

# デジタル打音検査と AI・シミュレーションの統合的活用による コンクリートひび割れ診断の検討

原子燃料工業株式会社 正会員 ○松永 嵩, 小川 良太, 匂坂 充行, 磯部 仁博  
東京大学 吉村 忍, 山田 知典

## 1. はじめに

コンクリート構造物のひび割れに関する一般的な点検手法としては、目視検査や打音点検が広く知られており、膨大な数の検査対象を短時間で合理的に調査可能な点検手法である。一方で、課題としては、点検者の経験、技量に依存することや、技能継承が適切に行われていないことが指摘されている<sup>1)</sup>。

このような背景の中、コンクリートの変状に対し、センサを用いた打音検査（以下、「デジタル打音検査」という）の手法が開発<sup>2)</sup>されているが、実構造物においてはひび割れ形状（深さ、長さ、方向等）が多岐にわたるため、これらの影響を網羅的に整備することが難しい。

そこで、本研究では、表面に開口部を有するひび割れを対象に、ひび割れ形状からコンクリート表面における振動特性を推定する AI (Artificial Intelligence) により、ひび割れ形状の推定に必要な、ひび割れ形状とデジタル打音検査の大規模データベースの構築を目的とした。

## 2. デジタル打音検査技術の概要

### 2.1. 測定装置

本研究で用いたデジタル打音検査装置を図 1 に示す。本装置は測定対象を打撃し、励起された振動を広帯域 AE センサで捉える。この振動波形を高速フーリエ変換し、周波数分布を得る。

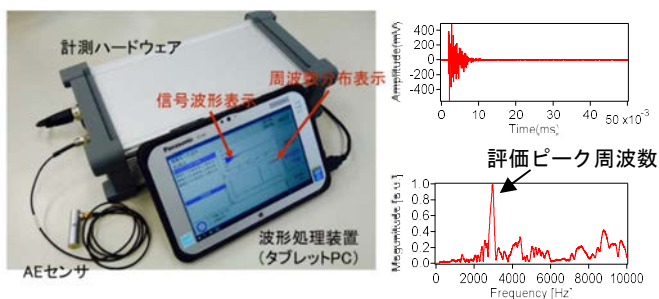


図 1 現場検査装置および評価指標

### 2.2. コンクリートの振動特性

コンクリート表面をデジタル打音検査することで得られる周波数分布のうち、本研究では、縦波共振の固有

振動数とたわみ振動の固有振動周波数に着目した。

これらの固有振動数について、縦波共振の固有周波数は式(1)、たわみ振動は、例えば、長方形で周囲の境界条件が単純支持の場合、式(2)のように表せられる<sup>3)</sup>。ひび割れによる見かけの弾性係数低下や、ひび割れ面上部のかぶり部におけるたわみ振動の発生等により、得られる周波数は健全状態の値より変化する。

$$f = \frac{V}{2D} = \frac{1}{2D} \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\nu^2)}} \left[ \left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right] \quad (2)$$

$f$ :固有周波数[Hz],  $E$ :弾性係数[Pa]  
 $\rho$ :密度[ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $V$ :弾性波速度[m/s],  $D$ :厚み[m]  
 $a, b$ :長方形板の寸法[m],  $h$ :剥離領域の厚み[m]  
 $\nu$ :ポアソン比,  $m, n$ :振動モードの次数

## 3. 大規模データベース化

### 3.1. FEM 解析モデル

図 2 にモデル外観図を示す。解析モデルについては、欠陥がないモデル及び、表 1 に示す欠陥形状をコンクリート表面中央部に模擬したモデルを構築した。

表 1 ひび割れ欠陥形状

欠陥種類	欠陥長さ (mm)※1	深さ(mm)
ひび割れ (垂直)	200, 400, 600, 800, 1000	200
欠陥種類	欠陥長さ (mm) ※2	コンクリート表面とひび割れ面のなす角度(deg.)※2
ひび割れ (斜め)	200	15, 30, 45, 60, 75
	1000	15

※1 ひび割れ幅 1 mm, ひび割れ深さ 200 mm で固定

※2 ひび割れ進展方向は X 方向+側とする。

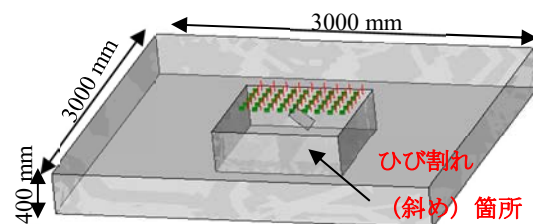


図 2 FEM 解析モデル外観図

キーワード AI, AE センサ, デジタル打音検査, コンクリート, ひび割れ

連絡先 〒590-0481 大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目 950 番地 原子燃料工業株式会社 TEL 072-452-7221

### 3.2. AI 設計

コンクリートのひび割れ形状と FEM 解析で得られるデジタル打音検査による面的な評価結果の関係を機械学習し、欠陥形状からデジタル打音検査結果を出力する順解析 AI モデルを構築した。

全結合ニューラルネットワークに対し、ひび割れ長さ、ひび割れ角度を入力層に、コンクリート表面で得られる面的な周波数を出力層にし、FEM 解析結果を機械学習させた。機械学習モデルの概要を図 3 に示す。

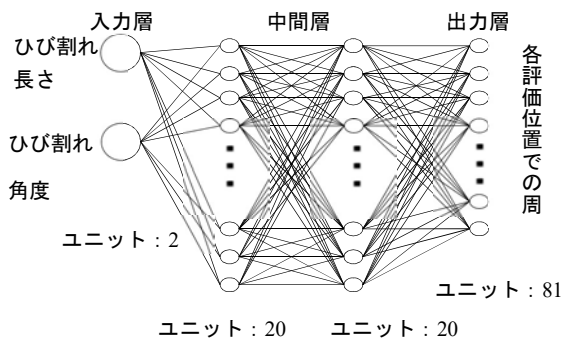


図 3 全結合ニューラルネットワークモデル

### 3.3. AI 順解析モデルの出力

学習済みモデルにひび割れ長さおよびひび割れ角度を与えて周波数を予測した結果の例を図 4 に示す。このようにひび割れ長さや角度に関して包括的に確認することで、コンクリート表面とひび割れ角度都のなす角度が小さくなるほど、式(2)に示すたわみ振動が生じ、周波数は大幅に低下する傾向や、ひび割れ長さが長くなるにつれて、より広範囲で周波数が低下し、周波数の

低下量も増大することがわかる。このようにひび割れ形状とデジタル打音検査で得られる周波数のマップの連続的なデータベースを構築することにより、ひび割れがデジタル打音検査に及ぼす影響を包括的に把握することが可能となり、本データベースを参照することでコンクリート表面の打音検査結果からひび割れ形状を推定することが可能となることがわかった。

### 4. まとめ

本研究では、ひび割れの表面長さや深さ方向の角度に着目して、ひび割れ形状からコンクリート表面における振動特性を推定する AI を用いて、ひび割れ形状の推定に必要な、ひび割れ形状とデジタル打音検査の大規模データベースを構築した。今後の展開としては、ひび割れの深さ方向の変化や複数ひび割れ等の影響を取り入れ、ひび割れ形状推定の高精度化及び現場検証を進めていく計画である。

### 参考文献

- 1) 舟波尚哉, 村上祐貴, 外山茂浩, 小海元暉: 熟達点検者の打音点検動作の形式知化に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1871-1876, 2019.7
- 2) 鎌田敏郎, 浅野雅則, 国枝稔, 六郷恵哲: コンクリート表層部欠陥の定量的非破壊検査への打音法の適用, 土木学会論文, No.704, V-55, pp.65-79, 2002.5
- 3) 日本機械学会: 振動学, 一般社団法人 日本機械学会, p.70-78, 2005

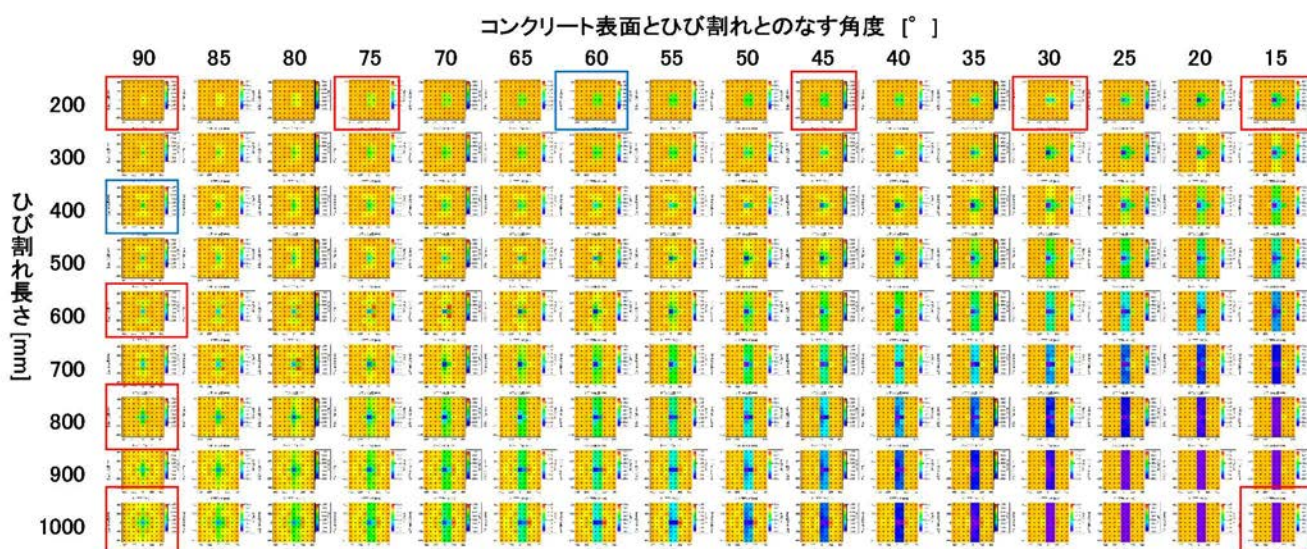


図 4 コンクリート表面のデジタル打音検査結果を学習した AI による大規模データベース化例  
赤枠は学習データ, 青枠は検証データを示す