

PC ストランドを有する梁試験体による自己遅延ヘテロダイン BOTDR の性能評価

沖電気工業(株)	正会員	○岩村 英志
沖電気工業(株)		小泉 健吾
沖電気工業(株)		浅林 一成
沖電気工業(株)		村井 仁
沖電気工業(株)		佐々木 浩紀
鹿島建設(株)	正会員	今井 道男

1. はじめに

光ファイバ自体をセンシング媒体として、温度や歪の分布測定が可能な光ファイバセンシング技術は、土木・建設分野、石油エネルギー分野など、様々な領域への適用が期待されている。なかでも、光ファイバ中で発生するブリルアン散乱光(BS 光)は、歪・温度変化に比例して周波数が変化する性質を有し、これを利用したコンクリート構造物モニタリング等の研究が進められてきた¹⁾。BS 光の周波数変化(BFS)を測定する代表的な方式として、ブリルアン光時間領域反射測定(BOTDR)がある。従来の BOTDR では、光ファイバにパルス光を入力し、反射光として自然 BS 光が入射端に戻ってくる時間から反射(散乱)点の位置を特定し、周波数スペクトル解析により計測した BFS を歪や温度に換算する。しかしながら、自然 BS 光は微弱であり、BFS も非常に小さいため($\sim 0.05 \text{ MHz}/\mu\epsilon$)、高精度な分布測定には、十分な平均化と精密な周波数解析が不可欠となる。そのため、測定に分オーダーの時間を要することが一般的であり、BOTDR の適用領域を制限する要因の一つとなっていたと考えられる。我々は、このような課題意識のもと、より高速な測定を可能にする自己遅延ヘテロダイン(Self-delayed heterodyne: SDH)BOTDR 方式の開発に取り組んでいる²⁾。本方式は BFS を求める周波数解析に必要な周波数掃引プロセスを省くことが可能であり、その分、測定に要する時間を短縮できる。さらに、受信構成を簡素化することにより、測定性能を損なうことなく装置コストの低減も可能である。今回、PC ストランドを有する梁試験体により、試作した SDH-BOTDR の測定性能を調べたので報告する。

2. SDH-BOTDR 方式の原理

SDH-BOTDR の装置概観を図 1 に、構成を図 2 に示す。送信部は、従来の BOTDR と同様の構成であり、分解能に相当するパルス幅と測定レンジに相当する繰り返し周波数を任意に設定した光パルスを生成する。一方、本方式の特徴である受信部は、被測定ファイバからの自然 BS 光を捕捉するための自己遅延干渉計で構成する。干渉計内では、一方に音響光学変調器(AOM)により周波数シフトを与え、他方に遅延線を挿入し両アーム間に時間遅延を与えた構成とする。これにより、受信信号は AOM で与えられた周波数シフトに相当するビート信号に変換され、BFS はビート信号中の位相シフトとして現れる。このビート信号に位相検波を施すことにより、従来の BOTDR における周波数掃引機構を用いることなく、BFS のみを抽出することが可能となる。



図 1 SDH-BOTDR の装置外観

キーワード PC ストランド, BOTDR, ブリルアン散乱, 自己遅延ヘテロダイン, 光ファイバ

連絡先 〒335-8510 埼玉県蕨市中央 1-16-8 OKI システムセンター TEL:048-431-5489

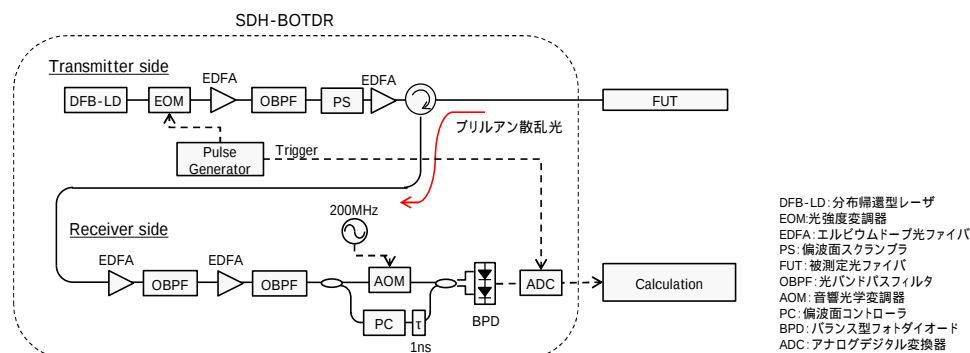


図2 SDH-BOTDR の装置構成

3. PC ストランド有する梁試験体を用いた SDH-BOTDR の性能評価

梁試験体は図3に示すように、全長4.65mで、2本のPCストランドにシングルモード光ファイバ(SMF)をそれぞれ2本、合計4本組み込んだ構成であり、PC緊張によりSMFに歪が付加されている。今回の測定では、試作機の動作条件を、AOM周波数シフト200MHz、サンプリングレート2.5GS、空間分解能1.5mとしたSDH-BOTDRによる分布歪測定の結果を図4に示す。分布歪測定に要する時間は、平均化回数を 2^{14} 回と設定したとき2秒であり、1回のデータ取得時間約0.12msと非常に高速な測定が可能であることを確認した。また、平均化回数 2^{16} 回における測定時間は9秒であった。このとき、PC緊張部の平均的なBFSは約60MHz(約 $1200\mu\epsilon$)であり、比較用の従来型BOTDRの測定結果と遜色ない値を示した。一方、BFS測定値の標準偏差は8.3MHz(約 $166\mu\epsilon$)であり、従来型BOTDRの測定性能(約 $100\mu\epsilon$)と比較して改善の余地はあるが、光検出部バックエンド回路の信号処理性能を向上することで改善が見込まれる。



図3 梁試験体の概要

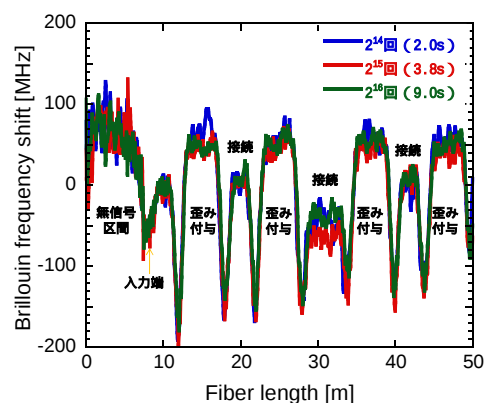


図4 梁試験体の分布歪測定結果

4. まとめ

PCストランドを有する梁試験体の分布歪測定により、測定時間の短縮が期待できるSDH-BOTDR方式の性能評価を行い、空間分解能1.5m、平均化回数 2^{14} 回の動作条件で、測定時間2秒の高速な分布歪測定が可能であることを確認した。また、平均化回数 2^{16} 回における測定時間は9秒であり、このときのBFS測定値は従来型BOTDRと遜色ない値であった。測定精度の改善の余地はあるが、SDH-BOTDRが高速分布歪測定に適した方式である可能性を示すことができたと考える。今後は、干渉計などの受信構成や、演算処理アルゴリズムの最適化により、さらに高い空間分解能(0.5m以下)を有する試作装置開発を実施する。

参考文献

- 1) 大窪ほか：第71回土木学会年次学術講演会，pp.1163-1164，2016。
- 2) 小泉ほか：電子情報通信学会総合大会，B-13-9，2016。