

実構造物に適用したサブストラクチャーハイブリッド振動台実験

国土交通省	正会員	○ 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リアルタイム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手法が提案されている。本手法を実現するため、様々な研究がなされてきたが、振動台の動特性を完全に補償するには至っていないことや、応答解析部分がモデルレベルに限られているという問題点があった[1]。そこで、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により実験の精度を向上させる手法についての検討を行い、さらに、相似則を導入して実構造物へ適用した実験を行った。

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。従来のハイブリッド実験では、供試体にその振動挙動が速度に依存する構造物、例えば摩擦ダンパーや粘性ダンパー等には適用できないが、本実験手法では振動台によりリアルタイムでの加振が可能であり、このような構造物に対してもその振動挙動を表すことができる。実験アルゴリズムは次の通りである。i 番目のステップにおいて (1) 実験部分の計測値を測定。(2) 計測値と入力波形、前ステップまでに得られた計算値を用いて実験部分を隣接する節点の相対応答を求め、これに入力波形を加えて絶対応答を計算する。(3) 上で求めた絶対応答に振動台の動特性を補償するためのデジタルフィルターをかけ、これを振動台への入力信号とする。(4) 振動台を加振する。(5) $i+1=i$ として (1) に戻る。

3 デジタルフィルターの設計 使用する油圧式振動台の周波数応答より振動台の動特性を補償するデジタルフィルターを設計する。デジタルフィルターに

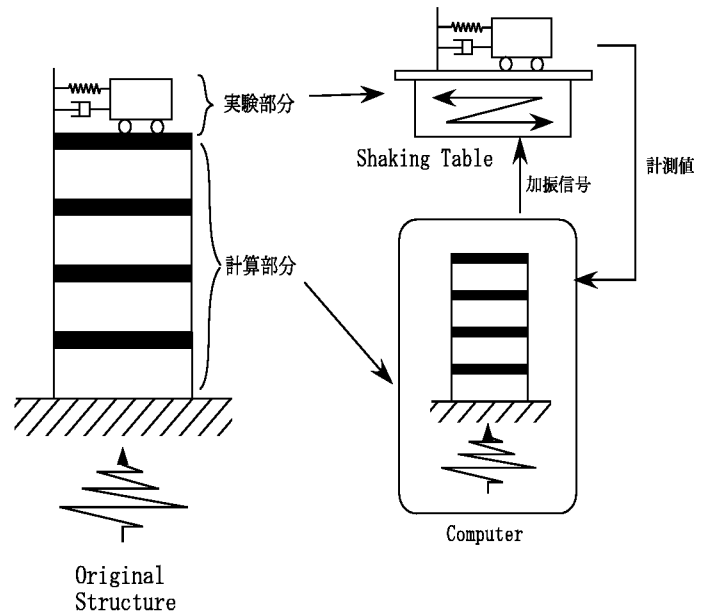


図1 実験手法概念図

は位相をずらす性質があり、本研究ではその点に着目して導入を試みた。振動台の出力に対する入力の伝達関数の周波数応答が振動台の動特性を完全に打ち消す理想の周波数応答であり、この周波数応答からデジタルフィルターの伝達関数を求める。図2に油圧式振動台の動特性を実線で、作成したデジタルフィルターの周波数特性を点線で示す。ここで、本研究では変位信号により振動台を制御する手法を用いたが、この場合、図のように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ことが分かる。また、作成したデジタルフィルターの効果を検証するために予備実験を行った結果、5Hz以下の振動数領域全体において、ほぼ完全に振動台の動特性を補償できていることが確認された。

4 実構造物へのサブストラクチャーハイブリッド振動台実験の適用

実験対象モデルとして、施工中の高橋脚にTMDを設置した状態(図3)を考える。ここで扱う橋脚の橋高は65.0m、断面寸法は5.5m×6.0mであり、柱下端より上方5.0m区間を除いて、壁厚が

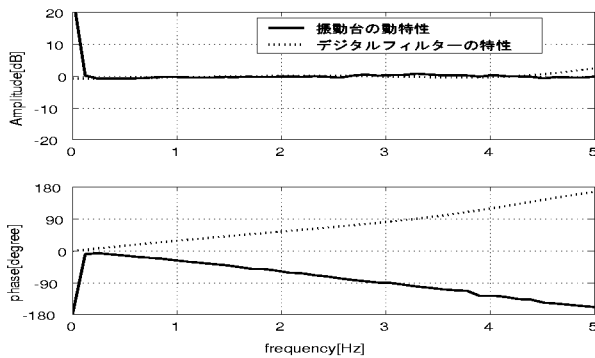


図2 油圧式振動台

1.0m の中空断面となっている。ここでは、橋軸方向対して実験を行うものとする。本実験では、橋脚部分を解析部分、TMDを実験部分とし、この部分には、電磁マスダンパーを用いた(写真1)。

4.1 実験法 全てのケースにおいて計算時間刻み1msec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1msecと非常に小さくすることにより実験の安定性の向上を図り、また、この時間刻み内で応答計算を可能とするため、高速演算処理可能なDSPを用いている。

本実験の入力には、兵庫県南部地震神戸海洋気象台記録NS成分を用いた。また、対象構造物を実スケールで実験に適用することは、本研究で利用した振動台の制約上不可能であるため、ここでは、時間の相似率 S_t と、長さの相似率 S_x を導入した相似則を用いた。本実験では相似率をそれぞれ $S_t = 4.59$ 、 $S_x = 26.47$ ととり、TMD部分の質量比を1%として、実験供試体である電磁マスダンパーの固有振動数を2.03Hz、質量を35.40kgにチューニングした。

4.2 実験結果の予備的検討 TMDによる制震効果を検討するに先立ち、まず、実験の妥当性を検討するため、実験結果と実験対象モデル全体系を実験と同じ後退Euler法で直接数値積分して求めた応答計算結果と比較した。図4に示す。ここで、実線が応答計算結果、点線が実験結果である。波形、波数ともよく一致しており、ピークでの誤差も3.7%と小さく、良好な実験が行われていると言える。

4.3 実構造物レベルにおけるTMDの制震効果 時刻歴を見ると、入力直後はほとんど制震効果は見られていないが、時間が経つにつれて、大きな制震効果が見られていることが分かる。

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。さらに本システムにより、相似則を導入して実構造物に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精度良く行うことが可能であることを示し、さらにTMDの制震効果を把握することができた。

参考文献

- [1] 五十嵐 晃、家村 浩和、阪部 真悟:デジタルフィルターを用いたサブストラクチャーハイブリッド振動台実験手法、土木学会第54回年次学術講演会講演概要集、I-B110、1999年9月

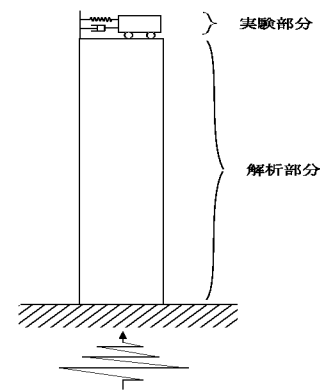


図3 実験対象モデル

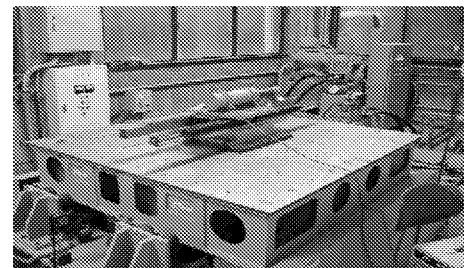


写真1 振動台および実験供試体の外観

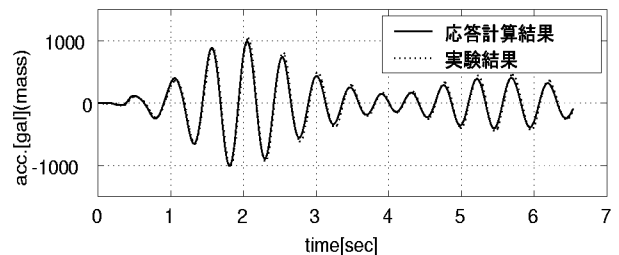


図4 予備的検討

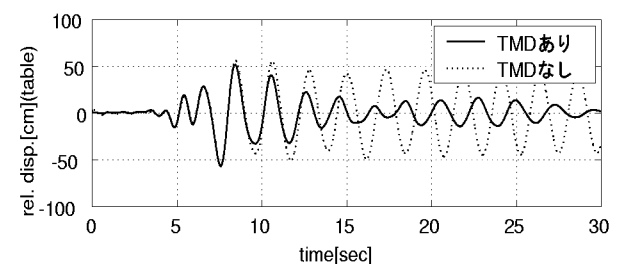


図5 TMDの制震効果