

# 分布型光ファイバセンサによる PC 部材のプレストレス導入時におけるひずみ計測

～光ファイバセンサの設置方法に関する検討～

鹿島建設(株) 正会員 ○平 陽兵 小嶋進太郎 玉野慶吾 十川貴行  
曾我部直樹 大窪一正 川端淳一 今井道男

## 1. はじめに

分布型光ファイバセンサは、光ファイバ全長のひずみを連続的に計測できる技術であるが、計測データとして使用する散乱光の種類によって精度が異なる。ブリルアン散乱光を用いたブリルアン方式では $\pm 50 \mu$ 程度であったが、レイリー散乱光を用いたレイリー方式<sup>1)</sup>では、ひずみゲージと同等の $\pm 1 \mu$ と高い精度でひずみの計測を行える。そのため、土木構造物へ光ファイバを実装して、レイリー方式で計測することにより、構造物のひずみを広範囲かつ高精度に把握することができる。コンクリート構造物において、コンクリートの応力がゼロの状態からひび割れ発生までの挙動を捉えるためには、ひび割れ発生ひずみが $100 \mu$ 程度と小さいため、レイリー方式による高精度なひずみ計測が有効となる。これに対して、筆者らはコンクリート構造物へのレイリー方式による光ファイバ計測の適用性を検討すべく、基礎的な実験を実施している<sup>2)</sup>。ここでは、PC梁試験体に光ファイバセンサを設置し、プレストレス導入時のひずみ計測を行った結果について述べる。

## 2. 実験概要と計測方法

図-1 に試験体の形状を示す。試験体は断面が $450 \times 360 \text{mm}$ 、長さが $4,600 \text{mm}$ のPC梁試験体である。PC鋼材はPC鋼より線(1S15.2)を3本とし、下縁から $120 \text{mm}$ の位置に呼び径 $35 \text{mm}$ のシースを用いて直線配置した。プレストレスは、圧縮縁コンクリートの応力度 $6.0 \text{N/mm}^2$ を目標に、ポストテンション方式で片側から $180 \text{kN/本}$ で導入し、PCグラウト(W/B=0.31)を充填した。なお、緊張時のコンクリートの圧縮強度は $43.0 \text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $28.3 \text{kN/mm}^2$ であった。また、PC鋼より線の降伏点強度は $1,766 \text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $196.8 \text{kN/mm}^2$ である。

光ファイバセンサは配置箇所や取り付け方法をパラメータとし、表-1 に示す仕様で設置した。写真-1 に設置状況を示す。光ファイバセンサによる計測は、レイリー散乱光を用いた分布型計測方法<sup>1)</sup>により、計測間隔 $5 \text{cm}$ 、空間分解能 $10 \text{cm}$ で実施した。なお、

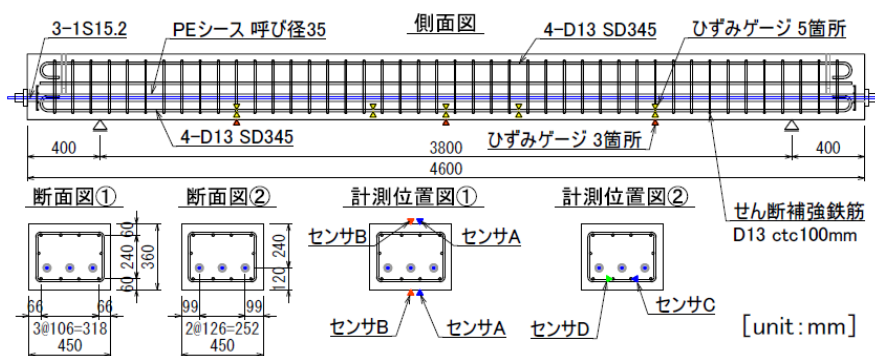


図-1 PC梁試験体の形状

表-1 光ファイバセンサの種類と設置の仕様

計測名称	使用した光ファイバの種類	設置箇所	設置方法
センサ A	光ファイバ芯線	コンクリート	接着剤で固定
センサ B	光ファイバ芯線	表面(上下面)	特殊テープで固定
センサ C	センサ A と同様	コンクリート	鉄筋表面に接着剤で固定
センサ D	光ファイバ素線+ゴム被覆(エンボス加工)	内部	結束バンドで鉄筋に間欠固定

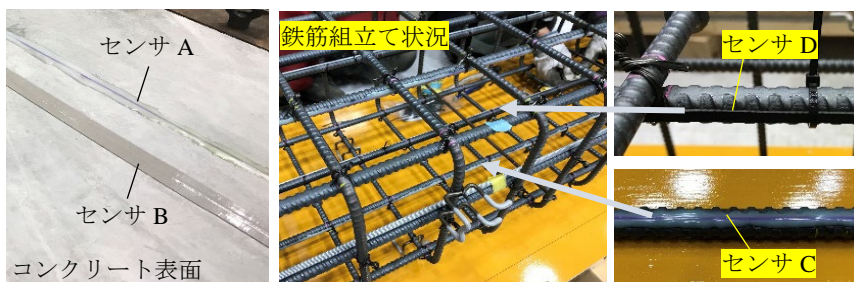


写真-1 光ファイバセンサの設置状況

キーワード 光ファイバセンサ, レイリー散乱光, PC 部材, ひずみ分布

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 TEL 042-485-1111

光ファイバセンサによる計測と比較するため、試験体表面には検長 60mm のひずみゲージを、軸方向鉄筋には検長 2mm のひずみゲージを貼付して計測した。また、試験体の変形を変位計によって計測した。

### 3. 計測結果

図-2 に光ファイバセンサとひずみゲージによって得られたひずみ分布、表-2 に光ファイバセンサによる計測のばらつきの評価結果を示す。なお、図中には、緊張時のコンクリートのヤング係数を用いて算出したプレストレス導入に伴う圧縮ひずみの計算値も併せて示す。分布図から、試験体軸方向に連続的に計測データが得られていることが分かる。光ファイバセンサによって計測された1測線あたり約 70~80 点のひずみは、設置箇所や設置方法によらず、いずれにおいても計算値とほぼ一致しており、その平均値は 1%以内の違いであった。また、標準偏差も表面では 8.0 $\mu$  以下、内部では 4.6 $\mu$  以下であり、いずれも小さかった。コンクリートは不均一性を有する複合材料であること、また、光ファイバセンサはひずみゲージとは異なる設置方法であることから、結果に違いが出ることも想定していたが、本試験体では、光ファイバセンサをコンクリートと適切に一体化させることで、ばらつきなく連続的に計測できることを確認した。

図-3 に緊張力導入後の変位分布を示す。変位は、上下縁に設置した光ファイバセンサにより 5cm 間隔で計測したコンクリート表面ひずみから曲率を算出し、これを支間方向に 2 階積分して求めた。なお、算出された緊張側の支点における変位が変位計による鉛直変位と一致する様に境界条件を設けている。光ファイバセンサで計測したひずみ分布に基づく変位分布は、試験体にプレストレスによる一定の曲げモーメントが作用した条件に基づく計算値とほぼ同様であった。また、変位計による計測値とも一致していることを確認した。

### 4. おわりに

光ファイバセンサの種類、設置の箇所と方法を変えて、PC 梁試験体のプレストレス導入時におけるひずみ計測を実施した。計測で得られたひずみは、今回実施した全ての設置方法においてばらつきが小さく、計算値と一致することを確認した。また、高精度かつ高密度に計測したひずみ分布を用いることで、変位分布も精度よく評価できることが示唆された。

### 参考文献

- 1) 今井道男ほか：高精度光ファイバセンサを用いたひずみ・変位計測の検証実験，土木学会第 75 回年次学術講演会，CS9-28，2020。
- 2) 泉宙希ほか：コンクリート内に埋め込んだ光ファイバセンサによるコンクリートひずみ計測，土木学会第 75 回年次学術講演会，CS9-52，2020。

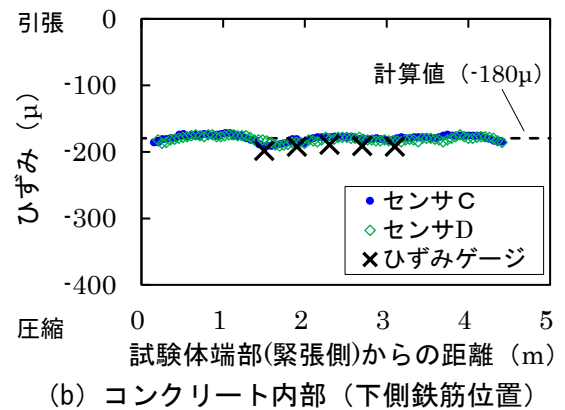
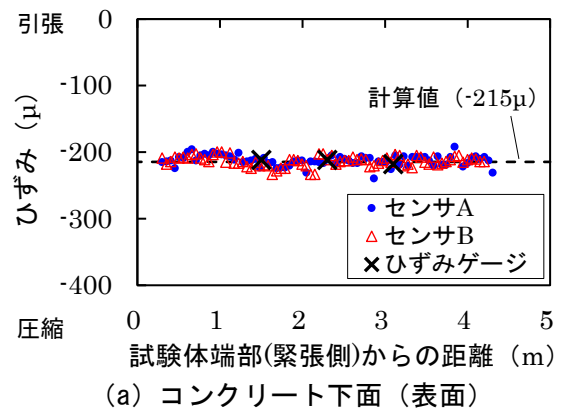


図-2 ひずみ分布

表-2 計測値の評価

計測名称	計算値 (A)	計測値			
		データ数	平均値 (B)	A/B	標準偏差
センサ A	-215 $\mu$	78	-213 $\mu$	1.01	8.0 $\mu$
センサ B		77	-214 $\mu$	1.00	7.5 $\mu$
センサ C	-180 $\mu$	73	-179 $\mu$	1.01	4.6 $\mu$
センサ D		69	-181 $\mu$	0.99	4.3 $\mu$

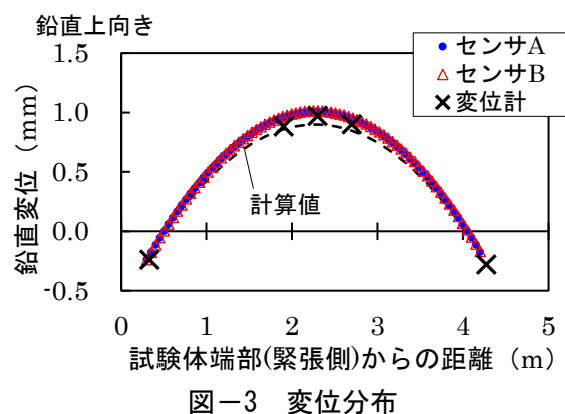


図-3 変位分布