

分布型光ファイバひずみセンサを用いた橋梁支承部の健全性モニタリング

横浜国立大学 学生会員 ○水野 圭太
 横浜国立大学 正会員 西尾 真由子
 横浜国立大学 正会員 勝地 弘
 横浜国立大学 フェロー会員 山田 均

1. 研究背景と目的

近年、高度経済成長期に集中的に建設された橋梁の老朽化が進んでいるが、更新を積極的に行えないため、効率的かつ適切な維持管理が重要な課題になっている。したがって正確で効率の良い機能診断調査が必要である。しかし、橋梁の支承における機能診断評価は現在目視で行うため、主観的になってしまう問題点がある。そこで、客観的かつ効率的な検出手法の確立が必要とされている。

本研究では、支承部近傍での橋桁のひずみ分布に着目し、ピン・ローラー支承を対象としてブリルアン散乱式分布型光ファイバひずみセンサによる支承の健全性評価の有効性についての検討を行った。検証には、空間分解能が2cm、精度が $\pm 10\mu\epsilon$ で分布ひずみデータを取得できるPPP-BOTDA (Pulse pre-pump Brillouin optical time domain analysis) ¹⁾を用いて、支承の機能不全によるひずみ分布形状への影響を調べた。そして、計測により得られたひずみ分布形状から支承の健全度診断を評価する指標を提案し、その有効性を示した。

2. 研究方法

本研究では、ピン・ローラー支承を有するスパン長1500mmのアルミニウム製のI型断面梁供試体を対象とし、静的載荷実験と有限要素解析により検証を行った。

実験の梁供試体を写真-1に示す。支承部材はローラー・ヒンジの回転および並進機構を、ネジによって固定することができ、これによって支承機能不全を再現した。70kgの錘を梁中央部に載荷し、ひずみデータを光ファイバセンサとひずみゲージで取得した。計測を行った支承部の回転・水平の拘束条件を表-1に示す。

有限要素解析では、曲げ変形でのひずみや応力を精度よく求めるために6面体低減積分2次ソリッド要素で梁をモデル化し、実験と同様に梁中央へ荷重を与え

た際のひずみ分布を調べた。このとき、一方の支承部に橋軸方向の線形バネを導入し、そのバネ定数を大きくすることで、支承の並進機能不全を表した。



写真-1 供試体全景

表-1 検討する支承条件のパターン

	支承A		支承B	
	水平	回転	水平	回転
Case1 (健全)	Mov	Mov	Fix	Mov
Case2		Fix (ピンの損傷)		Fix
Case3				Mov
Case4				Fix
Case5	Fix (ローラーの損傷)	Mov		Mov
Case6		Fix (ピンの損傷)		Fix
Case7				Mov
Case8				Fix

3. 支承機能不全によるひずみ分布の変化

Case 1, 4, 6, 8で得られたひずみ分布データを図1に示す。並進のみ・完全機能不全時では、支承付近で圧縮のひずみ分布が生じ、指標化する上で健全時のひずみ分布形状に十分な差が生じることを確認できた。また図-2に、解析で得られた各バネ定数でのひずみ分布を示す。水平可動部が固着に近づくほど、支承部付近に圧縮ひずみが生じるという、実験と同様のひずみ分布形状変化を示すことがわかった。

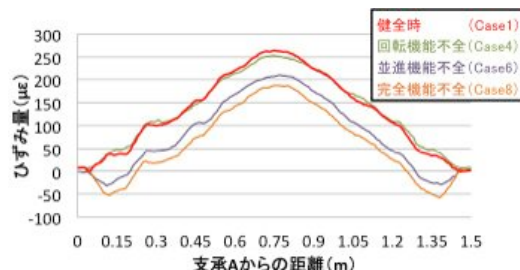


図-1 支承条件毎の光ファイバ分布ひずみ計測値

キーワード 光ファイバ 支承 モニタリング ひずみ分布

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

TEL 045-339-4243 FAX 045-348-

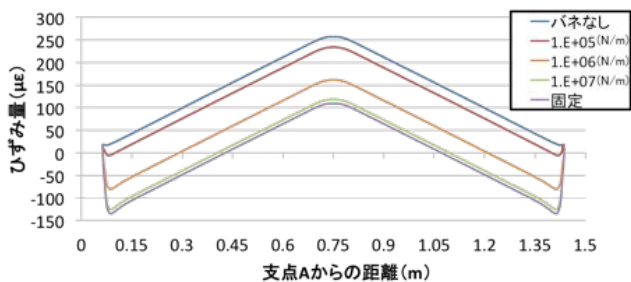


図-2 ばね定数毎の分布ひずみ解析値

4. 指標の提案と有効性検証

分布ひずみデータの分布形状を評価する指標として、本研究ではグラディエントフィルタ処理を用いた傾きに関する指標を提案する。まず計測点 i でのグラディエント値 G_i を次式より求める。

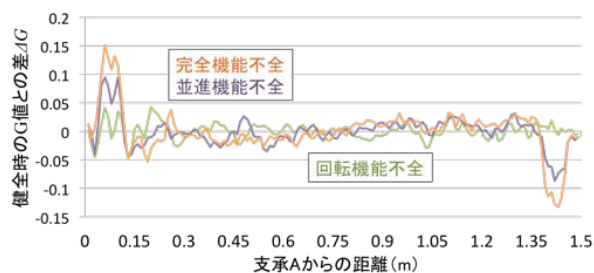
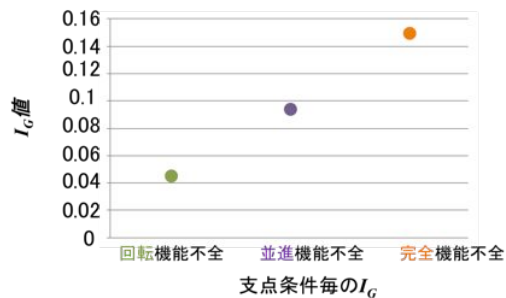
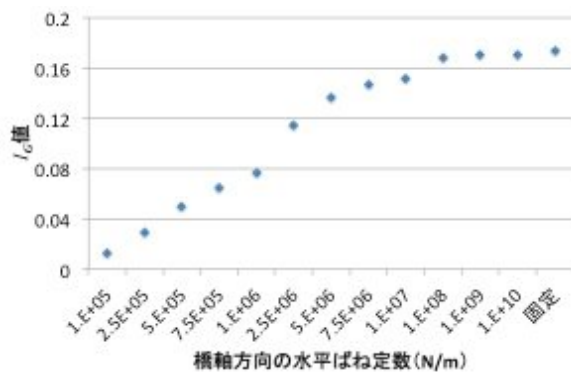
$$G_i = -S_{i-1} + S_{i+1} \quad (1)$$

ここで S_i は ε_i^D を最大ひずみ $\varepsilon_{\max}^D$ で除した相対ひずみ値であり、 ε_i^D は、サンプリング点 i で得られたひずみ値である。光ファイバセンサによる計測値全域にこの処理を行うことで支承部付近のグラディエント値 (G 値) に条件毎の大きな差が生じることを確認した。その上で Case2~8 での G 値と健全な状態 Case1 での G 値との差 ΔG を求めた。図-3 に分布ひずみデータ全体での ΔG を示す。支承機能が不全となるほど、支承部付近で ΔG 値が大きくなる。よってここから、供試体端部から 1/4 の区間 (37.5cm) 範囲内での ΔG の最大値を指標 I_G として次式のように提案する。

$$I_G = \max(|\Delta G_j|) = \max(|G_j^D - G_j^H|) \quad (2)$$

ここで、 j は支承部から梁の 4 分の 1 点までの区間にある計測点を表す。Case 4, 6, 8 のデータから得られた指標 I_G を図-4 に示す。損傷度が大きくなるにつれて提案した指標 I_G が大きくなることを確認した。

さらに、図-2 で示した有限要素解析で得られたひずみ分布に対して、バネ定数を大きくし水平並進挙動を徐々に固着に近づけた際の、指標 I_G の挙動を示したものが、図-5 である。すると、ばね定数が大きくなるにつれて、すなわち支承機能が不全となるほど、 I_G 値が大きくなるという結果が得られた。この実験・解析による検証から、本研究で提案したひずみ分布形状に関する指標によって、支承の健全度を段階的に評価できる可能性が示された。

図-3 各ケースと Case1 の G 値との差の分布図図-4 支点条件毎の I_G 図-5 ばね定数毎の I_G

5. 結論

本研究では、分布型光ファイバひずみセンサによる支承部健全性モニタリング手法を提案し、実験・解析によって、その有効性を示した。光ファイバセンサにより得られた分布ひずみデータの傾きが、支承の機能不全度の評価を用いることができることを明らかにし、その評価指標を提案した。実験で得られた分布ひずみデータに適用することによって機能不全時において支承部の損傷を把握できることを示した。また解析により、提案した指標による段階的な支承部の健全性評価の可能性を示した。一本の光ファイバによって、ひずみ分布形状を取得できる PPP-BOTDA の利点を生かしたモニタリング手法を提案することができた。

参考文献

- 1) 李哲賢・西口憲一・宮武美由紀・牧田篤・横山光徳・岸田欣増・水谷忠均・武田展雄, PPP-BOTDA 測定技術を用いた 2cm 分解能ブリルアン分布計測の実現/電子情報通信学会信学技報, 2008 年 5 月