# 新しい類似性尺度を用いたコンクリート打撃音の異常判定装置

名古屋女子大学	正会員	○神内	教博
西日本高速道路エンジニアリング四国㈱	正会員	橋本	和明
西日本高速道路エンジニアリング四国㈱	正会員	林	詳悟
徳島大学	非会員	福見	稔

### 1. まえがき

コンクリートの打音点検では、点検員の熟練度により損傷の検出結果が異なるという問題がある。本研究では、 コンクリートの2つの打撃音のスペクトルパターンが似ているときには小さな数値を出力し、似ていないときに は大きな数値を出力する新しい類似性尺度<sup>[1][2]</sup>を用いることにより、定量的な打音点検法を実現する。本装置で は最初に、LPCスペクトル分析法を用いて2つの打撃音からそれぞれスペクトルパターンを抽出する。次に、 類似性尺度を用いてこれらスペクトルパターンの類似の程度を距離値として数値化する。そして、検査音と正常 音の間の距離値と、正常音間の複数の距離値を比較することにより、異常部の有無を定量的に判定する。本稿で は、騒音のない基礎データを収集するため、打撃音の代わりに打撃振動波を解析した結果を報告する。

### 2. 打撃振動波のLPCスペクトルパターン

一般にスペクトルパターンの算出方法として、計算量が少なく処理が簡単なFFT(Fast Fourier Transform) が多く用いられている。FFTを用いたとき、信号が定常的である場合には高精度スペクトルが得られるが、 打撃振動波のように信号が過渡的である場合には十分な精度が得られない問題がある。本研究では、計算量が 多く処理が複雑であるが過渡信号に適したLPC(Linear Predictive Coefficient)スペクトル分析法を用いて打撃 振動波からスペクトルパターンを抽出する。図1は、中央の赤枠領域の内部に空洞があるコンクリートを用い て打撃振動波を測定する方法を示している。図1に示すように、打撃側および反対側にそれぞれ振動センサー を配置する。この測定により得られた振動波の1次元LPCスペクトルを図2に示す。図2の左上および左下 は、それぞれコンクリートの正常部分の打撃側および反対側のスペクトルである。これらのスペクトルからコ ンクリートの正常部分では周波数伝達特性が一様であることが分かる。また図2の右上および右下は、それぞ れコンクリートの空洞部分の打撃側および反対側のスペクトルである。これらのスペクトルからコンクリート の空洞部分では周波数伝達特性が一様でないことが分かる。さらに、図3の上段及び下段は、それぞれコンク リートの正常部分および空洞部分について、打撃側の2次元LPCスペクトルを示している。図3より、これ ら2つのスペクトルパターンの特徴が異なっていることが分かる。本装置では、以上で述べた打撃振動波の特 徴をコンピュータが自動識別してコンクリートの異常を判定する。



キーワード パターンマッチング,距離関数,ノイズロバスト

連絡先 〒467-8610 名古屋市瑞穂区汐路町3-40 名古屋女子大学 家政経済学科 TEL052-852-1111

-493-

## 3. 従来の類似性尺度

図4の上段は、スペクトログラムに2個のピークをもつ標準パターンと、第1ピークの位置がそれぞれ異な る入力パターン 1、2、3 を示している。図4の下段左の棒グラフは標準パターンと各入力パターン 1、2、3 との間のユークリッド距離 e<sub>1</sub>、e<sub>2</sub>、e<sub>3</sub>を示しているが、従来のユークリッド距離やコサイン尺度では3つの入 カパターンを区別できない。図5の上段は、平坦なスペクトログラムをもつ標準パターンと、平坦なスペクト ログラムの上に「ゆらぎ」が発生した入力パターン 4、5、そして1個のピークをもつ入力パターン 6 を示し ている。図5の下段左の棒グラフは、標準パターンと各入力パターン 4、5、6 との間のユークリッド距離 e<sub>4</sub>、 e<sub>5</sub>、e<sub>6</sub>を示しているが、従来のユークリッド距離やコサイン尺度では3つの入力パターンを区別できない。

#### 4. 新しい類似性尺度

上記の問題を改善するため新しい類似性尺度のアルゴリズムでは、図6及び式(1)に示すように最初に、標 準パターンと入力パターン間の形状差を、初期形状が正規分布である基準パターンの形状変化に置き換える。

$$r_i \leftarrow r_i + (x_i - s_i) \qquad (i = 1, 2, 3, \cdots, m) \tag{1}$$

次に、式(1)により形状変化した基準パターンにおいて、その形状変化の大きさを式(2)を用いて積率比の変化 量として数値化する。  $\left\{\sum_{i=1}^{m} r_i\right\} \cdot \left\{\sum_{i=1}^{m} (L_i)^4 \cdot r_i\right\}$ 

$$A = \frac{\left\{\sum_{i=1}^{m} r_i\right\} \cdot \left\{\sum_{i=1}^{m} (L_i)^4 \cdot r_i\right\}}{\left\{\sum_{i=1}^{m} (L_i)^2 \cdot r_i\right\}^2} - 3$$
(2)

そして図7に示すように、正規分布の中心軸が標準パターンと入力パターンの任意の成分位置に移動した場合 を考え、成分位置*j*ごとに積率比*A<sub>j</sub>*を計算し、式(3)を用いて1次元形状距離*d*を算出する。これにより、図 4及び図5の下段右の棒グラフに示す特徴をもつ類似性尺度が得られる。

# 5. 異常検知アルゴリズム

$$d = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (A_j)^2} \tag{3}$$

本研究では、打撃側のセンサーから得られる振動波(または打音)だけを用いてコンクリートの異常を検知 することを目的としている。図2の左上および右上、或いは図3より、空洞部分のスペクトルパターンは正常 部分のそれに比べてパターン形状が異なっていることが分かる。そこで、検査部分と正常部分のスペクトルパ ターンの形状差を、新しい類似性尺度を用いて数値化し、数値がしきい値を越えたとき異常と判定する。

## 6. むすび

打撃振動波を対象として実験室内において、LPCスペクトル及び新しい類似性尺度を用いた異常判定装置 の有効性を確認した。今後は、打音を対象として本装置の有効性を検証し、フィールドテストを行う。

#### 参考文献

- [1] M. Jinnai, S. Tsuge, S. Kuroiwa, F. Ren and M. Fukumi. "New Similarity Scale to Measure the Difference in Like Patterns with Noise", *International Journal of Advanced Intelligence*, Volume 1, Number 1, pp.59-88, November, 2009, http://www.soundid.net/
- [2] M. Jinnai, S. Tsuge, S. Kuroiwa and M. Fukumi. "A New Geometric Distance Method to Remove Pseudo Difference in Shapes", *International Journal of Advanced Intelligence*, Volume 2, Number 1, pp.119-144, July, 2010, http://aia-i.com/ijai/contents.htm

