

非線形多自由度構造モデルを対象とした サブストラクチャーハイブリッド振動台実験

富士通株式会社 正会員 ○ 鶴田 大輝
 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. はじめに

本研究では、構造要素の振動台実験結果を、コンピューターによる構造全体系の応答解析に実時間で取り込むサブストラクチャーハイブリッド振動台実験システムにおいて、従来よりも要求計算量の大きな非線形多自由度モデルに適用することを可能にする新しい実験システムを構築した。次に、この実験システムの妥当性を検証するために油圧式振動台を用いた実験を行い、本研究で構築した実験システムが、復元力履歴特性として双曲線モデルを有する多自由度系非線形モデルに対して適用可能であることを示した。

2. 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

サブストラクチャーハイブリッド振動台実験法の概念図を図1に示す。本実験手法は構造物の一部分（サブストラクチャー）を取り出した供試体に対して振動台実験を行い、同時に残りの部分の応答計算を実験部分の計測データを取り込んでコンピューターで行うことにより、構造物全体の応答を求める手法である。¹⁾ 本研究では荷重動力計を使用し、供試体のベースシアーを直接計測した。

本研究では、水平1成分電気油圧サーボ式振動台をベースに構築した実験システムを用いた。構成と振動台及び実験供試体の外観を図2に示す。また、振動台の諸元を表1に示す。実験システムの構築にあたっては、この油圧振動台を制御するDSPシステムを組み合わせ、A/DおよびD/Aインターフェースを通じて計測信号を元に振動台への入力信号をリアルタイムで算出している。本システムのコーディングにあたっては、DSP上で実行される「応答計算プログラム」をC言語で、ホストコンピュータで実行される「制御プログラム」をVisual Basic 6.0で作成し、汎用性のあるシステムを構築した。

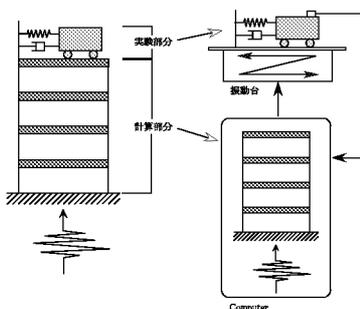


図1 実験概念図

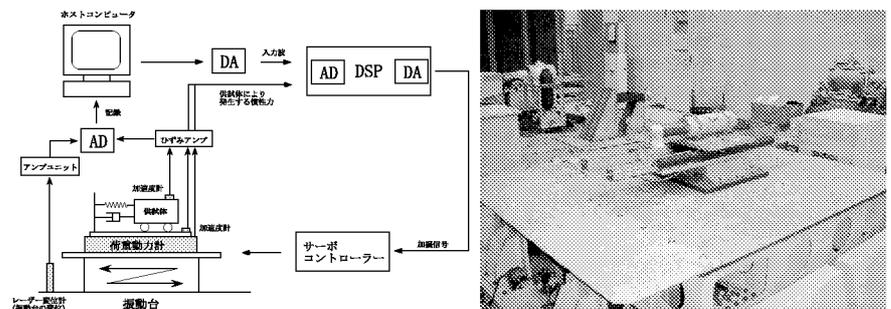


図2 サブストラクチャーハイブリッド振動台実験システム

3. 振動台動特性の補償

本研究のように、加振と同時に計測値をフィードバックする必要のある実験では加振遅れ等の振動台動特性が実験精度に重大な影響を与える。そこで、これらの特性を補償するデジタルフィルタを作成し、計算・制御系に組み込んだ。作成したデジタルフィルタは、振動台動特性補償用の4次FIRフィルタと、ノイズ除去用の3次IIRフィルタの2段階をカスケードしたものを、振動台の入出力関係の計測に基づいて決定した。デジタルフィルタによる補償前の振動台動特性を図3に、補償後の特性を図4に示す。ここで、上段は振幅特性、下段は位相特性である。なお、これらのフィルタをDSPに組み込む際には、図5に示すような変形を行い、桁落ち誤差などの影響に注意を払った。

キーワード: 動的応答, 振動台実験, リアルタイムシミュレーション, 非線形多自由度モデル

連絡先 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 Tel : (075)753-5088 / Fax : (075)753-5926

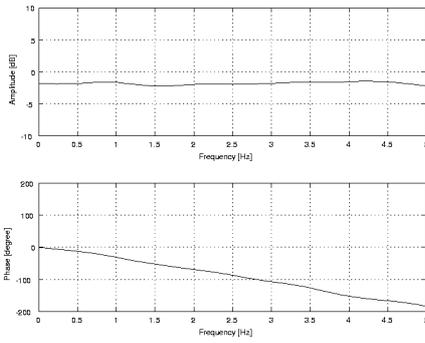


図3 振動台動特性 (補償前)

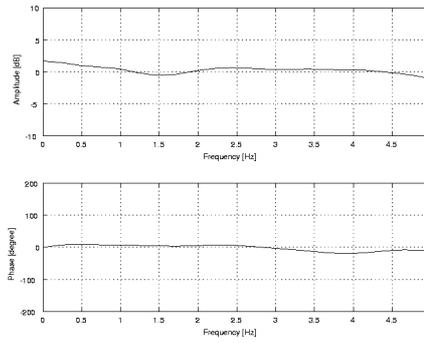


図4 振動台動特性 (補償後)

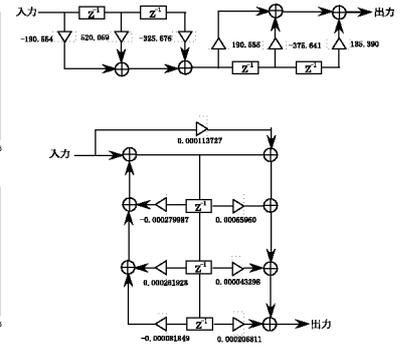


図5 シグナルフロー図

4. 非線形多自由度モデルへの適用

以上で述べた実験システムを用いて、電磁式マスダンパーを実験供試体としたサブストラクチャーハイブリッド振動台実験を行った。実験対象モデルとして、計算部分が8自由度であるようなモデル(図6)を設定し、復元力特性としては双曲線モデル(図7)を適用した。実験部分の計算部分に対する質量比は0.01とし、計算部分の数値積分法としてOperator Splitting法を用い、その計算時間刻みは $\Delta t = 1\text{msec}$ とした。図8に実験結果をシミュレーション結果と併せて示す。実験結果とシミュレーション結果は、ほぼ一致しており妥当なシステムが構築できていると考えられる。また、本実験システムにおいて応答計算部分の構造物モデルに適用が可能なモデルの自由度数の限界について調査したところ、応答計算及び制御を1kHzのサンプリングレートで行った場合、線形・非線形モデルともに11自由度の計算処理が可能であった。

台面積	1.5m × 1.5m
最大積載重量	2ton
最大加振力	29.4kN
加振方向	水平一方向
最大振幅	±100mm
周波数	30Hz以下
駆動方式	電気油圧サーボ式

表1 振動台諸元

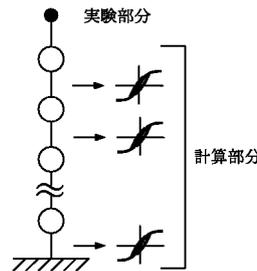


図6 実験対象モデル

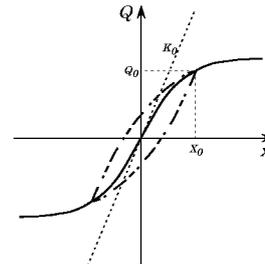


図7 双曲線モデル

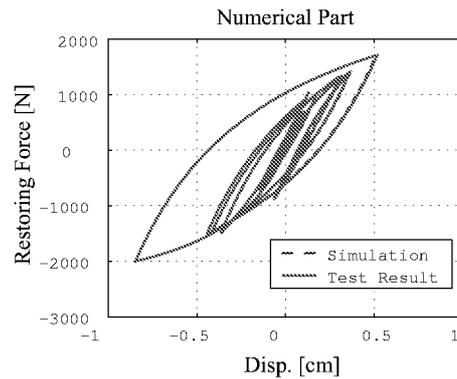
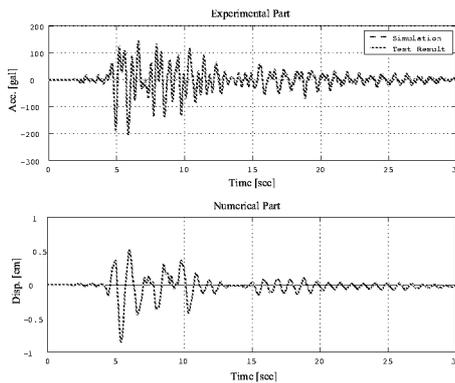


図8 実験結果

5. 結論

本研究では、従来よりも要求計算量の大きく、複雑な非線形多自由度モデルを適用したサブストラクチャーハイブリッド振動台実験を可能にする、汎用性のあるシステムの構築を行った。実験を行った結果、シミュレーションによる応答計算結果とほぼ一致し、複雑な多自由度履歴構造物についてサブストラクチャーハイブリッド振動台実験が可能であることを示した。今後は、構造物-杭基礎-地盤系等の非線形多自由度モデルへの本実験システムの適用が考えられる。

- 1) 五十嵐晃・家村浩和・田中創, 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開発と振動制御デバイスの性能検証実験への適用, 構造工学論文集 Vol1.49A, pp.281-288, 2003