

特集：ストックマネジメント技術研究の最前線

アセットマネジメントに向けた 河川ポンプ設備の状態監視保全技術

上野仁士* 藤野健一** 田中義光***

1. はじめに

河川ポンプ設備は、洪水被害防止を目的とした極めて重要な社会基盤施設であり、豪雨や異常出水時には確実に稼働することが要求される。そのためには設備の万全な整備が不可欠であり、管理者は、経時を基に定期的に整備する「時間計画保全」で維持管理をしていることが多い。この手法は確実な整備が行えるという点が大きな長所だが、内部劣化の有無ではなく年次経過のみが整備実施基準であるため、経済的で不利とされている。

河川用ポンプ設備においては、今後10年で約40%が設置後50年超となり、老朽化の進行による故障頻度上昇の懸念がある反面、整備予算は年々削減されている現状にあり、この相反する状況下でいかに効率的で的確な設備維持管理を行うかが課題となっている。

一般の設備、例えば民間工場の生産設備等の常用系設備では、設備状態の監視により劣化兆候を確認・診断し、それにより整備時期を判断する「状態監視保全」という考え方を導入するケースがあり、これにより保全費用の5%削減を可能とした例もある。したがって、河川ポンプ設備の維持管理においても状態監視保全を導入することはきわめて有効と考えられるが、状態監視保全は本来、常時稼働している機械設備に対して定期的にパラメータ計測をするものであり、平時は停止しており、必要時のみ稼働する河川ポンプ設備のような「非」常用設備では、的確な診断ができるか未知数であり、診断技術が確立していない。

本研究は、河川ポンプ設備の維持管理に適した状態監視保全（劣化予測）技術を確立し、不測の重大故障を回避し、無駄のない予防保全の実現を目指すものであり、その現状を概説する。

2. 計測・診断技術

河川ポンプ設備の点検時には、加速度センサに

より主ポンプ等のケーシング振幅(P-P)を計測してきた。しかしこれは、振動の大小で異常の有無を判断するもので、劣化傾向の把握と劣化部位の特定をすることは難しい。また、本研究で対象としているポンプ設備は主軸回転周波数が60~360rpm(=1~6Hz)程度の低速回転機械であり、本来加速度センサの適用が困難な領域であり、かつ振動エネルギーが小さいため、状態監視保全が困難とされている。

そこで、ポンプ主軸の振動、つまり回転による変位を直接計測し、振動波形、振幅に加え高速フーリエ変換により周波数分布を解析することで劣化傾向を診断し、さらにその部位を特定する、状態監視保全の世界では「精密診断」と言われる手法についての適用性を調査した。

発生周波数分布と異常部位の関係は表-1に示す通りであり、常用系設備においてはこれに基づいて診断が行われている。

表-1 発生周波数と発生原因（主軸関係）

原因	発生周波数
水中軸受のゆるみ/かた	
主軸のアバランス	
主軸のミスアライメント	
羽根車の摩耗	

3. 設備診断例

本研究では、全国の排水機場のうち、時間計画保全による定期整備の、のべ71機場170台のポンプ設備について調査を行ったが、ここでは特徴的な傾向が見られた代表例について述べる。

3.1 A排水機場

ここでは、主ポンプ主軸の曲りを発見した例として示す。図-1～2は、立軸軸流ポンプ（主軸回転周波数1.9Hz）の主軸振動波形と周波数分布である。

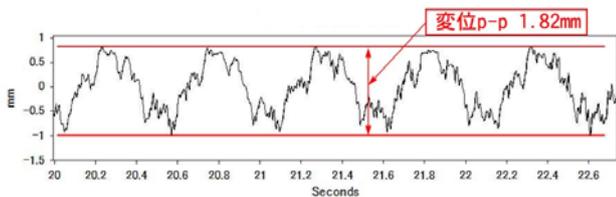


図-1 A排水機場 主軸振動波形

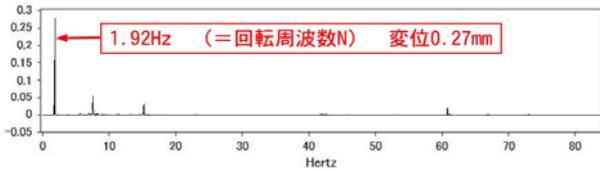


図-2 A排水機場 主軸振動周波数分布

この結果から、当該設備の状態については、図-1では計測波形のp-p値が1.82mmと著しく高く、図-2では周波数成分Nが突出しているので、主軸のふれ回りが大きく発生している可能性がある。

この診断の後、当該ポンプ設備の分解整備時に主軸の偏心量を計測した。その結果を図-3に示す。

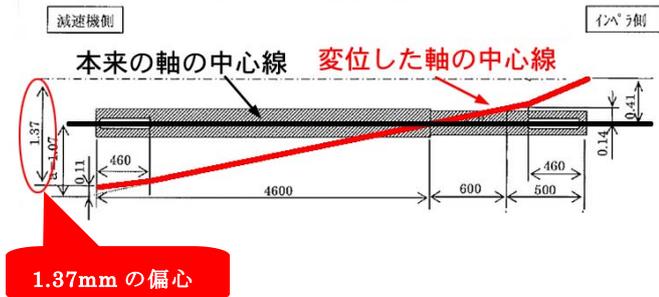


図-3 主軸偏心計測結果

このことより、主軸の芯が、本来の軸の中心線より1.37mmずれていることがわかった。

また、分解整備にあたり整備業者が、その前後

に減速機下部とケーシングの振動計測と、主軸の振れ回りを計測している。その結果を表-2に示す。

表-2 整備前後の振動計測結果

計測部位	計測条件	X方向	Y方向	Z方向
減速機下部	整備前	6	11	20
	整備後	5	10	15
主ポンプケーシング	整備前	5	6	18
	整備後	4	2	15
軸振動	整備前	600		
	整備後	100		

単位: $\mu\text{m(p-p)}$

このことから、減速機下部とケーシングの整備前後の振動はわずかな差しかなく、この計測方法では軸の振れ回りを捉えられるとは言い難い事がわかる。対して軸変位の計測では整備前後では大きく異なるので、軸のふれ回りの把握には、軸変位の直接計測が有効であることが示されている。

3.2 B排水機場

ここでは、主ポンプ羽根車の劣化傾向を発見した例として示す。

図-4～5は、立軸斜流ポンプ（主軸回転周波数3.8Hz）の主軸振動波形と周波数分布である。

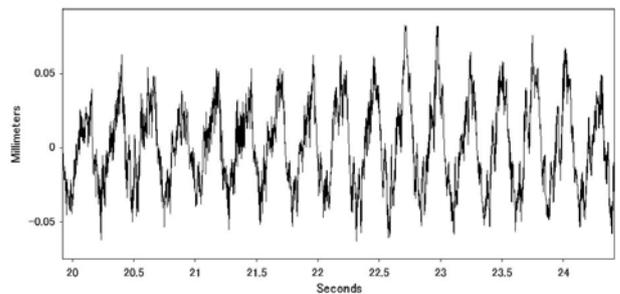


図-4 B排水機場 主軸振動波形

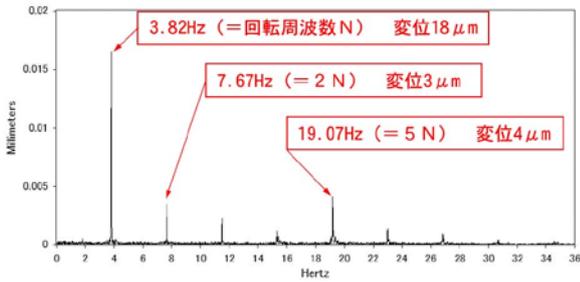


図-5 B排水機場 主軸振動周波数分布

この結果より、当該設備の状態について、下記のとおり診断を行った。

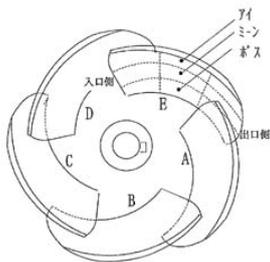
- ・振動波形は、低周期の振動に高周波の振動がのこぎり状に乗る形であり、高調波成分が発生していることを示す。
- ・周波数解析より、回転数成分が突出しており、羽根車や主軸にアンバランスがあると考えられる。
- ・同様に、羽根車成分(5N)がやや大きく、摩耗等で羽根車の摩耗発生が懸念される。
- ・回転数成分以下の周波数がほとんど検出されていないので、水中軸受の摩耗は起きていないと考えられる

その後、当該ポンプ設備の分解整備時に羽根車の摩耗量を計測した。その結果を表-3に示す。

表-3 羽根車摩耗量計測結果

羽根	測定箇所	ボス部	ミン部	アイ部
		設計肉厚 27mm	設計肉厚 22mm	設計肉厚 17mm
A	入口側	24-28	25-31	0-23
	中央	29-29	25-28	21-25
	出口側	27-28	20-26	24-26
B	入口側	22-30	24-27	17-24
	中央	27-28	24-27	22-23
	出口側	23-30	25-26	21-23
C	入口側	23-25	18-24	16-24
	中央	25-28	24-25	24-26
	出口側	25-28	22-26	16-24
D	入口側	24-29	18-26	14-21
	中央	26-29	24-26	17-23
	出口側	27-30	25-27	22-24
E	入口側	22-29	19-25	12-21
	中央	27-30	25-26	19-20
	出口側	27-30	24-27	19-20

*太字は、設計肉厚不足を示す



単位:mm

これにより、診断の通り羽根車の摩耗が大きく、また、写真-1に示すように羽根1枚に穴が貫通していたことが確認された。

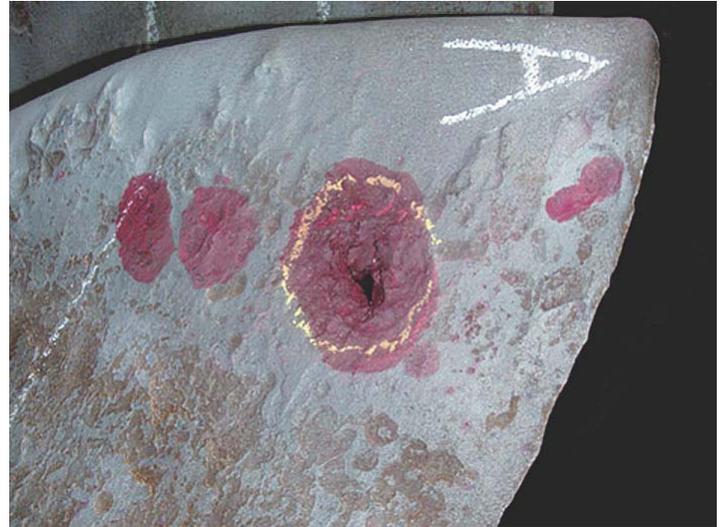


写真-1 羽根車の摩耗状況

以上より、本整備結果は、前述の診断との因果関係が明確であることを示しており、これにより当該技術で河川ポンプ設備の羽根車の異常兆候を捉えることが可能ということが示されたと考ええる。

4. 評価手法の検討

以上は一例であるが、低回転かつ「非」常用系のポンプ設備においても、異常箇所の特定が行えることが示された。今後は、劣化程度をどのように判断するかが課題となる。

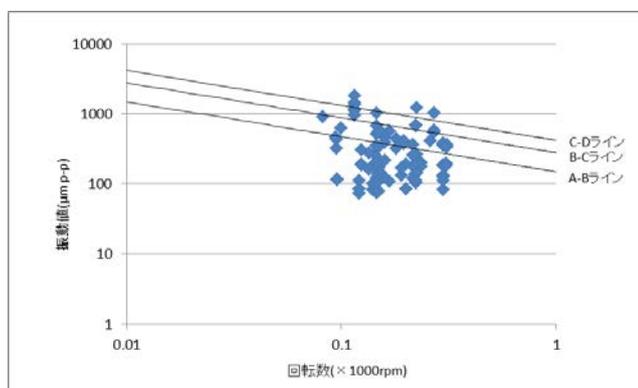
基本は振動初期値からの変化量により判断する相対値判定を用いるが、初期値が不明の場合が多い。その場合は最初の計測値を仮の初期値として判断するのが通例だが、その最初の計測値が適正か否かを判断する指針が必要と考える。

そのような指針の一つとして、ISO7919では「非往復動機械の機械振動・回転軸における測定及び評価基準」が示されているが、ISOの規定はあくまでも推奨指標であり企業等では独自の基準を優先させる場合もあるので、非常用系である河川ポンプ設備での適用性を検証する必要がある。

そこで、ISO7919と同様に両対数グラフ上にこれまでの振動計測値(変位p-p)をプロットし、ISO7919との比較検証を行った。その結果、本来は軸回転数1000rpm以上の基準であるISO7919-3

(産業機械)の示すゾーンラインを、1000rpm以下に延長したものが最も設備異常の有無と振動計測結果との相関を示していることが確認された。

その結果を図-6に示す。



ABラインの式：振動値 = $150/\sqrt{N}$
 BCライン (注意値) の式：振動値 = $280/\sqrt{N}$
 CDライン (危険値) の式：振動値 = $420/\sqrt{N}$
 いずれもNは回転数(rpm)/1000

図-6 発生周波数と発生原因 (主軸関係)

ここで示される相関とは、以下の通りである。

○ほとんどの調査機場では軸に異常は見られなかったが、上図においてもほとんどのデータがBCライン (これ以上の振動値の場合は、異常兆候が見られるので運転に注意を要する判断ライン) 以下に分布している。

○CDライン (これ以上の振動値の場合は設備が危険状態であることを判断するライン) 以上の値が数件有るが、このデータは以下のものである。

- ・前述の、軸に曲がりがあったケース
- ・計測の異常値であったケース

(前年及び翌年のデータは正常)

- ・管理運転方式が、負荷の大きいバイパス管運転のため振動値が極めて大きいケース

以上より、今後、データの蓄積によりさらなる検証が必要ではあるが、図-6に示すゾーンを河川ポンプ設備の主軸振動値の評価に準用可能と考える。

5. まとめ

河川ポンプ設備の状態監視保全技術について、振動による設備劣化傾向の把握が可能であること、また、その評価指標についてとりまとめることができた。

今後は、状態監視技術の適応性向上のため、より多くの事例の調査を行い、診断精度向上を図る予定である。

謝 辞

本研究にあたり、調査対象設備の施設管理事務所には、資料提供や現地調査に当たり、多大な御協力を頂きました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 藤野健一、田中義光、上野仁士：「河川ポンプ設備の状態監視に関する研究」、平成23年度国土交通省国土技術研究会、2011
- 2) 上野仁士、藤野健一、竹田英之：「河川ポンプ設備における状態監視技術に関する研究」、平成24年度 建設施工と建設機械シンポジウム、2012
- 3) 松下修己、田中正人、小林正夫、古池治孝、神吉博：「続 回転機械の振動」、コロナ社、2012

上野仁士*



独立行政法人土木研究所つくば
 中央研究所技術推進本部先端技術チーム 主任研究員
 Hitoshi UENO

藤野健一**



独立行政法人土木研究所つくば
 中央研究所技術推進本部先端技術チーム 主席研究員
 Kenichi FUJINO

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 (前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所技術推進本部先端技術チーム主任研究員)
 Yoshimitsu TANAKA