

# リモートセンシングを用いた非破壊探傷法の研究

## A STUDY ON NON- DESTRUCTIVE INSPECTION WITH REMOTE SENSING

橋 肇<sup>1)</sup> 中本 啓介<sup>1)</sup>  
 Hajime Tachibana Keisuke Nakamoto

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」が多く採用されている。この工法が採用されてから30年以上が経過し、再劣化が懸念されている。鋼板接着工法で補強された橋梁の床版下面側からの点検手法としては、高所作業車などを用いて直接床版を目視、打音検査する方法が採用されている。この点検手法は、点検作業用の足場設置や高所作業車配置用に道路規制などが必要なため合理的な点検技術が望まれている。そこで、より安全で合理的に損傷状況を調査する点検技術として、非接触で高速に損傷部位を検出できるレーザー探傷法を考案した。本文では、研究中のリモートセンシングの概要と適用性確認のために実施した計測実験について示す。

キーワード：鋼板接着工法，打音法，レーザー探傷法，パワースペクトル

### 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<sup>1)</sup>が実施されてきた。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<sup>2)</sup>されており、今後さらに増加することが予想される。鋼板接着工法は、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。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。今後の増大してくるインフラシステムの維持管理、更新に向け研究開発が必要とされる。そこで、鋼板接着床版を床版下面側より非接触で合理的に点検するために、レーザーを用いた非破壊探傷システムを考案し各種の確認実験、解析を実施している。本文では、研究中のリモートセンシングの

概要と適用性確認のために実施した計測実験について示す。

### 2. レーザーを用いたリモートセンシング概要

開発したシステムは、図-1に示す加振用レーザーにより対象を打撃し振動数変化を検知用レーザーで検出し判定するシステムである。インパクトレーザーには、十分に感度調整されたCO<sub>2</sub>レーザーを用いており鋼板表面にダメージを与えない打音（打撃）により鋼板面に衝撃を与える。検知用レーザーには、供用中の橋梁では走行車両により揺らぎが生じるため打撃による鋼板変位の探傷

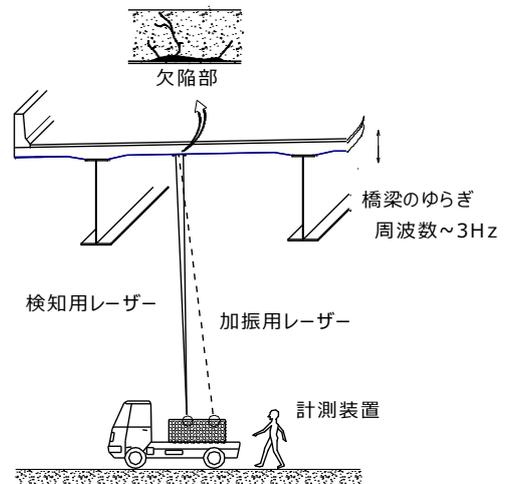


図-1 レーザーリモートセンシング概要

1) 橋梁営業本部 橋梁技術研究室

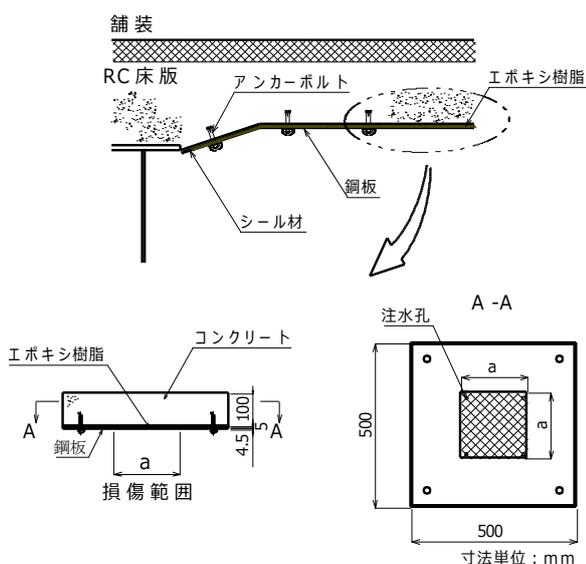


図-2 室内実験試験体



写真-1 室内実験状況

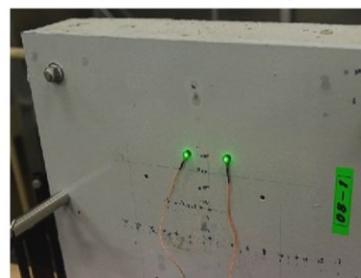


写真-2 レーザー照射と加速度計設置状況

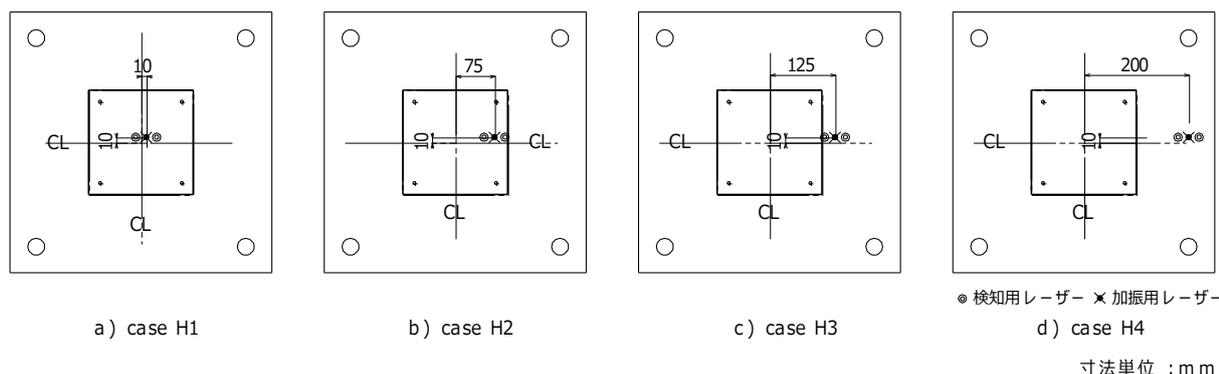


図-3 試験体の計測ケース

精度を高めるためにレーザー差動干渉法<sup>3)4)</sup>を新たに構築し採用した。探傷する変状については、鋼板接着補強床版の場合は、各種損傷状態<sup>2)</sup>が想定される。本システムでは、コンクリートと鋼板面の境界における変状に着目し劣化による樹脂と鋼板の剥離、滞水状態、劣化損傷あるいは施工不良による樹脂の未充填部における空隙状態を探傷することを目標としている。

### 3. 模擬損傷試験体を用いた室内実験

#### 3.1 実験内容

実橋を対象としたシステムの検証を前に鋼板接着工法をモデル化した試験体によりリモートセンシングについて検証を行った。

試験体を図-2に示す。試験体は、これまでの施工実績<sup>5)</sup>などから、鋼板厚を4.5mm、樹脂厚5mmとした。模擬損傷範囲は、200×200mmの樹脂充填不良を想定し空隙を再現した。

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-1,2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。計測方法は、実橋を想定しレーザーにて加振を行い、2本の検知用レーザーで探傷することとした。計測ケースを図-3に示す。加振レーザーを中心として計測間隔を5cmとし模擬損傷範囲内で水平に移動させて計測を行った。

#### 3.2 実験結果

レーザー差動干渉法による時刻歴信号波形を図-4a)～d)に示す。また、各信号波形の周波数スペクトルは、各図の右上に示す。模擬損傷の探傷について考察する。

図-4より空隙範囲内のレーザー照射位置により信号波形の振幅が異なることが確認できる。空隙範囲中央を照射した図-4a)では、照射に起因する鋼板の自由振動が一番大きく照射位置が中央から離れると図-4b)の結果に示すように鋼板の自由振動が小さくなっていくことがわか

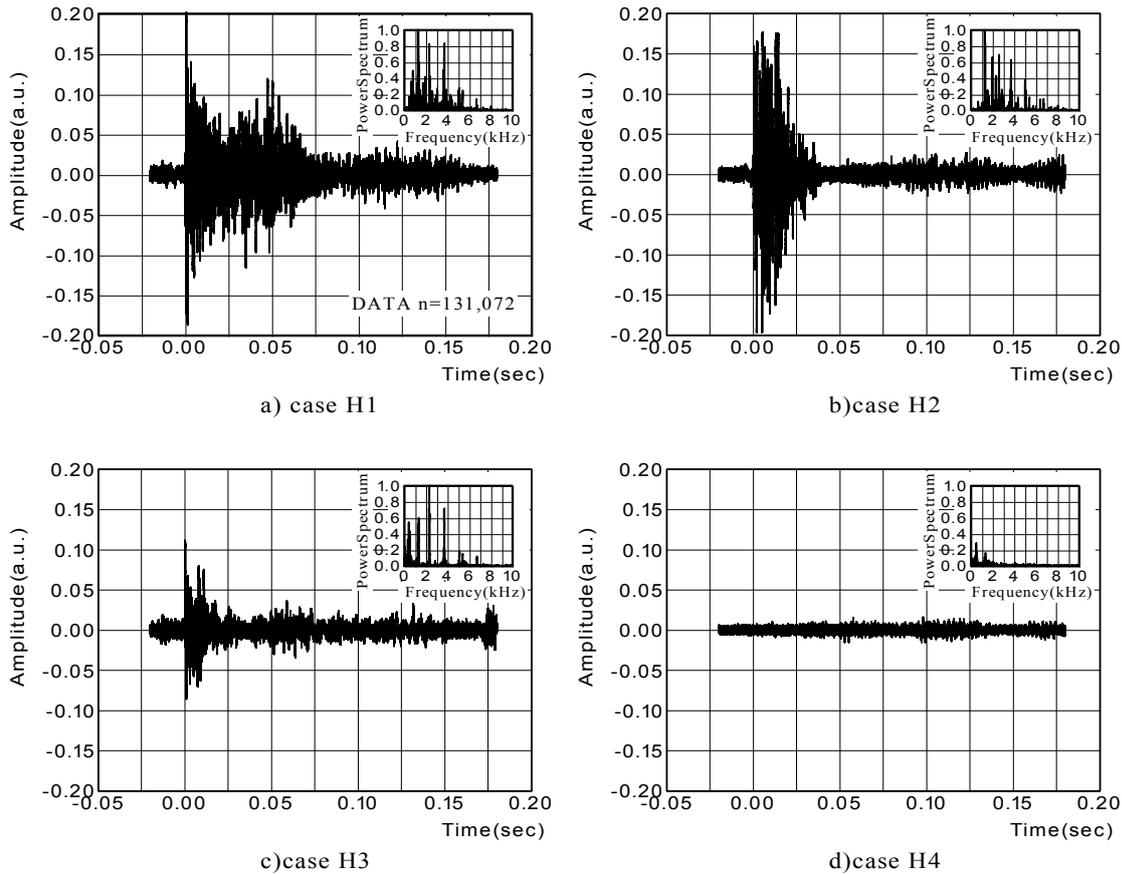


図-4 レーザー差動干渉法によって得られた 200×200mm 空隙部の計測波形とその周波数スペクトル(右上)

る。模擬損傷範囲外を照射した図-4d)では信号波形の信号波高値は、空隙部中央を照射したケースの5%以下となっており試験体の樹脂充填状態時の鋼板の振動特性を確認できる。また、図-4b)c)の信号波形にも振幅、減衰などの特性に差があり、樹脂が未充填となる空隙部との境界についても判別できる可能性があることが分かる。

上記実験のほか、模擬損傷には劣化を想定した樹脂の鋼板面剥離、コンクリート面剥離、滞水の各状態、損傷面積をパラメータにした試験体を用意しシステムの検証、改良と評価基準について継続し検討を進めている。

4. 実橋を対象とした計測実験

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。実橋梁での実験計測状況を写真-3に示す。テントの中にレーザー装置を配置し、レーザー差動干渉法を行うために2本の検出用レーザーを床版に向けて照射した。また、加振用レーザーは2本の検出用レーザーの中間部に照射した。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。橋梁床版に存在する欠陥部にレーザーを照射した場合の時刻歴信号波形を図-5に示す。そして、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た結果を図



写真-3 現場計測状況

-6に示す。室内実験結果と同様に、欠陥部と健全部では信号波形に差が生じていることがわかる。欠陥部に照射した場合は、欠陥部鋼板の自由振動による信号波高値が健全部に比べ2倍以上となっており、波形減衰にも差があることがわかる。なお、実験時には常時、走行車両により橋梁に3~5Hz程度の揺らぎがあり、レーザー差動干渉法が有効に機能していることが結果より確認できる。

つぎに、リモート探傷時の障害物を想定した実験を実施した。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であることを検証した。欠陥

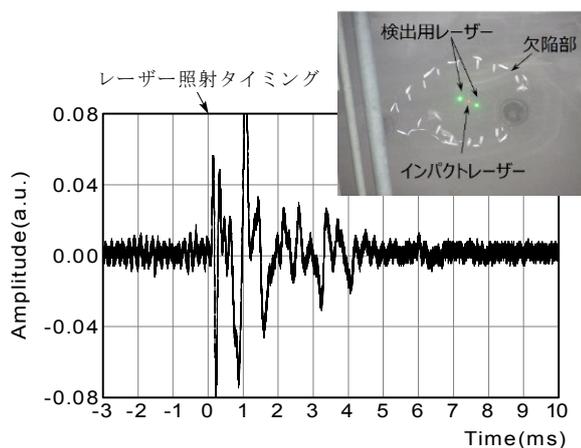


図-5 欠陥部にレーザー照射した状況(右上)と  
得られた時刻歴信号波形

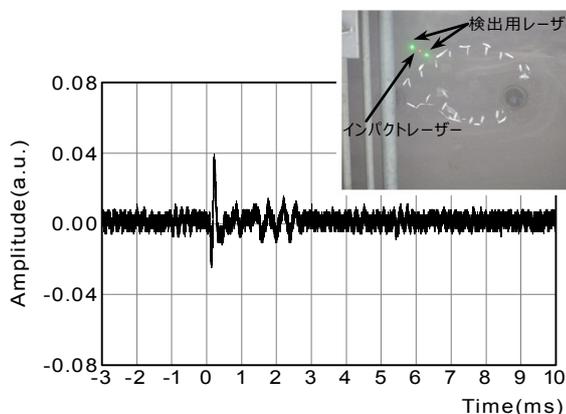


図-6 健全部にレーザー照射した状況(右上)と  
得られた時刻歴信号波形

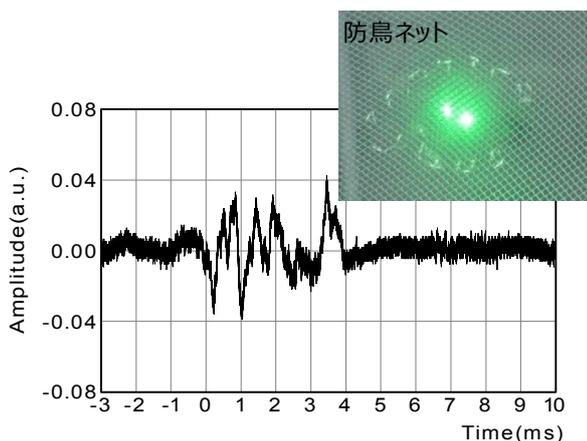


図-7 防鳥ネットを通して欠陥部にレーザー照射した  
状況(右上)と得られた時刻歴信号波形

部にレーザーを照射した場合の時刻歴信号波形を図-7に示す。加振用レーザーが防鳥ネットと干渉するため、防鳥ネットがない場合に比べ最大で約50%程度、信号波高値は低下するが、計測が十分に可能であることがわかる。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. おわりに

レーザーを用いた非破壊探傷システムを構築し、鋼板接着床版を模擬した試験体の室内計測および実橋梁にて計測を行った。その結果、供用中の高架橋において鋼板接着床版を対象として非接触により損傷範囲が判別可能であることが把握できた。今後は、各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進める。本探査法は、鋼板の板曲げ振動より対象の損傷状態を計測、評価するものである。数値的検証は、並行して研究を進めているところである。

## 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)の補助を受けて実施しました。本研究の実橋計測実験にあたり、フィールドを提供いただいた阪神高速道路株式会社に感謝いたします。また、共同研究者の東京工業大学の廣瀬先生、山口氏、(財)レーザー技術総合研究所の島田氏、オレグ氏には掲載にあたって多大な協力を図って頂きました。ここに記して謝辞といたします。

## 参考文献

- 1) 例えば、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) Y. Shimada, O. Kotyaev, S. Hirose, H. Tachibana, K. Nakamoto, N. Misaki & 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
- 4) 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
- 5) 阪神高速道路公団：道路構造物の補修要領、平成17年4月