

氏名	おおしま よしのぶ 大島 義信
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2250号
学位授与の日付	平成15年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科土木システム工学専攻
学位論文題目	Development of Monitoring Systems Using Fiber Optic Sensors (光ファイバセンサを用いたモニタリングシステムの開発)
論文調査委員	(主査) 教授 小野 紘一 教授 大西 有三 教授 宮川 豊章

論 文 内 容 の 要 旨

土木構造物の維持管理には適切なモニタリングが必要である。ひずみや変位の計測を行う計器では、電気抵抗式ゲージをベースとするものが主流である。しかし、これらの計器は耐久性などに問題があり、長期計測や広範囲のモニタリングへの適用には満足のいく対応ができない。しかしながら、構造物の多様化、より高い安全性の要求、広域かつ長期計測の必要性、モニタリングの省力化、迅速化などに対応するためには、新しい計測技術やモニタリングシステムが必要とされている。

本論文は、橋梁、トンネル、パイプライン、ダムなどの土木構造物や土留壁や斜面などの施工時も含めた安全管理に対応するため、光ファイバセンサのうちFBGセンサをベースとしたひずみや変位の計測モジュールを開発し、これらをオープンカットの土留壁管理に適用して得られた知見から、広域かつ長期計測や遠隔計測にも対応しうるモニタリングシステムを構築したものであり、論文は、序論と結論を含め全6章で構成されている。各章の概要は以下の通りである。

第1章は、序論であり、研究の背景を示すとともに光ファイバセンサについて、各種センサの分類と特徴、また適用例など既往の知見をまとめ、研究の目的を示している。

第2章では、鋼材のひずみ計測を目的とした、ベース材であるアルミニウムにFBGセンサを貼付したひずみ計測モジュールFOGの開発を行っている。まず引張試験や温度特性試験といったキャリブレーション試験によりモジュールのセンサ感度や温度感度を確認し、また有限要素法による数値解析による詳細な検討を行った結果、センサのひずみ感度を確保するために溶接などによりモジュールを完全固定することが望ましいことを明らかにしている。さらに、温度感度が高いFBGセンサの欠点を克服するため、温度補償型のモジュールを提案し、数値解析的にその有効性を示している。

第3章では、地盤変位の計測を目的とした、塩化ビニル管とFBGセンサで構成される変位計FODDの開発を行っている。まず曲率から変位を変換するアルゴリズムとして、スプライン補間と多項式近似の二つの方法を採用し、仮想計測による変位算定精度の検討を行っている。その結果、センサを均等に多数設定しスプラインによる変換法を用いることで、より高い精度が期待できることを示した。次に、曲げ試験や材料試験等の基礎試験および盛土における計測試験により、変位計の精度や計測システムの検証を行っている。その結果、実験室レベルでの高い精度を確認し、計測システムが屋外試験においても稼動することを確認している。

第4章では、測定システムの測定安定性を検討し、開発した2つの計測器FOGおよびFODDを基本とするモニタリングシステムの構築を行っている。FBGセンサの測定器に対して電圧安定試験および温度安定試験を行うとともに、伝送用光ファイバにおける光損失やセンサ部分の付着性状が計測に与える影響を検討し、これらの結果を基に安定な計測を実現するモニタリングシステムを構築している。

第5章では、本研究で構築したモニタリングシステムを土留壁背面地盤の変位計測へ適用し、本システムが正常かつ長期に稼動することを確認している。また兵庫県にある本計測現場より京都大学の研究室へのデータ転送の結果、本システムは遠隔モニタリング管理にも適用できることを確認している。また、本研究で構築されたモニタリングシステムを、人工衛星

などの併用により、長距離埋設パイプライン管理などへの適用を提案している。

第6章では、各章で得られた結果を総括して述べるとともに、今後の課題と研究の動向を示し結論としている。

論文審査の結果の要旨

土木構造物の維持管理や工事の安全管理には適切なモニタリングが必要である。本論文は、光ファイバセンサを活用したひずみ計測用モジュールおよび地盤変位計を開発し、室内および土留壁の現場試験を経て、広域かつ長期の計測や遠隔計測にも対応できるモニタリングシステムを研究したものであり、得られた結果は以下のとおりである。

- 1) アルミニウムを母材として、これに光ファイバセンサ (FBG) を貼付したひずみ計測用モジュール Fiber Optic Gauge (FOG) を開発している。曲げ試験、引張試験、温度試験により、FOG の基本性能を明らかにするとともに、センサ感部のひずみ勾配がセンサ感度に与える影響を検討し、さらにひずみや温度感度が一定となる機構を解明して、FOG の適用温度範囲の拡大を行っている。
- 2) 3列のFBG センサ群と塩化ビニル管で構成される2次元の地盤変位計 Fiber Optic Displacement Device (FODD) を開発している。材料試験、曲げ試験、および盛土による現場試験により、FODD が地盤の変位とその方向を検知できることを確認している。また、センサ配置に応じたデータ処理の方法として、スプライン補間法および多項式補間法を提案し、不規則な変形が予想される場合には、均等なセンサ配置とスプライン補間法を採用すれば、測定精度が向上することを示している。
- 3) FOG や FODD 使用時の電圧やデータ伝送用光ファイバの曲率等が測定結果に与える影響を把握し、これらの結果から測定データのドリフティングを最小にするための条件を明らかにしている。また、これらの成果を基にモニタリングシステムを構築している。
- 4) 提案したモニタリングシステムを土留壁の遠隔モニタリングに適用し、システム全体が長期間ほぼ正常に機能すること、遠隔モニタリングが可能であることなどを確認している。また、システム全体が様々な構造物の遠隔かつ広域モニタリングに適用できることを示している。

以上、本論文は光ファイバセンサをベースにひずみや変位の新しい計測モジュールを開発し、さらにこれらを用いて構造物や地盤の挙動計測を遠隔かつ広域で行えるモニタリングシステムを構築して、土木構造物のモニタリングに新しい道を拓いたものであり、学術上、實際上、寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年2月17日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。