

## BOCDA 方式光ファイバセンサ高度化技術の検証実験

鹿島建設(株) 正会員 今井 道男 鹿島建設(株) 正会員 名児耶 薫  
 鹿島建設(株) 正会員 三浦 悟 東京大学 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として、小型軽量で長寿命などの特徴をもつ光ファイバセンサによるひず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光ファイバ全長にわたるひずみ分布計測に不適、BOTDR は計測時間がかかるうえ位置分解能がやや低い、といくつかの課題がある。本稿では、高い位置分解能での分布計測や動的計測が可能な BOCDA 方式光ファイバセンサを、実物大のトンネル載荷試験に適用し、その適用性を検討したので報告する。

## 2. BOCDA (Brillouin Optical Correlation Domain Analysis) 方式

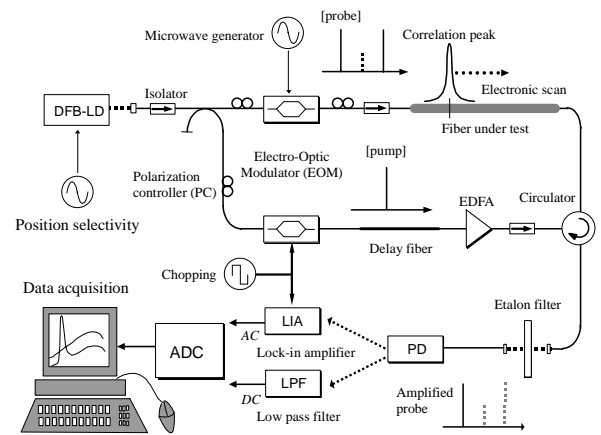
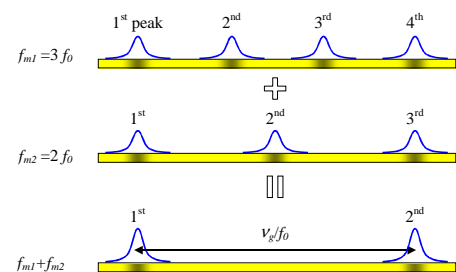
光ファイバ内で生じるブリルアン散乱光は、入射光と後方散乱光との周波数差がひずみ量に依存することが知られている。BOCDA 方式は、このブリルアン散乱光を利用した新しいひずみ計測技術である<sup>1)</sup>。あらかじめ周波数の異なる二つの光を対向し、ブリルアン散乱を誘導する。光源の発振周波数を変調すると任意の位置(相関ピーク)で誘導ブリルアン散乱を局所的に発生することができるため、その位置のひずみを選択的に計測できる。連続光の利用により動的計測が可能で、ファイバ全長にわたって数 cm レベルでの高い位置分解能を実現する。本実験で用いた BOCDA 方式のシステム構成を図 1 に示す。

しかし、相関ピークは周期的に発生するため、計測対象範囲に複数の相関ピークが存在してしまう場合がある。このときには、計測されたひずみ量の発生位置を特定することができない。この課題を克服するために、いくつかの方法が提案されているが<sup>2)</sup>、本実験では光源の変調波形を変える方法で計測可能範囲の長距離化を目指した。具体的には、ふたつの異なる周波数の正弦波を足し合わせた波形で光源の周波数を変調する。この結果、それぞれの周波数によって生じる相関ピークが重なる位置で誘導ブリルアン光が最大となるため、高い位置分解能を維持したまま計測可能範囲を長距離化することができる(図 2)。

## 3. 実験概要

## 3.1 実験モデル

実験モデルは、図3に示すように実物大のトンネルを模した外径約10mのコンクリート製であり、周囲にジャッキが配置されている<sup>3)</sup>(図4)。図5に示すように計測用光ファイバ(SMF)をコンクリート内側(全長約15m)表面にエポキシ系接着剤で接着し、ジャッキによる載荷で生じたコンクリート表面のひずみ分布を、長距離化されたBOCDA方式光ファイバセンサで計測した。

図 1 ひずみ計測システム構成<sup>1)</sup>図 2 相関ピーク間隔の拡大<sup>2)</sup>図 3 実験モデル<sup>3)</sup>

キーワード モニタリング, 光ファイバセンサ, ひずみ測定, 寿命評価

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL0424-89-7923

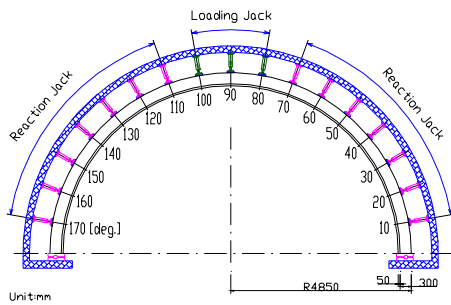


図4 ジャッキの配置

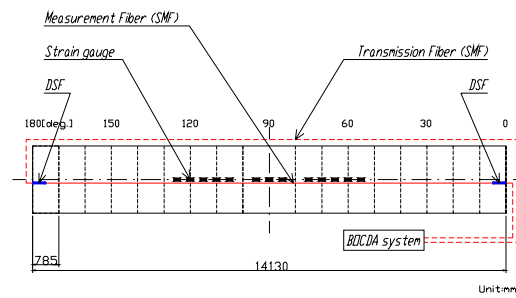


図5 光ファイバ設置位置

### 3.2 実験結果

実験前のひずみ分布計測結果を図6に示す。圧縮ひずみの計測感度向上を目的に、光ファイバ設置時に初期張力を導入した効果が確認できる。また、55mと70mで大圧縮ひずみの箇所があるが、これは計測位置同定用のDSF(分散シフトファイバ)に相当する。本結果を初期値として、主な载荷STEPにおけるひずみ分布計測結果(50~130度の範囲)を、近傍のひずみゲージ計測結果とともに図7~8に示す。

いくつかの点でひずみゲージと差があるものの、連続して変化するひずみの分布を良好に計測することができた。両者の差の原因のひとつとして、BOCDA方式(推定位置分解能10cm)とひずみゲージ(グリッド長3cm)の位置分解能の違いが挙げられる。

既往文献<sup>4)</sup>と比較して、計測精度がやや劣化している。この原因としては、長距離計測にあたっては光ファイバ全体の温度分布が均一とはみなせないこと、偏波状態が不安定になること、などが考えられる。

### 4. まとめ

BOCDA方式によって15m以上の範囲にわたって、10cm程度の高い位置分解能でひずみ分布が計測でき、本実験で適用した計測可能範囲の長距離化技術の実用性を確認することができた。また、初期ひずみを導入することにより、圧縮方向のひずみについても引張方向同様に計測することができた。

コンクリート構造物の健全性モニタリングのためには、ひび割れが入る前段階での応力状態を計測する必要があり、そのためにも僅かなひずみ量を検知する必要がある。今後は、さらなる長距離化とともに計測精度の向上を目指した研究が必要である。

### 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>.
- 2) 田中正人, 保立和夫: "光相関を用いたブリルアン方式光ファイバ歪分布センシングにおける空間分解能及び測定範囲の向上", 応用物理学会光波センシング技術研究会, pp.83-90, 2000年12月
- 3) 名児耶薫, 真下英人, 福田一郎ほか: "高靱性セメント複合材料を用いたトンネル補強工法の実大载荷試験", 第60回土木学会年次学術講演会, 2005年9月
- 4) 今井ほか: "BOCDA方式光ファイバセンサによる構造モニタリング実験", 第58回土木学会年次学術講演会, 2003年9月

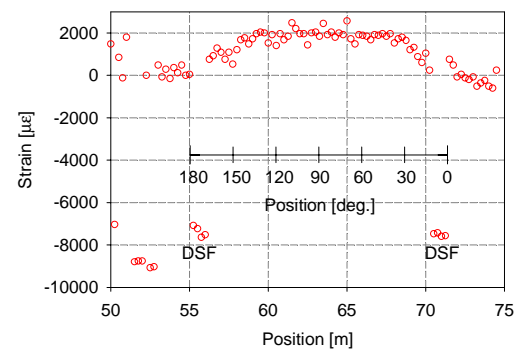


図6 ひずみ分布計測結果(初期値)

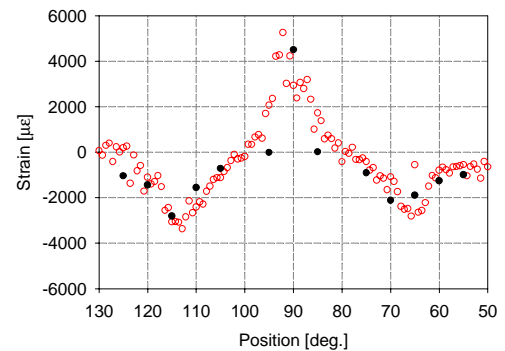


図7 ひずみ分布計測結果(STEP56)

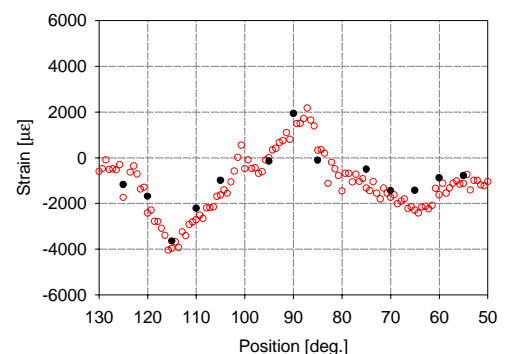


図8 ひずみ分布計測結果(STEP65)