

高精度オンライン地震応答実験システムの開発

関 松太郎 内 田 壘
勝 俣 英雄 杉 山 公 一
(本社 原子力本部設計部)

Developent of Advanced Computer-Actuator On-Line Test System

Matsutaro Seki Hiraku Uchida
Hideo Katsumata Kouichi Sugiyama

Abstract

The on-line test system is one of the feasible earthquake response methods which can faithfully simulate the behavior of structures subjected to earthquake ground motions. Although a shaking table test is another effective simulation method, the dimensions of the specimens employed are smaller than those in on-line test specimens. This on-line test system was developed about 1970, after which, this system found gradually increased acceptance at universities, national research institutes, and private company institutes in Japan.

This paper describes the development of an advanced on-line system. The objective of development is emphasized on the accuracy of control using a very accurate displacement transducer and the degree of freedom in control using many actuators. Therefore, very rigid structures such as reinforced concrete shear walls can be tested by the former technique and multi-degree-of-freedom structures by the latter technique. The feasibility of the developed system is proven by three kinds of on-line tests : base-isolated structure subjected to two-component ground motions, two-story braced steel frame subjected to one-component motion, and reinforced concrete shear wall also subjected to one-component ground motion.

概 要

オンライン地震応答実験とは、地震時の構造物あるいは部材の実挙動を忠実に再現する実験手法である。地震時の挙動を再現する同種の実験として振動台実験があるが、オンライン実験は振動台実験では不可能な大きな構造物に対しても適用できる点に特徴がある。この実験手法は、既に1970年代に開発されて以来、耐震実験システムの一つとして徐々に普及されるに至っている。本報は、従来のシステムに改良を加えて、より精度の高い実験システムの開発を行なったものである。開発内容の特徴は、高精度な測定システムを導入することにより非常に剛性が高い耐震壁などへの適用が可能となったこと。および複数個のアクチュエータを用いることにより多方向地震入力時の挙動が再現可能となったことである。本実験システムの有効性は、免震構造物の2方向実験、ブレース付2層鉄骨骨組の一方方向実験および高剛性 RC 造耐震壁の一方方向実験の3種類の実験によって確認されている。

1. 序

オンライン地震応答実験は、構造物の地震時挙動を忠実に再現する有効な手段である。このシステムの特徴は、図-1に示すように、地震応答解析を進める際に構造物の運動方程式中の復元力として、構造実験により得られた復元力を直接用いることである。

本システムは、約20年前に伯野等¹⁾により開発の端を發し、高梨・岡田等²⁾により実用化への適用手法の確立がなされた。その後、大学・官公庁・民間会社等への普及が増大し、今日に至っている。

本論文では、従来のシステムを構築するとともに、改良を加えてより精度が高く、多機能を有するシステムの開発について述べるものである^{3)~5)}。すなわち、高精度な測定システムを用いて実験精度を上げることにより非常に剛性が高い耐震壁などへの適用が可能になったこと、および、複数個のアクチュエータを用いることにより多方向地震入力

時の実挙動が再現可能となったことが特徴である。

本実験システムの有効性は、ブレース付き2層鉄骨骨組の1方向実験、高剛性鉄筋コンクリート造耐震壁の1方向実験および免震構造物の2方向実験の3種類のオンライン

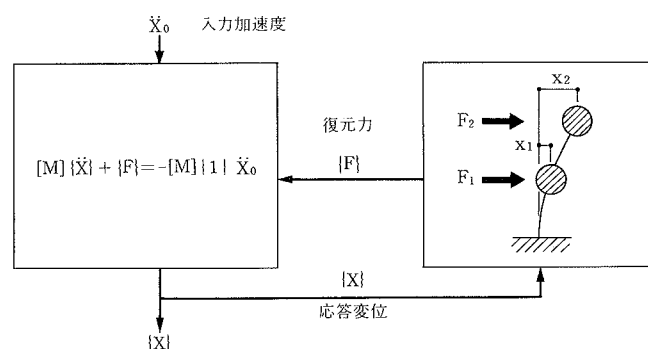


図-1 オンライン実験システム概念

実験によって確認され、今後種々の構造物への適用の可能性が検討されている。

表一1 制御・計測機器の仕様

1) 制御・計測コンピュータ (日本データ・ゼネラル製)	
CPU	MV4000(32bit), メインメモリ 2 MB
磁気ディスク	147MB, 354MB
磁気テープ	1600BPI
D/A変換器	12bit, 8ch (±10V)
A/D変換器	12bit, 64ch (±10V)
2) アクチュエータ	
① 静的アクチュエータ (島津製作所製) : 2台	
最大荷重	圧縮300ton, 引張100ton
最大ストローク	±375mm
最大加振速度	0.17cm/sec.
内蔵変位計	±400mm 精度±2%F.S.以内 0.8mm
ロードセル	±300ton精度±1%F.S.以内 0.3ton
② 静的アクチュエータ (島津製作所製) : 2台	
最大荷重	圧縮・引張 50ton
最大ストローク	±150mm
最大加振速度	0.17cm/sec.
内蔵変位計	±150mm 精度±2%F.S.以内 0.3mm
ロードセル	±50ton 精度±1%F.S.以内 0.05ton
③ 動的アクチュエータ (日立製作所製) : 1台	
最大荷重	±45ton (静的), ±30ton (動的)
最大ストローク	±200mm
最大加振速度	75cm/sec.
内蔵変位計	±200mm 精度±0.5%F.S. (±10V)
ロードセル	±100ton 精度±0.5%F.S. (±10V)
3) 変位計 (外部取付け)	
マグネスケール (ソニー・マグネスケール製)	
最大ストローク	ℓ=1,100mm : 3台
	ℓ= 600mm : 1台
精度	0.001mm

2. ハードウェア⁵⁾

ハードウェアを図-2および表-1に示す。また、制御信号の流れも図中に示す。ミニコンによって応答計算を行ない、電気油圧式アクチュエータによって試験体に強制変位を加え、復元力を測定する。この両者の信号のやりとりのために、様々なインターフェイスを用いる。応答計算によって得られた変位を試験体に強制する方法として、一般にはアクチュエータに対して変位の信号を送る変位制御が用いられている。本システムは、荷重の信号をアクチュエータに送る荷重制御を用いるとともに、変位制御と荷重制御を適宜使い分けている。

本システムの特徴は次の四つである。

- ① 試験体制御用の変位計がデジタル式の高精度 (分解能 1/1000 mm), かつストロークが大きい (1100 mm)。
- ② アクチュエータを、従来は変位制御が主として用いられていたのに対して、荷重制御で動かすことが可能である。
- ③ インターフェイスを介してアクチュエータに CPU から命令を送る。このとき、remote モードとすると命令信号はそのまま伝わり、かつ制御モードや制御ゲインを CPU から変更できる。一方、local モードのときは CPU からアクチュエータは切り放され、独立してアクチュエータを制御できる。これを利用してアクチュエータの制御モードの切り換えが可能である。
- ④ 多自由度系制御が可能となるように複数の電気油圧式アクチュエータが設置されている。

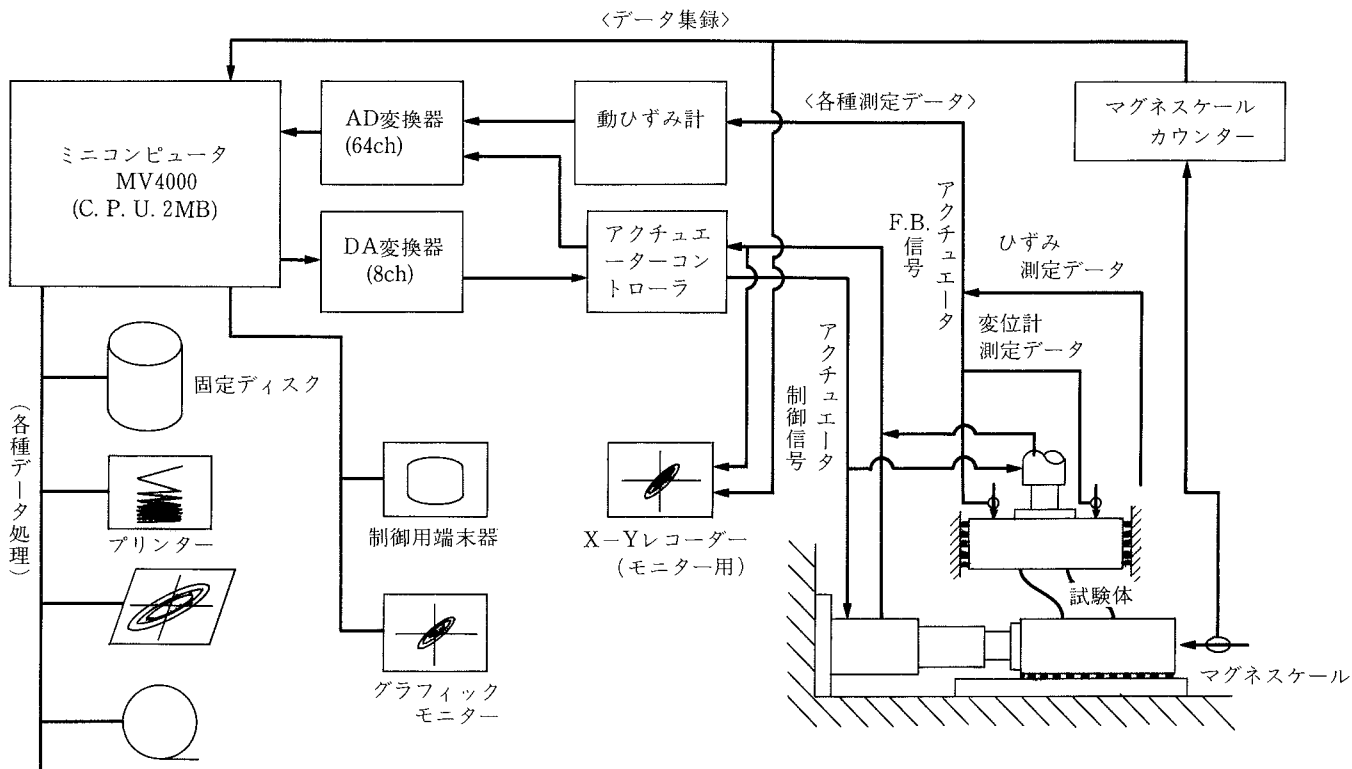


図-2 オンライン実験システムの構成図

3. 制御精度と構造物の剛性⁵⁾

従来のオンライン実験システムを拡張した機能の一つとして、制御精度を上げて耐震壁のような高剛性構造物の実験が可能となった。そこで、ここでは、高剛性構造物を対象する場合の制御精度に焦点をおいた検討を行なう。精度が明確に規定できるADおよびDA変換器の分解能を基準にとり、変位の増分が微小なので増分区間における構造物の剛性は一定とみなすことを前提としている。

なお、本章および次章では説明を簡単にするために構造物が1自由度系の場合を対象とする。多自由度系になると、変位がスカラーからベクトルとなること、加力ステップの終了条件などが異ってくる。

3.1 強制変位の誤差に伴う復元力の誤差

構造物の剛性 K 、強制変位の誤差 Δx を用いると復元力の誤差 ΔF は、

$$\Delta F = K \cdot \Delta x$$

であるが、 ΔF はAD変換器によって測定されるので、その分解能より小さければランダム誤差となり、応答に影響がないことがわかっている⁷⁾。AD変換器の限界誤差変位 Δx_{AD} は、復元力の校正係数を G_F 、AD変換器の1ビットに対応する電圧を e_{AD} と置けば、次式で示される。

$$\Delta F = G_F \cdot e_{AD} = K \cdot \Delta x_{AD}$$

$$\Delta x_{AD} = G_F \cdot e_{AD} / K$$

すなわち、耐震壁のように剛性が高い場合、制御精度を高

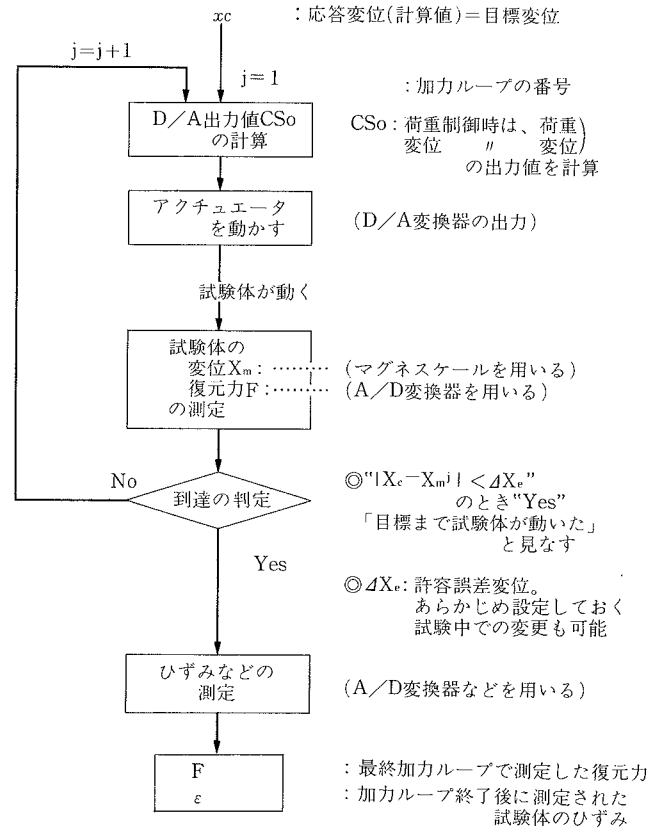
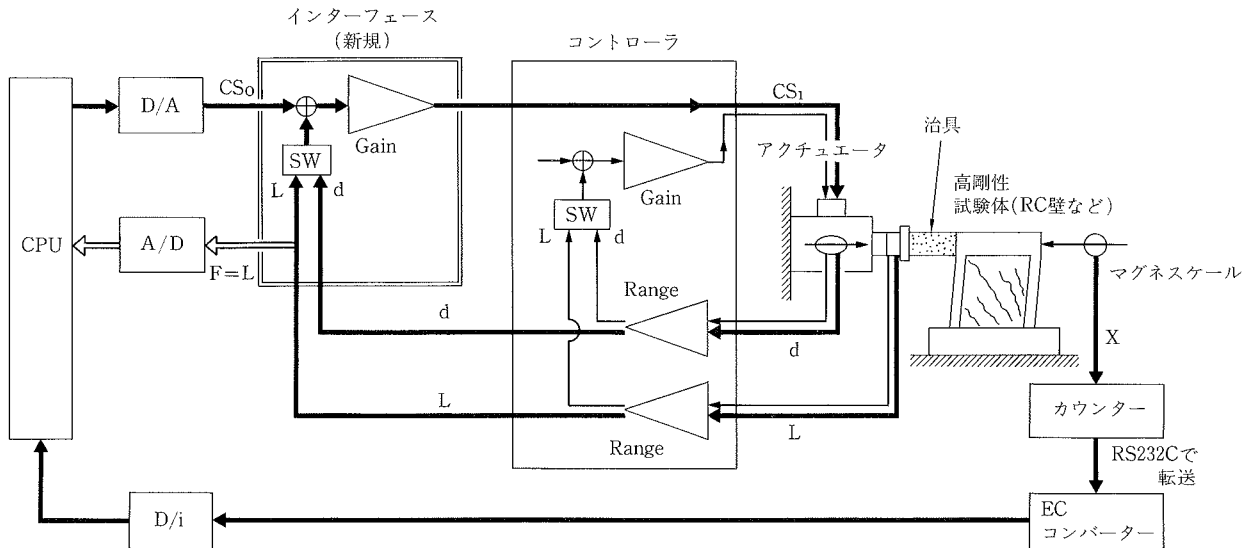


図-3 加力制御のフロー



- x : 試験体変位
 - F : 試験体復元力 ($F=L$)
 - d : アクチュエータの伸縮 (内蔵変位計の測定値)
 - L : アクチュエータの荷重
 - CS_0 : D/A変換器から出力されたアクチュエータへの命令信号
 - CS_1 : アクチュエータサーボ弁への命令信号
 - Gain: フィードバックループのゲインを調整するアンプ
 - Range: アクチュエータのレンジを切換えるアンプ
- インターフェース, Remote時の制御信号の流れ (indicated by a solid arrow)
- インターフェース, Local時の制御信号の流れ (indicated by a dashed arrow)
- SWの開閉: 荷重制御時 (switch closed)
- SWの開閉: 変位制御時 (switch open)

図-4 拡張されたシステムの概要

くする必要があるが、逆に、免震構造物のように剛性が低い場合には制御精度は低くてもよいことになる。

3.2 強制変位の分解能

強制変位の分解能とは細かく制御できる限界を示すもので、DA変換器によりアクチュエータに命令を送るので、前者の分解能で示すことが可能である。

3.2.1 荷重制御の場合 荷重増分 ΔL に対して変位の増分 Δx は

$$\Delta x = \Delta L / K$$

で示されるので、これから分解能 Δx_{DAL} は、DA変換器の、1ビットに対応する電圧を e_{DA} 、荷重の校正係数を G_L とすれば、次式で求められる。

$$\Delta x_{DAL} = G_L \cdot e_{DA} / K$$

これは剛性が高いほど分解能が向上することを示している。

3.2.2 変位制御の場合 アクチュエータの伸縮 Δd は治具の変形 Δx_j 、および構造物の変形 Δx に、それらの剛性の比に応じて分配されるので、治具の剛性 K_j 、アクチュエータの伸縮の校正係数を G_d とすれば、分解能 Δx_{DAd} は次式で示される。

$$\Delta x_{DAd} = G_d \cdot e_{DA} \cdot (K_j / (K_j + K))$$

つまり、治具の剛性に応じて分解能は変化し、 $K_j = \infty$ の時は、分解能は構造物の剛性 K に依存しないが、 K_j が小さくなると高剛性の構造物に対しては $K_j = \infty$ のときより分解能が向上する。

3.2.3 制御モードの選択 荷重制御と変位制御の分解能が等しくなるのは構造物の剛性 K_{Ld} が

$$K_{Ld} = g_{Ld} / (1 - g_{Ld} / K)$$

ここで、 $g_{Ld} = G_L / G_d$

のときで、 $K > K_{Ld}$ ならば荷重制御が有利である。本システムでは、アクチュエータのレンジにもよるが、一般に、 $K = 50 \text{ ton/cm}$ を境に制御モードを変位制御と荷重制御の両者間で切り換えることとしている。

4. 拡張された制御システム

本論文のオンライン実験では、高剛性構造物や多自由度系構造物への適用を可能とする方法として、3章で検討した制御制度の正確な把握や以下に述べる制御ソフトの拡張を挙げることができる。

4.1 加力制御のフロー

図-3に示すように、各加力ステップごとに、数値計算によって算出された変位(目標変位 x_c)に試験体変位 x_m が十分に近付くまで、すなわち制御誤差 $\Delta x = x_c - x_m$ の絶対値が許容誤差 Δx_e より小さくなるまで加力制御が繰り返される(これを加力ループと呼ぶ)。

制御誤差はオーバーシュート(試験体変位が目標より進みすぎた場合)とアンダーシュート(試験体変位が目標の手前にある場合)の二つ状態がある。前者の誤差が生じた際に、誤差を減らすようにアクチュエータを動かすと除荷が生じるので、復元力の誤差が大きくなる。そこで、できるだけアンダーシュートとなるように各加力ループの命令増分変位 Δx_g は次のようにした。

$$\Delta x_{gj} = \lambda_j \cdot \Delta x_j \quad (j; \text{第} j \text{ループを示す})$$

ここに、 λ_j ; 制御係数、 $0 < \lambda_j < 1$

Δx_j ; 第 j ループ開始時の制御誤差

なお、加力ステップの終了条件として、オーバーシュートした時や、特別な命令を出したときをオプションとして加えることができる。

4.2 変位制御

単純に、アクチュエータの変位増分 $\Delta d = \Delta x_j$ とする。なお、 $\lambda_1 = 0.8$ 、 $\lambda_2 = \lambda_3 = \dots = 0.5$ を一般には採用している。

4.3 荷重制御

Δx_g に対応した荷重増分 $\Delta L_g (= K_g \cdot \Delta x_g)$ 、 K_g ; 制御用試験体剛性)を加える。 K_g は初期値を与えると新たに計測された試験体割線剛性 K_m により、次のように更新される。

$$K_g(\text{new}) = (1 - \alpha) \cdot K_g(\text{old}) + \alpha \cdot K_m$$

なお、更新のパラメータ α は0.5前後の値とし、前回の更新から試験体の増分変位がある程度大きくなったときに次の更新が行なわれる。

4.4 制御モードの切り換え

本論文における拡張されたシステムの概要を図-4に示す。制御モード切り換え時にアクチュエータを動かさないようにするには、制御モード、制御ゲイン、DA変換器から

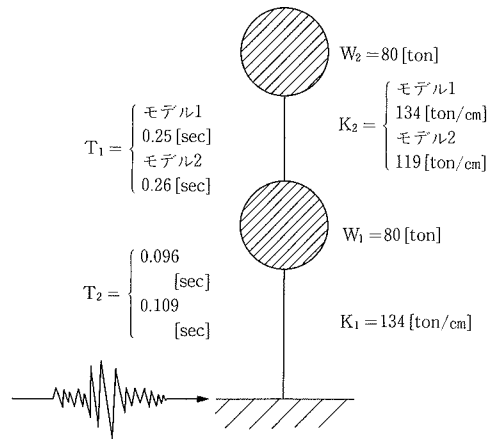


図-5 振動モデル

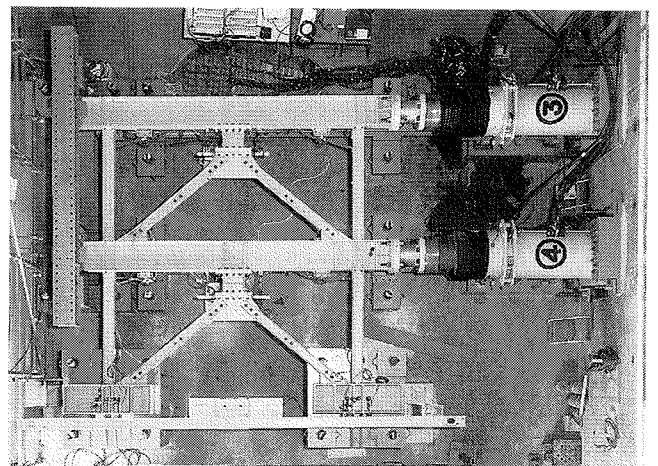


写真-1 2層構造物のオンライン実験

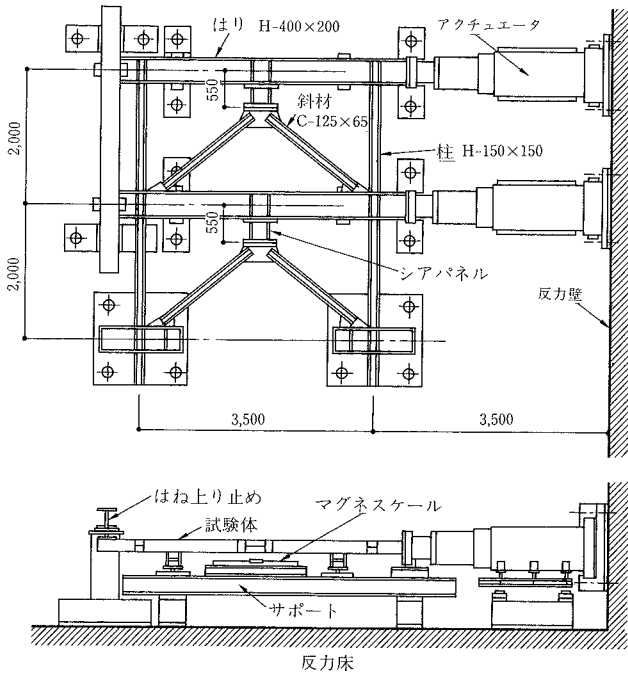


図-6 試験体と加力装置

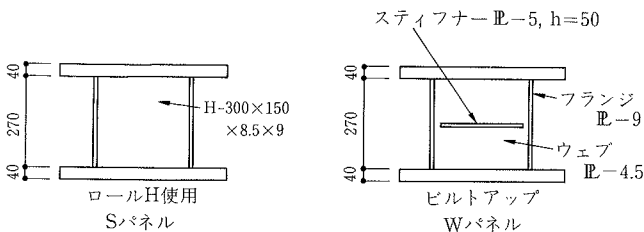


図-7 シアパネル詳細

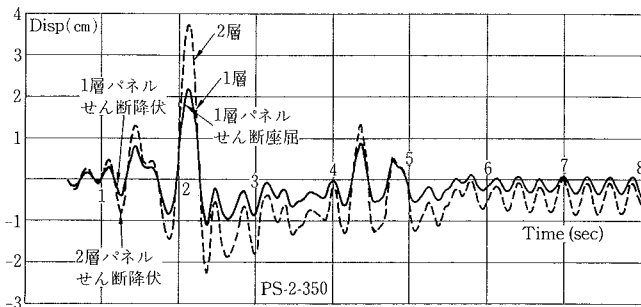


図-8 応答変位の時刻歴

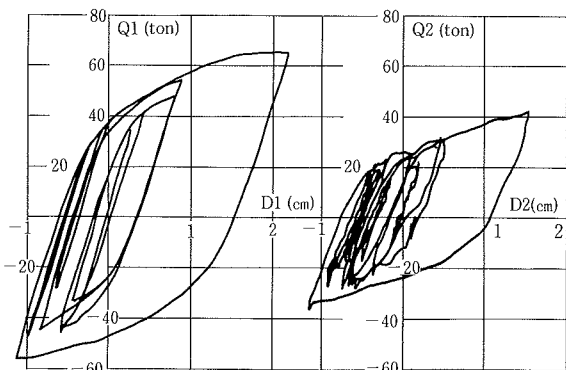


図-9 復元力特性

の制御信号 CS0 を瞬間的に切り換える必要がある。しかし、さらに重要なことはサーボ弁への信号 CS1 を 0 に保つことである。ここでは、マニュアル操作も含んでインターフェイスの remote, local のモードを切り替えることによりコントローラをバッファアンプとして作動させ、実用上、CS1=0 としている。その手順を以下に示す。

- ① コントローラを調整し、コントローラの制御ループにおいて CS1=0 とする。
- ② コントローラに制御を移す (local モード)。
- ③ インターフェイスの制御モード、制御ゲイン、制御信号 CS0 を切り換える。
- ④ インターフェイスに制御を戻す (remote モード)。

4.5 数値積分法

応答計算を進めるにあたって、数値積分法の選択は計算精度に関連する重要な問題である。オンライン応答実験では、一般に「中央差分法」を用いることが多く、本システムでも採用している。これは、復元力の値そのままを用いて応答計算ができ、実験誤差の影響を受けにくいためである。ただし、計算開始時には、他の積分法によって計算を進める必要がある。本システムでは「線形加速度法」を採用しており、ある程度応答が大きくなって復元力の測定誤差が小さくなるまで「線形加速度法」により計算を進める。

5. 2層構造物への適用例⁶⁾

5.1 実験の目的

本適用例は比較的剛性が高く、2質点系構造物が1方向地震入力を受けた時のオンライン実験結果である。一般に多質点構造物の制御は、上下層の剛性の相互作用により高次モードが励起されアクチュエータ制御が比較的難しく本適用例はその点に注目したものである。

コンピュータ内に構成される解析対象の振動モデルは図-5に示す2質点せん断モデルである。1次周期は0.25秒、2次周期は0.1秒程度となっている。

5.2 試験体

試験体および加力装置は、写真-1、図-6、図-7に示されているように Y 型ブレース付 2 層鉄骨フレームである。Y 型ブレースは、偏心ブレースの頂部とはりの間にせん断降伏を先行させるシアパネル (図-7) を設置していることが特徴である。このシアパネルは、大きな強度と靱性能をもち地震時に大きな吸収エネルギーが期待され有効な耐震要素の一つとして提案されたものである。

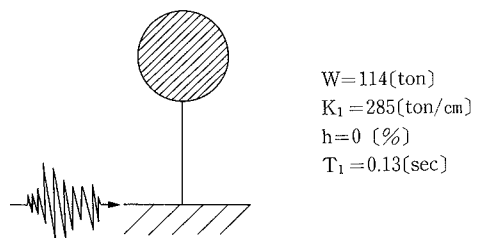


図-10 振動モデル

5.3 実験方法

試験体の降伏震度は約0.35であり、ほぼこれと等しい大きさの E1 Centro NS 波の地震動を入力する。

オンライン実験を遂行する為の制御上の諸点は以下である。制御は変位制御で、許容誤差変位 Δx_e は概ね $80 \mu\text{m}$ とし、 Δx_e に収束するまでの回数（ループ回数）は平均4回であった。また、出力変位の制御係数 λ_i は、 $\lambda_1=0.8$ 、 $\lambda_2=\lambda_3=\dots=0.5$ とした。実験所要時間は1ステップ当たり

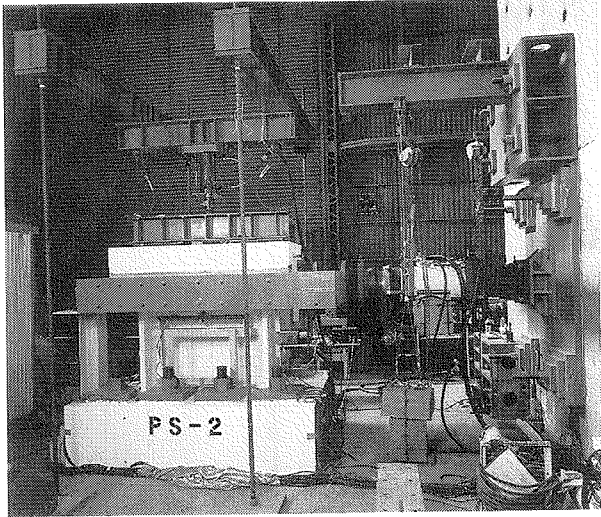


写真-2 高剛性構造物のオンライン実験

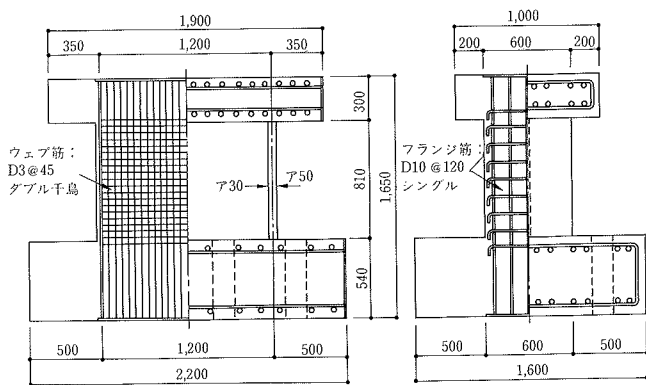


図-11 試験体配筋図

平均45秒で、実験終了（800ステップ）までに約9時間を要した。

本試験体は2層で、かつ比較的剛性が高いので2次モード ($T_2=0.1$ 秒) が励起された。従って、事前の応答解析により最大応答変位への影響がほとんどないことを確認したうえで、レーリー型の粘性減衰を弾性1次に対して0.1%、2次にして80%とした方法を採用した。

5.4 実験結果

図-8に各層の基礎からの応答変位の時刻歴を、図-9には層せん断力-層間変位関係を示す。いずれも、地震動が350 galの入力に対する応答である。当初期待された吸収エネルギーの大きい安定した紡錘型の履歴ループが得られたこと、解析結果との比較によってこのような復元カールを持つ2質点系構造物の応答を十分精度よく再現できることなどが確認された。

6. 高剛性構造物への適用例^(4,5)

6.1 実験の目的

本適用例は非常に剛性が高い1質点系構造物が1方向地震入力を受けた場合である。試験体の剛性が非常に高い場合は、試験体に強制される1回の変位量は小さくなり、この時、変位制御が用いられると要求される精度を満足する制御が困難となり、結果的には測定される荷重にかなりの誤差を含みオンライン実験の信頼性が極端に低下する。こ

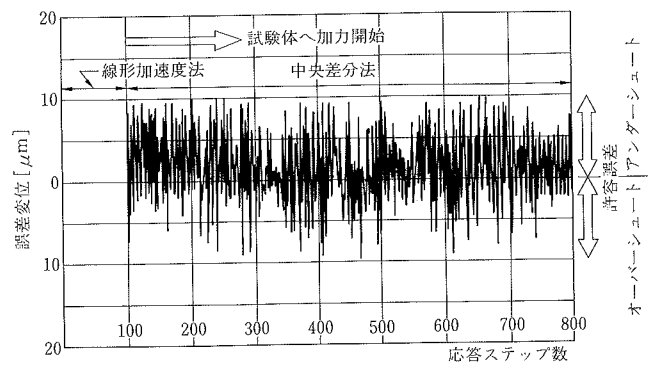


図-13 誤差変位（弾性応答）

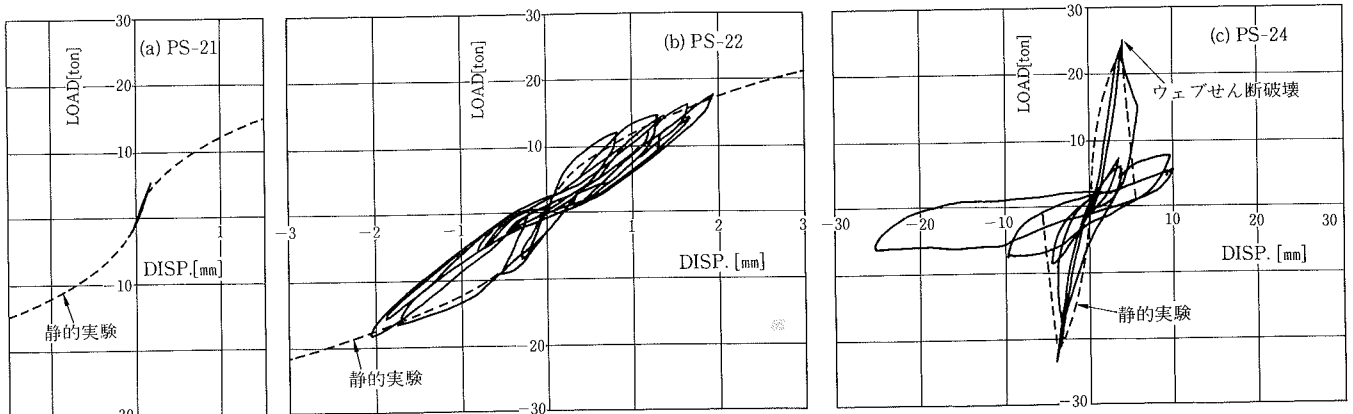


図-12 復元力特性

れを解消する方法として、本論文では荷重制御が提案された。また、非線形領域で急激に破壊を発生して復元力が急変する場合に対する制御の有効性についても確認する。解析対象の振動モデルは、図-10に示す1質点で固有周期は0.13秒である。

6.2 試験体

図-11, 写真-2に鉄筋コンクリート(以後RCと呼ぶ)造耐震壁の縮小試験体を示す。初期剛性は約300 t/cm, せん断破壊時の変形が約3 mmの高い初期剛性と小さい弾性限変位をもっている。また, せん断破壊後は急激な荷重低下が予想される。本試験体はせん断破壊が先行する通常のRC造耐震壁を対象としたものである。

6.3 実験方法

地震応答はE1 Centro NS波の7秒間と, その後1秒間の自由振動に対して行なわれた。入力レベルは25~120 galと段階的に漸増させ, 試験体の強度(k_y)に対する入力地震動の大きさ(k_g)の比率 k_y/k_g は7.9~1.7である。オンライン実験の制御上の特徴は, まず, 実験中に制御モードを変更することである。すなわち, 弾性剛性に近い範囲では荷重制御, 塑性化が進行し剛性がある程度低下した範囲では変位制御を用いる。本適用例では応答変位が約0.5 mmを超えると荷重制御から変位制御に切換えることにした。次に精度の高いデジタル型変位計を用いて許容誤差変位 Δx_e を, 10 μm 程度の非常に小さな値に設定したため制御上のループ回数, 実験所要時間などは5章の適用例より若

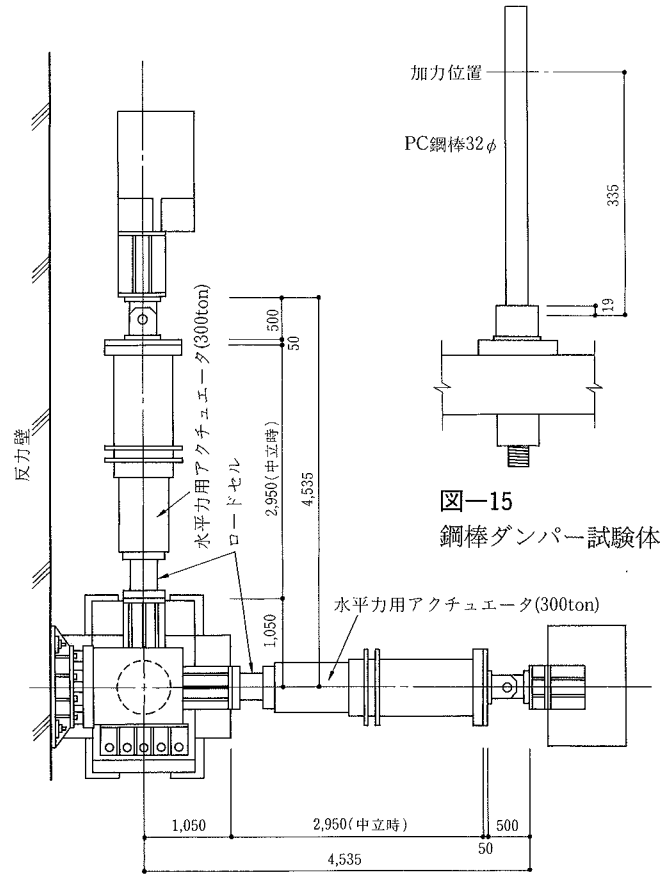


図-15 鋼棒ダンパー試験体

図-16 加力装置(平面図)

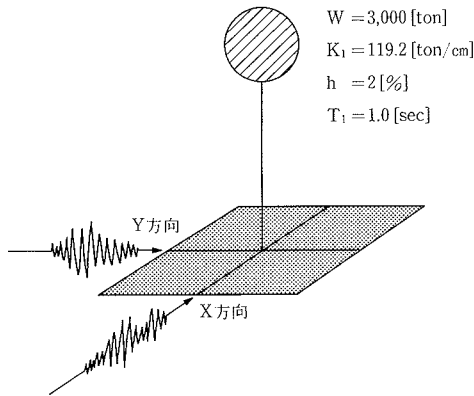


図-14 振動モデル

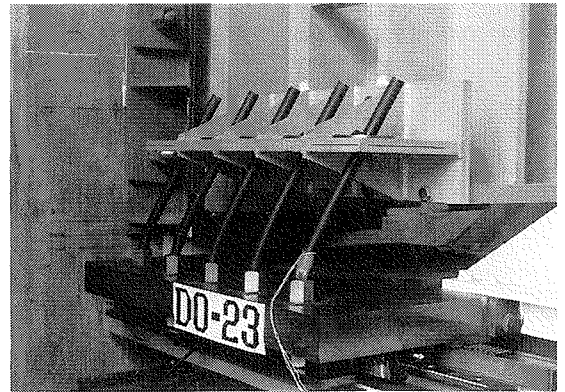
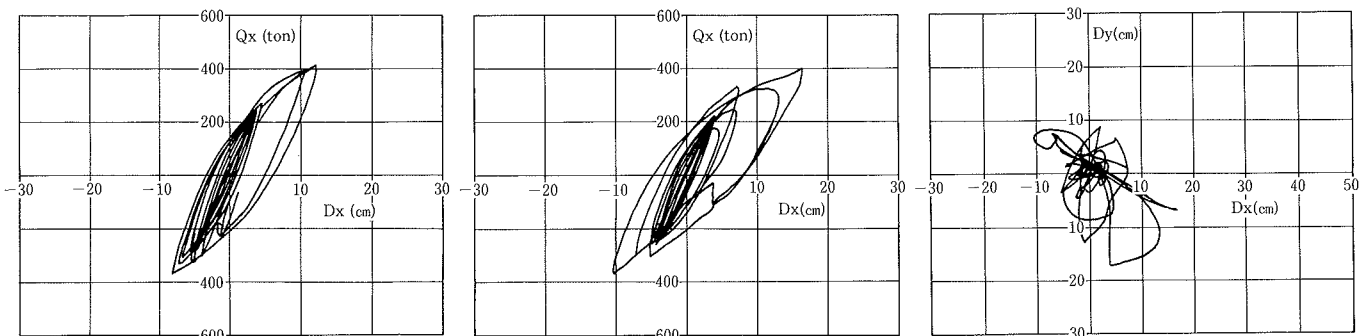


写真-3 2方向地震入力によるオンライン実験



(a) 1方向入力復元力特性(NS成分) (b) 2方向入力復元力特性(NS成分) (c) 2方向入力変位軌跡

図-17 復元力特性と変位軌跡(50カイン相当)

干増加した。制御係数は5章と同一である。

6.4 実験結果

図-12に荷重-変位曲線を示す。(a)図は弾性域、(b)図はある程度の塑性域、(c)図はせん断破壊後の大変形域をそれぞれ示している。弾性域での非常に小さな応答変位にも精度よく挙動を再現できていると同時に、せん断破壊後の復元力の負勾配に対しても制御が十分可能であることが確認できる。また、図-13は実験時の誤差の時刻歴である。設定された許容誤差の10 μm に対してほぼ許容誤差の範囲内の制御が行なわれたことを示している。

7. 2方向地震入力への適用例

7.1 実験の目的

本適用例は1質点系構造物が2方向地震入力を受けた場合である。非線形領域での2方向挙動を把握することが目的である。オンライン実験の手法としては構造物に偏心がなく回転運動が生じない場合をここでは想定した。回転を考慮する場合は自由度に対応した複数個のアクチュエータが必要となる。図-14に振動モデルを示す。弾性固有周期が1.0秒でかなり長周期の1質点免震構造を想定した。

7.2 試験体

試験体を図-15、加力装置を図-16に示す。想定した免震構造物は積層ゴムと鋼棒ダンパーとからなる免震装置によって支持されている。オンライン実験では復元力特性が弾性な積層ゴムはあらかじめ計算機内に記憶させ、鋼棒ダンパーの非線形復元力のみを実験によって得る、いわゆる簡単なサブストラクチャー法を用いているので、図-16の加力装置には積層ゴムは組込まれていない。鋼棒ダンパーは、32 mm ϕ のPC鋼棒よりなる片持ばり型式である。

7.3 実験方法

地震応答はEl Centro波のNS成分とEW成分を試験体のXおよびY方向に最大加速度付近の10秒間入力して行なわれた。入力レベルはNS成分に対して25 kine相当(約260 gal)から60 kine相当(約610 gal)まで変化させた。EW成分の大きさは原記録波のNSとEWの大きさの比率に合わせた。また、比較のために1方向入力の実験も行なった。

制御上の問題については本適用例の場合、長周期構造物のために応答の増分変位も大きく、従って比較的大きな許容変位誤差が設定でき、約50 μm とした。また、2方向に同時に制御する手法に関しては2層構造物と同じ方法を用いることで特に問題は生じなかった。その他の制御上の諸点については前述の二つの適用例とほぼ同じであるが、 Δx_0 を大きくすることによってループ回数が減少し、従って1ステップ当たりの所要時間が少なくなっている。

7.4 実験結果

写真-3に鋼棒ダンパーの変形状態を示す。また、図-17に50 kine入力に対する実験結果を示す。(a)図は1方向入力に対する復元力特性、(b)図は2方向入力時のNS成分の復元力特性を示している。(c)図は2方向入力時のNSとEW両成分の応答変位の軌跡である。これらより、2方向

入力時のほうが1方向入力時より応答変位が大きくなること、実際の地震時には構造物は平面的に複雑な動きをすることなどがオンライン実験によって実証された。

8. おわりに

構造物の地震時の挙動を再現するオンライン地震応答実験の開発を行なった。本実験システムの開発は、従来のオンライン実験システムを構築する事を当初の目的とし、その後、改良を加えることにより、高精度・多自由度性に富むシステムの機能アップという過程を経て完成されたものである。システムの特徴は、高精度の測定システムを導入し、荷重制御と変位制御を切替えることにより非常に剛性が高い耐震壁などへの適用が可能となったこと、および、複数個のアクチュエータを用いることにより多方向地震入力時等のような多自由度系構造物の挙動が再現できるソフトウェアとハードウェアを具備できたこと等である。しかしながら、オンライン実験の普及のネックともなっている実験所要時間の高速化については今後の課題として残されている。

この実験システムの開発により建築、土木分野を問わず種々の構造物への適用が可能となり、特に、地震時挙動が不明な特殊構造物等への利用は有効であろう。また、外力が地震に限定された開発であったが、風、動水圧、動土圧等の異なる外力に対する応答に対しても将来機能拡張が可能であり、その利用範囲は広いことを付記したい。

謝辞

本実験システムの開発にあたり、東京大学 生産技術研究所 高梨晃一教授、大井謙一講師の助言を得た事を感謝致します。また、実験制御プログラムの作成にはマイクロシグナル株式会社の協力を得たことに謝意を表します。

参考文献

- 1) 伯野, 四俵, 原: 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, 第171号, p.1~10, (1969)
- 2) 高梨, 宇田川, 関, 岡田, 田中: 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), 日本建築学会論文報告集, 第299号, p. 77~82, (1975)
- 3) 関, 内田, 勝俣, 長沼: オンライン地震応答実験システムの開発(その1~その3), 日本建築学会関東支部研究報告集, p. 253~264, (1986)
- 4) 杉山, 内田, 勝俣, 関: 同題(その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 161~162, (1988)
- 5) 勝俣, 内田, 杉山, 遠藤, 関: 同題(その5~その8) 日本建築学会関東支部研究報告集, p. 137~152, (1988)
- 6) 関, 勝俣, 内田, 高橋: Y型ブレースを持つ鉄骨2層骨組の地震応答性状に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol. 33B, p. 259~271, (1987)
- 7) P. B. Shing and S. A. Mahin: Pseudodynamic Test Method for Seismic Performance Evaluation: Theory and Implementation, EERC Report, (Jan. 1984)