振動応答情報に基づいたニューラルネットワークによる橋梁構造物の損傷検知に関する研究

京都大学大学院工学研究科	学生会員 〇松山卓真	京都大学大学院工学研究科	正会員	服部洋
京都大学大学院工学研究科	正会員 白土博通	京都大学大学院工学研究科	正会員	八木知己

1.序論:現在,激しい老朽化が見られる橋梁に対しては補修・補強を含む維持管理を行うことにより橋梁の健全性を保 ちつつ供用することが重要である.その中でも、対象構造物にセンサーを設置してそこから得られた物理量を解析する ことにより健全性を評価する、かつ損傷個所を特定する構造ヘルスモニタリングという考え方を導入した維持管理手法 が注目されている.しかし、構造ヘルスモニタリングには従来の解析方法では様々な種類のデータを大量に解析する必 要がある点やシステムを稼働する際に外乱等による影響を受けやすい点、コスト面に課題が残る.故に、事前に必要な 情報が少なくて済むロバスト性の高い解析方法を用いた、費用対効果に優れた構造ヘルスモニタリングの提案が望まれ る.そこで本研究では、ニューラルネットワークを用いた構造ヘルスモニタリングの構築を試みる.

2.研究概要:本研究では,健全時の橋梁模型に1回の衝撃を与えて得られる応答波形から抽出したデータを用いてノー ド毎に健全時の応答モデル(ニューラルネットワーク)の構築を行う.検査時は,健全時及び損傷を与えた橋梁模型より 取得する検査用の応答波形から抽出したデータを構築済みの応答モデルに入力することによって得られる予測値と,検 査用の応答波形から抽出したデータの実測値の間に生じる誤差の大きさを比較することにより損傷検知の可能性を評 価する.また本研究では,橋梁の維持管理のための点検を行う際の補助的な役割を担うことが可能であり,ローカルモ ニタリングを指向するような損傷検知システムの構築を目的とする.

N3

3.橋梁模型:本研究では図1に示す縦563.6cm×横182.9cm× 高さ118.7cmの鋼製の橋梁模型を用いる.また,N7,N14 を除くノードにICP加速度センサーを設置する.さらに検査 用の応答波形を取得する際,橋梁模型には図2に示す損傷を 与える. Casel ではプレートを固定するボルトの脱落, Case2

では支承部分のローラーの脱落, Case4 では支承部分のボルトによる固定をそれぞれ行う. 4.提案手法:ここでは,本研究における損傷検知の流れを示す.



図2 損傷状況

- 健全時の橋梁模型にハンマーで1回の衝撃を与えることによりサンプリング周波数400Hzの加速度の時刻歴波形を 取得し台形法を用いて速度・変位の変化量の時刻歴波形を算出した後、0~1の間で正規化する.
- 2) 図3のように本研究で取得した時刻歴波形は衝撃を与えてから10s間のものであり、時刻歴波形のサンプリング周 波数が400Hzであるため、N=4000個のデータを取得している.つまり、0.0025秒毎のデータを抽出している.ま た以降ではこのデータのことを振動データと呼び、ステップという単位で数える.
- 3) 抽出したデータからニューラルネットワークの学習機能を利用しノード毎に応答モデル(ニューラルネットワーク)の構築を行う.つまり図4に示すように、第nステップの速度の変化量(Δv_n)と第nステップの変位の変化量(Δu_n)を入力信号、第n+1ステップの速度の変化量(Δv_{n+1})を教師信号としてニューラルネットワークにおける各ニューロン間の重みの決定を行う.
- 健全時及び損傷を与えた橋梁模型において1),2)と同じ作業を行うことにより検査用の振動データを取得する.またここでは、応答モデル構築時とは異なる強さの衝撃を与える.
- 5) 図5に示すように、構築した応答モデルに検査用の第nステップの速度の変化量と第nステップの変位の変化量(検 査時の入力信号)を入力して第n+1ステップの速度の変化量の予測値(検査時の出力信号)を取得する.その後、検査

キーワード:維持管理,損傷検知,構造ヘルスモニタリング,ニューラルネットワーク 連絡先:〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂Cクラスター1-3-457 TEL075-383-3170

-274

時の出力信号と検査用の第 n+1 ステップの速度の変化量の実測値(検査時の教師信号)から損傷平均誤差(式(1))を算出し、損傷検知の可能性について検討する.

(損傷平均誤差) =
$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} |y_i - out_i|$$
 (1)

(但し, y_i:検査時の第 i 番目の教師信号, out_i:検査時の第 i 番目の出力信号, M:データ数(=N-1)) 橋梁の調査を実施した時点で橋梁に異常が有る場合,つまり損傷が存在する場合,検査時の出力信号は,健全時の 振動データから構築した応答モデルに検査時の入力信号を入力して得られたものであるため,検査時の教師信号と は大きく異なると考えられる.故に,検査時の教師信号と出力信号から算出される損傷平均誤差は大きくなると考 えられる.つまり,損傷平均誤差が大きければ損傷が存在し,小さければ損傷は存在しないと考えられる.



5.実験結果:図6にサンプリング周波数400Hzの加速度の時刻歴波形のうち200Hz以上をカットしてから算出した速度・ 変位の変化量の時刻歴波形を用いた場合の各ノードの損傷平均誤差を示す.Base は検査用の応答波形を取得した時の橋 梁模型が健全であった場合,各ノードの損傷平均誤差はどの程度の値を示すのかという目安として示す.図6より損傷 ノードの損傷平均誤差が他のノードよりも概ね大きい値を示していることから損傷検知の可能性があるといえる.また 検査用の振動データを取得する際,応答モデル構築時とは異なる強さの衝撃を与えているが,損傷の無いノードの損傷 平均誤差はBase を含め概ね小さい値を示すことから,与える衝撃の強さは損傷検知の精度に影響しないと考えられるた め検査の際に与える衝撃の強さを統一する必要が無く,効率的であると考えられる.また加速度の時刻歴波形を用いた 方法や隣り合う2つのノードを組み合わせる方法等についても検討を行ったが,損傷検知の可能性は見られなかった.



6.結論:サンプリング周波数 400Hz の加速度の時刻歴波形のうち 200Hz 以上をカットしてから算出した速度・変位の変 化量の時刻歴波形を用いた場合,損傷ノードの損傷平均誤差が他のノードよりも概ね大きい値を示しているため,ロー カルモニタリングを指向した損傷検知の可能性があるといえる.損傷検知の可能性が見られる要因の1つには,波形の 中でノイズになりやすい高周波数成分をカットしたこと,ノイズを最低限に抑えるために速度・変位の変化量の時刻歴 波形を用いたことが挙げられる.