

非接触振動計測を用いた既設橋梁の構造振動特性の評価法に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○杉山 拓巳

長崎大学 正会員 松田 浩

長崎大学 非会員 牧野 高平

1 序論

社会資本である橋梁等の土木構造物は、1970年代の高度経済成長期に数多く建設されており、一般に橋梁の寿命と言われている供用開始後 50 年を超える老朽化橋梁が今後急増することが予測される。

構造物は、疲労や環境要因による顕著な材料劣化、地震による損傷などを受けることで構造物の剛性が低下し、揺れの増大や固有振動数の低下を引き起こす。そのため、構造物の振動特性を把握することは、変状発生の有無の推定に有効である。しかし、従来の振動計測は加速度計を用いる手法が一般的であるが、計測のためにセンサの設置・配線、撤去作業に多くの時間を要する上、危険箇所での作業が伴うなど、効率面、安全面において課題が残されている。

そこで、本研究では非接触かつ長距離で振動計測が可能なレーザドップラ速度計（以下、LDV と略称）の精度照査と実橋梁への適応性について検討した。

2 LDV の精度照査

LDV(写真 1)は対象物に照射されたレーザの反射光のドップラ効果を利用して物体の速度を非接触で検出するものである。さらに検出された速度情報に FFT 処理を行うことで物体の固有振動数を求めることができる。また、2 台の LDV を同期させて計測を行うことで、そのフーリエ振幅スペクトルの比および位相差から振動モードの推定が可能となる 1)。図 1 に振動モード推定の概要を示す。図中の記号 (A_{xy}) は各計測点のフーリエ振幅スペクトルの大きさを表す。計測点を重複させながら計測を行い、振幅比および位相差をもとに各重複点で計測結果を接続することで、対象物全体の振動モードを推定することができる。

実橋梁への適用に先立ち、鋼板試験体を用いて LDV の精度照査を実施した。LDV のレーザ照射位置の近傍に加速度計を設置し、計測結果から算出される固有振動数および振動モードの比較、FEM 固有振動解析の解析結果との比較を行った。また、LDV のレーザ照射角度を 0° 、 30° 、 45° 、 60° と変更し、計測面に対する照射角度が計測結果に及ぼす影響を評価した。図 2 に計測に用いた鋼板試験体 ($t=4.5\text{mm}$) の形状および計測点を示す。LDV の計測点にはレーザの反射光量を確保するため、再帰性反射シールを貼付した。試験体両端部をボルトで固定し、中央部（計測点 B4）を加振して計測を行った。

計測と解析により得られた固有振動数を表 1 に振動モードの比較を図 3 にそれぞれ示す。表 1 より、LDV と加速度計の固有振動数はほぼ一致しており、LDV は高精度な計測ができた。図 3 より

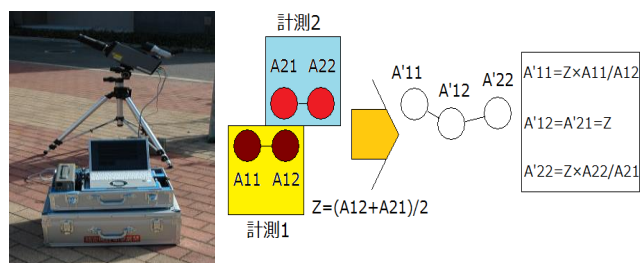


写真 1 LDV

図 1 振動モード推定方法

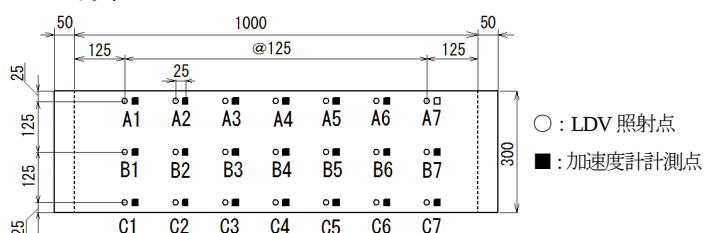


図 2 計測点（単位：mm）



写真 2 計測状況

表 1 固有振動数計測結果（単位：Hz）

次数	解析値	LDV	加速度計	LDV/加速度計
1 次	22.2	22.6	22.6	100.0%
2 次	54.4	54.8	54.6	100.4%

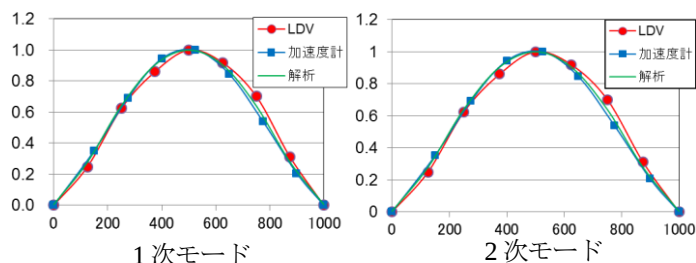


図 3 振動モード結果比較

表 2 固有振動数計測結果（単位：Hz）

	レーザ照射角度			
	0°	30°	45°	60°
1 次	21.2	21.2	21.1	21.2
2 次	52.9	52.9	52.9	52.8

キーワード：レーザドップラ速度計，固有振動数，振動モード，加速度計

住所：長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科総合工学専攻構造工学コース 電話・FAX：095-819-2590

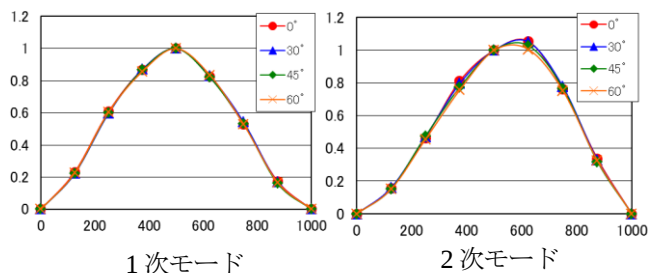


図4 振動モードの結果

1次モードおよび2次モードは固有振動数と同様にLDV、加速度計、解析共にほぼ一致した。

照射角度を変化させた場合の固有振動数を表2に、振動モードを図4に示す。計測された固有振動数は、レーザの照射角度によらずほぼ一定の値を示している。また、計測から得られた振動モードも照射角度によらずほぼ同一の形状を示していることが分かる。

3 既設橋梁振動計測

LDVを実橋梁へ適応するため単径間単純支持形式の鉄筋コンクリート床板橋（橋長 36.0m, 最大支間長 17.6m）を対象として計測を行った。架設状況を写真3に示す。固有振動数および振動モードの計測を目的として、図5に示す計測点を設定した。計測状況を写真4に示す。計測箇所は床板下面とし、LDVを各計測点の直下に設置し計測面にレーザを照射し計測を行った。計測距離は約3mである。加振は事前解析により得られた1次、2次振動モードの腹となる箇所に写真5のように砂の入った容器(25kg)を約1.0mの高さから自由落下させることで行った。また、実構造物での角度の性能照査を行うために、a1~a6(a列)に照射角度が45°となるように設定し計測を行い、照射角度0°の計測結果と比較した。

計測値より推定した振動モードを図6に示す。計測値より推定した1次は曲げ振動モード、2次はねじれ振動モードであることが確認できる。照射角度を変更して行った固有振動数の計測結果を表3に、角度0°と45°の比較した振動モードを図7に示す。計測された固有振動数はレーザの照射角度によらずほぼ一定の値を示している。振動モードでは1次モードはほぼ同形であるが、2次モードは少し差異が見られる。しかし、その差は全体モード形状に対して微小なため、実構造物においても角度による影響はほぼないものと推測される。

4 結論

精度照査から、LDVを用いた振動計測より固有振動数、振動モードともに高精度に推定可能であることが確認できた。実橋梁を対象とした振動計測においても、振動モードを精度よく推定できたと考えられる。今回の結果より、実橋梁の固有振動数および振動モード推定へのLDVの有効性を確認できた。今後、架設条件等の異なる橋梁への適用事例を増やし、計測条件が結果に与える影響を明らかにすることが必要である。

参考文献

- 1) 宮下剛ほか：二台の無線LAN加速度計による橋梁の振動モード形状同定，土木学会年次学術講演会，I-496，2006



写真3 架設状況

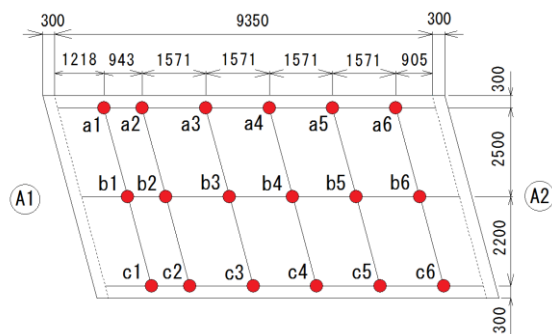


図5 計測点 (単位: mm)



写真4 計測状況



写真5 加振状況

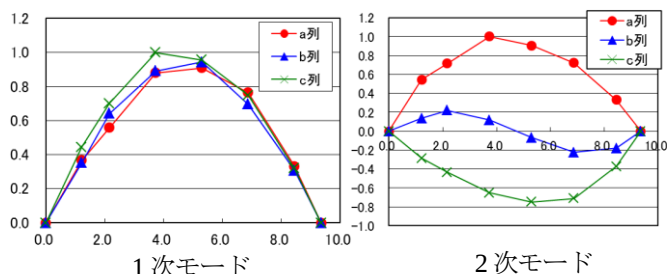


図6 振動モード計測結果

表3 固有振動数計測結果 (単位: Hz)

次数	レーザ照射角度		計測値(45°)/計測値(0°)
	0°	45°	
1	15.7	15.6	99.2%
2	32.0	32.0	99.8%

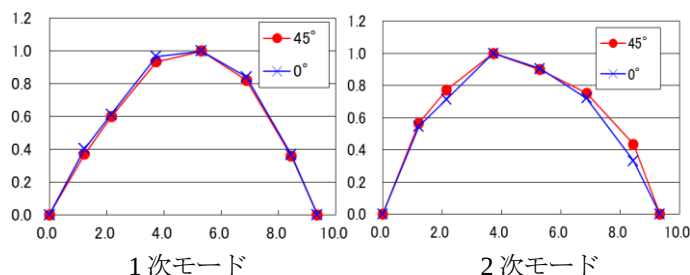


図7 振動モード結果比較