

レーザー超音波可視化探傷技術を利用した 鋼橋の劣化診断技術

=溶接コーナー部の欠陥エコーを可視化=

つくばテクノロジー株

高坪 純治・王 曜東・王 波・劉 小軍・鈴木 修一

レーザー超音波可視化探傷技術を利用した鋼橋の劣化診断技術

=溶接コーナー部の欠陥エコーを可視化=

つくばテクノロジー(株) 高坪 純治・王 晓東・王 波・劉 小軍・鈴木 修一

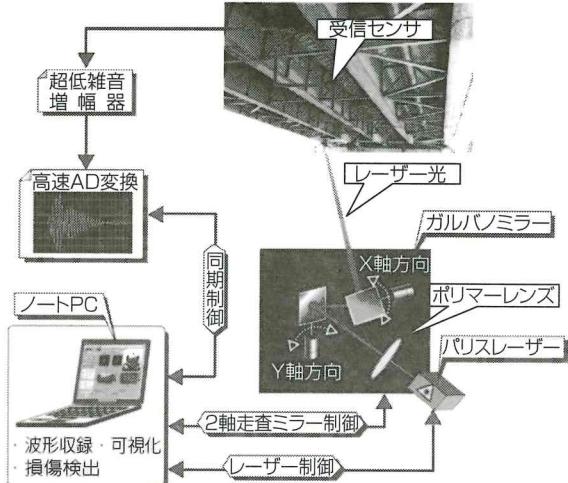
1. はじめに

高度成長期に一斉に建設された道路ストックは老朽化がかなり進んでおり、ある日突然橋が落ち人命事故が発生するという事態がいつ起こっても不思議ではない。このことは、笛子トンネル事故で、すでに警鐘が鳴らされている。このような状況を踏まえ、昨年（平成26年7月）、全国の橋梁70万橋に対して5年に1回の近接目視による全数検査の実施が義務付けられた。その費用は莫大な額になることが予想され、先端技術を使っていかに低費用で精度よく点検するかが大きな課題になっている。

レーザー超音波可視化探傷技術^{(1)~(7)}は、検査体表面をレーザー走査することで超音波が伝搬する様子をその場で映像化する技術であり、鋼橋を遠隔から効率的に検査する技術として大きな期待を集めている。また、塗膜を剥がすことなく、疲労亀裂等の内部欠陥エコーを可視化できるのも大きな特長である。本稿では、鋼橋における最も重要な検査部位である溶接コーナー部の欠陥エコー可視化技術について報告する。

2. レーザー超音波可視化技術

レーザー超音波可視化検査装置（LUVI：Laser Ultrasonic Visualizing Inspector）の構成図を第1図に示す。パルスレーザーを検査体表面に照射すると、時間的に急峻な熱ひずみの発生により、非常に微弱であるが超音波が励起される。パソコンでレーザーとミラーおよび高速A/D変換器を同期制御し、レーザービームを検査体表面上で格子状に高速走査（最速2 kHz）させながら、固定点に取り付けた圧電受信センサで超音波伝搬信号を検出し、超低雑音

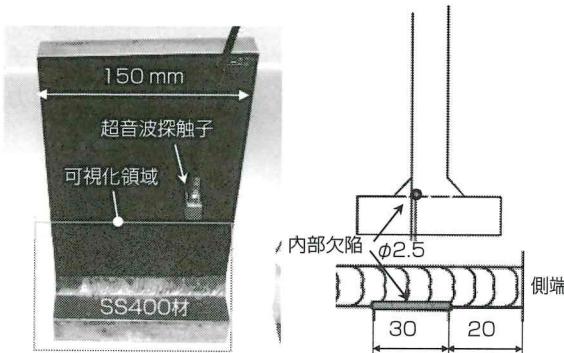


第1図 レーザ超音波可視化検査装置（LUVI）の構成図

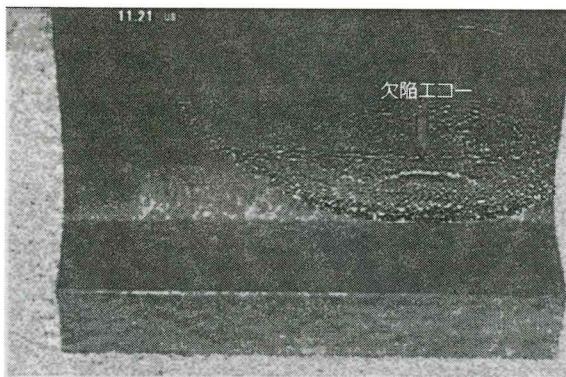
增幅器、高速A/D変換器を通して、パソコンのハードディスクに収録する。収録した超音波信号は、レーザー照射点から受信センサに向かって進む複数の波であるが、超音波伝搬の相反性を利用して再構成することにより、受信センサ部から発振される超音波の伝搬挙動を可視化することができる。この可視化方法は、励起側のレーザーを走査しているので、レーザーの照射角度や焦点距離を一定に保持する必要がなく、三次元任意形状物体を伝わる超音波の伝搬映像を短時間で計測できる。

3. 溶接コーナー部欠陥エコーの可視化

鋼橋の疲労き裂は溶接コーナー部で発生することが多い。そこで、第2図に示すような欠陥入りのT字溶接試験片を用いて当該可視化探傷法の有効性を検証した。試験片溶接部には、同図に示すように、



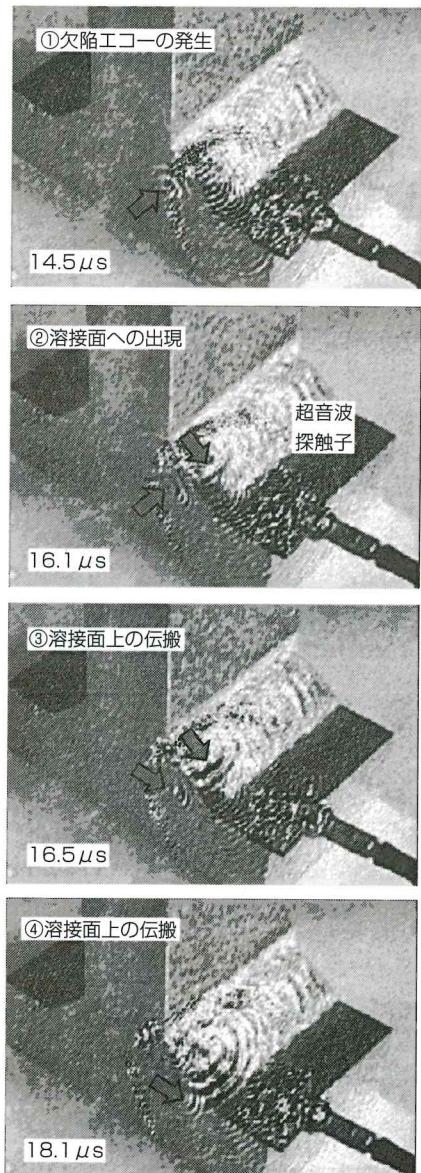
第2図 欠陥入りT字溶接試験片



第3図 T字溶接試験片の欠陥エコーの可視化

直径2.5 mm、長さ30 mmの棒状欠陥が内含されている。可視化試験の結果を第3図に示す。矢印で示すエコーが欠陥エコーである。溶接部は擬似エコーが多く、欠陥エコーの識別が難しい検査部位であるが、超音波の伝搬を可視化することにより欠陥の検出が容易になることがわかる。使用したセンサは周波数5 MHzの斜角45°探触子である。また、レーザー走査ピッチは0.6 mm、走査点数は318×228点、レーザー出力は140 μJである。

次に、溶接部欠陥エコーの伝搬メカニズムを把握するために、棒状欠陥が側面までつながったT字溶接試験片を用いて、側面および表面の超音波の伝搬を可視化した。その結果を第4図に示す。斜角70°探触子から発振された超音波が欠陥に当たると放射状のエコーが発生し(14.5 μs)、溶接表面中央部に到達する(16.1 μs)。溶接面に出現した超音波は、溶接面に沿って進行波と逆向きに進む。このような超音波伝搬メカニズムを理解した上で探触子の取り

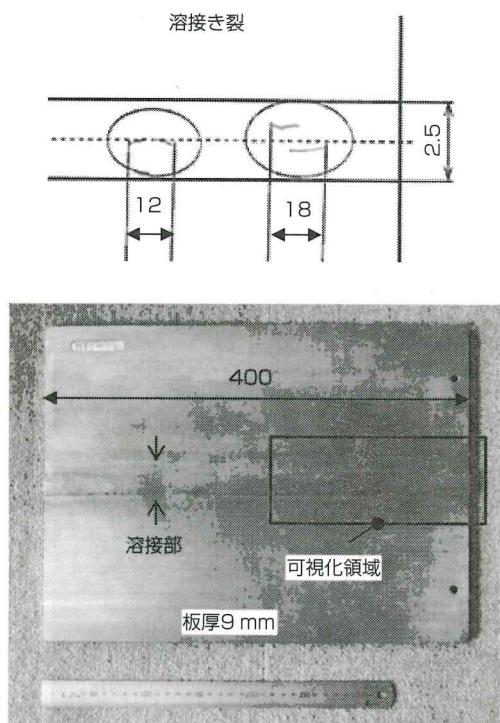


第4図 T字溶接部欠陥エコーの伝搬挙動

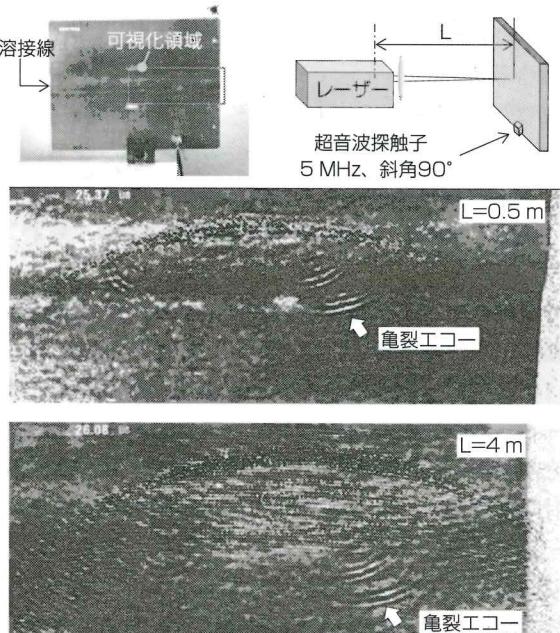
付け位置や斜角度を決定すれば、より精度の高い検査につながると考えられる。

ところで、検査体までの距離が長くなるとレーザービームが広がるため、レーザーで励起される超音波の強度が低下する。これを防ぐため、レーザー照射口とガルバノミラーの間に焦点距離可変のポリマーレンズを入れてレーザービームを絞れる機構している。これにより遠隔での計測が可能になった。第5図に示す溶接試験片を用いて4 mまでの遠隔計測を試みた。試験片表面には同図に示すように複数

の疲労き裂が導入されている。検査体までの距離が0.5 mと4 mの場合の可視化結果を第6図に比較して示す。4 mの場合でもき裂エコーを映像化できるこ



第5図 表面亀裂入り溶接試験片



第6図 遠隔で計測した超音波伝搬映像

とが確認された。使用したセンサは周波数5 MHzの斜角90°探触子である。また、レーザー走査ピッチは0.5 mm、走査点数は276×190点、レーザー出力は100 μJである。

4. 鋼橋への適用

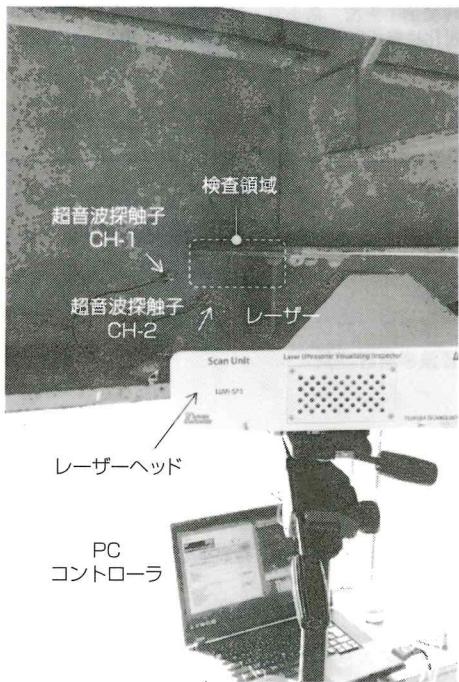
レーザー超音波可視化探傷技術が実橋環境下で使えるかどうかを試すため、仙台の一級河川、名取川に架かる名取大橋（第7図）にて可視化試験を行った。6人乗り点検作業車（第8図）に検査装置（LUVISP3）を搭載し、主に溶接コーナー部を中心に超音波の伝搬状況を可視化した。検査箇所の状況を第9図に示す。今回は実橋での初めての可視化試験ということもあり、検査装置の操作性や作業性、耐環境性をチェックして問題点を洗い出すことを主目的と



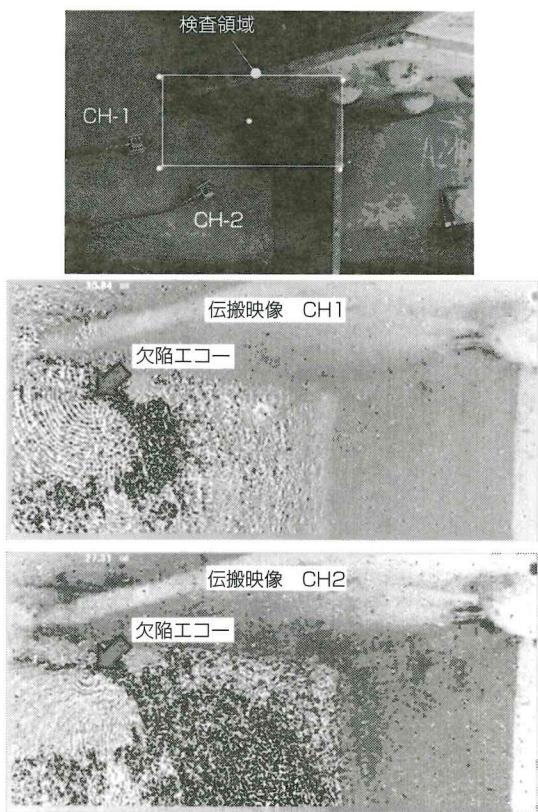
第7図 名取大橋



第8図 6人乗り点検車両



第9図 実橋検査箇所の状況



第10図 名取大橋実橋の超音波可視化映像

した。

第10図は、塗膜のある隅角部の可視化映像である。塗膜表面からは欠陥を目視確認することはできなかったが、計測映像には欠陥からと思われる放射円状のエコー（矢印部）が観察されている。レーザーヘッド部から検査体までの距離は1m、走査ピッチは1.25 mm、走査点数は406×201点、レーザー走査時間は41秒であった。

以上の結果より、実橋でも超音波伝搬映像を測定できることが確認されたが、作業性や操作性および耐環境性について下記の課題が残された。

- ① 2人乗り（今回は6人乗り）点検作業車で検査できるようにする（コンパクト化・軽量化）
- ② 4m以上の距離（レーザービーム長）でも（できれば地上から）検査できるようにする。
- ③ 計測感度の向上
- ④ 電磁波ノイズ対策（アース）
- ⑤ ケーブル本数の削減・無線化、超音波探触子の簡易取り付け
- ⑥ 取り付け作業時間、後片付け作業時間の短縮
- ⑦ 塗装へ適したグリースの選定（油性→水性）

5. おわりに

現在、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の支援を受けて「レーザー超音波可視化探傷法による鋼橋の劣化診断技術の開発」に取り組んでいる。近接目視による橋梁の全数検査が義務付けられた中、なぜ、レーザー超音波可視化探傷まで実施する必要があるのかという疑問も生じるが、当該技術開発の意義は次のように考えている。近接目視は通常、塗膜の上からの目視になり、塗膜割れが生じている箇所は塗膜を剥がして確認することになる。しかし、塗膜割れがあっても必ずしも亀裂が入っているわけではない。また、目視ではアクセスが困難な検査部位もある。このような目視点検の欠点を補う上で、遠隔から塗膜を剥がさずに検査できるレーザー超音波可視化探傷技術は橋梁を効率的に検査するための有用な探傷法だと考えている。将来的には数十メートル先の検査部位を地上から非接触で検査できることを夢見て、研究開発を進めている。

謝辞

実橋試験の実施にご尽力いただいた、国交省東北地方整備局及び株復建技術コンサルタントに感謝の意を表する。また、研究開発に適切なご助言をいただいた、(国研) 土木研究所構造物メンテナンス研究センターにも感謝の意を表する。

<参考文献>

- (1) 高坪純治：励起用パルスレーザ走査法による三次元物体表面を伝わる超音波の可視化、非破壊検査、57-4、pp.162-168 (2008)
- (2) 高坪純治・宮内秀和・ト部啓・津田浩・遠山暢之・王波：レーザ超音波同期差分法による裏面スリット散乱波の画像化、日本機械学会論文集、75-750、pp.211-218 (2009)
- (3) 高坪純治・津田浩・遠山暢之・森谷信一・升岡正：ロケット燃焼器のレーザ超音波映像化探傷技術、非破壊検査、No.59-10、pp.504-509 (2010)
- (4) 高坪純治：レーザ超音波可視化探傷技術の開発、非破壊検査、62-1、pp.35-39 (2013)
- (5) 羽倉守人・廣川達彦・若月祥子・高坪純治・王波・劉小軍・松岡一夫：レーザードップラ振動計による超音波領域の特性評価、超音波テクノ、25-6、pp.78-83 (2013)
- (6) 高坪純治・王波・劉小軍・鈴木修一・王晓東：レーザー超音波可視化技術の開発と欠陥検出への応用、非破壊検査、63-3、pp.142-147 (2014)

- (7) 高坪純治・王波・劉小軍・鈴木修一・王晓東：レーザー超音波可視化検査技術の開発、超音波テクノ、26-3、pp.70-74 (2014)

【筆者紹介】

高坪 純治

つくばテクノロジー(株) 取締役CTO

王 晓東

つくばテクノロジー(株) 研究開発部
超音波事業課課長

王 波

つくばテクノロジー(株) 代表取締役社長

劉 小軍

つくばテクノロジー(株) 取締役CFO

鈴木 修一

つくばテクノロジー(株) 執行役員 製造部部長