

打音によるコンクリートの損傷深さの推定

名古屋女子大学 家政経済学科 正会員 ○神内 教博
 西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 正会員 橋本 和明
 西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 正会員 林 詳悟
 徳島大学 知能情報工学科 非会員 福見 稔

1. まえがき

コンクリートの打音点検では、点検員が集中して連続打音を聞き分けることは大きな負担であり、見逃しにつながる恐れがある。そこで本研究では、点検員がコンクリートを連続的に打撃しながらリアルタイムに異常判定を行う携帯型の装置を開発している。^{[1],[2]} 本装置では最初に、コンクリートを連続的に打撃したときのマイクロホン出力信号から個々の打音を自動的に切り出し、線形予測係数法(Linear Predictive Coefficient)を用いてLPCスペクトルパターンを抽出する。次に、“形状距離”^{[3],[4]}と呼ばれる新しい類似性尺度を用いて、この解析用打音のスペクトルパターンと予め学習しておいた教師用打音の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、得られた距離値を用いて、閾値法またはトンプソンの棄却検定法により解析用打音の異常判定を行う。本手法の有効性を検証するため、供試体を用いてコンクリートの損傷の深さを推定する実験を行った。本稿において、得られた実験結果を報告する。

2. 検討方法

2. 1. 供試体

打音点検において、コンクリート表面にひび割れなどの損傷を確認できる剥離は、目視情報だけでなく、打音にも大きな違いがあるため検出が容易である。しかし、剥離に至る過程の浮きの状態の検出には、打音の高度な聞き分けが必要であり、点検員の個人差が出やすい。これを踏まえて、本検討では人為的に内部に空洞を持つ供試体を用いて検討を行った。検討に用いた供試体の形状を表-1に示す。実際の打音点検では、橋梁の打撃部位により形状が異なるため、供試体の大きさの異なる2種類とし、疑似損傷である空洞の種類と厚さを変化させて検討を行った。

表-1 供試体の形状

供試体	大きさ (mm)	空洞深さ (mm)	損傷部の大きさ (mm)	空洞の厚さ種類
500-20	500×500	20	150×150	発泡スチロール t=10mm
500-40		40		
500-60		60		
200-20	200×200	20	80×120	空洞 t=20mm

2. 2. 供試体の打撃方法

コンクリート表面を点検ハンマーで打撃し、測定面の近傍500mm程度の距離に配置したマイクロホンにて打音を録音した(図-1)。以下では、それぞれの空洞部分の打音データを“異常”と呼び、空洞部の周囲の空洞のない部分の打音データを“健全”と呼ぶこととする。

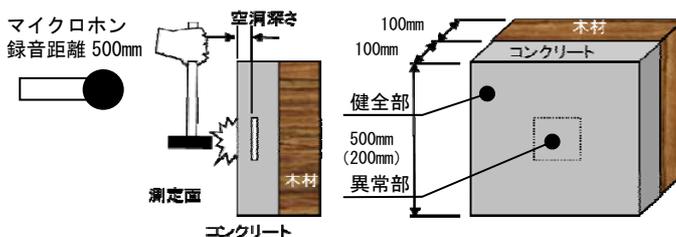


図-1 打撃および録音概要図

3. 教師用打音データの録音

本研究では、コンピュータが教師用打音のスペクトルパターンを予め学習しておく方法を採用する。本稿では、コンクリートの損傷の深さを推定するために、空洞があるコンクリート表面を打撃して教師用打音データを録音する。すなわち、表-1の“500-20”, “500-40”, “500-60”, “200-20”のそれぞれについて5回ずつ打撃し、4種類×5回=20個の教師用打音データをコンピュータが学習する。なお、教師用打音データの録音では、それぞれの打撃を別々の録音ファイルに記憶する。図-3の左下は、教師用打音のマイクロホン出力信号波形を示している。また図-3の右下は、この信号波形から抽出したLPCスペクトル(周波数-パワー)を示している。分析条件は、標本化周波数 48kHz, 量子化16ビット, フレーム幅84msec, LPC次数44次, 周波数範囲0Hz~24000Hz, 周波数分解能46.9Hz, 対数利得0dB~-80dBとした。

キーワード 打音点検, 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 E-mail : mjinnai@nagoya-wu.ac.jp

4. 解析用打音データの録音

各供試体とも、健全、異常を交互に10回ずつ打撃して、280個の打音データを1つの録音ファイルに記憶する(図-2)。図-3の左上は、280個の連続する打音から1個の打音を自動的に切り出した解析用打音のマイクロホン出力信号波形を示している。また図-3の右上は、この信号波形から抽出したLPCスペクトル(周波数-パワー)を示している。分析条件は、教師用打音データと同じである。

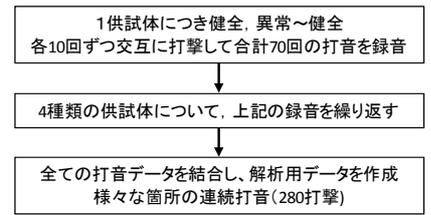


図-2 解析用打音作成手順

5. コンクリートの損傷深さの推定

解析用打音から切り出された1個の打音のLPCスペクトルパターンは、20個の教師用打音のLPCスペクトルパターンとそれぞれ形状比較され、形状が似ているときには小さな形状距離値が、形状が似ていないときには大きな形状距離値が出力される。そして、20個の教師用打音のうち最も似ている(最小距離値をもつ)データが図-3の最下段の1行に出力される。図-4は、連続して打撃した280個の打音について、形状距離値の分布を示している。形状距離は角度の次元をもっている。^[4] 閾値として距離値4を設定したとき4以上の打音を健全と判定し、4未満の打音を異常と判定する。表-2は、総数121個の“異常 500-20”, “異常 500-40”, “異常 500-60”, “異常 200-20”, 及び、総数159個の“健全”について、正しく判定された数と誤判定の数をまとめた判定結果を示している。図より、健全であるか異常であるか正しく判定できた割合は274/280=97.9%であり、損傷の深さを正しく推定できた割合は108/121=89.3%であることが分かる。本稿の目的は損傷の深さを推定することであるから、“異常 500-20”, “異常 500-40”, “異常 500-60”, “異常 200-20”を教師用データとした。

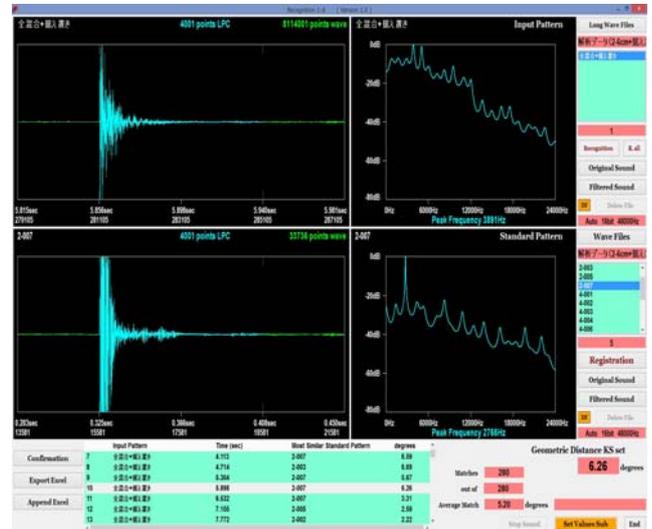


図-3 教師用打音と解析用打音のパターンマッチング

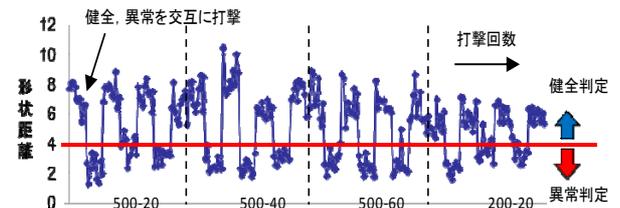


図-4 連続打撃データの形状距離と判定結果

6. むすび

供試体を用いて、形状距離パターンマッチング法によるコンクリートの損傷深さの推定を行い、その有効性を確認した。今後は、フィールドテストを行い本手法の有効性を検証する。本稿では、1次元形状距離を用いてパターンマッチングを行った。今後、2次元形状距離^[5]を用いてパターンマッチングを行い、性能を検証する。

表-2 打音判定結果クロス集計表

異常と健全の別	供試体	損傷の大きさ	判定装置による推定損傷深さ(数値は度数を示す)					総計
			20mm	40mm	60mm	20mm	健全	
異常	500-20		29				1 (誤判定)	30
	500-40	150x 150mm		29	1 (誤判定)			30
	500-60			7 (誤判定)	22		2 (誤判定)	31
	200-20	80x 120mm				28	2 (誤判定)	30
健全			1 (誤判定)				158	159

参考文献

[1] 神内, 橋本, 林, 福見. “新しい類似性尺度を用いたコンクリート打音の異常判定装置”, (社)日本非破壊検査協会, 鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験部門シンポジウム, コンクリート構造物の非破壊検査論文集 Vol. 4, pp.335-344, 平成24年8月

[2] 神内, 橋本, 林, 福見. “新しい類似性尺度を用いたコンクリート打音の異常判定装置”, 土木学会第67回年次学術講演会, VI-247, 平成24年9月

[3] 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/>

[4] 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://ai-a.com/ijai/contents.htm>

[5] M. Jinnai, N. Boucher, J. Robertson and S. Kleindorfer. “Design considerations in an automatic classification system for bird vocalisations using the Two-dimensional Geometric Distance and cluster analysis”, *ICA 2010*, 130, Sydney Australia, August, 2010