

## 報 文

## 三軸試験機における無人化システムの開発

岡山職業訓練短期大学校 森 本 洋・中 藤 正 生

Automatic Data Recording System  
for Dynamic Tri-Axial Tester.

Yoh Morimoto, Masao Nakato

**要 約** 物理諸量を測定し解析する為の実験研究用装置においては、自動デジタル記録装置を内蔵し計算機による解析を行うのが近年の傾向である。ここでとりあげた「三軸試験機」は、すべてアナログ記録であるため計算機をもちいてのデータ解析には多大な労力を要し、そのうえ自動停止機構が充分でない為放置すれば装置の一部を破壊する場合があります、実験中は常に人による監視を欠かす事ができない。

この研究は上記不都合を解消する為、汎用の16ビットパーソナルコンピュータを用いて、見かけ上の並列処理を行わせる事により、現象の発現区間のみに限定される自動デジタル記録をおこなうと共に、実験の終了判別とそれに伴う装置の自動停止とを実現して無人化運転を可能にした。さらに任意スケールでのグラフィック描画による記録の再生表示や数値データのプリント出力、およびデータをBASICのシーケンシャルファイルに自動変換する機能などを付加した事などによりデータ解析を飛躍的に容易ならしめた。

## I 緒 言

温度、湿度、圧力、変位などに代表される物理諸量を測定し分析して記録する事が主たる目的の実験研究用装置においては、一般的に計算機を内蔵し採取したデータを数値解析して出力するのが近年の動向である。計算機を内蔵しない場合においては、GPIB端子やRS-232C端子を準備しておりデータを解析用計算機に転送できるようにしてユーザーの便宜を計っている。しかしこのようなデジタル出力の機能を搭載していない装置の場合には、記録チャートを机のうえに広げて定規と物差しで数値を読み取り計算機に入力しなおすという煩わしさを経なければデータ解析を行う事ができないうえ、チャートから数値を読み取る際に誤差を含むので研究成果の信頼性を低下せしめてしまうという難点がある。

ここで取り上げた「振動三軸試験機」も出力はアナログ記録チャートであり、その他の記録すべき情報は前面パネルに表示される数値などで提供されるのでそれらをメモに書き写す必要がある。

この研究の目的は、「振動三軸試験機」を計算機を用い

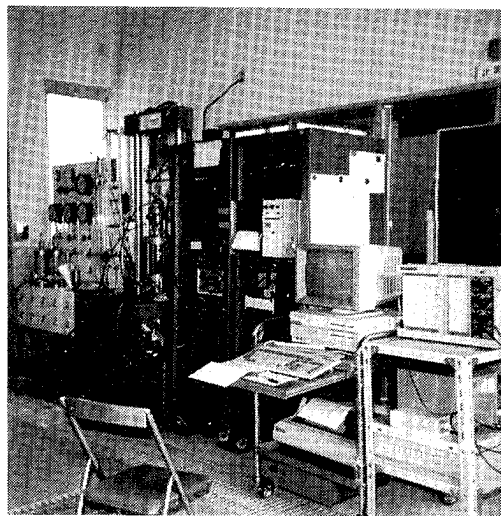


写真1 装置の全景

る事によりデータのデジタル記録と装置の自動停止とを実現し、実験の省力化と高効率化、及びデータの高信頼度化をはかって、この種の教育・研究の進展を側面から支援する点にある。

## II 振動三軸試験機の概要

本研究の対象とした振動三軸圧縮試験機は、地盤が地

震動や交通荷重によって振動を受けたとき、地盤の変形やその中に含まれる水分状態の変動などを主に解析するための実験装置であり、[図1]にその概要を示す。

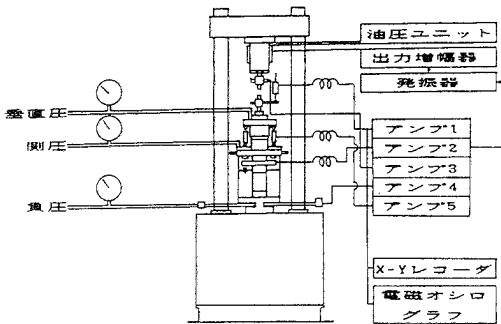


図1 振動三軸試験機の概要図

地盤が液状化（地盤中の水圧が振動によって上昇し土の抵抗力がなくなる現象）して山くずれや建物の倒壊等の大災害が発生する事はメキシコ地震や新潟地震などですでに有名である。この地盤の液状化現象の解析には、一般に「振動三軸試験機」が用いられ、本校においても教育・研究<sup>1),2)</sup>の用に供せられている。

この装置は、油圧サーボ式の静的、動的兼用型のものであり、記録システムに関しては4連ガルバノメータにより間隙水圧測定値、振幅軸ひずみ、載荷軸荷重などを電磁オシログラフで記録している。

測定要素は、主に振幅軸荷重、変位及び間隙水圧であり軸荷重は、セル内部のロードセル（容量max 100kgf、最小測定min 0.01kgf）を使用し、変位計はストローク±10mmのものにて検出している。

現用機には以下にのべる難点があつて教育・研究の進展を阻害していた。

- (1) すべてアナログ記録であり、計算機をもちいてデータ解析を行う際に多大な労力を要する。
- (2) 自動停止機構が充分でなく、放置すれば装置の一部を破壊する場合があるので常に人による監視が必要であり、測定が深夜に及び中断しなければならない事が度々あつた。
- (3) 液状化にいたる過程が複雑で、現象発現区間に限定した記録が不可能であり記録紙などの無駄が多い。

### III 要求される仕様

前記「振動三軸試験機」を用いる教育・研究の進展を側面から支援する為に計算機を用いて自動運転と数値データの蓄積とグラフ表示とを可能とする。その為に必要な

仕様について検討し、次の通りに設定した。

[図2]に装置の構成を示す。図中の〈INT. LOAD〉は振動を発生させたときの供試体に作用する反力である。又〈EXT. DIP.〉は振動に応じ供試体の伸縮状態（変位量）を示し、〈PORE〉は土粒子間の過剰水圧を出力している。〈CYCLE〉は加振圧力波形に相関するアナログ波形であり、通常1V<sub>p-p</sub>の正弦波が用いられる。

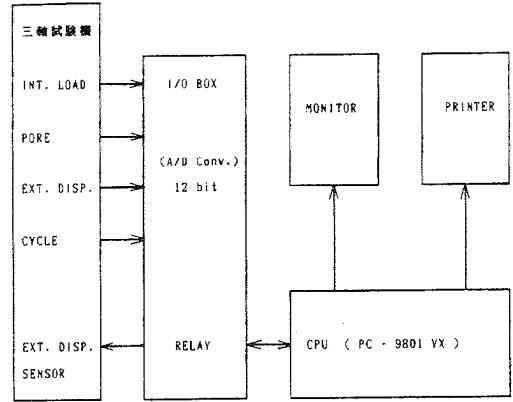


図2 装置の構成

#### (1) 記録対象

- A : PORE --- +5.0kg/cm<sup>2</sup> / +2,500 Volt
  - B : INT. LOAD --- ±100kg / ±2,000 Volt
  - C : EXT. DISP. --- ±10mm / ±2,000 Volt
- 周波数はどの事象についても最大30Hzとする。
- D : CYCLE --- 繰り返し加振回数。(回)

記録開始/終了時における値を記録する事。

#### (2) 記録条件

- 瞬時性：各事象を時間の差がなくサンプリングする事。
- 等時性：サンプリングの周期にばらつきが無い事。

#### (3) 記録期間の設定方法

- 開始：〈PORE〉値をモニターし、設定値を越えるとデジタル記録を開始する事。
- 設定値は任意の値でキーインできる事。
- その時までの繰り返し加振回数を記録する事。
- 終了：〈EXT. DISP.〉値をモニターし、設定値を越えるとデジタル記録を終了する事。
- 設定値は任意の値でキーインできる事。
- その時までの繰り返し加振回数を記録する事。
- DISK FULL 等、システムの都合によっても自動的に記録動作を終了する事。

#### (4) 記録の再生機能

各事象の推移を縦軸、横軸とも任意のスケールでグラフィック表示し、任意区間を画面コピーできる事。

その際、各事象の最大値、最小値を表示できる事。グラフィック表示をしながら任意の区間の数値データをプリンターに出力できる事。

(5) ファイル形態

記憶容量は50万サンプル点程度が必要であり、パソコンによるデータ解析を可能ならしめる為、N-88 BASICのシーケンシャルファイルでデータを提供する事。

(6) 三軸試験機を自動停止させる機能

実験の終了条件を判別して三軸試験機を安全・確実に自動停止させる事。

三軸試験機は大変高価な装置であり、装置内部にできる限り手を加えないで自動停止機能を実現する事。

ただし、電源のON/OFFによる停止は装置が故障する場合がありますので避ける事。

DISK FULL等、システムエラーの発生によっても自動的に装置を停止せしめる事。

(7) その他

計算機はその電源のON/OFFに関わらず、三軸試験機の動作には何の障害にもならぬ事。

IV 基本設計

[図3]に処理フローを示す。制御用計算機として「NEC PC-9801VX」を採用した。また本研究において使用したA/D変換器は市販のボードでありその仕様の概略は12ビット分解能、-5V~+5Vの8チャンネル差動入力、最小変換時間は5μ秒のものである。一般に市販ボードをその性能限界で使用するとまれであるが誤動作を発生する場合がある事が知られておりこの研究では変換時間を10μ秒に設定して用いた。

以下、前項の「要求される仕様」の各項目に従って基本設計の概略を述べる。

仕様<1>について

各事象の信号採取点はレコーダー出力端子とした。また、A/D変換素子の動作モードは、<INT. LOAD>及び<EXT. DISP.>が±5ボルト以内の信号である事からコンプリメントバイナリーとした。

<PORE>は0~+5ボルトのストレートバイナリーが好ましいが、各事象のデータを同じプロセスで処理する事によりプログラミングの煩雑さを避ける事ができるの

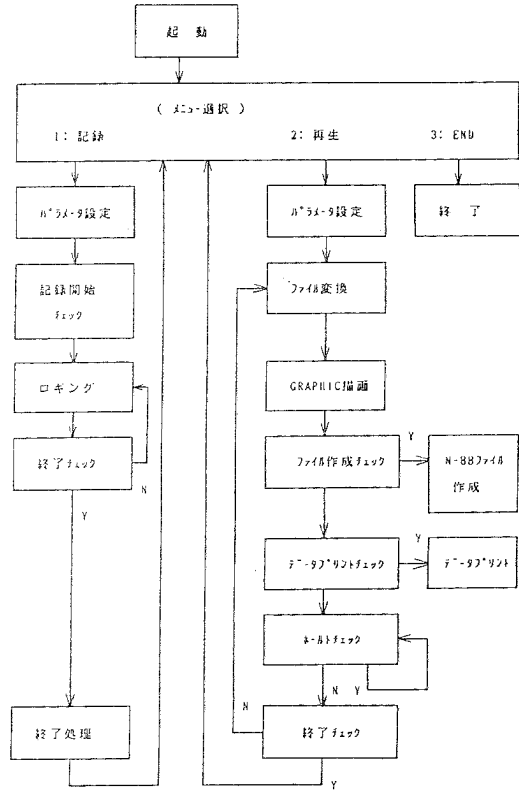


図3 処理フロー

で、<PORE>も±5ボルトのコンプリメントバイナリーとした。

<CYCLE>信号は波形成形回路に通した後、インタラプト処理によりカウントした。その理由は本装置を構成する上で複数のタスクを見かけ上並列に処理する必要がある為であり、その構成の詳細については後述する。

仕様<2>について

[図4]に示すタイムチャートに従ってデジタル記録をするように設定した。この方式によればデータサンパ

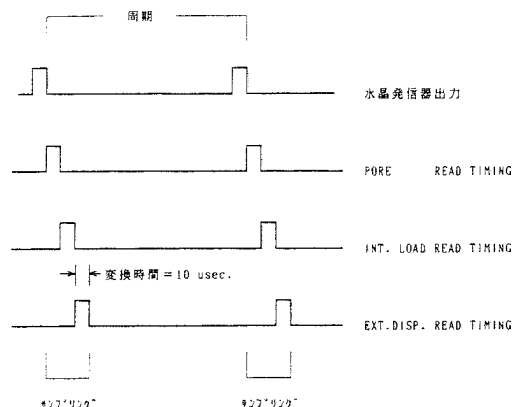


図4 A/D変換器タイム図

リングの瞬時性に関し、A/D変換器の最小変換時間の累積時間である30μ秒の誤差を生ずるが、入力信号はすべて30Hz以下である事から実用上データ解析には支障を及ぼさない。厳密に瞬時性を保証する為にはプログラマブル水晶発信器の出力に同期して各事象をサンプルホールドし順次読み出すように構成すれば理想的であるが、ハード・ソフトとも負担が増加するので今後の課題とした。

仕様<3>について

<PORE> 値、及び<EXT. DISP.> 値は、A/Dコンバーターをポーリングモードで用い、BASICからアクセスした。その理由のひとつは、設定値をキーインできるように要求されている為であるが、複数タスクを見かけ上並列処理させる為の手法の一環ともなっており、その詳細については後述する。

仕様<4> 及び仕様<5>について

高密度大容量記録と、連続高速度記録を同時に実現する為に[図5]に示すように2種類のファイルを作成する方式とした。即ち1データあたり2バイトで記録させる方式とし、A/Dから読み込んだ12ビットのデータをそのまま記録させ、グラフィック描画の際に、1データごとに実数値に変換する方式とした。

このファイルを「機械語ファイル」と名づけ、描画の際に必要なに応じて、N-88 BASICの「シーケンシャル

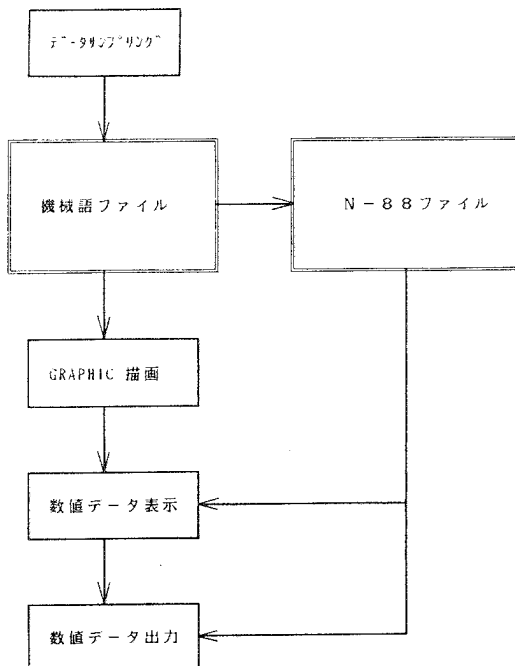


図5 作成ファイル相関図

ファイル」を作成する方式とした。さらに「機械語ファイル」には、ディスク上の特定の位置へ実験年月日、繰り返し加振回数の記録値、サンプリング周期等を書き込んでおり、採取データに関する付帯情報もあわせて記録/再生できるようにした。シーケンシャルファイルに変換する時には実験年月日の6桁の数字をファイル名とするようにプログラムした。

仕様<6>について

[図6]に処置の概要を示す。外部からの制御により装

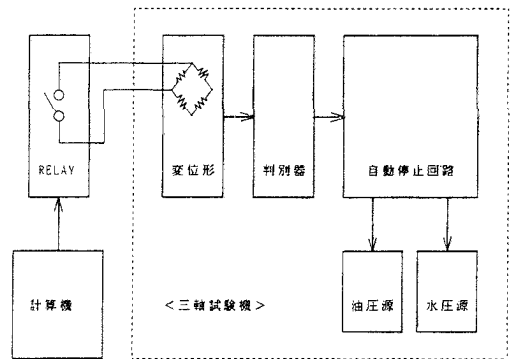


図6 自動停止信号注入方法

置の電源を遮断して停止させる方法を採用する事ができない為、三軸試験機に最初から設置されている自動停止機構を各方面から検討したところ、<EXT. DISP.>のセンサーに過大な変位が入力されたかのような疑似信号を電氣的に注入するのが最も無難であるという結論に至った。ここで<EXT. DISP.>のセンサーとは、ストレインゲージのブリッジ回路による変位計であり、従って上記疑似信号としてはブリッジバランスを壊すようにリレー接点を接続し、このリレーをCPUからアクセスする事によって三軸試験機の自動停止機構のひとつを動作状態に移行せしめて、装置の停止にいたらしめるようにした。

仕様<7>について

自動停止を制御する上記リレーをノーマルオープンモードで使用し、約1秒のワンショットパルスで駆動する。こうする事により制御用計算機の電源のON/OFFに三軸試験機は影響されない。また、制御用計算機はレコーダ端子から信号を採取しているので三軸試験機に何ら影響をおよぼさない。

以上が基本設計の骨子であるが、この装置を実現する上で最も困難で考慮を要した点は、複数のタスク(仕事)を同時に処理する必要がある事であり、具体的には以下のべる点である。

デジタル記録を開始する以前では、

- ①常に<PORE> 値をモニタリングし、デジタル記録



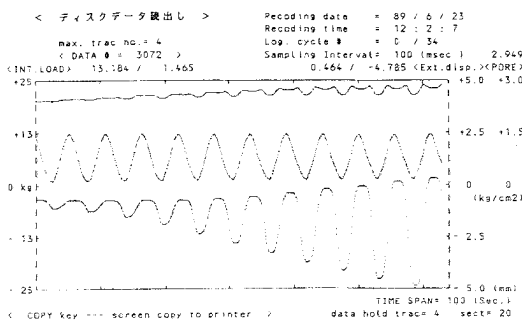


図 8 時間軸を変えた表示の例

DATA #	INT. LOAD : Kg	PORE : Kg/cm <sup>2</sup>	EXT. DISP. : mm
3052	11.231	2.856	0.464
3053	10.804	2.852	0.464
3054	10.620	2.856	0.464
3055	10.254	2.856	0.452
3056	9.888	2.852	0.452
3057	9.644	2.852	0.439
3058	9.277	2.856	0.427
3059	8.911	2.861	0.427
3060	8.545	2.866	0.415
3061	8.301	2.871	0.378
3062	7.935	2.881	0.354
3063	7.690	2.886	0.305
3064	7.446	2.891	0.244
3065	7.202	2.905	0.183
3066	6.836	2.910	0.085
3067	6.592	2.920	-0.012
3068	6.470	2.935	-0.156
3069	6.226	2.944	-0.342
3070	5.981	2.949	-0.574
3071	5.856	2.949	-0.830

図 9 数値データ表示の例

シャルファイルに変換して、数値データをプリントアウトしたものである。

## VI 結 言

本装置の性能限界は、サンプリングの等時間性を保証しディスクアクセス時間を含めたくて、最小周期は約  $200 \mu\text{sec}$  / チャンネル、容量は約  $50$  万サンプリング点数が可能である。ディスクアクセス時間を含めなければ最小周期は約  $10 \mu\text{sec}$  / チャンネルでありメモリーの許す限り記録可能である。

記録データの精度は、A/D変換器の1ディジットに相当する  $2.44 \text{ mV}$  であり、これは三軸試験機の出力信号のフルスパンの約  $0.1\%$  に相当している。さらにこの値は三軸試験機の本来の精度を十分に上回っており、特に三軸試験機の温度ドリフトが目だつほどであった。

デジタル記録の精度をさらに向上させるには、A/D変換器の最大許容入力電圧範囲である  $\pm 5000 \text{ mV}$  に一致するように各事象のアナログ出力信号振幅をその都度調整するか、または  $16 \text{ Bit}$  のA/D変換器を用いればよいであろう事は明白であるが本装置の汎用性と簡易性を確保する観点からあえてそうしなかった。

本システムは、現在活用されている装置を計算機を用いて制御する具体例として学生に提示する事になるので現場の雰囲気を感じさせ、より勉学意欲を喚起せし

めて制御実習全般に亘り一層積極的にならしめるものと期待している。

## 参考文献

- (1) 中藤、河野、西垣：不飽和砂質土の液状化強度特性に関する基礎的考察  
1988, 第40回土木学会中四国研究発表会講演概要集 PP 298 ~ PP 299
- (2) 中藤、河野、西垣：液状化因子の相関変動値における実験的研究  
1989, 第41回土木学会中四国研究発表会講演概要集 PP 278 ~ PP 279
- (3) 土質試験法：土質工学会編 PP 552 ~ PP 562
- (4) NEC：PC-9801VX BASICユーザーズマニュアル、BASICリファレンスマニュアル、ハードウェアマニュアル。
- (5) 大貫 田中 葦原：80286ハンドブック、アスキー出版。
- (6) テクノライト編：PC-9800シリーズ、テクニカルデータブック、アスキー出版。
- (7) テクノライト編：PC-9800シリーズ、テクニカルデータブック増補改訂版、アスキー出版。