

レーザードップラ速度計による三次元振動計測システムの構築

東京大学 学生員 宮下 剛
 東京大学 正会員 石井博典 大竹完治
 東京大学 フェロー 藤野陽三

1. はじめに

近年、経年劣化による社会基盤施設の損傷が報告されており、効率的かつ定量的な構造ヘルスマニタリング(SHM)手法の構築が必要とされている。レーザードップラ速度計(LDV)は、非接触かつ長距離計測が可能であり、効果的な SHM デバイスとして研究されている。貝戸ら^{1), 2)}は LDV を利用して実建造物の非接触スキニング振動計測システムの開発を行い、常時微動計測による建造物の損傷検出に応用した。

LDV システムを利用した既往の研究^{1), 2)}では、三次元振動成分の中で、卓越する振動成分に着目して一次元振動計測のみが行われている。しかし、振動計測を高精度に行う場合、一次元振動計測では着目成分以外の振動が着目成分に影響を与えることがあるが、両者を分離することが原理的に不可能である。また、河川を渡る橋梁などで、着目する振動成分に直角にレーザーを照射することが困難な場合においては精度良く同定することができない。

LDV を利用した三次元振動計測では、図1のように三台の LDV を連動させて、三方向から振動計測を行う。計測された振動成分を対象とする物体の振動成分の座標系に変換することで、物体の三次元振動成分を求める。レーザー照射角度より、各座標軸の速度成分を求めるため、一次元振動計測における問題点を本質的に解決することが可能である。

2. 目的

LDV による三次元振動計測に関して、筆者らはこれまで単点式タイプを三台組み合わせたシステムで基礎検討を進めてきた³⁾。本研究では、多点三次元振動計測を想定して、スキニング装置を備えた多点式タイプの LDV を三台組み合わせたシステムで検討を進める。本システムにより、振動する物体の三次元振動成分を容易に多点について得ることが可能になる。初めに、計測原理を確認する基礎的な検討例を示す。次いで、現場計測への応用例を示す。

3. 計測システム

レーザードップラ速度計(LDV)は、レーザーを利用

して振動する物体の速度を計測する光学的な計測機器である。速度は、入射レーザーと反射レーザーの周波数変化により、ドップラの原理に基づいて計測される。LDV の特徴として、第一に、加速度計などの通常のセンサと比較すると、非接触かつ長距離計測(~30m)が可能である。これにより、計測物体に質量や剛性を付加することなく、また、センサ取付けや配線による高所作業を必要とすることなく、振動計測を行うことが可能である。第二に、速度の分解能が非常に高く(0.1 μm/s)、周波数帯域が非常に広い(0~1.5MHz)ことが挙げられる。そのため、センサの設置が非常に困難な状況であっても、常時微動のような小さい振動成分を高周波数まで計測することが可能である。第三に、レーザーのセンサヘッドにスキニングミラーのユニットを取り付けることで、多点の振動計測が可能になる。本研究では、同一のスキニング型の多点計測可能な LDV を三台連動させることで計測システムの構築を行った。

4. 計測原理

LDV による三次元振動計測は、図1のように三方向から一点を LDV で計測し、下式に基づき振動する物体の三次元振動成分を求める。

$$\begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_0 & \cos \beta_0 & \cos \gamma_0 \\ \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 V_x, V_y, V_z は振動する物体の各振動成分、 V_1, V_2, V_3 は各 LDV で計測される振動成分、 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ ($i=1, 2, 3$) は各 LDV のレーザー照射角度である。単点式 LDV ではレーザー照射角度を求めるためにはキャリブレーション等が必要であるが³⁾、多点式 LDV では、二軸のガルバノミラーへの印加電圧からレーザー照射角度が直接求まる。

5. 基礎検討

初めに、式(1)で表される計測原理を確認するために、基礎的な実験を行った。具体的には、加速度計を設置した一軸の振動台に、図1に示した V_x, V_y, V_z 方向へと一軸ずつ正弦波振動させ、加速度計表面を LDV

で三次元計測を行った．図 2 に，加速度計の計測結果である加速度を積分して速度で比較を行った計測結果の一例を示す．振動成分は，図 1 における $V_x(X)$ 方向である．実線(青)が加速度計による計測結果であり，点線(赤)が LDV による計測結果を式(1)に基づいて求めた結果である．その他の V_y, V_z 成分についても両者は良く一致しており，計測原理の妥当性が確認された．

6．現場計測へのアプリケーション

基礎検討より，計測原理が確認されたので，現場計測に本システムの適用を行った．鉄道鋼橋の桁端部のウェブ表面に検証用の圧電型三軸加速度計を設置して，その表面を LDV で三次元振動計測を行った．図 3 に LDV の配置および加速度計の計測軸を示す．図 4 に，LDV の計測結果である速度を微分して加速度で加速度計の結果との比較を各軸について示す．図 4 に示された振動成分は，列車走行後の鋼桁の自由振動成分である．実線(青)が加速度計による計測結果であり，点線(赤)が LDV による計測結果を式(1)に基づいて求めた結果である．図 4 より，各計測軸に関して，LDV による計測結果と加速度計による計測結果は良く一致しており，本システムの妥当性が確認される．

7．結論

- ・ 多点型 LDV を利用した三次元振動計測システムの構築を行った．
- ・ 振動台を利用した実験により，三次元振動計測に関して計測原理の妥当性を検証した．
- ・ 三次元振動計測システムを現場計測に適用して，有効性を確認した．

今後は，三次元スキヤニングにより，任意の位置から任意の方向の振動計測を可能にするシステムについての検討を進める．

参考文献

- 1) 貝戸ら，実構造物の非接触振動計測システムの開発 土木学会論文集 690 巻 53 号 2001 年 pp.173-186
- 2) 貝戸ら，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 689 巻 57 号 2001 年 pp.183-199
- 3) T. Miyashita and Y. Fujino. Development of Three-Dimensional Vibration Measurement System using Laser Doppler Vibrometers AESE2005 (発表予定)

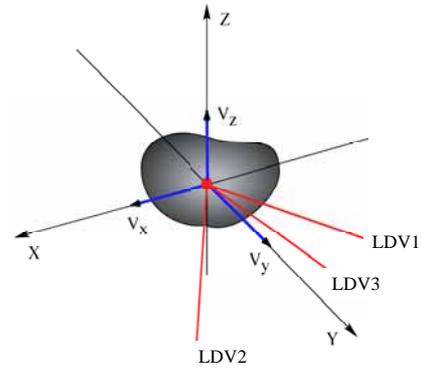


図 1 LDV による三次元振動計測

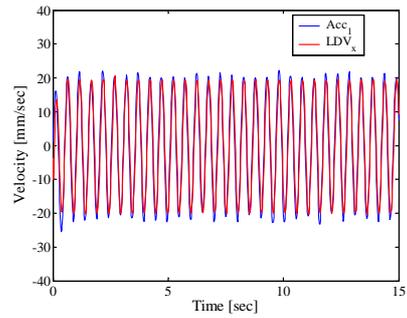


図 2 基礎検討結果例

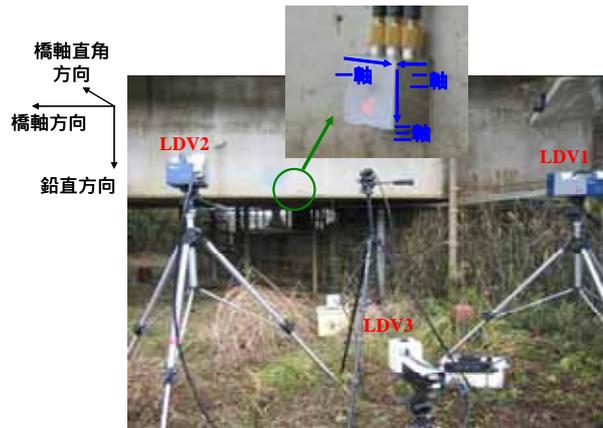
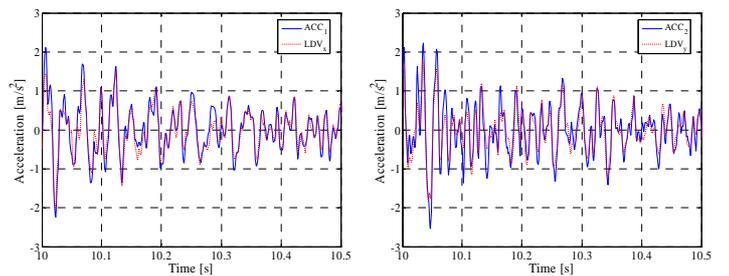
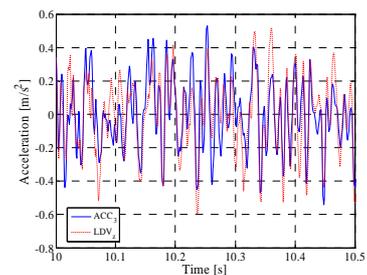


図 3 LDV の配置および三軸加速度計計測軸



(a) 一軸方向

(b) 二軸方向



(c) 三軸方向

図 4 現場計測結果