

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 -

(財)鉄道総合技術研究所	正会員	○大村 寛和
(財)鉄道総合技術研究所	正会員	羽矢 洋
レーザー技術総合研究所	正会員	島田 義則
東京工業大学	非会員	内田 成明
西日本旅客鉄道(株)	正会員	中川 晋一

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。超音波を用いる非破壊検査技術は種々の材料に対して適用できるため、その欠陥や疲労状態を検出する方法と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、事前検討として実構造物であるボックスカルバートの健全部と欠陥部(健全・浮き等)を対象に実施した



写真-1 試験対象構造物

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. 打音および加速度波形の解析結果

ボックスカルバートに対し打撃試験を行い、得られた打音および表面加速度波形データに対しフーリエスペクトル、ウェーブレット解析を行った。以下に、比較検討結果を示す。

図1、図2は、欠陥部(第3者災害に結びつきそうな浮き音がする箇所)打撃時の打音および表面加速度波形のフーリエスペクトルおよびウェーブレット解析結果である。各解析結果を見ると強度の違いはあるが、周波数分布および振動時間特性がともにほぼ類似する結果となった。従って、現在人間が打音により判断している欠陥の有無は、表面振動を実測することにより判定が可能であると言える。

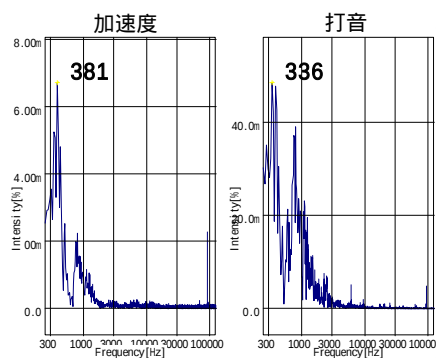


図1 欠陥部の表面加速度・打音波形のスペクトル解析結果

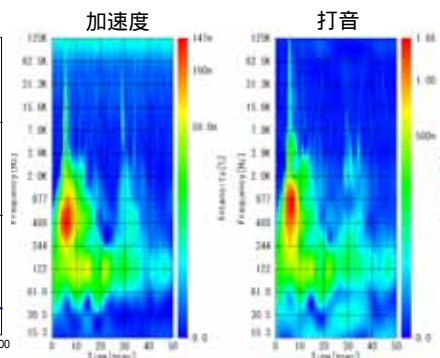


図2 欠陥部の表面加速度・打音波形のウェーブレット解析結果

3. 健全部および欠陥部加速度波形の解析結果

加速度波形のフーリエスペクトルとウェーブレット解析の各々について健全部と欠陥部の比較検討を行った。図3、図4に、ボックスカルバートの健全部および欠陥部(第3者災害に結びつきそうな浮き音がする箇所)に対する打撃試験で得られた表面加速度波形に対する各解析結果を示す。

図3の欠陥部のフーリエスペクトルの結果を見ると2000Hzより低い域に振動数成分が集中しているのに対し、健全部の結果を見ると2000Hzより高い域に振動数成分が多在しているこ

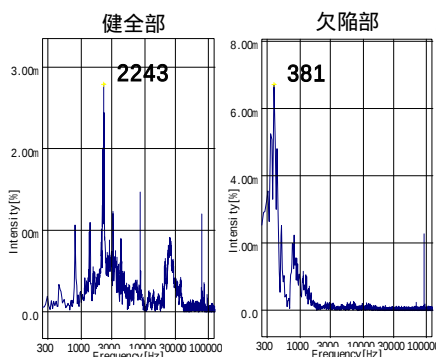


図3 健全部と欠陥部の表面加速度のスペクトル解析結果

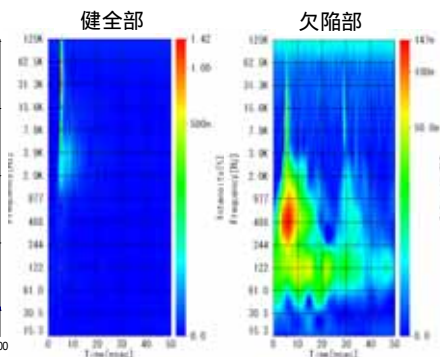


図4 健全箇所と欠陥部の表面加速度のウェーブレット解析結果

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

とがわかる。また図4の欠陥部のウェーブレットの結果を見ると2000Hz以下の周波数帯域が25～50msec程度まで残留しているのに対し、健全箇所の結果を見ると2000Hz以下の周波数帯域の残留は無く、2000kHz以上の周波数帯域が10msec以内の残留に留まっており、全周波数帯域を見ても減衰が比較的早いことが分かる。以上のことから、欠陥部は健全部と比べ低い域に振動数成分が存在しており、振動の残留時間も比較的長いという結果となった。従って、フーリエスペクトルとウェーブレット解析により、周波数分布と時間・周波数特性に着目した検討を行うことで、欠陥の有無の判定が可能であると言える。

4. 欠陥アルゴリズムの構築

ここでは、3の結果を受けフーリエスペクトルによる周波数帯域の分布状態およびウェーブレットによる時間・周波数特性を表す指標を算出する方法について記述する。フーリエスペクトルについては、図5に示すフーリエスペクトルと振動数軸との間に挟まれる全周波数域の面積 A_1+A_2 に対して、ある閾値より低周波数域の面積 A_1 の割合 $A_1/(A_1+A_2)$ を指標とした。従って、算出された値が大きいほど欠陥の程度が大きくなる。

$$\text{評価式} : R_{LF} = A_1 / (A_1 + A_2)$$

(R_{LF} 小→健全部 R_{LF} 大→欠陥部)

なお、今回は閾値として2000Hzを用いて算出した。

ウェーブレットによる評価として、時間・周波数領域にわたる重み係数処理を行うことにより1つの指標を算定する。これはスロープスコア^{1),2)}というもので、被検査対象構造物の材料強度特性、欠陥の有無、境界条件の良否といった性状を総合的に評価するための指標である。ウェーブレット解析結果に考慮するスロープ補正係数については図6に示すとおり、周波数方向については高周波数側に大きい値Aを、低い周波数側に小さい値Bを考慮する。また、時間方向については時間経過方向側に小さい値Dを考慮する。今回は既往の研究¹⁾を参照し、 $A=5.0$ 、 $B=-0.5$ 、 $C=3.0$ 、 $D=-0.5$ として算出した。

5. 欠陥評価アルゴリズム構築の試み

4の指標に基づき、ボックスカルバートの収録データを当てはめ、欠陥評価アルゴリズム構築を試みた。なお、目視と耳で聞き分けた音で判断した欠陥の程度についてはA:旅客および公衆などの安全を脅かす欠陥と判断したもの、B:将来的にAになりそうなもの、C:健全箇所として記号で区分した。フーリエスペクトルの評価については、0.20以上でA、0.08から0.20でB、0.08以下健全な箇所Cと区分できる。ウェーブレットによる評価法ではAまたはBについては200以下であり、Cは200以上と区分できる。なお、ジャンカ箇所についてはデータが非常にばらつき、判断できなかった。以上より、表面加速度波形に対し、全周波数域に占める低周波数の割合の算出とスロープスコアの算出の2つの評価により、欠陥の程度を評価するアルゴリズムを構築することが可能であるといえる。ただし、閾値や重み係数については今後も精査していく必要がある。

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。

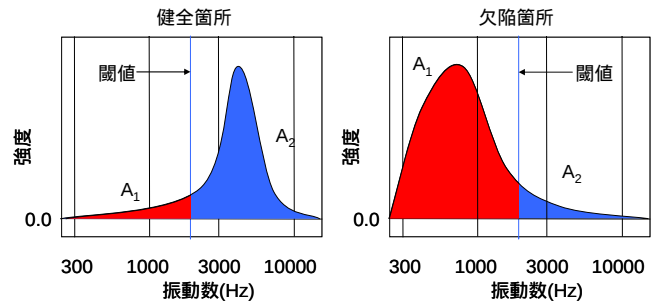


図5 フーリエスペクトルイメージ図

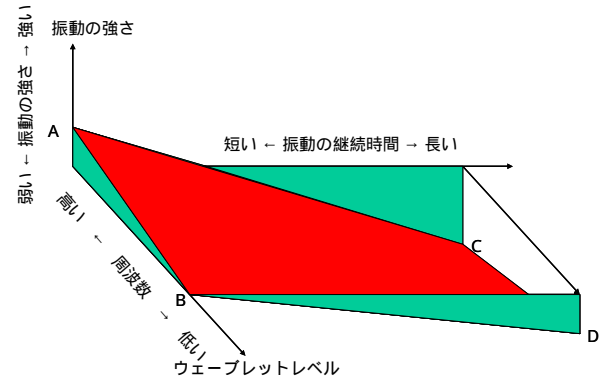


図6 ウェーブレットで考慮するスロープ補正係数

表1 各評価法算出結果と目と耳による判断

変状概要	フーリエ スペクトル	ウェーブ レット	目視と耳に よる判断
健全な箇所	0.04	220	C
浮き	0.15	197	B
ジャンカ箇所			A
広範囲の浮き	0.12	162	B
強度不足	0.09	160	B
第3者災害に結び つきそうな浮き	0.42	6	A

参考文献 1) 渡部聡子、羽矢洋：打音解析法の提案と変状発生箇所への適用事例、第24回日本道路会議、平成13年、2) 魚本健人、他：コンクリート構造物の検査・診断、：非破壊検査ガイドブック（単行本）理工図書、平成14年