

I - B 56

デジタルフィルタを用いたサブストラチャーハイブリッド振動台実験手法

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

日 輝 正会員 阪部真悟

1. はじめに

リアルタイムで構造物の動的応答を評価する手法として、振動台実験と計算機をオンラインで接続して行うサブストラチャーハイブリッド振動台実験手法が提案されている。従来の研究¹⁾により振動台の動特性による加振振幅・位相のずれが、実験結果の精度を大幅に劣化させる要因であることが知られている。このような問題を解決するため、デジタルフィルタを導入したサブストラチャーハイブリッド振動台実験アルゴリズムについて検討した。さらに、振動台とDSPを用いた実験システムにより実証実験を行い、本手法の妥当性を検証した。

2. デジタルフィルタを導入したサブストラチャーハイブリッド振動台実験アルゴリズム

サブストラチャーハイブリッド振動台実験手法の概念は、図1に示すように想定構造系より一部分（サブストラチャー）を取り出した実験供試体に対する振動台加振と、構造系の残りの部分の応答を求めるための数値計算を同時に進行させることにより、より現実に近い動的荷重下での構造要素の動的特性を調べるための実験手法である。この実験手法においては、振動台の加振出力とりわけ位相特性が実験過程の安定性や精度に非常に敏感に影響することが明らかにされており、精度の高い実験結果を得るためには振動台の動特性を考慮したアルゴリズムを採用する必要がある。

本研究では、サブストラチャーハイブリッド振動台実験アルゴリズムにおいて振動台加振値を得た後にIIRフィルタによる処理を追加することにより、実験精度を改善する方法を検討した。実験アルゴリズムの概略を図2に示す。

3. 振動台の動特性に基づくデジタルフィルタの設計

実験アルゴリズムに用いるIIRフィルタは、使用する振動台の動特性を可能な限り補償するような伝達関数を持つように設計することが基本的な考え方であるが、補償周波数範囲とアルゴリズム全体の信頼性の条件を同時に満足し、かつ一般性を持つ設計手順とするため、次のような方法を採用した。まず振動台への入力を $x(t)$ 、振動台応答を $y(t)$ とし、次式により目標周波数応答関数 $H(\omega)$ を求める。

$$H(\omega) = \frac{\hat{P}_{xy}(\omega)}{\hat{P}_{yy}(\omega)} \quad (1)$$

ここに、 $\hat{P}_{xy}(\omega)$ 、 $\hat{P}_{yy}(\omega)$ はそれぞれ入出力のクロススペクトルおよび出力のパワースペクトルである。ここで作成するIIRフィルタの伝達関数を $b(z)/a(z)$ と置く。ここに、 M をフィルタ次数を決定する整数とし、

$$a(z) = \prod_{k=1}^M (a_{k0} + a_{k1}z^{-1} + a_{k2}z^{-2}), \quad b(z) = \prod_{k=1}^M (b_{k0} + b_{k1}z^{-1} + b_{k2}z^{-2}) \quad (2)$$

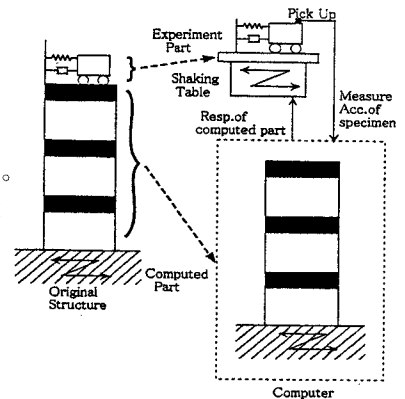


図1 実験概念図

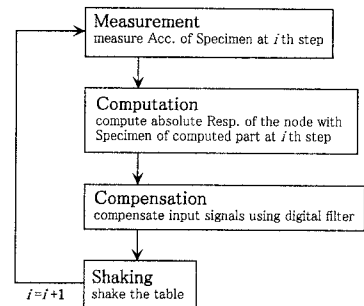


図2 実験アルゴリズム

$A(\omega)$ 、 $B(\omega)$ をそれぞれ $a(z)$ 、 $b(z)$ の離散フーリエ変換とし、次の最小2乗問題を解いて $a(z)$ 、 $b(z)$ に含まれる係数を全て決定する。

$$\left| H(\omega) - \frac{B(\omega)}{A(\omega)} \right|^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

得られた $a(z)$ および $b(z)$ によりフィルタを構成する。

4. 実験による検証

油圧式振動台とDSPシステムにより実験システムを製作し、実験供試体を用いて実際にフィルタの設計および実証のための加振実験を行った。検証実験はいずれのケースにおいても計算時間刻み1msを用いている。図3に用いた振動台の動特性と上記の方法で作成したデジタルフィルタの特性を、それぞれ実線と破線で示した。この実験システムの場合、1.5～4Hzの範囲で良好な補償を行うことができた。

想定全体構造モデルは、図4に示すような線形1自由度構造物上に同調質量ダンパー(TMD)を設置した2自由度系とし、TMD部分を実験部分とした。供試体は図5に示す、電磁ダンパーにより粘性減衰を付加した質量ダンパー装置の模型であり、摩擦などの影響による非線形性はほとんど無い線形1自由度系に近い挙動を示す。計算部分の実験部分に対する質量比 μ は0.1、0.01の2ケース、固有振動数は1、減衰比は2%としている。外部入力波形はランダム波である。

質量比0.1の場合を図6に、0.01の場合の実験結果を図7に示す。いずれも、対応する全体構造モデルの応答計算を行った結果と対比して示している。実験結果は、質量比が小さいほど精度が高くなるという解析的な検討結果と符号する傾向を示している。特に質量比0.01の場合は数値計算と実験結果は非常に良好な一致を示しており、構築されたシステムにより高い精度の実験が可能であることを示している。

5. 結論

従来のサブストラクチャーハイブリッド振動台実験手法の大きな問題点であった振動台の振幅・位相のずれを補償するため、デジタルフィルタを導入した実験アルゴリズムの開発について述べた。実験アルゴリズムを、油圧式振動台とDSPから成るシステムに実装し、精度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できるシステムを構築した。検証実験の結果、良好な実験精度が得られることが示された。

参考文献 1) 諏訪・家村・五十嵐：サブストラクチャーハイブリッド振動台実験手法の基礎的アルゴリズムの提案、土木学会会51回年次学術講演概要集、I-B341、1996年7月。

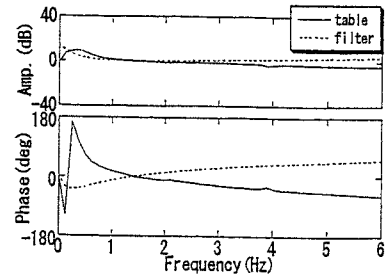


図3 振動台とフィルタの周波数特性

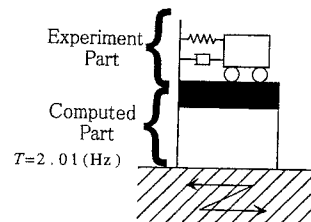


図4 構造系モデル

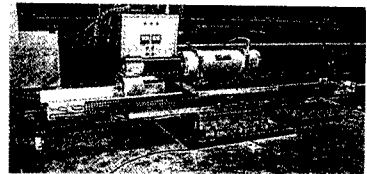


図5 実験供試体（質量ダンパ）

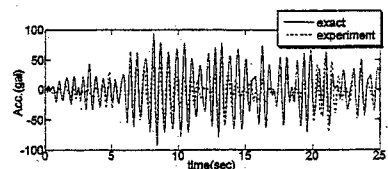


図6 供試体応答（質量比0.1）

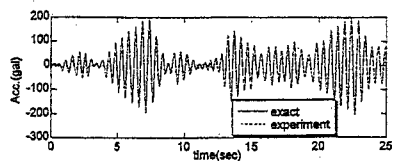


図7 供試体応答（質量比0.01）