

# 農業用排水機場の状態監視技術の検証に向けた調査計画

札幌開発建設部 農業計画課 ○須藤 勇二

用排水機場の機械設備の保全方式は、これまで主に時間計画保全の考え方に基づいてきたが、状態監視保全に切り替えることによりライフサイクルコストを低減することが期待されている。そこで、状態監視の基礎的技術である潤滑診断及び振動診断について、特定の施設における調査結果を蓄積し、観測値の経時変化から設備に発生する変状を早期に検知することが可能か検証するための調査を今年度から開始したので、調査計画を報告する。

キーワード：ストックマネジメント、潤滑診断、振動診断、用排水機場

## 1. はじめに

### (1) 背景

用排水機場の機械設備の保全方式は、これまで主に時間計画保全の考え方に基づいてきたが、状態監視保全に切り替えることによりライフサイクルコストを低減することが期待されている。

2021年（令和3年）には農林水産省により「農業用施設機械（ポンプ設備）における状態監視の手引き（案）」<sup>1)</sup>及び「農業用施設機械（ポンプ設備）における簡易潤滑診断マニュアル（案）」<sup>2)</sup>が策定されたが、状態監視保全への切り替えは進んでいない。

### (2) 調査の目的

そこで、一定時間の経過毎に保全を行う時間計画保全から、観測等により設備の状態を監視しつつ保全を行う状態監視保全への切り替えを促進するため、基礎的技術である潤滑診断及び振動診断について、特定の施設における調査結果を蓄積し、観測値の経時変化から設備に発生する変状を早期に検知することが可能か検証する。また、潤滑診断については簡易機能診断装置による診断を同時に実施し、簡易装置を用いた傾向監視の手順を検証する。

### (3) 本報の位置づけ

上記を目的として、札幌開発建設部では国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）により今年度（2023年度（令和5年度））から5年間現地調査を行うこととしている。本報では、その調査計画を報告する。

## 2. 技術高度化事業について

国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）は、診断技術や対策工法といったストックマネジメント技術の高度化等を目的とした事業であり、前身の事業であるストックマネジメント技術高度化事業は2008年度（平成20年度）に開始された。また、2013年度（平成25年度）からは、技術高度化事業において特に重点的に取り組むべき事項について全国検証テーマを設定してきた。ポンプ設備の潤滑診断及び振動診断は、2013年度（平成25年度）から現在まで継続的に全国検証テーマに設定されてきた課題である。

## 3. 既往研究、文献及び課題

潤滑診断及び振動診断は、産業用機械設備の分野で発展してきた技術であり、農業用排水機場の機能診断にも近年では用いられるようになってきている。既往研究、文献で代表的と思われるものや課題を以下に示す。

### (1) メンテナンストライボロジー<sup>3)</sup>

（社）日本トライボロジー学会が2006年（平成18年）に発行した書籍であり、メンテナンスについて、トライボロジー的観点で学問体系として整理している。なお、トライボロジーとは、固体の摩擦面で生ずるさまざまな現象を取り扱う工学の学際領域に、1966年（昭和41年）に付けられた名前である。

### (2) 農業用ポンプ設備への状態監視診断技術の適用に関する研究<sup>4)</sup>

農研機構の國枝正が2017年（平成29年）に発表した論文であり、それまで散発的に行われてきた農業用ポンプ

設備への潤滑診断の適用について、突発的な故障リスクを低減するための新たな機械診断システムとして体系的に取りまとめ導入への方向性を示している。

### (3) 農業用施設機械（ポンプ設備）における状態監視の手引き（案）<sup>1)</sup>（以下、「手引き（案）」という。）

農林水産省が2021年（令和3年）に策定した手引きであり、状態監視手法により、ポンプ設備内部の状況を定量的に把握し、各測定値の傾向管理を行うことで、ポンプ設備の点検、機能診断作業の効率化、点検整備費用の削減、突発事故の回避や信頼性の向上に資することを目的として編纂された。

### (4) 課題

手引き（案）にあるとおり「現状では農業用施設機械（ポンプ設備）の多様性から、各状態監視手法を用いた設備状態の判断基準値を示すことが難しい状況」<sup>5)</sup>にある。そのため、状態監視データを蓄積していくことにより、「今後、状態監視技術を確立していくこと」<sup>6)</sup>が課題となっている。

揚水機場と排水機場は運転形態が異なることから、異常発生箇所が異なる可能性が考えられる。そのため対象施設は、札幌開発建設部管内の基幹的農業水利施設のなかの揚水機場及び排水機場から各2機場選定することとし、揚水機場として北生振揚水機場及びシップ揚水機場、排水機場として弥生排水機場及び金子排水機場を選定した（図-2、表-1、写真-1～4）。

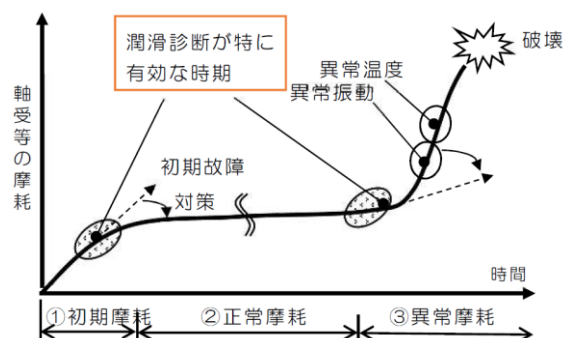


図-1 摩耗の進行と診断技術<sup>7)</sup>

## 4. 調査の理論枠組み（仮説）

調査の枠組みとして、以下の仮説を想定している。

手引き（案）によると、図-1のとおり「潤滑診断は早い段階で異常の有無・異常部位・原因等を把握することが可能」<sup>7)</sup>とされている。また、潤滑診断よりは遅いものの、異常が発生すると異常振動が発生するため振動診断でも破壊の前に異常を把握することが可能と考えられる。

本調査では、特定の施設における調査結果を蓄積することにより、正常状態から異常状態に切り替わるタイミングでどのように観測値が変化するか、実データで示すことが可能となる。



地理院地図で作製

図-2 調査対象施設位置図

## 5. 対象施設

表-1 調査対象施設概要

| 施設名称    | 所在地   | ポンプ形式      | 口径(mm) | 台数 | 施工年度   |
|---------|-------|------------|--------|----|--------|
| 北生振揚水機場 | 石狩市   | 横軸両吸込渦巻ポンプ | φ 800  | 3  | 2007年度 |
| シップ揚水機場 | 石狩市   | 横軸両吸込渦巻ポンプ | φ 250  | 2  | 1997年度 |
| 弥生排水機場  | 新十津川町 | 横軸斜流ポンプ    | φ 900  | 2  | 2003年度 |
| 金子排水機場  | 岩見沢市  | 横軸斜流ポンプ    | φ 1350 | 4  | 1989年度 |



写真-1 北生振揚水機



写真-2 シップ揚水機場



写真-3 弥生排水機場



写真-4 金子排水機場

## 6. 調査方法

以下の方法により、調査・分析を行う。

### (1) 聞き取り調査

施設管理者から、現地調査の工程調整やコスト分析・リスク整理に必要な情報の聞き取りを行う。

### (2) 現地調査

#### a) 潤滑診断

一定時間設備を運転して潤滑剤を攪拌した後に潤滑材を採取する。

#### b) 振動診断

上記の運転に合わせて振動調査を行う。

### (3) 分析・傾向整理

#### a) 潤滑診断

現地調査で採取した潤滑剤を分析する。分析項目は

表-2のとおり。また、簡易潤滑診断装置を用いた診断も行う。

#### b) 振動診断

現地調査で観測した振動を分析する。分析項目は表-2のとおり。

#### c) 傾向整理

上記の潤滑診断及び振動診断の結果の経時的な変化を傾向整理する。

### (4) コスト分析

a) 非分解調査及び分解整備にかかる費用を整理する。

b) 保全方式の違いによる必要な費用の差を整理する。

c) 時間計画保全から状態監視保全に変更することにより分解整備の間隔をどの程度延伸すると、状態監視保全の方がコスト的に有利になるか整理する。

### (5) リスク整理

a) 非分解調査で把握可能な変状と、把握不可能な変状を整理する。

- b) 分解整備を行うタイミングを決める要因を整理する。
- c) 時間計画保全から状態監視保全に切り替えることで増減するリスクを整理する。

8. おわりに

7. 調査スケジュール

調査スケジュールは、表-3 のとおり令和4年度に調査計画の検討を行った後、令和5年度から令和9年度までの5年間で現地調査を予定している。

本調査により、正常状態から異常状態への変化のタイミングでどのように観測値が変化するか実データで示すことができれば、非分解による調査手法への信頼が向上し、状態監視保全への切り替えが促進されてライフサイクルコスト低減が期待できる。

表-2 潤滑診断及び振動診断の分析項目

| 項目                           | 内容                                                                                                                                                               |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 潤滑診断                         | 対象設備を一定時間運転して潤滑油を十分に攪拌した後、潤滑剤を採取して、採取した潤滑剤を用いて潤滑診断を行う。                                                                                                           |
| 粘度<br>(mm <sup>2</sup> /s)   | 40℃における動粘度により評価する。粘度変化と劣化には相関があり、動粘度の変化率を監視することで、潤滑特性の健全性の確認になると同時に、劣化の指標とすることができる。                                                                              |
| 水分<br>(ppm)                  | 油中の水分量により評価する。潤滑油に混入した水分は、系の錆発生、潤滑油の劣化の加速触媒となったり、軸受の異常摩耗の原因にもなるため、水分濃度を監視することで設備機械の故障予防に繋げることができる。                                                               |
| 全酸価<br>(mgKOH/g)             | 水酸化カリウムにより油中酸成分を中和することで酸化度合いを測定し評価する。潤滑油が劣化した場合、油中には「酸成分」が増加し錆発生の原因となったり、軸受の酸化摩耗の原因となるため、全酸化は重要な指標となる。                                                           |
| 質量汚染度<br>(mg/100ml)          | 潤滑油中の不溶性汚染物の質量により評価する。潤滑油中の質量汚染度が悪化する主因は潤滑油の劣化であり、劣化が進むと粘着性のある劣化生成物(スラッジ)が油中に生成される。この劣化生成物は、粘着性があるため機器の不動作現象の原因になることから、障害予防のためには重要分析項目である。                       |
| 計数汚染度                        | 潤滑油中の粒子数をサイズ別に測定することで、潤滑油の汚染度を評価する。潤滑油中の粒子数増加の原因は、外部から混入する「塵芥」と、摩耗により発生する「摩耗粒子」とに分けられる。油圧機器類において、汚染度が上昇してくると、機器の不動作現象が発生する等のトラブルにつながる場合があるため、計数汚染度は重要な指標となる。     |
| 定量フェログラフィー                   | 摩耗粒子の量を測定し、摩耗程度、摩耗の過酷度を判定する。摩耗粒子のうち、正常摩耗粒子は小さく、異常摩耗粒子は大きいことが多い、という現象を利用し、大摩耗粒子と小摩耗粒子に分け、式(1)を用いて異常摩耗指数(Is値)を算定する。<br>$Is値 = (PI + PS) / (PI - PS) = PI^2 - PS^2$ |
| 分析フェログラフィー                   | 摩耗粒子を光学顕微鏡で直接観察し、摩耗原因、摩耗箇所を判定する。摩耗粒子は、その発生原因(正常摩耗、凝着摩耗、疲労摩耗等)により形態が異なるという性質を利用し、摩耗粒子の観察結果から潤滑状態を診断する。                                                            |
| 赤外線吸収スペクトル                   | 有機物の同定・確認、酸化防止剤・酸化劣化物の測定を行う。試料に赤外光を照射し吸収のスペクトルを測定する方法により、化学結合した物質の定性、定量を行う。                                                                                      |
| 油中金属濃度<br>(SOAP-T) (ppm)     | 油中金属の元素とイオン濃度及び粒子濃度を測定する。油中金属粒子の絶対量が算定できることから、対象部位の摩耗体積を評価できる。                                                                                                   |
| 光学顕微鏡写真                      | 0.8 μmのフィルターで濾過された油中夾雑物を直接観察する。                                                                                                                                  |
| 振動診断                         | 対照設備に対し、水平方向・垂直方向・軸方向の3方向の振動を測定するため3箇所に振動センサを設置し、速度及び振動加速度を計測し、周波数解析を行う。                                                                                         |
| 振動速度<br>(mm/s)               | 基準を超過した場合は、アンバランス、軸曲がり、ゆるみ、基礎の脆弱などが推定できる。                                                                                                                        |
| 振動加速度<br>(m/s <sup>2</sup> ) | 基準を超過した場合は、転がり軸受の損傷・接触、歯車の摩耗・欠けなどが推定できる。                                                                                                                         |
| 周波数解析                        | 異常が発生している場所の特定に資する情報を得ることができる。                                                                                                                                   |

表-3 調査スケジュール (予定)

|         | R4<br>(2022) | R5<br>(2023) | R6<br>(2024) | R7<br>(2025) | R8<br>(2026) | R9<br>(2027) |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 調査計画の検討 | ――           |              |              |              |              |              |
| 潤滑診断    |              | ――           |              |              |              |              |
| 振動診断    |              | ――           |              |              |              |              |
| 傾向整理    |              |              | ――           | ――           | ――           | ――           |
| コスト分析   |              |              | ――           | ――           |              |              |
| リスク整理   |              |              | ――           | ――           |              |              |
| 取りまとめ   |              |              |              |              | ――           | ――           |

#### 参考文献

- 1) 農林水産省：農業用施設機械（ポンプ設備）における状態監視の手引き（案）、2021.
- 2) 農林水産省：農業用施設機械（ポンプ設備）における簡易潤滑診断マニュアル（案）、2021.
- 3) (社) 日本トライボロジー学会：メンテナンストライボロジー、2006.
- 4) 國枝正：農業用ポンプ設備への状態監視診断技術の適用に関する研究、農研機構研究報告、2017.
- 5) 農林水産省：農業用施設機械（ポンプ設備）における状態監視の手引き（案）、p. 1-1、2021.
- 6) 農林水産省：農業用施設機械（ポンプ設備）における状態監視の手引き（案）、p. 1-2、2021.
- 7) 農林水産省：農業用施設機械（ポンプ設備）における状態監視の手引き（案）、p. 3-7、2021.