

BOCDR 歪分布測定システムにおける二重光周波数変調法と 光強度変調法の併用による性能向上

Performance improvement of BOCDR strain distributed measurement system by
combined use of double-frequency modulation scheme and intensity modulation scheme

豊田工業大学, [○](B)山本 留生, (P)大川 洋平, 保立 和夫

Toyota Technological Institute, [○]Rui Yamamoto, Youhei Okawa, and Kazuo Hotate

E-mail: sd17076@toyota-ti.ac.jp

近年、ダムや橋梁といった大型構造物の老朽化に伴い、その健全性診断の重要度が増してきている。構造物にかかる歪の検知には、電気抵抗の変化を応用した歪ゲージが利用されてきたが、電磁ノイズに弱く、また広範囲測定は困難であるため、これらの欠点を克服する新たな技術が必要とされている。そこで、現在、注目を集めているのが光ファイバに沿った歪や温度の分布を測定できる分布型光ファイバセンシングである[1]。本研究では特に、分布型光ファイバセンサの一方式であるブリルアン光相関領域反射計(Brillouin Optical Correlation-Domain Reflectometry: BOCDR)法を扱う[2]。

Fig. 1 に本研究で対象とする実験系を示す。BOCDR 法は光源に周期的な周波数変調をかけ被測定ファイバに入射する。そして、自然ブリルアン散乱により戻ってくるストークス光と参照光の干渉(相関)を取ることで、ブリルアン散乱スペクトラムを検出する[2]。BOCDR 法では、光源への FM 変調によって被測定光ファイバ中の一点(相関ピーク点)でのブリルアン散乱スペクトラムを位置選択的に測定する。既に cm 級の空間分解能と km 級の測定可能長を実現しているが[3]、これら 2 つの性能の間にはトレードオフの関係があるため、文献[3]では複数の性能向上手法を用いている。本研究では、これらのうち 2 つの性能向上手法を併用する最適な組み合わせ方をシミュレーションと実験によって探求した。

その 1 つが二重光周波数変調法[1]で、互いに整数倍の 2 つの周波数で光源に FM 変調を施すことで分解能を高く保ちつつ測定レンジを延伸する手法である。このとき、測定範囲は遅い方の周波数で、空間分解能は速い方の周波数で決められる。周波数比率が高くなるに従い性能指数(測定レンジ/分解能)は向上するが、相関ピークの他に小ピークが多数出現するため、測定の妨げとなる背景光雑音が増加してしまう問題がある。このような背景光雑音を減らすための手法として、光強度変調法が提案されている[1]。光源への周波数変調に同期した光強度変調を施し、相関ピーク以外の小ピークの強度を抑えることで背景光雑音を低減する。本研究では、まずシミュレーション法を用いて、2 つの手法を併用する際のパラメータの組み合わせを検討した。この結果、2 つの FM 周波数のそれぞれに同期した光強度変調法を施し、加えて早い周波数に関しては変調波形を更に工夫するべきことを見出した。

Fig. 2 は、長さ 100 m の光ファイバの内 20 cm に歪を印加した FUT に対し、BOCDR 出力スペクトラムを分布計測した実験結果である。単一周波数変調法 (Fig. 2(a)) に対して、二重周波数変調法 (Fig. 2(b)) では背景光雑音が増加して歪部の信号が埋もれていることがわかる。しかし、Fig. 2(c)より光強度変調法をさらに導入することで背景光雑音が低減されて、歪部の測定が可能になっていることが示された。今後は、光強度変調波形を更に最適化して、より効果の高い背景光雑音の低減を目指す。

[1] K. Hotate, Appl. Sci. 9(1), 187 (2019).

[2] Y. Mizuno, W. Zou, Z. He, and K. Hotate, Opt. Express 16(16), 12148 (2008).

[3] R. Shimizu, M. Kishi, and K. Hotate, Proc. SPIE 10323, 1032390 (2017).

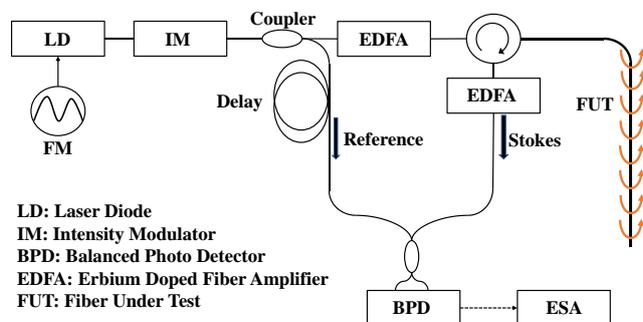


Fig. 1 Schematic diagram of our BOCDR system.

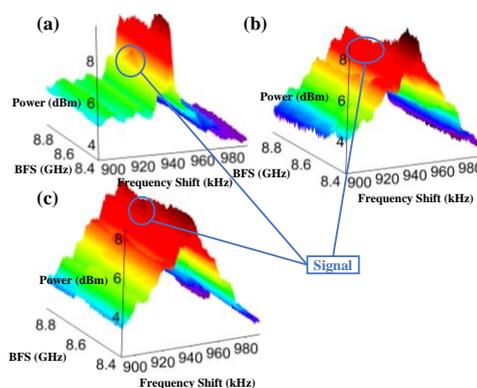


Fig.2 3D plot of BOCDR output spectra with methods of (a) single-frequency modulation, (b) double-frequency modulation, and (c) double-frequency modulation and intensity modulation.