102 FW-CFRP 複合材料製タンクの埋め込み FBG センサを用いたヘルスモニタリング Health monitoring of a filament wound CFRP composite tank with embedded FBG sensors

○学 林 健太郎 (東大・院)

准 水谷 忠均 (東大・院)

正 岡部 洋二 (東大・工)

正 武田 展雄 (東大・新領域)

Kentaro Hayashi, Univ. of Tokyo, Mail Box 311, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba 277-8561

Tadahito Mizutani, Univ. of Tokyo

Yoji Okabe, Univ. of Tokyo

Nobuo Takeda, Univ. of Tokyo

Health monitoring technologies are very important for improving the safety and durability of composite structures. FBG sensors are candidates for sensing devices for health monitoring. In this research, small-diameter FBG sensors were embedded in CFRP layers in a filament wound composite tank. Real time strain measurement of the tank during cure process and pressure test was performed by using the wavelength shift of the reflection light from the FBG sensors. Furthermore, the detection of microscopic damages was attempted by the observation of the deformation of the reflection spectrum.

Key Words: FW tank, Health monitoring, FBG sensor

1. 緒言

光ファイバセンサの一種である Fiber Bragg Grating (FBG) センサは、小型、高感度などの長所を持ち、複合材構造物のヘルスモニタリング用センサとして期待される。FBG センサはひずみや温度の測定に利用されており⁽¹⁾、さらに CFRP 積層板への埋め込みを目的とした細径 FBG⁽²⁾も開発され、これを用いた損傷検出に関する研究も行われている⁽³⁾。本研究では FW 成型の CFRP タンクに細径 FBG センサを埋め込み、成型中および耐圧試験中のひずみ計測を行い、さらに内部損傷の検知を試みた。

2. FBG センサの埋め込み

FBG センサは、光ファイバのコアに Bragg 格子とよばれる周期的な屈折率変化を施したものである。このセンサに広帯域の光が入射すると、格子間隔や屈折率から決まる特定の狭帯域の光が反射する。

FBG センサに均一な軸方向ひずみが加わると、反射光スペクトルの中心波長はひずみに対して線形にシフトするため、ひずみセンサとして使用できる。また不均一なひずみが加わった場合、それぞれのひずみに対応した波長の光が反射する

ため、スペクトルの形状が変化する。この性質を用いて樹脂クラックなどの内部損傷を検知することも可能である。

本実験では、(株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペースにて製造された FW 製法の小型 CFRP タンクのヘリカル層・フープ層間に FBG センサを複数本埋め込み、キュア成型中および耐圧試験中に随時スペクトルを計測し、ひずみ計測および内部損傷の検知を試みた。

Fig. 2 - Position of embedded FBG sensor

Fig. 1 Mechanism of FBG sensor

3. キュア成型中のモニタリング

Fig. 3 は、キュア中に計測されたスペクトルの中心波長の変化を示したものである。ただし、ここで計測された波長シフトはひずみによるものと温度変化によるものを合わせたシフト量である。そのため波長シフト量から正確なひずみを求めるのは、別途温度を計測し、温度補償を行う必要がある。キュア終了時には開始前に比べてスペクトルの中心波長が短波長側にシフトしていることから、キュアによりタンクが圧縮していることが確認された。

キュアによるスペクトル形状の変化を Fig. 4 に示す。キュア中およびキュア後にはスペクトル幅が広がっているのが確認された。これはヘリカル層とフープ層の間に埋め込まれた FBG センサに非軸対称な熱ひずみ加わることにより誘起された複屈折の効果によるものと考えられる。

Fig. 3 - Wavelength shift during cure process

Fig. 4 - Spectrum deformation during cure process

4. 耐圧試験中のモニタリング

耐圧試験は、4.5MPa までの加圧、減圧を 0.5MPa 毎のステップで行い、各ステップでスペクトル計測およびタンク表面に貼り付けたひずみゲージでのひずみ計測を行った。今回用いた FBG センサの波長シフトとひずみの関係は、予備実験により $753\mu\text{e}/\text{nm}$ であることがわかっている。これを用いて、スペクトルの波長シフト量から計算したひずみと、ひずみゲージで計測したひずみとの比較を Fig. 5 に示す。両者のひずみはほぼ一致しており、FBG センサによるひずみ計測が問題なく行えることがわかった。

Fig. 6 に耐圧試験中のスペクトル形状の変化を示す。タンク圧の上昇とともにスペクトルの強度が低下したが、これは FBG 部分以外の光ファイバ中で微小な曲げにより光の損失が発生したためである。タンクが高圧になるとスペクトル幅が広がり、微小なピークが複数観察された。これはヘリカル層で発生したクラックにより FBG に不均一なひずみ加わったためにスペクトル形状が変化したものと考えられる⁽³⁾。この変化はタンクの減圧後も残っており、クラックの検知に有効であることがわかる。

Fig. 5 - Wavelength shift and strain during pressure test

Fig. 6 - Spectrum deformation during pressure test

5. まとめ

FW 製法の小型 CFRP タンクに埋め込んだ FBG センサを用いて、キュア成型中および耐圧試験中のモニタリングを行った。キュア時のモニタリングでは、キュア中のひずみやキュア終了後の残留ひずみの計測が可能であることを示した。耐圧試験時のモニタリングでは、ひずみ計測が十分高い精度で可能であり、さらに内部損傷の検知も行うことができた。以上の結果より、埋め込み FBG は FW 製法の CFRP 構造物におけるヘルスモニタリング用センサとして非常に有効であることが確認された。

参考文献

- (1) R.J.Van Steenkiste and G.S.Springer, Strain and Temperature Measurement with Fiber Optic Sensors, Technomic Publication, 1997.
- (2) K. Satomi et. al., "Polyimide-coated small-diameter optical fiber sensors for embedding in composite laminate structures," Proc. SPIE, 4328,285-294(2001).
- (3) Y. Okabe et.al., "Detection of microscopic damages in composite laminates with embedded small-diameter fiber Bragg grating sensors," Composites Science and Technology, Vol. 62, 951-958(2002).