

# 舗装修繕工事における AI による道路橋 RC 床版の内部欠陥探査手法

日本道路（株）技術部 ○長谷 啓司

富山県立大学 工学部環境・社会基盤工学科 内田 慎哉

富山県立大学大学院 工学研究科環境・社会基盤工学専攻 舘田 英里香

## 1. はじめに

道路修繕工事では、道路橋の舗装打換の際、アスファルト舗装撤去後の RC 床版面を点検ハンマで打撃する打音検査により、床版内部の鉄筋付近の水平ひび割れ等、内部欠陥の有無を確認する（写真－1）。これは、打撃音を人の耳で聴くことで、RC 床版の損傷・欠陥を評価する方法であるが、打音検査は測定者の経験によるところが大きい。また、検査箇所は施工箇所全面であることが多く、検査には多大な労力や時間が必要となるため、効率的な点検手法の開発が望まれている。そのため、本検討では簡便かつ効率的で、測定者の経験に依存しない手法を検討した。

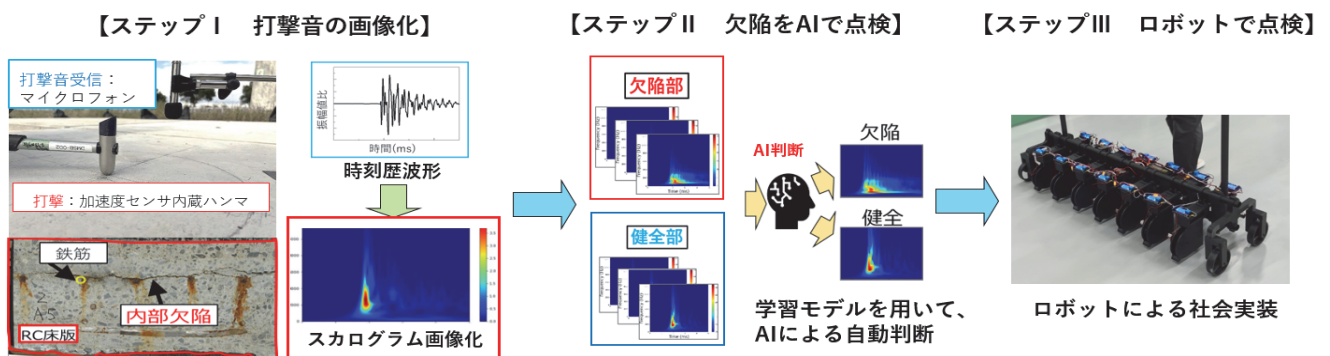


写真－1 RC 床版の打音検査の事例

## 2. 打撃応答特性の可視化による AI 欠陥探査手法

本手法は、以下の I～III のステップを踏んだ検討を行った（図－1）。

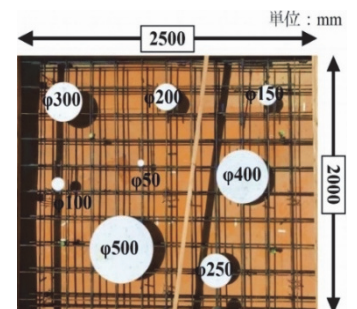
- I: 打音法で測定された打撃応答特性（時刻歴波形）をウェーブレット変換して可視化（スカログラム画像化）し、画像から検出可能な欠陥の深さと大きさを把握する。
- II: 畳み込みニューラルネットワーク（以下 CNN：「Convolutional Neural Network」の略）による機械学習した画像分類モデルを用いて、欠陥の有無を自動判別する。
- III: 社会実装を想定して、これら技術を搭載した点検ロボットを開発する。



図－1 検討概要

## 3. スカログラム画像による欠陥評価

コンクリート内部に直径・深さの異なる複数の人工欠陥を埋設した模擬 RC 床版供試体（写真－2）を対象に、内部欠陥部の表面と欠陥の無い健全位置でのコンクリート表面をハンマ打撃（以下、打音法）し、計測を行った。計測後、打音法で得られた打撃応答特性（時刻歴波形）をウェーブレット変換することでスカログラム画像を取得し、打撃応答特性の可視化により欠陥の有無を画像で評価した。図－2 に得られたスカ



写真－2 人工欠陥の配置

ログラム画像を示す。欠陥部では、相関の高い領域が時間軸（横）方向に伸びた現象（たわみ現象）が確認された。一方、健全部においては、相関の高い領域が周波数軸（縦）方向に伸びた現象（インパルス応答）が現れたことで、画像化による特徴抽出が可能であることが分かった。なお、この欠陥検出は、欠陥深さ

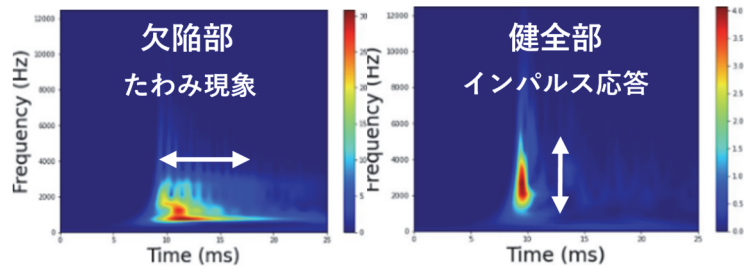


図-2 スカログラム画像の一例

30 mm で直径 150 mm 以上、深さ 50 mm で直径 200 mm 以上において可能であった。

#### 4. AI による打撃音のスカログラム画像の自動分類

欠陥部と健全部で検出したそれぞれのスカログラム画像を「欠陥」と「健全」の二つのラベル付けし、事前学習済み CNN による機械学習を用いて欠陥分類モデルを構築し、そのモデルを使用して「欠陥」評価を行った。CNN は、主に画像認識や動体検知に用いられ、画像に対する高いパターン認識能力があり、素早く識別できる特徴がある。事前学習済みモデルにはオックスフォード大学の Visual Geometry Group により開発された VGG19\_bn を採用した。

##### (1) RC 床版供試体を用いた評価

RC 床版供試体で採取した画像を用い、機械学習による欠陥分類モデル（以下、供試体モデル）を構築した。供試体においては、「欠陥」判断の正答率は 99.6%と極めて高い精度を示した。なお、精度検証は k-分割交差検証を用いて、欠陥部および健全部の画像のうちランダムに抽出した 80 %を訓練用データ、残り 20 %を検証用データとした。

##### (2) 道路橋 RC 床版による評価

供試体モデルを用いて、実際の道路橋 RC 床版で得られたスカログラム画像の自動分類を試みた。道路橋 RC 床版で得られた画像を分類した結果、「健全」の正答率は 98.4 %と非常に高かったものの、「欠陥」の正答率は 46.8 %と低い結果となり、課題を残す結果となった。そのため、道路橋 RC 床版でさらにデータを取得し、道路橋 RC 床版の結果を含めたモデルを再構築し、検証を進めることとした。

道路橋 RC 床版データについては、3つの道路橋（A 橋、B 橋、C 橋）を対象とし、表-1 に示す個数を測定し、供試体データも含めた機械学習による欠陥分類モデル（以下、道路橋モデル）を再構築した。道路橋モデルを用いて、実際の道路橋 RC 床版で得られたスカログラム画像の自動分類を試みた結果を表-2 に示す。いずれの橋梁においても、「健全」の正答率は 100.0 %と極めて高く、特に、C 橋では「欠陥」の正答率も 100.0 %になった。これに対し、A 橋および B 橋の「欠陥」の正答率は 95.2%、97.4 %となった。

表-1 道路橋における測定箇所

	A 橋	B 橋	C 橋
健全	125 箇所	200 箇所	424 箇所
欠陥	126 箇所	182 箇所	430 箇所

表-2 精度結果（正答率）

	A 橋	B 橋	C 橋
健全	100.0%	100.0%	100.0%
欠陥	95.2%	97.4%	100.0%

#### 5. まとめ

供試体および道路橋 RC 床版で打音測定・解析した「欠陥」と「健全」の画像データを用いて、事前学習済み CNN による機械学習で欠陥分類モデルを構築し、その分類モデルを用いて AI 判断を行った結果、実際の道路橋 RC 床版の内部欠陥を精度良く検出できることが明らかとなった。

今後は、社会実装を想定して、本手法の実用化として打音診断ロボットの開発を行い、新しい技術の標準化を目指し、省力化、生産性の実現に向けて、引き続き検証を進め、取り組む所存である。