

京都大学工学部 正員 山田善一 京都大学工学部 正員 ○ 家村浩和  
 京都大学工学部 正員 中西伸二 京都大学工学部 四方敏明

1. まえがき

近年、マイクロコンピュータ（マイコン）の機能の向上とともにその利用法の開発には、めざましいものがある。本研究では、マイコンと載荷試験機とをA/D・D/A変換器を介して組み合わせたオンラインハイブリッド弾塑性地震応答実験を開発し、複雑な履歴復元力特性を有するRC構造物の地震応答を精度よく評価するとともに、従来より提案されている履歴モデルの妥当性を検討した。

2. オンラインハイブリッド実験

(1) 実験の概要

強震時における構造物の動特性には、かなり複雑なものがある。その解析について従来から種々の数学モデルが提案されているが、構造部材の変位復元力特性を数学モデルに忠実に表現しようとするれば、その労力は大変なものになり、しかも、数学モデルでは正確に表現しえない場合も少なくない。そこで、部材のもつ変位復元力特性を載荷実験からそのまま取り出し、解析プログラム内に取り込む、いわゆるOnline Hybrid-Systemが考え出された。本実験においては、デジタル型マイコン（TRS-80モデルI）と載荷試験機を組み合わせたオンラインハイブリッド弾塑性地震応答実験をRC構造部材に対して行なった。

(2) 実験方法

Fig.1にRC構造部材のオンラインハイブリッド弾塑性地震応答解析手法のフローチャートを示した。

また、本実験に用いた供試体と地震応答解析モデルの関係をFig.2に示した。供試体部材の半分と解析モデルの柱材とが対応している。

実験方法は、最初に載荷試験機のアクチュエータにより応答変位 $x_1$ を供試体部材に与え、それからの復元力 $f(x_1)$ をA/D変換した後、マイコンに取り込み、次の運動方程式を解く。

$$M\ddot{x}_1 + C\dot{x}_1 + f(x_1) = -M\ddot{z}_1 \quad (1)$$

- $\ddot{x}_1$  : iステップでの応答加速度
- $\dot{x}_1$  : iステップでの応答速度
- $f(x_1)$  : iステップでの復元力
- $\ddot{z}_1$  : iステップでの地震加速度
- M : 質量
- C : 減衰係数

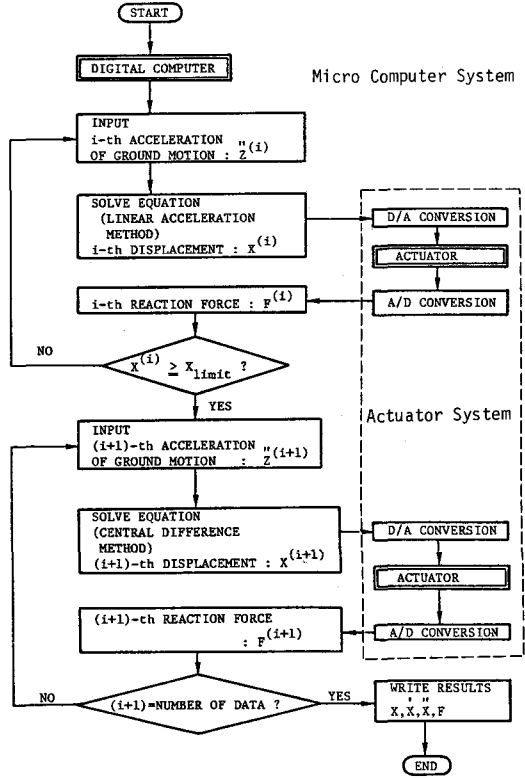


Fig.1 Flow Chart of Online-System

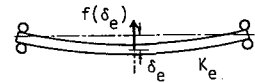


Fig.2(a) Experiment

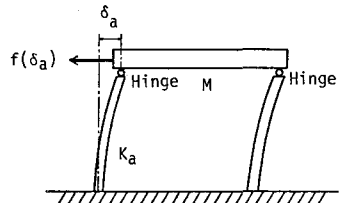


Fig.2(b) Analytical Model

次に、マイコンで算出した(i+1)ステップでの応答変位 $x_{i+1}$ をD/A変換して、再びアクチュエータにより供試体部材を変形させるシステムになっている。式(1)の解法は差分法によったが、初期値が必要なため初期ステップにおいて線形加速度法を補助的に用い、応答変位が降伏変位の1/10を越えたところで差分法に移行した。差分法による応答計算は、中央差分法により解いた。

実験で特に留意した点は、応答変位をアクチュエータの変位として与える時に、前ステップとの差

が大きいと、アクチュエータが滑らかに動かないことが予想されたので、ステップ間の変位を20段階に分割し漸進する制御命令にした。また、供試体部材から得られる復元力を評価するためには、一定時間が必要なため、プログラム内で時間待ちの空回りをさせた。このため実験はリアルタイムの80倍になっている。装置の性能からみて、30倍程度でも可能であるが、写真撮影や観察のため、比較的ゆっくりとした動きにした。

### (3) 载荷試験機・マイコンシステム

Fig.3はRC構造部材のオンラインハイブリッド弾塑性地震応答実験のシステム図である。Photo 1はアクチュエータによるRC構造部材の载荷全景である。Photo 2はマイコンシステムである。

本実験で使用した载荷試験機は京都大学工学部土木工学教室に設置されている東京衡機製造所製のハイドロパルス電気油圧式疲労試験機である。この試験機の性能は、静的40ton、動的35ton、ストローク±125mmであり、変位制御および反力制御が可能である。さらに、外部入力信号による制御もできる。

マイコンシステムは、本実験の制御、地震応答計算、実験データの格納、さらに電話回線を利用して大型計算機センターに実験データを転送し、より高度の解析ができるようになっている。CPUはZ80、8ビットマイクロプロセッサを中心として、クロック10.6445MHzの周波数の水晶振動子を有し、RAMは48KバイトダイナミックRAMであり、ROMは12Kバイトである。また、RS232-Cシリアル・パラレル変換インターフェイスを有し、大型計算機センターへの転送並びにTSS端末の機能がある。補助の大記憶装置として80Kバイトのミニフロッピーディスク装置を4台接続し、各々にOS、プログラム、3種の入力地震波、実験データを格納するミニフロッピーディスクを挿入できる。A/D・D/A変換器は、12ビットであるため、マイコン(8ビット)の入出力ポートを2ポートづつ使用するという工夫をほどこしてある。周辺装置として、ドットマトリクス方式のラインプリンタ(132字/行)、XYレコーダーを接続し

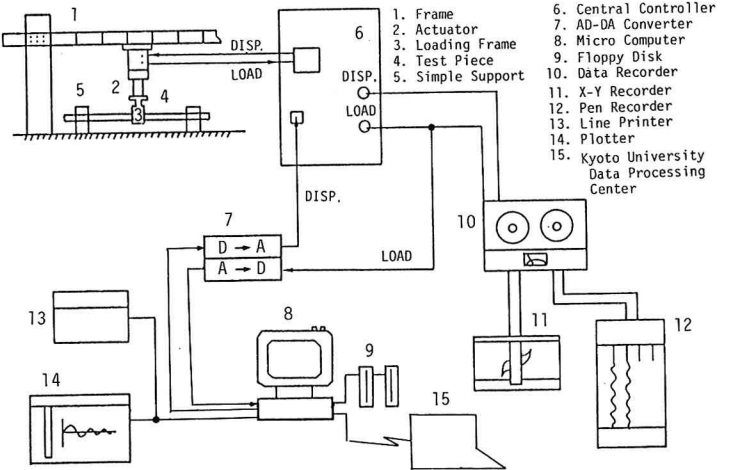


Fig.3 On-line Hybrid System

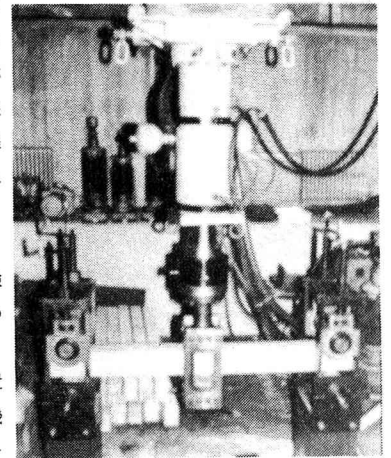


Photo 1 Actuator System

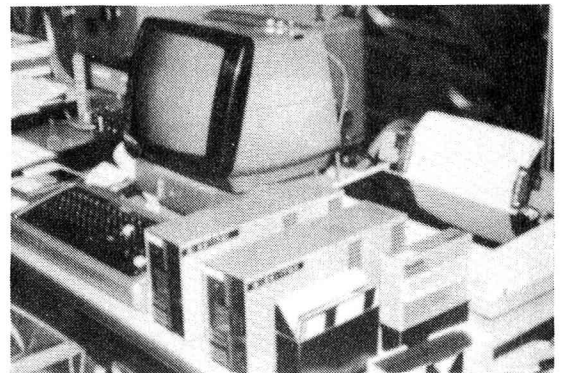


Photo 2 Micro Computer System

3種の入力地震波、実験データを格納するミニフロッピーディスクを挿入できる。A/D・D/A変換器は、12ビットであるため、マイコン(8ビット)の入出力ポートを2ポートづつ使用するという工夫をほどこしてある。周辺装置として、ドットマトリクス方式のラインプリンタ(132字/行)、XYレコーダーを接続し

である。なお、使用言語は、FORTRAN 言語を使用し、オブジェクトモジュール化してフロッピーディスクに格納してある。

### 3. 実験実施とその結果

本実験で用いたRC構造部材の模型は、Fig.4 に示してあるように、長さ180cm で、く形断面である。両振り載荷であるので複鉄筋とし、主鉄筋は異形棒鋼(D10)を使用した。入力地震波は、EL CENTRO—NS記録(1940.

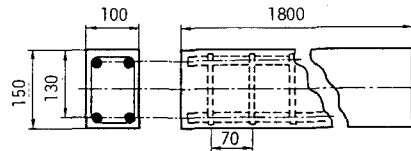


Fig.4 Test Specimen

5.18)、番ノ州高橋脚高

架橋設計地震波、八戸NS記録(1968.5.16)の3種類を用い、最大加速度を100~300gal の範囲に調整して実験を実施した。

筆者らは、本実験で得られた耐震設計に関する研究成果について、すでに発表している<sup>1),2)</sup>ので、ここでは、実験結果の一例の紹介にとどめておく。実験結果の一例として、最大加速度300galの八戸NS地震加速度(Fig.5(a))を入力地震波として得られた結果を示す。入力地震波に対するRC構造部材の模型(供試体)の応答変位の時刻歴をFig.5(b)に、復元力の時刻歴をFig.5(c)に、履歴曲線をFig.6に、剛性劣化をFig.7に、エネルギー吸収量、累積損傷度の時間変化をFig.8に示す。次に、Fig.9 は、最大じん性率応答 $\mu$ と剛性劣化度DSとの関係を示したものである。Fig.10 は、剛性劣化度DSとエネルギー吸収量Eとの関係を示したものである。Fig.11 は、本実験の応答結果から得られた半サイクルごとのエネルギー吸収量を補正し、その吸収能劣化度をあらわしたものである。横軸は経過時間を示し、縦軸はエネルギー吸収能の低下率で、初期吸収能を1として各値を正規化したものである。

一方、武田が提案した履歴モデルの妥当性を検討するため、小谷の“SAKE”プログラム<sup>3)</sup>を用いて、Fig.2の解析モデルの地震応答計算を実施した。この結果をTable 1に実験結果と比較して示した。同Table中には、RC構造部材の修復後に行った再載荷実験結果も同時に示してある。これらの結果から、RC構造物が弾性限界を越えてどの程度の入力強度まで耐震性を有するかを総合的に判断できるものと考えられる。

### 4. あとがき

本研究で採用したオンラインハイブリッド実験システムは、マイコンにより載荷試験機を自動制御するのみならず、データの計測・処理の自動計測が可能であるという特長があり、今後各種の実験に採用されるであろう。

一方、地震応答計算に関する今回の実験では、マイ

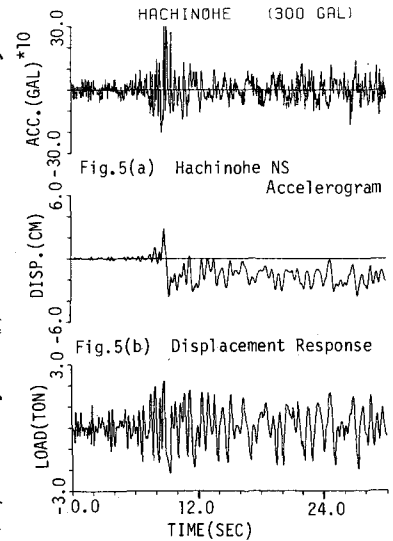


Fig.5(c) Restoring Force Response

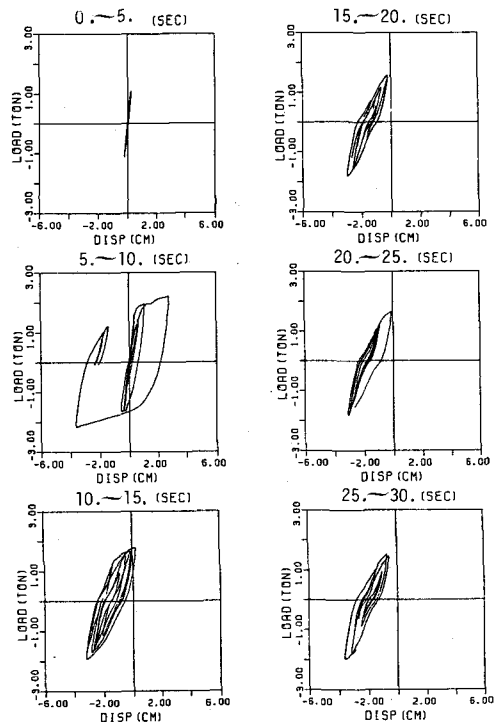


Fig.6 Hysteretic Response due to Hachinohe NS (300gal)

コンの性能上の制約もあり、きわめて単純なモデルを対象とした。しかし、本実験システムを改良・発展させることにより、振動台による耐震実験が不可能な大規模構造物であっても、その耐震性が特に問題となる部材のみを取り出して地震応答実験を行なうことが、比較的容易に可能となる。また、マイコンの性能向上または、大型計算機とオンラインで結ぶことによって、非常に複雑な復元力特性をもつ多自由度な構造物の系全体の応答計算へと発展させることも可能であるなどの特長がある。

謝 辞

RC供試体の作製にあたって御協力頂いた京都大学工学部の小林助教授、宮川助手、実験実施にあたって御協力頂いた加藤敏明氏、河谷幸生氏、西村一郎氏・鈴鹿隆英氏(京大大学院生)の各氏に感謝の意を表す。本研究は、文部省科学研究補助金の援助を受けて実施されたものである。

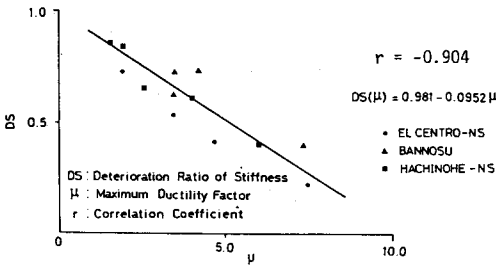


Fig.9 Maximum Ductility Factor and Stiffness Deterioration

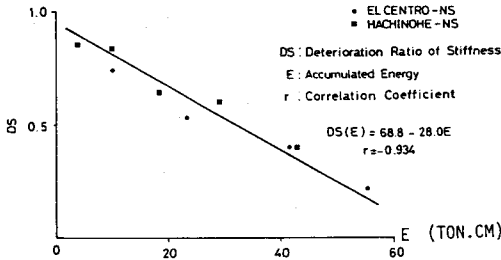


Fig.10 Accumulated Energy and Stiffness Deterioration

参考文献

- 1) 山田,家村,加藤,西村: RC構造物のオンライン劣化履歴地震応答解析,第16回地震工学研究発表会講演概要, pp.281~284,1981年7月。
- 2) 山田,家村,河谷,鈴鹿: オンラインシステムによるRC構造部材の耐震特性に関する研究,昭和57年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, I-29, 昭和57年6月1日。
- 3) Otani, S: Civil Eng. Studies, Structural Research Series No.4 13, UIIU-ENG-74-2029, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Nov, 1974.
- 4) タンデラジオリョシヤックBASIC 応用研究会: マイクロコンピュータシステム-TRS-80のハードウェア, 工学図書, 昭和54.10.1。

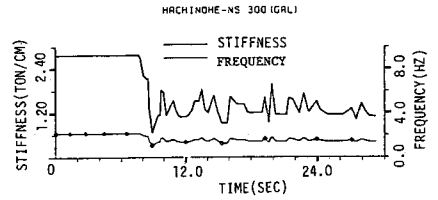


Fig.7 Equivalent Stiffness of Hysteresis Loops

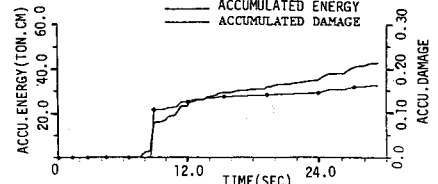


Fig.8 Accumulated Hysteretic Energy and Damage Function

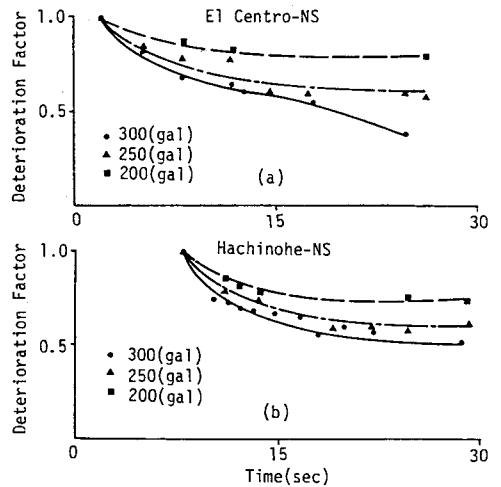


Fig.11 Deterioration of Normalized Hysteretic Energy Absorbing Capacity

Table 1 Earthquake Damage Parameters for Various Intensity (Hachinohe NS)

Response	Max. Acc. (gal)									
	30	50	70	80	90	100	150	200	250	300
Max. Displacement in Ductility Factor						1.32 1.32*	1.77 2.12*	2.77 2.65*	3.81 3.98*	5.94 5.29*
Dynamic Amplification Factor (D.F./gal) (*10 <sup>3</sup> )						1.32 (1.06)	1.18 (1.61)	1.39 (2.58)	1.52 (4.16)	1.98 (2.04)
Stiffness Deterioration						0.85 (0.98)	0.84 (0.75)	0.66 (0.60)	0.59 (0.48)	0.38 (0.40)
Total Absorbed Energy (ton*cm)						3.5 3.0*	9.9 9.2*	18.5 16.6*	29.1 31.4*	42.7 46.1*
Accumulated Damage						0.001 0.002*	0.004 0.006*	0.015 0.014*	0.044 0.062*	0.162 0.173*

Values in ( ) show calculated results by SAKE program  
Values with \* show reloaded experimental results