

# 複パターンニューラルネットワークを用いたコンクリート材料の損傷検知システム

防衛大学校 学生員○堀口 俊行 作田 健 正会員 香月 智

## 1. 緒言

RC 構造物の多くが長期の供用を経たため、従来の目視点検に変わる手法として構造物の状態を合理的に監視するためのモニタリング技術が注目されている。

本研究は、損傷検知ツールとして複数パターンのデータを分類・学習できる複関数分類学習ニューラルネットワーク<sup>1),2)</sup> (以後、複パターンNNと呼ぶ)を利用して、地震時に取得された加速度データを用いて、提案システムが地震規模の違いによるコンクリート構造物の損傷を評価できるか試みたものである。

## 2. 構造特性遷移検知システム

### 2.1 提案システム

提案する構造特性遷移システムは、図-1 に示すように、既設構造物に複数のセンサーを取り付け、時間経過に伴い生ずる構造物の劣化や損傷を検知判定するものである。ここで、複数のデータ間に物理的因果関係が存在するならば、図-1 に示すようにセンサーの一部を入力センサー ( $x$ ) とし、他を出力センサー ( $y$ ) とした場合、データ間には特定の関数補間が可能である。その後、地震等に伴い構造物に損傷や劣化が生ずると、図-1 に示すように入出力関係に何らかの変化が生ずると考えられる。ここで、入出力関係を物理モデルによる同定ではなく、非線形重回帰が可能なニューラルネットワークを用いるものとし、さらに観測データ以外の未知支配要因により、入出力関係が複パターンとなる可能性を考慮して、複パターンNNを用いるものとした。

### 2.2 複関数分類学習ニューラルネットワーク

図-2 に、複パターン NN を、従来型の 3 階層ニューラルネットワークと比較して示す。従来型ニューラルネットワークシステムでは、入力ベクトル  $x$  ( $n_i$  次元) と出力ベクトル  $y$  ( $n_o$  次元) との間を図-2 のような中間層ニューロンと関係付けて構成したうえで、学習データ  $T$  ( $n_o$  次元) との誤差が最小となるようにネットワークの結合強度  $w$  およびニューロン特性を決定するシグモイド関数の閾値  $\theta$  を探索決定する。

一方、提案するシステムは第 3 層にパターン数 ( $n_p$ ) 倍だけの出力層ニューロン ( $n_o$  次元  $\times$   $n_p$  組) を準備する。そのうえで学習データ  $T$  ( $n_o$  次元) がどのパターン関数に属するかについて識別分類した後、学習するものである。ここで、識別分類の基準は各パターン出力と教師信号が最も近いものを選択する。すなわち、

$$i_{select} = \min |T - y_i| \quad (1)$$

よって、学習におけるバックプロパゲーションは次式のように行われる。

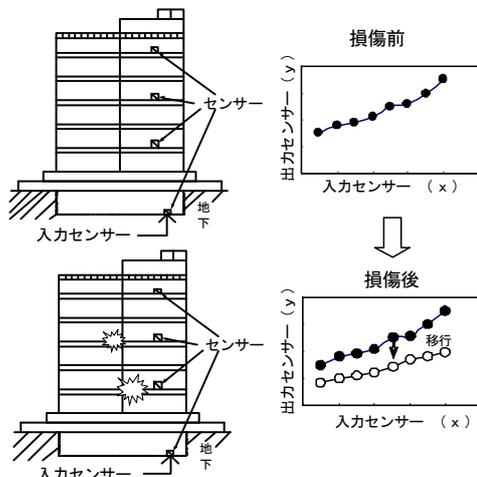


図-1 構造特性遷移判定システム

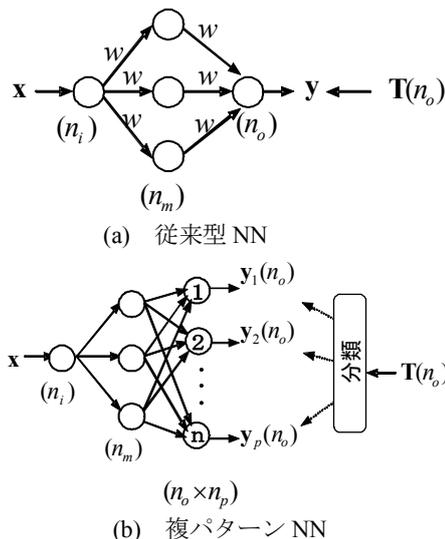


図-2 複パターン NN と従来型 NN

$$|T - y_{i_{select}}| \rightarrow \min \quad (2)$$

## 3. 地震損傷検知システム

### 3.1 システム構成と準備

本研究で、考えているシステムについて図-3 を用いて詳細に述べる。例えば、同一構造物において、地上に近い地点 A において、東西、南北および上下動の地震計があり、地上のやや高い位置である地点 B においても同様のデータが得られるものとする。この地点 B の 1 つのデータを図-4 に示す複パターン NN の推定値もしくは教師値として与える。入力データとしては、①地点 A の 3 方向データにおいて、推定データからある特定の時間だけの前のデータ、および②地点 B の推定に用いる成分において、ある特定の時間だけ前のデータを用いる。

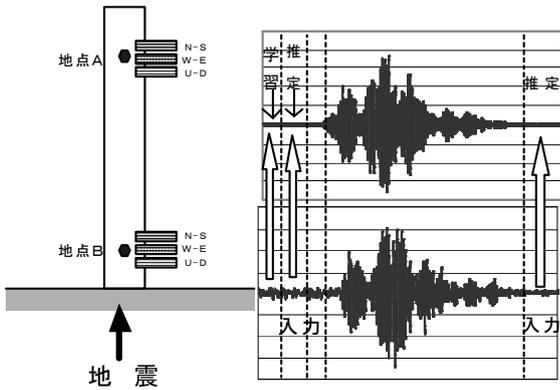
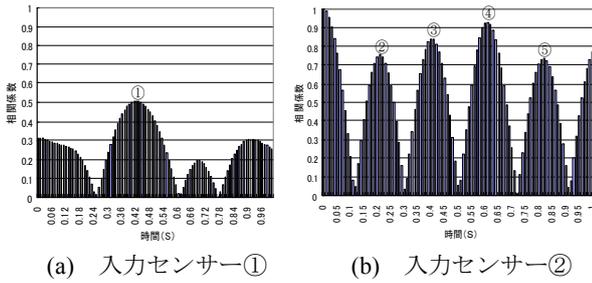


図-3 使用するデータの概念図



(a) 入力センサー① (b) 入力センサー②

図-5 タイムラグ相関係数の一例

まず、地点 A のデータにおいて時間を遅れさせるのは、地点 A を通過した波が地点 B に伝播する時間を考慮してのことであり、地点 B の同一成分の時間のずれたタイムラグデータを用いるのは、構造物の固有周期の特性を反映させるためである。このタイムラグについては、推定データと入力データとのタイムラグに応じた相関分析を行うことによって求める。図-5 には、タイムラグ相関分析の一例を示している。このように、入力成分ごとにタイムラグと相関係数の出現とに特徴がある。この中で、相関係数の大きなものをいくつか選択する。また、出力センサーの固有周期による自己相関についても同様の方法を用いる。

### 3.2 学習方法

そのうえで、地震が来る前の正常時において、定期的に構造特性を学習しておく。すなわち、推定データである地点 B のデータを教師データとして与え、入力データから推定できるようにしておく。

### 3.3 学習検定

この際、学習が有効であるか否かについては、学習データ近傍の波形を隠しデータとしておき、そのデータの推定値との適合によって検定する。すなわち、図-7 に示すように、実測値は与えずに、実測値に対する指定タイムラグの入力データを与えた NN を用いて推定値を算定し、その波形や相関係数について、把握検定しておく。

### 3.4 地震後の構造異常判定

地震発生後においては、地震がおさまリ、事前の学習期間と同程度の微動となったところで、図-7 に示したものと同様の方法で、実測値と推定値の比較を行う。ここで、構造物が地震前と同じ場合には、推定値と実測値が事前推定とほぼ同程度の相関性が得られている

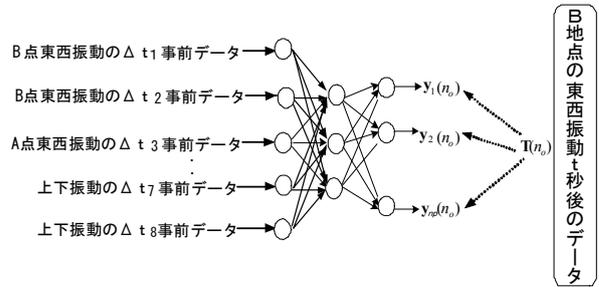
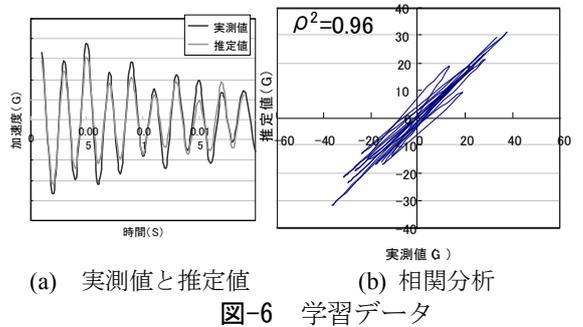
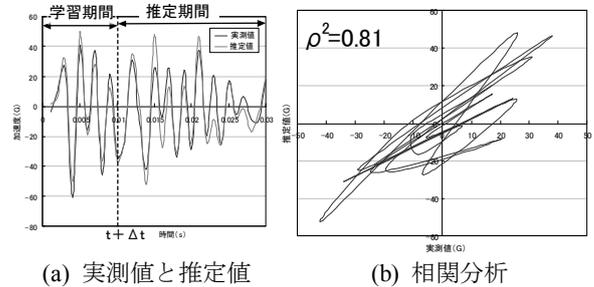


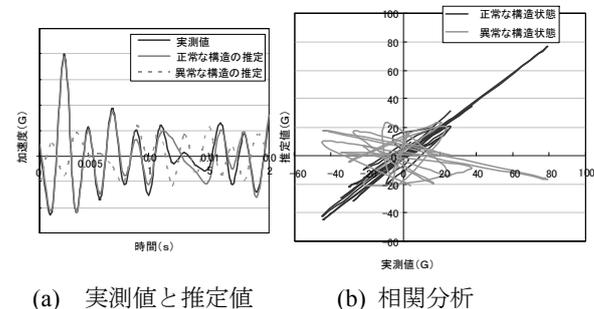
図-4 震災損傷検知システム



(a) 実測値と推定値 (b) 相関分析  
図-6 学習データ



(a) 実測値と推定値 (b) 相関分析  
図-7 学習結果の検定



(a) 実測値と推定値 (b) 相関分析  
図-8 地震後の損傷判定

ことが期待され、もし損傷があり構造特性が変化していれば図-8(b)に示すように相関係数が低くなることが期待される。よって、この適合度によって損傷の有無を判定できるものと思われる。

## 4. 結果と考察

本研究は、複パターン NN の構造異常診断をコンクリート構造物の地震前後の特性変化に応用することを試みるものである。具体的推定事例については、会場で発表する。

### 参考文献

- 1) 長通伸幸, 香月 智, 深和岳人: 複関数分類・学習ニューラルネットワークと構造モニタリングへの応用, 土木学会論文集, No.710/ I-60, pp.321-335, 2002.7.
- 2) 長通伸幸, 作田 健, 香月 智: 複関数分類学習ニューラルネットワークによる重力式ダムへの漏水管理, 土木学会論文集, No.770/ VI-64, pp.95-106, 2004.9.