

光ファイバを用いた PC 張力計測システムによる地震時における長大橋の健全性評価

西日本高速道路(株) 正会員 筒井将仁 守口良平

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 山下恭敬

鹿島建設(株) 正会員 ○山口統央 大窪一正 曾我部直樹 玉野慶吾

1. はじめに

徳島南部自動車道吉野川サンライズ大橋（以下、本橋と称する）は、吉野川河口部を跨ぐ橋長 1,696.5m、最大支間 130.0m の PC15 径間連続箱桁橋である¹⁾。本橋は橋長、支間長が長く、大規模な地震が発生した際には点検に時間を要することが想定される。特に、PC 橋梁で重要となる PC ケーブルの異常を地震発生後、即座に把握することは、従来技術では困難であった。そこで、筆者らは本橋の外ケーブルへ、長スパンにわたる張力分布を計測できる光ファイバを用いた PC 張力計測システム（以下、本システムと称する）を実装した²⁾。本システムで地震による外ケーブルの張力の変動を把握することで、上部工の損傷や外ケーブルの異常などを直接的に検知できる。一方、地震で橋脚が塑性化した場合、上部工にも残留変形が生じて外ケーブルの張力やひずみにも影響すると考えられる。逆に言えば、地震前後の外ケーブルのひずみ差から、橋脚の損傷についても評価できる可能性がある。本報では、本システムに基づいた橋脚の損傷評価に関する検討について報告する。

2. 光ファイバによる PC 張力計測システムの概要

本システムでは、光ファイバ内で発生する後方散乱光を利用した BOTDR 方式のひずみ計測器（表-1）を使用している。図-1 に示すように、複数本の光ファイバの接続を切り換えることが可能な光スイッチを介することにより、1 台の計測器で 32 本の PC ケーブルのひずみ分布を 10 分おきに計測する。制御用サーバーには、付近に設置された地震計からの信号が取り込まれ、所定の震度以上の地震が検知された際に、その前後での PC ケーブルのひずみの変化量を算定し、記録、表示することができる。

本橋では、全 15 径間の外ケーブルを計測対象とした。当該外ケーブルは、19S15.7 のマルチストランドケーブルで、エポキシ樹脂による防錆被覆が施された ECF ケーブルを使用している。計測対象とした外ケーブルには、エポキシ被覆内に光ファイバを埋設した PC ストランドを 1 本、組み込んでおり、光ファイバを本システムへ接続している。

計測精度	±50 μ
位置分解能	約 1m
計測範囲	5km まで
配線	光ファイバの片端に計測器を接続

表-1 BOTDR 方式によるひずみ計測の仕様

計測精度	$\pm 50 \mu$
位置分解能	約 1m
計測範囲	5km まで
配線	光ファイバの片端に計測器を接続

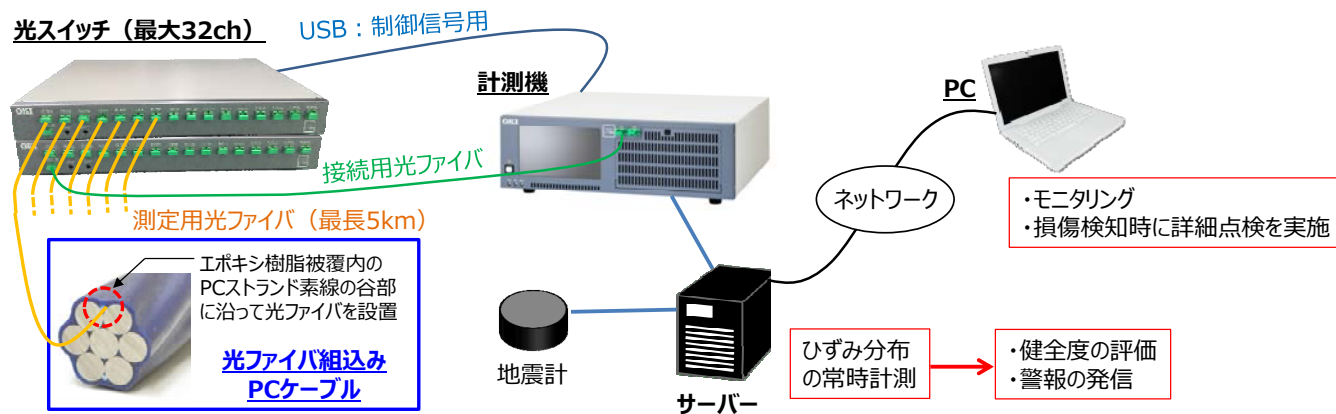


図-1 光ファイバによる PC 張力計測システムの概要

キーワード 光ファイバ、PC 張力、健全性評価、残留変位

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

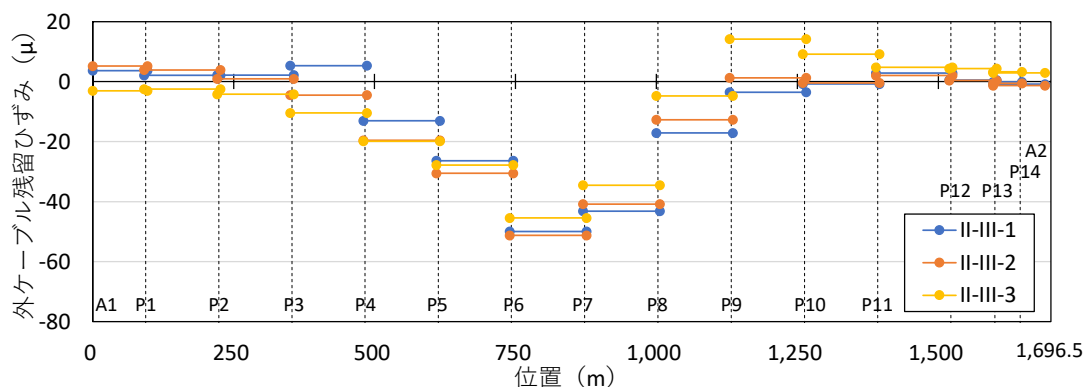


図-2 設計用地震動による外ケーブルの残留ひずみ

3. 健全性評価の考え方と検討結果

本橋は、中央5径間が連続ラーメン構造で構成されている。連続ラーメン構造部では、L2クラスの地震による大きな水平力が作用した際、橋脚基部や脚頭部付近が塑性化する。橋脚が地震により塑性化した際に上部工にも残留変形が生じることに着目し、地震前後での外ケーブルのひずみ差（残留ひずみ）に基づいて、橋脚の損傷を判定することとした。

本橋における外ケーブルの残留ひずみを、非線形地震応答解析によって評価した。

解析では、本橋の設計用地震動である道路橋示方書³⁾に規定されるタイプII, III種地盤の地震動(3波)を用い、外ケーブルの残留ひずみは各径間の上部工の残留変位から算出した。図-2に、橋軸方向の解析で得られた全径間の外ケーブルの残留ひずみを示す。同図から、地震動の種類によらずP6-P7径間の残留ひずみが最も大きくなる傾向が確認できる。また、別途実施した橋軸方向のプッシュオーバー解析では、連続ラーメン構造部の端部に位置するP4橋脚の損傷が先行する結果が得られている。そこで、入力地震動のスケールをパラメータとした解析を実施し、P6-P7径間の外ケーブルの残留ひずみとP4橋脚の最大応答回転角の関係を評価した(図-3)。図-3より地震動によって差異があるものの、外ケーブルの残留ひずみが 30μ 程度を超える場合、地震時にP4橋脚が降伏を超えて塑性化していること、 60μ 程度を超えている場合は耐震限界に達する損傷が生じていることが示唆される。今回の解析で検討した範囲ではあるが、本システムでP6-P7径間の外ケーブルの残留ひずみを計測することで、P4橋脚の損傷を推定できることが示唆された。ただし、本システムで橋脚の損傷を判定する場合には、計測値のばらつきなどを考慮して適切な閾値を設定することが望ましい。

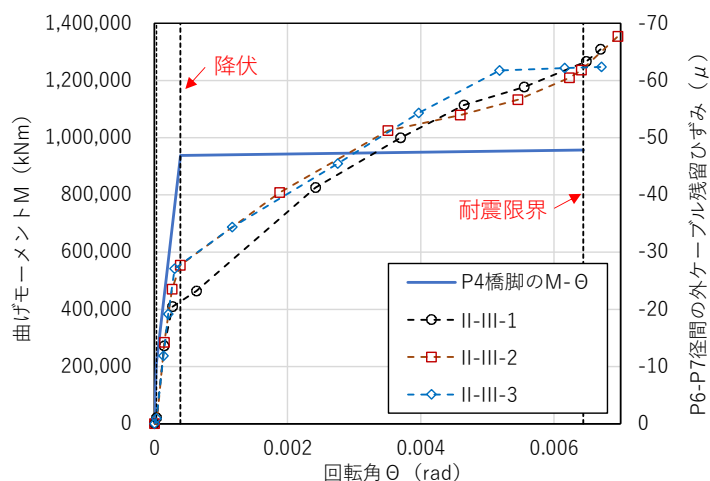


図-3 P4橋脚の応答とP6-P7径間外ケーブルの残留ひずみ

4. まとめ

吉野川サンライズ大橋に実装したPC張力計測システムによる橋梁全体の健全度評価に関する検討を行った。その結果、非線形地震動応答解析結果に基づき、地震後におけるP6-P7径間の外ケーブルの残留ひずみから、塑性化が先行するP4橋脚の損傷を推定できることが示唆された。今後、本システムで得られる計測データを分析し、本橋の健全性評価における有効性を検証していく予定である。

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.
- 2) 山口, 他: 光ファイバを用いた長大橋のPCケーブルのヘルスマニタリングシステム, 土木学会第77回年次学術講演会, VI-3, 2022.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2017.