

# 構造物の震動制御における閉開ループ則

京都大学防災研究所 正会員 ○佐藤忠信  
 京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三  
 建設省 橋本雅道

**1. はじめに** 震動制御を行うための制御力は、一般に状態量と制御量の2次形式で表される評価関数を最小にするように決定される<sup>1)</sup>。その場合、制御力は状態量のみで決定されるフィードバック制御則となり、入力地震動を直接反映した制御則とはならない。本研究では、構造物に入力するエネルギー量を評価関数に導入することによって、入力地震動の影響を考慮できる閉開制御則を構築する。

**2. 評価関数の提案** 震動制御を行う系の運動方程式は次式のように示される。

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -m\ddot{X}_0(t) + Hu(t) \tag{1}$$

ここで、 $M$ 、 $C$ 、 $K$ はそれぞれ質量、減衰、剛性を表すマトリクス、 $H$ は制御力の作用位置を表すマトリクス、 $x(t)$ は構造物の変位を表すベクトル、 $\ddot{X}_0(t)$ は地動加速度、 $u(t)$ は制御力を表すベクトルである。式(1)の両辺に $\dot{x}(t)dt$ をかけて積分することによってエネルギー量を得る。その場合、右辺第1項は入力地震エネルギー、第2項は制御力エネルギーを表す。これらを実評価関数に導入することによって次式を得る。

$$J_N(t) = \int_{t-\Delta t}^t [z^T(\tau)Qz(\tau) + u^T(\tau)Ru(\tau) + \alpha E(\tau)]d\tau \tag{2}$$

右辺第1項は状態量の2次形式、第2項は制御量の2次形式、第3項はエネルギー量であり、 $Q$ 、 $R$ 、 $\alpha$ はそれぞれの項の重みである。エネルギー量としては(i)入力地震エネルギー  $E(\tau) = -\dot{x}^T(\tau)m\ddot{X}_0(\tau)$  (ii)制御力エネルギー  $E(\tau) = \dot{x}^T(\tau)Hu(\tau)$  (iii)入力地震と制御のエネルギーを合わせたものの3つを考えた。ここでは、紙面の都合上、(i)と(ii)のエネルギーを考えた場合を比較する。式(2)の評価関数を最小にする制御力は、ラグランジュの未定係数法を用いて求められる。

**3. 解析結果** 対象構造物は図-1に示す3層ラーメン構造の建物であり、並進運動のみを許した3自由度3質点系にモデル化した。制御器としてはActive Tendonを考え、アクチュエータは各層間に設置した。入力地震動として1940年のEl-Centro波を用いた。制御を行わない場合の最上階の応答変位を図-2に示す。図-3には、エネルギーを導入しない場合、図-4(a)には入力地震エネルギーを導入する場合、図-4(b)には制御力エネルギーを導入する場合の最上階の応答変位およびアクチュエータNo.1、3の制御力が示されている。入力地震エネルギーを考慮した場合の特徴は、最下層のアクチュエータに地動加速度に比例した制御力が作用することによって制御を行っていることがわかる。図-5には重みを変化させた場合の質点1の最大応答変位、アクチュエータNo.1、3の最大制御力が示されている。なお、重みは $q = Q_{11}$ 、 $r = R_{11}$ を用いて表されている。(a)の場合は $\alpha/r$ が $10^2$ で最大応答変位が極小値となるのがわかる。また制御力に関してはアクチュエータNo.1はあまり変化しないが、No.3は最大応答変位が極小値をむかえる前からかなり大きな値となっており、最下層のアクチュエータが大きな制御力を作用させることによって、構造物の応答変位を抑えているのがわかる。(b)の場合は最大応答変位は単調減少、最大制御力はアクチュエータNo.1、3とも単調増加しており、一般的な結果となっている。

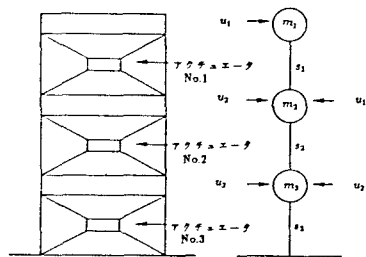


図-1 解析モデル

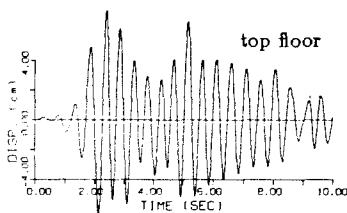


図-2 制御を行わない場合の最上階の応答変位

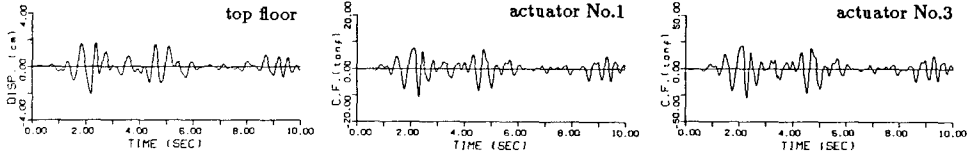


図-3 エネルギーを導入しない場合の応答変位および制御力

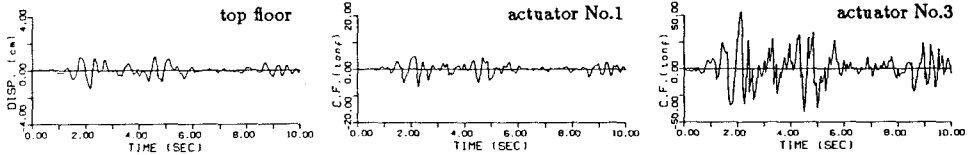


図-4(a) 入力地震エネルギーを導入する場合の応答変位および制御力

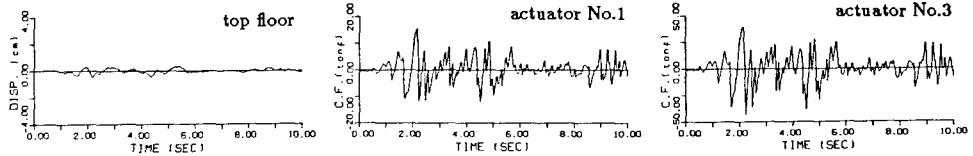


図-4(b) 制御エネルギーを導入する場合の応答変位および制御力

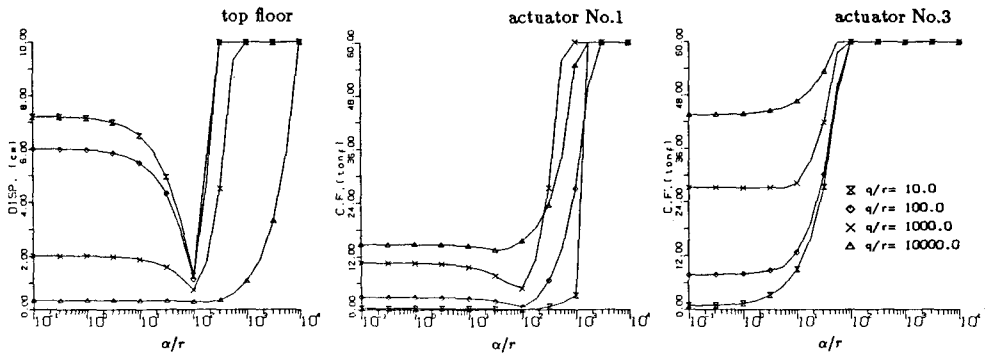


図-5(a) 重みを変化させた場合の最大応答変位および最大制御力(入力地震エネルギー導入)

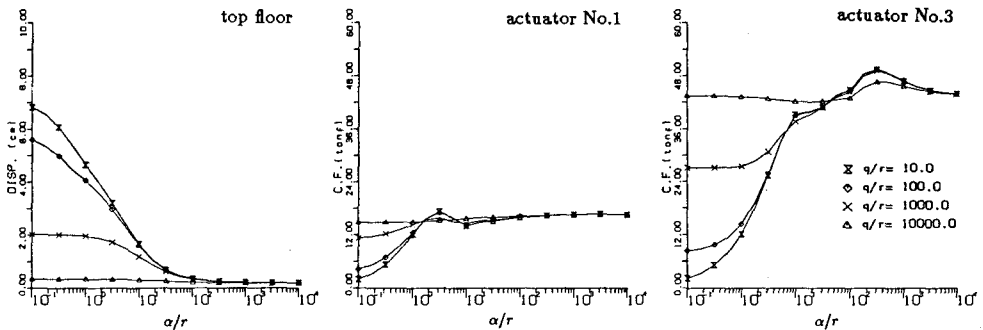


図-5(b) 重みを変化させた場合の最大応答変位および最大制御力(制御エネルギー導入)

4. おわりに 構造物に入力するエネルギーを考慮することによって、地動加速度を直接反映する制御を行うことができた。特に、入力地震エネルギーを考慮する場合は、最下層のアクチュエータに入力地震動を直接反映した制御力を作用させることによって制御を行う特徴を有することがわかった。

参考文献 1) J.N.Yang, A.Akbarpour and P.Ghaemmaghami: New Optimal Control Algorithms for Structural Control, Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE, Vol.113, No.9, pp.1369-1386, 1987.