

# 研究所リアルタイム実験計測システム

—第一期システム—

日比一喜 菅野照雄  
 広瀬道孝 渡辺弘之  
 清水幸治 豊原正章  
 (計算センター)

## § 1. はじめに

研究所リアルタイム実験計測システムとは、当社研究所の種々の実験業務を電子計算機を利用して自動化するのが目的である。自動化の対象はいろいろあるが、本システムは実験の計測と実験データの処理に絞ってその即時処理を目指している。

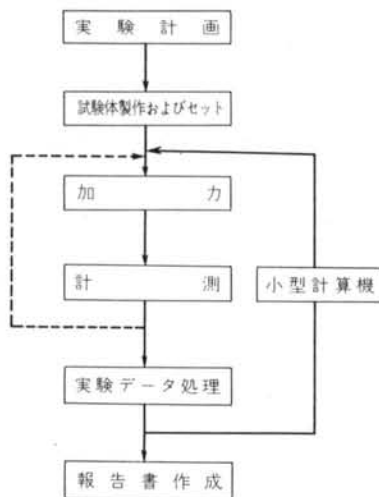
研究所における実験はここ数年増加の一途をたどり、特に構造関係の実験は大型実験棟の完成に伴って大型化し、測定点数も増加している。このような大型の実験を従来通り人手による処理をしていると時間、経費のロスは大なるものとなり、また、実験中の試験体の挙動を詳細に把握することができなくなった。静的な構造実験ばかりでなく、常時微動の測定、地震、風などの構造物に対する外力の測定といった動的な波形処理も、近年高速フーリエ変換の出現による統計的解析が盛んになり、これもデータ量を増加させる要因となっている。

当研究所でも、一部では大型計算機による実験データ・測定データの処理が行なわれてきたが、紙テープをベ

ースとしたオフライン形式のシステムであったため、データ量の増加に対して限界があった。以上のような種々の問題を解決すべく小型計算機(ミニコン)によるオンライン形式の即時処理システムを計画し、1973年3月に研究所内部で委員会を設立し検討を開始した。1974年5月から基本的なシステム設計に着手し、同年8月計算センターの協力を得て1975年3月に基本的なシステムを完成させた。第一期システムの対象としては、当研究所の大型実験棟内における構造実験、振動実験およびアナログ・データ・レコーダによる外部の測定データの処理がある。本報告では、このシステムの概要と各実験処理プログラムの概要を述べる。

## § 2. ラボラトリー・オートメーションの意義

ラボラトリー・オートメーションと一般にいわれているものは、直訳すれば研究所自動化ということである。一般的には研究所内の事務処理、情報検索、実験業務などの広い範囲の自動化を意味しているが、本テーマはこの中の実験業務の自動化を対象としている。実験の中における本システムの位置付けを図一に示している。この中で破線で示した部分が従来の実験の流れで、1~2点のX-Yレコーダなどによるモニターだけで実験を進めてきた。測定点数、加力ステップなどの少ない実験はこの方法でも別段問題とはならないが、最近の傾向として実験の大型化による測定点数の増加には対処できず、非常に大きな問題となってくる。極端ないい方をすれば盲実験をしている状態にさえなる。このような量的な問題点を解決する意味と、実際の試験体の挙動をその場で観察するといった、実験を本来あるべき姿に戻す大きな意義がある。



図一 実験の流れ

### § 3. システム概要

#### 3.1 システムの特徴

本システムの特徴をあげると次のようになる。

- 当社計算センターの大型電子計算機システム/370—158と小型電子計算機IBMシステム/7を接続した階層構造を取っていること。
- 一種類の実験専用ではなく、ある程度の汎用性と拡張性を持っていること。
- FORTRAN IVによる実験処理プログラムが作成可能であること。
- グラフィック・ディスプレイを利用した実験データの即時処理が可能であること。
- ユーザーの開発した大型機用のプログラムを小型機側から起動可能であること。

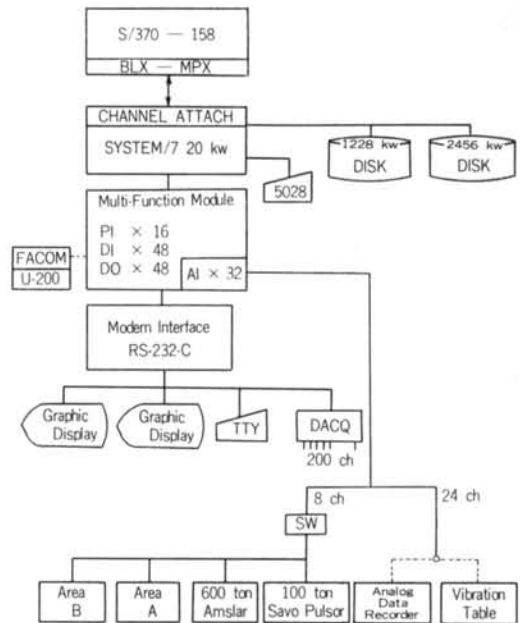
上記したように本システムの最も大きな特徴は、大型機—小型機—計測器の三者を有線で接続した階層構造を取っていることである。このシステム/370—158とシステム/7は、単に計算機の規模の違いだけではなく基本思想の全く違う計算機であり、それぞれの特徴を生かした階層構造には次のような利点がある。

- 大型機の強力な演算機能が利用できる。
- 大型機の大容量の補助記憶が利用できる。
- 従来まで開発してきた大型機用のプログラムが利用できる。
- システム・ダウン時のバックアップが容易である。
- 大型機にはないセンサー入力機能が可能となる。
- 種々の計測器を比較的容易に接続できる。

本システムでは、収集したデータを単に大型機に伝送するだけの階層構造ではなく、その解析結果を小型機側へ伝送してディスプレイさせるオンライン・リアルタイム・システムを指向している。例えば、ある地震波のデータをシステム/7で収録し、その1次処理をしたデータをシステム/370へ伝送してFFTによりスペクトルを計算し、その結果をシステム/7に接続されたグラフィック・ディスプレイに表示できる。この操作はすべてグラフィック・ディスプレイのキーボードから行なうことが可能である。

#### 3.2 システムの機器構成

システムの機器構成は図—2に示すとおりである。現在入力可能な測定点数は、システム/7のA/D変換器を利用した高速アナログ入力32点、および多点自動歪測定装置を介した低速アナログ入力200点である。実験制御用端末としては、グラフィック・ディスプレイ用のキ



図—2 システムの機器構成

ボードなどを利用して、将来は誰にでも操作できるようなオペレーション・ボックスを作る予定である。システム/7には補助記憶用ディスクを2台設置しているが、1台は高速サンプリング専用とし、他の実験処理プログラムが影響を受けないように考慮した。

実験用の端末グラフィック・ディスプレイ、歪測定装置はRS232Cのモデム規格で統一している。高速アナログ入力（大型実験棟内の振動実験）については、アナログ伝送方式を取っている。

#### 3.3 ソフトウェア・システム

##### 3.3.1 モニターについて

本システムのモニター・プログラムはタスク管理、ディスク管理、チャンネル・アタッチ制御などの基本的なものはIBM提供のプログラムを使用し、割込解析ルーチン、非常駐領域管理プログラム、各計測器のIOCS等は当社で開発したものを利用している。現在、主記憶の大きさは20kWを使用しているが、このうち13kWがシステム常駐部分、つまりモニター・プログラムが使用している領域である。本システムの主記憶の使用状況を図—3に示した。

##### 3.3.2 ファイル構成

本システムの補助記憶装置としてディスクを2台使用しているが、1台は波形データ専用とし、他の1台はプログラム・ファイル、他の実験処理などに利用している。容量は合計して3,684kWであるが、このうち1,228

S/7 NUCLIUS	
#CONF TASK,SFS,WAIT	
\$RCHN	
\$DTRN,\$DISK,\$FETCH,\$DDAM	
\$\$SCHD,\$BTIM	
\$OPR	
\$AI	
\$ASCB,\$EBAS,\$MULT,\$DIVD,\$CC	
\$INIT	
DSPINT	Process Interrupt Analyser
DSOVL	Overlay Area Control
DSDCOM	Host Communication
DKCAP	SIMOS Core Resident
DSTEKT01	Graphic Display Control
DSTEKT02	Graphic Display Control
DSTYPE00	TTY IOCS
DAADC	WAVE Core Resident
FNUC	FORTTRAN Core Resident
OVERLAY AREA 7.5kw	

図-3 ストレージ・マップ

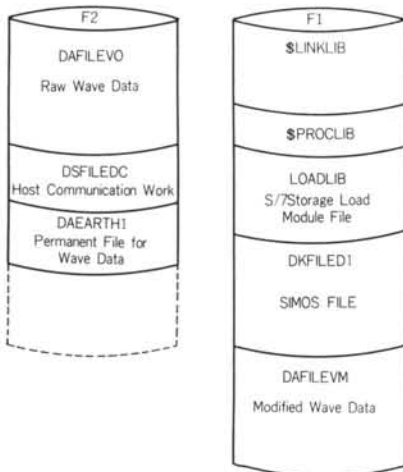


図-4 ファイル構成

kw が取りはずし可能となっている。補助記憶装置の容量は、たとえ大型機側が故障で止まっても1日分の実験をシステム/7のみで実験可能であるように考慮している。ファイル構成を図-4に示した。

### 3.3.3 システム/370—システム/7・コミュニケーション・プログラム

システム/370とシステム/7のデータの授受は、ハードウェア的にはブロック・マルチプレクサ・チャンネルを1台専有した形で行なわれているが、ソフトウェア的にはシステム/7をシステム/370に接続されたカード・リーダー・パンチと見なしてデータの授受が行なわれて

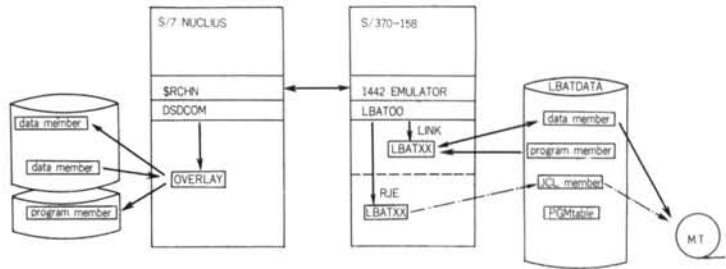


図-5 ホスト・コミュニケーション

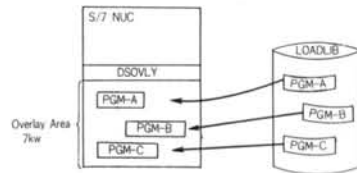


図-6 非常駐領域管理プログラム

いる。ハードウェア的にシステム/7からシステム/370に対して割込を入れることはできないが、ソフトウェア的に伝送要求は常にシステム/7側から行なわれる。

データ伝送の単位は、ディスク上のメンバー単位で要求を行なう。この機能によってシステム/7で収集した実験データ、あるいはシステム/370で解析した結果を自由にやりとりすることが可能となる。

このプログラムは、単にデータ伝送の機能にとどまらずシステム/7側からシステム/370に対してプログラムの実行要求が可能である。このプログラムによって、実験データのリアルタイム処理が可能となる。また、このプログラムの別の機能として別リージョンに対してJOBの実行を要求するRJE的な機能も持っている。この機能は磁気テープを使用するプログラム、実行時間の長いプログラム、即時性を要求されないプログラムの起動に使用されている。

プログラムの準備は、すべてシステム/370側で行ない、このデータ伝送プログラムを使用してシステム/7側のプログラム・ファイルへ格納する方式を取っている。このデータ伝送プログラムの全体的な流れを図-5に示した。

### 3.3.4 非常駐領域管理プログラム

このラボラトリー・オートメーション・システムは、多種類の実験の並行処理を目標としているので、非常駐領域の管理プログラムも複数のプログラムを同時に実行させる能力が必要となる。このプログラムの考え方は、システム常駐部分以外の主記憶の残りの部分を1つの大きな領域として定義し、何本かのプログラムでこの領域を共通に使用する方式を取っていることである。このプ

プログラムの流れを図-6に示した。

### 3.3.5 プログラム準備機能

システム/7で実行させるべき実験処理プログラムは FORTRAN IV あるいはアセンブラ言語で作成される。このプログラムの準備は作成したソース・カードをシステム/370側で読取り、実行可能なシステム/7の機械語に翻訳され、伝送される。この伝送方式には2通りの方法がある。1つは、プログラム伝送専用のシステムで実験と並行して伝送することは不可能である。他の1つは、実験を行なっている時でもプログラム伝送可能なシステムである。この2つの方法の流れを図-7、図-8に示した。

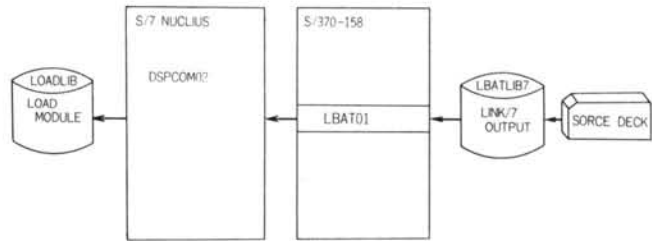


図-7 パッチ・プログラム伝送

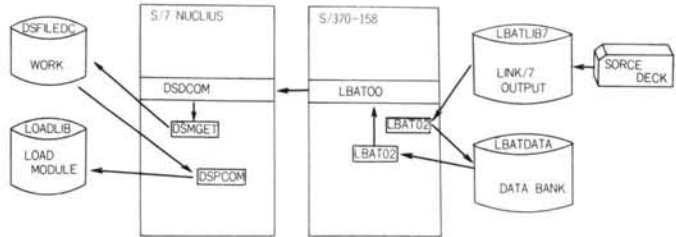


図-8 リアルタイム・プログラム伝送

## § 4. 構造実験処理システム SIMOS

### 4.1 構造実験

建築、あるいは土木の構造物のモデルに外力を加えてその挙動を観測し、より有効な構造物の設計に役立てたり、その構造物の実用化のために行なう実験を、われわれは構造実験と呼んでいる。振動実験が主として加速度的外力に対する構造物の時間的応答の観測のために行なわれるのに対し、構造実験は静的な外力を順次増加して、それによる構造物の挙動をミクロ的に観測するものといえる。

構造実験は図-9のような手順で行なわれる。まずその要求または発想があると、その目的にそって実験計画が立てられる。そして試験体が作成され、実験が行なわれる。一方、実験計画と同時に得られたデータ処理方法、すなわち解析計画を立てられる。

実験が終了すると、その測定データを大型計算機に入力し、解析が行なわれる。そして最終的な結果をリストし、あるいはグラフィック・プロッターによるグラフとして得るわけである。この流れの中で従来から2つの大きな問題があった。1つは、大量のデータを大型計算機に入力する媒体がペーパー・テープ、ないしパンチ・カードであったため、多くの人手を要しミスが多かったことである。もう1つは、実験データの処理結果が実験終了後でないと得られないため、それを実験の進行上の資料にできないことである。いわば盲に近い状態で実験を行なわなければならない。この2つの問題を解決して、より有効な実験作業が行なわれるようにシステム/

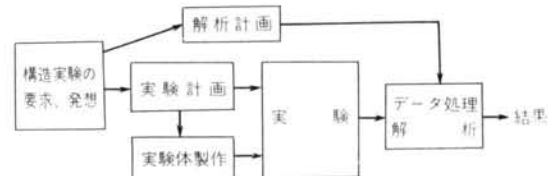


図-9 構造実験

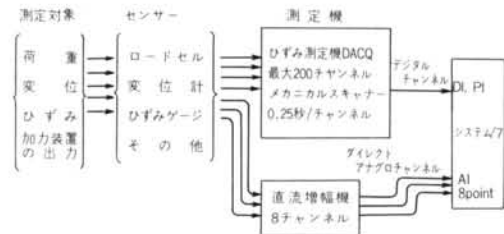


図-10 測定方法

7によるラボラトリー・オートメーション・システムを構造実験に適用した。

### 4.2 構造実験におけるラボラトリー・オートメーション

当研究所のいろいろなデータ処理を扱うラボラトリー・オートメーション・システムの中で、構造実験を扱う部分を SIMOS (Structure Instance Master Observation System) と名付けた。図-10は構造実験における測定の対象とその測定方法を示したものである。

主測定機は DACQ (タケダ理研多点自動歪測定装置) で、最大 200 個のセンサーをスキャンしてデジタル信号を出力する。一方、実験の進行上最も重要なセンサーを高速で常時監視するため、DACQ を経ずに直接シス

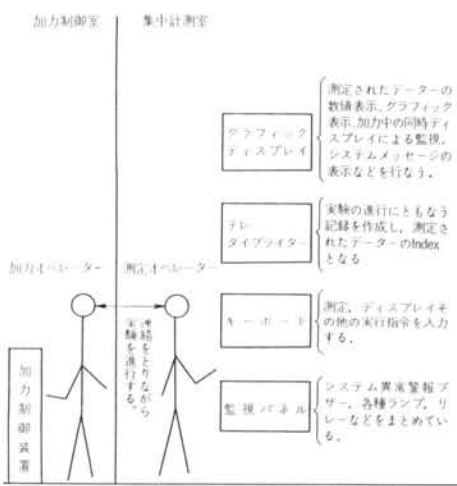


図-11 実験の進行

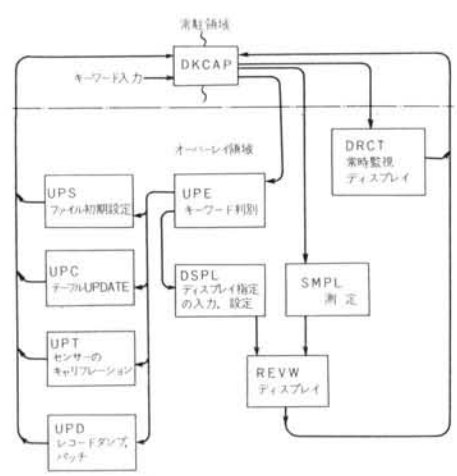


図-12 コントロールの流れ

テム/7のA/D変換器に入力するダイレクト・アナログ・チャンネルを設けている。

測定機の出力は約300m離れたシステム/7に伝送されるが、SIMOSの完成前はこれを測定機組込みの小型プリンターに書き出させていた。この段階での出力は“機械データ”ということができ、センサー類の特有の係数を乗じたり、ゼロシフトと呼ばれる計算を行わないと真の構造物の挙動量とはならない。従来はそのような手計算をやりながら、実験を進行していた。

システム/7でこの機械データを解読し計算を施した結果は、集中計測室のグラフィック・ディスプレイに表示され、あるいは端末のタイプライタに出力される。これらの作業はすべて集中計測室のキーボードの操作によって制御される。従来は測定機のボタン・スイッチなど

を操作して測定を行っていたが、測定機の制御をシステム/7でやらせることにより、すべてキーボード操作に統一した。図-11は、実験中の各種の機器の使用状況を示したものである。

### 4.3 SIMOS の各プロシーチャーの機能とファイル構造

図-12は、SIMOSの各プロシーチャーとそれらのコントロールの受け渡しを示したものである。

DKCAPは、主記憶の常駐領域にある。このプロシーチャーは端末キーボードから目的別のキーワードが入力されると、必要なプロシーチャーをディスク上のプログラム・ファイルから主記憶へロードして実行する。SIMOSの各プロシーチャーは、すべてアセンブラー言語で作成され、モジュールの大きさはDKCAPが400ワード、オーバー・レイ・プロシーチャーがおおの1,000~1,500ワード程度である。

表-1は、構造実験の作業を通じてSIMOSに要求される各種の機能と、それを実行するそれぞれのプロシーチャーの動作の概略をまとめたものである。

図-13は構造実験用ディスク・ファイルの構成を示したもので、先頭から種々のテーブルが並び、その後1回ごとの測定データであるAn Advance Dataが順次書き込まれて行く。テーブル類は実験中に要求される作業に応じてオペレータがキーワードを入力すると、各プロ

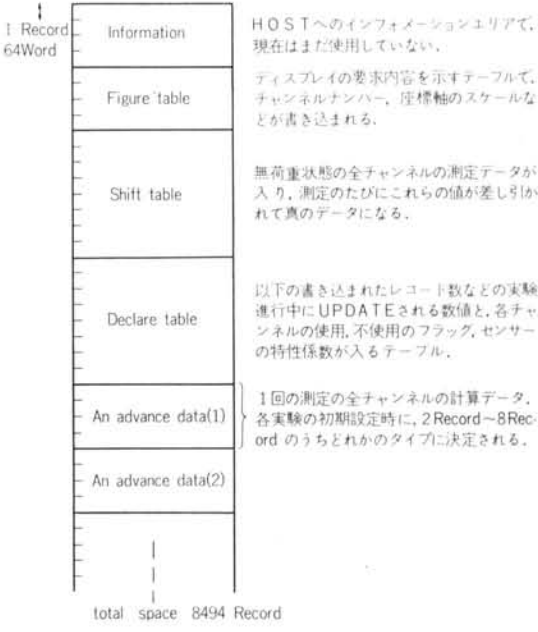


図-13 DKFILED 1の構造

実験中の要求	使用プロシージャ	動作内容
ファイルの初期値化	UPS	Information, Figure table, Shift table をゼロにクリアし、使用するチャンネルに合わせて Declare table を作成する。
センサーのキャリブレーション	UPT	ダイレクト・アナログ・チャンネルの電圧を読み、ディスプレイをくり返す。
センサーの特性係数の代入, 更新	UPC	係数をキーボードから入力し、Declare table を UPDATE する。
測定	SMPL	ダイレクト・アナログ・チャンネル, および DACQ の出力信号を読み、計算を行なって An Advance Data を書き込む。
測定されたデータのディスプレイ	DSPL	ディスプレイするチャンネルナンバーその他の指定条件をキーボードから入力し、Figure table を UPDATE した後、RE VW を Fetch する。
	REVW	Figure table を参照して、指定された条件にそってデータをディスプレイする。
重要部分の常時ディスプレイ	DRCT	Figure table を参照し、ダイレクト・アナログ・チャンネルのサンプリング、ディスプレイをくり返す。
回復できないオペレーションミスの処置	UPO	ファイル中の任意のレコードのダンプ, パッチを行なう。

表—1 各プロシージャの動作

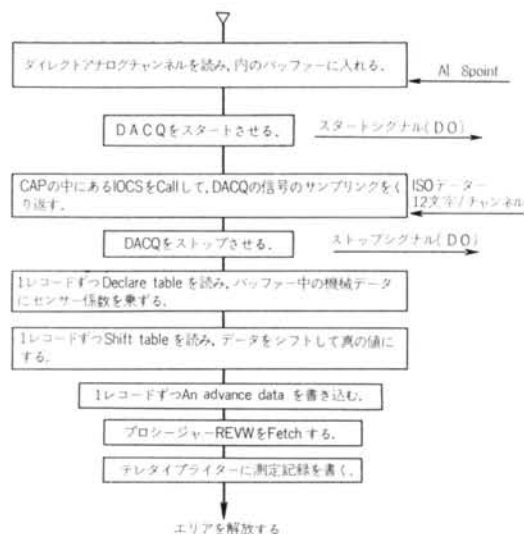
シージャはこれらの内容を変更して行く。An Advance Data はその実験で使用されるチャンネルの数によって、2レコード～8レコードのうちの適当な大きさを実験開始時に決定する。これは比較的センサーの数が少ない実験ほど測定回数が多いという傾向を考慮したもので、ファイル・スペースの有効利用を計っている。

#### 4.4 データ・サンプリングの流れ

データ・サンプリング・プロシージャ (SMPL) の動作概要を図—14に示す。構造実験の場合、1回の測定は20～50秒程度であり、通常測定間は大きなインターバルがある。したがって他のプロシージャ同様、このプロシージャもオーバー・レイ化して主記憶の有効利用を計っている。このほか、各プロシージャで使用するI/Oデバイスの故障時の互換性を確保するため、目的別に IOCS のエントリー・アドレスを DKCAP の中に持っており、各プロシージャはこれを毎回参照してI/Oを行なっている。もしどれかの機器がダウンした場合、このワードを変更しさえすれば、一応実験を続行できるようにしている。

#### 4.5 ホスト・データ処理プロシージャ (LES)

1つの実験が終了すると、ラボラトリー・オートメーション・システムが備えているデータ伝送プログラムにより、構造実験ファイル全体がシステムのディスクに伝送される。これを用いて目的の形にデータ処理を行なう



図—14 データサンプリングの流れ

わけであるが、このデータ処理用のプロシージャ群を、LES (Laboratory Experimental Settlement) と名付けた。図—15はその概要を示したものである。

SIMOS から伝送したデータは、システム/7からの要求で実行されるプログラム LES 007 によって、LES の標準形式のファイルに書き込まれる。この標準形式の磁気テープが作られると、LES の各種のプロシージャによって、ひずみ、変位、荷重などの全リスト作成、 $P-\delta$  曲線のプロット・アウト、主応力の計算などをバ

ッチ処理で行なう。

SIMOS の完成前は LES 001, LES 002 等のプロシージャによって、紙テープあるいはパンチ・カードなどでデータを入力していたが、現在これらのプロシージャは現場実験のデータ処理用に用いている。LES プロシージャは種々の構造実験の形態に十分対応できるように汎用性を持たせ、すべて PL/I 言語で作成されて

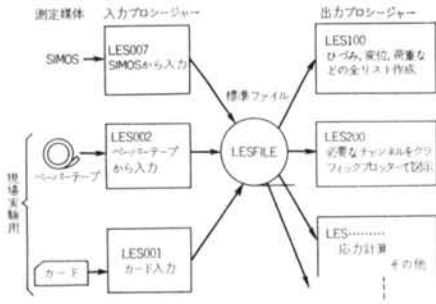


図-15 LES プロシージャ

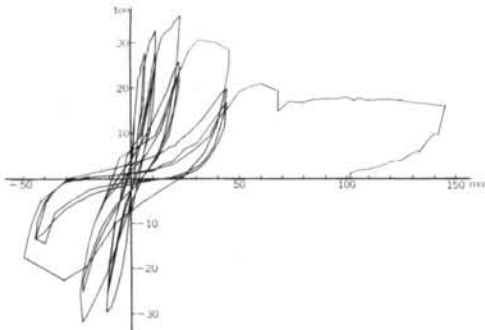


図-16 LES の出力例

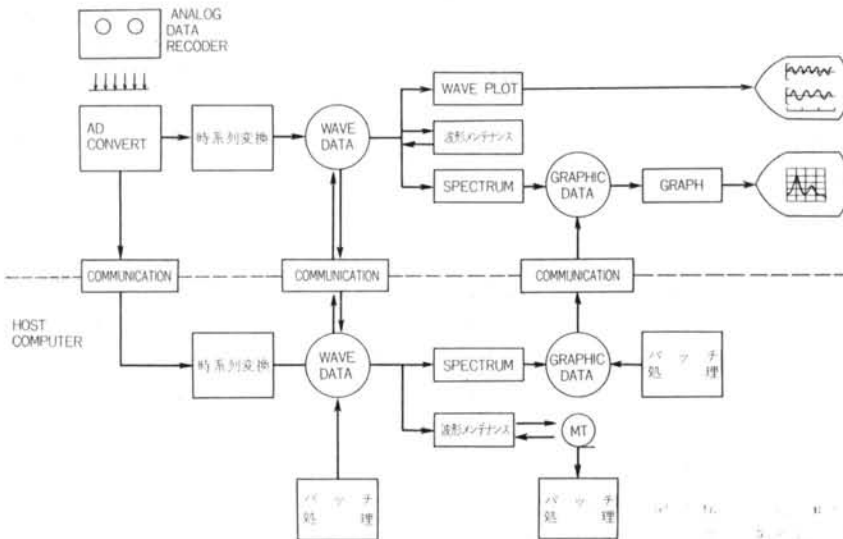


図-17 波形処理システム

いる。これらはシステム/370のディスク中にロード・モジュール・ライブラリーを置き、解析者が自由に利用できるようになっている。図-16は、LES プロシージャの出力例である。

#### 4.6 SIMOS の将来構想

現段階では SIMOS は同時に複数の構造実験を扱うことはできないが、当研究所の大型実験棟は、構造実験だけで3~4の実験を並行して行なえる施設である。これに備えて、同時に複数の構造実験が扱えるように SIMOS を拡張する必要がある。それらに対応するためにシステム/7を拡張する方向と、測定機側でミニコンを持たせる方向の2つの方式で検討して行く方針である。

### § 5. 波形処理システム

波形は正弦波のような周期的なものと、ランダム波のような非周期的なものに分けられる。

今期の目標として、建物・地盤の常時微動、地震、風圧、波浪といったランダム波を対象に、その記録がアナログ・データ・レコーダで収録されたとしてシステムの開発を行なった。

波形処理システムは、図-17に示すようにサンプリング、波形プロット、波形メンテナンス、周波数解析、解析結果の図形表示、およびホスト波形メンテナンスに大別できる。

システム開発にあたり、つぎのようなことを条件に考慮した。

- 1) 機能を管理するプログラムと処理プログラムを分離することによりプログラムを小さくする。
- 2) サンプリングを行なってから結果がでるまでの時間 (TAT) を短くする。
- 3) ホスト・コンピュータにも同機能を有するプログラムを配し、並行処理を可能にする。
- 4) ホスト・コンピュー

タのプログラムはすでに開発されたものをできるだけ利用する。

### 5.1 データのサンプリングと時系列変換

A/Dコンパートはつぎのような条件を設定して開発を行なった。

- 1) チャンネル数 (NC) は最高32とする。
- 2) 1チャンネル当りのデータ数 (N) は4096。
- 3) サンプリングタイム ( $\Delta t$ ) は0.01秒以下。
- 4) 連続サンプリングは5回。

プログラムの実行を行なった結果、 $\Delta t$  は最小  $400\mu s$ 、通常  $5ms$  で初期の目的は達した。

連続サンプリングは5回では少ないことが判明したため、全波形本数を140本とし回数の制限をなくした。

サンプリングしたデータはチャンネル系列のため、各チャンネルの時系列変換を行なわなくてはならない。

そのためのプログラムをホスト・コンピュータにも配置し、サンプリングをしながら時系列変換も同時処理し大容量のデータでもTATが長くないようにした。

### 5.2 波形プロットアウト

時系列になった波形を見るためのグラフィック・ディスプレイを使用し、波形の確認ができるようにした。

また、ホスト・コンピュータに保管してある地震波等の波形も容易にプロットアウトできる。

### 5.3 波形メンテナンス

1つの波形データには2つのコード番号、タイトル、最大値、サンプリングタイム、データ数およびデータから成り立っている。

サンプリング時などになんらかの間違いを起こしたり、保存のためのファイルを作成したり、あるいはファイル内にどのような波形があるかを確認したりするためのつぎのようなプログラムを作成した。

- 1) タイトル部分のみのアウトプット
- 2) コード番号の入れ換え
- 3) タイトル、最大値、サンプリングタイム、データ数の修正
- 4) 波形の順序の入れ換え
- 5) データのアウトプット

- 6) データの修正
- 7) 波形の削除
- 8) 波形のピーク値の検出

以上の機能を管理するプログラムがあり、対話形式で即時に処理できる。

### 5.4 周波数解析

ランダム波の周波数解析の手法にはいろいろあるが、FFTによるフーリエスペクトルとパワースペクトルの解析ができる。

そして、数値フィルターを用いてフィルター効果の機能ももっている。

### 5.5 解析結果の図形表示

周波数解析の結果は、グラフィック・ディスプレイに表示することができる。

### 5.6 ホスト波形メンテナンス

データをマグネチックテープに保存したり、データセットの編集等を行なうためのプログラムがホスト・コンピュータにあり、随時使用して記憶装置の有効利用ができるようにした。

また、ホスト・コンピュータのバッチ処理プログラムのアウトプットを直接受け入れることにより、バッチ処理プログラムの効率をあげることに寄与している。

## § 6. 本システムの将来構想

本システムは、第一期として構造実験、振動実験、アナログ・データ・レコーダ処理を完成させたが、第二期として風洞実験、また解析プログラムの有効な道具としても利用できる。例えば、有限要素法の入力およびそのチェック、あるいは解析プログラムの結果のグラフィック出力などである。

### 謝辞

このシステムの導入に当って多方面にわたる助言をいただいた計画研の小西氏、桜井氏、山田氏、各研究部の委員の方、および計算センター、技術開発本部、総合企画室の皆様のご協力、ご指導に厚くお礼申し上げます。

### <参考文献>

- 1) H. Cole: "System/7 in a Hierarchical Laboratory Automation System" IBM Systems Journal Vol. 13, No. 4 1974
- 2) 小西康之、山田邦夫: "清水建設研究所設備のコンピュータ制御システム(その2)" 清水研設研究所報 第22号 昭和49年4月