

振動実験とデジタル信号処理について

機器運転技術グループ 山崎友也

1. はじめに

デジタルデータは、いずれの研究支援業務においても観測・計測センサ類の収録データや計算機での計算結果として当たり前のように触れられている。強震応答実験室での振動台実験においても当然、計測センサ類の出力は A/D 変換され離散値として蓄積される。これらのデータの処理は利用目的により様々になされるが、本稿では筆者の個人的な興味から周波数解析やフィルタリングについて簡単に紹介する。処理には主に汎用数値解析アプリケーション MATLAB を用いたが、一般的なところで MS エクセルでの処理も試した。

2. 振動実験とスペクトル解析

振動台を用いた振動実験では振動台に積載した試験体各部位の加速度や変形・動きの変位などが計測対象となる。一例として図 1 に示される計測を取り上げる。これは振動台上にゴム状素材を介し取り付けられた剛体の、振動台面からの微小な相対変位を計測している。図 2 は図 1 の変位 disp1 について計測された波形である。

ここで図 1 に示した変位 disp1 、 disp2 及び振動台内部加速度センサの計測データについて高速フーリエ変換 (FFT) によるスペクトル解析を行った結果を図 3 に示す。FFT は離散信号の周波数成分を効率的に解析するためのフーリエ変換のアルゴリズムである。MATLAB では `fft` 関数により容易に処理が行える。

図 3 の disp1 と disp2 のスペクトルを比較すると、5Hz 以下では振動台の加速度に応じた変位の成分が見られる。 disp1 には disp2 の変位量が含まれているため全体的に disp1 が大きな値であることがわかる。また 35Hz、60Hz 付近のスペクトルが顕著となっている。まず 60Hz のスペクトルはセンサやケーブルなどでひろわれる電気ノイズであり、交流電源の周波数 60Hz が現れている。振動台内部システムは制御

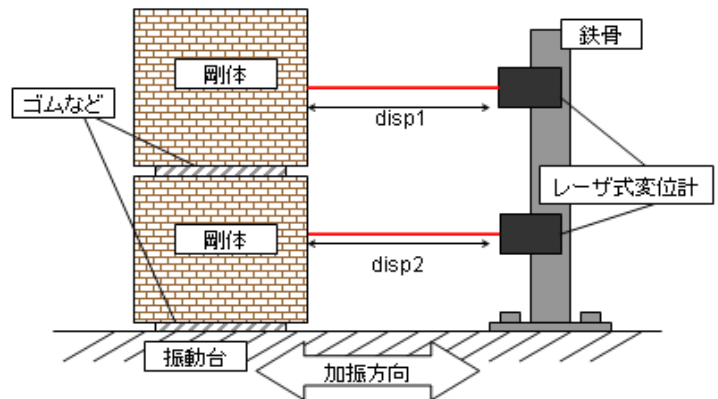


図 1 変位計測例

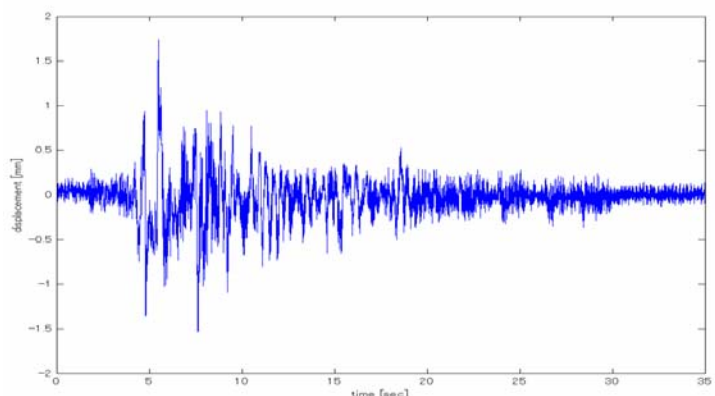


図 2 変位計測波形

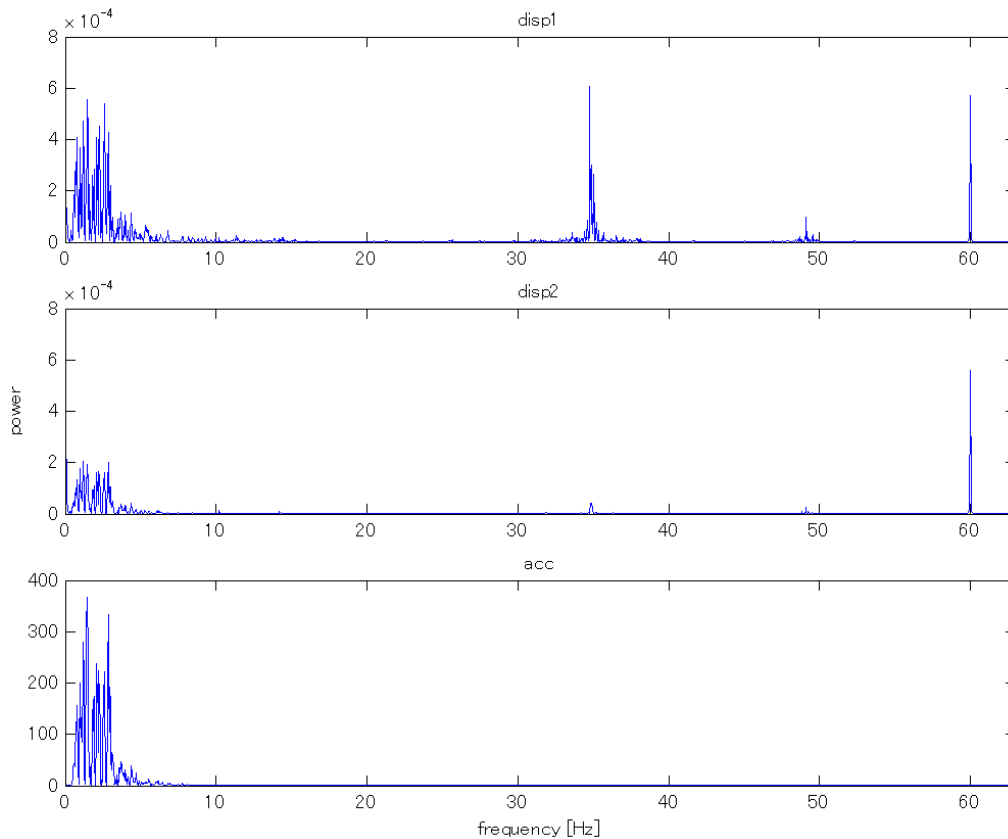


図 3 スペクトル解析結果

信号がこうした電気ノイズの影響を受けないようノイズ対策が適切に施されており、内部加速度センサ計測値では 60Hz 付近のスペクトルが見られない。次に 35Hz 付近のピークについてはレーザ変位形を取り付けた鉄骨支柱の振動する周波数と考えられる。鉄骨上部で計測した disp1 が下部の disp2 と比べより大きく振動することがスペクトルに現れている。また 50Hz 付近のわずかな検出はゴム素材による試験体の固有振動ではないかと考えられる。

3. MATLAB によるフィルタ処理

実験の目的にもよるが、図 1 の計測の結果から振動台加速度とそれに対応する試験体変位の関係を調べる場合などには 30Hz 以上のピークは誤差となるためカットしたい。そこでデジタルフィルタによるフィルタ処理が行われる。デジタルフィルタの入出力信号の関係の一例として次の式がある。

$$y(n) = h_0 x(n) + h_1 x(n-1) + \dots + h_m x(n-m)$$

$x(n)$: 時刻 n の入力信号 $y(n)$: 時刻 n の出力信号

この式の係数 h を適切に決定することでカットする周波数帯域を定めることができるが、過程が複雑であるため本稿では説明をカットする。MATLAB ではこうした複雑なデジタルフィルタを簡単に実装するための様々な関数が用意されている。またもう少し直感的に扱えるフィルタリング手法として FFT を利用するものがある。FFT で得られたスペクトルの不要な部分を 0 で置き換え逆 FFT で時間信号に戻すことでもフィルタ処理が実現できる。

ここで MATLAB 関数で適当に作成した butterworth 型 IIR フィルタと FFT を用いた広域周波数カットの結果を比較する。図 4 はそれぞれの方式について、周波数領域での入出力信号の比（ゲイン）を示している。上が IIR フィルタ、下が FFT によるフィルタ処理である。いずれも 30Hz 付近から高い帯域をカットするよう設定しており、FFT を利用した処理では高域がよりきれいに減衰していることがわかる。

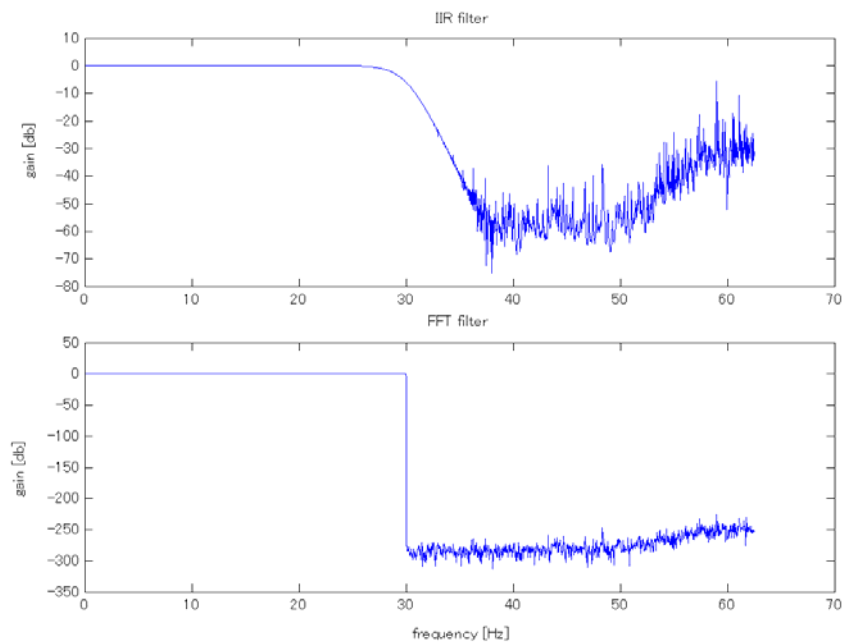


図 4 ゲイン特性

図 5 は図 2 で示した変位計測波形に FFT/逆 FFT によるローパスフィルタ処理を施した結果である。図中の data1 が元データ、data2 がフィルタリング後のデータである。また上の図は全体時間表示であり、下は 4～8 秒の範囲で拡大表示したグラフとなっている。data2 は data1 と比較し細かな振動、すなわち高い周波数帯域が除去されていることがわかる。

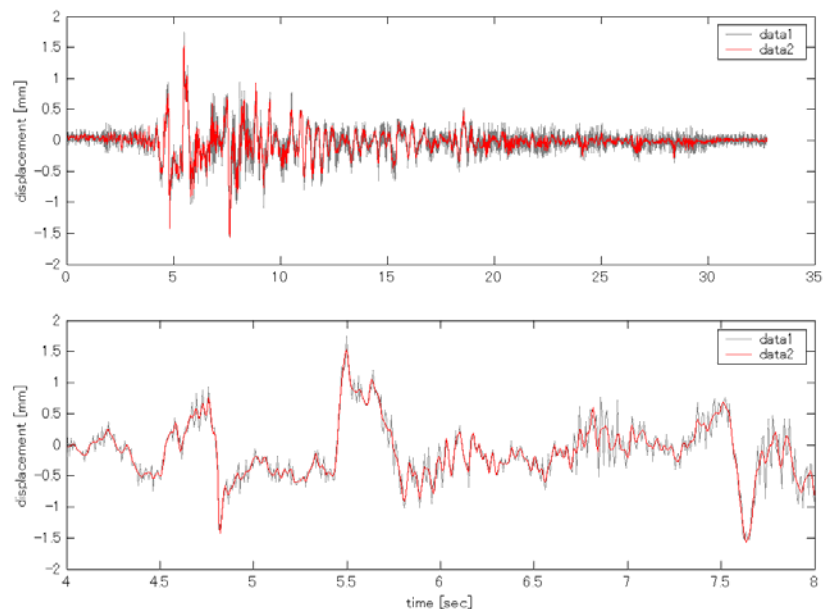


図 5 フィルタ処理結果

4. エクセルによるフィルタ処理

上記では MATLAB を用いてスペクトル解析とフィルタ処理の例を示した。MATLAB は強震応答実験室の計測システムにインストールされているものを利用している。MATLAB はアプリケーション本体の他、信号処理系パッケージ等を付けるとそれなりに導入の費用が必要である。そこで上記の処理を MS エクセルを用い試した。

エクセルの FFT 機能はデータ分析ツールで提供されており、ツールメニューより選択できる。ツールメニューに分析ツールの表示がない場合は拡張機能をインストールする必要がある。なおエクセルの FFT で処理できるデータ数は 4096 個までである。図 6 は図 2 の変位波形についてエクセルの FFT で得られたパワースペクトルである。図 6 のスペクトルを図 3 と比較すると、ほぼ同様の結果が得られていることがわかる。

ここで 30Hz より高い帯域を除去する処理を行う。MATLAB での処理と同様に、FFT で得られたデータ列のうち 30Hz 以上に該当する部分を 0 で置換し逆 FFT で時間信号に戻すことが実際の作業となる。周波数 f_n のデータ位置は $N \cdot f_n / f_s$ 個目となる。 N はデータ長、 f_s はサンプリング周波数である。本稿で用いたデータはデータ数が 4096 個、 f_s が 125Hz であるため 30Hz のデータは 983 個目となる。また FFT の結果は中心より左右対称のため高域カットの場合は 983～3113 個目の範囲を 0 に置換する。これを逆 FFT 処理し、IMREAL 関数で実数に変換することでフィルタ処理後の信号が得られる。図 7 に処理前後のデータ波形拡大表示と周波数領域での比を示す。MATLAB と同様の結果が得られたことがわかる。

本稿では一例として高周波の除去を試したがその他、信号に DC オフセット（直流成分が影響した 0[V]からのずれ）が生じた場合に、低域の除去である程度の修正ができる。エクセルでは扱うデータ長に制限があるもののこうした処理を容易に試すことができた。

5. おわりに

本稿では振動台実験と絡めて簡単な信号処理を紹介したが、現在の強震応答実験室の支援業務でこういった信号処理を特に行っているわけではない。筆者の興味分野であるため取り上げたものの、主だった業務は実験の円滑な進行のための諸事調整や施設の保守などである。しかしながらこういった信号処理の視点を通し実験内容にも興味を持つことができています。技術室全体を見ても各人の業務と得意分野が必ずしも一致していないことがあるが、得意な分野や有する専門知識と関連づけて異種業務に興味を持つことは精神衛生上重要であると考えます。

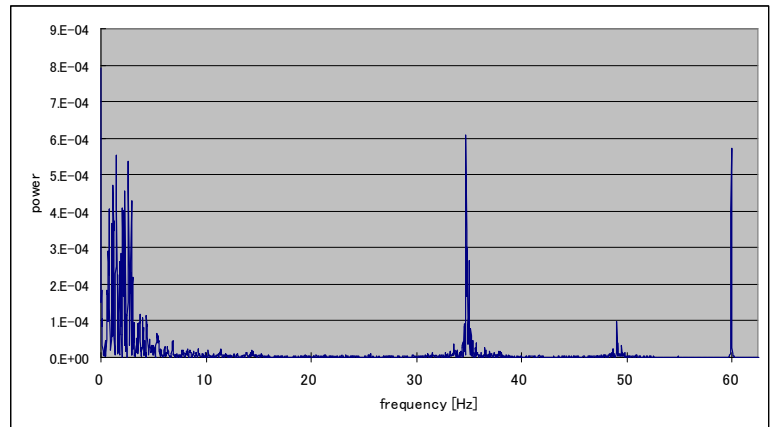


図 6 エクセルによるスペクトル解析結果

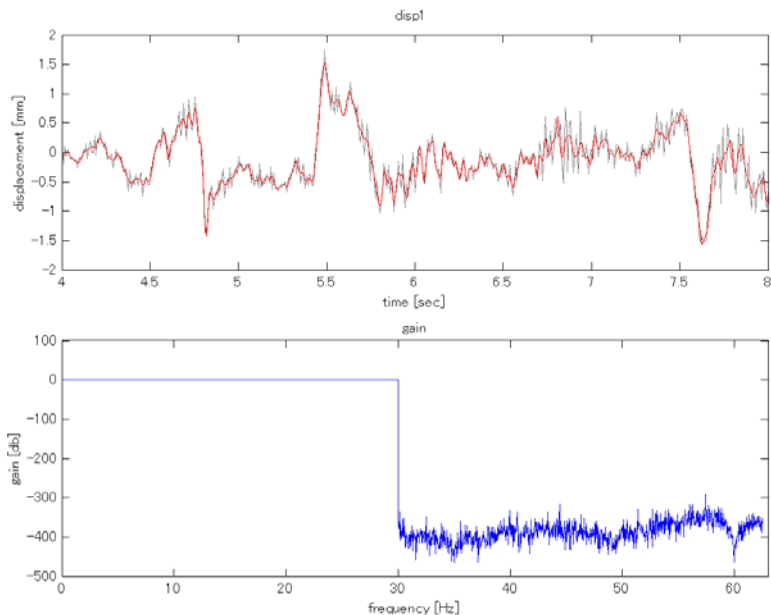


図 7 エクセルによるフィルタ処理結果

以上