

I - B 475

階層型ニューラルネットワークを用いたせん断質点システムの
振動制御に関する研究

オリエンタル建設株式会社 正会員 白井奈津子
茨城大学工学部 正会員 呉 智 深
茨城大学工学部 正会員 原田 隆郎

1. はじめに

近年、振動制御の分野では、人体の安全確保のための倒壊には至らないようにするというレベルを超えて、不快感や恐怖感を与えるような揺れをも抑えることへの要求が強くなっている。このような背景のもと、免振技術が着目される一方、制振技術の実用化が大いに期待されている。しかしながら、このような土木構造物における能動的制振に対しては、1)構造物に取り付けたセンサによる感知から、制御量の算定そして付加に至るまでの時間に制御の遅れが生じること、2)構造系および質量、剛性、減衰定数などの物理特性値は誤差や不確かさが存在し、状況に応じて変化することなどが問題となっている。これらの問題を解決するため、学習機能、パターン認識能力などの特徴を持つ階層型ニューラルネットワークを用いた振動制御の試みが行われており¹⁾、本研究ではせん断質点システムの振動制御に一般的に発展させた。そして、制御方式の違いによる制御効果の比較を行うと共に、立地条件を考慮したときの本システムの適用性、制御位置による制御効果の比較についても検討を行った。

2. 階層型ニューラルネットワークを用いた適応制御システムの構築

本システムは大きく分けて状態予測部と制御量算定部の2つの部によって構成されている（図-1 参照）。制御量算定部ではある瞬間の構造物の応答値を入力することにより、目標応答値まで抑える制御力を算定し、状態予測部ではある瞬間の地動力と、そのときセンサーから得られる構造物の応答値、更にその瞬間の制御力を入力することにより次の瞬間の構造物の応答を予測する。両部ともネットワークは3層構成となっており、{0, 1}に規格化した入出力信号を用いる。学習は一般的な誤差逆伝播法を用いるが、状態予測部ではセンサーからの応答値と状態予測部での予想値との差を教師値としてネットワークを学習させ、制御量算定部では状態予測部より求められた制御誤差信号を用いて学習させる。本研究においてまず各部の初期化（事前学習）をさせておくこととした。事前学習の方法としては、過去の地震波を制御対象となる構造モデルに付加し、センサーから得られる値を応答値が0になるような制御力を算定し、それぞれ逐次ネットワークの学習を行う。こうすることにより、ある地震波に対するネットワークの初期状態が0の時より地震波に対応しやすいという利点がある。地震波、波長、周期などは異なるものの大まかな波形のパターンとしてネットワークに認識される。つまりニューラルネットワークのパターン認識、学習能力などの特徴が活かされ、新たに来る地震波に対して構造同定、制御力算定などスムーズに対応可能となるのである。

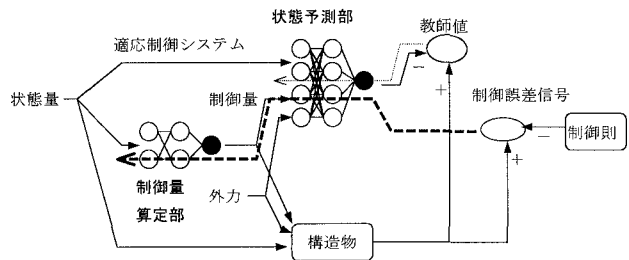


図-1 階層型ニューラルネットワークによる適応制御システム

3. 数値シミュレーション

図-2 に示すように構造モデルをせん断質点系で表し以下について検討を行う。①制御方式の違いによる制御効果の比較。②立地条件を考慮したときの本システムの適用性、制御位置による制御効果の比較。

(1) 事前学習を行うための入力値

地震動として1997年3月に鹿児島県出水市で観測された地震波の任意の3秒間をデータとした。制御力については構造物の応答変位を0にするような制御力、状態量にはこの地震波が起きたときの構造物の応答速度、応答変位をデータとする。ただし、本研究においては実データなど実際の値を用いることができなかったため、以下に示す運動方程式より構造物の挙動を求めた。

$$M\ddot{y}(t) + C\dot{y}(t) + Ky(t) = L_e f(t) + L_c u(t) \quad (1)$$

ここで M は質量マトリクス、 C は減衰マトリクス、 K は剛性マトリクス、 $\ddot{y}(t)$ は時刻 t の時の応答加速度ベクトル、 $\dot{y}(t)$ は応答速度ベクトル、 $y(t)$ は応答変位ベクトル、 $f(t)$ は外乱ベクトル、 $u(t)$ は制御ベクトル、 L_e 、 L_c はそれぞれ配分行列を表す。

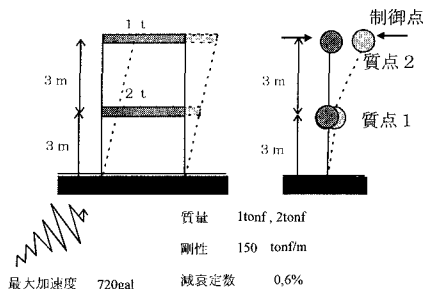


図-2 2質点系モデル

（2）On-line 制御と Off-line 制御の比較

図-2 に示す 2 質点系モデルを用いて On-line 制御（事前学習でのシステムを更に逐次学習させながら制御を行う方法）と Off-line 制御（事前学習でのシステムをそのまま用いて制御を行う方法）の制御効果と制御量算定時間の比較を行う。制御力は上の質点（質点 2）に付加する。地震波は事前学習で用いた地震波より大きな波が来たと仮定し、1995 年兵庫県南部沖地震（0.1 秒間隔 10 秒間）を用いることとし、質点 2 の応答変位の比較を図-3 に示す。図-3 より明らかなように Off-line 制御では抑え切れなかった最大応答変位を On-line 制御ではしっかりと抑えていることが見て取れる。制御量算定時間に関しては、事前学習を行ったことにより On-line 制御、Off-line 制御とも地震波の観測時間 0.1 秒以内に収まっていることがシミュレーション結果より明らかになっている。また付加された制御力を比較すると Off-line 制御では On-line 制御に比べて算定された制御力が極めて小さいことが明らかになっている。これより Off-line 制御では事前学習より大きな波が来ると過小制御となり小さな波が来ると過大制御となるおそれがあると考えられる。従って、実際に来るであろう地震波は予測不可能であるため Off-line 制御では不充分であり、On-line 制御を行う必要性が明らかになった。

（3）地盤の影響を考慮したときのシステムの適用性、制御位置による検討

図-4 に示す 4 質点系モデルを用いて地盤の基礎回転を考慮したときの本システムの適用性、制御位置による制御効果の検討を行う。まず、地盤の基礎回転を考慮するかしなないかで最大応答変位を示す質点の位置が異なることが明らかとなった。また同モデルを用いて質点 4（構造物の最上階）と質点 2（最大応答変位）にそれぞれ制御力を付加したときの各質点毎の制御効果を図-5～8 に示す。図-5～8 を比較すると、質点 4 に制御力をかけても制御効果は小さく、質点 2 にかけてと全ての質点を抑えることが明らかとなった。従って制御位置による制御効果は重要であり、構造物の挙動特性を知ることが重要である。

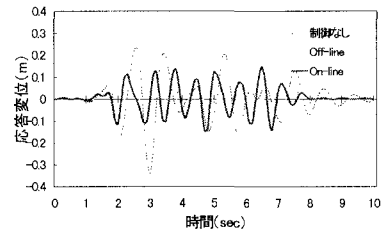


図-3 制御方式の違いによる質点 2 の応答変位の比較

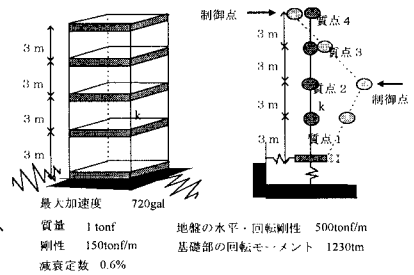


図-4 4 質点系モデル

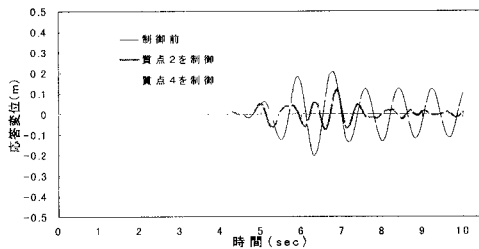


図-5 質点 4 における制御位置による制御効果の比較

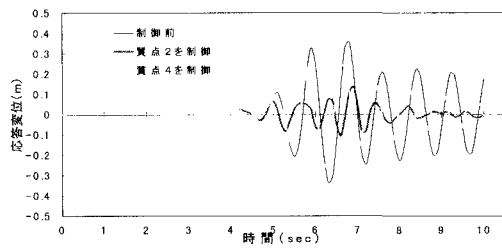


図-7 質点 2 における制御位置による制御効果の比較

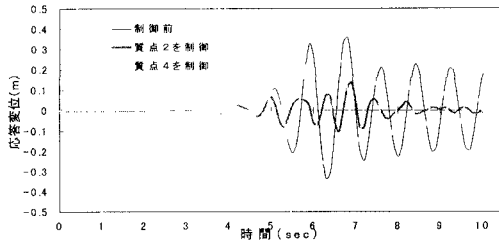


図-6 質点 3 における制御位置による制御効果の比較

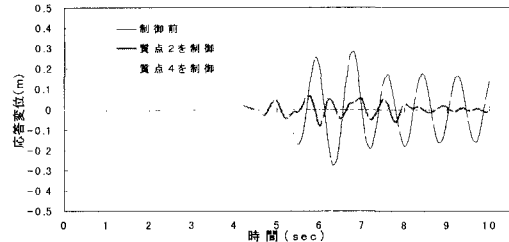


図-8 質点 1 における制御位置による制御効果の比較

4. おわりに

ニューラルネットワークの持つパターン認識能力による事前学習の有効性、学習機能による On-line 制御の必要性が明らかになった。また、構造物の挙動に応じて対応でき、適切な制御位置について知ることも可能であることが明らかになった。従って、以上の結果よりニューラルネットワークを用いた本システムの実構造物への有効性を見出すことができたと言える。しかし実際に実構造物へ適用するには事前学習の学習方法の検討や曲げ系の構造モデルについてなど検討を重ねる必要がある。

【参考文献】

- 1) H. M. Chen, K. H. Tsai, G. Z. Qi, J. C. S. Yang, and F. Amini : Neural Network For Structure Control, *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE*, pp. 168～176.