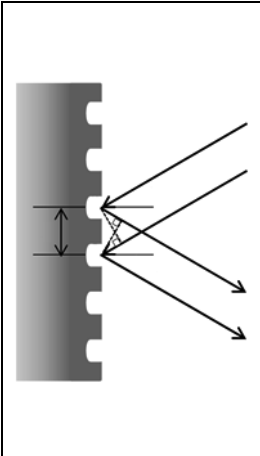


周波数シフト帰還型レーザーによる振動計測

株式会社 3D イノベーション
原 武文



1. はじめに

橋脚、トンネル、道路などのインフラ構造物が建設後 50 年を次々と迎え、その維持管理技術が求められている¹⁾。道路法等により、5 年に 1 度、近接目視による定期点検の実施が義務付けられ、必要に応じて打音検査等の非破壊検査も実施される。さらに損傷の原因や進展性の評価、補修補強の必要性を判断するなど、さまざまな理由で詳細調査が実施される。このような診断は橋梁の部位・部材ごとに行われる。一方で、橋梁全体としての強度は維持できているかとなると、その診断が非常に大規模で高コストであるため、橋梁数からすると実施例は非常に少ない。特定の重要な橋梁を除けば、建設時に実施される程度である。

こうした橋梁全体の強度検査では、加重による各部の歪み量や、固有振動が設計値とどの程度ズレが生じているかが判断材料となる。従来は、歪ゲージや変位計、ピアノ線などを使った長さ計測と、加速度計がセンサとしてよく利用されている。センサとそれを繋ぐ信号ケーブル等の敷設には、計測用足場や特殊車両が必要なため、コストアップと検査期間の長期化してしまう。

ところで、これらの変位計側は片側を固定端、もう一方を計測対象に固定する必要があるため、対象が大型化するほど固定端の確保、足場の設置が困難となる。一般には、加速度計の観測値を積分して振幅を求める場合もあるが、誤差が蓄積するため振幅値には大きなドリフトが生じてしまう。橋梁の固有振動は、基本モードが約 0.1~3Hz 程度、構造部材は 1~10Hz 程度、さらに静的・動的積荷試験では DC 付近と加速度計の低周波限界を超えるため、変位計が必要となっている。

こうした、加速度計と変位計の組み合わせによる診断方法を代替する手段として、周波数シフト帰還型 (Frequency-shifted feedback; FSF) レーザ距離計を用いた、非接触で計測が試験的に行われている²⁻⁶⁾。FSF レーザは距離計や、光三次元計測装置への応用が進む技術であり、距離とその計測精度の比は 10^{-6} オーダと長距離計測に有効である。本稿では、FSF レーザ距離計による振動計測を中心に述べる。

2. 原理

2-1 FSF レーザ

FSF レーザは、図 1 に示すようにレーザ共振器内に光周波数シフタを挿入した構成である⁷⁾。レーザ利得媒質から発生した光波は、共振器周回ごとに一定の周波数シフトを与えられ、再びレーザ媒質に帰還される。FSF レーザの光スペクトルは図 2 左のように数 10~数 100GHz 程度の広がりを持っている。一般のマルチモードレーザのように楕 (コム) 状の共振器縦モードは見られず、発振モデルは議論の段階である。ここでは、周波数チャープコム (Frequency Chirped Comb) という発振モデルで説明する。レーザ媒質から発射されたある瞬時周波数成分は、周波数シフトを繰り返しながら利得曲線にしたがい振幅を増減させ、やがて消滅する⁸⁾。単位時間当たりの周波数シフトをチャープ率と呼び、FSF レーザでは共振器を 1 周回時間する時間 τ_{RT} と、そのときの周波数シフト量 ν_s より、 ν_s / τ_{RT}