

レーザーを用いたコンクリート健全性評価技術



企業レポート

島田 義則*

Development of laser-based remote sensing system for detecting of concrete defects

Key Words：レーザー、コンクリート欠陥

1. はじめに

近年、高度成長期に建設された構造物が老朽化し、維持管理技術の確立が課題となっている。鉄道では1999年に新幹線トンネルの覆工コンクリートが剥落し、列車のパンタグラフや屋根を損傷した例があり、最近では高速道路で天井崩落事故が起こった。これらの事故を未然に防止するために定期検査が行われている。現在の定期検査では主に打音検査法が用いられている。この手法には、人的および時間的な面でコストがかかること、客観的データに乏しいこと、更に前の検査と比較した劣化進行状況（経年劣化）が把握困難である等の課題がある。このため、低コスト、高速、高精度で検査できる新しい検査手法の開発が強く求められている。

打音検査法に代わる検査方法として、接触式超音波探傷法や電磁波検出法、赤外線検出法、レーザー法（レーザーを用いたトンネル覆工コンクリート検査）などが開発されてきた。接触式超音波探傷法と電磁波検出法ではコンクリート表面の近くで検査を行う必要がある。また、赤外線検出法は、初期にコンクリートを熱する作業が必要で、且つ、コンクリートに接近して計測する必要がある。一方、レーザー法は、遠隔かつ非接触で検査が行え、他の方式に比べて探傷箇所の高速移動が可能であることや、コ

ンクリート曲面の計測が容易に行える利点がある。このような観点から、当研究グループではレーザー法の実用化を目指して、探傷技術に関する基礎実験を行い、装置の開発を進めてきた¹⁻⁶⁾。図1にレーザー法の概念を示す。レーザー装置と検出光学系を車両に積載し、自走しながらレーザー照射位置を走査してコンクリート表面を検査する。

本稿では、これまでの装置開発の概略を簡単に紹介し、新幹線トンネル内の中央通路を走行できる装置を構築して、新幹線トンネル内における欠陥検出結果について述べる。

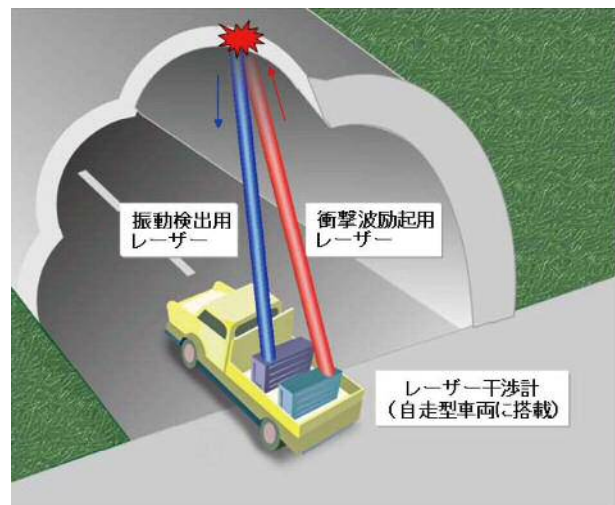


図1 レーザーを用いたトンネル覆工コンクリート検査の概念

2. 原理と特徴

レーザー法の原理を図2に示す。振動励起用パルスレーザーをコンクリート表面に照射し、コンクリート表面に微小振動を発生させる。振動検出用レーザー（連続光）をコンクリート表面に照射し、反射された光を検出する。欠陥の有無により表面振動モードが異なるため、反射光のスペクトルを解析して振動モードを判別することにより欠陥の有無を判断



* Yoshinori SHIMADA

大阪大学大学院工学研究科修士
現在、公益財団法人レーザー技術総合研究所 レーザー計測研究チーム
チームリーダー 主任研究員
博士(工学)
TEL：06-6879-8737
FAX：06-6878-1568
E-mail：shimada@ilt.or.jp

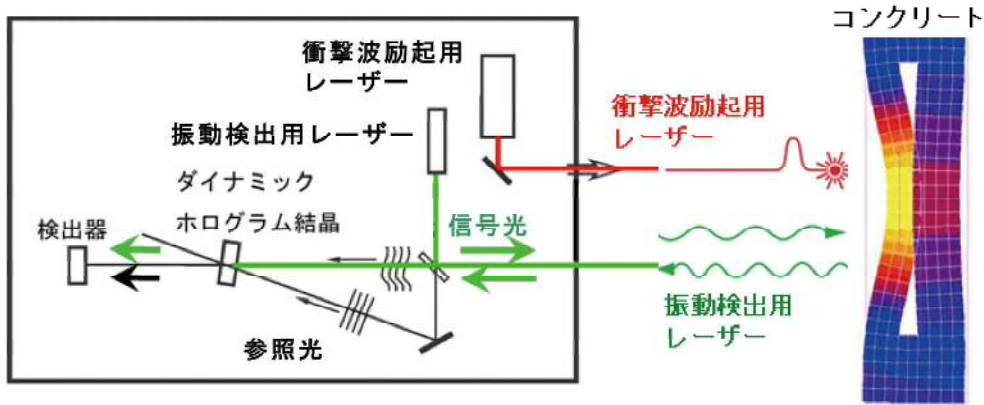


図2 レーザー法の原理

できる。

ここで、問題となるのが、コンクリートの表面粗さである。コンクリート表面で反射された光にはコンクリート表面粗さに起因する波面の乱れが含まれており、表面の微小振動による信号のみを区別して取り出すことが困難で、検出精度が低下する。これを防ぐためダイナミックホログラム結晶（DHC）を使用した光検出方法を用いた。検出用レーザーを検出装置内でビーム分配器により信号光と参照光に分け、信号光をコンクリート表面に照射する。表面振動を誘起する前に、コンクリート表面形状の情報を持った反射光と擾乱を受けていない参照光をDHC中で干渉させ、コンクリート表面形状に関するホログラムをDHC内に形成しておく。DHC内の位相共役効果を利用すると、あらかじめ書き込まれたコンクリート表面形状の情報を差し引いて出力するので、表面形状に起因するレーザー波面の乱れは除去され、コンクリートの表面振動による信号のみを高感度で検出できる。この方式により、10 m離れた位置から欠陥を判別できることを確認した。

一方、レーザー法は波長程度の振動振幅を検出する繊細な装置のため外乱に弱い。トンネル内では、レーザー装置の牽引に伴う振動や騒音により検出信号に大きなノイズが混入する。このため、装置に防振、防音対策を施し、新幹線トンネルでの実地試験を行い、開発したレーザー装置が欠陥検査装置として十分な性能を有することを確認した。

3. 装置の小型化と新幹線トンネル内のコンクリート検査実験

3.1 新幹線橋梁の床版コンクリート検査

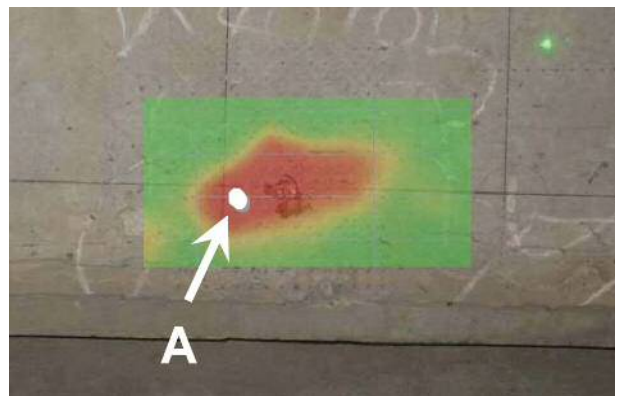


図3 レーザーを2次元(x,y軸)走査することにより計測された欠陥像

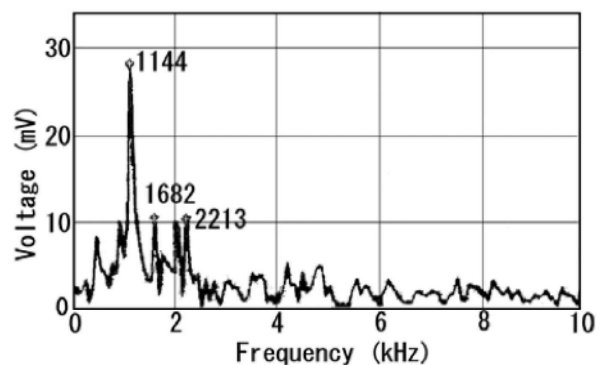


図4 A地点を計測した場合の振動スペクトル

レーザー装置を軽トラックの荷台に積み、新幹線橋梁の床版に存在するコンクリート欠陥を検査する実験を行った。レーザーを2cm間隔で2次元走査させてコンクリート表面を検査した。レーザーをコ

ンクリートに照射して振動スペクトルに卓越周波数が存在すると欠陥であると判定する欠陥判定アルゴリズムを用いた。得られた欠陥画像を図3に示す。真ん中の黒色部分がコンクリート浮きの欠陥である。このように自然に発生したコンクリート欠陥を検出することが出来た。

図中、A地点での卓越周波数は図4に示すように約1.1 kHzであった。このスペクトルは打音検査法で得られた周波数と一致した。

3.2 新幹線トンネル覆工コンクリート検査

新幹線トンネル内で覆工コンクリートの欠陥検出実験を行った。

新幹線トンネル内での実験の様子を図5に示す。車両に設置されたボックスがレーザー装置である。防音のための吸音材等が外壁に施されている。天井はスライド式で、現場に到着してから窓を開けてレーザーをコンクリートに向けて照射した。同図でレーザー装置の奥に制御室があり、作業員はそこに乗車してレーザー装置を操作した。



図5 新幹線トンネル内のコンクリート欠陥探傷実験

新幹線トンネル内の約70箇所をレーザー法によって検査した。ここでは2種類の結果について紹介する。まず、コンクリート内部にジャンカ（粗骨材とセメント類が分離等により出来た空隙の多いコンクリート欠陥部分）を有する欠陥箇所を検査した。結果を図6に示す。レーザー照射した箇所にスペクトル強度の小さい順から○、△、および□を示した。ジャンカ欠陥であるためスペクトル強度が大きい箇所（完全に浮いている部分）やスペクトル強度が小さい箇所（密着箇所）が点在することがわかった。

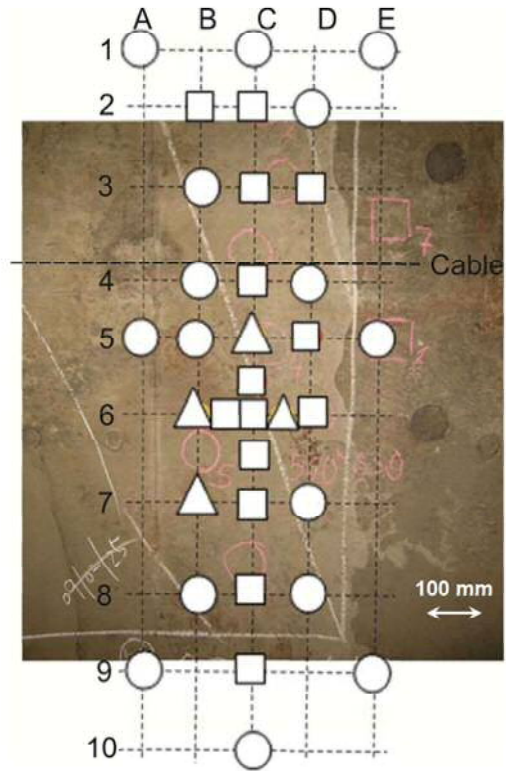


図6 卓越振動数のスペクトル強度で欠陥を判別 (スペクトル強度が小さい順から○、△、□)

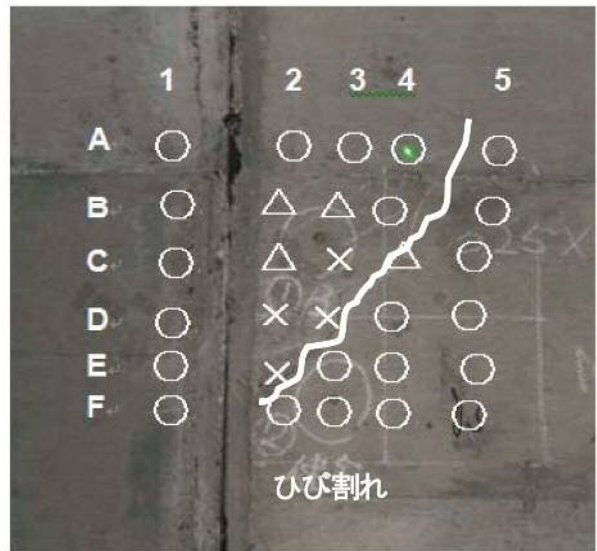


図7 レーザーを2次元 (x, y 軸) に走査して得られた各点でのスペクトル強度の大きさ (小さい順から○、△、×とした)

この情報はコンクリートの保守を行う際、有効な情報となると思われる。

次にコンクリート表面にひび割れが存在する場合の結果を図7に示す。ひび割れの部分を境にして左上側が大きく振動することがわかる。これはひび割

れが左上側に進展していることを表している。これよりレーザー法を用いることによって遠隔からひび割れ進展方向の情報を得ることが出来る。

最新のレーザー装置として図8に示す新幹線トンネルの中央通路を走行してコンクリート検査を行う装置が開発されている。

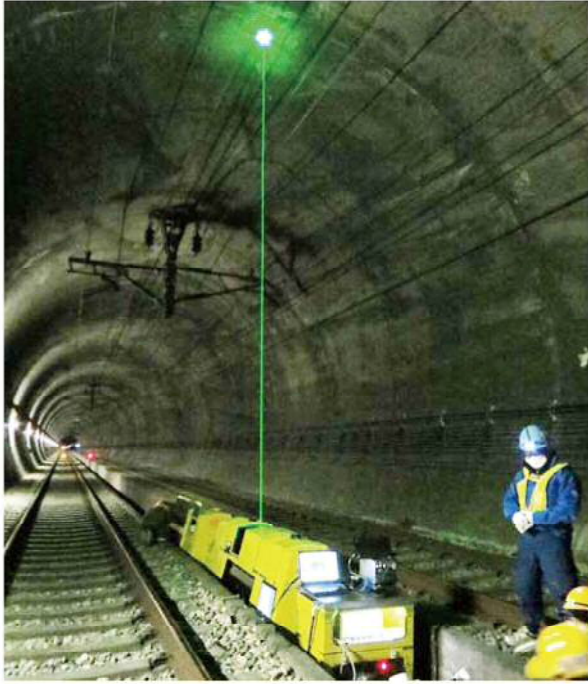


図8 新幹線トンネル中央通路走行型レーザー検査装置

4. まとめと今後の課題

レーザーを用いたコンクリート欠陥検出原理について述べた。また、新幹線橋梁の実験ではレーザーを2次元(x, y軸)に走査して実コンクリート欠陥の形状を示すことができた。また、振動スペクトルは打音法の振動スペクトルとよい一致を示した。

新幹線トンネル覆工コンクリートの欠陥探査実験では、レーザーを2次元に走査することにより振動箇所を検査を行った。

今後はさらに多くの欠陥個所を検査して欠陥判定アルゴリズムの高精度化や検査速度の高速化等の研究開発を行う予定であり、早期の実運用を目指す。

本研究は鉄道建設・運輸施設整備支援機構の支援と西日本旅客鉄道株式会社の受託研究で行った。

参考文献

- 1) 島田義則, オレグコチャエフ: レーザリモートセンシングを用いたコンクリート内部欠陥検出、レーザー研究、**38**(10), pp.749-753, (2010).
- 2) 島田義則, オレグコチャエフ: レーザー超音波リモートセンシングを用いたコンクリート内部欠陥検出、電学論C、**129**(7), pp.1192-1197, (2009).
- 3) 島田義則, “レーザーリモートセンシングによるコンクリート欠陥の非破壊検査”、非破壊検査、**58**(7), pp.269-273, (2009).

