

簡便な音響による診断技術を用いた水中ポンプの劣化診断について

室蘭工業大学

正会員

矢吹信喜

室蘭工業大学大学院

学生員

○植田国彦

1. はじめに

土木構造物を長期間安全かつ経済的に供用するためには、建設および維持管理において、現場における点検を適切に実施することが重要である。また、日常の巡視点検では、視覚、聴覚、触覚、臭覚といった感性を働かせている。特に、聴覚によって得られる情報量は多く、非常時や、不定期に作動するような設備の異常を感知する上で貴重である。そこで本研究では、音響診断システムを用い、水中ポンプの作動状態の検査を行い、異常を検知する指標を導出することを目的とした。

2. 音響による構造物や機械類の異常診断システムモデル

本研究では、音響実験を行うに際し、既開発の音響診断支援システムのプロトタイプシステムを用いた。本システムでは、まず、ノートパソコンの録音機能により、点検音診断の対象となる部材の音を WAVE ファイル形式で録音する。サンプリング周波数は 44.1kHz とした。次に、録音した音データ解析には、データ解析プログラミング言語 MATLAB を用いた。波形、フーリエスペクトル、サウンドスペクトログラム、連続ウェーブレット解析の表示を一貫して行えるシステムを構築し、水中ポンプの音響測定実験の解析を実施した。

3. 水中ポンプの音響測定実験

水中ポンプは、土木基礎工事などで地下水や河川からの漏水を排出したり、ダムや地下発電所等における漏水を外部に排出するといった重要な役割を演ずる機器である。しかし、性能劣化状況や故障に関する原因や診断法などに関する研究はあまりされておらず、音により劣化を観察することは容易ではない。

本研究では、図-1 の水中ポンプ実験装置を用いて水中ポンプの音響測定実験を実施し、水中ポンプの劣化状況を感知する異常感知の指標を導出することとした。実験に使用したポンプ内部には、5枚の羽根を持つ水車がある。実験では水中ポンプの羽根を少しずつ目詰まりさせたり、羽根を少しずつ破損させていきながら、作動音データを採取した。

羽根を少しずつ目詰まりさせるケースでは、正常な状態における動作音を記録した後、羽根と羽根の間に厚さ 3mm のゴム板で作成した異物を瞬間接着剤で貼り付け（図-2）、動作音を記録し、さらにゴムを重ねて貼り付けては、実験を繰り返し録音した。羽根の一部を少しずつ破損させていくケースでは、羽根を一枚ずつ、ペンチで破損させていきながら、動作音を記録した。1枚の羽根の約3分の1を破損させた時の写真を図-3に示す。

4. 水中ポンプの劣化を感知する指標

羽根を少しずつ目詰まりさせるケースと羽根の一部を少しずつ破損させていくケースの波形解析結果を、暗騒音、正常動作時、1枚の羽根の3分の1破損時、3枚完全破損+4枚目3分の1破損時、5枚完全破損時について図-4に示す。暗騒音、正常動作時は2ケースとも同様である。図-4より、目詰りさせるケースでは、徐々に波形が乱れ不規則になっていくのが確認できる。フーリエスペクトルでは、1000Hz以上の周波数成分が多くなることが確認できた。これは、実際に実験において、耳で聞いても、正常時に比べると、羽根を目詰りさせていくにつれ、雑音が混じっていく

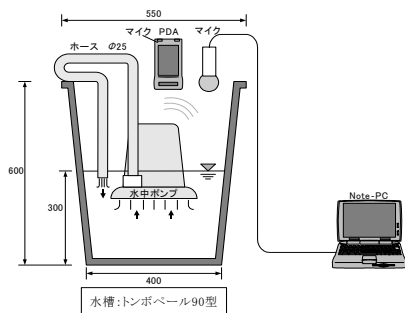


図-1 水中ポンプ実験装置



図-2 羽根にゴムで目詰り



図-3 羽根の一部を破損

キーワード：点検、音響診断、水中ポンプ、異常感知指標、フーリエスペクトル

〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 TEL 0143-46-5219, FAX 0143-46-5218

ように聞こえた。少しずつ羽根を破損させていくケースでも同様の傾向がみられた。

羽根を目詰りさせることにより高周波成分がどの程度増えるかを、打音実験と同様にフーリエスペクトル図において、周波数帯をいくつか区切って、各区間のスペクトルの振幅の合計値の比較を行った。周波数帯としては、0-500Hz, 500-1,000Hz, 1,000-2,000Hz, 2,000-3,000Hz, 3,000-10,000Hz の5個に分けた。まず、各周波数帯の振幅値の合計を求め、周波数帯の幅に応じて、一番小さい500Hzに換算した。さらに、0-500Hzにおける合計値を1とした場合に他の周波数帯は何倍になるのかを求めた。羽根を破損していくにつれて、高周波成分がどれくらい正常時と比べて増えているのかがはっきりとわかりにくいので、さらに、正常時の各周波数帯の合計値を1とした場合、同じ周波数帯の他の条件の場合、何倍になるのかを計算した（表-1）。表-1より、徐々に羽根を目詰りさせたケースの1,000-2,000Hzの周波数帯の変化を図-5に示す。

図-5共に羽根の劣化が進むと1,000-2,000Hzの周波数帯の比率が増加する傾向があることが確認できた。周波数帯1,000-2,000Hzにおいて、この実験に用いた実験装置では、

$$A/N > 2.0$$

ここに、周波数帯0-500Hzにおけるフーリエスペクトルの振幅値の合計を1とした場合において、 A ：異常作動音の比 N ：正常作動音の比

であれば、水中ポンプに何らかの異常が生じている可能性があることを示唆しているといえる。

5. 暗騒音を考慮した解析

音響診断を行う際に、問題となる事項に暗騒音が挙げられる。そこで暗騒音のフーリエスペクトルに着目して、求めたい波形のフーリエスペクトルから平均的な暗騒音のフーリエスペクトルを取り除き、暗騒音を取り除いたフーリエスペクトルを求めることとした。

暗騒音を取り除いたフーリエスペクトルの比（図-6）と暗騒音を取り除いていないフーリエスペクトルの比（図-5）を比較する。暗騒音に多い低周波成分が取り除かれているため、暗騒音を取り除いたフーリエスペクトルの比の方が、低周波数成分を多く含む目詰りが少ないケースから高周波成分を多く含む目詰りが多いケースへの比率の移り変わりが顕著になっている。そのため暗騒音を取り除いたフーリエスペクトルは各周波数帯の変化を捉えやすいと考えられる。

6. おわりに

本研究では、音による診断の対象として、ダムや地下発電所等で用いられる水中ポンプの作動音を取り上げ、ノートパソコンを用いて音を収録し、解析結果より異常を感知する指標を導いた。実験結果より、本研究で導いた指標は、実際の点検業務にもある程度、使用可能であることがわかった。しかし、点検実務に音響診断を適用させるためには、多くの音データを収集し、より精度の高い指標の導出が求められる。今後は、より精度の高い実験を行い、実際のダムや地下発電所において長期間、観測することにより、診断の指標を発見していきたいと考えている。

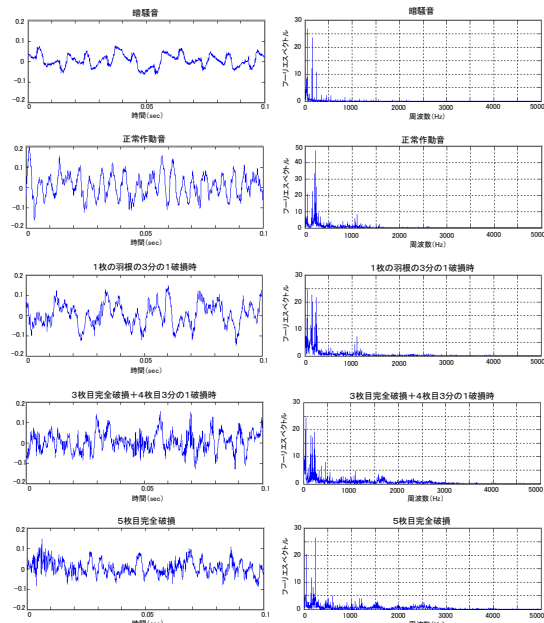


表-1 正常時の各周波数帯の合計値を1とした場合の（目詰り）

周波数帯 (Hz)	0-500	500-1,000	1,000-2,000	2,000-3,000	3,000-10,000
暗騒音	1.00	0.95	1.01	1.60	2.31
正常時の周波数帯の比	1.00	0.19	0.10	0.04	0.01
正常時	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
羽根1枚目1/3	1.00	1.13	1.31	1.64	1.33
羽根1枚目2/3	1.00	1.15	1.24	1.66	1.53
羽根1枚目3/3	1.00	1.06	1.45	1.93	1.45
羽根2枚目1/3	1.00	1.98	1.81	2.48	1.85
羽根2枚目2/3	1.00	1.93	2.53	3.78	1.84
羽根2枚目3/3	1.00	1.55	2.60	3.78	1.90
羽根3枚目1/3	1.00	1.36	2.09	3.47	1.74
羽根3枚目2/3	1.00	1.47	2.33	3.86	1.54
羽根3枚目3/3	1.00	2.43	4.35	7.99	2.63
羽根4枚目1/3	1.00	1.65	3.06	5.37	1.68
羽根4枚目2/3	1.00	1.67	1.85	2.65	1.70
羽根4枚目3/3	1.00	1.65	3.85	4.75	2.45
羽根5枚目1/3	1.00	1.62	5.30	2.83	2.18
羽根5枚目2/3	1.00	2.15	5.11	4.97	2.36
羽根5枚目3/3	1.00	1.82	7.46	7.75	2.77

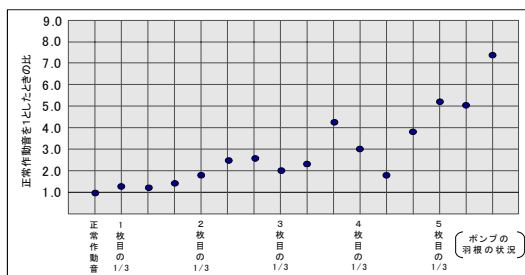


図-5 周波数帯1,000Hz～2,000Hzで正常作動音を1としたときの比（目詰り）

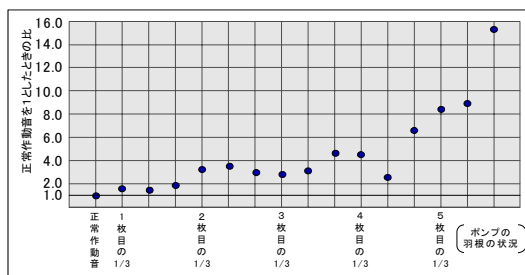


図-6 暗騒音を考慮した周波数帯1,000Hz～2,000Hzで正常作動音を1としたときの比