

揚水機場における潤滑診断調査結果について

室蘭開発建設部 農業開発課 ○田村 駿
馬島 修
株式会社アルト技研 高橋 淑紹

揚水機の分解点検整備は、時間やコストを要し、ポンプの使用頻度等によって点検間隔が違いため、施設管理者の負担であることから、低コストで簡易的な診断による健全度評価が求められている。

本報は、国営かんがい排水事業安平川地区及び直轄かんがい排水事業早来地区により造成された勇払郡安平町の2つの揚水機場を対象に、令和3年度に行った非分解で実施可能な潤滑診断調査結果などについて報告する。

キーワード：潤滑診断、振動診断、内部カメラ診断、非分解、ポンプ簡易診断手法

1. はじめに

揚水機場では、万が一の故障などに対する危険分散を考慮し、複数台のポンプが設置されていることが多いが、ポンプ毎の稼働時間に差が生じている状況が見られる。そのため、ポンプの使用頻度等による分解点検整備の適切な時期の検討や点検調査の実施が施設管理者の負担となっている。

そこで、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）において、国営かんがい排水事業安平川地区及び直轄かんがい排水事業早来地区により造成された揚水機場を対象に、設備の分解を要せず（非分解で）実施可能な潤滑診断、振動診断、及び内部カメラ診断技術を用いた保全技術の検証を行い、揚水機場設備の状態監視保全（CBM）技術の確立を図ることとしており、その結果について報告する。

2. 対象施設の概要

国営かんがい排水事業安平川地区（平成2年度～平成27年度）は、土地生産性の向上、農作業の効率化、水管理の合理化を図り、農業経営の安定、地域農業の振興を目的として実施され、本調査の対象施設である安平揚水機場（平成8年度完成）（表-1、写真-1、図-1）などを造成している。

また、直轄かんがい排水事業早来地区（昭和60年度～平成13年度）は、農業経営の近代化と営農の合理化を図り、農業生産性の向上等を目的として、本調査の対象施設である瑞穂揚水機場（平成20年度完成）（表-2、写真

-2、図-1）などを造成している。

表-1 安平揚水機場の施設概要

ポンプ形式、台数	φ300横軸両吸込多段渦巻ポンプ2台 φ80横軸片吸込多段渦巻ポンプ1台
揚水量	0.155m³/s台、0.008m³/s台
計画実揚程	125m、105m



写真-1 安平揚水機場の状況

表-2 瑞穂揚水機場の施設概要

ポンプ形式、台数	φ300横軸両吸込単段渦巻ポンプ2台
揚水量	0.320m³/s台
計画実揚程	54.5m



写真-2 瑞穂揚水機場の状況

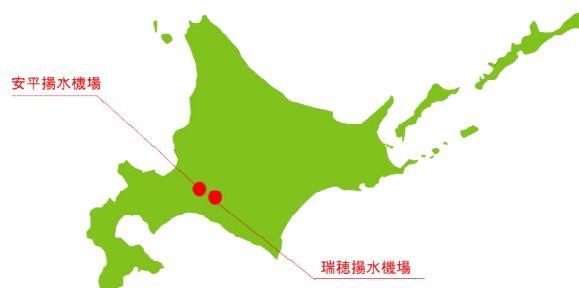


図-1 対象施設位置図

3. 調査内容

(1) 潤滑診断

潤滑診断（トライボ診断）は、ポンプ設備の軸受、歯車等よりオイル、グリースを採取し、その中に含まれる摩耗粉の濃度や成分からポンプ設備の劣化状態を推定する非分解による診断手法である。

本診断は両機場すべてのポンプにおいて行い、状態の把握を行うこととした。各ポンプの潤滑剤の種類は、表-3のとおりである。採取した潤滑剤は、表-4の分析を行った。なお、潤滑剤は全てのポンプにおいて造成後交換していない。

表-3 各機場のポンプ形式と潤滑剤

機場名	ポンプ形式	口径	潤滑剤採取部位	種類
安平揚水機場	横軸両吸込多段渦巻ポンプ NO1,2ポンプ(MSH300)	300	ケーシング 軸受部	グリース
	横軸片吸込多段渦巻ポンプ NO3ポンプ(MMK65)	80	ケーシング 軸受部	オイル
瑞穂揚水機場	横軸両吸込単段渦巻ポンプ NO1,2ポンプ(300×200CHNM)	300	ケーシング 軸受部	グリース

表-4 潤滑剤の分析項目¹⁾

分類	オイル	グリース	分析項目	相当する適用規格	分析目的・特徴
①潤滑剤の物理的性状	●	—	動粘度	JIS K 2283 ASTM D7042	潤滑油の動粘度(40℃)を測定する。熱等の要因により粘度が変化し、潤滑特性(油膜厚)に影響を与える。
	●	●	水分	JIS K 2275	潤滑油又はグリース中の水分濃度を測定する。流入した水分は系内の錆又は油膜切れ等を発生させる。また、潤滑油又はグリースの劣化を加速させる。
	●	—	酸価	JIS K 2501	潤滑剤の酸成分の量を測定する。潤滑油の劣化に伴い、酸成分が増加し、系内の錆発生又は軸受の酸化摩耗を発生させる。
	●	●	赤外線吸収スペクトル法(IR)	JIS K 0117	潤滑剤が酸化することにより発生する「カルボン酸」を主に測定する。
	—	●	ちょう度	JIS K 2220	グリースの硬さを測定する。熱等の要因により流動性が変化し、油膜厚に影響を与える。
	—	●	滴点	JIS K 2220	グリースを加熱した際の液状化温度を測定することにより、耐熱潤滑性を評価する。液状化温度が変化すると、潤滑特性(油膜厚)に影響を与える。
②潤滑剤の汚染状態	—	—	計数汚染度	JIS B 9934 (NAS1638)	潤滑油中の汚染粒子を粒径ごとに測定する。
	●	—	質量汚染度	JIS B 9931 (NAS1638)	潤滑油中の汚染粒子の質量を測定する。
	—	—	光学顕微鏡写真	—	潤滑油中の汚染物の種類、形状、大きさを観察する。
	—	—	粒度分布(参考)	JIS Z 8825	主にディーゼルエンジン潤滑油中の粒子径の分布を測定する。
③機構の摩耗状態	●	●	金属濃度分析(SOAP法)	発光分光分析 JIS K 0116 他	潤滑剤中の金属元素と含有量を測定することにより、振動部の摩耗状態を評価する。
	●	●	摩耗粒子分析(7μm ³ 分析法)	定量フェログラフイー 分析フェログラフイー	摩耗粒子の濃度や形態、大きさ、材質、色などを測定することにより、振動部の摩耗状態を評価する。

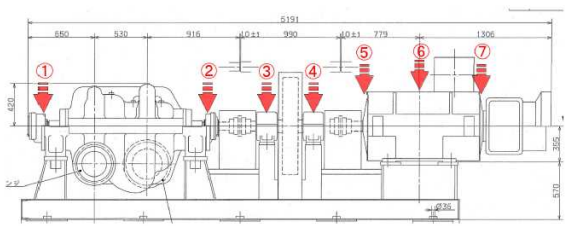
(注)※●：潤滑油(オイル)またはグリースに該当する分析項目。—：潤滑油(オイル)またはグリースに該当しない分析項目。
(注2)本マニュアルではディーゼルエンジンは対象としていないので、「②潤滑剤の汚染状態」の分析項目「粒度分布」は参考。

(2) 振動診断

振動診断は、ポンプ設備を分解せず、運転中に回転体の状態を簡易的に診断する手法である。

本診断では、図-2に示した軸受付近を調査することとした。また、劣化の種類によって振動方向が異なるため、「垂直方向」「水平方向」「軸方向」の3方向を測定した。本診断にあたっては、整備後経過年数や施設管理者への稼働状況聞き取り、潤滑診断調査結果を踏まえ、変状が確認される可能性の高いポンプ（安平揚水機場で1基、瑞穂揚水機場では2基）を選定し実施した。

横軸両吸込多段渦巻ポンプφ300



横軸両吸込単段渦巻ポンプφ300

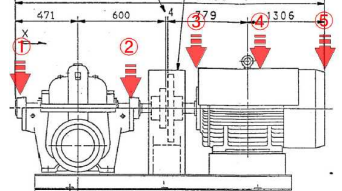


図-2 振動診断計測位置（上段が安平、下段が瑞穂）

(3) 内部カメラ診断

ポンプ本体にある点検孔等から工業用内視鏡カメラをポンプ内部に挿入し、インペラ、ケーシングライナー、ケーシング内面等の状態を非分解により診断する手法である。

対象となるポンプの構造を確認したところ、すべてのポンプにおいてケーシングに点検孔がないため、点検孔から行う非分解診断が実施できないことが明らかとなった。そこで、表-5のとおり調査方法を検討した結果、小配管とケーシング上部を外して目視及び内視鏡で調査することとした。本診断も振動診断と同様に、変状が確認される可能性の高いポンプ（安平揚水機場で1基、瑞穂揚水機場では2基）を選定し実施した。

なお、カメラは、写真-3の矢印部分から入れてポンプ内部の状況を確認した。

表-5 内部カメラ診断検討結果

方法	メリット	デメリット
①小配管を外して内視鏡調査	準備作業は配管を外すのみで手間が少ない。	ケーシング上部の一部、インペラの一部を観察できるが、主軸は観察できない等、観察範囲に限られる。
②小配管とケーシング上部を外して目視及び内視鏡で調査	ほぼ全てを観察できる。 露出部分は目視により観察する。内視鏡を用いて観察するのは、ケーシング下部のインペラ及び主軸で隠れている範囲である。	小配管に加えてケーシング上部も外すため、準備に手間がかかる。ケーシング上部の再設置はバックシンの交換が必要である。ケーシング下部に泥がたまっている場合はその下の金属面を確認できない。



写真-3 内部カメラ挿入箇所（安平揚水機場）

4. 調査結果

(1) 潤滑診断

a) 安平揚水機場No.1ポンプ、No.2ポンプ（グリース分析）

潤滑剤の物理的性状は、「ちょう度」が新しいグリース（204）と比べて上昇（No.1:245、No.2:247）しており、グリースの軟化が確認された。「酸価」は、新しいグリース（1.17mgKOH/g）と比べて高く（No.1:2.52mgKOH/g、No.2:2.54mgKOH/g）、グリースの酸化が進んでいることが確認された。

これらの結果から、今後、さらに酸価、軟化が進めばポンプの軸受及び主軸に損傷が発生する恐れがあるため、グリースの交換が必要である。

機器の摩耗状態については、フェログラフィー法による油中摩耗粉分析の結果、繰り返し応力により金属表面が剥離して発生する疲労摩耗粒子が確認された。ただし、SOAP法による分析の結果では、金属成分はほとんど検出されなかった。

これらの結果から、軸受軌道面や転動面で局所的に摩耗が発生していると考えられ、摩耗の推移を確認することが必要である。

b) 安平揚水機場No.3ポンプ（オイル分析）

潤滑剤の物理的性状のうち、水分については、管理限界値（1,000ppm）と比べて極めて高い（81,823.8ppm）ことが確認された。質量汚染度については、管理限界値（108等級以下）と比べ高いことが確認された。

上記2項目について、管理限界値を超えていることから、更油する必要がある。

機器の摩耗状態については、油中摩耗粉分析の結果、外部からの混入、或いは油中の水分と反応して発生する鉄錆が確認された。また、SOAP法による分析の結果、鉄が680.4ppm検出された。

これらの結果から、鉄錆が摺動部に噛み込み、摩耗を促進させる可能性があることからこれを回避するため、更油実施後、潤滑診断調査により摩耗状況の継続監視が必要である。

c) 瑞穂揚水機場No.1ポンプ、No.2ポンプ（グリース分析）

潤滑剤の物理的性状については、ちょう度が新しいグリース（265）と比べて上昇（No.1:326、No.2:316）しており、グリースの軟化が確認された。また、酸価は、新しいグリース（0.43mgKOH/g）と比べてかなり高い値（No.1:3.35mgKOH/g、No.2:1.45mgKOH/g）であり、グリースの酸化が進んでいることが確認された。

これらの結果から、今後、さらに酸価、軟化が進めばポンプの軸受及び主軸に障害が発生する恐れがあるため、グリースの交換が必要である。

機器の摩耗状態については、油中摩耗粉分析の結果、繰り返し応力により金属表面が剥離して発生する疲労摩耗粒子が確認された。ただし、SOAP法による分析の結果、金属成分はほとんど検出されなかった。

これらの結果から、軸受軌道面や転動面で局所的に摩耗が発生していると考えられ、摩耗の推移を確認することが必要である。

(2) 振動診断

a) 安平揚水機場

安平揚水機場については、No.2ポンプの1基のみで調査を実施した（図-3、写真-4）。

対象軸受の振動データを7箇所で収集し、「速度」、「振動加速度」の各データ及び周波数を解析した（表-6）。その結果、2箇所でV方向（垂直）の振動加速度が「注意領域」であったが、あわせて行った周波数解析により、これは、主に電源周波数に起因するものと確認されたことから、すべての調査箇所で健全な状態であったと判断した。

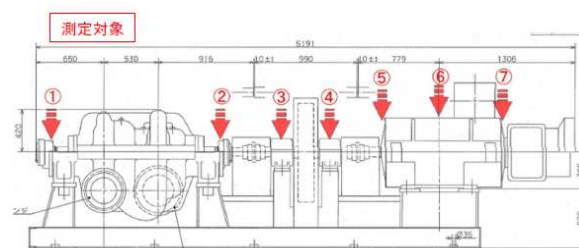


図-3 測定箇所

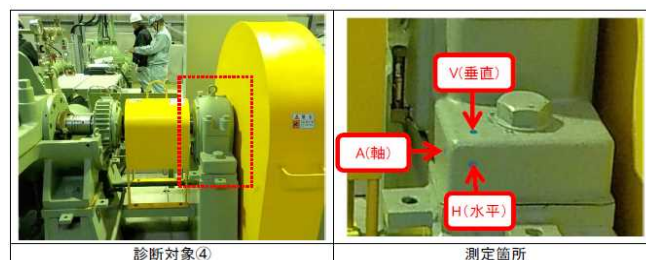


写真-4 測定箇所

表-6 振動診断結果（④プランマブロック（M側））

パラメータ① 速度 (mm/s)

判定基準	測定データ		
	V方向（垂直）	H方向（水平）	A方向（軸）
正常	～4.4		
注意	4.5～7.0	0.3	0.4
異常	7.1～		0.9

※ 判定基準値は「ISO10816-3」に基づく

パラメータ② 振動加速度 (m/s²) 及び周波数解析

判定基準	測定データ		
	V方向（垂直）	H方向（水平）	A方向（軸）
正常	～15.8		
注意	15.9～47.7	1.9	1.5
異常	47.8～		0.7

※ 判定基準値は「JFEプラントエンジニアリング」に基づく

b) 瑞穂揚水機場

瑞穂揚水機場については、No.1、No.2ポンプの2基で調査を実施した（図-4、写真-5）。

両ポンプとも対象軸受の振動データを7箇所で収集し、「速度」、「振動加速度」の各データ及び周波数を解析した（表-7）。その結果、すべての調査箇所の振動データ及び周波数が正常値であったことから、両ポンプとも健全な状態であったと判断した。

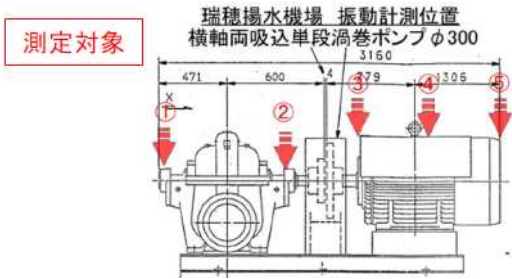


図-4 測定箇所

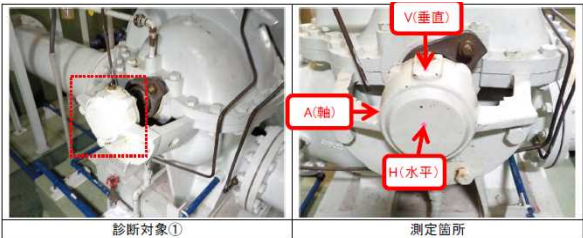


写真-5 測定箇所

表-7 振動診断結果（①No.1ポンプ反C側軸受）

パラメータ① 速度 (mm/s)

判定基準		測定データ		
		V方向（垂直）	H方向（水平）	A方向（軸）
正常	～2.7	1.0	1.6	0.7
注意	2.8～4.4			
異常	4.4～			

※ 判定基準値は「ISO10816-3」に基づく

パラメータ② 振動加速度 (m/s²) 及び周波数解析

判定基準		測定データ		
		V方向（垂直）	H方向（水平）	A方向（軸）
正常	～10.9	6.0	9.1	7.3
注意	11.0～33.1			
異常	33.2～			

※ 判定基準値は「JFEプラントエンジニアリング」に基づく

(3) 内部カメラ診断

内部カメラ診断については、振動調査と同様に、安平揚水機場のNo.1ポンプ、瑞穂揚水機場のNo.1、No.2ポンプの計3基で実施した。詳細な調査結果はとりまとめ中であるが、両機場とも大きな変状は確認されていない（写真-6、写真-7）。



写真-6 内視鏡による調査状況（安平揚水機場）



写真-7 目視による調査状況（瑞穂揚水機場）

5. 最後に

本調査において、潤滑診断調査では、機器の動作に影響がない程度であるものの、金属部で摩耗している可能性があることを把握できた。また、潤滑剤の劣化が確認できた。特に「ちょう度」「酸価」の値は、管理基準を超えていることから、潤滑剤を交換するのが望ましい結果となった。振動調査では、変状の把握には至らなかった。

今後は、引き続き、潤滑診断や振動診断といった非分解診断について、その結果をとりまとめるとともに、ケーシング上部を外して一部目視調査とあわせて行った内部カメラ診断調査結果と比較検証し、今回の機場のように比較的整備後の年次が浅く（10～20年程度）大きな変状が確認できない場合においても、施設の健全度評価や評価による分解点検時期の設定が可能かなど、各診断の有効性について確認する。

参考文献

- 1) 関東農政局利根川水系土地改良調査管理事務所：「農業用施設機械（ポンプ設備）における潤滑診断調査・振動調査マニュアル（案）」