

UAV からの音波照射加振による浅層地中探査技術のための基礎検討（その2）

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		中川	裕
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

音波照射加振とレーザドップラ振動計(LDV : Laser Doppler Vibrometer)を用いた非接触音響探査法では、20m 以上の遠隔からでもコンクリート構造物の表面近くにある亀裂欠陥等が探査可能であることを、橋梁や地下大空洞（吹付けコンクリート）等で明らかにしてきた¹⁻⁸⁾。一方で、音源と計測対象面に角度が付きすぎると（通常 30 度以上）、たわみ共振現象を励起させにくくなるという音源の角度依存性の問題と、遠距離から音波を照射する場合には、大型音源が必要となるために環境騒音が避けられないという問題が存在していた。しかしながら、近年、手軽に利用できるようになった無人航空機(UAV : Unmanned Aerial Vehicle)から音波照射ができれば、計測対象面に接近できるため、UAV に搭載可能な小型音源が使用可能となり、角度依存性と環境騒音の問題を同時に解決できる。そのため、音源搭載型 UAV とタイル外壁供試体を用いた基礎検討実験を実施し、実際に UAV からの音波照射加振によるタイル外壁検査が実施可能であることを明らかにした⁹⁾。このことはすなわち、音波照射加振を用いる非接触音響探査法では、UAV を用いることで音源位置を自由に変更できるため、極めて広範囲の探査が可能であることを意味している。

一方で比較的浅い地中（約 15 cm 程度）を探査する手法としてはレーダ探査、磁気探査、電気探査および弾性波探査といった方法が主に用いられている。しかしながら、どの手法も計測用機材を地表面に接触もしくは近づける必要があり、遠隔から非接触で探査を行うことは困難であった。ところが、UAV からの音波照射加振を用いた場合には、測定面の振動速度分布を計測できれば良いので、10 m 以上の離隔があっても、非接触で浅層地中探査が実施できる可能性がある。今回は、実験の再現性を重視して、粒径分布が比較的均一と思われる珪砂 7 号を用いて、音波照射加振による浅層地中探査の基礎検証を行った¹⁰⁾。今回は一般的な土壌である関東ローム土を用いて、計測可能な埋設物の大きさや計測可能距離についての基礎検討を行った。

2. 検出可能な埋設物の大きさ

図 1 に示すように、埋設物の真上に平面音源(FPS Corp., FPS2030M3P1R)を配置し、地表面上の振動速度分布をスキャニング振動計 (SLDV : Scanning LDV, Polytec Corp., PSV-500Xtra) を配置した。直径 180 mm（高さ約 60 mm）と直径 100 mm（高さ約 40 mm）のホーロー容器（ホーロー鋼板製+ポリエチレンの蓋付）の三種類を準備した。どの容器も中空の状態とし、ホーロー容器の場合には、蓋部を下にして埋設した。なお、比較のために埋設物の深さは 50 mm とした。使用波形は周波数範囲 50~300 Hz のマルチトーンバースト波である（パルス幅は 20 ms）。

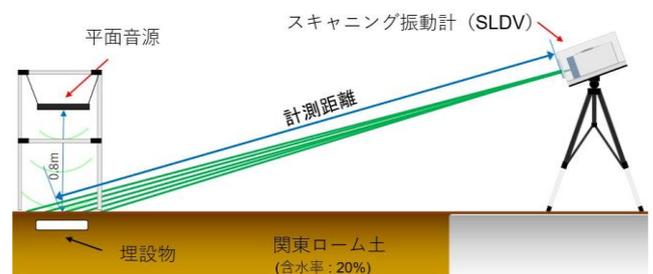


図 1 音波照射加振とレーザドップラ振動計を用いた非接触音響探査法の遠距離計測用セットアップ

キーワード 浅層地中探査, 非接触音響探査法, 無人航空機(UAV), 音波照射加振, スキャニング振動計

連絡先 〒225-8503 神奈川県横浜市青葉区鉄町 1614 TEL 045-974-5059 FAX 045-972-5972

なお、実験前に1日程度、約5 kg程度の土嚢を用いて板の上から加圧している。また、音源と埋設物およびLDVと埋設物の距離はそれぞれ0.8 m, 1.3 mで、音圧は約98 dB(Z特性最大値)とした。今回、使用した関東ローム土の含水率は約20%程度と非常に乾燥しており、地表面の土粒子が振動しやすい状態であったため、埋設物周囲の含水率を40%程度に調整した場合の実験結果例を図2に示す。図より、埋設物上の土の状態に依存して検出される振動分布が変化するものの、すべて検出可能であることがわかる。

3. 計測可能な距離

次にSLDVの位置を埋設物から10, 20, 30 mと変化させた場合の検討を行った。埋設物としては深さ50 mmに埋設された直径300 mm プラポールベースを用い、含水率は20%のまま実験を行った。使用波形は周波数範囲50~200 Hzのシングルトーンバースト波である。振動エネルギー比分布を図3に示す。図中の黒線円は埋設物の大きさと位置を示す。図より、距離が離れることにより、LDVのレーザー光が地表面に入射する角度が小さくなっていくため、映像としては乱れていくものの、20 m程度までは埋設物の形状を反映してドーナツ状の円中央孔の振動が円周部より、小さくなっていることが確認できる。

4. まとめ

関東ローム土を用いた検討結果から、含水率を40%とすることで、地表面から50 mmの深さに埋設された直径100~300 mmの中空円形容器が検出可能であることが確認された。また、埋設物とLDV間の距離は約20 m程度でも検出できることが明らかになった。これらの実験結果から、UAVに搭載できるような小型音源でも遠距離浅層地中探査が実現可能であることが明らかになった。そのため、今後は様々な土壌を用いた場合および実際にUAVに音源を搭載した場合の検討を実施する予定である。

謝辞

本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度JPJ004596の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) 杉本(恒), 赤松, 歌川, 片倉, 土木学会(第67回)年講, VI-030, pp.59-60, (2012)
- 2) 杉本(恒), 赤松, 歌川, 片倉, 土木学会(第68回)年講, VI-087, pp.173-174, (2013)
- 3) 杉本(恒), 赤松, 歌川, 片倉, 土木学会(第69回)年講, VI-480, 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, VI-114, 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, VI-736, 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, VI-936, pp.1871-1872, (2017)
- 7) 上地, 杉本(恒), 杉本(和), 小菅, 川上, 歌川, 土木学会(第73回)年講, VI-411, pp.821-822, (2018)
- 8) 上地, 杉本(恒), 歌川, 森岡, 土木学会(第74回)年講, VI-793, (2019)
- 9) 杉本(恒), 上地, 杉本(和), 歌川, 黒田, 土木学会(第73回)年講, VI-425, pp.1871-1872, (2018)
- 10) 杉本(恒), 中川, 上地, 杉本(和), 歌川, 黒田, 土木学会(第75回)年講, V-396, (2020)

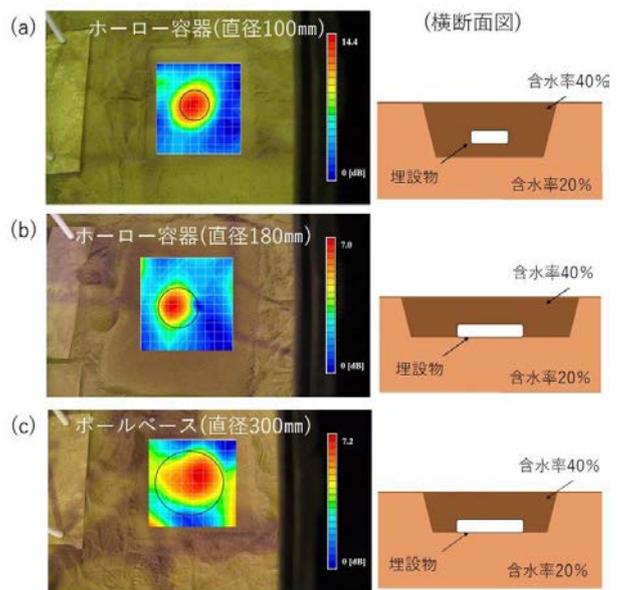


図2 埋設物の振動エネルギー比分布図(50-300Hz, 埋設深さはどれも50mm) (a) 直径100mmのホーロー容器, (b) 直径180mmのホーロー容器, (c) 直径300mmのプラポールベース

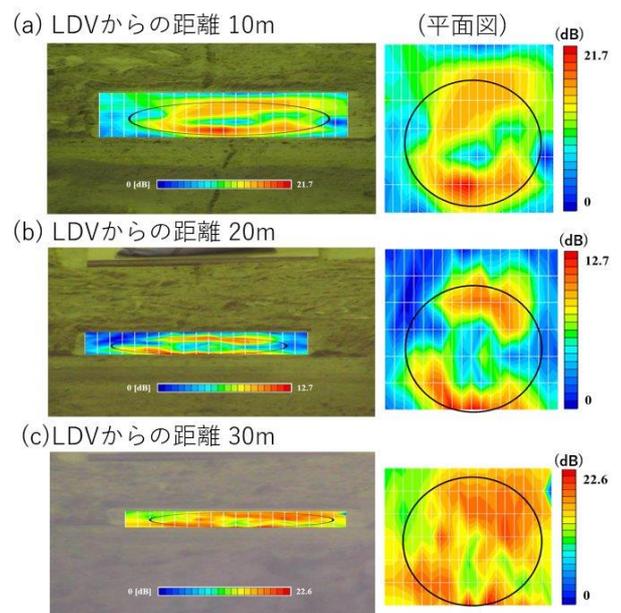


図3 振動エネルギー比分布図(50-200Hz) LDVからの距離 (a) 10 m, (b) 20 m, (c) 30 m