

PC 箱桁橋における分布型光ファイバセンサによるひび割れ評価

金沢工業大学 学生会員 ○寺尾 静夏
 鹿島建設(株) 正会員 新井 崇裕
 金沢工業大学 正会員 田中 泰司

1. はじめに

塩害による劣化が進行した PC 橋梁では、PC 鋼材の破断によるプレストレスの消失が懸念される。橋梁の安全性を確認するためには、プレストレスの消失に伴って生じるコンクリートのひび割れを全長にわたって分布的にとらえることのできるモニタリング技術が有効である。そこで、本研究では塩害によって劣化した橋梁の荷重試験を対象にして、光ファイバによるひずみの分布計測を用い、ひび割れ発生を評価する方法を検討した。

2. 計測概要

対象とした橋梁は 4 径間連続 PC 箱桁橋であり、橋長が 300m である。第 1 径間の図 1 に示す位置にて最大 1900kN の載荷試験を行い、光ファイバによるひずみ計測を行った。

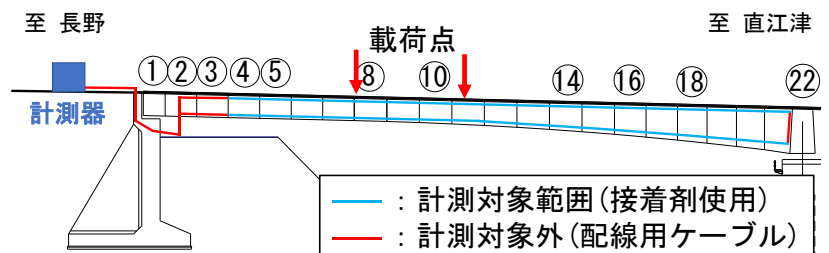


図1 光ファイバの敷設位置（側面図）

図 1,2 に光ファイバの計測箇所を示す。計測対象は、第一径間の第 4～21 ブロックとし、上床版下面と下床版上面にそれぞれ上流側と下流側の 2 箇所に光ファイバを敷設した。なお、光ファイバは外径 0.9mm の心線を用いた。

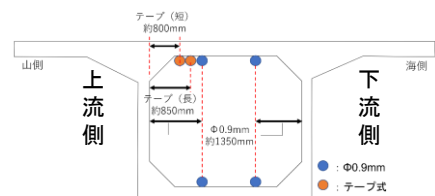


図2 光ファイバの敷設位置（断面図）

劣化が進行した橋梁では、荷重試験により生じるひずみの大きさを正確に予想できないため、高精度な計測が可能な TW-COTDR(以降、レイリーと呼ぶ)と大きなひずみ変化の計測に有効な PPP-BOTDA(以降、ブリルアンと呼ぶ)の 2 種類の計測方式を採用した¹⁾。いずれの計測も空間分解能 100mm、サンプリング間隔は 50mm で計測を行った。

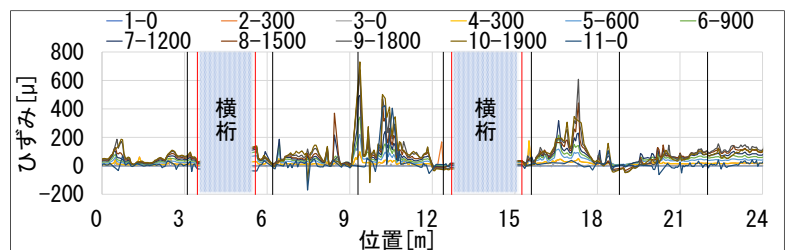


図3 レイリー計測によるひずみ分布

3. 計測結果

荷重荷重 0kN 時のデータを基準に 0～24m の範囲における 300kN ごとに行ったレイリー計測とブリルアン計測の結果を図 3,4 に示す。レイリー計測の特徴として、大きすぎるひずみ変化が生じたときなどに、データの確

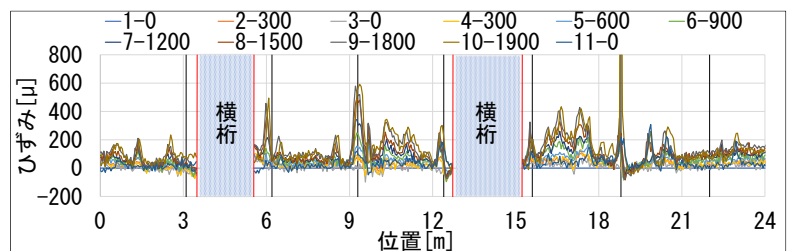


図4 ブリルアン計測によるひずみ分布

からしさが低下する場合がある²⁾。その指標は相関係数と呼ばれ、図 3 は相関係数が 0.15 を超える結果のみをプロットした。図 3 からひび割れ位置の特定としてレイリー計測が有効であることを確認した。一方、図 4 からひび割れの位置を特定することは困難であるため、ブリルアン計測のひび割れ位置の評価について、4,5 章で考察を試みた。

4. ひび割れ発生のしきい値設定

ひび割れ発生のしきい値は、今井ら³⁾の研究報告にあるコンクリート表面にひび割れが生じた際に得られるひずみ分布の解析結果を用いた。解析結果を計測結果に合わせるため、空間分解能である 100mm 区間で

平均し、50mm ごとに点をとった結果を図5に示す。図5より、ひび割れ発生位置では、ひび割れ幅(μm)の約10倍が光ファイバで得られるひずみ(μ)になることが確認できる。よって、幅50 μm のひび割れ発生箇所で見られる光ファイバの測定結果は、約500 μ になると考えた。しかし、図6に示すように同じ位置で計測されたレイリーと Brillouin の計測結果を比較した場合、レイリーでは500 μ のひずみが見られたのに対して、Brillouinでは約250~300 μ と小さかった。そこで、ひび割れ発生のしきい値をレイリーでは500 μ 、Brillouinでは250 μ とした。

5. ひび割れ発生箇所の推定と目視観察の結果

ひび割れ発生箇所の推定は、レイリーの結果を参考にしながら、主に Brillouin の結果をもとに行った。ひび割れ評価手順を表1に、ひび割れ評価で使用した得点表を表2に示す。上記によるひび割れ発生箇所の推定結果と除荷後に行ったひび割れの目視観察結果の一部を図7に示す。除荷後では目視でひび割れを確認することは困難であったため、顕微鏡を用いた。推定したひび割れ発生箇所において、ひび割れを確認することができた。

6. まとめ

塩害による劣化が進行した既設橋梁で載荷試験を行い、分布型光ファイバセンサによるひび割れ位置の評価について検討した。その結果、レイリー計測では明確にひび割れの位置が特定できることが分かった。

また、Brillouin計測では、ひび割れ発生のしきい値を設定し、考案した評価手順でひび割れの位置を推定することを試みたところ、ひび割れ発生箇所と目視観察の結果が一致する結果が得られた。

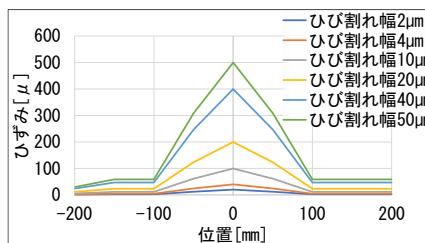


図5 解析によるひび割れ周囲のひずみ分布

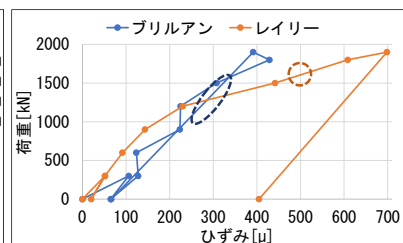


図6 同位置の Brillouin とレイリーの計測結果

表1 ひび割れ評価手順

手順	閲覧データ	データの精査項目
①	Brillouin	250 μ 以上のひずみがある点を探す
②	Brillouin	①で探した点について点数をつける
③	Rayleigh	①で探した点について点数をつける
④	Brillouin	②+③が同点の場合、ひずみ大きい順に目視確認の優先順位高いとする

表2 ひび割れ評価で使用した得点表

閲覧データ	項目	得点
Brillouin・レイリー	ひずみが局所的である	+3p
Brillouin	荷重を増加させたときにひずみが減少しない	+3p
	除荷時にひずみが大きくなる	-3p
	エラーの疑いあり	-2p
レイリー	荷重を増加させたときにひずみが減少しない	+1p
	除荷時にひずみが小さくなる	+1p

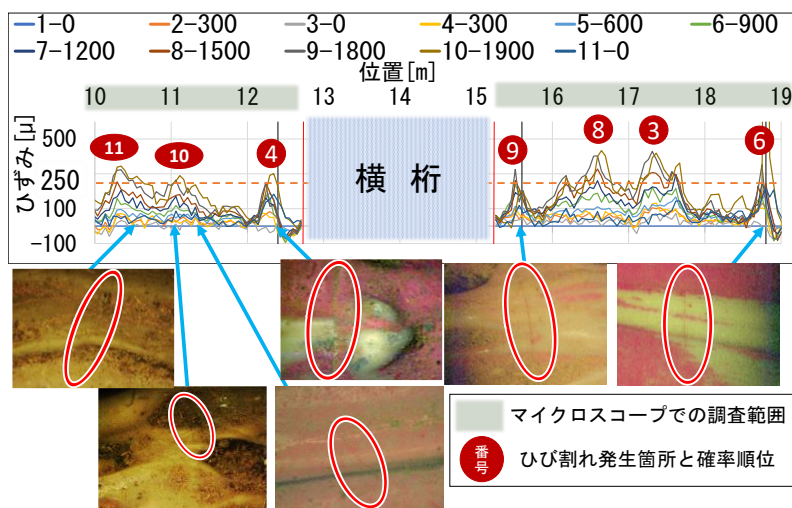


図7 ひび割れ評価結果と目視確認で発見したひび割れ写真

参考文献

- 1) Kishida, K., Li, C. H., Nishiguchi, K. I., Yamauchi, Y., Guzik, A., & Tsuda, T. (2012, October). Hybrid Brillouin-Rayleigh distributed sensing system. In OFS2012 22nd International Conference on Optical Fiber Sensors (Vol. 8421, pp. 452-455). SPIE.
- 2) 小田山弥平：レイリー散乱を利用した光ファイバの高感度歪分布測定法の提案，信学技報，OFT9-23，pp.21-25，1998
- 3) 今井道男，一宮利通，河野哲也，三浦悟：光ファイバセンサーを用いたPC構造物のひび割れ検知技術，2009，p79