

【技術ノート】

マイコンを利用した 不規則振動解析システムについて

Micro Computer System for Random Vibration Analysis

梅澤 宣雄 *
Nobuo UMEZAWA
越後 滋 **
Shigeru ECHIGO
大西 茂 ***
Shigeru OONISHI

1. はじめに

構造物が建設された時、あるいは長い間供用に付した後に、設計時に考えた機能を有しているかどうかを検証したい、という場合がしばしばある。このような時によく行われる方法の1つに載荷試験があり、外力に対する構造物の応答、すなわち応力（ひずみ）、変位等を調査することによって構造物の実際の特性を推定している。

外力の載荷方法には静的な場合と動的な場合があるが、構造物の全体としての特性をつかむには、どちらかと言えば動的載荷試験（振動試験）が適していると言える。すなわち、構造物を何らかの方法で加振してその応答を測り、いわゆる振動の3要素（固有振動数、振動モード、減衰率）等を把握し、これから構造特性を推定する訳である。

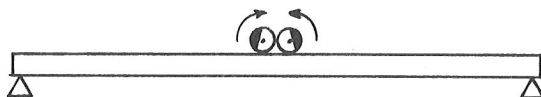
動的載荷といってもその載荷方法には各種あり、それぞれ目的や現場の状況等によって使い分けられている。従来からよく行われている主なものをあげると以下のようである。

- (1) 起振機による方法 — 周期的な外力に対する応答を把握し、周波数応答曲線等を得る。起振機の据付けが困難である。
- (2) 走行荷重による方法 — 橋梁の場合で移動荷重による応答を見る。動的増幅率の把握が主な目的である。
- (3) 衝撃荷重による方法 — 砂袋や自動車のタイヤを落下させたり、吊るしておいた鍾りを切離したりして、衝撃的な荷重を加えて自由振動を引起こす。

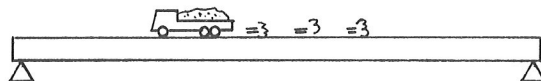
以上のような加振方法の場合には、橋梁の場合であれば橋面に加工を施したり、また供用中のものでは一時的に交通を遮断する等の措置が必要となり、準備に手間を要するのが常である。

しかしながら、電算機の発達とともに確立されてきた多量データの統計的手法を用いれば、前述のような強制加力を加える振動試験を行わなくとも、常に構造物に起こされている不規則な微小振動から構造物の特性を把握することが可能である。その手法の詳細については、

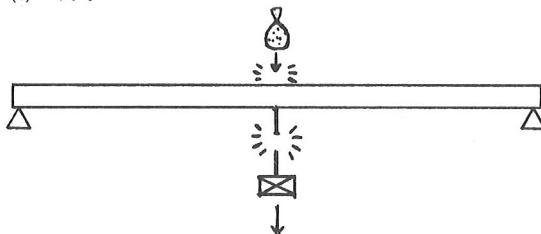
(a) 起振機による加振



(b) 走行荷重による加振



(c) 衝撃による加振



(d) 常時振動

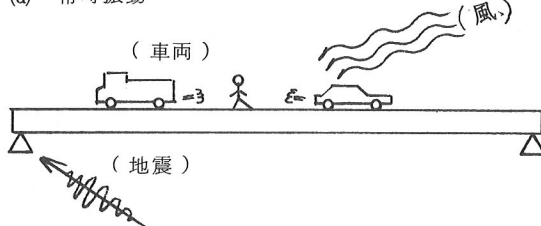


図-1 構造物の加振の方法

「不規則振動波形を用いた橋梁の振動ならびに応答特性解析」（本技報 Page 185）を参照されたい。この常時微小振動とは、一般の通行車両、風、微小地震等によって引起されているものであるが、このような振動を測るピックアップのみを構造物に取付けばすむ訳であり、強制加振の手間は省かれる。

なお、不規則振動解析を行うには電算機の力を借りる

* 川田工業株式会社技術本部設計部設計2課課長

** 川田工業株式会社技術本部研究室係長

*** 川田工業株式会社技術本部電算センター

ことが不可欠であるが、そのためには実測振動波形というアナログ量を電算機で処理可能なデジタル量に変換するという作業（A/D変換）が必要となる。一般にこの作業を行うA/D変換器は高価であり、従来当社ではある計測器メーカーのものを借用してデジタルデータを作り、大型電算機で不規則振動解析を行っていた。

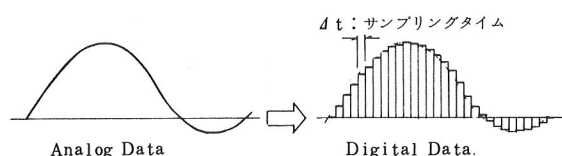


図-2 A/D変換

しかしながら、最近急速に普及してきたマイコン（入出力装置等も含めたシステム化された小型コンピュータ）を利用すれば、A/D変換用回路基板を付加するだけで比較的簡単に行える。そのようなことから、実測振動データをマイコンにてA/D変換し大型機で解析を行う、というシステムの開発を試み、現在実用に供しているので、ここにその概要を報告する。

2. システム構成

機器の構成を図-3に示す。すなわち、マイコン（SORD M223）にA/D変換回路基板を組み込み、振動記録再生用データレコーダーと接続する。またマイコンは、モデムを介し1200BPSの通信回線にて大型電算機（UNIVAC 1100/61 Vanguard）に接続され、インテリジェント機能を有する端末機としても使用される。さらにマイコンには132桁プリンターとX-Yプロッターが接続され、大型機での処理結果を手もとで得ることができる。

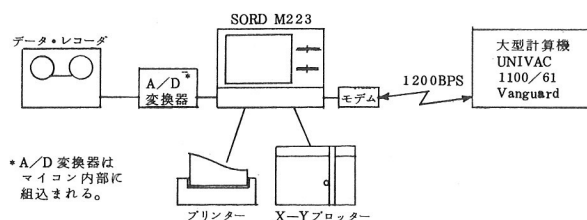


図-3 システムの構成

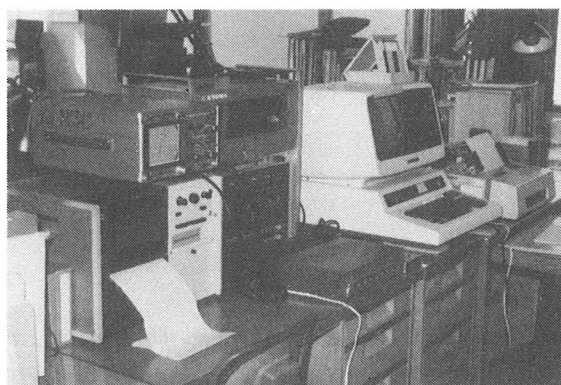


写真-1 システム全景（右より、プリンター、マイコン本体、データレコーダー、増幅器、モニター用シンクロスコープ及び電磁オシログラフ）

なお、マイコンから大型機へ送るA/D変換結果のデジタルデータやキーボードからの入力データ、また大型機から送られてくるプリンターやプロッターへの出力データは、通信回線のデータ転送速度との兼ね合いから、一旦フロッピーディスクに書込まれる必要があり、一見手間がかかるようではあるが、これにより大型機の稼動時間帯に制約されることなくオフラインで入出力が行えらるとともに、データの保存管理が容易となる。

3. 処理の手順

3-1 従来の方法

従来、当社で不規則振動解析を行う場合は図-4(a)のように

- ① 現場において振動を測定し、データレコーダにてアナログ磁気テープ（AMT）に記録。
- ② 振動記録を再生しながら専用のA/D変換器にて変換を行い、得られたデジタルデータを電算用のデジタル磁気テープ（DMT）に書込む。
- ③ デジタル磁気テープを大型電算機にセットし、不規則振動解析プログラムにて解析処理し、結果をプリンターおよびドラフターに出力する。

という方法で行ってきたが、専用のA/D変換器が高価でしかも場所を占めること、またデータのやり取りを2種類の磁気テープで行っていたことなどから、現場で測定して即時に処理することが出来なかった。

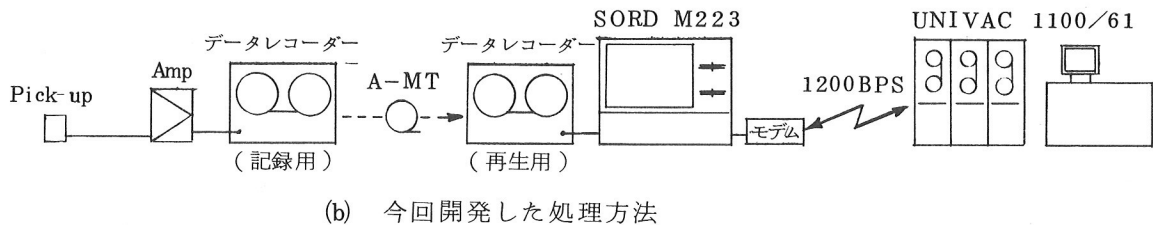
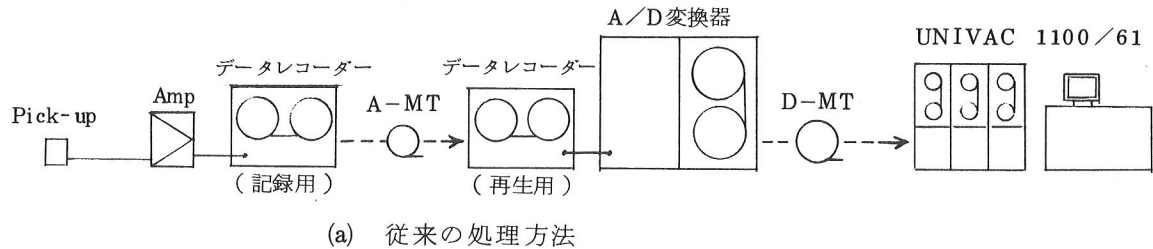


図-4 不規則振動解析の処理手順

3-2 今回の開発した方法

図-4(b)のように、マイコンを大型機の端末とすることとで、

- ① 現場で振動を計測し、A-MTへ記録。
- ② 振動記録を再生しながらマイコンでA/D変換を行う。変換結果はオンラインで大型機へ転送する。
- ③ 大型機で解析処理し、結果をマイコン側へ転送する。
- ④ マイコンのプリンターおよびX-Yプロッターに結果を出力する。

というように、マイコンが大型機の端末として接続されていれば、比較的容易に解析処理ができることとなり、工事現場等においても行える。

以下、処理の手順について多少詳しく説明する。

3-3 現場計測について

具体的な測定方法についてはここでは特に触れないが、常時微動を測定するには感度が高く設置の容易なサーボ型加速度計を用いるのが一般的である。

なお、後述のA/D変換器にはTTLレベルの正パルス(図-5(a))により変換を開始するオートトリガーの機能があるので、振動測定時にデータレコーダの空きチャンネルにデータ開始マークを入れておくと便利である。また、多数点の測定を行い複数台のデータレコーダを用いる場合にも、このデータ開始マークを測定時に入れておけば、別個に再生し、A/D変換して得られるデータに同時性を

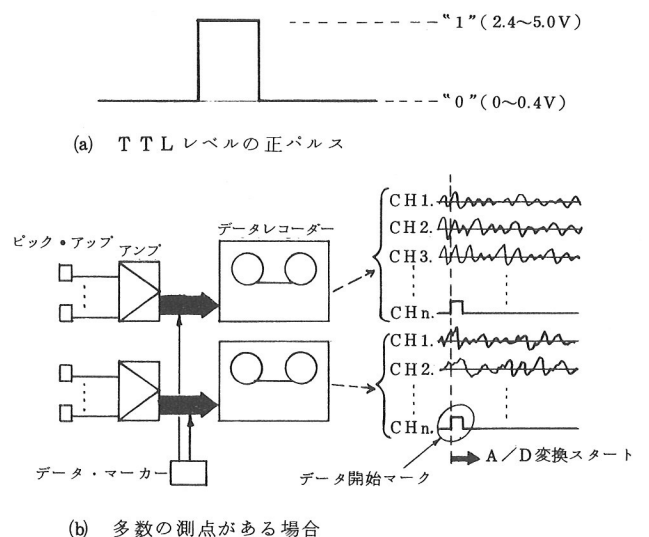


図-5 データ開始マークについて

持たせることができ、モード解析等に有効である(図-5(b))。

このデータ開始マークを入れるため、NAND素子(SN7400)によるフリップフロップ回路を用い、ノイズのない安定したパルスが発生するデータマーカーを製作した。

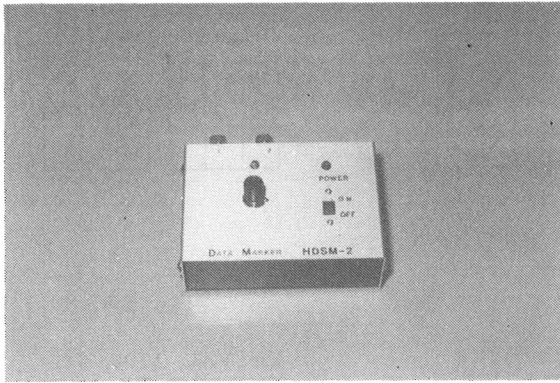


写真-2 データ開始マーカー

3-4 A/D変換について

自然界の物理量のほとんどはアナログ量であり、これをデジタル機器で計測したり、コンピュータで処理やコントロールするには、デジタル量に変換する必要がある。最近の家庭電化製品や自動車などにも「マイコン搭載」等とうたったものがあるが、これらの機器にもすべてA/D変換回路が内蔵されており、超小型コンピュータによる複雑なコントロールを可能にしている。

振動という現象も、物理量として応力・変位・速度・加速度等のどれを観測したとしても、それらは皆アナログ量であり電算処理を行うにはデジタル量に変換しなければならないのは前述のとおりである。

以前は、このデジタル変換を行うにあたって、記録紙上の振動波形を細かい時間ステップ（これをサンプリングタイムと言う。図-2の Δt ）ごとにスケールルーペで読取する方法がとられた時期もあったが、現在ではほとんど電子回路的に変換がなされ、専用の集積回路素子も多く開発され容易に入手することができる。

電氣的にA/D変換する方法は種々あるが、一般的によく用いられる方法としては積分型と逐次比較型があり、それぞれ次のような特徴を持っている。

- (a) 積分型 — 電氣的雑音に強く、回路が簡単でしかも、安価であるが、変換時間が長い（約1~40 msec）。
- (b) 逐次比較型 — 変換時間は短かく（約1~30 μ sec）安定しているが、回路が複雑で高価である。

今回使用したA/D変換システムは、(株)SORD電算機システムより発売されているA/D変換インターフェースボード（HC-AIO）を利用したものであり、マイコンのユーザーズスロットに組込んでBASIC言語により制御することができる。このA/D変換ボードは、

その心臓部であるA/D変換素子に上述の逐次比較型の一つであるディテル社ADC-HX12BGCを使用しており、次のような性能を持つ。

- ① CH数：16CH
- ② 入力電圧： ± 5 Vフルスケール
- ③ 分解能：12 bit（入力電圧フルスケールを4096段階に分解）
- ④ サンプリングタイム：500 μ secの整数倍（プログラムで設定）
- ⑤ A/D変換時間：33 μ sec
- ⑥ CH切換時間：110 μ sec

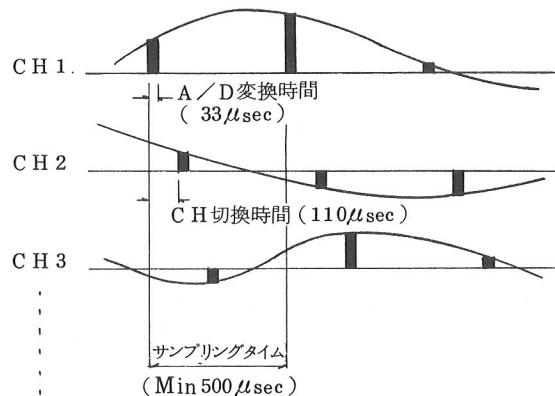


図-6 A/D変換の処理時間

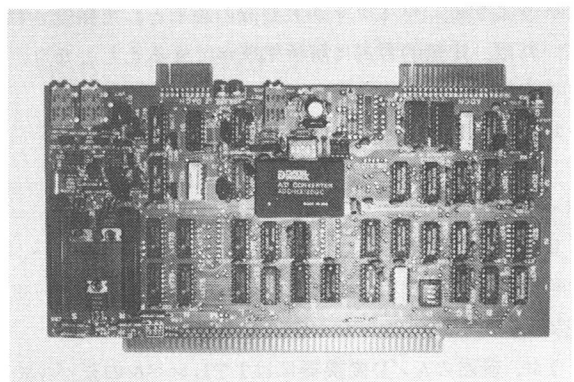


写真-3 A/D変換インターフェース基板（HC-AIO）

ここで、CH切換時間が110 μ secあり、例えば10 CHについて変換を行うと、CH1とCH10では

$$110 \times (10 - 1) = 990 \mu\text{sec} \approx 1 \text{ msec}$$

のように、約1000分の1秒のタイムラグが生ずること

になるが、我々が扱う構造物の振動に対しては極く小さな値であり問題にはならないと思われる。

3-5 データ増幅およびオートトリガーについて

前述のようにA/D変換器の入力電圧が±5Vであるのに対し、一般にデータレコーダの出力電圧は±1V程度であることが多い。このため、せっかく12bitの分解能を持っていても、直接両者を接続したのでは図-7(a)に示すようにあまり有効なデータは得られない。そこで、両者の間に前置増幅器を入れ、データレコーダの出力信号を入力電圧フルスケール近くまで増幅し、データ精度の向上を図るようにした(図-7(b))。

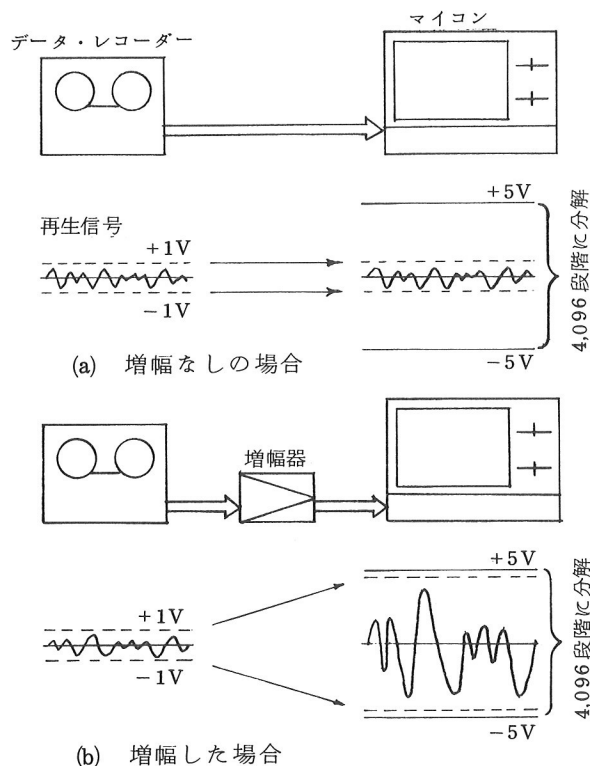


図-7 再生データの増幅

この前置増幅器は、取扱う電気信号が電圧変化であり、しかも低周波数であることから演算素子(オペアンプ)を用いた負帰還差動増幅回路により、簡単で十分高い安定度をもつ増幅器を作ることができる(図-8)。

今回のシステム用に製作した増幅器は、一つの素子に4つの回路を内蔵するLM324を2個用い、同時に8CHの増幅ができるようにした。また図-8の抵抗 R_2

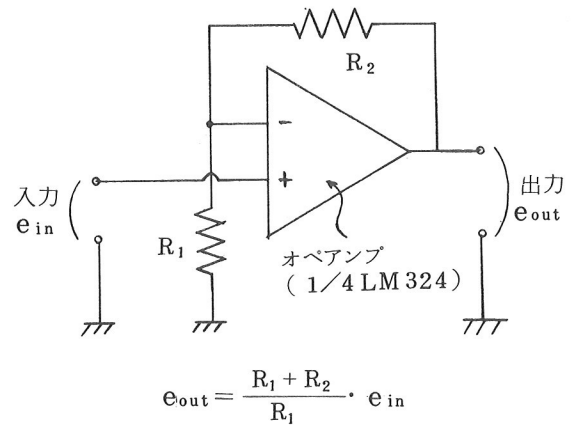


図-8 負帰還差動増幅回路

を切換えることにより、増幅度を1~5倍の可変とした。なお、この増幅器の入出力インピーダンスは各々約10MΩと数Ωであり、他の機器との接続による電圧降下等の問題は全くない。

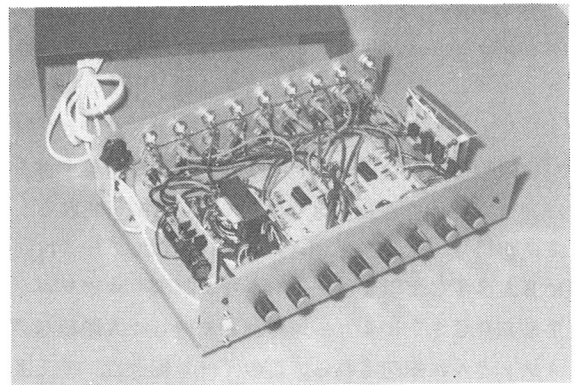


写真-4 データ増幅器

また、この増幅器にはA/D変換を開始するためのトリガーパルスが発生する回路も内蔵させ、入力として0.5V以上で30msec以上の信号があればTTLレベルで200msecのパルスが発生することができる。すなわち、振動測定時に記録されたデータ開始マークを、再生時にこの回路を通すことにより、正規のトリガーパルスが発生する訳である。また、この回路ではデータレコーダのスタート・ストップのスイッチ等によるノイズ信号によるA/D変換器の誤動作を防ぐため、まず入力信号の電圧レベルをコンパレータ素子(LM311)でチェックし、さらにノイズ的な幅の狭いパルスをインバータ

素子 (SN 7414) を利用したフィルターでカットし、これらを通ってきた所定のパルスがあった時のみワンショットパルス素子 (SN 74121) で正規のパルスを発生させている。このパルス発生回路の構成を図-9に示す。

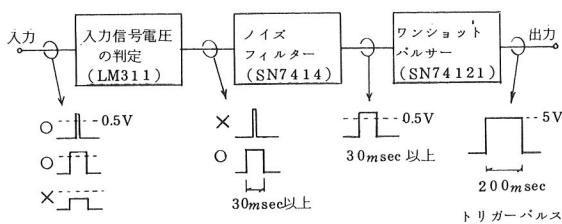


図-9 パルス発生回路ブロック図

3-6 データ転送および解析処理について

増幅されて A/D 変換インターフェースに入力された振動波形信号は、トリガーパルスの入力と同時に変換を開始し、変換されたデジタルデータはフロッピーディスクに次々と書込まれる。このフロッピーディスク (5 インチミニフロッピー、片面倍密度) の 1 枚の容量は 350 KB (データの個数にして約 6 万 8 千個) であり、例えば 1 CH 当り 4,096 個のデータを取るとすれば 16 CH 分が書入める。この一連の処理は BASIC 言語で書かれたプログラム "ADCNV1" によって制御される。

変換が終了した後、フロッピーに書かれたデータは同様に BASIC で組まれたオンライン制御プログラム "TSSPG1" により、通信回線を通じて大型機のデータファイルに転送される。このデータ転送は、半二重 4 線式で、スタート・ストップ・偶数パリティ各 1 bit、データ JIS7 単位の非同期式で 1200 BPS の速度で行われる。

大型機のファイルに転送された振動波形データは、大型機用の不規則振動解析プログラム "SPECT2" で処理されるが、これは大型機サイド、マイコンサイドあるいは任意の端末サイドからコントロールすることができる。大型機で処理された結果は、再度オンラインプログラム "TSSPG1" によってマイコン側へ転送されるが、そのまま大型機サイドの出力装置 (プリンター、ドラフター) または任意の端末に出力させることもできる。

マイコン側に転送した場合には、その出力データは送

信の場合と同様に一旦フロッピーディスクに書込まれ、その後オフライン状態でプリンターや X-Y プロッターへ出力させることができる (図-10 参照)。

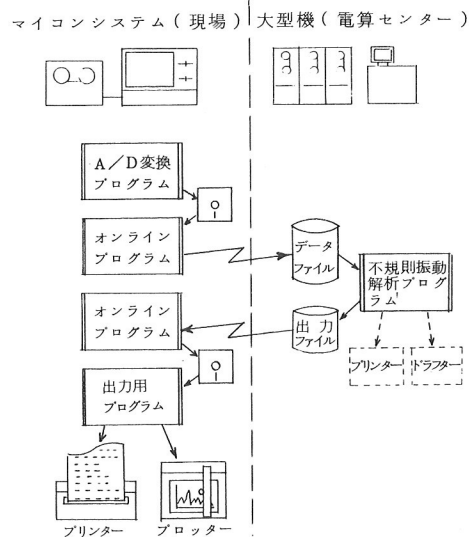


図-10 解析処理の流れ

4. あとがき

以上、今回開発した不規則振動解析システムの概要について述べたが、何回か実際に使用してみて従来の方法に比べ、かなり能率が向上したと思われる。今回は既存のソフトやハードを有効に利用し、開発に対する投資を最小限に抑えることを目的としたが、今後は大型機によらずマイコン自身で解析処理をすることも考えられ、現在ソフトの一部を開発中である。但し、マイコンによる場合は処理時間の問題があり多量データを扱う場合は実用的ではないかもしれないが、16 bit マシンの利用や解析ソフト上での工夫等でスピードアップを図ることも可能と思われる。

参考文献

- (1) SORD MICRO COMPUTER M200 Mark Series Manual
- (2) SORD M200 Mark Series I/O Interface Manual
- (3) SORD TBASIC 言語取扱説明書
- (4) 岡村勉夫「解析デジタル回路」CQ出版
- (5) 白土義男「オペアンプ回路の手ほどき」日本放送出版協会