

分布型光ファイバひずみセンサによる長大橋のPC張力計測とヘルスマモニタリングへの適用

西日本高速道路(株) 正会員 ○山下恭敬 鈴木健太郎
鹿島建設(株) 正会員 山口統央 新井崇裕 曾我部直樹

1. はじめに

PC 橋梁の品質，耐久性を確保するためには，施工中に必要な PC 緊張力が確実に導入され供用中の変動が想定以内であることを確認することが重要である．四国横断自動車道吉野川大橋（仮称）（以下，本橋という）は，吉野川を跨ぐ橋長 1,696.5m，最大支間 130.0m の PC15 径間連続箱桁橋である（図-1）¹⁾．本橋では長スパンにわたるひずみ分布が計測可能である分布型光ファイバひずみセンサを PC ケーブルに組み込み，同ケーブルの緊張力を計測している．一方，本橋は橋長が長く，長スパンであり大規模な地震が発生した際には点検に時間を要する．さらに PC 橋の要である PC 鋼材の緊張力を即座に把握することは困難で緊急輸送路の早期確保に対し懸念がある．そこで光ファイバを全径間の外ケーブルに設置し，その張力の変動をモニタリングすることで，緊急時における橋梁の健全性を早急に把握できるシステムを構築予定であり，本報では緊張時の計測結果と併せて，その概要を説明する．

2. 計測概要

2.1 光ファイバによるひずみ計測方法

本計測では，光ファイバ内で対向する光の間で生じる誘導ブリルアン散乱を利用した BOTDR 方式によるひずみ計測方法を使用した．計測の仕様を表-1 に示す．

2.2 光ファイバの設置

表-2 に示すように，内ケーブル（12S15.7；張出し鋼材 4 本（L=12m, 44.6m, 65.6m, 126.6m），連結鋼材 2 本（L=56.9m）），外ケーブル（19S15.7；連結鋼材 29 本（L=136m））を計測対象とした．なお，最長となる内ケーブルと全ての外ケーブルを，供用後もモニタリング可能としている．本橋は，吉野川河口部に位置するため全てのケーブルで ECF ケーブルを使用しており，計測対象とした PC ケーブルについては，エポキシ被覆内に光ファイバを全長に組み込んだケーブルを使用している．

3. 計測結果

張出し内ケーブル（U1224，L=126.6m）における緊張力の計測結果と緊張管理で計測された角変化 1rad あたりの摩擦係数（ $\mu=0.18$ ）で再計算した分布理論値を図-2 に示す．理論値よりも実測値のケーブル中央付近の緊張力の低減は小さい．ケーブルの中央付近は直線配置で

表-1 BOTDR 方式によるひずみ計測の仕様

システム概要	
	計測精度
位置分解能	約1m
計測範囲	5km まで
配線	光ファイバ端部に計測器を接続

表-2 光ファイバ設置ケーブル

ケーブル	光ファイバ設置位置
内ケーブル 12S15.7	① 最短鋼材
	② 両引き開始鋼材
	③ 最長鋼材の 1/2 の鋼材
	④ 最長鋼材
	⑤ 下床版連結鋼材
外ケーブル 19S15.7	径間毎に左右 2 本



図-1 吉野川大橋 側面図

キーワード 光ファイバ，ヘルスマモニタリング，緊張管理

連絡先 〒770-0861 徳島県徳島市住吉 5-1-30 西日本高速道路(株)四国支社徳島工事事務所 TEL088-626-2021

あることから、摩擦による影響が計算で仮定した PC 鋼材の長さ 1m あたりの摩擦係数 $\lambda = 0.004$ に相当するものより小さい可能性がある。なお他のケーブルでも同様な傾向が見られた。緊張から 244 日経過した緊張力分布では、ケーブル全長の平均で 13% 緊張力が低減していた。設計では、弾性短縮、クリープ・乾燥収縮等で平均 13% 程度減少する結果を見込んでいるが、その結果と計測値の変動がほぼ一致していることが確認できた。

連結外ケーブル (E142, L=94.0m) の計測結果と端部導入緊張力から算出した理論値との比較を図-3 に示す。偏向部での緊張力のロスの理論値は 3% ほどであるが、実測では偏向部における緊張力のロスは明確に見られなかった。これは計算上で仮定した角変化による摩擦力 ($\mu = 0.3$) が小さい事を示している。緊張から 967 日経過した緊張力分布をみると、ケーブル全長で平均 14% 緊張力が低減していた。設計では、緊張後に平均 10% 程度、緊張力が減少することを想定していたが、それよりも減少量が大きい結果であった。ただし、緊張力の大きさは、全長にわたって計算値以上であり、十分な緊張力が保持されていることが確認できた。

4. 供用後のヘルスマonitoring

本光ファイバを組み込んだ PC ケーブルでは、全長にわたる緊張力の分布を計測できること、また光ファイバ自体が石英ガラスを主材料としているため劣化の心配がほとんどなく、長期耐久性に優れていることが特長である。そのため、河口域に位置する厳しい環境条件下の長大橋である本橋のモニタリングに適していると考えられる。本橋では、全径間の外ケーブルの左右 2 本に光ファイバを設置して、全長にわたる緊張力分布を把握できるようにしている。そのため、地震前後における左右ケーブルや隣接径間の緊張力の変化の違いを把握でき、その傾向から橋梁の変状を検知することができると考えられる。地震直後の一回の計測に基づき、橋梁全長の緊張力変動の有無や大きさを把握して上部工の健全性を評価することで、緊急車両の早期解放に資することができる。また、本橋で採用した計測法では最小約 1m 間隔で PC 鋼より線の応力を把握することができることから、点検箇所でのスクリーニングを行うことができるため点検の省力化を図ることができる。

モニタリングの計画イメージを図-4 に示す。計測器は A1 橋台そばに建設される料金所内に常設され、計測データは NEXCO 専用線を通じて徳島工事事務所等に伝送される。地震等の緊急時には、NEXCO 専用線を通じてデータが転送され、速やかに健全性の判断材料として利用する予定である。

5. おわりに

本工事は関係各位及び地域の方々の協力のもと施工中である。本橋のモニタリングデータは橋梁の健全性の把握に参考となる貴重なデータが得られると考えている。ここで得られたデータは今後も発表する予定であり、本稿と合わせ橋梁の健全性把握の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 山下他：吉野川大橋（仮称）プレキャストセグメント工法への設計変更，土木学会第 74 回年次学術講演会，V-234，2020.9

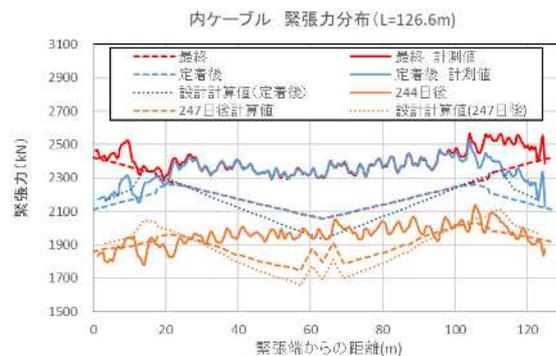


図-2 内ケーブル緊張力分布

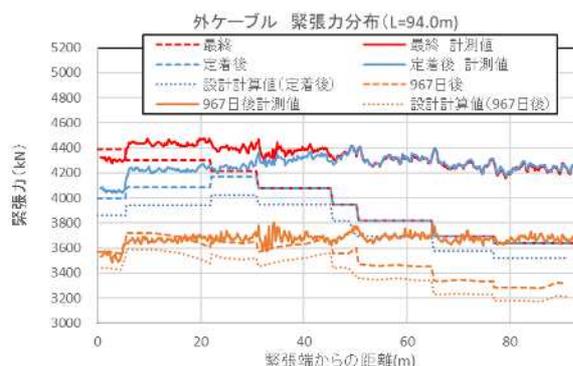


図-3 外ケーブル緊張力分布

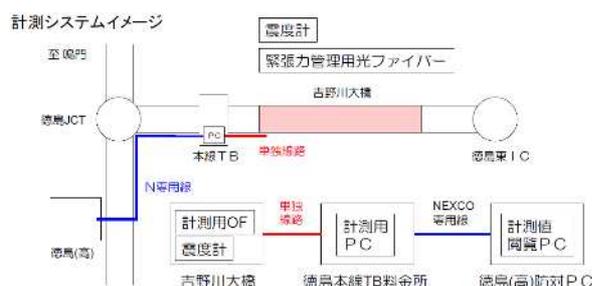


図-4 モニタリングの計画イメージ