# 土木学会第58回年次学術講演会(平成15年9月) 光ファイバセンサを用いたFRP母材の損傷モニタリング

豊橋技術科学大学	正会員	山田	聖志
同上	正会員	中澤	博之
福井漁網	正会員	小宮	巌

# 1.序論

近年,建設資材の廃棄量を低減し,環境維持とエネルギコスト削減に寄与するため,使用年数をできる限り長くすることを目標とした長寿命型建設構造の提案が注目されている。FRP材は,耐久性に優れた長寿命材料として,軽量かつ高強度であることから,建設資材運搬と施工時の重機使用による環境負荷の低減,メンテナンスの容易さ等が認識されはじめ,橋梁などの構造部材として使用されるようになってきている<sup>1-3</sup>。しかしながら,このような長期に渡る構造物の使用に関しては,構造上の重要な部位の損傷評価を任意に確認(モニタリング)することが必要不可欠である。本研究では,そうした構造物の健全性評価法確立を目的とし,光ファイバセンサをFRP材内部に埋め込み,その出力特性を詳細に分析・考察し,ヘルスモニタリングの可能性について検討する。

## 2.計測システム

本実験では、現状で最も精度が良好なFBG(fiber Bragg grating)センサを採用した<sup>4)</sup>。FBGセンサから得られるブラッグ 波長  $\lambda_{B}$ を用いた歪換算は、メーカーによる校正値をもとに次 式で行った。

$$\mathcal{E}[\mu] = 833[\mu/\mathrm{nm}] \times \Delta \lambda_B[\mathrm{nm}] \tag{1}$$

図1に本実験で用いた計測システムの概略を,写真1に計測 システムの構成を示す。計測の概要は,光源から出力された 広帯域の光パルスをFBGセンサへ入射し,それと同時に基準 光源から基準波を光検出器へ入射する。FBGセンサへ入射さ れた光パルスのうち,ブラッグ回析格子によりブラッグ波長 λ<sub>g</sub> の光(ブラッグ波)だけが反射される。このブラッグ波も光検出 器で受光することにより,基準波とブラッグ波の到達時間差 ΔT が既知となる。この到達時間の変化を波長計測器で測定する ことにより,ブラッグ波長のシフト量を検出することができる。更 に,波形計測器を用いることで,写真 2 に示すように,ブラッグ 波の光パワーの時刻歴も任意の荷重レベルで測定できる。

#### 3.実験方法

本研究で使用した試験材料は、文献5 でのそれと同様、ガラ ス繊維を用いた引抜成形FRP箱型断面形材から部材軸方向 に帯板に切り出したものを用いている。試験体詳細を図2 に示 す。FBGセンサは、厚さ5.5mmのFRP材の表面に深さ約 0.5mmのV字型の溝を設け、FRP母材のマトリクスと力学性状 が類似の2 液系エポキシ接着剤を充填し、設置されている。載



図3 歪ゲージとFBGセンサの歪の比較

キーワード 引抜成形 F R P , 光ファイバセンサ, 波長測定, 波形測定, 光パワースペクトル 連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 建設工学系 TEL 0532-47-0111(5603) 荷は,負荷・除荷を繰り返しながら 25kN づつ増加させ破壊に 至るまで行った。

# 4.実験結果および考察

図3は各荷重レベルの歪の比較を示しており、縦軸は歪ゲージ、横軸はFBGセンサからの値である。これらの歪量は、最大でも10%程度の誤差であり、非常に良く一致しているといえる。

図4に波長測定から得られた応力・歪関係を示す。全ての載荷サイクルにおいて、FRP母材は線形弾性的挙動を示しているが、2サイクル目以降では、6000 μ程度で分岐現象が生じている。

図5は、波形測定器より得られた各荷重レベルでの光パワー スペクトルを示しており、縦軸は基準波の光パワーで正規化し た値、横軸はブラッグ波長である。荷重の増加に伴い、スペクト ル幅は広がりながら波長がシフトし、2サイクル目以降の負荷 過程では、約30kNでスペクトル形状が単一ピークから複数の ピークへと大きく変化しており、光パワーも急激に低下している。 これはマイクロクラックに関係した内部損傷によるものと考察さ れる<sup>9</sup>。図4の応力・歪関係において分岐現象が観察されてい るのは、スペクトルのピーク値を全てサンプリングしているため である。スペクトル形状が単一ピークから複数のピークへと変 化する際の荷重が35kN(2回目)、30kN(3回目)、20kN(4回 目)と低下しており、漸増繰り返し載荷によって損傷が蓄積して いくことがわかる。

### 5.結論

本研究は、FRP材の内部損傷評価の第一段階として、FRP 材に光ファイバセンサを埋め込んだ帯板試験体の引張載荷実 験を行い、(1)波長測定より、FRP材が破壊に至るまでの歪を 定量的に求め、その値は歪ゲージのそれと良く対応しているこ と、(2)波形測定より、内部損傷が進展することによって、光パワ ースペクトルの形状が単一ピークから複数のピークへと変化す ることが明らかとなった。尚、本研究は、日本学術振興会特別 研究員奨励費 11049(代表・中澤博之)により行ったものであ る。

#### 参考文献

- 1) Harvey, W.J.: A reinforced plastic footbridge, Aberfeldy, UK, *Structural Engrg International*, IABSE, pp.229-232, 1993.
- Keller, T. and Castro, J.: Structural applications of advanced composite materials for bridges and buildings, *CD-ROM Proc.*, *IASS Symp.*, Nagoya, TP197, 2001.10.
- 北山暢彦, 佐伯彰一, 山城和男:沖縄県におけるFRP横断歩 道橋の概要, 土木学会第55回年次学術講演会論文集, 第1部 (A), pp.460-461, 2000.9.
- Kersey, A.D., et al.: Progress towards the development of practical fiber Bragg grating instrumentation systems, SPIE, Vol.2829, 1996.8.
- 5) 山田聖志, 中澤博之, 小宮巌: 引抜成形FRP柱材の圧縮力に よる崩壊メカニズム, 強化プラスチック, Vol.46, No.6, pp.4-10, 2000.
- 6) 高坂達郎,武田展雄:埋め込みFBGセンサを用いた複合材料 中のトランスバースクラック検出,日本機械学会大会梗概集, pp.319-320,1999.7.

