光ファイバセンシングによるケーブル材の静的分布モニタリング手法の開発

茨城大学 学生会員 ○橋本 明宏 茨城大学 正会員 呉 智深 名城大学 正会員 岩下 健太郎 茨城大学 瓜生 昂次郎

1. 背景と目的

斜張橋や PC 構造物に緊張材として用いられるケーブル材には腐食や衝撃などによって生じる微視的な損傷が蓄 積しており、マクロ損傷に発展して突然破断に至ったケースもあり、微視的な損傷の早期発見は重要な課題となっ ている.また、損傷の位置や程度を的確に把握できることが期待されるが、現状の局所的なモニタリング技術(EM センサ等)による解決には難がある. そこで, 本来は点センサの FBG センサをロングゲージ化して分布計測を可能 にしたものや、ブリルアン散乱光を利用した光ファイバ分布センシング(装置は PPP-BOTDA を使用)によるケー ブル材の高精度分布センシング手法を考案した、なお、本研究では静的センシングを対象としているが、今後、動 的情報を活用したセンシング技術も含めて研究を実施していくことになっている.

2. ケーブル材の静的分布モニタリングシステム

ケーブル材に沿って、FBG ロングゲージセンサおよび光ファイバセンサを敷設して、ひずみセンシングを実施す る. ここで、FBG ロングゲージセンサとは、FBG 部(約10mm)をある一定の間隔で含んだ光ファイバセンサのこ とを言い、ゲージ長 L の間隔で両端を構造物に固定することで、伸び計のような役割を果たす. そして、定着点間 の光ファイバには一様なひずみ ϵ が生じる($\mathbf{Z} - \mathbf{1}$). しかし、ゲージ長 \mathbf{L} が長くなるほど、感度や精度が低下する という課題があった. そこで, 渡辺らは定着長間の一部を高弾性率の連続繊維材で補強して伸びなくさせることで, 高感度化する手法を開発し¹⁾、この問題を解決した. すなわち、**図 - 2** において、 ϵ の L/L'倍のひずみを出力する ことが可能となる. つまり、より微小なひずみの検出が可能になり、精度も向上させることができる. ここで、L/L' の値を感度係数 k と定義する.

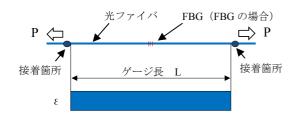


図-1 ロングゲージ光ファイバセンサ

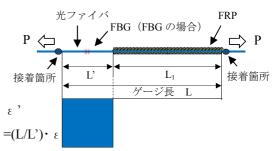


図-2 高感度化ロングゲージ光ファイバセンサ

3. 高張カケーブル材の損傷検知実験

3.1. 実験方法

反力台(緊張装置と呼称)により線ケーブル(0.2mm 径,6 本×24 本=計144 本)を設置し、破断荷重の25%に あたる 10kN の引張荷重を導入する、緊張後、光ファイバをエポキシ樹脂で接着、固定する($\mathbf{Z} - \mathbf{3}$)、敷設した光 ファイバセンサの概要は表 - 1 に示す. ケーブル表面に回転式カッターで切り込みを入れる. 本実験では, 未損傷, 損傷率 3%, 6%, 9%の各段階におけるひずみを PPP-BOTDA, SM130 (FBG) を用いて計測を行った.

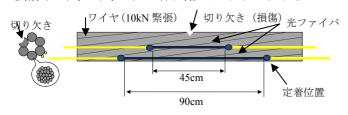


図-3 センサ敷設図

実験 No.	感度係数 k	ゲージ長 L
1	1	45cm, 90cm
2	2	4.5

表-1 敷設した光ファイバの概要

実験 No.	感度係数 k	ケーシ長 L
1	1	45cm, 90cm
2	2	45cm
3	3	45cm
4	3	45cm, 90cm

キーワード:ケーブル材,光ファイバセンサ,PPP-BOTDA,FBG,ヘルスモニタリング

連絡先:〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL. 0294-38-5247

3.2. 実験結果

図 - 4, 5, 6 にゲージ長 L=45cm, 感度係数 k=1, 2, 3 のセンサ条件, 図 - 7 にゲージ長 45cm, 90cm, 感度係数 k=1 のセンサ条件, 図 - 8 にゲージ長 45cm, 90cm, 感度係数 k=3 のセンサ条件での PPP-BOTDA, FBG による計測結果を示す. 縦軸に未損傷時からのひずみ増加量, 横軸に損傷率を示す. さらに, ケーブルの特性を無視して単一な棒材として考えて, ϵ = P/AE (P:荷重, A:断面積, E:弾性係数 (200kN/mm²)) で計算したひずみも参考までに記載する. k=1 の場合, PPP-BOTDA で計測されたひずみ量は損傷が進展するにつれて増加しているが, 誤差範囲内かそれに近い値のため, 実用的なレベルの損傷 (9%以下) の特定は難しい. また, FBG による計測結果が負の値を示しているがセンサを適切な個所に敷設されておらず, 圧縮力が作用したことが原因と考えられる (図 - 4). k=2, 3 の場合, ワイヤに生じるひずみを k=1 の場合よりも明らかに大きな値で計測できていることから, 高感度化することで光ファイバセンサの感度が向上しているとわかる. 高感度化したセンサを使用した場合, 計測誤差が小さくなることから損傷率 6%以上のケースに対して計測されたひずみを損傷と判断することが可能である (図 - 5, 6).

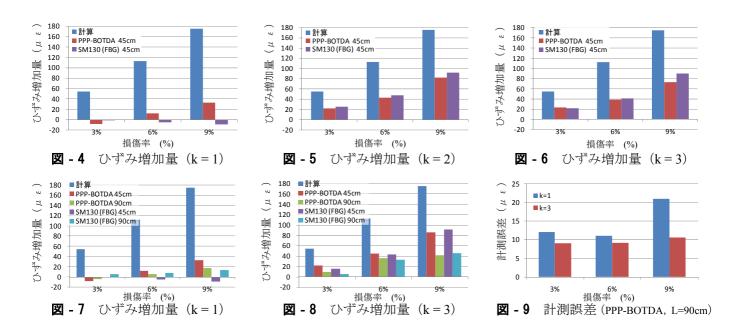


図 - 7 より、PPP-BOTDA で計測されたひずみはゲージ長 45cm、90cm ともにほぼ誤差範囲内の値を示している. また FBG の計測値は \pm 数 μ ϵ と微小すぎる. 以上の結果から、k=1 の場合に計測されたひずみから損傷と判定することは無理である. 図 - 8 より、ゲージ長 45cm のセンサで計測されたひずみはゲージ長 90cm のセンサで計測されたひずみの約 2 倍の値を示しているが、これはひずみを求める公式 ϵ = Δ L/L からわかる. つまり、ゲージ長をある程度長くしても、高感度化を実施することにより実用的な損傷モニタリングが可能である. この場合、ゲージ長を 45cm、90cm のいずれの場合に設定しても、損傷率 6%以上のケースで計測されたひずみを損傷と判断することが可能である.

図 - 9 にゲージ長 90cm, 感度係数 k=1, 3 のセンサ条件で PPP-BOTDA を用いて計測されたひずみの各損傷状態に おける平均の計測誤差を記す. 通常, 計測誤差は $\pm 25\,\mu$ ϵ だが, 高感度化することにより計測誤差が小さくなって いることがわかる.

4. まとめ

・光ファイバセンサ(PPP-BOTDA)と FBG センサのどちらを用いても、高感度化の実施により、ケーブル材に生じる実用的な損傷率と考えられるレベルの損傷を、高感度、高精度にモニタリングできることが実験的に明らかになった。

参考文献

1) 渡辺匠, 呉智深, 高橋貴蔵: ロングゲージ FBG センサの分布化による微小ひずみ測定技術に関する研究, 土木 学会関東支部第34回技術研究発表会, 土木学会関東支部, V-041, 2007.3