

機械学習を用いた RC 構造物の異常検知手法および 自動測定ロボットの開発

五洋建設株式会社

○バルガス ルベン

同上

池野 勝哉

東北大学

内藤 英樹

大分工業高等専門学校

木本 智幸

1. はじめに

高度経済成長期に建設された既存インフラは建設後50年が経過するものが増加しており、広範に整備されたインフラの健全性を効率的に調査し、維持管理に資するデータを蓄積することが求められている。従来、コンクリート構造物の点検は、検査員による目視や打音といった主観的な評価が行われており、近年では超音波法、電磁波レーダなどの非破壊検査も併用されるようになった。しかし、これらの検査方法は表面付近の内部空洞等を検出できるものの、ひび割れを含む部材内部の健全性を評価することは難しいと考えられる。そこで、著者らは動電式の小型加振器を用いた局所振動試験法¹⁾（図-1参照）に着目し、RC構造物に入力した弾性波の応答スペクトルの変化から内部損傷を評価する異常検知システムの開発を行った。

2. 従来技術の課題

2. 1 応答スペクトルの評価における課題

通常、局所振動試験法では、応答スペクトルのピーク周波数（＝共振周波数）の変化に基づいて異常を検知する。しかし、実構造物では複雑な境界条件や損傷状態により、得られた応答スペクトルには複数のピー

ク周波数が出現するため、客観的に共振周波数を特定することが難しいことが多い。そこで、機械学習モデルのオートエンコーダを用い、共振周波数のみならず応答スペクトル全体の変化を捉える手法を提案する。

2. 2 現場測定における課題

局所振動試験法における各測定点の測定時間は約1秒以下¹⁾と僅かであるものの、広範囲なインフラ検査には効率的な測定方法が望ましい。そこで、本手法を実装した自動測定ロボットを開発し、測点移動・測定・評価までをオートメーション化した異常検知システムを構築する。

3. 異常検知システムの概要

3. 1 機械学習モデルを用いた異常検知手法

前述の応答スペクトルの評価における課題に対し、図-2に示すオートエンコーダによる機械学習モデルを用いる^{2,3)}。オートエンコーダは、中間層のノード数を減らして次元削減（エンコード）を行い、逆処理によって元の次元データを再構成（デコード）する。RC構造物の健全データのみで学習済みオートエンコーダを構築した場合、健全データを再構成ができるが、学習していない損傷データの再構成は著しく精度が低下する。この性質を利用して、検査対象の測定データを学習済みオートエンコーダに入力し、入力層と出力層の再構成誤差より異常度を評価する。ここで、オートエンコーダの学習には比較的大量の健全データが必要となるが、検査対象の健全データを事前に取得することは現実的に難しい。そこで、適当なRC構造物から取得した健全データを用いて学習したオートエンコーダ

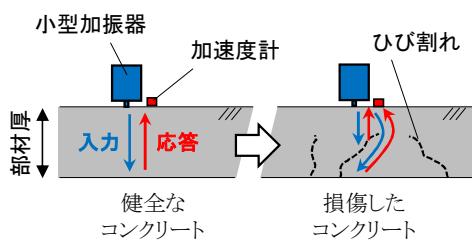


図-1 局所振動試験法の概念図

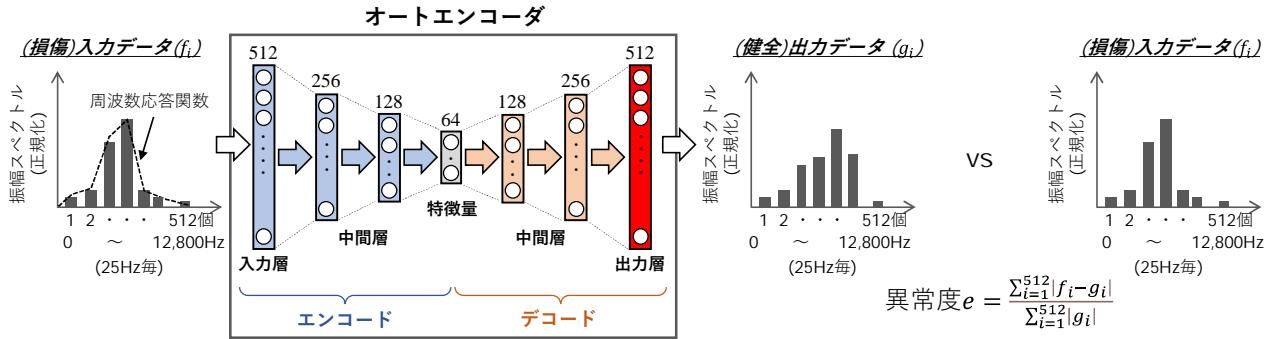


図-2 異常検知手法の概要

ダを検査対象の RC 構造物用にカスタマイズする手法として転移学習を用いる³⁾。この手法は、検査対象である RC 構造物の全てが損傷していないことが前提であり、少量でも健全なデータが取得できる場合に適用可能となる。転移学習は、一般的なデータセットで学習したモデルに対して、再学習した新しい分類器を追加するだけで、再学習された特徴を活かしたモデルにカスタマイズできる特徴をもつ。本手法の転移学習は図-2に示すオートエンコーダの最終出力層を再学習する。これにより、検査対象の健全データがない場合でも、異常検知が可能となる。

3. 2 自動測定ロボット

現場測定の課題に対し、図-3に示す自動測定ロボットを開発した。本ロボットは、GNSS および IMU が搭載されており、事前に設定された座標へ自律走行し、小型加振器の昇降および加速度計による応答加速度のピックアップ、さらにはFFT処理による応答スペクトルから前述した異常検知まで自動で行う。測定部には、小型加振機と加速度計を部材面に一定圧で接触させる昇降装置が搭載されており、測定データの再現性を確保している。なお、DC ブラシレスモーターを用いてバッテリー消費を抑え、オムニホイルを採用することで、狭隘エリアでの走行性を向上させている。

4. おわりに

本稿では、局所振動試験法、オートエンコーダおよび転移学習を用いた異常検知手法、そして自動測定ロボットを統合した RC 構造物の異常検知システムについて述べた。本システムは、従来、困難であった部材



図-3 自動測定ロボットの概要

内部の損傷を効率的かつ客観的に評価できるものと期待される。今後は、本システムを数多くの実構造物に適用し、部材を構成する境界条件や材料特性の影響、および様々な劣化状態に対する適用性を検証し、実務的なシステムへと改良を重ねる予定である。

REFERENCES

- 1) 内藤英樹, 小林珠祐, 土屋祐貴, 杉山涼亮, 山口恭平, 早坂洋平, 安川義行, 鈴木基行: 局所振動試験に基づく道路橋 RC 床版の内部損傷評価, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), 73 卷, 2 号, pp. 133-149, 2017.
- 2) 内藤英樹, 木本智幸, 藤岡光, 藤倉修一, 運上茂樹: 振動測定とオートエンコーダによる RC 部材の地震時損傷の検知, AI・データサイエンス論文集, Vol.3, No.J2, pp.134-144, 2022.
- 3) Vargas R., 池野 勝哉, 内藤 英樹, 木本 智幸: 転移学習によるオートエンコーダモデルを用いたコンクリート構造物の異常検知手法, 構造工学論文集 A, 71A 卷 p. 592-602, 2025.