

## 地震外力を受ける塔状構造物のオブザーバーを用いた振動制御

長崎大学大学院 学生員○山本 実 長崎大学工学部 正 員 岡林隆敏  
 長崎大学工学部 学生員 小松正貴 オイレス工業(株) 正 員 下田郁夫

## 1. はじめに

土木・建築構造物の長大化に伴い、地震等、動的な外乱に対する振動が深刻な問題となっている。そのような問題に対し、振動制御の方法としてアクティブ振動制御が考えられる。従来の研究<sup>1)</sup>では、オブザーバーを使用することにより計算機に対する負担が大きく、今後、H<sup>∞</sup>制御を考えようとするときに負担が増すと予想される。本研究では、従来の研究を継続し、必要な状態量全てが観測できない場合を想定して、少ない観測点から全状態量を推定するオブザーバーを用いた制御を実験により実現する。さらに、振動制御システムのコントロールに高速演算処理を可能にするDSP(Digital Signal Processor)を導入し、アクティブ振動制御システムの構築を行い、アクティブ振動制御の有効性を実験的に確認するものである。

## 2. 制御対象構造物と制御理論

制御対象構造物は、図-1 a)のような5層の塔状構造物である。これを図-1 b)のような5質点系に縮約して、振動解析した結果を表-1に示す。固有振動数は実測値とよい一致を示している。各振動モードも実測値とほぼ一致する。減衰定数は実測により0.5%前後であることを確認した。これらの結果は、最上層に制御装置を設置した場合のものである。制御対象とするのは複数の低次振動であるため、制御モデルをさらに図-1 b)のように3質点系に縮小する。

次に、構造系の運動方程式は、状態空間表示すると次のように表せる。

$$\dot{X}(t) = AX(t) + Bu(t) + Dg(t) \quad (1)$$

$$Y(t) = CX(t) \quad (2)$$

ここに $X(t)$ は、基準関数から構成される状態変数である。

$$X(t) = [q_1(t) \dot{q}_1(t) \cdots q_n(t) \dot{q}_n(t)]^T \quad (3)$$

さらに $A$ はシステム行列、 $B$ 、 $D$ はそれぞれ制御力 $u(t)$ 、外力 $g(t)$ の係数行列、 $C$ は観測行列である。 $u(t)$ はフィードバックゲイン行列 $K$ により

$$u(t) = -KX(t) \quad (4)$$

で与えられる。 $K$ は最適レギュレータ理論<sup>2)</sup>を用いてリカッチの方程式(5)を解くことにより(6)式で与えられる。

$$A^T P + PA + Q - PBR^{-1}B^T P = 0 \quad (5)$$

$$K = R^{-1}B^T P \quad (6)$$

$Q$ と $R$ は、制御系に対する評価関数の重み行列である。ここでオブザーバーを構成する。最小次元オブザーバーは次式で与えられる。

$$\dot{\hat{\omega}}(t) = \hat{A}\hat{\omega}(t) + \hat{B}u(t) + \hat{g}(t) + \hat{G}Y(t) \quad (7)$$

$$\hat{X}(t) = \hat{C}\hat{\omega}(t) + \hat{D}Y(t) \quad (8)$$

オブザーバーの極は、極配置法により決定し、設計法は文献 1)を参考にした。オブザーバーを用いた振動制御では、(4)式において $X(t)$ の代わりに $\hat{X}(t)$ を用いる。本研究では、模型最上層の速度と変位を観測して、3次振動までの

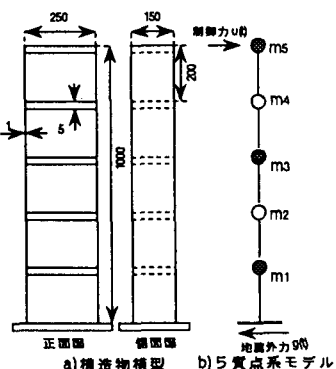


図-1 構造物模型と制御モデル

表-1 構造物模型の振動特性

| 振動次数 | 固有振動数 |       | 減衰定数   |
|------|-------|-------|--------|
|      | 5質点形  | 実測値   |        |
| 1次   | 2.43  | 2.39  | 0.0064 |
| 2次   | 7.29  | 7.52  | 0.0050 |
| 3次   | 12.01 | 12.70 | 0.0045 |

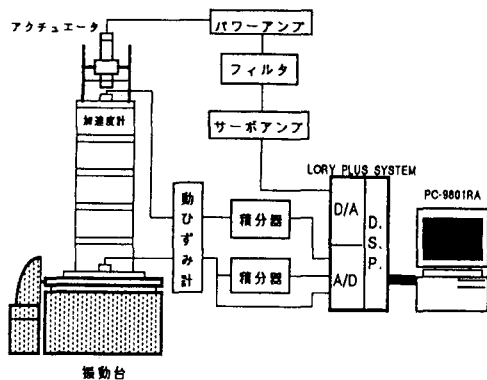


図-2 アクティブ振動制御システム

状態変数を推定している。そのため最小次元オブザーバーは、4次元のオブザーバーを構成している。

### 3. DSPを組み込んだ振動制御システム

図-2にアクティブ振動制御システムを示す。このシステムのコントロールにDSPを搭載したLORY PLUS SYSTEM (MTT製)を用いている。これは、DSPを中枢として機能する各種高速信号処理用I/Oボードを組み合わせたシステムであり、高速多チャンネル信号処理を可能にしている。またLORY PLUSを起動するプログラムは、PC-9801上で走るホストプログラムとDSPボード上で走るターゲットプログラムで構成され、両プログラムともMS-DOS上で開発することができる。本研究では、1kHzでA/D、D/A変換を行っている。

### 4. 振動実験

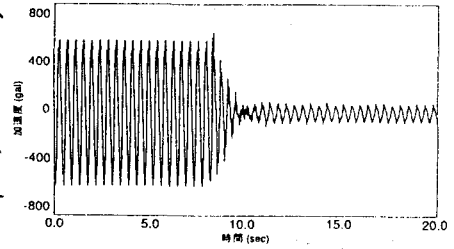
本研究では、正弦波外力、地震外力にたいして振動実験を行った。図-3は正弦波外力による共振時の応答波形であり、縦軸は最上階の応答加速度(gal)、横軸は時間(sec)を表している。構造物模型をそれぞれ1次振動、2次振動で共振させ、十分に定常状態になったあと制御力を加え、その効果を見る。図-3 a)の1次振動では、約86%程度加速度応答が減少している。一方、図-3 b)の2次振動では約53%の減少が見られ、制御効果は現れているが、1次振動に比べると効果が少ない。

次に、EL-CENTRO(N-S)地震外力に対する制御効果について検討する。図-4にEL-CENTRO地震波で振動台を16秒間加振したときの加速度応答20秒間を示す。図-5はそのときの構造物の最上階の加速度応答である。a)の制御がない場合に対し、b)の制御がある場合を比較する。最大応答に対しては約16%の減少しか見られず、衝撃力に対する制御効果は少ない。しかし、それ以外の応答波形全体ではおよそ50%以下の制御効果が現れている。加振力が小さい5秒から10秒にかけては、ほとんど制御されており、加振力が加わらない16秒以後の自由振動に対しては、十分に制御効果が現れており急速に収束している。

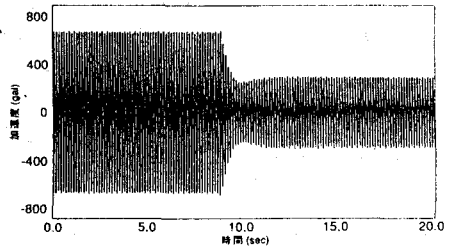
### 5. まとめ

本研究では、オブザーバーを用いて、コントローラにDSPを使用したアクティブ振動制御システムを実現し、振動実験を行い、正弦波外力と地震外力に対する振動制御が有効であることを確認した。今後、H<sup>∞</sup>制御による振動制御を行う場合、係数の計算がオブザーバーよりもさらに複雑になる。今回用いた振動制御システムは、そのような計算に対しても、十分対応できる演算処理能力を有していることを確認した。

[参考文献] 1)奥松ら、土木学会、第47回概要集、1992年、PP.544~545. 2)入門現代制御理論、啓学出版、1987年. 3)LORY PLUS SYSTEM/DSP4100 シリーズ 取り扱い説明書、第3版、エムティ株式会社。



a) 1次振動



b) 2次振動

図-3 正弦波外力に対する制御効果

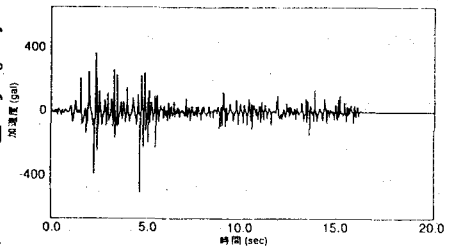
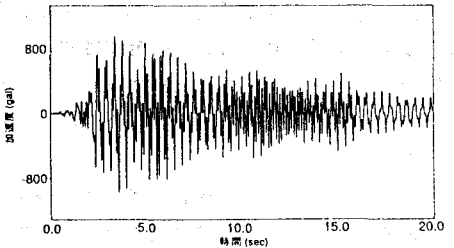
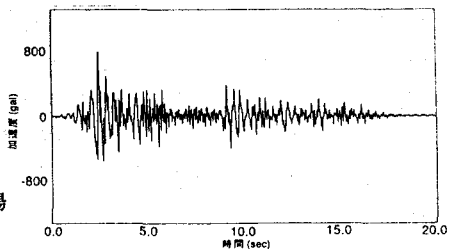


図-4 振動台の加速度応答



a) 制御がない場合



b) 制御がある場合

図-5 地震外力に対する制御効果