

1. はじめに

大地震を受ける高層構造物をアクティブ制震するには、構造物と制震装置の規模の兼ね合いから決めることが必要である。アクチュエータを用いた加力型制御システム (Active Mass Damper ; AMD) 方式を用いる場合に構造物に供給できる制御量は、付加質量の可動範囲 (最大ストローク量)、アクチュエータの消費エネルギー等によって制限を受けるため、限られた制御量を効率よく用いて構造物の応答を低減しなければならない。本研究では Yang の時間依存型評価関数¹⁾をもとに、構造物に入力される地震動のエネルギーを評価関数に導入して定式化を行い、制御量に状態量だけでなく外力も考慮できる閉開ループ制御則^{2),3),4)}を用いて AMD を制御した場合の制御効率についてケーススタディを行い閉ループ制御則と比較した。

2. 解析手法と解析条件

アクチュエータを最上階に 1 台設置した n 自由度系の構造物モデルの運動方程式は表-1 の式(2.1)で表され、 $[M], [K], [C]$ はそれぞれ質量、剛性、減衰マトリクスで、 $n \times n$ 次元の正方マトリクスであり、 $x_i (i=1, \dots, n)$ は各質点の相対変位、 u は制御力である。 $\{H\}$ は制御力の作用位置を表す n 次元ベクトルで、アクチュエータにより発生する制御力 u が最上階にのみ作用するため $\{1, 0, 0, \dots, 0\}^T$ で与えられる。運動方程式を状態方程式に変換すると式(2.2)となる。さらに式を状態方程式に書き直すと式(2.3)となる。評価関数は 2 次形式として式(2.4)のように定義する。最適制御入力とは式(2.3)の運動方程式の条件のもとで式(2.4)の評価関数を最小化する変分問題を解くことにより求められるフィードバック係数 ($\{F_{BD}\}, \{F_{BV}\}$) を求めて応答計算を行い、フィードバック量および構造物の応答特性を評価する。

閉開ループ制御則の定式化としては、地震動の特性を直接反映できる制御側を導くため、構造物に入力される地震エネルギーを考慮した評価関数が提案されているので、修正して式(2.5)の評価関数として定義する。最終的に式(2.6)の形にまとめられる。

3. 解析結果と考察

ケーススタディの例を図-3 (a), (b) (閉ループ、閉開ループ制御) に示す。加速度と変位の最大応答包絡分布を図-4 (a), (b) に示す。同図を比較することにより、 Q (状態量にかかる重み) を 10^3 と一定とした時、閉ループでは R (制御力にかかる重み) を大きくすることにより、最大加速度は小さくなるが変位は大きくなる。一方閉開ループでは $\alpha/R=30$ と一定として R を大きくすると変位は大きくなるが、加速度にはあまり変化がなかった。

今後は最適な制御ができるように重みを変えてパラメトリックスタディを行う。

対象構造物を図-1 に示す 8 階構造物とし入力地震は図-2 に示す El Centro (最大加速度 100gal, 継続時間 10sec, きざみ 0.01sec, 卓越周期 2.9Hz) を用地表面から入力した。同図に質量と剛性を示すまた、ケーススタディ 3 種類を表-2 に示す。対象構造物は 1 次の 1.25Hz 時に発散するほどよく揺れる。

表-1 評価関数

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = -\{m\}\ddot{X}_0(t) + \{H\}u(t) \quad (2.1)$$

$$\{x(t)\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T \quad (2.1)$$

$$\dot{z}(t) = Az(t) + Bu(t) + W_1\ddot{X}_0(t) \quad (2.2)$$

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + D\ddot{y}_0 \quad (2.3)$$

$$J = \int_0^T [x(t)^T Q x(t) + u^T(t) R u(t)] dt + x^T(t_f) P_f x(t_f) \quad (2.4)$$

$$J(t) = \int_{-t}^t [z(\tau)^T Q z(\tau) + u^T(\tau) R u(\tau) + \alpha \{ \dot{x}^T(\tau) \{m\} \ddot{X}_0(\tau) \}] d\tau \quad (2.5)$$

$$\dot{u}(t) = \{F_{BD}\}\{x(t)\} + \{F_{BV}\}\{\dot{x}(t)\} + F_f \ddot{X}_0(t) \quad (2.6)$$

$$\{F_{BD}\} = -\Delta t / 4r \{m^{-1}\}\{H\}^T [Q_{21}^T + Q_{21}]$$

$$\{F_{BV}\} = -\Delta t / 4r \{m^{-1}\}\{H\}^T [Q_{22}^T + Q_{22}]$$

$$F_f = \Delta t^2 / 8 \cdot \alpha / r$$

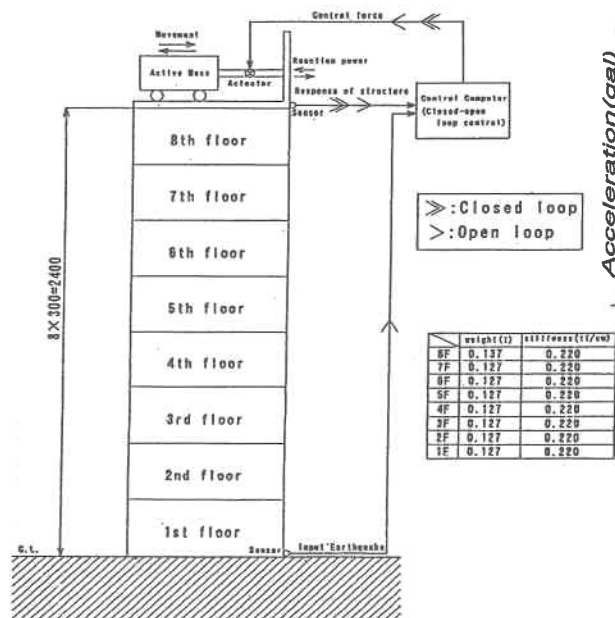


図-1 入力モデル

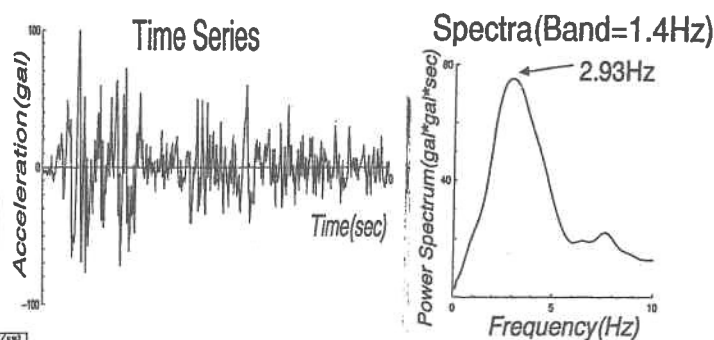
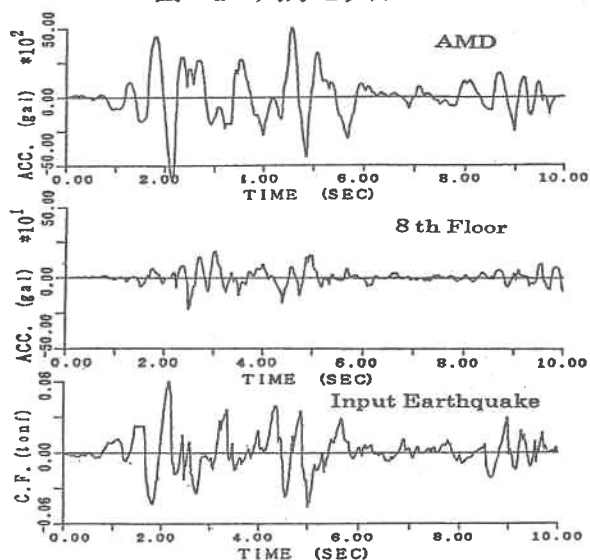


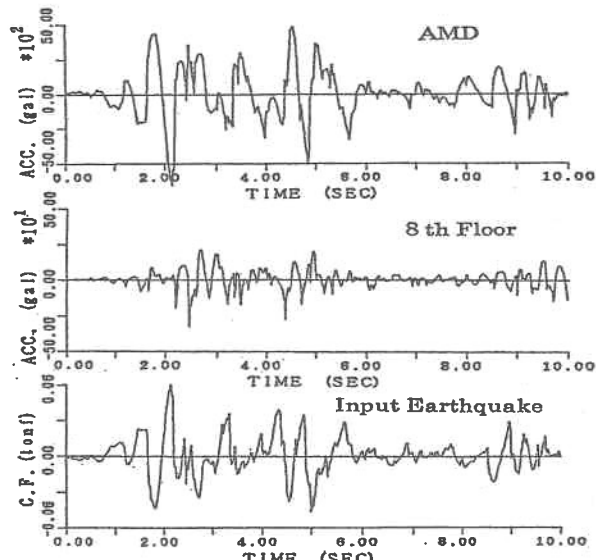
図-2 入力地震波

表-2 ケーススタディ

ケース	重み係数	R	α	Q
ケース 1		10^6	3×10^7	10^3
ケース 2		10^7	3×10^8	10^3
ケース 3		10^8	3×10^9	10^3

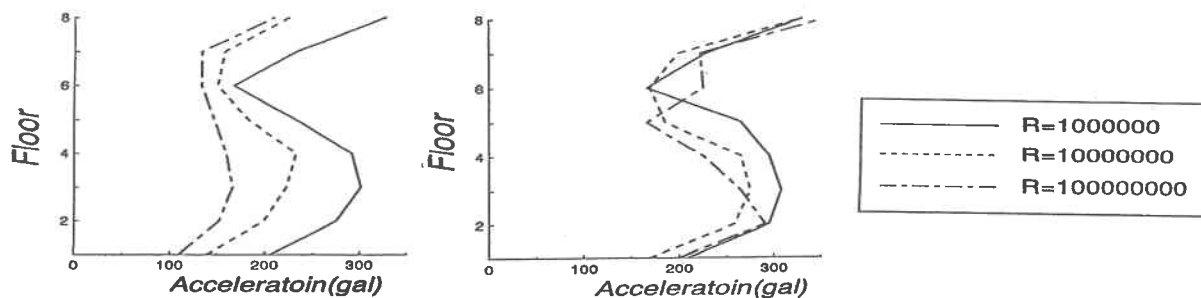


(a) 閉ループ (ケース 2)



(b) 閉開ループ (ケース 2)

図-3 解析結果



(a) 閉ループ

(b) 閉開ループ

図-4 最大応答包絡分布

参考文献

- 1) J.N.Yang : New Optimal Control Algorithms for Structural Control, *Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE*, Vol.113, No.9, pp.1369-1386, Sep. 1987.
- 2) 吉川正昭 : 可動質量型制振装置を用いた構造物の閉開ループ震動制御, 土木学会論文集, No.525/ I -33, 201-211, 1995.10
- 3) 小郷寛, 美多勉 : システム制御理論, 実務出版, pp.114-139, 1989
- 4) 吉川正昭, 川井伸泰 : 転がり振り子による制振-可変ゲイン制御による制振効果-, 土木学会構造工学委員会, pp.99-106, 1995.8