

論文

鋼板接着コンクリート床版の劣化に対する非破壊検査法の研究開発

橋肇*, 中本啓介*, 島田義則**, 廣瀬壯一***, 八ツ元仁****

*(株)駒井ハルテック, 橋梁技術研究室 (〒293-0011 千葉県富津市新富 33-10)

**工博, (公財)レーザー技術総合研究所, レーザー計測研究チーム(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6)

***工博, 東京工業大学大学院教授, 情報環境学専攻(〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-W8-22)

****阪神高速道路(株), 技術部技術開発課(〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

これまで劣化した道路橋コンクリート床版の補強方法として床版下面に鋼板を接着して耐荷力の機能を改善する「鋼板接着工法」が多く採用されてきた。しかし、この工法が採用されてから30年以上が経過し、再劣化した事例が報告されている。鋼板接着工法では、床版下面が鋼板で覆われており、コンクリート部分の損傷を直接目視で観察することができない。そのため、足場を設置し、床版下面側からハンマーによる打音検査が行われており、より安全かつ、合理的に損傷状況を調査する検査技術の確立が望まれている。本論文は、鋼板接着床版を非接触で検査するために、レーザーを用いた非破壊検査システムを考案し、室内実験および供用中の橋梁床版の計測により適用性を確認した。

キーワード：付着切れ, 遠隔検査, レーザー探傷法

1. はじめに

道路橋の床版は、走行する車両の繰り返し荷重による疲労損傷が問題となっている。特に1970年以前に施工された床版にこの問題が頻繁に発生し、多くの損傷実態調査および研究が実施されてきた¹⁾。その研究成果を踏まえて開発された補強方法として床版下面にアンカーボルトや樹脂などにより、鋼板を接着して耐荷力の機能を改善する「鋼板接着工法」が多く採用されてきた。しかし、この工法が採用されてから30年以上が経過し、設計当初より走行する車両台数および車両荷重も増加したため、床版が再劣化した事例が報告²⁾されており、今後さらに増加することが予想される。

一方、補強した床版は、下面が鋼板で覆われており、コンクリート部分の損傷を直接目視で観察することができない。このため、これまでの鋼板接着工法の点検方法は、足場を設置し、床版下面側からハンマーによる打音検査が一般的に行われている。ただし、ハンマーによる打音時の音の変化では、付着の剥れ、コンクリート内の滞水などの判別は非常に困難である。また、この方法では足場設置撤去などの費用や安全性に加え、点検時間も長くなるなどの課題がある。

本論文は、鋼板接着床版を非接触で検査するために、レーザーを用いた非破壊検査システムを考案し、模擬損傷試験体を用いた室内試験および供用中の橋梁床版の

計測により適用性を確認した結果を報告する。

2. レーザーによる計測

2.1 模擬損傷試験体

鋼板接着工法をモデル化した試験体概要を図-1に示す。試験体は、これまでの施工実績などから、鋼板厚を4.5mm、樹脂厚5mmとした³⁾。模擬損傷は、樹脂充填不良を想定し、5mmの空隙を設け、損傷領域のサイズは200×200mmに設定した。

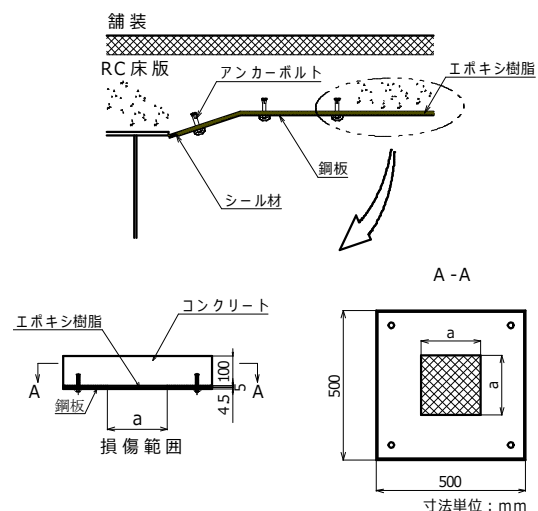


図-1 鋼板接着模擬損傷試験体の概要図

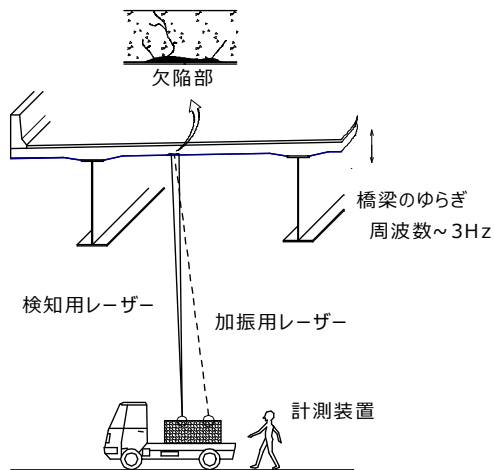


図-2 レーザー差動干渉法の概要図

測定は、コンクリート材齢 1 ヶ月経過時に実施した。材齢 28 日におけるコンクリート強度は、現場養生で 24.2N/mm^2 であった。

2.2 レーザー差動干渉法について

高架橋の鋼板接着床版を供用下において、非接触で損傷部を検査するために、レーザーを用いた基本システムの構築を行った。

このシステムは、振動を与えるためのレーザーとその加振によるゆれを検知するレーザーの 2 種類で構成している。検査対象である床版は、交通荷重により常に振動しており、加振用レーザーで与えた振動を 1 本の検知用

レーザーで検知することが非常に困難である。そこで、2 本の検知用レーザーを使う差動干渉法⁴⁾⁵⁾を提案し、その検証を行った。レーザーの計測概要図を図-2 に示す。加振用レーザーを中心から両側に等間隔に離れた 2 点に検出用レーザーを当てて行った。加振部が健全部であれば、2 本の計測点における振動は同調するので、2 点の振動の差動成分はほとんどゼロとなるのに対し、欠陥部では 2 本の計測点における波形が干渉し合い、同調しない振動波形を計測することになる。

3. 模擬損傷試験体を用いた室内計測

3.1 計測状況について

鋼板接着工法の損傷部をモデル化した試験体の計測状況を写真-1 に示す。高架橋の下側から計測することを想定して、レーザー装置から約 8m 離れた位置での計測を行った。計測ケースについて図-3 に示すように加振用レーザーを中心として検出用の 2 本のレーザーの間隔を 5cm とし模擬損傷領域内で水平に移動させて計測を行った。

また、加振用レーザーでは局所的な熱膨張が照射点に生じるため、熱による鋼板の塗装へのダメージを与えないように感度調整を行った。

3.2 計測結果

空隙部を模擬した $200 \times 200\text{mm}$ 試験体のレーザー差動干渉法による計測結果を図-4 に示す。また、各信号

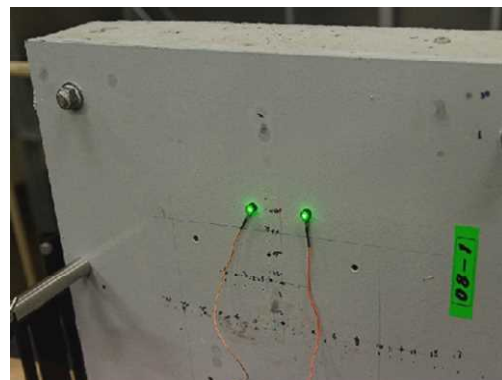


写真-1 レーザーシステムより 8m 離れた試験体(左)と 2 本の検知用レーザー(右)

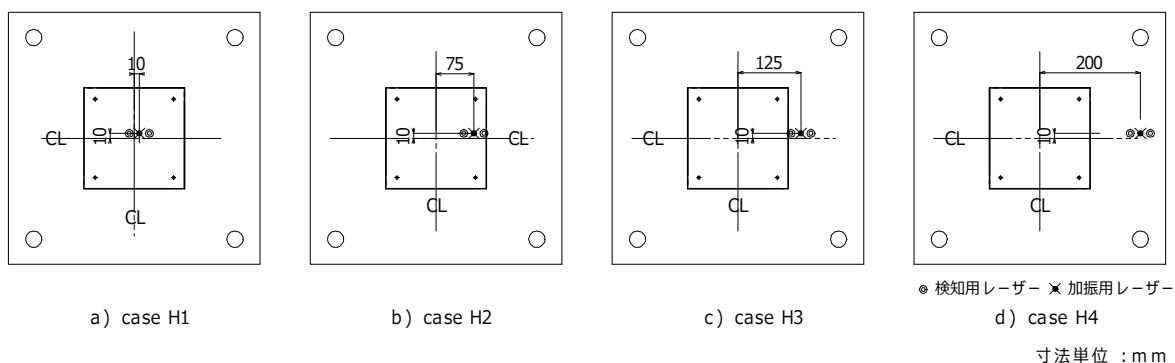


図-3 計測ケース

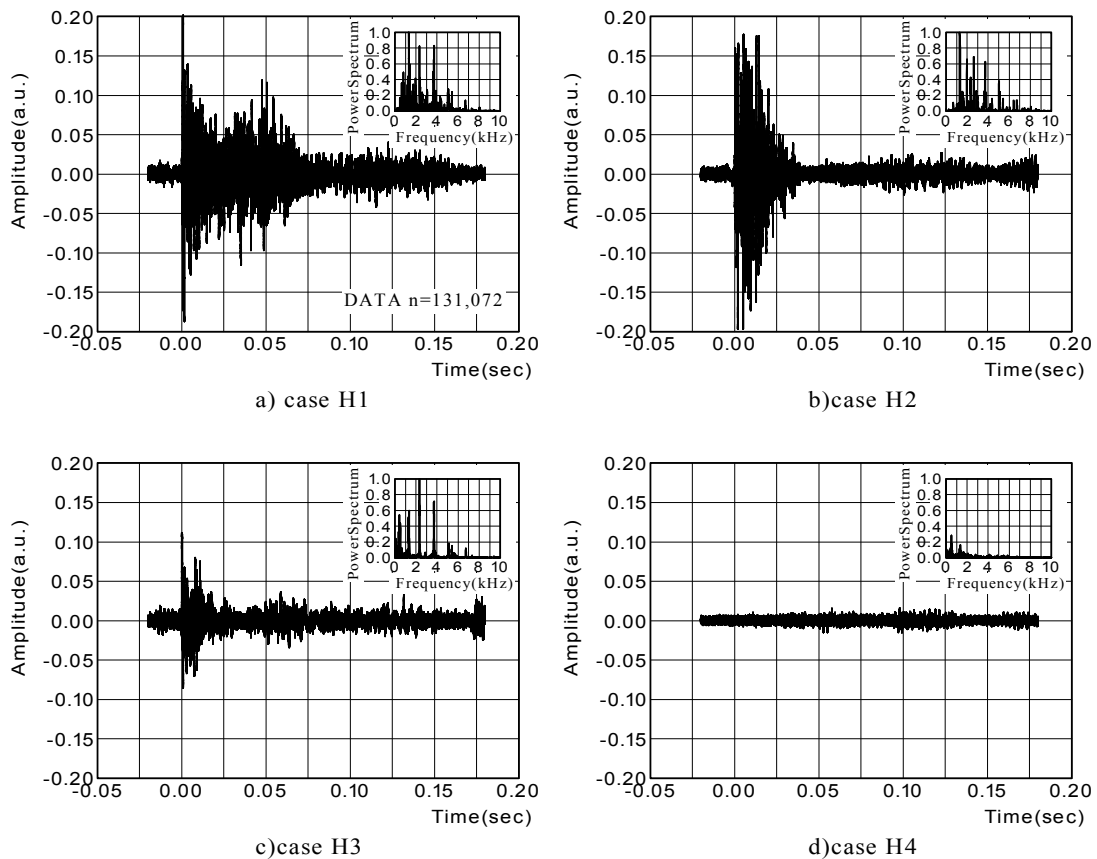


図-4 レーザー差動干渉法によって得られた200×200mm 空隙部の信号波形とその周波数スペクトル(右上)

波形の周波数スペクトルは、図右上に示す。

レーザーで空隙領域内の中央部を照射した図-4a)では、大きな振幅に起因する鋼板の自由振動が観察されたのに対し、レーザーが空隙領域外を照射した図-4d)は、振幅が小さくノイズレベルとなる。したがって、空隙部と健全部の違いがわかる。また、空隙と健全の境界部では、空隙部側の図-4b)は図-4a)と比べ、健全部に近いいため振幅は変わらないが速く減衰し、さらに健全側の図-4c)では、振幅も小さくなっていることから境界についても確認することができる。

4. 供用中の橋梁床版欠陥検出実験

レーザー差動干渉装置を橋梁下に設置して振動計測実験を行った。実橋梁での実験場全景と橋梁床版を写真-2に示す。テントの中にレーザー装置を配置し、レーザー差動干渉を行うために2本の検出用レーザーを床版に向けて照射した。加振用レーザーと検出用レーザーの配置は模擬損傷試験体の場合と同じとした。事前にハンマーを用いた打音検査を実施し、異音部を欠陥部とし、それ以外を健全部とした。欠陥部にレーザーを照射した時の写真とこのとき得られた時刻歴信号波形を図-5に示す。レーザー照射後に信号波形の振幅は0.8程度と大きくなり、減衰は4~5ms程度まで継続した。一方、健全部にレーザーを照射した時の写真とこのとき得られ



写真-2 実橋計測状況

た結果を図-6に示す。図-6ではレーザー照射直後に0.4程度の信号波形が計測されたがすぐに減衰した。図-5と比較すると信号波形、減衰時間ともに小さくなることが確認できた。これらの結果から、レーザー差動干渉法により床版鋼板の欠陥部を計測することが可能であると判断した。

次に、リモート探傷時の障害物を想定した実験を行った。都市高速では防鳥ネットが橋梁下面全体にわたって設置されることが多い。そこで、レーザーが防鳥ネットを通過して計測が可能か否かを検討した。欠陥部にレーザーを照射した時の写真とこのとき得られた時刻歴信号波形を図-7に示す加振用レーザーエネルギーはネッ

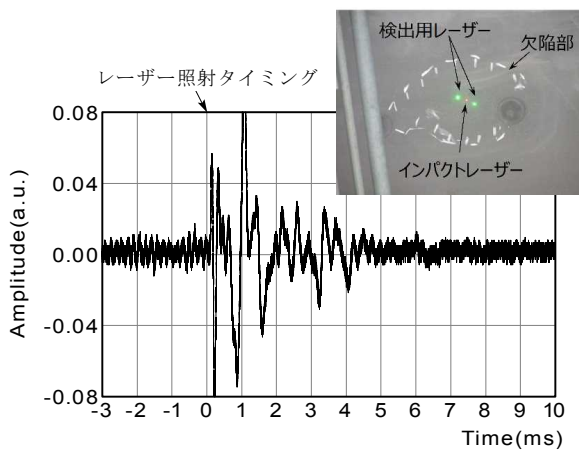


図-5 欠陥部にレーザー照射した状況(右上)と得られた時刻歴信号波形

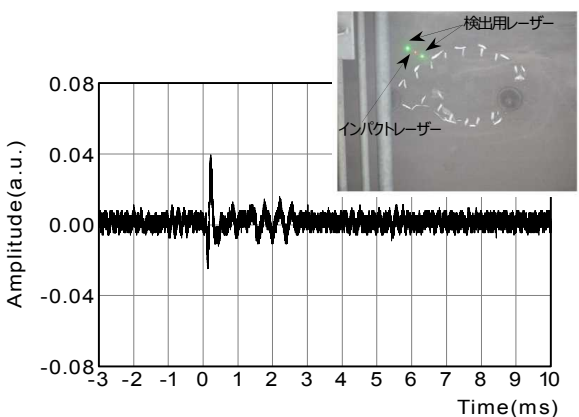


図-6 健全部にレーザー照射した状況(右上)と得られた時刻歴信号波形

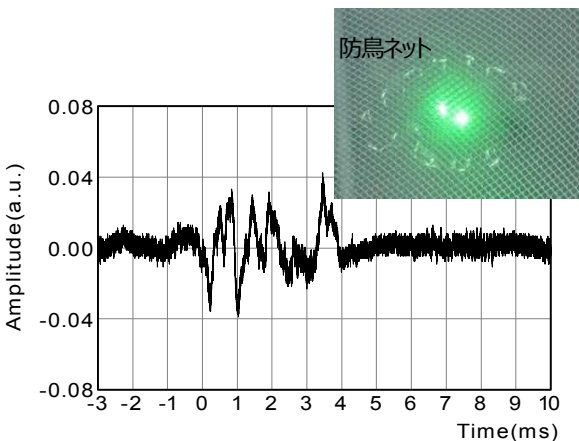


図-7 防鳥ネットを通して欠陥部にレーザー照射した状況(右上)と得られた時刻歴信号波形

トと干渉するため、図-5 の防鳥ネットがない場合に比べ、出力電圧の振幅は最大で約 50%程度低下するが、減衰は 4~5ms 程度まで継続した。このことから計測が十分に可能であると判断できる。実験後にレーザー照射による床版下面の塗装、防鳥ネットを点検した。点検の結果、塗装ネットには焼き付きなどの変状はなかった。

5. まとめ

レーザーを用いた非破壊検査システムを考案し、鋼板接着床版を模擬した試験体の室内計測および供用中の橋梁床版にて計測を行った。その結果、供用中の高架橋において鋼板接着床版を非接触で損傷領域の判別をすることが可能であることが把握できた。今後は、損傷状態の計測データの蓄積、計測精度の向上、および装置のコンパクト化を行っていきたいと考える。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)の補助を受け行っている。ここに記して関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松井繁之, 栗田章光, 中井博, 黒山泰弘: 鋼板接着工法により補強した RC 床版の疲労性状, 合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp247-254,1986.9
- 2) 前川敬彦, 久利良夫, 佐々木一則, 飛ヶ谷明人, 青木康素: 鋼板接着補強 RC 床版の維持管理に関する検討, 第7回床版シンポジウム論文報告集, 土木学会, pp13-18,2012.6
- 3) 阪神高速道路公団: 道路構造物の補修要領, 平成17年4月
- 4) Y. Shimada, O. Kotyaev, S. Hirose, H. Tachibana, K. Nakamoto, N. Misaki and, H. Takinami: Actual Laser-based Methods for Remote Inspection of Shinkansen Tunnels and Highway Bridges, The Fifth US-Japan Symposium on Advancing Applications and Capabilities in NDE, pp.212-218. 2014.6
- 5) H. Tachibana, K. Nakamoto, Yamaguchi & S. Hirose: Quantitative non-destructive evaluation of damages in a steel plate bonding method, Proc.7th Int. IABMAS Conf., pp.622-627.2014.7