

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—

桐蔭横浜大学	大学院工学研究科	正会員	○杉本	恒美
桐蔭横浜大学	大学院工学研究科	正会員	上地	樹
桐蔭横浜大学	大学院工学研究科	正会員	杉本	和子
佐藤工業(株) 技術研究所		正会員	歌川	紀之
佐藤工業(株) 技術研究所		正会員	黒田	千歳

1. はじめに

平成 20 年度より、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方法の早急な開発が求められている。一方で、本研究室で研究開発を行っている非接触音響探査法¹⁻⁶⁾では、打音と同程度の検出性能をもつものの計測対象面との角度依存性や周囲への環境騒音という問題が存在するために、すぐに高層建築の外壁検査に応用することは困難であった。ところが近年、コンクリート構造物の外観点検に無人航空機(UAV:Unmanned aerial vehicle)としてマルチロータ形のヘリコプタいわゆるドローンが用いられ始めており、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音波照射加振による欠陥探査が可能になることが予想される状況になってきた。そこで、小型音源を UAV に搭載して、空中から音響加振を行い、地上からレーザドップラ振動計(LDV:Laser Doppler Vibrometer)による振動計測を行うという、新たな計測法を提案している。このような構成とすることにより、従来、本手法の課題であった角度依存性や周囲への環境騒音の問題をクリアすると同時に大遠距離での計測を LDV の計測可能限界(対象物にも依存するが通常 100~150m 程度)まで実施できるようになることが期待される。そこで、今回は提案手法の実現可能性を確認するための基礎検証実験を行った。



図 1 音源搭載型 UAV の概観写真

2. 外壁供試体と音源搭載型 UAV について

音源搭載型 UAV (試作機) の外観写真を図 1 に示す。ベース機体は DJI 社の Matrice 600 Pro で、機体下面に平面スピーカ (FPS 1030M3F1R)、照準用レーザポインタおよびレーザ距離計を搭載している。

検証実験用に製作した外壁供試体(2×1.6×0.2m³)に埋設された模擬欠陥シートの配置図を図 2 に示す。シートの埋設深さは母材からタイル上面までを 10mm とすると(モルタル厚さとタイルの貫入厚さにより異なる)、どちらもタイル面から約 9mm 程度である。(発泡シート厚さ 1mm、スチレンシート 0.5mm+両面テープ 0.5mm)。なお、一つのタイルの大きさは約 45×95mm²程度である。今回は、計測時間の関係上、外壁供試体上側の 2 列の模擬欠陥 8 個(欠陥規模 50~200 mm²)に対して UAV からの音波照射実験を行った。

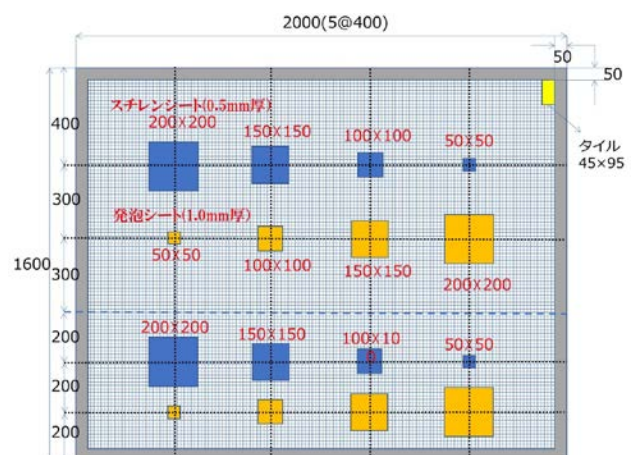


図 2 外壁供試験体の模擬欠陥配置図

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, 無人航空機(UAV), 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

3. 実験セットアップ

検証実験における実験セットアップ図を図3に示す。音源搭載型 UAV はほぼ模擬欠陥位置に正対させ、外壁供試体までの距離は 1.6~1.7m 程度であった。計測用スキャニング LDV (Polytec PSV-500 Xtra) は斜めに約 38~55° 程度の角度および約 2.4~3.4m の距離で振動計測を行った。音波照射加振に使用した波形はシングルトーンバースト波で、対象欠陥のたわみ共振周波数に合わせるために、2種類の波形を作成して使用した。一つ目の波形は周波数範囲 0.5 ~ 4kHz で欠陥のサイズが 100~200 mm² の時に使用した。二つ目の波形は 9~13kHz のシングルトーンバースト波で、欠陥のサイズが 50 mm² の時に使用した。どちらの波形も変調周波数は 100 Hz、インターバル 15 ms、パルス幅 5 ms の波形である。加振時の音圧は計測対象面で約 95 dB 程度に設定した。なお、今回は強風が吹く状況であったために、UAV は実際には飛行させず、運搬用車両の後部に搭載した状態で計測を行っている。

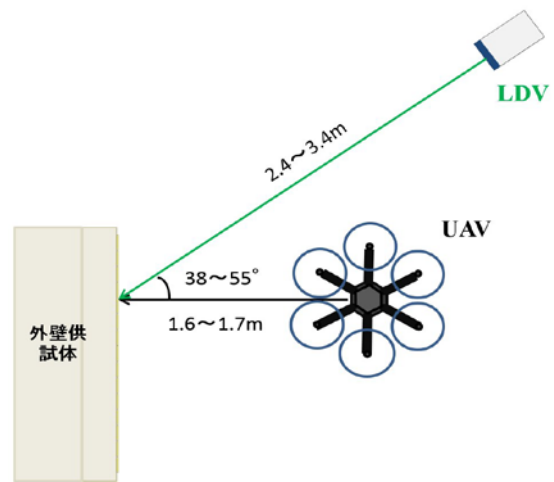


図3 実験セットアップ (上面図)

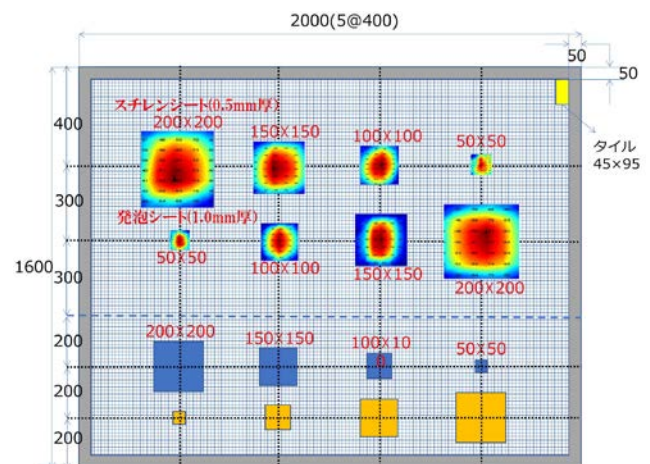


図4 実験結果例 (振動エネルギー比表示)

4. 実験結果

使用した周波数帯域での振動エネルギー比による映像結果例を図4に示す。振動エネルギー比を計算する際の周波数範囲は、送信波形に合わせて欠陥のサイズが 100 ~ 200 mm² の時は 0.5~4kHz、50 mm² の時は 9~13kHz としている。計測ポイント数は 121 (11×11) で、加算平均 5 回で計測時間は約 9 分 11 秒程度であった。なお、計測時の気温は屋外実験のため、約 10° C であった。図より、欠陥サイズ 50~200 mm² のすべてが検出されていることがわかる。このうち 50 mm² の欠陥はたわみ共振周波数が 10kHz 以上と高いため、通常の叩き点検で発見することは困難な欠陥である。

5. まとめ

UAV に搭載できるような小型音源でも、たわみ共振を利用した手法により外壁タイルのはく離欠陥を検出することが可能であることが実証された。本手法は UAV に音源を搭載していることで、欠陥部に接近させることができるため、従来の非接触音響探査法の問題点であった角度依存性および環境騒音問題の両方を同時に解消することが可能となる。本手法は原理的にも叩き点検と全く同じたわみ共振を用いていることから、叩き点検の代替手法として使用可能な手法であり、将来的には全世界の叩き点検の常識を本手法が変えていくことになることが予想される。

謝辞：本研究は JSPS 科研費(17K12991)および平成29年度 国土交通省 建設技術研究開発助成制度の助成を受けて実施された。

参考文献：

- 1) 歌川, 赤松, 杉本, 土木学会(第66回)年講, pp.79-80, (2011)
- 2) 杉本, 赤松, 歌川, 片倉, 土木学会(第68回)年講, pp.173-174, (2013)
- 3) 杉本, 赤松, 歌川, 片倉, 土木学会(第69回)年講, pp.959-960, (2014)
- 4) 杉本(恒), 杉本(和), 上地, 歌川, 片倉, 土木学会(第70回)年講, pp.227-228, (2015)
- 5) 杉本(恒), 杉本(和), 上地, 歌川, 片倉, 土木学会(第71回)年講, pp.1525-1526, (2016)
- 6) 杉本(恒), 杉本(和), 金子, 森岡, 志岐, 中川, 歌川, 土木学会(第72回)年講, pp.1871-1872, (2017)