

光ファイバセンサを用いた補強部材のモニタリング試験

豊橋技術科学大学 正会員 山田 聖志
トピー工業 正会員 ○山田 聡

1. はじめに

道路橋等の公共インフラの地震対策として、既存構造部位の補強・補修に先進複合材料(FRP)を利用することが最近注目されている。こうした耐震補強では、補強後に耐震性能が改善されたかどうかをセンシングする必要があり、そのための合理的な方法の開発が急務となっている。一方、新しいセンシング技術のひとつに光ファイバを用いたモニタリング手法が適用検討されつつある¹⁾。本試験では、FRP 利用型の補強・補修に際し、先端的な光ファイバセンサを鋼部材や FRP 補強材に設置して、高精度で低コストなセンシング法を確立するための基礎試験を行った。

2. 実験の目的

光ファイバは軽量性、微細性から構造モニタリング材料として極めて有効な材料であり、幾つかの計測手法が提案されている。特に経路中に入れた微細な格子からの回折光の計測に基づきひずみの検知を行う FBG (fiber Bragg grating) センサは、検出精度、応答性、耐久性などに優れた特性を有する。FBG センサでは、従来、弾性範囲の出力特性を単一の光スペクトルの状態で計測することとしてきた。しかし、この前提では鋼材の弾性ひずみという小さい変形領域でしか計測できないことになり、FBG をひずみセンサとして使用する際の制限となる。本試験では、塑性領域では出力光スペクトルが2つ以上のピークに変化する特性を利用することを目的とする。すなわち、鋼部材や、鋼部材と FRP 補強材との接着界面の損傷のセンシングに際し、出力光スペクトル形状の計測データを従来のひずみデータと比較検討することで、信頼性の高いセンシングを行うことを検証する。

3. 補強部材の載荷試験

建築鉄骨ビルや道路橋などの鋼梁の補強を想定し、FRP で補強した H 形鋼部材の3点曲げ試験を実施する。試験体は、補強しないもの(無補強)、ガラス繊維板で補強したもの(GFRP 補強)、カーボン繊維板で補強したもの(CFRP 補強)の3種類とする。FRP の補強枚数は補強効果が10%程度を目標にし、CFRP では下フランジの半分の幅で積層枚数は4枚、GFRP では下フランジの全幅で積層は2枚とした。補強する長さはいずれもスパンの半分(1000mm)とした。試験体の上フランジの座屈を防止するため、上フランジ上面に厚さ32mmの鋼板を取り付けた。試験体の概要図と FBG センサ、ひずみゲージの貼り付け位置を図-1に示す。また、各材料の物性値を表-1に示す。無補強試験体では、梁下フランジ下面に FBG センサを設置する。FRP で補強した試験体では、梁下フランジ下面の他に、FRP 補強材積層間にも FBG センサを設置する。これらと、同位置に貼り付けたひずみゲージの値との比較を行う。鋼材と FRP の接着にはエポキシ系のもの(AW106)を用いたが、CFRP には異なる接着剤(シーカデュア)も使用して接着剤の影響も調べた。

4. 試験結果

試験の結果得られた各試験体の荷重-変位関係を図-2に示す。破壊はいずれの試験体も FRP の剥離であったが、無補強に対し、GFRP 補強では補強効果が10%程度で、CFRP 補強では補強効果はほとんどみられなかった。異なる接着剤を用いた CFRP 補強では5%程度の効果が見られたが、はりが塑性域に入った早期(変位12mm程度)で剥離した。

表-1 材料の物性値（値はいずれも公称値：単位(MPa)）

	鋼材	FRP		接着剤	
	SS400	CFRP	GFRP	AW106	シーカデュア
強度	400	2400	1160	11~33	10以上
弾性係数	2.06×10^5	1.56×10^5	0.44×10^5	—	4000

キーワード 光ファイバ, FBG, FRP, 補強, モニタリング

連絡先 〒441-8510 愛知県豊橋市明海1番地 技術研究所 TEL 0532-25-5354

を示す。はり弾性範囲内ではFBGの出力は単一ピークであるが、鋼材が塑性域に入るとピークが分離することがわかり($P=500\text{kN}$ 時)、除荷してもピークは分離したままとなる。また、荷重とひずみの履歴について図-4にGFRPの結果を、図-5にCFRPの結果を示す。FRP側は、はりの破壊とみなした剥離まで塑性化せず、FBGセンサとひずみゲージの値はよく一致した。鋼材側では塑性域に入るとFBGセンサのピークが分離するためひずみ換算したときの値はひずみゲージと一致しなくなる。しかし、この挙動と図-3の波形挙動により、鋼材とFRPの接着

界面において各々の部材が塑性域か否かの応力状態を把握することが可能である。以上の試験により、FBGセンサにより、補強された部材の応力状態について詳細なセンシングが可能であることが確認できた。

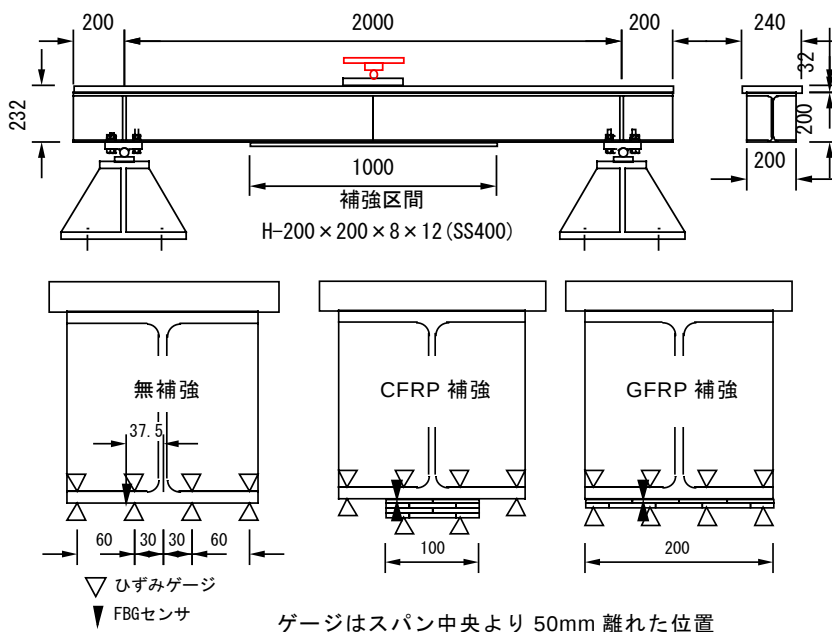


図-1 桁試験体の概要図とセンサ貼り付け位置

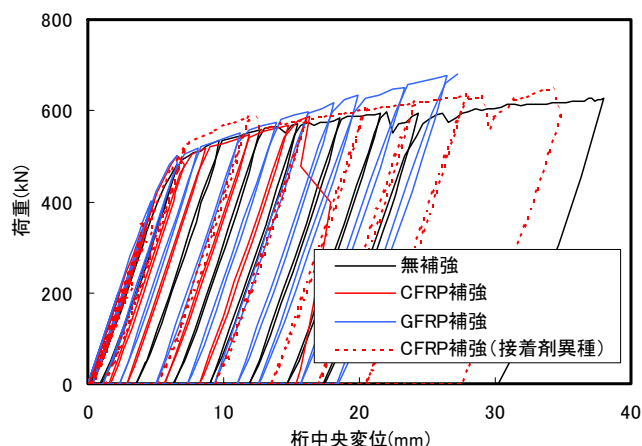


図-2 各試験体の荷重-変位関係

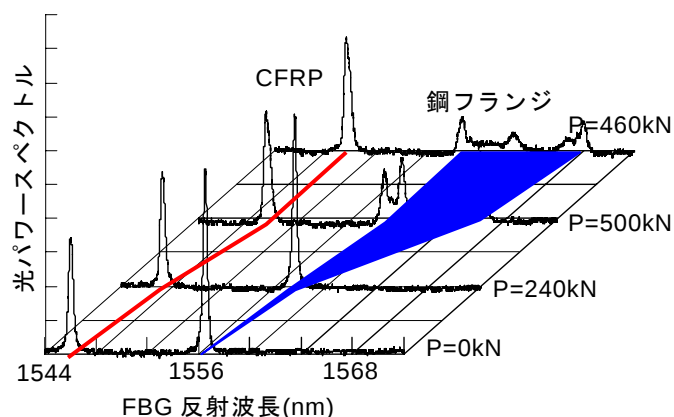


図-3 FBG センサ出力の光パワースペクトルの変化例

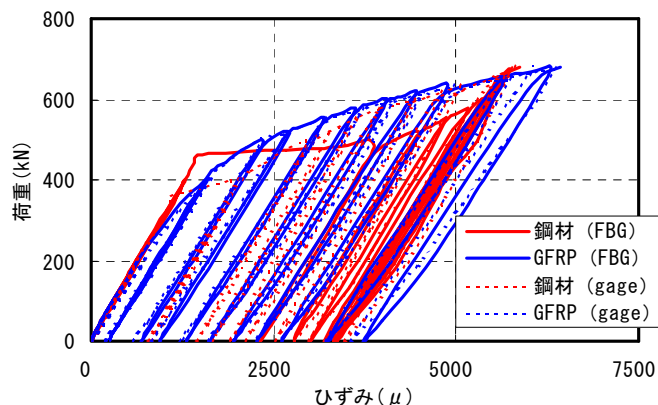


図-4 GFRP 補強試験体のセンシング結果の比較

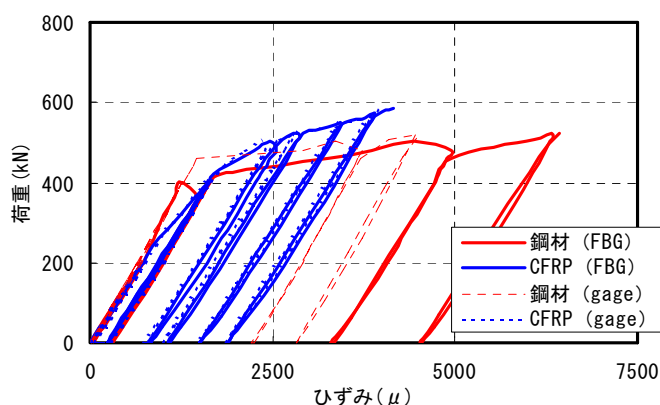


図-5 CFRP 補強試験体のセンシング結果の比較

謝辞: 本試験は、科学技術振興機構・平成17年度シーズ育成試験研究（研究代表者・山田聖志）によっている。実験に際し、豊橋技術科学大学大学院生・松本幸大君（現・米子高専助手）、同学部生・日高康彦君（現・泉創建エンジニアリング）、福井ファイバーテック・小宮巖博士の協力を得たことを記し感謝します。

参考文献: 1) 山田聖志, 他: 光ファイバセンサを用いた鋼橋のヘルスマニタリング (その3: FBGセンサの実橋への装着と計測結果), 土木学会第60回年次学術講演会論文集, 2005.