

ニューラルネットワークによる履歴特性の推定に関する研究

The Applications of Neural Networks to Analysis Modeling of Hysteretic Behavior

蔡 德 瀛*・楠 浩 一**・中 埜 良 昭**

Der-IN Tsai, Koichi KUSUNOKI and Yoshiaki NAKANO

1. 序 論

ニューラルネットワークとは既知のデータに基づく学習により、未知の部分を推測する情報処理システムであり、画像の認識や数学的に解くことが困難な非線形関係の近似手法として注目を集めており、この手法を用いる事により、簡単で精度の高いモデリングが可能に成ると考えられている。

一方、サブストラクチャ・オンライン地震応答実験とは構造物の応答に大きな影響を与えると考えられる部材に対してオンライン地震応答実験を行い、それと平行してその他の部分はコンピューターによる数値解析で代用する実験手法であり、構造物全体の応答性状を直接実験的に評価する事の難しい構造物に対して極めて有効な実験手法の一つである。サブストラクチャ・オンライン実験では解析部分の部材においては、適切な部材の履歴モデルを設定するのが通例であるが、この場合オンライン実験の最大のメリット、即ち、履歴特性モデル化をすることなく、動的挙動をシミュレートできるという点が生かせない。解析部分で用いる履歴特性を実験で得られる特性に基づき、推定することが可能となるならば、オンライン実験のメリットを最大限に生かすことができる。

そこで、本報告では、ニューラルネットワークを利用して、サブストラクチャ・オンライン実験の解析部分に用いる履歴性状の推定の可能性について検討する。

2. 学習ネットワーク

まず、現在の変位、過去の履歴曲線上の特異点（変位及び復元力の最小及び最大値）、次ステップまでの変位増分を既知として、次ステップの復元力を推定するネットワー

クを設定する。図1に、本報告で用いる階層型ネットワークを示す。中間層の層数及びユニット数は試行錯誤によって決定した。ネットワークの構成、入力、出力信号と収束条件を以下に示す。

入力信号：

1. 現在の変位
2. 現在までの最小変位
3. 現在までの最大変位
4. 現在までの最小復元力
5. 現在までの最大復元力
6. 変位の増分

出力信号：1. 目標とする復元力

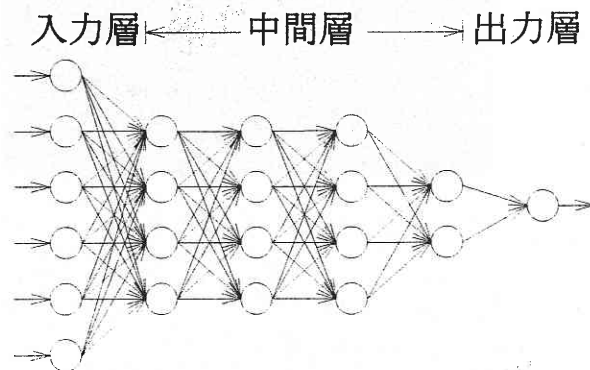
収束条件：最大誤差（教師データの出力値－計算値）² $\geq 10^{-4}$ 

図1 階層型ネットワーク

本報告でネットワークの学習法には誤差逆伝搬法（Back propagation法、略称BP法）を用い、結合係数の初期値は0から1までの乱数によって作成する。

入力層と中間層の応答関数にはシグモイド関数（図2-1）を使用し、出力層の応答関数には線形関数（図2-2）を使用する。

*大成建設（台湾）

**東京大学生産技術研究所 第1部

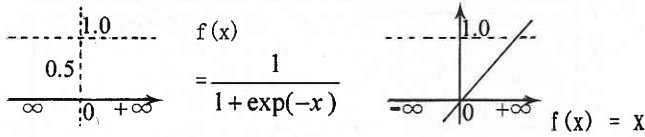


図 2-1 シグモイド関数

図 2-2 線型関数

3. 復元力の再現と推定

まず、図1に示すネットワークを用いて、図3に示すバイリニア型復元力特性上の35セットの教師データ（図中▲）を用いてネットワークを学習させた。ネットワークの収束までの学習回数は280466回である（BP法による学習制御パラメータは $\eta=1.0$ 、 $\alpha=0.9$ とした。学習時間はEWS HP9000 C110で、約9分を要した）。収束したネットワークを用いて推定した復元力特性を同図中○印で示す。次に、現ステップまでの復元力の推定誤差が、その後の復元力の推定に与える影響を検討するために、ユニット4及び5に各ステップで入力する復元力をネットワークで推定した前ステップまでの復元力の最小、最大値を用いて推定した履歴特性を図4-1に教師値と共に示す。最後に教師データ意外の入力値に対するネットワークの推定精度について検討を行う。なお、以下の検討ではユニット4及び5の入力データは図4-1と同様取る、ネットワーク自身の推定値を用いた。まず、各教師データの間中値に対する推定結果を図4-2に示す。この図から、目標とする履歴特性を再現し得ていることが分かる。次に、履歴面積が学習データに対して1.5倍となる履歴ループに対して、教師データと同一の変位を与えた場合、及びその中間値を与えた場合、それぞれについての推定結果を図5に示す。履歴面積比（計算値の履歴面積/目標とする履歴面積×100%）は90%程度になり、学習したネットワークを用いて、履歴面積の異なるループを推定する場合、目標とする履歴面積が学習データの履歴面積より大きい場合、面積比も低下することが分かった。

4. 教師データの数が推定能力に与える影響

次に教師データとしての履歴ループ数、即ち、教師データ数が履歴面積比に与える影響について検討する。まず、二つの履歴ループを含む教師データを作成して学習を行った。収束したネットワークを用いて教師データに対して、入力値を入力し、推定した結果を図6に示す。図6から教師データの再現には、データ数が推定能力に与える影響は小さいことが分かる。未学習データに対し、推定結果を図7～9に示す。

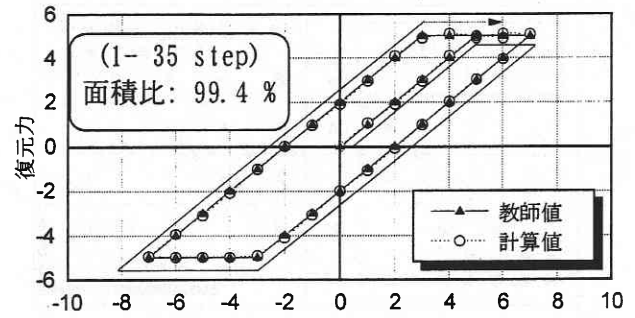


図 3 教師データの再現状況
(入力信号のユニットは教師データを入力)

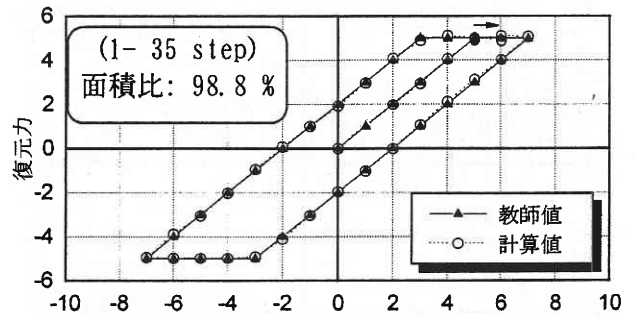


図 4-1 教師データの変位を入力した場合
(入力信号のユニット4, 5は推定復元力を入力)

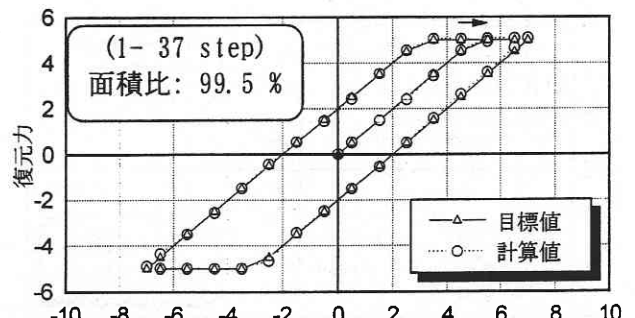


図 4-2 教師データの変位の間中値を入力した場合
(入力信号のユニット4, 5は推定復元力を入力)

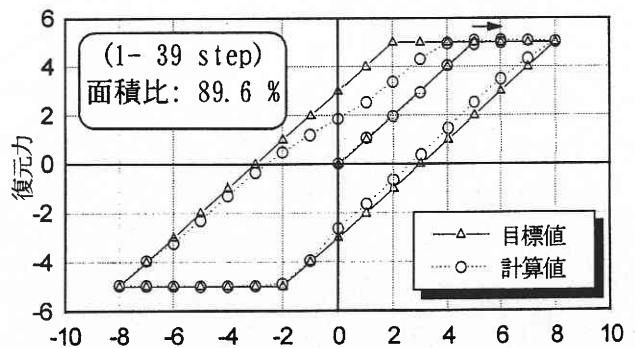


図 5 教師データに対して履歴面積1.5倍の場合
(入力信号のユニット4, 5は推定復元力を入力)

研究速報

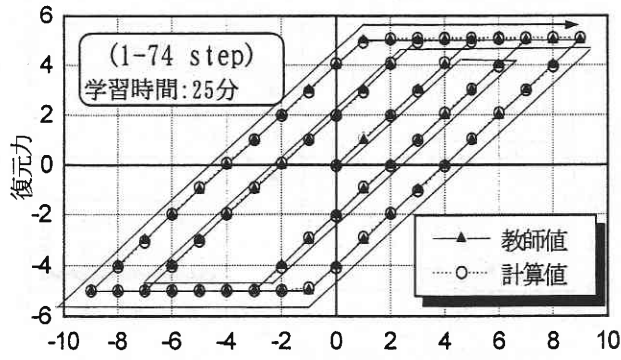


図6 教師データの再現状況 (最大誤差: 10^{-4})

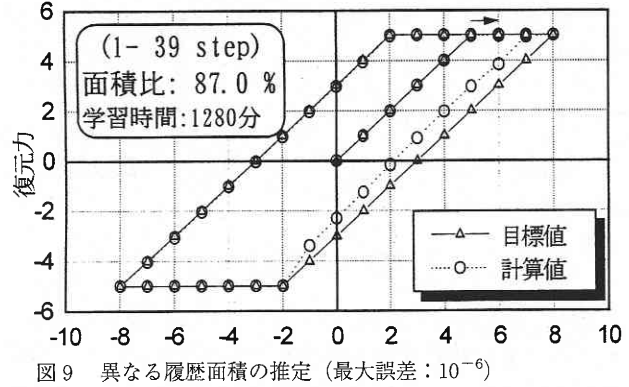


図9 異なる履歴面積の推定 (最大誤差: 10^{-6})

(図7~9入力信号ユニット4, 5は推定した復元力を入力)

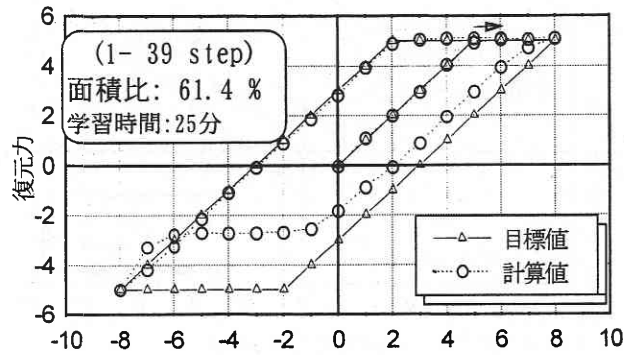


図7 異なる履歴面積の推定 (最大誤差: 10^{-4})

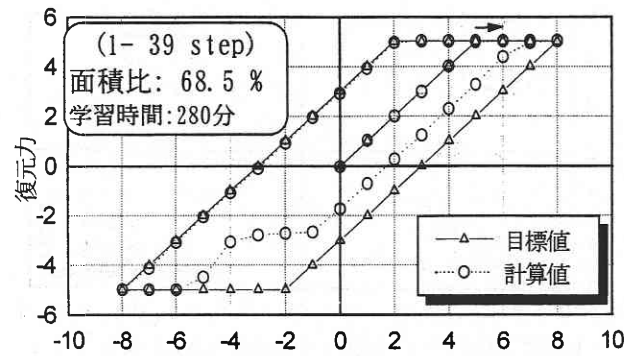


図8 異なる履歴面積の推定 (最大誤差: 10^{-5})

5. ま と め

本研究で検討した異なる履歴面積の推定において、履歴ループ後半のずれを修正するには、相当数の教師データ数と学習回数が必要となり、許容誤差を1オーダー低減する為には、学習回数(収束時間)は数倍以上に増加することが分かった。
(1997年5月28日受理)

参 考 文 献

- 1) 安居院猛他「ニューラルプログラム」昭晃堂。