

多点計測された振動応答を用いた損傷検知システムの提案

茨城大学大学院 学生会員 ○齊藤 雄輝

茨城大学工学部 正会員 原田 隆郎

1. 研究の背景と目的

通常は定期点検によって橋梁の損傷を確認する。しかし、この方法は橋梁が損傷した場合早期に発見できない。そのため、振動データを用いて早期検知ができるモニタリングが重要である。

現時点では現場計測の省力化・効率化を図るために、無線センサなどによる新たな振動計測システムを利用したモニタリング手法が提案されている。この新たな振動計測システムは、計測チャンネルあたりの導入コストが比較的安価であることから、センサを広範囲に渡って多数配置でき、多点計測を可能にする。このシステムを利用することで、大規模で複雑な構造物の動的特性が把握できる。しかし、多点計測された情報が構造物の損傷状態を把握するために十分有効利用されていない。それゆえ、多点計測された情報を関連付けて損傷検知及び損傷箇所の特定に利用することができれば非常に有効である。

本研究では、多点計測された振動データを用いて、損傷箇所や程度の特特定が可能システムについて検討した。このとき、関連する多点の振動情報を関連づけて損傷を評価する必要があることから、非線形情報処理手法の一つであるニューラルネットワーク(Neural Network: 以下 NN とする)を利用したシステムを提案した。そして、数値シミュレーションによってシステムの評価を行った。

2. 多点計測された振動応答を用いた損傷検知システムの概要

損傷検知システムは、図 1 に示すように、まず、損傷のない(健全な)構造物に地震や車両などの振動外力が作用したときの構造物の応答波形を NN によって学習し、健全な構造物のモデル化(NN モデルの構築)を行う。そして、損傷が発生したときに計測される振動応答を NN モデルに入力し、予測波形との誤差を見ることで損傷の検知を行うものである¹⁾。本研究では、損傷検知システムとして、図 2 のように計測された振動応答を単独で利用する NN モデル(S 型 NN システム)と計測された振動応答を複数同時に利用する NN モデル(M 型 NN システム)の 2 つの検知性能を比較した。

なお損傷検知の評価指標として、横山ら²⁾はシステムからの予測値と実測値との違い(応答波形の振幅比と位相差)に着目して損傷程度の変化の推定を行った。本研究では、横山ら²⁾が提案した位相差を損傷検知のための評価指標として利用した。

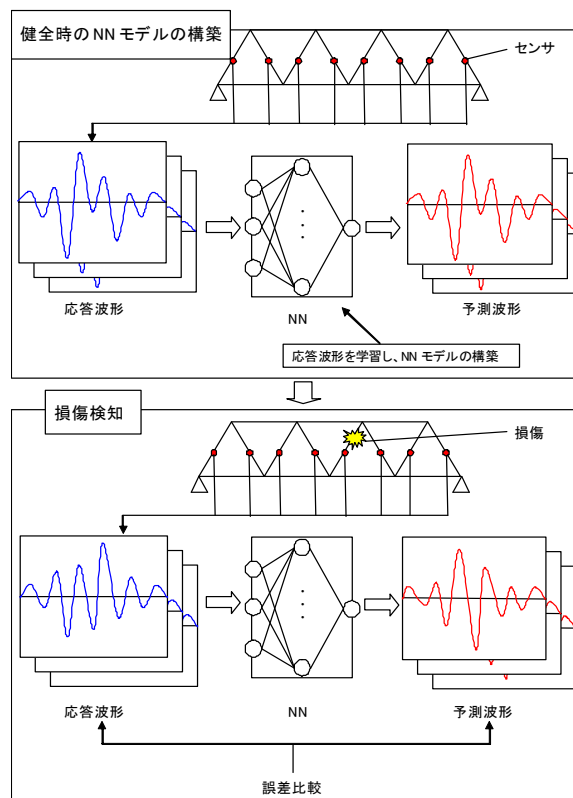


図1 NNを用いた損傷検知システムの概要

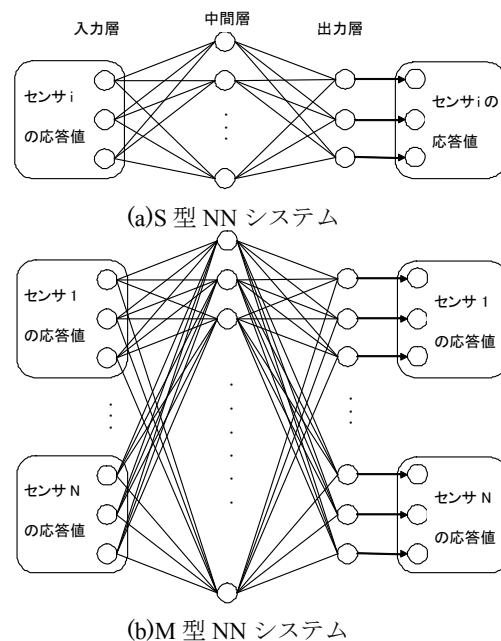


図2 2つのシステム

キーワード: 損傷検知, ニューラルネットワーク, 多点計測, 振動応答, 位相差, リサージュ図形

連絡先: 〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 TEL: 0294-38-5172 FAX: 0294-38-5268

3. 数値解析による提案システムの検証

(1) 数値解析による振動応答情報の導出

本研究では図3に示す3次元トラスモデルに、振動外力を与えることで、モデルの各節点の振動応答(加速度、速度、変位)を解析的に算出した。本研究ではこれを解析による応答値と呼び、NNモデルの入力値とした。なお、振動外力は損傷検知のために2つのタイプを用いた。

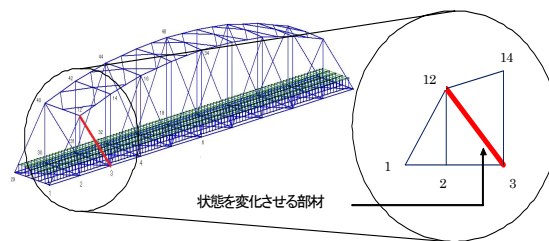


図3 3次元トラスモデル

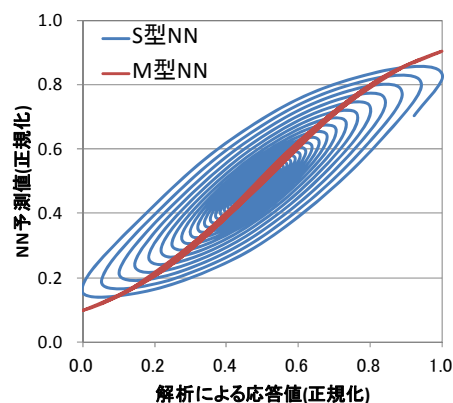
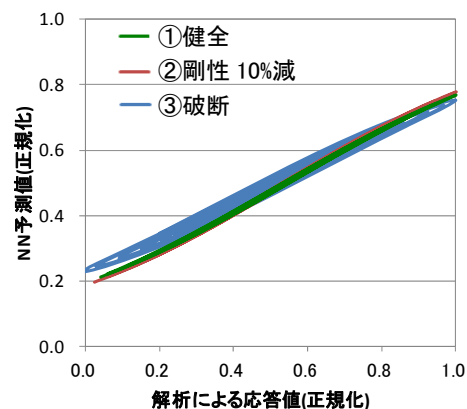
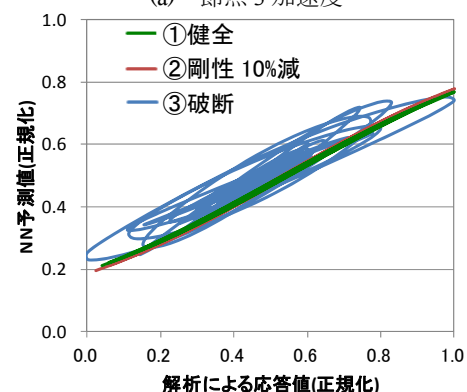


図4 学習精度の比較



(a) 節点3 加速度



(b) 節点12 加速度

図5 M型NNシステムでの検知結果

(3) M型NNシステムによる損傷検知

ここでは2つ目の振動外力を作用させたときの解析による応答値を学習のときに構築したNNモデルに入力した。NNの入出力関係は学習のときと同様である。なお、解析による応答値は節点3と12から構成される部材において、①損傷がない(健全な)場合、②剛性を10%減少させた場合、③部材を破断させた場合の3パターンである。M型NNシステムでの検知結果を図5に示す。図5より①、②の場合は位相差がないが、③の場合は節点12において位相差がある。速度および変位の場合でも同様の結果となった。節点3と12から構成される部材が破断した場合、図5より、節点12では位相差があるが節点3では位相差が無かった。このことは剛性の高い主桁や床版部分に近い場所にあることから、節点3と12から構成される部材が破断しても応答値にほとんど変化が現れなかったためと考えられる。

4. おわりに

解析による応答値とNN予測値の間の位相差を比較した結果、M型NNシステムの方がS型NNよりもNN学習精度が高いことが分かった。また、M型NNシステムにおいて、解析的に損傷検知を行った結果、損傷部材を構成する節点の一部では解析による応答値とNN予測値の位相差が生じ、部材の破断を把握できる可能性を示した。

参考文献: 1) Xu, B., Wu, Z. S., and Yokoyama, K. : Neural Networks based identification for the Akinada suspension bridge with earthquake responses, The Seventh International Symposium on Structural Engineering for Young Experts, Tianjin, P. R. China, pp. 474-482, 2002. 2) 横山 功一, 原田 隆郎, 黒田 聡, A. K. M. Rafiquzzaman, : ニューラルネットワークを用いた橋脚の地震時リアルタイム損傷判定法に関する検討, 日本地震工学会論文集, Vol. 7, No. 5, pp. 31-44, 2007.