

振動計測の自動化について

鎌田輝男*・仲座禎久*

Automatic Data Processing in Vibration Measurement

Teruo KAMADA and Yoshihisa NAKAZA

ABSTRACT

Recent progress of computers in personal use enables us to collect a large amount of numerical data through the analog-digital converter in relatively low cost and to analyze them in reasonable speed.

To determine the dynamic characteristics of vibratory systems, vibration tests in steady state, such as model tests on the vibration table or the test to real structures excited by the exciting machine with rotating eccentric mass, are widely percecuted. From the amplification and phase characteristics to the exciting force, natural frequencies and damping ratios of the system are estimated. It is necessary to draw a resonance curve during the percecution of the vibration tests for the next adequate operation. Data processing technique using computers can analyze the numerical values from the transducers attached to the members of the test objects in fast and high accuracy.

In this report, we discuss real time data processing in vibration measurement using a personal computer with relatively low memory capacity. Computer programming technique written in assembly language, however, can reduce computation time drastically and the results of the analysis are shown graphically at once. Automatic data processing using a personal computer contributes greatly to get high accuracy of data analysis as well as the high efficiency.

キーワード：振動解析，定常強制振動，オンライン解析

1. まえがき

実験計測の現場において，データ解析の迅速さは常に要求される。特に，与えた条件（入力）に対する応答の変化（出力）を逐次計測しながら，次の条件設定を反復実行するような実験においては，計測の結果を直ちに，必要とする応答量に変換ないし換算し，状況を把握し易い形に図示することによって，その実験が適切に進行しているかどうかの判断を加えながら，実験を能率的に実行することが可能となる。

振動系の振動特性を検出するための定常強制振動実験即ち，共振試験はその一例であり，加振力の振幅と振動

数を制御しながら，計測される定常応答から共振曲線を作成し，そのピーク振動数から系の共振振動数を，また，共振振動数近傍の共振曲線の形状から，系の減衰特性を評価しようとするものである。そのためには，共振振動数近傍での定常加振を繰返し実行し，その都度，応答性状を計測し詳細な共振曲線を作成しなければならない。共振曲線は，定常状態にある加振振動数に対して，応答振幅あるいは，加振力に対する増幅率を図示するものであり，良好な精度を得るためには，ある時間あるいは波数に対する平均として振動数および振幅を評価することが望ましく，こうした作業をシンクロスコープやペン書

きオシログラフ等のように、応答波形として表示されたものに基いて行うことは、単に、面倒であるばかりでなく、読取り精度や、平均数の制限から、評価の精度に対しても限界があり、コンピュータを利用したデータ処理が必要とされる。

本報は、このような共振試験のデータ処理をいわゆるパーソナルコンピュータを利用して実現することによってデータ解析の自動化を計り、その有用性を実証するとともに、処理手法の限界について論じたものである。(株)テアック製PS-85というパーソナル、コンピュータとその周辺機器によって、データ処理システムが構成されているので、その手法が特定の機器に限定される面があるが、最近のパーソナルコンピュータの発展によって、演算速度やメモリ容量、グラフィック処理の容易さ等の点で優れたコンピュータ・システムが出現しており、それらに適用すれば、もっと高性能の解析処理システムの実現が可能であり、実験の制御と解析処理を総合したオンライン計測システムの作成も可能である。

2. 計測システムの概要

パーソナル・コンピュータPS-85を使用した計測システムはFig.1に示す通りである。PS-85は、CPUにZ80A(4MHz)を使用したいわゆる8ビット・マイクロコンピュータであり、標準メモリは64キロバイト構成

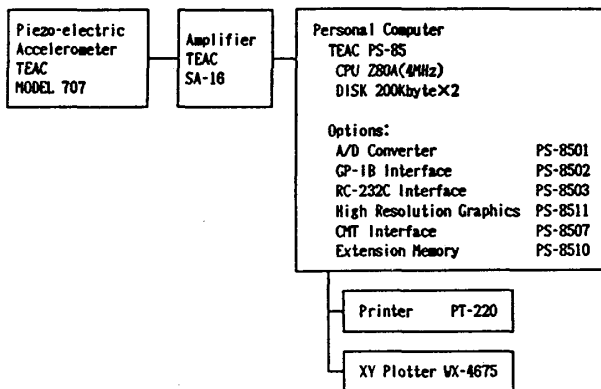


Fig.1 Block diagram of vibration measurement and TEAC PS-85 Personal Computer

である。本体はPhoto.1に示すように、ディスク装置とディスプレイ装置が一体化されている。標準仕様のディスプレイ装置は、単に64×16のキャラクタディスプレイであるので、高解像グラフィックボードを設置して、520×400ドットのグラフィック出力を可能としているが、これは、最近のパーソナルコンピュータと同程度の性能である。計測システムの主要部を構成するA/D変

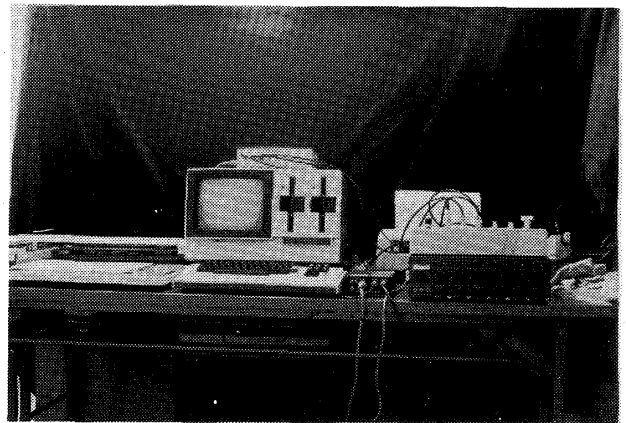


Photo.1 View of data processing system using TEAC PS-85 personal computer system

換ボードの概略仕様は次の通りである。

| | |
|----------|--------------------|
| 入力チャンネル数 | 16 ch |
| 入力形式 | 不平衡 |
| A/D変換時間 | 55 μ sec |
| 入力電圧 | -2.048V~+2.047V |
| 変換方式 | 逐次比較 |
| 分解能 | 12ビット(符号+1 ビット) |

一般に、どのような実験においても、計測しようとする物理量あるいは状態は、変換器(transducerまたはpick up)を通して電気量(多くの場合、電圧として)に変換され、その出力は、いわゆる増幅器に接続され、後の記録に適したように、変換器出力を増幅したり、フィルター、微分積分等の演算処理がなされるので、この増幅器の出力が、本計測システムのA/D変換部に接続される。本報では、振動台上の構造物模型の定常強制試験を対象としているので、変換器には、(株)テアック製の圧電型加速度計Model 707とその増幅器SA-16を使用している。

なお、本システムでは、ディスプレイ上に画かれたグラフィック画像を、プリンタによってそのハードコピーを取ることができないので、グラフィック出力のハードコピーは、XYプロッタによって、別に改めて作図することになっている。

その他に、本体に増設されている装置として、 GPIBボードおよびRS-232Cボードがあるが、これらの機能を有する制御装置あるいは計測機器類を接続すれば、実験の制御からデータ解析に到るまでの一貫した自動処理も可能である。

3. 解析システムのプログラミング

定常強制振動実験のデータ処理においては、単に共振曲線を求めるための振幅特性のみならず、同時に位相特性を明らかにする必要があるが、ここでは、振幅特性のみに着目するものとする。解析システムのフローチャートを Fig.2 に示す。

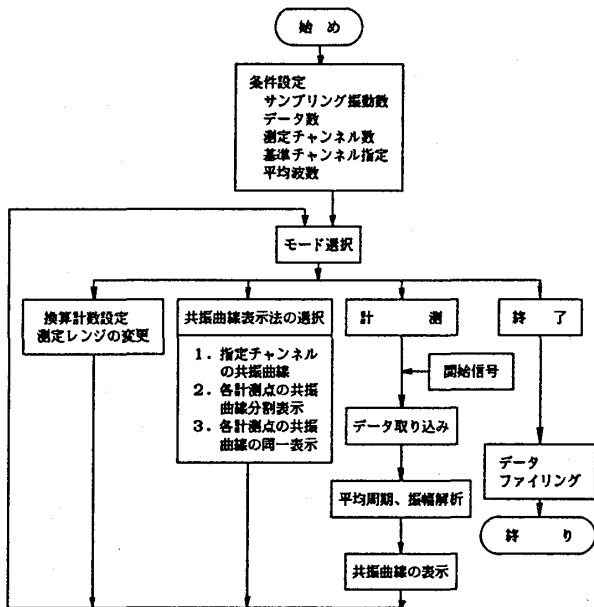


Fig.2 Data processing block diagram

3.1 解析システムの動作概要

まず初めに、計測すべき測定点数（チャンネル数）、サンプリング振動数（率）、チャンネル当りのデータ数、一周期毎の繰返しを判定するための基準となるチャンネルの指定、平均化処理を行うための波数の設定を行う。

共振試験は、加振振動数と加振力（振幅）を制御しながら逐次実行されるので、加振の各段階で、計測条件や出力表示の形態が変更できるようにモード選択を行う。測定レンジの変更では、試験の途中で、増幅器の測定レンジ（増幅度）変更を行い、グラフィック表示モードの選択では、指定したチャンネルの共振曲線の単独表示、複数チャンネルの共振曲線の複数表示、および複数チャンネルの共振曲線の単独表示（重ね書き）の三種のグラフィック表示を選択する。計測モードでは、計測開始の信号（コンソールのキーを押す）によって、計測信号をコンピュータに取り込み、振動数および各チャンネルの振幅を計算し、グラフィックに出力を表示する。終了モードを選択すれば、それまでに得られた加振振動数と応答振幅をディスク・ファイルに出力し、一連の計測を終了する。

3.2 定常応答の振動数および振幅の評価

定常強制振動試験において得られる応答波形は Fig.3

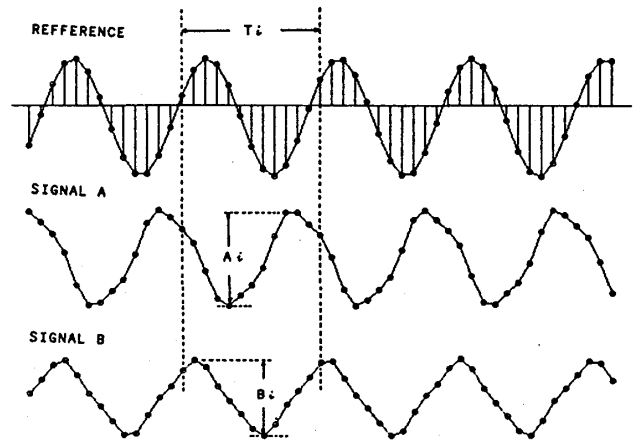


Fig.3 Evaluation of period and amplitudes of signals measured

に模式的に示されるようになる。加振条件の不完全さや供試体の様々の条件から、応答波形は必ずしも正弦波的に得られるとは限らないので、いくつかの波数について平均周期および平均振幅を求めることによって、振動数および振幅に関する情報を得ることになる。振動台を使用する様な定常強制振動実験では、振動台制御用の信号出力を、また、加振機を使用するような振動実験では、比較的的正弦波的な応答を示す信号を選んで、基準信号とする。振動数と振幅を評価する際に、必ずしも正負の交番信号である必要はなく、基準信号があるレベルを正の方向に切る時間間隔によって1波長 (T_i) とするものとして、その1波長の間における計測信号の最大値および最小値から、振幅 (A_i, B_i, \dots) を評価するものとする。連続する1波長毎の周期および振幅を指定された波数に対して平均することによって、振動数と振幅が評価される。数10 Hz程度に加振振動数であれば、サンプリング振動数は1 kHz程度で、約1秒間の信号を解析すれば充分であるが、それでも、1チャンネル当りのデータ個数は1,000個であり、数10波長分の振幅の最大値及び最小値を検出するには、BASICによる処理では、演算時間の点から現実的ではなく、アセンブラによる撻械語プログラムが必要である。本解析システムの基本部分はBASICで記述されており、その詳細を述べることは不可能であるが、2次元配列としてとりこまれた数値データから、振動数および振幅を検出するためのアセンブラプログラムを Fig.4 に示す。本プログラムを使用することによって、6チャンネルの信号成分に対しても、ほぼ1秒以下で振動数と振幅が計算されるので、計測終了から結果の表示までに殆んど時間を必要とせず、能率的に実験を続行することができる。Photo.2 (a)および(b)は、計測中のグラフィック画面の1例を示したもので、(a)は初期条件設定を、(b)は、2計測点の増幅倍率を示したものである。

```

-----
:      AMPLITUDE      AMPL/MAC
-----
MMBF EQU 09B1H
BFMM EQU 09CBH
ACBF EQU 09B4H
BFAC EQU 09BFH
MMAC EQU 09C2H
BFST EQU 09A4H
SNGL EQU 0ACCH
SADD EQU 0716H
SDIV EQU 08A2H
CINT EQU 0A8AH
:
:      JP      ENTRY
-----
:      DATA FROM BASIC
-----
NC:  DEFS  2      ;CHANNEL SIZE
ND:  DEFS  2      ;DATA SIZE
RF:  DEFS  2      ;REFERENCE CHANNEL
WMAX: DEFS  2      ;MAX WAVE NUMBER
DAD:  DEFS  2      ;DATA ADDRESS RAX(0, D)
AMPAD: DEFS  2      ;DATA ADDRESS APX(0)
-----
:      WORK AREA
-----
WCT:  DEFS  2      ;WAVE NUMBER
TIM:  DEFS  2      ;TIME
SGN:  DEFS  2      ;SIGN OF AMPLTD
NC1:  DEFS  2      ;(NC)+1
NC1D: DEFS  2      ;(NC1)*2
JCT:  DEFS  2      ;J COUNT
TCT:  DEFS  2      ;TIME COUNT
RFAD: DEFS  2      ;REF DATA ADDRESS
DTAD: DEFS  2      ;TEMPO DATA ADDRESS
FAAD: DEFS  2      ;AMPLTD SUM ADDRESS
AD1:  DEFS  2
AD2:  DEFS  2

TDATA: DEFS  2      ;TEMPORARY DATA
MX:    DEFS  32
MN:    DEFS  32
FAMP:  DEFS  64      ;AMPLTD SUM
SWCT:  DEFS  4      ;SNGL(WCT)
-----
:
:      ENTRY: CALL 0A7FH
:      LD DE, NC
:      LD BC, 12
:      LDIR
:
:      LD HL, (NC)
:      INC HL
:      LD (NC1), HL
:      SLA L
:      LD (NC1D), HL
:      LD HL, (DAD)
:      LD DE, (RF)
:      SLA E
:      ADD HL, DE
:      LD (RFAD), HL
:      LD HL, OH
:      LD (JCT), HL
:      LD (TCT), HL
:      LD (WCT), HL
:      LD (SGN), HL
:
:      LD HL, FAMP
:      LD B, 64
:      XOR A
:      LD (HL), A
LPO:  INC HL
:      DJNZ LPO
:
RT1:  CALL REFF
:      BIT 7, D
:      JR Z, RT1
RT2:  CALL REFF

```

(a)

Fig.4 List of analysis program written in assembly language

```

LD      (SGN), HL
JP      NXTIM
;
MINUS:  BIT    7, D
        JP      NZ, NXTIM
        LD      HL, 0H
        LD      (SGN), HL
        LD      HL, (WCT)
        INC     HL
        LD      (WCT), HL
        LD      HL, (TCT)
        LD      (TIM), HL
;
        LD      BC, (NC1)
        LD      B, C
        LD      HL, 00H
        LD      (AD1), HL
        LD      HL, 00H
        LD      (AD2), HL
        LD      HL, FAMP
        LD      (FAAD), HL
PT3:    PUSH   BC
        LD      HL, (AD1)
        CALL   LOAD
        PUSH   DE
        LD      HL, (AD2)
        CALL   LOAD
        POP    HL
        XOR    A
        SBC   HL, DE
        LD      (4121H), HL
        CALL   SNGL
        LD      HL, (FAAD)
        CALL   MMAC
        CALL   SADD
        LD      HL, (FAAD)
        CALL   BFMM
        LD      HL, (FAAD)
        LD      DE, 4
;
        ADD   HL, DE
        LD      (FAAD), HL
        LD      HL, (AD1)
        INC   HL
        INC   HL
        LD      (AD1), HL
        LD      HL, (AD2)
        INC   HL
        INC   HL
        LD      (AD2), HL
        POP   BC
        DJNZ  RT3
;
        LD      DE, (WMAX)
        LD      HL, (WCT)
        XOR    A
        SBC   HL, DE
        JP      NZ, ZERO
;
ROOT:   LD      HL, FAMP
        LD      (FAAD), HL
        LD      HL, (AMPAD)
        LD      (AD1), HL
        LD      HL, (WCT)
        LD      (4121H), HL
        CALL   SNGL
        LD      A, (4124H)
        ADD   A, 1H
        LD      (4124H), A
        LD      HL, SWCT
        CALL   BFMM
        LD      BC, (NC1)
        LD      B, C
;
RT4:    PUSH   BC
        LD      HL, SWCT
        CALL   MMBF
        LD      HL, (FAAD)
        CALL   MMAC
;
CALL   SDIV
CALL   CINT
LD      DE, (AD1)
EX      DE, HL
LD      (HL), E
INC     HL
LD      (HL), D
INC     HL
LD      (AD1), HL
LD      HL, (FAAD)
LD      DE, 4
ADD     HL, DE
LD      (FAAD), HL
POP    BC
DJNZ   RT4
RET
;
-----
SUBROUTINES
-----
;
LOAD:   LD      E, (HL)
        INC   HL
        LD      D, (HL)
        RET
;
STORE:  LD      (HL), E
        INC   HL
        LD      (HL), D
        INC   HL
        RET
;
REF:    LD      HL, (JCT)
        INC   HL
        LD      (JCT), HL
        LD      HL, (READ)
        LD      DE, (NC1D)
        ADD   HL, DE
        LD      (RFAD), HL
        CALL  LOAD
;
        RET
;
        END

```

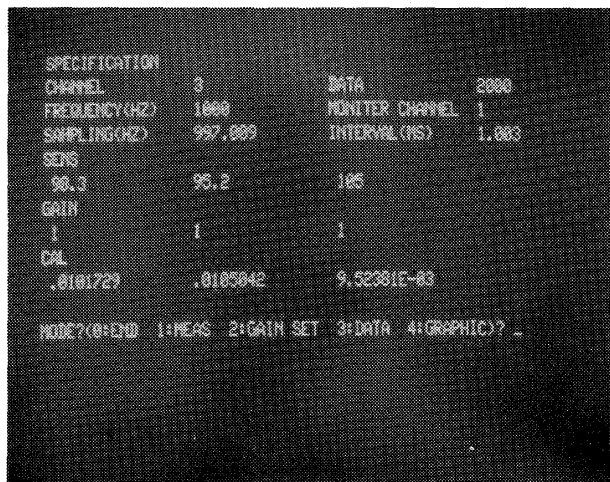


Photo.1(a) Initial setting of conditions of vibration measurement

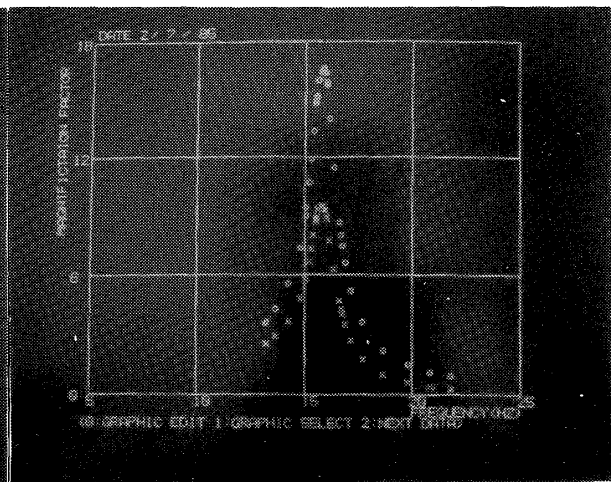


Photo.2(b) Example of resonance curve output of a model frame

4. 解析システムの問題点と今後の展望

パーソナル・コンピュータを利用することによって、膨大な数値データを対象とする定常強制振動実験のデータ処理の能率を向上せしめることができる。特に、演算速度の遅いコンピュータでは、アセンブラ・プログラムを一部使用することが、処理能率の向上のためには、不可欠である。本解析システムが有する問題点として、次のような点が挙げられる。

1) 定常応答波形を仮定しているため、波形は正弦波形的であるとして、振幅を1波長間の最大値と最小値の差から評価しているが、現実の応答波形には、高調波成分や長周期成分が混入することによって波形ひずみが生じることがあり、このような単純な評価法では精度が保証されないこともあり得る。また、加振振動数が増加すると周期は逆比例的に減少するので、十分な精度を得るためには、適切なサンプリング振動数を設定しなければならない。サンプリング振動数は、加振振動数の少くとも20倍以上に設定する必要がある。

2) 本システムでは、チャンネル当りのAD変換に55 μ secの時間を要するので、例えば、6チャンネルの場合サンプリングの時間差は、最大約0.2msecとなる。AD変換のサンプリング周期は1 msec以下にとられることが多いので、この時間に対して、サンプリングの時間差は相対的に大きいと言える。単に、振幅や振動数の評価において、この時間差は、特に問題となることはないが、次項に述べる位相特性においては考慮する必要がある。

3) 定常強制振動実験の結果は、単に、振幅特性を示す共振曲線のみでは不十分であり、位相特性を評価する必要がある。位相特性を評価する場合、正弦波的に変動する電気信号には常に幾らかの直流成分が含まれるため、位相の検出は振幅特性と同じく、最大直あるいは、最小値の生起時間差に基くことになり、振幅特性と同様に、波形ひずみに対する考慮が必要である。

4) 波形ひずみの成分を除去するためのフィルターや、微分、積分などの演算回路などを用いるときは、それらの振幅および位相特性に対する補正が必要となるが、こういった補正は、変換器の感度特性を取入れることによって容易に実現できる。

5) パーソナル・コンピュータの急速な性能の向上と価格の低下によって、旧機種を使用することは、操作性やプログラム開発上の難点があるだけでなく、周辺装置が比較的に高価であり、経済的でない面も有している。しかしながら、実験データ処理のように定式化されたものであれば、十分に利用できる。今後は、自然地震観測システムといった無人観測システムの制御や、実験の制御およびオンラインデータ処理システムとしての利用を考え、十分活用して行きたいと考えている。

〈参考文献〉

1. 仲座禎久：「振動計測の自動化に関する研究」福山大学昭和59年度卒業研究論文，1985。
2. テアック：「PS-85 ユーザーズマニュアル」