

京都大学大学院 学生員 ○田中 創
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和

1. 概要

構造要素の振動台加振実験と構造物応答の数値計算を組み合わせ、複雑な構造システムの動的応答を調べることができる「サブストラクチャーハイブリッド振動台実験」手法が提案されている^[1]。本研究では、振動台の変位制御モードとデジタルフィルターによる動特性補償の組み合わせの採用により実験精度を向上させた実験システムを実現するとともに、非線形履歴復元力特性を持つ構造物モデルを数値計算部分に用いた実験を行った。

2. サブストラクチャーハイブリッド振動台実験手法

サブストラクチャーハイブリッド振動台実験手法の概念図を図1に示す。本実験手法では、想定する構造系を実験部分と計算部分に分割し、実験部分構造（サブストラクチャー）の応答を調べるための振動台実験と、計算部分の応答を算出するため

計算機において数値応答計算をオンラインで結合し、同時に実行する。実験部分の発生する荷重は振動台加振中に計測され、計算部分の応答解析に反映されるとともに、その計算結果により振動台の加振入力をステップ毎にリアルタイムで決定する。振動台での加振条件が、想定した計算部分構造との相互作用を考慮して決定されるため、より実動的な動的荷重条件下での供試体の応答を実験的に検出することが可能である。本研究では、(1) 実験部分の荷重の測定には、供試体の振動台上への設置面における水平せん断力を直接計測する荷重センサーを用い、(2) 数値応答計算アルゴリズムによる出力を変位ベースの振動台加振信号で処理するシステムとするとともに、デジタルフィルターによる振動台動特性補償を組み合わせた実験制御アルゴリズムを採用した。この実験アルゴリズムを高速で実行する実験制御用コントローラの開発は、高速演算処理が可能なDSPシステムを用いて行った。

3. デジタルフィルターの設計

実験アルゴリズムに組み込まれるデジタルフィルターの設計は、実験に使用される電気油圧式振動台の周波数応答特性の計測に基づいて行った。図2に実験により計測した電気油圧式振動台の動特性および作成した動特性補償用デジタルフィルターの周波数特性を示す。ここで用いた変位モードの振動台制御では、図に示されるように5Hzまでの振動数領域全体で振幅特性はほぼ一定であり、位相特性も直線位相を示すという比較的安定した動特性を有している。図中の点線で示された4次FIRデジタルフィルターにより、この動特性を十分な精度で補償できるため、極めて好ましい動特性であると言える。作成したデジタルフィルターによる動特性補償の効果を検証する予備実験を行った結果、0.1～5Hzの振動数範囲において、振幅特性、位相特性ともにほぼフラットな周波数特性を実現できることを確認した。

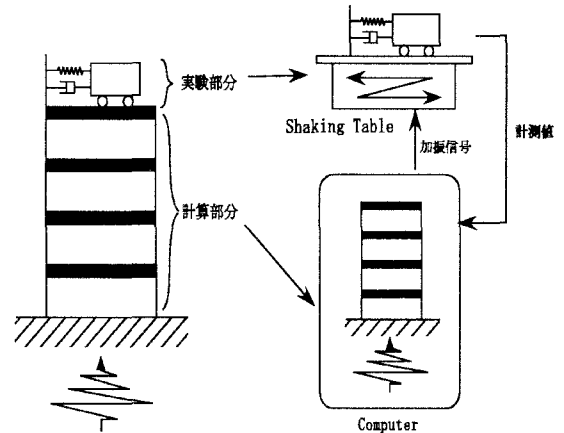


図1 実験手法概念図

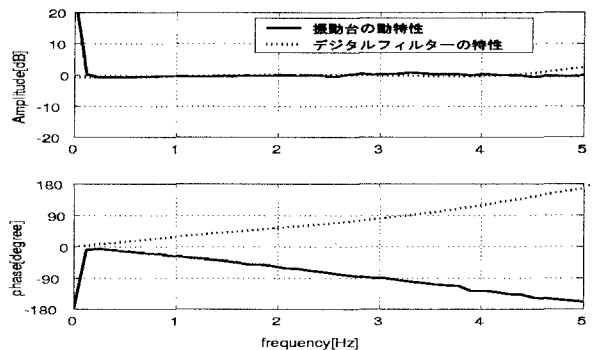


図2 振動台およびデジタルフィルタの動特性

4. 検証実験

検証実験は、全てのケースにおいて計算時間刻み 1 ms とし、計算部分の数値積分法に計算量の少ない後退 Euler 法を用いている。計算時間刻みを 1 ms と極めて短く取ることにより、実験精度と安定性の確保を図った。実験対象構造モデルは、図3に示すような実験部分1自由度+計算部分1自由度の構造系を想定した。

対象構造系の実験部分に対応する実験供試体として、写真1に示すような電磁ダンパー付きの質量ダンパー（重錘質量 34.5 kg）を用いた。固有振動数は 2.03 Hz であり、電磁ダンパーへの印可電流の調整により、減衰比は 0.5～8% の範囲で自由に設定出来る。計算部分構造については、実験部分の計算部分に対する質量比が 10% と 1% の2ケースに対応する質量を与え、また計算部分の復元力特性をバイリニア型履歴モデルとした。初期剛性は弾性域での固有振動数が 2.03 Hz となるように設定し、2次剛性/初期剛性の比を 0.05、降伏変位を 1 mm、計算部分の減衰比は 2% とした。兵庫県南部地震神戸海洋気象台記録 NS 成分の最大加速度を 74 gal にスケーリングしたものをモデルへの入力加速度として用いた。

各実験ケースに対する実験結果を数値シミュレーションと比較したものを図4および図5に示す。実線が応答計算結果、点線が実験結果である。図4は供試体重錘の絶対加速度を示したものであり、上図は質量比 1%、下図は質量比 10% のケースである。また図5は計算部分の変位-復元力履歴を示す。左図は質量比 1%、右図は質量比 10% のものである。時刻歴における波形、ピーク、および履歴形状とも応答計算結果と実験結果は良好な一致を示しており、高い実験精度が得られていることがわかる。

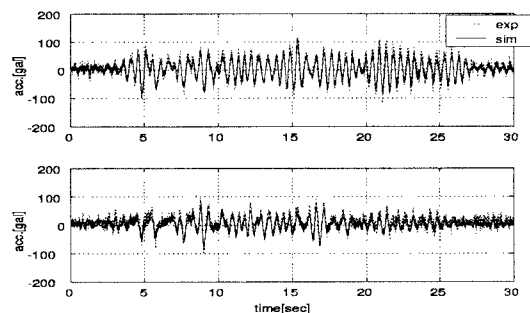


図4 供試体加速度(上:質量比1%、下:質量比10%)

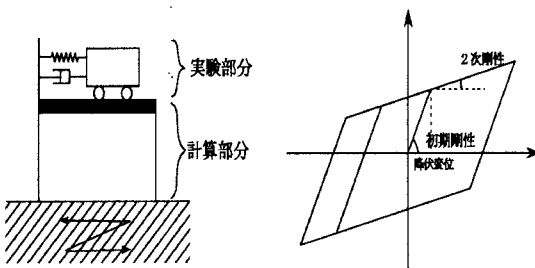


図3 実験対象モデルとバイリニア型履歴モデル

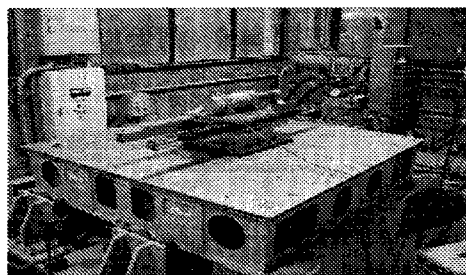


写真1 振動台および実験供試体の外観

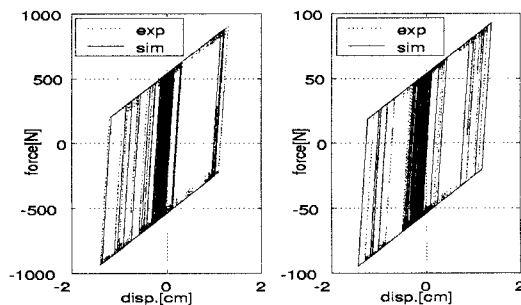


図5 計算部分の履歴復元力(左:質量比1%、右:質量比10%)

5. 結論

本研究では、変位信号入力による振動台の制御とデジタルフィルターによる動特性の補償を組み合わせた手法を用い、油圧式振動台とDSPを導入したシステムを構築した。本手法に基づく実験システムの検証実験を行った結果、非線形復元力特性モデル（バイリニアモデル）を想定した実験対象モデルに対しても、信頼性の高いサブストラクチャーハイブリッド振動台実験を行うことが可能であることを示した。

参考文献

- [1] 家村 浩和、五十嵐 晃、阪部 真悟:サブストラクチャーハイブリッド振動台実験システムの構築と検証、関西支部年次学術講演会講演概要、土木学会関西支部、1999年5月