

道路付属物の損傷評価へのニューラルネットワークの適用

山口大学大学院	学生会員	○井田琢己
山口大学大学院	正会員	麻生稔彦
高田機工	正会員	千々和竜也

1. はじめに

道路標識柱、照明柱、信号機などの道路付属物は交通機能を維持するために重要な構造物であるが、経年劣化による腐食・損傷の事例が多数報告されている。また、道路付属物は設置されている数が膨大であり、近年では道路財源の縮小もあり、道路付属物の点検に多くのコストをかけることは難しい。現在行われている腐食状況の確認は地表露出部の目視点検程度であり、腐食状況を十分に把握できているとは言い難い。

そこで本研究では、道路付属物の簡易な損傷評価システムの開発を目的とし、損傷による振動性状の変化に着目した階層型ニューラルネットワークを用いて、標識柱の損傷の位置や程度を推定可能なシステムを開発する。

2. ニューラルネットワークを用いた評価システムの構築

標識柱を模擬した供試体を用いた振動実験より、固有振動数と損傷の程度には関係があることが明らかとなった。そこで、供試体の損傷前後の振動性状の変化に着目し、損傷の程度や損傷位置を出力とし、固有振動数、振動モードを入力とする階層型ニューラルネットワークを構築する。構築したニューラルネットワークに推定したい損傷のデータ（以下未学習データとする）を入力し出力を得る。使用するデータは、図-1 の片持ち梁モデルを用いて作成し、①～⑤の位置で損傷を変化させる。出力層の応答関数はシグモイド関数を用い、バックプロパゲーション法を適用してネットワークの最適化を行った。以下では、学習最大サイクル回数は 100,000 回、収束条件 $C=0.001$ と設定して学習を行い、このときの評価関数を 2 乗誤差 E として示す。

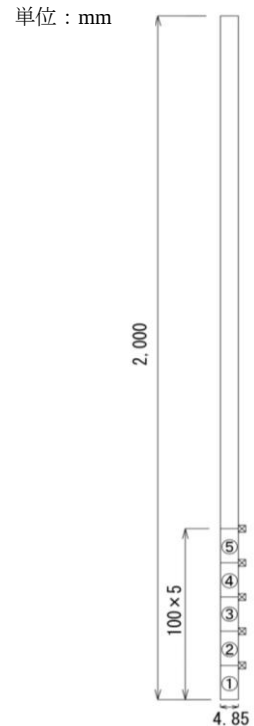


図-1 解析モデル

2.1 損傷の有無の推定

ニューラルネットワークによる損傷の有無の推定を試みる。想定する損傷は損傷率（供試体の肉厚の減耗量を初期肉厚で除したもの）が 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% であり、この時の 1 次と 2 次の固有振動数および振動モードを入力とする。振動モードの測定箇所は図-1 における⑤の位置とし、損傷の有無の 2 通りを出力とする。未学習データは損傷率が 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% の場合の 1 次と 2 次の固有振動数および 1 箇所の振動モードとし、損傷の有無を推定する。推定結果を図-2 に示す。推定結果は 0~1 の値で出力され、1 に近い値であれば高精度で推定できている。図-2 より、損傷率が 0% の未学習データに対してのみ損傷無しと推定しており、高精度で損傷の有無を推定できている。損傷の有無のみを推定するには、1 次と 2 次の固有振動数および 1 箇所の振動モードを与えることで推定が可能である。

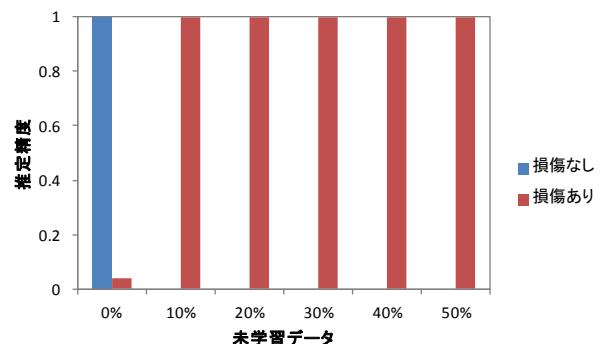


図-2 損傷の有無推定結果

2.2 損傷位置の推定

ニューラルネットワークによる損傷位置の推定を試みる。損傷率が 10%, 20%, 30%, 40%, 50% のときの

1次と2次の固有振動数および振動モードを入力とする。また、損傷位置は図-1に示す①～⑤の位置で変化させ、損傷率5パターンと損傷位置5パターンの組み合わせから25パターンのデータを作成し、損傷位置を出力とする。未学習データは、損傷率15%、25%、35%、45%のデータと損傷位置①～⑤の組み合わせから、20パターンを用いる。この時、振動モードの測定位置は⑤と③の2箇所とする。この条件では2乗誤差Eは学習回数約90,000回で収束しており、正常に推定が行えたと考えられる。このときの推定結果を図-3に示す。推定結果は実際に損傷がある箇所で1に近い値をとっており、損傷位置の推定は可能であると考えられる。

2.3 損傷位置および損傷率の推定

損傷位置に加えて損傷率も同時に推定することを試みる。振動モード測定箇所は、学習最大サイクル回数である100,000回以内で2乗誤差Eが収束した⑤・④・③・②の4つを入力データとして使用する。

1次および2次の固有振動数と4つの測定箇所の1次および2次の振動モードを入力とし推定を行う。また、未学習データを損傷率15%、25%、35%、45%のときの1次固有振動数と2次固有振動数および1次と2次の振動モードを4つずつとし推定を行う。推定結果を図-4に示す。図-4の(i)は損傷位置①、損傷率15%の未学習データに対する推定結果である。この未学習データは、実際に損傷がある箇所は損傷率が10%と20%、損傷位置①の部分である。その部分の値がその他の部分の値よりも高くなっていることから、実際の損傷位置と損傷率を同時に推定できていると考えられる。その他の推定結果においても、実際の損傷位置と損傷率を同時に推定できており、損傷位置と損傷率を同時に推定することは可能であると考えられる。

3. まとめ

ニューラルネットワークによる損傷の評価は、学習データとして1次と2次の固有振動数および振動モードを用いることで可能である。この際、損傷の有無を推定するには振動モード測定箇所が1つ、損傷の位置を推定するには振動モード測定箇所が2つ、損傷位置と程度を同時に推定するには振動モード測定箇所が4つ必要であることが示された。この方法は詳細な調査を実施する前段階としてのスクリーニングに適用できるものとする。

謝辞：本研究は科学技術振興機構による研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）により実施した。記して感謝します。

来学歴データ	15%	①	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		②	0.04	0.97	0.01	0.00	0.00
		③	0.00	0.12	0.99	0.03	0.00
		④	0.00	0.00	0.01	0.87	0.03
		⑤	0.00	0.00	0.00	0.02	0.98
	25%	①	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		②	0.01	0.98	0.00	0.00	0.00
		③	0.00	0.00	1.00	0.28	0.00
		④	0.00	0.00	0.01	1.00	0.01
		⑤	0.00	0.00	0.00	0.03	0.99
	35%	①	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00
		②	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00
		③	0.00	0.00	1.00	0.01	0.00
		④	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
		⑤	0.00	0.00	0.00	0.02	0.96
	45%	①	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00
		②	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00
		③	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
		④	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
		⑤	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
		①	②	③	④	⑤	
		推定した損傷位置					

図-3 損傷位置推定結果（⑤+③）

損傷位置	⑤	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	④	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	③	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	②	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
	①	0.27	0.82	0.01	0.00	0.00
		10	20	30	40	50
		損傷率(%)				

(i) 損傷位置①, 損傷率 15%

損傷位置	⑤	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	④	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	③	0.00	0.09	0.04	0.00	0.00
	②	0.00	0.91	0.75	0.00	0.00
	①	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
		10	20	30	40	50
		損傷率(%)				

(ii) 損傷位置②, 損傷率 25%

損傷位置	⑤	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	④	0.00	0.00	0.03	0.15	0.00
	③	0.00	0.00	0.90	0.84	0.00
	②	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
	①	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		10	20	30	40	50
		損傷率(%)				

(iii) 損傷位置③, 損傷率 35%

損傷位置	⑤	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
	④	0.00	0.00	0.01	0.31	0.24
	③	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	②	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	①	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		10	20	30	40	50
		損傷率(%)				

(iv) 損傷位置④, 損傷率 45%

図-4 損傷位置および損傷率推定結果