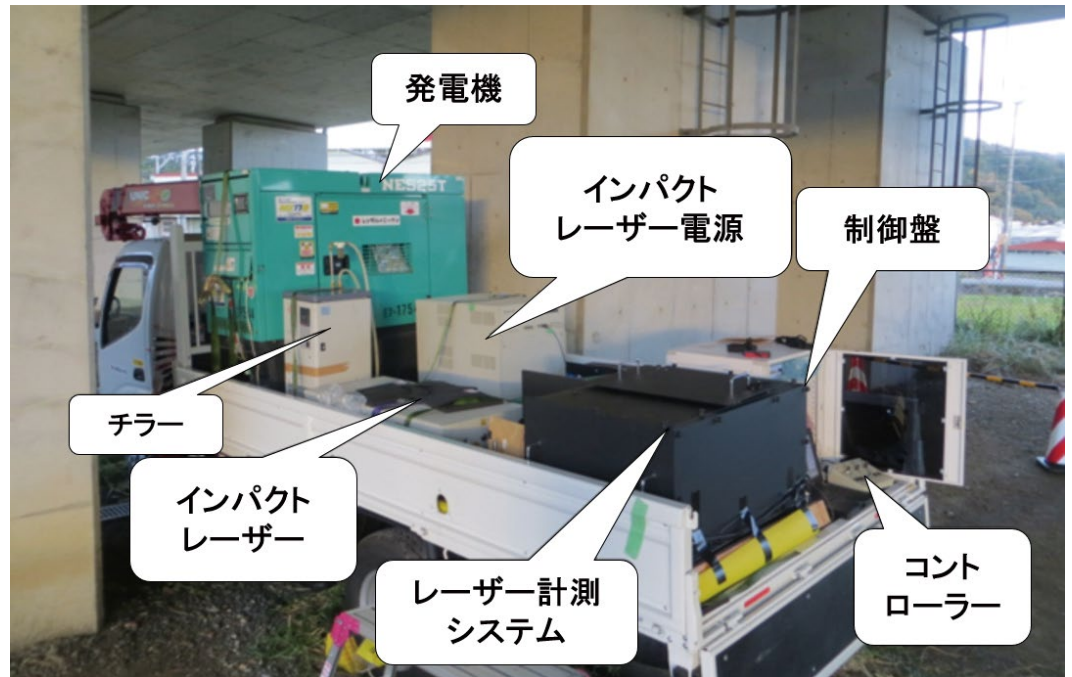


CONTENTS

レーザー打音法を用いた
高架橋の遠隔検査システムの開発
レーザーを用いた鋼管肉厚の
遠隔検査手法の開発

LASER CROSS

ISSN 0914-9805



【表紙図】レーザー打音検査システムの外観

レーザー打音法を用いた 高架橋の遠隔検査システムの開発

レーザー計測研究チーム オレグ コチャエフ、倉橋慎理

■はじめに

高度成長期に建設されたトンネルなどのコンクリート建造物が高経年化し、それらの検査・維持・管理技術の確立が大きな社会的課題となっている。現在、これらの健全性の検査には主に打音検査法¹⁾が用いられている。作業員がハンマーなどでコンクリートに衝撃を与え、振動音を耳で聞いて強度劣化や崩落事故の原因となる内部欠陥の有無を判定する手法であるが、重労働かつ高所作業の危険を伴う、データの定量性に乏しい、劣化の進行状況を判断しにくいなどの課題もある。このためより高速で客観的なデータを取得できる検査手法の開発が求められている。当研究所では、レーザーを用いた検査手法(以降レーザー打音法と呼

ぶ)²⁾を開発し、実用化に向け実際のトンネルや高架橋での野外計測試験を行ってきた(Laser Cross No.363,2018 Jun.他を参照)。この手法は、コンクリートに振動を与えたのちその応答を検知して検査を行う、という点で打音検査法と同様の手法であるが、これまでに蓄積されてきた打音検査データを継承できるうえに、遠隔計測が可能、検査時間を短縮できるなどの利点がある。また高架橋では下部に防鳥ネットが張られていることが多いが、レーザー打音法ではネットを取り外すことなく検査を行うことが可能であり、実用性も高い。本稿では、高架橋検査のために構築した検査システム、および実際の高架橋を検査対象とした野外試験の結果を紹介する。高架橋には強度を高める

ため、鋼板を接着したコンクリート床版が使用されているが、接着がサビなどにより劣化して剥がれるとコンクリートと鋼板の間に浮き(欠陥)が生じ、構造物の強度劣化につながる。高架橋検査ではこの欠陥の有無を検知できるかどうかが重要となる。

■レーザー打音検査システム

表紙図にレーザー打音検査システムの外観を、野外試験時の様子を図1に示す。コンクリート床版に衝撃を与えるインパクトレーザーにはQスイッチNd:YAGレーザーを、表面振動の検出にはレーザードップラーシフト干渉計を用いた。インパクトレーザーと同軸上に可視(赤色)のガイド用レーザーを通し、照射位置を肉眼で確認できるようにした(図1、図2を参照)。レーザー用の電源と冷却装置、計測システムおよびコントローラーを1台のトラックに積載し、検査位置まで移動する。発電機を備え、外部電源のない場所での検査も可能な仕様である。

■野外試験で検査性能を評価

打音検査で異音を検出され、剥落の危険性があると判定された部分の写真を図2に示す。赤色の点がインパクト用レーザー、緑色の点が振動検出用レーザーの照射位置である。この位置で計測試験を行った結果を図3に示す。図3(a)はレーザー照射時に観測された振動

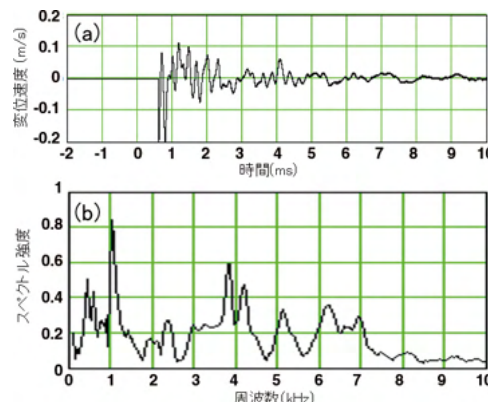


【図1】野外試験の様子



【図2】検査箇所(欠陥部)の写真

波形である。インパクトレーザーは横軸の0msの時点で照射されるが、照射直後はスパイク状の雑音信号が発生するため、0.5ms以下の時間帯の振動波形を



【図3】欠陥部の計測結果(a)振動波形、(b)周波数スペクトル

除去している。振動波形のFFT解析により求めた周波数スペクトルを図3(b)に示す。0.5, 1.1, 3.9, 4.2 kHzにそれぞれ卓越振動が現れており、インパクトレーザーにより欠陥部に振動が励起されたことがわかる。一方欠陥部近傍の健全部を同様に計測した結果、信号に振動波形は見られず(図4(a))、FFT解析後にも卓越振動は現れなかった(図4(b))。このように欠陥部と健全部では明らかにスペクトルが異なっており、実際の高架橋においても検査が可能であることがわかった。

■まとめ

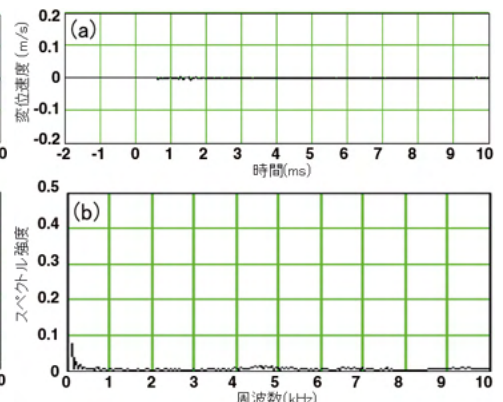
本稿では、レーザー打音法により高架橋床版の野外計測試験を行いその有効性について検討した。本研究で開発したレーザー打音検査システムを用いることにより、橋梁床版検査の遠隔化、高速化が可能である。その実現のため現場で多くの試験を行い、装置性能や耐久性を評価中である。また検査の自動化に向け健全部/欠陥部の判定アルゴリズムについても検討を進めており、近い将来の実用化を目指して開発を進めていく。

謝辞：

本研究は、中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)の委託研究として行われた。ご協力いただいた同社大久保義晴氏、橋吉宏氏、嘉指登志也氏、加賀谷悦子氏、石川裕一氏ほか関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 鎌田敏郎他：土木学会論文集V、704, pp.65-79, 2002.
- [2] 島田義則、オレグコチャエフ他、レーザー研究、38(10), pp.749-753, 2010.



【図4】健全部の計測結果(a)振動波形、(b)周波数スペクトル

レーザーを用いた鋼管肉厚の遠隔検査手法の開発

レーザー計測研究チーム オレグ コチャエフ、倉橋慎理

■はじめに

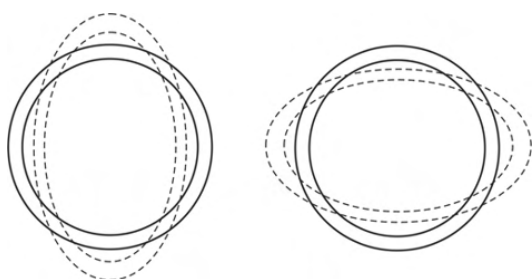
建設現場では、鋼管を用いて建設発生土などの廃棄物を流水により運搬する手法が多く取り入れられている。その際、鋼管内を廃棄物が移動し鋼管の内壁、特に底面の部分が削られ、肉厚が薄くなっていく現象が生じる。この現象が進行すると鋼管に穴が開き廃棄物が噴出するため、定期的に肉厚を検査しておき、最適な時期に交換するメンテナンスを行うことが必要となる。肉厚の計測には主として肉厚計(超音波厚さ計)が用いられるが、センサー部を鋼管表面に接触させる必要があるため、基本的に手が届く範囲でしか点検ができない。この対策として当研究所では、鋼管壁内を伝搬するレーザー超音波の多重反射を利用して肉厚を遠隔で検査する手法を開発した(Laser Cross No.376, 2019 Jul.)。しかしながらこの手法では、超音波を誘起するレーザーを最も肉厚が薄い鋼管の「底面」に垂直に照射する必要があることから、使用環境によっては検査が困難になるという課題もあった。

本稿では、この課題を解決するため新たに開発を進めている、鋼管の固有振動モードを利用した検査手法

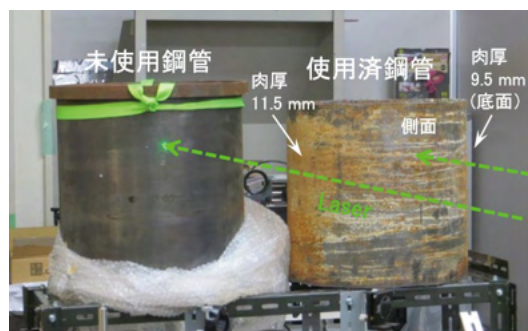
について報告する。レーザーにより鋼管に衝撃を与えると、図1に示すように鋼管に固有の振動モードが誘起される。振動モードの周波数は鋼管の断面形状に依存することから¹⁾、周波数の変化を検知することにより肉厚の検査が可能となる。この手法の最大の利点は、レーザーの照射位置を底面に限定せず任意に設定できるという点にあるが、一方で、肉厚が最も薄い底面に比べ他の箇所は振動の振幅が小さくなるため、検出感度が低下する可能性がある。本研究では、レーザーを鋼管の「側面」に照射して振動計測を行い、本手法の検査性能を検証した。さらに滞水時の鋼管について計測を行い、振動周波数および振幅への水の影響について検討した。

■鋼管の肉厚変化の検出に成功

建設現場で使用される鋼管を対象に振動計測試験を行った。計測用サンプルには、直径354.5 mmの未使用鋼管と、実際に使用した後の鋼管をそれぞれ長さ400 mmに切断したものをを用いた。鋼管の肉厚は、未使用のものは一様に11.8 mm(図2左)で、使用後には位置により9.5 mmから11.5 mmまで変化している(図2右)。試験時の様子を図3に示す。鋼管に固有振動を与える衝撃用レーザーにはCO₂レーザーを用い、振動検出にはレーザードップラー振動計(PDV-100、ポリテック社)を用いた。使用後のサンプルでは、最も肉厚が薄

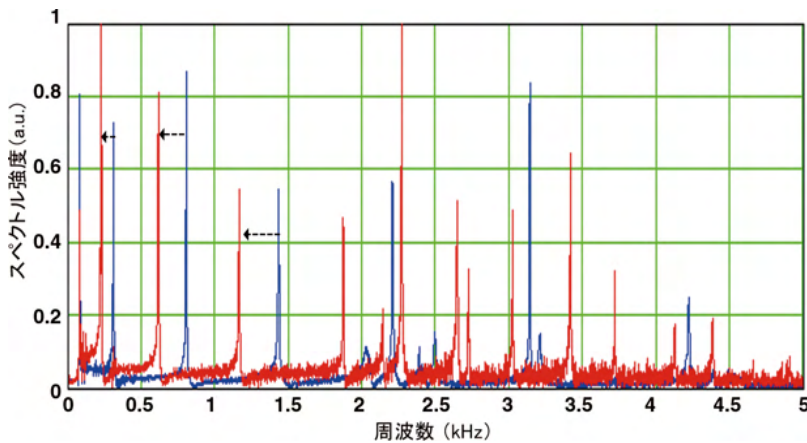


【図1】鋼管の固有振動の例(断面図)

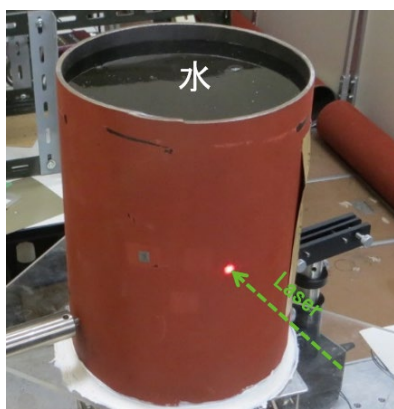


【図2】(左)未使用、(右)使用済鋼管サンプル 【図3】計測試験の様子





【図4】(赤線)使用済鋼管、(青線)未使用鋼管の周波数スペクトル



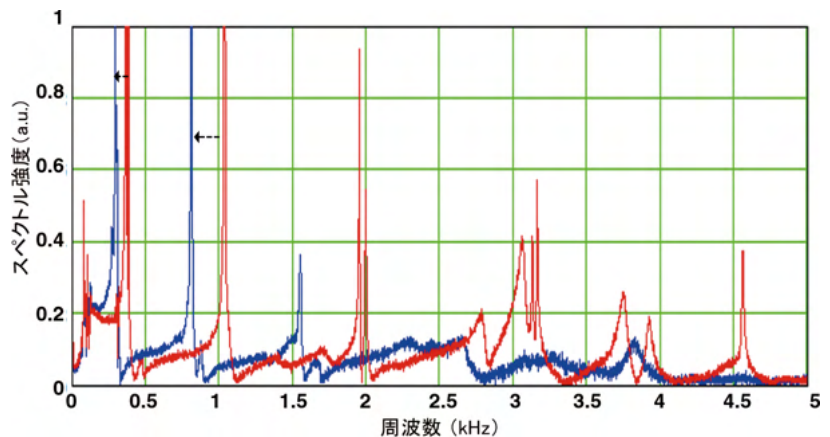
【図5】滞水した鋼管サンプル

い面に対して90°回転させた位置(側面)で計測を行った。図4に、振動波形をFFT解析して得られた周波数スペクトルを示す。鋼管の固有振動モードを示すピークが明確に検出されており、検出感度に問題はないこと

がわかった。また未使用(図中青線)と使用後の鋼管(図中赤線)を比較すると、スペクトルに大きな違いが見られた。特に、使用済鋼管では300~1.5kHzに見られる3つのピークが大幅に低周波数シフトしている点が特徴的である。これまでの研究から、未使用鋼管の固有振動周波数は肉厚が薄くなるに従い低下していくことを確認しており、使用済鋼管においても同様の効果が表れたものと考えられる。この結果は、本手法の鋼管肉厚検査への高い有用性を示している。

■滞水鋼管の検査

実際の建設現場では、鋼管は滞水した状態で運用される。水の存在は、誘起される固有振動の振幅と周波数に影響を与えると予測される。この点について検討するため、滞水状態の鋼管を用いて計測試験を行った。滞水状態の鋼管サンプルの写真を図5に示す。先に注水前の鋼管で計測し、その後注水して計測することで実験条件をそろえ、結果を比較した。周波数スペクトルを図6に



【図6】(赤線)注水前、(青線)滞水した鋼管の周波数スペクトル

併せて示す。ただし、滞水時の計測で得られた振動波形は水の影響により振幅が小さくFFT解析で得られるスペクトル強度も低いため、比較のため滞水時のスペクトル(図中青線)は拡大して表示してある。滞水時のスペクトルは1.5 kHz以上の領域では固有振動のピークが減少しているが、それ以下の領域ではピークが明確に検出されている。ピーク周波数を比較すると、滞水時は非滞水時に比べて低周波数シフトしており、水の有無による変化が明確に示された。この結果から、本手法は滞水時の鋼管の肉厚検査にも適用可能であることがわかった。

■まとめ

本研究では、レーザーにより誘起される鋼管の固有振動を利用した新しい肉厚検査手法について検証した。現場で使用後の鋼管サンプルの固有振動モードの検出に成功し、検査に十分な検出感度が得られること、振動周波数の変化から使用前の鋼管との判別が可能であることを明らかとした。また使用現場を模擬した滞水状態の鋼管の計測にも成功した。本手法は基本的にインパクトレーザーの照射位置が限定されないため実用性も高く、今後も本手法の実用化に向けて開発を進めていきたい。

謝辞：

本研究の一部は(株)大林組の委託研究として実施されたものである。関係者各位に謝意を表します。

参考文献：

- [1] Nondestructive testing hand book. ASNDT, 1991.
- [2] O. Kotyaev, Y. Shimada. ILT Annual Progress Report, 2020.