

# 複関数分類学習ニューラルネットワークを用いた構造物の損傷検知

防衛大学校 学生会員 岡本 剛史 正会員 香月 智  
 学生会員 作田 健 学生会員 片出 亮

## 1. 緒言

既設構造物の多くが長期の供用を経た中で、構造物の状態を適切に監視するためのモニタリング技術が着目されている。これに伴い、供用中における構造物から得られる計測データを用い、構造状態の異常の有無を自動的に診断するツールの必要性が高まっている。

本研究は、構造特性遷移の検知に有効とされる複関数分類学習ニューラルネットワーク(複関数NN)を構造物の損傷診断ツールとして用いる。そして、計測された加速度データにより構造物の損傷検知を行えるかについて、簡易骨組構造物を用いた打撃実験により検討したものである。

## 2. 打撃実験と構造特性遷移判定システム

### 2.1 簡易骨組構造と実験概要

本研究では、写真-1に示すようにコンクリート台座に固定された骨組構造物を実験に用いる。実験要領は、図-1に示すコンクリート台座の側面中央部へ打撃加振を行い、その時の加速度データを図-1に示す5箇所に貼付された加速度計により計測する。そして、各位置で計測された複数の加速度データを用いて、構造状態の評価を行う。構造状態は、表-1に示すように分銅の载荷によって模擬的に変化させ、case-1:分銅の無い状態、case-2:図-1に示す位置に2kgの分銅2個および5kgの分銅を載せた状態、case-3:case-2から5kgの分銅を除いた状態の3種類を設定する。なお、各ケースとも4回ずつ加振し、表-1に示すように打撃番号を与える。

### 2.2 構造特性遷移判定

提案する損傷検知システムは、図-2に示すように既設構造物において計測される複数センサーの値を用いる。ここで、計測される値が物理的に変化するものであるならば、入力センサーと出力センサーに何らかの因果関係があると思われる。そして、時間経過や自然外力によって構造物に劣化や損傷が生ずると、これらの入出力関係には何らかの変化が生ずると考えられる。そこで、複数の計測データの入出関係の変化から構造物の異常の有無を判定するシステムを構築する。なお、入出力関係の関数補間には、非線形回帰が可能なニューラルネットワークを用いるものとする。

### 2.3 システム構成

次に、加速度データを用いた複関数NNによる損傷検知システムを図-3に示す。システムを構成するデータとしては、出力側データ(加速度計5)から特定時間( $\Delta t_i$ )だけ事前の出力側以外のデータ、および出力側データと同一地点において、ある特定時間( $\Delta t_j$ )だけ事前のデータを用いる。また、入力データと出力データのタイムラグ相関分析を行うと、図-4に示すように



写真-1 骨組構造物

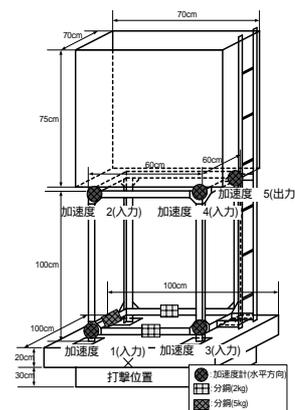


図-1 骨組構造物の寸法と加速度計位置

表-1 各ケースの構造状態と打撃番号

構造状態	分銅 (2kg × 2個)	分銅 (5kg)	打撃番号
case-1	無	無	~
case-2	有	有	~
case-3	有	無	~

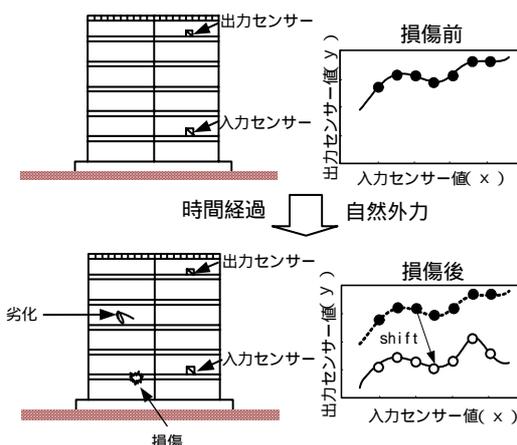


図-2 複関数NNによる構造特性遷移判定システム

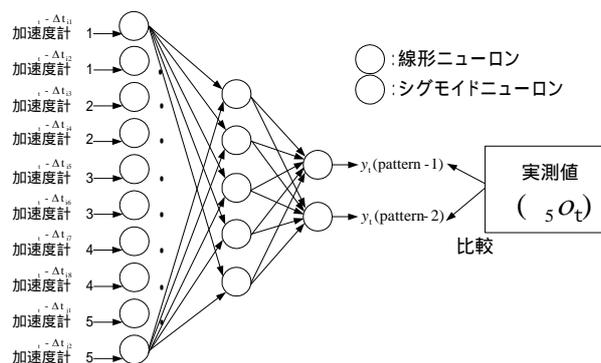


図-3 複関数NNの構成

入力成分ごとにタイムラグ相関に特徴がみられたので、この中から相関係数が高い2個ずつ計10個を入力データとして用いる。

キーワード：複関数分類学習ニューラルネットワーク，モニタリング，異常検知

連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校TEL(046)841-3811 E-mail: [s51139@ed.nda.ac.jp](mailto:s51139@ed.nda.ac.jp)

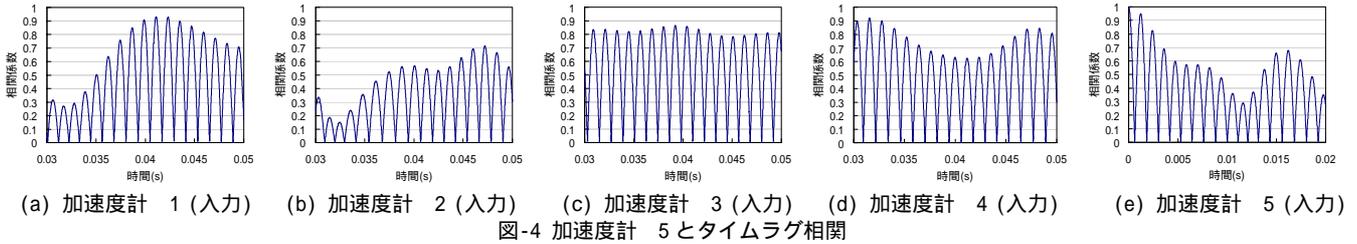


図-4 加速度計 5 とタイムラグ相関

3. 適用結果と考察

既存構造物は、時間経過に伴って劣化や損傷が生ずることやモニタリング点数の制約により、モニタリングデータ間に複数の入出力関係が混在する場合が考えられる。そこで、複数の構造状態を正常とした場合に正常状態を正常、異なる構造状態を異常と判定する事が可能であるかを検討する。具体的には、case-1 の打撃番号 ~ と case-2 の打撃番号 ~ を学習データ (正常)とする。そして、構造状態は学習しているもの未学習である打撃番号 (case-1), および打撃番号 (case-2) の検定を行う。さらに、構造状態を学習していない打撃番号 (case-3) を予測させ、正常・異常の判定を行えるかについて検討する。なお、提案システムの特徴を明瞭にするため単関数 NN の結果も合わせて示す。

3.1 単関数 NN による判定結果

まず、単関数NNによりcase-1( ~ )とcase-2( ~ )の 2 つの構造状態を学習データとして用いた場合の学習結果を図-5 に示す。図-5 より、実測値に対する学習値の波形は初期段階から乱れており、実測値と学習値の相関を示す決定係数 ( $R^2$ ) は 0.7961 と低い。つまり、正常な状態を正常とすら判定できていない。

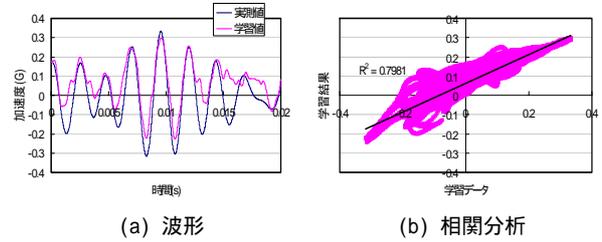


図-5 単関数 NN による学習結果 (case-1, case-2 学習)

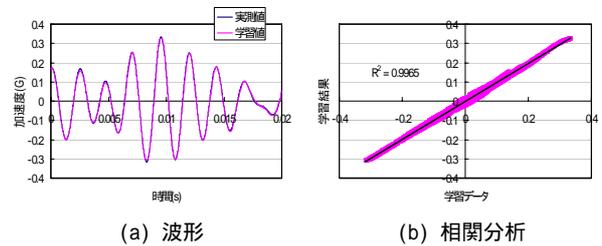


図-6 複関数 NN による学習結果 (case-1, case-2 学習)

3.2 複関数 NN による判定結果

次に、複関数NNを用いて同様の学習を行った結果を図-6 に示す。図-6 に示すように、提案する複関数NNでは学習が収束し、決定係数 ( $R^2$ ) が 0.9965 と高い。つまり、正常を正常と判定することができる。また、構造状態を学習しているcase-1, case-2 の検定データ ( , ) を予測させても、図-7, 8 に示すように決定係数は高い。一方、未学習の構造状態であるcase-3 の予測では、図-9 に示すように 0.01[s]以降に波形は乱れており、決定係数 ( $R^2$ ) も 0.937 と小さくなっている。つまり、提案する複関数NNでは、構造物の正常・異常を明瞭に判定できているといえる。

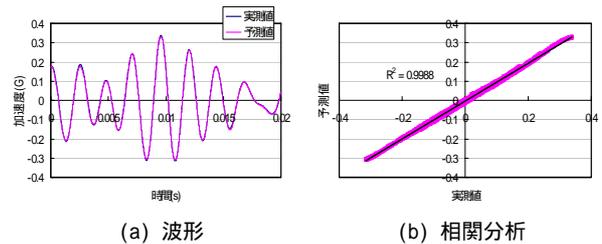


図-7 複関数 NN による検定結果 (case-1, case-2 学習 case-1: 打撃番号 予測)

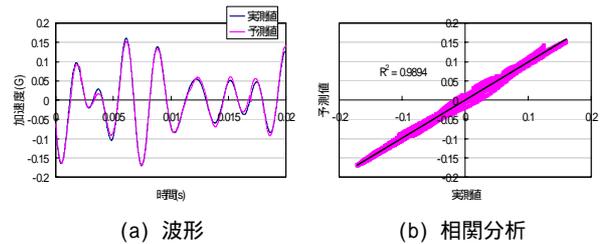


図-8 複関数 NN による検定結果 (case-1, case-2 学習 case-2: 打撃番号 予測)

4. 結言

本研究は、骨組構造物の損傷モニタリングへの複関数 NN の適用について検討したものである。提案システムの適用性を検討するため、骨組構造物の構造状態を分銅の载荷により模擬的に変化させ、打撃により得られた複数の加速度データを用いて構造特性の遷移を検知できるかについて検討した。その結果、提案システムは、構造特性の同定および分銅の载荷に伴う構造特性遷移を検知できることを確認した。

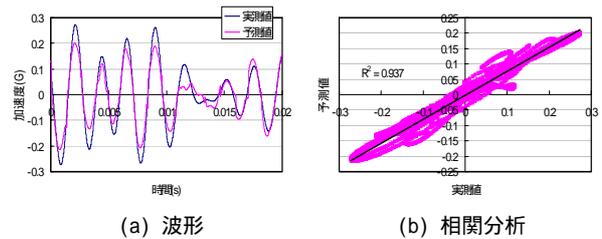


図-9 複関数 NN による予測結果 (case-1, case-2 学習 case-3: 打撃番号 予測)

参考文献

1) 作田 健, 香月 智, 坊原尚記: PSO と BP 学習則併用型複関数分類学習ニューラルネットワークによるコンクリート材料の損傷検知法, 土木学会論文集 F, Vol.62 No.4, pp.567-580, 2006.10.  
 2) 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の応用, 土木学会論文集, No.710/I-60, pp. 321-335, 2002.7.