

講演概要 レーザーを用いたコンクリート剥離検知装置の開発

岡 義晃¹・桶谷 栄一²・保田 尚俊³・島田 義則⁴・江本 茂夫⁵

1正会員 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 施設技術室 (〒530-8341 大阪市北区芝田2-4-24)

E-mail: yoshiaki-oka2@westjr.co.jp

2正会員 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 施設技術室 (〒530-8341 大阪市北区芝田2-4-24)

E-mail: eiichi-oketani@westjr.co.jp

3正会員 京都大学 工学研究科 社会基盤工学専攻 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: yasuda.naotoshi.3x@kyoto-u.ac.jp

4正会員 公益財団法人レーザー技術総合研究所 (〒550-0004 大阪府大阪市西区靱本町1-8-4)

E-mail: shimada@ilt.or.jp

5株式会社ユニロック (〒194-0215 東京都町田市小山ヶ丘2-2-5-13 まちだテクノパーク)

E-mail: emoto@unirock.jp

生産年齢人口が減少する中、鉄道構造物の維持管理を行うためには、センサやカメラから得られる情報を活用し、従来の人の目視等による手法を改め必要がある。一策として、トンネル検査ではレーザーにより、剥落の可能性を判定する検知装置の開発を進めている。装置を効率的に運用するためには、オンレールで現地まで走行させ、データを取得する必要がある。しかし、装置牽引時に必要な車両からの騒音や振動で、計測データが乱れることが懸念された。また、限られた作業間合いでの検査となるため、計測を効率的に行う必要がある。本研究では、オンレールでの装置運用に向け、レーザー計測時の外乱を把握するために、新幹線トンネルにて騒音・振動計測試験を実施した。また、作業の効率化を検討し、それらをふまえて次期型レーザー装置構築した。

Key Words : tunnel, non-destructive, laser remote sensing, concrete

1. はじめに

トンネルの検査は、目視検査を基本として実施されている。詳細な確認が必要とされた変状は、打音検査（以下、打音法）により、剥落に対する判定が行われている。この打音法は、簡易な手法であるが、技術者の技量や経験によって、判定に差異がみられる。また、安全面では、高所及び停電作業のため、墜落・感電災害の危険がある。さらに、生産年齢人口の減少により、維持管理技術者を確保することが困難となることが想定される。

そのため、センサやカメラから得られる情報を活用し、従来の人の目視等による手法を改めるシステムチェンジが必要である。本稿では、その一策として、検査技術者の技量と労力に頼らない、トンネル打音検査技術¹⁾（以下、レーザー法）の開発内容を報告する。

2. レーザー法の原理

トンネルの剥落に対する判定は、打音法による打撃音と、ひび割れ形状の組み合わせによって、判定を行っている。検査足場は、レール上を走行する高所作業車を使用し、至近距離検査を実施している。

レーザー法は、遠隔からトンネル欠陥部を、レーザー照射により加振し、打撃音の代替として、表面振動を振動数により把握する（図-1）。したがって、基本的な欠陥検知の考え方は打音法と同じである。

レーザー法の構成を図-2に示す。高出力のパルスレーザーを用いてコンクリート表面に短時間で大きなエネルギーを与えると、コンクリート表面成分（セメント等）がアブレーションされる。粒子が弾き飛ばされる反動やアブレーションによる爆裂音により、コンクリート表面の振動を励起する。

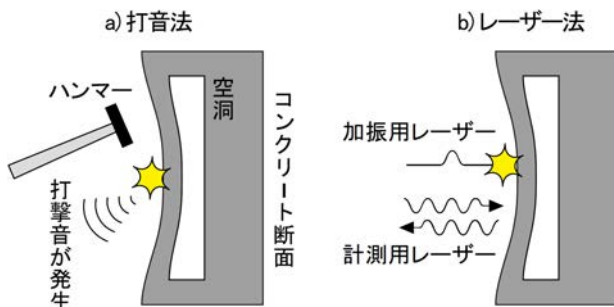


図-1 打音法とレーザー法の比較

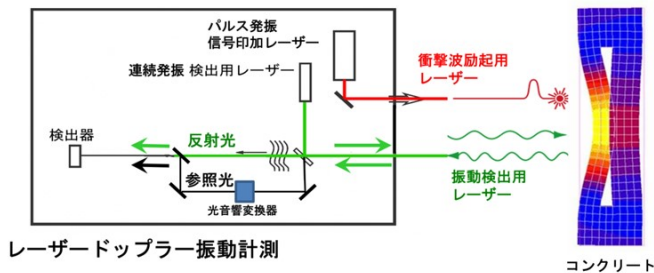


図-2 レーザー法の構成

コンクリート表面振動の計測には、連続発振検出用レーザーをコンクリート表面に照射し、コンクリート表面振動によってドップラーシフトを受けた反射光と、光音響変換器で微小の周波数シフトを受けた参照光とを干渉させ変調された光が検出器に入る。検出器では変調された光の情報が電気信号に変換され、この電気信号を復調することにより、コンクリートの振動を得る²⁾。

3. レーザー装置の開発

(1) 現レーザー装置

これまでの、新幹線トンネルの上下線間に設けられた、保守用通路（以下、中央通路）を走行する車両（図-3）によりレーザー計測を進めてきた。本車両はバッテリー式で自走可能なことから、発電機等のエンジンからの騒音・振動等の外乱要因を排除した環境下において、レーザー計測データの分析を進めることが出来た。この装置により、コンクリート欠陥部の振動数計測を実施し、振動数解析アルゴリズムや、操作用PCの基本機能を構築した³⁾。

しかし、中央通路が設置されていないトンネル等、進入が困難なトンネルは多数存在しており、現在の装置で、全線運用するためには、大掛かりな改修工事が必要となり、実現は困難であった。そこで、次期型レーザー装置の開発に着手することとした。

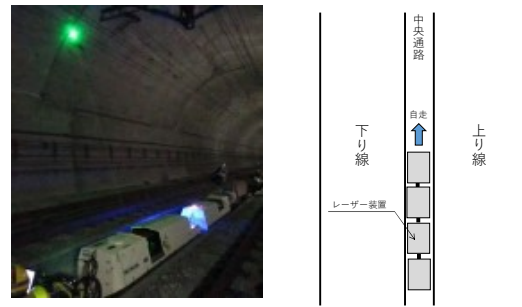


図-3 現レーザー機器車両



図-4 実トンネルでの騒音・振動測定状況

(2) 次期型レーザー装置

次期型のレーザー装置は、全線での運用可能とするため、台車に乗せ保守用車で牽引することにより、オンレールで走行する方針とした。以下に、次期型レーザー装置に求められる機能を示す。

- a) 保守用車からの騒音・振動等、外乱要因がある環境下でも計測が可能
- b) 作業効率の良いレーザー計測システム
- c) レーザーに対する安全管理

4. 次期型レーザー装置の検討

(1) 実トンネルでの騒音・振動試験

保守用車運転時の騒音・振動測定を、新幹線の実トンネル内において実施し、次期型レーザー装置の構造を検討することとした。測定は現レーザー装置を保守用車（TMC-501C）で牽引し、測定を実施した（図-4）。

a) 振動測定試験

保守用車からの振動による影響を確認するため、現レーザー車両本体に振動センサー（昭和測器製 MODEL-1607A）を取り付け（図-5）、実測を行った。その結果の一例を図-6に示す。暗振動は保守基地での保守用車エンジン停止時、牽引時はトンネル内保守用車運転時（アイドリング状態）の振動を示す。

結果、トンネル内での保守用車牽引時は、暗振動時に比べ20dB程度の増加が確認された。



図-5 振動計，騒音計設置状況

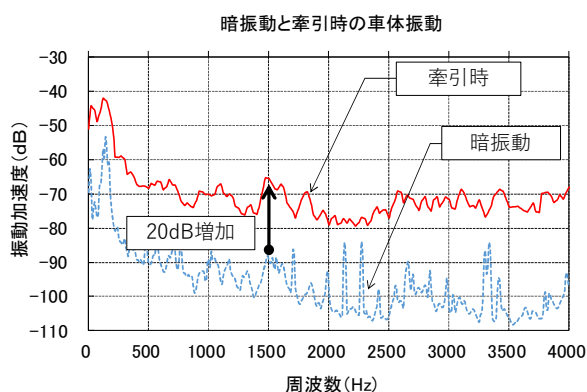


図-6 レーザー機器車両本体の振動

b) 騒音測定試験

騒音によるレーザー計測への影響を確認するため、現レーザー車両外部と内部に騒音計（リオン製：NL-52）を設置し、実測を行った。その結果の一例を図-7に示す。振動測定と同じく、暗振動は保守基地での保守用車エンジン停止時、牽引時はトンネル内保守用車運転時の音圧スペクトルを示す。

結果、機器内部音圧は防音構造により、外部より30dB程度の低いが、暗振動時と比較すると、20dB程度の増加が確認された。

c) レーザー照射試験

現地測定の結果から、保守用車牽引は騒音・振動共に、暗振動時に比べて20dB程度増加することが分かった。

次に、増加した騒音・振動が、どの程度レーザー計測結果に影響を与えるか、現レーザー装置による計測試験を実施した。試験については、外乱要因となる保守用車のエンジンを回転させた状態（アイドリング）で、レーザー計測を実施した。その計測によって得られたノイズレベルを図-8に示す。中央通路走行、保守用車牽引でのレーザー計測時のノイズレベルを比較しても、同程度のノイズレベルであり、レーザー計測には、あまり影響を及ぼさないことが確認された。これは、現レーザーで構築された制振構造等により、十分にノイズが抑制できていると評価できる。

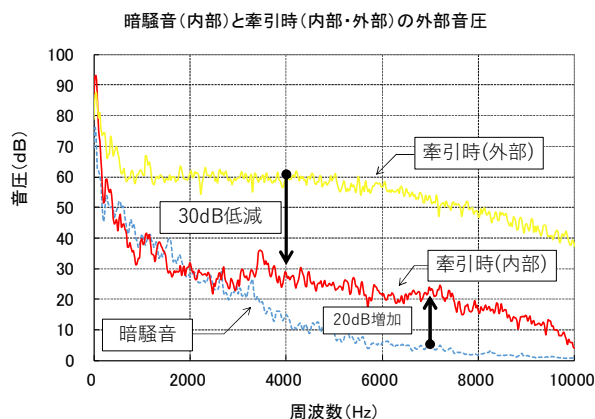
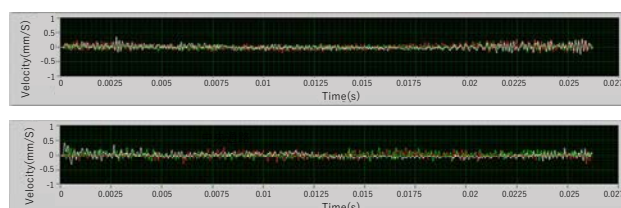


図-7 レーザー機器車両への音圧



上段：中央通路走行時 下段：保守用車牽引時

図-8 測定ノイズレベル

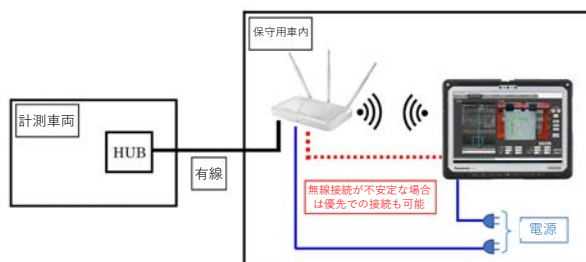


図-9 レーザー計測システムの構成

以上の試験結果により、騒音・振動は外乱要因となるが、構築した制振・防音構造で十分であり、保守用車牽引でもレーザー計測は可能と判断できるということが分かった。

(2) 計測作業効率化

現レーザー装置での、計測手順を以下に示す。

- ①計測箇所に着 ②計測箇所の照準合わせ(40秒)
- ③レーザー計測(20秒) ④次の計測箇所に移動

現レーザー装置では、1箇所あたりの計測に1分程度を要している。次期型レーザー装置は、計測箇所の照射合わせ作業を効率化するため、以下の仕様とした（図-9）。

- a) 操作画面上に、トンネル覆工表面画像を表示
- b) 覆工画像上の照射箇所をタッチすることで、照準を合わせる
- c) 操作用PCはタブレット型（タッチパネル式）
- d) カメラ画像を画面上に表示，タッチでレーザー照射
- e) 無線LAN接続、手持ちによる操作性向上

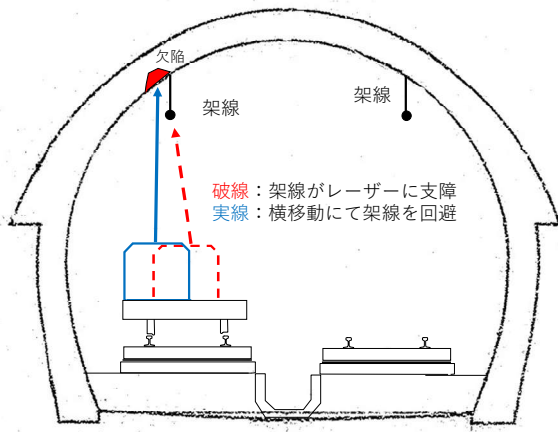


図-10 横移動機構イメージ図

(3) 計測困難箇所の検討

現レーザー車両では、架線背後にある欠陥箇所はレーザー照射ができないため、計測困難箇所としていた。次期型レーザー装置については、台車内であれば移動が可能であるため、計測範囲の向上を目的とし、モーター制御による横移動装置の実装をした。これにより、計測対象の1割程度は架線支障により計測不可であったが、計測可能になると考えられる（図-10）。

(4) 次期型レーザー装置の製作

これらの検討結果を基に、保守用車牽引型の次期型レーザー装置を製作した（図-11）。なお、レーザー装置には、これまで通りの安全対策として、人感センサー、非常停止スイッチの対策を実装している。

6. まとめ

本研究では、トンネル検査の打音法に代わる新技術として、レーザー計測技術の研究を行った。また、実トンネルでの振動・騒音測定により、レーザー装置の機能確認を行い、次期型のレーザー装置の開発を行った。

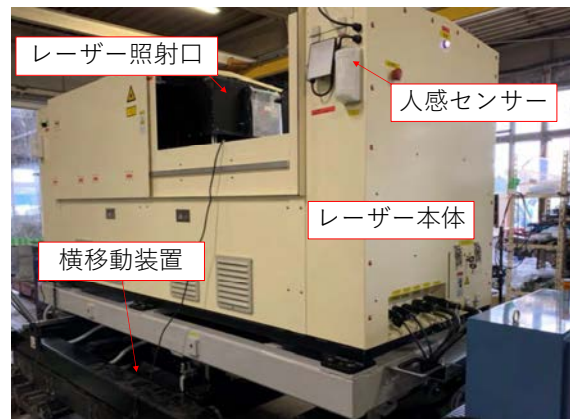


図-11 次期型レーザー装置の製作

以下に成果を述べる。

- (1) 保守用車により振動、騒音は20dB程度増加する
- (2) 保守用車による外乱影響下でも、計測が可能である
- (3) 計測作業を効率化する計測システムを実装した
- (4) 架線背後の欠陥を計測可能にするため、横移動装置を実装した

本研究の成果により、人の技量に頼る検査法を、定量的に判定することで、効率的かつ、より安全性の高い検査となれればと考える。今後は、新しく製作した装置を元に、現場検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 御崎哲一, 坂本保彦, 島田義則, オレグコチャエフ, 篠田昌弘, 大村寛和, 内田成明: レーザーリモートセンシングによるコンクリート部材の非破壊検査法の開発, 鉄道力学論文集, NO.13, pp.51-57, 2009.
- 2) 中島俊典: ヘテロダイン干渉法, 光学第 9 巻第 5 号, pp.266-274, 1980.
- 3) 御崎哲一, 坂本保彦, 島田義則, オレグコチャエフ, 江本茂夫, 篠田昌弘, 曾我寿孝, 高山宜久: レーザーを用いた剥離検知機器車両の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集 第 22 号, pp.263-266, 2018.7

(2020.4.3 受付)

Development of concrete delamination detector using laser

Yoshiaki OKA, Eiichi OKETANI, Naotoshi YASUDA,
Yoshinori SHIMADA, Shigeo EMOTO

In order to perform maintenance by a limited number of people, it is necessary to use sensors and other information and to revise the conventional methods.

In tunnel inspection, we are developing a detection device that uses a laser device to make a judgment.

When a laser device is towed and measured by a vehicle, it is considered that noise, vibration, and other disturbance factors may adversely affect the measurement.

Therefore, in this study, we conducted a noise and vibration measurement test that affects laser measurement in the Shinkansen tunnel, and developed a new laser device.