

## 光ファイバによる橋梁維持管理手法に関する研究

三井住友建設(株) 正会員  
三井住友建設(株) 正会員

○古賀友一郎  
篠崎 裕生

### 1. はじめに

光ファイバセンシングは、土木分野も含め多くの分野に活用されている。当社では、橋梁の維持管理手法の1つとして、BOTDR方式によるひずみ計測に着目し、当社が得意とする張出し架設工法における橋梁にも容易にこの光ファイバを設置出来る手法について研究してきた。今回実橋に適用し、竣工前の短期間ではあるがひずみ計測を実施したため、これを報告するものである。

### 2. センシング方式と光ファイバの設置方法

センシング用光ファイバは、いくつかの種類があり、コンクリート構造物に対する設置方法もコンクリート外面に貼り付ける方法、コンクリート内に直埋設する方法等がある。数十年単位の長期間での適用を考えた場合、光ファイバ自体の維持管理性の観点から、コンクリート内に直埋設する方法が適切である。しかし、張出し架設工法などコンクリートを段階的に施工する構造物に直埋設するには、橋梁全長にわたって1本ないしは、少数本で光ファイバセンサを設置することで優位性が発揮されるBOTDR方式では、打設ごとの埋設作業と、残りの光ファイバの養生等いくつかの問題が考えられた。

そこで、我々は、橋梁架設時にはシース管等を連続して埋設して、光ファイバは構造物完成以後に後挿入し全長を1本ないしは2本程度として、グラウトを行うことで従来方法（コンクリート表面設置やコンクリート内直埋設方法）と同等の計測精度が得られるのではないかと考察し、供試体実験による検証を試みた。

### 3. 梁供試体による実証実験

#### 3.1 実験概要

光ファイバセンシング方式には、FBG方式やBOTDR方式などいくつかの方式があるが、計測精度が $\pm 30 \sim 100 \mu$ と高精度ではないものの、橋梁全長にわたりひずみ計測が可能なBOTDR方式(光ファイバ敷設範囲全長にわたり、1m区間の平均値ひずみを10cm間隔で出力)を採用した。

光ファイバは、コンクリート直埋設方法に使われる物のうち、シース管内に後挿入しやすいFRP被覆エンボスタイプの仕様とした。

供試体の下縁から120mmの位置に $\phi 26$ mmのPC鋼棒を1本設置して、240kNの緊張力を導入した。ひずみ計測は、240kNを100%として、導入緊張力の25%、50%、75%、100%時に行った。

#### 3.2 供試体概要

幅300mm×高さ400mm×長さ5000mmの早強コンクリートを使った供試体とし、光ファイバは、上縁下縁それぞれに、コンクリートに直に埋設したものおよびコルゲート管(シース等コンクリートとの付着が考慮できる材料)に後挿入しグラウトしたものを梁全長にわたって設置した。供試体概要を図-1に示す。

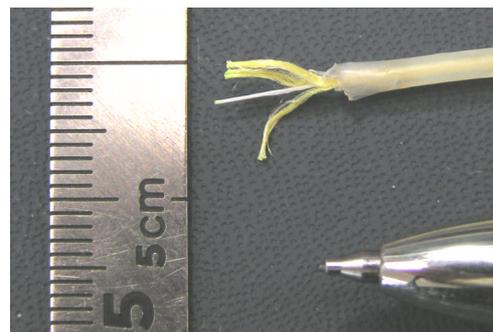


写真-1 FRP被覆エンボスタイプ  
光ファイバ

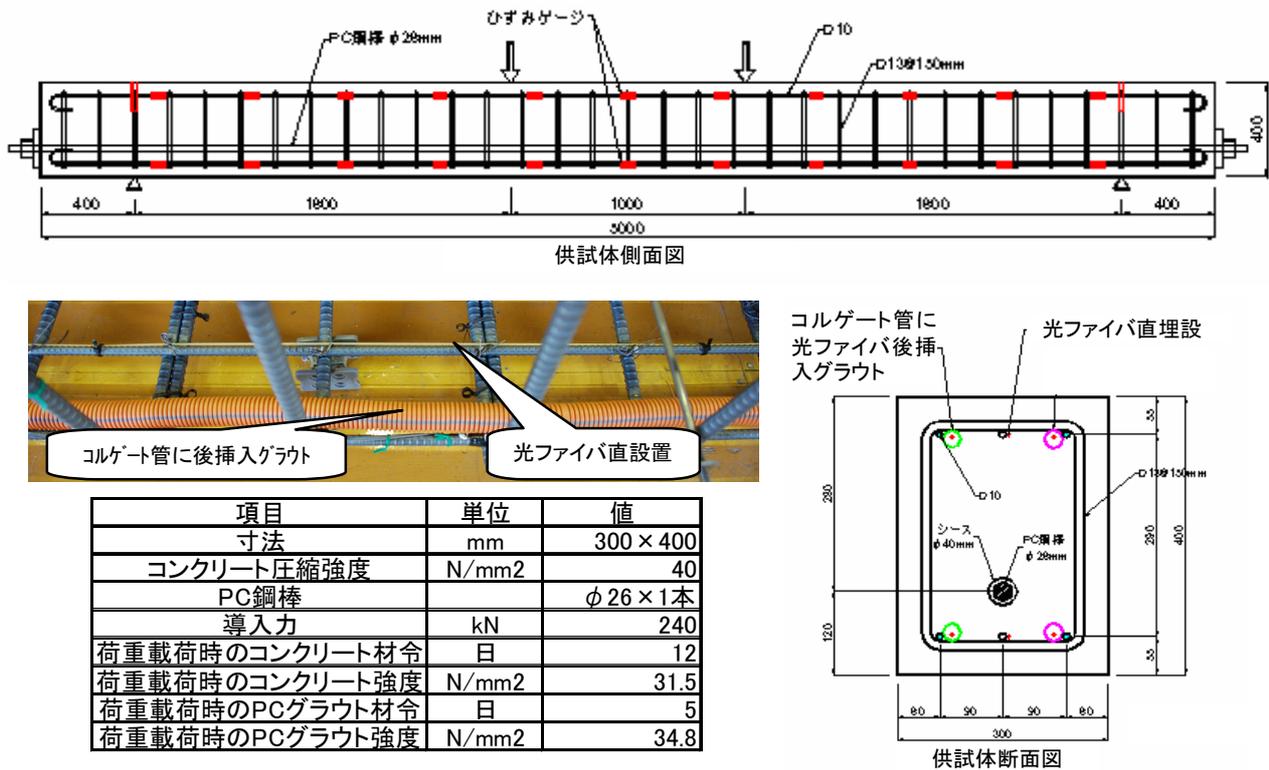


図-1 供試体概要と光ファイバの配置方法

### 3.3 実験結果

- 1) コンクリートに直埋設したものとコルゲート管に後挿入グラウトしたものが、ほぼ同様の値を示し、BOTDR方式の精度通りその計測値は平均値に対して±30μ程度のバラツキが生じている(図-2参照)。
- 2) 下縁後挿入グラウトの多点計測結果を平均すると、いずれの緊張時においても理論値との誤差は10%以内である(表-1参照)。

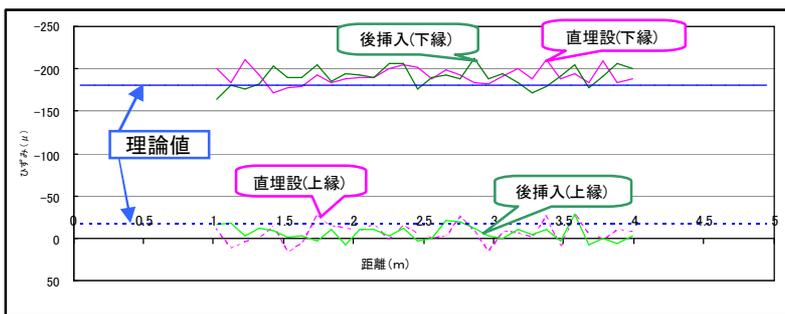


図-2 240 kN 緊張時ひずみ計測結果(圧縮：-)



写真-2 供試体緊張状況

### 3.4 考察

- 1) コルゲート管に光ファイバを後挿入しグラウトする手法でも、コンクリートに光ファイバを直埋設したものと同等精度の計測が行える。
- 2) BOTDR方式のもつバラツキは、数ある計測値を平均することである程度の精度が得られる。

表-1 計測値平均の理論値に対する誤差

導入緊張力	理論値μ	計測値平均μ	誤差%
Pre25%	-46.7	-45.6	2.4%
Pre50%	-93.1	-90.7	2.6%
Pre75%	-138.2	-144.4	4.5%
Pre100%	-179.6	-191.1	6.4%

#### 4. 実構造物への適用

##### 4.1 適用橋梁概要と光ファイバ配置位置

光ファイバの設置は、橋長140mで施工ブロック数が左右それぞれ16ブロックあるTラーメン橋において実施した。

その設置位置は、左右両ウェブとし、支点部付近は上縁部に、支間および端支点部は下縁部とした。施工中は、φ35mmのポリエチレン製シースを埋設し、上縁部では上床版ハンチ筋とスターラップとの交差部、下縁部では下床版上筋とスターラップ交差部とした。上縁部から下縁部への光ファイバの移動は、後の光ファイバ挿入性の観点から、コンクリート内から箱桁内へ一端出して、光ファイバ挿入後にシースにより接続し、コンクリート内と同様にグラウトの充填を行った(図-3参照)。

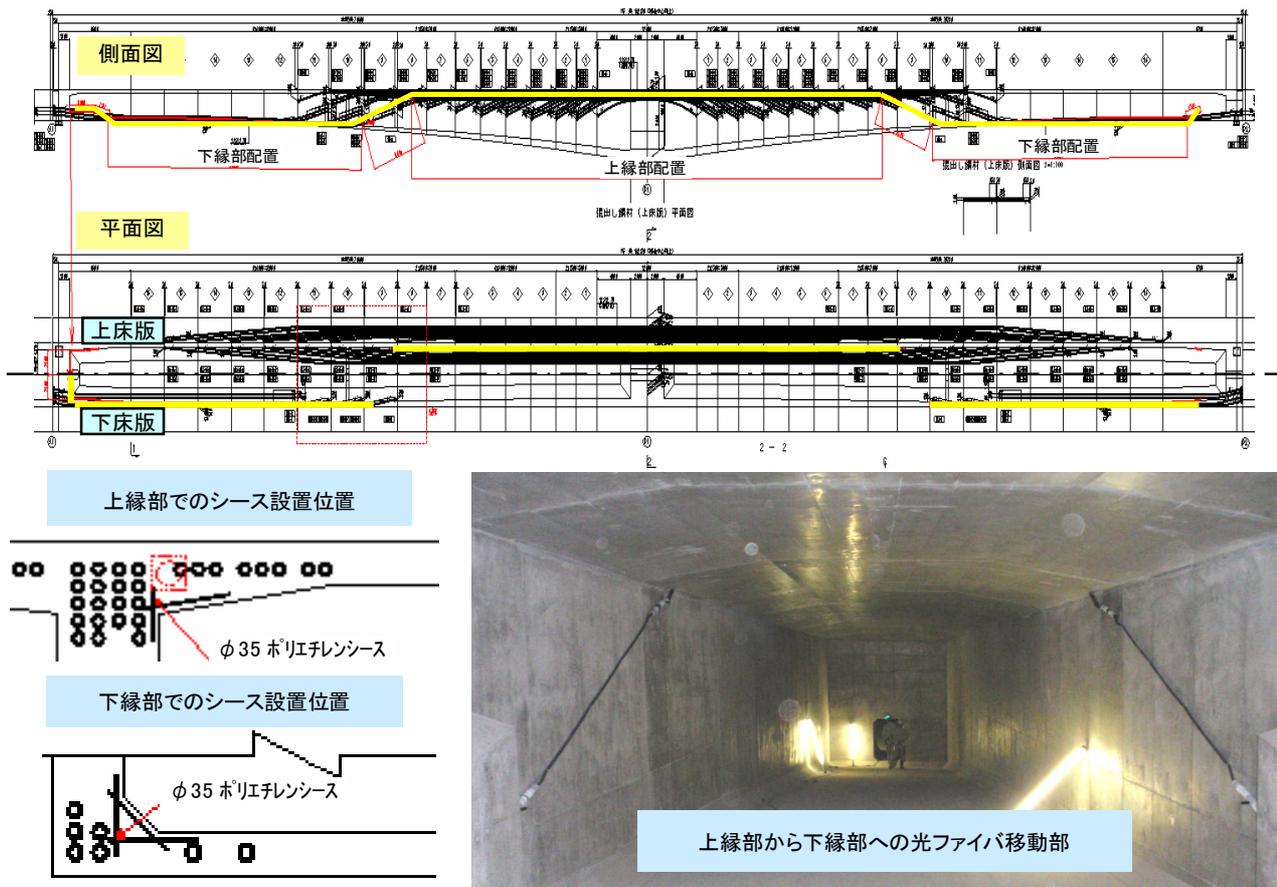


図-3 実橋における光ファイバ配置位置とその施工状況

## 4.2 計測結果

構造系完成間際のP2-P1連続鋼材緊張前・後(12S12.7B×10本)の歪み計測を実施し、設計計算値との比較を行った。結果を図-4に示す。

隣接点同士のバラツキは、供試体実験と同様に±30 $\mu$ 程度生じているが、計算値と比較すると最大で50 $\mu$ 程度の差が見られる箇所がある。P2-P1間は、一部を除き計算値に対して低い傾向を示している。これは、設計値の弾性係数の設定によるものと思われる。また、P2側径間支保工施工部は、計測時直前の施工であるため、コンクリート温度の影響と、コンクリート強度の影響を受けていると考えられる。

約4mの区間の平均値では、供試体と同様に比較的安定し設計値に近似した値が得られている。

光ファイバの設置を後挿入グラウト方式とした今回の実橋における計測においても、BOTDR方式のもつ精度範囲での計測が確認出来た。

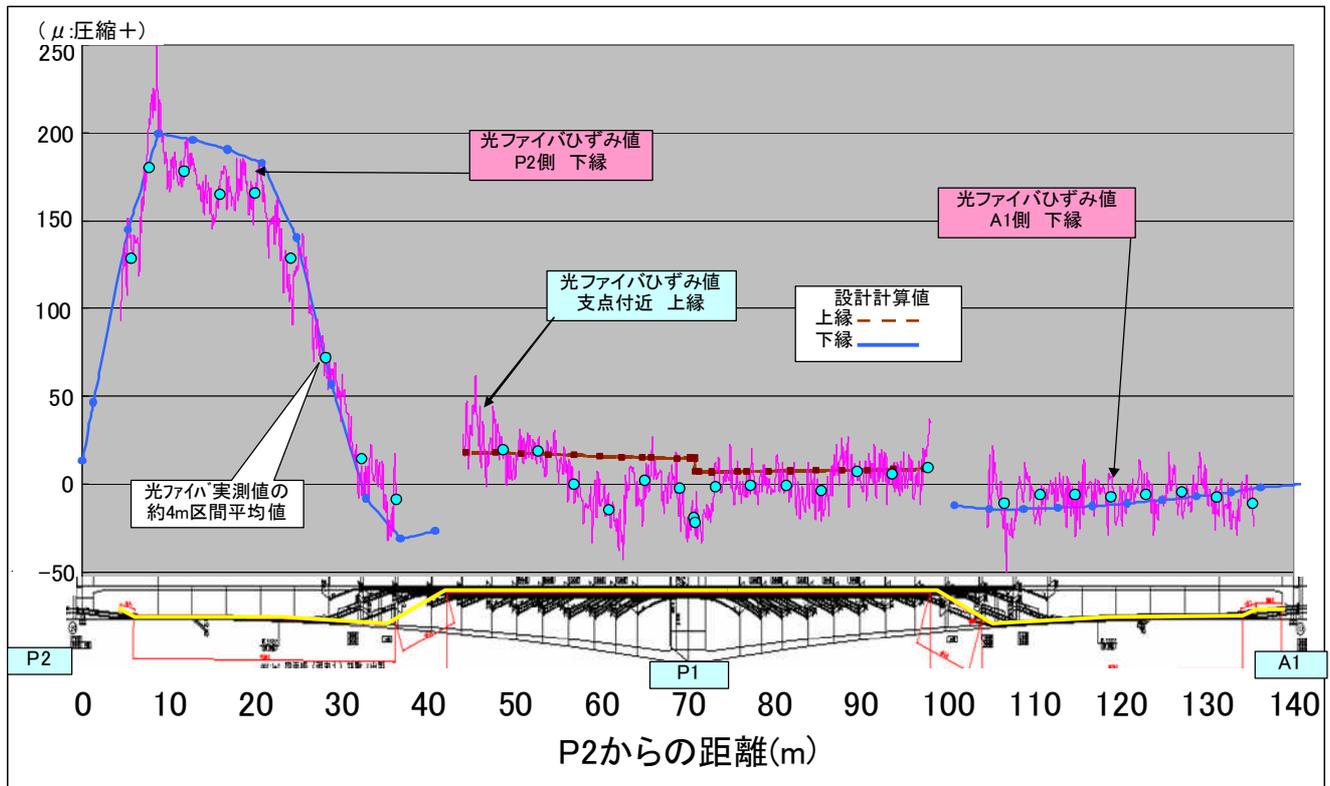


図-4 光ファイバひずみ測定結果(左右ウェブ平均値)と設計値との比較

## 5. まとめ

張出し架設工法や主版桁の段階施工など、複数回のコンクリート打設を繰り返して構造系を完成させる工法においても、コンクリート打設時には、シーすなどコンクリートと付着のある管材を連続的に埋設し、後から光ファイバを挿入してグラウトすることで、コンクリート内に直埋設して計測するBOTDR方式が持つ精度での計測が可能であることが、梁供試体と今回の実橋における計測結果で確認された。

一方で、十数年コンクリート中に直埋設された光ファイバの耐久性に関して実績はあるものの、それ以上の耐久性に関しては、今後の計測結果を待たなければならない。

段階的に構造物を架設していく橋梁もしくはそれ以外のコンクリート構造物における維持管理の一助になれば幸いである。

本研究にご協力いただいた多くの方々に、ここに感謝の意を表します。