

振動台実験における入力波形作成に関するサポート例

京都大学防災研究所 技術室

山崎 友也

1. はじめに

防災研究所強震応答実験室は振動台装置を用いた建築構造等の振動対策の研究に利用されている。実験室では2名の技術職員が非常勤研究員らとともに実験を支援しており、その内容は装置オペレーションや計測センサーの設置等、多岐にわたるが本稿では振動台の入力波形の製作に関する支援の一部を紹介する。

振動台は変位あるいは加速度振幅の離散値データ（テキストファイル）に基づき加振が制御される。技術職員は必要に応じて入力波の編集等を実施することがある。ここでは過去の対応例として、「加速度波形の震度換算」と「正弦波スイープ波形の製作」についてごく簡単に紹介する。

2. 加速度波形の震度換算について

振動台装置の制御や計測にあたっては加速度が標準的に用いられるが、一般的に地震の大きさを話題にする際には震度（計測震度）が馴染み深い。そのため市販の地震対策装置の宣伝には震度表記がなされることが多い。強震応答実験室の利用においても、震度5弱よりある効果が発揮される機器の検証といった実験は珍しくない。こういったケースで様々な地震動加速度データを震度換算する必要があったため、効率的に処理するスクリプトを作成した。

震度5弱や6強といった震度階級は、揺れの強さを数値化した計測震度の値により定められる。例として6強は計測震度が6.0以上6.5未満を示した場合の震度階級となる。計測震度の算出方法は以下の通りである。（気象庁HPより抜粋）

- ① デジタル加速度記録3成分（水平動2成分、上下動1成分）のそれぞれのフーリエ変換を求める。
- ② 地震波の周期による影響を補正するフィルタを掛ける。
- ③ 逆フーリエ変換を行い、時刻歴の波形にもどす。
- ④ 得られたフィルタ処理済みの3成分の波形をベクトルの的に合成する。
- ⑤ ベクトル波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど0.3秒となるような a を求める。
- ⑥ ⑤で求めた a を、 $I = 2 \log a + 0.94$ により計測震度 I を計算する。

①についてはMATLABのFFT関数やエクセルマクロを利用した。②で用いられるフィ

ルタは以下のハイカットフィルタ $FH(f)$ 、ローカットフィルタ $FL(f)$ 、周期特性補正フィルタ $FC(f)$ をそれぞれ掛ける。これも MATLAB やエクセルで容易に計算できる。(f: 周波数)

$$FH(f) = (1 + 0.694x^2 + 0.241x^4 + 0.0557x^6 + 0.009664x^8 + 0.00134x^{10} + 0.000155x^{12})^{-0.5} \quad (x = f/10)$$

$$FL(f) = (1 - \exp(-(f/0.5)^3))^{0.5}$$

$$FC(f) = (1/f)^{0.5}$$

なおこのフィルタの周期特性は図 1 の通りとなる。③、④、⑥の処理についても市販のソフトで処理できる。思案を要したのは⑤の処理であるが、技術室・中川技術職員の案により (0.3×データのサンプリング周波数) 番目の値を a として取り出すことで容易に実現できた。

図 2 は上記処理より求めた JMA 神戸波の加速度倍率を変化させた場合の計測震度との関係となっている。こういった処理を自動化することで、入力波形の加振倍率から震度を求めることが容易となり、多数回の実験を要する製品試験をスムーズに進めることができた。

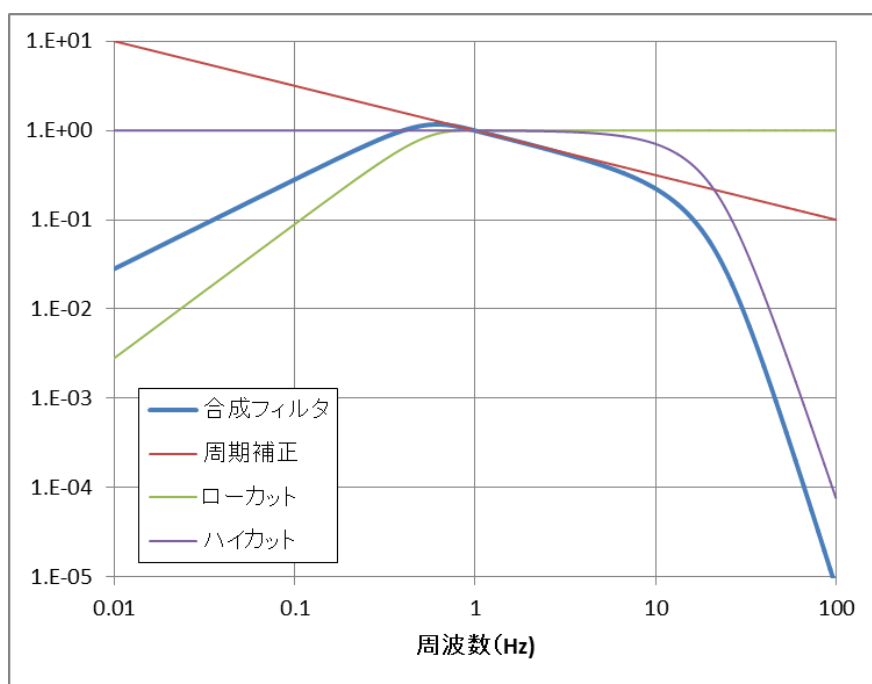


図 1 フィルタ周期特性

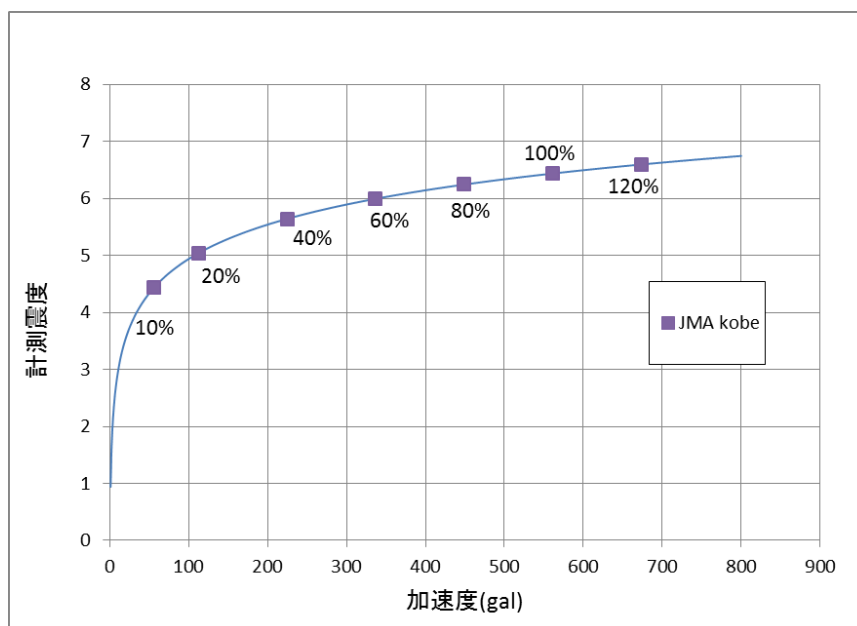


図2 JMA 神戸波加速度計測震度関係

3. 正弦波スイープ波形の作成について

構造物の振動試験では最初に構造物の振動特性を調べることが多い。その後、地震波入力によりダメージを与え、振動特性がどのように変化するかが検証される。こういった検証に用いられる入力波形は様々だが、ここでは正弦波の周波数を連続的に変化させるスイープ波を取り上げる。

振動試験で用いられるスイープ波では周波数の変化量として octave/min といった単位が使われることもある。1 オクターブは倍の周波数であり 1 octave/min は1 分間で周波数が倍に変化することとなる。例として図3に周波数が $0.5\text{-}10\text{Hz}$ の範囲を 1 octave/min で変化する様子を示す。振動台に入力する加速度データは、この周波数遷移を基に正弦波を作成する。

図4は $0.5\text{-}10\text{Hz}$ の範囲を 1 octave/min で変化するスイープ波を求めたエクセル表である。時刻刻み(Δt)は 0.01 秒としている。各時刻の周波数を求め 2π を掛けて θ とする。これを \sin 関数に代入すれば振幅が求められる。図5が得られた波形となる。

4. おわりに

現在の入力波形に関するサポートはここで紹介したような簡単な内容しか対応できていない。今後の目標としては建物応答波を作成したいと考えている。例えば長周期地震動への関心の高まりから超高層建物の上層階の動きを試験に用いたいという要望が増えてきている。現在はこういった解析波形の用意は利用者側にお願いしている状況であるが何らかの支援ができるよう検討したい。

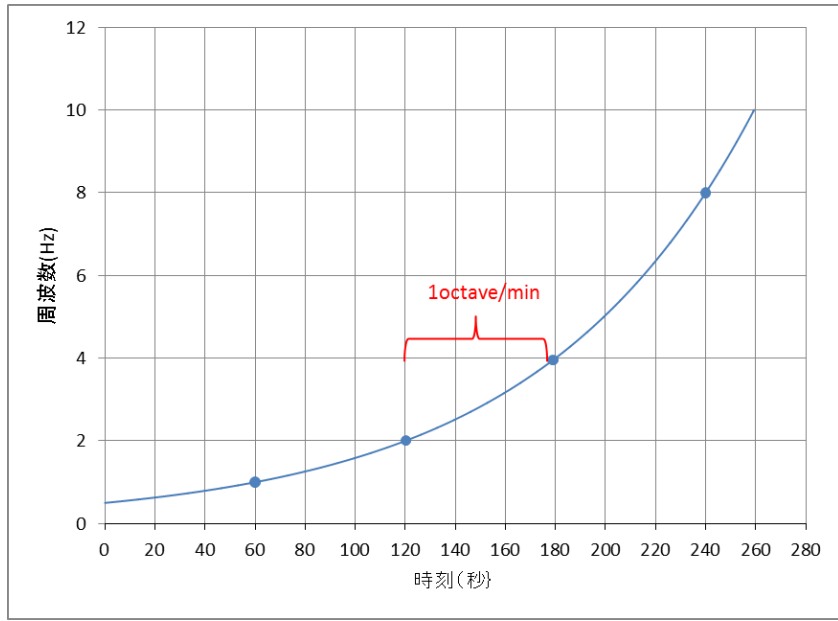


図3 周波数遷移

時刻 t	周波数 f(t)	角度θ	sin(θ)
0.01	0.500057766	3.141955606	0.000362952
0.02	0.500115538	3.173378792	0.031780786
0.03	0.500173317	3.204805608	0.063170864
0.04	0.500231102	3.236236055	0.094502172
セルA2	0.500288895	3.267670133	0.125743734
0.06	0.500346694	3.299107843	0.156864645
0.07	0.500404499	3.330549185	0.187834102
0.08	0.500462312	3.3619	
0.09	0.500520131	3.39344	
0.1	0.500577956	3.42489	
0.11	0.500635780	3.45635	
0.12	0.500693604	3.4878	
0.13	0.500751428	3.51927	
0.14	0.500809252	3.55074	
0.15	0.500867076	3.58221	
0.16	0.500924900	3.61368	0.454750501
0.17	0.500982724	3.64516	0.482555277
0.18	0.501040548	3.67664	0.509885023
0.19	0.501098372	3.70812	0.536712546
0.2	0.501156196	3.73961	0.563011074
0.21	0.501214020	3.77110	0.588754346
0.22	0.501271844	3.80260	0.613916635

周波数の式
 $f' = f * 2^{t/60}$
 f' : 1秒後の周波数
 f' は60秒後に2倍、120秒後には2の2乗倍(4倍)になる。

初期値 $\theta_0 = 2\pi f(t)$
【エクセル関数】
 $=2*PI()*B2$
 以降は $\theta_{n+1} = 2\pi f(t)\Delta t + \theta_n$
【エクセル関数】
 $=2*PI()*B3*0.01+C2$

図4 スイープ作成エクセル表

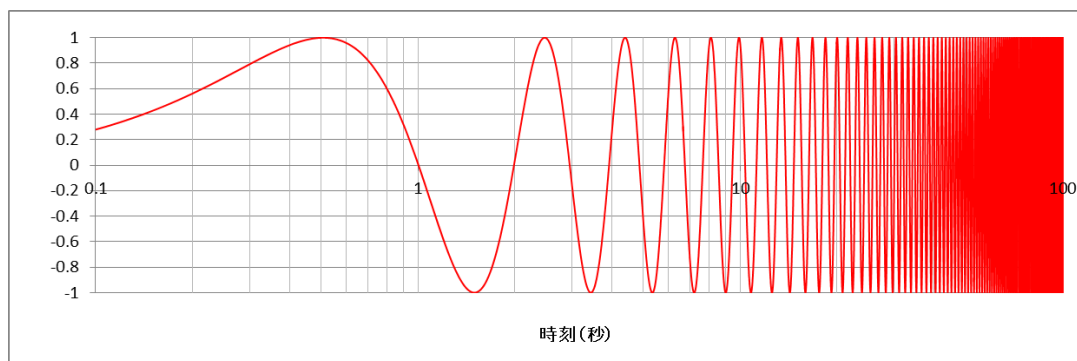


図 5 スイープ波波形