

デジタルフィルタ補償を適用したリアルタイムハイブリッド実験システムの構築

鹿島建設株式会社	正会員	○ 岸田 誠司
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

本研究では、デジタルフィルタによるアクチュエータの動特性の補償を実験システムに組み込んだリアルタイムハイブリッド実験システムを構築した。そして、本実験システムによるリアルタイムハイブリッド実験の信頼性を検証するとともに、制振ダンパーを適用した橋梁を対象としたリアルタイムサブストラクチャハイブリッド実験例を示した。

2 リアルタイムハイブリッド実験手法

ハイブリッド実験手法は、運動方程式の逐次積分と、構造物供試体の载荷実験をオンラインで結合させることにより構造物の動的応答を求める手法である。しかし、この実験手法は実験の時間軸を拡大した準動的な実験が中心であり、粘性ダンパーのように応答が速度に大きく依存する供試体に対しては、正確な評価を行うことができない。そこで、ハイブリッド実験を実時間で行うリアルタイムハイブリッド実験が提案されている。

リアルタイムハイブリッド実験において、実験の精度に特に影響を与えるものは、実験部分と計算部分との位相のずれである。位相のずれを引き起こす最大の要因として、アクチュエータの加振遅れが挙げられる。堀内ら^[1]は n 次関数を外挿することにより、加振遅れを補償する方法を提案している。本研究では、より汎用性の高い補償方法としてデジタルフィルタの適用を試みた。

3 実験システム

デジタルフィルタおよびアルゴリズムを実装したDSP、アクチュエータ等を用いて実験システムを構築し、提案手法を用いたリアルタイムハイブリッド実験システムの信頼性を実験的に検証した。

実験システムにおいては、図1に示すように対象構造物を計算部分と実験部分に分割して実験を行うサブストラクチャ手法を用いることを想定した。

このとき、実験アルゴリズムは、(1) i 番目のステップにおける反力を計測する (2) 前ステップまでに得ら

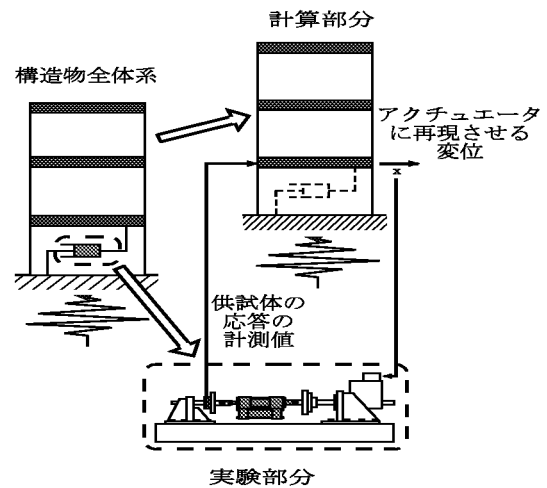


図1 サブストラクチャハイブリッド実験の概念図

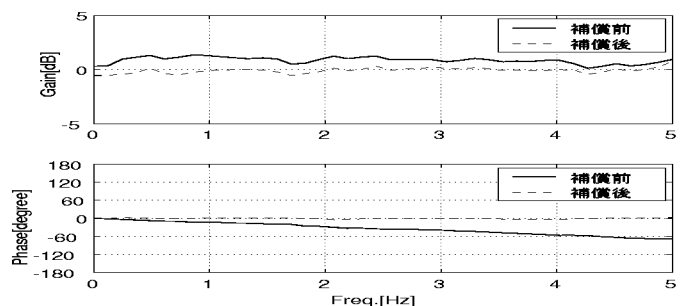


図2 アクチュエータの動特性（上：振幅、下：位相）

れた計算値とステップ i における計測値、入力波形を用いて計算部分の運動方程式を解き、次ステップにおける供試体の変位を決定する (3) (2)で決定した値にデジタルフィルタを通して制御器に入力し、アクチュエータの変位の制御を行う (4) これを繰り返す、となる。ここで、数値積分法としてRunge-Kutta法を用い、計算時間刻みは1msecとしている。

4 アクチュエータの動特性とデジタルフィルタ補償

0.1～5.0Hzの周波数成分を含んだホワイトノイズを変位入力として用いた加振を行うことにより得られたアクチュエータの動特性を図2に実線で示す。さらに、アクチュエータの動特性を打ち消すようなデジタルフィルタを作成して载荷を行った結果を図2に破線で示した。アクチュエータの動特性を十分に補償できていることが確認できる。

Key Words:ハイブリッド実験、実時間試験、サブストラクチャ法

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 tel.(075)753-5088 fax.(075)753-5926

5 検証実験

線形1自由度の構造物にばね、あるいはMRダンパーを設置したモデルを用いて検証実験を行った(図3)。ここでばねモデルでは、供試体として理想的線形ばねを用いていると仮想し、変位計測値に剛性を乗じて供試体反力とした値を、またMRダンパーモデルでは、荷重計測値を計算部分にフィードバックした。

入力として正弦波を用い、加速度振幅はアクチュエータの制約である、可動範囲 $\pm 5\text{cm}$ 、荷重容量 50kN を考慮して適宜変化させている。

実験結果と理想の実験システムにおける解析結果とを比較することにより、精度の良いリアルタイムハイブリッド実験が行えることを確認した(図4)。

6 リアルタイムハイブリッド実験への適用例

本実験システムを用いたリアルタイムハイブリッド実験の適用例として、5径間連続鋼Iげた橋(図5)において制振ダンパーを橋脚と桁の間に設置した場合の制振性能評価実験を行った。供試体にMRダンパーを用い、印加する電流により、異なる減衰特性のダンパーを模擬した。計算部分は2質点モデルにモデル化した(図6)。変位方向は橋軸方向のみ、基礎は固定とした。

実験を行う際に相似則を考慮して、実振幅のEl-Centro波形入力を想定している。MRダンパーに印加する電流は 0.1A とし、ダンパーを設置しない場合の解析結果と比較を行った。

橋脚と桁の相対変位の時刻歴を図7に示す。これにより、電流を 1A 印加したときの減衰特性を持つダンパーを設置した場合が、最も制振効果が高く、変位応答の最大値を約43%低減できることが分かった。

7 結論

デジタルフィルタ補償を適用した油圧式アクチュエータ等を用いて、リアルタイムハイブリッド実験システムを構築し、高精度の実験結果が得られることを確認した。また、この実験システムにより制振効果の評価を含めたダンパーの動作試験が可能であることを示した。

参考文献

- [1] 堀内ら：加振機の応答遅れを補償した実時間ハイブリッド実験システムの開発（第1報、補償方法と1自由度系の実験への適用）、日本機械学会論文集中(C編)61巻584号、pp.1328-1336、1995年4月

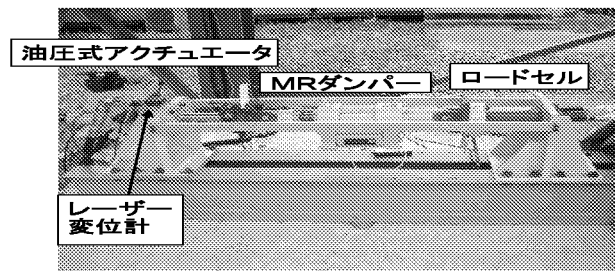


写真1 実験システムの外観

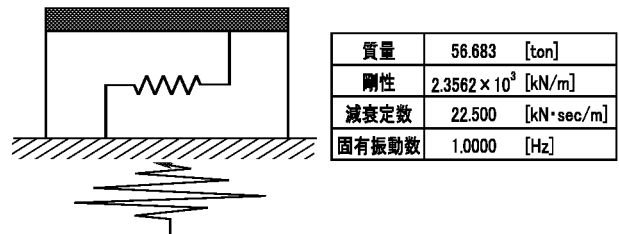


図3 検証モデル(ばねモデル)

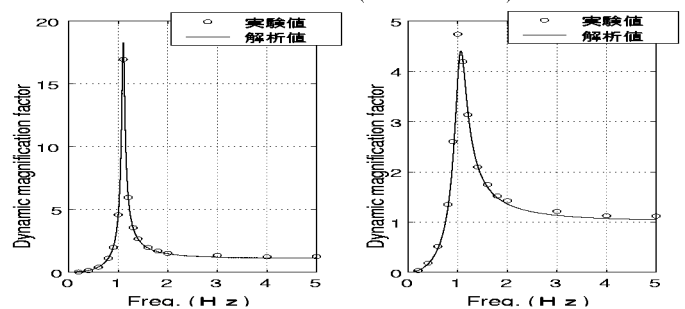


図4 応答倍率(左:ばね、右:MRダンパー)

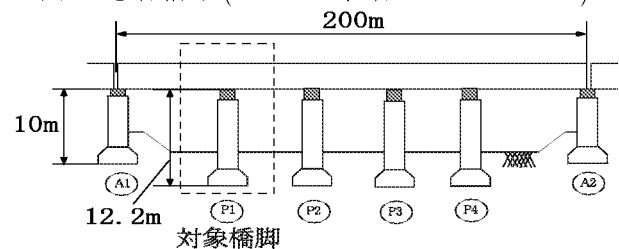


図5 対象橋梁

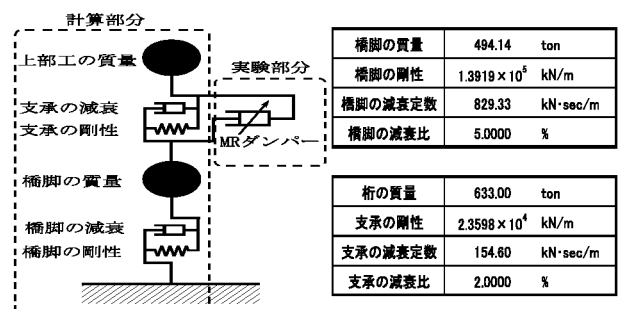


図6 橋脚のモデル化

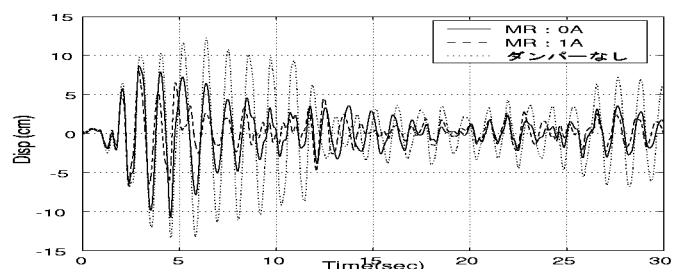


図7 変位時刻歴