

I-299

能動的制振におけるフィードバックの遅延効果

建設省土木研究所	正会員	川島	一彦
建設省土木研究所	正会員	長谷川	金二
建設省土木研究所	正会員	吉田	武史
○株式会社 長大	正会員	足立	敏行

(1) まえがき

構造物の地震時応答を抑制する方式として、能動的制振方式がある。この方式はフィードバック制御により外部エネルギーを付与し、減衰性能を向上させるものである。この方式では制御設計の他に計測制御系の実現が課題である。その中の一つの問題として、フィードバックの遅延による安定性喪失(減衰が負となる)の可能性が指摘されている¹⁾。本文ではフィードバックの遅延と減衰性能の関係について試算例を示すと共に、その遅延効果を補償する方策の一例を示す。

(2) 遅延フィードバック時の運動方程式

能動的制振方式の一つであるアクティブ・マス・ダンパを装着した1自由度系構造物(図1)の運動方程式を(1),(2)式に示す。

$$M_s \cdot \ddot{X}_s(t) + K_s \cdot X_s(t) + K_d \cdot (X_s(t) - X_d(t)) = F_s(t) - U(t) \quad \text{--- (1)}$$

$$M_d \cdot \ddot{X}_d(t) + K_d \cdot (X_d(t) - X_s(t)) = F_d(t) + U(t) \quad \text{--- (2)}$$

(1),(2)式において、 M :質量、 K :ばね定数、 F :外力、 U :制御力、 X :座標、 t :時刻であり、添字は s :構造物系、 d :マス・ダンパ系を示す。ここでは制御力を構造物速度のみに比例する単一制御力²⁾とする。フィードバックの遅延を考慮すると制御力は(3)式で示される。

$$U(t) = G \cdot \dot{X}_s(t - \tau) \quad \text{--- (3)}$$

(3)式において、 G :制御ゲイン、 τ :遅延時間である。制御される構造物の挙動は(3)式を(1),(2)式に代入し、フーリエ変換を用いて求める。但し、負減衰ではフーリエ積分は存在しないので、その適用には本来限界がある。

(3) フィードバックの遅延効果

例として表1に示す構造物及びマス・ダンパの諸元を用いて、フィードバックの遅延が無い場合と有る場合の自由減衰振動を求める。フィードバックの遅延時間は0.1秒毎0.6秒(構造物の固有周期の1/12毎6/12)までとした。図2に各遅延時間が有る場合の減衰波形を示す。この結果より、遅延時間と減衰定数の関係を図3に示す。図から明らかなように、遅延時間が増加するに従い減衰性能は低下する。遅延時間が構造物の固有周期の1/6までは正減衰であるが、それより遅延時間が長くなると負減衰になり安定性を失う。

(4) 遅延効果の補償策

遅延効果を補償する方法としては、制御信号を移相する方法、多自由度系構造では、遅延を考慮した上でゲイン・マトリクスを再構成する方法、制御信号にローパスフィルタを施す方法などが挙げられている¹⁾。

ここでは、マス・ダンパの固有周期を変更して、遅延効果を逆に減衰性能の向上に作用させる例を示す。表1のマス・ダンパのばね定数を110.0に変更する。その結果、変更前と異なりマス・ダンパ系の固有周期は構造物系のそれより短くなる。この場合の自由減衰振動を求め図4に示した。遅延が無い場合と遅延時間が構造物の固有周期の1/2の場合について求めた。両者を比較すると遅延効果により、減衰定数は負から正に転じることがわかる。

(5) あとがき

アクティブ・マス・ダンパを装着した1自由度系構造物を例として、振動制御系におけるフィードバックの遅延効果により不安定現象が発生する場合があることを示した。また、遅延効果を補償する方法としてマス・ダンパ系の固有周期を変更する方法を例を用いて示した。

参考文献1) M. Abdel-Rohman (1987): Time-Delay Effects On Actively Damped Structures, J. Engrg. Mech. Div.

ASCE, Vol. 113, No. 11, 1709-1719 2) 古石, 武藤(昭和61): アクティブ・マス・ダンパによる構造物の振動制御,
日本機械学会論文集(C)52巻474号683-687頁

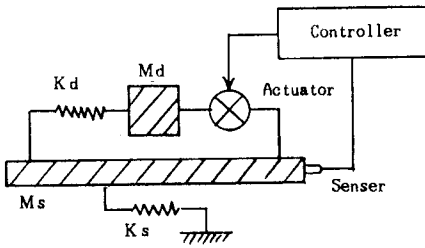


図1 制振構造システム
(アクティブマスダンパと1自由度系構造物)

表1 制振構造の諸元

Structure	Mass	Ms: 10.0 kg
	Spring	Ks: 274 N/m
	Period	Ts: 1.2 sec
Damper	Mass	Md: 1.0 Kg
	Spring	Kd: 6.85 N/m
	Period	Td: 2.4 sec
Control	Gain	G: 50 N·s/m

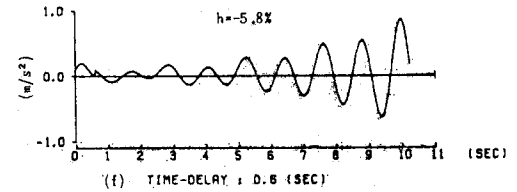
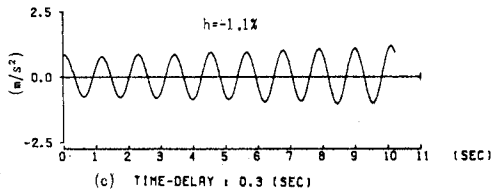
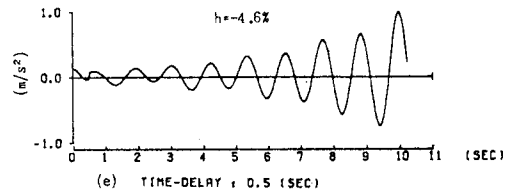
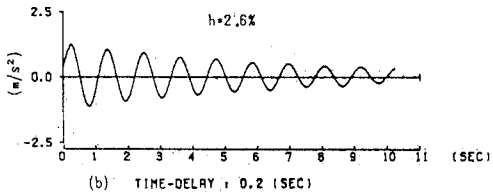
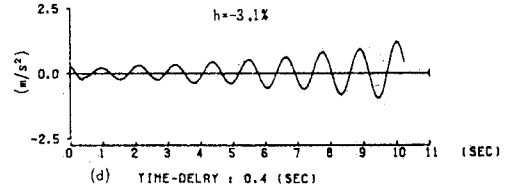
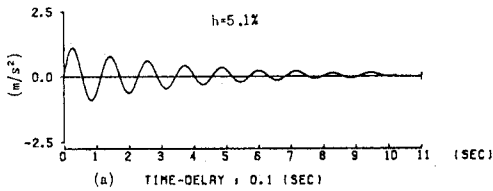


図2 加速度減衰波形 ($K_d=6.85\text{N/m}$)

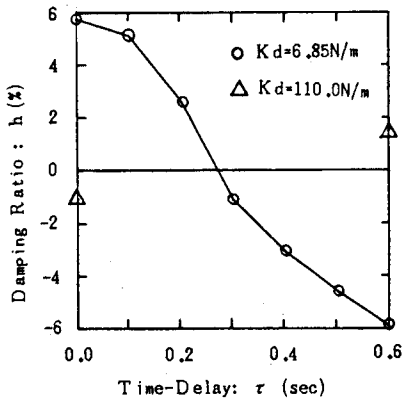


図3 遅延時間と減衰定数の関係

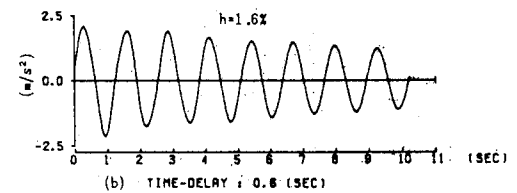
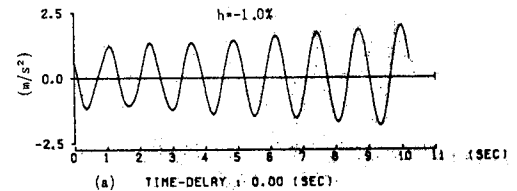


図4 加速度減衰波形 ($K_d=110.0\text{N/m}$)