

振動測定を利用した効率的な修繕(計画)について

施設整備グループ 福島 英斗

1.はじめに

福井県下水道公社は昭和57年に設立され、九頭竜川流域下水道施設の維持管理を行っている。

当公社では、主要設備の延命化を図るため、設備ごとに製造会社の公称耐用年数に修繕実績を加味した基準を策定し、効率的な修繕(この修繕は消耗部品の交換を目的としたオーバーホールを指す)に努めている。

今回の調査は機械振動を測定し、その振動数から故障時期を予測する技術を当浄化センターのポンプ設備(電動機、減速機を含む)に適用し、修繕の効率化について考察する。

2.振動について

振動とは「状態が定まらず揺れ動く事象」をいう。図1は天井から吊り下げられたバネに物体Mを取り付けたものである。物体Mを下に引っ張り手を離すと、初期位置を境に上下に往復運動を行う。この時物体Mの運動エネルギーと位置エネルギーの和が減衰しない(変化しない)とき、この振動を減衰のない1自由度系自由振動という。この振動モデルを例に変位、速度、周波数を以下のように定義する。

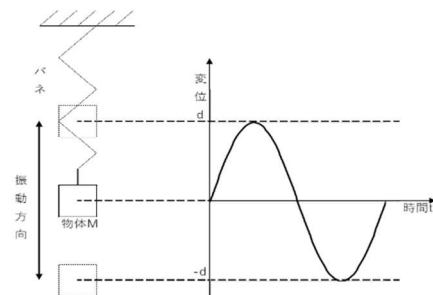


図1.減衰のない1自由度系自由振動

- ・変位：図1において、物体Mが初期位置から離れた量dを変位という。
- ・速度：振動する物体Mの単位時間における変位の変化量vを速度という。
- ・振動数：物体Mが原点から上下に動き再び原点に戻るまでを1サイクルとしたとき、1秒間にしたサイクル数を振動数という。単位はHz(ヘルツ)。

2.1 合成波形とフーリエ変換

一般的に複数の振動波は合成することで、波形が増幅や減衰し変形する性質がある。この現象は異なる周波数同士でも発生するもので合成後の波形は複雑な形状となる。すなわち機械振動の場合は様々な部品から大小さまざまな振動が発生し、それらが合成され1つの波形として計測されるため、そのままでは分析することができない。今回は、高速フーリエ変換(Fast Fourier Transformation)を使用し、分析を行うこととする。この高速フーリエ変換とは、ある信号をいくつかの周波数成分に分解し、それらの大きさをスペクトルとして表すことができる解析手法である。例えば、図2の左図は3種類の振動の合成波である。この状態では原形を把握することはできない。そこでフーリエ変換を行うと、図2の右図に示す通り、周波数別の変位がわかるようになる。

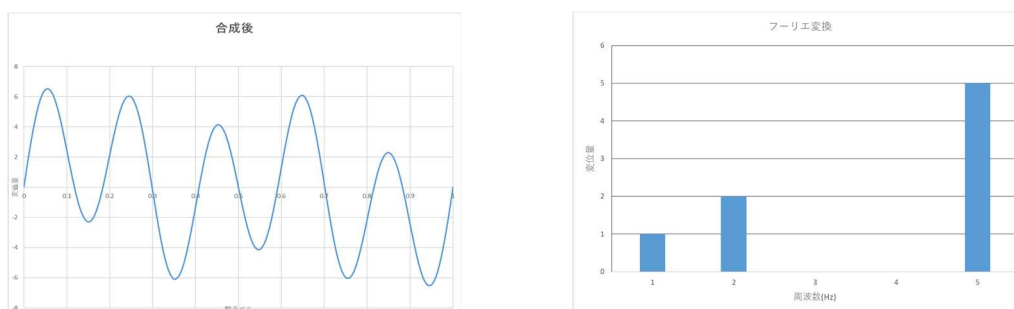


図 2.振動の合成波とフーリエ変換

3.機械振動と劣化傾向の関係について

国土交通省が作成した河川ポンプ設備監視ガイドラインによれば、劣化傾向は 3 種類紹介されている。本章ではそれら劣化傾向の特徴と原因となる部品を説明する。

3.1 経時劣化傾向

図 3 に示す機械の劣化傾向のうち、機械の運転時間に比例して振動速度が大きくなることを経時劣化傾向という。この傾向では劣化の兆候や進行状況の把握、余寿命の想定が容易であり比較的劣化の進行速度が遅いという特徴がある。振動の発生源は主にシャフトや羽根車等回転部品であり、摩耗や欠損による偏心やアンバランスが原因で発生する。

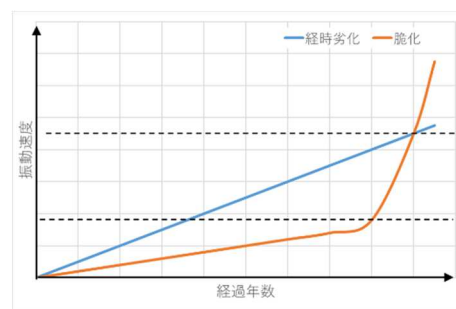


図 3.機械の主な劣化傾向

3.2 脆化傾向

図 3 に示す機械の劣化傾向のうち、ある時期から急激に振動速度が大きくなるものを脆化傾向という。この劣化傾向は、最初は緩やかに劣化が進行し、ある時点から急速に劣化が進むことが特徴である。主にベアリング内のグリスの劣化により、潤滑能力や放熱能力が低下することで発生する。

3.3 突発傾向

突発傾向とは、何の予兆なく振動速度が大きくなる劣化傾向である。この劣化傾向は予兆を検知しづらいことが特徴であり、主な原因は外的要因であることが多い。

4.振動測定による劣化状況評価基準について

劣化傾向の把握だけでは、機械があと何年持つのか予測ができない。そこで劣化状況の評価基準が必要となる。劣化状況の評価基準は初期運転時の値を初期値として相対評価することが望ましいとされるが、今回は過去の十分な計測値の蓄積がないため、絶対評価指標として世界中で長年使用されていた ISO10816-1 の基準を使用する。この ISO10816-1 の指標は振動速度で分類する。表 1 に機器の劣化状況を A から D までの 4 種類に分類した振動速度の評価基準を記載する。

表 1.ISO10816-1 一般機械の振動速度の評価基準

機械のクラス	領域境界	振動速度(mm/s)
出力15 kW以下 汎用電動機	A/B	0.71
	B/C	1.8
	C/D	4.5

A:新設された機械の振動値が含まれる領域(良好領域)

B:何の制限もなく長期運転が可能な領域(普通領域)

C:長期の連続運転が期待できない領域(注意領域)

D:いつ損傷してもおかしくない、または既に損傷している領域(危険領域)

5.測定対象と方法について

今回の振動測定の対象とする機械は、九頭竜川浄化センターにある機械のうち、運転年数が長く次回オーバーホールが近いポンプ設備(電動機、減速機を含む)合計 51 組を対象とし、測定を行う。測定点は図 4 のように各軸受部付近で測定を行う。測定項目は ISO10816-1 に基づき、速度(mm/s)を計測する。

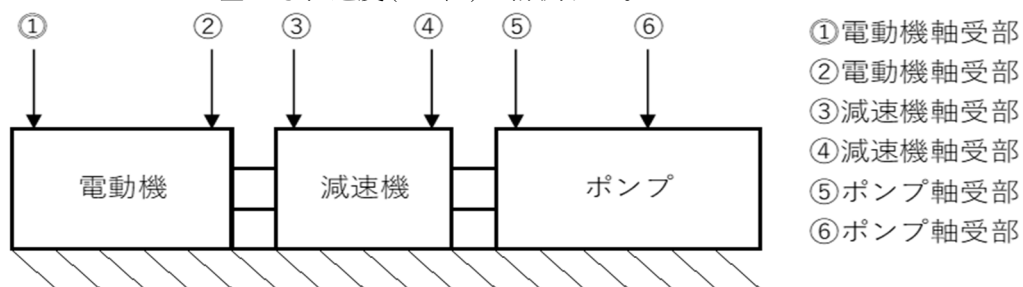


図 4 .測定点について

6.計測機器について

計測機器は次のデジタル振動計を使用する。

名 称：デジタル振動計

付 属 品：マグネット

型 式：TPI-9070

製 造 者：(株) 佐藤商事

規 格：ISO、JIS 対応



7.結果

今回の測定において、対象としたほぼすべての設備は変動が少ない数値で普通領域内を推移していたが、測定当初から微かに異音を発していた脱水ケーキ搬出機No.1-2の電動機、減速機の測定値が異常を示した。

7.1 脱水ケーキ搬出機 No.1-2 とは

脱水ケーキ搬出機は汚泥処理施設の一部で、脱水した汚泥をホッパーに移送するための設備である。No.1-2 は平成 16 年に設置されており、前回のオーバーホールは平成 24 年度に実施した。表 2 に脱水ケーキ搬出機駆動部の基本情報を記載する。この設備は、令和 5 年度に修繕することが計画されていたが、振動測定結果を基に、令和 3 年 1 月末に修繕した。なお、令和 2 年 4 月の段階では異音の発生は認識されていたが経過観察状態だった。

表 2.基本情報

名 称	脱水ケーキ搬出機No.1-2
設置年度	平成16年度
前回オーバーホール	平成24年度
電動機	2.2Kw,400V,60Hz
減速比	1:179



7.2 測定結果

表 3 は、ケーキ搬出機No.1-2 の駆動部の令和 2 年 4 月から令和 3 年 3 月までの振動測定記録である。

表 3. ケーキ搬出機No.1-2 の振動測定記録

測定年月	測定点(mm/s)				判定	異常
	①	②	③	④		
令和2年4月	2.2	0.8	1	1	C	異音(微小)
令和2年7月	6.6	1.3	0.7	0.8	D	異音
令和2年10月	6.4	5.6	2.2	3.6	D	異音、グリス漏れ
令和3年1月	5.3	8.2	4.4	6.1	D	異音、異常振動
令和3年1月末 修繕						
令和3年3月	1.3	0.6	0.5	0.5	B	異常無し

判定基準

A:~0.71

B:0.71~1.8

C:1.8~4.5

D:4.5~

(ISO10816-1)

7.3 ケーキ搬出機No.1-2 の劣化傾向

図 6 は 3 月の修繕後の速度値を初期値と仮定し、表 3 をグラフ化したものである(推測値は破線で示す)。グラフより、前回のオーバーホールから 7 年目を境に各測定点とも数値が上昇しているため、脆化傾向の劣化であった。

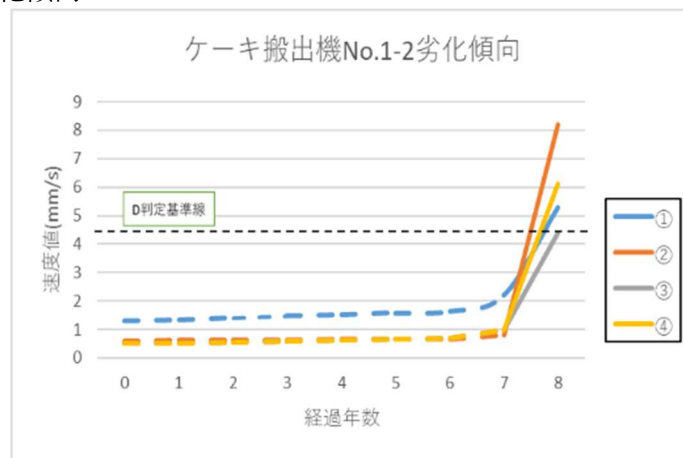


図 6. ケーキ搬出機 No.1-2 劣化傾向

8. 考察

8.1 劣化傾向の挙動について

図 6 において、0 年目から脆化が生じる 7 年目までの劣化の挙動について、実際に直線的だったのだろうか、と疑問に思うかもしれない。しかし、同一の運転環境下で機械振動が減少することは考えにくいいため、7 年目まではほぼ数字が横ばいか経過時間に比例して増えていたのではないかと考えられる。

8.2 ケーキ搬出機No.1-2 の適設な修繕周期について

当公社では設備ごとに周期を定めて計画的にオーバーホール修繕をおこなっている。この周期が長くなるほどオーバーホール修繕の回数が減ることになるが、設備ごとに製造会社の公称耐用年数に修繕結果を加味して周期の見直しをしている。今回のケーキ搬出機No.1-2 についても、平成 2 4 年度まで 8 年周期でオーバーホール

修繕をおこなっていたが、平成 25 年に修繕結果に基づき周期見直しをおこない 10 年に変更した経緯があった。今回の結果を踏まえて、ケーキ搬出機No.1-2 の修繕周期は 7 年が適していると思われる。ただ、当浄化センターにある同仕様のケーキ搬出機 6 台は今のところ問題が生じていないので本件はさらなる調査が必要である。

8.3 振動測定による故障予知について

表 3 の記録より測定点①が D 判定(危険領域)になった 7 月から異常が多発するようになり、6 カ月後の令和 3 年 1 月には振動によりネジの一部が脱落していたことが確認された。今までならば、この段階に至った時点で設備の運転を停止し、緊急に対処を行う事態である。しかし今回は 7 月の時点で予兆を確認でき、即時対応したため大事に至らなかった。

以上より、ケーキ搬出機No.1-2 の振動速度を測定することで 6 カ月前に故障を予知できたといえるだろう。今回は電動機が主だったが、他のポンプ設備においても同様に故障する数カ月前には故障予知ができると考えられるため、さらなる検証が必要である。

9. 結論

電動機での検証になったが、振動の速度測定により約 6 カ月前に故障の予知が可能であるとわかった。この結果を基に効率的な修繕へ利用していきたい。