

## 3次元計測によるポンプ設備の据付状態把握 「高精度3次元レーザスキャナを用いた床版変状計測技術」の活用

萩原 勇人

排水機場の多くは建設後30年を超過しており、ポンプ設備の高齢化が進んでいる。近年、排水機場では、ポンプ設備の据付状態変化が原因と思われる装置の異常が発生している。この据付状態は、従来技術で計測できなかった。そこで、測量等で用いる3次元レーザスキャナを使った新技術の活用を検討したところ、現場における試行は必要であるが、実現の可能性が高い結果を得た。そして、ポンプ設備の維持管理に、据付状態の計測結果を使うことが有効であることもわかった。

キーワード：排水機場，ポンプ設備，予防保全，ディーゼル機関，3次元計測，レーザスキャナ

### 1. はじめに

排水機場は、降雨等による内水をポンプ設備により排除することで、堤内地の浸水や湛水を防ぐ施設である。国土交通省関東地方整備局（以下「関東地整」）において管理する排水機場の多くは、高度経済成長期後半からバブル期にかけて建設されたため、急速にポンプ設備の高齢化が進んでいる。しかし、これに対応する予算状況は厳しい。このため施設管理担当者は、ポンプ設備の長寿命化と効果的かつ効率的な維持管理に取り組んでいる。

近年、ポンプ設備を構成するディーゼル機関について、クランク軸にデフレクション（以下「クランクデフレクション」）の異常を発見している。クランク軸は、ピストンの往復運動を回転運動に変換し、これを外部へ出力する重要部品であり、これが故障すると、長期にわたりポンプ設備は運転不能になる。クランク軸のイメージを図-1に示す。施設管理担当者は、クランクデフレクションの異常原因を、ポンプ設備の据付状態変化と考えているが、ポンプ設備の据付状態計測は困難であるため、変化そのものはわかっていない。計測が困難な理由は、ポンプ設備の各装置に水準器など据付状態がわかる計器がなく、装置を据え付ける際に基準としていた点が据え付けた装置により不可視のためである。

装置の据付状態を変化させるのは、装置の基礎と、その基礎を支えるコンクリート床版の2つがあると考えている。

このうちコンクリート床版については、ある施設で

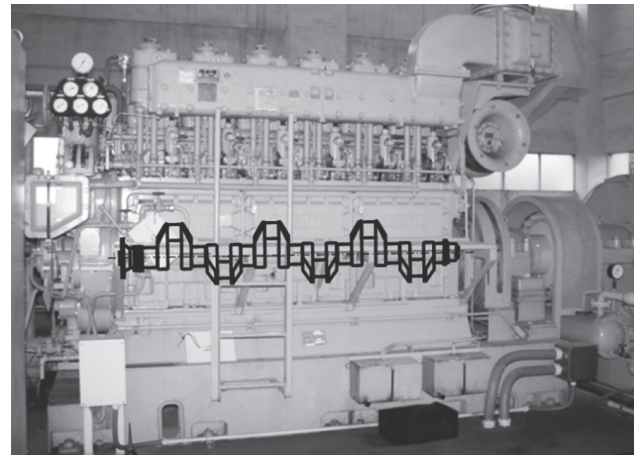


図-1 ディーゼル機関のクランク軸イメージ

一般的な測量により変化を計測したが、計測値がばらつき良好な結果を得られなかった。しかし、現在これは、新技術情報提供システム（NETIS）に登録されている「高精度3次元レーザスキャナを用いた床版変状計測技術」（以下「NETIS登録技術」）により、地上型レーザスキャナ（以下「TLS」）を使い、コンクリート床版の表面高さを標準偏差±5mm以下の精度で計測できる<sup>1)</sup>。NETIS登録技術は、国土交通省が実施した「現場ニーズと技術シーズのマッチング」により成立した新技術であり、この計測状況を写真-1に示す。

装置の据付状態変化とコンクリート床版との関係は、NETIS登録技術により明らかにできる。しかし、クランク軸の異常に影響している原因箇所はわからない。ポンプ設備の据付状態が計測できていないためである。据付状態が不明なまま、ディーゼル機関の異常



写真一 高精度3次元レーザスキャナを用いた床版変状計測技術（新技術情報提供システムより）

を改善することについては2つの懸念がある。

- ・ 施工により、現在把握している異常は改善しても、他の箇所へ影響していないとはいえない
- ・ 据付状態が変化することの原因箇所が不明なため、異常が再発しないとはいえない

ポンプ設備を効果的かつ効率的に維持管理するためには、この懸念を解消しなければならない。よって、ポンプ設備の据付状態計測と、この計測結果を活用する施工方法について検討した。

## 2. ポンプ設備の不具合

### (1) 排水機場のポンプ設備

一般的な排水機場のポンプ設備は、主ポンプ、減速機、流体継手またはクラッチ、主原動機の各装置からなる。排水機場においては、ポンプの駆動機に機関（エンジン）を用いることが標準となっている。これは、排水機場の稼働特性と経済性を総合的に勘案した結果



写真二 ポンプ設備（S5排水機場）

であり、関東地整ではディーゼル機関の採用事例が多い。ポンプ設備の外観を写真一2に示す。

ポンプ設備を含む機械設備の設計では、建設コストの縮減等を目的として、機械効率を高くし、かつ装置の寿命が短くならないようにしている。この例として、装置を水平設置としていることを挙げる。そして、設計を実現する現場施工段階においては、熟練技能による作業と精密な施工管理が欠かせない。また、施設の完成後は、各装置の据付状態を維持する必要もある。偏荷重による部品の異常摩耗等と、機械効率低下によるポンプ設備の動力不足を防ぐためである。

### (2) ポンプ設備の据付状態変化

前述のとおり、ポンプ設備の据付状態が変化していると考えられる事象として、ディーゼル機関におけるクランクデフレクションの異常がある。デフレクションとは「たわみ」であり、クランクデフレクションが大きくなるとクランク軸は折損する。クランクデフレクションは、ディーゼル機関内部の部品摩耗、ディーゼル機関本体の微小な変形、接続する装置の影響により変化する。ポンプ設備では、ディーゼル機関と接続している流体継手等の据付状態が、クランクデフレクションに影響していると考えている。これは、排水機場においてディーゼル機関の運転時間は少なく、また、ディーゼル機関本体の微小の変形事例を、排水機場では把握していないためである。

クランクデフレクションの計測には、1/100 mmまでの目盛りが振られている専用の計器を使い、計測値をディーゼル機関メーカーが機種毎に定める2つの管理値で判定する。この管理値とは、点検の良否判定などで使われる「基準値」と、ディーゼル機関の使用可否の目安となる「許容値（修正限度値）」である。近年、複数の排水機場において、基準値を超過し許容値に近づいたクランクデフレクションを改善するための工事を施工している。

## 3. ポンプ設備据付状態計測の検討

### (1) クランクデフレクション改善の施工事例

建設後40年以上経過しているS5排水機場には、定格出力約400 kW（550 ps）のディーゼル機関により作動する、排水能力毎秒7.5 m<sup>3</sup>の横軸斜流ポンプが4台設置されている。このポンプ設備では、ディーゼル機関のクランクデフレクションを改善するため、ディーゼル機関を再据付していた。ちなみに、ディーゼル機関の再据付は、4台全てのポンプ設備で2回実

施している。1回目と2回目の間には、2011年3月の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）が発生しているが、この地震とクランクデフレクション悪化の因果はわからない。S5排水機場の近隣に位置し、同時期に同様の構造で建設された他の排水機場では、S5排水機場と同様の事象が発生していないためである。S5排水機場のポンプ設備の構造を図-2に、ディーゼル機関の外観を写真-3に示す。

まず、S5排水機場における過去の施工方法を整理した。この調査には、比較的近年の事例である2013年度（2台分改善）と2017年度（2台分改善）の施工記録を使用した。

S5排水機場のディーゼル機関は、台盤と呼ばれる精密に加工された鋼製の架台に設置し、台盤はコンクリート基礎にアンカーボルトで固定している。このため、まず台盤からディーゼル機関を取り外し、台盤下部を覆っているグラウトをはつり、コンクリート基礎から台盤を取り外していた。

施工記録には、コンクリート基礎から取り外す前の台盤の水平度や位置・高さの計測、取り外し後の台盤

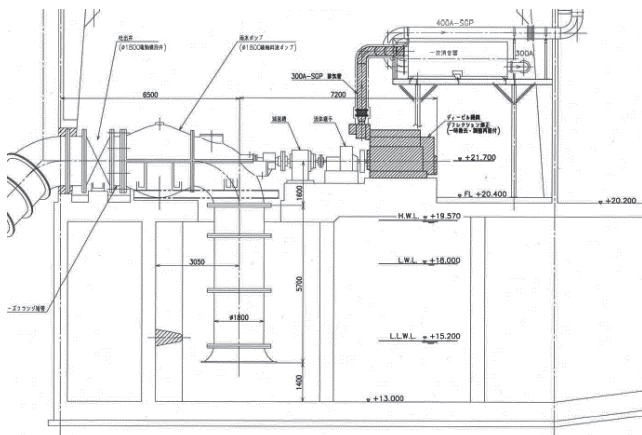


図-2 S5排水機場のポンプ設備構造

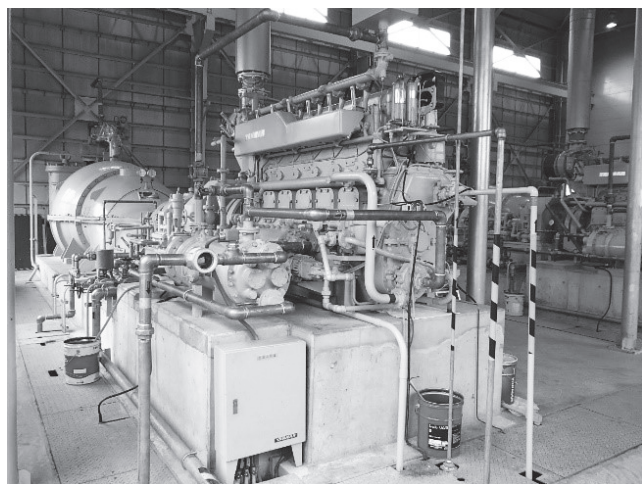


写真-3 主ポンプ駆動用ディーゼル機関 (S5排水機場)

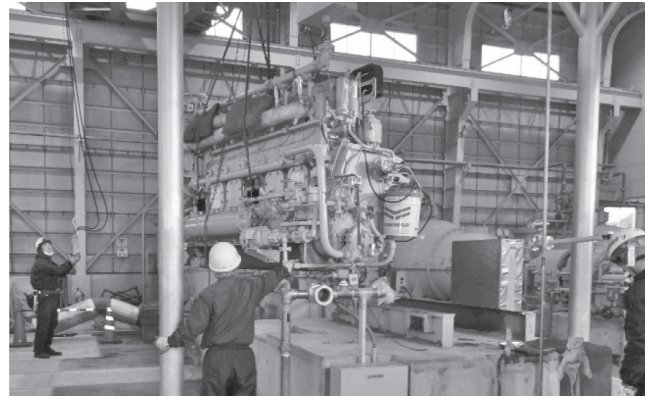


写真-4 ディーゼル機関の取り外し (S5排水機場)

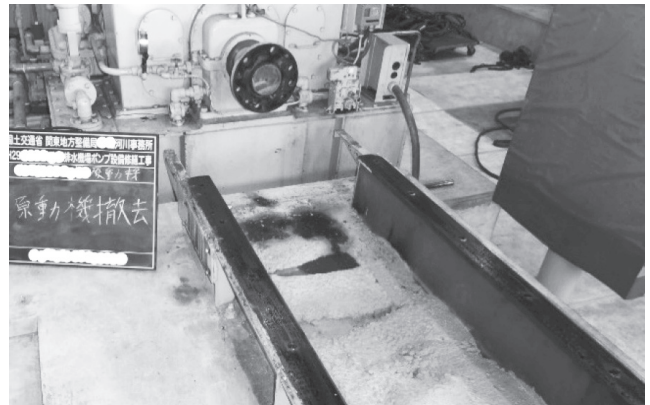


写真-5 ディーゼル機関台盤 (S5排水機場)

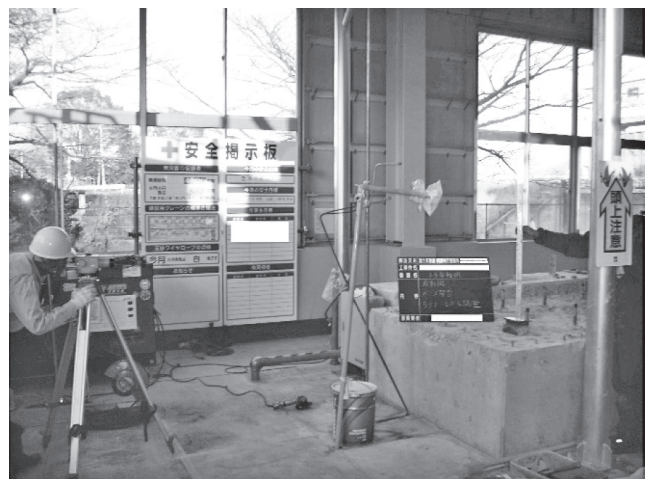


写真-6 ディーゼル機関台盤の据付高さ調整 (S5排水機場)

を検査した資料が無かった。ディーゼル機関の取り外し作業を写真-4に、露出した台盤を写真-5に示す。

ディーゼル機関の再据付では、まずコンクリート基礎上に台盤を仮置きし、設置高を決めていた。この作業を写真-6に示す。前述のとおり、台盤の設置高は施工記録に無かったが、当時の施工計画書には、取り外し前と同じ高さに調整すると記載があった。この同じ高さが、台盤のある部分の高さを基準として水平

に設置するのか、それとも台盤の各部の高さを取り外し前の状態に再現するのかは不明である。ただし、新設工事で施工管理を義務付けている、ディーゼル機関の水平度を管理した資料も施工記録には無かったことから、台盤の施工方法は、新設とは異なる取り外し前の状態を再現したものと推察した。

ディーゼル機関を台盤へ取り付けると、軸芯とクランクデフレクションを計測しながら、ディーゼル機関の据付状態を微調整していた。微調整の方法は、台盤の下に敷かれた、銅板をくさび形状に加工したライナープレートを出し入れする。微調整により軸芯とクランクデフレクションの両方を規定値に収めると、ライナープレートを溶接固定し、ライナープレートと台盤下部をグラウトで埋設していた。設置高を決めた台盤の据付状態は、ライナープレートによる微調整で変化しているが、この時の高さも施工記録には無い。

## (2) 状態計測を使った施工方法

クランクデフレクションの改善方法は、ディーゼル機関、流体継手、減速機、主ポンプいずれかの据付状態を変化させることが一般的である。S5 排水機場でディーゼル機関を選んだのは、施工コストや施工日数によったものと推察した。据付状態が計測できないことから、変化した装置と変化の状況を把握していないためである。

また、ディーゼル機関における据付状態変化の有無も不明である。仮に、ディーゼル機関の据付状態が設計どおりであった場合、クランクデフレクションだけに注目してディーゼル機関を再据付すると、ディーゼル機関の据付状態は設計から乖離してしまう。傾斜した装置では、設計と異なることにより装置を構成する部品に異常摩耗等が発生する恐れがある。このため、ディーゼル機関の別の部位に不具合が生じる恐れのあるクランクデフレクション改善方法を採用することは、適切な維持管理といえない。そして、施工コストが安価であったとしても、長寿命化の効果が低い施工方法は、効果的または効率的といえない。

これに対し、据付状態を計測できると、ポンプ設備を構成する装置それぞれの据付高さや傾きがわかる。これにより、設計に対する現状の乖離量が明らかとなるので、上記の問題は解消する。

ただし、全ての装置において設計との乖離を解消しようとするのは、ポンプ設備の長寿命化への効果と施工コストを考慮すると、効果的な施工方法ではない。据付状態を調整する装置が多くなると、施工コストも上昇するからである。そこで、施工する装置を最小限

に絞り、かつこの装置の据付状態を製造メーカー保障範囲に収める施工方法が効果的である。よって、据付状態計測の結果を使う標準の施工方法は、各装置の据付状態を確認したうえで、設計との乖離が大きい装置を主体に、乖離量を参考にしながら据付状態を調整する方法とした。

## (3) TLS の適用

S5 排水機場の事例より、ポンプ設備の据付状態を計測することの優位性がわかったことから、据付状態の計測方法を検討した。施工当時の据付基準を使わない方法として、線や面の計測も可能な NETIS 登録技術が有効と考えた。

3次元レーザスキャナには、測量に使われることの多い TLS のほかに、工場における製品製造の品質管理等で用いられる産業用がある。製品カタログに表示された精度等の数値は、TLS に比べ産業用は非常に良いが、1回の測定範囲は非常に狭いことがわかった。排水機場における計測の実現性は、計測精度の課題はあるものの、計測実績と体制の確保から NETIS 登録技術の方が高いと判断した。そこで、TLS の資料を入手し、入手できたメーカー各社の最上位と思われる機種の計測精度を整理した。この結果を表-1に示す。ちなみに、NETIS 登録技術では製品 A を使っている<sup>2)</sup>。

表-1 TLS の比較 (測定距離 10 m)

メーカー・製品	点間隔	距離精度
A 社・製品 A	3.1 mm	3.5 mm
B 社・製品 B	2.4 mm	2 mm
C 社・製品 C	0.6 mm	1 mm 以下
D 社・製品 D	2 mm	± 1 mm

注) カタログでは、点間隔および距離精度という表現を使っていない場合がある。

国土交通省発注工事におけるポンプ設備の据付で用いる機械工事施工管理基準 (案) (以下、「施工管理基準」) では、主ポンプとディーゼル機関の水平度を ± 3 mm/m 以内と規定している。表-1 と比較すると、距離精度と非常に近い数値であるため、このままでは TLS を適用できるとはいえない。

3次元レーザスキャナにおける TLS と産業用の性能の違いを調べた際に、レーザスキャナ本体と装置との距離を縮めることで、TLS でも高い精度の計測ができるのではと考えた。

点群データをなす点と点の間隔 (以下、「点間隔」) が短いと点群データの密度は高くなり、計測精度もあ

る程度向上する。これは、一部のレーザスキャナメーカーに問い合わせし確認している。よって、TLSの機種毎に異なる性能や特性の影響は受けるが、計測方法を工夫することにより施工管理基準を満たせる可能性は高い。

なお、装置との距離を縮めると、TLSによる計測回数も増える。作業時間の観点で、S5排水機場の規模では問題にならないと考えているが、計測データの精度の観点も含め、実際に試行し確認する必要がある。

ポンプ設備のどこに着目して計測するかも重要である。各装置の据付状態を相対的に把握するためには、各装置の精密に加工された部位を計測することが望ましい。例えば、S5排水機場の主ポンプでは、主ポンプケーシングのフランジ面のような部位であり、これを直線として管理できれば、据付状態の把握は容易になる。しかし、装置には塗装が施されているため、このような部位をTLSで計測できるか調べる必要がある。

## 4. 考察

### (1) 据付状態の計測効果

据付状態を計測できることで、クランクデフレクションの改善で調整すべき装置が明確になり、施工方法を想定することが可能となる。これにより、施工工程に見込んでいた不確定要素が減ることで、施工は効率化する。また、施工費用算定の確度が向上することで、施設管理者が立案する維持管理計画は効果的なものとなる。さらに、据付状態の変化が明らかとなった装置に対しては、通常より注意を払いながら点検することが一般的であることから、異常の兆候に気づきやすくなると考える。

S5排水機場の事例では施工記録に無かったが、装置の延命や更新を計画する際に、貴重な情報となりうる施工管理項目があった。TLSであれば、少ない労力により3次元で記録できるため、貴重な記録を充実した内容で残すことが可能である。

S5排水機場のディーゼル機関に、クランクデフレクション異常が生じた原因は不明である。しかし、各装置の据付状態が明らかとなることで、施設完成時からどこにどれだけの変化が生じたかは、設計と対比することで推定できる。抜本的な問題解決に向けた調査は別途必要だが、原因究明の足掛かりを見つげられることにより、異常の再発防止に向け前進する。

よって、TLSによる据付状態計測は、ポンプ設備の維持管理を効果的かつ効率的にする。

課題は、TLSを使った計測体制である。現在、TLSは非常に高価であることから、ポンプ設備の点検業者や施工業者がこれを保有することは難しい。このため、当面はTLSによる計測を行っている測量会社等によりポンプ設備の据付状態を計測することが現実的である。しかし、施工中の計測に、時期とコストの制約が生じる。そこで、将来に残すべき施工記録の選定が必要と考える。

### (2) TLSの計測精度と作業効率

今回、TLS各製品の性能等はメーカーカタログによったが、ここに記載されていた性能に関する項目や内容は、統一されていなかった。このため、期待精度をカタログから推定することはできなかった。TLSメーカー各社は、製品の主たる用途や特性を踏まえ、項目や条件を決めている可能性もある。しかし、TLSを選定し利用する立場からは、容易に計測精度等を知ることができるよう、公表する項目等の標準化を望む。

TLSによる計測精度は、点群密度と距離精度が大きく関係するものと考えている。点群密度が影響するのは、点群データによる形状の明瞭さと計測時間である。TLSによる据付状態計測を一般化していくためには、形状の明瞭さと点群密度、そして計測作業効率の関係を明らかにすることが欠かせない。また、距離精度には、TLSと対象物との位置、対象物の形状や色、日射や照明等が影響すると想定している。そこで、これら計測の諸条件の組み合わせによる実験も不可欠である。

なお、調査の過程で、TLSが自動で点群データのバラつきを小さくする機能の存在を知った。この機能は、製品カタログには記載されておらず、このメーカーの営業担当者から説明を受けた時に教えていただいたものである。TLSの機能を適切に活用することが、高精度の計測を効率的にすることから、TLSメーカーからの支援は欠かせない。

### (3) TLS計測の活用

ポンプ設備の施工現場では、他の建設現場と同様に、技術者の高齢化と担い手確保が問題となっている。現在、機械設備の据付では精密な施工管理を必要としているが、TLSによる高精度な計測が実現すれば、施工管理データは明らかに充実する。そして、技術者に要求する技能は緩和できるはずである。ポンプ設備の施工が少子高齢化社会へ適応していくためには、TLS計測の適用場面を増やすことが重要である。

機械設備の維持管理では、点検で健全性に疑いが生

じた装置について、精密診断することとなっている。ただし、ポンプ設備における精密診断は、診断可能な部位や事象が限定的である。TLS計測により据付状態が明らかになれば、デフレクションの悪化要因も絞り込める可能性が高い。そこで、ポンプ設備においては、クランクデフレクションの変化や、軸継手部のミスアライメント・ミスカップリングのような兆候があった場合、TLS計測の結果を用いて精密診断することも考えられる。

## 5. おわりに

関東地整が管理する排水機場では、ポンプ設備の老朽化が顕著にあらわれてくるものと考えている。これに対して、限られた予算で装置の延命や更新を進めることが必要である。そのためには、従来からの方法の改善に取り組むことが重要と考える。今回、従来の施工方法を見直すため、これに必要な技術として成立して間もないNETIS登録技術を活用する方法を調べ、ポンプ設備の据付状態計測の有効性を確認した。この

結果、机上検討ではあるが、効果的かつ効率的な維持管理の実現性を見出すことができた。TLSの性能や機能の向上、さらにBIM/CIMによる3次元データの利用環境も整いつつあることから、3次元計測には大きな可能性を秘めていると考えている。引き続き、機械設備における維持管理を改善するため、3次元データの活用に取り組んでいく。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) 萩原勇人：3次元計測を用いた「排水機場の構造物モニタリング技術」, ほんぶ No.61, p.6-7, 2019.3.
- 2) 北原敏夫：排水機場の構造物モニタリング技術, 建設マネジメント技術 No.493, p.29, 2019.6.

### 【筆者紹介】

萩原 勇人 (おぎはら はやと)  
国土交通省 関東地方整備局  
関東維持管理技術センター  
関東技術事務所施設技術課  
課長