

毛馬排水機場ポンプ設備の健全度を 評価する項目の整理

栗山 大生¹・辻野 直義²

¹近畿地方整備局 兵庫国道事務所 管理第二課 (〒650-0042兵庫県神戸市中央区波止場町3番11号)

²近畿地方整備局 淀川河川事務所 施設管理課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2丁目2-10)

毛馬排水機場は、機場計画総排水量330m³/sの排水能力を有している大規模施設であるが、ポンプ設備設置後40年が経過したため通常の定期点検では確認が困難である設備の劣化が見られはじめた。

そこで、ポンプ設備の健全度を把握するために6号ポンプ設備の分解整備にあわせ精密診断を行った。本論文では、6号ポンプの分解整備と精密診断結果から整理した定期点検時における機械設備の健全度評価に必要な項目を報告する。

キーワード 大規模施設, 分解整備, 精密診断, 健全度評価

1. はじめに

毛馬排水機場は、高潮や洪水時において寝屋川流域の水位低下を図るため大川の水を淀川に排水することを主な目的として1978年に設置された大規模内水排除施設である。排水量55.0m³/sのポンプが6台設置されており、機場計画総排水量330m³/sの排水能力を有している。また、近年集中豪雨等の異常気象から6台同時に稼働する頻度が高くなっている。機械設備は、有事に確実に可動することにより機能を果たすものであり、本機場においては、社会的重要度と設備の規模から常に安全確実に操作ができる機能を保ち続けるための維持管理が必要である。

本機場は、設備設置後40年が経過し、通常の定期点検では確認が困難である設備の劣化が見られはじめた。特に6号ポンプで確認された主ポンプのインペラハブからの漏油は、ハブ内の潤滑不良やハブ内への海水浸入によるポンプの運転不能が想定されたため分解整備を実施した(写真-1)。

一方、設備の劣化が発生すると、装置・機器の整備や更新の必要性が高まるため、点検結果等の必要な情報を基に健全度を評価し、整備・更新の方策と実施すべき時期を決定していくこととされている。ここで、健全度とは、設備の稼働及び経年に伴い発生する材料の物理的劣化や、装置・機器等の性能低下・故障率の増加などの健全性を示す指標であり、健全度評価は、

健全度を用いて保全の優先順位を評価するものである¹⁾。つまり、通常の保全サイクルでは把握できない材料の物理的な劣化の状況及び劣化原因等を特定し、今後の運用に関する適用性を評価する必要があることが示されている。

6号ポンプは、主に電動機、減速機、主ポンプに区分され、動力軸からもう一方の軸に動力を伝達するため軸同士を結合する際、それぞれの回転軸が運転状態で同一線上に位置するように位置が調整されている可動翼機構を備えた機械設備である。そのため、回転体の重心と回転中心のズレ(偏芯)がある状態で回転した時に、遠心力で振動・騒音を発生させ、経年的に軸受部の磨耗、劣化が促進されるメカニズムである。

そこで、6号ポンプ設備の健全度評価を行うために異常の発生箇所・原因の特定や劣化の程度を把握する精密診断と分解整備を実施し、機器の状態の評価を行い、定期点検時の健全度評価に必要な項目を整理した。



写真-1 ポンプインペラハブ漏油状況²⁾

2. 精密診断と分解整備について

(1) 精密診断について

回転体は回転機が軸受の上に固定されてある一定方向に回転する。この時、回転体が表面欠損などの不均衡な状態にあると外側に向く力 F_o （遠心力）が働き、この遠心力の力を打ち消す様に軸受けには反対の力 $-F_o$ （向心力）が働くこととなり、回転にアンバランスが生じ振動・騒音を発生させる要因となる（図-1）。このアンバランスが、長時間運転で軸受部に負荷をかけることとなるため、軸受部の温度上昇を招き、その温度上昇により熱膨張して軸受け部の油膜が薄くなり、潤滑不良をおこすため、磨耗、劣化が促進されることとなる。

以上より、ポンプ設備の状態を知る診断方法として振動・騒音の発生が、機器の磨耗、劣化に影響することとなる「振動」「温度」「潤滑油」の状態監視項目により計測する。各実施項目は下記の通りである。

a) 振動計測・解析による機器の異常診断²⁾

振動解析による診断は、主軸のアンバランス、動力伝達系統のミスアライメント等の回転体の異常により現れる機械への影響を検知する。

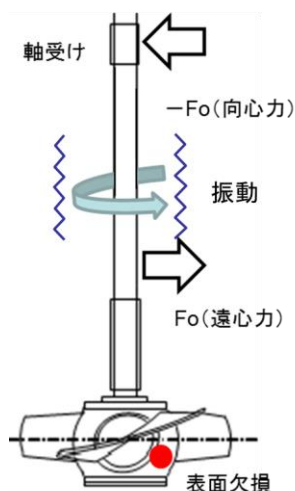


図-1 回転体のアンバランスと振動発生メカニズム



写真-2 振動測定実施状況

振動データにより機器状態を診断するため、完成時の計測値、要領等に定められる管理基準値と比較する簡易診断（絶対値判定、相互判定、相対判定）と、測定振動値の周波数から機器の異常特定を行う精密診断（振動解析）を行う（写真-2）。

b) 温度計測による機器の異常診断²⁾

温度計測による診断は、軸受の過負荷、歯車等の異常により現れる潤滑油の温度上昇を検知する（写真-3）。

c) 潤滑油分析による機器の異常診断²⁾

潤滑油分析は、油の劣化状態だけでなく、トライボロジー（摩擦、摩耗、潤滑を扱う工学）による内部部品異常摩耗把握による診断を併せて実施し評価する。SOAP法においては、金属成分から異常摩耗の発生部位の把握、フェログラフィ法においては、摩耗粉の形状と量から摩耗の強さ把握を目的として実施する（表-1）。

(2) 分解整備について

腐食が進行したインペラハブの取替を実施するとともに、各機器の内部部品の計測・試験を実施した。



写真-3 電動機付き温度計及び減速機温度計盤

表-1 トライボロジーによる潤滑油分析の特徴と診断適正

方法	特徴	状態把握 (◎: 適、○: 可)	
		摩耗の発生部位	摩耗の強さ
SOAP法	潤滑油中の微量元素成分を「分光分析」で把握し発生源と原因を診断する。	◎	○
フェログラフィ法	潤滑油中の粒子濃度や粒子形状の分析により、通常摩耗、損傷の発生等を検知する。 ・定量フェログラフでは、粒子の濃度と粒子の大きさ別の割合から異常を検知 ・分析フェログラフでは、摩耗粒子が配列したフェログラムを光学顕微鏡で観察して粒子形状、大きさ、表面状態、色、量から摩耗状態を分析	○	◎

3. 診断結果²⁾

精密診断結果と分解整備結果を整理する。

(1) 振動計測・解析

電動機と減速機の継手に芯ずれが最大値で水平方向に106/100mm、鉛直方向に19/100mmが確認された

(写真-4)。

主ポンプと電動機の継手に芯ずれの異常は確認されなかった。

(2) 温度計測

減速機軸受、減速機潤滑油、電動機各部温度計測結果については、各測定点の値を号機ごとに相互比較した結果、異常上昇は確認されなかった。

(3) 潤滑油分析

シールグリースに水分が多く、また、オイルシールに硬化が確認された(表-2、表-3、写真-5)。

さらに、インペラハブ可動翼機構潤滑油から羽根軸受の銅合金の摩耗の影響とされる銅成分が検出され、使用油に含まれる大きな粒子(5 μ m以上)と小さな粒子(2 μ m以下)の各濃度を調べることによって機械の診断を行う分析法である定量フェログラフにおいて摩耗異常と判定されるレベルの摩耗粒子濃度が確認された。

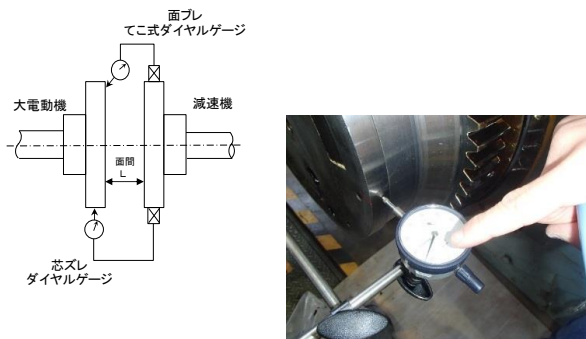


写真-4 芯ズレ計測方法と芯ズレ計測状況

減速機潤滑油はオイル性状試験によれば減速機の潤滑油の劣化は進んでいないが、定量フェログラフにおいて摩耗異常と判定されるレベルの摩耗粒子濃度が見られた。なお、分解検査の結果異常・損傷はなかった(表-4)。

(4) 分解検査

全厚50mmインペラハブに最大深さ13mmの腐食が確認された(写真-6)。

ケーシングベース部及びケーシングカバーベース部のレベルは±0で誤差はなく、コンクリート構造物に傾きは確認されなかった。

減速機架台(ベース)の1箇所1mmの沈下、最大0.65mm/mの水平度傾きがあり、ポンプ室床の僅かな変位が確認された。

主ポンプ主軸受(スラスト軸受)のすべり面に爪が引っかかる傷が確認された。

主ポンプ水中軸受部のゴム軸受、スリーブの摺動しない箇所に錆、汚れあり、ゴムの硬化が確認された。

主ポンプ主軸の接水部に腐食は確認されるが、異常曲がり確認されなかった。

減速機潤滑油冷却器内部には目立った腐食はないが、熱交換用伝熱管付属部品にやや腐食があった。

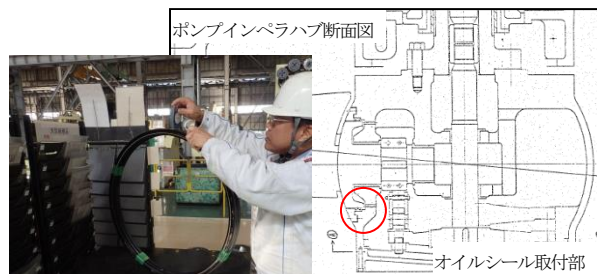


写真-5 オイルシール硬度測定状況

表-2 シールグリース性状分析結果

項目	水分 mass ppm
水分が多いシールグリース	112000(11.2%)
水分が少ないシールグリース	25800(2.58%)

表-3 オイルシール硬度測定結果

項目	新品	今回測定点(円周等間隔4点)			
		1	2	3	4
オイルシール 硬度	80	87	88	86	87

表-4 定量フェログラフによる摩耗粒子測定

区分		大きな粒子 濃度 5 μ m以上 A/ml	小さな粒子 濃度 2 μ m以下 A/ml
		定量フェログラフ	底部
	中間部	0.7	0.7



写真-6 ポンプインペラハブ腐食状況

4. 考察

精密診断において、振動計測により電動機と減速機の継手に芯ずれが確認されたが、温度計測による異常上昇は確認されなかった。これは、従来から使用されていた継手が発生した振動を許容する範囲内であり、温度の異常上昇が発生しなかったことから芯ずれに起因するトラブルが軽減できていたと考える。また、インペラハブ内部の機器が摩耗していることが潤滑油性状分析により確認された。潤滑油は、摺動面の摩擦摩耗の低減、発熱部の冷却や機械内部で発生した摩耗粉などの不純物を運ぶ役割を担っていることから、潤滑油の劣化の原因となる要素を示していると考えられる。

つまり、芯ずれ、インペラハブ内部の機器の摩耗は、ポンプ設備の現在の機器や材料の物理的な劣化を分解整備を伴わない精密診断で数値化することで定量的に把握できると言える。ただし、計測箇所により応答性が違うといったデータの信頼性に関わることもあるので計測する目的により計測方法・計測箇所などに改善が必要であることもわかった。

また、排水機場吸水路内への海水混入が確認されていることから、インペラハブは、表面の塗装被覆に経年的に生じた微細な隙間から水が浸入し、電位的に腐食し易い炭素鋼(SC450)製であるため表面に腐食が生じたものと考えられる。インペラハブの設計肉厚は50mmであることから、20%以上の減肉箇所が点在している状態である。ゆえに、汽水の影響により腐食し、表面欠損したインペラハブは、回転体としての機能が不足し、減速機とポンプの芯ずれを誘発すると考えられた。しかしながら、振動計測では、主ポンプと減速機の継手に芯ずれなどの異常は確認されなかった。インペラハブについては、異常値を検知していないが、状態は腐食が激しく表面欠損していることから、修繕を実施するまでの時間はあるが、振動計測を続ける監視が必要であると言える。

つまり、定期点検結果に分解整備を伴わない精密診断の数値化による定量的な把握をあわせることで将来への影響が予測できることから状態監視保全方式による管理ができることがわかった。

一方、定期点検時に6号ポンプで確認された主ポンプのインペラハブからの漏油は、オイルシールの分解目視の結果、異常摩耗・傷は確認できなかったが、分解整備時の計測から、新品硬度80に対し86~88の数値を示していたことおよび、オイルシールに塗布されたグリースに水分が多い結果を得ていたことから、経年による材質の硬化でオイルシールが全体的に小さくなったために水分が侵入する隙間が存在したことお

よびインペラ稼働時における偏心量(羽根の運転中に回転している軸が振れる量を指す)が大きくオイルシールの先端が回転軸に追従できなくなり、本来の機能である密封能力が失われた結果と考える。

つまり、オイルシールの寿命は、ゴム材質の劣化によると言えるが、今回の漏油の事象からわかるようにゴム材質の劣化は、経年や設備の稼働による耐久性の低下、潤滑油の性状変化やインペラ回転による偏心量といった様々な使用条件が複合して発生するため、定量的な把握ができないことおよび定期点検では分解整備を伴えないことから、精密診断により劣化の進行を予測することは困難であることがわかった。

以上より、定期点検時には機器を分解しなくても評価できる対象については、精密診断項目を実施することとなるが、分解しなければ劣化を確認できない材料については、『機械要素(部品)材料の劣化と劣化によって発生する現象(メカニズム)』に基づいた分解整備の実施時期の決定が必要であると言える。

5. 結言

本機場のポンプ設備について精密診断と分解整備を実施した。通常の定期点検時に機器を分解しなければ劣化を確認できない材料については、『機械要素(部品)材料の劣化と劣化によって発生する現象(メカニズム)』に基づいた分解整備の実施時期の決定が必要であると言える。

6. 今後の課題

定期点検時に実施可能な簡易な精密診断内容の整理および、機械要素(部品)材料の劣化にともなう交換時期(修繕・取替年数)を決定する必要がある。

参考文献

- 1) 「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)」(H27.3 国土交通省)「河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案)」(H28.3 国土交通省)
- 2) 「毛馬排水機場ポンプ設備健全度調査他業務」(H30.3 国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所)

※本論文の内容は、従前の所属である淀川河川事務所施設管理課における業務に基づくものである。