

大型河川用機械設備における 潤滑油診断手法の検討

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○平地 一典
澤口 重夫
北海道開発局 札幌開発建設部 施設整備課 光野 昭宏

水門設備やダム用ゲート設備などの、大型河川用機械設備の状態監視手法の中で、特に設備の劣化の早期発見を可能とする潤滑油診断について検討した。樋門設備の潤滑油診断の簡易手法として、寒地機械技術チームで取り組んだメンブランフィルターを用いた「RGB色相による潤滑油診断」が大型河川用機械設備の潤滑油の簡易診断でも有効であることがわかったので、報告する。

キーワード：水門設備、開閉装置、状態監視診断、潤滑油診断

1. はじめに

河川に設置されている河川用水門設備は、治水設備であり、設備が故障しその機能を失った場合、浸水被害により国民の生命、財産に影響を及ぼす恐れがある、社会的経済的影響が大きい設備である(図-1)。また、通常時は待機状態で運転されていない設備(待機系設備)であるが、出水時には確実に機能しなければならず、日頃の維持管理が重要となる。

これまで建設されてきた河川用水門設備の多くが、建設後30年から40年を迎え、老朽化への対応が課題となる設備も年々増加し、維持管理費用も増加すると考えられる。また、設備の信頼性を確保するためには、効率的、効果的な維持管理が必要となっている。本報告は、河川用水門設備における簡易で的確な劣化判断手法として、樋門設備におけるメンブランパッチを用いた潤滑油診断技術¹⁾の水門設備における適用について報告するものである。



図-1 河川用水門全景

2. 機械設備の維持管理

JISでは、信頼性用語のなかで、保全とは「アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠陥等を回復するための全ての処置及び活動」と規定されている²⁾。また保全は、予防保全と事後保全に大別される(図-2)。



図-2 保全の分類 (文献³⁾に加筆)

予防保全とは、設備の使用における故障を未然に防止し、設備を使用可能状態に維持するために計画的に行う保全をいう。予防保全には時間計画保全と状態監視保全があり、時間計画保全は、保全スケジュールに基づく予防保全の総称で、時間基準保全(TBM)とも言われる。計画的に実施する定期点検や定期整備は、時間計画保全となる。

一方、状態監視保全(以後、「CBM」という。)は、設備使用中の動作確認、劣化傾向の検出等により動作値及び傾向を監視して予防保全を実施することをいう。CBMは、劣化状態を定量的に傾向把握し、劣化の進行を予測して機械設備が故障する前にメンテナンスを行うものである。データの精度の問題もあるが、メンテナンス

コストや故障損失を最小に抑えることが期待できる。

事後保全とは、設備が故障した後に使用可能状態に回復する保全であり、緊急保全と通常事後保全に分類される。緊急保全とは、予防保全を行っている機器等が故障を起こした場合に対する措置をいい、通常事後保全とは、管理上、予防保全を行わないと決めた機器の故障に対する処置をいう³⁾。

3. 潤滑油による機械設備の状態監視診断

状態監視保全の診断法には五感（触診・聴診等）、温度、振動、音響等の直接診断と潤滑油診断のような採取油の間接診断がある。直接診断と間接診断の大きな違いは、故障までの猶予時間の差である。一般的に直接診断で検出された異常は損傷終盤に近く、すぐにも設備が停止する状況にあることが多い。一方、間接診断は設備異常に対する感度がよいため、早期に機械設備の損傷状況を予測することが可能である（図-3）。

水門設備は軸受や歯車で構成された部品が多く使用され、潤滑油が非常に重要な役割を果たしていることから潤滑油診断が有効な診断技術であると考えられる。

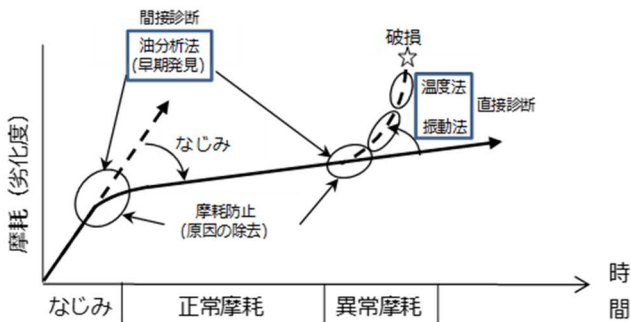


図-3 摩耗進行曲線と設備診断技術（文献4）に加筆

潤滑油診断は潤滑油の性状分析の結果と潤滑油に含まれる摩耗粒子を併せて分析することで、現在機械に起きている摩耗現象やその原因を突き止めることである。潤滑油診断手法としては様々な手法が用いられているが、広く用いられているのは、摩耗粒子を目で確認して機械の摩耗状態を予測するフェログラフィ法や、潤滑油に含まれる金属を定量するSOAP法、摩耗粒子の量や数で診断する汚染分析法等がある。ただ、これらの診断手法は、いずれも専用の分析装置や診断における高度な技能と経験が必要である。そこで、簡易で専門的な技術や経験を必要としない診断手法として、潤滑油をろ過したメンブランフィルタの色で診断を行う手法の水門設備への適用を検討した。

(1) メンブランパッチによる潤滑油診断

潤滑油をろ過したメンブランフィルタと福井大学で開

発された色相判別装置⁵⁾ (Colorimetric patch Analyzer)

(図-4) を用いて、白色光を投射したときの反射光と透過光により、RGB値、最大色差(MCD)、 ΔE_{RGB} の各色パラメータを測定する。RGB値は、各々256階調で表され、白(255, 255, 255)、黒(0, 0, 0)となる。最大色差(MCD)はRGB値の2色間の最大差を表したものである。最大色差(MCD)により劣化要因の識別がなされ、酸化劣化による場合は値が大きく茶系色の色合いが強くなり、固形粒子による場合は値が小さく灰系色の色合いが強くなる。また、 ΔE_{RGB} は白までの距離であり、次式で表される。この値が大きいほどパッチの色が濃色化していることを意味し、汚染程度を判定することができる。

$$\Delta E_{RGB} = \sqrt{(255 - R)^2 + (255 - G)^2 + (255 - B)^2}$$



図-4 色相判別装置(左)とメンブランパッチ(右)

潤滑油をメンブランフィルタにろ過する装置として、(株)クリーンテック製のコンタミチェッカーを用いた(図-5)。フィルタベース部に孔径0.8μmのメンブランフィルタをセットしたうえで、試料油5mlを注入後、真空ポンプにより吸引し、ろ過した。その後、石油エーテルにてメンブランフィルタの油分を除去し乾燥させた。作成したメンブランフィルタを色相判別装置で測定できるようにパッチ化し各色パラメータの測定を行った。



図-5 コンタミチェッカー

(2) メンブランパッチの色相と汚染度

河川用水門における潤滑油診断の閾値等の基準については、平成26年度に寒地機械技術チームが作成した「メンブランパッチを用いたRGB色相による潤滑油診断ガイドライン（案）—樋門・樋管編—⁶⁾」を参考にした。ガイドライン作成時に使用した計数汚染度（NAS・仮NAS等級）と最大色差（MCD）、 ΔE_{RGB} の測定値の結果を図-6に示す。計数汚染度の上昇に伴い最大色差（MCD）は減少し、 ΔE_{RGB} は上昇していく傾向が確認できる。金属濃度の増加に応じ、 ΔE_{RGB} が増加していることから、 ΔE_{RGB} により汚染程度を定量的に判定できると考える。

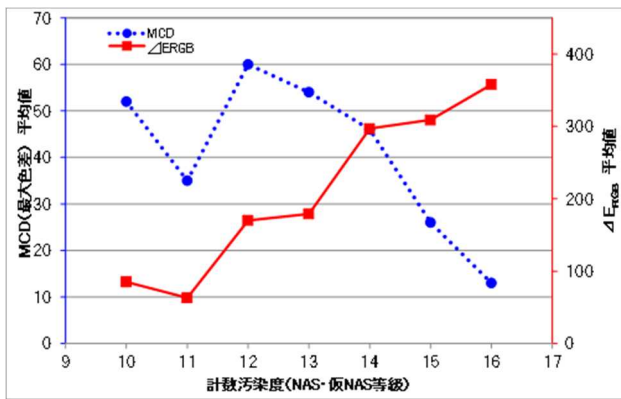


図-6 係数汚染度とMCD、 ΔE_{RGB}

同様に図-7に計数汚染度とメンブランパッチ色相の関係を示す。グラフのポイント色はそれぞれのRGB値による色相である。この図からも計数汚染度の上昇とメンブランパッチ色相の濃色化の相関が見られ、特に仮NAS15等級を境界として色相の濃色化が確認できる。

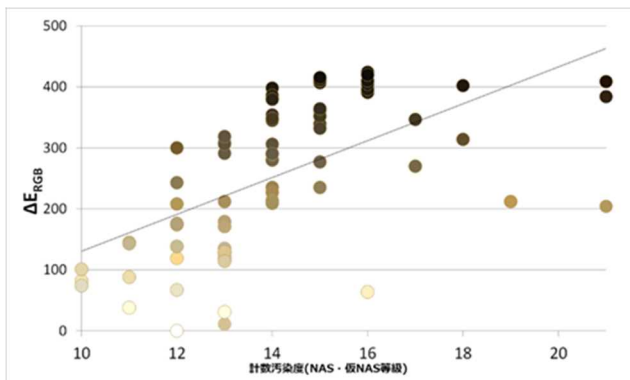


図-7 計数汚染度と ΔE_{RGB}

計数汚染度と ΔE_{RGB} の分析結果からメンブランパッチの濃色化が顕著となる計数汚染度15程度に相当する反射光 ΔE_{RGB} 190、透過光 ΔE_{RGB} 290を交換の基準とした。管理基準値を図-8に示す。

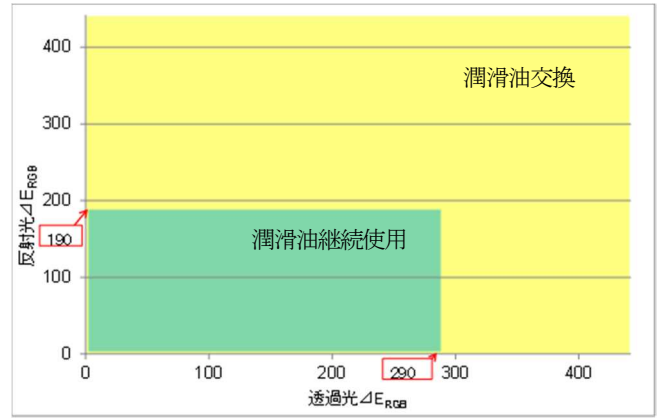


図-8 反射光 ΔE_{RGB} と透過光 ΔE_{RGB}

4. 河川用水門における潤滑油診断

河川用水門の開閉装置を構成する減速機は「河川用ゲート設備点検・整備標準要領⁷⁾」の中で、「致命的な影響のある機器」に指定されており、故障或不具合が即、運転停止につながる重要な機器である。また、減速機は軸受や歯車で構成され、潤滑油が重要な役割を果たしている。これまでの潤滑油の点検は、年1回の設備点検の際に実施されており、点検方法は専門技術者の目視による性状確認のみである。目視による点検では、点検技術者の技量と経験により判断されることになり定量的な診断は難しい状況である。そこで、定量的に傾向管理が可能であるメンブランパッチを用いた潤滑油の診断を札幌開発建設部の協力により実施した。

(1) 茨戸川の石狩放水路水門における潤滑油診断

石狩放水路水門の概要は以下のとおりである。全景を図-9に示す。



図-9 水門全景（左）と開閉装置（右）

- ・主ゲート
 - 型 式：逆2段式シェル構造鋼製ローラーゲート
 - 門 数：2門
 - 純 径 間：25.00m
 - 有効扉高：7.30m（2段合計）
 - 水密方式：両面3方向及び中間ゴム水密
- ・開閉装置
 - 形 式：2モータ2ドラムワイヤーロープ巻取式
 - 設置台数：8台
 - 揚 程：9.8m

潤滑油量：約 200L

潤滑油の点検は、「河川用ゲート設備点検・整備標準要領⁸⁾」により、ひどい濁りがなく乳白色化していないかの確認を行っている。

潤滑油を分析するため、減速機から直接採油を行った。メンブランパッチを作成するのに必要な採油量はおおむね 10ml 程度である。図-10 に減速機本体、図-11 に採油の様子を示す。



図-10 開閉装置減速機



図-11 給油口からの採油

診断結果を図-12に示す。診断結果には、メンブランパッチの画像とオイルの画像を添付しており、反射光及び透過光 $\angle E_{RGB}$ を測定値として記載している。オイルの見た目の色に比べ、メンブランパッチの色相には明確な濃淡の違いがあり、オイルに含まれる不純物の多寡がよくわかる結果となっている。また、 $\angle E_{RGB}$ の値にもその違いが数値で示されている。

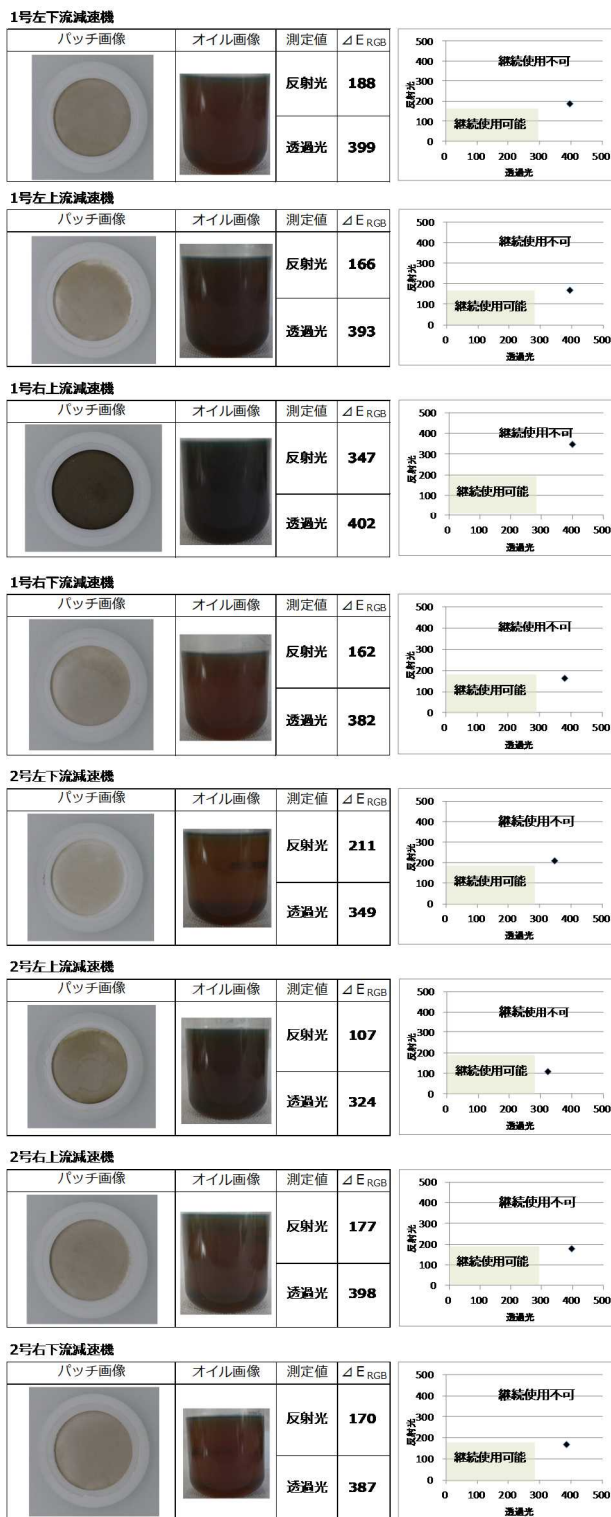


図-12 1号及び2号開閉装置の減速機診断結果

(2) 材木川の材木川水門における潤滑油診断

材木川水門の概要は以下のとおりである。全景を図-13に示す。

- ・主ゲート
型 式：鋼製ローラーゲート
門 数：2門
純 径 間：11.00m
有効扉高：4.10m

水密方式：後方四面ゴム水密

・開閉装置

形 式：1 モータ 2 ドラムワイヤーロープ巻取式

設置台数：2 台

揚 程：4.1m

潤滑油量：約270L



図-13 水門全景 (左) と開閉装置 (右)

診断結果を図-14に示す。採油した潤滑油の色だけでは状態の違いがわからないが、メンブランフィルタでろ過し、 ΔE_{RGB} 値の計測を行うことで、オイルの汚染度を定量的に診断することができた。

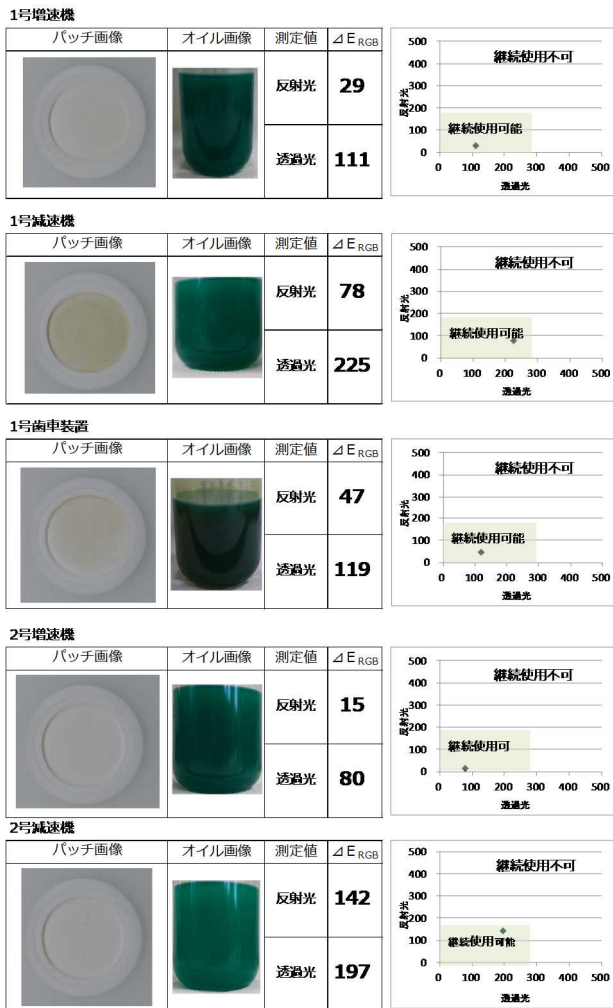


図-14 1号及び2号開閉装置の減速機診断結果

5. まとめ

樋門設備におけるメンブランパッチを用いた潤滑油診断技術の水門設備へ適用について検討するため、札幌開発建設部の協力により、石狩放水路水門と材木川水門の開閉装置減速機の潤滑油診断を実施した。診断結果からは、メンブランパッチによる潤滑油診断が河川用水門設備でも有効であることがわかった。

今後、河川用水門設備での診断を継続して行うとともに、河川用水門設備だけでなく、ダム用ゲート設備等、大型機械設備の潤滑油診断への適用も検討していく。

参考文献

- 1) 田中隆夫、片野浩司、山口和哉：河川用樋門開閉装置における潤滑油診断を利用した機械要素の劣化判断手法について、第12回評価診断に関するシンポジウム講演論文集、pp.31-36、2013.
- 2) 日本規格協会：JIS Z 8115 ディペンタビリティ用語、2000.
- 3) 振動技術研究会：ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断（振動 カテゴリーⅢ）第2版、p.1、2010.
- 4) 倉橋基文、澤雅明：トライボロジスト、598、p.39、1994.
- 5) 本田知己、佐々木徹：オンサイト型潤滑油劣化診断装置（Colorimetric patch Analyzer）、月刊潤滑経済、580、pp.14-18、2013.
- 6) 寒地土木研究所寒地機械技術チーム：メンブランパッチを用いたRGB色相による潤滑油診断ガイドライン（案）一樋門・樋管編一、2015.
- 7) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課：河川用ゲート設備点検・整備標準要領、p.6、2016.
- 8) 同上7) 別表、p.12.