

光ファイバ分布ひずみセンサ (B-OTDR) を用いた長大斜張橋施工時モニタリング

清水建設(株) 正会員 ○岩城 英朗 稲田 裕 若原 敏裕

1. はじめに

筆者らは、社会基盤構造物の施工時管理から完成供用後の維持管理まで一貫して担うことが可能な構造ヘルスマニタリングシステムの開発を進めている。一方で近年建設される橋梁の多くが長大、大規模であり、たとえば PC 斜張橋の主桁施工時に用いられている測量による線形管理は、大規模化に伴い計測の時間と手間の増大が避けられない事態となっている。そこで筆者らは、PC 斜張橋の施工時において、主桁全域の挙動を常時把握し、かつ完成供用後にも継続して使用が可能な光ファイバ分布ひずみセンサ(B-OTDR)の大規模適用を行うこととした。本報では、主桁コンクリート中に埋設したセンサから得られたひずみ値を用いてたわみ解析を行い、施工時管理手法としての適用可能性を検討した。

2. 適用対象およびモニタリングの概要

適用対象を図1に示す。本橋はベトナム国北部に位置し、PC 一面吊り斜張橋としては世界最長となる中央支間長 435m を有する橋梁(名称: バイチャイ橋)である。施工においては、同橋が跨ぐ国際航路のクリアランスを常時確保するため、陸上に建設した橋脚から移動型枠を用いて主桁を張り出す方式を用いた。

光ファイバセンサの敷設概要およびたわみ解析に用いる座標系を図2に示す。主塔 P3 から側径間および中央径間双方に逐次張り出し施工される主桁の四隅に光ファイバセンサを敷設した。使用した光ファイバセンサは、コンクリート中に埋設してひずみを光ファイバに直接伝達し、かつ敷設作業時およびコンクリート打設時の破断を防ぐためにポリエチレン樹脂およびアラミド繊維で被覆補強した光ファイバ分布ひずみセンサである。これら複数の光ファイバセンサは、主桁延伸開始当初から、センサ始端を光ファイバ分布ひずみ計測器(横河電機製 AQ8603)に光切り替えスイッチを介して接続した。一方、センサ終端はリールを使用し束ね、移動型枠上に仮設し、施工ブロックの進行に併せて光ファイバセンサも延伸敷設する施工とした。この方式を用いることで長期に亘る施工中を通じたモニタリングが可能となった。さらに自動で光ファイバセンサからの計測データ保存、インターネットを通じたデータ転送が可能な自動計測システムを併せて構築した。

3. 計測結果および検討

(1) 光ファイバセンサを用いたたわみ解析

主桁に設置した光ファイバセンサから得られた分布ひずみ値から主桁のたわみ量を求めるためには、主桁を一樣な梁モデルと考え、P2 閉合前を(1)式、P2 閉合後を(2)式とした。

$$y = - \int_0^x \int_0^x \frac{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)}{h} dx dx + \theta x \quad \cdots (1)$$

$$y = - \int_0^x \int_0^x \frac{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)}{h} dx dx + \frac{x}{L} \int_0^L \int_0^L \frac{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)}{h} dx dx \quad \cdots (2)$$

(ε_a ε_b : 主桁上面, 下面のひずみ値, h : 光ファイバセンサ間の距離,

L : P2-P3 間の距離, θ : P3 の傾斜角)

(2) 計測結果および検討

図3に主桁床板に敷設した光ファイバセンサから主桁のたわみ曲線を求めた結果を示す。図3a)は主桁がP2に閉合する直前の施工ブロック BL18 ($x=-117\text{m}$) におけるコンクリート打設直後の床板上面のひずみ値である。本図でみられる局所的に大きなひずみ変動は、



図1 適用対象 (バイチャイ橋)

キーワード モニタリング, 長大橋, 光ファイバセンサ, B-OTDR

連絡先 135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 Tel 03-3820-6512 Fax 03-3820-5959

打設ブロックへの光ファイバセンサの敷設作業時に発生した不均一な曲げおよび引っ張りによるもので、敷設作業における今後の課題である。同様に床板下面から得られたひずみ値を用い、上記(1)式により得られたたわみ曲線を図 3b)に示した。図中に示すようにコンクリート打設により予定線から最大約 0.6m の沈下が発生している。図 3c)は主桁が P2 に閉合した後の施工セグメント BL23 ($x=-149.5\text{m}$) におけるひずみ値である。本図においても図 3a)と同様にひずみ値の局所変動は認められるが、全体のひずみ値は減少(圧縮)傾向にある。これは主桁 PC 緊張による圧縮効果と考える。また、同様に図 3d)に上記(2)式より得られたたわみ曲線を示す。P2 閉合部 ($x=-130\text{m}$) を固定点とし、側径間側ではコンクリート打設によるたわみ変動が生じているが、主径間側においては、BL18 と比べて張り出し量が増大しているにもかかわらず沈下量は比較的小さい量に留まっている

つぎに、BL18, BL23 施工時におけるコンクリート打設前後のたわみの変化を、光ファイバ分布ひずみ値から求めた値と、測量による計測値とを比較し図 4 に示した。上記の光ファイバセンサによるたわみ値の差分(実線)と測量値(星印)とは、BL18, BL23 双方とも概ね良好な相関を示していることがわかる。

4. おわりに

長大斜張橋の施工管理手法として、光ファイバ分布ひずみセンサの適用を試みたところ、本報に示した結果のとおり、従来の測量による線形管理手法と比較し概ね良好な結果が得られた。光ファイバセンサによるモニタリングでは、センサ敷設全域のひずみ量が得られ、かつ長寿命なセンサを用いた長期計測が可能といった大きな利点がある。今後も本橋で継続して供用下でのモニタリングを行い、維持管理に活用する予定である。

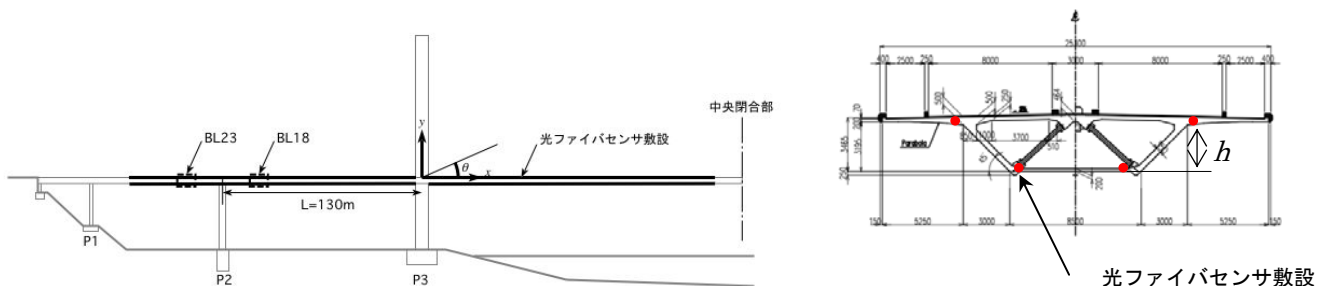


図 2 光ファイバセンサ敷設概要

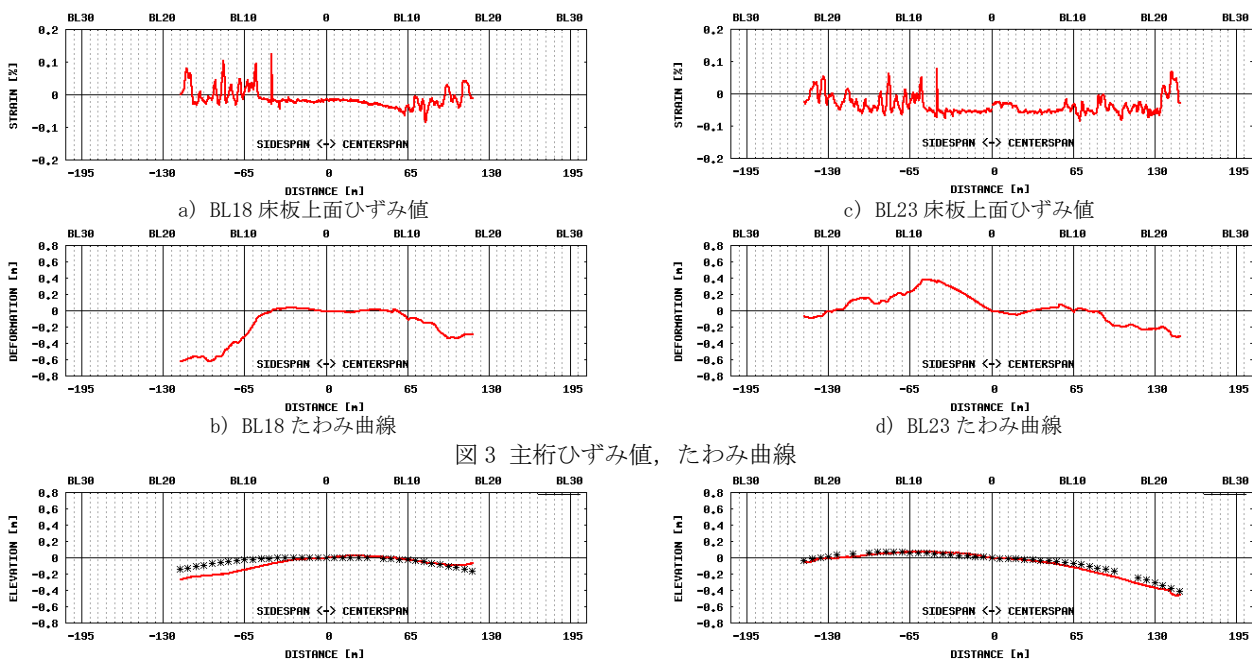


図 3 主桁ひずみ値、たわみ曲線

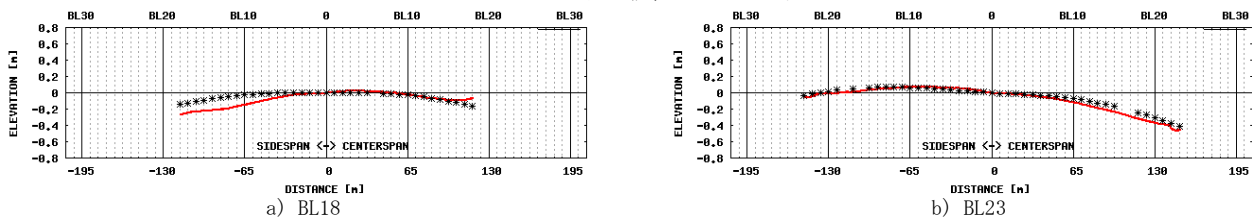


図 4 主桁コンクリート打設前後の沈下量(測量値との比較)