

河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮した マネジメント手法

藤野 健一¹・田中 義光²

^{1,2}独立行政法人土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

高度経済成長期以降，社会資本として設置されてきた様々な機械設備は，老朽化が進行しつつある．これに伴い，信頼性の確保と増大する維持管理費の縮減が大きな課題になっている．

本報告は，河川ポンプ設備を対象として，これまでの点検や修理に関するデータを基に，信頼性とライフサイクルコスト（LCC）を解析し，維持管理の方法と設備の信頼性の関係を明かにするとともに，信頼性と経済性を考慮した効果的な維持管理手法を提案するものである．

キーワード ポンプ設備，FMEA，FTA，信頼性，維持管理，データベース

1. はじめに

昭和30年代以降の高度成長期において，急速に建設されてきた多くの機械設備は，近年老朽化の時期を迎え，今後更新費や維持管理費の増大が予想される．一方，社会情勢から予算規模の縮小が課題となっており，社会資本の維持管理コストも縮減を求められている．

排水ポンプ設備などの非常用設備は，頻繁には運転しなくても，必要とされる時には必ず動作することが求められており，設備の信頼性評価に基づいた経済的かつ合理的な維持管理手法の確立が急務となっている．

このような視点に立ち，国土交通省では，継続的に設備の信頼性を確保しつつ適切な維持管理を行うため，土木機械設備の維持管理データベース（以後「DB」という）を構築している．

当チームでは，当該DBを活用して，河川ポンプ設備のLCCと信頼性の関係を明らかにし，効果的な維持管理手法の考え方を立案したので報告する．

2. マネジメントの概要

これまで当チームでは，DBの必要項目を提案しており，DBはそれを反映したものとなっている．平成21年度から運用が一部開始されているが，今後当該DBを効果的に活用し，従来の保全方法の見直し，設備の弱点の克服に役立てていく必要がある．また，保全方法と経済性の関係を把握することによって，コスト縮減の方策を検討することが可能となる．

図-1にマネジメントの概要を示す．一点鎖線から上部は既に構築されたDBの機能である．DBには，設備の仕様，点検整備結果，修繕更新等の情報が納められるが，情報収集は途に就いたばかりであり，これを充分に

機能させるかは，今後の取り組みに依るところが大きい．国土交通省では今後のDB活用状況を見て，必要機能を精査・追加していく予定であることから，当チームでは，河川ポンプ設備を対象として活用事例を示した．

マネジメントの概要

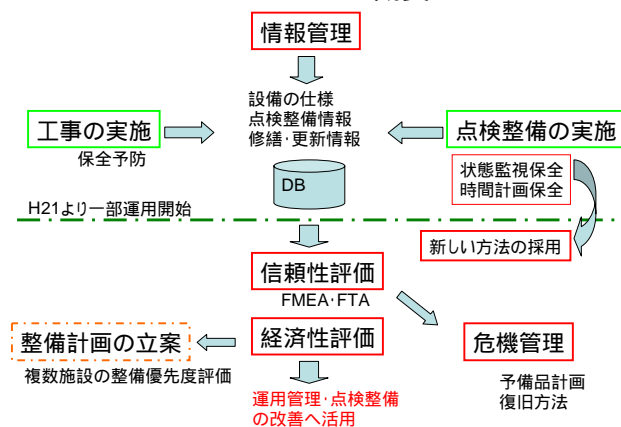


図-1 マネジメントの概要

(1) 統計的手法による信頼性と経済性の評価

河川用ポンプ設備は，稼働する機会は少ないが，必要な場合に必ず起動しなければならない非常用設備である．

河川ポンプの信頼性を評価するにあたって，構成機器の故障が全体システムへ与える影響を定性的に評価するFMEA(Failure Mode and Effects Analysis)と，起こしてはならないトップ事象を設定し，発生要素(事象)を樹状に掘り下げ，発生する確率を評価するFTA(Fault Tree Analysis)を併用した．FMEAでは構成部品の重要性・弱点を抜けなく評価することができ，FTAでは設備の仕様と構成機器・部品の故障率により，系としての信頼性を「アンアベイラビリティ」という指標で求めることができる．

また，経済性については当初の建設費及び増設費をイ

ニシャルコストと考え、点検整備費、修繕費を維持修理費として、これらの比率を供用年数に基づく年価ベースで算定した。これによって、維持管理レベルと経済性の関係を明確化することができる。

(2) 新しい状態監視保全技術による信頼性評価

統計的に故障が多い事象をターゲットとして、新しい技術による状態監視保全技術を導入し、設備診断の信頼性を高めることを提案する。

(3) マネジメント

各手法のアウトプットは、FMEA・FTAによる信頼性評価、その信頼性を得るために要している費用の把握、設備の弱点把握と点検内容の合理化、新しい主ポンプと原動機の状態監視手法である。

3. 統計的手法による信頼性と経済性の評価

当チームでは、平成元年度にFMEA及びFTAによる信頼性評価手法を発表した。今回の活用事例においても、当該手法を継承し、FMEAによって河川ポンプ設備を構成機器に分解、各機器の故障モードを抽出、機器の機能及びシステムへの影響を評価した。

現場における解析実務を考慮すると、基本となる設備構成に基づくFMEAシート及びFTA図が必要となる。より多くの固有設備に対応しやすいように、9形式のポンプ設備（主機と減速機の形式）に分けてこれを整備した。

表 - 1 ポンプ設備の形式

形式区分	主機と減速機の形式
	水冷ディーゼル機関(二次冷却) + 水冷減速機(二次冷却)
	水冷ディーゼル機関(二次冷却) + 水冷減速機(一次冷却)
	水冷ディーゼル機関(一次冷却) + 水冷減速機(一次冷却)
	水冷ディーゼル機関(管内又は水槽内クワ) + 水冷減速機(管内又は水槽内クワ)
	水冷ディーゼル機関(ジエタ) + 空冷減速機
	空冷ディーゼル機関 + 空冷減速機
	水中モータ
	ガスタービン(横軸)
	ガスタービン(縦軸)

次に、維持管理情報の保存状態が良好な実存する5機場のデータを基に、信頼性及びLCCの解析を実施した。

信頼性評価を行った各機場の形式及び経過年数を表-2に示す。A及びB機場は、5m³/s程度のポンプが2~3台設置されている最も多い規模の機場であり、C及びD機場は50m³/sクラスの大型ポンプを有する機場である。

また、E機場は、ガスタービンとディーゼル機関を主原動機とするポンプ設備が混在する例である。

(1) 故障情報の整理

故障データは、FMEA及びFTAにおける活用に適する方法で整理する必要がある。

これらの作業には、次の各項目が必要である。

- ・故障内容
- ・故障モード
- ・故障を発見した時の状態（点検時・運転時の別）
- ・故障日時
- ・故障した機器の属する主ポンプ系統（号機）
- ・整備内容（更新・修理等の別）

点検結果を基に、機器の故障率計算、故障原因の特定、さらには技術改善検討を行う場合、故障内容、故障モード、その原因を知ることが重要である。

点検整備を現場で実施する専門技術者間では、機能の喪失である「故障」と「故障モード」は、比較的曖昧に理解されており、必要な情報の欠落が散見された。

本手法では、故障モードの定義を「機器を破壊している物理・化学的な変化」として、機器毎に考え得る内容を例示した。

故障情報のうち、「故障を発見した時の状態」は当該故障が「機場の機能低下を引き起こした故障」であるか、点検で発見しそのリスクを回避したものであるかを明確にするために重要な要素である。「故障した機器の属する主ポンプ系統」及び「整備内容」は、構成機器の寿命、採用した保全方式等(特に予防保全か事後保全の違い)を把握するために必要となる。

表-2に示す5機場の維持管理データは、本手法により整理し、FMEAとFTAに活用する。

表 - 2 解析する5機場の機器構成

名称	型式・機器構成
A排水機場 (供用34年)	形式 : 水冷ディーゼル機関(管内クワ) + 水冷減速機(管内クワ)
B排水機場 (供用21年)	形式 : 水冷ディーゼル機関(二次冷却) + 水冷減速機(二次冷却)
C排水機場 (供用29年)	形式 : 水冷ディーゼル機関(二次冷却) + 水冷減速機(二次冷却)
D排水機場 (供用26年)	形式 : 水冷ディーゼル機関(水槽内クワ) + 水冷減速機(水槽内クワ)
E排水機場(2台) (供用17年)	形式 : 水冷ディーゼル機関(二次冷却) + 水冷減速機(二次冷却)
E排水機場(1台) (供用8年)	形式 : ガスタービン(横軸)

(2) FMEAの実施

FMEAは、システムを機器レベルに分解し、個々の故障頻度やシステムへの影響度等を解析する作業である。

膨大な作業となるFTAの作業を効率化するために、FMEAによってシステムに致命的な影響を与える可能性が低い機器を見極め、その部分の詳細な解析を省略することができる。河川ポンプ設備を構成する「機器」「部品」については、「揚排水ポンプ設備設計指針(案)」を基に分類した。

FMEAの評価項目は、当該故障が発生したときのシステムへの影響度、その発見のし易さ、故障発生頻度の3項目とし、判定がしやすい4段階で評価するものとした。構成機器の故障発生頻度については、平成13年に解析した全国平均の故障率を基に仕分けした。各評価項目を

表 - 3 FMEA シートの例(主ポンプ主軸及び軸受)

機器区分	部品名	故障	故障モード	原因	検出方法	システム	発見の可能性 の評価水準	故障発生頻度	故障等級 (致命度)	対策		備考		
										復旧までの 所要時間	内容			
主軸及び軸受	主軸	回転不良	変形	想定外の外力	振動測定	4	3	1	2.3	3ヶ月	取替			
		停止	振動	芯ずれ	吐出圧測定					3ヶ月	取替			
			腐食	水質	流量測定					3ヶ月	取替			
	中間軸				設計・施工の誤り	目視								
		回転不良	変形	想定外の外力	振動測定	4	3	1	2.3	3ヶ月	取替			
		回転停止	振動	芯ずれ	吐出圧測定					3ヶ月	取替			
			腐食	水質	流量測定					3ヶ月	取替			
				設計・施工の誤り	目視									
	軸継手		トルク伝達不良	ボルトはずれ	想定外の外力	目視	4	3	4	3.6	3ヶ月	取替		
					カップリングゴム摩耗	水質					3ヶ月	取替		
					変形	腐食					異物混入	3ヶ月	取替	
					振動	ボルトの締め忘れ・トルク不足					目視	3ヶ月	取替	
	スリーブ		回転不良	破損	想定外の外力	目視	4	3	1	2.3	2ヶ月	取替	予備品があれば2週間	
					変形	水質					2ヶ月	取替		
					ひび	異物混入					2ヶ月	取替		
				腐食		2ヶ月					取替			

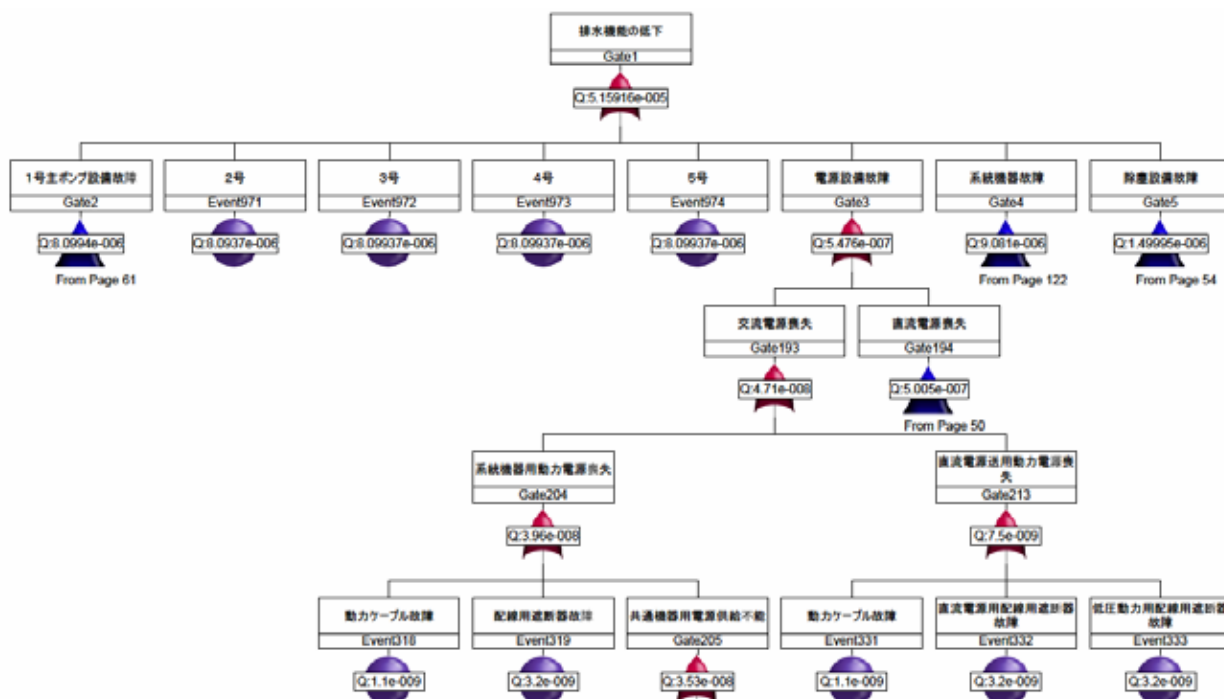


図 - 2 FT 図の事例 (C 機場 集計部分)

乗じて三乗根で開いたものを「故障等級」と定義した。故障等級が大きい機器は、システムへの影響度や発生頻度を低下させる対応の余地があることを示す。表 - 3 にシートの一部を示す。

(3) FTA

FTA では、トップ事象を「排水能力の低下」として展開した。まず表 - 1 に示す代表的な 9 型式の FT 図をつくり、それを応用して固有機場の FT 図を作成した。FTA を行う場合、全ての構成機器・部品レベルまで展開していくと膨大な作業量となるため、FMEA における機器・部品の故障等級を勘案し、故障等級の大きい機器については部品レベルまで掘り下げた。FTA では、ツリー構成に応じたブール代数計算を行うが、設備の構成機器件数が多いうえ、主要部品の故障が共通故障事象として他の機器へ与える影響を勘案する必要もあり、人為的な計算では集計時間や精度の面で問題がある。よって、解析専用ソフトウェア Relx 社「Reliability Studio」を導入し、算定作業の簡略化と精度向上を図った。

型式である C 機場の集計例を図 - 2 に示す。構成機器の故障率は、供用時間をパラメータとしており、平成 13 年の故障調査データを用いた。トップ事象の発生する確率をアンアベイラビリティといい、信頼性の指標となる。複数の機場のアンアベイラビリティを比較することで、設備構成の異なる機場の信頼性レベルを相対的に比較できる。

(4) 信頼性と LCC の関連性評価

各機場の機器構成から求めたアンアベイラビリティと、点検データに基づく機場の故障確率を表 - 4 に示す。アンアベイラビリティは、全国平均故障データを基に算定したもので、故障の発生確率とは、固有機場の故障履歴を把握した上で、もしその故障の回復を点検で行わないと仮定した場合に、実際の運転時に排水機能が低下しうる確率である。アンアベイラビリティを見ると、排水中の機能低下リスクは、供用時間が 2~6 年に 1 回程度の割合であることを示す。一方、故障の発生確率では、各機場とも点検における機能回復を行わないとすれば 2~

6ヶ月に1回程度の割合で機能低下を来す恐れがあることを示しており、アンアベイラビリティとこの故障の発生確率との差が点検整備効果であるといえる。

表 - 4 点検整備効果

機場名	アンアベイラビリティ	故障の発生確率	摘要
A機場	2.02×10^{-5}	2.28×10^{-4}	
B機場	2.56×10^{-5}	2.42×10^{-4}	
C機場	4.97×10^{-5}	4.70×10^{-4}	大型ポンプ
D機場	2.69×10^{-5}	7.90×10^{-4}	大型ポンプ
E機場	2.36×10^{-5}	4.00×10^{-4}	
E機場	4.44×10^{-6}	2.85×10^{-5}	ガスタービンのみ

：単位 1/hr

5 機場の故障履歴によると、運転中に排水機能が低下した事例は1件（二次冷却水システムの不具合により冷却水断となった1機場）のみで、4 機場には事例がなかった。

次に、C 機場における LCC の推移を解析した結果を示す。C 機場は、総排水量 200 m³/s の機場で、3 台（50 m³/s × 1 台、30 m³/s × 1 台、20 m³/s × 1 台）の主ポンプが設置されている。排水ポンプ設備に係る建設費（増設費を含む）は、デフレーターを勧告して総額約 125 億円（遠方監視操作制御設備を含む）である。維持修理費は点検費、修理費を対象とするが、各機場とも点検は平成元年度以降年点検1回、月点検8回で行われている。維持修理費の推移と建設費に対する維持修理費率（当該年度までの経費を集計し年平均に換算）を図 - 3 に示す。

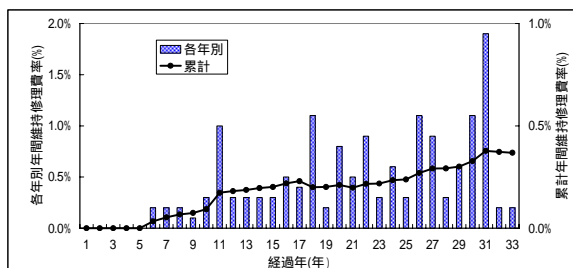


図 - 3 C 機場の維持修理費推移

C 機場は 5 台の主ポンプを管理しているが、現状では約 0.3% / 年となっている。建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編によると、治水事業の経済効果を把握するために計算する年便益本において、年維持修理費は事業費の 0.5% という指標が掲載されているが、C 機場の維持修理費率はそれよりも低い。

各機場について同様に解析すると、表 - 5 のとおりになる。

表 - 5 機場規模と維持修理費率の関係

機場名	総排水量 (m ³ /s)	累計年間維持修理費率 (%)	経過年数
A	15	2.1	34
B	15	1.3	21
C	200	0.4	29
D	100	0.3	26
E	100	0.3	17

小規模な A, B 機場では、比較的建設費に対する維持修理費の割合が高く、規模が大きい機場はその逆の傾向がある。これは、小規模の機場でも系統機器や電源操作制御設備等は機器点数が中・大規模機場と大差なく、定常的な点検費用が設備規模に比例して小さくならないためである。現状では、この維持修理費率が表 - 4 に示す信頼性を得るための指標となる。このような経費統計は、事業における便益検証にも活用することができ、B・D 機場では維持管理費が建設時想定より安価で推移していることを確認した。

排水ポンプ設備は、高価な機器を装備した非常用設備であり、維持修理費率の妥当性評価は難しいが、各機場とも排水時の機能低下を引き起こした実績が少ないことから求められる一定の信頼性は確保されており、今後の設備老朽化を勘案すると、この累計年間維持修理費率レベルで抑えていくことが当面の目標となる。

(5) 弱点の把握と点検内容の合理化

現在排水機場の月点検は、管理運転を実施し各機器を全般的視野で目視、指触、計測することとしているが、管理運転だけでは構成機器に生じている異状を見過ごす可能性を否定できない。排水機場は、機器の設置環境が多様で、同じような構成機器であっても施設毎に故障傾向が異なっている。

よって、故障回数が多い機器を故障データから抽出し、当該機器については月点検において目視点検や計測作業等を実施する方法が考えられる。

4. 新しい状態監視保全技術

FMEA において、故障等級が大きい機器・部品は多数あるが、このうち定期点検で目視確認できない機器は、インペラ、水中軸受、主原動機の内部機器であり、故障させない維持管理法の確立は喫緊の課題である。

しかし FTA では、これらの機器が故障へ向かう状態の変化をリアルタイムに把握・評価することができない。状態監視保全技術は、効率的な維持管理を目指す民間企業のプラントで進歩してきたが、これまで、河川ポンプ設備にこれらの技術を適用することは難しいとされてきた。その理由は次のとおりである。

非常用設備であるため、稼働時間が少なく劣化傾向を把握するデータを取得しにくい。

主たる状態監視保全技術である振動解析の分野では、河川ポンプ設備のような低速回転機械を対象とした技術は開発途上にある。

本研究では、河川ポンプ設備の維持管理に導入されていない技術で有望なものをピックアップし、適応性を評価することとした。

主ポンプについては、近年開発された超音波振動計の適用性を評価した。低速回転から高速回転に至るまで、軸心の振動を非接触で直接計測できるのが特徴である。

主原動機については、常用系の内燃機関や減速機等の

診断に導入されているフェログラフィ及び SOAP (Spectrometric Oil Analysis Program) の適用性を検討した。フェログラフィはオイル中の金属切粉形状を、SOAP は含まれる元素を分析することで、劣化箇所やその程度を診断する技術である。

(1) 超音波振動計

超音波振動計は、主に発電所の取水ポンプの状態監視保全技術として開発された計測器で、図 - 4 に示すとおりケーシングの外部から軸心へ向け超音波を発信し、反射波を計測するものである。装置は、超音波発信装置と解析装置 (ノート型 PC) が一体となっており、どこでも持ち運びが可能である。運転中のデータを取り込むとその場で FFT (高速フーリエ変換) を行い、周波数分布を知ることができる。ただし、揚水管が鋳鉄・鋼製で、かつ充水された状態でないと計測できないため、大型のコンクリートケーシングには適用できない。

一般的に用いられている加速度センサを用いて振動計測する場合は、グランド部あるいはスラスト軸受ケーシングの振動を計測しており、軸振動を把握することはできない。よって、B 機場の主ポンプを対象とし、超音波振動計の適用性を検証した。

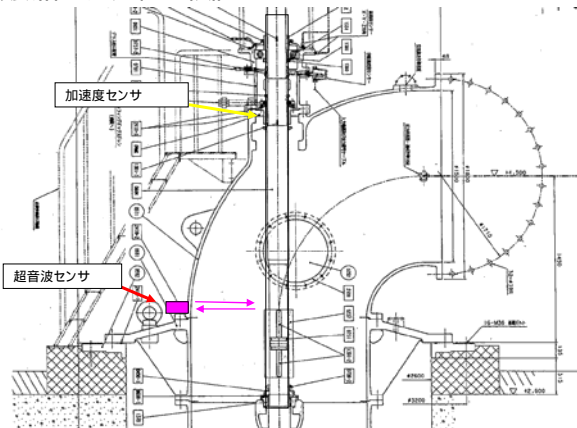


図 - 4 超音波センサ

B 機場における超音波振動計の計測結果を、図 - 5 に示す。

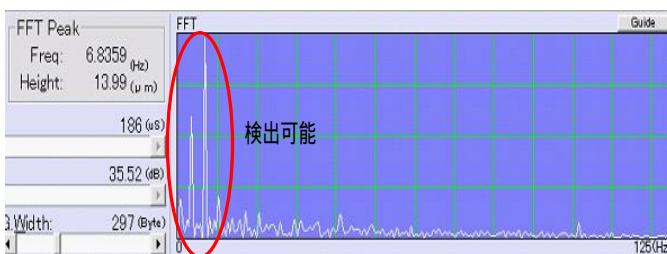


図 - 5 超音波振動計による振動解析 (B 機場)

軸受はセラミック製であるが、高速フーリエ変換によって軸振動の周波数スペクトルを計測することができた。当該ポンプ設備の回転数は、約 3.4Hz であるが、1/2N, N, 2N 成分がピーク値として現れている。軸心の振動周波数を検出できることは、軸受の摩耗による変化を検

出できる可能性を示しており、河川ポンプ設備固有の軸受材質に対するデータを蓄積すれば劣化診断が可能となる。

また、同時にグランド部に当てた加速度センサによって、揚水管自体の振動を計測した結果を図 - 6 に示す。定期的にデータを蓄積できる常用系の設備においても、低速回転機械の状態監視保全は難しいといわれている。一般的な加速度センサをケーシングに当てても、回転数成分である数 Hz の振動を検出することができない。

主軸における数十 μm の振幅をケーシングで検出することは困難であり、また、減速機や原動機が発生源のさまざまな周波数が重合して検出をさらに難しくする。

超音波振動計により、ゴム軸受、セラミック軸受、樹脂軸受等の材質・形状 (冷却溝の数など) を基に、管理運転時の計測値を継続して解析すれば、軸受の摩耗によって大きくなるホワール成分、安定して検出していたスペクトルの特徴が変化するなどの特徴により、劣化傾向を把握し、適正な時期に分解整備を実施することが可能になると考える。

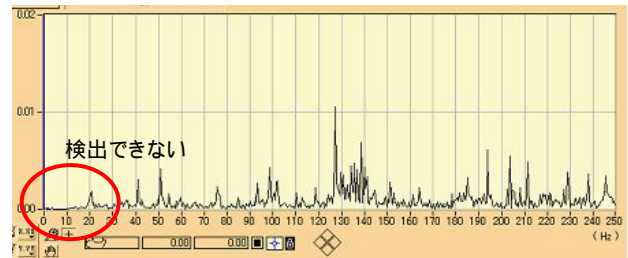


図 - 6 加速度センサによる振動解析 (B 機場)

(2) フェログラフィ SOAP

フェログラフィは、潤滑油やグリースなどの試料を希釈剤と混合し、勾配を持った強力な磁場で摩耗粒子を大きさの順に分離・配列し観測することで、装置の劣化状態を把握する手法である。ガラススライド上に定着させた「フェログラム」を作り、定性的な各種粒子の分布を解析する分析フェログラフィと、照射した光の遮断率から定量的に大・小の粒子量を求める定量フェログラフィがある。

SOAP とは、潤滑油中の微量元素の量を発光分光分析、原子吸光分析、蛍光 X 線分析等で検出し、劣化箇所・程度の推定を行うものである。主に設備の安定期において、フェログラフィでは小粒子、大粒子の割合が比較的一定になるが、元素レベルでは固有の含有量が徐々に増加していると考えられる。SOAP では、固有の元素の含有量を計測することで、機械要素の劣化を診断する。しかし、異常摩耗時に発生する 5~10 μm 以上の粒子に対する元素の分析感度は劣るため、フェログラフィと併用してお互いの得失を補完することが得策である。

解析事例として、C 機場の 1 号機及び 3 号機の管理運転終了時に原動機の潤滑油を採油して状態を推測した。フェログラフィ

定量フェログラフィを実施し、補完的に鉄、亜鉛、銅などの成分を蛍光X線分析で調べた。表-6に結果を示す。AS(小粒子量)及びAL(大粒子量)は、光学密度法で計測したものである。双方とも現状では異常な劣化を示す指標はないが、その上で特徴を見ると、オイルの使用年数の長い3号機の方が大粒子の割合が高く、ピストン等鉄部品の摩耗傾向を示す鉄成分も検出されている。

表-6 フェログラフィ・X線蛍光分析結果

成分 ポンプNo	鉄 Fe	亜鉛 Zn	銅 Cu	AL%	AS%	Is
1号機	3.2	2.0	0.5	37.5	33.7	1082
3号機	12.0	0.9	0.5	67.2	66.9	161

Fe, Zn, Cu:ppm

写真-1に3号機オイルの顕微鏡写真例を示す。



写真-1 3号機オイル

2倍に希釈したオイルを倍率100倍で撮影している。黒く縞状に集まっているものが主に正常摩耗粉であり、ところどころにある白い粒子が軸受の表面疲労を示す平板状粒子である。1号機に比べ、3号機の方が粒子の量が多く、錆粒子が多いことがわかった。

SOAP

発光分光分析(高周波誘導プラズマ発光 ICP)による解析結果を表-7に示す。

表-7 SOAPの結果 (単位:ppm)

成分 ポンプNo	鉄 Fe	鉛 Pb	銅 Cu	クロム Cr	アルミニウム Al	ニッケル Ni	銀 Ag	すず Sn	ケイ素 Si
1号機	16	10	16	1	2	1	0	2	30
3号機	77	4	154	1	2	0	0	3	17

成分 ポンプNo	ホウ素 B	ナトリウム Na	リン P	亜鉛 Zn	カルシウム Ca	バリウム Ba	マグネシウム Mg	モリブデン Mo
1号機	94	0	938	1173	5130	0	12	2
3号機	12	2	339	395	4587	0	15	3

1号機、3号機とも多く検出されているリン、亜鉛、カルシウムは、耐摩耗防止剤、酸化防止剤などの添加物であると推定され、長く使用している3号機の方が少ない傾向を示している。特徴的な事項は、3号機における銅の含有量が高いことである。適正な閾値については検討の余地があるが、100ppmを超えていることから軸受(クランクピンメタル等)の状態悪化が懸念されるが、同時に増えるとされる鉛や錫の含有量は増加していない。フェログラフィの結果、14年間整備していない3号機

の方が大粒子量が多く、SOAPの結果、オイル添加剤の組成が減少し、軸受や銅配管(例えば油冷却器)の劣化を表す銅含有量が増加していることが解った。表-6における銅の含有量は、1号機と3号機が同値となっているが、蛍光X線分析では銅の検出感度が低い傾向があり、その影響と考えられる。

フェログラフィにおいて特に大きな劣化を示す指標が得られていないこと、SOAPにおいても軸受の劣化を示す鉛や錫の含有量は増加していないことから、正常な摩耗状態の末期にあると考えられる。また、銅が単独で検出される状態が続くのであれば、摩耗によるものでなく、銅製品の表面において他の元素とイオン交換が起こっている可能性も否定できない。

Isは劣化傾向を示す異常摩耗係数であるが、表-6においては、Is値が整備後4年の1号機が高い結果となった。今後、絶対値としての評価と併せ、増加傾向を示すか継続的に解析することが必要になる。特に、非常用設備においては、稼働時間がステップ状に増加する特性があるが、これらの指標がどのように変化するか検証できれば、整備タイミングを見極める有効な手段になると判断する。

5. まとめ

本報告の概要をまとめると次のとおりである。

- (1) 最新の設備構成を勘案した FMEA, FTA を提案し、部品の故障率を用いて全体システムの機能低下リスクを評価した。
- (2) 設備構成とシステム信頼性の関係を把握することができた。
- (3) 維持管理情報を基に、信頼性と経済性の関係を把握する手法を示した。
- (4) FTA を実施することで、点検効果を定量的に示す手法を提案した。
- (5) 固有機場の故障履歴からシステムの「くせ」を掴み、点検内容に反映させる方法を示した。
- (6) 新たに導入すべき状態監視保全技術を評価し、適用性を示した。

今後、DB についてはデータを活用して設備の健全度を評価するシステムの付加が予定されている。報告した手法は当該機能に充分活用できるものであり、今後も関係機関と連携して成果の普及に努めていく。

また、本成果は河川ポンプの維持管理に活用できるマニュアルとしてわかりやすくとりまとめる予定である。

参考文献

- 1) 長健次他5名：「機械設備の信頼性評価に関する調査研究」1990年3月 土木研究所
- 2) 江本平他6名：「機械設備の信頼性評価に関する調査研究(第二報)」2001年2月 土木研究所