

I-175 構造物の地震応答における自己学習機能を有する震動制御

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 〇橋本雅道

1. はじめに 本研究では、自己学習機能を有するニューラルネットワーク^{1),2)}を用い、最適な震動制御が行えるアルゴリズムを構築する。評価関数を最小にする制御力が求められていない場合や、推定した剛性に誤差が含まれる場合でも、ニューラルネットワークを用いることによって最適な制御が行なえることを示す。

2. 評価関数の提案 構造物に入力する地震エネルギーを考慮すれば、次のような評価関数を得る。

$$J_N(t) = \int_{t-\Delta t}^t [z^T(\tau)Qz(\tau) + u^T(\tau)Ru(\tau) + \alpha\{-\dot{x}^T(\tau)m\ddot{X}_0(\tau)\}]d\tau \quad (1)$$

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項は入力地震エネルギーであり、 Q, R, α はそれぞれの項の重みである。数値計算で制御力を求める場合は、一般にラグランジュの未定係数法を用いことによって、次のように制御力が求められる。

$$u(t) = -\frac{\Delta t}{4}R^{-1}B^T(Q'^T + Q')z(t) + \alpha\frac{\Delta t}{4}R^{-1}B^TW_2\ddot{X}_0(t) \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}H \end{bmatrix} \quad Q' = \frac{\Delta t}{2}Q \quad R' = \frac{\Delta t}{2}R \quad W_2 = \left\{ \begin{matrix} 0 \\ \frac{\Delta t}{2}m \end{matrix} \right\}$$

M は質量マトリクス、 H は制御力の作用位置を表すマトリクス、 Δt は離散時間における時間ステップである。式(2)より、制御力は状態量 $z(t)$ と地動加速度 $\ddot{X}_0(t)$ から決定される閉閉制御則となっている。

3. ニューラルネットワークを用いた最適震動制御 式(2)で求めた制御力 $u(t)$ は、時刻 t における状態量 $z(t)$ 及び地動加速度 $\ddot{X}_0(t)$ から求められているが、実際には制御量の計算やアクチュエータが作動するまでの時間などが考えられ、制御力の作用時間遅れがあることが考えられる。その時間遅れを考慮するために応答値の予測を行う必要がある。また数値計算によって制御力が求められない場合でも、ニューラルネットワークによって最適な制御力が求められる。本研究では、応答値を予測する応答モードと制御力を計算する制御モードの2つに分けてニューラルネットワークを適用し、最適な震動制御を行うアルゴリズムを構築する。応答モードは図-1、制御モードは図-2に示されている。応答モードでは、時刻ステップ $k-1$ での状態量、制御量、入力地動加速度の値に結合の重み W_{12ij} を乗じて和をとることによって時刻 k での状態量の予測を行う。更に、時刻 k で観測した状態量と、予測した状態量の差が小さくなるように W_{12ij} を更新する。制御モードでは、予測された時刻 k での状態量と入力地動加速度の値に結合の重み W_{ACij} を乗じて和をとることによって制御力を求める。そのとき、式(1)の評価関数が最小になるように W_{ACij} を更新する。

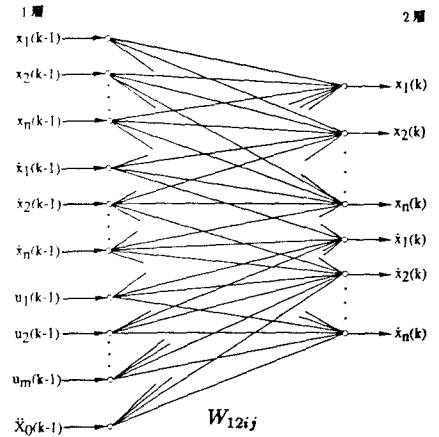


図-1 応答モード

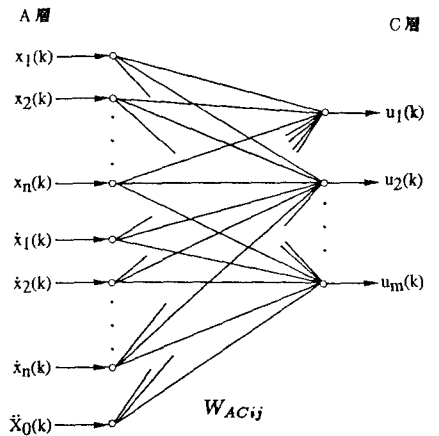


図-2 制御モード

4. 解析結果 対象構造物は図-3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-4に示す。図-5(a)には、制御力を式(2)の厳密解より求めて制御を行った場合、(b)には、制御モードにおける W_{ACij} が未知で、制御モードにおいて最適な制御力を出力するように W_{ACij} を同定しながら制御を行った場合のそれぞれの最上階の応答変位とアクチュエータNo.1の制御力が示されている。なお、応答モードの W_{12ij} は数値計算によって与えられているとし、速度および変位、地動加速度は全て観測されるとする。図-5(a)と(b)を比較すれば、(b)において初期段階では十分な制御が行われていないが、約3秒以降は厳密解によって制御力を与えた(a)と同程度の震動制御効果が表れているのがわかる。一方、剛性の推定値には多少の誤差が含まれると考えられる。また、速度、変位などの状態量は全て観測されるとは限らない。図-6には観測値が地動加速度のみで、実際の剛性より50%大きく剛性を推定した場合の制御結果が示されている。(a)は応答モードの同定を行わず、(b)は応答モードの同定を行った後の、最上階の応答変位と、アクチュエータNo.1の制御力が示されている。太線が予測される応答変位、細線が実際の応答変位である。(b)より、あらかじめ同定を行えば、状態量の観測値がなくても地動加速度のみの観測で十分制御できることがわかる。

5. おわりに 制御力が求められていない場合でも、ニューラルネットワークを適用することによって最適な震動制御が可能であることがわかった。また構造パラメータの推定値に誤差が含まれる場合でも、応答モードの同定によって十分制御が可能であることがわかった。

参考文献 1) 長門英明, 吉田和夫 :ニューラルネットワークによる振動の非線形最適制御 2) 麻生英樹 :ニューラルネットワーク情報処理、産業図書

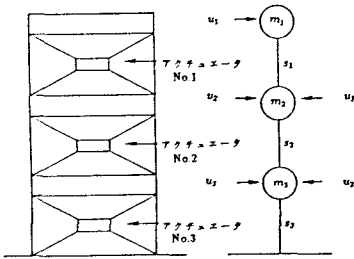


図-3 解析モデル

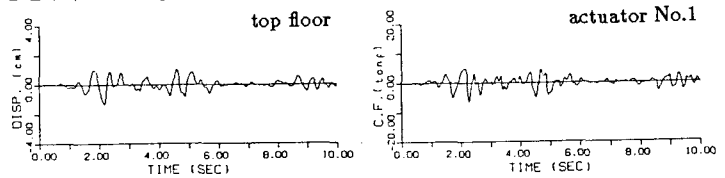


図-5(a) 厳密解を用いた場合の制御結果

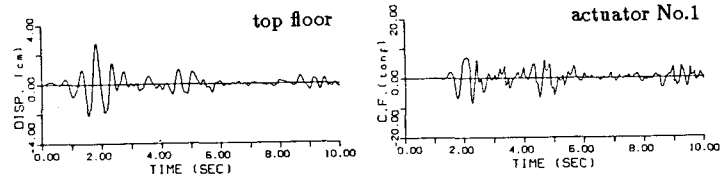


図-5(b) ニューラルネットワークを用いた場合の制御結果

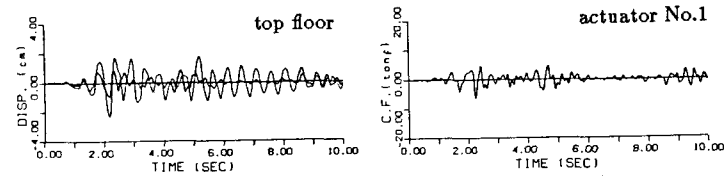


図-6(a) 地動加速度のみの観測で行った制御結果(同定なし)

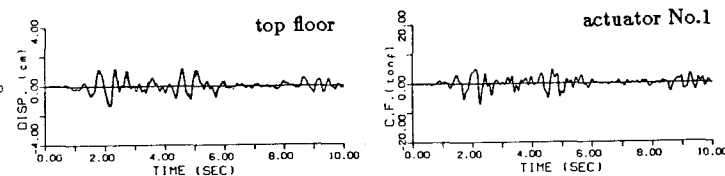


図-6(b) 地動加速度のみの観測で行った制御結果(同定を行った後)

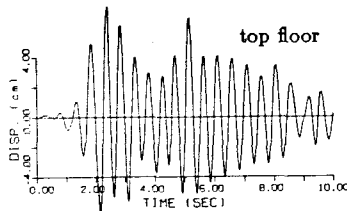


図-4 制御を行わない場合の最上階の応答変位