

光ファイバセンサを用いたFRP材の損傷モニタリングに関する基礎的実験

豊橋技術科学大学 学生会員 中澤 博之
同 上 正会員 山田 聖志
福井漁網 正会員 小宮 巖

1. 序 論

FRP (fiber reinforced polymer) 材は、耐久性に優れ軽量かつ高強度であることから、建設施工時の重機使用の低減や、メンテナンスの容易さが認識されはじめ、近年、土木分野においても橋梁構造部材への適用が期待されるようになった^{1,2)}。それに伴い欧米では基標準を整備する動きもみられる^{3,4)}。国内でもFRP歩道橋⁵⁾が建設され、車道橋への適用も検討されている⁶⁾。しかし、鋼やコンクリートなどの既往の建設材料に比べてかなりのコスト高であることだけでなく、構造部材としての力学的特性が十分に設計者に周知されていないこともあり、十分な普及には至っていない現状にある。そこで、著者等は 1995 年以降⁷⁾、FRP成形品としては比較的成本の小さい引抜成形部材に注目し、柱部材としての全体座屈と板要素の局部座屈の相関に関する実験^{8,9)}、継手接合部の引張実験¹⁰⁾、接着T形接合部の曲げ実験¹¹⁾などの研究成果を公表してきた。

近年、建設資材の廃棄量を低減し、環境維持とエネルギー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型建設構造の提案が注目されている。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り、そうした厳しい要求に容易に応え得る付加価値の高い建設構造物の可能性をFRP材は有している。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、ヘルスマニタリングの可能性について検討する。

2. 実験方法

本研究で使用した試験材料は、文献 10 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。光ファイバセンサとしては、現状で最も精度が良好なFBG (fiber Bragg grating) センサを採用した。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、FBGセンサを埋め込むと共に、もう一枚のFRP帯板に図 1 のように接着した。接着剤は2液系エポキシ接着剤を使用している。FBG計測としては、ここでは文献 12 と同様の方法を用いている。載荷は、図 2 に示すように、負荷・除荷を繰り返しながら25kNずつ増加させ破壊に至るまで行った。

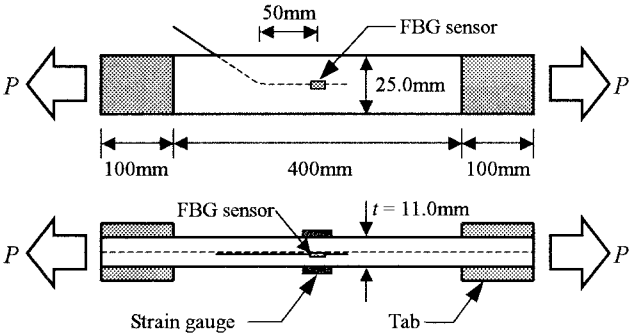


図 1 試験体詳細

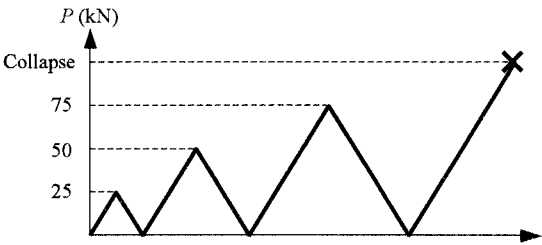


図 2 載荷サイクル

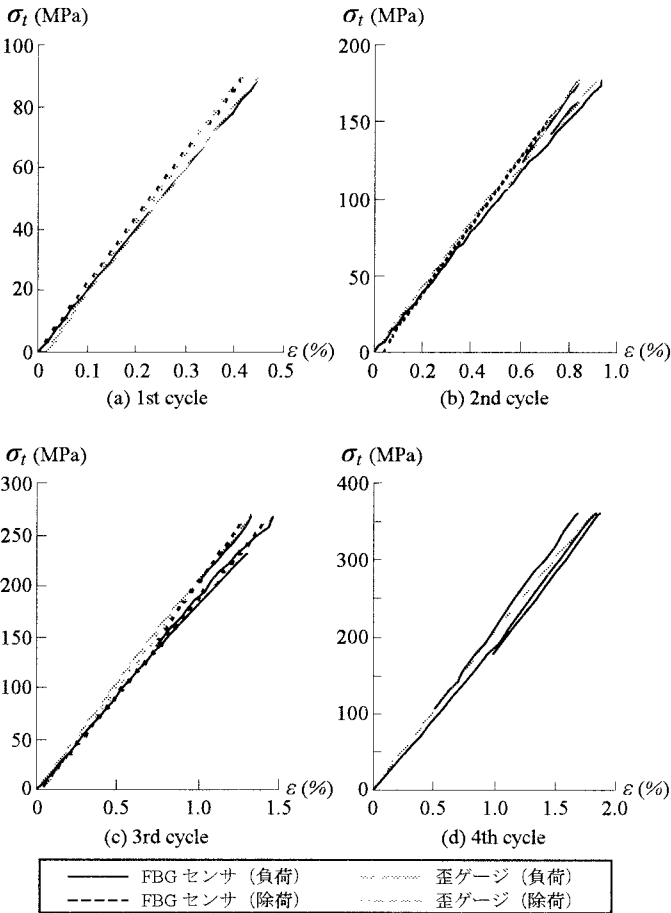


図 3 応力・歪関係

3. 実験結果および考察

図3に応力・歪関係を示す。FBGセンサの歪は、ブラッグ波長より、次式によって換算している¹²⁾。

$$\varepsilon_{\text{FBG}}(\mu) = 833(\text{nm}/\mu) \times \Delta\lambda_B(\text{nm}) \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\lambda_B$ は歪ゲージとの対応を考慮し、各荷重レベルでのブラッグ波長と載荷開始時点のそれとの差を取っている。図3より、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。図4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回目以降の負荷過程では、約30kNでスペクトルのピークに分岐現象が観察された。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¹³⁾。図3においてFBGセンサの応力・歪関係に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。スペクトルのピーク値の分岐現象が発生する荷重が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。

4. 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、光パワースペクトルを求め、スペクトルの形状より、内部損傷の進展を評価できることを明らかにした。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.: UK, *Structural Engrg International*, IABSE, pp.229-232, 1993.
- 2) Keller, T. and Castro, J.: *IASS Symp.*, Nagoya, TP197, 2001.
- 3) The European Structural Polymeric Composites Group: *EUROCOMP Design Code and Handbook*, E&FN SPON, 1996.
- 4) Richard E.: *Journal of Composites for Construction*, pp.26-38, 1997.
- 5) 北山暢彦, 佐伯彰一, 山城和男: 土木学会年次大会, 第1部(A), pp.460-461, 2000.
- 6) 鈴木統, 林耕四郎, 大橋潤一, 西崎到: 第1回FRP橋梁に関するシンポジウム, pp.113-116, 2001.
- 7) 山田聖志: 日本建築学会大会, Vol.B-1, pp.437-438, 1995.
- 8) 山田聖志, 小宮巖, 中澤博之: 日本建築学会構造系論文集, No.518, pp.49-56, 1999.
- 9) 山田聖志, 中澤博之, 小宮巖: 強化プラスチック, Vol.46, No.6, pp.238-244, 2000.
- 10) 山田聖志, 中澤博之: 構造工学論文集(土木部門), Vol.48A, pp.11-18, 2002.
- 11) 山田聖志, 中澤博之, 深津尚人, 小宮巖: 日本建築学会大会, Vol.B-1, pp.869-870, 2001.
- 12) 山田聖志, 中澤博之, 深津尚人, 小宮巖: 日本建築学会大会, Vol. B-1, pp.841-844, 2002.
- 13) 高坂達郎, 武田展雄: 日本機械学会大会, pp.319-320, 1999.

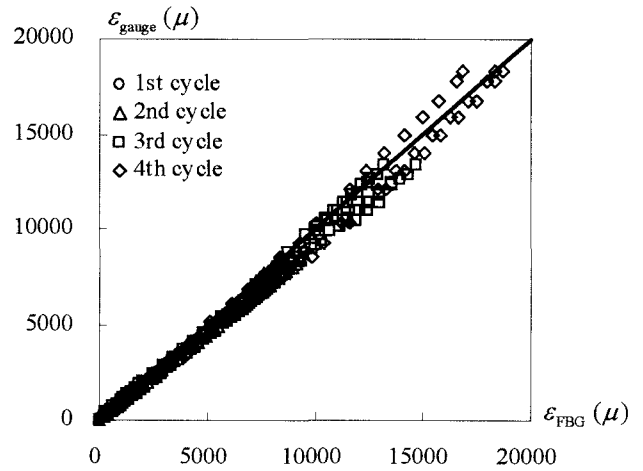


図4 歪ゲージとFBGセンサの歪の比較

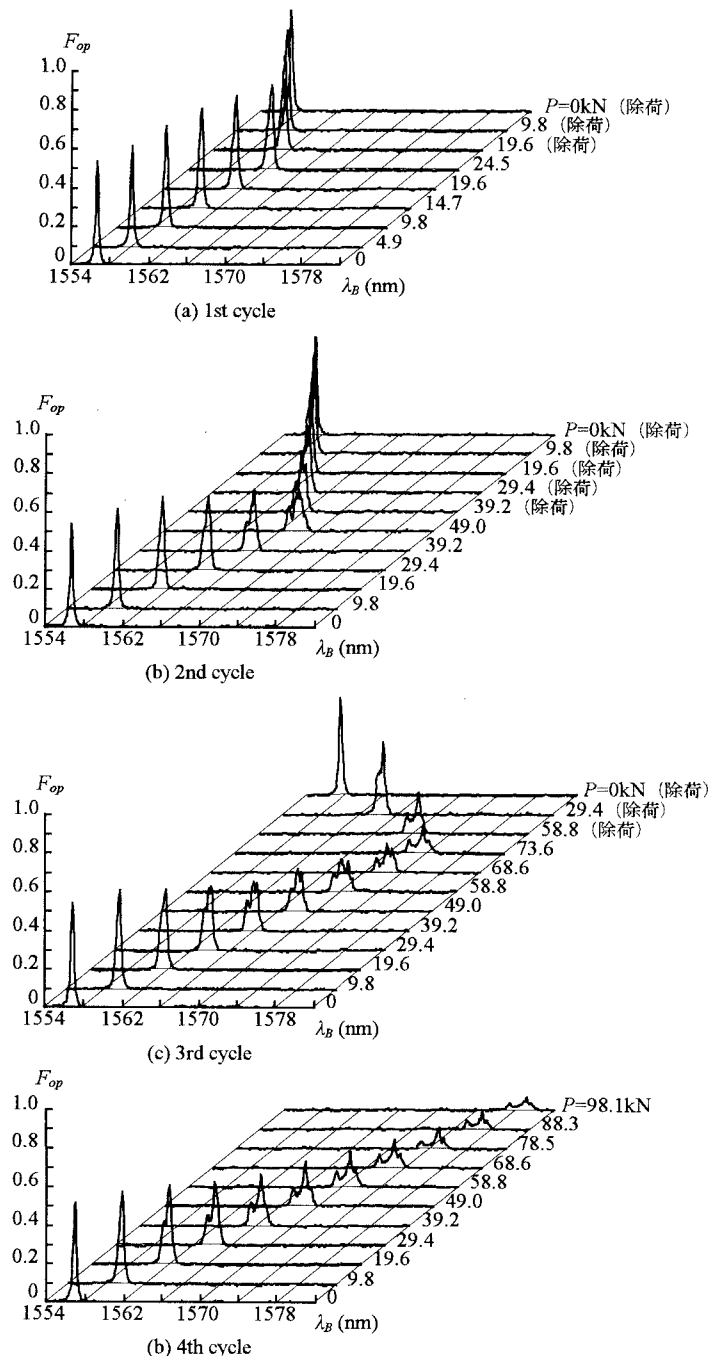


図5 光パワースペクトル