

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：32717

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12991

研究課題名(和文) マルチロータ型ヘリコプターを用いた非接触音響探査法に関する研究

研究課題名(英文) Study on non-contact acoustic inspection method using multi-rotor helicopter

研究代表者

上地 樹(Uechi, Itsuki)

桐蔭横浜大学・工学(系)研究科(研究院)・研究員

研究者番号：30766861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：音波照射加振とレーザドップラ振動計を用いた非接触音響探査法は、様々な場所でコンクリート構造物の内部欠陥探査が可能である。しかしながら、角度依存性や環境騒音などが問題となっていた。そこで、本手法の適用範囲を広げるために、音源搭載型のマルチロータ型ヘリコプターいわゆるドローンを、既存機種を改造する形で製作した。このドローンからの音波照射加振により、タイル外壁の欠陥探査が実施可能かどうかの検討が行われた。外壁供試体および実構造物を用いた実験結果から、10m以上の離隔から、飛行中のドローンからの音波照射であってもタイル外壁内部の欠陥は検出可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国では、竣工から10年を経た建築物に対する全面打診等による点検調査が求められているが、仮設足場等の費用負担が大きいため現実的ではなく、非接触方式による検査法の開発が期待されている。一方、今回の研究成果から、飛行中のマルチロータ型ヘリコプターいわゆるドローンからの音波照射加振により、外壁タイル供試体および実構造物における欠陥検出が可能であることが世界で初めて実証された。そのため、学術的な意義は極めて高いと判断する。さらに提案手法は、高層建築物等の外壁調査に有効な手段として普及していく可能性が高く、社会的な意義やインパクトも極めて大きいと思われる。

研究成果の概要(英文)：The noncontact acoustic inspection method using acoustic irradiation induced vibration and laser Doppler vibrometer can detect internal defects in concrete structures at various locations. However, angle dependency and environmental noise have been problems. Therefore, in order to expand the range of application of this method, a multi-rotor helicopter, so-called drone equipped with a sound source was manufactured by modifying the existing model. It was examined whether the defect detection of the outer wall tile could be carried out by the acoustic irradiation induced vibration from this drone. From the experimental results using the outer wall specimen and the actual structure, it was confirmed that the defects inside the outer wall tile could be detected from the distance of 10 m or more even if the sound waves were emitted from the drone in flight.

研究分野：工学

キーワード：非破壊検査 ドローン 長距離計測 非接触音響探査法 SLDV 欠陥 コンクリート 音波

## 1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の欠陥探査には、いまだにハンマーを用いた叩き点検が用いられているが、笹子トンネルの天井板崩落事故に象徴されるように高所検査には足場を必要とすることや音を聞き分けるための熟練が必要とされる等の問題がある。定量的な手法として衝撃弾性波や超音波、電磁波を用いた手法も開発されているが、基本的に探査表面に近づく必要があるため、作業効率に関しては本質的な解決になっていない。一方で赤外線やパルスレーザを用いた手法は遠隔からでも実施可能であるが、前者は周囲の熱環境に結果が左右されやすいこと、後者は駆動に大電力が必要であることおよび安全性に問題があることが明らかにされている。そのため、本研究室では、叩き点検を合理化、高精度化する技術として、遠距離からコンクリート浅層内部の欠陥探査を実施することができる空中放射音波を用いた非接触音響探査法の検討を行ってきた<sup>1-4)</sup>。

非接触音響探査法では、音源から放射された平面波音波により測定対象壁面を励振し、その励振時の壁面上の振動速度をレーザドップラ振動計(LDV: Laser Doppler Vibrometer)を使用して2次元的に計測する。もし、壁面内部に水平方向のひび割れなど空隙欠陥が存在すると、その欠陥部は健全部に比べ曲げ剛性が低下するため、たわみ振動が生じやすくなっている。本手法では、叩き点検と同じたわみ振動を発生させることにより、コンクリート構造物の表面近くの空洞および剥離欠陥を検出可能であり、すでに様々な場所で適用可能であることが明らかになっている<sup>5-6)</sup>。

測定可能距離はレーザ出力と音響出力の両方に依存しているが、現在市販されている高出力の遠距離計測用のLDVを用いれば、100m超の遠距離でも振動計測自体は可能であることが明らかになっている。しかしながら、音響側はそのような遠距離で100dB近い音圧を出すためには、大型の音源が必要となるのと同時に、計測対象面との角度依存性や周囲への環境騒音も予想されるために、あまり現実的ではないと思われる。一方で、近年、コンクリート構造物の外観点検にはマルチロータ形のヘリコプタいわゆるドローンもしくはUAV(Unmanned Aerial Vehicle)が用いられ始めている。このようなUAVに音源が搭載できれば、探査対象の位置に接近することができるため、比較的小型の音源でも欠陥探査には問題ないことが想定される。さらに音源自体は多少振動があったとしても実際の計測にはほとんど影響しないことが想定される。以上のような理由から、小型音源をUAVに搭載して、空中から音響加振を行い、地上からLDVによる計測を行うという、新たな計測法を提案する。このような構成とすることにより、音源側の課題であった角度依存性や周囲への環境騒音等の問題をクリアすると同時に100mを越えるような大遠距離での計測をLDVの計測可能限界まで実施できることになる。国内的には竣工から10年を経た建築物に対する全面打診等による点検調査が求められているが、仮設足場等の費用負担が大きいために現実的ではなく、非接触方式による検査方法の早急な開発が求められている。そのため、UAVからの音波照射加振を利用した非接触音響探査法は、高層建築物の外壁調査に有効な手法となる可能性がある。

## 2. 研究の目的

UAVに小型の音源を搭載して、音響加振とLDVによる振動計測部を分離することにより、各種構造物(コンクリート、タイル)等への探査が遠距離から実際に行えるかどうかについての検証を行うことが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

(1) UAVに搭載できるような小型音源で、実際にタイル外壁等の欠陥探査が可能かどうか検証するため、最初はUAVを飛行させずに音源固定状態での、欠陥検出実験を行う。

(2) 従来は音源とLDVの設置位置がほぼ同じであったために、測定対象物からの反射音波による影響を避けるために無音時間の長い波形を送信していたが、UAVに音源を搭載した場合には、レーザ振動計の距離が離れてしまえば、無音時間を無くして、高速な計測が可能になることが予測される。そこで高速な計測を実現するための送信音波に関する検討を行う。

(3) 提案手法では、音源搭載型UAVを壁面に近づける必要がある。その際に風の影響でUAV自体の揺動が予想される。しかしながら、音源の指向性の範囲内に計測領域が入っていれば、多少UAV自体が揺動しても計測は問題なくできる可能性がある。そこで、搭載用小型音源の指向性について検討を行い、実際に音源指向性範囲内の欠陥が検出できるかどうかの検討を行う。

(4) 飛行中のUAVからの音波照射加振により、実際に欠陥探査が可能かどうか、タイル外壁供試体を用いて評価検討を行う。

## 4. 研究成果

(1) 試作された音源搭載型UAVとタイル外壁供試体等について

図-1に音源搭載型ドローン(試作品)の外観写真を示す。ベース機体であるドローン本体(DJI Corp., Matrice 600 Pro)の下面に平面音源(FPS Corp., 1030M3F1R)、照準用レーザポインタ、レ

ーザ距離計および FM 受信機等が装備されている。ドローン自体の重さは約 10 kg で、音源とアンプ等を搭載した状態で約 20 分間の飛行が可能である。また、音波照射加振の波形は FM 送信機より送信することができ、LDV 側の測定タイミングと同期させることができる。

また、UAV を用いた外壁検査の検証実験のために、タイル張りの外壁供試体(2×1.0×0.2 m<sup>3</sup> + 2×0.6×0.6 m<sup>3</sup>)を製作した(底部は柱部を模しているために厚くなっている)。概観写真を図-2 に示す。供試体に埋め込まれた模擬亀裂欠陥の配置図を図-3 に示す。模擬亀裂欠陥としては、厚さ 0.5 mm のスチレンシートおよび厚さ 0.5 mm の発泡シートを使用した。欠陥形状は正方形で、欠陥サイズは 50 mm 角, 100 mm 角, 150 mm 角, 200 mm 角の 4 種類である。各シートは躯体コンクリート上に置かれており、スチレンシートは周囲の 4 辺を、発泡シートは全面を約 0.5 mm 厚のテープで貼り付けられている。一つのタイルの大きさは約 45×95×7 mm<sup>3</sup> であり、貼り付け用のモルタルの厚さは約 3 mm である。そのため、スチレンシートはタイル表面から深さ約 9.5 mm、および発泡シートはタイル表面から深さ約 9 mm の位置に埋め込まれていることになる。



図-1 音源搭載型 UAV の外観写真



図-2 外壁タイル供試体外観

また、実際のコンクリート内部欠陥は複雑な形状をしていることから、欠陥規模を明らかにするために、式のような振動速度スペクトルの積分値を振動エネルギー比と定義して使用している。ここでは、 $PSD_{defect}$  は各計測点のパワースペクトル密度(PSD : Power Spectral Density)、 $PSD_{health}$  は計測領域内のパワースペクトル密度の最低値で、 $f_1$  および  $f_2$  は積分時の下限および上限周波数である。

$$[VER]_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{\int_{f_1}^{f_2} (PSD_{defect}) df}{\int_{f_1}^{f_2} (PSD_{health}) df} \right)$$

## (2) 音源固定状態での欠陥検出実験

最初に、音源を模擬欠陥部に正対させた場合の検証実験を行った。そのため、UAV は飛行させずに運搬車両の後に搭載した状態とした。音波照射実験は、外壁供試体の上部にある 8 個の模擬欠陥(欠陥サイズ 50~200 mm 角)について行われた。LDV としては 2 次元的なスキャン計測が可能なスキャンング振動計(SLDV: Scanning LDV, Polytec Japan Corp., PSV-500Xtra)を用いた。実験セットアップ図を図-4 に示す。音源と外壁供試体間の距離は約 1.6~1.7 m、SLDV と供試体間の距離は約 2.4~3.4 m であり、供試体への垂直入射を 0°としたときのレーザ入射角は約 38°~55°であった。送信波形は対象となる欠陥のたわみ共振周波数を一致させるために 2 種類のシングルトーンバースト(STNB : Single ToNe Burst) 波形が作成された。1 つ目の波形は、周波数範囲 0.5~4 kHz のもので欠陥サイズが 100~200 mm 角のときに用いられた。二つ目の波形は、周波数範囲が 9~13 kHz のもので欠陥サイズが 50 mm 角のときに用いられた。両波形とも 5 ms のパルス幅(周波数インターバルは 100 Hz)で、各パルスの時間間隔(インターバル時間)は 15 ms とした。なお、加振時の音圧は測定対象面近傍で約 95 dB(Z 特性の最大値)とした。

使用した周波数帯域での振動エネルギー比による結果例を図-5 に示す。測定点数は 121(11×11)点であり、加算平均が 5 回のときの測定時間は約 9 分 11 秒であった。この図から、50~200 mm 角の全ての欠陥サイズが検出

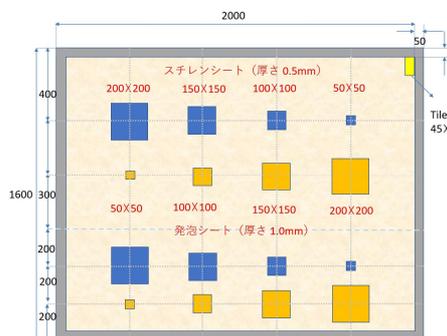


図-3 模擬欠陥の配置図

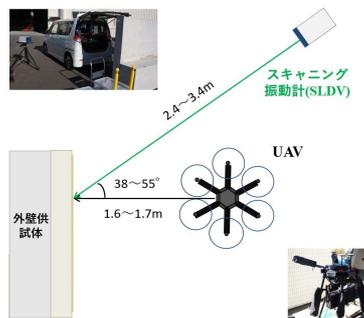


図-4 実験セットアップ

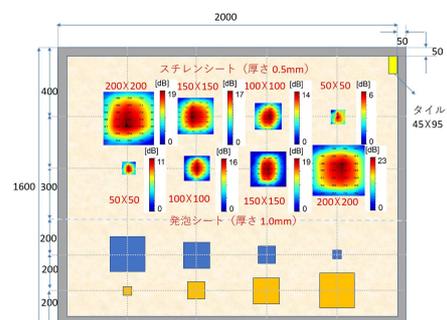


図-5 計測結果例

されることが分かる。そのうち、欠陥サイズ 50 mm 角のたわみ共振周波数は 10 kHz 以上であったため、通常の叩き点検では見つけることが困難な欠陥であること、および計測時間短縮のために、以降の検討からは検討対象から除外している。

### (3) 高速計測のための波形検討

前節の実験では、通常のコクリート構造物における欠陥探査を想定した STNB 波を使用したために計測時間がかかっていた。これは対象物からの反射音波による高感度 LDV に対する影響を考慮して、各トーンバースト波間にインターバル時間を設けていたためであるが、UAV に音源を搭載した場合には、音源位置が LDV の設置位置と離れるために、インターバル時間は不要である。そこで、高速な計測を実現するために、インターバル時間を設けないマルチトーンバースト(MTNB: Multi ToNe Burst)波<sup>7)</sup>を作成した。作成例を図-6に示す。図-6(a)は周波数範囲 0.3~4 kHz の MTNB 波である。この波形には、パルス幅 5 ms (周波数インターバル 100 Hz) の 38 個の周波数が含まれており、波形全体の時間長さは約 200 ms である。また、図-6(b)は周波数範囲 0.5~4 kHz の MTNB 波であり (周波数インターバル 200 Hz) の 18 個の周波数が含まれており、波形全体長さは約 60ms である。

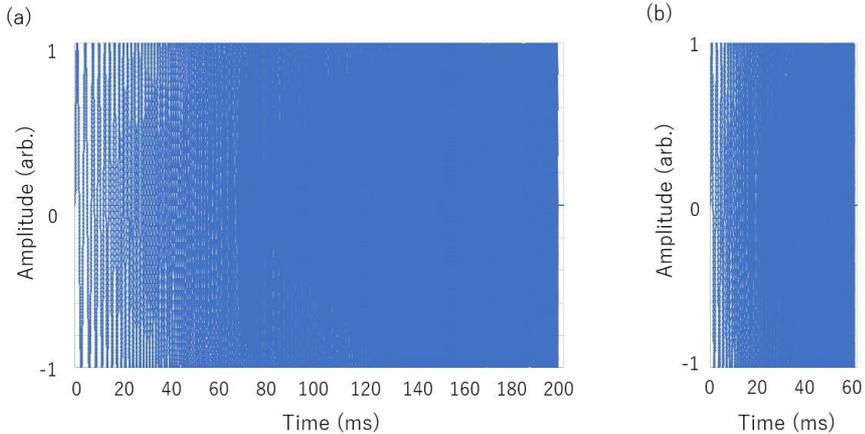


図-6 高速計測のための UAV 用波形例 (a) MTNB 波 1, (b) MTNB 波 2

### (4) 音源指向性範囲内の欠陥検出検討

飛行中に UAV 自体が揺動しても、音源の指向性範囲内に計測領域が存在していれば、計測自体は可能であることが想定された。そこで、UAV 搭載音源の指向性をマイクロホンにより計測した。計測結果例を図-7に示す。図より、4m の離隔からでも、約 2m 程度の大きさに音波が照射されていることが分かる。

実際に、欠陥位置に音源が正対していなくても欠陥検出が可能かどうかを検証するために、外壁供試体の中央部に音波照射した実験を行った。UAV は高さ調整用の簡易台の上に配置し、音源と供試体間の距離を約 3 m とした。SLDV(Polytec Corp., PSV-500 Xtra)は音源のやや斜め後ろに配置した。この時の SLDV と供試体間の距離は約 4.3 m であった。照射音波としては、図-6(a)に示される周波数範囲 0.3~4 kHz の MTNB 波を用いた。高速で走査するために、1回の送波で全ての周波数を送出するとともに、平均処理は行わなかった。なお、測定対象面近傍の音圧は約 95 dB(Z 特性の最大値)とした。

図-8に 0.3~4 kHz の範囲で積分された振動エネルギー比分布を示す。計測領域の大きさ (スキャンエリアサイズ) は約  $1.30 \times 1.53 \text{ m}^2$  で、測定点の総数は 1015 (29 × 35) 点とした (計測点の間隔は約 45 mm)。白枠は、欠陥部の位置と大きさを示している。室内閉鎖環境で、LDV と音源位置もあまり離れていないために、ノイズが多少存在するものの、ほぼすべての欠陥が検出されていることがわかる。なお、測定時間は約 7 分 (1 点あたり約 0.4 秒) であった。

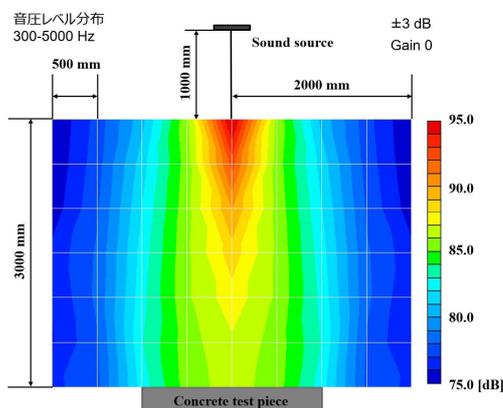


図-7 平面音源の音圧分布計測結果例

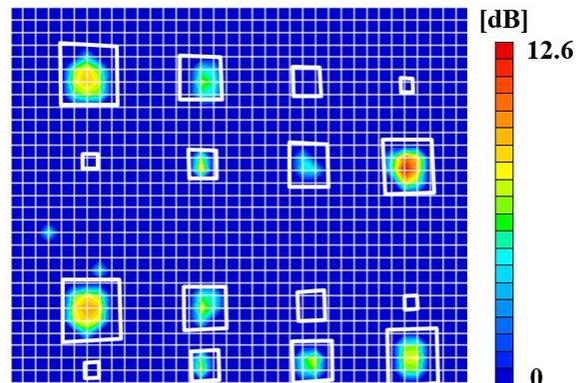


図-8 供試体中央部への音波照射時の振動エネルギー比分布 (300-4000Hz)

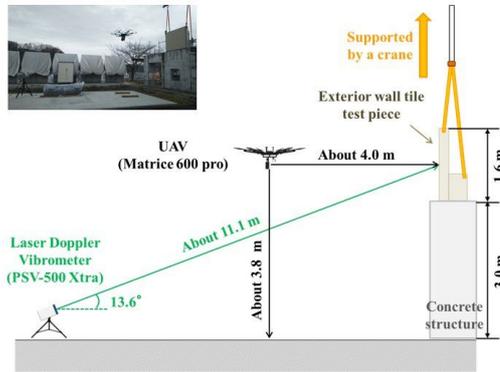


図-9 UAV 飛行時の実験セットアップ

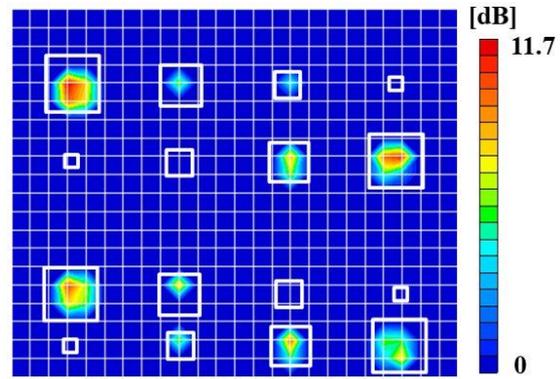


図-10 飛行実験時の振動エネルギー比分布例 (800-3400Hz)

#### (5) 飛行中の UAV からの音波照射加振による欠陥探査の検討

大型クレーン車を用いて外壁供試体自体を他のコンクリート供試体(高さ 3 m)に吊り上げて配置することにより, UAV 飛行時の実験を行った。図-9 に UAV 飛行時の実験セットアップを示す。図に示されるように SLDV(Polytec Corp., PSV-500Xtra)から見ると, 供試体は約 11.1 m の距離で斜め上方の位置に配置されていた。実験時には, 音源搭載型 UAV が供試体のなるべく中央部付近に位置するように手動操作した。タイル面までの距離は 3~5 m 程度となるように操縦したが, 自然風の影響により UAV の位置自体が 3 次元的に変化してしまうために, 計測時の距離は一定ではなく, 上下左右にも揺動する状況下で手動調整しながらの実験となった。音波照射加振に用いた波形は図-6(b)で示した MTNB 波で, 音圧は 5 m の距離で約 90 dB (Z 特性の最大値)とした。

測定領域の大きさは約  $1.4 \times 1.7 \text{ m}^2$ , および測定点総数は 525 ( $21 \times 25$ )点とした(測定間隔は約 70 mm)。飛行時の UAV の揺動を考慮して, FFT データを 5 回平均したものを使用した。計測時間は平均処理を行わない場合は, 約 132 秒(1 ポイント当たり 0.26 秒)という高速計測が可能であったが, 5 回平均の場合は UAV 揺動による取り直しを必要とする場合があるため, およそ約 13 分であった。周波数範囲 800~3400 Hz の振動エネルギー比分布例を図 10 に示す。なお, 積分周波数範囲を変更した理由は, 800 Hz 以下にはドローン自体の揺動が原因と思われるノイズが含まれていたためと, 今回の測定対象欠陥のたわみ共振周波数が 800 Hz 以上であったためである。図より, ほぼすべての欠陥が検出されていることが確認できる。

#### (6) まとめ

今回の実験結果から, 小型の平面音源を搭載した UAV であっても, 外壁タイル供試体のような浅い領域(表面から 10mm 以内)に存在する欠陥検出には問題なく使用可能であることが明らかになった。このことは, たとえ自然風の影響を受けて音源搭載型 UAV が揺動したとしても, 音源の指向性範囲内であれば, 飛行中の UAV の音波照射加振による非接触欠陥探査が可能である事を意味している。

#### < 引用文献 >

- 1 R.Akamatsu, T.Sugimoto, N.Utagawa, and K.Katakura: Proposal of non-contact inspection method for concrete structures, using high-power directional sound source and scanning laser Doppler vibrometer, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.52, 07HC12, (2013).
- 2 K.Katakura, R.Akamatsu, T.Sugimoto, N.Utagawa : Study on detectable size and depth of defects in noncontact acoustic inspection method, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.53, 07KC15, (2014).
- 3 K.Sugimoto, R.Akamatsu, T.Sugimoto, N.Utagawa, C.Kuroda, K.Katakura : Defect-detection algorithm for noncontact acoustic inspection using spectrum entropy, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.54, 07HC15, (2015).
- 4 K.Sugimoto, T.Sugimoto, N.Utagawa, C.Kuroda : 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, Jpn. J. Appl. Phys., 58, SGGB15, (2019).
- 5 杉本恒美, 杉本和子, 歌川紀之, 川上明彦: インフラ点検のための音波照射加振による高速非接触音響探査法,-マルチトーンバースト波を用いた橋梁における検証-, 平成29年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.149-154, (2017).
- 6 杉本恒美, 杉本和子, 歌川紀之, 黒田千歳, 金子岳夫, 森岡宏之, 志岐仁成, 中川貴之: 地下大空洞内の吹付けコンクリートに対する非接触音響探査法の適用性検討, トンネル工学報告集, 第27巻, I-8, pp.1-6, (2017).
- 7 T.Sugimoto, K. Sugimoto, N.Kosuge, N. Utagawa and K. Katakura, High-speed noncontact acoustic inspection method for civil engineering structure using multitone burst wave, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.56, 07JC10, (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tsuneyoshi Sugimoto, Kazuko Sugimoto, Itsuki Uechi, Noriyuki Utagawa and Chitose Kuroda	4. 巻 38
2. 論文標題 Noncontact acoustic inspection of outer wall by acoustic irradiation induced vibration from UAV equipped with sound source	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Meetings on Acoustics	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1121/2.0001078	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、上地樹、歌川紀之	4. 巻 57
2. 論文標題 ドローンからの音波照射加振を用いた外壁の非接触音響探査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学	6. 最初と最後の頁 681-686
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17件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 上地樹、杉本恒美、杉本和子、大平武征、中川裕、歌川紀之、黒田千歳
2. 発表標題 コンクリート非破壊検査のための非接触音響探査法に関する研究 -音源搭載型UAVを用いた外壁検査の効率化に関する検討（2）-
3. 学会等名 日本音響学会2020年 春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsuneyoshi Sugimoto, Kazuko Sugimoto, Itsuki Uechi, Noriyuki Utagawa and Chitose Kuroda
2. 発表標題 Efficiency improvement of outer wall inspection using acoustic irradiation induced vibration from UAV
3. 学会等名 Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuneyoshi Sugimoto, Kazuko Sugimoto, Itsuki Uechi, Noriyuki Utagawa and Chitose Kuroda
2. 発表標題 Efficiency Improvement of Outer Wall Inspection by Noncontact Acoustic Inspection Method using Sound Source Mounted Type UAV
3. 学会等名 2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuneyoshi Sugimoto, Kazuko Sugimoto, Itsuki Uechi, Noriyuki Utagawa and Chitose Kuroda
2. 発表標題 Outer wall inspection by noncontact acoustic inspection method using sound source mounted type UAV
3. 学会等名 Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上地樹、杉本恒美、杉本和子、川井重弥、歌川紀之、川上明彦
2. 発表標題 コンクリート非破壊検査のための非接触音響探査法に関する研究 長距離計測に関する検討( )
3. 学会等名 日本音響学会 平成30年度 春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上地樹、杉本恒美、杉本和子、川井重弥、歌川紀之、黒田千歳、川上明彦
2. 発表標題 コンクリート構造物に対する非接触音響探査法に関する検討 - 大規模橋梁に対する長距離計測 -
3. 学会等名 平成30年度 超音波研究会 (US)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上地樹、杉本恒美、杉本和子、川井重弥、歌川紀之、黒田千歳、川上明彦
2. 発表標題 空中放射音波を用いた非接触欠陥検出法に関する検討 -高架橋における30mを超える長距離計測( )-
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 平成30年度秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上地樹、杉本恒美、杉本和子、小菅信章、川上明彦、歌川紀之
2. 発表標題 非接触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 長距離計測に関する検討( )
3. 学会等名 平成30年度 土木学会 全国大会 第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本恒美、杉本和子、上地樹、歌川紀之、黒田千歳
2. 発表標題 UAVからの音波照射加振による外壁の非接触音響検査
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 杉本恒美、上地樹、杉本和子、歌川紀之、黒田千歳
2. 発表標題 空中放射音波を用いた非接触欠陥検出法に関する検討 音源搭載型ドローンを用いた外壁点検(1)
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 平成30年度秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuneyoshi Sugimoto, Kazuko Sugimoto, Itsuki Uechi, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda
2. 発表標題 High speed noncontact acoustic inspection method using sound source mounted type UAV for the outer wall inspection
3. 学会等名 Proceedings of symposium on ultrasonic electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuneyoshi Sugimoto, Kazuko Sugimoto, Itsuki Uechi, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda
2. 発表標題 Outer wall inspection using acoustic irradiation induced vibration from UAV for noncontact acoustic inspection method
3. 学会等名 2018 IEEE IUS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本恒美、杉本和子、上地樹、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 -音源搭載型UAVを用いた外壁検査の効率化に関する検討-
3. 学会等名 日本音響学会 平成30年度 秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本 恒美、上地 樹、杉本 和子、歌川 紀之、黒田千歳
2. 発表標題 非接触音響探査法を用いた欠陥探査技術の開発 音源搭載型UAV による外壁検査に関する検討
3. 学会等名 平成30年度 土木学会 全国大会 第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本恒美、杉本和子、上地樹、歌川紀之、黒田千歳
2. 発表標題 音源搭載型UAVを用いた非接触音響探査法による外壁検査に関する検討
3. 学会等名 物理探査学会第138回(平成30年度春季) 学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本恒美
2. 発表標題 非接触音響探査法による外壁調査の効率性向上に関する検討
3. 学会等名 第2回建築ドローンシンポジウム「建築×ドローン2018」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上地 樹
2. 発表標題 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 長距離計測に関する検討( )
3. 学会等名 平成29年度 土木学会 全国大会 第72回年次学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 非接触音響解析システム及び非接触音響解析方法	発明者 発明者：杉本恒美、 上地樹、杉本和子、 歌川紀之、黒田千歳	権利者 学校法人桐蔭学 園、佐藤工業 (株)、(株)日本サー
産業財産権の種類、番号 特許、2018-090807	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----