

## 光ファイバ傾斜計を用いた衝撃振動の計測による橋梁ヘルスマニタリング

(株)NTTデータ 正会員      ○石川 裕治\*      横浜国立大学 正会員      佐々木 栄一\*\*  
 (株)NTTデータ 非会員      中村 能\*      (株)NTTデータ 正会員      宮崎 早苗\*  
                                                                                  横浜国立大学 正会員      山田 均\*\*

### 1. はじめに

地震等の広域災害発生時には多数の橋梁が被害を受けると予想され、交通の混乱防止や円滑な復旧のために迅速な被災状況の把握が重要課題となっている。また、平常時においても大型車両の通行により橋梁の損傷が日々進展するため、定常的な橋梁健全性の監視（橋梁ヘルスマニタリング）が必要とされている。これら二つの課題に対し、既存の光通信網を活用できる光ファイバセンサを利用した橋梁監視システムの実現が期待されている<sup>1)</sup>。

筆者らは橋梁監視システムの実現を目指し、これまで、高感度な光ファイバセンサである Fiber Bragg Grating 方式の傾斜計(FBG 傾斜計)を利用し、災害時の被害状況把握を目的とした桁の傾斜計測方式を開発してきた<sup>2)</sup>。一方、この FBG 傾斜計を平常時の橋梁ヘルスマニタリングに活用する研究は行われていない。しかし、橋梁監視システムの実現においては、平常時・異常時ともに活用可能なセンサシステムの構築がコスト面からも望まれている。

そこで本研究では、衝撃振動の増大によって路面や伸縮装置の異常検知が可能であることに着目し、FBG 傾斜計による車両通過時の衝撃振動検知の可能性について実橋での計測実験に基づき検討を行った。

### 2. 橋梁ヘルスマニタリングに用いる衝撃振動データの抽出

橋梁ヘルスマニタリングに用いる衝撃振動データとして、本研究では衝撃振動における最大振幅を利用する。具体的には (1)計測データから車両通過時の波形を切り出し、(2)波形の最大値と最小値の差によって最大振幅を算出し、(3)一定期間に計測された最大振幅の平均値を算出し、(4)平均値の増加によって橋梁の異常を検知する方式を提案する。

最大振幅のデータを比較して異常を検知するためには、異なる機会に計測した複数のデータを比較する必要があるが、この場合、理想的には同一の車両を用いて他の車両が通行していない状態で計測することが望ましい。しかし、交通量の多い供用中の橋梁において他の車両が通行していない状態で計測実験を実施するのは困難である。そのため、本手法では通行車両の重量分布がほぼ一定となる橋梁を対象とし、最大振幅の1日分の平均値（以下、最大振幅平均）を用いる。

### 3. FBG 傾斜計による計測実験の概要

実験では制振装置(Tuned Mass Damper, TMD)が設置された橋梁で計測を行い、TMD 稼動時の振動が小さな状態を健全状態、TMD 停止時の振動が大きな状態を損傷状態と想定し、検討した。そして、TMD 停止による振動増加を最大振幅平均の増加として確認できるかどうかによって、FBG 傾斜計の橋梁ヘルスマニタリングへの適用可能性を検証した。計測時には3軸加速度計を FBG 傾斜計と同じ箇所に設置し、傾斜計データと同じ処理を行って検証用の正解データとした。これら二つのセンサのサンプリング周波数はデータ収集装置の最高性能で行い、FBG 傾斜計は 250Hz、3 軸加速度計は 180Hz とした。

実験を行った橋梁はスパン 34.5m の I-桁橋で、スパン中央の横桁に TMD が3台設置されている。実験ではたわみ振動が最大になると考えられるスパン中央で計測を行い、FBG 傾斜計と3軸加速度計を近接してスパン中央の横桁上に設置した。以下の説明で振動方向を示す場合には、橋軸方向を X 軸、橋軸直角方向を Y 軸、鉛直方向を Z 軸とする。

キーワード： 光ファイバセンサ、モニタリング、橋梁、傾斜計、振動、TMD

\* 〒135-6033 東京都江東区豊洲3-3-3 豊洲センタービル TEL 050-5546-2041 FAX 03-5546-8433

\*\* 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7 TEL 045-339-4041 FAX 045-339-4565

FBG 傾斜計の構造を図 1 に示す。FBG 傾斜計は振り子と板バネによって傾斜に比例したひずみが発生する機構を持ち、そのひずみを FBG ひずみ計で計測する構造となっている。この構造では、傾斜が生じていなくても FBG 傾斜計本体に振動が加わると板バネの動ひずみとして振動が計測される。本稿では加速度計データと区別するために FBG 傾斜計の計測データをすべて「傾斜」と呼ぶ。

実験では FBG 傾斜計の傾斜計測方向(X 軸方向/Y 軸方向)と TMD の動作状態(稼動時/停止時)を変えて計測し、全 4 パターンを別々の日に計測した。各計測日の交通量を同程度にするために、すべての計測は平日に実施した。車両通過時の波形を得るため、Z 軸方向の加速度が 0.04G 以上または -0.04G 以下になった時点から、前 12 秒間、後 28 秒間の合計 40 秒間について、加速度データ(X,Y,Z)および傾斜計データ(X,Y)を切り出した。切り出しデータ数は 1 パターンの平均で 6537.1 個であり、平日交通量の 10% 程度であった。

#### 4. FBG 傾斜計による最大振幅平均の計測結果

傾斜計の最大振幅のヒストグラムと平均値を図 3 に示す。X 軸方向と Y 軸方向のどちらの方向でも、TMD を停止することで最大振幅平均が減少した。次に、FBG 傾斜計の計測結果を 3 軸加速度計の計測結果と比較し表 1 にまとめた。加速度計の計測結果から、TMD を稼動させることにより X,Y,Z すべての振動方向で最大振幅平均が 11%前後増加していることが分かった。これと同様に傾斜計データも TMD の停止によって最大振幅平均が増加した。この結果から、橋梁の衝撃振動の増加を FBG 傾斜計によっても検知可能であることが分かった。ただし、傾斜計データでは X 軸方向と Y 軸方向で増加割合が異なっており、これは加速度計で計測不能な桁の傾斜振動が原因と考えられる。

#### 5. まとめ

本稿では FBG 傾斜計による橋梁のヘルスマニタリングを目的として、橋梁の損傷発生を最大振幅の増加として検知する方法を提案した。実験では FBG 傾斜計の 24 時間分の計測データから最大振幅の平均値を算出し、衝撃振動の変化を検知できることを示した。これにより FBG 傾斜計によって桁の傾斜と併せて衝撃振動を同時に監視可能となるため、1 種の光ファイバセンサで平常時にも災害時にも橋梁状態の情報収集が可能となり、システムの低コスト化が期待できる。

今後は FBG 傾斜計の傾斜振動に対する計測特性を解明することで振動計測の精度を向上し、損傷の検知だけでなく損傷度の把握および損傷進展の予測に取り組む予定である。

#### 参考文献

- 1) 三木他，光通信網を使用した鋼橋梁の健全度評価モニタリングシステムの開発，土木学会論文集，No.686-VI-52, pp. 31-40, 2001.
- 2) Sasaki et al., Development of Optical Fiber Inclinoimeters for Bridge Monitoring, Proc. of WCEAM, 2006. (to appear)
- 3) 古川他，道路高速診断システム（VIMS）の開発，土木学会第 60 回年次学術講演会，2005.9，pp. 243-244

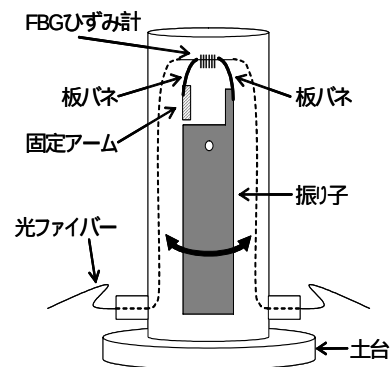


図 1. FBG 傾斜計の構造

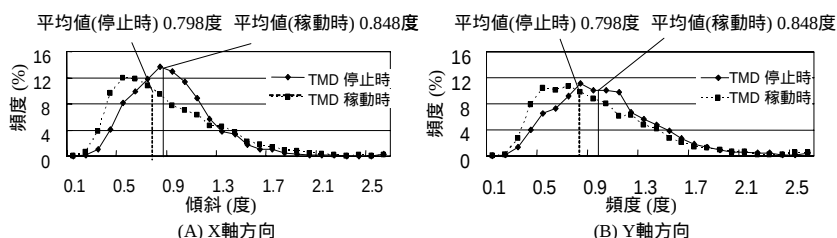


図 2. 傾斜データの最大振幅のヒストグラムと平均値

表 1. TMD 停止による最大振幅平均の増加量と増加割合

| OFF: TMD 停止時の最大振幅平均<br>ON: TMD 稼動時の最大振幅平均 | 加速度 (G) |         |        | 傾斜 (度) |        |
|-------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                                           | X       | Y       | Z      | X      | Y      |
| OFF - ON                                  | 0.00639 | 0.00262 | 0.0136 | 0.05   | 0.148  |
| (OFF - ON) / OFF × 100                    | 11.32%  | 10.83%  | 12.65% | 5.9%   | 14.58% |