

阿南工業高等専門学校 正員 ○笹田修司
徳島大学工学部 正員 平尾 潔

1. はじめに

アクティブ制震は、センサの信号から必要な制御力をコントローラで計算し、アクチュエータで制御力を発生させて振動制御をするため、センサからの信号にノイズあるいは経時的変化をするドリフト等があると、制震力発生に直接的に影響を受ける。システム構成にもよるが、本研究の場合、センサに速度計を用い、変位量を数値積分で求めており、積分によって低振動数域の誤差は増幅されるため、フィルタによって除去する必要がある。特に、AD変換時にドリフト等が発生する場合は、アナログフィルタでは、除去できないこととなり、この場合には、変換後にデジタルフィルタを用いる必要がある。しかしながら、フィルタ特性が制震効果に及ぼす影響についての研究は見あたらず、検討する必要があるものと思われる。そこで、本研究では、図1に示すような、DCサーボモータをアクチュエータとするAMDを取り付けた一自由度実験模型に対し、デジタルフィルタを用いた制震実験を行い、その制震効果に対する影響についての比較検討を試みた。

2. デジタルフィルタ

本研究では、ハードウェアで実現されているフィルタをソフトウェアシミュレーションをしたデジタルフィルタであり、その中でも比較的計算量の少ない一次のバタワース近似されたフィルタを使用した。デジタルフィルタの設計方法によって、伝達関数 $H(z)$ の表示が違ふことがあるが、本研究の場合は、次式を用いた。

$$H(z) = \{(1-\alpha) \times z + (1-\alpha)\} / \{2 \times z - 2 \times \alpha\} \quad (1)$$

$$\alpha = \sin(\pi \times \{1/4 - f_{LP} \times dt/2\}) / \sin(\pi \times \{1/4 + f_{LP} \times dt/2\}) \quad (2)$$

ここに、 f_{LP} : 遮断周波数、 dt : サンプル間隔(sec)

時刻 k における入力を $x(k)$ 、出力を $y(k)$ とすると、次式の差分方程式となる。

$$y(k) = \alpha \times y(k-1) + (1-\alpha) \times \{x(k-1) + x(k)\} / 2 \quad (3)$$

ハイパスフィルタについては、ローパスフィルタの式の遮断周波数を f_{HP} に置き換え、このローパスフィルタの出力を入力から引くことで、また、バンドパスフィルタは、ローパス、ハイパスフィルタの両方を用いることでバンドパスフィルタとした。図2は、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタの各遮断周波数を $f_{LP} = 50\text{Hz}$ 、 $f_{HP} = 0.4\text{Hz}$ のフィルタに、ホワイトノイズを通し、入力 $x(t)$ 、出力 $y(t)$ に対するフーリエ振幅の比をデシベル表示した利得特性 $(20\log\{G(y(t))/G(x(t))\})$ を示したものである。

3. AMD制震システム

今回用いた実験模型は、図1に示すような鋼製のラーメン模型である。AMDは、DCサーボモータ(60W)の回転をボールネジによって付加質量を水平移動させ、制御力を得るようになっている。また、実験模型の固有振動数、質量比等についてを表1に示す。

図3は、制御システムの流れを示したものであり、先のフィルタは、AD変換直後と計算誤差等の除去のためDA変換直前にも用いている。また、制御力計算については、測定した相対速度とそれを積分して得られる相対変位を用いて、次式で示される評価関数 J の値を最小にする最適レギュレータ理論を用いて求めた。

$$J = \int_0^{\infty} (X^T Q X + u^T R u) dt \quad (4) \quad \text{ただし、} Q = \begin{pmatrix} K & 0 \\ 0 & M \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} x \\ \dot{x} \end{pmatrix} \quad (5)$$

ここに、 x : 相対変位、 $\dot{x}$: 相対速度、 u : 制御力、 R : 制御力の重み

4. 実験結果

実験模型を振動台に取り付け、エルセントロ地震波形の時間スケールを1/2に縮めた波形を入力地震動を

用いてAMD制震実験を行い、全くフィルタを通さない速度データを記録し、FFTを用いたバンドパスフィルタで0.1~20Hzにカットし、さらに、FFTによる積分、微分を行って結果を整理した。

図4(a)は、AMDを停止させた非制震時、(b)は制御力の重みR=0.8としてAMDを作動させた制震時の各結果の一例である。無制震時のスペクトル特性が示すように、実験模型は、スペクトルにピークの立つ系であり、制震時の場合と比較すると、この振動数付近の低減が行われている。

表2は、フィルタの低域遮断周波数 f_{HP} を変化させて各3回の実験を行った結果であり、表中の応答倍率および低減率は、次式により求めた。

応答倍率=最大応答値/最大入力値 (6)

低減率=(1-AVD停止時の応答倍率/AMD作動時の応答倍率)×100 (7)

f_{HP} =0.4Hz以上で低域遮断周波数を高めるにつれて僅かながらも低減率が下がり傾向あり、フィルタによる低振動数成分の遮断が、減衰が小さく応答のスペクトル特性にピークの立つ系の制震であっても、制震効果に若干の影響があることが明かとなった。

5. おわりに

バンドパスフィルタが制震効果に影響を及ぼすことを確認したが、今後、デジタルフィルタの改良とその影響について、さらに検討を行う予定である。

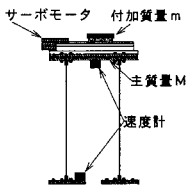


図1 実験模型

表1 実験模型の諸量

主質量	M (kgf・s ² /cm)	0.075544
付加質量	m (kgf・s ² /cm)	0.005429
バネ定数	K (kgf/cm)	25.35
減衰係数	C (kgf・s/cm)	0.006375
質量比	$\mu = m/M$ (%)	7.187
固有振動数	f (Hz)	2.95

注) Cとfは、AMD停止状態での自由振動結果より、Kは部材寸法より求めた。

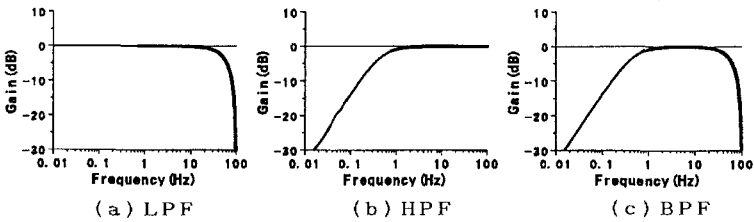
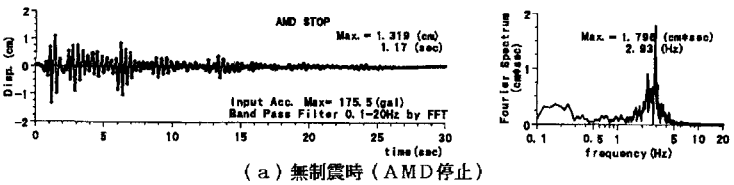
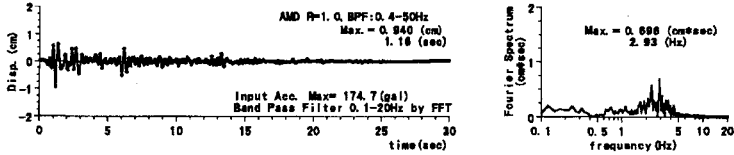


図2 デジタルフィルタの利得特性



(a) 無制震時 (AMD停止)



(b) 制震時 (AMD動作 R=1.0, フィルタ FLP=0.4Hz, FHP=50Hz)

図4 相対変位の時系列波形とフーリエスペクトル

表2 変位低減率 (AMD動作時の重みR=1, FLP=50Hz)

	最大応答変位 (cm)	最大入力変位 (cm)	応答倍率	応答倍率 平均値	低減率 (%)
AMD STOP	1.317 1.319	1.182 1.186	1.106 1.103	1.104	
F _{HP} = 0.2 Hz	0.932 0.948	1.170 1.171	0.797 0.810	0.806	27.0
F _{HP} = 0.4 Hz	0.922 0.940	1.169 1.169	0.787 0.806	0.796	27.9
F _{HP} = 0.6 Hz	0.932 0.929	1.168 1.165	0.798 0.799	0.798	27.7
F _{HP} = 0.8 Hz	0.947 0.946	1.163 1.163	0.814 0.811	0.810	26.6
F _{HP} = 1.0 Hz	0.950 0.957	1.163 1.169	0.817 0.826	0.822	26.6
F _{HP} = 1.2 Hz	0.971 0.969	1.161 1.169	0.836 0.836	0.836	24.3

図3 AMD制震システムの流れ