

近接目視点検を補助するモニタリング技術 — 光ファイバーによる床版接合部のモニタリング —

岩井 稔*1・今井 道男*2・早坂 洋太*3

隣り合うプレキャストPC床版を繋ぐ接合部は、床版架設後に場所打ちコンクリートによって施工されることが多い。このため、工場において十分な品質管理の下で製作されるプレキャストPC床版に比べると、相対的には接合部においてひび割れなどの変状が顕在化する懸念がある。現状では近接目視による点検で変状有無の確認を行うが、点検を補助する形でモニタリング技術を活用することにより、点検の高度化や効率化に寄与することが期待される。本報文では、床版取替えが完了した橋梁を対象として、接合部における変状を早期に把握することを目的に、空間分解能が高い分布型光ファイバー（BOCDA：Brillouin Optical Correlation Domain Analysis）による残留ひずみのモニタリングを行った事例を示す。事例では、近接目視では変状が確認されない段階において、接合部の乾燥収縮などの影響と考えられるひずみ分布の状況を詳細に把握できることが示された。

キーワード：モニタリング、光ファイバー、プレキャストPC床版、ひずみ分布

1. はじめに

劣化が著しいRC床版では、プレキャストPC床版（以下、「PC床版」）への床版取替えなどが行われている。PC床版への床版取替えでは、隣り合うPC床版を繋ぐ接合部（以下、「接合部」）を場所打ちコンクリートで施工するケースが多い。接合部を有するPC床版は、床版疲労に対して高い耐久性を有していることが確認されている。しかしながら、工場において十分な品質管理の下で製作されるPC床版に比べると、相対的には接合部においてひび割れなどの変状発生が懸念される。床版に発生する変状の有無は、近接目視による点検で確認・記録されるが、点検を補助する形でモニタリング技術を活用することでより迅速に構造物の変状と発生箇所をとらえることができ、点検の高度化や効率化に寄与することが期待される。

本報文では、床版取替えが完了した鋼桁橋を対象として、接合部における変状と発生箇所を早期に把握することを目的に、モニタリング技術を適用した事例を紹介する。接合部に生じる変状としてひび割れやPC床版との目開きを想定し、変状を評価する指標として時間経過にともなう残留ひずみの変化量を設定した。接合部付近の残留ひずみ

の変化量を把握するモニタリング技術として空間分解能の高い分布型光ファイバーを適用した。

2. 光ファイバーによるモニタリング技術

光ファイバーによるひずみの計測方式を簡単に整理した結果を図-1に示す。

縦軸は計測方法の相違を示している。計測方法は、光ファイバー上であらかじめ決められた任意の箇所のひずみを

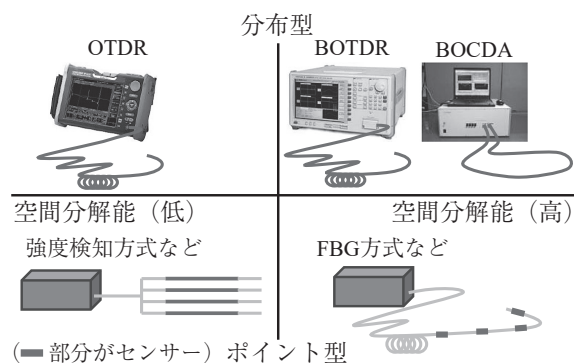


図-1 光ファイバーによるひずみの計測方式



*1 Minoru IWAI

モニタリングシステム
技術研究組合



*2 Michio IMAI

モニタリングシステム
技術研究組合



*3 Yota HAYASAKA

リテックエンジニア
リング(株)

計測する「ポイント型」と、光ファイバー全長にわたってひずみ分布の計測が可能な「分布型」に分けられる^{1,2)}。すでに発生している特定のひび割れに着目してモニタリングを行う場合には、ポイント型を適用することができる。一方、発生位置を特定できない新しいひび割れを検知する場合や計測対象となるひび割れが広範囲に多数ある場合には、分布型が適している。

横軸は空間分解能を示している。空間分解能は、ひずみゲージのゲージ長に相当する。空間分解能が低い方式は広い範囲の平均的な長さ変化をとらえることに適し、空間分解能が高い方式は狭い範囲の局所的な長さ変化を詳細にとらえることに適している。ポイント型では図-1に示したセンサ部分の長さによって空間分解能が決まる。また、光ファイバー全長がセンサとなる分布型では計測方式によって空間分解能が異なり、図-1に示したBOTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometry) で1 m程度、BOCDA (Brillouin Optical Correlation Domain Analysis) で数 cm程度である。

接合部の変状をモニタリングする場合、モニタリング対象となる接合部が広範囲に多数あることから、分布型計測を行うことが望ましい。また、ひび割れや目開きなどの局所的な長さ変化を検知するためには高い分解能が要求される。このため、図-1に示した計測方式の中から、分布型計測であり空間分解能が最も高いBOCDA³⁾を適用した。

BOCDAによるひび割れ検知のイメージを図-2に示す。今回適用したBOCDAの空間分解能は約50 mmであり、例えば0.1 mm程度のひび割れの開口変位に対して 2000×10^{-6} 程度のひずみ変化として検知することができる。

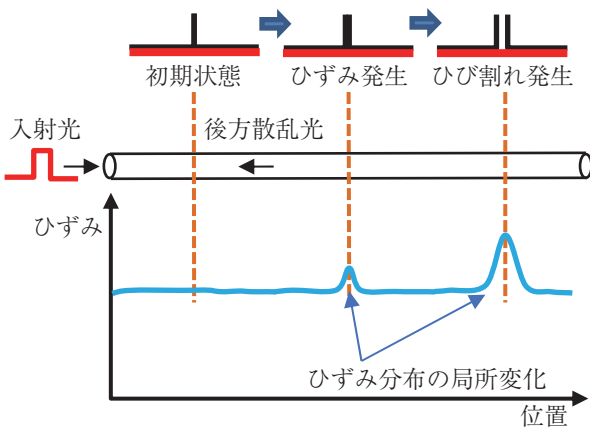


図-2 BOCDAによるひび割れ検知のイメージ

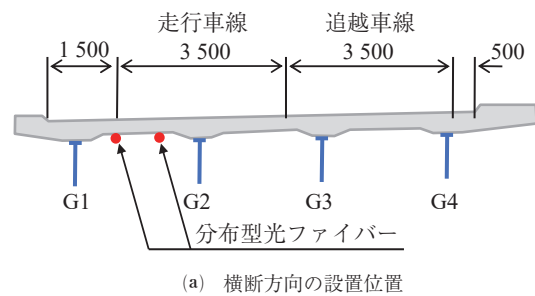
3. 床版接合部のモニタリング

3.1 モニタリングの概要

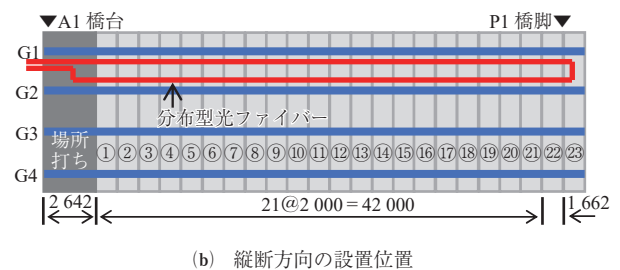
モニタリングは、床版取替えが完了した4径間連続非合成鋼鈹桁橋の1径間分(支間長45.9 m)の床版を対象とした。対象径間には22枚のPC床版が敷設されており、端部と接合部が場所打ちコンクリートで施工されている。PC床版の幅(橋軸方向)は1670 mm、接合部の幅(橋軸方向)は330 mmである。

光ファイバーの設置は、床版取替え後の交通開放される前に行った。床版下面への光ファイバーの設置状況を図-3および写真-1に示す。設置位置は、2車線のうち大型車の走行台数が多いと推定される走行車線側(G1-G2桁間)を選択した。BOCDAでは光ファイバーの両端を計測器に接続する必要があることから、光ファイバーは接合部22箇所を往復で縦断するように配置した。横断方向の配置位置は、輪荷重が作用するG2桁側と輪荷重が作用しないG1桁側の2箇所を選定した。床版への光ファイバーの設置にはエポキシ樹脂接着材を使用し、図-3に示す光ファイバーの全長を接着した。

接合部の残留ひずみの変化は緩やかに進行すると想定されることから、モニタリングは一定期間ごとに計測を行う定期計測とした。このため、床版下面に設置した光ファイバーの両端は、計測場所となる橋台の側面に設置した端子ボックスに収納しておき、計測ごとに計測器に接続した。また、計測器の消費電力が1kVA未満であることから、計測に要する電源にはポータブル発電機を利用した。



(a) 横断方向の設置位置



(b) 縦断方向の設置位置

図-3 光ファイバーの設置状況



写真-1 接合部における光ファイバーの設置状況

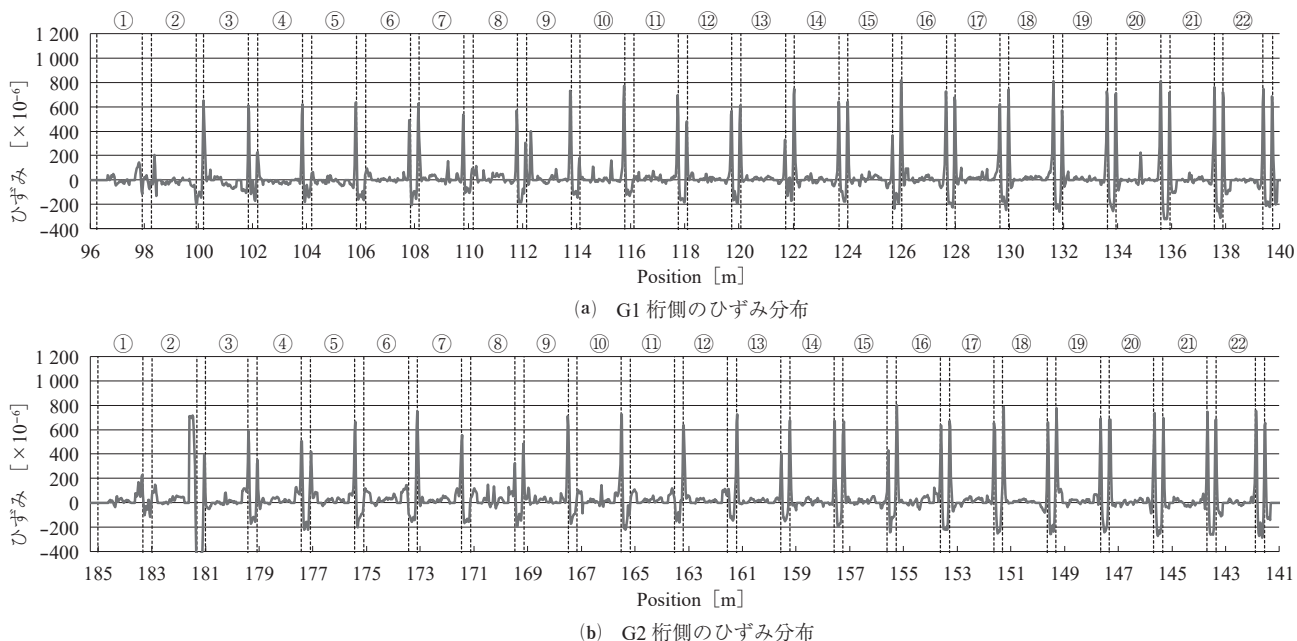


図 - 4 BOCDA によるひずみ分布の測定結果の一例

表 - 1 接合部付近のひずみ (× 10⁻⁶)

接合部	G1 桁側			G2 桁側		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
①-②	206	-132	19	227	-116	50
②-③	652	-201	8	715	-560	39
③-④	612	-173	16	591	-172	63
④-⑤	623	-183	15	507	-224	57
⑤-⑥	636	-165	13	666	-204	58
⑥-⑦	626	-208	57	750	-156	58
⑦-⑧	536	-108	41	553	-165	47
⑧-⑨	570	-188	49	486	-195	58
⑨-⑩	732	-146	50	710	-171	52
⑩-⑪	773	-131	47	725	-222	60
⑪-⑫	694	-187	61	633	-160	67
⑫-⑬	613	-196	60	723	-149	65
⑬-⑭	748	-170	57	674	-150	58
⑭-⑮	641	-178	64	668	-196	70
⑮-⑯	818	-235	43	800	-240	58
⑯-⑰	724	-225	61	672	-224	63
⑰-⑱	741	-249	71	758	-253	73
⑱-⑲	881	-264	66	774	-256	68
⑲-⑳	724	-256	58	688	-241	68
㉑-㉒	809	-322	32	736	-273	41
㉒-㉓	761	-313	31	748	-263	45
㉓-㉔	745	-223	35	757	-288	48

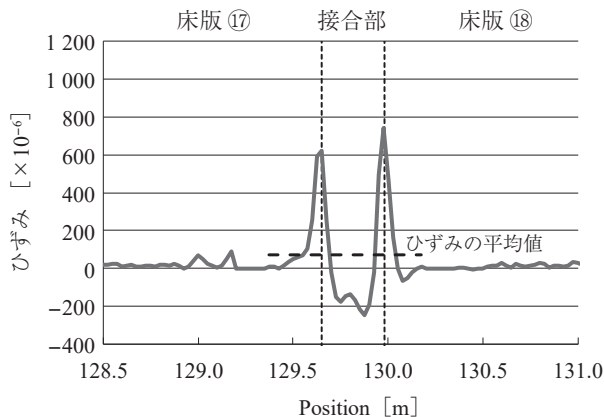


図 - 5 接合部のひずみ分布の詳細 (G1 桁側 ⑰ - ⑱)

3.2 モニタリング結果

交通開放から2年経過した時点における BOCDA による残留ひずみの計測結果を図 - 4 に、接合部の中心から ± 400 mm の範囲におけるひずみの最大値、最小値、平均値を表 - 1 に示す。図 - 4 および表 - 1 では、引張ひずみを正、圧縮ひずみを負として示している。図 - 4 の横軸は計測器からの距離を表しており、96 ~ 140 m が G1 桁側の計測範囲、141 ~ 185 m が G2 桁側の計測範囲となっている。図中には点線で PC 床版と接合部の境界位置を、図の上部には PC 床版の番号 (① ~ ⑳) を示した。なお、G1 桁側と G2 桁側で PC 床版の番号の並びを合わせるために、G2 桁側の横軸を反転させている。

残留ひずみの計測は、光ファイバーを設置した走行車線に活荷重が作用する条件で行った。BOCDA では、始点から終点までの各計測点における瞬間のひずみを連続計測す

るが、計測点ごとに時間差が生じるため活荷重の作用条件が異なることになる。ただし、複数回計測したひずみ分布がほぼ一致していることから、計測したひずみには活荷重の影響がほとんど現れていないと判断した。

図 - 4 より、PC 床版の中央付近ではひずみの残留がほとんど認められないのに対して、接合部付近では引張ひずみや圧縮ひずみが残留していることが分かる。このひずみ分布は G1 桁側と G2 桁側でほぼ同様に現れていることから、残留ひずみは輪荷重の作用条件とは関係なく生じていることになる。

接合部付近におけるひずみ分布の詳細を図 - 5 に示す。図の横軸は G1 桁側の床版 ⑰ 中心～床版 ⑱ 中心の範囲を表している。横軸の両端にあたる PC 床版中央付近ではひずみがほとんど生じていないが、接合部との境界に近い位置で引張ひずみが急激に増加している。引張ひずみは境界付近で極大となり、接合部中央付近では圧縮ひずみとなっている。接合部付近のひずみの平均値は引張側となるが、引張ひずみと圧縮ひずみを相殺する形で小さいレベルになっている。ほかの接合部においても、ひずみの最大値と最小値に差があるものの、ひずみ分布の形状はほぼ同様である。

PC 床版と接合部の境界付近に残留している引張ひずみ $600 \sim 800 \times 10^{-6}$ は、BOCDA の空間分解能 50 mm に対して 0.03 ～ 0.04 mm 程度の長さ変化であるが、これは接合部の乾燥収縮の影響により生じたものと考えられる。接合部中央付近の圧縮ひずみ $150 \sim 250 \times 10^{-6}$ 相当の乾燥収縮が生じると、接合部全体の長さ変化は 0.05 ～ 0.08 mm 程度となる。この長さ変化が拘束されることにより、接合部の両端付近に 0.03 ～ 0.04 mm に相当する引張ひずみが残留したものと推測される。なお、計測と同時にを行った近接目視点検では PC 床版と接合部の境界付近における変状は確認されていないことから、図 - 2 における「ひずみ発生」の段階と思われる。接合部のモニタリングにおける引張ひずみの管理基準値は、今後のひずみ増加傾向や接合部の外観上の変状有無を見ながら検討する必要があるが、残留している引張ひずみ $600 \sim 800 \times 10^{-6}$ は鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値 0.005c (c はかぶり)⁴⁾ である 0.15 mm (c = 30 mm) に相当する引張ひずみ 3000×10^{-6} に対して十分小さい値である。

交通開放から 1 年経過した時点までの計測に使用した旧

式 BOCDA 計測器では接合部付近の残留ひずみを検知していなかった⁵⁾ が、計測感度を高めた BOCDA 計測器を適用することで接合部付近の残留ひずみの詳細を把握することができた。

4. おわりに

床版取替え後の交通開放から 2 年経過した接合部を対象に、分布型光ファイバーによる残留ひずみのモニタリングを行った。近接目視ではひび割れや目開きなどの変状は確認されていないが、分布型光ファイバーを用いたモニタリングによって接合部の乾燥収縮などの影響と考えられるひずみ分布の状況を詳細に把握できることが示された。

分布型光ファイバーによって定期的にモニタリングを行うことで、① 近接目視では確認できないひずみ分布の経時変化を定量的に把握することができる、② 引張ひずみの増加傾向から重点的に目視点検すべき箇所を抽出することができるなど、点検の効率化・高度化に寄与することが期待される。

なお、本研究の一部はモニタリングシステム技術研究組合 (RAIMS) が実施した研究であり、内閣府の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果である。

参考文献

- 1) 保立和夫, 村山英晶: 光ファイバセンサ入門, 光防災センシング振興協会, 2012.
- 2) 独立行政法人土木研究所ほか: 光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリングに関する共同研究報告書「光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリングシステムの導入・運用マニュアル (案)」, 土木研究所共同研究報告書, 第 292 号, 2003
- 3) 今井道男, 一宮利通, 河野哲也, 三浦 悟: 光ファイバセンサを用いた PC 構造物のひび割れ検知技術, プレストレストコンクリート Vol.51, No.3, pp.78-83, 2009.5
- 4) 土木学会: 2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.149
- 5) 岩井 稔, 今井道男, 早坂洋太: 光ファイバを用いた RC 床版のひび割れモニタリング, 橋梁と基礎, 第 54 巻 第 10 号, pp.53-56, 2020.10

【2020 年 9 月 18 日受付】



刊行物案内

更新用プレキャスト PC 床版技術指針

平成 28 年 3 月

定 価 8,147 円 (税込) / 送料 300 円

会員特価 6,000 円 (税込) / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会