

機械設備の健全度に関する調査

1. 調査目的

国土交通省では、機械設備の信頼性を確保しつつこれを効率的に維持管理していくことを目的として、河川用ゲート設備、河川ポンプ設備、道路関係設備の「点検・整備・更新マニュアル（案）」（以下「点検マニュアル」という。）を策定していたが、これを具体的に行動へ移せるよう、河川用の機械設備において維持管理計画の作成と運用方法を示した「河川用機械設備維持管理計画作成要領（案）」（以下「維持管理作成要領」という。）を平成29年3月に発出した。

関東地方整備局では、点検マニュアル及び維持管理作成要領に基づき維持管理計画作成を進めるため、維持管理作成要領の第3章「維持管理計画作成手法」に記述されている健全度評価、機能的耐用限界評価及び健全度評価シートについて実用性を配慮した「健全度評価作成要領（案）（関東運用）」（以下「健全度評価作成要領（案）」という。）をとりまとめている。また、これと並行して当事務所では「健全度の評価」の的確性を高める精密診断に関し、データ取得や診断の手法を広く普及するため「精密診断マニュアル（試行案）」（以下「精密診断マニュアル」という。）もとりまとめている。

効果的・効率的な維持管理の実現には、信頼性の高い維持管理計画が必要であり、これには的確に健全度等の評価する方法の具体化が課題となっている。

本調査はこの解決を目的として、健全性に懸念がある関東地整管理の施設を対象に、健全度の評価、健全度評価、総合評価、精密診断を試行し、健全度に関する具体的な評価方法のとりまとめを行うものである。

2. 過去の経緯

平成30年度

- ・健全度評価表の作成及び総合評価を、ゲート設備4施設、ポンプ設備6施設（計10施設）で試行した。総合評価の試行結果が妥当と判断できる内容とはならず、この要因も把握できなかった。このため、試行と並行した評価の検証方法が課題として判明した。
- ・精密診断を、河川用ゲート設備1施設（振動解析、漏洩電流測定、赤外線サーモグラフィ）、河川ポンプ設備3施設（振動解析、工業用内視鏡）で実施した。この結果、精密診断及び精密診断マニュアル（試行案）に関する指摘事項があり、この解決に向けた要因分析の方法等が課題として判明した。
- ・故障情報の整理を、5件実施した。整理された故障情報の利用方法にあわせたとりまとめ方法が課題として判明した。

3. 調査概要

本年度は、関東運用と精密診断マニュアルにより、実際の設備を対象とした健全度評価から総合評価までを試行した。また、今後の状態監視保全の運用に重要と考えられる設備の故障情報の収集・整理を行い、故障原因、対応策等の情報共有すべき事項をとりまとめた。

3. 1 健全度評価

健全度評価は、状態監視保全の効果を高めるため、老朽化あるいは故障が懸念される設備の健全度を適切に評価するものである。

本調査では、ゲート設備3施設、ポンプ設備6施設、道路排水施設1施設を対象に健全度評価を実施し健全度評価表にとりまとめた。評価は、点検の判定結果及び計測値に基づく傾向管理評価結果と精密診断に基づいて行う「健全度の評価」と、評価対象となる装置・機器の致命度、設置条件等の影響度を勘案して行う「健全度評価」の2段階で実施した。

また、健全度評価の省力化・効率化に向け、汎用のBIツール（Business Intelligence tools）を用いた健全度評価用データ整理作業について検討した。

さらに、健全度評価の的確性向上に資する点検判定事例集のとりまとめに向け、「点検結果の評価」を整理した。

3. 2 精密診断

精密診断は、点検マニュアルでは装置・機器に異常の傾向が認められる場合（△評価）、必要に応じた診断を実施するものとしており、このうち精密診断とは、装置・機器の運転状況において機能低下の兆候が「振動」「騒音」「温度」などの状態監視項目に現れている場合、その発生箇所・原因の特定や劣化の程度を把握するために実施する計測及び解析のことである。

本調査では、診断対象の設備について、精密診断マニュアルに基づき精密診断実施計画書を作成し、現地計測、評価・判定を行い、精密診断報告書をとりまとめた。精密診断マニュアル（試行案）の改訂検討について、精密診断実施結果より課題抽出を行い、その対応を整理し改定案をとりまとめた。さらに、精密診断の実施後行った作業について整理し、省力化・効率化に向け検討した。

3. 3 健全度評価作成要領（案）の検証

健全度評価作成要領（案）は、平成29年度に作成し、この要領を用いて平成30年度実施した健全度評価試行において分かった課題（機能的耐用限界を超えていても、機器の点検で不具合が発見されない場合は低い評価となる。影響度評価項目の重み付けが各項目で同一となっている。）について要領の検証（設備の重大故障による機能喪失または低下を補う「代替手段」を加えた試験的拡大健全度評価）を行い、検証結果を基に改訂素案を作成した。また、点検結果の事例収集にてとりまとめで同程度の状態であっても評価に差異が生じている点検結果の評価についてその要因の把握を行い、適切な評価が行える参考資料を作成した。

機能的耐用限界評価においては、保守期限に部品別の故障発生頻度を加味して検証した。

3. 4 故障情報の整理

本調査では、関東地方整備局管内において発生した機械設備の故障情報を分析するとともに、これらの再発防止に向けた知識化を目的として故障情報の整理を行った。

故障情報は、故障の原因を直接的要因から間接的要因まで広い視野から考察するため、関係者に対して当時の状況等事象に関するヒアリング等を行い、これを知識化するために「事象」「経過」「原因」「対応」「総括」「知識化」といった項目で整理し、これは詳細版と使いやすさに配慮した要約版にとりまとめた。

4. 調査結果

4. 1 健全度評価の試行

（1）健全度の評価

「健全度の評価」の計測データを記入するため「傾向管理グラフ」及び「傾向管理評価シート」を作成した。傾向管理のしきい値は「傾向管理基準値の設定及び評価方法」により作成し、注意値を超過したデータについて、表－１のとおり考察する。

表－１ 注意値を超過したデータについての考察

項目	内容
軸受温度、潤滑油温度、冷却水温度	<ul style="list-style-type: none"> 計測データが、状態監視ガイドラインに示された温度上昇値ではなく最終温度になっている。 ガイドラインには、「30 分程度の管理運転において計測されたデータは周囲温度の影響によるバラツキが大きくなる。」とあることからバラツキが生じて超過となった可能性がある。
潤滑油圧力	<ul style="list-style-type: none"> ガイドラインに「給油圧力は、油の粘度により変化する」とあり、周囲温度の影響により、バラツキが生じて超過となった可能性がある。
振動	<ul style="list-style-type: none"> 弁開度を絞った管理運転を行っている機場において、運転条件の記載がない。
各気筒排気温度	ポンプ設備の状態監視ガイドラインには、温度偏差が大きい場合について「メーカーとの意向確認」を行うとあるが、確認の結果が示されていない。
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> 点検業者によるデータ計測、運転条件の確認、維持管理システムへの入力データは、状態監視ガイドラインに準拠する。 気筒温度の注意値超過データは「メーカーとの意向確認」を行い、判定結果(△1～△3)を定める。

(2) 機能的耐用限界評価の実施結果

「円滑な運転操作の可否」、「陳腐化」、「関連諸令・技術基準との整合」について、過去の改造履歴や補修部品供給状況等について貸与資料やメーカーヒアリング資料を基に評価を行った。ディーゼル機関を例に、ヒアリングによる部品供給状況と評価区分の例を表－２に示す。

表－２ 部品供給状況と評価区分（部品供給性による評価）

施設名	機種	製造中止	①該当部品	②該当部品	評価	
W2 排水機場	1号原動機	6MAL-DHT	○	有り	有り	△1
	2号原動機	S185L-ST	○	有り	有り	△1
	自家発	6KDL	○	無し	有り	△2
TK10 排水機場	原動機	6MAL-HT	○	有り	有り	△1
	自家発	6KDL	○	無し	有り	△2
TK7 排水機場	1、2号原動機	S185L-UT	○	無し	有り	△2
	3号原動機	M220AL-EN	○	無し	有り	△2
	自家発	6L20AX	○	無し	有り	△2
E21 排水機場	1、2号原動機	16V25X	○	無し	有り	△2
	3号原動機	16V32CX	○	無し	無し	○
	自家発	6L20AX	○	無し	有り	△2
S9 排水機場	1、3号原動機	6ZL-UT	○	有り	有り	△1
	自家発	6HAL-HT	○	有り	有り	△1

注)①:製造メーカー生産中止により対応不可の部品

②:供給可能であるが、長納期・多額費用又は今後対応困難となる見込みの部品

(3) 影響度評価の実施

各施設の設置条件、故障履歴、保全状況、致命度による影響度評価を行った。

(4) 総合評価の実施結果

総合評価は、全 350 の機器について平成 30 年度の評価項目の優先順位付けに従い、施設ごとの社会的影響度を勘案して 10 施設全体と施設単位で行った。総合評価の方法は、平成 30 年度の調査により試行した方法の中では最も確性に優れていると評価された次の優先順位によるものとした。

健全度の評価 > 機能的耐用限界評価 > 影響度評価 > 社会的影響度

これにより試行した総合評価に対する所見を以下に示す。

- ・優先順位の高い機器（△1）は、350 中 69（20%）であり、そのうち 44（64%）は排水機場の系統機器が占めており、経過年数（時間計画）を超過していることが主な要因となった。
- ・機能的耐用限界評価で「○」でない機器は 19 であり、そのうち 13 については健全度の評価により低い優先順位となった。これは、健全度の評価において経過年数の評価が設置又は整備時からの年数としているため、設置後に定期整備（オーバーホール）を実施している機器では評価レベルが下がることの影響が要因として挙げられる。
- ・河川用ゲート設備については、影響度評価（影響度指数）の要因で河川ポンプ設備より下位となった。

4. 2 健全度評価の省力化・効率化

（1）健全度評価の課題と対応策の提案

健全度評価の過程で把握した省力化・効率化に関する課題を抽出し、課題に対する対応策を表 3 のとおりまとめた。

また、維持管理システム内データの可視化による省力化・効率化の検証として、帳票及びグラフによるデータの可視化を行うツールを用いて検証を行った。

表-3 健全度評価における省力化・効率化の課題と対応

作業内容		課題	課題に対する対応
機器リストの作成方法	設備構成機器の確認	<ul style="list-style-type: none"> 機器構成は、過年度の完成図書を全て確認しながら作成する必要があるが、多くの時間と労力を要する。 資料ごとに機器名称が不統一で機器の特定に時間を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> 維持管理システム内に機器リストのデータを記録する。 既存設備の機器名称は、可能であれば健全度評価作成要領記載の名称に変更。
	整備・更新年度の確認方法	<ul style="list-style-type: none"> 過年度の点検・整備で取替られた機器・部品の確認は困難である。 	<ul style="list-style-type: none"> 点検・整備業務及び整備・更新の工事に機器ごとの整備・更新年度の修正作業を含める。
計測データ(傾向管理グラフの作成)の収集、分析	傾向管理項目設定	<ul style="list-style-type: none"> 点検業務での計測項目と状態監視ガイドライン記載の計測項目が整合していない場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 具体的な計測項目・計測値の記録方法を整理した上で、点検業務の公告資料に記載する。
	計測データ収集時の運転条件記録	<ul style="list-style-type: none"> 維持管理システム内に含まれている計測データに、計測データ収集時の運転条件(外気温、運転開始から計測時までの経過時間、運転前の計測値)が含まれていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 傾向管理項目の計測値に影響する運転条件を示す計測データを定め、必ず記録する。 運転条件に影響する代表する計測データ項目を定めておく。
	しきい値の設定方法	<ul style="list-style-type: none"> 初期値設定の範囲(データ数)により、注意値と予防保全値が大きく変動する。 	<ul style="list-style-type: none"> 正常値と見なせる計測値に変動があった場合はしきい値を見直す。 他号機や他施設の計測データも参考にして正常値の範囲を設定する。
点検結果整理の省力化・効率化	評価対象単位・名称統一の提案	<ul style="list-style-type: none"> 作成要領における機器のレベル(機器、部品)単位と、点検・整備業務の評価単位・名称が不整合。 	<ul style="list-style-type: none"> 点検報告書記載の機器、部品の区分を健全度評価作成要領の区分・名称と整合させる。
	傾向管理結果と点検結果の相違	<ul style="list-style-type: none"> 計測データが注意値や予防保全値を超過していた場合、評価区分や精密診断の実施要否の判断が必要となるが、評価が点検時から遅れるため、結果に相違が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 傾向管理項目は、絶対値判定基準値でなくしきい値により評価する。 傾向管理グラフとしきい値を、施設管理者が点検会社に示し結果判定に反映できるようにする。
	点検結果の評価区分決定	<ul style="list-style-type: none"> 点検整備者の評価区分(×、△)と施設管理者の評価区分(×、△1、△2、△3)が異なり、故障レベルについて点検整備者の判断が示されないため、施設管理者の評価に反映されにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> 点検・整備チェックシートの点検部位別の判定結果を基に、評価対象単位に合わせて×、△1、△2、△3の4段階で判定・記録する。
影響度評価における故障履歴の確認	<ul style="list-style-type: none"> 本業務での故障履歴(評価対象となる過去の故障回数)は貸与された維持管理システムの「kosyou」データを参照し取りまとめたが、主に定期点検時(年点検、月点検)の故障履歴のため、通常運転時に発生した故障は含まれていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 現行どおり、維持管理システムの「kosyou」データを参照する。 故障発生と対応結果の維持管理システムの記録を確実にを行う。 	

4. 3点検結果の評価事例収集

本年度は、健全度の評価に用いる「点検結果の評価」の整合を図るため、河川用ゲート設備9施設及び河川ポンプ設備9施設の点検データを機器と評価結果で分類し、評価結果の根拠をとりまとめた。

また、これを用いて機器別の評価結果及び点検整備者と管理者の評価について分析した。この結果を次に示す。

・機器別の評価

塗装における塗膜の劣化や発錆の評価は、報告に添付されている写真では同程度と思われる事象で差異が生じていた。

潤滑油分析結果の評価では、明確な判定基準（×、△1～△3）が無く評価者に委ねられている。今後の潤滑油診断結果や潤滑油診断結果に基づいた処置方針の蓄積を継続することにより、点検整備者が適正に判定できる基準を定めていくことが必要と考えられる。

・点検整備者と管理者の評価

機器の状態が×（緊急に措置が必要な状態）にも関わらず、優先度の低い機器について緊急度を下げた評価がある。これは、点検受注者が機器単体の状態をみて評価を行うのに対して、管理者は施設レベルや対象機器の致命度等も含め総合的に評価しているものと推測される。

以上より、点検結果の的確な評価には、まず点検受注者が機器単体の状態を適正に評価することが重要であるため、この目安となる事例のとりまとめが有効と考える。

4. 4 精密診断の試行

(1) 精密診断の概要

本年度に精密診断を実施した施設と診断技術及び結果は以下のとおりである。

なお、AK4 排水機場は、当該施設の点検判定結果を受けて精密診断を試行することとしたものである。

表－4 精密診断試行施設と診断技術

区分	対象施設	診断技術
河川用ゲート設備	AJ19 水門	振動解析(主電動機、切替装置、減速機)×2(1号、2号) 漏洩電流測定(機側操作盤)×2(1号、2号) 赤外線サーモグラフィ(振動解析と同様)×2(1号、2号)
河川ポンプ設備	TK10 排水機場	振動解析(主ポンプ)×2(1号機、2号機) 振動解析(動力伝達装置)×2(1号機、2号機) 工業用内視鏡(主ポンプ)×2(1号機、3号機)
自家発電設備	AK4 排水機場	振動解析(初期潤滑油ポンプ)×2(1号、2号) 振動解析(機付潤滑油ポンプ)×2(1号、2号) 成分分析(潤滑油)×2(1号、2号)

(2) 精密診断の実施

1) 振動解析(河川用ゲート設備)

AJ19 水門 2号ゲート主電動機及び切替装置には、周波数解析において軸受内輪傷の特徴周波数と一致する振動が確認された。

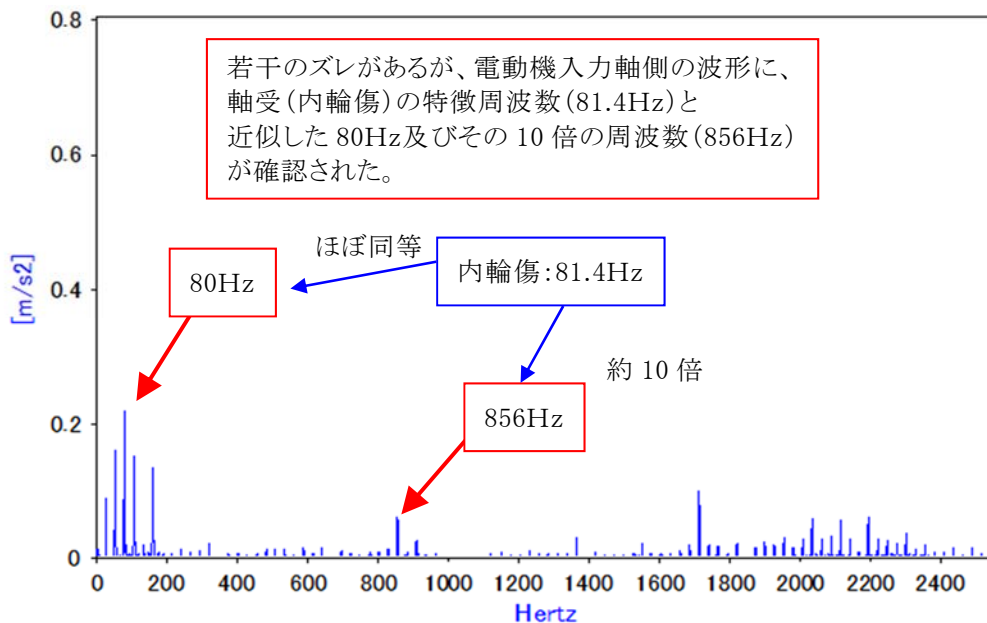


図-1 電動機入力軸側軸受のFFT

2) 漏洩電流測定 (河川用ゲート設備)

AJ19 水門は、2 門のゲート設備それぞれに機側操作盤が整備されており、ここから各開閉装置の電動機へ給電されている。漏洩電流測定は、それぞれの機側操作盤内において、動力電源主幹～電動機用遮断器、電動機用遮断器～盤内、盤外～について Igr を測定した。

その結果、特に劣化等を示す数値は見られなかった。

3) サーモグラフィ (補足技術) (河川用ゲート設備)

AJ19 水門の主電動機、切替装置、減速機について温度上昇、分布偏りを確認した。



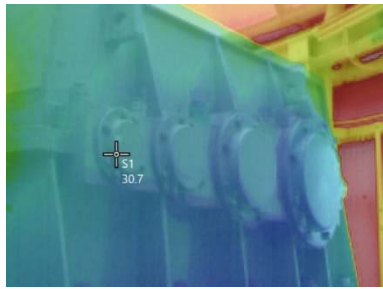
電動機	切替装置	減速機
		
上昇温度：12.0℃	上昇温度：2.1℃	上昇温度：2.8℃

図-2 サーモグラフィ画像

4) 振動解析 (主ポンプ) (河川ポンプ設備)

TK10 排水機場の主ポンプ主軸振動について、渦電流変位計による振動計測、周波数解析 (FFT)、リサーチ図による診断を行った。

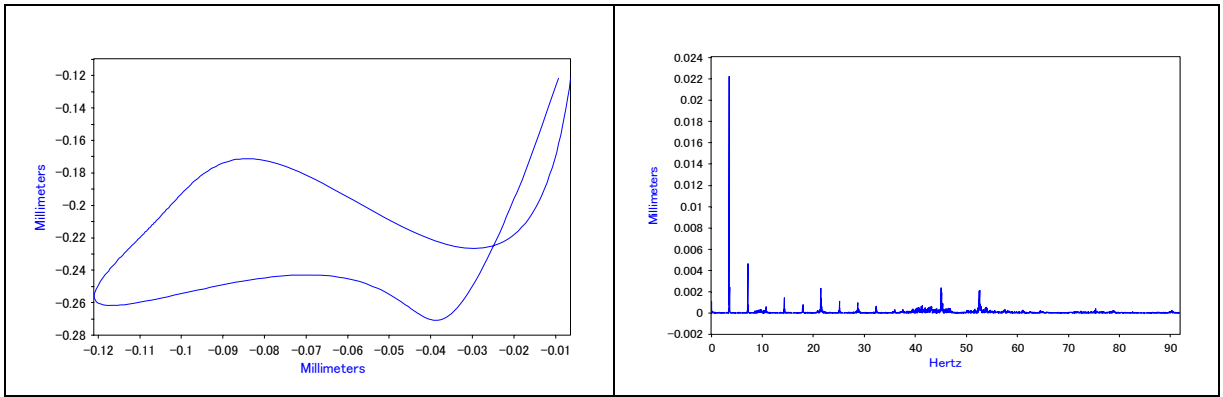


図-3 主軸のリサージュ図 (左) と FFT (右)

5) 振動解析 (動力伝達装置) (河川ポンプ設備)

TK10 排水機場の主ポンプ用減速機について、振動計測、周波数解析(FFT)による診断を行った。

6) 工業用内視鏡 (主ポンプ) (河川ポンプ設備)

TK10 排水機場の主ポンプ内部の撮影を行った。

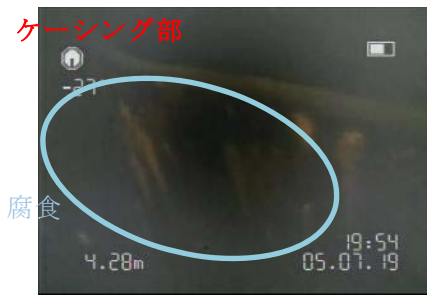


写真-1 案内羽根上部

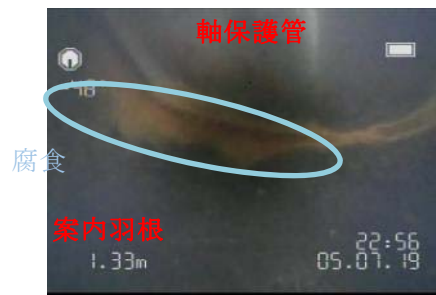


写真-2 主軸・水中軸受

7) 振動解析 (潤滑油ポンプ) (自家発電設備)

AK4 排水機場自家発電設備のディーゼル機関初期潤滑油ポンプは、管理運転前に単独運転を行って振動計測を行った。ディーゼル機関に直接固定されている機付潤滑油ポンプはディーゼル機関からの振動の影響が大きく有意な波形データを取得することは困難であると考えられる。

8) 潤滑油の成分分析 (自家発電設備)

AK4 排水機場自家発電設備のディーゼル機関における潤滑油について成分分析、フェログラフイによる診断を行った。



写真-3 フェログラフイ

(3) 精密診断マニュアル（試行案）の改訂検討

「河川用ゲート設備精密診断マニュアル（試行案）」及び「河川ポンプ設備精密診断マニュアル（試行案）」（以下「試行案」という。）の改定ポイントを、本年度における精密診断の試行結果及び計測機器メーカーへのヒアリング等よりとりまとめた。

1) ゲート設備（振動診断）

- ・減速機などの軸受は、箇所によって歯車の噛込み（回転）方向が異なるため、水平方向の振動センサ取付け位置により振動波形に差を生じることが考えられる。水平方向の力がかかる箇所に近いところで計測することにより、不具合をより顕著に検出できる可能性がある。

これについて検証は必要であるが、精密診断の精度向上が期待される。

- ・扉体の開操作または閉操作で開閉装置の動力伝達軸の回転方向は異なるため、鉛直方向の振動センサ取付け位置により振動波形に差を生じることが考えられる。この荷重を受ける側に振動波形が大きく出ると考えられるため、不具合をより顕著に検出できる可能性がある。

これについて検証は必要であるが、精密診断の精度向上が期待される。

2) ゲート設備（漏洩電流）

- ・漏電計測では、計測結果が磁界の影響を排除するため計測器とモータを 0.5m 以上離す記述が必要である。

3) ゲート設備（赤外線サーモグラフィ）

- ・サーモグラフィでは、計測対象全体を計測できることが望ましく、これに必要な離隔距離の事前確認が重要である。

4) ポンプ設備（振動診断）

- ・管理運転にあたっては、連続運転時間を確保するため十分な水位を確保が重要である。

5) ポンプ設備（工業用内視鏡）

- ・内視鏡の撮影画像に大きく影響するのが、内視鏡が持つ照明の明るさである。よって、機材の選定では、照度の高い照明を持つ機種を選ぶことが重要である。

また、照明の色により部位の色も変わったように見えることから、演色性に留意することも重要である。

- ・主ポンプ内部の鮮明な撮影には、水抜き後の調査が望ましい。

(4) 精密診断の省力化・効率化の検討

本年度に行った精密診断の試行結果に計測機器メーカーへのヒアリングも加え、精密診断の省力化・効率化を検討した。

1) ゲート設備

- ・開閉装置の動力伝達系統にある軸受の振動は、振動体に固定する圧電式センサを用いた振動加速度で計測されるのが一般である。

ゲート設備開閉装置の電動機における一般的な回転速度は、電源周波数 50Hz の場合 1000min^{-1} である。これは、扉体の開閉速度 0.3m/sec となるウインチドラムの回転速度まで減速される。

この計測方法は高周波数振動に適している特徴があるため、計測対象装置の回転速度が 20min^{-1} 以下の場合について有用性をメーカーに確認し、計測精度は低いという回答を得た。

このため、精密診断実施前に振動計測箇所の軸回転速度を算出し、これが 20min^{-1} 以下となる箇所の測定は除外すべきである。

- ・平常時における管理運転でも、閉操作に比べ開操作の方が開閉装置への荷重は多少大きいと考えられるため、振動診断における異常な振動波形は開操作時にでやすいと推測される。このため、振動計測は開操作時のみで行っても診断できる可能性がある。
- ・現在、サーモグラフィは人が計測機器を持って撮影している。この方法では、同じ箇所の温度変化を時系列で管理したい場合、画角などが異なることがある。そこで、赤外線サーモグラフィの取り外しが可能な治具を用意し、これを任意の箇所へ固定することで、常に同一画角で撮影できる。さらに、治具固定後における計測において、現在実施している撮影場所と撮影画角の確認作業も不要となる可能性がある。

2) ポンプ設備

- ・ポンプ主軸の振動は、渦電流センサを用いた振動変位で計測している。渦電流センサは、フレキシブルアーム付きのマグネットスタンドにマイクロゲージを使った専用治具に取り付けている。概略のセンサ位置はフレキシブルアームで決め、軸との精密な離隔距離をマイクロゲージにより決めている。

この方法の問題点は、ポンプの構造によってはゲージを直接読めない場合があることや、マイクロゲージの目盛りの読み間違いをしやういことが挙げられる。

その対策を検討したところ、ブロックゲージによるつき当て方式が有効であった。これにより目盛りが読めない箇所への設置も可能となり、目盛り調整が不要となることにより設置の作業性向上も期待される。

ちなみに、本年度に試行した TK10 排水機場は、主ポンプ構造より本来計測したい箇所にセンサを設置できなかった。しかし、この方法では振動計測が可能と判断するが、試行検証は必要である。



写真-4 ブロックゲージの例

- ・ポンプ主軸の振動計測に用いる渦電流センサの取り付けに、マグネットスタンドを用いている。この問題点は、マグネットスタンド取付場所の凹凸や油脂分、マグネットスタンドとの共振などによりセンサ位置のズレが計測中に生じてしまうことが挙げられる。

この対策を検討したところ、排水ポンプ毎の専用治具設置が有効であった。治具の台座にはめあい交差を指定したうえで位置決めピンにより位置決めを行えるため、センサを着脱しても正確な位置決めができるためである。これにより、計測の精度と作業性の向上について期待されるが、試行検証は必要である。

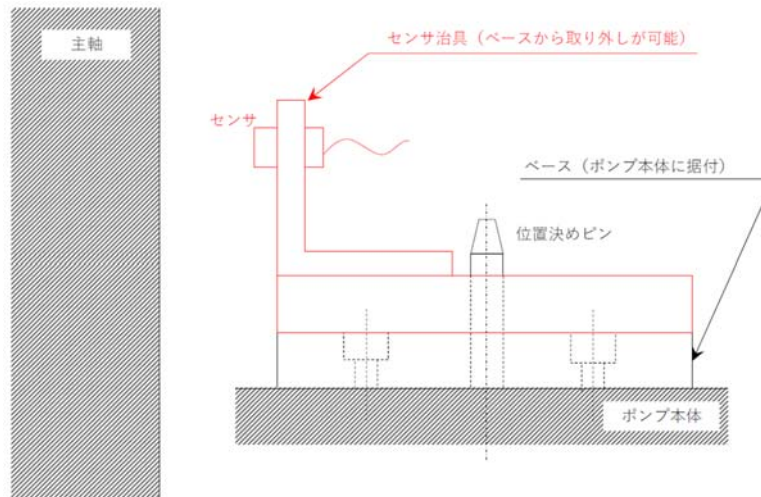


図-4 渦電流センサ専用治具常設案

- ・ポンプ主軸の振動計測に用いる渦電流センサについては、従前より常設することが理想とされてきた。これは、センサ着脱作業が不要となることで計測精度も確保できることがメリットとして考えられている。
- ただし、軸の位置が一定しているとは限らないため、センサ位置を調整できる機構は必要と思われる。

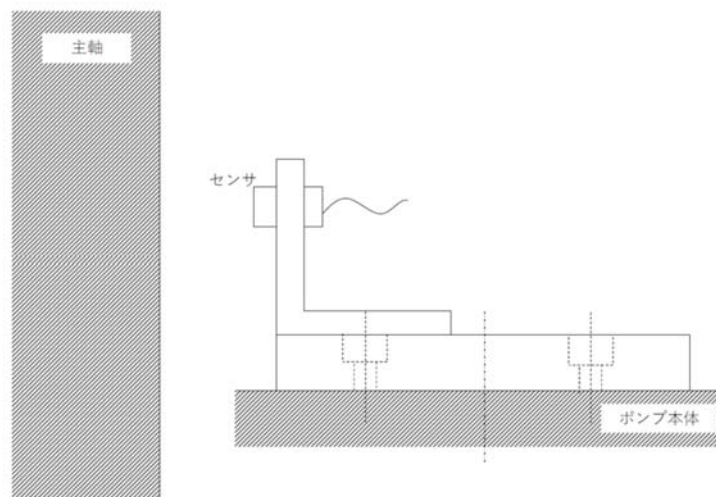


図-5 渦電流センサ常設案

4. 3 健全度評価作成要領（案）の検証結果

(1) 代替手段を加えた試験的拡大健全度評価

総合評価の的確性向上を図るため、健全度の評価、機能的耐用限界評価、影響度評価と並列に「代替手段評価」を試験的に加えた評価を実施し、その効果を調査した。代替手段評価とは、機器が故障した場合の代替手段（例えば予備機）の有無を評価するものである。

この結果、致命度の高い機器について順位の上昇を確認した。的確な総合評価に向け、この項目を位置付けるレベル検討と評価内容の具体化が有効と考える。

(2) 健全度評価作成要領（案）の問題点を明らかにするための検証

1) 健全度の評価に関する精度向上の検証

計測データの評価について、次の問題を把握した。

- ・各種温度、各種振動、気筒温度のデータに、計測条件等必要情報が不足
- ・経過年数評価は整備内容の程度が考慮されず、整備後は新品として評価している

よって、定期整備の内容に応じた次回整備・更新時期への影響を評価へ反映することが有効と考える。

2) 機能的耐用限界評価に関する精度向上の検証

総合評価機能的耐用限界評価を検証したところ、健全度評価の精度向上について次の視点が浮き彫りとなった。

- ・計測データにより故障予知が可能か、突発的な故障の発生が考えられるか
- ・経過年数に大きく影響されて評価は的確か
- ・診断結果欄について、現状は計測データ欄、点検結果欄、経過年数（時間計画）欄と同列で評価され、健全度の評価に反映されているが、診断結果の内容次第では最重視されるべきでないか
- ・当該機器が故障して修理不能となっても、完全復旧までの代替措置や短期の新品調達が可能なる場合もあるのではないか

3) 影響度評価に関する精度向上の検証

本来、影響度評価については設置条件、故障履歴、保全状況、致命度の4項目それぞれに重み付けすることとされているが、その方法は具体的に示されていない。

本年度は、4項目のうち致命度の比重を高めた効果を検証した。また、重み付けの意思決定手法として採用が考えられる「AHP」（Analytic Hierarcky Prosess:階層分析法）の適用も調査した。

現在、致命度の設定方法と「点検・整備・更新マニュアル」における機器の特性（致命度）の評価は不一致状態にあるため、本年度はFMEA（Failure Mode and Effects Analysis）による致命度（故障等級）を整合させる方法を検討した。この結果、健全度評価の装置の単位別に致命度を設定する方法としては4段階区分が適当という結論を得た。

(3) 健全度評価作成要領（案）の改訂素案取りまとめ

上記検証の結果及び健全度評価における省力化・効率化の提案を踏まえて評価健全度評価作成要領の改訂素案を表-5のとおりまとめた。

表-5 健全度評価作成要領（案）の改訂素案

No.	項目	問題点	改訂内容	理由
1	p. 6 3.1.3	健全度評価について、「機能的耐用限界を超えていても、機器の点検で不具合が発見されない場合は低い評価となる。」との指摘がある。	「3.1.3 健全度評価 [自動表示] 健全度の評価及び機能的耐用限界評価のうち、リスクの高い方の評価区分とする。健全度の評価（28欄）及び・・・高かった評価区分が自動表示される。」に修正	・評価の考え方を明確にする。 ・作成要領の基になる「河川用機械設備維持管理計画作成要領(案)」が準拠している機械設備の「点検・整備・更新マニュアル(案)」の「図 2.2.-1 河川ポンプ設備の維持管理の流れ」（河川用ゲートも同じ）においては点検結果○、健全度評価△1、△2、△3 全て機能的耐用限界評価を行い保全が必要な場合は整備・修繕・更新対応策を検討するとされている。
2	p. 7 3.1.10	健全度評価シート「取替更新年数/実績」を入力するための説明文中に「整備」の語句があり、紛らわしい。	3.1.10 項における説明の「整備・更新」4箇所を「取替・更新」に統一する。また、「過去の整備記録等から」を「過去の記録から」とする。	・「取替・更新」と「整備」の使い分けを明確にする。
3	p. 7 3.1.11	取替更新年数の計算式に「整備」の語句があり、紛らわしい。	計算式の「 Y_p 年経過した機器等の整備・更新年数（設置から整備・更新までの年数）＝・・・」を「 Y_p 年経過した機器等の取替・更新年数（設置から取替・更新までの年数）＝・・・」に修正する。 注記の「 Y_p ：機器等の新設時（又は整備・更新時）から・・・」を「 Y_p ：機器等の新設時（又は取替・更新時）から・・・」に修正する。 3.1.12 も同様に「整備・更新年数」を「取替・更新年数」に修正する。 3.1.26 も同様に「 Y_p ：経過年数（設置又は整備時から・・・の年数）」を「 Y_p ：経過年数（設置又は取替・更新時から・・・の年数）」に修正する。 3.1.36 も同様に標題を除く「整備」4箇所を「取替」に修正する。	・「取替・更新」と「整備」の使い分けを明確にする。
4	p. 8 3.1.14	健全度評価シート「定期整備周期/実績」を入力するための説明文中に「更新」の語句があり、紛らわしい。	「整備・更新」を「整備」に統一する。 3.1.40 も同様に「取替・更新」2箇所を「整備」に修正する。	・「取替・更新」と「整備」の使い分けを明確にする。
5	p. 17 3.1.24 ～48	影響度評価項目の重み付けが各項目で同一となっている。	「重みづけを行わない場合は、影響度評価項目のうち、評価点の最も大きい値で評価する。」を追記	・重み付けの方法として、AHPによる意思決定法もあるがそれなりの手間がかかるので、最も単純な案を示した。
6	p. 18 3.1.47 致命度	代替手段の有無を整備・更新の優先順位に反映させる方法がない。	別紙-4 に代えて、健全度評価の装置、機器の単位別に致命度を設定する。	・現行の致命度評価はF Tの考えに基づくFMEAで整理されており、予備機（冗長性）がある場合はシステム機能への影響度が一律最低となり、故障等級（致命度）が低くなる結果、優先順位が低くなる。 ・マニュアル改定時の、致命/非致命の区分変更と整合していない。
7	別紙-1, 2	健全度評価表の列番号と健全度評価の説明番号が一致していることを説明する。	別紙-1, 2 の健全度評価表の凡例に「表の列番号は、第3章の記入内容説明の番号 3.1.○に対応している。」を追記する。	・説明と対照するよう工夫されているので、利用者に知らせる。

(4) 保守期限に部品別の故障発生頻度を加味した評価の検証

ディーゼル機関（主原動機、自家発電設備）を例に、部品別の故障発生頻度を加味した評価を検証した。

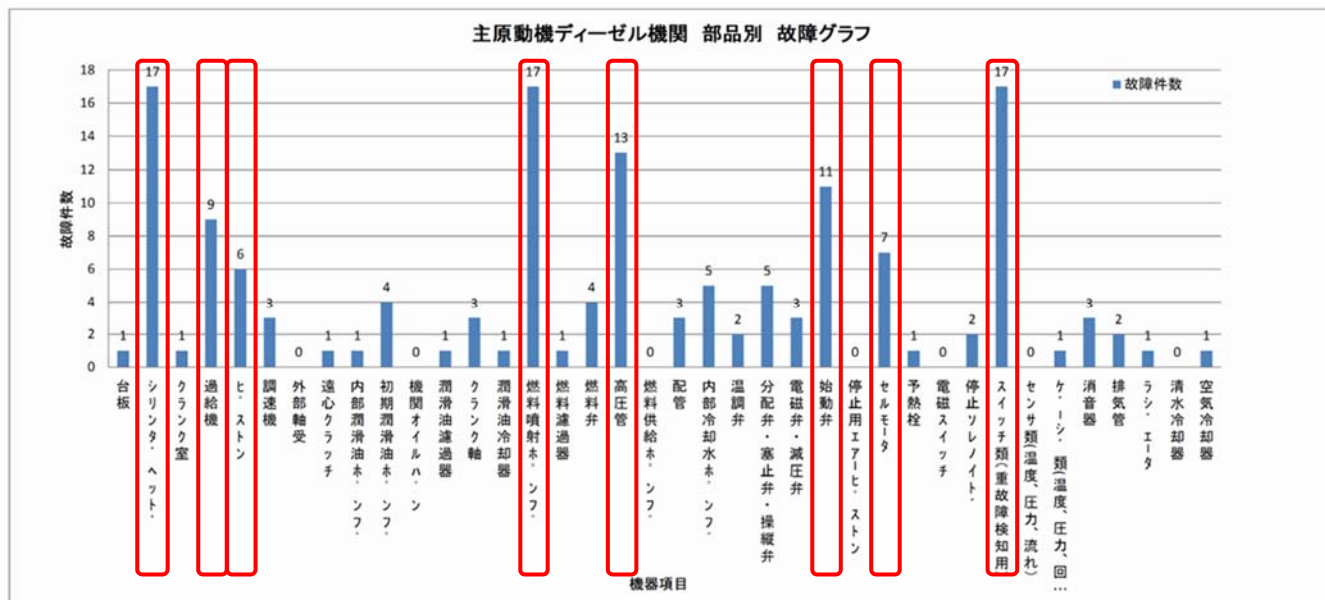


図-6 ディーゼル機関の部品別故障頻度(□囲み:高 その他:低)

表-6 機能的耐用限界評価 (再評価結果)

施設名	使用箇所	機種型番	現行方式による評価		故障頻度を加味した評価	
			代表部品	評価区分	代表部品	評価区分
W2 排水機場	1号原動機	6MAL-DHT	クランク軸	△1	ピストン	△2
	2号原動機	S185L-ST	台板	△1	過給機	△2
	自家発	6KDL	過給機	△2	過給機	△2
TK10 排水機場	原動機	6MAL-HT	連接棒	△1	ピストン	△2
	自家発	6KDL	過給機	△2	過給機	△2
TK7 排水機場	1、2号原動機	S185L-UT	過給機	△2	過給機	△2
	3号原動機	M220AL-EN	過給機	△2	過給機	△2
E21 排水機場	1、2号原動機	16V25X	クランク軸	△2	シリンダヘッド	△3
	3号原動機	16V32CX	全部品	○	過給機他	○
	自家発	6L20AX	クランク軸	△2	燃料噴射ポンプ	△3
S9 排水機場	1、3号原動機	6ZL-UT	シリンダヘッド	△1	シリンダヘッド	△1
	自家発	6HAL-HT	クランク軸	△1	ピストン	△2

検証の結果を以下に示す。

- 故障頻度の低い部品の供給状況が機器全体の評価の決定要因となっている場合が多い。
- 故障頻度を加味した場合、故障頻度の低い部品の評価ランクが下がり、故障頻度の高い部品で機器全体の評価が決まっている。

4. 4 故障情報の整理結果

関東地方整備局管内において発生した河川系機械設備の下記故障3件の情報を分析し、故障原因、対応策として情報共有すべき事項等を取りまとめた。

表-7 機器区分と故障事象

No	機器区分	故障事象
1	発電機盤	発電機盤保護回路（ハードリレー、基板）の焼損
2	ガスタービン	ガスタービン燃料ノズルからの燃料漏れ
3	ディーゼル機関	ディーゼル機関排気弁からの冷却水漏れ

(1) 故障情報の整理方針

平成30年度の取りまとめ方法や他分野の故障事例の公開資料を参考に方針を定めた上で以下のとおり整理した。

表-8 故障情報の整理方針

整理項目	整理内容	主な利用
事例概要	どのような設備(機器)にどのような不具合事象が発生し、どう対応したかを簡潔に整理	・故障発生状況の把握
故障情報区分	発生箇所(設備、機器、部品)、経過年数、設備機能等の情報を整理	・故障の統計処理
経過	故障発生確認から対策完了までの実施フロー、スケジュールの事実関係を整理	・故障対応予測
原因	特性要因図(機械要素に特化)による原因分析を行い、原因を確認	・故障予防対策 ・故障発生時の原因調査
処置	復旧対応、代替策等の実施内容	・故障対応予測
考察	故障事例に関する特記事項	・故障予防対策
知識化	情報共有を図る	・基準、マニュアル等への反映

(2) 故障情報の整理

故障情報の整理方針に基づき表-9 とおり整理した。

表-9 故障情報の整理

No	発電機盤保護回路（ハードリレー、基板）の焼損
	<p>【事例概要】</p> <p>自家発電設備2基のうち1基が、発電機盤の保護回路異常により始動不能状態であった。異常作動の原因は保護回路のハードリレー接点の溶着であったが、保護回路に使用されているプリント基板回路が焼損した。溶着、焼損の原因は不明であった。</p> <p>応急復旧対策として、偶然入手できた基板の代替品への交換により仮復旧した。仮設電源も同時に検討したが仮復旧により実施しなかった。代替基板は後日新品に交換した。</p> <p>【原因】</p> <p>故障警報（EANA）基板は製造後19年経過していることから、今回事象は19年におよぶ経年劣化が作用し、最終的に制御電源入操作時の突入電源による基板パターン、補助リレーの焼損に至ったものと推定した。</p> <p>【考察】</p> <p>① 点検整備実施内容</p>

異常箇所の特定は、年点検技術者では特定が難しく、盤メーカーの専門技術者が特定した。
また、応急復旧においてもメーカーの情報により代替品の調達を行った。

② 原因究明

発生事象の把握は、点検業務を担当する専門技術者により可能であるが、故障箇所の特定及び原因究明までは点検実施体制における確認は困難であった。

③ プリント基板の特性

基板上の取替部品の交換は可能だが、基板回路の現場復旧はできないこと、当該メーカーでは新規基板製作に5箇月を要するという問題が明らかとなった。

④ 設計・施工

揚排水ポンプ設備技術基準では、「機側単独制御機能及び保護回路はP L Cを經由せずにハードリレーによる制御回路を標準として・・・復旧が比較的容易となるよう配慮する。」と記載されている。今回の事例では、ハードリレーが使われていたが、プリント基板が用いられていたため、本基盤に故障が発生すると復旧が容易な状況ではなかった。

【知識化】

① 専門技術者確保による故障対応

故障発生時の対応のため、当該機器メーカーの専門技術者が速やかに措置できる体制を確保しておく。

② 電源故障時の仮設電源の利用

排水ポンプ設備は、商用電源異常を考慮して自家発電設備を用いているが、発電設備異常時の外部電源利用方法について事前検討しておく必要がある。

③ 技術基準で想定していない機器の使用

現場修理不可能な機器については、そのバックアップを考慮して設計・計画する必要がある、プリント基板を使用する場合は、交換部品（予備品）として確保する等のバックアップ体制を考慮したものとする必要がある。

④ 交換部品の確保

設計製作時や点検時において、確保しておくべき部品や修理体制を確認（交換部品の納期を含む）する必要がある。

整備局管内で共通する機器については、整備局全体で緊急保守用部品としての確保・保管が考えられる。

年数を経過した機器の部品については、メーカー等（代理店レベル）が機器更新時に発生した部品を保管している例がある。

また、自家発電設備が2基設置されていて1基のみ更新する場合は、他号機を更新するまでの間、共通の交換部品を当該施設で保管することも有効である。

N o 2 | ガスタービン燃料ノズルからの燃料漏れ

【事例概要】

年点検においてガスタービンパッケージ（エンクロージャ）内に燃料が噴霧状態で充満していることが確認された。

異常事象の原因は燃料ノズルと燃料ホース接続部からの漏れであった。

復旧対策として、漏れを生じた燃料ノズルを交換し試運転確認により異常がないことを確認

した。

【原因】

ガスタービンパッケージ（エンクロージャ）内の燃料充填の原因は、運転中の加圧された燃料が燃料ノズルと燃料ホースの接続部から漏洩したためであった。

【考察】

① 専門技術者確保による故障対応年点検時においては「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)」に示されているとおり、機器に精通した専門技術者の配置が有効であった。

また、本事例のように原因調査に危険を伴う事象については、あらかじめ安全対策の検討を行って、故障個所を速やかに特定することが重要であった。

② ガスタービンのパッケージ（エンクロージャ）特性

ガスタービンの燃料漏れは、本体がパッケージ（エンクロージャ）で覆われているため発見しにくい。

ガスタービンのパッケージ（エンクロージャ）内の換気量は、同様にエンクロージャに格納されたディーゼル機関に比べて小さく（1/4～1/5）、燃料漏れが発生した場合の引火爆発のおそれがある。

③ ノズルの交換時期と機能確認

本事例は、年点検時のノズル交換後に確認された異常である。

交換した部品に異常があったことが、試運転により判明したことから、部品交換等の整備に当たっては整備後の異常に対応する期間を確保する。

また、整備後に機能試験を確実に即時に行うことが重要である。

④ 予備品の確保

ノズルの整備については、当該施設では2セットを保有し1年間使用後に取り替えて整備を行い、交互に使用する運用としているので、整備期間中を除き1セットが予備部品として保管されている。

⑤ 故障時の代替機能

主ポンプ駆動原動機の故障により当該主ポンプが運転不能となるが、本事例のように単機容量が大きい場合は代替処置が困難であるため、故障の早期復旧の重要度が高い。

【知識化】

① 専門技術者確保による故障対応

年点検時においては「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)」に示されているとおり、機器に精通した専門技術者の配置が有効である。

ただし、本事例のように原因調査に危険を伴う事象については、あらかじめ安全対策の検討を行っておき故障個所を速やかに特定することが重要である。

② ガスタービンのパッケージ（エンクロージャ）特性

ガスタービンの燃料漏れは、本体がパッケージ（エンクロージャ）で覆われているため発見しにくい。

ガスタービンのパッケージ（エンクロージャ）内の換気量は、同様にエンクロージャに格納されたディーゼル機関に比べて小さく（1/4～1/5）、燃料漏れが発生した場合の引火爆発のおそれが高い。

③ ノズルの交換時期と機能確認

本事例は、年点検時のノズル交換後に確認された異常である。

交換した部品に異常があったことが、試運転により判明したことから、部品交換等の整備に当たっては整備後の異常に対応する期間を確保する。

また、整備後に機能試験を確実に即時に行うことが重要である。

④ 予備品の確保

ノズルの整備については、当該施設では2セットを保有し1年間使用後に取り替えて整備を行い、交互に使用する運用としているので、整備期間中を除き1セットが予備部品として保管されていることになる。

⑤ 故障時の代替機能

主ポンプ駆動原動機の故障により当該駆動ポンプが運転不能となるが、本事例のように単機容量が大きい場合は代替処置が困難であるため、故障の早期復旧の重要度が高いと言える。

N o 3 | ディーゼル機関排気弁からの冷却水漏れ

【事例概要】

主原動機（ディーゼル機関）のデフレクション計測時、シリンダライナに水分を確認した。水漏れ箇所の特定のため各種試験を実施したが漏れはなく、想定される要因を総合的に検討した結果から排気弁の排気弁ガイドと排気弁ケースの嵌合部からの漏水と推測し、対応措置として排気弁を予備品に交換した。

【原因】

シリンダ内への水漏れが想定される箇所を総合的に検討した結果、排気弁の排気弁ガイドと排気弁ケースの嵌合部からの漏水と推測される。

当初、不具合の内容から、排気弁又はシリンダヘッドからの水漏れの可能性が高いと考えられ、現地及び工場においてカラーチェックによる傷の確認及び耐圧試験による漏れの確認を実施したが、異常はなかった。

想定原因を総合的に検討した結果、漏れ箇所として排気弁付近以外は考えにくいことから、「排気弁ガイド」と「排気弁ケース」の嵌合部が水分の流入（漏水）箇所であると推測した。なお、「排気弁ガイド」と「排気弁ケース」は、冷やしばめ（具体的には、「排気弁ガイド」を冷却し収縮させてから、「排気弁ケース」に組み込むことにより密着させている。）で両者を組み合わせているが、スキマが生じる可能性はある。

【考察】

① 点検整備実施内容

従前よりデフレクション値に異常の傾向があり、月点検時にもエンジンメーカーの専門技術者によるデフレクション計測を行っていたため機関内部の漏水を発見できた。

また、専門技術者により機関全体の異常の有無の確認が迅速にできた。（即日実施）

② 原因究明

本事例においては、通常の点検では発生事象（漏水）が再現しなかったため、工場において各種試験を行ったが事象の再現と原因確認はできなかった。

③ 対応措置

- ・ 復旧時間

応急復旧に日数を要しているが、漏れの箇所が明瞭でなく原因究明のため工場における各種試験を実施したことに留意する必要がある。

緊急事後保全体制で応急復旧を行っており、これ以上の期間短縮は困難であった。

- ・ 継続監視

各種試験及び整備後の試運転でも漏れが再現しなかったが、一定期間（運転時間）経過観察を行う必要がある。

④ ディーゼル機関の漏水の点検方法

船舶機関ではシリンダヘッドへの漏水による重大事故が発生しており、弁の点検に合わせて工業用内視鏡（ファイバースコープ）による内部目視確認が有効と考えられる。

その他の漏水箇所として、過給機（インタークーラ部）、ウオータジャケット、潤滑油冷却器の事例があるが、漏水が微量な場合は発見が難しい。

ウオータジャケットからのクランク室への漏水はオイルパン潤滑油の油面上昇から検知できるとされているが、このレベルでは致命的な損傷が起きている状態であり復旧にも時間がかかることが予想される。

潤滑油へのわずかな混入水の検出については一般化している技術がなく、大形機関で油槽が別置きの場合を含め、漏水検知方法を検討する必要がある。

⑤ ディーゼル機関故障時の運転方法

本事例では、エンジン焼付等の致命的な被害を防ぐために運転停止とした事情がある。故障内容に応じた運転継続の可能性について整理しておくことも有効と考えられる。

【知識化】

① 専門技術者確保による故障対応

構成機器に精通した専門技術者による点検は、故障の早期発見と応急復旧に有効である。

② ディーゼル機関の漏水の点検方法

船舶機関ではシリンダヘッドへの漏水による重大事故が発生しており、弁の点検に合わせて工業用内視鏡（ファイバースコープ）による内部目視確認が有効と考えられる。

その他の漏水箇所として、過給機（インタークーラ部）、ウオータジャケット、潤滑油冷却器の事例があるが、漏水が微量な場合は発見が難しい。

ウオータジャケットからのクランク室への漏水はオイルパン潤滑油の油面上昇から検知できるとされているが、このレベルでは致命的な損傷が起きている状態であり復旧にも時間がかかることが予想される。

潤滑油へのわずかな混入水の検出については一般化している技術がなく、大形機関で油槽が別置きの場合を含め、漏水検知方法を検討する必要がある。

③ 故障情報による部品交換

同種部品の故障情報、メーカーの修理情報及び改良情報による事前交換が重要である。

④ ディーゼル機関故障時の運転方法

本事例では、エンジン焼付等の致命的な被害を防ぐために運転停止とした事情がある。故障内容に応じた運転継続の可能性について整理しておくことも有効と考えられる。

5. 今後の計画

本年度において明らかとなった改善点等を各種要領及びマニュアルへ反映し、そのマニュアルに基づいた「健全度評価」及び「精密診断」の試行を継続することが必要と考える。

また、健全度評価の省力化・効率化を実現するために、汎用 BI ツールを用いて検証を実施した結果、有用性が確認できたことから、健全度評価機能の実装を進め早期に効果を発現していくことが重要である。

故障情報は、施設の機能低下や機能喪失といった事象への機器対応能力向上を目的に、職員等のスキルアップへの活用を促進ため、情報の見せ方などの検討も必要である。さらに整理された故障件数を増やしていくことで、多くの故障事象への対応等にも活用が可能となる。

そこで、各管理事務所でも実施している健全度評価の内容（データ）も含めて検証を継続し、関東地整で実施している検討会とも連携を図りながら、マニュアル類の充実に取り組む。

担当課 施設技術課