

## 周波数シフト帰還型レーザを用いた供用中の橋梁の動的変位計測

(株)計測リサーチコンサルタント 正会員 ○梅本 秀二 正会員 久保田 慶太 正会員 岡本 卓慈  
 東北大学大学院 非会員 原 武文 非会員 伊藤 弘昌  
 東京大学大学院 フェロー会員 藤野 陽三

### 1. はじめに

橋梁や構造物のヘルスマonitoringにおいて、その挙動を遠隔・非接触でモニタリングする技術は非常に有用なものである。周波数シフト帰還型レーザ（以下FSFL）は、その原理において、遠隔・非接触の高精度な変位計測が可能であり、その計測精度は距離に依存しないという特徴を有している。また、最大1000Hzのサンプリングが可能である（図1）。FSFLの長距離区間の静的な変位計測性能は、既に500mの計測距離で200 $\mu$ mの高精度で計測できることが確認されている<sup>1)</sup>。今回、筆者らは、FSFLの動的変位計測性能を検証するため、室内実験を実施するとともに、供用中の橋梁における桁の動的な変位計測を実施した。その検証結果について、以下に報告する。

### 2. 室内実験

実構造物への適用の前段階として、10Hzの固有周波数を持つ振動板を対象とした室内実験を行った。図2に実験概要を示す。振動板の計測位置に反射シートを設置し、FSFLの計測距離を10mに設定した。計測時間は、振動板を加振してから減衰するまでとし、サンプリングピッチは200Hzとした。また、FSFLの計測結果の妥当性を評価するため、キーエンス社製のCCDレーザ変位計（精度2 $\mu$ m）で同時に計測した。振動板の変位の時刻歴波形を図3に示す。振動板が自由減衰する様子が捉えられており、FSFLとCCDレーザ変位計の波形は非常によく一致している。また、各データの周波数分析結果を図4に示す。卓越周波数はそれぞれ10.16Hzとなり、同値を得た。

### 3. 供用中の橋梁における桁の動的変位計測

#### 3.1 桁直下における計測（仰角90°の計測）

計測は、広島市内にある支間長73.8m、桁下7.3mの供用中のトラス橋を対象として行った（図5）。計測位置は、支間中央とし、FSFLのターゲットとして反射シートを用いた。比較対象のセンサとして、接触型の高感度変位計（分解能0.005mm、応答周波数6Hz）を使用した。FSFLのスキャナユニットを桁直下の地盤に設置するとともに、高感度変位計は、桁下に足場を仮設して桁下面に設置した。サンプリングピッチは200Hzとし、計測時間は5分間とした。



図1 FSFLの外観

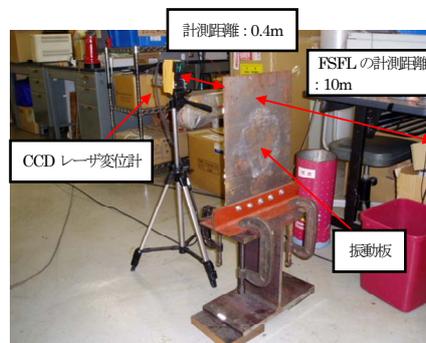


図2 実験概要

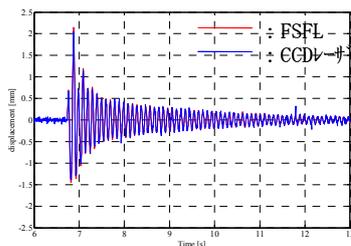


図3 時刻歴波形

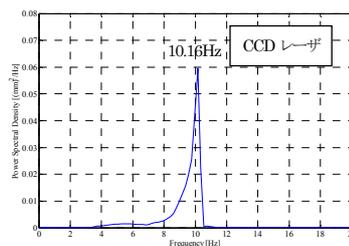
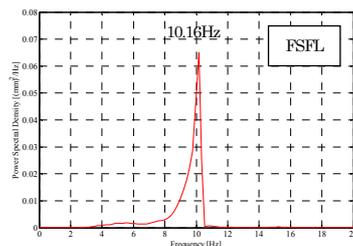


図4 周波数分析結果



図5 トラス橋全景

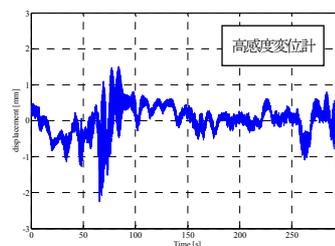
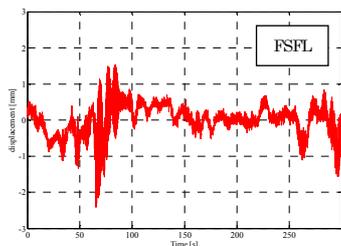


図6 時刻歴波形（仰角90°）

キーワード：周波数シフト帰還型レーザ ヘルスマonitoring 遠隔 非接触 動的計測 変位計測

連絡先 〒732-0029 広島県広島市東区福田1丁目665-1 (株)計測リサーチコンサルタント Tel:082-899-5472

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-11 東北大学大学院工学研究科 Tel:022-795-4270

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院工学系研究科 Tel:03-5841-6095

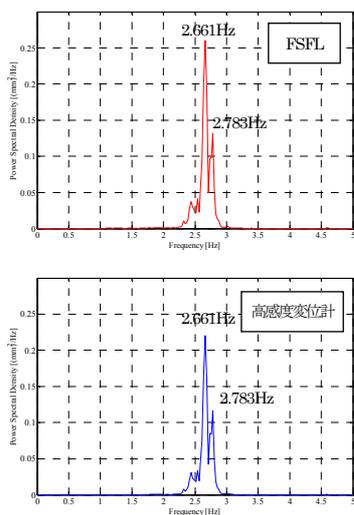


図7 周波数分析結果(仰角 90°)

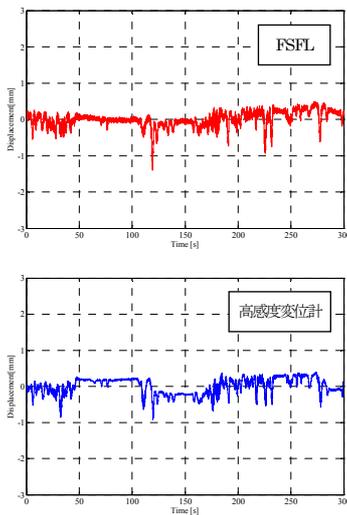


図8 時刻歴波形(仰角 45°)

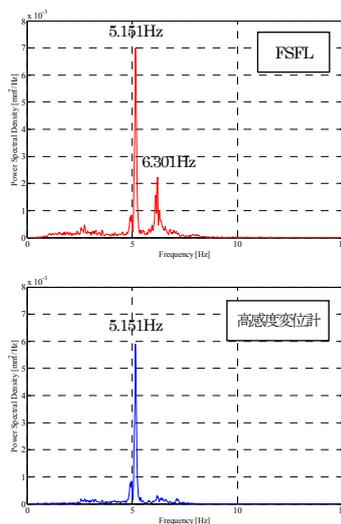


図9 周波数分析結果(仰角 45°)

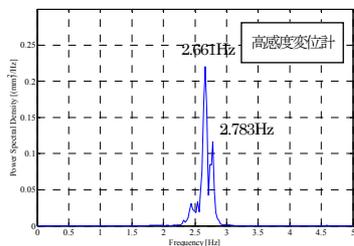


図7 周波数分析結果(仰角 90°)

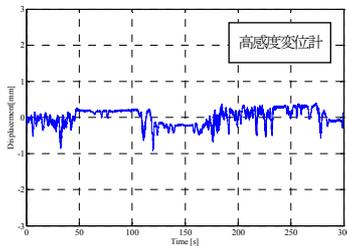


図8 時刻歴波形(仰角 45°)

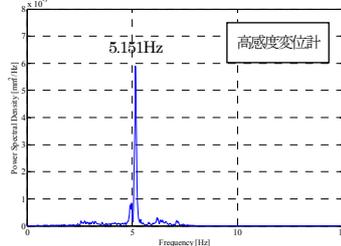


図9 周波数分析結果(仰角 45°)

計測結果を図6～図7に示す。室内試験結果と同様に、桁の変位の時刻歴波形は接触型の高感度変位計と非常に良く一致しており、周波数分析の結果についても一致した。これらの結果から、供用中の橋梁に対してFSFLを用いて非接触・高精度に動的な変位計測ができることが検証できた。

### 3.2 仰角 60° および 45° の計測

遠隔・非接触のセンサを用いて桁の変位計測を実施する場合、桁の直下から計測できることは稀である。通常は、川岸からなど側方斜め下部にしか計測場所を確保することができない。そのため、FSFLをより実用的にするためには、側方斜め下部からの動的な変位計測性能を検証することが不可欠である。したがって、ここでは、仰角 60° と仰角 45° の2ケースについて検証した。計測は、広島市内にある支間長 23.0m、桁下 5.7mの供用中の合成桁橋を対象として実施した。計測位置は、支間中央とし、FSFLのターゲットとして反射プリズムを用いた。比較対象のセンサ、サンプリングピッチおよび計測時間は、仰角 90° の場合と同様である。仰角が 60° のケースでは、変位の時刻歴波形は接触型の高感度変位計と良い対応を示しており、周波数分析結果では、卓越周波数が一致した。仰角が 45° のケースの計測結果を図8～図9に示す。ここで示しているFSFLの計測データは、鉛直方向の変位成分である。仰角が 45° のケースでは、変位の時刻歴波形は、必ずしも一致しているとはいえないものの、ピーク値の差は1mm以内である。周波数分析結果は、仰角が 60° のケースと同様に、卓越周波数が一致した。したがって、仰角が 45° 程度までであれば、卓越周波数を得ることができ、また、桁の動的な変位についても精度よく計測できることが検証できた。

## 4. まとめ

供用中の橋梁への適用を目的として、FSFLの動的な変位計測性能の検証を行った。検証結果をまとめると次の通りである。

- 1) 室内実験において、非接触・高精度に動的な変位計測ができることが検証できた。
- 2) 仰角 90° で供用中の橋梁にFSFLを適用した結果、室内試験と同様の結果が得られ、実構造物に対してFSFLを適用できることが検証できた。
- 3) 仰角 60°、45° で供用中の橋梁にFSFLを適用した場合でも、卓越周波数を得ることができ、桁の動的な変位についても精度よく計測できることが検証できた。

以上の結果から、FSFLは、供用中の橋梁へ十分適用できるといえる。

FSFLは、構造物のヘルスマニタリングにおける新しいセンシング技術であり、遠隔・非接触の高精度な動的計測が可能である。そのため、FSFLを適用することにより、

- ① 交通規制時間の短縮 (ターゲットの設置のみ)
- ② 長距離配線が不要でモニタリングの作業性を向上
- ③ 仮設の足場などを最小限に抑制

が可能となり、モニタリングにかかるトータルコストを削減することができる。今後、橋梁をはじめとする実構造物に適用していく予定である。

## 謝辞

FSFLの検証にあたり、フィールドを提供頂いた国土交通省太田川河川事務所および広島市安佐北区役所に対し、心よりお礼申し上げます。

**参考文献** 1) 藤井真人、原武文、久保田 慶太、宮本則幸、伊藤弘昌：周波数シフト帰還型レーザを用いた長距離・非接触による高精度計測の検証報告 第63回年次学術講演会 2008.9