音響探査法を用いたコンクリート表層欠陥探査技術の開発

ースペクトルエントロピーを用いた欠陥検出アルゴリズムの検討―

桐蔭横浜大学	正会員	○杉本	和子
桐蔭横浜大学	正会員	杉本	恒美
佐藤工業(株)	正会員	黒田	千歳
佐藤工業(株)	正会員	歌川	紀之
明篤技研		片倉	景義

・・・・・ 目的信号の抽出

1. はじめに

コンクリート構造物の非破壊検査法として,空中放射音波とレーザードップラ振動計を用いた非接触音響探 査法を検討している¹⁻²⁾。この手法においては,計測対象の表面状態(反射率や汚れ等)に依存した受光漏れ (レーザ光の戻り光量の減少)に起因する光学ノイズが生じる。発生する光学ノイズの周波数特性は白色雑音 に似ているために,欠陥検出を振動エネルギー比だけに頼っていると,受光漏れによる光学ノイズを欠陥部と して検出してしまう可能性がある。そのため,今回は振動エネルギー比とスペクトルエントロピーを併用して, 健全部・欠陥部・計測不良点の判定を行い,欠陥部位をより鮮明に検出するアルゴリズムについて検討を行っ た。

2. スペクトルエントロピーを用いた欠陥検出アル ゴリズム³⁾

振動速度波形の受光漏れした光学ノイズは,外部 雑音により大きな振動振幅として検出される。この 信号の周波数特性は白色雑音に近い特性を示す。そ こで,信号の白色性を表す特徴量であるスペクトル エントロピーHを導入する。これは,信号のスペク トルを確率分布と見なし,情報エントロピーを計算 したもので,次の式で定義される。

$$H = -\sum_{f} p_{f} \log_{2} p_{f}$$

$$p_{f} = \frac{S_{f}}{\sum S_{f}}$$
(1)

ここで、*Se*は測定点での振動速度の振幅スペクトル である。*H*はスペクトルが均一な白色信号では高い値 となるので、受光漏れによる計測不良点、及び、計測 された健全部は、共に高い値を示す。これに対し、振



時間周波数ゲート処理

図1 スペクトルエントロピーと振動エネルギー比を用いた欠 陥検出アルゴリズム

動エネルギー比(ある周波数帯での振動速度のパワースペクトルの和を振動エネルギーに対応する値とみなし, 計測された健全部で振動エネルギーが最も低い値を健全部の基準として計算する)を考えると, 欠陥部と計測 不良点では健全部に比べて明確に高い値を示す。これらの特徴量を組み合わせて, 図1のように非接触スキャ ニング振動システムの欠陥検出アルゴリズムを提案する。経験により閾値を適切に選択すれば, 欠陥部・健全 部・計測不良点の識別が可能となる。

3. 実構造物での適用例

3-1 実験方法

キーワード; コンクリート欠陥, 非破壊検査, 非接触音響探査法, 長距離音響発生装置(LRAD), スキャニング振動計(SLDV) **連絡先**: 〒225-8503 神奈川県横浜市青葉区鉄町 1614 TEL 045-974-5264 or 045-974-5059 FAX 045-972-5972

非接触音響探査法では、長距離音響放射装置(LRAD: Long Range Acoustic Device)を音源とし、音源から発した平面波音波により 計測対象面を励振し、励振時の面上の振動速度をスキャニング振 動計(SLDV:Scanning Laser Doppler Vibrometer)を使用して2次 元的に計測する。計測点での振動速度波形について、音源からの 直達波・対象面からの反射波によりレーザヘッドが振動して生じ る光学ノイズを軽減するため、時間ゲート処理(音波とレーザ光 の伝搬速度差を用いた時間分離法)で目的信号を抽出する。周囲 構造物からの反射波(残響)によるノイズを低減するために、周 波数ゲート処理(同期を考慮して周波数制限信号により送波の目的の 周波数帯域を分離抽出)を行う。FFTの後,提案した欠陥検出アルゴ リズムを適用する。

3-2 実験結果

実験データは、名古屋大学の N²Ubridge (鋼鈑桁橋)の計測結果を用 いて解析した。図2は各測定点でのエネルギー比の値を表し、図3 は各測定点でのスペクトルエントロピーHの値を表す。測定点 32 は エネルギー比が低く、Hが高く、健全部の特徴を示す。測定点53は エネルギー比と H が両方高い値で,計測不良点の特徴を示す。計測 点 35 と 43 は、図2のエネルギー比が健全部に比べて有為に高い値 を示し, 図3でHは健全部や計測不良点に比べて有為に低い値を示 し、欠陥部とわかる。図2及び図3を1つにまとめると、図4にな る。縦軸はスペクトルエントロピーH、横軸はエネルギー比を示す。 図の左側に健全部の測定点,右側上方に計測不良点,右側下方に欠陥 部の測定点が見られる。図5は対象面の振動エネルギー比分布で, 右図は、左図に本手法の欠陥抽出アルゴリズムを適用したものである。 図中下部の白枠は打音点検により判明した浮き箇所で,欠陥部とその 輪郭の映像がより鮮明に再現されている。

4. まとめ

非接触音響探査法の欠陥検知アルゴリズムとして,従来の振動エネ ルギー比に加えてスペクトルエントロピーを組み合わせた欠陥検出

ート構造物を用いた実験結果より、本 (em) 手法の有効性を確認することができた。 今後は適用範囲を広げるためにスペク トルエントロピーの閾値の決定方法等 について検討を加えていく予定である。 参考文献:

アルゴリズムを検討した。実コンクリ

- 1) R.Akamatsu, T.Sugimoto, N.Utagawa and S.Tsujino, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.52, 07HC12, (2013)
- 2) K.Katakura, R.Akamatsu, T.Sugimoto and N.Utagawa, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.53, 07KC15, (2014)



(a)

88.0

77.0

66.0

図5 振動エネルギー比分布 (a) 従来法, (b) 提案手法

3) K.Sugimoto, R.Akamatsu, T.Sugimoto, N.Utagawa, C.Kuroda and K.Katakura, Proc. of Symposium on Ultrasonic. Electronics, Vol. 35, pp. 255-256, (2014)







30

Measured Point

40

60

(dB

50

0

10

20



図4 振動エネルギー比とスペクトルエントロ

(b)

14.0 28.0 42.0 56.0 70.0 84.0

(cm)

Distance

ピーによる判定結果例

88.0

77.0

66.0

44.0

0.0

0.0

(dB)

(em)