FRP による鋼材補強における光ファイバセンシング

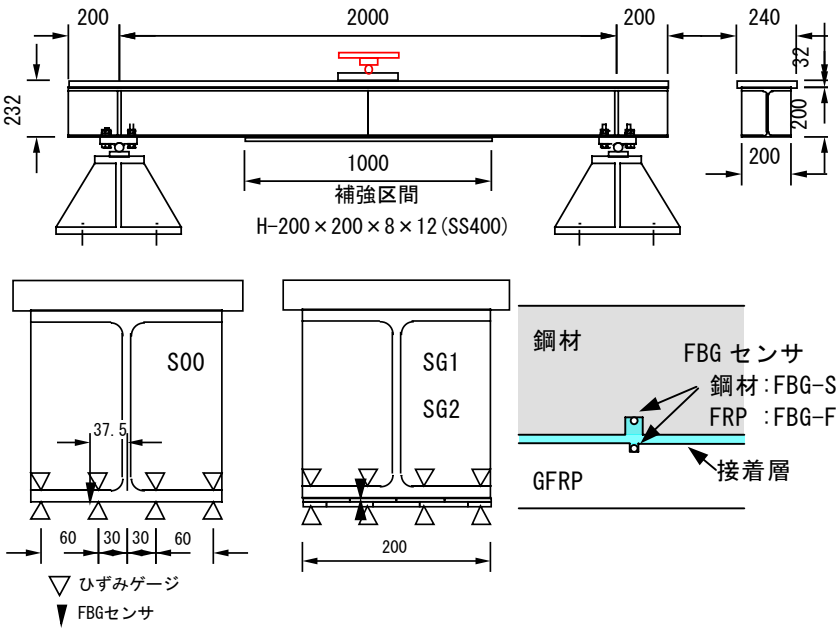
トピー工業　正会員　○山田　聡　トピー工業　正会員　渡辺　直起
豊橋技術科学大学　正会員　山田　聖志　豊橋技術科学大学　学生員　吉田　安寿

１．はじめに

建設構造では，近年，大地震対策や耐久性改善のため，既設の鋼部材を FRP で補強する手法の検討が注目されている．FRP は軽量であるなど従来の材料にない利点もいくつか挙げられるが，鋼材との接着界面での損傷の評価が困難であるという現状にある． 本試験では，建築鉄骨ビルや道路橋などに用いられる鋼梁部材の FRP 補強を想定して，ガラス繊維補強 FRP を接着したH形鋼の 3 点曲げ試験を実施し，載荷による接着層の剥離挙動のセンシングを行った．また，接着界面のひずみ状態をより詳細に検討するため，帯板状の鋼材の片面に FRP を接着した試験体を作成し，その曲げ実験を実施して界面のひずみ挙動を検討した．

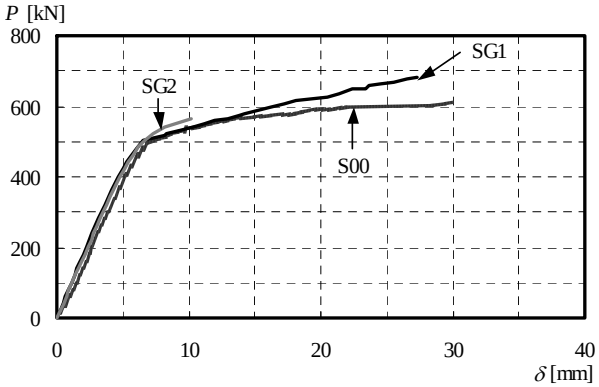
２．FRP 補強された桁構造のセンシング試験

建築あるいは橋梁の桁構造を FRP で補強することを想定して，**図－１**のような試験体を製作した．試験体は 3 体で，1 体は補強しない基準試験体(S00)，2 体は補強を行う試験体(SG1，SG2)とした．補強方法は，支間長の半分の 1000mm にガラス繊維強化プラスチック(GFRP)2 層を下フランジの全幅にわたって貼り付けた．GFRP は幅 50mm，板厚 4mm の引き抜き材を並べて使用した．接着にはエポキシ系の接着剤（AW106：ナガセケムテックス株式会社製）を用い，実験棟内にて自然養生（10 月，平均気温 20 度程度）した．これらの補強による計算上の効果は降伏時の荷重で約 10%の増加である．FBG センサは，鋼板と GFRP の接着前に各々の接着位置に溝を掘り，専用の接着剤で貼り付けた．



図－1　桁試験体の概要図とセンサ貼り付け位置

載荷試験より得られた荷重と変位の関係を**図－２**に示す．補強した SG1 では，S00 とほぼ同じ初期勾配で変化し，下フランジの降伏もほぼ同じ荷重であった．しかし，降伏後の勾配がやや大きくなり，最終的には 10%程度大きな荷重に達したところで，GFRP が剥離した．SG2 では，初期勾配から降伏直後までは SG1 とほぼ同じ曲線となったが，こちらは変形量が 10mm ほどで早期に GFRP が剥離した．

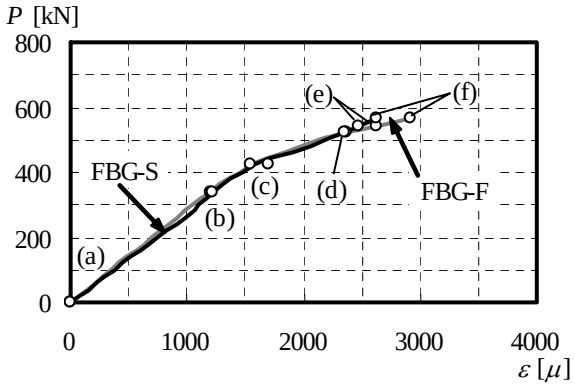


図－２　荷重変位曲線

図－３には，SG2 の FBG センサの出力から得られたひずみ値と荷重の関係を示す．図中の FBG-S は鋼桁側の，FBG-F は FRP 側の FBG センサを示す． 400kN 付近で勾配が変化するが，500kN までは FBG センサからの値は一致しており，それ以降（(d)点以降）では乖離し始める結

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

果が得られた．この図中のアルファベットで記した点（(a)～(f)）で計測したFBGセンサの反射波形測定結果を**図－４**に示す．鋼材が降伏する前（～(b)）では，反射波形はそれぞれ単一のピークを有するが，鋼材が降伏した(c)では，鋼材側のFBGセンサのピークが2つに分離していることがわかる．以降，載荷を進めるにつれて鋼材側は分離したままであるのに対し，鋼材のような降伏挙動を見せないGFRPは単一ピークのままである．荷重－ひずみの関係のみからは明確ではないものの，波形計測からは降伏後の部材のひずみの違い，すなわち材料の状態が個別に計測できることが確認できた．

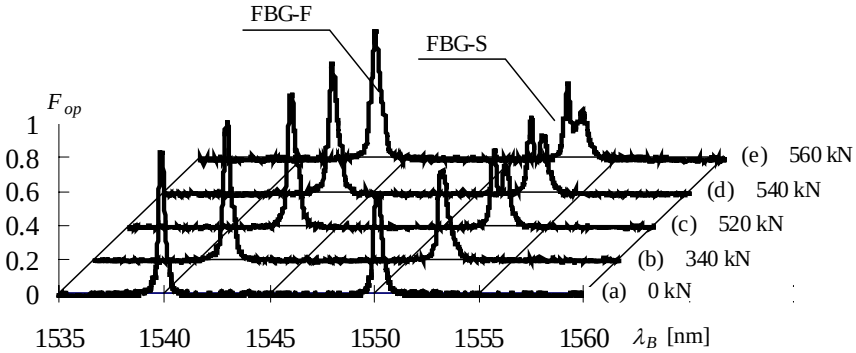


図－３　FBGセンサによる荷重－ひずみ関係

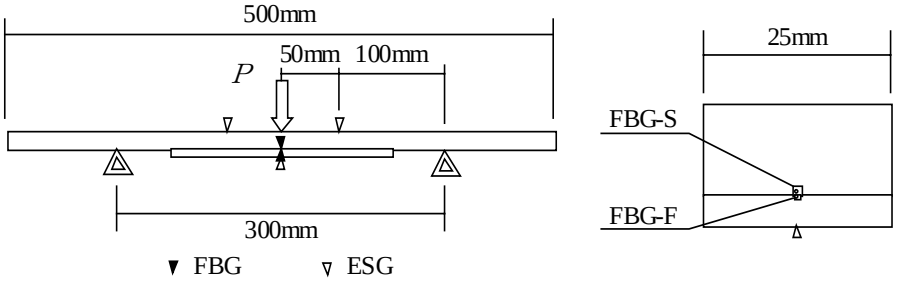
３．小型部材のセンシング試験

剥離時を含む詳細なセンシングを行うため，FBGセンサとひずみゲージを併用した小型試験体の曲げ試験を行った．試験体を**図－５**に示す．鋼材は板厚 12mm，FRP の板厚は4mmで，桁試験と同様に2つのFBGセンサを接着界面に埋め込んだ．

センサから得られた荷重－ひずみ関係を**図－６**に示す．荷重が約2.5kN の鋼材が降伏するあたりで2つのFBGセンサの値は離れ始め，最大荷重に達した(c)点を境に，曲げによる引張力を分担しつづける鋼材側のひずみは増加するが，GFRP 側のひずみは減少する，すなわち，剥離状態を把握できた．



図－４　FBGセンサの反射波形計測結果

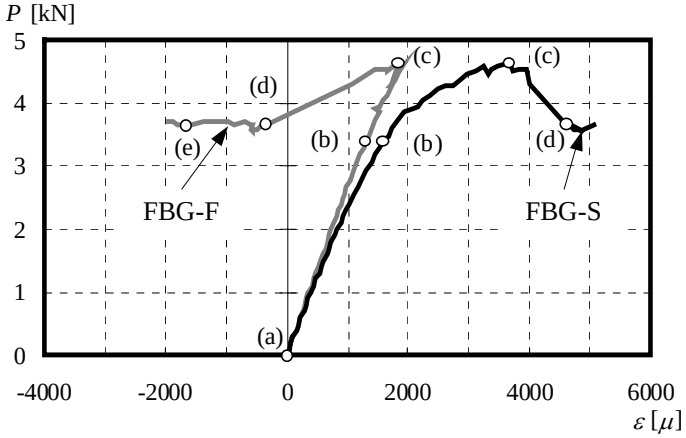


図－５　小型試験体

４．まとめ

1）桁構造の3点曲げ実験より，FRPが鋼材から完全に剥離した荷重の約60%を超えた荷重で，界面の鋼材側のFBGセンサの出力とFRP側のFBGセンサの出力に明確な差が見られるようになり，剥離損傷が発生した兆候を確認することができた．

2)片面にFRPを接着した小型試験片の3点曲げ実験では,更にその傾向が顕著に観察され,剥離が材軸方向に進展する過程を逐次計測することができた．



図－６　小型試験片による曲げ試験の結果

謝辞

本実験の遂行にあたり,福井ファイバーテック(株)の小宮巌氏にGFRPおよび接着剤を提供して頂くとともに，小型試験体の曲げ試験の実施に際して多大なご協力を頂きました．ここに記して感謝の意を表します．