

機械設備の効率的な維持管理手法 ～H21年度の解析事例～

林 輝 (はやし あきら)

国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所
施工調査課長

武田 直人 (たけだ なおと)

国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所
施工調査課 機械調査係長

1. はじめに

近年、これまでに経験したことのないゲリラ豪雨や大型台風の襲来による度重なる水害が相次ぎ、全国各地に甚大な被害をもたらしている。このため住民の生命・財産を守り安全を図るために社会資本として設置される河川管理施設や道路施設の重要性は高い。

機械設備は、それら構造物の構成機能であり重要な役割を担っている。

機械設備の大きな特徴として、作動して始めて要求される機能を発揮する点があり、不具合の発生する可能性が潜在しており、設備の信頼性確保のために維持管理が実施されてきている。

2. 検討の背景

ゲート設備やポンプ設備をはじめとする機械設備の設置数は、図-1に示すとおり1970年代頃から急激に増加している。これに伴い設備の維持管理に要する費用も年々増加し維持管理予算が逼迫する事態が懸念される。

これにより、設備の維持管理水準が低下すれば、設備の安定的な運用に支障があり、信頼性低下の恐れがある。この維持管理費縮減と信頼性確保を両立する合理的な維持管理手法が求められている。

今までは、機器あるいは部品の交換は一定期間の経過をベースに行われてきたが、点検で把握される設備ごとの劣化状態を考慮した効率的な交換などを行うことが求

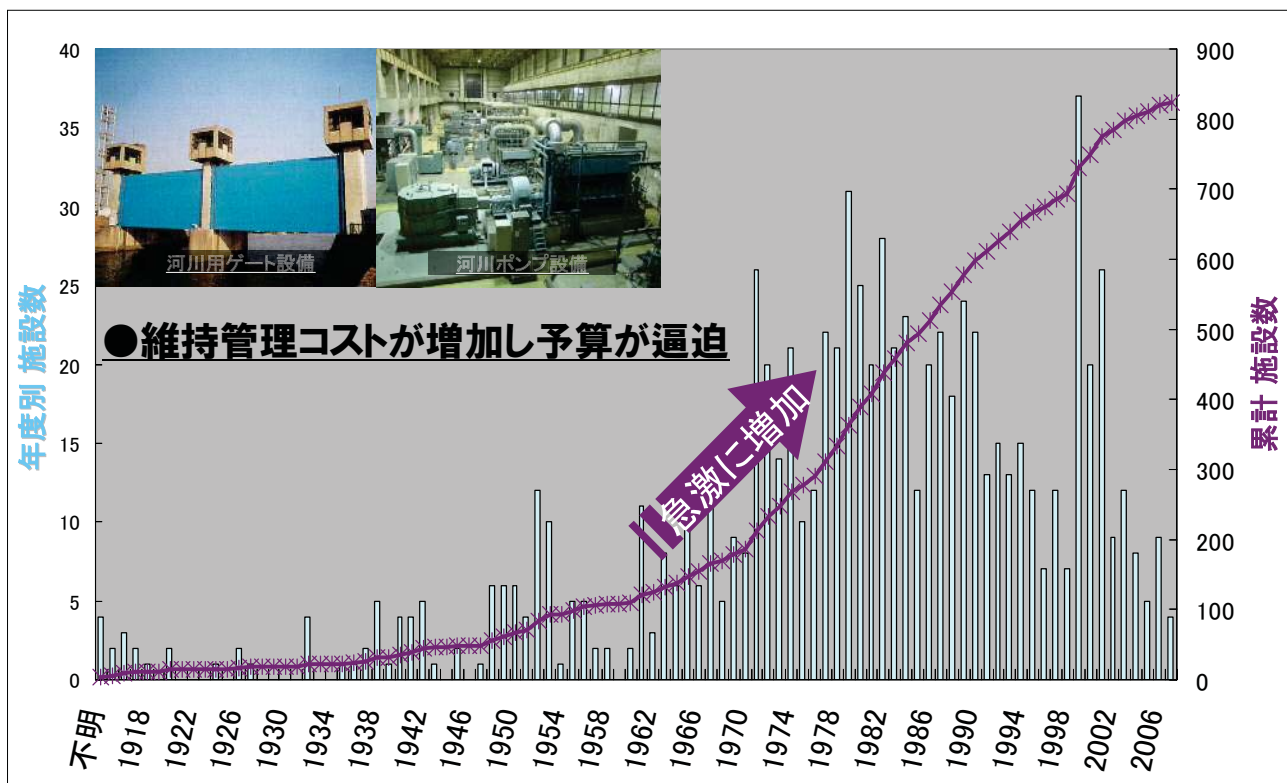


図-1 河川用ゲート設備・河川ポンプ設備の年次別設置数の推移 (関東地方整備局管内)

められている。

劣化状態を評価する手法として、民間企業の工場などで進歩してきた傾向管理手法がある。傾向管理とは、定期点検より得られたデータを時系列的に整理し、その変化を読み取ることにより将来整備すべき機器などの選定および故障時期の推定に役立てるためのデータ管理をいう。

国土交通省が管理する機械設備は、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設備で、民間工場の設備とは性格が異なっており、これまでこの手法の適用性は明らかではなかった。

3. 機械設備の効率的な維持管理の取り組み

2008年(H20年)3月に「国土交通省公共事業コスト構造改善プログラム」が策定され、その中で機械設備の効率的な維持管理の施策として戦略的な維持管理の推進について次の具体事例が示されている。

- ・土木機械設備の維持管理システムによる点検結果等データベース化
- ・河川用ゲート・ポンプ設備の劣化診断による健全度評価手法の構築
- ・河川用ゲート・ポンプ設備における劣化診断結果に基づく整備・更新等の実施
- ・河川用ゲート・ポンプ設備における社会への影響度等を加味した整備・更新等の実施

これらに則り、2008年(H20年)4月より運用が開始された「河川用ゲート設備、河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」では、設備の目的や機能によ

り必要に応じた維持管理を行っていくという考え方が導入された。

具体的には、次に示すことなどを実施する取り組みが述べられている。

- ・管理運転を基本とし動作確認を必須項目として取り入れた設備診断
- ・点検結果に基づく設備ごとの劣化度評価
- ・社会への影響度評価と併せて、設置条件を整理することによる整備・更新優先度の評価

関東技術事務所は、効率的な維持管理を目指す取り組みの一つとして、図-2に示すとおり施設管理事務所に保有する維持管理データを収集し、その結果を施設管理事務所へフィードバックする機械設備の維持管理システム(データベース)の構築を進めている。

データベース化により、次のような成果を施設管理事務所に提供することができる。

(1) 状態監視項目や適切なしきい値設定方法の提案

設備の状態を監視する計測項目と適正なしきい値などの判定基準の検討・設定方法の提案により、維持管理上の判定基準の精度向上に役立ち、日常管理において不具合の回避につながる。

(2) 経過年数による点検項目・頻度や修繕メニューの提案

経過年数に応じた点検項目・頻度や修繕項目の提案により、維持管理計画の作成に役立ち、効率的な整備・更新につながる。

(3) 長期的な維持管理情報の提供

データベース化された長期的な維持管理情報の提供により、設備のカルテとして活用でき、設備管理者が設備

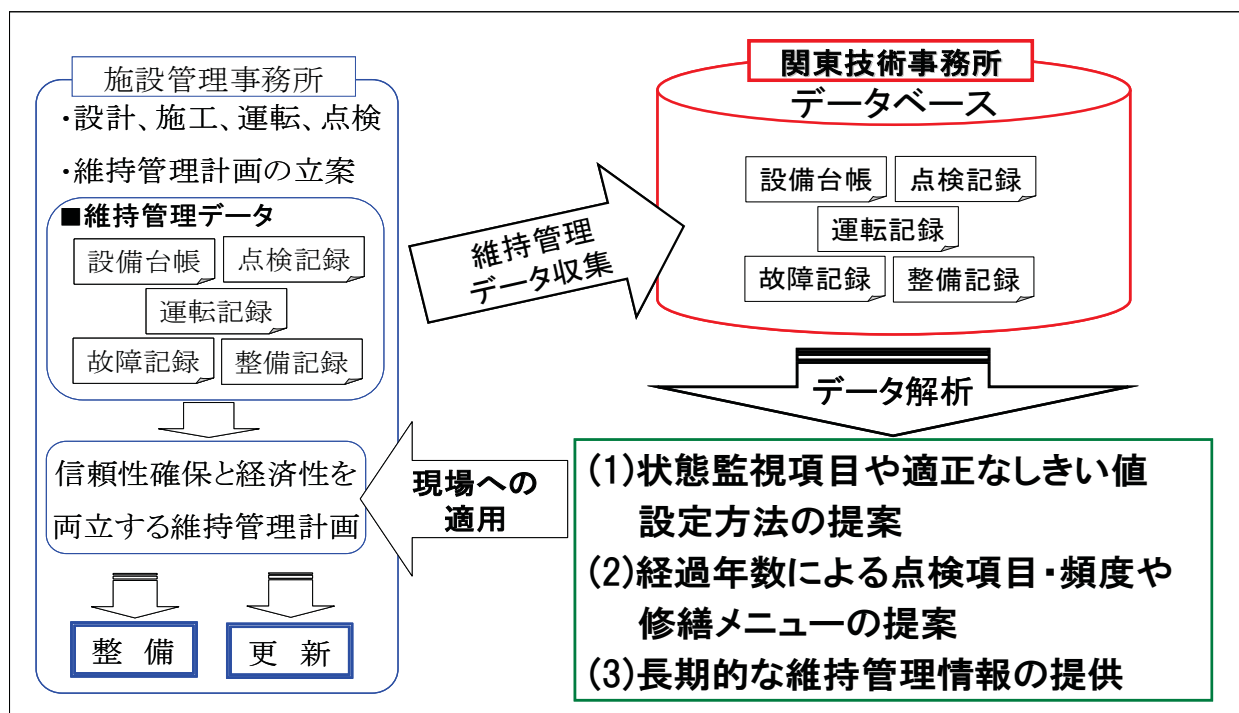


図-2 機械設備の維持管理システム (データベース)

自身の故障傾向や過去の更新履歴など把握できる。

今後このような取り組みの効果として、これまでにない傾向管理を基本にした劣化度評価を行うことで、維持管理費縮減と信頼性確保を両立する維持管理計画による整備や更新を図ることが可能となる。

また、点検結果や故障事例のデータを基に傾向管理を実施した実績は、地方整備局内の同様な施設の維持管理に応用することができ、保全計画や技術改善検討の指標を提供することができる。

これらのメリットは、ある程度のデータ蓄積の進捗とともに効果が発現してくるものと推察される。

4. 2009年度 (H21年度) の解析事例

(1) 回転機械の軸受振動（不具合発生後の事例）

A揚水機場では、2006年に2台の水中ポンプ(1.0m³/s ×1台 0.4m³/s ×1台)が設置され稼働開始している。

本事例では、軸受の割れによる故障が発生したが、事前に軸受振動の変化が観測されたものである。

写真－1に水中ポンプ軸受の例を示す。

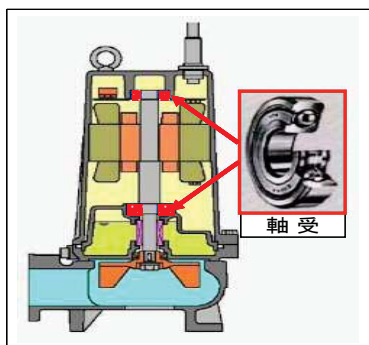


写真-1 水中ポンプ軸受

振動が起きる原因としては、①羽根車の欠損②軸受の摩耗による振れ回り③回転体の重心ズレ④水中部の渦の発生などが考えられる。

a) 解析結果

解析対象設備における軸受振動の振幅測定値を解析した結果を図－3に示す。

水中ポンプ軸受の振幅測定結果から、不具合発生の直前に振幅の増加傾向が確認され、軸受不具合の予兆があったことが判明した。

一般の機械振動の管理では、後述のISO基準の考え方があがるが、解析の結果、ISO基準に準拠して、次の考え方で管理を行うことが有効と考えられる。

①故障に至る因果関係を確認できた振幅の変位については、これをしきい値と設定し仮定する。

しきい値とは、管理基準値を指し、機械の管理方法を変更するきっかけである。計測項目が管理基準値である注意値や危険値に達した場合、点検における計測頻度を増すことやメーカー詳細確認により修理や交換を行うなど対策を採る必要性を現す値をいう。

②これまで振幅に関しては、基準値に対して評価する絶対評価を採用してきたが、個々の機械の正常運転時の実データを正常値とし、これを基準として一定比率の注意値・危険値を設定し劣化状態を評価する。

b) 解析から得られた知見

軸受振動については、振幅測定値の変化率に着目した解析によって、分解せずに不具合の予兆が解ることが判明した。

これまで提唱されてきた絶対評価の問題点は、実際の測定値に対して大きなしきい値となり、状態変化の判定には鈍すぎることである。これに対して、正常値からの変化率に着目することで、点検データに基づき、対象設備の劣化状態や故障状態に近づきつつある状況を適確に把握することができる。

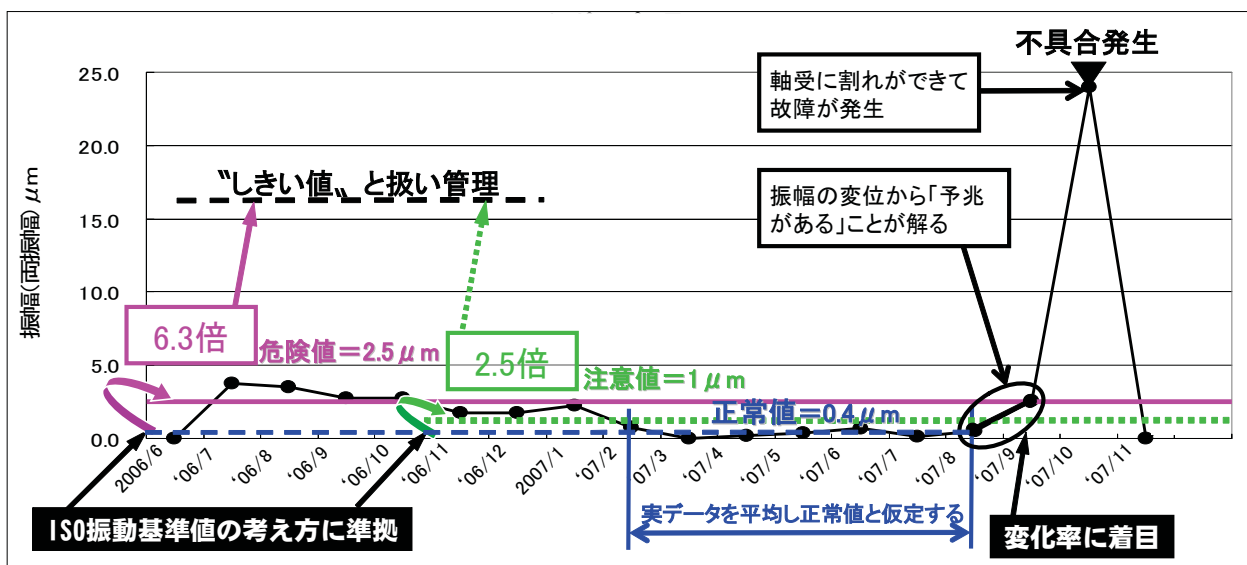


図-3 水中ポンプ軸受の振幅測定結果

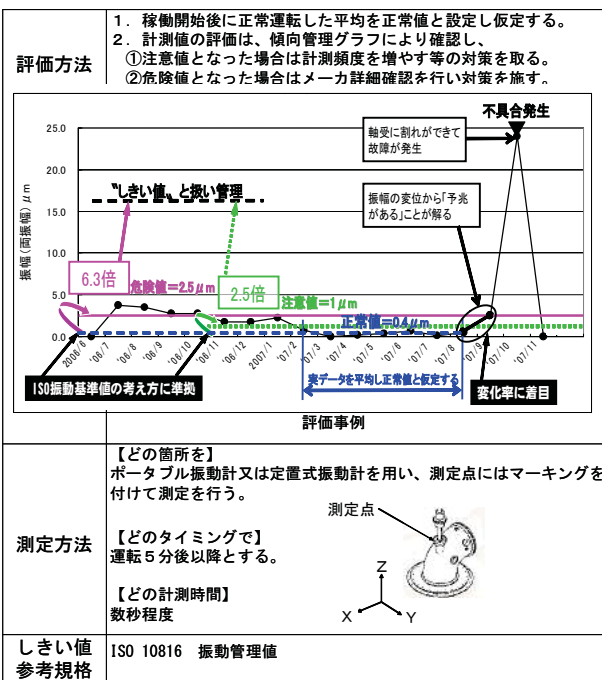
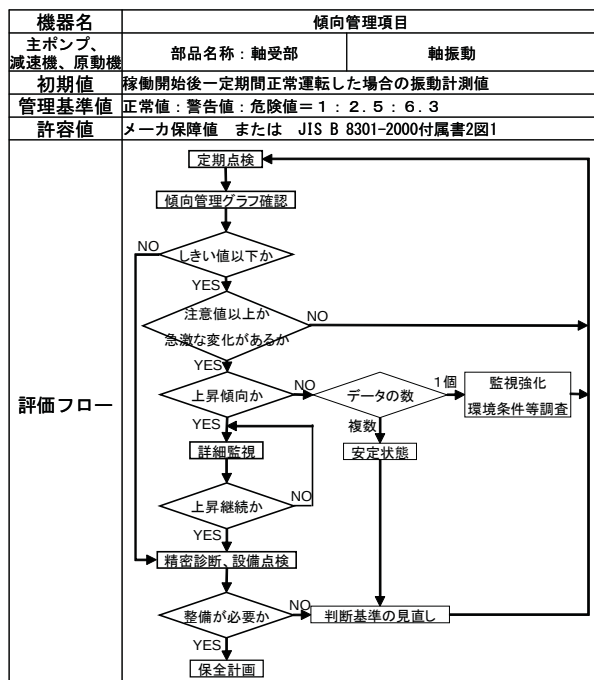


図-4 傾向管理の評価シート（作成例）

c) 解析に基づく傾向管理方法の検討

ここでは、機械振動の測定と評価に関する「ISO 10816 振動基準値」の考え方を準用して、設備ごとに実際のデータを平均し正常値と仮定した。具体的には、注意値は正常値の2.5倍、危険値は正常値の6.3倍として検討を行った。

正常値の設定方法の留意点は次のとおりである。

- ①完成後に即運用であるために新規据付時の値1点で暫定設定する。
- ②稼働開始後に正常運転した平均で暫定設定する。この暫定設定の仕方は、1度設定したからといって固定ではなく、データ蓄積後に再設定していくことである。

傾向管理の評価シート（作成例）を図-4に示す。

本図は、データ収集と解析に際して指標となるように、しきい値、評価フロー、評価方法や測定方法をまとめた傾向管理の評価方法を示すものである。

(2) 水中ポンプの駆動電流値（不具合発生後の事例）

B道路排水施設は、1997年に3台の水中ポンプ（ $0.5\text{m}^3/\text{s} \times 3$ 台、1台予備）が設置され道路のアンダーパス部で稼働開始している。

本事例では、腐食していた羽根車を交換したことにより、駆動電流値の回復が観られたものである。

写真-2にポンプの腐食状況を示す。

a) 解析結果

解析対象設備における駆動電流値測定を解析した結果を図-5に示す。

この事例では、水中ポンプの駆動電流値に着目した

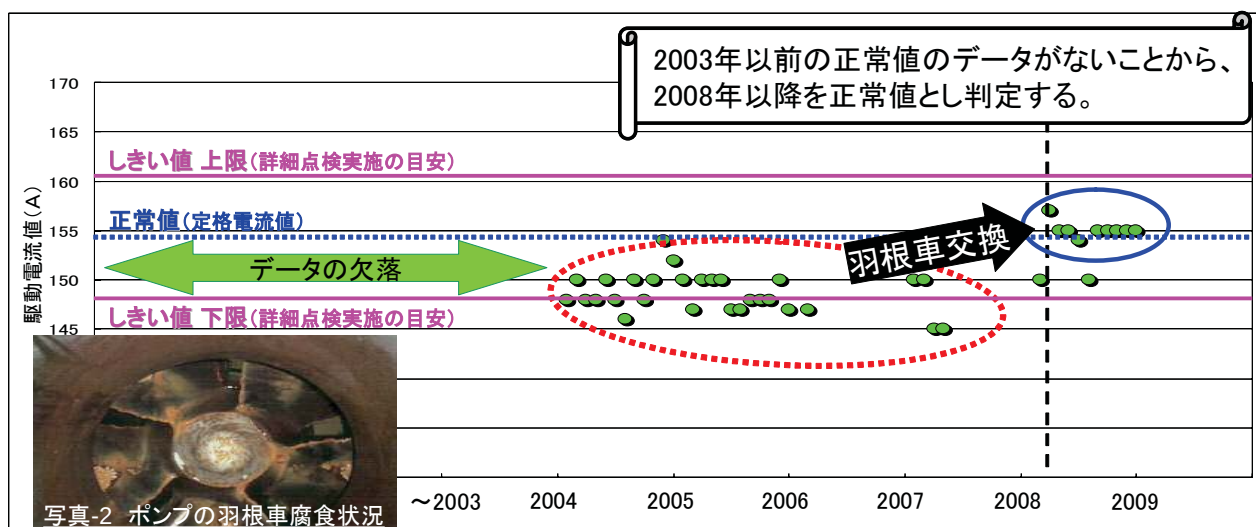


図-5 水中ポンプの駆動電流値測定結果

ところ正常値（定格電流値）より下がっていた。このことからポンプ腐食などによって羽根車の隙間が大きくなり、負荷が少なくなっていることが想定できた。また、経年により腐食した 羽根車を交換した後に駆動電流値が正常値に戻っていることが判明した。

b) 解析から得られた知見

評価手法として、駆動電流値測定で不具合の予兆が解ることが判明した。水中ポンプの分解整備が更新時期の判断指標として活用できる可能性がある。

本ケースでは、2003年以前の正常値のデータを得られなかったが、2008年以降の羽根車交換後を正常値とすれば、2004年から2007年までの駆動電流値が下がっていることが解り、羽根車の腐食により隙間が大きくなりポンプの能力が下がっていると想定できた。

この事例は、設備設置当初のデータの欠落で劣化傾向の解析ができなかったことから、データ収集の重要性を現している。

c) 解析に基づく傾向管理方法の検討

駆動電流値の管理方法に関し、データが蓄積されていた期間の計測実績をしきい値として検討を行った。このしきい値の設定は、羽根車交換後の正常運転した平均に対して標準偏差の3倍を目安とする。標準偏差はデータの分布のバラつきを観る一つの尺度である。

上記のしきい値の設定は、状態を示す計測値の変動を観て分解整備を行うきっかけをつかみ、故障に至る前に対策を採るためのものである。

また、今回設定したしきい値は、精度を高めるために今後の計測実績に基づいて、設定値を変えていく必要がある。具体的には、微小な上昇下降を繰り返す間隔を把握し、適正な平均値を求めることや、水位条件による変動を勘案した補正の実施である。

(3) エンジンクランク軸の微小変形（故障に至らなかった事例）

C揚排水機場は、1984年に総排水量 $80\text{m}^3/\text{s}$ で6台 ($10\text{m}^3/\text{s} \times 5$ 台; 揚排水兼用, $30\text{m}^3/\text{s} \times 1$ 台; 排水専用) のポンプが設置され稼働開始している。

本事例では、エンジンのクランク軸の歪が発生したが、故障に至る前に対処したものである。

エンジンのクランク軸は、ピストンの上下往復運動をクランク軸の回転運動に換える役割を果たし、これがエンジンからの出力となりポンプを回転させて排水を行う。よって、クランク軸は力を伝える重要な機構である。

クランク軸の歪みを確認する指標としてデフレクションがあり、所定の位置に軸を回転させてクランク部の幅を計測する。クランク軸に歪が生じた場合、位置によってデフレクションに変化が生じる。

写真-3にエンジンクランク軸を示す。



写真-3 エンジンクランク軸

a) デフレクションの経年変化の整理

解析対象設備におけるエンジンのクランク軸デフレクションを測定した。その経年変化を整理した結果を図-6に示す。また、変形状況を図-7に示す。

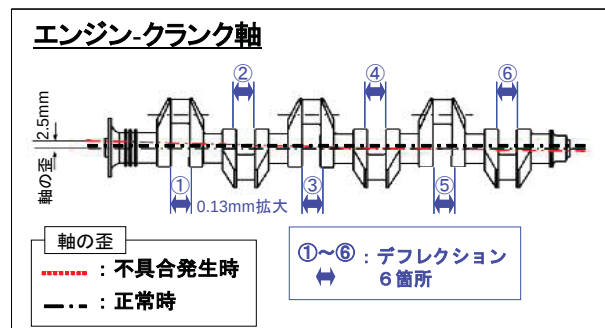


図-7 エンジンクランク軸の変形状況

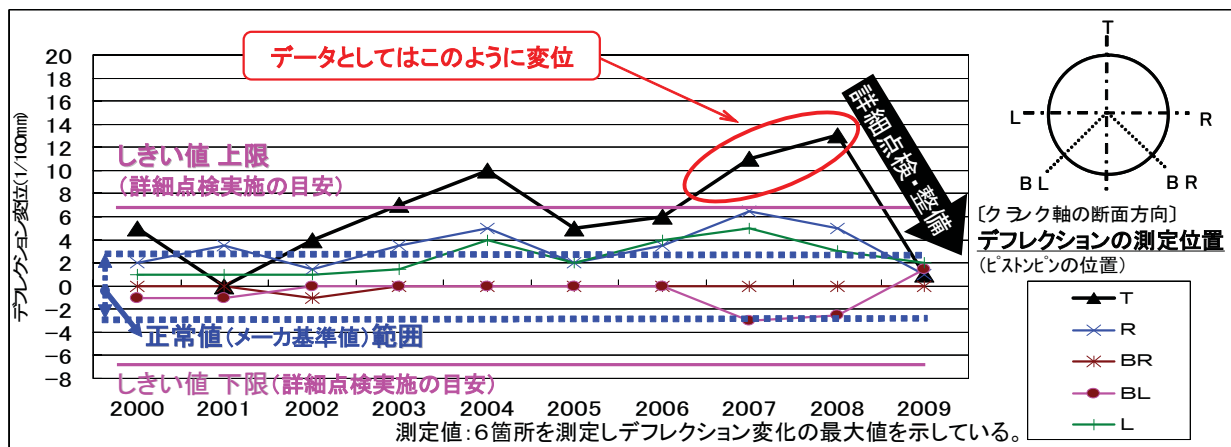


図-6 エンジンのクランク軸デフレクション測定結果

エンジンのクランク軸デフレクションの測定結果の経年変化から、クランク軸に歪みが生じてデフレクションの変位の増大が確認された。年々増大傾向にあり、2007 年以降は修正限度上限を超過し 0.13mm 拡大している。

これをきっかけに、詳細点検を実施したところ、クランク軸の歪が上下方向に 2.5mm の軸心ズレが発生していたが、分解調整をしたことにより故障を未然に防ぐことができた。故障した場合には、クランク軸の破断などエンジン機能の停止、すなわち排水機能が失われる重大災害となる恐れがあった。

原因は、確定することはできないが、エンジン架台の沈み込みといった土木構造物の変状によるものと推測された。

復旧としては、エンジン設置レベルが水平となるように調整およびレベル調整可能な構造へ変更を行った。

b) 解析から得られた知見

デフレクションの測定値は、経年変化の整理から不具合の予兆が解ることが判明した。なお、デフレクションは急に変化することは少ないため、傾向管理を行うことで整備時期・整備内容の特定が容易となるのではないと思われる。

機械設備は土木構造物と一体となって機能しているため、傾向管理データの変化は、機械自体の経年変化などに起因するだけではなく、土木構造物の変状にも着目する必要があることを示す事例の一つである。

なお、この事例で、デフレクションの経年変化から不具合事象である歪みを確認できたため、関東地方整備局管内の揚排水機場のエンジンについては、状態を監視する計測項目として、デフレクションの計測を2010年度(H22年度)より実施することとした。

5. しきい値の取扱いと考察

しきい値の取扱いと考察についてまとめると次のことがいえる。

(1) しきい値は管理方法を変更する目安

しきい値は機械の管理方法を変更する「きっかけ」である。しきい値を超えてもすぐに壊れる訳ではないことから限界値ではない。

(2) しきい値を超えた機器・部品の整備方法

ただ単純にしきい値を超えたら機器・部品を取り替える訳ではなく、様子をよく観て、優先順位を決めてから整備することで故障を減らしていくことができる。

この様にしきい値そのものの扱い方とそのときにどう対処していくかということを考えている。

6. 結論

民間企業の工場で導入されている傾向管理による維持管理手法の適用を検討したところ、2009年度(H21年度)のデータ収集・解析において機器の不具合との関係で特徴的な傾向を見出せたことから、国土交通省が管理する機械設備に対しても適切な計測項目の選定と適切なしきい値の設定をすることによって、傾向管理が実現できそうである。

ただし、今回採り上げた解析結果は、当該設備の場合の例であり、しきい値などの管理値は他の設備にすぐに適用できるわけではない。

7. 今後の課題

今回は2009年度(H21年度)のデータ収集で得られた事例の報告であったが、今後は各設備の適切な傾向管理を実施するための計測項目やしきい値などの検討・設定が課題であり、そのために継続的にデータを収集解析するためのデータベースの構築・運営が必要である。

(1) 計測項目やしきい値などの検討・設定

国土交通省が管理する機械設備は、稼働する機会が少なく不具合の予兆を把握するデータを取得しにくい現状である。

今後、さらにデータ収集・解析に努め、各設備ごとに不具合の予兆を把握できる計測項目を見出し、そのしきい値などを設定する必要がある。

(2) 傾向管理手法のマニュアル化

傾向管理の評価方法としては、図-4に示す傾向管理の評価シートなどにより適切なデータ収集・解析ができるように、設備ごとに作業の手順などを体系的にまとめる必要がある。

8. おわりに

効率的な維持管理の取り組みを進めるため、前述の課題の検討とデータ収集・解析は今後も継続して行う予定である。

しかしながら、設備を運用している現場においては、設備の整備・更新の検討に迫られている。現状における傾向管理を実施するための改善策として、次の対応が考えられる。

(1) 過年度データに基づく傾向管理の実現

設備ごとで過年度データを掘り下げて故障に至る事例がある場合は、傾向管理実現のために解析を進めていく。これにより、各設備ごとに計測項目やしきい値などの検討・設定ができる。

(2) 施設管理事務所へのフィードバック

本報告で対象とした設備の計測項目や判定基準に関しては、施設管理事務所へフィードバックし、試行的に傾向管理に活用する。

(3) データ蓄積までの暫定的な傾向管理の提案

当面データの欠落・不足している設備は、同様な他の施設のデータを参考にしきい値などを設定し暫定的な傾向管理を実施していくことが考えられる。

(4) 管理技術の構築

管理体制として、製作メーカーは開発時の試験データ、設計データと修理時の施工管理データを有している。点検メーカーは請け負った設備の様子を施設管理者へ報告している現状である。

今後は、故障の際に最終責任を負う施設管理者が、自ら管理している施設に愛着をもって維持管理データの履歴を作ることで、データ測定等による傾向管理を導入した管理技術を構築できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 藤野健一、田中義光：「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」平成21年度国土技術研究会 報文2009年10月 独立行政法人土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム
- 2) 陳山鵬：「回転機械設備の最新簡易診断技術について」プラントエンジニア 2007 年 11 月 三重大学大学院共生環境学
- 3) 「国土交通省公共事業コスト構造改善プログラム」2008 年 3 月 国土交通省
- 4) 「河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)、河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」2008 年 3 月 国土交通省総合政策局建設施工企画課・河川局治水課