

光MEMS技術を用いた地球計測用センサ

浅沼 宏・新妻弘明（東北大学・大学院環境科学研究科）

1. はじめに

近年、光ファイバセンサ／光MEMSセンサが地下計測分野において注目されている。これらのセンサは、既存のセンサに比べ、受動型、高耐熱性、小型・軽量といった点で優れている事例が多い。

ここでは、光ファイバセンサの一つであるファイバグレーティング (Fiber Bragg Grating, FBG) (Hill *et al.*, 1978) を扱った坑井内圧力・温度・流速計測システムについて述べる。FBGは、そのセンサとしての原理、構造、多重化の可能性の面から魅力的なものであり、土木分野で橋や建物のひずみ計測に既に用いられている (Vohra *et al.*, 1999)。

2. ファイバグレーティングセンサ

光ファイバのコアの屈折率が、一定の周期により変調された構造をFBGという (Fig. 1)。FBGは、ブラッグ波長の光を反射する性質を有している。このとき、ブラッグ波長 λ_B は、次の式により表される。

$$\lambda_B = 2n\Lambda \quad (1)$$

ここで、 n はFBG部分の実効屈折率、 Λ は屈折率変調の周期である。

FBGの反射スペクトルの帯域幅は、0.1 nm程度であり、他の光学フィルターなどに比べると非常に狭い。また、FBGに加わるひずみの変化 (圧力、温度変化等に起因) により、ブラッグ波長は変化するので、FBGをセンサとして利用することが可能となる。

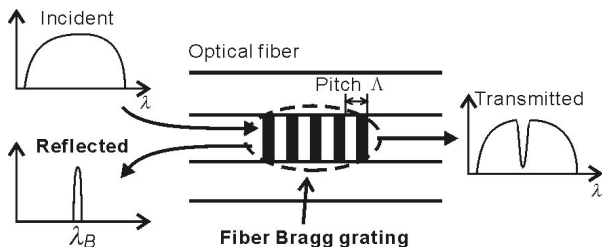


Fig. 1 Conceptual diagram of FBG

3. 試作した計測システムの概要

試作した計測システムは、ダウンホール部と地上部に分けられる (Fig. 2)。ダウンホール部は、PVCパイプ (内径 20 mm, 全長 600 mm) の内部に 4 つのFBGセンサが設置された構造をしている。2 つのF

BGセンサは、圧力・温度測定に用いられ、残りの2つは流速測定に用いられる。一方、地上部は、1.55 μm 帯の広帯域光源、ファイバカップラ、ファイバ干渉計、信号処理用PCから構成されている。

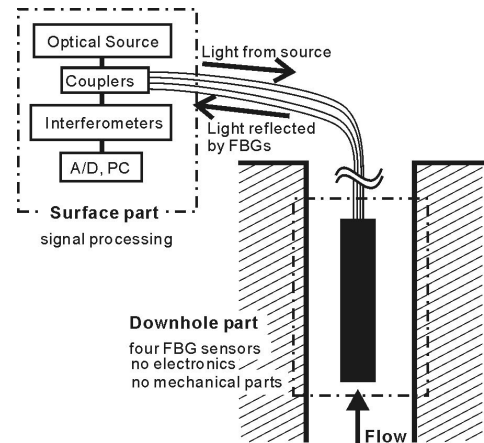


Fig. 2 Structure of the system

4. 圧力・温度測定

圧力および温度変化によるブラッグ波長の変化を分離するため、感度の異なる2つのFBGセンサを用いてシステム行列を構成した。システム行列を構成し、圧力・温度測定部の評価を行った結果をFig. 3に示す。これから、圧力測定に関して、本測定部の雑音レベルは大きい (0.18 MPa_{rms})、リファレンスセンサと同じように圧力の変化を検出していることがわかる。温度測定に関しては、本測定部の出力に若干のドリフトが現われるものの、雑音レベルは0.14 $^{\circ}\text{C}$ であり、十分に低い。

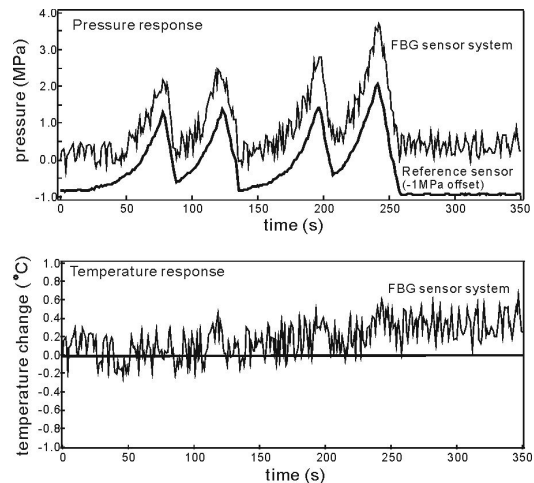


Fig. 3 Measurement of Pressure and Temperature

5. 流速測定

本研究では、流速測定のために、相互相関方式 (Worch, 1998) と渦周波数方式 (Hans, 1998) の2つの手法を使用した。これらの手法では、交流信号のみが利用されるため、測定部のドリフトが測定結果に大きな影響を及ぼさないという利点がある。

流速測定部の線形性を評価した結果を Fig. 4 に示す。この結果から、遅延時間から求めた流速およびカルマン渦発生周波数が設定した流速に対して線形に変化していることがわかる。また、最小検出流速に関しては、実験データより 0.05 m/s という値が得られた。これは、発生した渦のコヒーレンスにより制限されるものであり、コヒーレンスが十分に高い場合は、センサの雑音レベル (0.047 pm_{rms}) により最小検出流速が決定し、0.03 m/s まで下がる。一方、最大検出流速に関しては、システムの時間分解能やセンサ間隔などにより決まるが、本システムでは 3.00 m/s 以上の検出能を有していると考えられる。

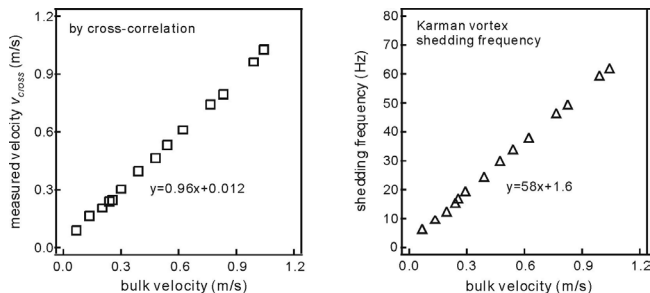


Fig4. Results of the flow velocity measurement

6. まとめ

本稿では、ファイバグレーティングセンサを用いた坑井内圧力、温度、流速計測システムに関して、その概要および特性評価の結果を示した。

圧力・温度測定のため、FBGにポリエチレンをコーティングし、システム行列を構成した。システム行列を用いて圧力、温度の測定を行ったところ、両者を同時に測定可能であることがわかった。ただし、圧力測定に関しては、雑音レベルが大きい (0.18 MPa_{rms}) ことが明らかになった。これに関しては、今後、最適なコーティング材の見直し等について検討が必要である。一方、流速測定に関しては、相互相関方式ならびに渦周波数方式の両手法において、線形な応答と 0.05 m/s の最小検出能が実験的に示された。

7. 本発表に関連した文献

Asanuma, H., Ohishi, H., and Niitsuma, H., Development of an optical micro AE sensor with an automatic tuning system, Progress in Acoustic Emission, 2004, (in-press)

Asanuma, H., Ohishi, H., and Niitsuma, H., Automatic tuning of an optical ultrasonic microsensor based on the Fabry-Perot interferometer, Proc 9th International Conference on Optical MEMS and Their Applications, 2004, pp72-73.

Asanuma, H., Hashimoto, S., Tano, S., Takashima, S., Nishizawa, M., Niitsuma, H., and Shindo, Y., Development of fiber-optical microsensors for geophysical use, Proc. IEEE The 3rd International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, 2003, (CDROM)

Asanuma, H., Hashimoto, S., Suzuki, G., Niitsuma, H., and Esashi, M., Optical interference type micro hydrophone fabricated by micromachining, SEG 2001 Expanded Abstracts, 2001, pp45-47.

Hans, V., Poppen, G., von Lavante, E., and Perpeet, S., Vortex shedding flowmeters and ultrasound detection: signal processing and influence of bluff body geometry, Flow Measurement and Instrumentation, 1998, Vol. 9, pp79-82.

Hill, K.O., Fujii, Y., Johnson, D.C., and Kawasaki, B.S., Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication, Appl. Phys. Lett., 1978, Vol. 32, pp647-649.

Shiga, K., Suzuki, G., Yamada, M., Kitahara, M. and Niitsuma, H., "A fiber-optic micro sensor for AE measurement fabricated by micromachining," Progress in Acoustic Emission, 2002, pp152-159.

Takashima, S., Asanuma, H., and Niitsuma, H., A prototype of a fiber-optical downhole measurement system of pressure, temperature and flow, SEG Expanded Abstracts, 2004, pp.278-281.

Takashima, S., Asanuma, H., and Niitsuma, H., A water flowmeter using dual fiber Bragg grating sensors and cross-correlation technique, Sensors and Actuators A:Physical, 2004, 116, pp.66-74.

Vohra, S.T., Todd, M.D., Johnson, G.A., Chang, C.C., and Danver, B.A., Fiber Bragg Grating Sensor System for Civil Structure Monitoring: Application and Field Tests, 1999, 13th Internat. Conf. Optical Fiber Sensors, pp32-37.

Worch, A., A clamp-on ultrasonic cross correlation flow meter for one-phase flow, Meas. Sci. Technol., 1998, Vol. 9, pp622-630.

8. 謝辞

本研究において使用されたFBGは、東北大学ベンチャービジネスラボラトリにおいて製作されたものである。関係者に謝意を表する。