

潤滑油分析結果を活用した傾向管理

山中 勇樹 やまなか ゆうき | 国土交通省関東地方整備局 関東維持管理技術センター
関東技術事務所施設技術課 建設専門官

1. はじめに

河川ポンプ設備は、洪水や高潮による堤内地への氾濫浸水を防止する内水排除施設等に設置され、国民の安全と社会経済活動を支える重要な設備である。河川ポンプ設備は、公共施設としての性格上、万一その機能が損なわれた場合に周辺地域へ与える影響が大きいため、良好な状態を維持する必要がある。それに対して、老朽化への対応が必要となる施設が年々増加することで、維持管理費も増大するため、維持管理の更なる効率化が求められている。

このため、河川ポンプ設備の予防保全においては、時間計画保全に加えて、動作値及び傾向を監視する状態監視保全を取り入れている。状態監視の手法の一つとして一般的な常用系設備で実施されている潤滑油の分析結果による状態監視に取り組んでいるが、河川ポンプ設備は洪水時等必要な時だけ稼働する待機系設備であり、常用系設備に比べて稼働時間が少なくデータの収集に苦慮している。

2. 潤滑油分析

潤滑油は機械部品の摩耗の防止、冷却、内部の防錆等重要な役割を担っている。構成部品同士の摺動が適正でなくなると、部品に摩耗が生じる。潤滑油は機械の摺動部を循環しているため、摩耗した粒子は潤滑油に含まれる。潤滑油中の摩耗粒子量を監視することで、機械の内部で起きている異常を発見することができる。また、潤滑油の性状分析値と基準値を比較することで潤滑油の健全性を判定することができる。

関東地方整備局では河川ポンプ設備を構成する機器の劣化状況を推定するため、年点検において主原動機（ディーゼル機関）、減速機、自家発電機用ディーゼル機関等の潤滑油を採取し分析を実施している。

関東技術事務所では、この分析値を時系列に整理し、傾向管理に取り組んでいる。取り組んでいる内容は、潤滑油の分析結果のみでは解らない以下の2点である。

- ① 設備の異常兆候把握
潤滑油中の金属摩耗粉の種類と量、金属元素の種類と量の変化を時系列で整理することで、設備の異常兆候を把握する。
- ② 潤滑油の性状値の傾向から潤滑油交換時期予測
最適なタイミングに潤滑油交換することで、潤滑油交換コストの最適化を図りつつ、適正な潤滑を維持することにより機械劣化や故障を防止する。分析結果を見て潤滑油交換を行う（事後保全）のではなく、潤滑油交換時期を予測し計画的な潤滑油交換とすることは、予算の平準化にも寄与する。

3. 令和元年度の潤滑油分析結果 とりまとめ手順

関東技術事務所では、潤滑油分析結果を活用した傾向管理を行う手段として、施設管理事務所から収集した潤滑油分析報告書の内容、機器毎の潤滑油交換実施状況、分解整備・更新時期などの情報を、潤滑油データベースへ記録している。

令和元年度に潤滑油分析結果をとりまとめた施設数は44施設である。機器別潤滑油分析数量を表-1に示す。

潤滑油分析結果のとりまとめ手順、施設管理事務所と関東技術事務所の分担内容を図-1に示す。

表-1 機器別潤滑油分析数量

機器名称	分析数量
主原動機（ディーゼル）	81
発電機用原動機（ディーゼル）	86
ガスタービン	11
減速機	46
ポンプ（救急排水ポンプ等）	13
計	237

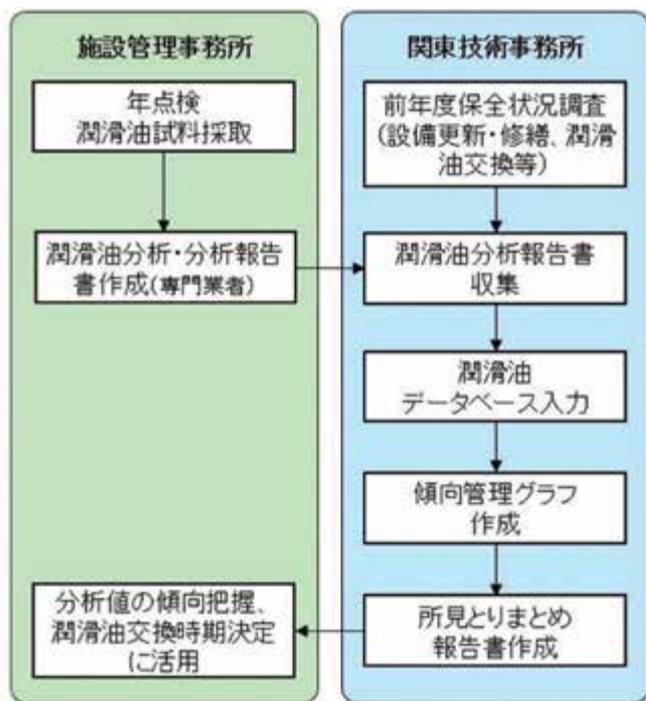


図-1 潤滑油分析結果のとりまとめ手順

4. 潤滑油分析とりまとめ内容

関東技術事務所では、以下の潤滑油分析結果について潤滑油データベースに記録している。

1) 摩耗粒子濃度分析（定量フェログラフィ法）

定量フェログラフィ法は、金属摩耗粉を含んだ潤滑油を、磁石を下に敷いた沈着チューブ内に流し、油中の摩耗粉を捕捉分離することで潤滑油中の摩耗粉を分析する方法である。機械の摩耗状態を粒子量の経時変化から評価し、摩耗が進行すると、大きい粒子の増加が顕著になるケースが多いとされている。

データベースに記録している項目は、大摩耗粒子濃度、小摩耗粒子濃度、摩耗粒子濃度、摩耗異常指数である。

2) 摩耗粒子や異物の形態と量(分析フェログラフィ法)

分析フェログラフィ法は、ガラス板上に捕捉した摩耗粉を顕微鏡などで観察し、摩耗粉の形態分類分析を行う方法である。摩耗の発生源や摩耗の過酷度合いなどの判定に用いられる。

データベースに記録している項目は、代表的な粒子群の写真、分析会社の所見である。

3) 金属元素分析（SOAP法）

SOAP法は、試料油を燃やした炎をICP（誘導結合プラズマ）などで分光分析して潤滑油中の金属元素とその濃度を測定する方法である。

機械の摩耗状態、摩耗箇所をの推定等に用いられる。

データベースに記録している金属元素の種類は、鉄、鉛、銅を含む17元素である。

4) 潤滑油性状分析

潤滑油交換の参考となる分析で、動粘度、酸価、塩基価は潤滑油の劣化状況把握、水分は潤滑油の汚染状況把握に用いられる。

データベースに記録している性状分析項目は、動粘度、酸価、塩基価、水分である。

5. 摩耗粒子濃度及び金属元素量の傾向管理

1) 傾向管理項目

関東技術事務所では、設備の摩耗状態把握を目的に摩耗粒子濃度及び金属元素量を、設備の更新、整備、潤滑油交換時期と合わせて時系列に整理しグラフ化している。

摩耗粒子濃度は、大摩耗粒子濃度（DL）、小摩耗粒子濃度（DS）、摩耗粒子濃度（大摩耗粒子濃度と小摩耗粒子濃度の合計）、摩耗異常指数（ $DL^2 - DS^2$ ）をグラフ化している。

金属元素量は、摩耗部位の推定等を目的として、鉄（Fe）、鉛（Pb）、銅（Cu）、クロム（Cr）、アルミ（Al）、ニッケル（Ni）、銀（Ag）、錫（Sn）をグラフ化している。

潤滑油の傾向管理から正常でない状態を把握し、設備の異常兆候を見つけ対策を講じることで、設備の故障を未然に防止することが期待される。

2) 評価方法における課題について

河川ポンプ設備や水門設備の傾向管理項目においては、計測値の相対評価により設備の異常又は異常の兆候（疑い）の有無を見ている。

温度、圧力などは、機器の初期値がない場合、計測値が安定している期間の計測値の平均値を正常値とし、この期間の標準偏差 σ から注意値と予防保全値を設定している。

$$\text{注意値} = \text{正常値} \pm 2\sigma \quad \text{予防保全値} = \text{正常値} \pm 3\sigma$$

潤滑油分析結果による傾向管理においては、設備設置後や分解整備後の初期なじみを過ぎた状態を初期値として、そこからの相対変化により劣化傾向を判断することが考えられる。

しかし、現在関東技術事務所が実施している傾向管理においては、摩耗粒子濃度や金属元素量の増加等の事象は捉えられるものの、数値的にどのレベルを超過したら

異常の兆候を示すかについては、示せていない。これは設備の故障や異常と故障や異常時の潤滑油分析結果の相関データがまだ得られていないためである。

以下に事例を示す。

3) 傾向管理の事例 1

図-2は大摩耗粒子濃度が急増した後に主原動機の分解整備を実施した過去の事例である。

大摩耗粒子濃度の推移

657 (H27) → 6,270 (H28)

大摩耗粒子濃度は潤滑油 1ml の時の摩耗粒子濃度であり、沈着チューブに捕捉された大摩耗粒子の面積被覆率に希釈倍率を乗じた値である。

金属元素量の推移

鉄 (Fe) 42 (H27) → 37 (H28)

鉛 (Pb) 4 (H27) → 6 (H28)

銅 (Cu) 53 (H27) → 74 (H28)

金属元素量の単位はmass ppmである。

A排水機場 2号主原動機

原動機形式 4サイクルディーゼル機関

設置年度 昭和51年 3月

今回整備 平成30年 3月分解整備

分解時にスラストメタル（クランク軸の軸受の両端に取り付けられている輪状の部品）に摩耗が多く見られ交換を実施している。スラストメタルの摩耗が大摩耗粒子濃度の増加原因の1つとして考えられるが、急増している金属元素はなく大摩耗粒子濃度増加とは相関がとれていない。

平成27年度に大摩耗粒子濃度が急増した原因として平成27年9月関東・東北豪雨による長時間運転（約60時間）の影響が考えられる。平成27年度の年間運転時間は、約63時間である。平成27年度前後の平成25、26、28年度の年間運転時間はいずれも約3時間であり、この間の大摩耗粒子濃度は急増していない。

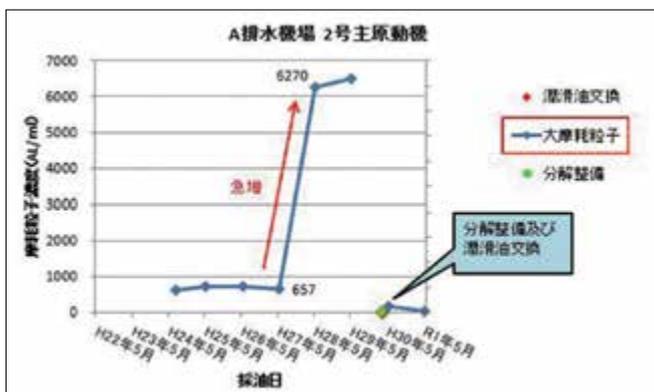


図-2 大摩耗粒子濃度の推移グラフ

4) 傾向管理の事例 2

図-3は金属元素分析で銅 (Cu) の値が増加した自家発電機用原動機を分解整備した過去の事例である。

銅 (Cu) の推移

297 (H24) → 521 (H25)

大摩耗粒子濃度の推移

641 (H24) → 366 (H25)

B排水機場自家発電機用原動機

原動機形式 4サイクルディーゼル機関

設置年度 昭和54年 3月

今回整備 平成28年 3月分解整備

分解整備時の点検で摩耗が確認されたのは、シリンダライナ内面のクロムめっき層であり、銅 (Cu) 増加の原因は判明していない。

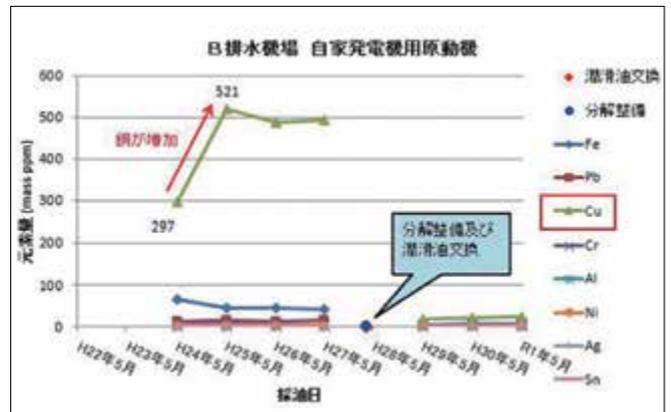


図-3 金属元素量推移グラフ

5) 傾向管理の事例 3

図-4は、自家発電機用原動機の金属元素分析においてCu (銅) が3年連続急増した事例である。

大摩耗粒子濃度の推移は以下のとおりであり、ほぼ横ばいである。

325 (H28) → 404 (H29)

→ 322 (H30) → 338 (R1)

C排水機場 1号自家発電機用原動機

原動機形式 4サイクルディーゼル機関

設置年度 昭和53年 3月

今回整備 平成26年 3月分解整備

銅が使用されているコネクティングロッドの摺動部の摩耗等が原因として想定される。施設管理事務所に点検会社、エンジンメーカーに確認することを推奨した事例である。

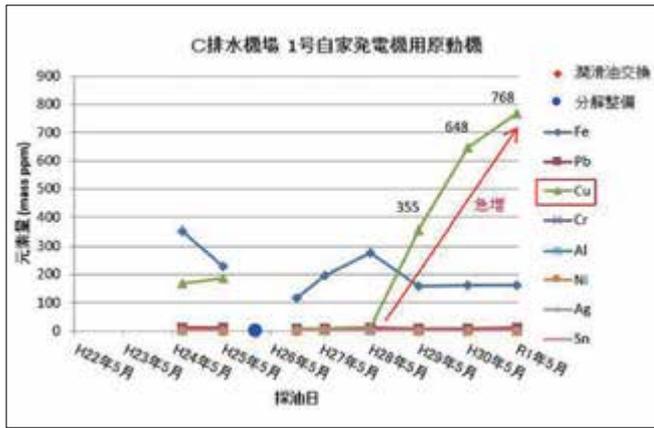


図-4 金属元素量推移グラフ

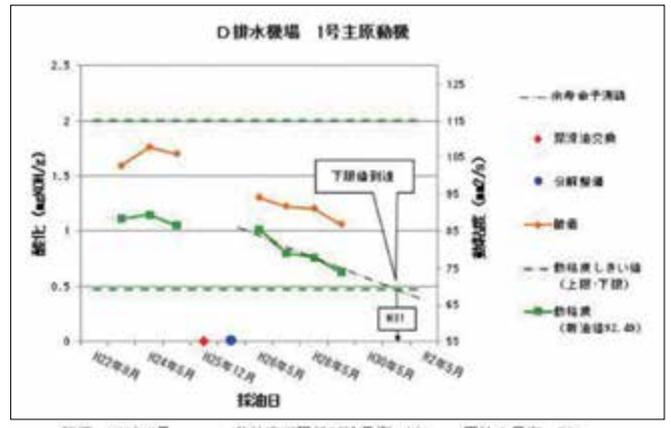


図-5 平成29年度の動粘度下限値到達予測

6. 潤滑油交換時期予測手法

河川ポンプ設備の主原動機及び発電装置の駆動用原動機には、ディーゼル機関が多く採用されている。ディーゼル機関に使われる潤滑油は、原動機部品の摩耗の防止、冷却、内部の防錆、燃費の向上など非常に重要な役割を担っている。そのため、適正な潤滑油管理はディーゼル機関の信頼性確保に不可欠である。

発電用等の常用系のディーゼル機関では、主に潤滑油メーカー、エンジンメーカーの推奨する潤滑油交換基準（主に時間計画保全）がある。しかし、河川用ポンプ設備の主原動機は運転時間が少ないことから、潤滑油の劣化過程が原動機により様々であり、常用系に用いられる時間計画保全を適用すると過剰メンテナンスになる可能性がある。

潤滑油のグレードはほぼ動粘度で規定されている。このため、動粘度の推移から動粘度の値が管理基準値に達する時期が予測できる場合は、潤滑油の交換予測時期として施設管理事務所に情報提供している。

平成29年度の潤滑油性状分析値（動粘度）の傾向からD排水機場の1号主原動機の潤滑油が2年後のH31年度に下限値に到達する予測をしたのが図-5であり、令和元年度の潤滑油性状分析値までの傾向を示したものが図-6である。動粘度の値は低下を続け、平成29年度に予測したとおり令和元年度に下限値に到達した事例である。

予測手順は、①潤滑油性状分析値、管理基準値のグラフ化、②予想線の記載、③判定である。

動粘度の低下原因としては、一般的に燃料等の異種油や水の混入、添加剤の劣化がある。

平成29年度に動粘度の下限値到達予測をしたうち約半分が予測どおりに低下したが、約半分は動粘度低下傾向が減少した。予測の改善が必要である。

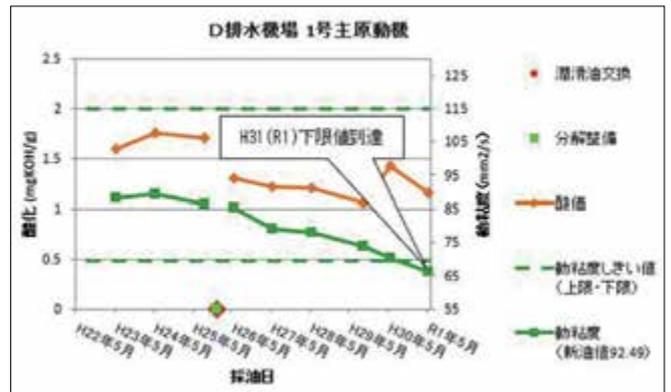


図-6 令和元年度の動粘度下限値到達状況

7. 現時点での課題

傾向管理の課題としては、摩耗粒子量、金属元素量において異常兆候を示す数値を示せていないこと、年度単位で潤滑油分析を実施しているが、潤滑油を交換すると摩耗粒子量及び金属元素量のデータがリセットしてしまうことがある。

関東技術事務所できりまとめた傾向管理資料は施設管理事務所において分析値の傾向把握や潤滑油交換時期決定の参考に活用されている。施設管理事務所職員が理解しやすいように令和元年度より読み方を解説した資料や他事務所の事例を添付するようにした。

8. おわりに

本稿では、現在関東技術事務所できり組んでいる排水機場主原動機等の潤滑油分析結果を活用した傾向管理の取り組みについて述べた。

また、排水機場ディーゼル機関等においては摩耗粒子量や金属元素量の増加量がどの程度になったら設備の異常兆候を示しているか等、潤滑油分析結果の傾向管理による設備の維持管理方法は確立していないが、故障防止等の効果が見込めると考える。データを蓄積し、知見を高め、排水機場ディーゼル機関等の維持管理に役立てていきたい。