

スマート連続繊維棒材およびその応用法の開発に関する研究

茨城大学 学生会員 ○藍原 龍太
茨城大学 正会員 呉 智深

1. 背景と目的

近年, FRP ロッドは鉄筋のような従来の建設材料に替わるものとして期待されている. 一方, 構造ヘルスマニタリング (SHM) では分布計測が可能である光ファイバセンサが注目されている. そこで著者らは, FRP ロッドに光ファイバセンサを設置することにより, 補強棒材にモニタリング機能付加させた光ファイバ複合型 FRP ロッド(スマートバー)を実験的に開発した. 基本的概念はバーを構造物に埋め込んで部材に合わせた挙動をとらせ, その挙動を光ファイバセンサが捉えることになる. 計測結果を応用して, 測定対象物の解析モデルなどと合わせれば, 将来的にはスマートバーによる補強と健康管理が行えるようになる. (図-1)

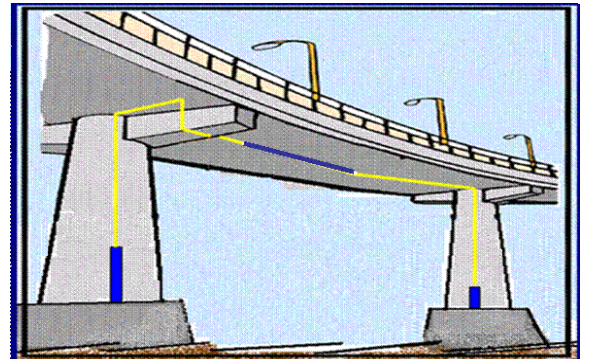


図-1 スマートバー運用イメージ

2. スマートバーの設計手法

BFRPロッド(バサルト連続繊維棒材, 物性値を表-1に示す)に光ファイバセンサを設置し, その上からBFRPストランドを用いてリブを取り付け, スマートバーを作製した(図-2). 光ファイバセンサには空間分解能100mm, ひずみ計測誤差 $\pm 40 \mu \epsilon$ で実現したPPP-BOTDAを使用した他, 計測精度が数 $\mu \epsilon$ であるFBGを使用した. FBGセンサはポイントセンサだが, 図-3に示すようにロングゲージ化すれば, 広範囲なセンシングが可能になる. ロングゲージセンサの被服にはバサルト繊維組紐をエポキシ樹脂で含浸させて製作したBFRPチューブを使用し, 光ファイバを保護するとともにゲージ部の未接着区間を確保した. また, 同様にPPP-BOTDAセンサにおいてもロングゲージセンサを作製し使用した.

引張弾性率(GPa)	91
直径(mm)	6
引張強度(MPa)	1370

表-1 BFRPロッド物性値

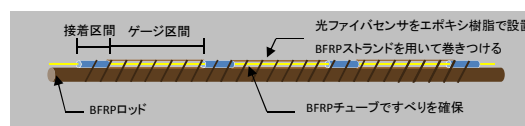


図-2 スマートバー

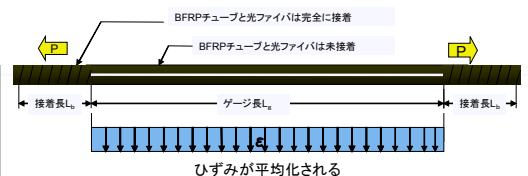


図-3 ロングゲージセンサ

3. 性能試験

バー両端に定着管を固定した引張試験用の供試体を作製し(図-4), モニタリング精度を確認するため引張試験を行った. 供試体数はそれぞれ PPP-BOTDA センサで3体, FBG センサで2体, としてバーのひずみを0.5~1kN毎に計測しそれぞれ比較した.

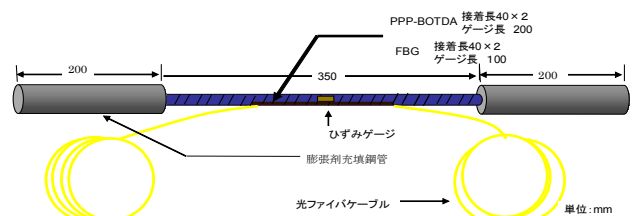


図-4 引張試験供試体

試験結果より, 荷重-ひずみ関係を図-5, 図-6 に示した. 理論値とそれぞれの計測結果が良く一致しており, 両センサにおいて自身のひずみを精度良く計測できる事が示せた. 尚, グラフ中の理論値はひずみゲージの出力結果をもとに計算した値である.

キーワード: FRP ロッド, 光ファイバセンサ, PPP-BOTDA, FBG, 構造ヘルスマニタリング

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

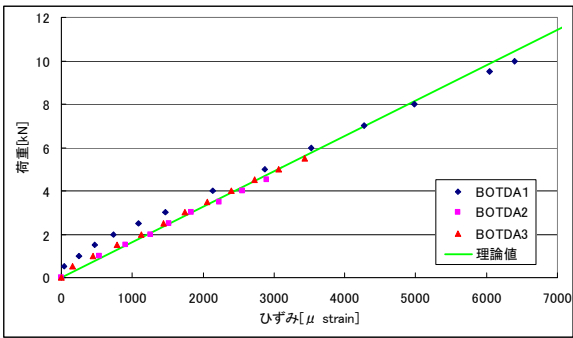


図-5 荷重－ひずみ関係 (PPP-BOTDA)

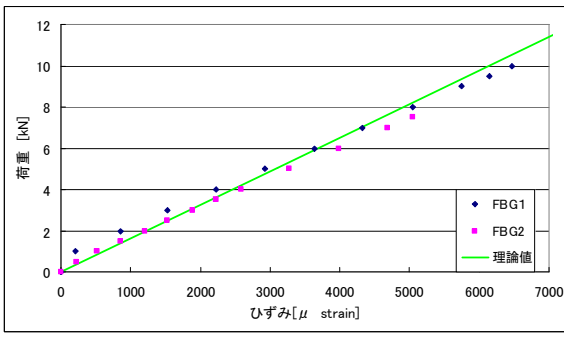


図-6 荷重－ひずみ関係 (FBG)

4. RC 梁での 4 点曲げ載荷試験

図-7に示すようなRC 梁供試体にスマートバーを埋め込んで 4 点曲げ試験を行い、RC 梁のモニタリングを実験的に行った。尚、供試体数は 2 体であり、そのうち 1 体は供試体底面に CFRP シート 2 層を接着して耐力向上をはかった。スマートバーには PPP-BOTDA センサを用いて、RC 梁の曲げモーメント力が最大となる区間に配置した。

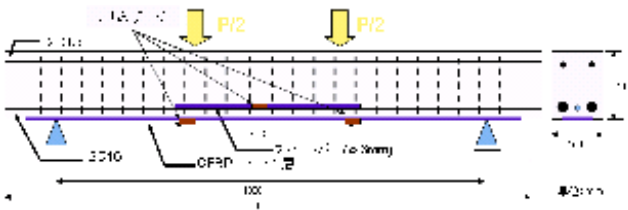


図-7 RC 梁供試体

試験結果より、図-8 に荷重－変位関係を示し、図-9、図-10 にそれぞれの荷重－ひずみ関係を示した。無補強供試体ではスマートバーでのひずみ計測結果と、スマートバーに取り付けたひずみゲージとの計測結果が良く一致しており、CFRP-2 層供試体ではスマートバーでのひずみ計測結果と、主鉄筋に取り付けたひずみゲージとの計測結果が良く一致していることが分かる。

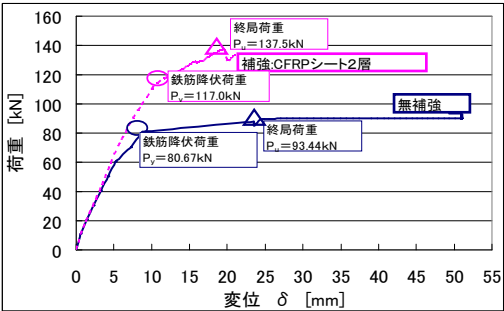


図-8 荷重－変位関係

さらに、梁断面での平面保持の仮定の下で、スマートバーの計測結果を元にして、鉄筋降伏過重の算定値を表-2 に示した。解析値は鉄筋降伏ひずみをもとに算出した理論値であり、計算値はスマートバーのひずみ計測結果から算出した値である。表-2 より CFRP-2 層の解析値に若干誤差が見られるが他はよく一致しており、スマートバーでのひずみ計測結果を応用して、RC 梁をモニタリングできるということが実験的に示唆された。

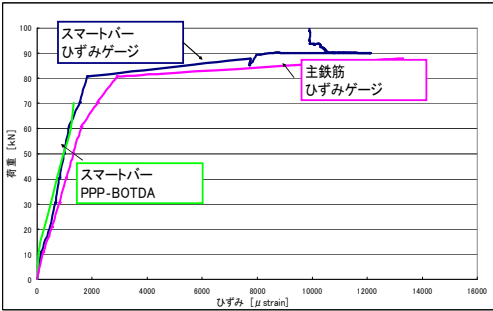


図-9 荷重－ひずみ関係

5. まとめ

BFRP ロッドに光ファイバセンサを付加させ、自身のひずみの挙動を分布的にモニタリングすることが出来るスマート連続繊維棒材を開発すると共に、バーを構造部材に埋め込み既往の力学的な理論を応用することで、構造部材の各種性能のモニタリングが可能な事が示唆された。

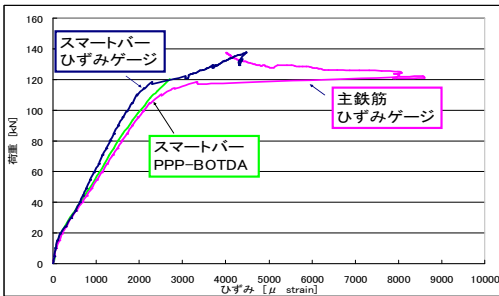


図-10 荷重－ひずみ関係 (CFRP-2層)

参考文献

1) Xavier Chapeleau, 富山禎仁: 土木構造物における FRP の健全性モニタリングのための埋没光ファイバ・センサ, 日本複合材学会誌, 36, 1 (2010), 25-30

	解析値	実測値	計算値	誤差(%)
無補強	82.8	80.7	82.4	2.1
CFRP-2層	101.5	117.0	112.4	4.1

表-2 鉄筋降伏荷重(単位:kN)