

新堀川排水機場自動計測システムの導入状況

増尾 健・田中義光

1. はじめに

新堀川排水機場は、谷田川、新堀川より分流した新堀川導水路の最下流に位置し、出水時に谷田川、新堀川の河川水を利根川に排水する重要な施設である。(図-1位置図参照)本排水機場は、昭和42年に建設されて以降適切に主要構成機器の整備あるいは更新を行ってきた。

平成20年に「河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(平成27年3月に「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)H27.3」に改訂)が施行され、時間計画保全から状態監視保全の適用拡大が求められていることに対応し、本機場では、ポンプ設備の状態を把握するために有効なセンサ類と、稼働時の計測データを自動的に取得できるシステムを平成25年度より順次整備している。本報告は、当該システムの導入状況と計測データを用いた精密診断の実施など今後の活用について紹介する。



図-1 新堀川排水機場位置図

2. 施設の概要

2.1 ポンプ設備の概要

新堀川排水機場ポンプ設備の主な仕様は表-1に示すとおりである。

6台の横軸ポンプを擁しており、定期点検時にはバイパス管循環運転方式による管理運転が可能となっている。

表-1 ポンプ設備仕様

項目	内容
位置	群馬県邑楽郡明和町須賀地先
計画排水量×全揚程	15m ³ /s × 9.5m
主ポンプ形式×台数	2.5m ³ /s横軸斜流ポンプ×6台 ポンプ定格回転数:300min ⁻¹ 羽根車:6枚
主原動機仕様	4サイクルディーゼルエンジン 出力346kW エンジン定格回転数:1200min ⁻¹
減速機仕様	横軸遊星歯車減速機 減速比 1/4



写真-1 ポンプ設備全景

2.2 整備及び更新の状況

建設後時間が経過し、主原動機の劣化が顕著になってきたことから、平成25年度より主原動機及び動力伝達装置の更新を行うとともに、2・4・5・6号機については主ポンプの整備を行っている。主ポンプや主原動機の状態監視保全の推進を図るため、これらの整備・更新タイミングで表-2に示す各計測項目に対応するセンサ・計器類を設置し、運転時に自動計測及び記録できるシステムを導入した。平成29年4月現在において、2号機から6号機までの5台に設置されている。

表-2 状態監視量及びセンサ

計測項目	センサ・計器類
【主ポンプ関係】	
・主ポンプ主軸振動	渦電流式変位センサ(2方向計測)
【主原動機関係】	
・回転速度 ※1	機付き回転計
・冷却水温度 ※1	機付き温度センサ
・燃料流量	ギア式ロータ容積式流量計
・排気温度	熱電対式
・潤滑油温度	測温抵抗体 Pt100Ω
【減速機関係】	
・潤滑油温度	測温抵抗体 Pt100Ω

※1: 各主原動機の機付計器より信号を取得

3. 自動計測システムによる精密診断

3.1 自動計測システムの概要

表-2に示す各計測項目は、主ポンプ、主原動機、減速機各々の状態を示す要素であると同時に、各データ相互の関係を時間軸で把握することにより、精密診断の精度を上げることを目的として選定している。

精密診断とは、異常箇所・原因の特定や程度を把握するための診断で、振動解析は精密診断の主たる手法である。主ポンプの羽根車、水中軸受等はケーシング内部にあるため、通常の年点検レベルでは目視確認できないが、主ポンプ主軸の振動(動き)を解析することによって、羽根車の腐食等により発生するアンバランスの存在や、水中軸受の摩耗、主軸の曲がりなどを把握できる可能性が高まる。軸封部直近の主軸に導入した渦電流式変位センサを写真-2に示す。

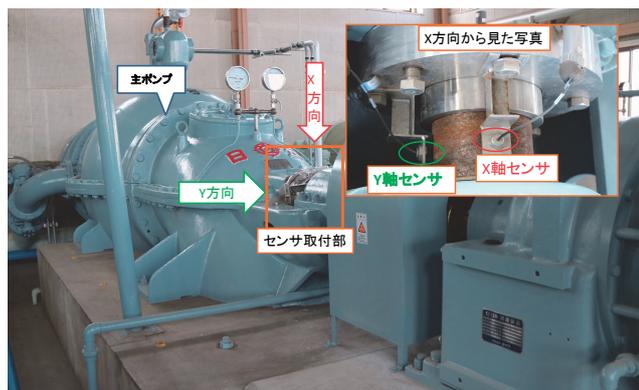


写真-2 渦電流式変位センサ

しかし、主軸の振動は、これらの劣化要因だけではなく、排水運転時の負荷条件などにも影響を受ける。これらの要素を同時に計測・記録しておけば、記録されたデータを基に精密診断を行うことが可能となる。新堀川排水機場に導入した自動計測システムは、精密診断に活用できるデータを自動で計測・記録する機能に特化したものである。

3.2 自動計測システムの機能

3.2.1 自動記録機能

自動計測システムは、データを計測する各種センサ(表-2)と盤内に収める「データ収録装置(データロガー)」、「燃料積算計変換器」、「アナログ・温度計測ユニット」及び「渦電流式変位センサのコントローラ」で構成される。写真-3に自動計測システム収納盤及び盤内機器(右)を示す。

主ポンプの運転に合わせて自動計測システムを

起動すれば、表-2に示す各データは自動で記録される。データ収録装置には8GBのコンパクトフラッシュメモリが内装されており、2台分で約40時間程度のデータを記録できる。

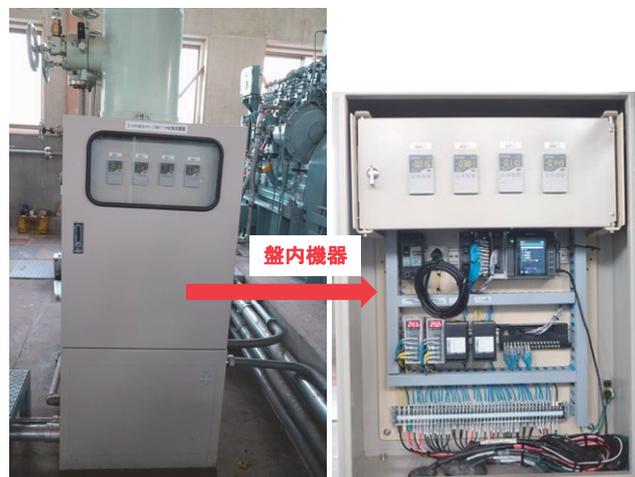


写真-3 自動計測システム

3.2.2 データの確認・解析

収録したデータは、専用のビューソフトをインストールしたパソコンで確認することができる。また、ビューソフトでデータをCSVファイルに変換できるので、表計算ソフトあるいはその他の解析用ソフトを用いてデータ解析を行う場合の汎用性も高い。利根川上流河川事務所では、定期点検時に当該データを引き出して関東技術事務所に送付しており、関東技術事務所においてデータの解析を行っている。

3.3 計測データの確認

3.3.1 正常値の考え方

更新及び整備直後の初期異常がないことを確認できれば、その時点の計測データを「正常値」として以後の維持管理に活用することができる。

機器によってはメーカー等による社内管理基準値が設定されているが、他機場の機器において社内管理基準値をクリアしていたにも関わらず、内部の異常が発生していたケースがあったことから、このような正常値を基にした相対評価が重要となっている。次項に3~6号機の各計測値を示す。

3.3.2 各号機の正常値

表-3及び表-4に示す各計測値は、H29年5月に実施した年点検において、管理運転開始後20分程度経過し安定した運転状態における約50秒間の計測数値である。各数値とも約50秒間(サンプリング周期は、主ポンプ主軸振動1ms、それ以外

のデータは100ms)の平均値（主ポンプの振動値を除く）を示したものである。

(1)主ポンプ

表-3に主ポンプの主軸振動（計測時間内における全振幅の最大値）を示す。X軸、Y軸は、回転軸に対してそれぞれ直角鉛直方向、直角水平方向である。3号機的全振幅が最も大きい値となっており、4～6号機はそれより小さい。これは、①3号機の主ポンプは約16年間整備を行っていないこと、②4～6号機は直近で整備を行っていることに起因すると考えられる。6号機的全振幅は4号機、5号機に比べやや大きいが、整備において羽根車の釣り合いを修正しており他の異常も見られないことから、4～6号機的全振幅を正常値として考える。

表-3 主ポンプ主軸振動計測値 (H29.5)

計測項目	単位	計測値			
		3号機	4号機	5号機	6号機
ポンプ主軸振動:X軸	mm	0.188	0.121	0.111	0.16
ポンプ主軸振動:Y軸	mm	0.183	0.144	0.094	0.143

(2)減速機・主原動機

表-4に主原動機及び減速機の各計測値を示す。減速機の潤滑油温度は、各号機とも運転開始後緩やかに上昇を続け、約30分の管理運転時間では安定温度に到達しないことがわかった。なお、当日の室温は28℃であった。

その他の計測値については、メーカ管理基準値の範囲内にある適切な値であり、各号機間に若干の差異が見られるが、今後の傾向管理に活用出来るものであると判断した。

表-4 減速機・主原動機計測値 (H29.5)

計測項目	単位	計測値			
		3号機	4号機	5号機	6号機
減速機潤滑油温度	℃	23.8	※2	23.7	24.6
エンジン冷却水温度	℃	50.1	49.3	49.3	49
エンジン潤滑油温度	℃	58.5	57	56.8	58.4
エンジン排気温度	℃	353	359	351	355
エンジン回転数	min-1	1200	1125	1187	1099
エンジン燃料流量	L/h	7.18	7.34	6.87	7.1

※2:点検時調整中にてデータ無し

3.4 精密診断の実施

3.4.1 主ポンプの精密診断

主ポンプの精密診断では、X・Y軸の時間領域波形、周波数分布及びオービット（XY面上における主軸の動き）を用いる。事例として、図-2に3号機の時間領域波形（2秒間）、図-3にX軸の周

波数分布を示す。図-2では2秒間に10回のピークが確認でき、図-3の周波数分布において最も支配的な回転数成分5Hz（=10/2）と一致しているため、アンバランスの存在が疑われる。また、参考として、整備後の6号機の時間領域波形（2秒間）を図-4に示す。明らかに3号機よりも振幅が小さく、表-3の集計値の傾向とも一致している。

また、図-3では回転数の倍数成分が多く検出されているが、羽根車によって発生する羽根車成分（約5Hz×6枚=約30Hz）が大きく現れていない。この傾向は整備直後の6号機でも同様であった。

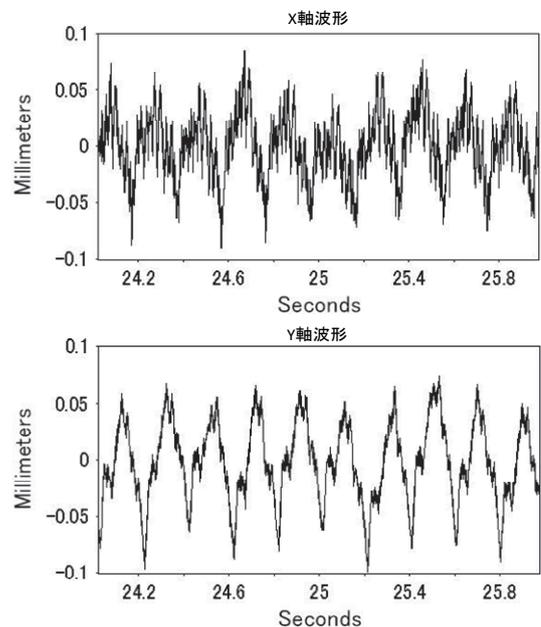


図-2 3号機主軸振動波形

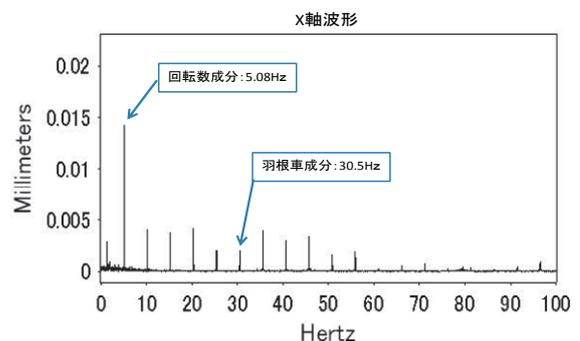


図-3 3号機主軸周波数分布 (X軸)

健全な状態における振動周波数分布に、羽根車成分が顕著に現れるポンプの場合、その変化によって羽根車の劣化を推定できる可能性がある。しかし、本ポンプでは整備後年数が経過している3号機及び整備直後の6号機においても羽根車成分が顕著ではないため、羽根車の劣化指標とすることは難しいことがわかった。

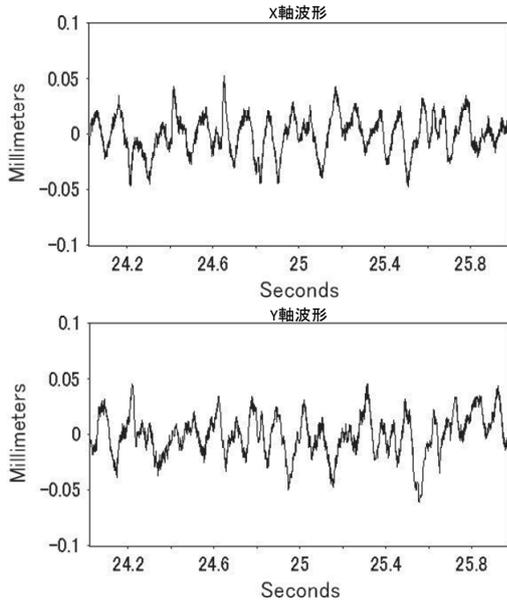


図-4 6号機主軸振動波形

精密診断においては、①波形の変化（アンバランスの変化、軸曲がり等）、②周波数分布の変化（アンバランスの変化、水中軸受の摩耗等）、③オービットの変化を組み合わせ実施していく。今後、3号機を分解整備したときに、羽根車の劣化程度を確認することで、図-2及び図-3との因果関係を明確にでき、以後の精密診断の精度を向上させる有用なデータとなる。

3.4.2 実排水運転時の評価

H28年8月に、3号機及び6号機は約6時間の実排水運転を行っているが、運転開始後5時間以上経過した時点における計測データを表-5及び表-6に示す。表-3及び表-5を比較すると明らかなように、主軸振動値は実排水運転の方が約12%～36%程度低くなっている。特に整備直後である6号機については低下幅が大きい。

同じデータを用いて、別途時間領域波形を比較したところ、管理運転時の特徴とほぼ同じであった。また、表-4と表-6より、減速機の潤滑油温度を除き、各部の温度・燃料流量に大きな差異がないことから、管理運転時とH28年の実排水時のエンジン負荷に大きな乖離はないと考えられる。

管理運転は、バイパス管循環という制約があり、実負荷運転に対して全振幅は増加する傾向にあるが、波形等の特徴はほぼ同じであったことから、精密診断に充分活用できるものであると考えられる。今後、他号機においても実排水運転時の計測

表-5 主ポンプ主軸振動計測値 (H28.8)

計測項目	単位	計測値			
		3号機	4号機	5号機	6号機
ポンプ主軸振動: X軸	mm	0.165	—	—	0.103
ポンプ主軸振動: Y軸	mm	0.145	—	—	0.108

表-6 減速機・主原動機計測値 (H28.8)

計測項目	単位	計測値			
		3号機	4号機	5号機	6号機
減速機潤滑油温度	°C	47.3	—	—	44.5
エンジン冷却水温度	°C	50.4	—	—	48.9
エンジン潤滑油温度	°C	60.6	—	—	57.6
エンジン排気温度	°C	369	—	—	365
エンジン回転数	min ⁻¹	1197	—	—	1098
エンジン燃料流量	L/h	7.21	—	—	6.92

データと管理運転時データの差異について検証していく。

4. まとめ

仮設センサを使用して精密診断を実施する場合は、計測データに仮設部材の共振などのノイズが混入する恐れや、再度計測する場合の再現性の確保などの問題がある。また、主軸振動と合わせ、同一時間軸で主原動機の運転時データを収集することは非常に難しいことから、このような自動計測システムの導入は有意義であると考えられる。

今後の課題としては、①精密診断実績の蓄積による精度向上及びマニュアル化、②精密診断に係る専門技術者の育成、③自動計測システムの標準仕様化などを挙げることができるが、本機場のシステムを用いた解析結果を有効に活用していき、これらの課題解決に当たるとともに、自動計測システムの普及に向けて計測項目等の新たな提案なども行っていきたい。

増尾 健



国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所施設管理課長
Takeshi MASUO

田中義光



国土交通省関東地方整備局関東技術事務所施設技術課長
Yoshimitsu TANAKA