

コラム形水中ポンプにおけるAI技術を活用した劣化部位推定に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：平 31～令 3
担当チーム：寒地機械技術チーム
研究担当者：片野浩司、牧野正敏、
中島淳一、永長哲也、
平地一典、小林勇一

【要旨】

救急排水機場で使用されるコラム形水中ポンプは、非常時に確実に稼働させるため、異常や故障の兆候を的確に把握し、適切な整備や更新を行う必要がある。しかし、具体的な劣化部位を推定する状態監視技術は確立されていない。そのため、異常の状態から劣化部位を推定することができれば、故障を未然に防ぐとともに、効率的な点検整備の提案が可能になると考えられる。そこで、コラム形水中ポンプの劣化部位の推定に向けた検討として、AI 技術を活用した劣化部位推定技術の検討、及び実物大試験装置による実証実験を実施した。

その結果、羽根車の異常に伴う電流情報及び振動解析データの変動傾向を基に、「教師あり学習」による異常状態の判別が可能であることがわかり、教師あり学習を活用した劣化部位推定手法についてとりまとめた。

キーワード：健全度；救急排水機場；状態監視；電流情報診断；水中ポンプ；教師あり学習

1. はじめに

近年、台風や前線、ゲリラ豪雨等による大雨の発生頻度が増加傾向にあり、出水による内水被害の危険性が高まっている¹⁾。内水被害を軽減するために河川に設置されている河川管理施設（水門、ダム、排水機場など）は、その重要性が非常に高まっているが、高度経済成長期以降の1970年から1990年頃にかけて集中的に設置されたことから、老朽化の急激な進行が課題となっている²⁾。内水被害を軽減し地域の安全を守るためには、これらの施設が非常時に確実に機能するよう、故障を未然に防ぐための対策が必要である。

救急排水機場は、河川管理施設の一つであり、可搬式のコラム形着脱式立軸斜流水中モーターポンプ³⁾（以下「コラム形水中ポンプ」という）により、支川の水を本川へ排水することで、支川（堤内）の水位上昇を軽減する施設である（写真-1）。

コラム形水中ポンプは、非常時に確実に稼働させるため、異常や故障の兆候を的確に把握し、適切な整備や更新を行う必要がある。しかし、定置式のパイプ（以下「コラムパイプ」という）の内部に設置するため、直接目視や触診ができず、稼働中の異音や変調などの確認が困難である（図-1）。そのため、コラム形水中ポンプの稼働状態を的確に把握できる状態監視技術が求められている。

当チームでは、コラム形水中ポンプへの適用性が高い状態監視技術として、電流情報診断技術に着目し、

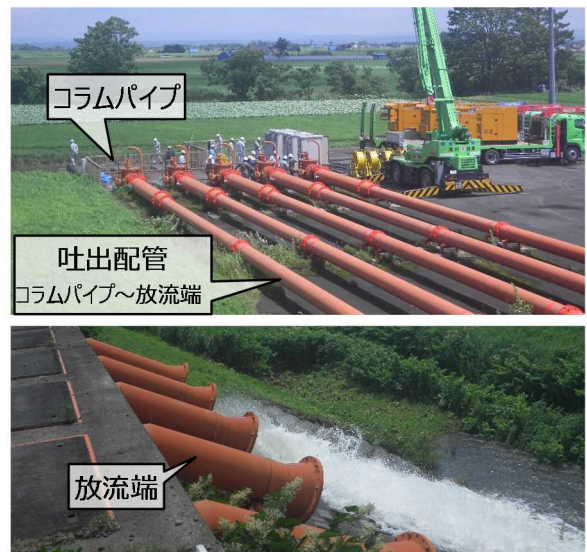


写真-1 救急排水機場（北海道滝川市）

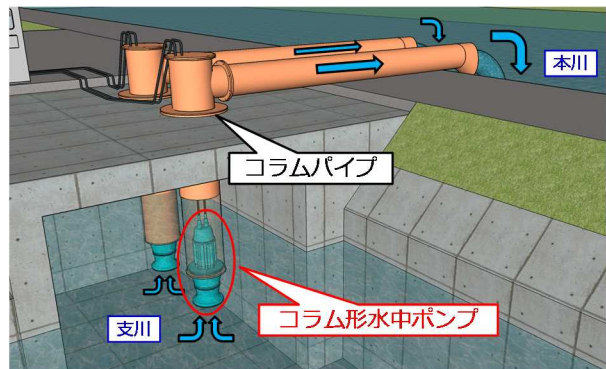


図-1 コラム形水中ポンプ設置概要図

状態監視手法について提案を行った⁴⁾。電流情報診断技術とは、誘導電動機電流徴候解析 (Motor Current Signature Analysis, 以下「MCSA」という) に基づき、電流波形を解析することで、異常を検出する技術である⁵⁾。電流波形の計測は、クランプ式電流センサーを動力配線へ取り付けて行うため、ポンプ本体へセンサーを取り付ける必要がなく、コラム形水中ポンプの計測も容易に実施することができる(図-2)。しかし、状態監視の項目は電動機回転子バー異常と回転軸の異常負荷の2種類であり、具体的な異常の状態や劣化部位を推定する技術は確立されていない。そのため、電流情報から異常の状態を判断し、劣化部位を推定することができれば、故障を未然に防ぐとともに、効率的な点検整備の提案が可能になると考えられる。

そこで、コラム形水中ポンプの劣化部位の推定に向けた検討として、AI技術を活用した劣化部位推定技術の検討、及び実物大試験装置による実証実験を実施した。

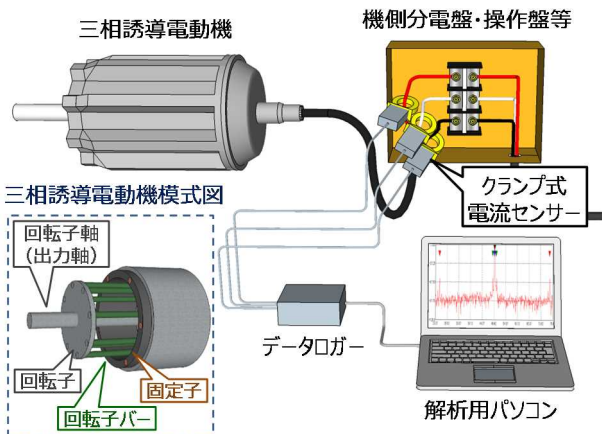


図-2 電流情報診断技術の計測方法

2. 研究方法

2.1 AI技術を活用した劣化部位推定技術の検討

小型水中ポンプによる異常模擬試験により得られた電流情報の解析結果を基に、AI手法の一つである機械学習を活用し、異常状態の判別が可能であるかについて検討を行った。

2.2 実物大試験装置による実証実験

コラム形水中ポンプの実物大試験装置を製作の上、実機による異常模擬試験を実施し、電流情報及び振動解析データの変動傾向の分析を行った。

2.3 劣化部位推定技術のとりまとめ

コラム形水中ポンプの異常に伴う電流情報及び振動解析データの変動に関する知見、及び機械学習を活用した劣化部位推定手法についてとりまとめた。

3. 研究結果

3.1 AI技術を活用した劣化部位推定技術の検討

3.1.1 小型水中ポンプによる異常模擬試験

(1) 試験条件

出力0.4kWの小型水中ポンプ(ステンレス製水中渦巻きポンプ)を用い、異常模擬試験を実施した。試験の状況を写真-2に示す。試験は実験用水槽(幅2m、長さ3m、高さ1.8m)で実施した。配管は延長7.0mとし、吐出量を確認するため流量計を取り付けた。

本試験では、羽根車の異常による吐出量の低下を想定し、損傷を加えた羽根車による計測試験を実施した。小型水中ポンプの仕様を表-1、羽根車の損傷状況を図-3に示す。羽根車の損傷の種類は切損と圧潰の2種類とし、損傷の程度はそれぞれ3段階とした。

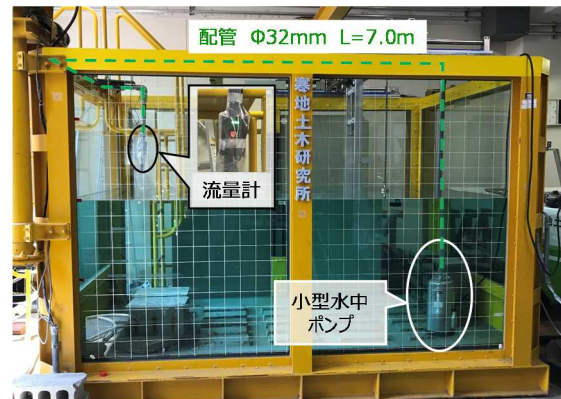


写真-2 試験状況

表-1 小型水中ポンプ仕様

名称	ステンレス製水中渦巻きポンプ
ポンプ口径	32 mm
吐出量	0.050 m ³ /min / 0.125 m ³ /min
全揚程	15.5 m / 10.0 m
定格回転数(電動機極数)	2,915 rpm (2極)
出力	0.4 kW
周波数、電圧	50Hz、200 V
定格電流	3.2A
電動機形式	キャンド式・三相

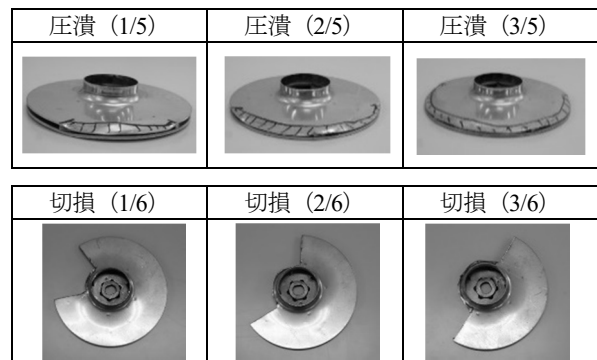


図-3 羽根車の損傷状況

電流波形の計測状況を写真-3に示す。電流波形は、水中ポンプの動力配線にクランプ式電流センサーを取り付け計測した。計測に使用した機器は、株式会社高田工業所製の電流情報量診断システム T-MCMA である。計測条件は、サンプリング周波数 16,384Hz、サンプリングデータ数 131,072、計測間隔 1分とし、条件ごとに各 60回の計測を行った。

流量計により計測した吐出量を表-2に示す。羽根車の損傷により吐出量は低下しており、羽根車の損傷によりポンプの性能が低下していることを確認した。



写真-3 電流波形の計測状況

表-2 吐出量の計測結果

状態	正常	圧潰			切損		
		1/5	2/5	3/5	1/6	2/6	3/6
吐出量 (L/min)	183	168	160	145	157	138	125

(2) 電流情報の解析方法

電流情報の解析は、MCSAに基づき、電流波形を周波数分析し、そのスペクトルを解析することにより行う。電流情報診断では、計測した電流波形を周波数分析し、異常に伴い現れる周波数成分の大きさを確認することで、機器の異常を検知する⁵⁾。

確認する周波数成分は、電源周波数成分の側帯波として現れる、 L_{pole} 及び L_{shaft} である⁴⁾ (図-4)。

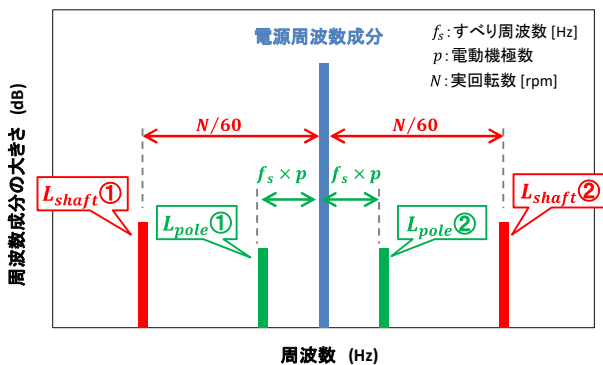


図-4 確認する周波数成分

まず、 L_{pole} は、回転子バーの損傷に伴い大きくなる側帯波であり、現れる周波数は、すべり周波数と電動機極数の積により求める⁵⁾。

ここで、すべり周波数とは、三相誘導電動機へ交流電源を入力した際に生じる回転磁界の回転数(以下「同期回転数」という)と、電動機の回転子軸の回転数(以下「実回転数」という)との差の周波数であり、(1)式により表される⁷⁾。

$$f_s = \frac{N_x - N}{60} \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

ここで、 f_s :すべり周波数 [Hz]

$$N_x: \text{同期回転数 [rpm]} \quad N_x = 120 \times f/p$$

$$N: \text{実回転数 [rpm]}$$

$$f: \text{電源周波数 [Hz]}$$

$$p: \text{電動機極数}$$

次に、 L_{shaft} は、回転子軸への異常負荷により大きくなる側帯波であり、現れる周波数は実回転数から求める⁷⁾。 L_{shaft} は、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の影響を受けるため、軸受や羽根車などの異常を検知できる可能性がある。

なお、側帯波は電源周波数の両端に現れるため、低周波数側に現れる側帯波を $L_{pole}①$ 及び $L_{shaft}①$ 、高周波数側に現れる側帯波を $L_{pole}②$ 及び $L_{shaft}②$ とした。

(3) 電流情報の解析結果

a) 側帯波の解析結果

計測した電流波形を周波数分析し、側帯波の解析を行った。

まず、正常時の解析結果を図-5に示す。図は電流波形の周波数分析結果に側帯波を着色したもので、緑が L_{pole} 、赤が L_{shaft} である。なお、図は最終10回(51~60回目)の分析結果について、アベレーシング処理によりノイズを除去したものである。

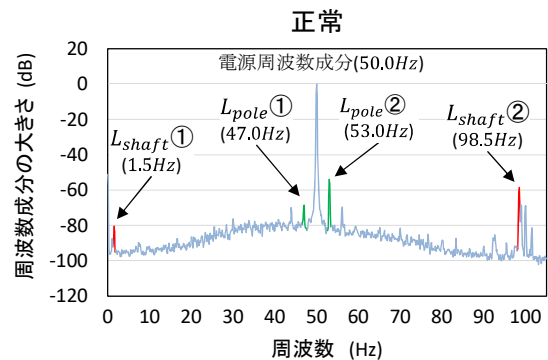


図-5 側帯波解析結果 (正常時)

側帯波を解析するためには、電動機回転子軸の実回転数の確認が必要となる。しかし、水中ポンプはポンプ主軸がケーシングで覆われており、実回転数を計測することが困難である。そのため、定格回転数を実回転数とみなし、側帯波が現れる周波数を求め、その近傍に現れる側帯波について解析した。

表-1 より、電源周波数が 50Hz、電動機極数が 2 極であることから、式(1)の同期回転数の式より、同期回転数は 3,000rpm となる。実回転数を定格回転数である 2,915rpm とみなすと、式(1)より、すべり周波数は約 1.417Hz (85rpm) となる。

周波数分析の結果、電源周波数が 50.0Hz であったことから、図-4 より、側帯波が現れる周波数は L_{pole} が約 47.166Hz と約 52.834Hz、 L_{shaft} が約 1.417Hz と約 98.583Hz となる。

図-5 より、これらの近傍の周波数域を確認すると、 L_{pole} は 47.0Hz と 53.0Hz、 L_{shaft} は 1.5Hz と 98.5Hz に卓越した側帯波が現れていることがわかった。なお、 L_{pole}

と電源周波数との差は 3.0Hz、 L_{shaft} と電源周波数の差は 48.5Hz となった。

次に、圧潰時の解析結果を図-6 に示す。正常時と比較し、側帯波が現れる周波数に変動がみられた。 L_{pole} と電源周波数の差は、圧潰 1/5 では 2.875Hz、圧潰 2/5 では 2.625Hz、圧潰 3/5 では 2.5Hz となり、損傷が大きくなるほど小さくなった。また、 L_{shaft} と電源周波数との差は、圧潰 1/5 では正常時と同じ 48.5Hz であったが、圧潰 2/5 では 48.625Hz、圧潰 3/5 では低周波数側が 48.875Hz、高周波数側が 48.75Hz となり、損傷が大きくなるほど大きくなった。

最後に、切損時の解析結果を図-7 に示す。こちらも正常時と比較し、側帯波が現れる周波数に変動がみられた。 L_{pole} と電源周波数との差は、切損 1/6 では 5.75Hz、切損 2/6 では 7.125Hz、切損 3/6 では 3.75Hz となり、正常時と比較し大きな値となった。また、 L_{shaft} と電源周波数との差は、切損 1/6 では 47.125Hz、切損 2/6 では 46.375Hz、切損 3/6 では 48.125Hz となり、正常時と比較し小さな値となった。

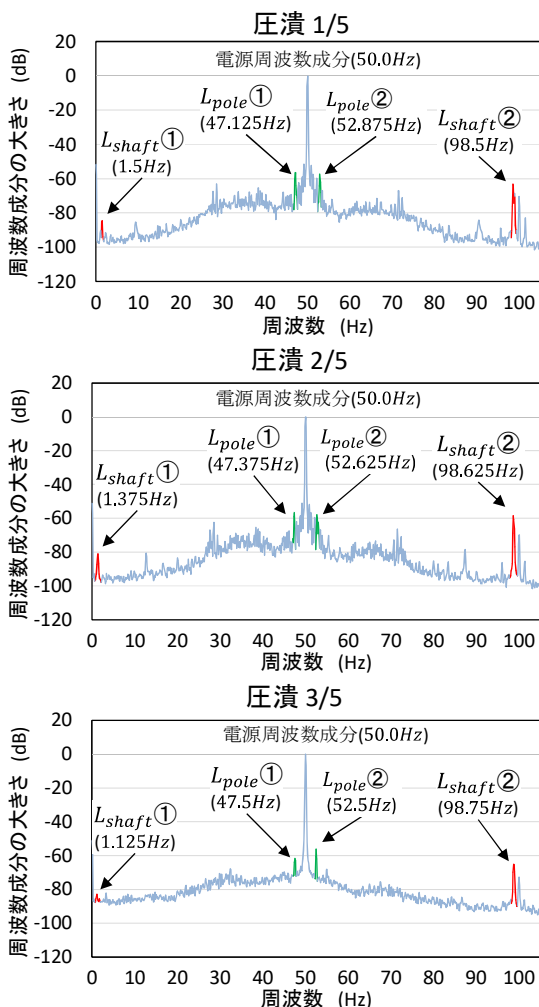


図-6 側帯波解析結果 (圧潰時)

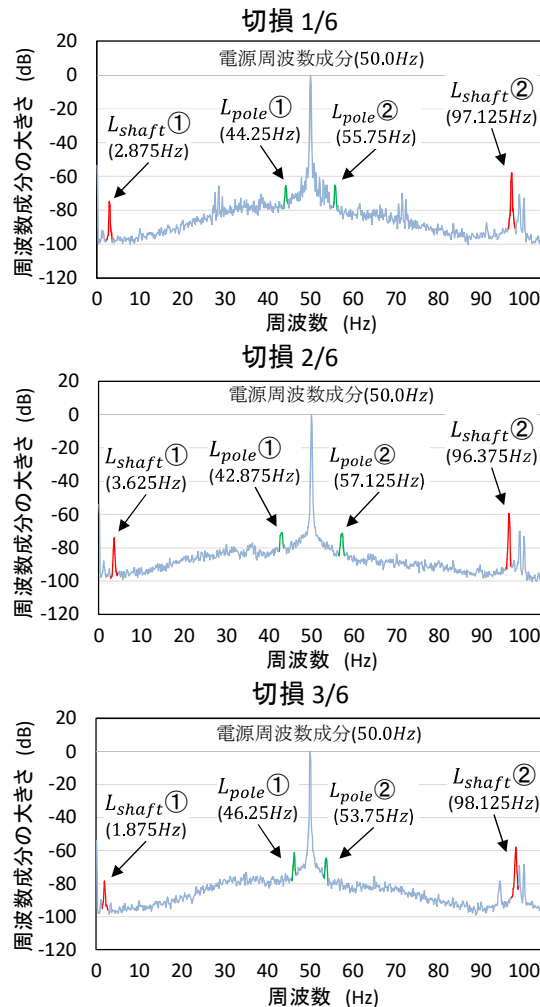


図-7 側帯波解析結果 (切損時)

b) 側帯波が現れた周波数

側帯波が現れた周波数を図-8に示す。横軸は計測回であり、縦軸は周波数である。図は電源周波数より高周波域のものであるが、低周波域にもほぼ対称に側帯波が現れた。側帯波が現れた周波数は、正常及び圧潰の場合は、計測開始から終了までほぼ横ばいとなった。しかし、切損 1/6 と切損 2/6 では、計測開始から徐々に周波数が変動し、変動の大きさは切損 1/6 よりも切損 2/6 の方が大きかった。なお、切損 3/6 では、大きな変動はみられずほぼ横ばいとなった。

切損 1/6 及び切損 2/6 の周波数は、運転開始から約 30 回までは大きく変動するが、その後、ほぼ横ばいとなった。このことから、この変動は羽根車を交換してからポンプの回転が安定するまでの過渡的なものとみられる。

電流情報の解析にあたっては、ポンプの実回転数が安定したとみられる最終 10 回 (51~60 回目) のデータを採用した。

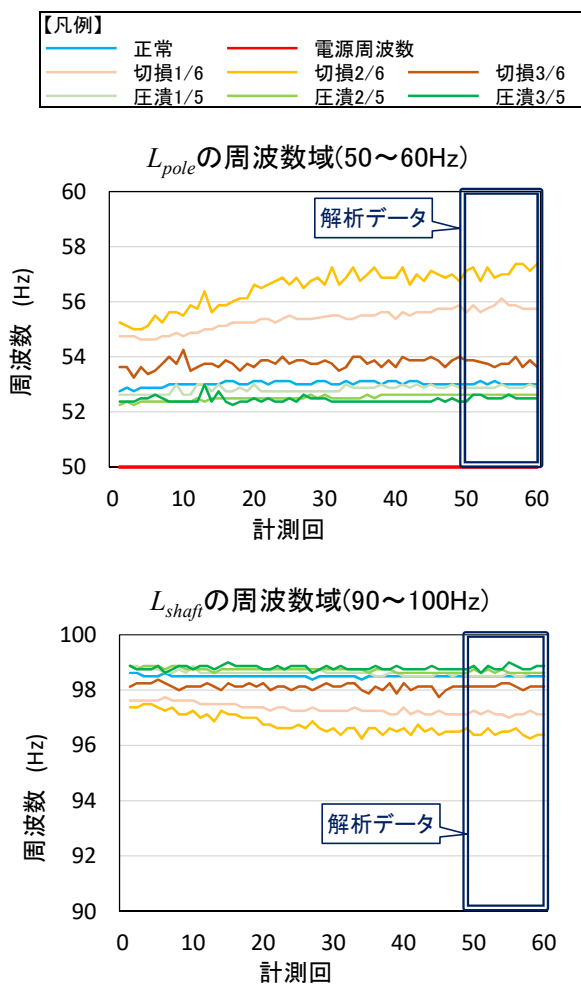


図-8 側帯波が現れた周波数

c) 側帯波の大きさ

側帯波の大きさを図-9に示す。横軸は計測回、縦軸は側帯波の大きさである。側帯波の大きさは、電源周波数成分を 0dB としたデシベル値である。

まず、 $L_{pole①}$ は、正常時は約 -65dB なのに対し、羽根車圧潰時には約 -60dB ~ -54dB、切損時は約 -65 dB ~ -54dB となり、いずれの場合も正常時より大きい傾向となった。

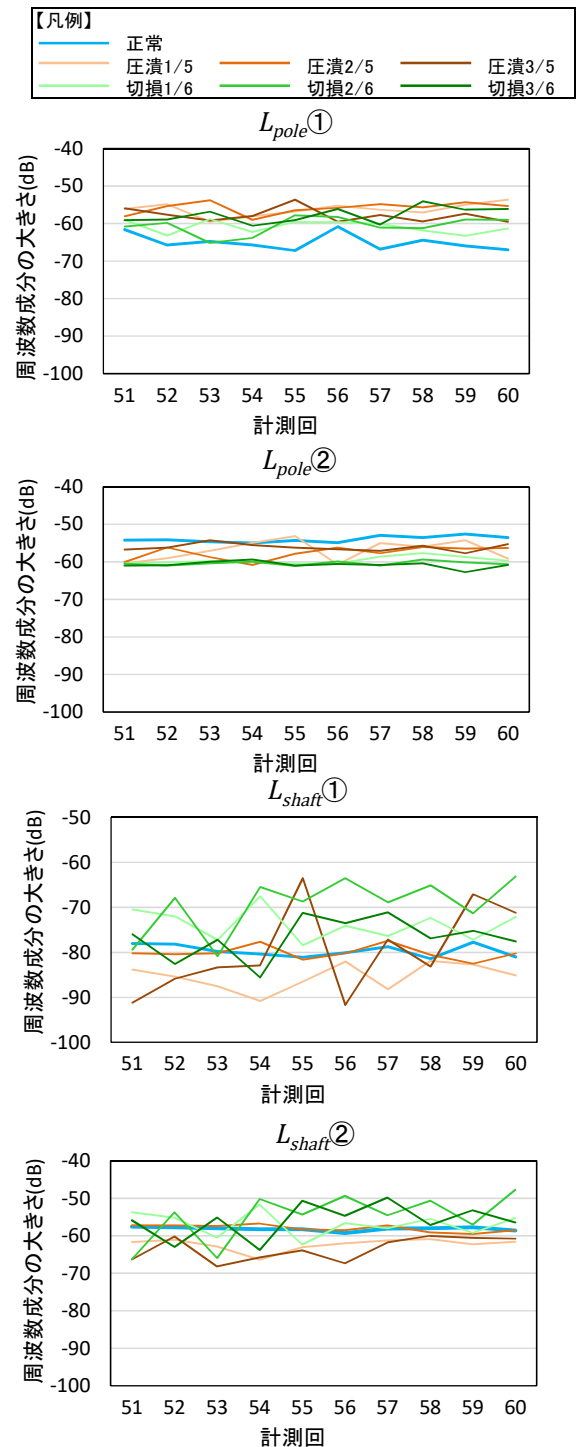


図-9 側帯波の大きさ

次に、 L_{pole} ②は、正常時は約-54dB なのに対し、圧潰時は約-60dB~-53dB、切損時は約-63dB~-58dB となり、いずれの場合も正常時より小さい傾向となった。

次に、 L_{shaft} ①は、正常時は約-80dB なのに対し、圧潰時は約-91dB~-64dB となったが、約7割のデータが正常時より小さく、正常時に比べて小さい傾向となった。また、切損時は約-86dB~-63dB となったが、約9割のデータが正常時より大きく、正常時に比べて大きい傾向となった。

最後に、 L_{shaft} ②は、正常時は約-58dB なのに対し、圧潰時は約-68dB~-56dB となったが、約8割のデータが正常時より小さく、正常時に比べて小さい傾向となった。また、切損時は約-66dB~-48dB となったが、約8割のデータが正常時より大きく、正常時に比べて大きい傾向となった。

d) 電流値 (実効値)

電流波形と同時に計測した電流値を図-10 に示す。横軸は計測回、縦軸は電流値であり、電流値はU相の実効値である。なお、実効値とは交流電流の大きさを表す指標であり、一般的な電流計で「電流値」として示される値である。

正常時の電流値は、約3.1A となった。表-1 より、試験に使用した水中ポンプの定格電流は3.2A であることから、正常時の電流値は定格電流とほぼ等しいと考えられる。

羽根車を圧潰した場合、電流値は約2.9A~3.0A となり、正常時より低い値となった。しかし、その一方で、切損時の電流値は約3.5A~4.0A となり、正常時より高い値となった。

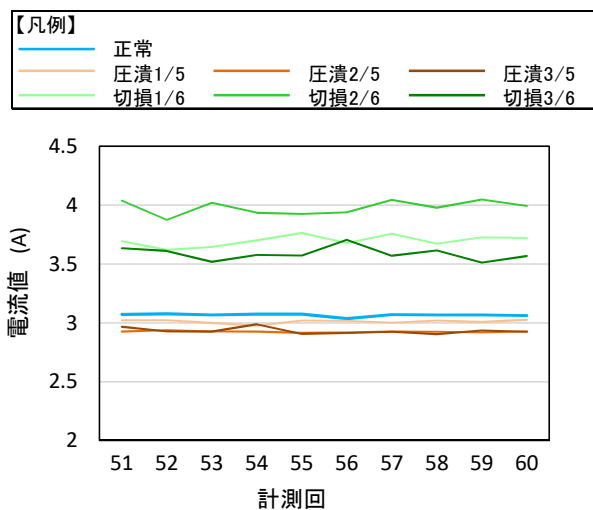


図-10 電流値 (U相)

e) 実回転数の推定

側帯波の解析結果から、羽根車の損傷により側帯波が現れる周波数に変動がみられることがわかった。側帯波の現れる周波数は、図-4 より実回転数を基に求めることから、側帯波が現れた周波数から逆算することで、実回転数を推定することが可能である。そこで、側帯波が現れた周波数を基に、実回転周波数の推定を行った。

推定した実回転数 (以下「推定実回転数」という) を図-11 に示す。横軸は計測回、縦軸は推定実回転数である。なお、推定実回転数は L_{pole} が現れた周波数から逆算した値とした。

正常時の推定実回転数は約2,910 rpm となった。試験に使用した水中ポンプの定格回転数は、表-1 より、2,915rpm であることから、正常時の推定実回転数は定格回転数とほぼ等しいと考えられる。

羽根車を圧潰した場合、圧潰1/5 では約2,913rpm、圧潰2/5 では約2,921rpm、圧潰3/5 では約2,925rpm となり、損傷が大きくなるほど上昇した。しかし、その一方で、切損の場合は、切損1/6 では約2,825rpm、切損2/6 では約2,786rpm、切損3/6 では約2,887rpm となり、正常時より低下した。

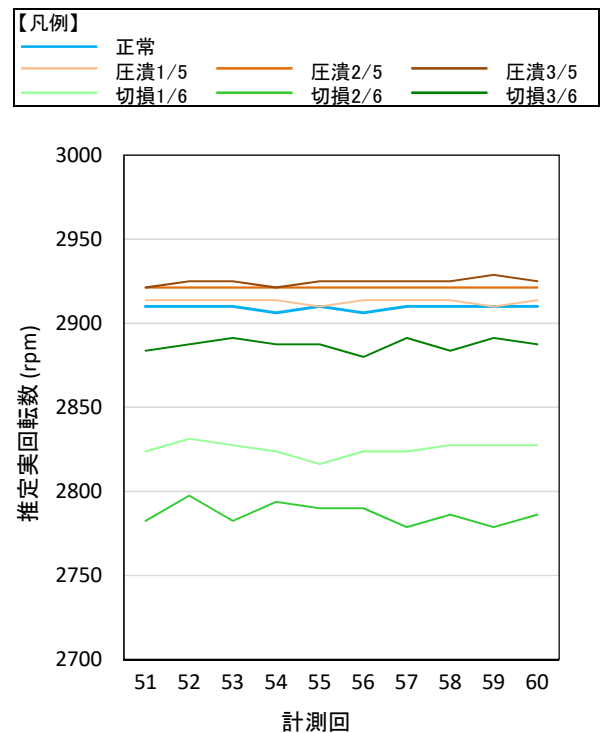


図-11 推定実回転数

f) 解析結果についての考察

各データの解析結果から、羽根車の異常により小型水中ポンプに生じた現象について考察を行った。

まず、羽根車を圧潰した場合、電流値が低下したことから、ポンプ電動機の負荷は低下したとみられる。これは、羽根車の吐出口が潰れ正常に吐出できなくなったことで、吐出量が低下し、ポンプ効率が低下したためと考えられる。また、推定実回転数は微増していることから、羽根車の回転はほぼ正常であると考えられる。そのため、アンバランス等の異常負荷は発生せず、 L_{shaft} の大きさは上昇しなかったと考えられる。

次に、切損の場合、電流値が上昇したことから、ポンプ電動機の負荷は上昇したとみられる。しかし、その一方で、吐出量は低下していることから、ポンプ効率は大きく低下したと考えられる。推定実回転数が大きく低下していることから、吐出量が低下したのは、羽根車の欠損のほか、ポンプ回転数の低下が要因であると考えられる。また、ポンプ電動機の負荷の上昇は、羽根車の水圧抵抗や、アンバランスによる振れ回りなどが要因になっていると考えられ、この振れ回りによりポンプ主軸に大きな異常負荷が生じたことで、 L_{shaft} の大きさが上昇したと考えられる。

3.1.2 AI 技術を活用した異常状態の推定手法の検討

(1) データの変動傾向の分析結果

異常の状態を判断し劣化部位を推定するためには、正常な状態を基準として異常状態毎にデータの変動傾向を分析する必要がある。そこで、電流情報の解析により得られた側帯波の大きさ、電流値及び実回転数のデータを基に、異常状態毎の変動傾向を分析した。

まず、異常時の各解析値の変動傾向（上昇、低下）を大まかに整理したものを表-3 に示す。赤着色は、正常時に比べ数値が上昇した項目、青着色は低下した項目である。

L_{pole} は、羽根車の圧潰、切損に関わらず、異常に伴い $L_{pole①}$ は上昇傾向、 $L_{pole②}$ は低下傾向となった。

表-3 異常時の各解析値の変動傾向

項目	羽根車異常の種類	
	圧潰	切損
$L_{pole①}$	↗	↗
$L_{pole②}$	↘	↘
$L_{shaft①}$	↘	↗
$L_{shaft②}$	↘	↗
電流値	↘	↗
推定実回転数	↗	↘

しかし、その一方で、 L_{shaft} 、電流値及び推定実回転数は、異常の種類毎に異なる変動傾向となった。圧潰時には、 $L_{shaft①}$ 、 $L_{shaft②}$ 及び電流値が低下傾向、推定実回転数が上昇傾向となったが、切損時には $L_{shaft①}$ 、 $L_{shaft②}$ 及び電流値が上昇傾向、推定実回転数が低下傾向となった。

以上より、羽根車の異常により各解析値に変動がみられ、 L_{shaft} 、電流値及び推定実回転数については、異常の種類毎に相反する変動傾向となることがわかった。

次に、表-3の変動傾向を定量的に解析するため、ロジスティック回帰分析による解析を行った。ロジスティック回帰分析は、二項分類に用いられるアルゴリズムであり、出力される係数を確認することで項目毎の影響の大きさを確認することができる。ロジスティック回帰分析により求める係数は、式(2)による。

$$\theta^T x = \sum_{i=0}^n \theta_i x_i \quad (2)$$

ここで、 θ : 係数

x : 入力項目

n : 入力項目数

入力項目は、 $L_{pole①}$ 、 $L_{pole②}$ 、 $L_{shaft①}$ 、 $L_{shaft②}$ 、実回転数及び電流値の6項目であり、入力項目と係数は表-4 のとおり対応している。係数の絶対値が大きいほど、式(2)の計算結果へ与える影響が大きくなることから、係数の大きさにより各入力項目の影響の大きさを確認した。

表-4 入力項目と係数

i	入力項目	係数
0	x_0 : 1 (定数)	θ_0
1	x_1 : $L_{pole①}$	θ_1
2	x_2 : $L_{pole②}$	θ_2
3	x_3 : $L_{shaft①}$	θ_3
4	x_4 : $L_{shaft②}$	θ_4
5	x_5 : 電流値	θ_5
6	x_6 : 推定実回転数	θ_6

なお、解析にあたっては、入力データのスケールを合わせるため、式(3)による標準化を行った。

$$x_z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

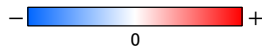
ここで、 x : 入力データ
 x_z : 標準化された x
 μ : x の平均
 σ : x の標準偏差

正常時をベースに各異常時のデータを順次解析し、出力された係数を表-5に示す。係数が0に近いほど影響が小さく、0から離れるほど影響が大きい項目である。

係数の大きさは表-3とほぼ同じ傾向となった。また、同じ損傷でも程度により係数の大きさに違いが現れたことから、損傷の程度によっても影響の大きい項目が変化することがわかった。

表-5 係数 θ の大きさ

入力項目	係数	羽根車異常(圧潰)			羽根車異常(切損)		
		1/5	2/5	3/5	1/6	2/6	3/6
1	θ_0	0.078	0.277	0.154	0.241	-0.066	0.297
L_{pole} ①	θ_1	0.973	1.048	1.026	0.277	0.333	0.408
L_{pole} ②	θ_2	-0.343	-0.514	-0.309	-0.631	-0.567	-0.826
L_{shaft} ①	θ_3	-0.416	-0.169	-0.175	0.351	0.258	-0.017
L_{shaft} ②	θ_4	-0.514	0.089	-0.619	0.087	0.028	0.064
電流値	θ_5	-0.139	-0.458	-0.481	0.661	0.512	0.481
推定実回転数	θ_6	0.103	0.366	0.437	-0.710	-0.548	-0.051



(2) AI 技術を活用した異常状態の推定結果

異常状態の推定にあたっては、水中ポンプに関する専門知識を有する技術者であれば、各データの変動傾向から現象を推察し、推定できる可能性がある。しかし、技術者の高齢化や地方部からの人口流出などにより、今後、必要な時に技術者を確保できなくなる恐れがある。そのため、技術者ではなくても異常状態の推定が可能となる技術が求められている。

そこで、データの変動傾向から異常状態を推定する手法として、AI 手法の一つである機械学習の活用について検討した。

機械学習とは、多数のデータから入力と出力の関係を学習することで、データの分類やグループ分けなどを行うものである。機械学習の分類を図-12に示す。機械学習は大きく分けて、教師あり学習、教師なし学習及び強化学習の3つに分類される。

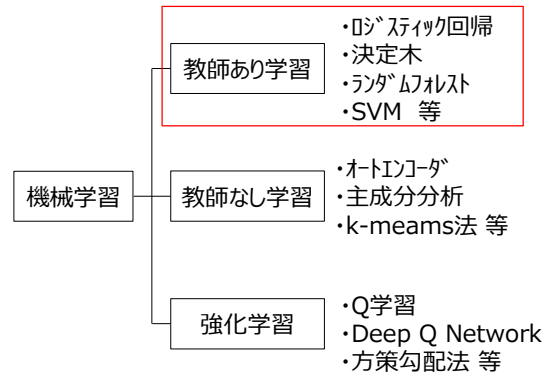


図-12 機械学習の分類

教師あり学習は、正解データを学習し予測することで、データの分類や回帰を行うものである。教師なし学習は、主に正解データが不明なデータに対し、似た構造やパターンを見つけ出し、データのグループ分けや要約などを行うものである。強化学習は、最良の結果を得るための行動プロセスを学習するもので、囲碁のAIソフトなどに用いられている手法である。

今回の異常模擬試験では、羽根車の状態と解析データの紐付けが可能であることから、教師あり学習の適用が可能である。そこで、教師あり学習による異常状態の判別について検討した。

教師あり学習の適用イメージを図-13に示す。教師あり学習では、入力と出力の関係を学習し、その学習結果を未知のデータに適用することで、出力を推定する。今回、入力項目は L_{pole} ①、 L_{pole} ②、 L_{shaft} ①、 L_{shaft} ②、実回転数及び電流値の6項目、出力項目は羽根車の状態である正常、圧潰及び切損の3項目とした。学習には全90データを使用し、そのうち無作為に抽出した72データ(約8割)を教師データ、残りの18データ

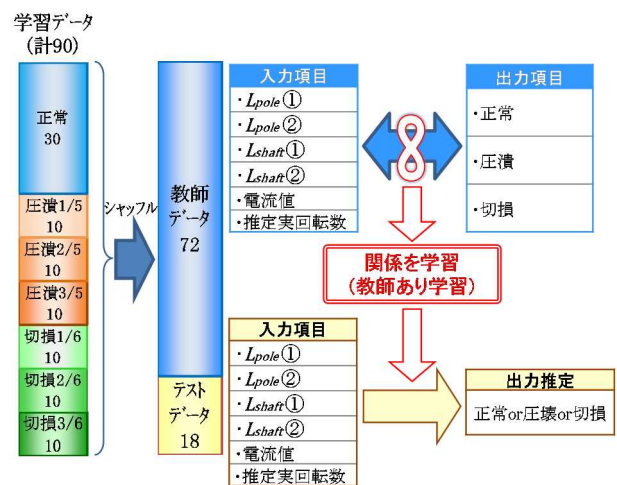


図-13 教師あり学習の適用イメージ

タ（約2割）を検証用のテストデータとした。まず、教師データで学習を行い、その学習結果によりテストデータを判別することで、正常に学習が行われたかを検証した。

なお、教師あり学習に使用したアルゴリズムは、学習結果の図表化が可能であり、分析プロセスの確認が容易である決定木とした。

学習結果から分析プロセスを図表化したもの（以下「ツリー図」という）及びテストデータの判別結果を図-14に示す。決定木では学習毎に異なるツリー図となることが多いが、今回、50回の学習を行ったところ、図の3種類のツリー図のいずれかとなった。いずれもテストデータの判別精度が100%であったことから、これらのツリー図に優劣はないと考えられる。

ツリー図は、上から下に向けて判別を行うことを現しており、境界値以下のものは左下、境界値を超えるものは右下に判別される。例えば、学習結果①では、

始めに電流値により判別し、境界値である3.03A以下であれば圧潰、3.03Aを超えればそれ以外と判別する。次に、 $L_{pole②}$ により判別し、-56.84dB以下であれば切損、-56.84dBを超えれば正常と判別する。

学習の結果、すべてのツリー図において、始めに電流値により圧潰か否かを判別していることから、まず電流値により圧潰を判別し、次に $L_{pole②}$ 、電流値もしくは推定実回転数により、正常か切損かを判別するのが効率的であると考えられる。また、表-5に示す変動傾向の解析結果と矛盾する項目はないことから、ツリー図の判別方法に間違いはないと考えられる。

なお、各項目には境界値が付されていることから、状態監視における異常の閾値を定める参考になると考えられる。

以上より、決定木による教師あり学習を適用することで、異常状態を判別できるほか、閾値の策定にも活用できる可能性があることがわかった。

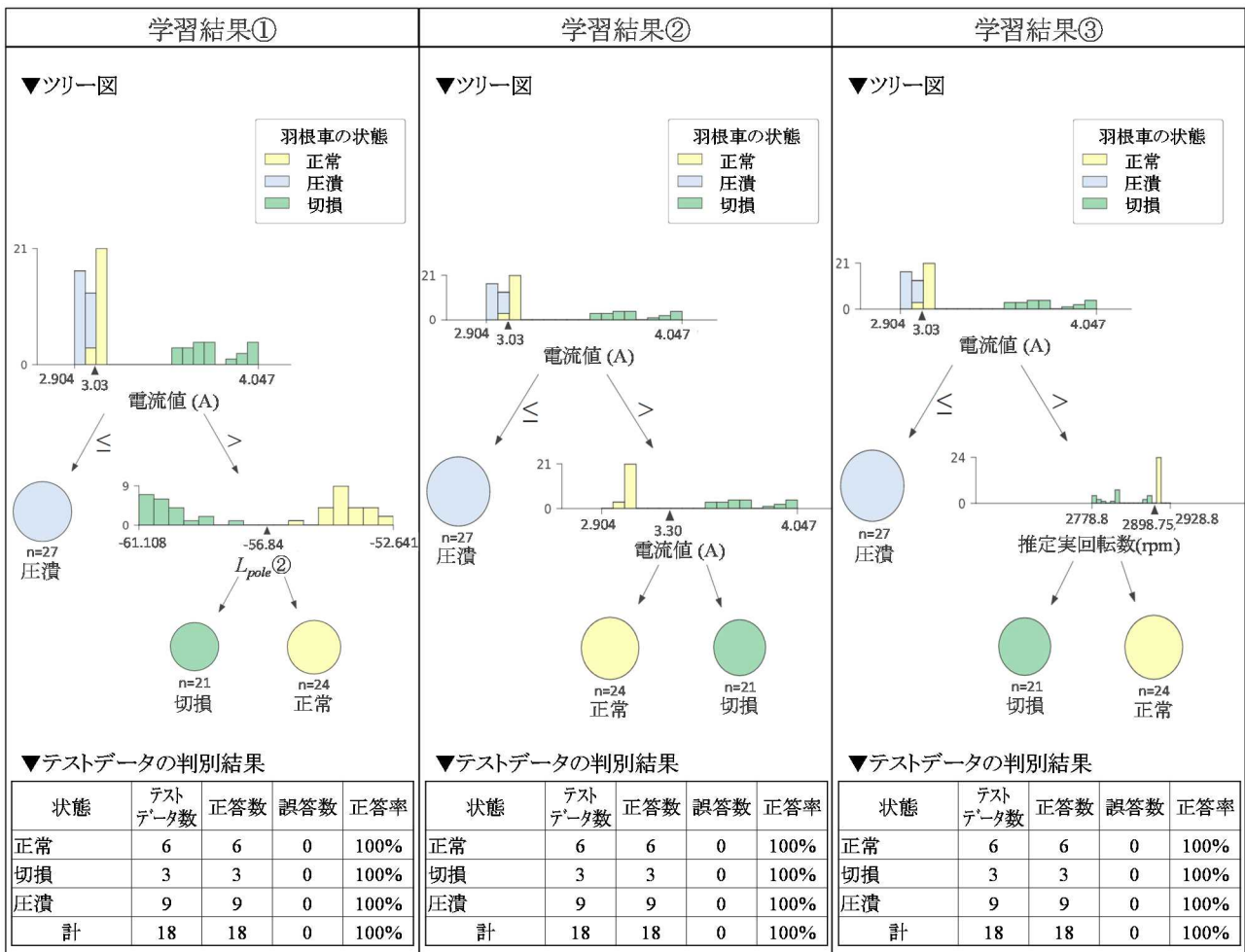


図-14 ツリー図及びテストデータの検証結果

3.2 実物大試験装置による異常模擬試験

コラム形水中ポンプの異常状態を推定するためには、正常時と異常時のデータを計測し、各解析値の変動傾向を把握する必要がある。しかし、現状では救急排水機場でコラム形水中ポンプの異常はあまり発生しておらず、異常時のデータを計測することは極めて難しい。そこで、実物大の試験装置を製作の上、実機による異常模擬試験（以下「実機試験」という）を実施した。

3.2.1 試験装置の概要

試験装置は、北海道石狩市の寒地土木研究所石狩吹雪実験場に仮設した（図-15）。

試験装置の概要図を図-16に示す。試験装置は、水槽、コラム形水中ポンプ、ポンプ操作盤、コラムパイプ、コラムパイプ用架台、H形鋼梁、吐出配管及び発動発電機により構成される。

水槽は、床堀り、築堤盛土を行い、遮水シートを敷設し造成した。水槽の寸法、水深及び貯水量は、コラム形水中ポンプの運転に必要な最低水深である 1.6m を下回らないものとした³⁾。



図-15 試験装置仮設箇所

国土地理院ウェブサイト⁸⁾に加筆

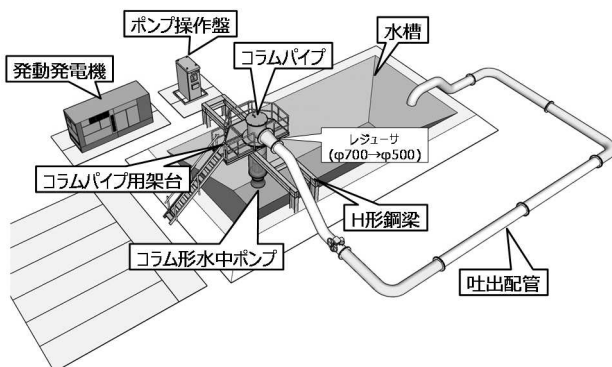


図-16 試験装置概要図

コラムパイプ用架台及びH形鋼梁は、本試験のために製作したものである。コラムパイプ用架台は、コラムパイプをボルトにより固定するための台座を有しており、ポンプの設置、撤去の際にコラムパイプ上部付近へ立ち入る必要があるため、縞鋼板による足場と転落防止用の手摺りを取り付けた。H形鋼梁は、コラム形水中ポンプ、コラムパイプ及びコラムパイプ用架台の重量に耐えうるものとし、転倒防止のため脚部の下に基礎ブロックを埋め込み、アンカーボルトで固定している。

発動発電機は、コラム形水中ポンプ1台を運転するために必要な350kVAを選定した。

試験装置の主要諸元を表-6、仮設状況を写真-4に示す。

表-6 試験設備の主要諸元

水槽	寸法	L19.2×W11.2m×D2.5m
	貯水量	125t (水深2.3m)
	遮水シート	軟質塩化ビニルシート1.5mm 保護マット10mm
コラム形 水中ポンプ	メーカー型式	三菱重工業 MPO-SM70
	規格	低揚程
ポンプ操作盤	メーカー	三菱重工業
	始動方式	限流リアクトル付コンドルファ
コラムパイプ	メーカー	西島製作所
	規格	標準床下長2.5m
コラムパイプ 用架台	寸法	L2.3m×W3.9m
	材質	SS400
H形鋼梁	寸法	L8.4m×W1.4m×H2.5m
	規格	主梁 400×200×8×13 SS400
吐出配管	寸法	φ500 L=42m (6m×7本)
	材質	STK400
発動発電機	メーカー型式	Denyo DCA-400ESK
	規格	350/400kVA



写真-4 試験装置の仮設状況

3.2.2 試験条件

(1) コラム形水中ポンプの仕様

試験で使用したコラム形水中ポンプを写真-5、仕様を表-7に示す。長さは約2.8m、径は最大部で約0.9m、質量は約2tである。コラムパイプへの設置は、ラフテレーンクレーン（25t吊）により行った。



写真-5 コラム形水中ポンプ

表-7 コラム形水中ポンプ仕様

ポンプ機種形式	コラム形着脱式立軸斜流水中モーターポンプ
ポンプ口径	700 mm
計画吐出量	1 m ³ /s
計画全揚程	6 m
定格回転数 (電動機極数)	735 rpm (8 極)
定格入力	100 kW
周波数、電圧	50Hz、400 V
定格電流	192 A
電動機形式	水中乾式かご形三相誘導電動機

救急排水ポンプ設備技術指針³⁾より抜粋

(2) 模擬異常

本試験では、羽根車の異常による吐出量の低下を想定し、羽根車に異常を加えて計測試験を実施した。

羽根車の状態を図-17に示す。羽根車は5枚羽根である。羽根車の状態は、正常な状態（図-17中A）、羽根車の1枚に鉛のウェイト（4kg）を取り付けた状態（図-17中B）、及びウェイトを取り外し、先端部を切断した状態（図-17中C）の3条件とした。なお、ポンプの個体差による影響を排除するため、試験はすべて同一のポンプで実施した。

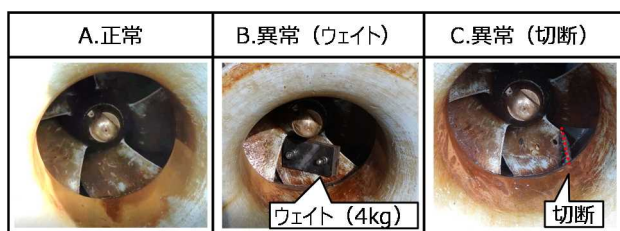


図-17 羽根車の状態

(3) 計測項目及び計測条件

計測機器の設置状況を写真-6に示す。計測項目は電流波形、振動加速度及び吐出量とした。

電流波形の計測には、クランプ式電流計（日置電機株式会社製クランプオンセンサ 9272）を使用した。計測箇所は、コラム形水中ポンプからポンプ操作盤へ繋がる動力配線とした。

振動加速度は、河川管理施設である排水機場において、減速機や原動機の状態監視に活用している実績があることから、今回、計測項目として追加した。計測には振動加速度計（株式会社電子応用製アンブ内蔵型3軸加速度センサ SA12ZSC-T1）を使用し、計測箇所はコラムパイプの側面及び基礎部の2箇所とした。

電流波形及び振動加速度は、時間同期を図るため、同一のデータロガー（日置電機株式会社製メモリハイコーダ MR8875）により記録した。記録設定条件は、サンプリング時間 100 μs（サンプリング周波数 10,000Hz）、計測時間 15s（サンプリングデータ数 150,000）とし、繰り返し計測とした。

また、模擬異常によりポンプの性能が低下することを確認するため、超音波流量計（東京計器株式会社製ポータブル超音波流量計 UFP-20）により吐出量を計測した。超音波流量計の取り付け位置は、日本電気計器工業会規格 JEMIS 032 に準拠し、ポンプから 35m 以上遠ざける必要があるため、ポンプから約 36m 離れた吐出配管上とした。

ポンプの運転は条件ごとに約 2 時間実施し、各 115 分の計測データを取得した。

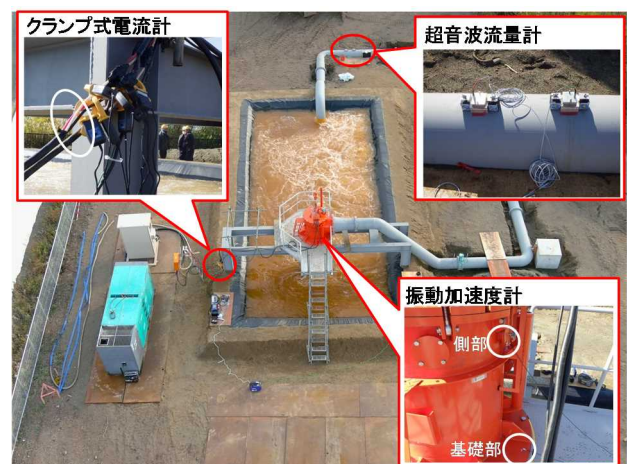


写真-6 計測機器の設置状況

3.2.3 試験結果

(1) 吐出量の計測結果

吐出量の計測結果を図-18 に示す。吐出量は計測時間（115分）の平均値である。

コラム形水中ポンプの仕様（表-7）より、計画吐出量は $1.0\text{m}^3/\text{s}$ であることから、状態 A は、ほぼ計画吐出量通りの吐出量とみられる。しかし、状態 B 及び C では吐出量の低下が見られ、状態 A と比較し、状態 B では約 5%、状態 C では約 3%の低下となった。

このことから、羽根車の異常によりポンプの性能が低下していることを確認した。

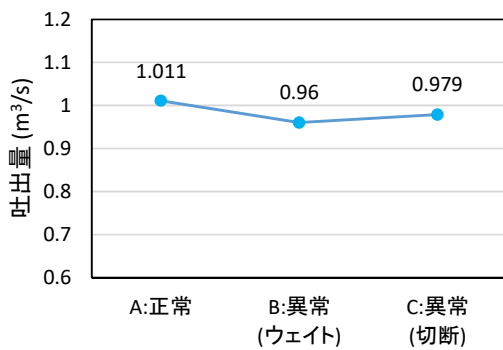


図-18 側帯波の解析結果（実機試験）

(2) 電流情報の解析結果

a) 側帯波の解析結果

計測した電流波形を周波数分析し、側帯波を解析した結果を図-19 に示す。図は電流波形の周波数分析結果に側帯波を着色したもので、緑が L_{pole} 、赤が L_{shaft} である。なお、図はアベレージング処理によりノイズを除去したものである。

電源周波数は、発動発電機では 50.0Hz に設定したが、周波数分析の結果では 49.5Hz に現れており、 0.5Hz の誤差が生じていることがわかった。

側帯波は、いずれの状態においても、 L_{shaft} のスペクトルは明瞭に現れたが、 L_{pole} は周辺のノイズ成分が大きく、あまり明瞭に現れなかった。これは、電源が発動発電機であることから、商用電源に比べて電流波形が整っておらず、その微細な乱れがノイズ成分となり現れたためと考えられる。

b) 側帯波が現れた周波数

側帯波が現れた周波数の時間推移を図-20 に示す。横軸はコラム形水中ポンプの運転時間、縦軸は周波数である。

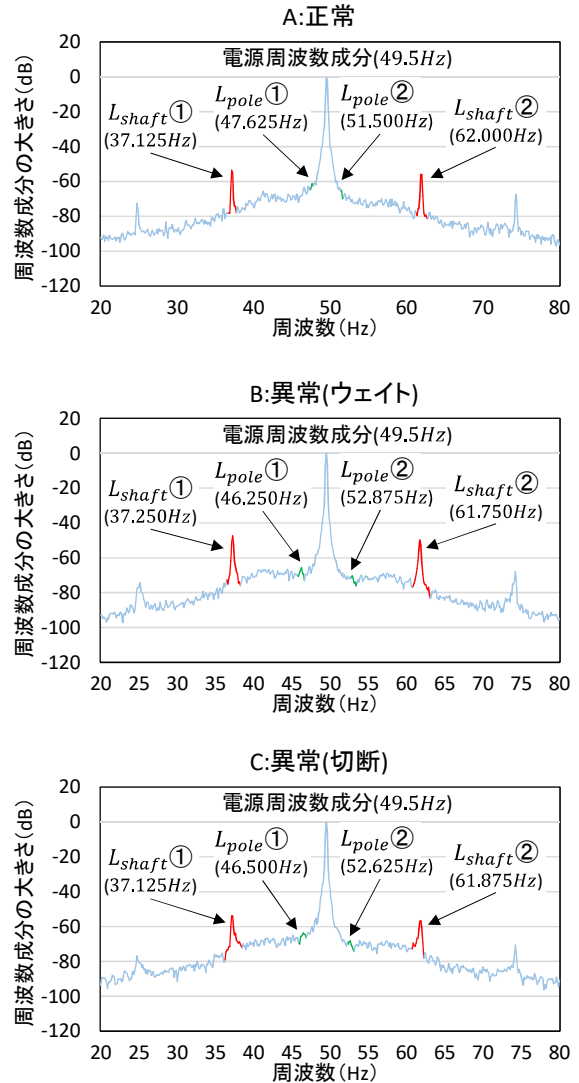


図-19 側帯波の解析結果（実機試験）

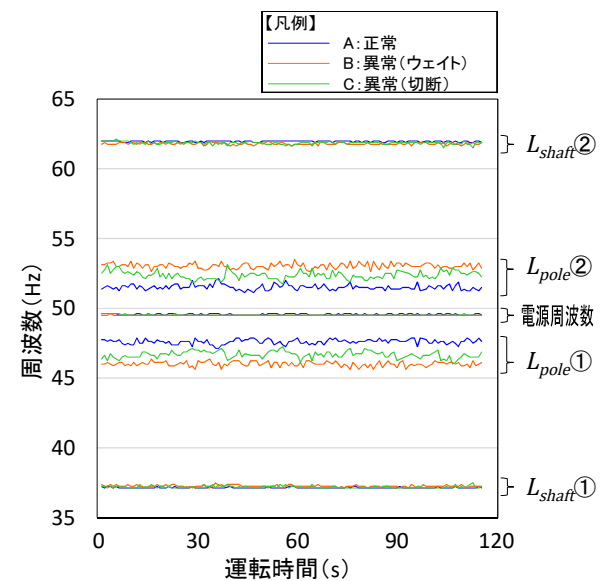


図-20 側帯波が現れた周波数（実機試験）

まず、電源周波数成分は、49.5Hz～49.625Hzに現れた。若干の変動がみられたが、商用電源ではほぼ変動しないことから、発動発電機の電源周波数は商用電源に比べ不安定であると考えられる。

次に、 L_{pole} は、 $L_{pole①}$ は約45.6Hz～47.875Hz、 $L_{pole②}$ は約51.1Hz～53.5Hzに現れた。いずれの状態においても約1.0Hzの変動がみられ、周波数が安定しなかった。 L_{pole} は周辺のノイズ成分が大きいことから、ノイズの影響により不安定になった可能性がある。

最後に、 L_{shaft} は、 $L_{shaft①}$ は約37.1Hz～37.5Hz、 $L_{shaft②}$ は約61.5Hz～62.1Hzに現れた。 L_{pole} と比較すると周波数は安定しており、側帯波は正常に解析できたと考えられる。

また、小型水中ポンプによる異常模擬試験の結果(図-8)とは異なり、側帯波の現れる周波数には過渡的な変動は見られず、ほぼ横ばいとなった。このことから、ポンプの実回転数に過渡的な変化などはなかったと考えられる。

c) 側帯波の大きさ

側帯波の大きさの時間推移を図-21に示す。横軸はコラム形水中ポンプの運転時間、縦軸は側帯波の大きさであり、上段が L_{pole} 、下段が L_{shaft} である。

まず、 L_{pole} の大きさは、 $L_{pole①}$ が約-73.5dB～-49.0dB、 $L_{pole②}$ が約-81.5dB～-54.3dBとなり、すべての状態で安定しなかった。これは、ノイズ成分の影響によるものとみられ、そのため大きさの精度は低いと考えられる。

次に、 L_{shaft} は、状態Aでは $L_{shaft①}$ が約-53.1dB、 $L_{shaft②}$ が約-54.5dBとなり、比較的安定した値となった。しかし、状態B及びCでは、 $L_{shaft①}$ が約-58.9dB～-41.1dB、 $L_{shaft②}$ が約-61.2dB～-44.9dBとなり、不安定となった。これは、側帯波は三相誘導電動機の逆起電力により生じることから⁴⁵⁾、羽根車の異常によりポンプの回転が不安定となり、電動機に発生する逆起電力が不安定となったことが要因として考えられる。

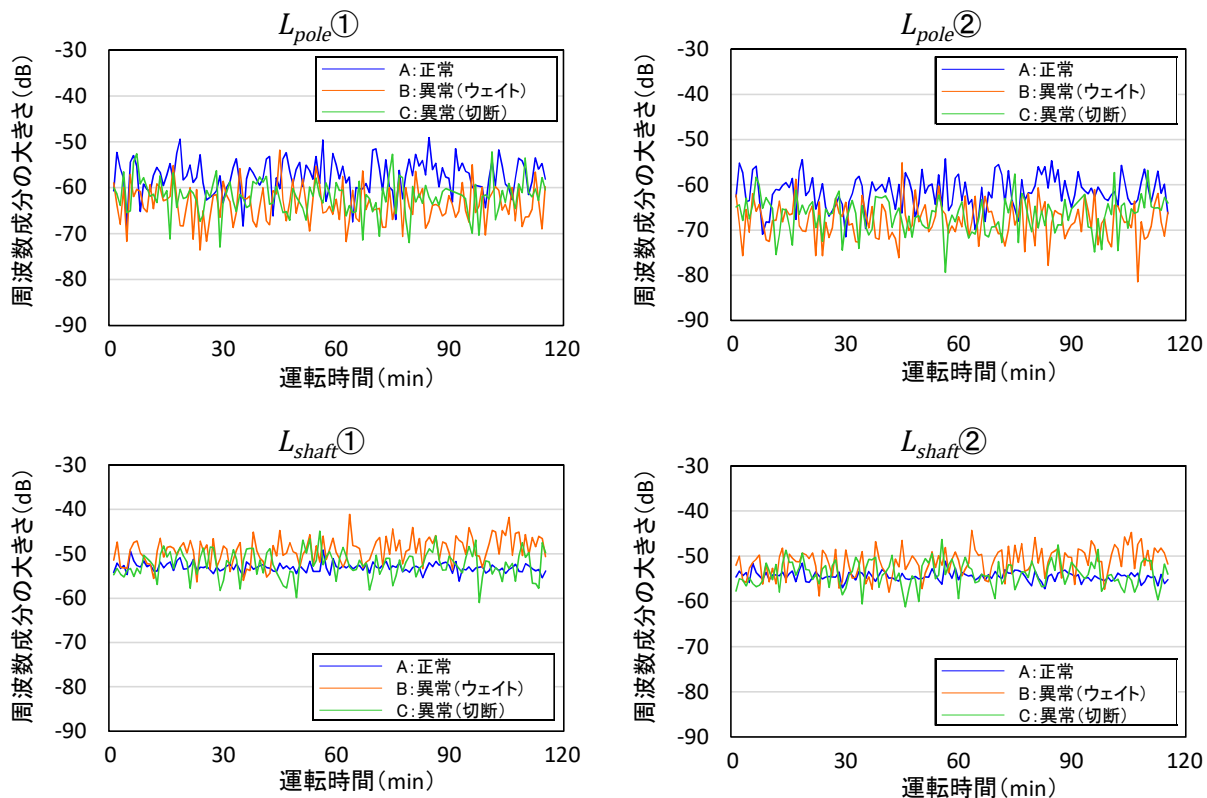


図-21 側帯波の大きさの時間推移 (実機試験)

上段が L_{pole} 、下段が L_{shaft}

側帯波の大きさのばらつき度合いを確認するため、標準偏差を算出した（図-22）。

まず、 L_{pole} は、状態 A で約 3.7~3.8、状態 B で約 4.0~4.1、状態 C で約 3.8~3.9 となった。すべての状態で同程度の大きさであることから、ノイズの影響によるばらつきであるとみられる。

次に、 L_{shaft} は、状態 A で約 1.0、状態 B で約 2.9~3.0、状態 C で約 2.8~2.9 となった。状態 B 及び C で上昇したことから、この上昇は羽根車の異常に伴うものであるとみられる。

側帯波の大きさの評価にあたっては、平均値を採用した場合、値のばらつきが大きいと変動を捉えられない恐れがある。そのため、最大値について確認を行った（図-23）。

L_{shaft} の最大値は、状態 A では約-51dB~-49dB、状態 B では約-44dB~-41dB、状態 C では約-49dB~-45dB となり、状態 A に比べ状態 B 及び C では上昇した。これは、羽根車の異常により振れ回りが発生し、ポンプ主軸にかかる異常負荷が大きくなったためと考えられる。

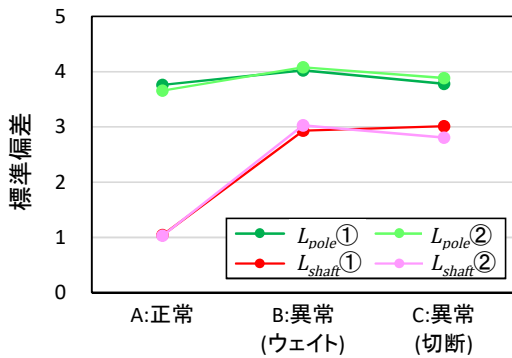


図-22 側帯波の大きさの標準偏差

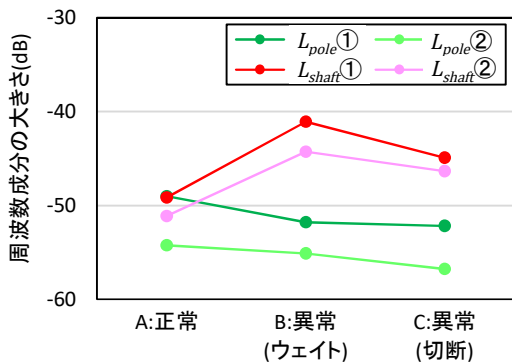


図-23 側帯波の大きさの最大値

d) 電流値

電流波形と同時に計測した電流値を図-24 に示す。横軸は運転時間、縦軸は電流値であり、電流値はU相の実効値である。

時間による変動がみられるが、平均で状態 A は約 64.1A、状態 B 及び C では約 66.2A となり、状態 A と比較し、状態 B 及び C では高い傾向となった。これは、羽根車の異常に伴い、ポンプの電動機へかかる負荷が大きくなり、電流値が上昇したためと考えられる。

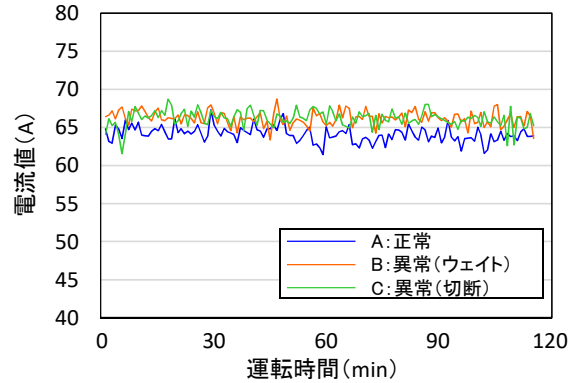


図-24 電流値（実機試験）

e) 推定実回転数

側帯波が現れた周波数を基に、推定実回転数を算出した。算出にあたり、 L_{pole} はノイズの影響が大きいとみられることから、 L_{shaft} による算出を行った。

推定実回転数を図-25 に示す。横軸は計測時間、縦軸は推定実回転数である。

時間による変動がみられるが、平均で状態 A は約 743rpm、状態 B は約 736rpm、状態 C は約 740rpm となり、状態 A と比較し、状態 B 及び C では低い傾向となった。これは、羽根車への水圧抵抗の増加や、アンバランスによる振れ回りにより、正常な回転が阻害されたためと考えられる。

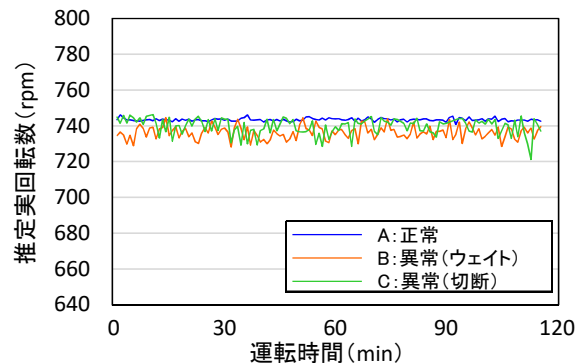


図-25 推定実回転数（実機試験）

(3) 振動加速度の解析結果

振動加速度の計測結果を図-26 に示す。縦軸は振動加速度、横軸は時間である。図は波形の形状を確認するため、0~0.2秒を抜粋したものである。加速度計の計測軸を写真-7 に示す。使用した振動加速度計は3軸加速度計であり、X、Y 及び Z 軸方向の加速度を計測することができる。

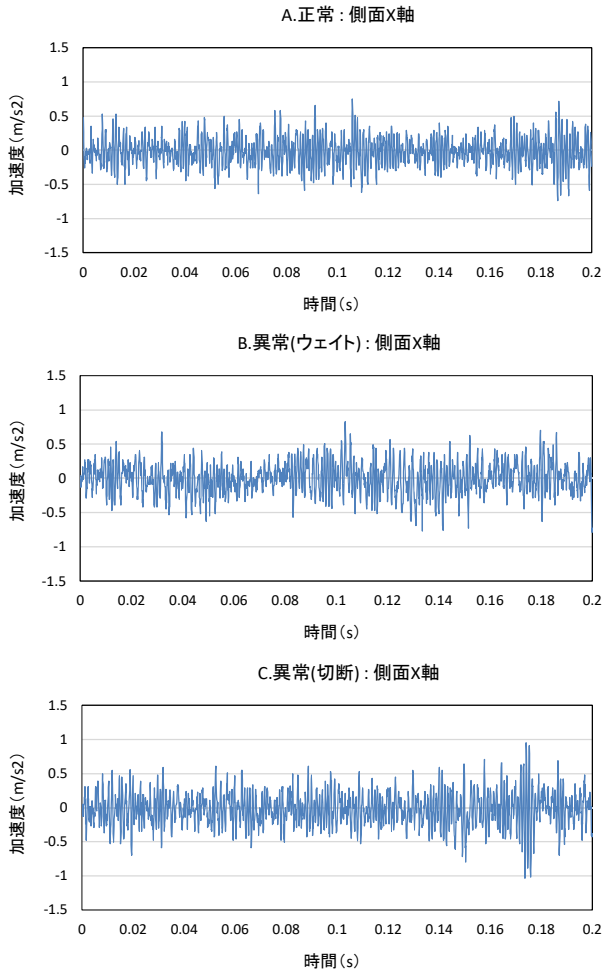


図-26 振動加速度の計測結果

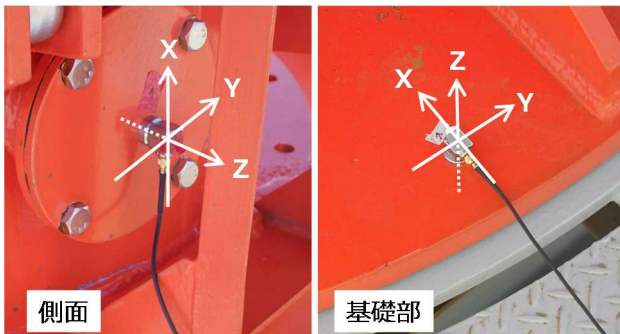


写真-7 加速度計の計測軸

計測した振動加速度の大きさを表-8 に示す。大きさは p-p (peak-to-peak) 値で、計測時間 (115 分) の平均値である。コラムパイプ側面、基礎部ともに、大きさにあまり違いは見られなかった。このことから、振動加速度の大きさから異常の判別を行うのは難しいと考えられる。

ここで、振動加速度による状態監視を行う際には、振動波形を周波数分析しスペクトルを確認する手法がとられることから⁹⁾、計測した振動波形を周波数分析し、スペクトルを確認した。周波数分析結果を図-27 に示す。図はアベレージングによりノイズを除去したものである。

表-8 振動加速度の大きさ (p-p 値)

部位	軸	A.正常	B.異常 (ウェイト)	C.異常 (切断)
側面	X	2.65 m/s ²	2.71 m/s ²	3.09 m/s ²
	Y	2.78 m/s ²	2.77 m/s ²	3.12 m/s ²
	Z	2.79 m/s ²	2.68 m/s ²	3.04 m/s ²
基礎部	X	1.06 m/s ²	1.02 m/s ²	1.46 m/s ²
	Y	1.22 m/s ²	1.13 m/s ²	1.82 m/s ²
	Z	1.95 m/s ²	1.97 m/s ²	2.20 m/s ²

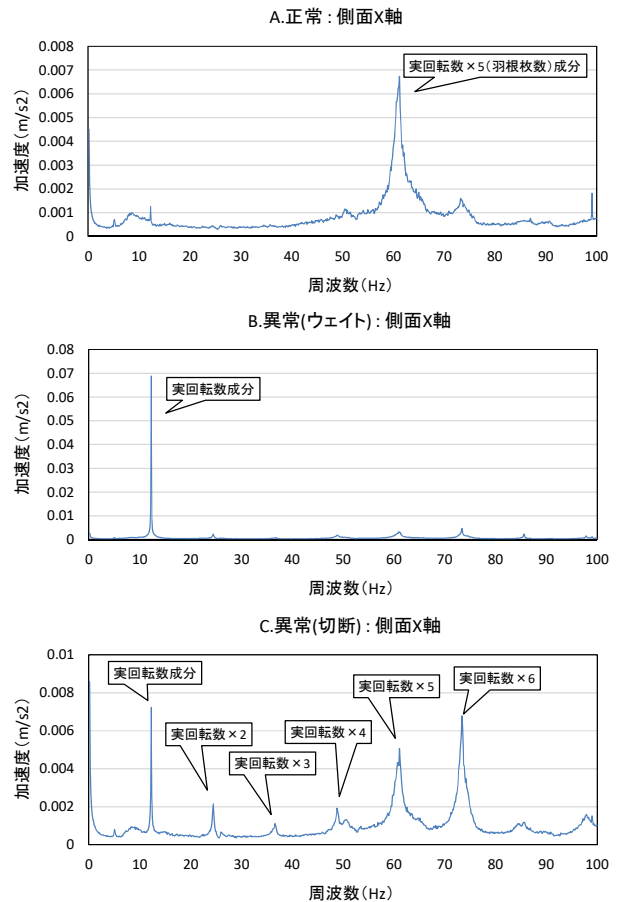


図-27 振動加速度の周波数分析結果

コラム形水中ポンプの仕様（表-7）より、定格回転数は735rpmであることから、実回転周波数は約12.3Hzになると考えられる。

まず、状態Aでは、ポンプの実回転数と羽根車の羽根枚数の積の周波数成分が大きくなった。これは、ポンプの回転状態は正常であり、羽根車の各羽根に負荷が均等にかかっているためと考えられる。

次に、状態Bでは、実回転数の周波数成分が大きくなった。これは、ウェイトによるアンバランスが大きく、ウェイトを取り付けた羽根が通過するタイミングの周波数成分が大きくなったためと考えられる。

最後に、状態Cでは、実回転数の等倍となる周波数成分が大きくなった。これは、羽根の切断によりインペラのバランスが崩れ、羽根車にかかる負荷や回転数が不安定になったことが要因として考えられる。

以上より、振動波形を周波数分析した結果、羽根車の異常ごとに異なる特徴が現れることがわかった。

3.2.4 データの変動傾向の分析結果

実機試験により得られた解析データについて、前述の小型水中ポンプによる異常模擬試験と同じ手法により、変動傾向の分析を行った。

まず、羽根車の異常に伴う各解析値の変動傾向（上昇、低下）を大まかに整理したものを表-9に示す。赤着色は、状態Aに比べ数値が上昇した項目、青着色は低下した項目である。なお、 L_{pole} はノイズの影響により大きさの精度が低いと考えられるため、項目から除外した。

変動傾向は、状態Bと状態Cで同じものとなった。まず、電流情報を解析した項目は、 L_{shaft} の標準偏差、 L_{shaft} の最大値及び電流値は上昇傾向、推定実回転数は低下傾向となった。次に、振動加速度を周波数分析し

表-9 各解析値の変動傾向（実機試験）

項目			羽根車の状態	
			B.異常 (ウェイト)	C.異常 (切断)
電流情報	L_{shaft} ①	標準偏差	↗	↗
		最大値	↗	↗
	L_{shaft} ②	標準偏差	↗	↗
		最大値	↗	↗
	電流値		↗	↗
	推定実回転数		↘	↘
振動加速度	振動周波数成分	実回転数	↗	↗
		実回転数×2	↗	↗
		実回転数×3	↗	↗
		実回転数×4	↗	↗
		実回転数×5	↘	↘

て得られたスペクトルの大きさ（以下「振動周波数成分」という）は、実回転数及びその2倍、3倍、4倍成分は上昇傾向、5倍成分は低下傾向となった。

次に、表-9の変動傾向を定量的に解析するため、ロジスティック回帰分析により式(2)の係数 θ を算出した。入力項目は表-9と同じ11項目とし、入力項目と係数は表-10のとおり対応している。

係数は、状態Aをベースに状態B及びCの係数を算出したほか、状態Bと状態Cの違いを確認するため、状態Bをベースに状態Cの係数を算出した。算出結果を表-11に示す。

状態Aをベースに算出した係数は、表-10と同じ傾向となった。また、状態Bをベースに状態Cの係数を算出した結果、推定実回転数、振動周波数成分の実回転数成分及びその3倍、5倍成分の絶対値が大きくなり、これらの項目の影響が大きいことがわかった。

表-10 入力項目と係数（実機試験）

i	入力項目	係数
0	x_0 : 1 (定数)	θ_0
1	x_1 : L_{shaft} ① 標準偏差	θ_1
2	x_2 : L_{shaft} ① 最大値	θ_2
3	x_3 : L_{shaft} ② 標準偏差	θ_3
4	x_4 : L_{shaft} ② 最大値	θ_4
5	x_5 : 電流値	θ_5
6	x_6 : 推定実回転数	θ_6
7	x_7 : 実回転数成分	θ_7
8	x_8 : 実回転数×2倍成分	θ_8
9	x_9 : 実回転数×3倍成分	θ_9
10	x_{10} : 実回転数×4倍成分	θ_{10}
11	x_{11} : 実回転数×5倍成分	θ_{11}

表-11 係数 θ の算出結果（実機試験）

入力項目		係数	状態Aベース			
			状態B	状態C	状態C	
1		θ_0	-1.5230	-1.7431	0.2628	
電流情報	L_{shaft} ①	標準偏差	θ_1	1.0243	0.8232	-1.5777
		最大値	θ_2	1.1429	1.2048	-1.1751
	L_{shaft} ②	標準偏差	θ_3	1.0995	1.9716	0.9455
		最大値	θ_4	1.3104	1.9359	0.0479
	電流値		θ_5	1.1413	2.0046	0.3381
	推定実回転数		θ_6	-3.1203	-3.0426	2.9507
振動加速度	振動周波数成分	実回転数	θ_7	1.8434	0.2880	-6.7191
		実回転数×2	θ_8	1.5568	2.2243	-0.2082
		実回転数×3	θ_9	0.5916	2.2302	2.9075
		実回転数×4	θ_{10}	1.0059	1.6949	0.6373
		実回転数×5	θ_{11}	-2.7161	-2.6373	2.9806

3.2.5 決定木による異常状態の推定結果

異常状態の推定手法を検討するため、決定木による教師あり学習を行った。学習には、異常値を除く 294 データを使用し、そのうち無作為に抽出した 235 データ (約 8 割) を教師データ、残りの 59 データ (約 8 割) を検証用のテストデータとした。

学習結果のツリー図、及びテストデータの判別結果の一例を図-28 に示す。当初、50 回の学習を行ったところ、32 種類のツリー図が示されたため、学習回数を 200 回に増加した結果、43 種類のツリー図が示された。

各ツリー図を統合した模式図を図-29 に示す。各ツリー図を確認したところ、すべてのツリー図において、始めに状態 A か否かを判別し、その後に状態 B か状態 C かを判別していることがわかった。状態 A の判別には入力項目の全 11 項目が使われており、また状態 B と状態 C の判別には、推定実回転数、振動周波数成分

の実回転数成分及びその 3 倍、5 倍成分の 4 項目が使われていた。表-11 に示す変動傾向の解析結果と矛盾する項目はないことから、ツリー図の判別方法に間違いはないと考えられる。

また、多くのツリー図が確認できたことから、ランダムフォレストによる判別精度の向上が可能であると考えられる。ランダムフォレストとは、複数のツリー図を並列に処理し、多数決などを行うことにより、判別精度を高める手法である。今後、現場で実際に診断を行う際や、異常の種類を追加する場合にも有効な手法であると考えられる。

以上より、決定木による教師あり学習を適用することで、羽根車の状態を判別することが可能であることがわかった。また、ランダムフォレストを適用することで、判別精度の向上が可能であると考えられる。

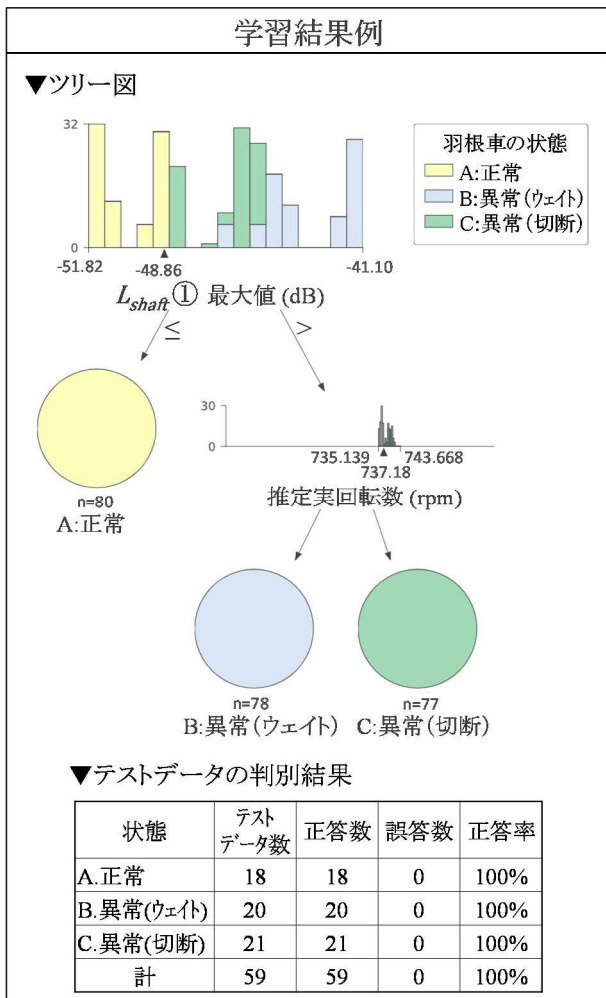


図-28 ツリー図及びテストデータの検証結果例 (実機試験)

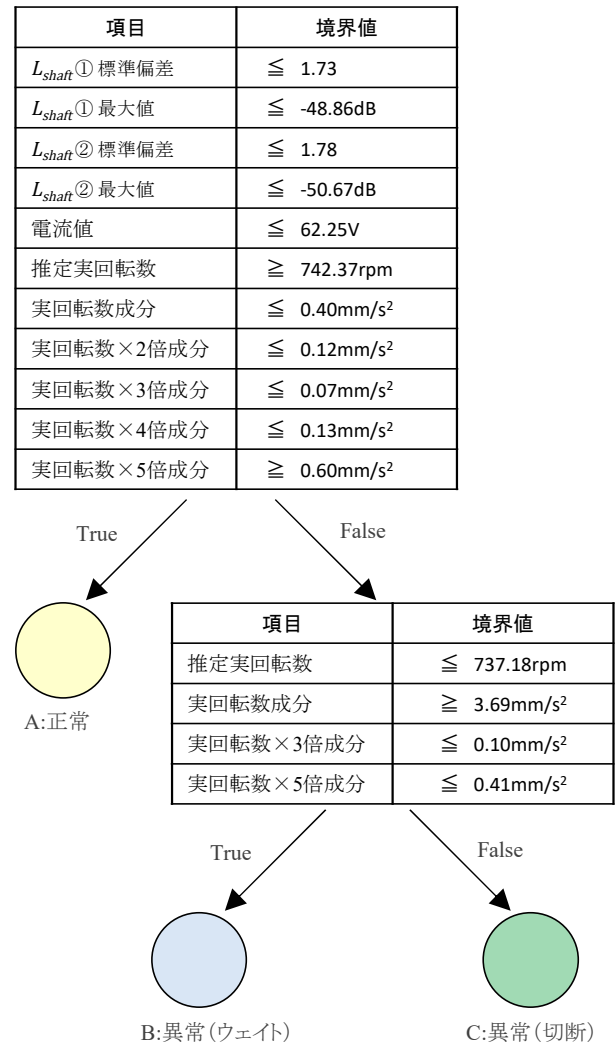


図-29 ツリー図を統合した模式図

3.3 劣化部位推定技術のとりまとめ

本研究により得られた、コラム形水中ポンプの異常に伴う電流情報及び振動解析データの変動に関する知見、及び教師あり学習を活用した劣化部位推定手法についてとりまとめ、「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）」に反映した（図-30）。



図-30 コラム形水中ポンプ状態監視ガイドライン（案）

4. まとめ

本研究では、コラム形水中ポンプの劣化部位の推定に向けた検討として、AI 技術を活用した劣化部位推定技術の検討、及び実物大試験装置による実証実験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 小型水中ポンプによる異常模擬試験により得られた電流情報の解析結果を基に、AI 手法の一つである機械学習を活用し、異常状態の判別が可能であるかどうか検討を行った。その結果、決定木による教師あり学習を適用することで、異常状態を判別できるほか、閾値の策定にも活用できる可能性があることがわかった。
- 2) 実物大試験装置を製作の上、実機による異常模擬試験を実施した。その結果、羽根車の異常に伴い、側帯波 L_{shaft} の標準偏差及び最大値が上昇することがわかった。これは、羽根車の異常により振れ回りが発生し、ポンプ主軸にかかる異常負荷が大きくなったためと考えられる。また、電流値が上昇し、推定実回転数が低下することがわかった。これは、羽根車への水圧抵抗の増加や、アンバランスによる振れ回りにより、正常な回転が阻害されたほか、電動機にかかる負荷が大きくなったためと考えられる。さらに、振動波形を周波

数分析することで、羽根車の異常ごとに異なる特徴が現れることがわかった。

3) 異常状態の推定手法を検討するため、実機試験により得られた解析データの変動傾向を分析のうえ、教師あり学習による異常状態の判別を行った。その結果、決定木を適用することで、羽根車の状態を判別することが可能であることがわかった。また、ランダムフォレストを適用することで、判別精度の向上が可能であると考えられる。

以上の結果をとりまとめ、「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）」への反映を行った。

今後は、出水時の実運転時や月点検時の管理運転時等、コラム形水中ポンプ運転時の点検品質を向上する技術、並びに省人化に関する技術について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート 2021、p.57、2022.
- 2) 国土交通省：インフラメンテナンス情報 https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html (2022年5月31日確認)
- 3) 国土交通省：救急排水ポンプ設備技術指針、pp.2-4、1994.
- 4) 小林勇一、中島淳一、平地一典：電流情報診断によるコラム形水中ポンプの状態監視、寒地土木研究所月報、No.800、pp.2-11、2020.
- 5) 豊田利夫：電流徴候解析 MCSA による電動機駆動回転機の診断技術、高田技報、Vol.20、pp.3-5、2010
- 6) 豊田利夫：電機設備診断の進め方、日本プラントメンテナンス協会、pp.130-145、1993.
- 7) 劉信芳：誘導電動機の電流信号による回転機械系の監視診断、第15回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集、pp.72-75、2016.
- 8) 国土地理院ウェブサイト：<https://www.gsi.go.jp>
- 9) 振動技術研究会：ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断（振動 カテゴリーⅢ）、p.79、2010.

STUDY ON THE ESTIMATION OF DETERIORATED PART OF COLUMNAR SUBMERSIBLE PUMPS USING AI TECHNOLOGY

Research Period: FY2019-2021

Research Team: Machinery Technology Research Team,
Director for Cold-Region Technology
Development Coordination

Author: KATANO Koji
MAKINO Masatoshi
NAKAJIMA Junichi
EINAGA Tetsuya
HIRACHI Kazunori
KOBAYASHI Yuichi

Abstract: It is necessary to monitor for signs of failure and to conduct appropriate maintenance and renewal of columnar submersible pumps in emergency drainage pump stations to ensure their proper operation in an emergency. However, there are no available condition monitoring technologies to determine the actual deteriorated parts. It is assumed that failure can be prevented and efficient inspection and maintenance systems can be proposed if it is possible to detect deteriorated parts based on failure conditions. Therefore, AI technology to estimate deteriorated parts was studied and a demonstration experiment using a full-scale test device was conducted as a study to estimate deteriorated parts of columnar submersible pumps.

The results indicated the possibility of estimating failure conditions through “supervised learning” based on the tendency of fluctuations in electric current information and vibration analysis data, and a method for estimating deteriorated part using supervised learning was presented.

Keywords: Soundness, Emergency Drainage Pump station, Condition Monitoring, Diagnosis Based on Motor Current Signature Analysis, Submersible Pumps, Supervised Learning