

京都大学大学院工学研究科 正会員 小野 紘一  
京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征  
京都大学大学院工学研究科 学生員 大島 義信  
京都大学大学院工学研究科 学生員 ○森田 真幸

1. 研究目的

斜面の安全管理では各種の計測・測量技術を利用し、ひずみや変位などの計測を行い、また集積された状況から崩壊の危険性を判断することになる。この手法は斜面崩壊の危険性をひずみ・変位量として直接的に把握できると言う利点を有するが、現在のところ効率的、経済的で有効な計測方法がないのが現状である。そこで本研究では、光ファイバーを用いた変位計 Fiber Optic Displacement Device(FODD)の開発を行う。光ファイバーによるひずみ計測は、ひずみがほぼ連続的に計れること、測定対象物への取付けが比較的容易なこと、光ファイバーによる測定データの転送が容易であることなどから今後のひずみ計測や計測したひずみを基にした変位計測などに広く利用されることが期待できる。

2. FODD の概要

FODD は、斜面などのひずみや変位の計測を目的とし、開発を行っている変位計である。FODD の測定原理は塩ビ管の軸方向に光ファイバーを貼付し、ひずみの計測を行い、ひずみを変位に変換し計測するものである。また、3本の光ファイバーを120度間隔で貼付することで、変位の方向の計測も可能としている。図1にFODDシステムの概要を示す。

3. FBG センサー

FODD に用いる光ファイバーセンサーとして、ひずみがほぼ連続的に計れること、対象物への取付けが容易であることから FBG センサーを FODD へ適用する。FBG センサーはファイバーグレーティングをセンサーとしているため、高感度な測定が可能であり、1本の光ファイバーに最大31個のグレーティング(現在は12個)を施すことで、ほぼ連続的なひずみの計測が可能である。FBG センサーはグレーティング部分において特定の波長(Bragg 波長)のみを反射する。ここにひずみが加わると波長がシフトし、その波長のずれをひずみに変換することで、ひずみの計測を行っている。表1にFBG センサーの特性を示す。

4. FBG センサー、ひずみゲージ比較実験

FBG センサー を塩ビ管に取付け、載荷実験を行い FODD への適用性について検討した。

- ① 使用材料 実験に使用した塩ビ管の諸性を表2に示す。
- ② 供試体寸法および載荷方法

供試体寸法を図2に示す。ひずみゲージは図2に示すように、塩ビ管の上縁、下縁軸方向にそれぞれ3ヶ所ずつ貼付した。FBG センサーは塩ビ管のスパン中央の上縁、下縁軸方向にそれぞれ1ヶ所ずつグレーティングを施

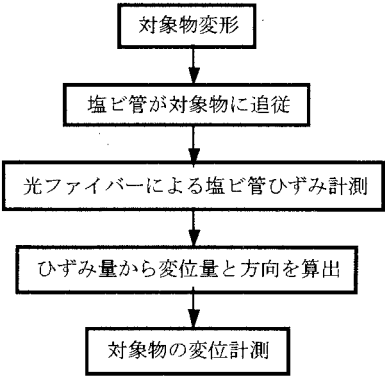


図1 FODDシステム

表1 FBG センサーの特性

|         |                |
|---------|----------------|
| 最大測定レンジ | 40000 μ strain |
| 測定分解能   | 1 μ strain     |
| 測定確度    | ±4 μ strain    |
| 最大FBG数  | 31個            |

表2 塩ビ管の諸性

|           |                                         |
|-----------|-----------------------------------------|
| 外径        | 48mm                                    |
| 内径        | 40mm                                    |
| 弾性係数      | 3.0×10 <sup>3</sup> (MPa)               |
| 断面2次モーメント | 1.35×10 <sup>5</sup> (mm <sup>4</sup> ) |

したものを貼付した。荷重はセンサーを設置した区間において曲げモーメントが一定になるよう 2 点荷重で行う。

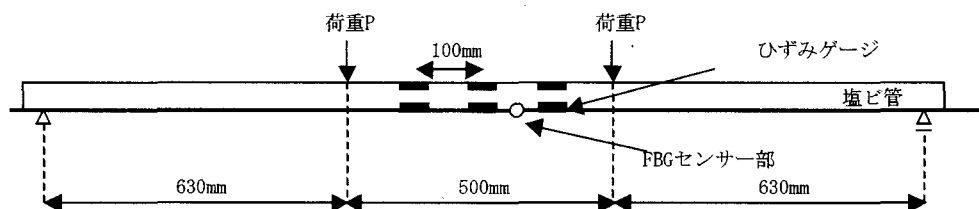


図2 供試体寸法および荷重状況

### ③ 実験結果および考察

図3にはFBGセンサー(下縁)でのモーメントーひずみ関係を示す。ひずみゲージの値は3ヶ所貼付したひずみゲージの平均値である。FBGセンサーの値は計測したひずみの値を直接用いた。理論値は梁弾性理論および塩ビ管の弾性係数から求めたひずみの値である。

図3からFBGセンサー、ひずみゲージから得られるひずみの値はほぼ等しい。また、上縁側でも同様に等しくなった。よって、FBGセンサーでは圧縮側、引張側ともにひずみゲージと同様に測定可能であることが確認された。

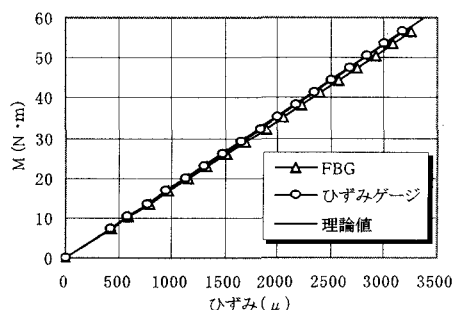


図3 FBGセンサー(下縁ひずみ値)

### 5. FODD 変位変換

FODDでは1断面につき120° 間隔で3ヶ所FBGセンサーを取付けており、計測されたひずみ量から図心でのひずみ量と設定した直交2軸でのそれぞれの曲率を算出する。そこで、得られた図心でのひずみ量と直交2軸での曲率をそれぞれ軸方向に積分することで、センサーの伸縮量および直交2軸での変位量が求まる。さらに、直交2軸での変位量から変位方向を算出することができる。

測定したひずみ量から算出した変位と従来用いる電気式変

位計で計測したものおよび梁の弾性理論から算出した変位の比較を行うため、塩ビ管の下縁軸方向に20cm間隔でひずみゲージを9ヶ所貼付し(ただし、端点からは18cm、中央は10cm間隔である)、荷重実験を行った。荷重方法、供試体寸法、使用材料は上で行った実験と同様とした。FBGセンサーがひずみゲージと同等の精度で計測できることが確認されているため、今回はひずみゲージを用いて計測を行った。また、荷重方向から変位方向が決まっており、図心での伸縮を0と考え、1断面につき1ヶ所の計測としている。図4から、ひずみから変換した変位は実測値ともよく一致しており、ひずみから変位を算出できることが確認された。

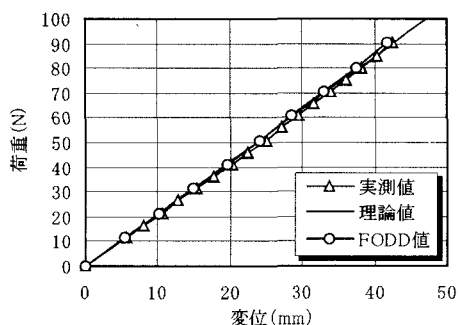


図4 荷重-変位関係(塩ビ管中央点)

### 7. まとめ

- ① FBGセンサーは、ひずみゲージと同等の精度を有し、圧縮、引張の両方の計測が可能であり、FODDへの適用が可能である。
- ② 塩ビ管の各断面で3ヶ所のひずみ量の計測を行うことで、塩ビ管の変位量および変位方向が算出できる。