

光学式非接触計測による振動モニタリングの有効性検証と実構造物への適用

東京大学	学生会員	高橋 興介
東京大学	正会員	西川 貴文
東京大学	正会員	長山 智則
長岡技術科学大学	正会員	宮下 剛
東京大学	正会員	蘇 迪
東京大学	フェロー会員	藤野 陽三

1. はじめに

日本におけるインフラストラクチャの老朽化が進んできているが、発展途上国でも、急速に整備されつつある超高層構造物や高架橋等のインフラストラクチャの老朽化問題が近い将来顕在化すると想定される。これらに対し適切な維持管理が必要であり、従って構造物の状態を把握することが非常に重要である。より簡素な構造物モニタリングのひとつの手法としてレーザードップラー速度計(以下 LDV)を用いたモニタリング手法が考案されている<sup>1)</sup>。長距離計測においては、LDV による振動計測が約 2km まで可能であることは明らかになっている<sup>2)</sup>。しかしながら LDV の計測距離と精度との関連性は明らかになっておらず、LDV を用いた長距離振動計測における精度向上や適用例の拡大が必要となっている。

これに対し本研究では、より簡易で扱いやすい、LDV を用いた非接触長距離振動計測システムを開発し、LDV の精度向上に関していくつかの手法を講じた後、実構造物の振動を計測し、その計測精度と有効性を明らかにすることを目的とした。本研究では LDV を用いて、対象物の 1 次元の振動挙動を非接触かつ遠距離から高精度に計測することを図った。適用例として、現在建設中の広州新テレビ塔の振動を LDV を用いて長距離計測を行い、実構造物への LDV による長距離計測の有効性を示す。

2. LDV を用いた長距離振動計測システムの構築

(1) 計測システム

LDV は速度の分解能が高く、また計測可能な周波数帯も広く、建築物の常時微動に応用できる。

長距離計測を行うにあたり、図 1 に示すような、市販の単眼鏡(フィールドスコープ)と雲台を LDV と組み合わせた、簡易に設置・運搬・レーザー光照射することの出来る計測システムを構築した。なお、本装置は海外に持ち出すことも可能である。



図 1 LDV 長距離振動計測システム

(2) 水平面内長距離計測

これを用い、水平面内約 400m の距離において、鋼板を対象とした振動計測実験を行った。鋼板には反射用のプリズム及びサーボ型速度計を設置し、ゴムハンマーを用い加振した。鋼板速度の時刻歴波形を図 2 に示す。

(3) 水平面外計測と補正

また、照射角による振動の誤差及び LDV 本体の振動は、下式を用い補正した<sup>3)</sup>。

$$V' = V_{ldv} + V_{servo} \tag{1}$$

$$V = V' \cos \theta \tag{2}$$

ただし、 $V$  は対象物の速度推定値、 $V_{ldv}$  は LDV の計測速度、 $V_{servo}$  は LDV 本体に設置したサーボ型速度計の計測速度、 $\theta$  は入射光が計測面と垂直な方向となす角である。

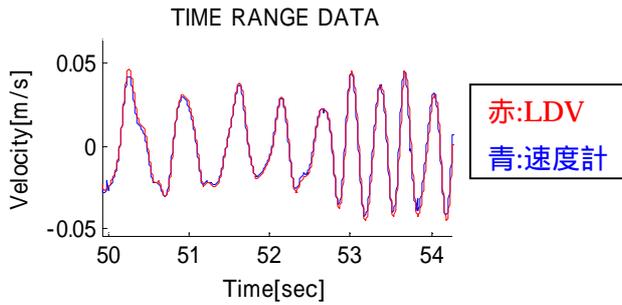
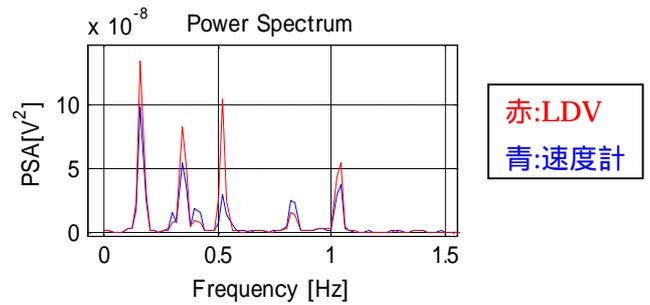


図2 鋼板速度時刻歴波形



(b) テレビ塔計測速度パワースペクトル密度関数

図3 テレビ塔計測結果

以上より,LDV による 400m における振動計測がサーボ型速度計と比較して,サーボ型速度計の仕様上の振幅誤差 ±5%以内に収まり,十分な精度を有することを確認した.

3. 広州新テレビ塔への適用

長距離単点計測の有効性を検証するため,実際の構造物への適用例として,広州に現在建設中の広州新テレビ塔を対象とした.地上約 270m に設置したターゲットプリズムに向けて地上から LDV により長距離計測し,隣接して設置したサーボ型速度計のデータと比較することにより,LDV による実構造物に対する長距離計測の有効性を検証した.LDV 及び計測地点の正確な位置を把握するためには,トータルステーションを用い,仰角の補正は式(2)を利用した.ターゲットまでの直線距離は,約 350m である.計測より得られた結果を図3に示す.

LDV では計測することが出来ない低周波数帯の振動が検出されたため,Butterworth2 次のバンドパスフィルタによって,LDV の計測可能周波数帯域である約 0.5Hz 以上の周波数を抽出し,比較対象とした.一方高周波数帯に関しては香港理工大学の加速度計から得られたスペクトルデータを元に卓越する周波数のない帯域を確認して決定した.

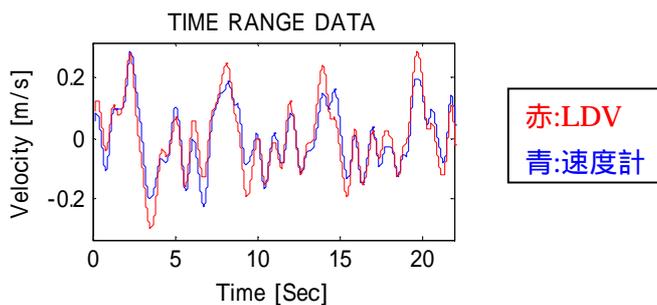
バンドパスフィルタを適用した結果,最も卓越する低周波数帯の振幅が約 10%に落ちたため,実際の振幅を再現することは出来なかったが,バンドパスフィルタをかけ 0.5Hz 以上の帯域を取り出した場合,位相は比較的一致することが確認できた.よって,LDV やサーボ型速度計の計測精度が保証されている周波数領域に含まれる振動の場合,LDV での長距離計測はサーボ型速度計の計測値と一致するといえる.時刻歴波形及びパワースペクトル上の精度低下の原因としては,帰りレーザー光の受光漏れによるノイズが混入したためと考えられる.

4. まとめ

- 1) LDV を用いて長距離計測を行う際に,フィールドスコープと雲台を用い運搬や設置が容易に行える計測システムを提案した.
- 2) 屋外にて LDV を用いた長距離単点振動計測を行い,約 400m までの距離で,対象点の振動を精度よく計測可能であることを示した.
- 3) LDV を用いて中国広州の新テレビ塔に対し長距離単点振動計測を行い,地上からタワーの一次元的な振動を LDV の計測可能周波数帯域において精度よく計測することが可能であることを示した.

参考文献

1) 貝戸清之,阿部雅人,藤野陽三,依田秀則: レーザー常時微動計測手法の構築と構造物の損傷検出への応用,土木学会論文集, No.689/I-57, pp183-199, 2001. 2) Kubota K., Miyashita T., Hernandez J., Fujino Y., Miyamoto N. and Umemoto S.: Development of a remote non-contact measurement system combining laser doppler vibrometer and total station for monitoring of structures, JSCE, 61:pp509-510, 2006. 3) 宮下剛,藤野陽三: レーザードップラー速度計を用いた三次元多点振動計測システムの開発,土木学会論文集 A Vol.63 No.4,pp561-575, 2007.10



(a) テレビ塔計測速度時刻歴波形