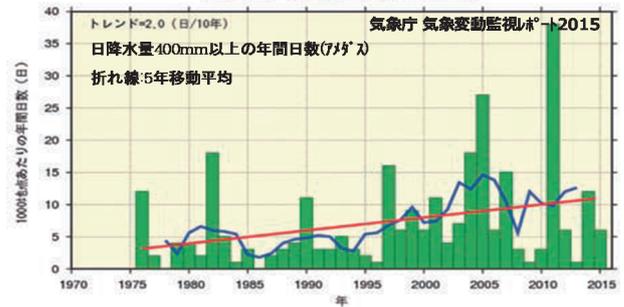


図-3 大雨発生頻度の推移

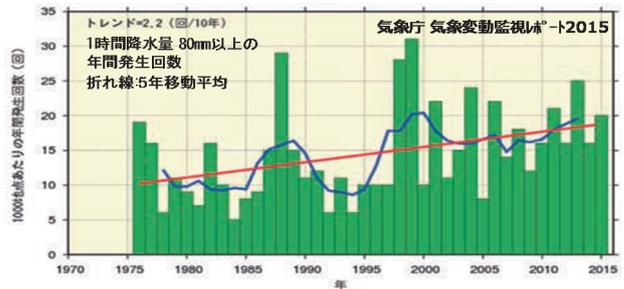


図-4 集中豪雨発生頻度の推移

2. 計測・診断技術の現状

設備の維持管理には、予防保全と事後保全があるが、排水機場のような重要な設備では予防保全により故障を未然に防ぐ必要がある。予防保全には、定期又は稼働時間に応じて行う時間計画保全と設備の状態に応じて行う状態監視保全がある。時間計画保全は、定期的に決められたメニューで行うのが一般的であり、オーバーメンテナンスになる恐れがある。そこで、この欠点を克服でき、厳しい予算状況下で維持・修繕予算の縮減が期待できる状態監視保全を積極的に適用するようになってきている。この方法を支えるのが、計測・診断技術であり、より一層の対象設備への適用性向上が求められている。

当該技術の向上が強く求められる背景として、排水機場は一般の産業用設備のように常時稼働している設備ではなく、有事の際などに稼働する「非」常用設備であり、日常的な稼働がないため、設備の調子を見極めは難しい。また、必ずしも常用設備の技術をそのまま流用できない側面もあるなど、設備の特異性が適正な計測、診断をより一層難しくしている。従って、本運転の少ない排水

機場の状態監視のための計測は、月点検時の管理運転（定格運転に達しない場合も多い）などのタイミングで行うこととなる。

ポンプ設備の状態監視は主にポンプ本体、主軸、軸受け、減速機の振動をポータブル振動計（加速度測定）等により計測したり、各部（原動機を含む）の温度をピンポイントで測定するのが標準的であり、その中には必要に応じ傾向管理する項目が含まれている。

3. 診断事例

土木研究所では、前述の排水機場の特異性にも適用可能な多様な診断技術を試行しており、その一端を紹介する。

3.1 渦電流式変位計

渦電流式変位計は、高周波電流により発生した磁界内に金属を介在させると渦電流が発生することから、この電流値が距離に比例する性質を利用して変位を直接計測するというものである。特に低回転のポンプ主軸を汎用の加速度計から変位に変換処理するよりも精度よく計測できるメリットがある。当該計測器を用いた診断事例を以下に示す。立軸軸流ポンプ主軸の回転振れ回り変位を計測（写真-1）したところ、図-5 に示す結果が得られた。これを周波数分析した結果、その卓越周波数の内の一つが軸回転数と羽根枚数の積と一致（図-6）していたことから、羽根の異常が疑われた。この分析を基に内視鏡による精密診断を実施（写真-2）したところ、羽根車の損耗が確認された。

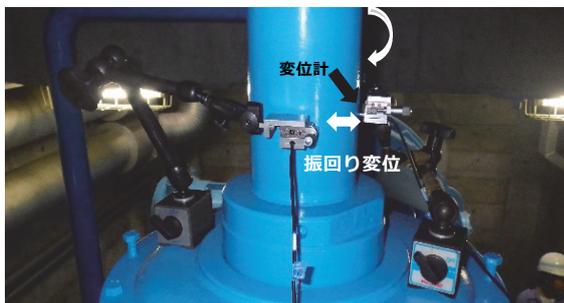


写真-1 渦電流式変位計のポンプ主軸への設置状況

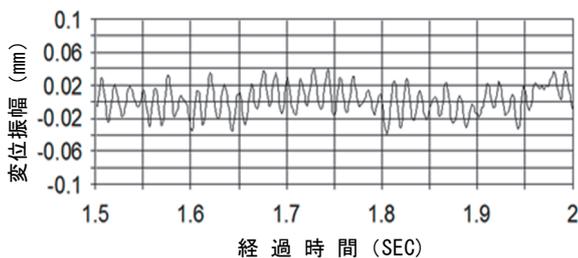


図-5 ポンプ主軸振回りの変位波形

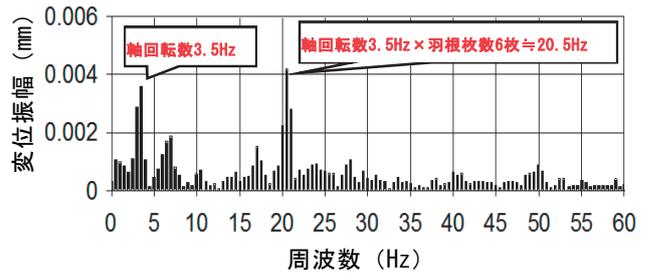


図-6 ポンプ主軸振回りの変位波形の周波数

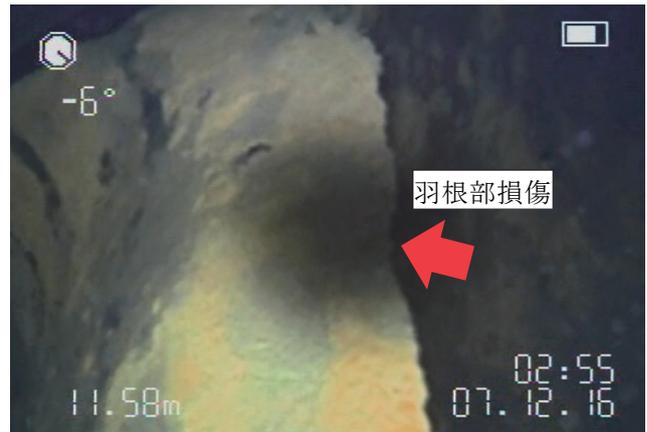


写真-2 内視鏡写真による羽根部の損傷状況

3.2 AE（アコースティック・エミッション）

AEは、物質が変形・破壊する際に、それまで蓄えられていたひずみエネルギーが解放され、その一部が弾性波（AE波）として放出される現象を利用した計測手法である。加速度計が不得手な低回転の軸受けなどにおいて異常振動が発生する前段階で、異常の予兆を捕らえ、重大な故障を未然に防げる可能性が期待できる。

AEセンサをポンプを駆動するディーゼルエンジンの動力を減速機に伝達する伝導軸の軸受けに設置（写真-3）し、AE波形を計測した。その結果得られたのが図-8に示す波形である。これは正常な波形（図-7）とは明らかに異なっており、何らかの異常が疑われる。



写真-3 伝導軸受へのAEセンサの設置状況

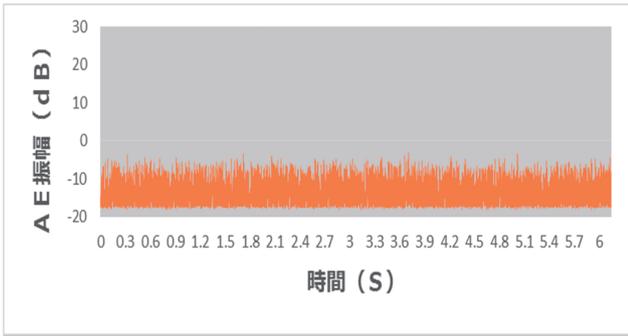


図-7 正常なAE検波信号波形式例

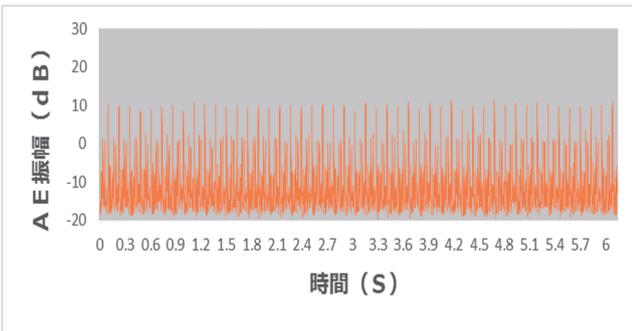


図-8 異常が疑われるAE検波信号波形式例

3.3 圧力計

排水機場で主流の立軸型ポンプは、センサ取付け可能な床上部が故障の発生し易い羽根車や水中軸受部から離れており、異常診断が難しい。そこで、ポンプ吐出圧力を計測することにより、異常の診断ができないか取り組んでいる。

既設のブルドン管圧力計の管路を分岐してダイアフラム式圧力計を追加設置し、吐出圧力脈動を計測した。図-9～図-12に示すように同型機相互において水中軸受けの異常や羽根車の損耗程度に差がある場合、圧力振幅の変動幅に差異が生じており、これらの異常傾向を検知できる可能性を示すものである。

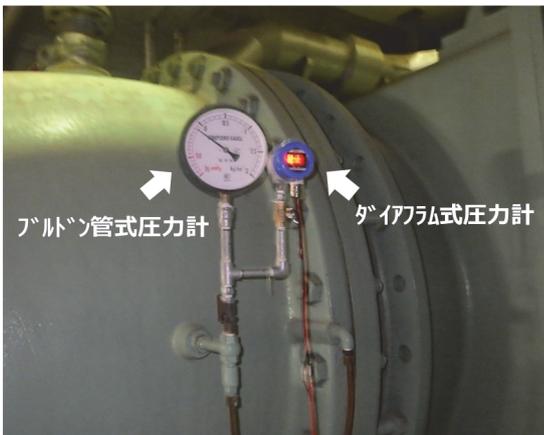


写真-4 吐出管へのダイアフラム式圧力計の設置状況

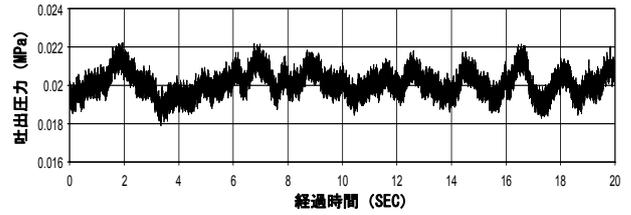


図-9 水中軸受に異常傾向のないケース

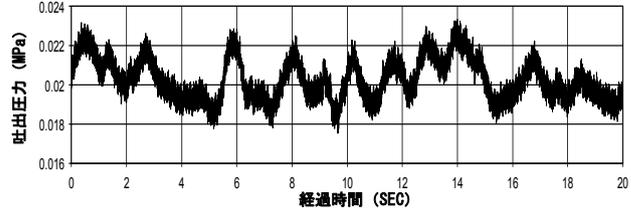


図-10 水中軸受けに異常の疑いがあるケース

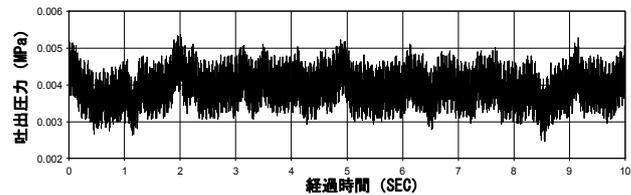


図-11 羽根損耗程度の小さいケース

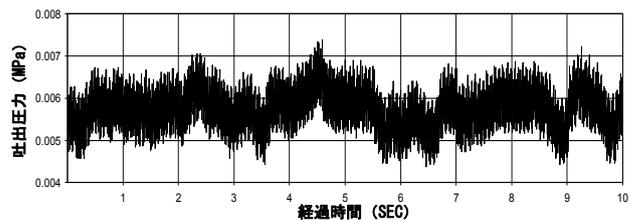


図-12 羽根車損耗程度の大きいケース

3.4 赤外線サーモグラフィ

赤外線サーモグラフィは、物体から放射される赤外線を検知し、リアルタイムかつ非接触で面的に対象物の温度分布を簡易に計測・記録できる。また、異常加熱の箇所や程度の確認が可能である。

本装置を伝導軸の軸受けの異常検出に適用した(写真-5)。同型機相互の運転時間経過毎の温度分布について比較したところ、特に運転10分後から20分後の温度上昇差が2倍程度となるケース(写真-6)が確認されており、潤滑不良など何らかの異常兆候を示すものである。



写真-5 軸受及び携帯型赤外線サーモグラフィ装置

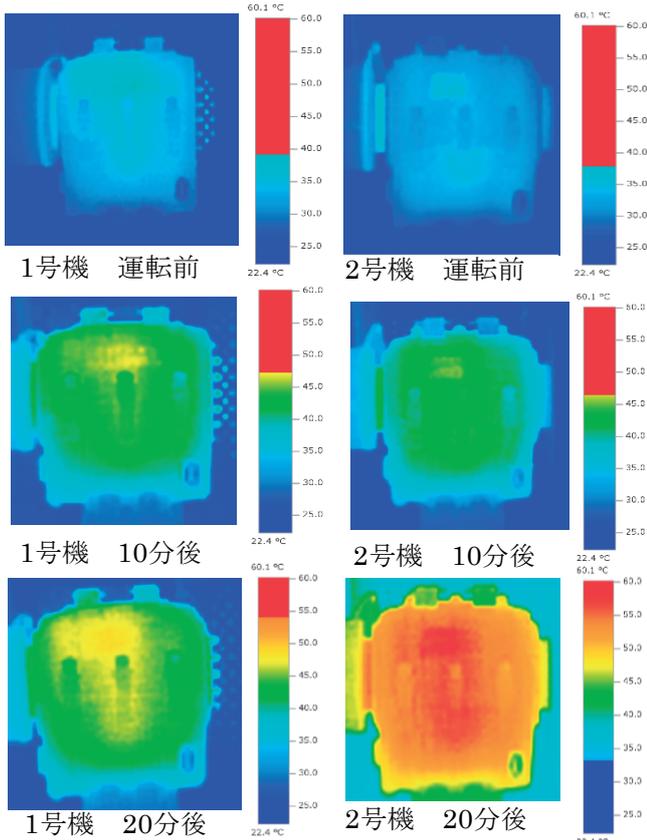


写真-6 運転経過に伴う軸受温度分布の推移

3.5 排ガス分析計

原動機の異常診断には、排気温度やCO、NO_x等の濃度計測が可能な排ガス分析計の利用が考えられる。ガスタービンではタービン翼などの高温部品の亀裂やコーティング剥離、燃焼振動による燃焼器の損傷等により、排ガス温度の変化やNO_x濃度の増加が生じるケースが報告されており、これらを検知することで、損傷等の診断の手掛かりとなることが期待される。

本稿では、ポンプ駆動用ガスタービンの異常診断に排ガス濃度計測(写真-7)を適用し、同型機相互のNO成分濃度を比較したところ、同型機の2号機より1号機の数値が高いことが確認された(図-13)。この差異が問題となるか、また、その原因については更なる調査が必要である。



写真-7 排ガス測定状況

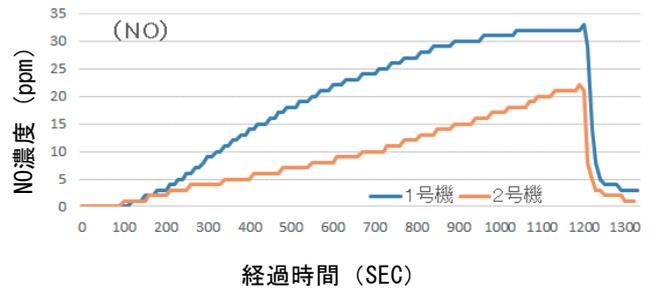


図-13 NO成分濃度比較

4. まとめ

以上、河川ポンプの多様な診断の取組みについて紹介したところであるが、何れの診断手法も、対象設備毎の標準値(正常値)が把握されている必要がある。標準値は、同一設備でも運転条件や稼働時間などにより異なるので、一定条件下で計測することが大事であり、設備毎の傾向管理が必要となる。また、異常診断のしきい値は、機種により異なるので異常現象とその時の計測値相互の検証の蓄積により、獲得することが可能となる。従って、これらをデータベース化し、全国レベルでのビッグデータ化に取り組むことで、より効果的、効率的な設備診断が期待できる。

参考文献

- 1) 上野仁士、藤野健一、竹田英之：河川ポンプ設備における状態監視技術に関する研究、平成24年度建設施工と建設機械シンポジウム、2012
- 2) 上野仁士、藤野健一、田中義光：アセットマネジメントに向けた河川ポンプ設備の状態監視保全技術、土木技術資料、第55巻、第8号、pp.22~25、2013

中島淳一



土木研究所技術推進本部先端技術チーム 主任研究員
Junichi NAKAJIMA

梶田洋規



土木研究所技術推進本部 上席研究員
Hiroki KAJITA

藤野健一



土木研究所技術推進本部先端技術チーム 主席研究員
Kenichi FUJINO