レーザーリモートセンシング装置を用いたコンクリート内部欠陥探傷 - (3)欠陥検出アルゴリズムの構築 -

元(財)鉄道総合技術研究所	正会員	〇羽矢	洋		
(財)鉄道総合技術研究所	正会員	篠田	昌弘	正会員	大村 寛和
(財)レーザー技術総合研究所	正会員	島田	義則	非会員	オレク゛ コチャエフ
西日本旅客鉄道(株)	正会員	御崎	哲一	正会員	坂本 保彦
東京工業大学	非会員	内田	成明		

1. はじめに

近年の鉄道トンネル覆工表面のコンクリート剥落事故対策等に見られるようにコンクリート構造物の安全性を 網羅的、正確に把握し、適切な維持管理を行う必要性が高まっている。リモートセンシングを用いる非破壊検査 技術は多くの手法が研究され、実用に供されている。筆者等が目標とする手法は表面加振および表面振動の検出 の両方をレーザー光を用いて行うものであり、この技術の確立によって非接触探傷、遠隔探傷、および高速での 探傷が可能となる。ここでは、実構造物の健全部と欠陥部(健全・浮き等)を対象に実施したハンマー打撃によっ て発生するコンクリート表面の振動を表面に接触させた加速度計で収録したデータおよび打音収録データの各々 の解析結果とその結果に基づく欠陥検出アルゴリズムの構築について報告することとする。

2. ハンマによる加振実験

構造物に対し,ハンマ打撃によって発生す るコンクリート表面の振動を表面に接触さ せた加速度計(図1左)で収録した。(以下 表面加振試験とよぶ。)さらに打音データ収 録(打音試験)を実施し(図1右),内部欠 陥や材料劣化に伴う特徴的な周波数分布に 着目した整理・分析を実施した。コンクリー ト表面の打撃は、点検ハンマを用いて行った。 表面加振試験に用いた圧電型加速度センサ は接着剤で固着させ、また、打音試験に用い



図1 表面加振試験および打音試験状況

た集音マイクロフォンはコンクリート表面打撃位置からからの距離を 100 mmとした。表面振動および打音の収録 では、クラック開口部近傍、空洞箇所上面等不健全部直上を打撃することで意図的に不健全部における特徴音を 出させるとともに、比較のため欠陥を有さない箇所についても打撃することで健全箇所の波形収録を行った。振 動、打音各々の波形についてサンプリング周波数は 250KHz、収録時間は打音が十分に減衰するまでの時間として 1.3sec、分解能は 16bit の条件により収録を行った。なお、打音波形の解析においては人の可聴領域を大きく上 回る 50KHz までを取り扱うことした。打音、コンクリート表面の振動波形収録、および打音収録に用いた計測シ ステムの概要を表1に示す。

計測シフテム概画

主 1

ス1 前例マバノム院安						
機器名称	打音・加速度収録システム	マイクロホン	加速度ピックアップ			
	分解能:16bit	MI-1531 型	NP-2910 型			
仕様	サンフ゜リンク゛レート:500kH z	適用周波数:~100kHz	適用周波数: 0.1~50 k H z 外			
	測定チャンネル:最大 2ch		寸:10×10×8、質量:2 g			
外観			B			

キーワード:コンクリート,レーザー超音波,非破壊検査,表面振動,FFT,打音,診断,健全度 連絡先 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 基礎・土構造研究室 TEL042-573-7262

3. 健全部および欠陥部加速度波形の解析結果

振動および打音の解析は、高速フーリエスペクトル解析を実施した。解析条件としては、窓関数として Hanning を使用し、計算時間は130msec とした.分析結果の代表例を以下に記す。

(財)鉄道総合技術研究所では、これまで大型コンクリート供試体や実構造物に対し、ハンマ打撃によるコンクリート表面振動加速度収録および打音収録試験を実施してきている。また、これらの収録波形に対してフーリエスペクトル解析等を実施し、打撃による発生表面振動と発生音の振動数特性等を分析し、両者の一致を確認してきた。図2は不健全箇所に対して実施した試験のフーリエスペクトル解析結果であるが、振動数特性が一致していることが分かる。また、欠陥部と健全部の加速度波形に対するフーリエスペクトル解析結果等により振動数特性の違いを分析してきた。図3は健全箇所と不健全箇所



に対して収録した加速度波形のフーリエスペクトル解析結果である。図4の健全箇所の結果を見ると2000Hzより 高い領域に振動数成分が多在しているのに対し,不健全箇所の結果を見ると2000Hzより低い領域に振動数成分が 多在していることがわかる。また,この他の多数のデータについても同様の傾向が得られており,フーリエスペ クトル解析結果を用いることで,欠陥の有無の判定が可能となった。

4. 欠陥アルゴリズムの構築

3では、表面振動の実測結果をフーリエスペクトル解析することで欠陥の有無の判定の可能性があることを検 証してきた。これよりフーリエスペクトルでは、周波数帯域の分布状態に着目し、周波数帯域がより低い領域に 多在すると欠陥有り、高い流域に多在すると欠陥無しという判断が可能であることが確認された。そこで、コン クリート欠陥供試体の模型試験と現地計測の結果に基づいて、欠陥検出アルゴリズムを構築した。図4に健全部 と不健全部のフーリエスペクトルの代表的な形状を示す。

欠陥を判定する指標としては,式(1)に 示すように,図4に示すフーリエスペクト ルの縦軸である加速度と横軸の周波数と の間に挟まれる全周波数域の面積 A_1+A_2 に 対して,ある周波数閾値より低周波数域の 面積 A_1 の割合とした。

$$R_{LF} = A_1 / (A_1 + A_2) \tag{1}$$

ここで, *R*_{LF}をスペクトルスコア¹⁾とした。 スペクトルスコアが大きいほど不健全で あり,スペクトルスコアが小さくなるほど 健全と判定できる。ここで, A₁と A₂を分け



る周波数閾値は、コンクリート欠陥供試体の模型試験結果と現地計測結果から決めることとなる。この周波数閾 値の検討については続いての発表(4)で示すこととする。

なお、今回紹介した一連の研究成果は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構による公募型テーマ「運輸分野における基礎的研究推進制度研究課題」の中で行ったものである。

参考文献 1) 大村寛和,羽矢洋,島田義則: レーザー超音波リモートセンシング装置を用いたコンクリート内部欠陥探傷 - (2)-ハンマー打撃によって発生する実構造物の表面振動・打音解析結果と欠陥検出アルゴリズム,土木学会全国大会,2008.