

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2016

課題番号：15H05530

研究課題名(和文) 超高強度超音波によるコンクリート浅層の微小き裂の非接触非破壊イメージングへの挑戦

研究課題名(英文) Challenge of non-contact and non-destructive imaging of micro crack in shallow layer of concrete by very high intensity aerial ultrasonic wave

研究代表者

大隅 歩 (OSUMI, Ayumu)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号：40579413

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、建設から数十年が経過したコンクリート構造物の劣化が懸念され、非接触非破壊検査の開発が求められている。これまでは、赤外線法や電磁波法が用いられてきたが、最近、非接触音響探査法が研究開発されている。本研究の目的は、コンクリート構造物浅層の微小き裂を超高強度の空中超音波とレーザードップラ振動計を用いて非接触非破壊でイメージングする計測システムの構築である。本研究では、(1)実験装置の開発(2)実験試料の作成(3)構築したシステムの実証試験を実施した。その結果、開発した実験装置と計測システムを用いて、コンクリートを想定したモルタル表層に設けた1mm幅のき裂のイメージングが行えることを実証した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, deterioration of concrete structures decades since construction was concerned, and development of effective noncontact nondestructive diagnostic technology is required. Generally, infrared method and electromagnetic wave method are developed and used. On the other hand, non-contact acoustic methods using acoustic waves have been researched and developed recently. The objective of this study is to develop a non-contact and non-destructive measurement system for imaging a micro crack in shallow layer in concrete by very high-intensity aerial ultrasonic waves and Laser Doppler galvanometer. In this study, we performed (1) development of experimental device (2) formation of experimental specimen (3) experiment of detecting defect by development system.

As a result, it is demonstrated that 1 mm wide cracks in shallow layer of mortar assuming concrete can be imaged with high accuracy using the developed experimental apparatus and measurement system.

研究分野：超音波工学

キーワード：非破壊検査 空中超音波 非線形音響 高調波 非接触 き裂

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の劣化は、崩落事故などの重大な事故を引き起こすことが懸念されており、非破壊診断はそれを回避する重要な検査となっている。一般的に、広く用いられている打音検査は、検査対象がトンネルや橋梁の場合には、検査範囲はかなり広くなり、しかも高所作業も発生する。したがって、検査時間およびその労力は極めて膨大である。これを解決する方法として、非接触による非破壊検査法が開発されてきた。

これまで、コンクリート浅層の非接触非破壊診断として、赤外線法や電磁波法が開発利用されているが、最近、音波を利用した非接触音響探査法が研究開発されている。

この方法は、比較的大きな欠陥や剥離の検出は可能であることが明らかにされているが、使用する周波数の関係から、非常に小さなき裂に対して適用が難しい。その一方、重大な事故などを未然に防ぐためには、大きな欠陥や剥離に繋がる前の小さなき裂状態であるうちに早期発見することが望ましい。したがって、このようなき裂を検出する非接触音響探査法を開発する必要性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来の非接触音響探査法では検出が難しいコンクリート浅層に存在する微小なき裂を超高強度空中超音波の非線形性により発生する高調波を用いてイメージングすることに大きな特徴がある。具体的な手法としては、超高強度空中超音波で対象を強制的に励振し、その振動をレーザドップラ振動計で非接触検出する。その計測した振動を周波数解析し、主に高調波成分の振動分布からき裂をイメージングする。

3. 研究の方法

本研究では、以下の方法で研究を実施した。

(1)非接触での超音波探傷を実現するために超高強度の空中超音波を照射する音源が必要である。そのために、音波を一点に集束させ非常に強い音波を照射できる点集束型音源を設計し、開発する。

(2)開発した音源と非接触で振動を計測するレーザドップラ振動計と組み合わせた実験装置および計測システムを構築する。

(3)浅層き裂が存在する模擬試料を作成する。本研究では、コンクリートに粗骨材を混ぜる前のモルタルを実験試料とした。試料には、人工的なき裂として薄いポリスチレンシートを挿入し、硬化直前に引き抜くことで再現する。

(4)構築した計測システムを用いて、提案手法によるき裂イメージングの可能性と表面に発生する表面波との理論検証を行う。

(5)構築した計測システムを用いて、模擬き裂試料のき裂イメージングの検証と高精度化の検討を行う。

4. 研究成果

(1)超高強度空中超音波を照射できる音源を設計開発した。図1に設計開発した点集束型音源の概要図を示す。この音源は、集束点において最大で7000Pa程度の音圧を発生させることが可能である。また、強力音波の非線形現象によって基本周波数の整数倍の高調波も発生していることが確認できた。

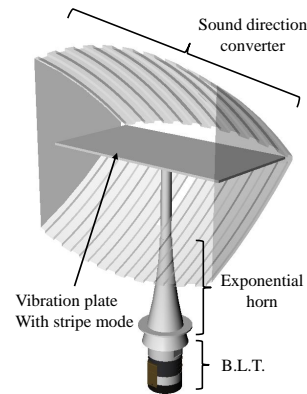


図1 開発した音源

(2)提案手法に基づいて、実験装置および計測システムを構築した。図2は、開発した音源とレーザドップラ振動計を組み合わせて構築した計測装置の概要図である。装置および周辺機器は、すべてPCからの制御となっており、グラフィックプログラムのLabviewで計測からき裂のイメージングまでの一連の流れをシステム化している。実験においては、装置は音波集束点と計測用レーザが一致するようになっており、対象の強制励振点の振動が計測できる構造になっている。また、計測した振動速度データを、データロガーを通じてPCが自動的に取得し、リアルタイムでき裂を映像化するシステムとなっている。

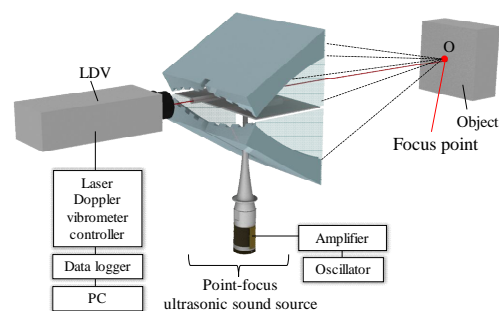


図2 構築した計測システムの概要図

(3)実在のき裂を模擬した試料を作成した。図3は、作成した模擬き裂試料の外観である。試料の中のき裂は、モルタルを型枠に流し込む際に厚みが1mmの薄いポリスチレンシートを挿入し、硬化直前に引き抜くことで再現した。

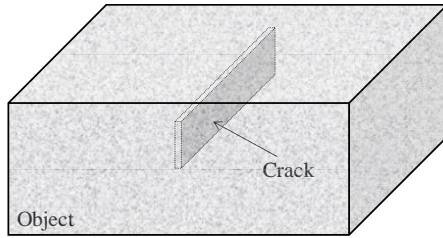


図 3 作成した試料

(4)構築した計測システムを用いて、き裂のイメージングについて検証を行った。この基礎検討では、き裂イメージングの可能性と理論との検証を同時に行うために、き裂を模擬した試料には、背面から掘削したき裂を設けたアクリルを用いた。また、実験もき裂部の中心と音波集束点を一致させて加振し、その周辺の振動速度分布を計測している。

その結果、図 4 に示すようにき裂部に沿って振動モードが発生し、き裂がイメージングできることが確認できた。また、高調波であるほど、モード間隔が狭まり、イメージングの精度が向上することも確認できた。なお、そのモード間隔から波長と音速を算出すると、表面波と一致することを確認した。

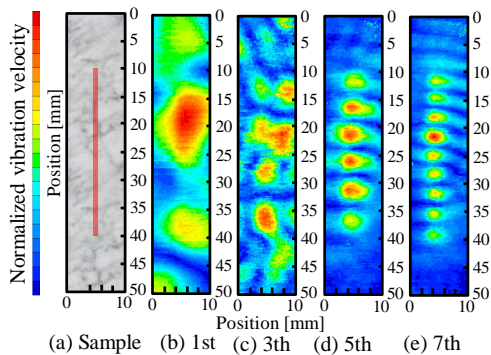


図 4 き裂のイメージング

(5)構築した計測システムと作成した模擬試料を用いてき裂の高精度イメージングについて検討を行った。この検討では、実用的な観点から加振点と計測点を一致させて計測している。

その結果、図 5 に示すようにき裂部の振動速度分布は、健全部と比較して大きく振動し、イメージングできているのがわかる。なお、低周波においては、イメージングできないことが確認できる。また、高い周波数であるほどき裂の寸法により近くなり高精度なイメージングができていることが確認できた。

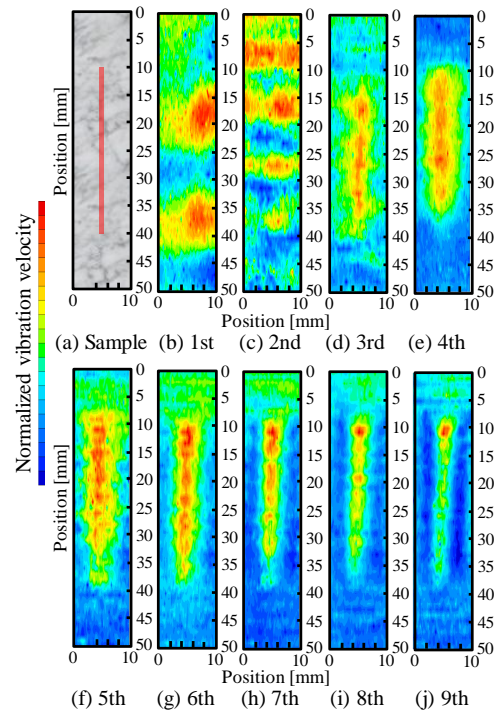


図 5 き裂のイメージング

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. A. Osumi, M.Ogita, K. Okitsu, and Y. Ito, Detection of micro-cracks in a shallow layer of mortar by using a harmonic component of very high-intensity aerial ultrasonic waves, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 2017, 掲載確定.
2. F.Hajime, A. Osumi, and Y. Ito, Surface hardness monitoring of cement during curing by high-intensity aerial ultrasonic waves, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 2017, 掲載確定.
3. 大隅歩、伊藤洋一、佐藤正己、梅村靖弘、強力空中超音波と光学機器を用いたモルタル内欠陥の非接触非破壊検査の基礎検討、コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, 査読有, Vol. 5, pp.183-190, 2015.

〔学会発表〕(計 37 件)

1. 興津和弥、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波法によるコンクリートの火害診断 -多周波によるイメージングの検討-、日本音響学会 2017 年春季研究発表会、2017 年 3 月 17 日、明治大学(神奈川県川崎市)。
2. 大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波によるコンクリート浅層微小き裂の非接触イメージングの試み(3) -振幅と位相によるイメージング-、日本音響学会 2017 年春季研究発表会、2017 年 3 月 15 日、明治大学(神奈川県川崎市)。
3. 向山友里子、大隅歩、伊藤洋一、空中超

- 音波ビームを用いた固体材料の内部欠陥検出(III) -高調波によるイメージング-、日本音響学会 2017 年春季研究発表会、2017 年 3 月 15 日、明治大学(神奈川県川崎市)。
4. 大隅歩、佐藤祐尚、伊藤洋一、超高強度空中超音波による固体浅層き裂のサーマルイメージング、電子情報通信学会超音波研究会、2017 年 2 月 21 日、産業技術総合研究所(茨城県つくば市)。
 5. 向山友里子、大隅歩、伊藤洋一、空中超音波ビームを用いた固体浅層欠陥の高調波イメージング、第 24 回超音波による非破壊評価シンポジウム、2017 年 1 月 27 日、東京都立産業技術研究センター(東京都江東区)。
 6. 興津和弥、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波法によるコンクリートの火害診断-高調波を用いたイメージング-、電子情報通信学会超音波研究会、2017 年 1 月 25 日、同志社大学(京都府上京区)。
 7. 興津和弥、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波法によるコンクリートの火害診断-高調波を用いたイメージング-、電子情報通信学会超音波研究会、2017 年 1 月 25 日、同志社大学(京都府上京区)。
 8. 大隅歩、伊藤洋一、超高強度空中超音波を用いた固体浅層の微小き裂の高調波イメージング ~ 振幅と位相によるイメージング ~、電子情報通信学会超音波研究会、2016 年 12 月 12 日、東京工業大学(神奈川県横浜市)。
 9. Y.Mukaiyama, A.Osumi, Y.Ito, A non-contact detection of the internal defect in solid material by aerial ultrasonic beam, The 5th Joint Meeting Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Dec 12, 2016, Hawaii (America).
 10. A.Osumi, Y.Ito, Non-contact method for detecting crack in shallow layer of solid materials by using very high-intensity aerial ultrasonic wave and optical equipment., The 5th Joint Meeting Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Dec 12, 2016, Hawaii (America).
 11. F.Hajime, A.Osumi, Y.Ito, Surface hardness monitoring of object during hardening by high-intensity aerial ultrasonic waves, The 37th Symposium on Ultrasonic Electronics, Dec 11, 2016, Korea(Busan).
 12. A.Osumi, Y.Ito, A method of detecting micro crack in shallow layer of solid material by harmonic component of very high-intensity aerial ultrasonic wave, The 37th Symposium on Ultrasonic Electronics, Dec 11, 2016, Korea(Busan).
 13. 大隅歩、伊藤洋一、非線形空中超音波を用いた固体浅層欠陥の高調波イメージング、平成 28 年度第 2 回日本非破壊検査協会超音波部門、2016 年 10 月 27 日、白銀ビル(群馬県高崎市)。
 14. 藤原甫、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波を用いたセメント硬化過程の表面硬さ推定、電子情報通信学会超音波研究会、2016 年 10 月 7 日、日本大学(福島県郡山市)。
 15. 大隅歩、伊藤洋一、非線形空中超音波を用いた固体浅層の欠陥イメージング、平成 28 年度日本非破壊検査協会秋季講演大会、2016 年 10 月 6 日、ハーネル仙台(宮城県仙台市)。
 16. 向山友里子、大隅歩、伊藤洋一、空中超音波ビームを用いた固体材料の内部欠陥検出(II) - 音波の照射角度と検出効果 -、日本音響学会 2016 年秋季研究発表会、2016 年 9 月 16 日、富山大学(富山県富山市)。
 17. 大隅歩、伊藤洋一、超高強度超音波を利用したモルタル浅層き裂のサーマルイメージング、日本音響学会 2016 年秋季研究発表会、2016 年 9 月 15 日、富山大学(富山県富山市)。
 18. 伊藤洋一、大隅歩、超高強度空中超音波を用いた非接触マルチイメージング、日本音響学会 2016 年秋季研究発表会、2016 年 9 月 15 日、富山大学(富山県富山市)。
 19. 藤原甫、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波を用いたセメント硬化過程の表面硬さの非接触計測(II)、日本音響学会 2016 年秋季研究発表会、2016 年 9 月 15 日、富山大学(富山県富山市)。
 20. 大隅歩、伊藤洋一、超高強度空中超音波を用いた固体中微小き裂の高調波イメージング、2016 年度非線形音響研究会、2016 年 7 月 3 日、加藤山崎教育基金軽井沢研修所(長野県軽井沢市)。
 21. 興津和弥、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波によるコンクリートの火害診断-計測点数とイメージング精度の最適化に関する検討-、日本火災学会、2016 年 5 月 17 日、アオーレ長岡(新潟県長岡市)。
 22. 大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波を用いたソフトマテリアル表面性状の高調波イメージング、電子情報通信学会超音波研究会、2016 年 4 月 18 日、早稲田大学(東京都新宿区)。
 23. 大隅歩、大喜多雅士、伊藤洋一、強力空中超音波によるコンクリート浅層微小き裂の非接触イメージングの試み(2) - 高調波を用いたイメージングについての検討 - 日本音響学会 2016 年春季研究発表会、2016 年 3 月 9 日、桐蔭横浜大学(神奈川県横浜市)。
 24. 藤原甫、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波を用いたセメント硬化過程の表面硬さの非接触計測の基礎検討、日本音響学会 2016 年春季研究発表会、2016 年 3 月 9 日、桐蔭横浜大学(神奈川県横浜市)。
 25. 高薄和史、大隅歩、伊藤洋一、強力空中バースト超音波を用いた金属板に生じ

- たき裂検出の基礎検討、日本音響学会 2016 年春季研究発表会、2016 年 3 月 9 日、桐蔭横浜大学（神奈川県横浜市）。
26. 興津和弥、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波法によるコンクリートの火害診断 - 計測点数とイメージングの精度に関する考察 -、日本音響学会 2016 年春季研究発表会、2016 年 3 月 9 日、桐蔭横浜大学（神奈川県横浜市）。
27. 大喜多雅士、大隅歩、伊藤洋一、超高強度空中超音波によるコンクリート浅層微小き裂の高調波イメージング、電子情報通信学会超音波研究会、2016 年 2 月 29 日、東京大学生産技術研究所（東京都目黒区）。
28. 齋藤辰則、大隅歩、伊藤洋一、空中超音波ビームを用いた固体材料内部欠陥検出の実験的試み、電子情報通信学会超音波研究会、2016 年 1 月 29 日、関西大学（大阪府吹田市）。
29. A. Osumi, Y. Ito, A Non-destructive and Non-contact Imaging Defect in Mortar by Point Converged Aerial Ultrasonic Wave, 12th Western Pacific Acoustic Conference 2015, Dec 7, 2015, Singapore(Singapore).
30. A.Osumi, Y.Ito, Non-contact imaging for micro crack in shallow layer of concrete using very high-intensity aerial ultrasonic wave, The 36th Symposium on Ultrasonic Electronics, Nov 7, 2015, つくば国際会議場（茨城県つくば市）。
31. 大隅歩、伊藤洋一、強力空中線集束超音波を用いた非接触非破壊検査法の基礎検討、電子情報通信学会超音波研究会、2015 年 10 月 9 日、金沢工業大学（石川県金沢市）。
32. 大隅歩、伊藤洋一、強力空中線集束超音波を用いた非接触非破壊検査法の基礎検討、日本音響学会 2015 年秋季研究発表会、2015 年 9 月 17 日、会津大学（福島県会津市）。
33. 大喜多雅士、大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波によるコンクリート浅層微小き裂の非接触イメージングの試み、日本音響学会 2015 年秋季研究発表会、2015 年 9 月 17 日、会津大学（福島県会津市）。
34. 大隅歩、伊藤洋一、佐藤正己、梅村靖弘、強力空中超音波と光学機器を用いたモルタル内欠陥の非接触非破壊検査の基礎検討、第 5 回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム、2015 年 8 月 6 日、芝浦工業大学（東京都江東区）。
35. 大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波を用いたモルタル内欠陥の非接触イメージング、2015 年度非線形音響研究会、2015 年 7 月 12 日、加藤山崎教育基金軽井沢研修所（長野県軽井沢市）。
36. A. Osumi, Y. Ito, A nondestructive imaging method for detecting defect in mortar sample by high-intensity aerial ultrasonic

wave, 2015 International Congress on Ultrasonic, May 12, 2015, Metz (France).

37. 大隅歩、伊藤洋一、強力空中超音波と光学機器を用いたモルタル内欠陥の検出、電子情報通信学会超音波研究会、2015 年 4 月 13 日、電気通信大学（東京都調布市）。

〔その他〕

<http://www.ele.cst.nihon-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

大隅 歩 (OSUMI, Ayumu)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号：40579413