

BOCDA方式光ファイバセンサによる構造モニタリング実験

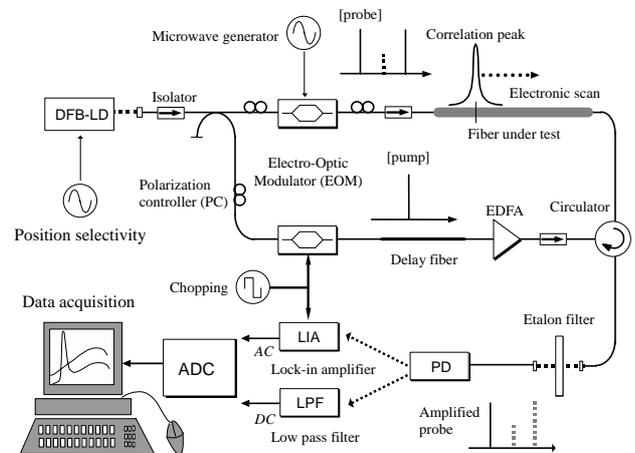
鹿島建設(株)	正会員	今井 道男	酒向 裕司
鹿島建設(株)	正会員	三浦 悟	宮本 裕司
東京大学		SEAN S.L. ONG	保立 和夫

1. はじめに

土木構造物等の継続使用安全性を確保するためのモニタリング技術のひとつとして、小型軽量で長寿命などの特徴をもつ光ファイバによる歪み計測への期待が高い。しかし、従来の光ファイバセンサのうち、FBGはセンサ部が離散化されファイバ全長にわたる計測が不可能、BOTDRは計測時間がかかるうえ位置分解能が1m、といくつかの課題がある。本稿では、高位置分解能での分布計測や動的計測が可能なBOCDA (Brillouin Optical Correlation Domain Analysis) 方式により、二層の鋼構造モデルの静的載荷実験や動的応答実験時における部材の歪み計測を実施して、構造モニタリングへの適用性を検討したので報告する。

2. BOCDA方式

光ファイバ内で生じるブリルアン散乱光は、入射光と後方散乱光との周波数差が歪み量に依存することが知られている。BOCDA方式は、このブリルアン散乱光を利用した新しい歪み計測技術である¹⁾。あらかじめ周波数の異なる二つの光を対向し、ブリルアン散乱を誘導する。光源の発振周波数を変調すると任意の位置で誘導ブリルアン散乱を局所的に発生することができるため、その位置の歪みを選択的に計測できる。連続光の利用により動的計測が可能で、ファイバ全長にわたって数cmレベルでの高い位置分解能を実現する。本実験で用いたBOCDA方式のシステム構成を図1に示す。

図1 歪み計測システム構成¹⁾

3. 実験概要

3.1 実験モデル

実験モデルは図2に示すように二層の鋼構造骨組を模し、鉛直材には耐力の高いジュラルミン、水平材には鉄を使用し、水平材上には錘を積載可能な構成とした。モデル外周部に光ファイバをエポキシ系接着剤で敷設し、BOCDA方式の計測システムと接続した。また、最大歪み発生が予想される箇所 (A~D) に歪みゲージを4枚貼付した。

3.2 静的載荷実験

水平材がそれぞれ4.8kgとなるように錘を積載し、さらにモデル頂部に9.8Nの水平力を加えた状態で、右側の鉛直

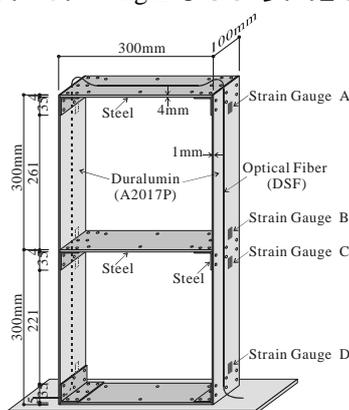


図2 実験モデル

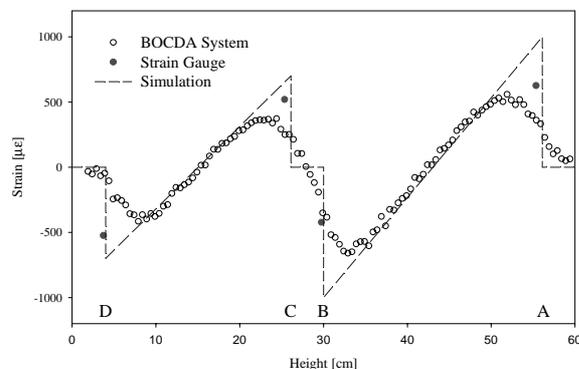


図3 静的載荷実験結果

キーワード モニタリング, 光ファイバセンサ, 歪み測定, 寿命評価

連絡先 〒182-0025 東京都調布市多摩川1-36-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL0424-89-7150

材に生じた歪み分布を0.5cm間隔で静的に計測した。このときの位置分解能は1.2cmである。計測結果を歪みゲージと事前のシミュレーションで求めた歪み分布とともに図3に示す。BOCDA方式によって歪み分布が良好に表現されていることがわかる。歪みが連続的に変化する箇所では非常に良く一致しているが、大きな歪みからほぼ0へ急激に変化している水平材との接合箇所近傍では歪み量が小さく計測され、結果的に歪みの極値位置がずれている。この主な原因は、位置分解能の限界による感度の鈍化ではなく、モデル母材とファイバ間の媒体による緩衝あるいは滑りによってファイバ自体へ歪みが鋭敏に伝達されなかったためと考えられる。

3.3 動的応答実験

下部を固定してモデルを自由振動させた状態で、BOCDA方式により上層下部(B)の歪みを18.4Hzサンプリングで動的に計測した。このときの位置分解能は2cmである。同じ位置の歪みゲージにより200Hzサンプリングで計測した結果とともに図4に示す。前述の原因に加えてサンプリング周波数が低いことにより、静的载荷実験同様に歪みゲージと比べて歪み量がやや小さい傾向にあるが、動的な歪みの変動を正確に計測することができた。実際に、両者の計測結果から評価した固有周期はともに0.865secであり、減衰定数についてもBOCDA方式で0.48%、歪みゲージで0.49%とほぼ一致した。

また、モデルを振動台に搭載し、0.1~10Hzまで正弦波で周波数を掃引したスイープ加振によって、自由振動と同じ条件で計測した結果を図5に示す。実験の範囲内においては、BOCDA方式による計測結果に有意な周波数特性は見られなかった。本実験におけるモデルの振動状況を異なるモードごとに図6に示す。本モデルでは、振幅が卓越する二つの周波数がみられるが、フーリエ変換を用いて周波数解析を行った結果、歪みゲージと一致する一次と二次の固有周波数を得ることができた。図7に周波数解析結果を示す。

4. まとめ

本実験を通じ、BOCDA方式光ファイバセンサのもつ高位置分解能と動的計測性能が確認できた。本センサを用いることにより、構造物の残留歪みの計測や固有周波数の変化による損傷検知などが可能であり、構造モニタリングに有効な計測技術となることが期待される。

今後は、実サイズの試験体への適用を通じて更なる計測システムの高度化に努めたい。また、RC構造への適用についても検討を進める予定である。

参考文献

- 1) K. Hotate and S.S.L. Ong, "Distributed fiber Brillouin strain sensing by correlation-based continuous-wave technique ~cm-order spatial resolution and dynamic strain measurement~," SPIE Photonics Asia, Shanghai, 4920-51, pp.299-310, Oct. 2002, <Invited>.

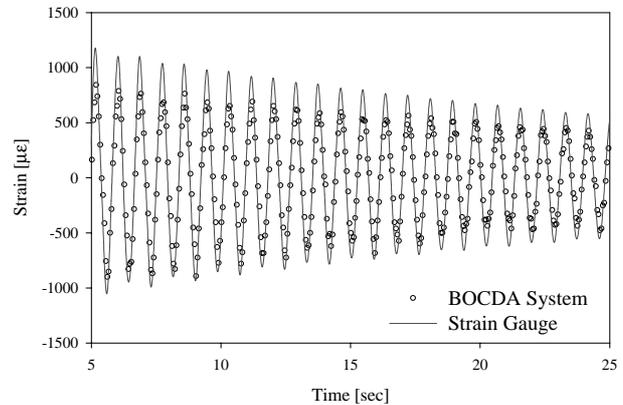


図4 自由振動実験結果

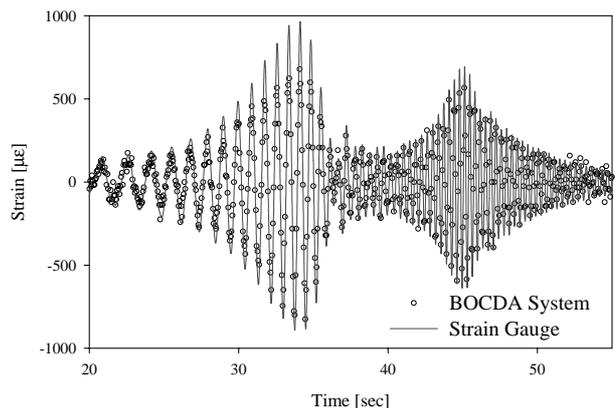


図5 周波数掃引実験結果

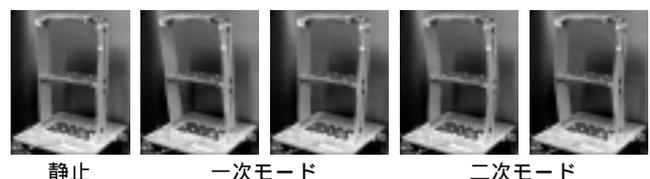


図6 モデルの振動状況

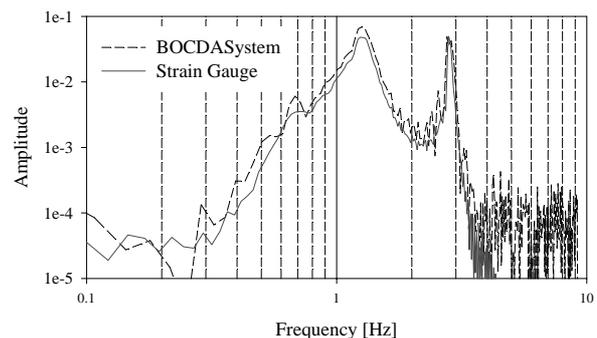


図7 周波数解析結果