

報 告

[2099] 電動機式アクチュエータを用いたオンライン載荷システム

正会員 渡部 丹 (清水建設)

正会員○平尾哲也 (日立製作所)

正会員 矢澤英治 (鉄道総合研究所)

正会員 山崎 淳 (日本大学理工学部)

1. はじめに

1. 1 オンライン載荷実験システムの現状

構造物の耐震性状を把握するために、(1)数学的モデルによる解析を用いた方法、(2)振動台実験による方法、(3)オンライン載荷実験法による方法があるが、この中で(3)のオンライン載荷実験法は比較的手軽に小規模の実験装置で行えることから、現在では構造物の耐震特性把握のためによく用いられる実験法である。

伯野らにより考案されたアナログ計算機とアクチュエータとをつないで載荷実験を行う新しい方法は、現在においてはデジタル計算機の普及により、デジタル計算機-アクチュエータ・オンライン実験として行われている [1]。また、数々の研究によりこの実験法が、振動台実験などと比べても精度的にも良い結果が得られ、十分な有意性を持つことが実証されている [2]~[8]。そして、デジタル計算機の性能の向上により実験の精度の向上や、実験法の適用範囲が広げられてきている。

1. 2 本実験装置の意義

そのような有用性が高いオンライン載荷実験システムであるが、現在製作されている装置は多くの場合、電動機式サーボ・モータに比べ高価な電気油圧式モータを用い、またシステム構成を考える場合に複雑になってしまうことが多々ある。そのことは、オンライン載荷実験が比較的小規模に行えるという利点や、その装置をさらに拡張を行い様々な問題に適用していくということを困難にする。オンライン載荷実験法をさらに拡張・展開するためには、比較的システム構成やシステム制御が単純明快で、拡張容易な装置を考えることが要求される。当然ながら実験室レベルでは安価なシステム構成を考えなければならない。そこで、オンライン載荷実験装置として、次のような特徴を持つ装置の製作をした。

(1) 電気油圧式モータよりも安価な電動機式サーボ・モータを使用し、使用目的に対して拡張が容易である。

(2) アクチュエータの制御がプログラマブル・コントローラにより統括して行えるため、制御装置であるパーソナル・コンピュータとコントローラの対話形式によるデータのやり取りだけですべてを制御できる。

(3) システム構成が比較的簡単で、拡張や、保守などにも迅速に対応できる。

以下、2章、3章にシステムの構成、実験用ソフト・ウェア、について詳細に報告する。

2. 本実験装置のシステム構成

2. 1 システムを構成する機器

図1に、本実験装置のシステム構成の基本概念を図で示す。アクチュエータ（加力装置）の部分は、モータ・ドライバ、サーボ・モータ、レゾルバ、スクリュー・ジャッキを結合したものであって、図1では基本概念として1系統のみ示しているが、本報告の装置では2系統を有している。なおこの部分は任意の数に容易に拡張することができる。制御装置として16bitパーソナルコンピュータを用い、アクチュエータを統括制御するものとしてプログラマブル・コントローラを用いている。

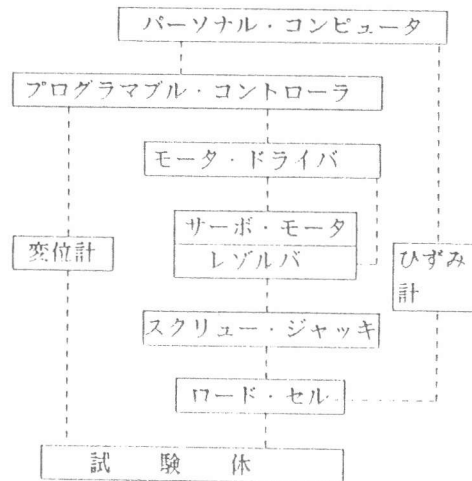


図1. 実験装置のシステム構成

特徴的なのはこのコントローラでアクチュエータを統括制御でき、パソコンからの指令に基づいて自動的に運転できることである。一連の流れとしてまず、あるステップまでの変位データ、復元力特性を用いパソコンで計算された変位データがコントローラに送信される。さらにコントローラからモータ・ドライバを経てサーボ・モータ、スクリュー・ジャッキに伝達されロード・セルを介して試験体に強制変位として载荷され、応答変位と試験体反力を取り込み次のステップに進むのは周知の通りである。今回製作したシステムに使用した機器は次のようなものである。

- ・制御装置 16bit パーソナル・コンピュータ 640KB、16MHz
- ・シーケンサ・ユニット
 - ・プログラマブル・コントローラ RAM 16KB
 - ・上位リンク・ユニット (パソコンとコントローラの仲介機器)
 - ・位置制御ユニット 1軸制御/1ユニット、自動台形加減速方式
位置データ容量 20個、速度データ容量 15個
 - ・高速カウンタ・ユニット (変位計からデータの読み込み)
 - ・コンソール (コントローラのプログラミング用)
- ・サーボ・ドライバ 制御方式 PWM 3相正弦波駆動、電源一体型、パルス列出力
- ・サーボ・モータ 最大出力 3.3KW、最大軸回転数 2000rpm
瞬時最大トルク 661Kg・cm
- ・スクリュー・ジャッキ ストローク 400mm、最大加力 30t
- ・ストローク・センサ ストローク 400mm、分解能 0.01mm
- ・ひずみ測定器 TDS-301

2. 2 各機器の通信制御

このシステムの特徴であるコントローラについて詳細に述べる。このコントローラを含むシーケンサ・ユニットには図2に示されるようなユニットが含まれている。それぞれ、上位リンク・ユニットはパソコンとアクチュエータとの通信を仲介するもので、位置制御ユニットは計算変位をモータへ伝達しモータ・ドライバとともに目標位置に到達するまで回転数を監視する。高速カウンタ・ユニットはストロークセンサ（変位計）からの測定値を読み込み、データとしてパソコンへ伝達する。

始めに述べたようにこのシステムではアクチュエータの制御にはパソコンとコントローラのやり取りだけで行える。すなわち、図3に示すようにパソコンは決まったコマンドを発信し、それに対してコントローラからのレスポンスが返ってくるというものである。装置起動のために必要なデータとしてはモータの速度データ、加減速データおよび試験体への目標位置データである。ここで、モータの速度データ、加減速データは開始時に1度指定してやればその値で実験が行われる。実験中は計算により算出された目標位置データのみを送信すれば良い。

パソコンで計算された変位は位置制御ユニット（コントローラ）を経て、モータへ伝達されるが、モータ回転数は常に監視制御されてより精度の高い加力がなされる。

そのシステム図を図3に示す。位置制御ユニットから送られた位置データはサーボ・ドライバでパルス列に変換されモータへ伝達される。モータ内にはレゾルバが内蔵されていてレゾルバより常にドライバへ現在回転数がフィード・バックされる。位置制御ユニットではフィード・バックされてきた回転数を監視して所要回転数になるように最適制御を行う。

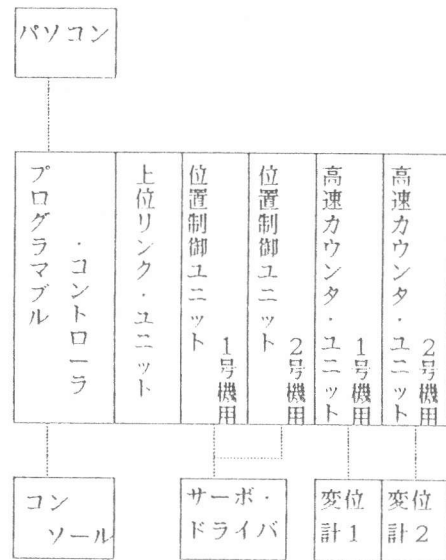


図2. プログラマブル・コントローラの構成

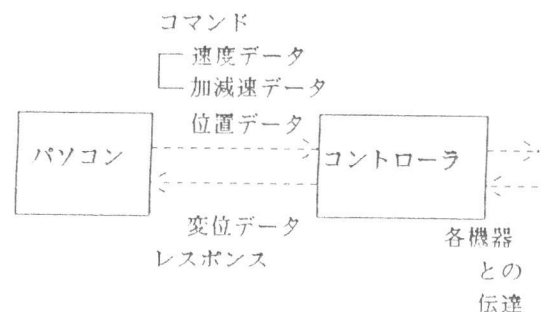


図3. 制御システムの通信

このように、このシステムではパソコンのデータ転送からモータの制御までの一連の流れをデジタルによって行っている。起動発令からモータの立上がりまでの応答時間は、ここで対象とする実験には十分速いのはやさである。

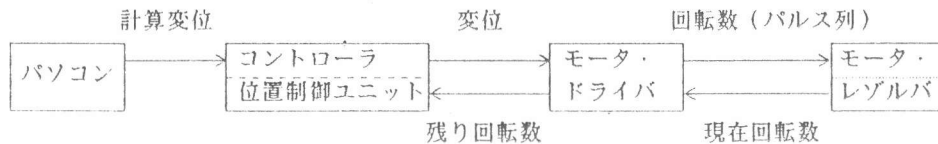


図4. モータ制御系のシステム図

また、モータの回転速度設定は図5に示すように通常の台形加減速方式の他にJOG機能という微小回転させるための機能がある。これは、通常の台形加減速方式では位置決め時におよそ0.04mm程度の精度までしか制御できないからである。

装置を起動時にモータの目標速度データならびに加減速データを送るわけであるが、両データは、任意のデータを送ることができ、載荷速度の変更をすることができる。このことは、実験時間の短縮化というまでもなく、システムに対するソフト・ウェアの改良により、構造物の構造的な変化（材料特性の時間に依存するファクターであるコンクリートのクリープ、鉄筋のひずみ速度など）と載荷速度との関係を実験する場合などにも適用できると考えられる。

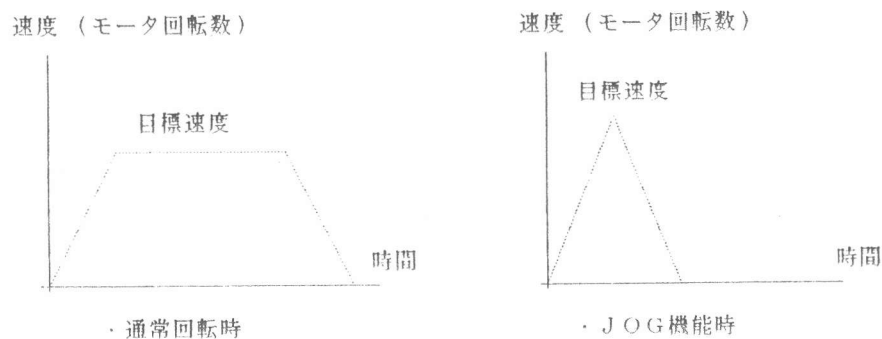


図5. モータの回転速度設定

次に、載荷装置の概要を図6に示す。今回製作した装置は2層ラーメン形式の不静定構造物なども対象に実験を行えるように2基のアクチュエータを用いている。もちろん、載荷方向を変えることで様々な構造物を対象とすることができる。

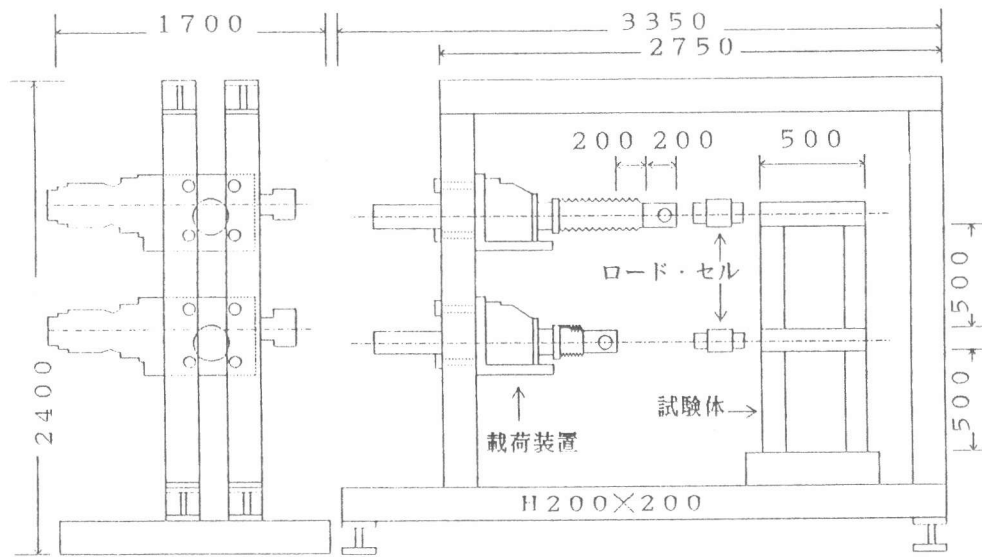


図6. 載荷装置の概要

3. 実験用ソフト・ウェア

これら実験装置に対する実験用ソフト・ウェアとして作成したプログラムのフロー・チャートを図7に示す。使用言語はbasicである。パソコンとコントローラとのインターフェイスには汎用のRS-232Cを用いているので他の言語でも使用できる。このソフトでは、実験前に入力地震波を読み込み、測定装置の初期設定を行った後は実験を自動的に続行するようにしている。あるステップにおける計算変位に対して測定変位が許容誤差内に収まらない場合にはJOG機能により微少運転を行い補助調整を行う。

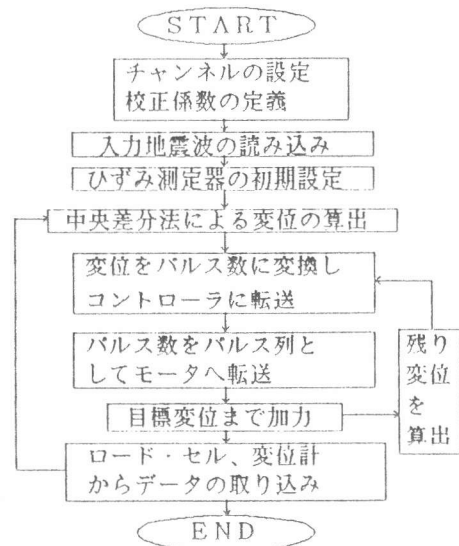


図7. 実験プログラムのフロー・チャート

4. まとめ

今回、製作した実験装置の特徴をまとめてみると以下のようなものである。

(1)アクチュエータをコントローラで統括して制御しているためシステム全体の制御はパソコンとコントローラの対話により行える。

(2) アクチュエータの軸回転数を変化させることができるので、実験時間の調節が可能である。また、ソフト・ウェアの変更により、载荷速度と構造物の特性変化の関係する挙動の実験にも適用可能である。

(3) システムの構造が簡単であること、電動機式アクチュエータはじめ各構成機器基本部品の入手が容易で安価であるため、システムの製作および拡張が容易である。

(4) 本報告に述べた载荷装置は、試験体として、2自由度モデル構造物、たとえば、2階建て高速道路など、2層ラーメン構造を対象としている。アクチュエータの設置位置・方向は任意に選べるから種々の形状の構造物の载荷装置に適用可能である。

(5) オンライン実験では、試験体の挙動が実験の進行につれて初めて明らかになる場合が多いので、逐次、試験体の状態を種々のデータで可能なかぎりモニターに視覚的に示すことのできるソフト・ウェアを開発することが現時点での研究課題のひとつである。

謝辞

この報文は第一著者を研究代表者、第四著者を研究分担者の一人として東京都立大学在職中に東京都立大学・特別研究として行った研究のうち機器の設計・製作に関するものである。研究分担者である今田徹（土木工学）・渡辺敦（機械工学）・鈴木浩平（機械工学）・西川孝夫（建築工学）各教授、および、芳村学（建築工学）助教授、ならびに、大沢清八助手、機器の設計・製作に尽力頂いた株式会社フジタ研究開発部イチケンの長濱至氏の各位に厚く御礼申し上げる。第二、第三著者は、東京都立大学修士課程在学中に機器の製作、ソフト作成に参画した。本稿の文責は第四著者にある。

参考文献

- (1) 伯野元彦・四俣正俊・原司：計算機により制御された、はりの動的破壊実験、土木学会論文報告集、No. 171, 1969. 11
- (2) 高梨晃一ほか：電算機—試験機オンラインシステムによる構造物の非線形地震応答解析（その1 システムの内容）、日本建築学会論文報告集、No. 229, 1975. 3
- (3) 岡田恒男・関松太郎：電算機—アクチュエータオンラインシステムによる鉄筋コンクリート骨組の地震応答実験（その1. 目的および方法論）、日本建築学会論文報告集、No. 275, 1979. 1
- (4) 金多潔・西澤英和：ハイブリッド方式のオンライン地震応答载荷実験法の開発と若干の動的実験（マイクロコンピュータによるシステムについて）、日本建築学会論文報告集、No. 329, 1983. 7
- (5) 山崎裕ほか：振動台実験と仮動的実験による鉄骨骨組の地震応答（仮動的実験手法による地震時応答再現性）、日本建築学会構造系論文報告集、No. 364, 1986. 6
- (6) 町田篤彦・睦好宏史・鶴田和久：地震力を受ける鉄筋コンクリートラーメン構造物の弾塑性応答に関する研究、土木学会論文集、Vol. 6, No. 378, 1987. 2
- (7) 加藤博人・中島正愛・上之蘭隆志：仮動的実験手法による地震応答性状、日本建築学会学術講演梗概集、1984. 10
- (8) 早川淳一：仮動的実験装置の開発とRC構造物の損傷評価方法、東京都立大学修士論文（土木工学）1989. 3