

ボルトと水中ポンプの音響診断実験及び分散音響データベース構築

Experiments of sound monitoring of bolts and submersible pumps and development of distributed sound database system

矢吹信喜*, 植田国彦**, 小谷隼***

Nobuyoshi Yabuki, Kunihiko Ueta, Jun Kotani

* Ph.D., 室蘭工業大学助教授, 工学部建設システム工学科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1)

** 修 (工) 北海道電力株式会社 (元 室蘭工業大学大学院学生)

*** 修 (工) 北海道旅客鉄道株式会社 (元 室蘭工業大学大学院学生)

An experiment of hitting a bolt by a test hammer was executed for a variety of torques to record and analyze the sounds, and a diagnosis method was proposed. Then, a series of sound monitoring experiments were performed for submersible pumps by intentionally pasting obstacles between blades of a pump and removing parts of blades. Based on the spectral analysis of recorded sounds, a diagnosis method was proposed for submersible pumps. To record sounds of many submersible pumps at various places and facilities, a distributed database system was developed by using the Web Service technology.

Key Words: bolt, submersible pump, diagnosis, sound, web service, spectral analysis

キーワード: ボルト, 水中ポンプ, 診断, 音, ウェブサービス, スペクトル解析

1. はじめに

土木建築構造物や設備の維持管理においては, 現場における点検を適切に行うことが重要である。また, 点検の際に何か異常を感じた場合, 専門的な知識, 現場経験による勘や蓄積された点検データに基づいて適切な判断を下す体制を整えておくことが肝要である。しかし, 点検現場において携帯できる資料や機器は限られる。また, 点検員の点検結果が必ずしも連続的に引き継がれず, 異常時に以前の点検データとの比較が出来ないこともある。

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感性情報は, 非常時や不定期に作動させるような設備の異常を感知する上で貴重である。

音響による構造物や機械類の点検や診断に際して, コンクリートやボルトをテストハンマーなどで叩くことは, 昔から行われている。こうした音響による診断に関する研究^{1)~4)}も数多くなされている。我々も, 以前より音響により異常診断を行うシステムの開発を行い, ボルトの緩みを打音により検知する実験を行った^{5)~6)}。

本研究では, まずボルトの打音について, より詳細な条件下で実験を行い, 締付具合を検知する指標を導出することを第一の目的とした。

次に, 水中ポンプの動作音により, ポンプの目詰まりやブレードの異常等の劣化診断を行う方法を検討することとした。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, あまり目立たぬ存在であり, 壊れれば取り替えれば良いといった認識が一般的であることから, 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いないようである。

しかし, ダムの監査廊や地下発電所の最下層のピットに設置してある水中ポンプが故障した場合, 漏水横溢により各種機器類が被害を受けることが考えられる。また, そうした場所は, 頻繁に作業員や技術者が行く場所ではない上に, 劣化や異常によるポンプの作動音の変化は少しずつ進むと考えられることから, 稀にしか行かない作業員や技術者の耳では, どれくらい劣化したかを音の変化により判断することは極めて困難だと考えられる。さらに, ポンプ類は, 比較的長期間壊れず動作することから, 劣化を観察することは容易ではない。従って, 水中ポンプを動作音により診断する方法を発見することは重要だと考え, 実験を行い, 指標を導出することとした。

さらに, こうした実験室内の検討だけでは, 実際の現場に設置してある様々な条件下の種々の水中ポンプに対して全て適用可能な指標を確立することは困難であることから, 長期間に渡って, 多くのサイトで動作音を収録し, データベース化し, 故障状況と動作音との関係を見出したり, 現場技術者に比較のために音データを提供するためのシステムを開発した。尚, 本システムの開発に当っては, 組織や事務所毎にデータベースが構築されることを想定し, 点検者側のハードウェアやソフトウェアに依存しないコンピュータ間のデータ通信を実現することを目的と

して、SOAP⁷⁾ (Simple Object Access Protocol) による「Web サービス」⁸⁾を用いた分散音響データベースにすることとした。

2. 音響診断支援システムによる音響実験

本研究では、音響実験に際し、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 (図-1) を用いた。本システムでは、まず、マイク (SONY, F-V320, 周波数特性: 80-13,000Hz, 出力インピーダンス 600Ω) および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。録音した音の解析には、データ解析プログラミング言語 MATLAB⁹⁾を用いた。MATLAB により、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、ボルトナットの打音実験及び水中ポンプの音響測定実験の解析を実施した。

3. ボルトの打音実験

3.1 打音実験の方法

ボルトナットを用いた簡単な打音実験では、ボルトの締付けトルクを徐々に増やして実施した。打音実験に用いる実験供試体として、図-1 に示すような長さ約 60 センチの鋼製板とCチャンネルを2本のボルトにより接合した供試体を用いた。ボルトは M20×601, ナットは M20 を使用した。実験では、ボルトを手の力だけで軽く締めた (手締め) ケース、トルクレンチにて 5Nm, 10Nm, 20Nm, 30Nm, 40Nm, 50Nm, 60Nm, 80Nm, 100Nm 及び 120Nm の締付けトルクを加えたケースに対して、テストハンマーにより、図-1 に示すようにナットの角の部分に打撃を加え、打撃音をノートパソコンにて録音した。尚、供試体は室内の床の上にダンボールを3枚重ね、その上にシーツ布を敷いた上に設置し、床からの影響がほとんどないようなした。また、マイクは叩く位置から約 30cm 離れた場所に手で保持した。

3.2 打音実験の結果

ノートパソコンで録音したボルトを手の力だけで軽く締めたケース、20Nm, 60Nm, 100Nm 及び 120Nm の締付けトルクを加えたケースの波形及びフーリエスペクトルを図-2 に示す。図-2 の波形より、十分な締付けトルクを加えた方が打撃音の減衰が小さく、音が長く継続していることがわかる。また、フーリエスペクトルから、手締めの場合は、若干卓越した周波数が 2,200Hz, 3,600Hz, 6,000Hz 付近にあるが、打音が全周波数領域に広く分散していることが確認できる。トルクが 20Nm から 120Nm のフーリエスペクトルでは、締付けトルクが増すにつれ 2,000Hz 付近から 5,000Hz 付近へと徐々に卓越した周波数が高周波成分に変化することが確認できた。

さらに、定性的には手締めのケースは「にぶく、くぐも

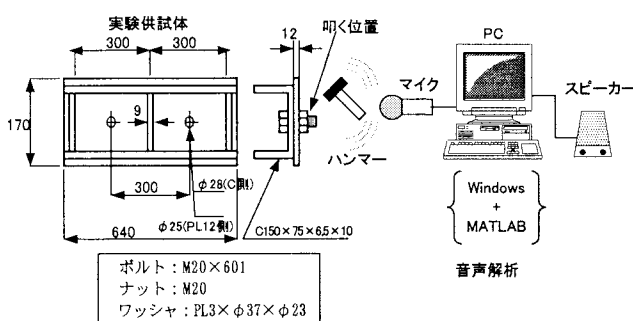


図-1 ボルトの打音実験供試体及びデータ収録・解析装置

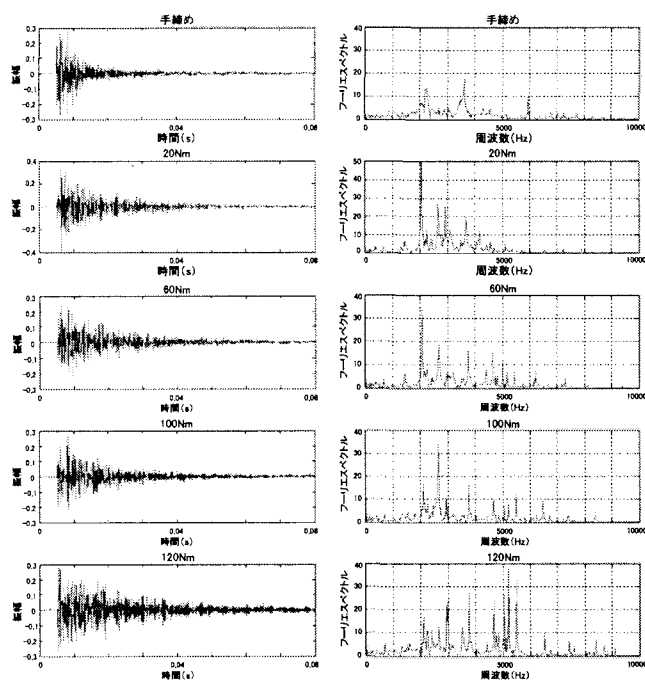


図-2 締付けトルク毎の打音波形とフーリエスペクトル

った音」、締付けトルク 120Nm のケースは「はっきりとした、にごっていない、きれいに響く音」と表現される。図-2 の解析結果は、こうした感性的な情報を裏付けるものであると考えられる。

3.3 ボルトの緩みを感知する指標

本研究では、ボルトの緩みを感知する指標として、波形減衰図 (図-3) に示す初期の最大振幅 a が、 $1/10$ に減衰するまでの時間 T を減衰時間として設定した。具体的には、初期の最大振幅 a は、片振幅 (+ または - 方向) の絶対値の最大値を求め、その値を 2 倍した値とし、その時刻から振幅が $a/10$ を越えないようになる時刻までの時間を T とした。

初めに、減衰時間 T がボルトの叩き方の強弱によって変化しないかを調べるため、ボルトの叩き方に強弱をつけ減衰時間の変化を調べた。図-4 に締付けトルク 120Nm の

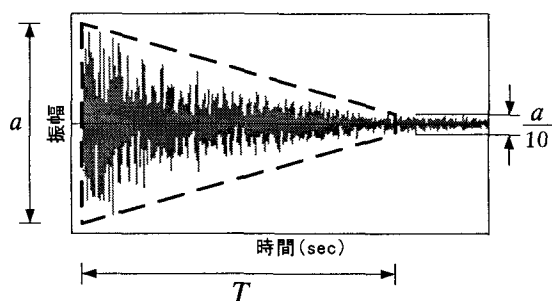


図-3 波形減衰と打音減衰時間 T

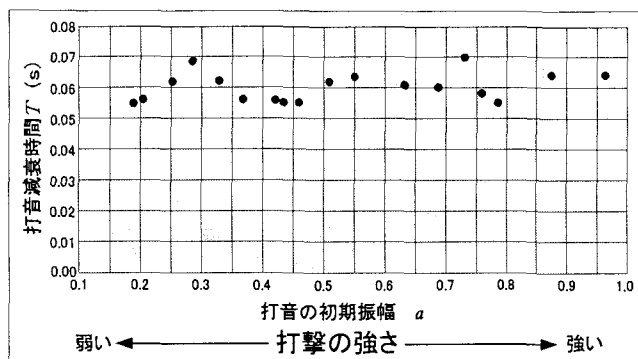


図-4 打撃の強さと打音減衰時間 T の関係

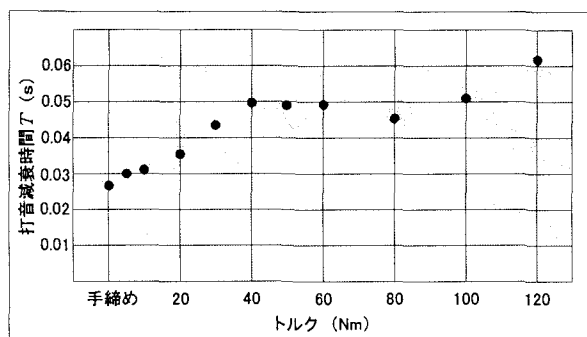


図-5 締付トルクと打撃減衰時間の関係

ケースの最大振幅 a の変化による減衰時間 T を示した。図-4より、締付けトルク 120Nm のケースの減衰時間 T は、ほぼ一様であることが確認できた。また、締付けトルク 20Nm 及び 60Nm のケースでも減衰時間 T は、ほぼ一様であったことから、本研究で用いた実験供試体では、減衰時間 T はボルトの叩き方の強弱を変えても変化は少ないと考えられる。

そこで、手締め、5Nm、10Nm、20Nm、30Nm、40Nm、50Nm、60Nm、80Nm、100Nm 及び 120Nm の締付トルクを加えた各ケースの平均減衰時間 T を図-5に示す。図-5から締付けトルクが増すに従い、減衰時間 T も増加する傾向があることが確認できる。この実験に用いた実験供試体については、

$$T > 0.05 \text{ s}$$

表-1 周波数帯 0-1,000Hz のスペクトルの合計値を 1 とした場合の他の周波数帯の比

音データ	0- 1,000- 1,000- 2,000- 2,000- 3,000- 3,000- 4,000- 4,000- 5,000- 5,000- 6,000- 6,000- 7,000- 7,000- 8,000- 8,000- 9,000- 9,000- 10,000- 10,000-									
手締め	1.00	1.96	8.68	2.82	2.09	1.02	0.74	0.67	0.19	0.22
5Nm	1.00	4.20	8.40	4.30	2.42	0.86	0.47	0.26	0.11	0.08
10Nm	1.00	2.94	12.96	3.23	1.91	2.32	0.48	0.52	0.23	0.05
20Nm	1.00	2.04	8.59	5.63	3.56	1.00	0.62	0.45	0.12	0.05
30Nm	1.00	2.17	7.60	4.29	4.61	1.10	0.36	0.55	0.31	0.08
40Nm	1.00	1.77	4.96	2.90	2.79	1.13	0.40	0.39	0.23	0.04
50Nm	1.00	1.45	6.06	3.65	3.24	0.89	0.95	0.82	0.34	0.05
60Nm	1.00	1.48	5.84	3.47	2.72	1.12	1.04	0.53	0.26	0.06
80Nm	1.00	2.06	5.81	2.44	1.55	1.35	1.78	0.42	0.28	0.05
100Nm	1.00	1.98	6.26	2.71	2.13	1.77	1.06	0.47	0.53	0.11
120Nm	1.00	1.72	3.97	2.68	2.00	2.32	0.63	0.50	0.43	0.08

表-2 表-1に加え、締付トルク 120Nm の場合の各周波数帯のスペクトルの合計値を 1 とした場合

音データ	0- 1,000+	1,000- 2,000+	2,000- 3,000+	3,000- 4,000+	4,000- 5,000+	5,000- 6,000+	6,000- 7,000+	7,000- 8,000+	8,000- 9,000+	9,000- 10,000+
手締め	1.00	1.14	2.18	1.05	1.05	0.44	1.16	1.35	0.43	2.68
5Nm	1.00	2.44	2.11	1.61	1.21	0.37	0.74	0.52	0.26	1.00
10Nm	1.00	1.71	3.26	1.21	0.95	1.00	0.75	1.04	0.53	0.64
20Nm	1.00	1.19	2.16	2.10	1.78	0.43	0.98	0.89	0.28	0.56
30Nm	1.00	1.26	1.91	1.60	2.31	0.47	0.57	1.09	0.73	1.00
40Nm	1.00	1.03	1.25	1.08	1.40	0.49	0.63	0.79	0.54	0.44
50Nm	1.00	0.84	1.53	1.36	1.62	0.39	1.49	1.63	0.78	0.60
60Nm	1.00	0.86	1.47	1.30	1.36	0.48	1.64	1.06	0.61	0.72
80Nm	1.00	1.20	1.46	0.91	0.78	0.98	2.81	0.85	0.65	0.56
100Nm	1.00	1.15	1.57	1.01	1.07	0.76	1.67	0.93	1.22	1.32
120Nm	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

であれば、ボルトの締付けは十分であり、逆に

$$T < 0.04 \text{ s}$$

であれば、締付けが不足し、 T が 0.04 s から 0.05 s の範囲はやや不十分であることを示唆しているといえる。

また、フーリエスペクトル図において、周波数帯をいくつかに分けて、各区間のスペクトルの振幅の合計値の比較を行った。スペクトルの振幅の合計値は、ある周波数帯のフーリエスペクトルの面積に相当するものである。周波数帯としては、0-1,000Hz、1,000-2,000Hz、2,000-3,000Hz、3,000-4,000Hz、4,000-5,000Hz、5,000-6,000Hz、6,000-7,000Hz、7,000-8,000Hz、8,000-9,000Hz、9,000-10,000Hz の 10 個に分けた。まず、各周波数帯の振幅値の合計を求めた。さらに、0-1,000Hz 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（表-1）。各締付けトルクにおいて高周波成分がどれくらい十分に締付けた状態（120Nm）と比べて増減しているのかがはっきりとわかりにくいので、さらに、締付けトルク 120Nm 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-2）。

図-2 の解析結果と表-2 より、フーリエスペクトルの変化が大きかった 2,000-3,000Hz と 5,000-6,000Hz の周波数帯の変化をそれぞれ図-6、7 に示す。図-6 の 2,000-3,000Hz の周波数帯では締付けトルクが大きくなると、フーリエスペクトルの合計値は減少する傾向があることが確認できた。逆に、図-7 の 5,000-6,000Hz の周波数帯では締付けトルクが大きくなると、フーリエスペクトルの合計値も増加する傾向があることが確認できた。

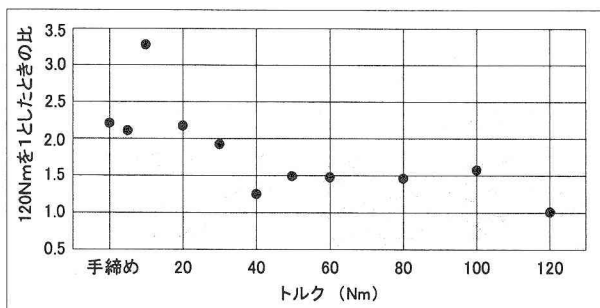


図-6 120Nm を1とした時の2,000-3,000Hz のスペクトル比のトルクによる変化

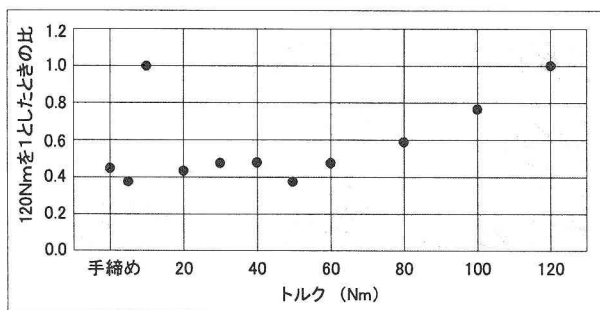


図-7 120Nm を1とした時の5,000-6,000Hz のスペクトル比のトルクによる変化

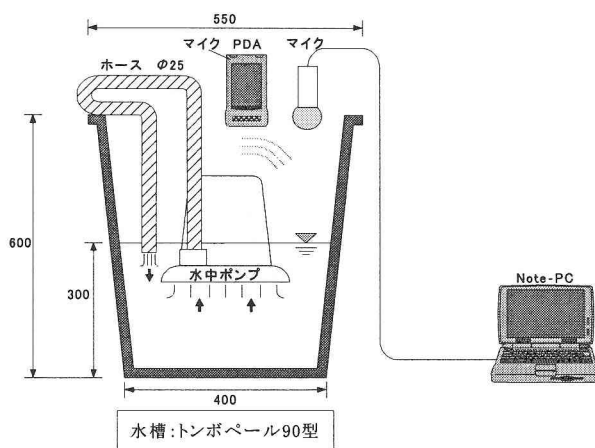


図-8 水中ポンプ動作音収録実験装置

フーリエスペクトルの合計値が増減する周波数帯は、対象とする構造物の各種特性により異なると考えられる。そこで、こうした実験を多くの供試体や実構造物を対象に行い、データを蓄積することにより、より適切な指標を得ることができるものと考えられる。

4. 水中ポンプ実験

4.1 水中ポンプ実験の方法

本研究では、図-8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じ取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。音

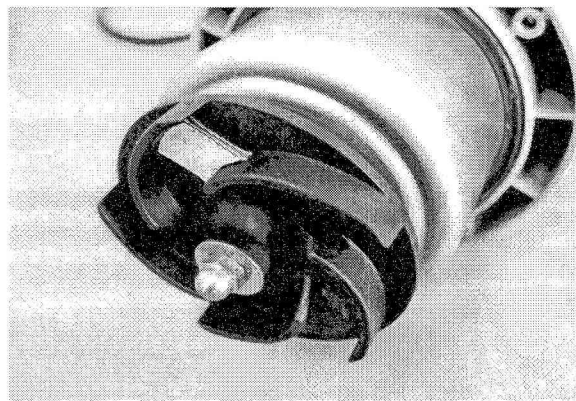


図-9 水中ポンプの羽根と羽根の間にゴム板を貼り付けた状況 (羽根1枚目)

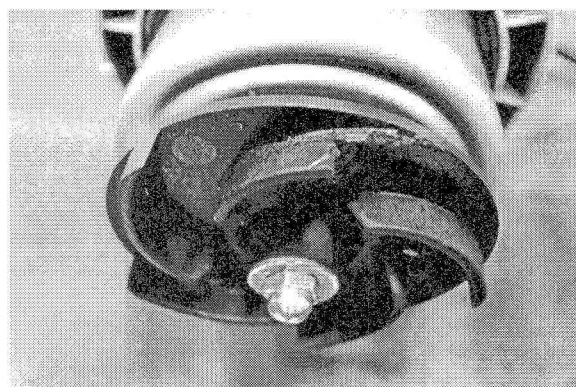


図-10 水中ポンプの羽根の一部を破損させた状況 (1枚目 1/3)

響測定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、羽根の一部を少しずつ破損させていながら、動作音データを採取した。マイクは、図-8に示すように、水槽の上部端付近において手で保持した。水中ポンプは、RYOBI, RMG-3000 (出力0.15kW, 最大吐出量110 l/分) である。

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-9)、動作音を記録し、さらにゴムを重ねて貼り付けでは、動作音を記録した。3枚重ねると羽根と同じ高さになるので、さらに別の水のルートにゴム板を貼り付けて、実験を繰り返した。

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-10に示す。

4.2 水中ポンプ実験の結果

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

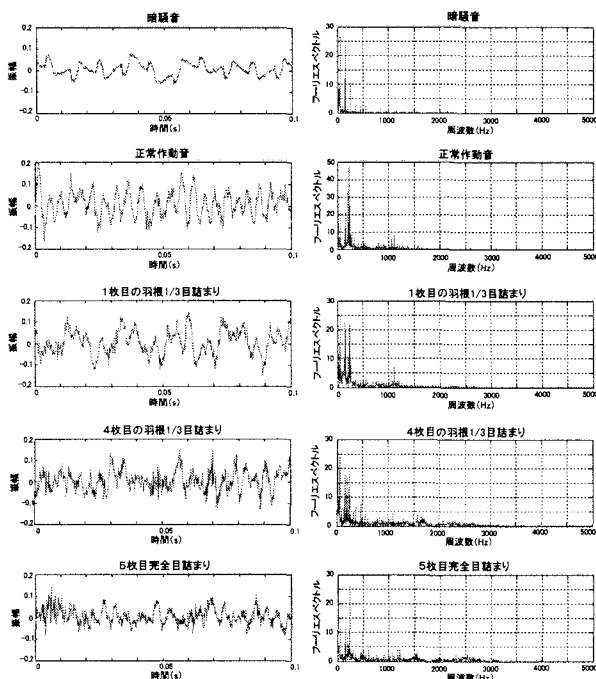


図-11 水中ポンプを目詰まりさせた場合の動作音の波形とフーリエスペクトル

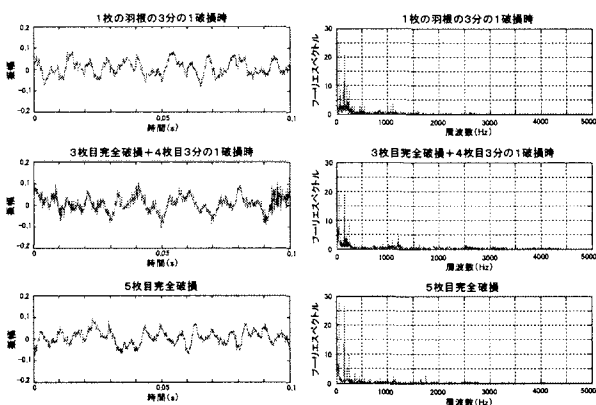


図-12 水中ポンプ羽根を破損させていった場合の動作音の波形とフーリエスペクトル

+ 4枚目 3分の1破損時, 5枚完全破損時について図-11, 12に示す。暗騒音, 正常動作時は2ケースとも同様である。

図-11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, 雑音混じっていくように聞こえた。

図-12より, 破損させるケースでは, 3枚完全破損+4枚目 3分の1破損時では波形が乱れ不規則になっているが, 5枚完全破損時には, 波形にあまりノイズ成分がないことが確認できる。同様にフーリエスペクトルにおいて

表-3 周波数帯0-500Hzのスペクトル合計値を1とした場合の他の周波数帯の比(目詰まり)

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	0.18	0.11	0.07	0.03
正常時	1.00	0.19	0.10	0.04	0.01
羽根1枚目1/3	1.00	0.22	0.14	0.07	0.02
羽根1枚目2/3	1.00	0.22	0.13	0.07	0.02
羽根1枚目3/3	1.00	0.20	0.15	0.08	0.02
羽根2枚目1/3	1.00	0.38	0.19	0.10	0.03
羽根2枚目2/3	1.00	0.37	0.26	0.15	0.03
羽根2枚目3/3	1.00	0.30	0.27	0.15	0.03
羽根3枚目1/3	1.00	0.26	0.22	0.14	0.02
羽根3枚目2/3	1.00	0.28	0.24	0.16	0.02
羽根3枚目3/3	1.00	0.47	0.45	0.33	0.04
羽根4枚目1/3	1.00	0.32	0.32	0.22	0.02
羽根4枚目2/3	1.00	0.32	0.19	0.11	0.02
羽根4枚目3/3	1.00	0.32	0.40	0.19	0.03
羽根5枚目1/3	1.00	0.31	0.55	0.12	0.03
羽根5枚目2/3	1.00	0.41	0.53	0.20	0.03
羽根5枚目3/3	1.00	0.35	0.78	0.32	0.04

表-4 表-3からさらに正常値の各周波数帯のスペクトルの合計値を1とした場合の他のケースの比(目詰まり)

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	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	1.96	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

も5枚完全破損時には高い周波数成分は少ない。これは, 水車の羽根が5枚全て破損している状態のため, 実験装置内の水の回転が弱くなったためと考えられる。耳で聞いても, 5枚完全破損時には音は小さくなった。

4.3 ポンプの劣化を感知する指標

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(表-3)。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っていくので, 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-4)。

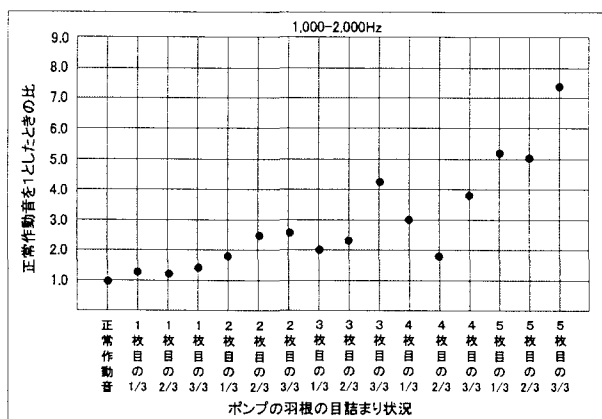


図-13 ポンプの羽根の目詰まりによる周波数帯1,000-2,000Hzのスペクトルの合計値の正常値を1とした時の比の変化

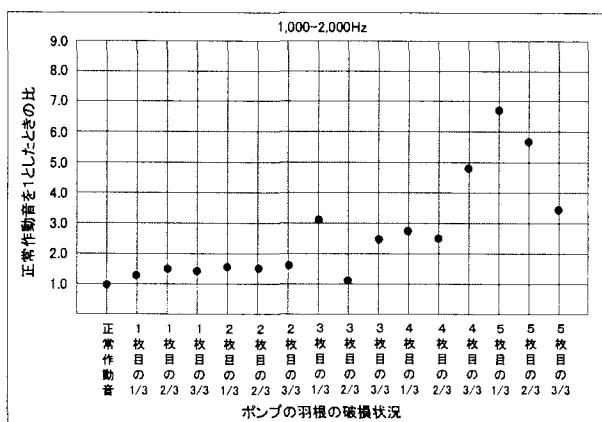


図-14 ポンプの羽根の破損による周波数帯1,000-2,000Hzのスペクトルの合計値の正常値を1とした時の比の変化

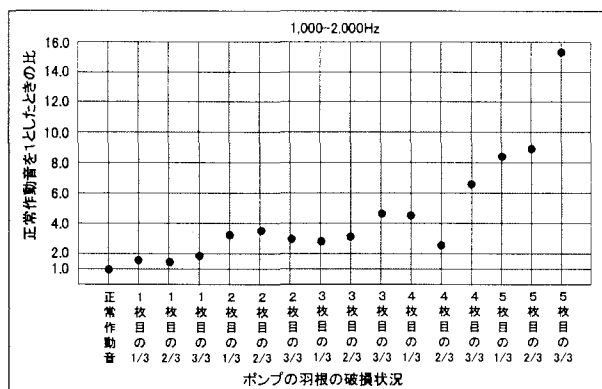


図-15 図-14と同じケースでスペクトルから暗騒音分の成分を取り除いた場合

表-4 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-13に示す。同様に、徐々に羽根を破壊するケースの1,000-2,000Hzの周波数帯の変化を図-14に示す。

図-13, 14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。羽根を破損させるケースでは4枚完全破損+5枚の羽根の3分の1破損からは減少傾向であった。この実験に用いた実験装置では、

$$A/N > 2.0$$

ここに、

A: 周波数帯 0-500Hz と 1,000-2,000Hz の異常作動音のフーリエスペクトル合計値の比

N: 周波数帯 0-500Hz と 1,000-2,000Hz の正常作動音のフーリエスペクトル合計値の比

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。但し、この指標は、実験に使用した水中ポンプ固有のものであり、さらに揚程等により回転数も変化するため、変わる可能性はある。しかし、人間の耳で聞いた時の感覚に近いものであり、手法として提案するものである。

4.4 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。

羽根を目詰りさせるケースにおいて暗騒音を取り除いたフーリエスペクトルの比(図-15)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-13)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。

5. 音響データベースによる診断方法について

音響データベースは、ダムや発電所を管理している地方事務所で単独に開発・運営していたのでは、データ量の蓄積が乏しく、有効に利用できるようになるためには相当な年月が必要になる。一方、地方事務所の上位に位置する中央でこうしたデータベースを管理・運営することは煩雑である。

そこで、各地方の管理事務所で管轄するいくつかのダムや発電所において音を採取し、音響データベースを運営しながら、他の事務所のデータベースとも連携をとれる、ネットワーク構造のデータベースにすることが、運営上も管理上も望ましいことから、我々は図-16に示すような診断システムモデルを提案する。

点検員は、PDA 又は携帯パソコンを携行して現場に行き、各種の音響データを採取し、管理事務所の音響データベースに蓄える。また、水中ポンプ等の機器類のそばにパソコンを置き、一定時間おきに、10秒間程度の音を収録

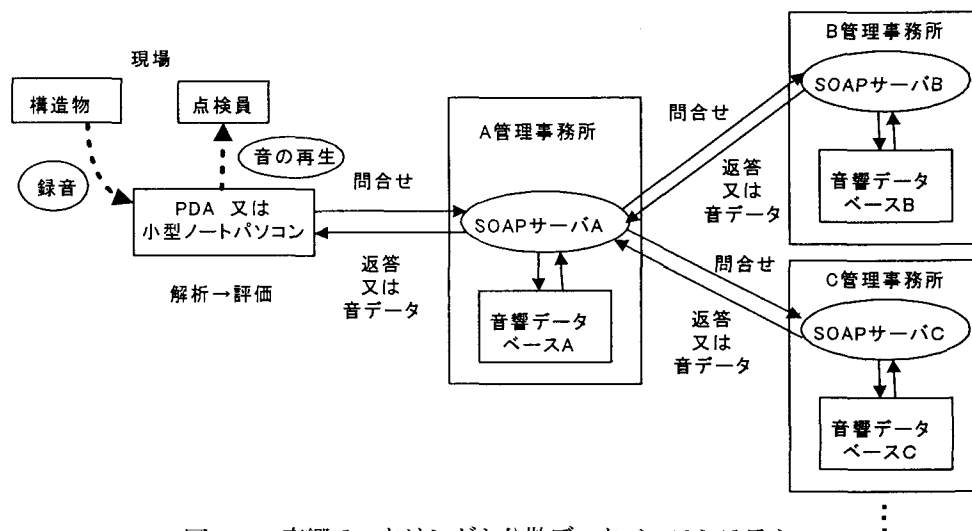


図-16 音響モニタリングと分散データベースシステム

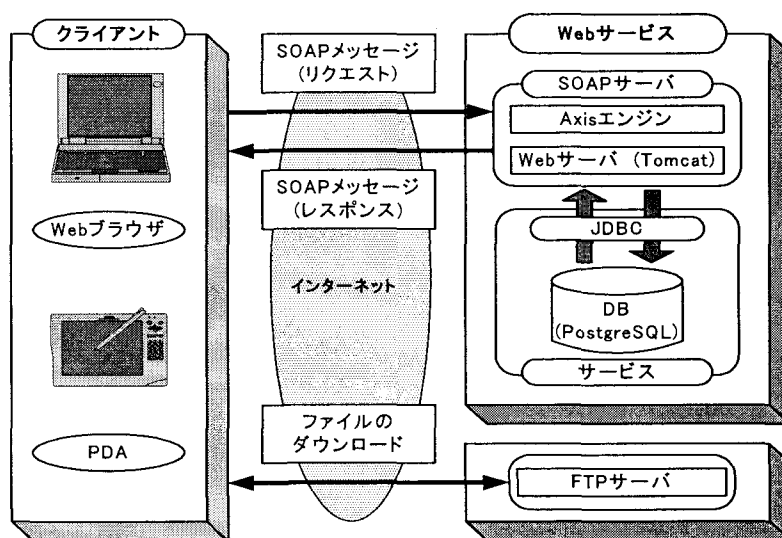


図-17 SOAPによるWebサービスを用いた音響データベースシステム

し、音響データベースに自動転送し、音データの蓄積を図ることにより、現場で何か異常な音を感知した場合、音響データベースから以前の音を問合せ、聞き出すことが可能となる。さらに、他の管理事務所が管轄している施設における音響データも検索することにより自動的に転送してもらえるようになる。また、ネットワーク内にいる研究所では、全ての音響データを容易に集約し、波形解析等を実施することにより、劣化状況と音の変化を解明することが可能になると考えられる。

音響データベースは、組織や事務所により、データ構造や、ハード、ソフトが異なることが考えられるが、SOAPを用いたWebサービス機能と適切なプログラムにより容易にデータのやり取りが可能である。

6. 音響データベースシステム

6.1 データベース

本研究で開発する音響データベースには、音を採取した日時、対象物、場所、点検者名、及び音のデジタルデー

タファイルを保管してある場所（URL）の5つのデータを蓄積することとした。データベースとしては、リレーショナルデータベースを採用し、実装にはフリーでオープンソースである PostgreSQL¹⁰⁾をDBMS（Database Management System）として使用した。また、OSには、汎用性、安全性等を考慮してLinux¹¹⁾を使用した。

また、SOAPサーバからデータベースへのシステムコールを行うための手段としてJavaのライブラリ群であるJDBC（Java Database Connectivity）を使用した。JDBCは、Javaアプリケーションから使用するJDBCドライバマネージャと、DBMSに依存するJDBCドライバとを分離することにより、DBMSベンダに依存しない環境を提供できる。

さらに、本データベースでは、音のデータファイルが保管されているURLから、クライアントはFTP（File Transfer Protocol）により音ファイルを取得することができる。

6.2 Webサービス

インターネット上の異なるコンピュータに存在する複数の異なるオブジェクト（プログラム）間において、シス

テムの連携を図る方法として、分散オブジェクト技術がある。その代表的なものとして、CORBA (Common Object Request Broker Architecture) と DCOM (Distributed Component Object Model) 等があげられる。しかし、これらの技術は、ある程度閉じられた世界での使用には向いているものの、セキュリティを確保しながら、データがファイアウォールを通過することは困難である。

Web サービスとは、分散オブジェクトを、特別な実行環境等を必要とせずに、Internet の標準のプロトコルやツールを使って実現するサービスであり、比較的安価に実装できるものである。また、オブジェクトの開発言語に依存しないため、既存のシステムを活用できる。さらに、オブジェクト間にファイアウォールが存在してもデータを通過させることができる。Web サービスを可能としたのは、XML と XML を基礎とした SOAP である。

SOAP とは、ネットワーク上の離れた別のコンピュータにあるプログラムを動作させるために行う RPC (Remote Procedure Call) や、XML によって記述されたメッセージの交換を行うためのプロトコルである。メッセージ交換には、SOAP メッセージと呼ばれる一定の形式に従った XML に記述されたメッセージを通信手段に用いる。XML はテキストデータであるため、特定のプログラミング言語やプラットフォームに依存せず、簡単で柔軟性が高い。

本研究では、Web サービスを図-17 に示すように実装した。Web サービス内には、SOAP サーバがあり、外部と SOAP メッセージのやり取りをしながら、内部のデータベースとの間でデータのやり取りを行う。システム動作環境として、Java プログラムには Java 2 SE SDK 1.4.0、サーバ環境に Jakarta Tomcat 4.1.18、Web サービス実行・開発環境に Apache Axis 1.1 beta を使用した¹²⁾。

6.3 音響データベースの動作

開発した音響データベースを用いて、本学内において、クライアントのパソコンからサーバへ、検索条件を SOAP メッセージとして送り、データベースでの検索結果をクライアントに返すという動作の確認を行った。

本システムでは、このクライアントへのレスポンス SOAP メッセージの中にある URL から、自動的に該当する音データを FTP によりダウンロードし、再生させることができた。

7. まとめ

本研究では、音による診断の対象として、ボルトの打音及びダムや地下発電所等で用いられる水中ポンプの動作音を取り上げ、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使用可能であることがわかった。

しかし、点検業務に音響診断を本格的に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。そこで、PDA や携帯パソコンを用いてポンプの動作音を収録し、インターネットを通じて、管理事務所に音響データベースを構築し、Web サービスを用いて、現場で過去の音データの検索や再生を行うことにより、音響による異常診断を行うシステムモデルを開発し、プロトタイプシステムを構築した。データベースは異なる複数のシステムに分散していることを想定し、分散音響データベースとした。

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。

参考文献

- 1) 小林健二：音・振動による診断工学，コロナ社，2000.
- 2) 小幡卓司，植田康平，林川俊郎，佐藤浩一：鋼橋の損傷同定における音響データの適用性に関する一考察，鋼構造年次論文報告集，Vol.8, pp.611-616, 2000.
- 3) 小幡卓司，植田康平，林川俊郎，佐藤浩一：1/f ノイズ特性に基づいた鋼橋の損傷同定に関する研究，鋼構造年次論文報告集，Vol.9, pp.569-574, 2001.
- 4) 小幡卓司，植田康平，宮森保紀，林川俊郎，佐藤浩一：鋼橋の損傷同定における音響モニタリングの適用に関する基礎的研究，応用力学論文集，Vol.5, pp.827-836, 2002.
- 5) 矢吹信喜，植田国彦，小谷隼：設備診断を目的とした Web サービスによる遠隔音響情報データベースの構築，土木情報利用技術論文集，Vol.12, pp.257-264, 2003.
- 6) 矢吹信喜，植田国彦，小谷隼：Web サービスを用いた音響データベースによる水中ポンプ類の診断方法，日本機械学会第 8 回運動と振動の制御シンポジウム講演論文集，No.03-8, pp.411-415, 2003.
- 7) SOAP: <http://www.w3.org/TR/2002/WD-soap12-part0-20020626/>
- 8) S. Wu, A. Lee, G. Aouad, and C. Fu: Web Services for Crime Deterrent Design Knowledge, CIB w78 Conference, Waiheke Island, New Zealand, pp.456-462, 2003.
- 9) MatLab: <http://www.mathworks.com/index.shtml>
- 10) PostgreSQL: <http://www.postgresql.org/>
- 11) Linux: <http://www.linux.org/>
- 12) Jakarta Tomcat: <http://jakarta.apache.org/>

(2004 年 4 月 16 日 受付)