

道路排水設備の診断に向けた技術検証

【一般（安全・安心）Ⅱ（維持管理）】

大串 理

関東地方整備局 関東技術事務所 施設技術課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1) .

河川及び道路の機械設備では、施設の高齢化に対応する維持管理費用の増加を抑制するため、効率的な維持管理が求められている。効率的な維持管理には、機器の修繕又は更新時期が重要で、現在の維持管理方法は、点検結果において機器等の機能低下の傾向が見られる場合、あるいは一定期間経過による整備・取替時期を迎えている場合、必要に応じて診断を実施するとされている。この診断結果により適切な時期に修繕又は更新を行っている。しかし、道路排水設備においては設置環境から適切な診断が難しい課題がある。今回、電流情報解析を現場へ導入することで課題解決が可能であることがわかった。

キーワード 道路排水設備, 水中ポンプ, 三相誘導電動機, 電流情報解析

1. はじめに

道路排水設備は、道路のアンダーパスや地下歩道へ流入する雨水や地下水等を自動で排水する目的で設置されるもので、円滑な道路交通を確保し社会経済活動を支える役割を担う重要な設備である。本設備は、高度経済成長期から昭和末期に至るまでに建設されたものも多いため、設備を構成する機器の高齢化が進んでいる。また、近年は、ゲリラ豪雨などが多く、稼働回数が増加していることから、確実な稼働が求められ、道路排水設備の適切な維持管理の重要性が増している。

道路排水設備の維持管理は、「道路関係（機械設備）点検・整備・更新マニュアル（案）国土交通省」で、「点検結果において装置・機器に機能低下の傾向が見られる場合、あるいは時間保全における整備・取替時期を迎えている場合、必要に応じて診断を実施するものとする。」と記載されている。関東地整で実施している診断は、診断精度が高いという理由から機械から発生する振動の計測結果から診断を行っている。これは電動機、又は電動機によって駆動されるポンプや減速機（歯車装置）等の機械系からなる回転機械系の状態を把握する技術である。しかし、道路排水設備の水中ポンプは可動部が全て水中部にあるため、人が近づいて計測することができないため、関東地整では水中ポンプを適切に診断する技術がない。

この問題を解決するため、救急排水機場において使用される同様の水中ポンプの診断に、電流情報診断による状態監視手法が土木研究所から公表された。しかし、設備の運用方法等が異なり一部検証が必要であった。この手法を道路排水設備へも適用するための技術検証を行った。本項ではこの概要を報告する。

2. 道路排水設備の運用

道路機械設備は、確実に始動し必要な時間運転継続できることなど、設備の目的、条件により必要とされる機能を長期にわたって発揮できなければならない。道路排水設備の必要機能の一つに「自動運転が確実に実行できること」が求められている。これにより無人で運転する設備である。一方、土木研究所の先行研究対象施設である、救急排水機場は有人運転であり、点検や有事によりその設備を運転する際は必ず人が居る状態である。道路排水設備と救急排水機場において無人運転と有人運転の違いがあり、維持管理方法にも違いがある。

3. 道路排水設備の維持管理

維持管理は一般的に、実操作→点検→整備→実操作の流れを繰り返して設備を良好な状態に維持し、正常な機能を確保している。

維持管理で最初に異常を発見するのは点検時である。この点検の目的は、機械設備（又は施設）の偶発的損傷、構造的損傷及び経年的損傷などによる不良部分を発見することである。この結果から必要な診断または必要な整備により設備機能損失の未然防止を行っている。これにより設備の正常な機能確保を行っている。

この維持管理を効率的に行うには、機器の修繕又は更新の時期が重要で、その判断には機器などの劣化状況を点検又は診断結果から把握している。

一般的な機械設備の劣化状況の把握は、点検による目視など人の感覚と計測データにより行っている。しかし、水中ポンプは機器が水中にあるため、機器の目視や振動計測などができない。有人運転時は、排水状況や運転音等の確認により劣化状況の確認は可能であるが、無人運

転では同様の確認方法ができない。

4. 装置・機器等の特性

道路排水設備の標準的な機器構成は以下のとおりである。水中部に設置され稼働する装置・機器についてはポンプ設備のポンプが唯一の機器である。

表-1 設備構成要素分解図（道路排水設備）

装置	機器
ポンプ設備	ポンプ
配管設備	逆止弁、吐出管、配管
操作制御設備	ポンプ操作盤、水位計、遠方監視盤
電源設備	受電部、配電設備、予備発電設備
除塵設備	スクリーン
クレーン設備	チェーンブロック
その他設備	換気設備、照明設備、上屋、水槽ピット、水路等

5. 電流情報解析（土木研究所の先行研究）¹⁾

土木研究所の先行研究は、河川用大型水中ポンプを電流情報解析により診断する技術である。

電流情報解析は、誘導電動機電流兆候解析に基づき、三相誘導電動機に発生する逆起電力を解析することで、機械の異常を検出する技術である。

計測方法は、機側の操作盤や分電盤の動力配線に計測用のクランプ等を取付、電流波形の計測を行う。計測方法が非常に容易であり、また、騒音や振動などの影響を受けにくいことから、水中ポンプの状態監視に適しているとされている。（図-1）

電流情報診断では、電流波形を周波数分析（FFT）し、電源周波数の両端に現れる側帯波の大きさを確認することにより、機器の状態監視を行う。（図-2）

確認する側帯波は主に、電動機の回転子バーの損傷に影響を受ける側帯波、及び回転子軸への異常負荷に影響を受ける側帯波となる。（図-3）

三相誘導電気の模式図を図-4に示す。三相誘導電動機は、固定子に三相交流電流を流すことで、固定子バーに電流を誘起させ、回転子を回転させる。

回転子に電流が流れると、磁界が発生するとともに、交流電源の位相変化に合わせて磁界が回転するように変化する。回転子が磁界に対し相対的に移動することにより、回転子バーに電流が誘起され回転するため、回転子は回転磁界よりやや遅い周波数で回転する。この回転磁界と回転子の周波数の差がすべり周波数となる。ここで、回転子から見ると相対的に回転磁界はすべり周波数で回転していることになり、回転磁界の磁極が回転子バーを通過する際に、今度は固定子側に電流が誘起される。これにより逆起電力が発生する。

回転子バーの1本が損傷した場合、その回転子バーには電流が誘起されにくくなり、結果として固定子への逆起電力に影響を及ぼす。その周波数は、回転子が磁極を通過する周波数（ $f_s \times p$ ）となる。この場合、周波数分析を行うと、電源周波数の両端（ $f \pm (f_s \times p)$ ）に側帯波が現れる。この側帯波がLpoleであり、大きくなるほど回転子バーが損傷している可能性が高まる。

また、ポンプが接続された回転子軸に、アンバランス（摩耗、腐食）などが発生した場合、回転子軸に異常負荷がかかる。異常負荷により回転子が偏心すると、空間磁束線に影響を与え、固定子への電流誘起に影響を及ぼす。回転子に異常負荷が発生した場合、電源周波数の両端（ $f \pm f_n$ ）に側帯波が現れる。この側帯波がLshaftであり、回転子軸につながる被駆動装置の異常に起因した異常負荷にも影響を受けるため、Lshaftを監視することで軸受や羽根車などの異常を検知できる可能性がある。

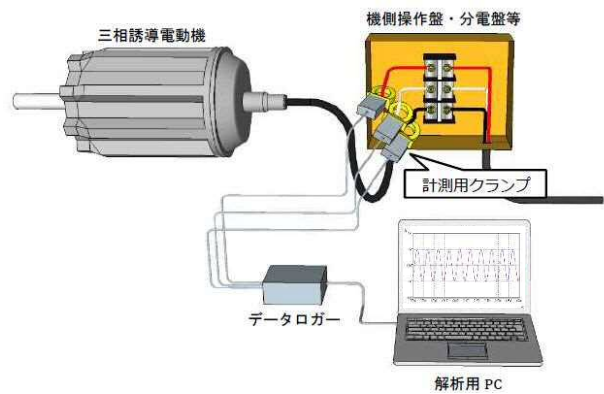


図-1 計測方法

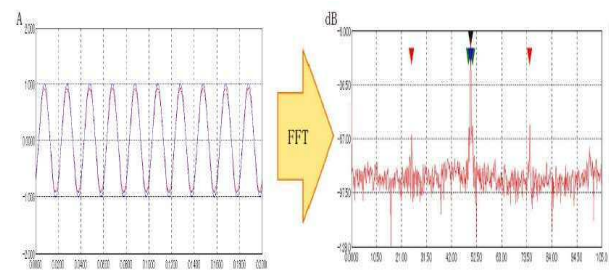


図-2 周波数分析（FFT）

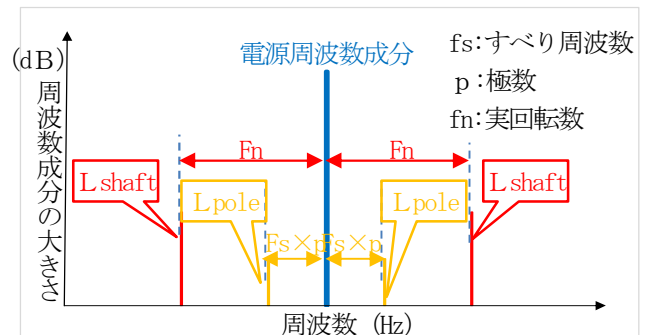


図-3 側帯波（Lpole、Lshaft）

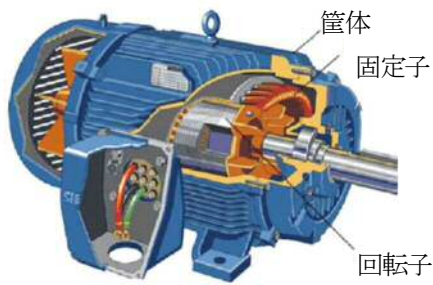


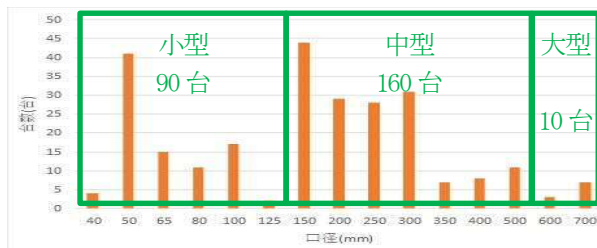
図-4 三相誘導電気(かご形)模式図

6. 道路排水設備の技術検証方法

(1) 関東地方整備局管内の口径別ポンプ台数

管内には口径φ40~700までのポンプが約260台設置されている。以下に水中ポンプを口径別に整理した。

表4 管内口径別ポンプ台数



ここで、国交省が道路排水設備設計時に用いる設計基準(道路管理施設等設計指針(案)、道路管理施設等設計要領(案)/社団法人日本建設機械化協会)より、水中ポンプは、φ100以下でボルテックス形羽根車、φ150~φ500でノンクログ形羽根車、φ600以上でコラム形水中モータポンプ(斜流形または軸流形)と、口径に応じて標準となるポンプ形式が異なり、大きく小型・中型・大型に分類できる。なお、設置形式は、φ500以下で着脱式、φ600以上でコラム形着脱式を標準としており、ポンプ槽が浅く着脱式の効果が小さい小口径ポンプ(φ50~φ100程度)の場合には、固定式構造の採用が多い。

表-4より、小型のポンプは全260台中90台で全体の35%を占める。φ50のポンプは設置数が多く、歩行者を対象とした地下道に設置されることが多い。

中型のポンプは全260台中160台で全体の60%を占める。特にφ150からφ300までのポンプは設置数が多く、1箇所の設備に複数台設置されていてアンダーパス等の道路排水に用いられている。

大型のポンプは全260台中10台で全体の4%である。一般的には集水面積が広い等、大量の排水を要する対象地に設置されるが、管内における設置数は少ない。

(2) 水中ポンプ規模の選定基準

技術検証を行うにあたり、本診断を広く普及させるという観点で検討し、以下の2点を考慮した。

①技術検証を行うにあたり、対象となる設備数は既に

多く設置されている口径のポンプを対象に実施する。

表-4に示すとおり大型のポンプは全体の4%と対象数が少ないため普及効果が少ない。

②不具合を予防するため、重要度の高いポンプにて実施する。

小型ポンプ(φ50以下)は、主に地下歩道等に設置され、アンダーパス等に設置されるポンプ(φ100以上の小型ポンプ、中型ポンプ)と比べの排水量が少なく重要度が低いため有効性が低い。

以上から、技術検証を行う水中ポンプは、φ100以上の小型ポンプから中型ポンプとした。

(3) 現場の選定基準

今回の現場で技術検証を行うにあたり、以下の3点を焦点とした。

- ①機器の仕様を詳細に確認(メーカ等)することが可能なこと。
- ②運転頻度が多く確実な計測が可能なこと。
- ③降雨及び地下水を自動運転で排水する一般的な道路排水施設であること。

以上の①~③の条件を満たす、H28年度に機器を更新した道路排水設備の水中ポンプを選定した。

(4) 検証内容

技術検証の内容は以下のとおりとし、それぞれについて確認を行った。

- ①電流情報解析に必要な機器
- ②機器の設置方法
- ③計測方法
- ④データの取得結果
- ⑤電流情報解析結果

(5) 技術検証方法

道路排水設備の特徴として、機器構成は救急排水機場と同様であるが、無人運転及び短時間運転による違いがあるため次の対策を行い計測を行った。無人運転による運転員不在のため運転時に測定機器の設置による計測はできない、また、点検時の運転時間は1分未満であり有効なデータ取得が困難等の課題の対策のため、事前に機器を設置し、自動計測を行いオンラインで計測データの取得を行った。以下に計測方法を示す。

- ①計測機器：電流センサ、データロガ(オンライン)、解析用PC
- ②計測箇所：機側操作盤
- ③計測位置：水中ポンプへつながる電力ケーブル
- ④計測設定：1回8秒(1分間隔)
- ⑤計測方法：自動計測(無人)
- ⑥計測時期：実排水運転時(約5分/回)

7. 道路排水設備の技術検証結果

今回の技術検証の結果、計測機器、現場設置、計測方法、測定データ、解析結果について技術検証を行った。それぞれの検証結果および抽出された課題について次に整理した。

(1) 電流情報解析に必要な機器

道路排水設備の計測においては、無人運転となるため現地で記憶媒体を用いた直接計測データの取得ができない。このため、オンライン取得に必要なネットワーク通信機器と停電による計測機器停止を防ぐための無停電電源装置が必要であった。

(2) 機器の現場設置結果

今回、検証を行った水中ポンプ2台の稼働は水位センサによる自動運転であった。このため、計測機器を一定期間現場へ設置した。機器構成は、計測機器本体、電流クランプ、無停電電源装置、中継器、スイッチングハブ、ネットワーク機器であった。機器を設置するスペースや電源と計測用ケーブルの配線が必要であった。設置スペースについては最小とするためラックを用いて設置し、ケーブルについては、配線を養生することで点検作業の支障にはならない様に設置した。しかし、計測クランプから計測機器本体へのケーブルについては操作盤の前面扉を通す必要があり全閉にはできなかつたため可能な限り扉を閉め隙間を養生テープで塞いだ。この状態では容易に扉を開けることができなくなり点検作業に支障があることを確認した。今後、点検作業の支障とならない設置方法の検討が必要である。



写真-1 計測装置設置状況

(3) 計測方法

計測機器を設置し、水中ポンプの計測データを取得した。ただし、確実な計測データ取得と通信費用の調整を行うために対象施設の運転状況を事前に把握し、機器を設置する時期、期間を決める必要があった。今回の施設は運転履歴にて把握が可能な施設であったため、機器の設置時期、期間を定めることができた。今回の機器を設置する時期、期間については次のとおりである。通信容量制限は7GBであった。計測機器から1回に送信される

データ量は、約500kB(分・回・台)であるため、1時間あたり30MB、1日あたり720MBとなる。2台分の計測では1日あたり1.4GBとなるため、約5日間/月のデータとした。今後、運転履歴の把握ができない施設への対応方法の検討が必要であることが確認できた。

(4) 測定データの取得結果

今回計測したデータを図-5に示す。救急排水機場の計測結果と同様に電源周波数の両端に側帯波をそれぞれ確認することができた。

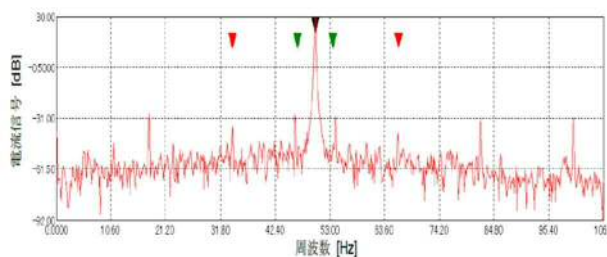


図-5 計測データ

(5) 解析結果

今回の解析結果では、異常は見当たらなかった。

(6) 技術検証結果

上記、各技術検証の結果、現場設置方法および計測方法のさらなる検討が必要ではあったが、必要な機器の確保および解析に必要な測定データ取得ができたことから、今回の技術検証により、現場導入の有効性が確認できた。

8. 道路排水設備の診断技術導入に向けて

土木研究所の先行研究で行った電流情報解析は、三相誘導電動機から発生する逆起電力を計測クランプにより電流値を計測しこの計測結果を解析することで異常の発生個所と損傷程度を把握する技術である。この新たな診断技術導入にあたり、計測機器の設置方法の改善、データ収集方法の工夫の必要性、さらに診断結果が出るまで1カ月以上の時間を要すること等の課題が把握できた。

この課題を解決することで計測が容易となりコスト縮減が可能である。道路排水設備に本技術を導入することで、設備の信頼性が向上され国民の安心・安全の確保と、適切な維持管理を目指していきたい。

謝辞：技術検証に協力いただいた株式会社日立テクノロジーアンドサービスと千葉国道事務所の皆様、そして本技術の指導をいただきました土木研究所の皆様にこの場を借りて深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木研究所：電流情報診断によるコラム形水中ポンプ状態監視ガイドライン(案)