

京都大学防災研究所 正 員 佐藤 忠信

京都大学工学部 学生員 ○鈴木 大也

1. 概説

これまで採用実績の多い最適制御理論を適用した制御アルゴリズムは線形特性を示す構造物のみを対象としており、非線形挙動を示す構造物に対して最適制御理論を適用するにはかなりの工夫が必要であった。本研究では、ニューラルネットワークによるアルゴリズムを非線形構造物を制御する有用な制御則として採用する。2層非線形フレーム構造物に対して経済性・安全性に優れた準能動型の制御装置であるバリアブルダンパを用いて構造物の震動制御に関する数値シミュレーションを行い、提案した制御アルゴリズムの有効性を検討する。

2. ニューラルネットワークの震動制御則への適用

構造物の震動制御にニューラルネットワークを適用するために、応答モード（状態量の予測）と制御モード（制御量の算出）の2つのモードを用意する。この2つのモードの入出力関係を図-1に示す。本研究で用いるニューラルネットワークは入力層、中間層、出力層の3層から構成されており各層間には重みが設定されている。非線形挙動を再現するために、中間層と出力層の入出力関数には一般的に用いられるシグモイド関数を用いる。まず、この重みがほぼ一定になるまで学習を繰り返すのであるが応答モードではkステップでの応答の観測値を $y_k(k)$ 、予測値を ${}_3O_k^k$ とすると、次に示す二乗誤差を最小にするように重みが更新される。

$$R = \frac{1}{2} \sum_k \{y_k(k) - {}_3O_k^k\}^2 \quad k=1, 2, \dots, 2n$$

制御モードでは、次に示す評価関数を最小にするような制御量が求められるように行われる。

$$J_N(t) = z^T(t) Q^* z(t) + u^T(t) R^* u(t) - \alpha z^T(t) W_2 \ddot{x}_g(t)$$

また、更新する際に w を重み行列として、学習率(ε)というパラメータを次式のように用いる。

$$w^{(new)} = w^{(old)} + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial w^{(old)}}$$

3. ニューラルネットワークを用いた震動制御

震動制御を行う対象として地面と1階部分との間にバリアブルダンパを設置した非線形2層フレーム構造物モデルを採用した。図-2にモデルの概要を示す。

震動制御を行うに当たりその効果を評価する指標はいくつか考えられるが、本研究で配下の3つの評価指標を取り上げた。

- (1) 1階の相対変位や部材の発生する復元力
- (2) 2階の絶対加速度応答
- (3) ダンパの発生する減衰力

まず、地震加速度としてEI Centro(NS)を入力し、各層間の重みがほぼ一定と見なせるまで学習を繰り返した(学習回数150回)。その重みを用いて、バリアブルダンパによる最大減衰力を

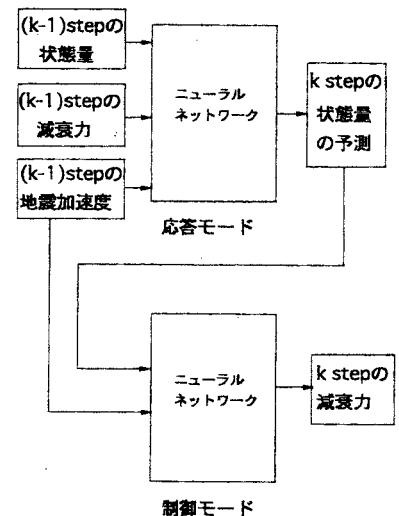


図-1 ニューラルネットワークの入出力関係

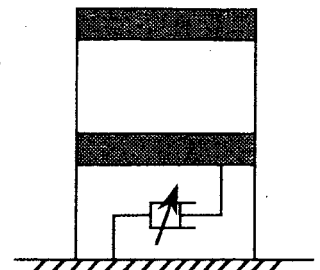


図-2 解析モデル

10000(kgf)として構造物モデルの震動制御を行ったときの1階の変位応答と2階の絶対加速度、バリアブルダンパによる減衰力の時刻歴と1、2階における復元力の履歴曲線の履歴曲線を図-3に示す。また、バリアブルダンパによる震動制御効果を比較するために、パッシブダンパをバリアブルダンパのかわりに設置したときの数値シミュレーションを行った。パッシブダンパにより発生される最大減衰力はバリアブルダンパの時の約1.8倍の18000(kgf)となっている。そのときの1階の変位応答と2階の絶対加速度、パッシブダンパによる減衰力の時刻歴と1、2階における復元力の履歴曲線の履歴曲線を図-4に示す。

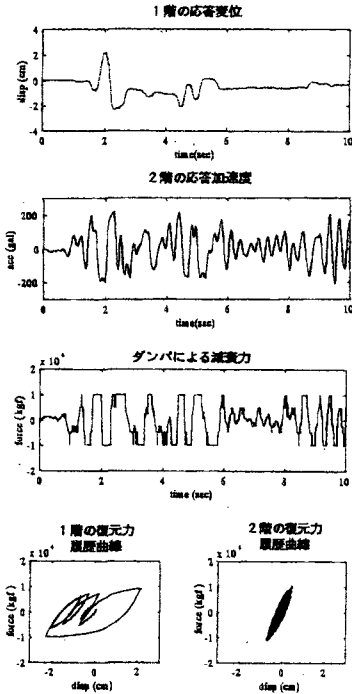


図-3 バリアブルダンパによる構造物の震動制御結果

(減衰力上限値: 10000kgf)

両者を比較してみると、バリアブルダンパの発生可能な最大減衰力がパッシブダンパの半分強であるにもかかわらず1階の最大応答変位を同程度に減少できている。また、高周波の振動を抑えていることがわかる。2階の最大絶対加速度については、パッシブダンパでは減少できなかったがバリアブルダンパにより80(gal)ほど低減することが可能である。さらに、2階部材における復元力の履歴曲線も、パッシブダンパによる結果と比較するとより小さなものとなっており、1・2階の層間変形やそれに伴う部材にかかるせん断力も低減されている。

4. 結論

本研究では、構造物の震動制御に関し、アクチュエーターの制御力が実際に構造物に加わるまでの稼働遅れが大きい場合や、最適制御理論では適用が困難であった構造物を支配する運動方程式が非線形の場合にも、最適な制御が行えるようニューラルネットワークを用いた新しい震動制御アルゴリズムを考案した。その制御アルゴリズムを用いて、非線形2層フレーム構造物に対してバリアブルダンパを設置し、セミアクティブ制御方式で震動制御の数値解析を行ったが、パッシブダンパによる震動制御効果と比較してより優れた制御が行えることがわかった。

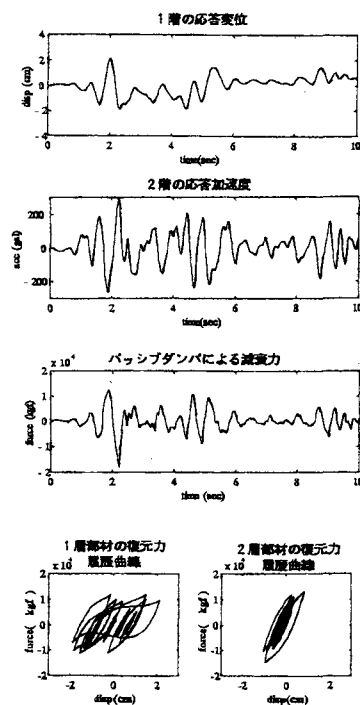


図-4 パッシブダンパによる構造物の震動制御結果

(減衰力上限値: 18000kgf)