

橋脚の健全性一次診断へのニューラルネットワーク適用に関する研究

神戸大学大学院 学生員 ○平塚 元康
 (株) アーバン・エス 正会員 庄 健介
 神戸大学工学部 正会員 北村 泰寿

1. はじめに

橋脚の健全性一次診断法として、重錘打撃試験を用いて構造同定を行い、試行錯誤的に部材定数や地盤ばね定数を推定し、この推定値と設計値とを対比することにより健全性を診断する手法を開発してきた。一方、最近ニューラルネットワークと呼ばれる方法が多方面で採用されており、システム同定に有効とされている。本研究は、ニューラルネットワークを用いて試行錯誤的推定作業の軽減を図り、測定現場で短時間かつ簡便に橋脚の健全性を評価できる手法の開発を目的としている。

2. ニューラルネットワークの構築

対象とする橋脚を二次元有限要素でモデル化し、健全な状態(初期状態)における重錘打撃試験結果を用いて構造同定を行い、初期状態における部材定数と地盤ばね定数の推定値(以下、初期値と呼ぶ)を求めておく。本報では、初期値として表-1 の値を用いる。つぎに、橋脚躯体の健全性を推定する部位(①～③)を設定する。

図-1 に示すように、橋脚頭部の桁受部直下付近(①)、橋脚下端から 1/3 付近(②)、橋脚下端のフーチング基礎との接合部付近(③)とする。橋脚下端のフーチング基礎との接合部付近(③)は、地震時に曲げモーメントが大きくなる箇所であり、橋脚下端から 1/3 付近(②)は、研究対象とした実橋脚で打ち継ぎ亀裂が見られた部位である。橋脚の固有振動数と各測点の応答波形の振幅等を入力とし、推定しようとする部位の健全性を示す指標を出力とする階層構造ニューラルネットワークを構築する。なお、健全性を示す指標として、健全性を推定する部位のヤング係数を用いる。

ニューラルネットワークでは、図-1 に示す D1～D7 測点で測定した速度応答波形から最大振幅を除く 3 個の振幅極大値(A_1, A_2, A_3)とそれぞれが生じる時刻の最大振幅時刻からの時間差(T_1, T_2, T_3)を読み取る。これらの値と一次固有振動数(f)を学習データとし、予め設定した部位(①～③)の健全性を示す指標を教師データとする。なお、重錘打撃試験では、実施ごとに作業条件や打撃者が異なるため、健全性診断の際に用いるテストデータの作成においては、初期状態と健全性診断時における重錘打撃力波形の最大加振力の比率で補正する。また、ニューラルネットワークの中間層、ユニット数は AIC 情報量基準を用いて決定する。ここでは、図-2 に示す AIC 情報量基準により、中間層 3 層、ユニット

表-1 応答解析の計算に用いた初期値

ヤング係数 [N/m^2]	2.00×10^{10}
ポアソン比	0.20
単位体積重量 [N/m^3]	2.5×10^4
地盤バネ定数 [N/m^2] (設計値)	$k_v = 6.0 \times 10^8$ $k_h = 6.0 \times 10^8$ $k_s = 2.0 \times 10^8$

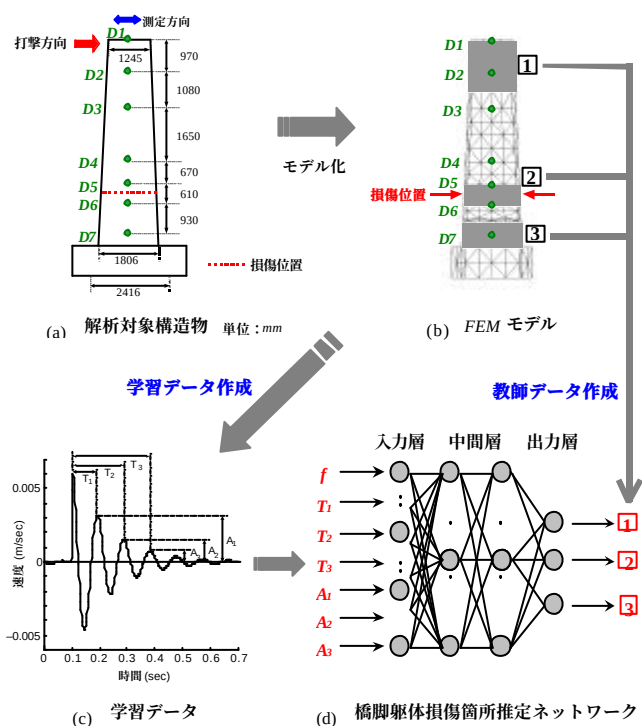


図-1 橋脚躯体の健全性一次診断法の構築

キーワード 重錘打撃試験, ニューラルネットワーク, 健全性一次診断, 情報量基準, アンサンブル法
 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院 TEL 078-803-6024

数8のネットワークが最適であると判断した。

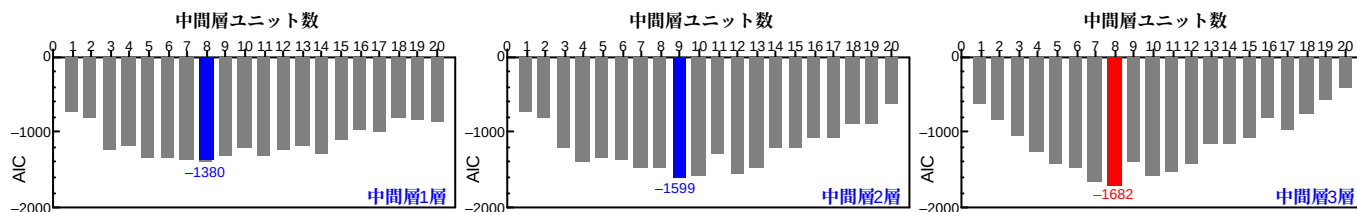


図-2 AICによる最適ネットワークの決定

3. 実測データによる適用性検討

本橋脚では、図-1(a)に示す部位に打ち継ぎ亀裂が発生しており、その損傷評価が重要である。本研究では、亀裂損傷の程度をヤング係数の低下で評価する。図-3は、ヤング係数の初期値に対する比率(以下、ヤング係数比率と定義する)と打ち継ぎ亀裂部における橋脚の残存長さの初期幅に対する比率(以下、残存率と定義する)の関係を示したものである。つぎに、図-1(b)の *FEM* モデルに対して、健全性を評価する部位のヤング係数をパラメータとして重錘打撃加振力による動的解析を行い、学習教師データを作成する。構築したニューラルネットワークに実測データをテストデータとして入力する。ニューラルネットワーク出力値はアンサンブル法を適用した推定値とする。図-4はアンサンブル法を適用した結果を示しており、アンサンブル個数が増加するにしたがってニューラルネットワークの出力が平均化されることが分かる。アンサンブル個数が20個では①=1.000、②=0.033、③=0.999に収束している。打ち継ぎ亀裂部の②では1から大きく低下しているのが分かり、図-2からヤング係数比率0.033は橋脚の残存率では0.15になる。実験時に調査した結果から打ち継ぎ亀裂は橋脚の両側から60～70[cm]であり、橋脚の残存率は0.15である。このことからニューラルネットワークの推定値は実測とよく対応していることが分かる。①、図-4

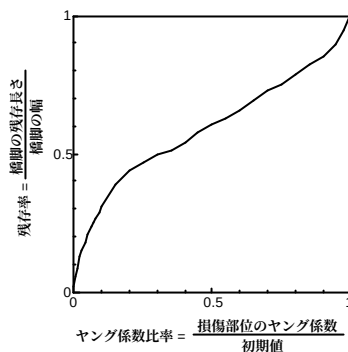


図-3 ヤング係数比率と残存率との関係

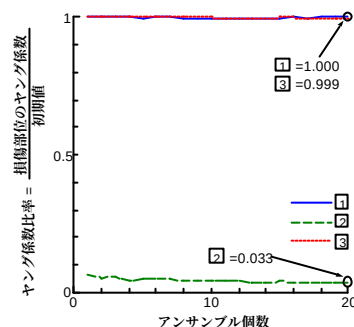


図-4 実測データのアンサンブル推定値

③に関しては損傷が見られず、1に近い値が出力されており、特に問題はない。今回用いた実測データにはノイズがほとんど含まれていないが、アンサンブル法を適用することにより、初期値変動法によるネットワーク出力値のばらつきが平均化され、ニューラルネットワーク推定値が収束するために有効であることが分かった。実測データのアンサンブル推定値(①=1.000、②=0.033、③=0.999)を用いて健全性を評価した部位のヤング係数を設定し、順解析を行った。図-5に速度応答波形とスペクトルを実測データと比較した結果を示す。実測固有振動数は8.56[Hz]で、ニューラルネットワークの順解析結果は8.45[Hz]であり、速度応答波形もほぼ一致している。このことから、ニューラルネットワークを用いて打ち継ぎ亀裂部の損傷程度を精度良く評価できることが分かった。

4. 結論

本研究では、橋脚の健全性診断のための一次診断法として用いられている重錘打撃試験にニューラルネットワークを適用することを試みた。その結果、ニューラルネットワークを用いることによって、試行錯誤的に行う健全性評価作業を軽減できることが分かった。

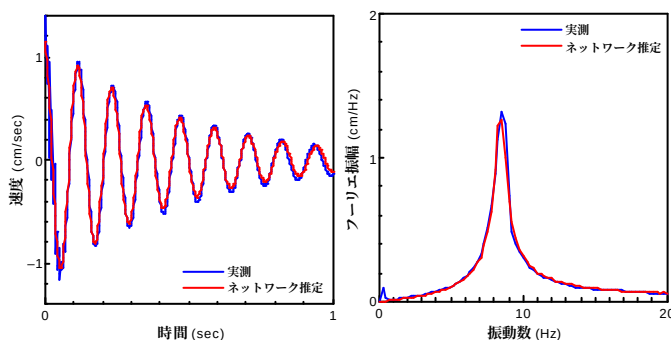


図-5 実測とネットワーク推定値の比較