

1. 緒言

コンクリート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監視する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有効とされる複関数分類学習ニューラルネットワーク<sup>1)2)</sup>を利用し、地震時に取得された加速度データを用いて、異なる規模の地震を受けたコンクリート構造物に生じた損傷の検知能力について検討したものである。

2. 使用データとシステム構成

2.1 使用データ

本研究では、ある地震時に取得された表-1 に示す各観測地点の、地上および地下における東西、南北および上下の3方向の加速度データを用いて、コンクリート構造物の損傷評価を行う。ここで、震央付近の構造物 A では、最大加速度が 412.3(gal)と地震の影響が大きく、地震後の詳細な点検で構造物に微細な損傷が確認されている。一方、震央から離れた構造物 B では、最大加速度が 37.6(gal)であり、地震の影響による構造物の損傷は少ないと考えられる。

2.2 損傷検知システム

提案する損傷検知システムは、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入出力関係の変化から構造物の損傷を検知判定するものである。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する。

次に、実際に用いた加速度データによる損傷検知システムを図-2 に示す。システムを構成するデータとしては、①地下の3方向データにおいて推定データからある特定時間( $\Delta t_i$ )だけ事前データ、および②地上同一成分において、ある特定時間( $\Delta t_j$ )だけ事前データを用いる。ここで、地下データの時間を遅れさせるのは、地下を通過した波が地上に伝播する時間を考慮してのことであり、地上同一成分の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。図-3 にタイムラグ相関分析の一例を示す。図に示すように、入力成分ごとにタイムラグと相関係数の出現に特徴がある。よって、この中から相関係数の高いタイムラグ値をいくつか選択し、入力データを決定する。

2.3 システムの運用方法

構築された損傷検知システムを図-4 のように運用する。まず、地震前の正常時において推定データである地上方向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。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、そのデータと提案システムによる推定値との適合によって検定する。そして、地震発生後に微動となった時点で、実測値と推定値の比較を行い損傷の判定を行う。

表-1 使用データ

観測地点	震央からの距離 (km)	最大加速度 (gal)	損傷
構造物 A	48.25	412.3	有
構造物 B	347.50	37.6	未確認

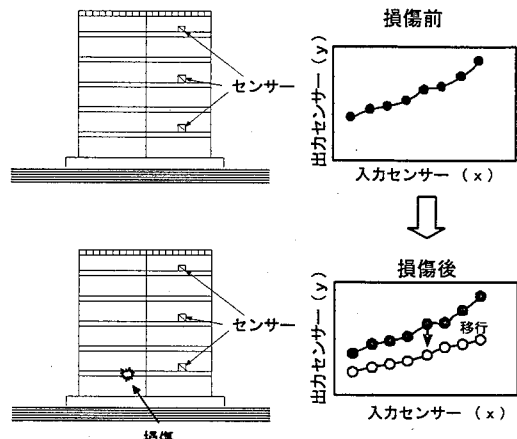


図-1 構造特性遷移判定の基本概念

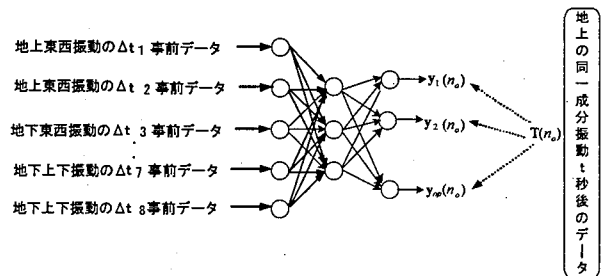
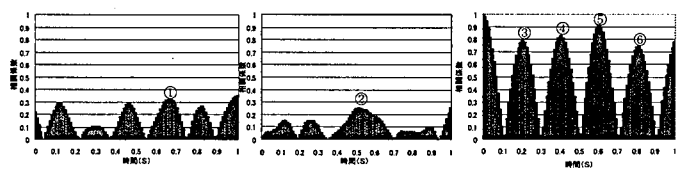


図-2 加速度データによる損傷検知システム



(a) 地下南北～地上東西 (b) 地下東西～地上東西 (c) 地上東西  
図-3 タイムラグ相関係数 (地上東西成分との関係)

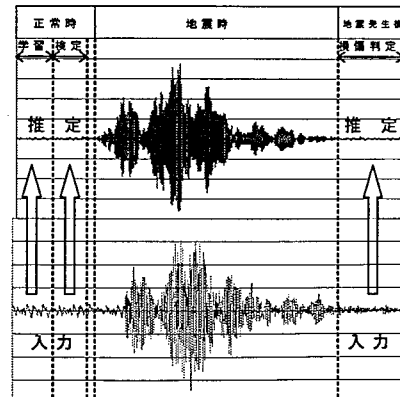
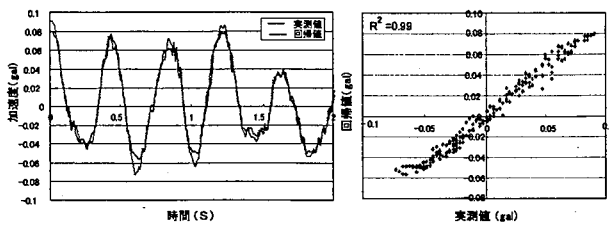
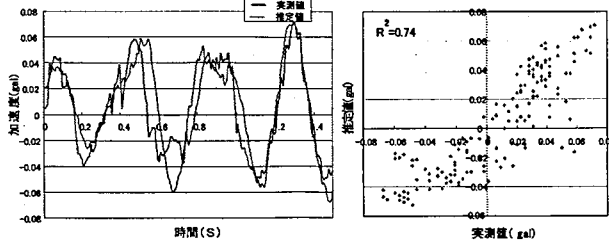


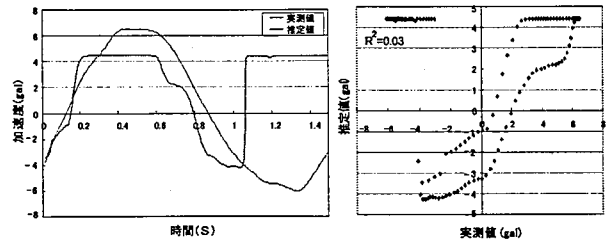
図-4 各期間の設定



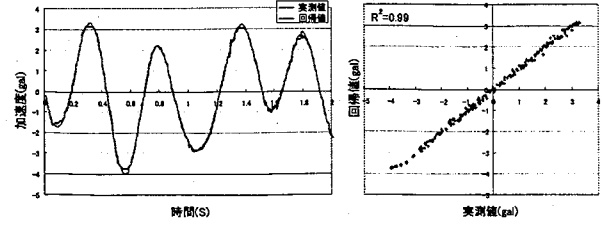
(a) 学習結果



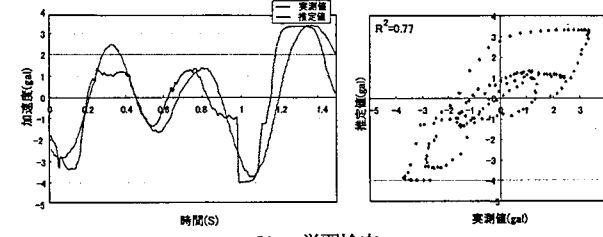
(b) 学習検定



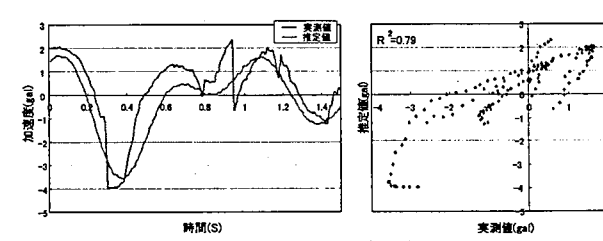
(c) 地震後の損傷判定  
図-5 構造物 A



(a) 学習結果



(b) 学習検定



(c) 地震後の損傷判定  
図-6 構造物 B

#### 4. 事例検討結果と考察

構造物 A での計測データに対する提案システムの適用結果を図-5 に示す。図-5(a) より、実測値と回帰値の相関は高く、正常時の構造状態を良く学習している。続いて、図-5(b) に示す学習検定においては、多少の乱れはあるものの、実測値と推定値の相関を示す決定係数は  $R^2=0.74$  と高く、構築されシステムは構造特性を取得できているものと考えられる。このシステムを用いて、地震後の損傷判定を行ったものを図-5(c) に示す。図より、実測値と推定値の波形は 1(s) 以降から全く異なっており、相関を示す決定係数も  $R^2=0.03$  と低い。一方、地震の影響が少ないと考えられる構造物 B では、図-6(a) および図-6(b) に示すように、学習および検定における実測値と推定値の相関は高く、構築されたシステムは構造特性を取得できたものと考えられる。そのうえで、このシステムを用いた図-6(c) に示す地震後の損傷判定結果は、構造物 A の場合と異なり、実測値と推定値は概ね一致している。ここで、各地点の学習・検定および損傷判定時の実測値と推定値の相関を示す決定係数の変化を図-7 に示す。これより、損傷が確認された構造物 A においては、検定と推定時の決定係数が明らかに変化しているのに対して、地震の影響が少ないと考えられる構造物 B においては、決定係数の変化が小さい。つまり、地震による影響が異なる構造物 A と構造物 B では、実測値と推定値の相関を示す決定係数の変化の違いが明らかであり、構造物の損傷に伴う構造特性の変化を検知しているようにみられる。

#### 5. 結言

本研究では、地震時に取得された加速度データをもとに提案システムによるコンクリート構造物の損傷検知を試みた。現在、砂防えん堤には、モニタリングセンサー

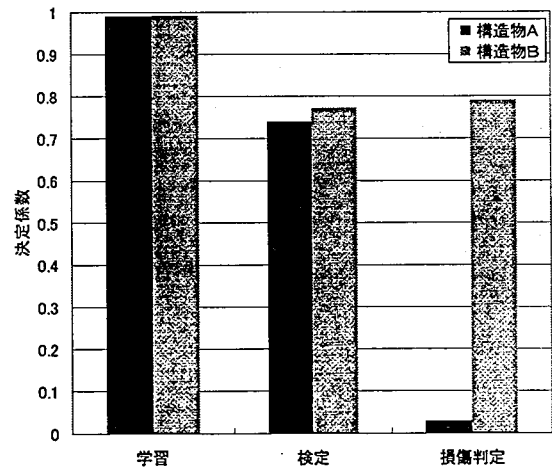


図-7 決定係数の比較

が貼付される状況ではないが、監視カメラの映像データなどを使用した応用について、今後検討していくつもりである。

#### 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.