

## FBG 光ファイバセンサを用いた PC 橋のひずみ計測

三井住友建設（株）技術本部技術研究所 正会員 篠崎裕生  
三井住友建設（株）技術本部リニューアル技術 G 玉置一清 湯浅香織

### 1. はじめに

コンクリート構造物のひずみ計測は、従来から電気抵抗の変化を利用したひずみゲージが用いられてきた。実構造物など、屋外でひずみを長期間計測したい場合には、このひずみゲージの防水性と耐久性を向上させた、いわゆる“埋め込み型ひずみ計（以下、ひずみ計）”と呼ばれる製品が用いられるが、このひずみ計でも寿命は数年と言われている。

ひずみゲージと同等の精度を有し、かつ、数十年にわたるひずみ計測を可能とするものとして、FBG 光ファイバセンサが期待されている。FBG 光ファイバセンサは、図-1 に示す通り、FBG(Fiber Bragg Grating)と呼ばれる回折格子をコアの 10mm 程度の区間に設けたものである。特定の波長の光のみを反射するこの FBG 部分が伸縮すると、そのひずみに応じて反射波長が変化する性質を利用している。

本稿では、PC 橋梁の長期ひずみ計測用に光ファイバセンサを導入するにあたり、対象の PC 橋梁において車両載荷試験を行い、そのひずみ計測値を埋め込み型ひずみ計や有効応力計と比較した結果を示すものである。

### 2. 橋梁の概要

計測対象とした橋梁は、橋長 12.7m、幅員 4m のプレテンション合成桁である。橋梁一般図を図-3 に示す。本橋梁は、緊張材およびせん断補強材に腐食しない AFRP ロッドを用いて高耐久化を図ったもので、約 30 年前に施工された。3 主桁のうち一つは、2 年前に撤去して耐力確認試験を実施している。昨年、当該位置に新たに桁を架設したため、コンクリート内にひずみ計や有効応力計を設置して挙動観測を実施してきた。今回、この桁に光ファイバを設置した。

### 3. 計測と載荷の概要

図-3 に、計測器の種類と位置を示す。ひずみ計と有効応力計は、それぞれ圧縮側と引張側補強筋の位置に橋軸方向に設置している。計測断面は、中実部を避けるため桁中央から 1700mm 離れた位置とした。光ファイバも同じ断面位置で、主桁上縁・下縁からそれぞれ約 150mm 離れた位置に 2 か所設置した。

載荷は、総重量 20 トンのダンプトラックを 1 台、幅員中

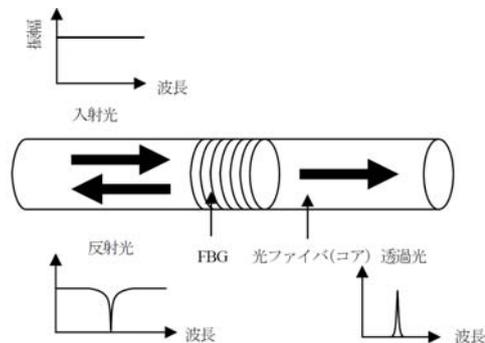


図-1 FBG(Fiber Bragg Grating)の概念<sup>1)</sup>

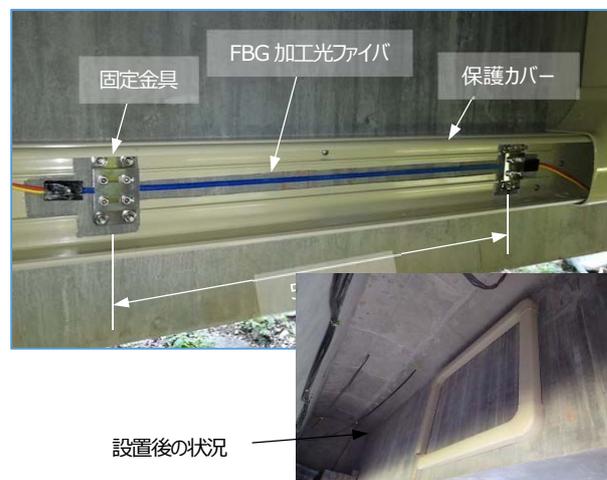


図-2 設置した光ファイバセンサ

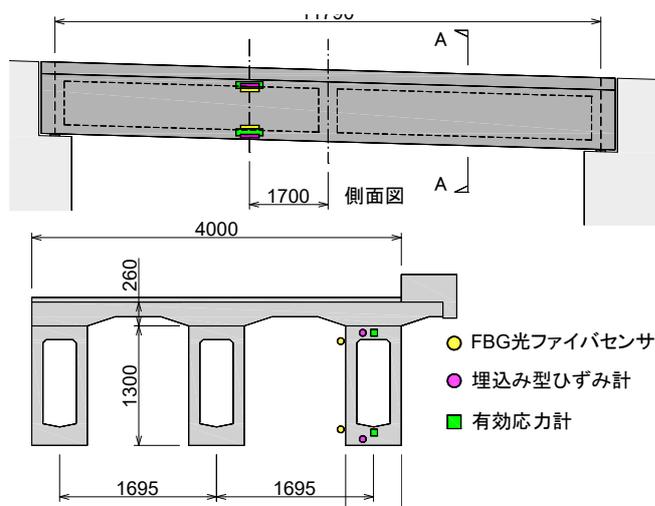


図-3 試験体強度特性値

キーワード：光ファイバ、ひずみ計測、FBG、PC 橋梁  
連絡先：〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 TEL04-7140-5201, FAX04-7140-5216

央を片側からゆっくり走行させて行った。光ファイバのデータは100Hzでサンプリングを行った。

#### 4. 計測結果

計測に先立ち、旧桁と新桁のコンクリート強度の違いなどを反映した3次元のFEM解析を実施した。解析モデルを図-4に示す。荷重は、各車輪の重量を考慮してモデル上の4か所に作用させた。荷重は1mピッチで車両走行方向に移動させて、それぞれ計測位置におけるひずみを出力した。

図-5 図-6に計測結果を示す。光ファイバによる計測値は、常時3~4 $\mu$ の値の変動が見られたため、20個(0.2s分)のデータの移動平均により平滑化した。有効応力計の値は、応力値が出力されるため、コンクリートの材料試験結果から得られた弾性係数で除してひずみに変換した。各計測器は、桁高方向の位置に若干の違いがあるが、図心位置からの距離に応じて、すべて光ファイバセンサ位置の値に補正を行った。また、各計測器は温度変化の影響を受けるが、本載荷試験は短時間に行っており、その間の温度変化は無視した。

図-5から、引張縁側の光ファイバ計測値は、車両の通過とともに引張ひずみが増減している。引張ひずみの最大値は約12 $\mu$ であり、車両通過後はほぼひずみゼロになっている。これに対してFEM解析値も概ね同様の傾向を示していた。一方、埋め込み型ひずみ計の値は光ファイバよりも若干大き目の値を、有効応力計は小さ目の値を示していたが、概ね3者は良好に一致していると考えられる。

図-6の圧縮縁側については、光ファイバ計測値は圧縮ひずみが4 $\mu$ 程度増加しており、車両通過後は概ねひずみがゼロに戻っていた。一方、埋め込み型ひずみ計と有効応力計の値は、圧縮ひずみの増加は2~3 $\mu$ で、光ファイバよりも小さ目となっていること。また、通過後は、圧縮から引張ひずみに移行する傾向が見られ、光ファイバとは若干違う挙動を示した。ただ、全体的な傾向は概ね一致している。圧縮側の計測器取付け位置は、桁の図心位置に近くひずみの変動がわずかであるためこのような差が出た可能性がある。

#### 5. まとめ

PC橋梁に取り付けた、一般的なひずみ計測器と光ファイバによるひずみ計測結果を比較した。車両載荷により生じるひずみの挙動は、概ね一致し、ひずみ計測器としての光ファイバの有効性を確認することができた。今後、長期的に両者の挙動を比較して、橋梁の維持管理に用いるための基礎データを収集する予定である。



写真-1 車両載荷試験状況

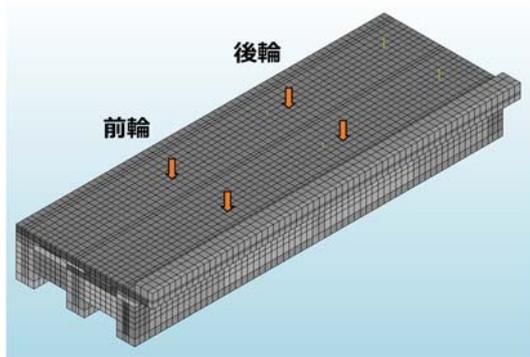


図-4 FEM解析モデル

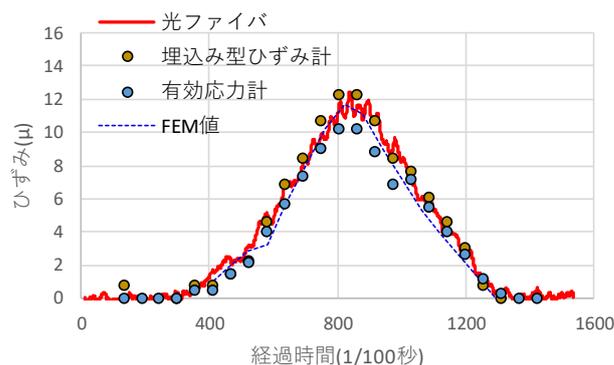


図-5 計測結果 (引張縁側)

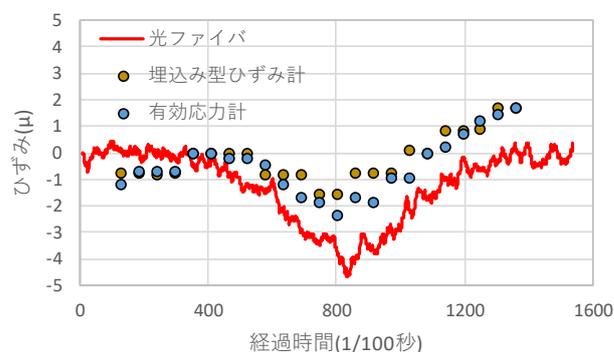


図-6 計測結果 (圧縮縁側)

#### 参考文献

- (1)早野, 三田: 温度補償機能を持つFBG歪センサの研究, 応用力学論文集, Vol.6, pp1-6, 2003.8