

特集

## 2. 構造物破壊機構解析設備

New Facilities for the Project of "Dynamic Response of Soil-Structure System and Failure Mechanism of Structures under Earthquakes"

UDC 699.841.001.2 : 539.42.011  
550.34.06 : 681.3.022

### 2.1 動的破壊試験装置

Loading Apparatus for Studying Dynamic Response and Failure Mechanism of Structures

高梨 晃 一\*・岡田 恒男\*\*・大井 謙 一\*

Koichi TAKANASHI; Tsuneo OKADA and Kenichi OHI

#### 1. はじめに

本所千葉実験所に設置された地震応答実験棟(図1)は、電気油圧サーボ方式の载荷装置(アクチュエータ)5基を備えている。本装置は、各種構造の骨組模型、機器模型などの耐震性能を含めた力学的特性を把握するための各種载荷実験に用いることを目的としている。

またアクチュエータ自体だけでは载荷実験は行えないことは明白で、供試体を固定したり、供試体に加える荷重の反力を支持する設備が必要となる。地震応答実験棟には、アクチュエータが与える荷重を支持し、各種载荷形式を実現するために、L字形反力壁・試験床および载荷用鉄骨フレームが用意されている。

ここでは、以上のような動的破壊試験を行うための設備の概要を説明するとともに、地震応答実験棟で行われる実験手法のうち最も特徴的なものとして、電算機-試験機オンラインシステムによる地震応答シミュレーションについて紹介する。

#### 2. 電気油圧サーボ式アクチュエータ

電気油圧サーボ式アクチュエータは、別名サーボバルサとも呼ばれ、駆動用油圧源から供給される油圧をサーボバルブによって制御してピストンを駆動し、ある試験条件に従って各種供試体に载荷を行う装置である。本装置は、供試体に接続されて実際の载荷を行う加力装置部分と、サーボバルブに電気信号を与える制御装置部分から構成される。制御量としては、荷重またはピストンのストロークを選択できる。制御プロセスとしては、

(1) 制御装置に指令信号が入力されると、まず、加

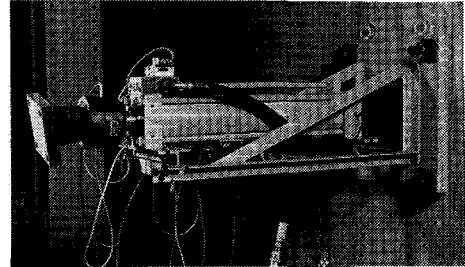


写真1 アクチュエータ(加力装置)

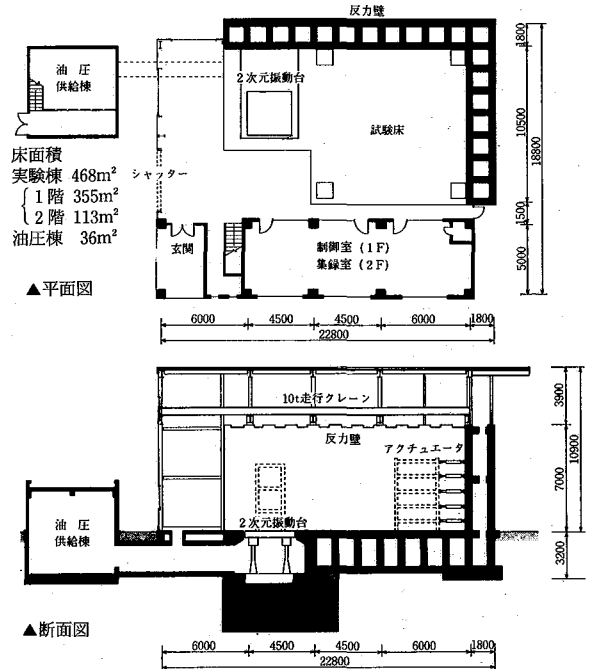


図1 地震応答実験棟の形状・寸法

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

\*\* 東京大学生産技術研究所 第1部

表1 電気油圧サーボ式アクチュエータの仕様

項目	性能
最大荷重	引張 15ton、圧縮 20ton
最大ピストンストローク	±30cm
加振振動数	DC~1 Hz
最大ピストン速度	5 cm/sec
制御量	荷重、ストローク
加振波形	正弦波、三角波、台形波などの組合せ波形及び外部入力
制御の安定度	24時間、温度変化15℃以内において、振幅、平均値とも各レンジフルスケールの±1%以内
ストローク制御時の分解能	各レンジフルスケールの±0.1%以内

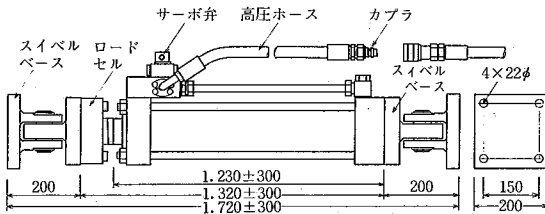


図2 加力装置の形状・寸法

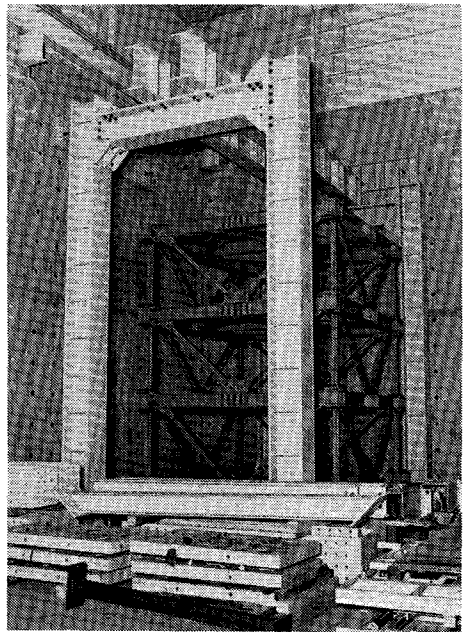


写真2 地震応答実験棟実験室

力装置に装着されたロードセルもしくは変位計からのフィードバック信号と指令信号との偏差がとられる。

(2) 次に、偏差信号に対してPID動作(Proportional plus Integral plus Derivative action)が行われ、サーボバルブに送信される。

(3) サーボバルブは送られてきた電気信号に応じて開閉し、ピストンを駆動する。

という、典型的なフィードバック制御が行われる。

本载荷装置の仕様を表1にまとめている。本装置により、最大50 mm/secのピストン速度を伴う動的载荷実験を行えるが、加力装置自体に生じる慣性力の影響を小さくし、また供試体への着脱作業を容易にするために、図2に示すようにできるだけ加力装置部分の小型・軽量化がはかられている。载荷能力は引張15t、圧縮20tであり、最大ストロークは±300mmである。ピストン軸受の許容耐力に関しては、連続使用可能な許容面圧を横荷重に換算すると、定格荷重の約10%程度となる。したがって、大変形試験などの際、アクチュエータが過大な横荷重を受けないようにするため、加力装置の両端には球面軸受を用いたスライベルベースが装着されている。

制御装置は各種指令信号波形を発生することのできるファンクションゼネレータ、荷重検出用ロードアンプ、ストローク検出用ストロークアンプ、モニター用デジタルメータユニット、およびコントロールユニットから構成されている。コントロールユニットには、荷重制御の状態ですトローク調整のできるサブコントロール機能や、PID動作におけるI動作切替機能など、油圧の増減時

や供試体の着脱時に供試体に予想外の荷重をかけないための工夫がされている。また、停電が起きた場合、もし制御装置が作動しなければ、残留油圧によって加力装置が暴走する危険性が考えられるが、停電が発生しても油圧が落着くまでの数分間制御装置を正常に作動させるためのバックアップ用電池電源が準備されている。油圧供給源は2次元振動台と共有することになるが、加力装置へ油圧を供給する高圧ゴムホースにはカブラが装着されており、L字形反力壁の内部と外部、合計4カ所に設けられている油圧分配器に着脱することができる。

### 3. L字形反力壁・試験床、载荷用鉄骨フレーム

地震応答実験棟には供試体を固定したり、アクチュエータの反力を支持したりするための設備として、写真に示すような、L字形反力壁・試験床、载荷用鉄骨フレームが設置されている。

まず、L字形反力壁・試験床の形状・寸法および許容耐力を図3に示している。L字形反力壁・試験床には、十分な許容耐力を確保するため、ポストテンション方式のプレストレスト・コンクリート構造、すなわち壁体および床内部に設けられたPC鋼ストランドに、コンクリート打設・硬化後、引張力を与え、コンクリートに圧縮力を導入した構造が採用されている。なお、L字形反力壁・試験床には500mmを基準ピッチとした内径54mmの貫通孔が設けられており、試験装置や供試体をPC鋼棒により取り付けることができる。L字形反力壁の隅角部を利用すれば、水平2方向の载荷が可能である。また、実

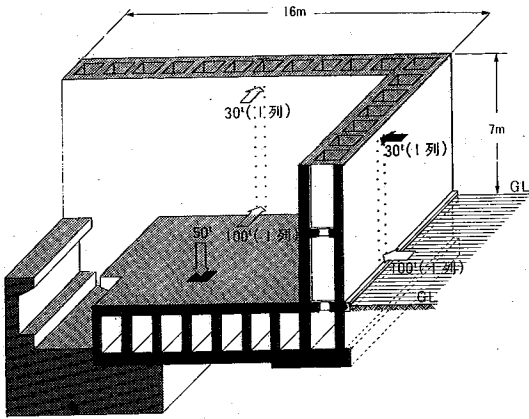


図3 L字形反力壁・試験床の形状・寸法および許容耐力

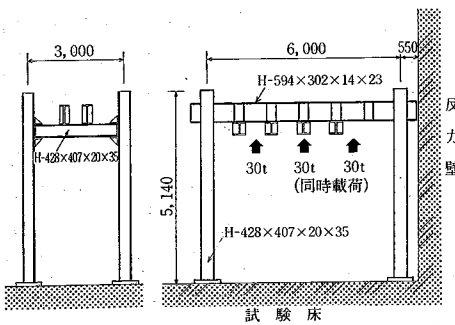


図4 荷重用鉄骨フレームの形状・寸法および許容耐力

験室内の荷重実験だけでなく、実験棟外部の实地盤上に設置された模型に荷重できることが大きな特徴となっており、实地盤と構造物との間の力の伝達機構や相互作用に着目した実験を行うことが可能である。

図4には荷重用鉄骨フレームの形状・寸法および許容耐力が示されている。荷重用鉄骨フレームは主として上部からの垂直荷重を可能にするための設備で、JIS SS 41級の圧延H形鋼材をF 10 T 高力ボルト M 22を用いて組み上げたフレームである。なおH形鋼材には100mmを基準ピッチとしたM 22用ボルト穴が設けられている。図4に示される荷重状態において、はり中央部のたわみがスパンの1/1000以下、曲げによる縁応力度が1t/cm<sup>2</sup>以下となるように設計されている。

#### 4. 電算機-試験機オンラインシステム

電気油圧サーボ式アクチュエータを利用した荷重実験としては、準静的・動的な単調荷重実験および繰り返し荷重実験に留まらず、電算機システムと結合することによって、模擬地震波による地震応答シミュレーションを

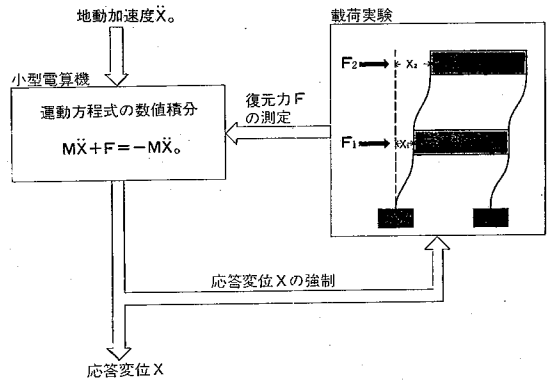


図5 電算機-試験機オンラインシステムによる地震応答のシミュレーション

行うことが可能である。電算機-試験機オンラインシステムによる地震応答シミュレーションの概念を図5に模式的に示している。

一般に、時刻領域における地震応答解析は、時間軸を細分割してstep by stepに運動方程式を積分するという手法がとられる。いま*i* stepの時刻における1自由度振動系の運動方程式が次式のように与えられたとする。

$$m\ddot{x}_i + F_i = -m\ddot{x}_{0i}$$

ここで、*m* : 質量、*F<sub>i</sub>* : 復元力、

*x<sub>i</sub>* : 相対加速度応答、*x<sub>0i</sub>* : 地動加速度

である。

*x<sub>i</sub>*を応答変位*x<sub>i</sub>*によって2階の中央差分近似すれば、上式は次のように変形できる。

$$x_{i+1} = 2x_i - x_{i-1} - (\Delta t)^2 \left[ \frac{F_i}{m} + \ddot{x}_{0i} \right]$$

上式の右辺は全て*i* step以前の値であるから、たとえば荷重実験によって復元力*F<sub>i</sub>*が測定されたとすると、上式によって*i+1* stepの応答変位*x<sub>i+1</sub>*が算定できる。アクチュエータによって供試体骨組に応答変位*x<sub>i+1</sub>*を強制することによって、今度は*i+1* stepの復元力*F<sub>i+1</sub>*を測定することができる。以下順次同様に繰り返すことによって、ある地震動を供試体骨組が受けたときに生じるであろう崩壊プロセスを再現することができる。

この実験手法は現在各方面で利用されようとしているが、今回地震応答実験棟に設置された動的破壊試験設備を利用して、

(1) 多自由度地震入力、多自由度応答の問題。

(2) 地盤と上部構造との間の力の伝達機構の問題。など未開拓の解析対象を扱うことが可能になったので、今後の成果が期待できる。(1983年7月6日受理)