

ひずみ計測への適用に向けた高精度光変位センサの評価試験

長岡技術科学大学 学生会員 ○松本 大樹
 長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛
 太陽誘電株式会社 藤井 徹, 萩原 康仁

1. はじめに

社会基盤構造物の多くは高度経済成長期に建設され、老朽化が進行し、適切な維持管理が求められる。維持管理を進める上での判断情報は点検結果であり、主として目視検査にもとづく。従来からその結果のばらつきや定性性が問題点として指摘されているが、熟練技術者のリタイア、少子高齢化の進行という社会状況をふまえると、効率的かつ効果的な維持管理がますます必要とされている。

一方、センサ技術の高性能化はスマートフォンをはじめとして著しい。ここでは、主に農場の環境モニタリングで使用されてきたワイヤレスセンシングデバイスを社会基盤構造モニタリングへ活用しようとする動きもみられる¹⁾。計測結果と構造性能評価の関連については、まだ研究すべき点が残されているものの、モニタリングによって実構造物の定量的な情報が得られる利点は大きい。特に、土木分野以外で使用されているセンサ技術の活用が期待される。

以上をふまえ、本研究では、光ディスク基板の微細な凹凸を計測するために開発された、分解能がサブ μm オーダーである高精度光変位センサ²⁾の社会基盤構造モニタリングへの適用性について検討する。具体的には、ひずみ計測への適用を考え、H形鋼の等曲げ試験を実施し、ひずみゲージの計測結果との比較を通じて計測精度の評価、課題の抽出を行う。なお、光変位センサのデータ取得では、将来的にワイヤレスセンシングネットワークの構築に向けて、Bluetooth 無線通信モジュールを用いる。

2. 光変位センサ

容量記録ディスクへ高速記録を行うためには、基板の凸凹を数十 nm 以内に収める必要がある。一般的にサブ μm の計測では、光の干渉計を用いるものが知られているが、光干渉計測は外乱の影響をなく

すための対策などで大型になり、装置も高価になる。これに対して、機能や精度をできるかぎり維持しながら対外乱性を高め、かつ小型化した光変位センサの開発が進められており、現在はセンササイズが $5\text{mm} \times 10\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、分解能が $0.1\mu\text{m}$ である。

光変位センサは発光素子、受光素子、光学素子で構成されている。これらがばね構造の筐体に取り付けられており、変位を測定したい物体にこの筐体を固定する。そして、物体が変形すると、それぞれのばねに固定された光学素子間の距離が変化し、それに合わせて光の強度も変化する。その明暗を距離に変換することで変位量の測定が可能となる。

3. 試験概要

本試験で使用した H 形鋼 (H390 \times 300 \times 10 \times 16 \times 4400) と載荷方法を図 1 に示す。鋼種は SS400 であり、降伏点は材料試験から 327MPa である。この結果、下フランジの降伏荷重は 1250kN となる。検証用ひずみゲージの設置位置は、スパン中央の下フランジ下面、ウェブ直下から左右 100mm 離れた位置とした。ゲージ長は 3mm である。また、光変位センサの設置位置は、図 1 に示すように中央から東側へ約 100mm 離れた位置とした。シアノアクリレート系接着剤で光変位センサを固定した。

4. 試験ケース

試験ケースを表 1 に示す。試験ケースは、載荷荷重の上限で 2 ケースに分かれる。Case1 と Case2 の載荷荷重の上限は、弾性域である 500kN と降伏荷重近傍である 1250kN とし、Case1 については計測の再現性を確認するため、試験回数を 2 回とした。

表 1 試験ケース

試験ケース	載荷荷重の上限 (kN)	計測結果
Case1-2	≤ 500	図 2
Case1-2	≤ 500	図 3
Case2	≤ 1250	図 4

キーワード 光変位センサ, 光ディスク, 変位, 評価試験, ひずみ計測

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL. 080-6218-5517

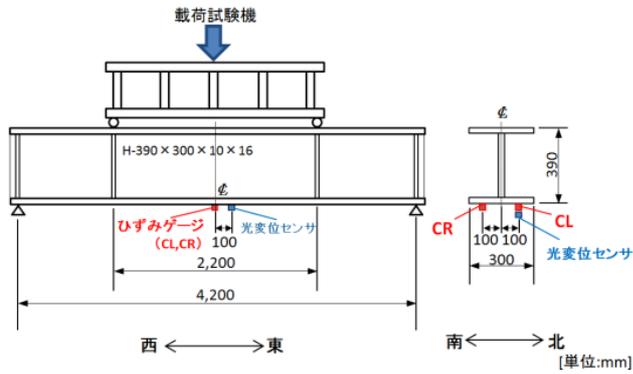


図1 試験体と載荷方法, センサ設置位置

5. 実験結果と考察

図2~図4に, 各試験ケースの時間ステップとひずみの関係を示す. 図中には梁理論から計算される理論値が示されており, 下式で求めた.

$$\epsilon = \frac{M}{EW} \quad (1)$$

ここで,

M: 曲げモーメント

E: 鋼のヤング率 (= 200 GPa)

W: 断面係数 (= 374,142,793 mm⁴)

図4の ϵ_y は, 降伏ひずみであり, 1635 μ ひずみである. ひずみゲージによる計測結果は, いずれのケースにおいても理論値と非常に良く一致する. ここで用いたひずみゲージの計測結果は, 図1のCLによるものである. また, 光変位センサからひずみを算出する方法として, 下式を用いた.

$$\text{ひずみ}(\mu \text{ ひずみ}) = \frac{\text{変位センサ}(\mu\text{m})}{\text{ゲージ長}(\text{mm})} \times 1000 \quad (2)$$

当初, 光変位センサのゲージ長は約30mmと想定されたが, ひずみゲージによる計測結果との比較を通じて, 27.5mmとした. 図2~図4のゲージ長は, 全て27.5mmとしている. ここから, 光変位センサをひずみ計測へと適用する場合には, 予めゲージ長を決定する必要があると言える. 以下に図2~図4から分かることを記す.

・Case1-1 (図2) と Case1-2 (図3) の計測結果から, 弾性域での光変位センサのひずみ計測への適用に関して問題がないと言える. また, 計測の再現性についても問題はない.

・Case3 (図4) の計測結果から, 降伏ひずみ直前まで, 光変位センサでのひずみ計測に問題はないと言える. しかし, 降伏ひずみ以降では, 光変位センサで計測される変位が急に大きな値を示し, 正確な計測が行えなかった. このため, 図中の光変位センサの結果は載荷時のみを示している. これは, 光変位センサを固定する接着剤の剥離に起因するものと推察され, 再検証が必要と考える.

6. まとめ

本研究では, 光ディスク基板の微細な凹凸を計測するために開発された, 分解能がサブ μm オーダーである高精度光変位センサの社会基盤構造モニタリングへの適用性について検討した. 具体的には, ひずみ計測への適用を考え, H形鋼の等曲げ試験を実施し, ひずみゲージの計測結果との比較を通じて計測精度の評価, 課題の抽出を行った. 計測結果から, 降伏ひずみ直前まで, 光変位センサのひずみ計測への適用に関しては問題がないことがわかった. しかし, 降伏ひずみを超えてからは, 正確な計測が行えなかったため, 再検証が必要と考える.

参考文献

- 1) 長山智則, B.F.Spencer, Jr., 藤野陽三: スマートセンサを用いた多点構造振動計測のためのミドルウェア開発, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.523-535, 2009.
- 2) 太陽誘電ホームページ:
<http://www.yuden.co.jp/productdata/webseminar/jp/OpticalDisplacementSensors/>

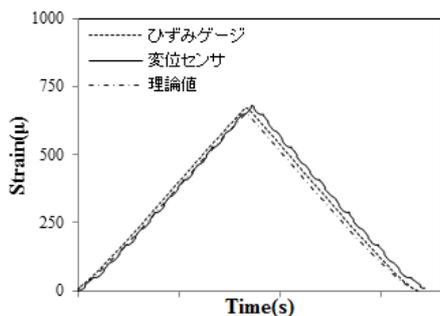


図2 時間-ひずみ関係 (Case1-1)

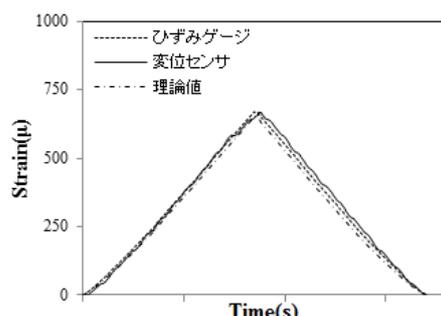


図3 時間-ひずみ関係 (Case1-2)

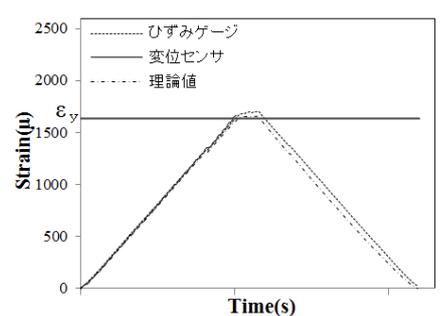


図4 時間-ひずみ関係 (Case2)