

鉄道高架橋の柱の変形と継ぎ目変位に着目したモニタリング手法の研究

飛島建設

J R 東日本

東京大学

茨城大学

正会員 ○田村 琢之

正会員 鈴木 修

正会員 村山 英晶

フェロー 呉 智深

1. はじめに

大規模構造物の健全性に対する地震の影響を、長期間にわたって把握するためのモニタリング技術として、長期耐久性に優れ大規模なセンサネットワークの構築が可能な光ファイバセンサは、有効な計測技術の1つである。そこで、鉄道高架橋の健全性評価として、強震による列車の走行安全性への影響を把握するため、走行安全性に影響を与える現象のうち柱の曲げと不同沈下に着目し、Fiber Bragg Grating (FBG) 方式の光ファイバセンサによるモニタリング方法の研究と試験運用を行なっている。本稿では、FBG 光ファイバセンサを用いた計測器を実構造物に設置してモニタリングした結果を報告する。

2. 柱の曲げと高架橋の不同沈下を判断する指標とモニタリング方法

地震後、補修せずに機能を保持し、かつ過大な変位を生じない耐震性能は、部材の健全性の程度として軸方向の鉄筋が降伏するまでのレベル1に相当する¹⁾。部材変形時に生じる柱の角度について、最大変形角と残留変形角に一定の関係があることから²⁾、柱の残留変形角を常時モニタリングすることにより、図-1 のように、地震による健全性の影響の程度を把握することが可能であると考えられる。変形角は、FBG を用いた FBG 傾斜計を図-2 のように柱の上部に設置することでモニタリングが可能である。

また、鉄道高架橋の不同変位に関する要求性能では、常時の走行安全性の指標として変位があげられる³⁾。変位は、高架橋間に設置されている独立床版の継ぎ目の位置で、図-3 のように目違い、ずれおよび折れ込みとしてあらわれるため、これらのモニタリングを行うことにより、地震による不同沈下の発生を把握することができると考えられる。継ぎ目の変位は、微小変位の計測が可能な FBG π 型センサを図-4 のように継ぎ目をまたいで設置することでモニタリングが可能である。

3. 実構造物に設置したモニタリングシステムと計測結果

上記のモニタリング手法の有効性を確認するため、図-5 に示すモニタリングシステムを実際の鉄道高架橋に設置し、試験モニタリングを行った。柱の橋軸方向と軸直角方向の変形角計測のため、FBG 傾斜計を高架橋端の柱上部の側面に2台設置した。また独立床版との継ぎ目の水平方向のずれと目地の開きの計測として、両方を同時に計測する FBG π 型センサと、センサの温度補正のための FBG 温度センサを設置した。FSI ユニット（光計測器）と計測 PC は高架橋下の計測小屋内に常設設置し、地震発生時の計測値の変化をすぐに確認できるよう、専用通信回線で事務所内の PC と接続した。すべてのセンサは、2 分間隔で常時計測を行った。

キーワード 鉄道高架橋、モニタリング、光ファイバセンサ、FBG

連絡先 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP R&D 棟 2F 飛島建設(株) TEL 044-829-6717

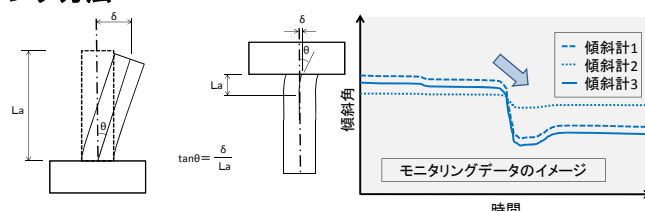


図-1 柱の曲げで生じる変形角の変化

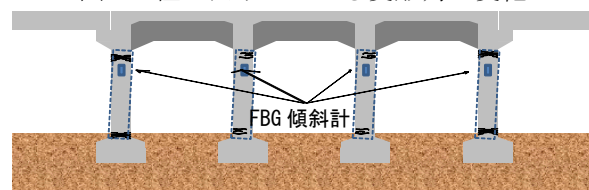


図-2 FBG 傾斜計の設置例

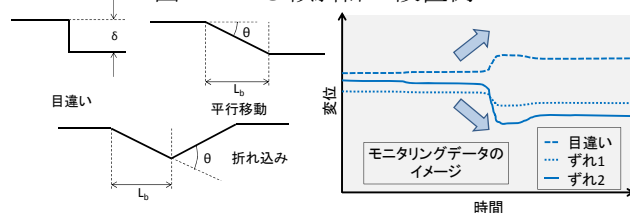


図-3 不同変位で生じる継ぎ目変位の変化

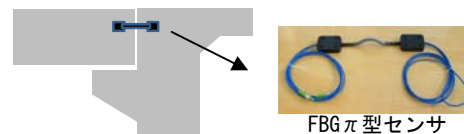


図-4 FBG π 型センサの設置例

計測を開始した平成24年8月9日から平成25年3月18日までの経時変化を図-6に示す。計測開始時を初期値 0° とした柱の変形角の変化は、高架橋の温度変化の影響と見られる日周期の変動を除き、大きな変化は観測されていない。また継ぎ目の変位も、高架橋の日周期と季節的な温度変化に対する影響が見られるほかは残留値は確認できない。一方、平成24年8月30日に発生したM5.6、震度5弱の宮城県沖地震では、図-7のように、地震発生直後に橋軸方向で0.3分、軸直角方向で0.5分の大きさの変形角が観測され、継ぎ目の変位では0.06mmの開きと0.01mmの水平ずれが観測されている。また、いずれもすぐに地震前の値に戻っている。これよりこの高架橋では、地震による一時的な変化が生じるものの、残留変形角や変位はなく、約7ヶ月間のモニタリングでは温度変化以外の変化は発生していないことがわかる。各センサの仕様は、表-1のとおりである。

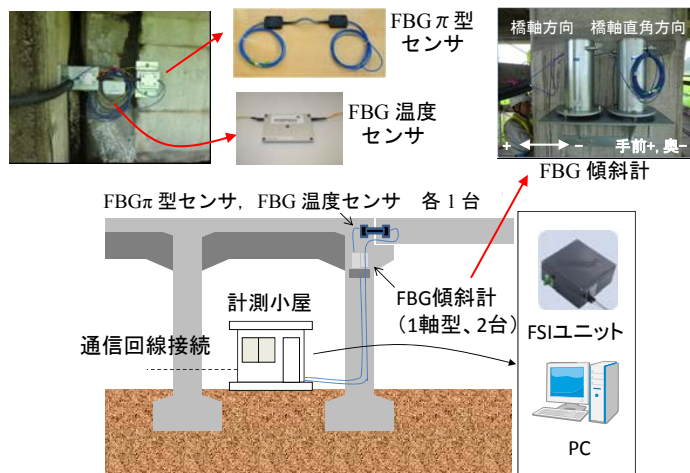
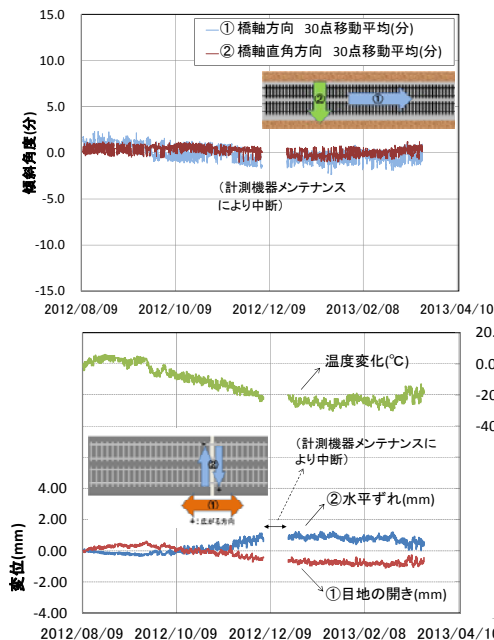
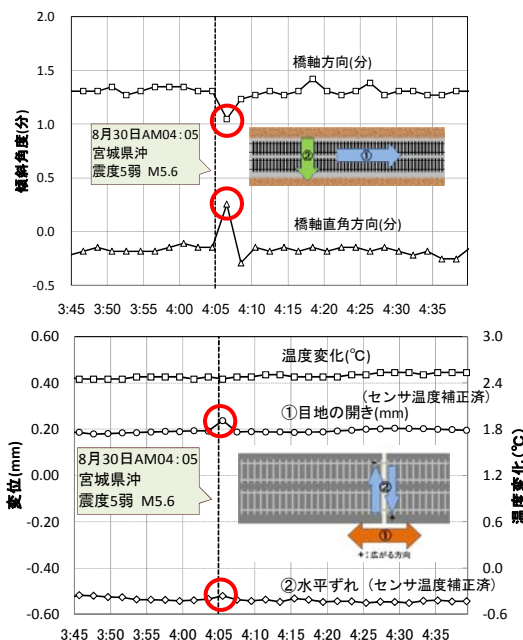


図-5 モニタリングシステムの概要

図-6 指標値の経時変化
(上段:変形角, 下段:継ぎ目変位)図-7 指標値の地震時の変化
(上段:変形角, 下段:継ぎ目変位)表-1 計測器の仕様
FBG 傾斜計

測定範囲	+/- 180 分
分解能	0.075 分
寸法	φ139
外径×高さ	× H310 mm
重量	9.7 kg

FBGπ 型センサ

測定範囲（開き）	+/- 30 mm
分解能（開き）	0.06 mm
測定範囲（ずれ）	+/- 5 mm
分解能（ずれ）	0.01 mm
寸法	325 × 50 mm

FBG 温度センサ

温度測定範囲	-10 ~ +50℃
分解能	0.1℃
寸法	100×65×10 mm

4. まとめ

FBG 光ファイバセンサの計測器で、鉄道高架橋の柱の変形角と継ぎ目変位のモニタリングを行った結果、地震による一時的な変化とその後の残留値の有無を把握することができた。このことは、本モニタリング手法が、列車の走行安全性への影響を判断する手法となる可能性を持つことを示している。今後、継続的な試験運用で得られる知見から、FBG 光ファイバセンサによるモニタリングの課題や有効性を明らかにしていきたい。

謝辞：本研究の実行計画を策定するに当たり、特定非営利活動法人光防災センシング振興協会の協力を頂きました。また仙建工業株式会社には現地施工において協力を得ました。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），鉄道総合技術研究所，2006
- 2) 城戸将江，江崎文也，小野正行，田中睦：R C柱曲げ降伏以後の経験部材角と残留変形角との関係，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.2，pp.187-192，2004
- 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説（変位制限），鉄道総合技術研究所，1999