

CS-149 ニューラルネットワークによる繰り返し劣化型履歴の認識

新日本製鐵（株） ○正会員 桃山 義規
九州大学工学部 学生員 矢葺 亘
九州大学工学部 正会員 松田 泰治

1. 概説

ニューラルネットは、人工知能研究の一分野で開発されたもので、生物の神経細胞の情報処理メカニズムを模倣したものである。筆者らはこれまでに、bi-linear型、Ramberg-Osgood型の非線形履歴モデルを教師データとしてニューラルネットワークを動的解析の数値演算サブルーチンとして適用し、その有効性を確認した¹⁾。本研究では、ニューラルネットワークを大地震における構造物の動的応答解析の数値演算サブルーチンとして適用し、その有効性を検証する。検討対象は繰り返し荷重により剛性低下を伴う武田モデルである。武田モデルは、近年多発する大規模地震、とりわけ兵庫県南部地震以降、実際の鉄筋コンクリート構造物の地震時における非線形履歴挙動を精度よく近似できるモデルとして注目されている。

ニューラルネットワークの学習アルゴリズムは最も一般的な誤差逆伝播法（Error Back Propagation Method）を用いた

2. 解析方法

本研究においては、1質点系のバネのみが非線形である時を対象としている。教師データとして用いた非線形履歴モデルは武田モデルである（図-1）。

本研究では、図-2に示すように3層構造のニューラルネットワークを用い、入力層は最大経歴変位点座標値（ X_{max} , P_{max} ）、最小経歴変位点座標値（ X_{min} , P_{min} ）、最新の変位折り返し点座標値（ X_0 , P_0 ）、現時点での変位（ X_n ）の7ユニットとし、出力層はニューラルネットワークの数値演算サブルーチンとしての利用を考えて現時点での荷重（ P_n ）の1ユニットとした。中間層のユニット数はパラメータスタディを行い最も誤差収束性のよかった9ユニットとした。なお、学習に用いる入力データ、及び、教師データは正負の最大値を用いて[0,1]に正規化を行った。

本研究は、ランダムな実地震波に対する応答を載

荷試験等により入手可能な教師データを学習させたニューラルネットワークにより表現しようとするものである。ここでは、漸増漸減変位に対する武田モデルの復元力を算出し、それを教師データとして使用した。この教師データを用いて十分な学習を行い、最終的に同定された結合荷重を用いて動的応答解析を行った。

なお、本研究において、結合荷重の調整量はWassermanの提案した（1）式²⁾を採用した。

ここに、 ΔW ：結合荷重の調整量

$$\Delta W(n+1) = \alpha \cdot \Delta W(n) + (1 - \alpha) \cdot \delta \cdot O \quad (1)$$

α ：平滑化係数

δ ：学習信号

O ：ニューロンからの出力値

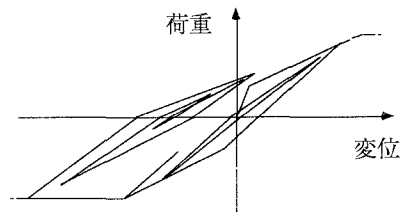


図-1 武田モデル

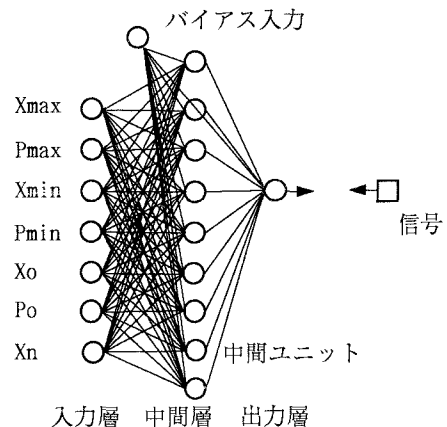


図-2 ニューラルネットワーク構造図

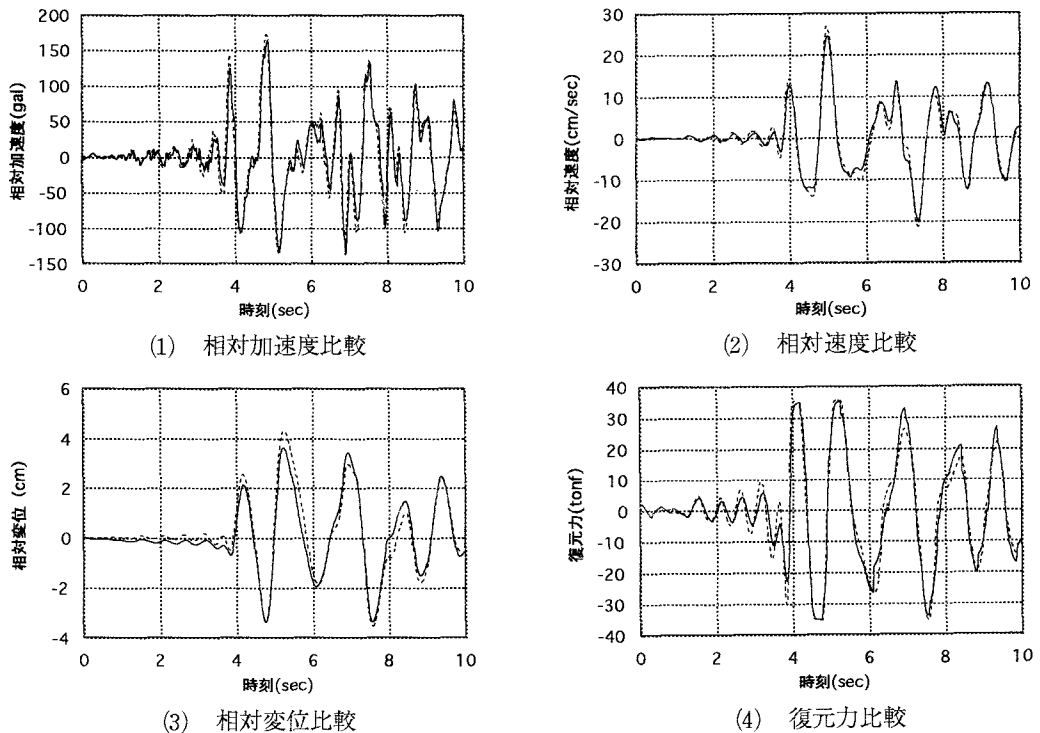
3. 解析結果

強制外力として最大加速度を150galに正規化したJMA KOBE-NS地震波が1質点系モデルに作用したときの応答を検討した。数学モデルで解析したものと、ニューラルネットワークにより再現された推定結果との比較を図-3に示す。なお計算上必要な構造物の重量は42.02tonf、粘性減衰定数は0%、初期剛性6000kgf/cm、第二剛性1020kgf/cm、第三剛性7.2kgf/cm、第一降伏点0.5cm、第二降伏点1.0cmとした。再現された相対加速度の時刻歴、相対速度の時刻歴、相対変位の時刻歴、復元力の時刻歴は、数学モデルを用いた解析結果と比較して定量的には若干の誤差が含まれるが定性的には全体としてはほぼ一致した。さらに詳細にみた場合、設計上問題となる最大点に対する誤差は各々10%以内となっている。

4. 結論

本研究は、構造物の地震に対する応答を載荷試験等から入手可能な教師データを学習させたニューラルネットワークを用いて再現しようとしたものである。ニューラルネットワークを非線形解析の数値演算サブルーチンとした解析と従来の数学的手法に基づく解析では、履歴挙動が武田モデルのような複雑なモデルに従う場合においても、ほぼ同等の表現能力を有することが確認された。

今回検討を行ったものは、評価が容易な1質点モデルのみである。今後は多自由度の複合非線形の問題などへの適用性を検討する必要があると考えられる。その際、教師データの不足するものについては、3次元FEMなどのパラメトリックスタディの解析結果などを教師データとして利用することが考えられる。



—— 学習後のニューラルネットワークを用いた動的応答解析結果
 - - - - 数学モデルを用いた動的応答解析結果

図-3 数学モデルによる解析と学習後のニューラルネットワークによる推定結果との比較図

参考文献

- 1) 松田泰治 他：ニューラルネットワークの動的非線形問題への適用に関する研究、構造工学論文集Vol. 42A（投稿中）
- 2) Philip D. Wasserman：Theory and Practice Vannostrand Reinhold, Neural Computing, pp50～54, 1989