

ICT 技術を活用した道路付帯施設異常検知手法の研究 (オートエンコーダの教師無し学習による再構成誤差を用いた異常検知)

群馬大学	正会員	○岩崎	篤
中日本高速道路(株)	正会員	山本	浩司
	非会員	及川	敏
能美防災(株)	正会員	山岸	貴俊
	非会員	中野	主久
	非会員	中村	洋幸

1. 目的

本研究は、オートエンコーダによる再構成誤差を用いた高速道路付帯施設の状態変動検知手法の提案および手法の有効性の検討に関するものである。高速道路は情報板など、その路上に様々な付帯施設が存在する。これら施設で、経年劣化により倒壊あるいは物体の落下が生じた場合、大きな事故につながる可能性がある。このようなリスクを未然に防ぐために構造検査が道路管理者により実施されているが、既存の検査手法は目視による定期検査が主流であり、早期に経年劣化を発見できる手法は確立されていない。そこで本研究では、耐候性があり長寿命である加速度センサを用いたモニタリングによる、高速道路付帯施設の経年劣化による状態変動を検知する手法の検討を行う。

オートエンコーダ（以降 AE）とは、次元削減、特徴抽出手法として用いられる機械学習であり、入力されたデータを一度圧縮し、重要な特徴量だけを残した後、再度もとの次元に復元処理をするアルゴリズムである。その特徴としては、入力層と出力層を同じデータを用いた教師なし学習であり、再構成時の誤差から入力データは既知の特徴を含むデータであるか判別可能である、つまり未知の異常に対し再構成時の誤差から検知が可能であることが挙げられる。本報告の研究対象である情報板 F 型支柱は異なる方向の複数の振動モードを有する構造物であり、損傷モード毎に影響される振動モードやその影響度合いが異なるという特徴を持つ。すなわち単純波形での状態異常評価は困難である。そこで本研究では複数の振動モードを同時評価するため、AE の入力に単純波形ではなくスペクトログラム画像を適用し、長期実機データへの適用から提案する状態変動検知手法の有効性の検証を行った。

2. オートエンコーダによる高速道路情報板の異常検知

2. 1 対象構造 図 1 に対象とする情報板 F 型支柱の概要を示す。加速度は支柱頭頂部に設置された加速度計にて常時 100Hz で計測した。3 軸方向の加速度計測を行っているが^[1]、本稿では、道路進行方向（面外振動）を対象とした。

2. 2 オートエンコーダの適用 今回使用した AE の構成を図 2 に示す。エンコーダ層 3 層、特徴学習層 1 層、デコーダ層 3 層の計 7 層とした。計測周波数は 100Hz である。加速度信号 5 秒間のスペクトログラム画像を 1 ドット 0.78[Hz] x 1[sec]、64 x 5 ドットへと分割し、AE の入力・出力とした。なお、入力に際する計算上の問題から、実際には縦方向は上下対称とし、128 x 5 ドットの画像を入力・出力としている。今回用いた手法は、AE が学習で使用されたデータと異なる傾向のデータ、つまり状態変動を生じた構造の加速度を再構築できないという仮定に基づくものである。学習の流れとしては、正常時のスペクトログラムへの変換を行い入力値とし、時系列データの特徴量を学習する。学習データの再構成誤差を最小限に抑えるように学習すると、それにより学習後の AE は正常に対してのみ正しく正確にデータの再生成が行えるモデルとなる。作成したモデルに検証するデータを入力した際の再構成誤差より、異常および正常を判断する。判定に用いる全ドットの再構成誤差の二乗和 Loss を次式に示す。

$$\text{Loss} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad \text{SSE} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (1)$$

キーワード 機械学習, 劣化診断, オートエンコーダ, 振動解析, ICT 技術
連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 TEL0277-30-1535

ここで SSE は二乗誤差, $\hat{y}_i$ は再構成特徴ベクトル, y_i は入力ベクトル, n は1画像辺りのドット数である. 学習率は 10^{-4} , エポック数は100とした.

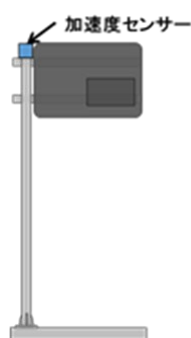


図1 加速度センサ設置

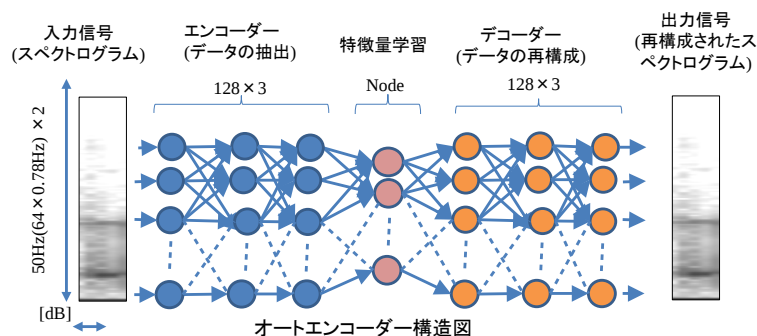


図2 オートエンコーダの構成

3. 正常時構造, 変動構造における再構成誤差及び異常診断

下部の固定に変動が見られない構造, 下部の固定が安定せず, かつある時期から卓越振動数に変動が見られた構造における再構成誤差を図3に示す. 学習にはそれぞれの評価期間の前の半年のデータを用いている. (a)は変動が見られない正常な構造, (b)は途中(2017/1/1 近傍)から卓越振動数が変動した異常構造の結果を示す. 図3(a)に示すように, 正常構造では再構成誤差に一時的な上昇はあるが10日間平均の推移からも見て取れるように傾向は安定的である. 一方, 図3(b)に示す様に, 異常構造では再構成誤差は状態異常後明確に値を上昇させ, 傾向が大きく異なることがわかる. 図4に図3(b)に示した異常発生前後の再構成誤差のヒストグラムを示す.

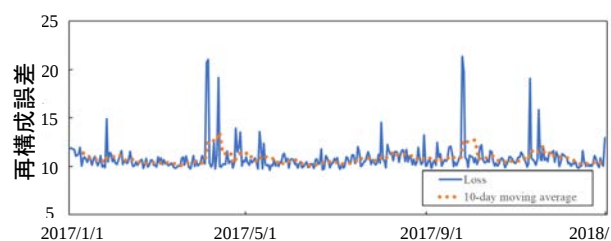
図中青が異常発生前の, 橙色が異常発生後の分布を示す. 正常時では12.45を平均とした分布に対し, 状態異常後は15.03を中心とした別の分布となっており, 閾値により異常発生検知が可能であるといえる. 図5にこの場合のROC曲線を示す. AUCが0.944, 偽陽率0.05と実用上問題ない範囲の誤検出率とした場合の信用率が0.834と高い精度を示しており, これらから正常構造において本手法は長期安定的に検査を可能とし, かつ状態に異常が起きた際には異常発生を検知可能な手法であるといえる.

4. 結論

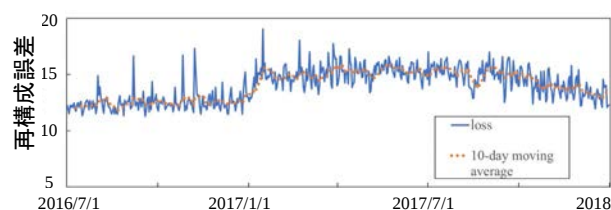
本稿では, 情報板F型支柱の状態変化に対するオートエンコーダによる状態異常検知法の検討を行った. 結果, 異常発生構造に対する状態診断では, AUC0.944, 真陽率0.838と高い精度を示し, 本手法は正常構造において長期安定的に検査を可能とし, かつ状態に異常が起きた際には異常発生を検知可能な手法であるといえる.

参考文献

[1] 岩崎篤ほか: 道路情報板F型支柱の疲労寿命評価におけるひずみ加速相関への作用外力の影響, 土木学会第73回年次学術講演会概要集, CS9-002, 2018.08



(a) 変動が見られない正常な構造



(b) 途中から卓越振動数が変動した異常構造

図3 再構成誤差の時間変化

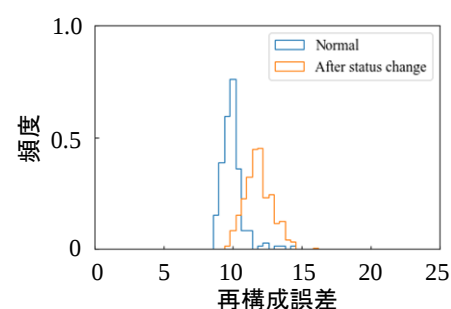


図4 異常発生時の再構成誤差分布

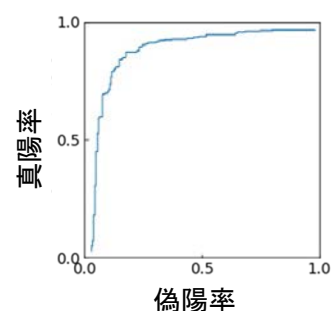


図5 異常構造に対するROC曲線