

非線形多自由度構造モデルの 実時間地震応答シミュレータの開発と検証

国土交通省 正会員 ○ 仲谷 俊昭
 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

実時間ハイブリッド実験手法は構造物の一部分を取り出した供試体を用いて、アクチュエーターによる載荷実験または振動台による加振実験を行い、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で行うことにより、実時間で構造物全体の応答を求める実験手法である。本研究は、従来よりも要求計算量の大きな非線形多自由度モデルの応答解析を取り入れた実時間ハイブリッド実験手法に基づく実験システムの構築を行うことを目的として、制御ソフトウェア及び制御プログラムを構築したものである。

2. 実時間応答シミュレータの役割と構築

本研究で開発する実時間応答シミュレータの実時間ハイブリッド実験における役割を図1に示す。計算部分構造の応答計算を、種々の非線形多自由度モデルに対して行い、制御信号を実時間で送る機能を担うシステムと位置付けられる。実時間応答シミュレータの開発は、PCとDSPとを組み合わせたシステムを用いて行った。DSPの高速演算とリアルタイムスケジューリングの機能を利用して、実時間シミュレーションを実現する。

本システムのコーディングにあたっては、DSP上で実行される載荷実験装置の制御プログラムと、ホストコンピュータで実行されるDSP制御プログラムの2つの異なるプログラムを作成することが必要となる。本研究では、ホスト側アプリケーションをVisual Basicで、DSP側プログラムをC言語で作成することで複雑な非線形多自由度モデルの実時間処理を可能にする汎用的なシステムの構築を行った。DSP側プログラムにおいて、応答計算プログラムは設定された周期ごとに呼び出される割り込み関数の中に記述する形式を採用することが特徴である。この1回の割り込みで処理される応答計算は設定した割り込み間隔内に処理されなければならない、DSPの計算処理能力の問題が生じてくる。

3. 実時間シミュレータの実現と性能限界

開発したシステムにおいて、Operator Splitting法に基づくハイブリッド実験アルゴリズムに従い、計算部分の応答を用いて実験部分の応答の数値シミュレーションを行い、求めた実験部分の絶対加速度を計算部分の応答計算にフィードバックすることで実験のシミュレーションを行った。図2のように、計算部分に非線形多自由度モデルを適用し、DSPを用いた実時間シミュレーションと、構築したシステムの妥当性の検証計算を行った。計算部分の運動方程式は次のようになる。 $[M]$ 、 $[C]$ はそれぞれ質量・減衰マトリクス、 $\{Q^t\}$ は復元力ベクトル、 $\{F_e^t\}$ は実験部分からの反力ベクトルである。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + \{Q^t\} = -[M]\{1\}\ddot{x}_g - \{F_e^t\} \quad (1)$$

次に、実時間シミュレーション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20自由度、また100Hzでは、72自由度の計算処理が可能であった。

4. 杭基礎構造物モデルの地震応答シミュレータの開発

実験対象として杭基礎構造物を選定し、計算部分に下部構造—杭基礎—地盤系を、実験部分に免震支承と上部構造を適用した実時間地震応答シミュレータの開発を行った。解析モデルの全体系を構造物—杭基礎系と地盤系に分離し、まず自由地盤の地震応答解析を行い、次にこの応答波形を構造物と杭基礎の一体モデルに入力

Key Words: Dynamic response, Real-time dynamic simulation, Nonlinear MDOF models, Structure-pile-soil system

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

して最終的な地震応答を求める二段階解法の手続きをとった。自由地盤の地震応答解析は質点間隔 1m の多質点系せん断ばねモデルとし、地盤の動的変形特性には修正 Ramberg-Osgood モデルを適用した計算を行った。復元力特性としては地盤と杭体の相互作用を表す相互作用ばねに双曲線モデル、免震支承にバイリニアモデルを適用した。杭基礎構造物を多質点系モデルでモデル化し、複数の杭を 1 本の杭に集約した。実験部分・計算部分を含む全体系の数値応答計算と実時間での実験シミュレーションを比較したところほぼ一致しており、杭基礎構造物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行うことが可能なシステムを構築することができたと言える。

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実時間ハイブリッド実験を可能にする、汎用性のあるシステムの構築を行い、応答計算及び制御信号出力を 1kHz で行う場合、20 自由度までの実時間処理が可能であることを明らかにした。また、非線形多自由度モデルとして構造物－杭基礎－地盤系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シミュレーションを行った結果から、非線形杭基礎構造物について実時間での振動台実験が可能であることがわかった。

- 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

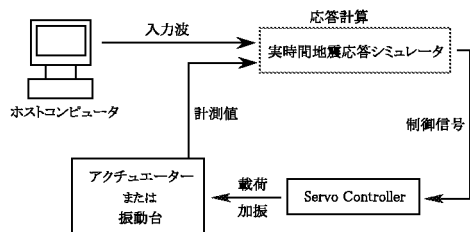


図1 実時間地震応答シミュレータ

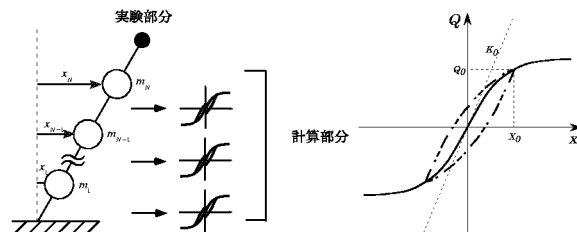


図2 非線形多自由度モデルと双曲線モデル

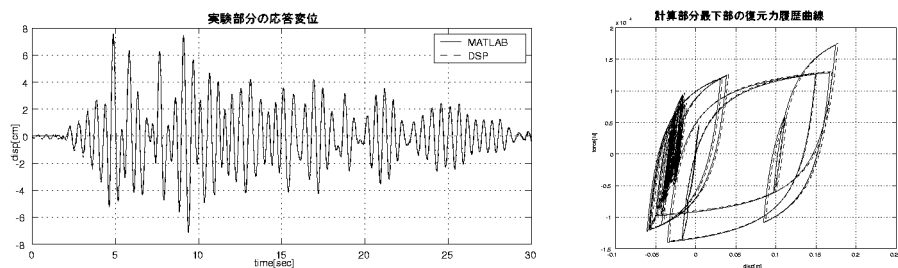


図3 シミュレーション結果（非線形3自由度モデル）

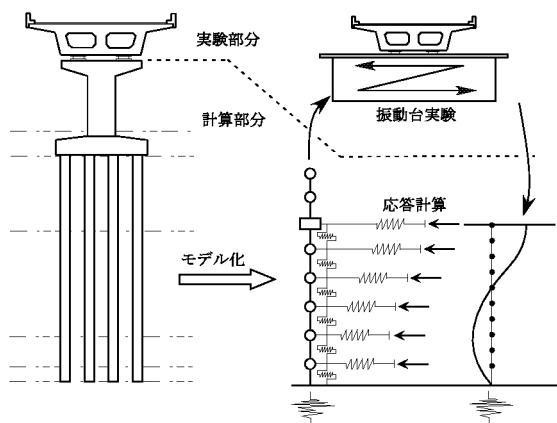


図4 シミュレーション対象

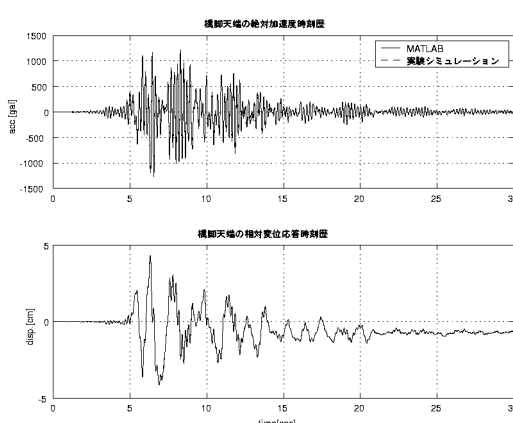


図5 シミュレーション結果