

河川用ポンプ設備の渦電流式変位計による主軸振動解析

(待機系設備への適用性)

Main Shaft Vibration Analysis by Eddy Current Displacement Meter of River for Pumping System

(Applicability to Standby Equipments)

○ 武田 直人^{*1} (国交省関東技術)

木戸口 充^{*1} (国交省関東技術)

Naoto TAKEDA^{*1}, Mitsuru KIDOGUCHI^{*1},

^{*1}Equipments Engineering Section, Kanto Engineering Development Office, Kanto Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 6-12-1 gokounishi, Matsudo City, Chiba Pref. 270-2218

Key Words: River for pumping system, Eddy current displacement meter, Vibration, Condition-Based Maintenance, Diagnosis

1. はじめに

河川用ポンプ設備は、浸水被害から我々の生命・財産を守る社会インフラであり、普段休止にありながら台風等の非常に激しい雨が降った際には、確実にポンプ排水を行うべき待機系設備である。

確実にポンプ排水を行うには、設備の万全な保全が必要となるため、設備管理者は年点検・月点検と主要機器の定期整備による「時間計画保全」を基本として採用している。この保全方式は、全ての機器に対して確実に整備を行えるメリットが大きいが、設備内部の劣化の有無に関わらず定期的に整備を行うため、経済的に不利な場合がある。

近年では、公共施設に対しても無駄のない公共事業投資が求められていることから、この先、老朽化施設の増大により維持管理費が逼迫することや施設老朽化による信頼性低下の事態が懸念されると想定できる。

このまま「時間計画保全」のみに頼っていると、予想外に設備内部の劣化が進んだ故障を見逃す可能性もあるため、「状態監視保全」の適用を拡大するニーズが高まっている。

したがって、待機系設備である河川用ポンプ設備の保全においては、設備内部の劣化の有無を見極めることに有効な技術として、渦電流式変位計による主軸振動を解析する診断技術を採用することが考えられる。

この技術は、民間工場の常用系設備では活用が進んでいるが、待機系設備である河川用ポンプ設備では普及しているとは言えない状況である。

しかし、2010年度(H22年度)に国立研究開発法人土木研究所によって待機系設備の河川用ポンプ設備においても、主軸、水中軸受、羽根車、減速機の劣化診断に対する適用性が示された⁽¹⁾。

本技術が、河川用ポンプ設備に普及させることができれば、これまでの目視や稼働データを見て、時間計画保全の補助的な検討材料としていた状態監視から、設備の状態により整備時期を判断する「状態監視保全」の適用範囲を拡大できる。また、劣化の進む設備の早期対処や不急な定期整備の回避を行うことによって、社会資本の整備計画にメリハリをつけることが可能となり、設備の保全に必要な維持管理費の予算削減にもつながると考えている。

本報告は、国土交通省関東地方整備局管内における待機系設備の河川用ポンプ設備に対して実施した渦電流式変位計を用いた主軸振動解析による診断事例を基に、今後の適用方針についてまとめたものである。

2. 振動測定による診断技術

2.1 年点検で実施されている診断方法と課題

従来から年点検等で行われている診断方法は、ポンプ等のケーシング部の変位を加速度計により測定する方法である(Fig.-1)。

測定した数値は、ポンプメーカーが設定した閾値を睨みながらグラフ化してデータの経年変化を観察することにより、設備の異常等を推定する。これは通常、簡易診断と言われる手法である。この手法には2つの課題がある。

1 つは、河川用ポンプ設備の主軸の回転周波数は2~10Hz程度までの低速回転が殆どであり、加速度計の測定に適する1,000Hz以上の周波数に比べ、低い適用範囲であること。

2 つめは、ポンプ本体のケーシングを介しているため、主軸、水中軸受及び羽根車の挙動を示す主軸自体の振動を計測していないことである。この方法だけでは、設備内部の劣化傾向を完全に把握することは困難であり、計測値が閾値を超えなくても、既に故障状態に進んでいることもあり得る。

そこで、主軸の異常、水中軸受の摩耗及び羽根車の劣化など状況を把握するためには、回転に伴う主軸の変位を直接測定し、なおかつその変位量の時間領域波形から振動の周波数を詳細に解析する診断方法である渦電流式変位計を用いた診断方法を選択する必要がある。



Fig.1 加速度計による測定方法

2.2 渦電流式変位計を用いた診断方法

渦電流式変位計を用いた診断方法は、振動波形及びその周波数分布を解析することにより、劣化傾向の把握と劣化部位の特定をするものである。

渦電流式変位計センサ部の測定位置 (Fig.2) と設置状況 (Fig.3) を示す。測定は、主軸が露出している箇所で行い、平面的な主軸の動きを把握するため2つのセンサを用い2軸測定 (設置角90°) を行う。

診断は、振動波形と周波数分析結果を用いて、ポンプ等の回転機械における診断の参考として、一般的な振動数成分と振動原因の関係 (Table 1) に示される振動数成分を比較し振動原因を推定するとともに、回転周波数成分、羽根車周波数成分及びケーシング形状に起因する振動成分の分析も行った。

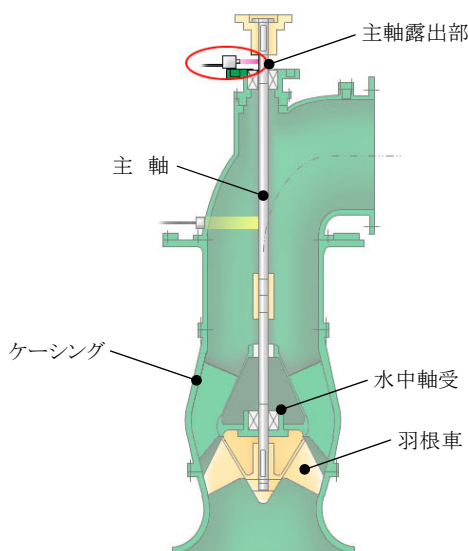


Fig.2 渦電流式変位計センサ部の測定位置⁽²⁾.



Fig.3 渦電流式変位計センサ部の設置状況

3. 測定システム

測定に使用する機器は、センサ設置架台 (マイクロゲージ+マグネットスタンド)、渦電流式変位計、データロガ、振動波形表示装置で構成される。次に機器構成と接続方法の事例を示す (Fig.4)。

振動波形表示装置は、測定波形をリアルタイムに把握しノイズの有無やセンサ設置架台 (マグネットスタンド) の振動による「ずれ」の有無等を確認できるようにした。本装置は、パソコンと市販アプリケーションを用いて安価に組み上げている。

測定したデータは、Fig.4に示すとおり持ち運びが可能な様に可搬式ユニットとしていることから、河川用ポンプ設備である各排水機場から持ち帰って解析をしている。

Table 1 振動原因とそれによって生じる卓越振動数 (因果マトリックス) ⁽³⁾

原因 現象	振 動 数 成 分															
	低周波 振 動	回転成分								軸危険速度			かみ合い振動			音響領域振動
		0.3～0.49 X	0.5 X	0.51～0.99 X	X	2X	3X	高次X	ZX	1次	2次	3次	f _G	2f _G	3f _G	
アンバランス					***											
軸受ミスアライメント					**	**	*	*								
ミスカップリング					***											
軸クラック					***	***	*	*							*	
軸非対称剛性						***										
がた・非線形		*	**	*	*	*	*	*								
接触	*	*	*	*	*					*	*	*			***	
転がり軸受損傷															***	
オイルホワール		***	*	***	*											
オイルホイップ										***						
スチームホワール /ホイップ		***	*	***						***						
電磁振動															***	
歯車偏角						*							***	*	*	
歯車損傷													***	*	*	
翼通過振動									***							
サージング	***															
旋回失速		***													*	
ドラフトコア		***													*	
キャビテーション															***	

X: 回転周波数

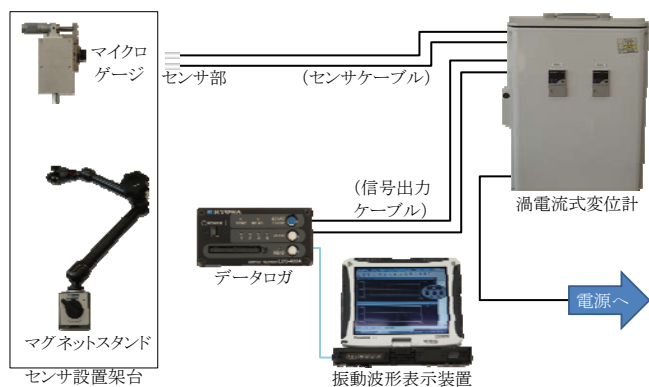


Fig.4 機器構成図と接続方法の事例

4. 診断結果並びに考察

関東地方整備局管内における待機系設備の河川用ポンプ設備において、これまで実施した主軸振動解析による診断の2事例を紹介する。主要設備要目をTable 2に示す。また、各排水機場のポンプ構造断面図をFig.5～6に、測定位置を赤○で示す。

Table 2 主要設備要目

施設名	形式	吐出量 (m^3/s)	口径 (mm)	回転数 rpm (Hz)	羽根車 の枚数
A排水機場	立軸斜流	2.5	1,000	264 (4.4)	5
B排水機場	立軸渦巻斜流	50	4,600	74 (1.23)	5

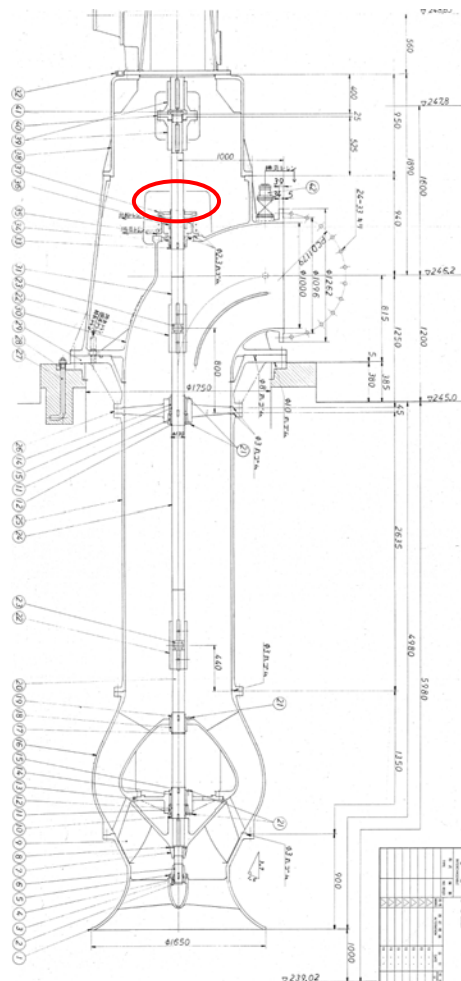


Fig.5 A排水機場のポンプ構造断面図

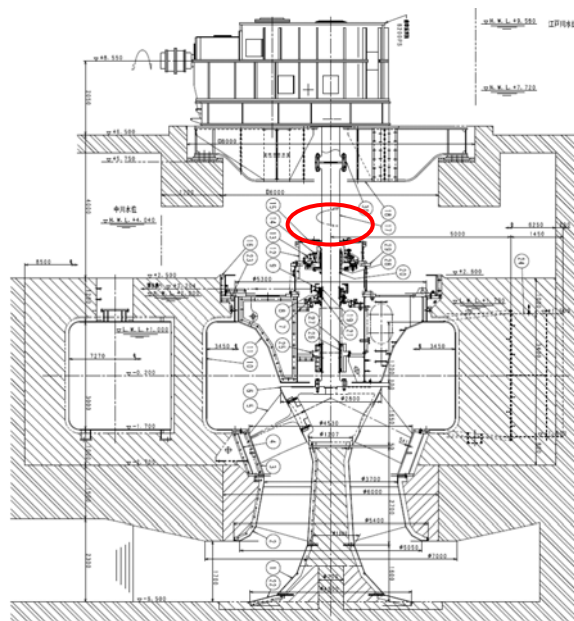


Fig.6 B排水機場のポンプ構造断面図

4.2 A排水機場

A排水機場は、標準的な規模と形式のポンプであり、同様のポンプ設備は多いことから、振動による状態監視技術確立のメリットは大きい。計測した振動波形及び周波数分析結果をFig.7～12に示す。

この結果から、当該設備の状態は次のとおり推定することが出来る。

- これまでの斜流ポンプにおける測定事例では、羽根車の整備（腐食や欠損部の補修、バランス調整等）前後で計測値を比較すると、振動波形の振幅（P-P値）は小さくなり、回転周波数の倍数成分（特に羽根車成分）も低下するケースが多い。
- A排水機場のケースで、振動波形は整備前（Fig.7）に比べて整備後（Fig.8）の方が正弦波に近づいている、並びに、周波数分析結果では整備前（Fig.9）に比べて整備後（Fig.10）の羽根車周波数成分が低下した状態となっている。そのため羽根車の整備効果は現れているといえる。
しかし、振動波形は整備前（Fig.7）に比べて整備後（Fig.8）のP-P値が高くなっている、並びに、周波数分析結果では整備前（Fig.9）に比べて整備後（Fig.10）の回転周波数成分が突出している。そのためポンプ起動時の振動波形と周波数分析結果を確認した。
その結果、振動波形（Fig.11）はP-P値が大きく、周波数分析結果（Fig.12）は、回転周波数成分が整備後（Fig.10）と同様に突出している。そのため主軸曲がりが発生している可能性があることが分かった。
よって、今後はこの成分の変化で主軸の異常箇所を推定していく。
- 整備工事からこれまでの間に、何らかの原因で主軸に異常を来したと考えられる。現在、ポンプメーカーを交え原因究明と今後の対応について検討を進めているところである。

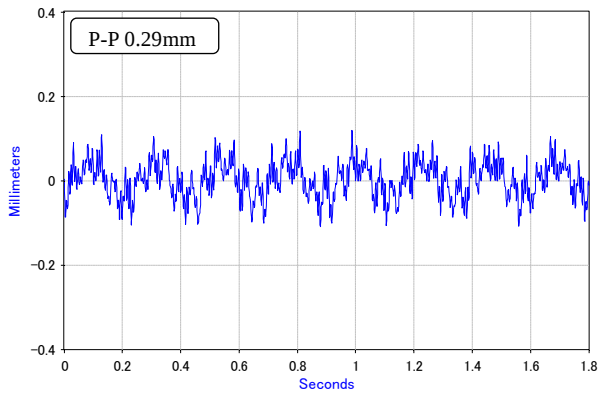


Fig.7 振動波形（整備前）

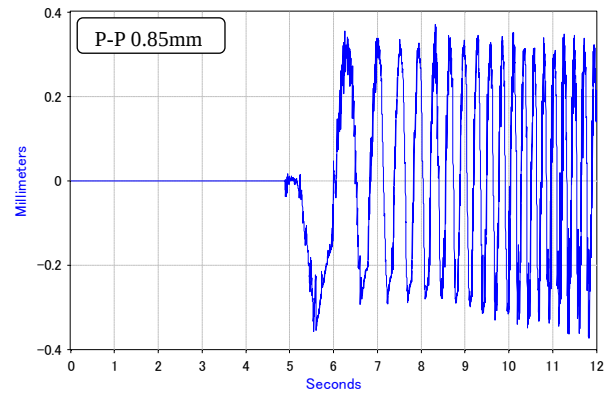


Fig.11 振動波形（整備後）ポンプ起動時

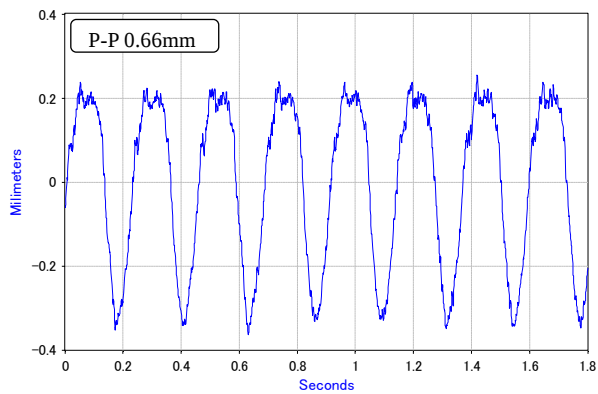


Fig.8 振動波形（整備後）

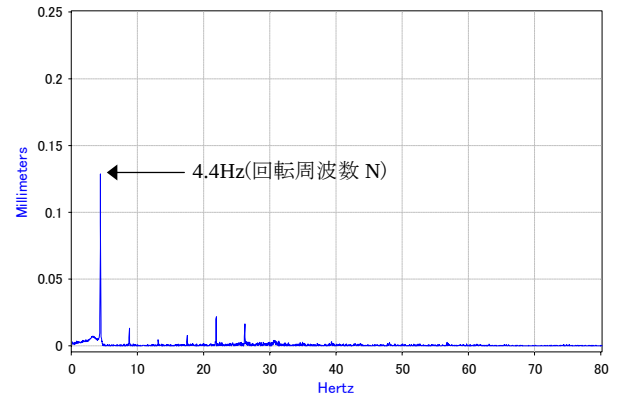


Fig.12 周波数分析結果（整備後）ポンプ起動時

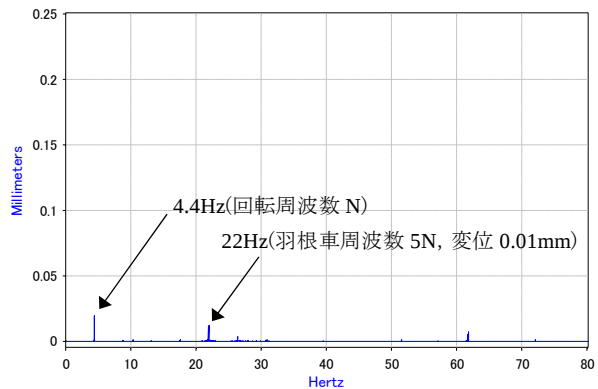


Fig.9 周波数分析結果（整備前）

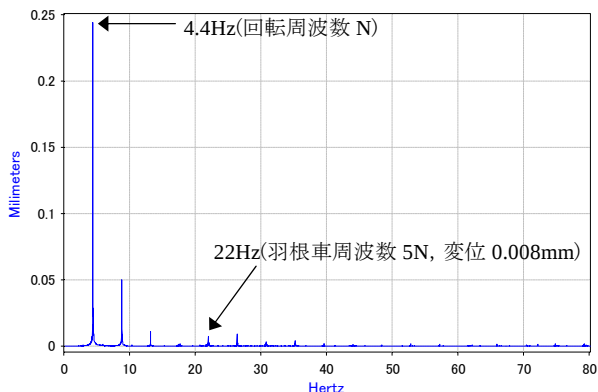


Fig.10 周波数分析結果（整備後）

4.1 B排水機場

B排水機場は大型のポンプでコンクリートケーシングであることから羽根車等の分解整備は多額に費用を要するうえ、点検において目視確認ができないため振動測定による状態監視保全の導入効果は大きい。計測した振動波形及び周波数分析結果をFig.13～14に示す。

この結果から、当該設備の状態は次のとおり推定することが出来る。

- ・ 振動波形は、回転が遅いにも関わらず波形が細かい (Fig.13)。これはケーシングの形式がダブルポリュートになっているからと考えられる。
ダブルポリュートの場合は、水の吐き出し口が2箇所あるため、シングルポリュートの場合よりも羽根車で汲み上げる水がケーシングにぶつかる箇所が多くなり振動波形も細かくなると考えられる。
- ・ 周波数分析結果は、一般的に主軸のアンバランスを示すと言われている回転周波数成分と、羽根車の状態を示すと言われている羽根車周波数成分及びその2倍成分が顕著になっている (Fig.14)。ただし、土木研究所の過去の解析事例によると、これらの傾向は設備の劣化に関係なく、ケーシングがダブルポリュートのときに認められるという見解が示されている。
よって、今後はこの成分の変化で羽根車の劣化を推定していく。
ダブルポリュートの平面図をFig.15に示す。

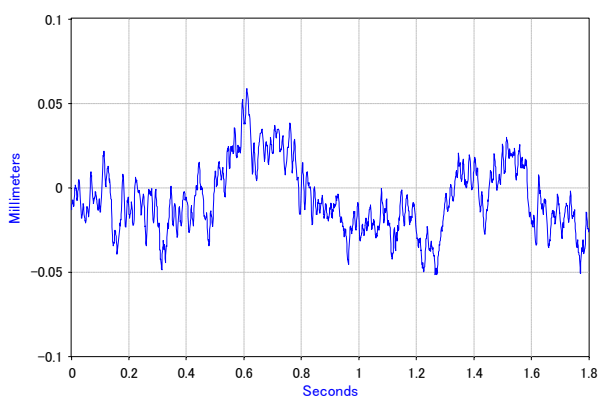


Fig.13 振動波形

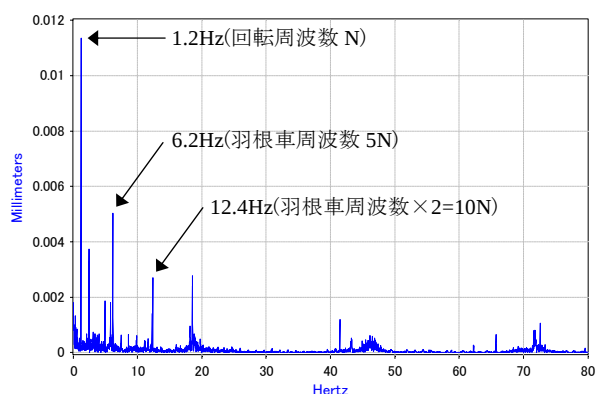


Fig.14 周波数分析結果

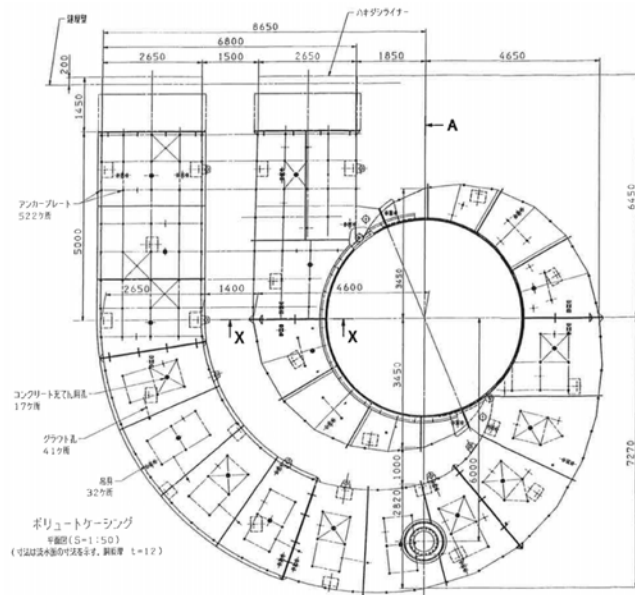


Fig.15 ダブルボリュートケーシングの平面図

5. まとめ

今回実施した診断結果から得られた知見をまとめると、次のとおりである。

- ・河川用ポンプ設備のような待機系設備に対しても、渦電流式変位計を用いた振動波形及び周波数分析結果から主軸の異常箇所や羽根車の劣化を推定できる可能性がある。
- ・振動波形の変化を継続して確認することで、適切な整備時期を判断できる可能性がある。
- ・周波数分析結果によっては、先のTable 1に示した一般的な振動数成分と振動原因に当てはまらないケースもある。これは、内燃機関で駆動するなど、河川用ポンプ設備の構造が多様であることが影響している。
- ・今後は振動解析データから予測した劣化状態と、実際の分解整備時の設備状態等との因果関係を把握することや、分解整備前後の振動解析データの変化を確認することにより、解析方法の精度向上を図ることも重要となる。

以上より、待機系かつ低速回転機械である河川用ポンプ設備においても振動解析による設備内部の劣化傾向の把握が可能であると示すことができたと考えている。

しかし、未だ劣化兆候と実際の設備状態との因果関係を把握したデータに乏しい状態であり、今後はより多くの事例の調査を行いデータの蓄積と更なる検証を重ね、状態監視保全技術の向上を図る予定である。

謝辞：本資料をまとめるにあたり、国立研究開発法人土木研究所技術推進本部先端技術チームには現場での測定指導及び設備診断技術につきまして、多大なご協力を頂きました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。

文献

- (1) 藤野健一, 田中義光, 山元弘, 林輝, 河北憲治: 河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究, 土木研究所報告 No.217, pp.67-119, 2011.2
- (2) 藤野健一, 竹田英之, 上野仁士: 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論文集・梗概集」, 2012.11
- (3) 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)【第 2 版】, pp.177-179, 2010.6