

## 土木機械設備維持管理システムのデータ解析

### Data Analysis of Machine Plants Maintenance Management System

○正 田中 義光\*<sup>1</sup>, 関根 隆善\*<sup>2</sup>

Yoshimitsu TANAKA\*<sup>1</sup>, Takayoshi SEKINE\*<sup>2</sup>

\*<sup>1,2</sup> 国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Kanto Regional Development Bureau.  
Kanto Engineering Development Office.

**Key Words:** Database, machine plants, Maintenance management, Trend management

#### 1. はじめに

「土木機械設備維持管理システム」(以下「維持管理システム」という)は、国土交通省の管理する土木機械設備の維持管理情報を管理するデータベースであり、点検・整備等により得られるデータを蓄積し、維持管理を効果的に行うために活用するデータベースシステムである。

維持管理システムに蓄積された計測データは、機器の状態監視保全に活用しているが課題も多い。本報文では、データベースの活用状況を紹介するとともに、現状の課題及び今後の運用方針について報告する。

#### 2. 土木機械設備とは

国土交通省では河川や道路に設置している機械設備を「土木機械設備」と定義している。河川系には水門・堰などの河川用ゲート設備や揚排水用の河川ポンプ設備などがある。道路系では道路排水設備やトンネル換気設備、トンネル非常用設備、消融雪設備などがある。(図1)

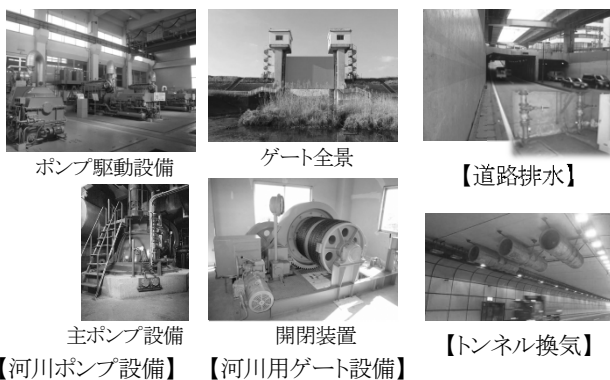


Fig.1 Examples of machine plants

これらの土木機械設備は高度経済成長期に集中的に整備されていることから、20年後には設置後40年を超える施設が8割を超えることが見込まれている。河川用ゲート設備と河川ポンプ設備については施設数が多く、かつ災害対応を主目的とするため、特に機能維持に関する重要性が高い設備である。

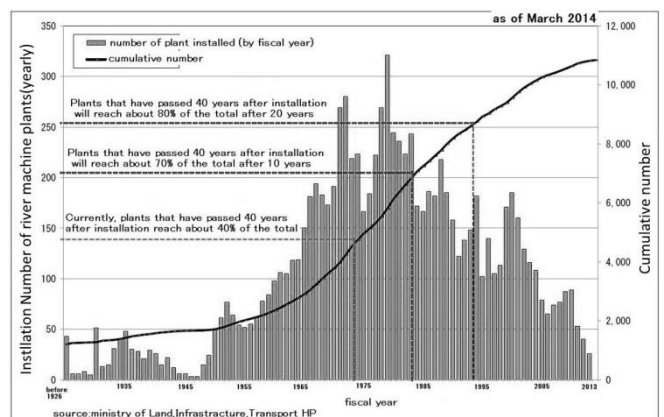


Fig.2 Installation status of river machine plants

#### 3. 維持管理方法

##### 3.1 維持管理の基本

土木機械設備の多くは、大雨など有事の際は確実な稼働が求められている待機系設備で、公共施設としての性格上、万一その機能が損なわれた場合に周辺地域に与える社会経済的影響が大きいため、主要機器は予防保全が基本となる。

国土交通省では設備の種類毎に点検標準要領(案)を定め、標準的な実施内容及び実施方法を示している。点検方法においては、短時間ではあるが実際に稼働させて状態を把握する管理運転を中心とした点検となっており、運転時の異音、温度、振動などを目視や聴診、計測などにより確認・計測し、状態を判断している。

### 3・2 計測データによる状態監視

国土交通省では、点検等で人為的に計測する主効果パラメータ及び二次効果パラメータと、施設によって導入されているモニタリング機器から得られる計測値とを合わせてその傾向（トレンド）を評価することを状態監視あるいは傾向管理と呼んでいる。機器メーカーで設定した社内基準値あるいは JIS 規格等で定められた規格値と単に計測値を比較する「絶対評価」に加え、計測値の変動に着目する「傾向管理」を併用することで、設備のコンディションに合わせて整備や更新の時期を決定する状態監視保全を推進することとしている。

機械設備の点検時の計測データを用いた傾向管理では、振動については「機械振動—非回転部の測定による機械振動の評価—（ISO10816-3）」の考え方（図3）を準用し、正常値の2.5倍を注意値、6.3倍を予防保全値として管理を行っている。ただし、ポンプ設備メーカー及び点検に関する専門技術者は、慣習的に振動を変位で計測してきたため、非回転部分（減速機軸受部やケーシング部等）における計測値が、JISB8301-2000 附属書における振動基準値 80 $\mu$ m 以上となる場合は、既に機器が異常状態にある可能性を否定できないと判断している。平成29年度より非回転部の振動測定は基本的に速度実効値を採用しており、今後は図3における絶対値評価を睨んだ評価を行うものとしている。

Velocity[RMS] mm/s	Class I Less than 0.5	Class II 0.5 to 1.0 1.0 to 2.0	Class III 2.0 to 5.0	Class IV 5.0 to 10.0 10.0 to 20.0
0.20	A	A	A	A
0.45				
0.71	B	B	A	A
1.12				
1.80	C	C	B	B
2.8				
4.5	D	D	C	C
7.1				
11.2	D	D	D	D
18				
28	D	D	D	D
45				

Fig.3 Vibration criterion in ISO10816-1

振動以外の温度や圧力等については、JIS Z 9021 シューハート管理図の考え方に基づき、正常値の母集団から標準偏差 $\sigma$ を求め、母集団平均値に対して $\pm 2\sigma$ を注意値、 $\pm 3\sigma$ を予防保全値として評価している。（図4）

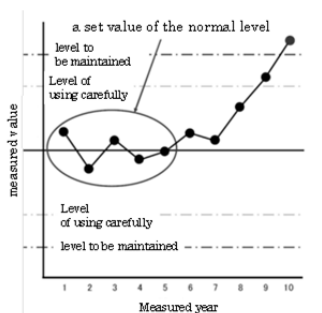


Fig.4 limit using standard deviation<sup>(1)</sup>

### 4. 機械設備維持管理システムの概要

厳しい財政状況下にあつて適切かつ効率的な維持管理・更新を進めるには点検・整備等のデータの活用は欠かせないものである。また、各地の設備管理人員は非常に少なく、転勤等の異動も多いため、各施設の維持管理情報の均質化及び信頼性の確保は非常に重要である。

機械設備維持管理システムは、設備台帳・点検情報・整備情報・故障情報などの維持管理情報をデータベース化するとともに、そのデータを基に設備の状態監視保全や維持管理計画の策定支援など維持管理の効率化を目的に構築された全国統一のシステムである。

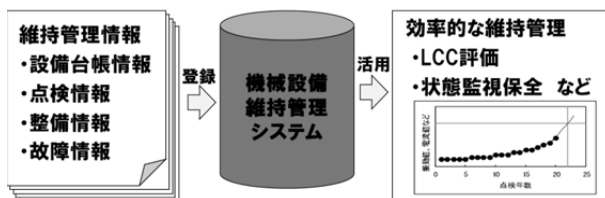


Fig.5 System image

関東地方整備局では本維持管理システムをイントラネットで運用しており、各担当者のパソコン上のブラウザによって、関東地整管内の全施設データが閲覧可能である。各設備管理者は、点検データの傾向管理を行うことや、他事務所にある同型設備故障を検索し、自らの管理設備の維持管理に役立てることなども可能である。

### 5. 土木機械設備維持管理システムの活用

次に本維持管理システムに蓄積したデータを用いた河川ポンプ設備の維持管理への活用例を紹介する。

#### 5・1 傾向管理

本維持管理システムは、蓄積された計測データを時系列で並べた傾向管理グラフを描画する機能を有しており、これを基に傾向管理を行うことが可能である。図6は点検時に計測したエンジン過給機の排気温度のトレンドグラフである。メーカー規定の管理限界値は480 $^{\circ}$ Cであるが、注意値及び予防保全値は今までの安定した領域にある計測値から設定している。一般的に、過給機排気温度が上昇すると過給機の腐食・損傷の疑いがあるとされている。図6を見ると2009年度から上昇傾向にあり、2011年度に注意値の408.7 $^{\circ}$ Cを超え、その後2013年度に予防保全値の436.8 $^{\circ}$ Cを超えた。

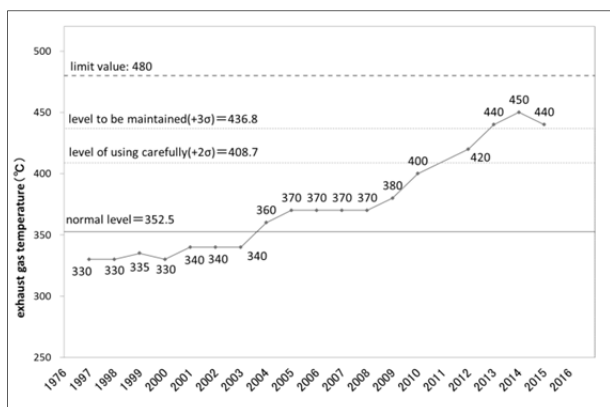


Fig.6 Diesel engine exhaust gas temperature

また、図7は同一ディーゼル機関のシリンダ排気温度で一番バラツキの大きい2つの気筒のトレンドグラフである。シリンダ間の温度のバラツキが大きくなると燃料噴射ポンプの異常やピストンリングの異常等の疑いがあるとされている。計測値は2010年度から温度差が管理限界値の40°Cを超え、2015年度には80°Cになった。以上より、早い段階で整備の必要があると判断し、2016年度に機器の整備を行った。この整備で過給機ノズルリング等の劣化、シリンダヘッド内の腐食、シリンダライナの劣化が確認された。

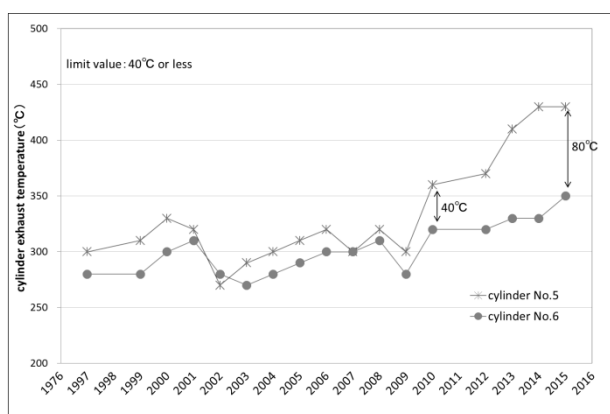


Fig.7 Diesel engine cylinder exhaust temperature

このような傾向管理によって異常傾向を発見した事例は、ディーゼル機関が多い。その他では、道路排水設備ポンプ羽根車、ジェットファン吊り金具、排水機場減速機冷却器、ゲート設備開閉装置ドラムギアなどの事例がある。

## 5・2 維持管理費の分析

国土交通書の土木機械設備の点検業務は一般的に委託契約により実施されており、当該費用は標準積算基準に基づいて積算している。機械設備維持管理

システムでは、点検実施後の実際の費用が記録されているので、設備規模と実経費の関係を分析した。

図7は、維持管理費が比較的高い排水機場を対象として点検整備費用を集計し、設備規模（施設の総排水量）との相関を分析したものである。総排水量をX軸、当該施設の点検整備費用を施設の総排水能力で割った金額をY軸としてプロットした散布図である。点検整備費は、2015年度の定期点検の費用、実排水時における運転管理に関する費用及び点検業務の範囲で行った定常的に実施する整備の費用である。

年間維持費は、機場規模が小さくなるとばらつきが大きくなる傾向があり、これらの要因を明らかにすること及び供用経過年数別に分析していくことによって、設備の老朽化とともに増大が予想される維持管理予算の推計や経費縮減ポイントの抽出に役立つことが可能となると考える。

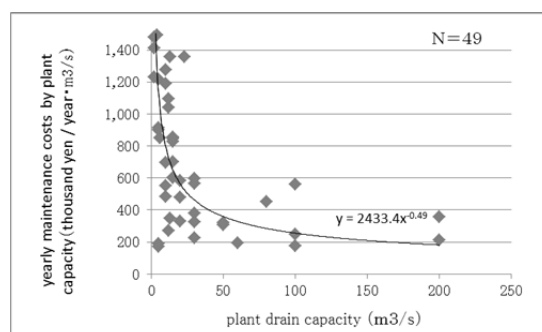


Fig.7 Yearly maintenance cost by plant capacity per plant drain capacity

## 5・3 ディーゼル機関の排気温度

過去の傾向管理事例によると、排水機場のディーゼル機関では、排気温度がメーカーの管理限界値以下においても構成部品の異常が確認されている。排気温度は、一般的に原動機メーカーから管理限界値が示されるが、当該値は定格負荷運転時における異常の有無を判断する指標として設定されている。殆どの排水機場では、管理運転は軽負荷状態（吐出側水位が低い排水運転あるいは無負荷運転）で行われることが多い。軽負荷運転は、ディーゼル機関内部に硫黄酸化物を残留させる要因となることや、ポンプ設備の運転状態も定格点からずれることから管理運転は概ね30分以内で実施される。

図8は、主原動機の出力とメーカーの管理限界値を単純に比較したものである。図より、1000kW以下のディーゼル機関では400°C～650°Cと幅が広いのに対し、2000kW以上では400°C～500未満の機種が多い。また、これらのディーゼル機関の管理運転時の排気

温度計測値（2016年度）を図9に示す。1000kW以下のディーゼル機関では、温度が100℃近傍から550℃近傍とばらつきがあり、2000kW以上では300℃から350℃近傍に集まる傾向となっている。

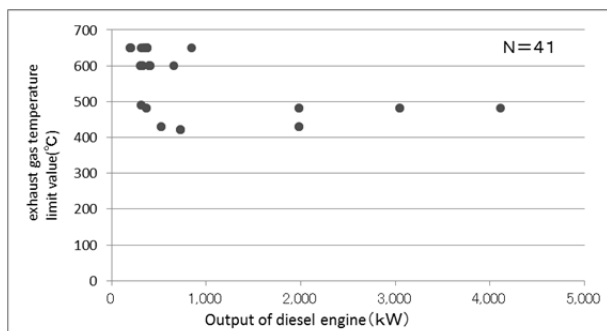


Fig.8 Relationship between output of diesel engine and limit value

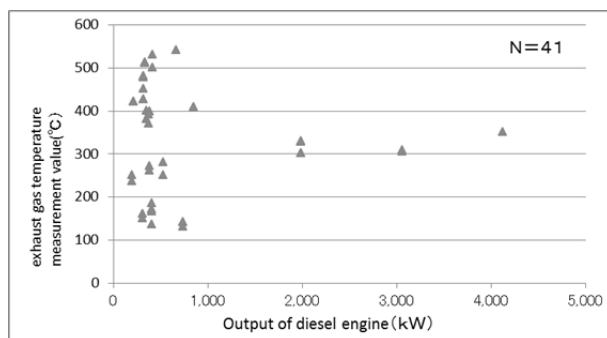


Fig.9 Relationship between output of diesel engine and measurement value

機関単体の劣化を評価する取り組みとして、各エンジン個別に管理限界値と計測値の関係をまとめた。図10は原動機毎の排気温度の管理限界値に対する計測値の比率を表したグラフである。○で囲んだ設備は比率が0.8以上と大きく、軽負荷運転でありながら管理限界値に近い運転状態となっていることが分かる。排気温度は、ディーゼル機関の特性や冷却系統の設計にも関与するが、管理運転において計画点における実負荷運転を想定した管理限界値に近いという機関では、実排水運転時に排気温度の推移に十分配慮する方針である。

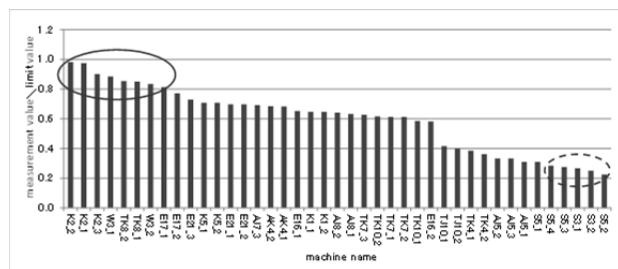


Fig.10 Ratio of measurement value of exhaust temperature and limit value

逆に破線の○で囲んだ設備は比率が0.2程度と非常に小さい。これらは、横軸ポンプ設備であり、管理運転時に機関単独運等の無負荷運転を行っているケースであった。低負荷運転は、不完全燃焼による硫黄酸化物やカーボン堆積が機器の故障を引き起こす可能性があるため、管理運転条件を把握し、今後の傾向について注視していく。

## 6. 現状での課題

### 6.1 傾向管理の信頼性向上

これまでに分析した各機械設備の点検時における計測データを確認すると、前年度数値とかけ離れているものが見受けられ、そのようなケースでは設備管理者と点検実施者との確認作業が必須となっている。異常傾向を示しているケースもあるが、計測方法の相違、管理運転における計測タイミングの相違、計測位置の相違なども散見されるため、各設備の点検標準要領（案）に対応する具体的なガイドラインの整備が進められている。

また、温度や圧力といったパラメータは運転条件、季節などの影響を強く受けるため、これらの情報を現状より詳細に把握し、傾向管理に反映させる必要がある。

### 6.2 メーカー専門技術者と設備管理者の情報共有

ディーゼル機関、主ポンプ、ジェットファン等の維持管理上の知見は、メーカー及び点検を実施する専門技術者が有しているため、設備管理者は情報交換を積極的に行い、基本的な知識は共有しておく必要がある。ただ、例えばディーゼル機関の管理技術などは、メーカー間で異なるノウハウがあるため、設備管理者としては得にくい情報も多い。

図7に示すような気筒間温度のバラツキは、軽負荷運転時は正常なディーゼル機関でも起こりやすいため、傾向管理は出来ないというメーカー専門技術者もいる。しかし、このように傾向に現れて、実際腐食が確認されたケースもある。今後は、設備管理者が実際の計測データを示して専門技術者と技術対話をしていくことも必要である。

機械設備維持管理システムは、データの信頼性を確保するため、現状においてはイントラネットで運用している。各施設の点検においては、維持管理システムから過去の計測データを引き出し、点検の専門技術者と情報共有を図るよう活用していく方針である。

### 6・3 ディーゼル機関を含む振動診断技術

点検において振動値が増大してきた軸受や減速機については、振動に関する精密診断を実施している。ディーゼル機関を動力とする軸系の軸受においては、時間領域波形において内部部品の損傷を疑わせる周期的なピーク波形が散見できる。しかし、これらの周期は軸受の損傷を示す周期と一致しないケースが多い。特に図 11 のように、ディーゼル機関回転数の 2 倍の周期でピークが現れるケースが多く、軸受の劣化判断がしにくい。振動値自体は大きいいため、軸受の分解や整備を実施したいケースもあるが、作業に大きな費用と時間を要するため、難しい判断となっている。

ディーゼル機関内部の駆動系部品は滑り軸受を採用しており、デフレクションで傾向管理しているが、機関外側の転がり軸受、玉軸受の実学的評価方法確立が急務である。

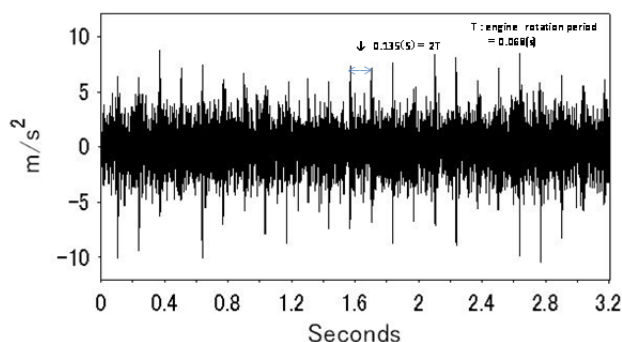


Fig.11 Vibration waveform of bearing



Fig.12 Vibration measurement (fig. 11)

## 7. 今後の方針

維持管理システムを活用した維持管理方法をいくつか紹介したが、我々が管理する待機系設備については、機器の種類も多様で維持管理手法が確立され

ていないため、まだ試行錯誤の状態である。しかし、建設後 50 年を超える施設が急増していくことが見込まれ、さらに厳しい財政状況下にあっては、適切かつ効率的な維持管理・更新を進めるには維持管理のデータの活用は欠かせないものとなっている。最後に今後の方針を以下のとおりまとめて示す。

- ①計測情報の信頼性を確保するため、運転条件の取込を推進するとともに、傾向管理を行うための計測方法を明らかにして徹底していく。
- ②現場で得られる維持管理情報を基に、専門技術者と設備管理者の情報交換及び情報共有を進めていく。維持管理手法の確立を進めていきたい。
- ③定期点検において異常傾向が見られた場合に実施する振動計測等の診断技術を確立していく。

## 文 献

- (1)国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工安全企画室, 河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案), 平成 28 年 3 月, pp24.