

渦巻ポンプインペラの固有振動数測定ならびに 加速度波形の積分

野 坂 弥 蔵*

Yazo NOZAKA

Measurement of Natural frequency of a Centrifugal Pump and Integral of Acceleration Wave Form

Abstract: It happens occasionally that the dynamically balanced impeller of a centrifugal pump produces awkward vibration and sound, which probably result from the elastic vibration of the impeller and housing of the pump. It is necessary to foresee the natural frequencies of them and not to operate the pump with the critical speed. This is a short report on measuring the natural frequencies and damping constant of 700 mm impeller of a centrifugal pump of double suction type, together with the method of integrating the acceleration wave form.

1 ま え が き

渦巻ポンプのインペラは動的釣合が完全でも運転中に異常な振動、騒音を生ずることがあり、その一因はインペラやハウジングの弾性振動と考えられるので、予めその固有振動数を知り共振速度を避けて運転しなければならない。一例として700ミリ両吸込渦巻ポンプのインペラの固有振動数と減衰定数の測定結果を報告し、併せて加速度波形の積分法について述べる。

2 測定方法

測定したインペラは粟村製作所製700/500耗両吸込渦巻ポンプ用のインペラで、片側8枚づつの羽根が外周のリムで連結された構造であって材質はSCS13、重量は約180kgのものである。これを図1に示すようにコンクリート床上に水平に置き、次の2通りの方法で加振した。

- 木槌で、軸孔の内側を半径方向に軽く1回たたく。
- 日本測器製513A型加振器を写真のように羽根の吐出口側の平坦部に当て半径方向に正弦波加振する。ただし、加振部と被加振部とは接触しているだけで接着してないので引張力は作用しない状態であった。

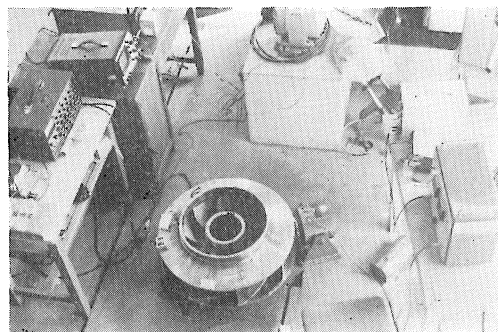
インペラの振動を検出するには、図2に示す測定点①~⑩に両面接着テープを使って抵抗線形加速度変換器を2個接着し、その出力を、電磁オツシログラフで記録した。2ヶ所の測定点の測定が終ると変換器を別の測定点

に移すというようにして13ヶ所の接線方向、半径方向および軸方向の振動加速度を記録した。変換器はいずれも新興通信工業製で1つは2G用のUA2型、他は5G用のBA5型で、いずれも周波数特性は80Hzまでは平坦でそれ以上の周波数ではゲインが下るものである。

3 測定結果

〔3-1〕木槌でたたいた場合の応答

図3に一例を示す。(a)、(b)とも接線方向(円周方向)の振動加速度で、(a)は測定点①、(b)は⑩のものである。(a)では最初の2~3波以外はほぼ22Hzの振動が現われ、(b)では122Hzが現われている。(b)から、図4に示すような複振幅 w_k ($k=1, 2, \dots$)を測り、横軸に w_{k+1} を、縦軸に w_k をとってプロットすると図5を得る。この直線の勾配 w_k/w_{k+1} を求め $w_k/w_{k+1} = \exp\left(\frac{\pi \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)$ より減衰定数 ζ を求めると $\zeta=0.03$ を得る。



* 島根大学教育学部技術研究室

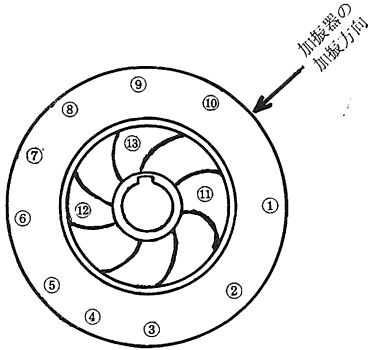


図2 加振方向と測定点の位置

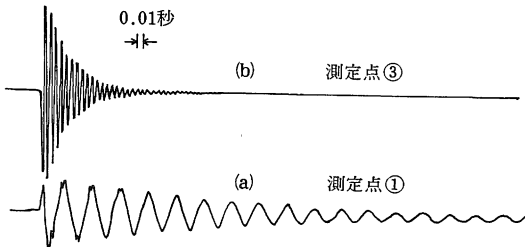


図3 木槌で叩いたときの測定点①と③の接線方向の減衰波形

木槌でたたく部位や測定方向を変えて同様な実験を繰返した結果を振動数別に分類したのが表1である。これで見るとどの方向にたたいても、測定点①では円周方向は22Hz、軸方向は122Hzの振動が卓越しており、測定点③では逆に円周方向は122Hz、軸方向は22Hzの振動が卓

測定点	たたく方向			
	左向き		右向き	
	円周方向	軸方向	円周方向	軸方向
①	22	122	22	始め 122 終り 22
③	122	22	始め 122 終り 22	22

表1 たたいた時に現われる振動数 (Hz)

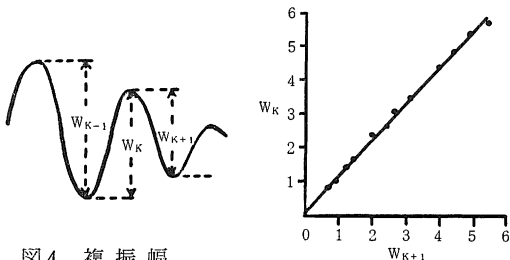


図4 複振幅

図5 相隣る複振幅の関係

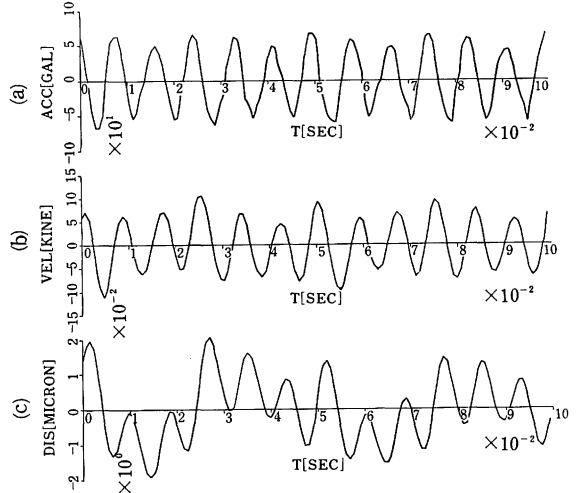


図6 40Hzで加振した時の測定点⑩の半径方向の振動越している。このことは、後述の加振器による実験結果と合せて振動モードを推定するのに利用される。

〔3-2〕加振器で加振した場合の応答

一例を図6に示す。(a)は40Hzで加振した場合の測定点⑩(羽根の上)の半径方向の振動加速度で振動数は122Hzである。(b)はそれを電子計算機で積分した速度波

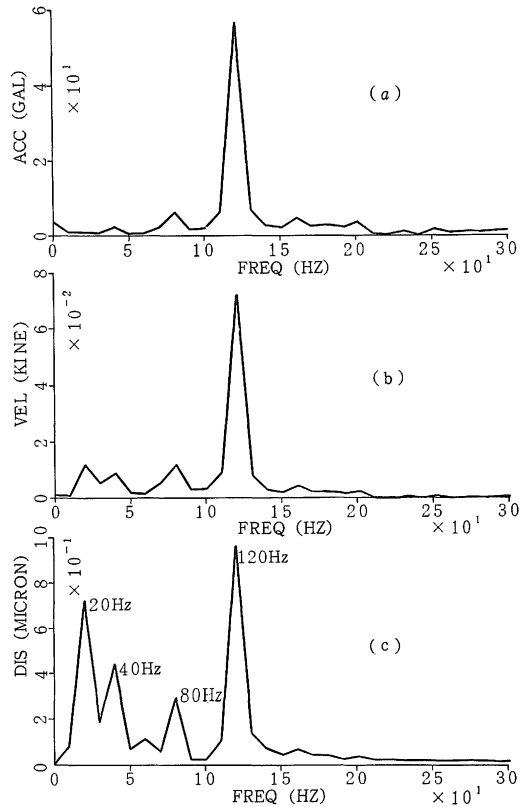


図7 図5の波形のフーリエ係数

形, (c)は更にもう一回積分して得た変位波形である。また図7の(a), (b), (c)は図6の(a), (b), (c)をそれぞれフーリエ解析した結果である。図7(c)を見ると, この振動の中には122Hzの他に約20, 40, 80 Hzの成分が可成り含まれていることが分る。これは素の加速度(図6(a))には一見現われていない情報であり, 速度や変位を求めることの重要さを示唆するものである。

この他色々な振動数で加振した結果を総合すると, 卓越した固有振動数は22と122Hzであるが, その他に31, 40, 60Hz成分も現われ易く, 例えば11Hzで加振すると11Hzの成分よりも22Hzや122Hzの成分が大きく現われるし, 22, 31, 40, あるいは60Hzで加振すると, それぞれの加振振動数成分と122Hz成分が現われ, 122Hzで加振すると122Hz成分だけが現われることが分り, ま

測定点	測定方向		
	円周方向	軸方向	半径方向
① ⑥	f	122	122
③ ⑨	122	f	f
② ④ ⑤ ⑦ ⑧ ⑩	f と 122	f と 122	f と 122

表2 加振器による加振時に現われる振動数 (Hz)

めると表2のようになった。表中 f と記したのは122Hz以外の振動数で22, 31, 40, 60などのことである。

4 加速度波形の積分について

〔4-1〕アナログ的方法

加速度波形をデータレコーダに記録し, これをアナログ計算機で組んだ適当な伝達関数の回路に入力して近似積分する方法がある。伝達関数としては

$$\frac{TS^2}{(TS+1)(S^2+2\zeta PS+P^2)}$$

などが使われる。⁽¹⁾

〔4-2〕デジタル的方法

加速度波形を適当な方法でAD変換し

$$\frac{S}{S^2+2\zeta PS+P^2}$$

で近似積分した報告がある。⁽²⁾

ところで試みに $x = e^{-2t} \sin 6t$ を $\frac{1}{s}$ に入れて積分すると出力 y は

$$y = 0.15 - 0.1581 e^{-2t} \sin(6t + 1.249)$$

となり, 直流分0.15が入る。数学的にはこれで正しいが x が加速度で y が速度とすると, $t \rightarrow \infty$ で $x \rightarrow 0$ となるのに, $y \rightarrow 0.15$ となるのはおかしいから, $y - 0.15$ を速

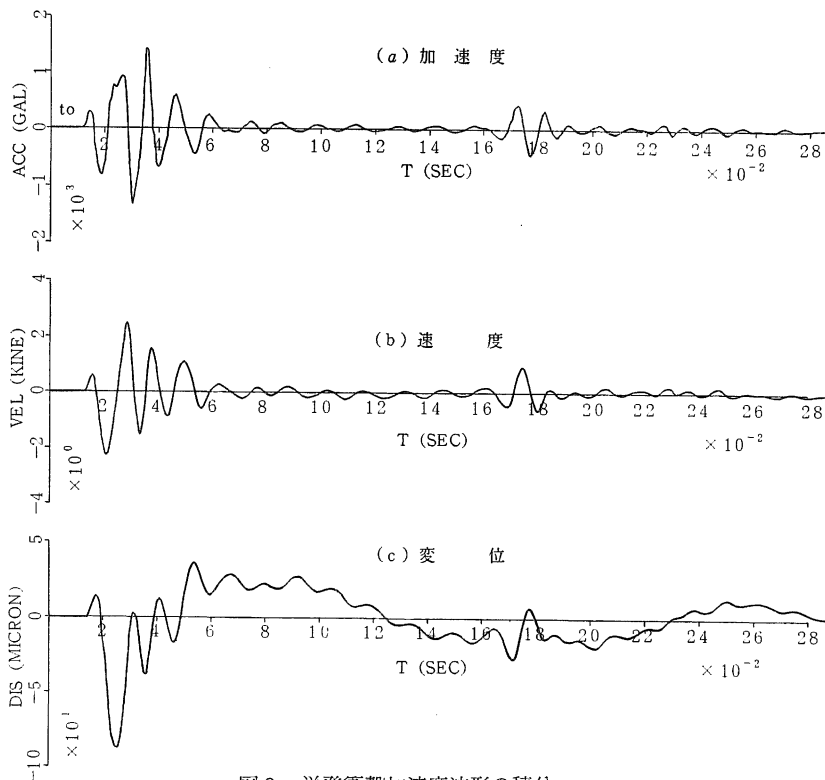


図8 単発衝撃加速度波形の積分

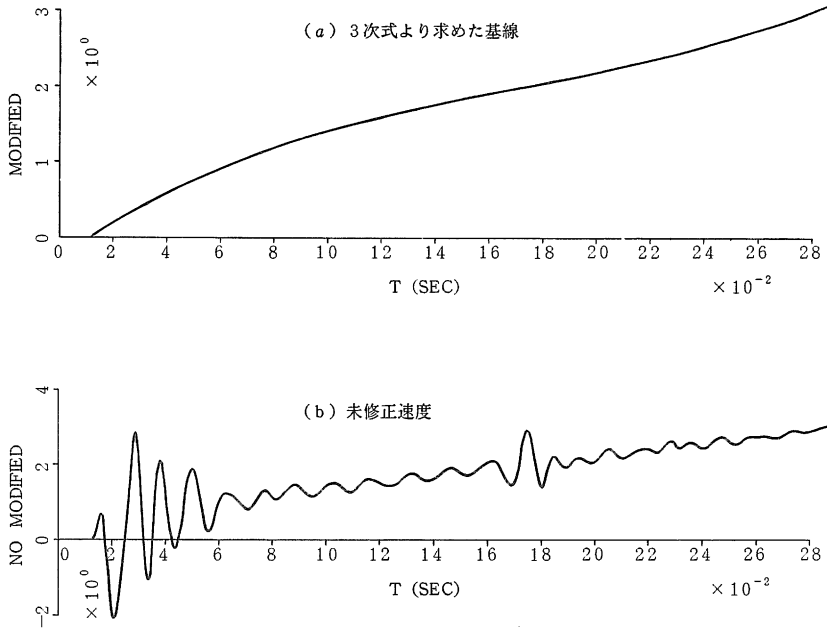


図9 未修正の速度と、修正に使われた基線

度と考えなければならない。これが基線の修正である。この他に現実の加速度の中には直流分やゆるやかな変動分なども含まれているから、それを積分すると速度の基線が時間と共にゆっくり変動する。前報ではこの変動を移動平均で近似し、未修正の速度からこれを差引いたものを速度としたが、単発の衝撃波形の場合に、 t が大きくなった時、0となるべき速度が0とならず満足すべきものではなかった。そこで今回は加速度を $\frac{1}{s}$ に入れて正しく積分した値を用いて3次式 $a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ の係数 $a_0 \sim a_3$ を最小自乗法で定め、この3次式の値を積分値から差引いたものを速度とすることにした。この速度を更に $-\frac{1}{s}$ に入れて積分すれば、今度は基線の修正をしなくても変位を求めることができた。この方法によれば周期性のある波形の場合は勿論、単発の衝撃波形の場合でも位相誤差もなく、また、近似積分やハイパスフィルタに基く不要の成分を含まない正しい速度と変位を求めることができる。実例を図8に示す。(a)は素の加速度、(b)、(c)はこの方法で求めた速度、変位である。また図9には図8の(a)を積分したままの未修正の速度と、修正に用いた基線を示してある。

(注1) 加速度は電磁オツシロの波形をオートプロセス製高速記録読取装置によって0.1mm精度で、時間間隔0.0008秒毎に読取って数値化した。

(注2) 衝撃波形の場合は、最初の立上りが起る前の水平部分(図8(a)で t_0 と記した部分)を少し読取って加速度の基線を定めなければならない。

5 結 び

- (1) 卓越固有振動数は22, および 122Hzであるが122Hzの方が現われ易い。この他にも31, 40, 60Hzの成分が現われることもある。振動モードはボスにあるキー溝を通る直径に関して左右対称で、測定点①と⑥とは同じモード、③と⑨とは同じモードである。
- (2) 減衰定数は0.03である。
- (3) 加速度波形を電子計算機で積分する場合、先ず正しく積分し、その結果生ずる基線の曲りは3次式によって修正すれば、次に積分して変位を求める時は、修正の必要はなく、どのような波形からでも位相ひずみの少ない速度や変位が得られる。

測定の機会を与えられた栗村製作所米子工場の門屋博工場長をはじめとした関係者諸士ならびに論文を送っていただいた中部電力総合技術研究所の山室誠氏、東大生産技術研究所の佐藤寿芳教授、たびたびプログラムの修正をしていただいた島大電子計算センターの堀江氏ならびに、XYプロッタ用の便利なサブルーチンを開発された技術研究室林講師に厚く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) Kohei Suzuki and Hisayoshi Sato: On a method to obtain displacement wave form from the record of earthquake acceleration 生産研究 22, 60—63 (1970)
- (2) 山室誠: 周波数領域を用いた積分手法について, 中部電力総研報告No.18 (1971)
- (3) 野坂弥蔵: 加速度波形の積分について 島根大学教育学部紀要 7 11—15 (1973)
- (4) 萩原尊礼: 振動測定 44頁 宝文館 (1960)