

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成 22 年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.22-3	非破壊検査のための非接触音響探査法 についての研究開発	桐蔭横浜大学・大学院 教授 杉本 恒美

打音法では点検作業に足場や高所作業車が必要となるような場所、例えばトンネルや橋梁における打音法の代替となるような手法を実現するため、強い音響振動を発生する長距離音響発生装置(LRAD)と高感度のスキャニング振動計(SLDV)を組み合わせた非破壊検査のための遠距離非接触音響探査法を研究目的として、その基本特性および適用条件等を明らかにするためにコンクリート供試体および実構造物での探査実験を実施する研究開発。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

近年、地表面やコンクリート表面等屋外で 2 次元振動計測が可能な高感度のスキャニング振動計(SLDV:Scanning Laser Doppler Vibrometer)や通常のラウドスピーカと異なり 100dB 以上の音圧を 10メートル以上離れた場所でも発生できる長距離音響発生装置(LRAD; Long Range Acoustic Device)が開発された。そのため、被測定物から 10メートル以上離れた位置において、非接触で非破壊計測が行える可能性が予測される状況になってきた。したがって、本研究の目的は、高感度のスキャニング振動計と長距離音響発生装置を組み合わせた制御により、非接触・広域の音響探査システムを構築し、主としてコンクリート構造物を対象とした非破壊検査用非接触音響探査システムの実用化を図ることである。

2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

FS 評価試験の結果から、非接触音響探査法が遠距離からでもコンクリート内部の空洞欠陥を探査可能であることが明らかになった。そのため、本研究においてはコンクリート構造物の欠陥に関する基礎調査を行い、調査すべき試験体として剥離試験体および円形試験体がリストアップされた。その上で検討項目としては(1)欠陥検知アルゴリズムの改善検討、(2)レーザドップラ振動計を用いた計測高精度・高速化に関する検討、(3)大音圧音源を用いた遠距離音場制御に関する検討、(4)コンクリート供試体の製作および実地調査実験などを実施した。

3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

(1)送信波形の工夫による測定感度、計測速度の向上

空中放射音波とレーザ光の伝搬速度の差を利用したトーンバースト波を利用することにより、15dB 以上の感度改善を行うことができた。このことは同時に、アベリッジ回数を減らせるという意味で計測速度の改善を意味している (Fig.1 参照)。

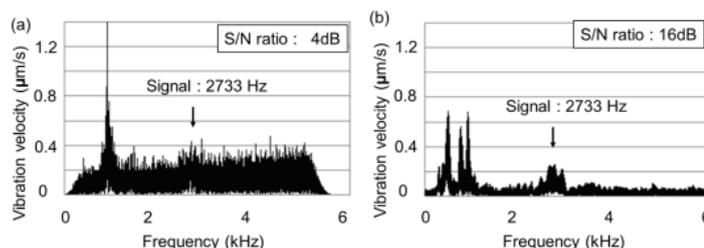


Fig.1. Vibration velocity spectra on the damaged part. (a) chirp wave, (b) Tone burst wave with time gate.

(2)振動エネルギー比による欠陥判定アルゴリズム

欠陥部があるときのみ、振動速度スペクトルに分布(すなわち振動エネルギー)が生じており、必ずしも単一のスペクトルピークを持つとは限らないことから、振動エネルギー比を用いた欠陥判定アルゴリズムを導入した。コンクリート供試体の計測データから健全値との閾値は 3.6dB 前後であると仮定し、実コンクリート構造物に適用してたたき点検法と比較したところ、ほぼ類似した良好な結果を得ることができた (Fig.2 参照)。

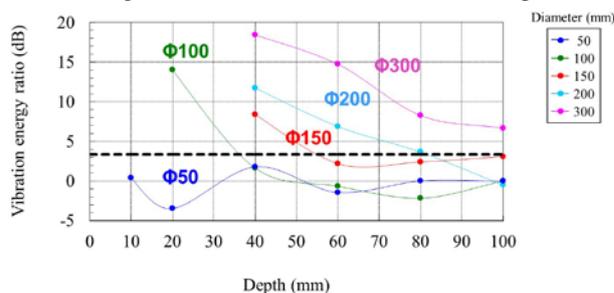


Fig.2. Vibration energy ratio between the defective and healthy part.

(3) 強力超音波音源による角度依存性の改善

LRAD 音源を音源として用いた場合、良好な計測結果を得るためには対象の大きさとたわみ共振周波数にも依存するが ± 30 度以内で対象物に照射する必要があった。しかしながら、強力超音波音源を用いることにより角度依存性は倍の ± 60 度程度まで改善することが明らかになり、LDV 計測と合わせて、非常に計測範囲の広い手法となることが判明した(Fig.3 参照)。また副産物として、指向性も向上するため騒音問題も解決することが予測される。

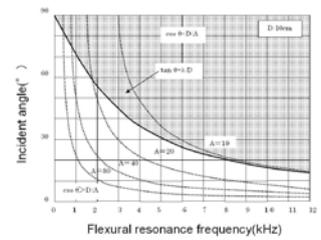


Fig.3. Angular dependence of parametric speaker.

(4) コンクリート供試体および実構造物を用いた探査実験

円形供試体を用いた実験結果 (離隔 5m) より、探査可能な欠陥の大きさと深さは通常のたたき点検によるものとほぼ同等であることが確認された。また、割裂供試体を用いた実験結果 (離隔 5m) より、亀裂幅が 0mm でも音響探査法では探査可能であることが確認された。さらに実コンクリート構造物を用いた探査実験も北陸自動車道、N2U-Bridge 等複数個所で実施し、屋外でも通常のたたき点検による結果と遜色が無いことが明らかにされた(Fig.4 参照)。

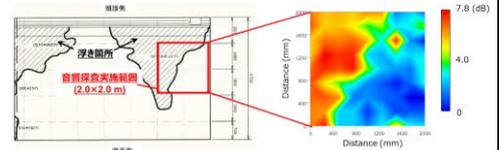


Fig.4. Experimental results. (a) Hammer method (slash part :float), (b) Non contact acoustic inspection method using vibration energy ratio.

(5) まとめ

以上より、非接触音響探査法は遠距離から従来の打音法と同程度の精度での探査を行うことが可能であることが実証された。騒音問題、測定速度など実用化に向けて改善すべき点はあるものの、いずれも解決可能な問題であり、本手法による実用システムは近い将来実現すると思われる。

4. 主な発表論文 (研究代表者はゴシック、研究分担者は下線)

- (1) T. Sugimoto, R. Akamatsu, N. Utagawa and S. Tsujino, "Non Contact Acoustic Exploration Method for Concrete using SLDV and LRAD", Acoustics 2012 Nantes, Proceedings pp.835-839, 2012.04.24
- (2) T. Sugimoto, R. Akamatsu, N. Utagawa and S. Tsujino, "Non Contact Long Distance Exploration Method for Concrete using SLDV and LRAD", Acoustics 2012 Hong Kong, Proceedings 6pages, 2012.05.17
- (3) 赤松亮、杉本恒美、歌川紀之、辻野修一、長距離音響発生装置を用いた非接触欠陥検出法の検討、コンクリート構造物の非破壊検査、Vol.4, pp.31-36 (2012.08)
- (4) Ryo Akamatsu, Tsuneyoshi Sugimoto, Noriyuki Utagawa, and Kageyoshi 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 (2013.07)
- (5) Kageyoshi Katakura, Ryo Akamatsu, Tsuneyoshi Sugimoto, and Noriyuki Utagawa, "Study on detectable size and depth of defects in noncontact acoustic inspection", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.53, 07KC15 (2014.07)

5. 今後の展望 (研究成果の活用や発展性、今後の課題等)

コンクリート構造物に対する遠距離からの非接触による非破壊検査法の早急な開発が点検現場のみならず世間一般から要求される時代になってきている。今回の研究結果より、非接触音響探査法は起こしている振動現象が叩き点検と同じたわみ振動であり、5m以上の離隔でも叩き点検と同程度の欠陥探査精度を持っていることが明らかになった。したがって、本手法は遠距離非接触での非破壊探査という基本的な要求性能を満たせるだけでなく真の意味で叩き点検を代替できる手法であることが期待できる。実用システムを構築するに当たっては、騒音問題や計測速度等の改善を行う必要があるものの、解決不可能な問題では無いため、実現の可能性は極めて高いと言える。

6. 道路政策の質の向上への寄与 (研究成果の実務への反映見込み等)

本方式がシステムとして実用化されれば道路や橋梁などの公共コンクリート構造物の日常点検や定期点検の効率化と調査精度の向上に寄与するとともに、公共交通の安全性確保に大きく貢献できる。また、従来点検が困難であった高所作業や危険作業、交通ルートの変更などを余儀なくされる点検作業等においても、遠隔操作による計測が可能となり、安全・防災面において我が国ばかりでなく全世界的に大きな変革をもたらすことが期待される。

7. ホームページ等 (関連ウェブサイト等)

<http://www.cc.toin.ac.jp/sc/sugimoto/>