

振動計測と機械学習を用いた損傷同定に関する基礎的研究

愛媛大学大学院 学生会員 ○蔵本直弥 愛媛大学大学院 正会員 宮内雅弘  
愛媛大学 正会員 大賀水田生 愛媛大学 正会員 全邦釘

1. 序論

橋梁の老朽化とそれに伴う劣化が問題視されている昨今、大規模な架け替えによる修繕費の増加や、供用停止による社会的損失を軽減させるべく、適切な維持管理を行うための研究が多くなされている。適切な維持管理を行うためには、適切な健全度評価が行われる必要があるが、従来の目視では見落としや点検者間のばらつきが生じてしまう。したがって、定量的かつ客観的な健全度評価方法の確立が急務となっている。

そこで、本研究では有限要素解析と機械学習によって、健全度評価すなわち損傷箇所とその程度の導出を試みた。損傷の発生を原因とする振動特性や力学的挙動の変化が、有限要素解析による振動データ等で確認可能であると仮定した場合、あらゆる損傷を想定した有限要素モデルを前もって作成・解析し、かつ振動データを蓄積しておけば、振動データからそのときの損傷状態を予測することが可能であると考え。さらに、振動データを用いた損傷状態の予測を機械学習によって行うことで客観的な判断基準となる。

したがって本研究の目的は、損傷を模擬したI型鋼材の損傷箇所を、複数点で計測した衝撃荷重の加速度応答データから予測することである。そのために、教師あり学習(ニューラルネットワーク)を用いて損傷同定アルゴリズムの構築を行う。加速度応答を入力データ、そのときの損傷箇所を出力データとした教師データセットを基に、ニューラルネットワークの訓練を行い、解析及び実験における未知のデータに対する損傷同定を行うことで、アルゴリズムの精度と本手法の妥当性を検証した。

2. ニューラルネットワークの概要

ニューラルネットワーク(以下 NN と記述)は、人間の脳を模式化・定式化したもので、一定の学習を行うことで、NN はそのパターンを認識し、入力された情報に対して、過去の学習パターンより妥当な回答を出力するというモデルである。

図-1 は NN の最小単位であるニューロンの仕組み

を模式化したものである。あるニューロンに情報が入力されると、結合荷重によって情報量を増減させ、ニューロンに入る情報量が決定する。各ニューロンには閾値と呼ばれる情報量の基準があり、この基準を超えると次のニューロンに情報の伝達が行われる。ニューロンに入る情報量は結合荷重によって変化し、この値を妥当な値へと修正・更新することで、目的に合致した予測モデルを構築することができる。図-2 には簡易な NN の構造を示している。まず、データを入力層に配置されたニューロンに入力し、その情報が中間層のニューロンに伝達され、出力層に出力される。出力と教師データとの差が大きい場合は、NN モデルの精度を向上させるため、出力と教師データとの誤差が小さくなるように出力層から入力層に向かって修正を加える。誤差修正の計算は、出力値が許容誤差以下になるか設定した学習回数に達するかのどちらかで終了し、その時の結合荷重が最終的な予測モデルとなる。

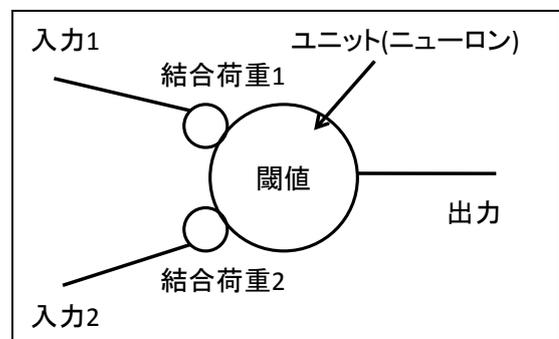


図-1 ニューロンの模式図

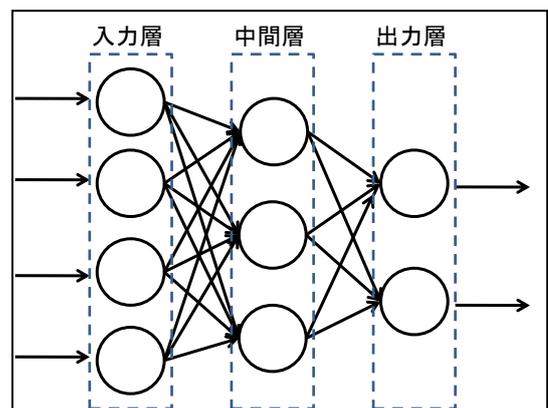


図-2 ニューラルネットワークの構造

### 3. 損傷同定アルゴリズムの構築と予測結果出力

有限要素法を用いて、さまざまな位置での破断を想定したI型鋼材を多数モデル化する。同時に、衝撃荷重を与え動解析を行い、下フランジ上複数点で加速度応答波形を取得・蓄積する。加速度応答波形を入力データ、そのときの損傷位置を出力データとする教師データを基に、ニューラルネットワークを訓練することで損傷同定アルゴリズムを構築できる。次に、下フランジの破断を模擬した供試体を用いた衝撃载荷実験実験により得られた、加速度応答を損傷同定アルゴリズムに入力し、最終的に損傷箇所の予測出力結果を得る。図-3 に実験データを用いた損傷箇所予測までの流れを示す。

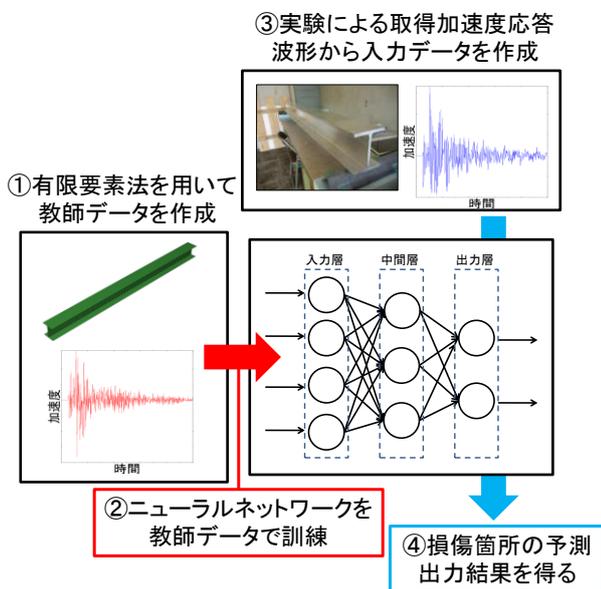


図-3 実験データを用いた損傷箇所予測までの流れ

### 4. アルゴリズムの精度検証

Leave-one-out 交差検証を用いて、構築したアルゴリズムの未知のデータに対する精度検証を行った。入力データには、最大加速度、最大振幅スペクトル、分散値の3つの特徴量をそれぞれ用いたが、加速度応答波形の分散値を入力データをしたとき、最も精度は高くなり、正解率は最大で96%であった。

### 5. 実験データによる損傷箇所予測結果

供試体端部より1/20地点(グループ①)を破断させたパターン1と、10/20地点(グループ⑤)を破断させたパターン2の2つのパターンの供試体に対して、衝撃荷重実験を行い、複数点で取得した最大加速度を入力データとして、損傷同定アルゴリズムを基に、

損傷が①～⑨のどのグループに属するかの予測を行った結果を図-4に示す。パターン1では、実際の破断位置と予測は一致しなかったが、実際の破断位置近傍に大きな亀裂の存在を示唆できた。パターン2では、実際の破断位置と予測が一致することが確認できた。よって、実験データの取得精度に大きく依存するが、実験データによる損傷箇所の予測は可能である。

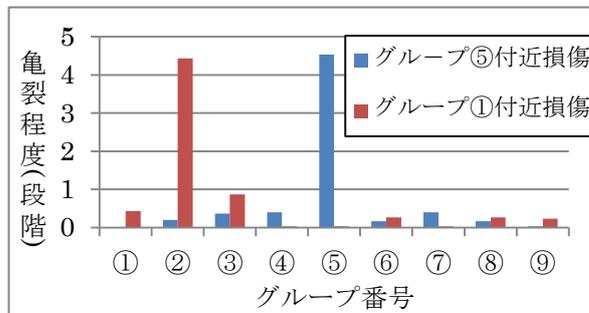


図-4 損傷箇所予測結果

### 6. 結論

- (1) 作成した教師データをニューラルネットワークによって訓練し、加速度応答を入力することで損傷箇所を出力することが可能な、損傷同定アルゴリズムを構築した。
- (2) 損傷同定アルゴリズムの精度を検証するために、交差検証を行った。その結果、ニューラルネットワークの訓練に使用する入力データを、加速度波形の分散値とした場合最も高い精度が得られ、約9割の正解率で損傷の同定が可能であった。
- (3) 下フランジを任意の位置で破断させた、I型鋼材に対し衝撃载荷実験を行い、加速度応答を複数点で取得した。取得した加速度応答データの最大値を損傷同定アルゴリズムに入力することで、供試体端部、および供試体中央部での損傷を適切に予測することができた。

### 参考文献

- 1) Rosenblatt.F: The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psychological Review, Vol 65(6), Nov 1958, 386-408.
- 2) 宮本文穂, 森川英典, 山本昌孝: 既存コンクリート橋の損傷に対応する動的挙動の感度特性と損傷評価への適用, 土木学会論文集, No.442/V-16, pp.61-70, 1992.