

I - B173

自走式アクチュエータによる低域振動特性を有する構造物の振動制御

長崎大学大学院 学生員○高木 真一郎

長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏

長崎大学大学院 学生員 山森 和博

1. はじめに

斜張橋や吊橋などの吊構造物の振動数は低域に存在するため、通常のアクチュエータでは制御力が発生することが困難である。そこで構造物の下面を自走式で重量のある走行体を移動させ、ストロークを長くとることにより低域振動数の制御力を発生させ、吊構造物の低域振動制御を行うことを考えた。本研究では、吊構造物の極低域振動を制御するためのシステムの開発を行い、模型構造物を対象にして振動制御の有効性を検証した。

2. 吊構造模型と自走式アクチュエータについて

振動制御モデルとして写真-1に示すような吊構造模型を製作した。これは、アクリルの板を橋体と考え、その下にアクチュエータを移動させるための円筒形のアクリルを付け、それを両端からワイヤーで吊ったものである。また、模型を吊るためのフレームを製作した。図-1に模型を自由振動させた場合の波形を示し、表-1に吊構造模型の振動特性を示す。

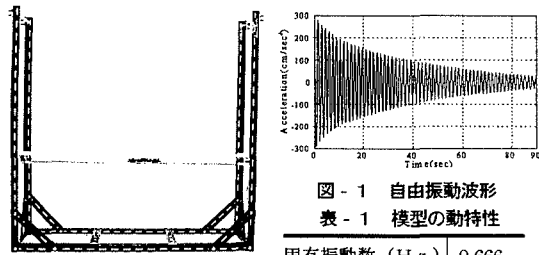


写真-1 吊構造模型

自走式アクチュエータには鉄道模型の列車とレールを採用した。これを写真-2に示す。また、自走式アクチュエータの動特性を図-2に示す。

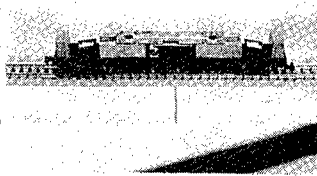


写真-2 自走式アクチュエータ

これを見ると0.5(Hz)以上 振動数においては、90度の位相遅れが認められる。

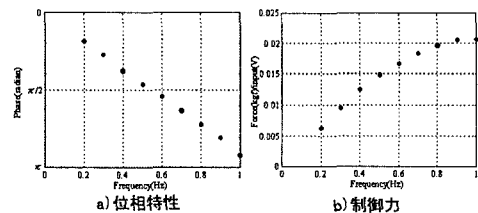


図-2 アクチュエータの動特性

ここで、吊構造模型の重量は965g、アクチュエータの重量は73.8gであり、質量比は約1/13となる。

3. 振動制御の実験による検証

振動制御の効果を検証するために、自由振動実験と定常振動実験を行った。本実験での制御システムを図-3に示す。模型に設置した加速度計より検出された加速度信号を動ひずみ計に取り込む。その入力信号をパーソナルコンピュータ内でA/D変換し、数値積分を行って速度信号に算出し、その出力信号をD/A変換する。この出力信号を直流増幅器とフィルタ、パワーアンプを通してレールに送り、アクチュエータが制御力を発生する。制御力は、数値積分により算出した速度に対し、直流増幅器のゲインを変化させることでフィードバックさせた。実験方法として、自由振動実験は直流増幅器のゲインを50,100,200,500のいずれかに設定し、模型を所定の位置まで移動させ、切り離すことにより振動させる。同時に速度フィードバックを行い、振動制御を開始する。定常振動実験は発振器により振動台を模型の固有振動数(0.666Hz)で定常加振させる。十分に定常状態になったところで直流増幅器のゲインを設定し、速度フィード

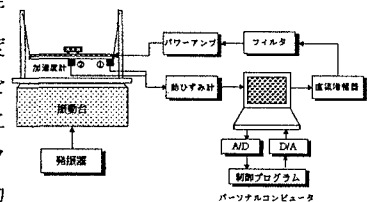


図-3 実験システム

連 絡 先：長崎大学工学部（〒852 長崎市文教町1-14 TEL0958-47-1111）

バックを行い、振動制御を行う。図-4は自由振動実験による各ゲインでの模型の加速度を示し、表-2は各ゲインでの減衰定数を示す。図-4においてそれぞれ制御力を強化した場合、効果的な制御効果が表れている。ゲインの変化に比例して減衰定数が増加していることが表-2より確認できる。

図-5は定常振動実験での結果であり、表-3は振動制御の効果を低減率で表示したものである。これを見ると、強制振動の場合においても効果的な制御効果が実現されており、自走式アクチュエータの有効性が確認できた。

4. シミュレーションによる振動制御の検証

最適フィードバックゲイン K は、理論的に求まるものであるが、ここでは実測から逆算して求めた。吊構造物の運動図-4 自由振動における制御

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t) + u(t) \quad (1)$$

m , c , k は模型とアクチュエータの総質量、減衰定数、剛性係数を示す。

ここで単位荷重当たりの方程式を考える。制御力は状態フィードバックを考えている。

$u(t) = -Kx(t)$ より(1)式は

$$\ddot{x}(t) + (2h\omega + k_2)\dot{x}(t) + (\omega^2 + k_1)x(t) = 0 \quad (2)$$

自由振動の加速度は次式で与えられる。

$$\ddot{x}(t) = x_0(a^2 + n^2)\sqrt{1 + \frac{a^2}{n^2}}e^{-at}\sin(nt + \alpha'') \quad (3)$$

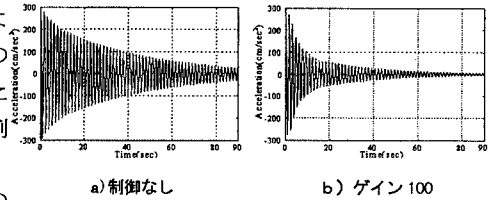
$$a = \frac{2h\omega + k_2}{2}, \quad n = \frac{\sqrt{4(\omega^2 + k_1) - (2h\omega + k_2)^2}}{2}, \quad x_0 \text{は初期変位}$$

この式を用いてカーブフィッティングを行い、フィードバックゲイン K を求める。この時、 k_1 , k_2 を求めた場合と $k_1 = 0$ として k_2 のみ求めた場合の2通り行った。その結果を表-4、表-5に示し、この値を使ったシミュレーションを図-6、図-7に示す。 k_1 , k_2 を求めた場合の波形と k_2 のみ求めた場合の波形はほとんど同じである。

5. まとめ

本研究により、次のことが明らかになった。

- (1) 模型レベルでの制御は顕著な効果が見られる。これにより自走式アクチュエータによる吊構造物の低域振動制御が有効であることが確認できた。
- (2) 制御器を設計するための最適フィードバックゲインは、応答に曲線適合させることにより求めた。このパラメータで振動制御の挙動を説明することができた。
- (3) この模型は安価で簡単に製作することができ、振動制御の教材として活用することも可能である。



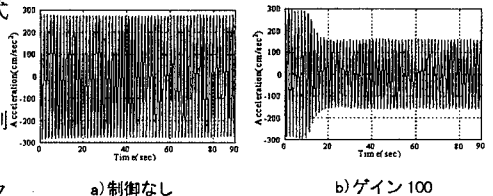
a) 制御なし

b) ゲイン 100

c) ゲイン 500

表-2 ゲインと減衰定数

ゲイン	減衰定数 h
制御なし	0.0060
50	0.0160
100	0.0206
200	0.0618
500	0.0732



a) 制御なし

b) ゲイン 100

c) ゲイン 500

図-5 ゲインとレベル

表-3 ゲインとレベル

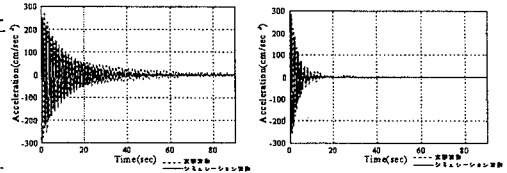
ゲイン	レベル (%)
制御なし	100.00
50	77.27
100	54.20
200	37.17
500	22.16

表-4 各ゲインの k_1 , k_2

ゲイン	k_1	k_2
50	0.0362	0.0327
100	0.0684	0.1238
200	0.3337	0.4178
500	0.7324	0.5718

表-5 各ゲインの k_2

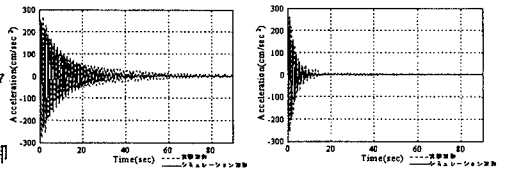
ゲイン	k_2
50	0.0350
100	0.1180
200	0.4411
500	0.6228



a) ゲイン 100

b) ゲイン 500

図-6 フィードバックゲイン k_1 , k_2 を求めた場合



a) ゲイン 100

b) ゲイン 500

図-7 フィードバックゲイン k_2 のみを求めた場合