

排水機場ポンプ設備ディーゼルエンジン オイル管理指標（案）の策定と活用

武田 直人

関東地方整備局 関東技術事務所 施設技術課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

現 企画部 施工企画課

排水機場ポンプ設備は、今後老朽化施設の増大により維持管理にかかる予算が逼迫する事態が懸念されることから、状態監視保全技術を採用し、効率的・効果的な維持管理を行っている。現状の課題の一つである故障事例が比較的多い排水機場エンジンについて、信頼性向上とコスト縮減を両立するオイル管理指標を確立する技術が求められている。

今回、過年度から収集しているエンジンオイルの性状値を基に経年変化グラフを作成した結果、オイルの経年変化を確認し余寿命予測が可能となる傾向を把握することができた。これにより、現場適用の有用性及び不適切なオイル使用に起因する故障を未然に防ぐためのオイル管理指標（案）の策定と活用について報告する。

キーワード 戦略的維持管理，状態監視保全技術，ディーゼルエンジン，オイル管理指標

1. はじめに

排水機場ポンプ設備は、浸水被害から我々の生命・財産を守る社会インフラであり、普段は休止にありながら台風等の非常に激しい雨が降った際には、確実にポンプ排水を行うべき重要な設備である（写真-1）。

(1) 状態監視保全技術の導入

今後老朽化施設の増大により維持管理費が逼迫することや施設老朽化による信頼性低下の事態が懸念されていることから、適切かつ効率的・効果的な維持管理手法の確立が喫緊の課題となっている。



写真-1 排水機場ポンプ設備

この喫緊の課題に対して戦略的に、時間計画保全から少ない維持管理費で効果的な維持管理を行う状態監視保全への転換が必要になるといえる。このことは、2014（平成26）年5月に国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）¹⁾が策定され、点検・診断により、施設の劣化状況を把握し、必要な対策を適切な時期に着実かつ効率的・効果的に実施する状態監視型予防保全の実施が示された。また、2015（平成27）年3月に策定された河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）²⁾においても、適切かつ効率的・効果的な維持管理を行っていくという考え方が導入されたことから明らかである。

このような重要な設備に対し、信頼性向上とコスト縮減を両立するための状態監視保全技術の一つとしてオイル管理指標の確立が求められている。

(2) 状態監視保全技術に関する取り組み

関東維持管理技術センターでは、効率的な維持管理を目指す取り組みの一つとして、施設管理事務所が保有する維持管理情報のデータベース（以下、DBという。）化と、当該データを用いた傾向管理等による機器の劣化状態などの見解を施設管理事務所へフィードバックする取り組みを進めている。

その取り組みの一環として、関東地方整備局管内排水機場の主ポンプ設備・自家発電機用のディーゼルエンジンを対象として各施設管理事務所が実施する年点検時の

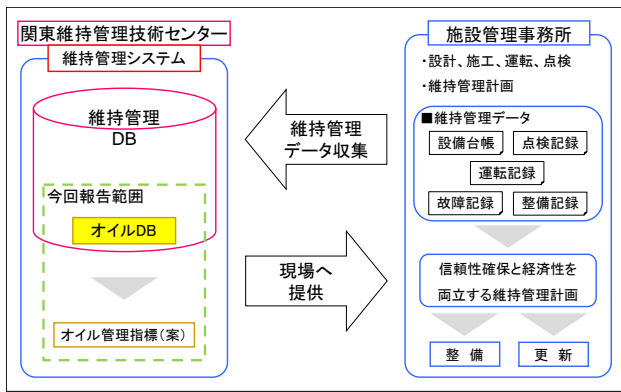


図-1 機械設備の維持管理システム (データベース)

オイル成分分析結果の収集, 当該情報を基にしたオイルDB構築と活用を推進している (図-1)。

2. オイル管理指標 (案) 策定の目的

図-2 に示すとおり, 排水機場ポンプ設備においてはディーゼルエンジンの故障件数が最も多い。ディーゼルエンジンに使われるオイルは, 部品の摩耗防止, 冷却作用, 密封作用, 及び内部の防錆等非常に重要な役割を担っていることから, 適正なオイル管理がディーゼルエンジンの信頼性確保に必要である。

オイル管理における課題として, 状態監視すべき管理指標が明確でないことがある。排水機場のエンジンの場合は, メーカー推奨の交換年数は示されているが, 少ない運転時間で交換年数に達するため使用可能なオイル状態で交換されてしまう場合には不経済となり, 劣化に気づかず推奨年数を超えて使用すれば故障の原因となりえる。

使用しているオイル状態から, 適切なタイミングにおいてオイル交換をしていくためオイル管理指標 (案) を確立することができれば, 不適切なオイルの使用に起因

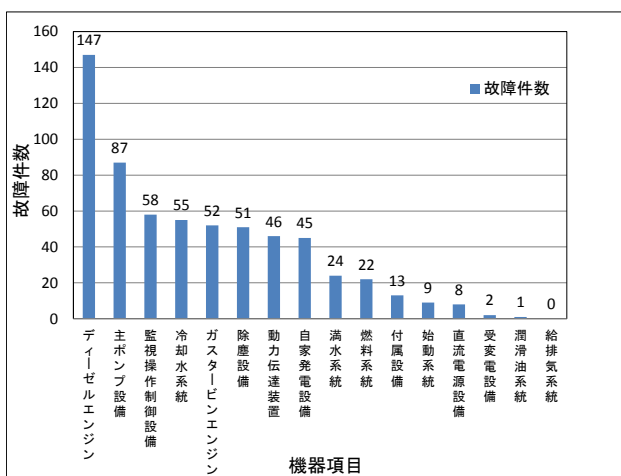


図-2 排水機場ポンプ設備の故障件数³⁾

する故障を未然に防ぐ効果に期待が持たれ, 信頼性向上とコスト削減に繋がる。

3. オイル管理指標 (案) 策定の方法

実際に現場で活用することができるオイル管理指標 (案) を導入するため, エンジン及びオイルの実態調査, オイル性状の整理, 及び管理値の設定をした。

(1) エンジン及びオイルの実態調査

図-2に示すとおり, 排水機場ポンプ設備ではディーゼルエンジンに故障が多いことが統計的に得られていることから, エンジンオイルの性状を適正に保つことに着眼するとともに, オイルの供用年数が性状に影響を与えると考え, オイル性状項目の数値と合わせて次の各項目の実態調査をし, 両者の関係を把握した。

- ・エンジン分解整備工事 完成年月日
- ・エンジン更新工事 完成年月日
- ・オイル交換年月日
- ・オイル補充年月日

(2) オイル性状の整理

オイルの機能に大きく関係する性状項目を整理した。

a) 動粘度

オイルの粘りを表す指標である。

この粘りが, 金属と金属の間に入って油膜を張りスムーズに動かすことで, 部品の異常摩耗による焼き付きを防ぐ働きをする。

b) 塩基価

本来, オイルの新油には含まれておらず, オイルの性能を保つために新油時に添加剤を加えることが多い。

この添加剤はアルカリ性で, オイルが空気にさらされ酸化するのを中和しエンジン各部の酸による損耗を防ぐ。

c) 水分

エンジン内部の結露で発生する水分や燃料の燃焼によって発生する微量の水分がオイルに混入する場合がある。

水分を含んだオイルが循環することで, エンジン内部に錆や腐食が発生する。

(3) 管理値の設定

オイル管理値の整理については, JIS規格, 製油メーカー, 及びオイル分析メーカーの定める規格値を総合的に勘案してオイル種毎に設定した。

これにより, オイル性状項目の数値が, 正常な範囲にあるか監視するとともに, 経年変化からオイル交換をする時期である管理値に到達するまでの年数を余寿命として予測・評価する方法を考案した。

a) JIS規格の管理値

エンジンオイルの種類については、「陸用及び船用内燃機関に使用する潤滑油」として、JIS K 2215に規定している。

排水機場ポンプ設備に使用しているディーゼルエンジンは、多くが船用エンジンである。オイルとしては、主に船用3種を使用している。

b) 製油メーカーの管理値

関東地方整備局管内で使用しているディーゼルエンジン用のオイルは多様であり、その各々について、管理指標値がある。これらの数値については、製油メーカーにヒアリング調査を実施して把握した。

c) オイル分析メーカーの管理値

関東地方整備局では、排水機場ポンプ設備の年点検時に実施するエンジンオイル分析については、オイル分析メーカーで実施している。

オイル分析メーカーは、各製油メーカーの各オイルに対する管理値について、独自に設定しているケースと取定していないケースがある。これらは、オイル分析メーカーのノウハウによって執られる手法であり、同一オイルを使用している場合でもエンジンの規模や設置環境から、管理値を変えている場合もある。

(4) サンプルングの方法

オイル性状を分析するための採油作業をサンプルングという（写真-2）。

オイル管理を行う上でサンプルングは、その入口に位置する作業であり、分析値の信頼性及び安定性等の確保の観点から非常に重要である。しかし、現状年点検で実施しているサンプルング方法に関して基準がない。そのため、今後の分析値の信頼性を確保するために、サンプルング方法の注意事項を以下のとおりまとめた。これはサンプルングで得られた知見及び余寿命の評価をする視点に基づいている。

- サンプルングは、サンプルングのタイミングと、サンプルングする箇所を毎回同一とする。図-3に示す経年



写真-2 サンプルングの状況

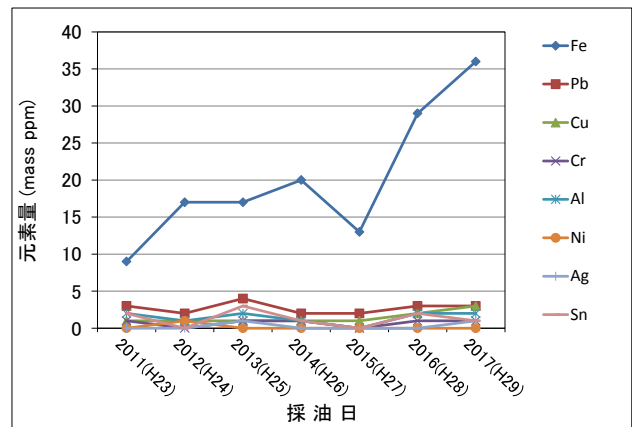


図-3 金属元素量の経年変化グラフ

変化グラフは、オイル分析結果から金属の元素量を時間の経過で示したグラフである。全体的にFeの増加傾向が確認できるが、2015（H27）年度に減少しているところでは、サンプルングタイミングでバラツキがあったものと推察される。

- 標準的には、管理運転完了後にサンプルングをする。
- オイルタンクの底部に溜まったスラッジ等の影響を避けるため、サンプルング管の先端をオイルタンクの下部に着けず、中間位置からサンプルングする。
- サンプルング管やサンプルング瓶は清浄なもので使い回しを厳禁とし、作業中に不純物が混入しないように留意する。
- サンプルング時にサンプルング瓶の口をウエスで拭く、あるいは手で触る等も厳禁とする。

4. オイル管理指標（案）策定

エンジンオイルの管理を適正に行うことを目的に、排水機場ポンプ設備のディーゼルエンジンを対象としたオイル管理指標（案）⁴⁾を2016（平成28）年度に策定し、全地方整備局に先駆けて試行している。

2010（平成22）年度から関東地方整備局管内38機場、155台のディーゼルエンジンを対象に、年点検時に実施したオイル分析メーカーによる分析報告書について設備管理者から収集している。

このオイル分析結果は、毎年新たな分析値を取り込んでDB化したことで、調査対象とした全てのエンジンオイルの性状を一元管理できるとともに、今後も余寿命に関する予測を行うことができるようになった。

(1) 管理指標の考え方

ディーゼルエンジンオイル管理において、最も重要なオイル交換をする時期に関する考え方を示す。

今回整理したJIS規格、製油メーカーの基準値、オイル

分析メーカーの管理値を基に、各施設に対する管理値を設定した。設定にあたっての優先度は、①専門技術者として知見が多いオイル分析メーカーの定める指標、②オイル固有の指標である製油メーカーの基準値、③JIS規格の順とした。

(2) 評価指標の設定

エンジンオイルのグレードはほぼ動粘度で規定していることもあり、本指標では第一指標として動粘度、第二指標は水分及び塩基価を設定した。

(3) 余寿命の評価方法

今回設定した評価指標を基に各指標の経年変化について検討する。概要としては、これら評価指標の現状までの経年変化の傾向が以後も線形で推移するという仮説を立てることで、オイル分析値が数年後に管理値に到達する予測年数を「余寿命」として示すことができるようにしたものである。

次に評価方法として、想定される具体例を示す。

図-4に示す経年変化グラフは、オイル分析結果から評価指標となる動粘度を時間の経過で示したものである。直近5年間の経年変化を見ることで、その後の3年間の動きを回帰線で予測することができる。その手順は、①評価指標である動粘度・管理値のグラフ化、②余寿命 予測回帰線の設定、③判定 とすることで、この場合の余寿命予測は、あと3年で動粘度の下限値に到達すると推定できる。

また、図-5に示す経年変化グラフの水分は経年により増加傾向、塩基価についても経年により減少傾向となったと推測する。

この事例では、評価指標の第一指標である動粘度を優先し、本機場のオイル交換をする時期は2020年度と推定できる。

(4) 余寿命予測の提供

動粘度、塩基価、及び水分という評価指標を明確にしておくことによって、エンジンの異常につながる原因を推定できる可能性がある。

動粘度、塩基価、水分の変化が大きい場合にはその理由を整理することが重要である。そのために必要に応じて、現場の専門技術者と技術的対話を行い、何が原因なのかを調査し報告する。例えば、図-4の傾向を示す経年変化グラフでは、表-1に示すとおり「動粘度が減少した理由は、経年によりピストンが摩耗し周りに隙間が発生し、燃料の不純物がオイルに混入し希釈されたと推定」のように解説をし、経年変化グラフ（図-4）とともに、設備管理者に対して余寿命予測の報告書としてとりまとめて提供している。

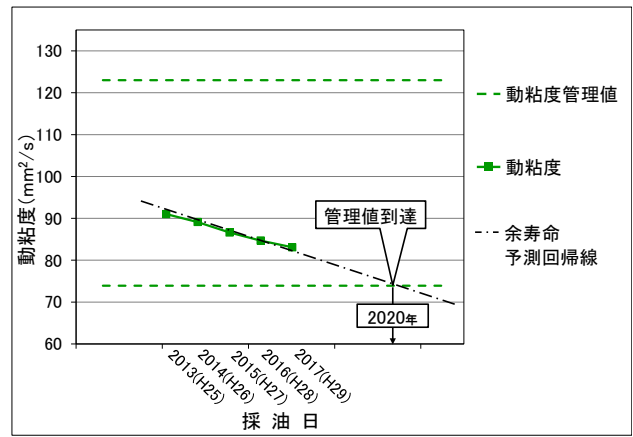


図-4 動粘度の経年変化グラフ

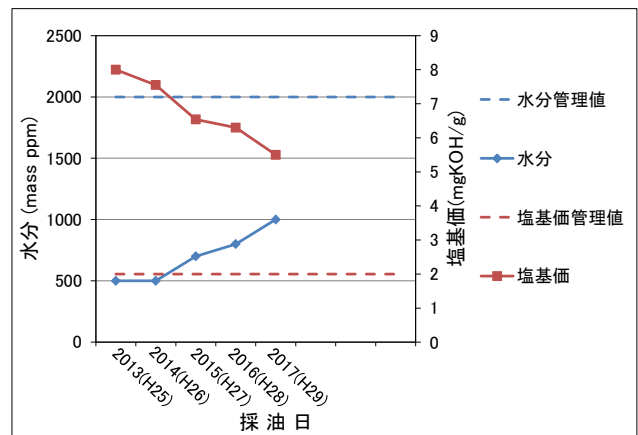


図-5 水分・塩基価の経年変化グラフ

表-1 余寿命予測の報告書（例）

事務所	施設	設備	余寿命予測	分析データの解説
〇〇	〇〇	1号エンジン	2020年度	動粘度が減少した理由は 経年によりピストンが摩耗し周りに隙間が発生し、燃料の不純物がオイルに混入し希釈されたと推定
.....				

5. オイル管理指標（案）の活用

オイル管理指標（案）の現場への活用については、維持管理計画の見直し及び関東地方整備局管内のオイル分析データ収集から、オイル分析・評価を経て整備実施をイメージしたオイル管理のサイクル（PDCA）を示すものである。

(1) 維持管理計画の見直し

オイルの余寿命予測については、維持管理計画の中長期保全計画の立案・見直し及び年度保全計画の立案に活用するとともに、点検・整備業者にも情報を共有していくことを想定している。

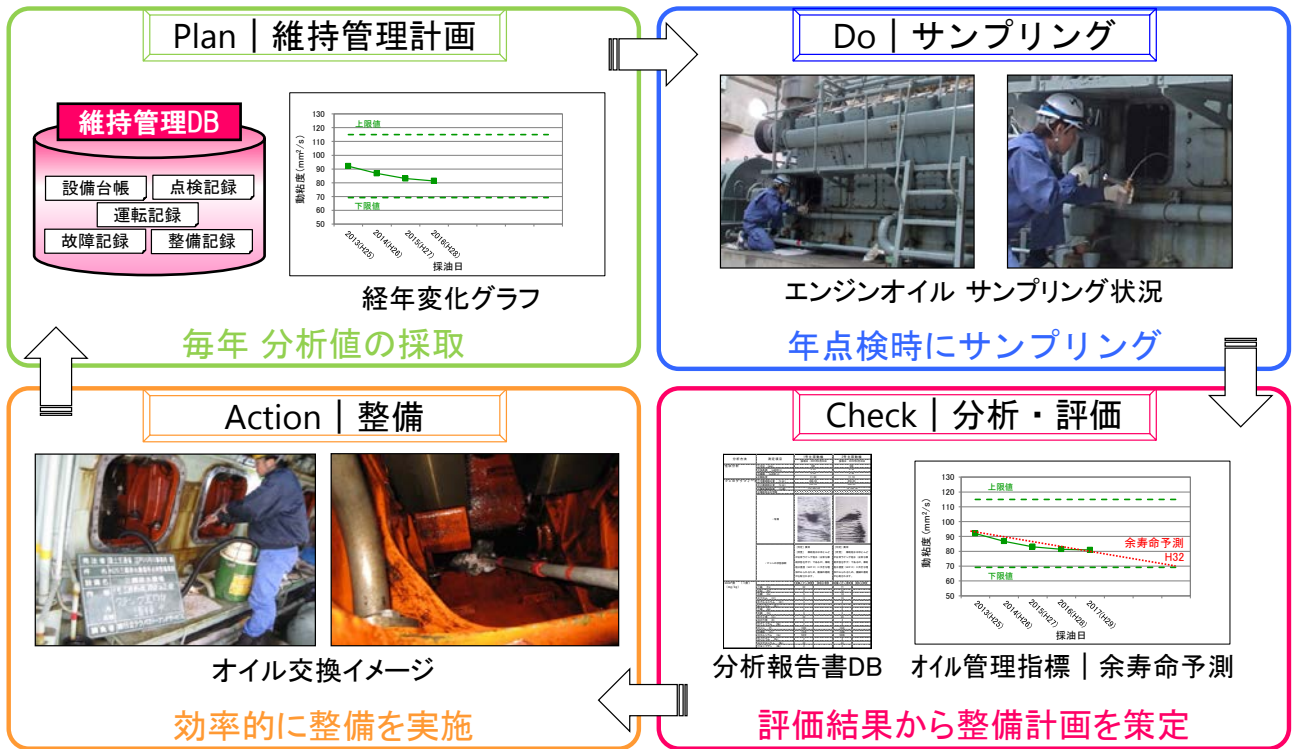


図-6 オイル管理のマネジメントサイクル

(2) マネジメントサイクル

オイル管理におけるマネジメントサイクルのイメージを図-6に示す。

このサイクルは、維持管理計画を立て、オイルサンプルングし、分析・評価の結果、整備し、それをデータベースに反映させるという流れである。

6. まとめ

オイル管理指標（案）策定の成果は、過年度から点検時のオイル分析メーカーによる分析報告書を収集し、毎年新たなオイル分析値を取り込んでDB化したことで、調査対象とした全てのエンジンオイルの性状を一元管理できる。さらに、今後も余寿命（オイル交換をする時期）に関する予測が可能となる傾向を把握でき、現場適用の有用性を示すことができた。

7. 今後の課題

今回は、オイル分析値が数年後に管理値に到達するという仮説をたて、分析値の変化をグラフ化した結果、オイルの経年変化を確認し余寿命予測が可能となる傾向を把握した事例の報告であった。今後ともオイル管理指標（案）の状態監視保全への活用を目指しており、次の各

項には課題を挙げたので、それについて対策すべき取り組みの考え方をまとめた。

(1) 適正な分析値の確保

オイル性状項目の数値が不規則に変動している施設については（図-3）、現場で点検業務の管理技術者及び設備管理者が立会いのもとサンプルングの実態を確認すること等の取組事例を参考に、サンプルングとの因果関係等を把握するための分析の継続と適切なサンプルングの徹底をしていく必要がある。

(2) 少ない分析値の対策

現在は、オイル分析値の変化傾向が線形で推移して管理値に到達するという仮説をたてているため、今後も継続して分析値を蓄積し経年変化をグラフ化し、余寿命予測を行うことが可能であるか検証（追跡調査）を重ね、全ての施設におけるオイル管理指標を策定していく必要がある。

また故障の際に、最終責任を負う設備管理者が自ら管理している施設に愛着を持ってオイルの適正な管理を継続することで故障を減らす手段の一つとし、オイル管理DBを構築していくことも必要である。

(3) 分析結果の有効な活用

エンジン本体の状態監視保全に資する重要な方法にオイルのフェログラフィやSOAP等の診断手法がある。エ

ンジンオイルの性状が適正に管理されることによって、これらの精度を高めることが可能になる。

また不適切なオイル使用に起因する故障を未然に防ぐためのエンジン故障対策としては、関東維持管理技術センターで構築している維持管理DBから点検による計測記録を活用し、故障とオイル分析値との因果関係の検証について傾向管理グラフを用いて解析し確認していくことも必要である。

そしてオイル管理におけるマネジメントサイクルは、今のところPDCAのPDCまで進んでいるため、今後はオイル管理指標を使ってエンジンオイルの交換時期を維持管理計画へ活用させていく必要がある。

8. おわりに

今回策定したオイル管理指標（案）は、信頼性とコスト縮減に関する評価が未だ確立していない現状において、オイルが管理値に到達するときにオイル交換を推奨している。

エンジンオイルの管理を適正に行うため、前述の課題の検討は今後も継続して行う予定である。

謝辞：設備管理者の方々には、エンジン及びオイルの実態調査並びにオイル分析報告書の収集に御協力頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）平成26年度～平成32年度，p.18, 2014.5.21
- 2) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課，水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.2-2, 2015.3
- 3) 関東技術事務所：排水ポンプ設備のリスクマネジメントに関する調査（関東技術事務所 HP > 事務所の取り組み > 技術管理業務 > 技術管理業務成果 > 技術的な取組例 平成25年度），p.41, 2013.
- 4) 関東技術事務所施設技術課：河川ポンプ設備ディーゼル機関潤滑油管理指標（案）（企画部施工企画課イントラ > 機械設備 > 機械設備維持管理 > 9)河川ポンプ設備ディーゼル機関潤滑油管理指標），2016.5