

レーザードップラーとトータルステーションを用いた非接触かつ遠隔的なケーブル計測システムの開発

東京大学大学院 研究員 正会員

久保田慶太

長岡技術科学大学 助手 正会員

宮下 剛

東京大学大学院 学生会員 Jaime Hernandez Jr.

東京大学大学院 教授 フェロー

藤野陽三

(株) 計測リサーチコンサルタント 正会員

宮本則幸

(株) 計測リサーチコンサルタント 正会員

梅本秀二

1. はじめに

吊形式橋梁ケーブルの健全状態は、通常加速度計を用いてケーブル振動数を計測し、そこからの固有振動数を基本に判断している。しかし、この方法では、数多くあるケーブル材一本ごとに加速度計を設置し、専用ケーブルを接続・配線した後、増幅器と PC などの計測機器を現場に設置しなければならない。加えて、加速度計の設置に高所・危険作業を伴うことが多い。以上の理由から、ケーブル材の振動計測には多大な労力と多くの経費を費やすことを余儀なくされてきた。このような問題を解決するため、本研究ではレーザードップラー速度計（以下 LDV）とトータルステーション（以下 TS）を組み合わせ、非接触かつ遠隔的に多数のケーブル材の振動計測を迅速に実施することができる計測システムを開発し、実験的な検討をおこなった。

第一段階として、LDV のみを用いて大島大橋・多々羅大橋のケーブル部材の非接触計測を実施し、加速度計と LDV により同定されたケーブル部材の固有振動数について検討を行なった。次いで、広島市にある工兵橋のハンガーロープを対象に、LDV と TS を組み合わせることで遠隔的に各ハンガーロープの振動計測を自動的に繰り返し計測することができるシステムを考案し、基礎的な検討を行なった。

2. 大島大橋・多々羅大橋における計測実験

本研究においてハードウェアとして取り上げるレーザードップラー速度計（Laser Doppler Vibrometer: LDV）とは、レーザー光を物体に照射し、その照射光と反射光との周波数差から速度を検出する光学式干渉計である。¹⁾ 速度の分解能が非常に高く（ $0.1 \mu\text{m}$ ）、非接触かつ遠距離の振動計測が可能であり、計測周波数帯域が広い（ $0 \sim 35\text{kHz}$ ）という優れた性能を兼ね備えている。



図-1 LDV と加速度計によるケーブル振動計測状況

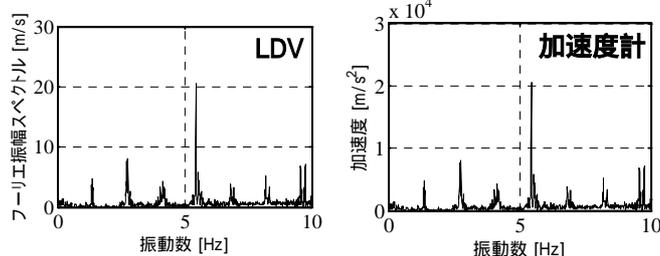


図-2 大島大橋におけるケーブル振動数の比較

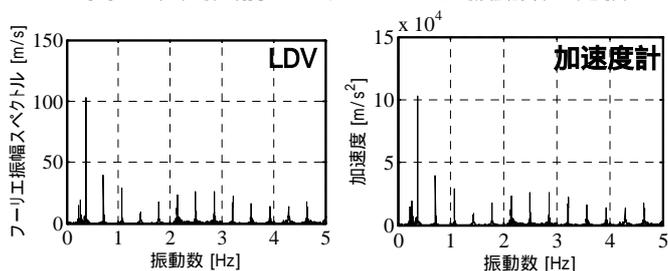


図-3 多々羅大橋におけるケーブル振動数の比較

計測実験は、これまでにケーブル計測管理が実施されているケーブル部材を対象とし、常時微動計測により加速度計と LDV の同時計測を実施した。（図-1）代表的なケーブルに関し、LDV と加速度計により同定された固有振動数を図-2、図-3 に示す。低次から高次までの固有振動数がほぼ一致していることがわかる。当初、多々羅大橋においては、ケーブルサグや橋梁全体の影響を受けるため、FFT の波形が乱れるなど、低次の固有振動数を特定するうえで困難を伴うことが予想されたが、うまく計測することができた。この実験から、LDV による非接触計測は、ケーブル材の固有振動数を同定する上で非常に有効であることを確認することができた。

キーワード レーザードップラー，トータルステーション，非接触計測，固有振動数，ケーブル

連絡先 〒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 橋梁研究室 TEL 03-5841-6097

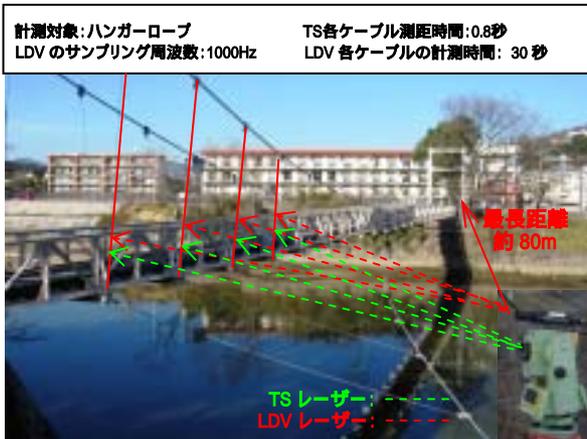


図-4 LDVとTSを用いた計測システムの概略図

3. LDVとTSを組み合わせた計測システムの開発

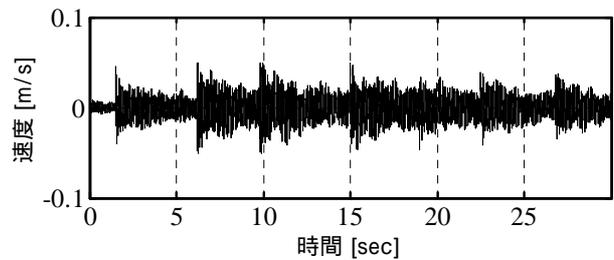
計測現場において遠方からLDVレーザー光を照射し振動計測を行う場合、計測点との距離が離れているため、肉眼ではレーザー光の照射状態を確認することが困難である。そこで、図-4のようにTSにLDVを搭載し、高精度な遠隔計測位置同定能力を有する計測システムを開発した。TSは、測定対象物の座標系の絶対性が確保される上、100m先で1mmという高精度な位置同定能力を備えている。

計測方法と制御プログラムの概要を以下に示す。

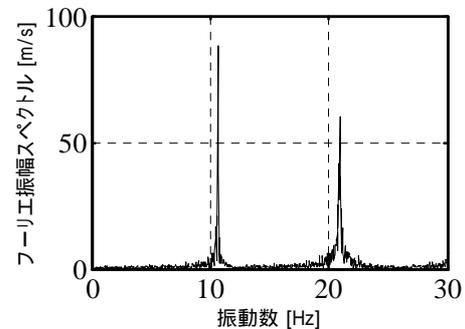
計測するハンガーロープに反射テープを設置する。

最も遠方にある計測点の反射レベルが最大になるようにLDVレーザー光の焦点を調整し、計測時間を設定する。各計測ポイントをTSで視準し、位置情報を記憶させる。記憶させた位置へTSが移動した段階で、TS側からLDV側のプログラムに信号を送信してLDVの自動計測がスタートする。LDV側の自動計測が終了した段階でTSが次の計測ポイントに移動する。これを繰り返すことで工兵橋のハンガーロープ全ての振動計測を実施した。本システムは、計測対象物に一度視準を行えば、以後は自動計測を繰り返すことができ、LDVとTSをノートPC一台のみで制御できるところに特徴がある。

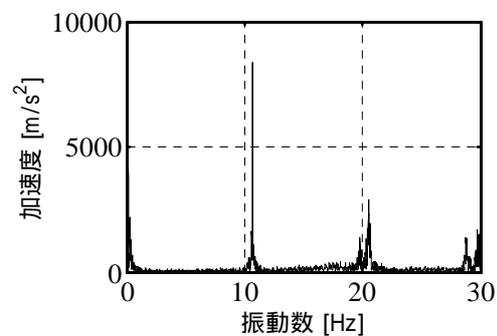
実験では全てのハンガーロープを2回繰り返し計測している。LDVの計測位置から約80m先にあるハンガーロープの振動計測結果を図-5a), b)に示す。また、加速度計により同ハンガーロープの固有振動数を同定した結果を図-5c)に示す。加速度計とLDVにより同定されたハンガーロープの固有振動数は、ほぼ一致していることがわかる。更に、LDVにより計測された各ケーブルの1回目、2回目の1次および2次の固有振動数にほぼ変化がないことを確認している。



a) LDVの時刻層波形



b) LDVにより計測された振動数



c)加速度計により計測された振動数

図-5 計測地点より約80m先にあるケーブル振動計測の結果

4. まとめ

LDVとTSを組み合わせ高精度な遠隔位置同定能力を有する非接触ケーブル計測システムを開発した。本システムを用いることで、迅速に多数のケーブル材の固有振動数を高精度に評価できるようになるため、従来の方法に比べ計測作業の大幅な効率化が見込まれる。今回の計測実験では、約80m先にあるハンガーロープの固有振動数をLDVにより非接触で同定できることを確認している。

謝辞；計測実験を実施するにあたり、本州四国連絡高速道路株式会社並びに広島市東区役所建設部管理課の方々から、多大なるご協力を賜りました。また、本研究は先端建設技術センター研究開発助成により遂行しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 貝戸, 阿部, 藤野, 本村: 実構造物の非接触スキャンニング振動計測システムの開発; 土木学会論文集, No.693/-53, pp.173-186, 2001.12