

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：32717

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04414

研究課題名（和文）空間スペクトルエントロピーと健全部評価による非接触音響探査法の欠陥検出の検討

研究課題名（英文）Study on defect detection by spatial spectral entropy (SSE) and healthy part evaluation for noncontact acoustic inspection

研究代表者

杉本 和子 (Sugimoto, Kazuko)

桐蔭横浜大学・工学研究科・研究員

研究者番号：60642171

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：非接触音響探査法は、非接触で遠隔から非破壊検査を実施し、複合材料、特に、コンクリート内部欠陥を検出し、映像化する技術である。実験方法としては、可聴域の空中音波で検査対象を加振させ、走査型レーザドップラ振動計を使って、対象面の2次元振動速度分布を測定する。データ解析法として、空間スペクトルエントロピー（SSE; Spatial Spectral Entropy）を提案し、測定面上の内部欠陥の共振周波数とレーザドップラ振動計の共振周波数を検出し、両者を識別できる。SSE解析で検出された共振周波数帯に絞って映像化すれば、様々なノイズを軽減でき、欠陥部と健全部を識別可能な内部欠陥画像が得られる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Shannon's entropyの原理に基づくSSEを用いれば、面的波動計測データから、周波数空間上の物理量分布を見分けられ、学術的意義が大きい。音響探査では、対象面の内部欠陥の共振周波数およびレーザドップラ振動計のヘッドの共振周波数の検出ができ、両者を識別できる。近年、橋梁やトンネル等のコンクリート構造物の劣化が社会問題となり、その点検・補修・更新が重要である。本手法では、遠隔から内部欠陥の検出が可能で、高所足場の設置が必要ない上、熟練者による経験と判断に依存する叩き点検と異なり、定量的データの取得・解析ができる。少子化に伴う叩き点検の後継者不足の解決にも繋がるため、社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：The non-contact acoustic inspection method is a technology that performs non-destructive inspection without contact and remotely to detect and visualize internal defects in composite materials, especially concrete. In the experimental method, the object is forced to vibrate with airborne sound waves in the audible range, and a scanning laser Doppler vibrometer is used to measure the two-dimensional vibration velocity distribution on the target plane. As a data analysis method, 'Spatial Spectral Entropy (SSE)' is proposed, which detects the resonance frequency due to the internal defect on the measured plane and the resonance frequency due to a laser Doppler vibrometer, and can distinguish between the two. By narrowing down the visualization frequency to the resonance frequency band detected by the SSE analysis and visualizing it, various noises can be reduced and an acoustic internal defect image that can distinguish between the defective part and a healthy part can be obtained.

研究分野：複合領域（応用物理，波動計測，音響，非破壊検査）

キーワード：非接触音響探査法 非破壊検査 Spatial Spectral Entropy 空間スペクトルエントロピー SSE SSE  
解析 共振周波数 レーザドップラ振動計

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

図1は、非接触音響探査(Noncontact Acoustic Inspection)法により探査した実コンクリート構造物の例である。左は橋梁の床版部を、右はコンクリート壁で囲まれた地下大空洞施設の壁面を探査した。図2は、図1の解放空間(左図)と閉鎖空間(右図)における健全部の測定で得られた振動速度スペクトルの例である。解放空間は青色、閉鎖空間はオレンジ色で表されている。閉鎖空間では、コンクリート壁からの多重反射音波によりレーザドップラ振動計のレーザヘッドの共振ピークが高くなり、共振周波数帯域も広がっている。内部欠陥の音響画像は、振動エネルギー比により計算され、欠陥の共振ピークでないピーク群が存在すると、エネルギー計算における積分値が大きくなり、音響画像に悪影響を及ぼす。レーザドップラ振動計のレーザヘッドの共振によるピークと、内部欠陥による共振ピークを識別する必要があった。そこで、考案したのがSSEである。欠陥検出アルゴリズムで用いたスペクトルエントロピー(SE; Spectral Entropy)の概念を空間に拡張して、閉鎖空間での実コンクリート構造物の探査結果に適用することにした。同時に、コンクリート供試体の実験結果に適用し、SSEの効果を検証した。また、閉鎖空間は、大規模コンクリート構造物のため、吹付けコンクリートで施工されていた。表面が滑らかなコンクリートとは異なる吹付けコンクリートに対して検証するため、吹付けコンクリートによる供試体を作製してもらい、非接触音響探査法の実験を行い、SSEの効果を検証することにした。

## 2. 研究の目的

非接触音響探査法では、遠隔から非接触を達成するため、空中音波で対象物を加振させている。離れた対象物を加振させるには、大音量のスピーカーが必要となり、それに適した長距離音響発生装置が使われている。コンクリート供試体では、5-7mの距離で測定を行っているが、実際のコンクリート構造物では、33m離れた遠距離から橋梁の床版を測定し、25m離れた遠距離から地下空洞コンクリート施設の壁面といった対象物に対して実験を行った。前者は、ほぼ解放空間であるが、後者は閉鎖空間であるため、コンクリート壁面からの空中音波の多重反射や反響が大きく、その影響がレーザヘッド内部のガルバノ・ミラーなどを振動させ、レーザヘッドの共振を引き起こした。レーザドップラ振動計は、高感度なため、微細な振動を検出できる反面、自らの共振振動も検出されるため、測定データ上に、測定対象の内部欠陥を含む振動ピーク群と共に、レーザヘッドの共振ピークも、同時に測定される。ノイズを低減するため、内部欠陥に起因する共振ピーク群と、振動速度スペクトル上のレーザヘッドによる見かけの共振ピークを識別して、不要なノイズを除外して振動エネルギー比を計算することが本研究の目的であった。

## 3. 研究の方法

非接触・非破壊で遠隔から複合材料、特に、コンクリートの内部欠陥を検出し、内部欠陥の映像化を行う非接触音響探査(Noncontact Acoustic Inspection)法を研究している。図3にコンクリート供試体の測定における実験セットアップの例を示す。長距離音響発生装置(LRAD; Long Range acoustic device)から可聴域の空中音波を(内部欠陥を内包する)計測対象面に照射し、コンクリート表層を加振・振動させる。もしコンクリート表層内部に欠陥が存在すれば、たわみ振動が生じ、健全部と異なる振動状態を示す。走査型レーザドップラ振動計(SLDV; Scanning laser Doppler vibrometer)を使って、その2次元振動速度分布を測定し、データ処理(Time-Frequency gate処理によるノイズの軽減、SSE解析による共振周波数の検出)を行い、欠陥の検出と映像化を行う。SLDVには、Polytec GmbH, PSV-500Xtraを、音源のLRADには、Genasys Inc., LRAD300Xを用いた。

## 4. 研究成果

### (1) 空間スペクトルエントロピー (SSE; Spatial Spectral Entropy) の定義 [1,2]

図4は、測定格子面上にある測定点で観測された振動速度信号から、高速フーリエ変換(FFT)によって計算された振動速度スペクトルを、幾つか表示している。それらの或る $f[Hz]$ 周波数成分は、同じ周波数を示す赤い点線上に並んでいる。それらの $f[Hz]$



図1 コンクリート構造物の非破壊検査

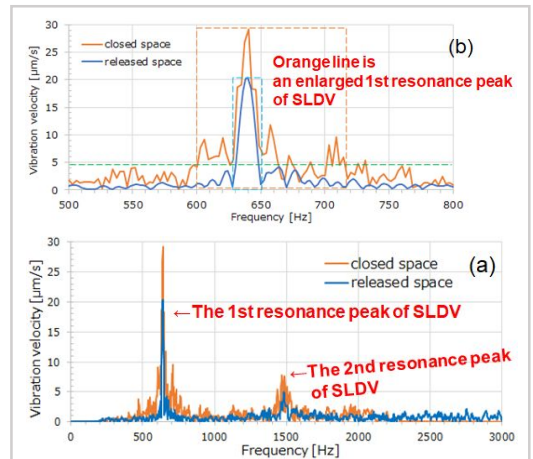


図2 解放空間と閉鎖空間でのレーザヘッドの共振ピークの高さと広がりの違い

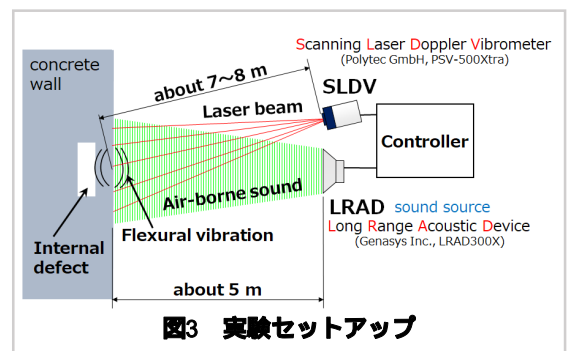


図3 実験セットアップ

周波数成分は、各測定点の振動速度スペクトルの $f$ [Hz]周波数成分で、 $f$ [Hz]周波数空間を考えると、測定面上に分布を形成している。その2次元面上の分布を、各測定点に $f$ [Hz]周波数成分が存在する確率分布とみなし、情報エントロピーが計算される。SSE は、スペクトルエントロピー (SE; Spectral Entropy) の概念を、空間に拡張した概念である。2次元振動速度分布の測定データに SSE を適用すれば、測定対象面の共振周波数帯を検出でき、同時にレーザドップラ振動計の共振周波数帯を検出でき、両者を識別できる。SSE は(1)式で定義される。

$$H_{SSE}(f) = -\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{i,j}(f) \log_2 P_{i,j}(f)}{\log_2(m \cdot n)} \quad P_{i,j}(f) = \frac{S_{i,j}(f)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{i,j}(f)} \quad (1)$$

ここで、 $S_{i,j}(f)$ は、各測定点で観測された信号を高速フーリエ変換して得られたパワースペクトルの $f$ [Hz]周波数成分である。 $(m \cdot n)$ は、測定格子面での測定点数で、 $\log_2(m \cdot n)$ は、正規化係数である。当初は、正規化されていなかったが、測定面上での内部欠陥の検出には問題なかった。その後、測定場所や測定対象によって異なる測定条件(送信波形・測定点数など)により、得られる SSE 値のレベルが異なり、異なる測定条件で測定された解析データ同士をそのまま比較できないという問題があったが、論文[2]で解決した。正規化された SSE を用いることにより、測定時の条件に依存しない評価値が求められるようになった。

### (2) 空洞欠陥を内包するコンクリート供試体

図5のように、円形発泡スチロール(直径200 mm, 厚さ 25 mm)は、円形空洞欠陥を模して、60 mmの深さに埋め込まれてコンクリート供試体が作製された。この円形空洞欠陥(200,60)について、以下に実験結果とその解析結果を説明する。

### (3) SSE による共振周波数の検出

図6は、測定した2次元振動速度分布に対して、TF-gate 処理後に FFT 解析した結果で、円形空洞欠陥(200,60)の中央付近の測定点での振動速度スペクトルである。右のピークは、円形空洞欠陥による共振ピークで、左のピークは、レーザヘッドの共振によるピークである。図7は、2次元格子面上の各測定点での振動速度スペクトル群から計算した SSE 解析結果で、円形空洞欠陥の共振周波数帯で、SSE 値は下がり、下に凸のピークを示している。レーザヘッドの共振周波数では、SSE 値は上がり、上に凸のピークを示す。図7の右側に表示された $M$ 、 $M \pm 1$ 、 $M \pm 2$ では、SSE 値の分布の中央値を $M$ 、標準偏差を $\sigma$ とした。以下の SSE 解析結果では同様に表示される。SSE 解析を用いて、測定対象面の振動速度スペクトル分布から、内部欠陥の共振周波数帯とレーザドップラ振動計のレーザヘッドの共振周波数帯を検出し、両者を識別することができる。

### (4) SSE による内部欠陥の共振周波数とレーザドップラ振動計の共振周波数の識別

図8は、振動速度スペクトル成分の空間分布を示す。(a)は、円形空洞欠陥(200,60)の共振周波数(4127.6Hz)での振動速度スペクトル成分の(測定面上の)空間分布である。測定面上の振動速度スペクトル成分のバラツキの頻度分布は、局所ピークを示す。(b)は、レーザドップラ振動計のレーザヘッドの共振周波数(2484.8Hz)での振動速度スペクトル成分の空間分布である。それらの振動速度スペクトル成分のバラツキの頻度分布は、正規分布を示す。(c)は、共振周波数を含まない周波数での、いわゆる健全部における振動速度スペクトル成分の空間分布の例である。それらの振動速度スペクトル成分のバラツキの頻度分布は、ランダム分布になっている。SSE 値は、確率・統計に由来し、エントロピーの性質を持つため、ここでの振動速度分布の

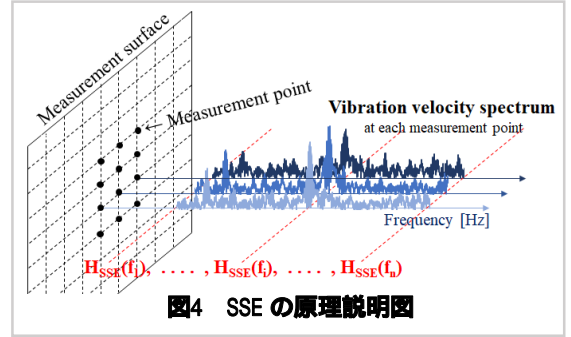


図4 SSE の原理説明図

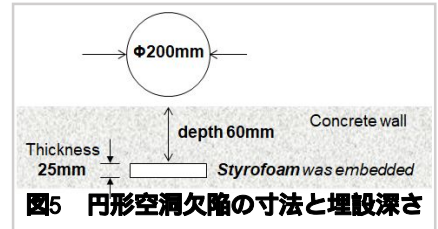


図5 円形空洞欠陥の寸法と埋設深さ

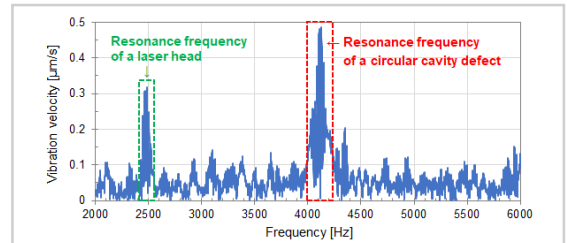


図6 円形空洞欠陥(200,60)の中央近傍での振動速度スペクトル

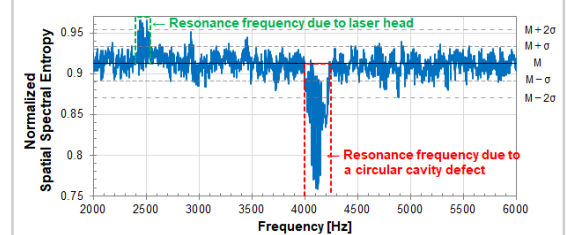


図7 円形空洞欠陥(200,60)に対する SSE 解析結果

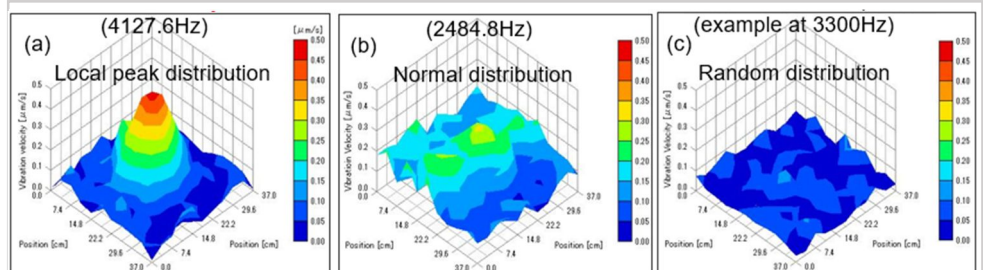


図8 振動速度スペクトル成分の空間分布



評価では、各周波数での振動速度スペクトル成分のパラッキの頻度分布によって、SSE 値は連動して変化する。すなわち、局所ピークを示すような分布では、SSE 値は下がり、正規分布では、SSE 値は上がり、ランダム分布では、SSE 値は、図7の例のように、SSE 値の変動分布の中央値Mの周りを上下に変動する。

### (5) 円形空洞欠陥の映像化

円形空洞欠陥( 200,60)の音響画像を図9に示す。(a)は従来法で、送信波形の周波数範囲2000-6000 Hzにつき、振動エネルギー比を用いて映像化された。(b)は、SSE 解析によって、共振周波数帯が既知なので、その周波数帯4000-4250Hzにつき振動エネルギー比によって映像化された。欠陥部分は健全部に比較して振動エネルギーが高く、欠陥部は赤～黄色、健全部は青の階調表示になっている。白色の点線円は、円形欠陥の大きさと、推定される位置を示す。両者を比較すると、(b)の欠陥部分が(a)より大きく、輪郭がより忠実に再現されていることがわかる。また、カラーバーの値から(b)の値は17で(a)の4.5より大きく、欠陥部と健全部との差がより大きく、欠陥を識別しやすくなっていることがわかる。

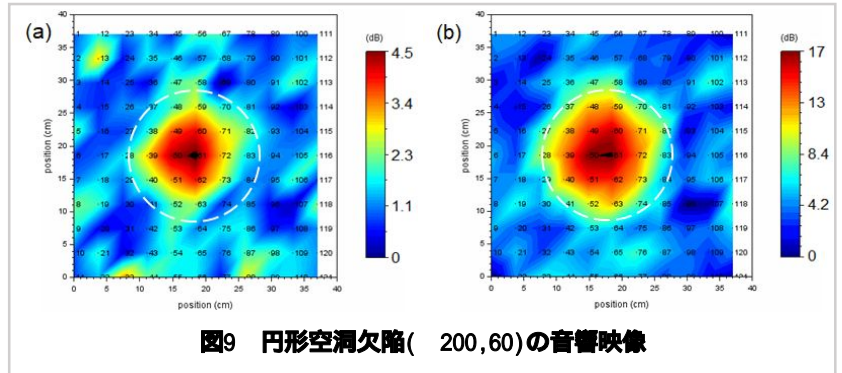


図9 円形空洞欠陥( 200,60)の音響映像

の階調表示になっている。白色の点線円は、円形欠陥の大きさと、推定される位置を示す。両者を比較すると、(b)の欠陥部分が(a)より大きく、輪郭がより忠実に再現されていることがわかる。また、カラーバーの値から(b)の値は17で(a)の4.5より大きく、欠陥部と健全部との差がより大きく、欠陥を識別しやすくなっていることがわかる。

### (6) 円形剥離欠陥の実験結果および解析結果

図10のように、円形剥離欠陥( 200,60)の中央付近の測定点での振動速度スペクトルである。中央付近のピークは、円形剥離欠陥による共振ピークである。図12は、2次元格子面上の各測定点での振動速度スペクトル群から計算したSSE 解析結果で、円形剥離欠陥の共振周波数帯で、SSE 値は下がり、下に凸のピークを示している。この例では、レーザヘッドの共振ピークは小さく判別しにくい、SSE 解析の結果よりSSE 値が上がっている小さいピークが見られ、弱い共振ピークではないかと見られる。

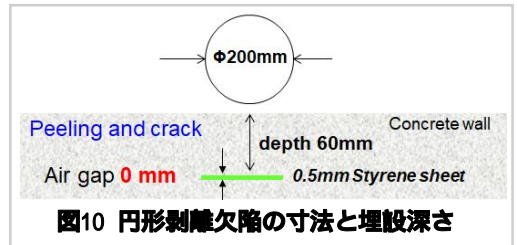


図10 円形剥離欠陥の寸法と埋設深さ

図11は、測定した2次元振動速度分布に対して、TF-gate 処理後にFFT 解析した結果で、円形剥離欠陥( 200,60)の中央付近の測定点での振動速度スペクトルである。中央付近のピークは、円形剥離欠陥による共振ピークである。図12は、2次元格子面上の各測定点での振動速度スペクトル群から計算したSSE 解析結果で、円形剥離欠陥の共振周波数帯で、SSE 値は下がり、下に凸のピークを示している。この例では、レーザヘッドの共振ピークは小さく判別しにくい、SSE 解析の結果よりSSE 値が上がっている小さいピークが見られ、弱い共振ピークではないかと見られる。

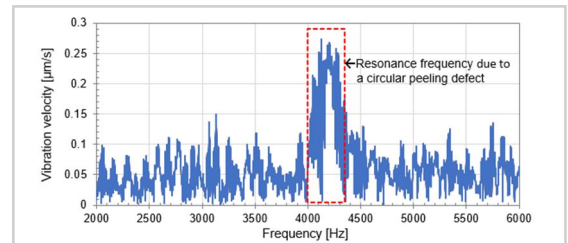


図11 円形剥離欠陥( 200,60)の中央近傍での振動速度スペクトル

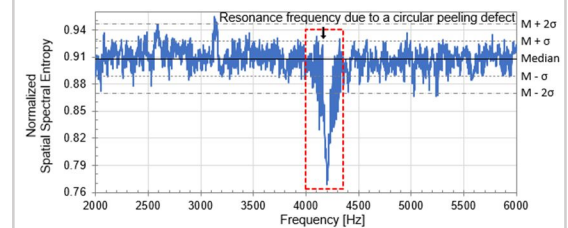


図12 円形剥離欠陥( 200,60)に対するSSE 解析結果

円形剥離欠陥( 200,60)の音響画像を図13に示す。(a)は従来法で、送信波形の周波数範囲2000-6000 Hzにつき、振動エネルギー比を用いて映像化された。(b)は、SSE 解析によって、共振周波数帯が検出されるので、その周波数帯4100-4310 Hzにつき振動エネルギー比によって映像化された。欠陥部分は健全部に比較して振動エネルギーが高くなっている。両者を比較すると、(b)では推定される欠陥部の中央に赤い領域があり、周辺にいくほど黄色くなっていて、欠陥部が識別できる。(a)では、推定される欠陥部に赤い振動エネルギーが高い領域があるものの、健全部にも赤い領域が広がり、欠陥部と健全部との境界が曖昧になって判別できない。また、カラーバーの値の最大値は、(b)が20[dB]、(a)は7.7[dB]で、(b)の方が欠陥部と健全部との階調差が大きく、欠陥を識別しやすくなっていることがわかる。図13の灰色の点線円は、円形剥離欠陥の大きさと、推定される位置を示す。

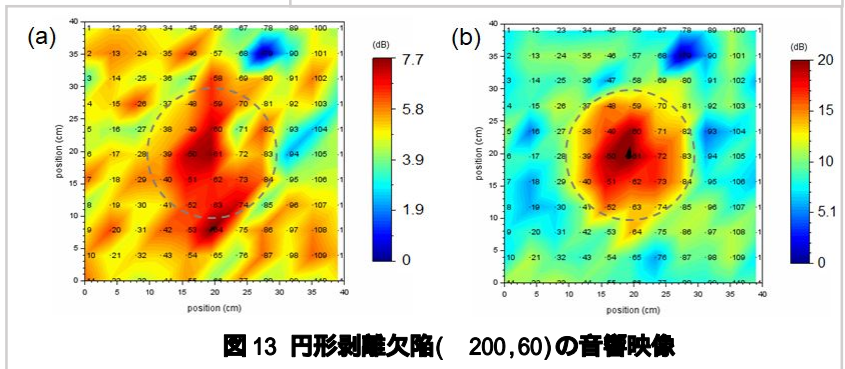


図13 円形剥離欠陥( 200,60)の音響映像

### (7) 吹付けコンクリート供試体の円形欠陥の実験結果および解析結果[3]

モルタル・コンクリート吹付工は、吹付機にセメントや骨材等を投入して攪拌し、コンプレッサによる圧縮空気で吹き付ける工法である。図14は、吹付けコンクリート供試体の設計図である。直径300mm、高さの異なるコンクリート台座上に10mm厚の発泡スチレンが設置され、吹付工程により吹付けコンクリート供試体が作製された。台座は、吹付け後に、コンクリート表面から欠陥までの深さが40、60、80mmとなるように高さを調整されていた。図15は、2次元格子面上の各測定点での振動速度スペクトル群から計算したSSE解析結果で、吹付けコンクリート供試体の3つの円形欠陥(Φ300,40)、(Φ300,60)及び(Φ300,80)の各共振周波数帯で、SSE値は下がり、下に凸のピークを示している。各円形欠陥の共振周波数は、円形欠陥(Φ300,40) 2025-2220 Hz、円形欠陥(Φ300,60) 2390-2560 Hz、円形欠陥(Φ300,80) 2650-2830 Hzの周波数帯に含まれると見られる。

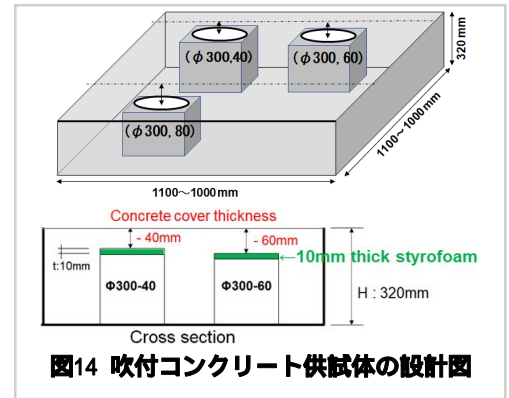


図14 吹付けコンクリート供試体の設計図

図16は、3つの内部欠陥の共振周波数範囲の区間について振動エネルギー比を計算して得られた音響画像を示す。実験で使った送信波形の周波数範囲(2000-6000 Hz)ではなく、欠陥の共振周波数帯に絞って振動エネルギー比を計算することで、クリアな内部欠陥の音響画像が得られた。直径300mm、欠陥深さ40mmと60mmの音響画像は、欠陥があると想定される黒色点線円の内側に赤～黄色の振動エネルギーが高い領域が見られ、健全部の青い領域との識別ができ、内部欠陥の存在が明らかになる。直径300mm、欠陥深さ60mmでは、欠陥があると推定される黒色点線円の内に水色の領域が見られ、周囲の健全部と比べて識別が可能になっている。吹付けコンクリートのような表面に凹凸のある材料に対しても、ここで用いた直径・欠陥深さの内部欠陥において、欠陥部を識別可能な音響画像が得られた。

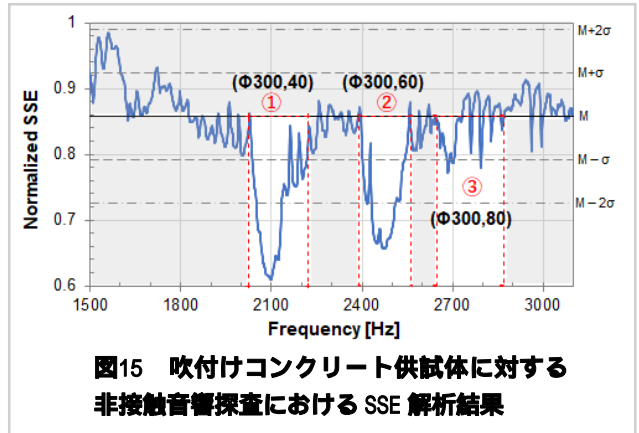


図15 吹付けコンクリート供試体に対する非接触音響探査におけるSSE解析結果

### (8) まとめ

本研究では、非接触・非破壊で遠隔から、コンクリートなど複合材料の内部欠陥を検出するための非接触音響探査法において、以下のことが達成された。計測された振動速度分布を用いて、内部欠陥の共振周波数およびレーザドップラ振動計のレーザヘッドの共振周波数を検出し、両者を識別する解析方法を提案した。表面が滑らかなコンクリートによる空洞欠陥・剥離欠陥を内包するコンクリート供試体に非接触音響探査を実施し、SSE解析により、空洞欠陥・剥離欠陥を検出し、欠陥のクリアな映像化ができることを検証した。表面に凸凹がある吹付けコンクリートに対しても、吹付けコンクリート供試体を用いて、SSE解析により、欠陥の検出および映像化が良好に得られることがわかった。空間スペクトルエントロピー(SSE)の定義については、正規化されたSSEを再定義し、測定条件や測定場所に依らないNormalized SSEが提案された。その他、吹付けコンクリート実構造物に対する探査実験及びSSE解析結果を論文[4,5]に示す。

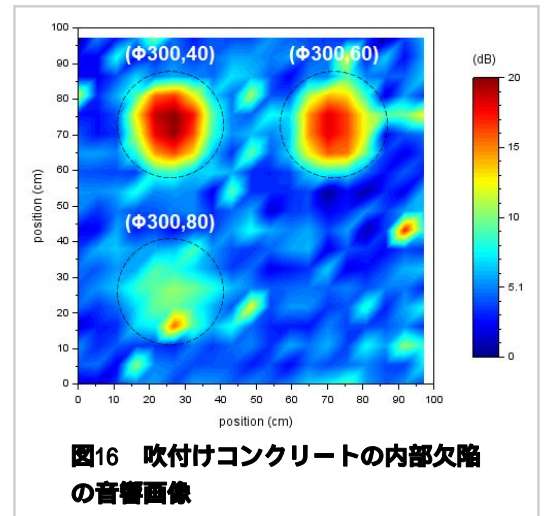


図16 吹付けコンクリートの内部欠陥の音響画像

### <引用文献>

- [1] Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto, et al., Jpn J. Appl. Phys., 58, SGGB15, 2019
- [2] Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto, Entropy 2022, 24, 142, doi.org/10.3390/e24020142
- [3] 杉本和子, 杉本恒美, 歌川紀之, 黒田千歳, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, 7巻, 2022, 199 - 204
- [4] 杉本恒美, 杉本和子, 森岡宏之, 歌川紀之, コンクリート工学年次論文集, 42巻, 2020, 1594 - 1599
- [5] 杉本恒美, 杉本和子, 歌川紀之, 黒田千歳, 森岡宏之, ほか5名, 検査技術, 2019, 6 - 16

### <謝辞>

コンクリート供試体の保管・移動や、コンクリート供試体・コンクリート実構造物（トンネル・橋梁・地下大空洞施設など）に対する非接触音響探査法の数々の実験に際して、多大なるご協力・ご助言下さった佐藤工業株式会社の歌川紀之氏、黒田千歳氏ほか関係者の皆様に深く感謝申し上げます。また、吹付けコンクリート供試体の作製にご尽力下さった太平洋セメント株式会社の中央研究所の皆様に誠に感謝申し上げます。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 杉本和子, 杉本恒美	4. 巻 35(2)
2. 論文標題 非接触音響探査法のための内部欠陥自動検出に関する検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 超音波TECHNO (日本工業出版)	6. 最初と最後の頁 91-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sugimoto Kazuko, Sugimoto Tsuneyoshi	4. 巻 24(2)
2. 論文標題 Detection of Internal Defects in Concrete and Evaluation of a Healthy Part of Concrete by Noncontact Acoustic Inspection Using Normalized Spectral Entropy and Normalized SSE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e24020142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 杉本和子, 杉本恒美	4. 巻 7
2. 論文標題 非接触音響探査のためのSSE解析を用いた吹付けコンクリート供試体に対する欠陥検出と映像化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 199-204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 杉本恒美, 杉本和子, 森岡宏之, 歌川紀之	4. 巻 43
2. 論文標題 非接触音響探査法のための空間スペクトルエントロピーによる共振識別に関する理論と実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1145-1150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杉本和子, 杉本恒美	4. 巻 32(2)
2. 論文標題 非接触音響探査法のための空間スペクトルエントロピーを用いた内部欠陥検出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 超音波TECHNO (日本工業出版)	6. 最初と最後の頁 18-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杉本恒美, 杉本和子, 森岡宏之, 歌川紀之	4. 巻 42
2. 論文標題 空間スペクトルエントロピーによる共振周波数識別を用いた非接触音響探査法による欠陥検出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1594-1599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda	4. 巻 58 (SGB15)
2. 論文標題 Detection of resonance frequency of both the internal defects of concrete and the laser head of a laser Doppler vibrometer by spatial spectral entropy for noncontact acoustic inspection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab1a2f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杉本恒美, 杉本和子, 歌川紀之, 黒田千歳, 森岡宏之, 鶴田滋, 中川貴之, 本田中, 杉崎直人, 山崎隆央	4. 巻 24 (12)
2. 論文標題 非接触音響探査法による地下空洞天井部吹付コンクリート欠陥検出技術の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 検査技術 (日本工業出版)	6. 最初と最後の頁 6-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto
2. 発表標題 Defect detection of shotcrete specimen by noncontact acoustic inspection using spatial spectral entropy
3. 学会等名 第43回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム (USE 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto
2. 発表標題 Detection and visualization of internal defects in shotcrete specimens using SSE analysis considering local noise for noncontact acoustic inspection
3. 学会等名 2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美, 歌川紀之, 黒田千歳
2. 発表標題 非接触音響探査法によるSSE解析を用いた吹付けコンクリート供試体の内部欠陥の検出と映像化
3. 学会等名 令和4年度 土木学会全国大会 第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美
2. 発表標題 非接触音響探査のためのSSE解析を用いた吹付けコンクリート供試体に対する欠陥検出と映像化
3. 学会等名 第7回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美
2. 発表標題 非接触音響探査法による吹きつけコンクリート供試体の測定とSSE解析による内部欠陥の検出・映像化の検討
3. 学会等名 日本音響学会 2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto
2. 発表標題 Detection and Visualization of Internal Defects in Shotcrete Specimens by Noncontact Acoustic Inspection
3. 学会等名 17th TOIN International Symposium on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美
2. 発表標題 空間スペクトルエントロピーとスペクトルエントロピーの規格化による非接触音響探査法のための内部欠陥の検出・映像化の同一基準評価
3. 学会等名 超音波研究会(US)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto
2. 発表標題 Detection of internal defects in concrete and evaluation of a healthy part of concrete by non-contact acoustic inspection using normalized spectral entropy
3. 学会等名 Entropy 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto
2. 発表標題 Exploration of underground buried objects by noncontact acoustic inspection using normalized SSE analysis
3. 学会等名 2021's IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto
2. 発表標題 Visualization of internal defects in shotcrete specimen using SSE analysis by noncontact acoustic inspection
3. 学会等名 16th Toin International Symposium on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美
2. 発表標題 空間スペクトルエントロピーとスペクトル・フラットネスを用いた内部欠陥画像に関する検討
3. 学会等名 アコースティックイメージング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto
2. 発表標題 Defect detection of composite material using resonance frequency identification by spatial spectral entropy for non-contact acoustic inspection
3. 学会等名 The 42nd Symposium on UltraSonic Electronics (USE2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美
2. 発表標題 スペクトルエントロピーと空間スペクトルエントロピーによる非接触音響探査の欠陥検出
3. 学会等名 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美, 歌川紀之, 黒田千歳
2. 発表標題 空間スペクトルエントロピーによる欠陥部とLDVの共振周波数検出を用いた非接触音響探査法による欠陥検出
3. 学会等名 日本非破壊検査協会(JSNDI) 2020年度 秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美, 歌川紀之, 黒田千歳
2. 発表標題 非接触音響探査法のための空間スペクトルエントロピーによる共振周波数識別を使用した欠陥検出
3. 学会等名 日本音響学会2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto, Hiroshi Morioka, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda
2. 発表標題 Long-Range Over 25m Detection of Internal Defects of Shotcrete by SSE Analysis for Noncontact Acoustic Inspection
3. 学会等名 2020 IEEE international ultrasonics symposium (IEEE ius 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美
2. 発表標題 Study on vibration state and hardness at a healthy part of concrete for noncontact acoustic inspection
3. 学会等名 TOIN 15th International Symposium on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美, 歌川紀之, 黒田千歳
2. 発表標題 非接触音響探査法のための空間スペクトルエントロピーによる共振周波数の識別を用いた欠陥検出ー遠隔30mからの高架橋床版における実験と解析結果ー
3. 学会等名 超音波研究会 (US2019-99)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美, 歌川紀之, 黒田千歳
2. 発表標題 非接触音響探査法のための空間スペクトルエントロピーの複合材料への適用
3. 学会等名 第40回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto, Hiroshi Morioka, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda, Takeyuki Ohdaira
2. 発表標題 Detection and acoustical visualization of internal defects in shotcrete structures by spatial spectral entropy for noncontact acoustic inspection method
3. 学会等名 The 2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda
2. 発表標題 Defect detection using the identification of resonance frequency by spatial spectral entropy for noncontact acoustic inspection method
3. 学会等名 23rd International Congress Acoustics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuko Sugimoto, Tsuneyoshi Sugimoto, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda
2. 発表標題 Noncontact two-dimensional defect detection using identifying each resonance frequency of defective part and laser Doppler vibrometer by spatial spectral entropy
3. 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美
2. 発表標題 非接触音響探査法のための空間スペクトルエントロピーを用いた複合材料の内部欠陥の検出と映像化
3. 学会等名 安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本和子, 杉本恒美, 歌川紀之, 黒田千歳
2. 発表標題 コンクリート非破壊計測のための非接触音響探査法に関する研究ー空間スペクトルエントロピーによる実構造物の内部欠陥の検出ー
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 非接触音響解析システム	発明者 杉本和子, 杉本恒美	権利者 学校法人桐蔭学 園, 佐藤工業株 式会社
産業財産権の種類、番号 特許、7243983	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	杉本 恒美  (Sugimoto Tsuneyoshi)  (80257427)	桐蔭横浜大学・工学研究科・教授   (32717)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------